



ISSN 2588-3941

نشریه علمی - ترویجی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال سوم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷

نشریه علمی - ترویجی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال سوم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

۲

مقالات علمی

۵

مروری بر حذف آلاینده های دارویی از پساب توسط فرآیندهای ازن زنی و اکسایش پیشرفته
سید رضا نبوی و مریم فهادی

۱۸

پهنه بندی کیفی منابع آب شهری، صنعتی و کشاورزی در منطقه جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان
کیوان سلطانی و محمد حسین جهانگیر

۳۳

مروری بر تجارب جهانی روش پمپاژ و تصفیه در پالایش آبخوان های آلوده
سید مصطفی طباطبائی و ابوالفضل اکبرپور

۴۹

مدیریت منابع آب و بازچرخانی پساب، راه کار تامین آب شرب مناطق خشک: مطالعه موردی شهر مشهد
علی حیدری

۶۵

رویکرد اجتماعی و درون سازمانی، نیاز و ضرورت مدیریت آب کشور
شاهین پاکروح و مجید قنادی

۷۳

مروری بر کارایی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون در حذف نیترات از زهاب کشاورزی
هدیه احمدپری و سید ابراهیم هاشمی گرم دره

مطالب عمومی

۹۰

مصاحبه

۹۸

میزگرد

۱۲۱

پایان نامه برتر

۱۲۴

معرفی کتاب

۱۲۶

گزارش فعالیت های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۹۰۱۸/۲۹۰۳ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی-ترویجی دریافت نموده است.

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

اعضای

هیئت تحریریه

دکتر بیژن بینا: استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

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

دکتر سید حسین سجادی فر: استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهریار و مشاور معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکتر محمد حسین صراف زاده: دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

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

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

دکتر علی اکبر عظیمی: استادیار بازنشسته دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

مهندس مجید قنادی: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط و مشاور معاون برنامه ریزی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

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

دکتر سارا نظیف: استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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



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

دکتر احمد سیاحی: مدیرکل دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس عباس حاج حریری: معاون اسبق نظارت بر بهره برداری، شرکت آب و فاضلاب استان تهران

شورای سیاستگزاری
صنعت آب و فاضلاب

ناهد اختر

نیاز مهدی اصفهانی

انجمن آب و فاضلاب ایران

۱۰۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیک:

ایمیل:

مقالات علمی

- ۲
- ۵ مروری بر حذف آلاینده‌های دارویی از پساب توسط فرآیندهای ازن‌زنی و اکسایش پیشرفته
سید رضا نبوی و مریم فهادی
- ۱۸ پهنه‌بندی کیفی منابع آب شهری، صنعتی و کشاورزی در منطقه جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان
کیوان سلطانی و محمد حسین جهانگیر
- ۳۳ مروری بر تجارب جهانی روش پمپاژ و تصفیه در پالایش آبخوان‌های آلوده
سید مصطفی طباطبائی و ابوالفضل اکبرپور
- ۴۹ مدیریت منابع آب و بازچرخانی پساب، راه‌کار تامین آب شرب مناطق خشک: مطالعه موردی شهر مشهد
علی حیدری
- ۶۵ رویکرد اجتماعی و درون سازمانی، نیاز و ضرورت مدیریت آب کشور
شاهین پاکروح و مجید قنادی
- ۷۳ مروری بر کارایی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون در حذف نیترات از زهاب کشاورزی
هدیه احمدپری و سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره

مطالب عمومی

- ۹۰ مصاحبه
- ۹۸ میزگرد
- ۱۲۱ پایان نامه برتر
- ۱۲۴ معرفی کتاب
- ۱۲۶ گزارش فعالیت‌های انجمن



جستاری بر خاستگاه و جایگاه شرکت‌های آب و فاضلاب در ساختار بخش آب وزارت نیرو



مجیدقنادی
مشاور معاون مهندسی و توسعه،
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



علی اصغر قانع
مشاور مدیرعامل
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی، در قالب شرکت‌های خصوصی و یا شبه دولتی، بدون دخالت مستقیم در چگونگی توزیع و مصرف آن می‌دانند.

اقتدار و قدرت نفوذ این نظریه چنان بود که به‌رغم پیش‌بینی محدوده زمانی شش ماهه برای تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب در تبصره (۲) ماده (۲۱)، شرکت‌های موضوع این قانون ایجاد نشدند و حتی لایحه پیشنهادی وزیران وقت نیرو و کشور به مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۶۴ که در آن ساختار دولتی شرکت‌های آب و فاضلاب مدنظر قرار گرفته بود و لایحه پیشنهادی سال ۱۳۶۶ که ساختار غیردولتی برای شرکت‌های آب و فاضلاب پیش‌بینی شده بود، ابتر ماند و به‌رغم تصویب کلیات آن در شور اول مجلس شورای اسلامی، با درخواست وزارت نیرو، مسترد شد و کار به روال گذشته ادامه یافت.

در مقابل این نظریه که می‌توان آن را ایده‌ای اقتدارگرا و درون‌نگر نامید، تئوری دومی نیز وجود داشت که با نگاه به وضعیت نه‌چندان به‌سامان مدیریت آب شهری و تنگناها و عقب ماندگی‌های آن و پیش‌بینی آینده‌ای وخیم، در صورت تداوم آن، چاره کار را در ایجاد ساختاری پویا و پیراسته از ایرادهای حاکم بر دستگاه‌های با ساختار دولتی، در اداره نظام خدمات آب و فاضلاب شهرها می‌دید. پایه‌های این تئوری را باید در سال‌های ۱۳۵۵ و ۱۳۵۶ جست‌وجو کرد. در آن زمان با عقد قراردادی با شرکت ایرانی کانپ و شرکت انگلیسی ژانداسر، ۱۵ نفر از کارشناسان به‌همراه ۲۲ نفر از تکنسین‌های بخش آب وزارت نیرو برای آموزش مدیریت خدمات آب و فاضلاب، راهی انگلستان شدند و پس از طی آموزش ۲۴ ماهه برای کارشناسان و ۱۵ ماهه برای تکنسین‌ها، زمینه برای ایجاد ساختار مدیریت خدمات آب و فاضلاب شهری فراهم شد. با بروز پدیده انقلاب اسلامی، برخی دانشجویان حوزه مهندسی که در جریان حرکت‌های سیاسی انقلاب اسلامی حضور داشتند، متأثر از رهیافت‌های آن، به‌این ایده کمک کردند و نشانه‌هایی از آن، ابتدا در تدوین تبصره (۲) ماده (۲۱) قانون توزیع عادلانه آب و سپس در تدوین متن لایحه پیشنهادی دولت در سال ۱۳۶۶ مشاهده می‌شود. اما هم‌چنان که گفته شد، نظریه نخست چنان غالب بود که مجال نموّ ایده دیگری را نمی‌داد. سرانجام تئوری دوم، با پایان جنگ تحمیلی و فضای عمومی حاکم بر کشور در دوران بازسازی و سازندگی، مجال

پس از تصویب قانون توزیع عادلانه آب در شانزدهم اسفند ماه ۱۳۶۱ که به‌نوعی قانون مادر بخش آب کشور محسوب می‌شود و در چگونگی اجرای تبصره (۲) ماده (۲۱) این قانون که وزارت کشور را موظف می‌ساخت تا با همکاری وزارت نیرو، شرکت‌های مستقلی به نام «شرکت آب و فاضلاب» را برای تقسیم و توزیع آب شهری و اداره تأسیسات جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب در محدوده شهرها زیرنظر شورای شهر تشکیل دهد، دو ایده در وزارت نیرو مطرح بود. ایده نخست آن بود که مطابق مفاد ماده (۲۱) قانون توزیع عادلانه آب، حوزه اختیار و مسئولیت وزارت نیرو در بخش آب، تنها محدود به مدیریت کلان، سیاست‌گذاری، تخصیص و اجازه بهره‌برداری از منابع آب است و این وزارتخانه نباید خود را در سطوح پایین تقسیم و توزیع آب در بخش‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی درگیر سازد. طرفداران این نظریه بر این باور بوده و هستند که درگیر شدن وزارت نیرو در سطوح پایین توزیع و مصرف آب، ضمن آن‌که انرژی مضاعفی را از ساختار وزارت نیرو مصروف می‌سازد، در مواردی، گاه با مسئولیت تخصیص و اجازه بهره‌برداری از منابع آب در تضاد قرار می‌گیرد و وزارت نیرو ناچار می‌شود برای پاسخگویی به نیازهای مشترکان، قواعد و الزام‌های تخصیص را که خود پایه‌گذار و واضع آن بوده است، نادیده انگارد و زیر پا گذارد و این، با وظیفه ذاتی و قانونی وزارت نیرو، هم‌راستا و هم‌آوا نیست. پیروان این نظریه، صلاح و مصلحت وزارت نیرو را در مدیریت کلان و تخصیص و تحویل آب به متولیان مدیریت

عرضه اندام یافت و با تشکیل معاونت آب و فاضلاب در پیکره وزارت نیرو و جسارت مدیران ارشد وقت، نخستین جرعه‌های آن در اوایل سال ۱۳۶۹ در گردهمایی کارشناسان ارشد بخش آب وزارت نیرو و مدیران عامل شرکت‌های آب منطقه‌ای در شهر منجیل، با ارایه پیش‌نویس اولیه اساسنامه شرکت‌های آب و فاضلاب زده شد. این اساسنامه با اصلاح‌هایی، به‌عنوان لایحه به مجلس شورای اسلامی ارسال شد و سرانجام در یازدهم دی ماه ۱۳۶۹ در قالب قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب به تصویب مجلس شورای اسلامی و در تاریخ شانزدهم دی ماه ۱۳۶۹ به تصویب شورای نگهبان رسید. براساس ماده (۱۹) قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب، تبصره (۲) ماده (۲۱) قانون توزیع عادلانه آب لغو شد.

پس از تشکیل تدریجی شرکت‌های آب و فاضلاب استانی، با آغاز عملیات ایجاد طرح‌های بزرگ آبرسانی و زیرساخت‌های خدمات آبرسانی در شهرها از یک سو و از دیگر سو اجرای فراگیر طرح‌های فاضلاب شهری چنان بارز و برجسته می‌نمود که شرکت‌های آب و فاضلاب را به‌عنوان یکی از نقاط قوت و اقتدار وزارت نیرو معرفی کرد که مدیرعامل آن هم‌زمان سمت معاون وزیر نیرو را نیز داشت. در این دوران، در کنار اقدام‌های سخت‌افزاری و توسعه‌ای، ساختارسازی و توجه به اقدام‌های زیرساختی نرم‌افزاری هم‌چون تربیت نیروی انسانی، حرکت به سمت ظرفیت‌سازی و خودکفایی نسبی در تولید کالاهای موردنیاز، مستندسازی، برقراری مراودات منطقه‌ای و بین‌المللی با هدف استفاده از ظرفیت‌های برون‌مرزی و ارتقای شاخص‌های کشور در این بخش، در دستور کار قرارگرفت و توفیق‌های فراوانی به‌دست آمد. در این دوران، تئوری دوم، چنان دستاوردهایی به ارمغان آورد که نظریه نخست را کاملاً در محاق فرو برد و تا مدت‌ها، سخنی از آن نبود و حتی به‌عنوان الگویی برای مدیریت آبرسانی روستایی مورد استفاده قرار گرفت.

اکنون که حدود سه دهه از عمر شرکت‌های آب و فاضلاب می‌گذرد، در گوشه و کنار، صحبت‌هایی از تغییر ساختار بخش آب وزارت نیرو و بازنگری در شیوه مدیریت شرکت‌های آب و فاضلاب شنیده می‌شود. هم‌چنان که پیش‌تر و در مواضع دیگر نیز گفته شد، مدیران کنونی بخش آب و فاضلاب، به‌خوبی آگاهند و می‌دانند که میدان مسئولیت آنان، بنیانی است که گذشتگان پی نهاده‌اند و نزد آنان امانتی است که با حفظ، تداوم

و سربلندی آن، باید آن را به برگزیده پس از خود بسپارند و در حالی که در محیط‌های درون و برون سازمانی، به ادای وظیفه برنامه‌ریزی، هماهنگی و نظارت می‌پردازند، باید بر آن محاط نیز باشند و با ژرفاندیشی، آسیب‌شناسی و واکاوی رخدادها، آینده‌ای مطلوب و ممکن را بیاندیشند و توجه داشته باشند که اگرچه نمی‌توان نقش اثرگذار تنگناها و محدودیت‌های مالی را در کندی اجرای طرح‌ها و برنامه‌ها نادیده انگاشت، اما انتساب همه مشکلات به‌عدم تکافوی منابع مالی، غفلت از واقعیت‌ها و به‌نوعی، فرار به جلو است و به‌هیچ روی، نشانی از دقت‌نظر و تیزهوشی مدیران و تحلیلگران را نمی‌نمایاند. به یاد داریم که پس از عدم توفیق شرکت سرمایه‌گذاری نیرو که در قالب بخش خصوصی و با سرمایه کارکنان شرکت‌های آب و فاضلاب اداره می‌شد، مدیرعامل وقت در اظهارنظری، مدیریت آن شرکت را نمونه‌ای از سبک رایج مدیریتی دانست که ضعف‌های آن با بودجه عمومی کشور پنهان می‌شود و همه کاستی‌ها، با عدم کفایت منابع مالی توجیه می‌شود. با این توضیح، با نگاه به شرایط کنونی شرکت‌های آب و فاضلاب و اندکی تأمل در آن، این واقعیت‌ها هویدا می‌شود که:

- در مواردی خواسته‌ها و انتظارات از شرکت‌های آب و فاضلاب، فراتر از توان آن‌ها است؛

- در مواردی، نظام‌های اجرایی و مدیریتی بر پایه روابط آشکار و پنهان، بی‌توجه به ضرورت حاکمیت انضباط‌ها و اصول و ارکان مدیریت توانمهندسی و اجتماعی قرار دارد؛

- مسحور بودن به دل‌ربایی دستاوردهای گذشته و مطلقاً دانستن و جاودانگی شرکت‌های آب و فاضلاب

در چنین شرایطی، تئوری نخست بار دیگر در حال نشو و نما است و بر مدیران آب و فاضلاب فرض است تا با هوشمندی، درک اقتضائات زمانه، بازخوانی و تحلیل درست عملکردهای پیشین، احصای قوت‌ها، گردآوری اندیشه‌ها و به‌خدمت گرفتن تجربه‌ها و توانایی‌ها، پویایی و اقتدار شرکت‌های آب و فاضلاب را بازگردانند. به‌یاد داشته باشیم که برخلاف سال‌های نخستین، بسیاری از راه‌ها طی شده و سرمایه‌های ارزشمندی چه در حوزه نرم‌افزاری و نیروی انسانی و چه در بخش سخت‌افزاری فراهم آمده است و از یاد نبریم که وزارت نیرو، پیش از تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب وجود داشته است و بدون این شرکت‌ها نیز هم چنان پابرجا خواهد بود. این شرکت‌های آب و فاضلاب هستند که برای مشروعیت و بقای خود باید

هوشمندانه تلاش کنند و با شناسایی و تحلیل توانایی‌ها و احیاناً کاستی‌های احتمالی، مکانیسم‌هایی را برای ارتقای شرکت‌ها را جست‌وجو کنند. به نظر می‌رسد یکی از آسیب‌های پیش‌روی ما که به شدت از توان مدیریتی می‌کاهد، ضعف در رده‌های میانی و صف شرکت‌های آب و فاضلاب است. بسیاری از رخدادهای مسئله‌هایی که به راحتی در لایه‌های میانی و صف شرکت‌ها باید حل شوند، به ناروا، به لایه‌های بالاتر که نقش تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری دارند، منتقل می‌شوند. مدیریت هزینه‌ها و رضایت عمومی از شیوه کارکرد و خدمات شرکت‌های آب و فاضلاب نیز در گرو عملکرد این بخش‌ها است. از این‌رو سهم قابل توجه و عمده‌ای از بهبود و ارتقای این شرکت‌ها، باید معطوف به تمرکز بر لایه‌های میانی و صف، بر محور شهرستان و یا امور منطقه‌ای باشد.

پرسشی که منتقدان شرکت‌های آب و فاضلاب باید به آن پاسخ دهند این است که اگر شرکت‌های آب و فاضلاب ایجاد نمی‌شدند، اکنون وضعیت خدمات آب‌رسانی در شهرهای کشور چگونه بود؟ و آیا ساختارهای نه‌چندان کارآمد متولیان پیشین آب شرب شهرها، قادر به پاسخگویی به تقاضاهای رو به ازدیاد آب شرب، متأثر از افزایش شمار شهرها و گسترش لجام گسیخته آن‌ها بودند؟ آیا شرکت‌های آب و فاضلاب نتوانسته‌اند، در شرایط ادواری خشکسالی‌های حاکم بر کشور، دغدغه تأمین آب شرب را که هرگونه کوتاهی در آن، با اعتراض‌های گسترده اجتماعی همراه می‌شود و می‌تواند در نزد افکار عمومی، به عنوان نقطه ضعف نظام در مدیریت کشور تلقی شود، مرتفع و آن را به نقطه قوت بدل سازند؟ و آیا بدون وجود شرکت‌های آب و فاضلاب، ایجاد و توسعه زیرساخت‌های زیربنایی جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب - که یکی از شاخص‌های اجتماعات پیشرفته است - متصور بود؟ و آیا بدون وجود این شرکت‌ها، رویکردهای مهندسی و مدیریتی و رونق بازار کالاها و خدمات آب و فاضلاب ممکن بود؟ به یقین، پاسخ به این پرسش‌ها و پرسش‌هایی مانند آن، به خوبی نقش سازنده و اثرگذار شرکت‌های آب و فاضلاب را در عمر کوتاه خود، در روند توسعه کشور و رفع یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های آن، آشکار می‌سازد و از آن بیش‌تر، تیزهوشی و درایت مدیران آن زمان وزارت نیرو و مقام‌های ارشد کشور را در حمایت و پیگیری ایجاد و استقرار شرکت‌های آب و فاضلاب، گواهی می‌دهد.

A Review on Removal of Pharmaceuticals Contaminants from Wastewater Using Ozonation and Advanced Oxidation Processes

Seyed Reza Nabavi* and Maryam Fahadi

Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

*Corresponding author, Email: srnabavi@umz.ac.ir

Received: 12/05/2018

Revised: 25/01/2019

Accepted: 26/01/2019

Abstract

Pharmaceutical and personal care products are known as emerging pollutants in water resources. The presence of such products, even in very small amounts (within the range of micro to nano gram), has adverse effects on the environment and health. So far, many methods have been addressed in literatures for the removal of drugs from wastewater, the most important of which are the advanced oxidation processes such as ozonation (removal of over 99% of steroidal and non-steroidal drugs, antibiotics, lipid regulator and anti-inflammatory Fenton (complete destruction-drug) Fenton and Photo of antibiotics such as amoxicillin), photo-Fenton (complete elimination of ofloxacin and trimethoprim), sonolysis (removal of 100% ciprofloxacin), and UV/H₂O₂ (complete degradation of amoxicillin) and also combinations of these processes to reduce the reaction time and, as a result, costs. Due to the high oxidizing the ozonation process power of the ozone molecule, is a promising technology for the removal of those pollutants which cannot be removed from the water by conventional methods. This paper presents the results of the studies which have been carried out on ozone-based processes for removing contaminants from municipal wastewater and water. In addition, the role of effective parameters on the removal rate of pollutants, such as contact time of ozone with the pollutant, pH, ozone dose, pollutant concentration, and type of drug, were investigated.

Keywords: Advanced oxidation, Antibiotics, Ozone, Pharmaceutical contaminants, Water and municipal wastewater treatment.

مروری بر حذف آلاینده‌های دارویی از پساب توسط فرآیندهای ازن‌زنی و اکسایش پیشرفته

سید رضا نبوی* و مریم فهادی

گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: srnabavi@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۲

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۱/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۶

چکیده

محصولات دارویی و مراقبت‌های شخصی به‌عنوان آلاینده‌های در حال ظهور در منابع آب شناخته شده‌اند. حضور این محصولات حتی در مقادیر بسیار کم (در محدوده میکرو تا نانوگرم) اثرات نامطلوبی را بر محیط‌زیست و بهداشت ایجاد می‌کند. تاکنون روش‌های زیادی در منابع علمی برای حذف داروها از پساب مورد بررسی قرار گرفته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها فرآیندهای اکسایش پیشرفته نظیر: فرآیند ازن‌زنی (حذف بالای ۹۹٪ از داروهای استروئیدی و غیراستروئیدی، آنتی‌بیوتیک‌ها، تنظیم‌کننده چربی و ضدالتهابی)، فنتون و فتوفنتون (تخریب کامل آنتی‌بیوتیک‌ها نظیر آموکسیسیلین)، فتوفنتون خورشیدی (حذف کامل افلاکساسین و تریمتوپریم)، سونولیز (حذف ۱۰۰٪ سیپروفلوکساسین)، UV/H₂O₂ (تخریب کامل آموکسیسیلین) و ترکیب این فرآیندها با هم برای کاهش زمان واکنش و در نتیجه کم کردن هزینه‌ها است. فرآیند ازن‌زنی به‌دلیل قدرت اکسیدکنندگی بالای مولکول ازن، یک تکنولوژی امیدوارکننده در حذف آلاینده‌هایی است که با روش‌های معمولی نمی‌توان آن‌ها را از آب حذف کرد. در این مقاله پژوهش‌های انجام شده مربوط به فرآیندهای مبتنی بر ازن برای حذف آلاینده‌های دارویی از آب و فاضلاب‌های شهری گردآوری شده است. علاوه بر این، نقش پارامترهای موثر بر میزان حذف آلاینده‌های دارویی نظیر زمان تماس ازن با آلاینده، pH محلول، دوز ازن، غلظت آلاینده و نوع دارو مورد بررسی قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: اکسیداسیون پیشرفته، آلاینده‌های دارویی، آنتی‌بیوتیک‌ها، ازن، تصفیه آب و فاضلاب شهری

داروی هورمونی ۱۷بتا- استرادیول در شهر اهواز انجام دادند، حضور غلظت‌هایی از این دارو در نمونه آب‌های آشامیدنی، رودخانه کارون و فاضلاب‌های خانگی و صنعتی (به‌ترتیب، ۲/۹۶، ۱۳/۶۶، ۵۷/۴۶ و ۷۰/۶ ng.L⁻¹ شناسایی شد) بیانگر این بود که روش‌های بیولوژیکی به‌کار گرفته در تاسیسات تصفیه فاضلاب اگرچه ۱۷بتا- استرادیول را به مولکول‌های کوچکتر تخریب می‌کند اما قادر به حذف کامل این دارو نیست.

از طرفی دیگر، افزایش تولید آنتی‌بیوتیک‌ها منجر به گسترش باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک شده است که خطراتی جدی را روی سلامتی انسان‌ها ایجاد می‌کنند. در سال‌های اخیر برای حذف این آلاینده‌ها، تکنولوژی‌های پیشرفت‌های نظیر اکسایش شیمیایی با استفاده از ازن و ازن/هیدروژن پراکسید، فیلتراسیون غشایی مانند نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس (Nghim et al., 2005)، جذب سطحی با خانواده کربنی (Takdastan et al., 2016; Babaei et al., 2016) و جاذب‌های نانومغناطیسی (Babaei et al., 2016) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. فیلتراسیون غشایی برای تصفیه آب‌های سطحی و زیرزمینی که دارای آلودگی کمتری مثل مواد آلی طبیعی هستند مناسب است. همچنین، این فرآیند فیزیکی نیاز به دفع لجن تولیدی از سطح غشا در طول تصفیه دارد. جذب توسط کربن فعال در حذف ترکیبات قطبی آلی به‌دلیل نوع مکانیسم حذف دارای محدودیت بوده به‌طوری‌که جذب در حضور ترکیبات آلی طبیعی و بسیاری از ترکیبات و متابولیت‌های دارویی که قطبی هستند یک حالت رقابت، ایجاد می‌شود. بنابراین، اکسایش شیمیایی مثل ازن‌زنی و فرآیندهای اکسایش پیشرفته^۴ ممکن است گزینه‌های مناسب‌تری برای تصفیه پساب‌های دارویی و همچنین آب‌های سطحی و زیرزمینی باشند.

عموما بررسی‌های زیادی درباره حذف آلاینده‌های دارویی با استفاده از فرآیندهای اکسایش پیشرفته انجام شده‌است اما هدف از مطالعه حاضر در ابتدا جمع‌آوری آخرین مطالعات انجام شده در خصوص کاربرد فرآیندهای اکسایش پیشرفته در حذف آلاینده‌های دارویی با توجه به دسترسی به منابع علمی است. بررسی چگونگی تاثیر فرآیند ازن‌زنی و فرآیندهای ترکیبی با آن نظیر O₃/UV، O₃/H₂O₂، O₃/Sonication و O₃/Catalyst، به‌عنوان یکی از مهمترین فرآیندهای اکسایش پیشرفته در تخریب و حذف آلاینده‌های دارویی از محیط آبی براساس پژوهش‌های انجام شده انجام می‌شود. علاوه بر این،

رشد روزافزون جمعیت و بهره‌برداری بیش از حد منابع محدود آب از یک طرف و آلوده شدن آن به سبب فعالیت‌های گوناگون زیستی، کشاورزی و صنعتی بشر از طرف دیگر همگی دست به‌دست هم داده و زنگ خطر بحران آب را در سال‌های آینده به‌صدا درآورده است. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده تا سال ۲۰۵۰، تقاضای آب، انرژی و غذا به ترتیب ۵۰٪، ۸۰٪ و ۷۰٪ نسبت به مقادیر فعلی افزایش خواهد یافت (Loeb, 2016). بنابراین، کم شدن میزان منابع آب و کیفیت آن موجب گسترش برنامه‌های احیا و تصفیه فاضلاب‌ها شده است. یکی از مسائل مهم در مورد استفاده مجدد از آب تصفیه شده، اطمینان از سالم بودن آن است. در دهه گذشته حضور ترکیبات آلی پایدار نظیر محصولات مراقبت‌های شخصی و داروها در فاضلاب‌های شهری، آب‌های طبیعی و حتی آب‌های آشامیدنی در محدوده میکرو تا نانوگرم در هر لیتر بسیار موردتوجه قرار گرفته‌اند. این داروها ممکن است از مسیرهای مختلفی مثل فاضلاب‌های شهری، فاضلاب‌های بیمارستان، فاضلاب‌های دامپزشکی و مزارع وارد منابع آب شوند (Kıdak and Doğan, 2017).

طبق گزارش‌های اداره غذا و دارو^۱ غلظت مواد تشکیل‌دهنده داروها که در محیط آزاد می‌شود تقریباً بزرگ‌تر از ۱ μg.L⁻¹ است (Nikolaou et al., 2007). وقوع گسترده داروها و محصولات مراقبت‌های شخصی به‌دلیل تاثیراتی که روی سلامت محیط‌زیست و انسان دارد، نگرانی‌هایی را در پی داشته است. باقیمانده این داروها در منابع آبی مختلف از طریق زنجیره غذایی مجدداً وارد بدن انسان‌ها و یا حیوانات شده و علیرغم غلظت‌های پایین (μg.L⁻¹ تا ng.L⁻¹) قرارگرفتن طولانی در معرض آنها موجب اثرات نامطلوبی نظیر مقاومت دارویی و متابولیسم شدن دارو در بدن به محصولات جانبی، می‌شود (Yang et al., 2017). در جدول ۱ به برخی از داروهای شناسایی شده در آب‌های سطحی چند کشور اروپایی اشاره شده است (World Health Organization, 2012).

شناسایی داروها در منابع آبی مختلف نشان‌دهنده عملکرد نامناسب روش‌های معمول تصفیه آب است چراکه برخی از این ترکیبات نظیر دیکلوفناک، پارابن، کاربامازپین، و دیازپام از نظر بیولوژیکی قابل حذف نیستند (Ahmed et al., 2017). علاوه بر این، در مطالعه‌ای که Hassani et al. (2016) برای شناسایی

مقایسه روش‌ها با یکدیگر و مرور عمیق‌تر با تاکید بر فرایندهای ازن‌زنی و ازن‌زنی ترکیبی به‌عنوان یکی از روش‌های کارا در حذف آلاینده‌های دارویی از آب و پساب انجام می‌گیرد. نقش پارامترهای موثر بر میزان حذف آلاینده دارویی نظیر زمان تماس ازن با آلاینده، pH محلول، دوز ازن، غلظت آلاینده و نوع دارو نیز مطالعه می‌شود.

۲- فرآیند اکسیداسیون پیشرفته / ازن‌زنی و مکانیسم واکنش ازن در تخریب آلاینده‌ها

فرآیندهای اکسایش پیشرفته از طریق واکنش‌های رادیکالی مختلفی نظیر ترکیب عامل‌های شیمیایی (ازن، هیدروژن پراکسید، انتقالات فلزی و اکسیدهای فلزی) و منابع انرژی کمکی (اشعه ماوراء بنفش، جریان الکتریکی، تابش گاما و فراصوت) مشخص می‌شوند. در جدول ۲ به بررسی اجمالی پژوهش‌های انجام شده در مورد کاربرد برخی از AOPs برای تخریب آلاینده‌های دارویی اشاره شده است.

رادیکال هیدروکسیل مهمترین اکسیدانی است که در AOPs تولید می‌شود هرچند که سایر رادیکال و گونه‌های اکسیژن فعال مثل آنیون‌های رادیکالی سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروپروکسیل، اکسیژن سه‌گانه و پروکسیل آلی نیز در واکنش درگیر هستند. در تصفیه آب و فاضلاب بازن، مولکول ازن و رادیکال‌های هیدروکسیل در واکنش درگیر هستند (Oppenländer, 2003). ازن‌زنی در pH >8 بالا به دلیل افزایش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل به‌عنوان یکی از فرآیندهای اکسایش پیشرفته شناخته شده است. پتانسیل اکسایش مولکول ازن و رادیکال هیدروکسیل به ترتیب ۲/۰۷ و

۲/۸۰ ولت است که نشان دهنده قدرت بالای اکسیدکنندگی آن‌ها است. این اکسیدان قوی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم میتواند با ترکیبات موجود در آب وارد واکنش شده و در نتیجه منجر به تولید محصولات اکسایشی متفاوت شود. این فرآیند به دلیل قدرت بالای اکسندگی، پتانسیل بالا در کاهش سمیت، معدنی‌سازی کامل آلاینده‌ها در طول تصفیه، امکان حذف آلاینده‌ها در غلظت‌های بسیار کم، کاهش تولید لجن، حذف موثر باکتری‌ها و تبدیل باقی مانده آن در هوا به آب و اکسیژن امروزه در صنعت تصفیه بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Sherma et al., 2013).

۲-۱- واکنش مستقیم

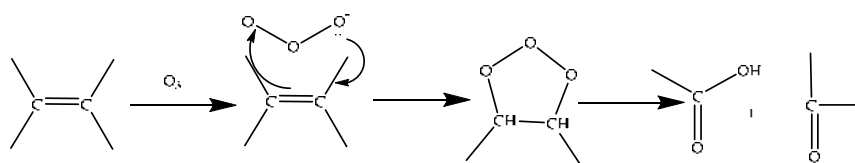
اکسایش مستقیم ترکیبات آلی با ازن یک واکنش انتخابی با ثابت سرعت واکنش آهسته در محدوده $K_D = 1.0 - 10^3 M^{-1}s^{-1}$ است. طبق شکل ۱ مولکول ازن به دلیل ساختار غیرقطبی با باند غیراشباع واکنش می‌دهد و براساس مکانیسم کریگی^۵ منجر به شکست پیوند می‌شود. ازن با انواع مختلفی از آلاینده‌ها آب مانند طعم دهنده‌های آلیسیکلیک یا ترکیبات بودار مثل تری‌هالومتان‌ها و آروماتیک‌های غیرفعال مانند بنزن‌های کلریدی به آرامی واکنش می‌دهد و با بعضی از ترکیبات آروماتیک خاص، دارای گروه دهنده الکترون نظیر گروه‌های هیدروکسیل در فنل سریع واکنش می‌دهند. اگر گروه‌های دهنده وجود نداشته باشند سرعت ازن‌زنی بسیار کند می‌شود. به طور کلی فرم یونیزاسیون یا جادپذیر بودن ترکیبات آلی نسبت به فرم خنثی با سرعت بیشتری با ازن واکنش می‌دهند. الفین‌ها عموماً واکنش پذیری بیشتری نسبت به ترکیبات آروماتیک با همان گروه‌های دهنده دارند. به‌طور کلی، اگر واکنش‌های رادیکالی یعنی

جدول ۱- حداکثر غلظت داروهای شناسایی شده در آب‌های سطحی برخی کشورهای اروپایی برحسب $ng.L^{-1}$ (World Health Organization, 2012).

نوع دارو	سوئیس	آلمان	فرانسه	فنلاند	استرالیا
بزافبرات	-	۳۵۰	۱۰۲	۵	۲۰
کاربامازپین	۳۰-۱۵۰	۲۵	۷۸	۷۰	۷۵
دیکلوفناک	۲۰-۱۵۰	۱۵۰	۱۸	۱۵	۲۰
ایبوپروفن	ND ^۲	۷۰	۲۳	۱۰	ND
لوپرامید	-	۱۰۰	۷	-	۹۱
روکسی ترومایسین	-	< LOQ ^۳	۹	-	ND
سولفامتوکسازول	-	۳۰	۲۵	-	ND

جدول ۲- بررسی اجمالی پژوهش‌های انجام شده در مورد کاربرد انواع مختلف AOP ها برای تخریب آلاینده‌های دارویی

مراجع	نوع AOPs، نوع دارو و یافته‌های مهم
Almomani et al. (2016)	نوع AOP: ازن زنی. نوع دارو: داروهای استروئیدی و غیراستروئیدی، آنتی‌بیوتیک‌ها، تنظیم‌کننده چربی و ضدالتهابی. یافته‌های مهم: دوزهای ویژه ازن در محدوده ۰/۸۲ تا ۲/۵ mg منجر به حذف بیش از ۹۹٪ از کربن آلی محلول در داروهای مورد مطالعه شد. میزان سمیت برای محلول‌های آبی داروهای اسیدی در دوز ویژه ازن ۲/۲۴ mg به دلیل تشکیل محصولات جانبی سمی افزایش یافت.
Trovo et al. (2011)	نوع AOP: فوتون و فتوفنتون. نوع دارو: آموکسی‌سیلین. یافته‌های مهم: اکسیداسیون کامل و سریع آموکسی‌سیلین در حضور کمپلکس پتاسیم فری‌اگزالات پس از ۵ دقیقه در حالی‌که برای سولفات آهن در حضور نور شبیه‌سازی شده خورشید برای اکسیداسیون کامل نیاز به ۱۵ دقیقه زمان بود.
Michael et al. (2012)	نوع AOP: فتوفنتون خورشیدی. نوع دارو: افلوکساسین - متوپریم. یافته‌های مهم: مقایسه فرآیند فتوفنتون در pH های اسیدی و خنثی نشان داد که تخریب کامل افلوکساسین و متوپریم در pH اسیدی به‌طور کامل اتفاق می‌افتد گرچه سرعت آن پایین است.
De Bel et al. (2011)	نوع AOP: سونولیز. نوع دارو: سیپروفلوکساسین. یافته‌های مهم: تخریب کامل سیپروفلوکساسین در فرکانس ۵۴۴ کیلوهرتز (دمای اتاق و pH خنثی) با نیمه‌عمر ۱۰۲ دقیقه اتفاق افتاد. اضافه کردن غلظت‌های متفاوتی از ترشیوبوتیل الکل به‌عنوان بازدارنده رادیکال هیدروکسیل نشان داد که نقش اصلی در تخریب را رادیکال‌های هیدروکسیل بازی می‌کنند.
Jung et al. (2012)	نوع AOP: UV/H ₂ O ₂ . نوع دارو: آموکسی‌سیلین. یافته‌های مهم: تخریب ۱۰۰ میکرومولار از آموکسی‌سیلین با استفاده از UV و UV/H ₂ O ₂ با فشار کم از لامپ جیوه (۲۵۴ nm) نشان داد که تخریب از سینتیک درجه اول پیروی می‌کند و با افزودن H ₂ O ₂ افزایش می‌یابد.
Kakavandi et al., (2016)	نوع AOP: فوتون-UV. نوع دارو: تتراسایکلین. یافته‌های مهم: با استفاده از طراحی آزمایش و به‌کارگیری Fe ₃ O ₄ @C در این فرآیند مشخص شد تحت شرایط بهینه و بعد از زمان واکنش ۷۹/۴۴ min، ۷۹٪ از تتراسایکلین تخریب می‌شود. فرآیند تخریب از یک مدل سینتیکی شبه درجه اول با ضریب همبستگی بالا پیروی می‌کند. کل کربن آلی نیز در این فرآیند بعد از زمان ۱۲۰ min به مقدار ۴۳٪ رسید.
(Dehghan et al. (2018)	نوع AOP: ZnO@Fe ₃ O ₄ /US. نوع دارو: آموکسی‌سیلین. یافته‌های مهم: مقایسه دو فرآیند US و ZnO@Fe ₃ O ₄ /US نشان داد که حضور کاتالیست ZnO@Fe ₃ O ₄ در فرآیند راندمان حذف را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد به‌طوری‌که در شرایط بهینه و زمان واکنش ۱۲۰ min به ۹۰٪ می‌رسد. با استفاده از بازدارنده‌های رادیکال مشخص شد که رادیکال‌های هیدروکسیل ایفاگر نقش اصلی در فرآیند سونوکاتالیست برای تخریب آموکسی‌سیلین هستند.
Jaafarzadeh et al. (2015)	نوع AOP: فوتون- کاتالیزگر ناهمگن. نوع دارو: تتراسایکلین. یافته‌های مهم: درصد حذف تتراسایکلین و TOC بعد از چهار دوره استفاده از کاتالیست ناهمگن، پودر کربن فعال Fe ₃ O ₄ / pH=۳ و بعد از زمان ۱۸۰ min به ۹۴/۵ mg.L ⁻¹ و ۳۲/۳ رسید. این نتایج نشان‌دهنده قابلیت استفاده مجدد از کاتالیست ناهمگن ذکر شده در فرآیند فوتون بدون از دست‌دادن سطح فعال آن است.



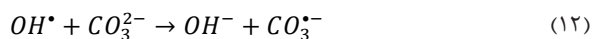
شکل ۱- تصویری از مکانیسم واکنش اولفین‌ها با ازن (Gottschalk et al., 2009)

۲-۲- واکنش غیرمستقیم

واکنش غیرمستقیم شامل واکنش رادیکال‌ها با آلاینده‌ها است. در مرحله اول ازن به واسطه آغازگرهایی مثل یون هیدروکسید تخریب شده و در مرحله دوم اکسیدان‌هایی مانند رادیکال هیدروکسیل شکل می‌گیرند که آن‌ها به‌طور غیرمستقیم و بلافاصله با اجزای محلول وارد واکنش می‌شوند. مکانیسم واکنش در این روش می‌تواند به سه بخش آغازین، زنجیره تشکیل رادیکال و

حمله رادیکال‌های حاصل از شکست مولکول ازن (هیدروکسیل و ازنید) توسط بازدارنده‌هایی نظیر بیکربنات، کربنات، فسفات، گروه آلکلی و ترشیو بوتیل الکل مهار شوند ازن زنی با مکانیسم مستقیم مهم خواهد شد. بنابراین، ترکیبات آلی و معدنی در واکنش‌هایی که در مسیر مستقیم انجام پذیرند نقش مهمی دارند (Gottschalk et al., 2009).

متوقف کند.



۳- روش های تولید ازن

ازن دگرشکل اکسیژن است که دارای چگالی ۱٫۵ برابر اکسیژن و حلالیت آن در آب نسبت به اکسیژن ۱۲ برابر بیشتر است. با این وجود، دارای نیمه عمر بسیار کوتاهی است و باید در محل، تولید و مصرف شود. تخلیه کرونا، فتوشیمیایی و الکتروشیمیایی سه تکنولوژی متداول برای تولید ازن است. در فرآیند تخلیه کرونا، یک ولتاژ متناوب بالا بین دو الکترود اعمال شده و هوای خشک یا اکسیژن از بین الکترودها عبور داده می شود. در نتیجه مولکول اکسیژن به اتم های اکسیژن با واکنش پذیری بسیار بالا تجزیه می شوند سپس مونواکسیژن ایجاد شده با مولکول اکسیژن وارد واکنش شده و ازن تولید می شود. این روش نیازمند نیروی الکتریکی بالایی برای تولید ازن است. از طرفی اگر ورودی برای تامین اکسیژن، هوا باشد باعث تولید محصولات جانبی NO_x می شود (Wang et al. 2006). در روش فتوشیمیایی با تاباندن نور UV مولکول اکسیژن انرژی الکترومغناطیسی را جذب کرده و به دو رادیکال اکسیژن تبدیل می شود. سپس مولکول اکسیژن با رادیکال اکسیژن ترکیب شده و مولکول ازن شکل می گیرد. از لحاظ تئوری، تولید ازن توسط نور تابش شده در طول موج کوتاه تر از ۲۴۲ nm، دارای بازده کوانتومی ۲ است. زیرا هر فوتونی که توسط یک مولکول اکسیژن جذب شده است، دو رادیکال اکسیژن را تولید خواهد کرد، که هر یک از رادیکال های تولید شده یک مولکول ازن تولید می کنند (Kim et al. 2004).

غلظت ازن تولید شده از روش تخلیه کرونا یا فرآیند فتوشیمیایی پایین است. بنابراین استفاده از ازن در فرآیندهای شیمیایی که نیاز به غلظت بالای ازن است (مانند حذف و تجزیه آلاینده ها) را با محدودیت مواجه می سازد. این مشکل سبب شد تا بسیاری از محققان به فکر تولید ازن با روش دیگری باشند. Stucki et al. (1987) یک راکتور الکتروشیمیایی برای تولید ازن الکتروشیمیایی^۶ (EOP) که می توانست بازده تولید ازن را در مقایسه با روش های قبلی تا ۲۰٪ افزایش دهد، ارائه دادند.

اختتام تقسیم بندی شود (Gottschalk et al., 2009).

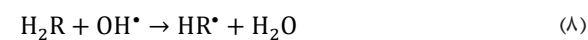
در مرحله آغازین واکنش بین یون های هیدروکسید و ازن منجر به شکل گیری یک رادیکال آنیونی سوپراکسید و یک رادیکال هیدروپروکسیل می شود. رادیکال هیدروپروکسیل با یک اسید-باز در تعادل است (روابط (۱) و (۲)).



در ادامه، زنجیره تشکیل رادیکال از طریق واکنش بین ازن و رادیکال آنیونی سوپراکسید آغاز و رادیکال آنیونی ازنید بلافاصله به رادیکال هیدروکسیل تجزیه می شود. طبق روابط (۶) و (۷) رادیکال هیدروکسیل با ازن وارد واکنش می شود.



با تخریب $HO_4^{\bullet}$ به اکسیژن و رادیکال هیدروپروکسیل واکنش زنجیره ای می تواند دوباره شروع شود. در این صورت مولکول های آلی (R) می توانند به عنوان تقویت کننده زنجیره عمل کنند، به طوری که بعضی از گروه های عاملی که با رادیکال هیدروکسیل واکنش داده و رادیکال های آلی $R^{\bullet}$ را تشکیل می دهند. اگر در محیط واکنش اکسیژن وجود داشته باشد رادیکال های پروکسی آلی می توانند طبق واکنش های (۹-۱۱) نیز شکل گیرند.

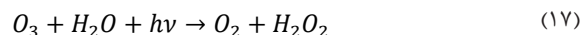


در مرحله اختتام، برخی از ترکیبات آلی و معدنی با رادیکال های هیدروکسیل وارد واکنش شده و رادیکال های ثانویه ای ایجاد می کنند که نهایتاً مانع تولید $HO_2^{\bullet}/O_2^{\bullet-}$ می شوند این بازدارنده ها معمولاً واکنش زنجیره ای را خنثی و مانع از تخریب ازن می شوند. علاوه بر این، واکنش دو رادیکال نیز می تواند واکنش زنجیره ای را

باتوجه به تکنولوژی‌هایی موجود در دهه ۸۰، and Goodwin, Foller (1984) به این نتیجه رسیدند که EOP دارای مزایای اقتصادی برای تولید ازن است. پیشرفت‌های بزرگ در EOP در دهه ۹۰ با ساخته شدن راکتور الکتروشیمیایی با استفاده از کاتدهای دیپولاریزه^۷ انجام گرفت. تولید ازن به روش الکتروشیمیایی مزیت‌های زیادی را نسبت به دو روش قبلی دارا است که از آن جمله می‌توان به تولید غلظت بالای ازن در محل بدون تولید محصولات جانبی و آلاینده‌های ثانویه اشاره کرد (Cheng et al., 2013).

۴- فرآیندهای ترکیبی با ازن‌زنی

این فرآیندها باعث تولید رادیکال‌های هیدروکسیل کافی برای بهبود راندمان و کیفیت تصفیه آب می‌شوند. متداول‌ترین فرآیندهای آن، ازن/هیدروژن پراکسید، ازن/UV، ازن/فراصوت و ازن/کاتالیز هستند. در فرآیند ازن/هیدروژن پراکسید، واکنش‌های هیدروژن پراکسید با ازن زمانی رخ می‌دهد که آنیون‌های HO_2^- حضور داشته باشند. فرآیند UV/O_3 با فتولیز ازن شروع شده و تخریب ازن منجر به تولید هیدروژن پراکسید و $\text{OH}^\bullet$ می‌شود (واکنش‌های (۱۵-۱۸)). از طریق واکنش برگشتی (۱۹)، H^+ و HO_2^- تولید می‌شود. HO_2^- تولید شده با O_3 واکنش داده و $\text{OH}^\bullet$ را تولید می‌کند (واکنش‌های (۲۵-۲۱)). پس بر این اساس، دو مسیر اصلی برای تولید $\text{OH}^\bullet$ در فرآیند ترکیبی UV/O_3 وجود دارد که عبارتند از: ۱- فتولیز H_2O_2 (واکنش (۱۸)) ۲- تولید $\text{OH}^\bullet$ از طریق $\text{O}_3^\bullet$ (واکنش‌های (۲۰-۲۵)). (Šojić et al., 2012; Gottschalk et al., 2009).



فرآیند ترکیبی ازن/فراصوت مزایای زیادی نسبت به این که هر دو فرآیند به‌طور جداگانه انجام شود دارا است. یکی از مزایای اصلی آن انتقال جرم ازن برای واکنش با سوبسترا با استفاده از اثرات مکانیکی فراصوت است. حباب‌های کاویتاسیون از طریق فراصوت به راحتی می‌توانند تحت شرایط متعادل به مولکول اکسیژن و اکسیژن اتمی سه‌گانه تجزیه شوند. در نتیجه این سیستم ترکیبی، اکسایش آلاینده‌های آلی را افزایش می‌دهد. در ازن‌زنی کاتالیزوری همگن، اکسایش مولکول‌های آلی از طریق رادیکال‌های هیدروکسیل حاصل از تجزیه ازن توسط یون‌های فلزی موجود در محلول توده‌ای آغاز می‌شود که ممکن است بیشترین حمله مولکول‌های ازن روی کمپلکس‌هایی که بین یون‌های فلزی و مولکول‌های آلی شکل گرفته‌اند رخ دهد. در سیستم کاتالیزوری ناهمگن، برای اکسید فلزی و اکسید فلزات ساپورت کننده دو مکانیسم عمومی وجود دارد. ۱- جذب ازن و تجزیه بیشتر آن منجر به تولید ازن رادیکال‌های سطحی می‌شود که گونه‌های اکسیدکننده فعال هستند. ۲- جذب و تجزیه ازن به دلیل سایت‌های اسید لوویس منجر به افزایش تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود. با این وجود، بازهای لوویس قوی مانند فسفات‌ها و فلوریدها در آب از جذب ازن روی سایت‌های اسید لوویس جلوگیری می‌کنند. برای فلزاتی که روی ساپورت‌کننده‌ها قرار گرفته‌اند انتقال الکترون از فلز ساپورت شده به مولکول‌های ازن با تولید $\text{O}_3^\bullet$ و $\text{OH}^\bullet$ همراه است که با ترکیبات آلی بیشتری واکنش می‌دهند (Kasprzyk et al., 2003).

۵- فاکتورهای تاثیرگذار در حذف آلاینده‌های دارویی با استفاده از فرآیند ازن‌زنی

در فرآیند ازن‌زنی باید به بسیاری از مولفه‌ها نظیر نوع راکتور یا سیستمی که ازن‌زنی در آن انجام می‌شود، ژنراتور ازن و روش‌های آنالیز مورد استفاده برای اندازه‌گیری توجه شود. فاکتورهای تاثیرگذار در حذف آلاینده‌ها شامل pH محلول، غلظت ازن، زمان تماس و بسیاری از پارامترهای دیگر است که در جدول ۳ به آن‌ها اشاره می‌شود.

پس از تصفیه آب و فاضلاب آلوده به دارو با استفاده از فرآیند ازن‌زنی و AOPs برای بررسی تاثیرگذاری این فرآیندها در کیفیت آب تصفیه شده کمیت‌هایی نظیر مقدار کربن‌های آلی کل^۸، راندمان تخریب و حذف ترکیب مورد نظر،

جدول ۳- مطالعات انجام شده در حیطه حذف آلاینده‌های دارویی از آب با روش‌های ازن‌زنی

مراجع	توضیحات
Bing et al. (2017)	نوع دارو (ایبوپروفن، سولفامتوکسازول، فنیتوین، دیفن‌هیدرامین، دیکلوفناک سدیم آسیکلوویر)، نوع فرآیند ($O_3/V-Ti-Al_2O_3$)، شرایط آزمایش ($pH=7$)، زمان واکنش ۶۰-۰ min، غلظت کاتالیست: 10 mg.L^{-1} ، غلظت اولیه آلاینده: $1/5 \text{ g.L}^{-1}$ - از تجزیه کاتالیزوری ازن در سوسپانسیون کاتالیست براساس رزونانس پارامغناطیسی الکترون، اکسیژن اتمی و گونه‌های پراکسید ایجاد شده رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتری را تولید می‌کنند که منجر به معدنی شدن داروهای تست شده در محیط آبی از طریق اکسیداسیون سطحی واسطه‌های اسید آلی می‌شوند.
Quero et al. (2014)	نوع دارو (ایبوپروفن)، نوع فرآیند (ازن‌زنی)، شرایط آزمایش ($pH=7-9$)، زمان ماند هیدرولیکی ۲۰-۵ min، غلظت اولیه ازن: 3 g.N.m^{-3} ، غلظت اولیه آلاینده: 1 mg.L^{-1} - با توجه به شرایط آزمایش، pH و زمان ماند هیدرولیکی دو پارامتر مهم در تخریب ایبوپروفن بودند. با این‌حال، ترکیباتی واسطه‌ای که از تخریب ایبوپروفن بوجود می‌آمدند سمی‌تر از ترکیب اولیه بودند که برای رفع این مشکل می‌توان دوز ازن گازی را افزایش داد یا ازن را با سایر فرآیندها ترکیب کرد.
Yargeau and Danylo (2015)	نوع دارو (ایبوپروفن)، نوع فرآیند ($O_3, O_3 + \text{sonication } O_3 + H_2O_2$)، شرایط آزمایش ($pH=5,7,9$)، دما: $15,25,50 \text{ } ^\circ\text{C}$ ، غلظت هیدروژن پراکسید: $3,50, 8,16,24,40 \text{ mg.L}^{-1}$ ، غلظت اولیه آلاینده: 5 mg.L^{-1} توان اولتراسونیک: 5 W ، غلظت ازن: $8,12,16 \text{ mg.L}^{-1}$ - راندمان حذف ایبوپروفن و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) در سیستم ازن-هیدروژن پراکسید نسبت به ازن-فراصوت و ازن بیشتر بود به دلیل این که رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتری برای اکسایش در سیستم ازن-هیدروژن پراکسید در دسترس بود. همچنین در سیستم ازن-فراصوت، امواج فراصوت از طریق پدیده هم‌افزایی منجر به افزایش تماس و انتقال جرم ازن به محلول می‌شدند. با این‌وجود در هر سه سیستم پنج محصول جانبی شامل: ۴-ایزوبوتیل استوفون، اگزالیک اسید، ۴-اتیل بنزآلدئید، ۴-استیل بنزوتیک اسید و OXO-ایبوپروفن شکل گرفتند.
Betancur et al. (2016)	نوع دارو (ایبوپروفن)، نوع فرآیند ($MnO_2-CuO/V-Al_2O_3$) کاتالیست (O_3)، شرایط آزمایش ($pH: 5/6$)، دما: $23/6 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0/3$ ، زمان واکنش، ۳ L.min ⁻¹ : سرعت جریان گاز، 1 g.L^{-1} : دوز کاتالیست، $6,25 \times 10^{-5} \text{ M}$: غلظت اولیه ازن، $2/42 \times 10^{-5} \text{ M}$: غلظت اولیه ایبوپروفن، انجام آزمایش در یک راکتور شیشه‌ای نیمه پیوسته به حجم ۱۳ لیتر - راندمان حذف ایبوپروفن در غیاب و حضور کاتالیست به ترتیب از ۲۷ به ۵۵٪ رسید. به دلیل این که کاتالیست به عنوان یک جاذب عمل کرده و برهمکنش آن با ازن منجر به کاهش ازن و فلز (Cu-Mn) شد و در نتیجه رادیکال‌های هیدروکسیل و گونه‌های اکسیدکننده به وجود آمدند که منجر به معدنی‌سازی بیشتر ایبوپروفن و حذف TOC شدند.
Moreira et al. (2015)	نوع دارو (آموکسی‌سیلین، دیکلوفناک)، نوع فرآیند ($TiO_2 + UV/Vis + O_3$)، شرایط آزمایش (۲۰-۷۰ min): زمان واکنش، $0,5 \text{ g.L}^{-1}$: غلظت کاتالیست، $pH: 7$ - فرآیند ازن‌زنی فتوکاتالیستی منجر به شکستن مولکول آموکسی‌سیلین و دیکلوفناک موجود در آب به محصولات جانبی با وزن مولکولی پایین‌تر و معدنی‌سازی کامل این ترکیبات در آب شد. همچنین، هیچ محصول جانبی سمی بعد از این فرآیند در آب مشاهده نشد، در حالی که استفاده از این فرآیند برای تصفیه فاضلاب شهری گرچه منجر به حذف همه میکروآلاینده‌های شناسایی شده بود، اما اگزامیک اسید شناسایی شده به دلیل حضور اگرآ آنیون‌ها در مقابل اکسایش مقاوم بود.
Gonçalves et al. (2015)	نوع دارو (بزافیرات)، نوع فرآیند ($O_3, O_3 + CeO_2/MWCNT, O_3 + CeO_2/AC, O_3 + CeO_2$)، شرایط آزمایش ($pH: 4/4$)، زمان واکنش، ۲۰ ppm: غلظت اولیه بزافیرات، $0,14 \text{ g.L}^{-1}$: غلظت کاتالیست، 8 mg.L^{-1} : غلظت اولیه ازن - راندمان تخریب بزافیرات، حذف کل کربن آلی و شکل‌گیری محصولات جانبی در فرآیند ازن‌زنی در غیاب کاتالیست‌های: سریم/اکسید (CeO_2)، کربن فعال (AC)، و نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNT) و در حضور کاتالیست‌ها بیانگر این بود که در غیاب کاتالیست راندمان تخریب و حذف کل کربن آلی کمتر و محصولات جانبی سمی بیشتری شکل می‌گرفتند. اما در حضور کاتالیست‌ها و افزایش زمان واکنش، راندمان حذف، تخریب و شکل‌گیری محصولات جانبی بهبود پیدا کرد همچنین کاتالیست سریم اکسید در مقایسه با دو کاتالیست دیگر به دلیل تولید رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتر منجر به کاهش بالای ۹۰٪ کل کربن آلی و تولید محصولات جانبی زود تخریب‌پذیر شد.
Gonçalves et al. (2012)	نوع دارو (سولفامتوکسازول)، نوع فرآیند ($O_3 + MWCNT_s, O_3 + AC, O_3$)، شرایط آزمایش ($pH: 4/8$)، دما: $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ، زمان واکنش، 200 rpm : سرعت هم‌زدن، $150 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$: سرعت جریان، 50 ppm : غلظت اولیه سولفامتوکسازول، $0,14 \text{ g.L}^{-1}$: غلظت کاتالیست، 2 mM : غلظت اولیه ترت بوتانول - عملکرد نهایی ازن‌زنی و ازن‌زنی کاتالیستی در تخریب سولفامتوکسازول در یک سطح بود. اما تفاوتی که فرآیند کاتالیستی را برتر از ازن‌زنی می‌کرد حذف TOC بود. به طوری که در ترکیب ازن و کربن فعال به دلیل ساختار میکرو حفره‌ای که کربن فعال داشت درصد حذف با آن نسبت به نانولوله‌های کربنی چند دیواره بیشتر بود. حضور ترت بوتانول به عنوان بازدارنده رادیکال‌های هیدروکسیل منجر به کاهش سطحی محلول آبی و افزایش تماس بین ازن گازی و محلول آبی و در نتیجه افزایش انتقال جرم ازن شد و مسیر واکنش مستقیم ازن‌زنی را تقویت کرد. همچنین راندمان تخریب سولفامتوکسازول افزایش یافت. علاوه بر این، بیانگر مداخله رادیکال‌های هیدروکسیل در واکنش بود.

مراجع	توضیحات
Yin et al. (2016)	نوع دارو (سولفامتوکسازول)، نوع فرآیند ($O_3+Fe_3O_4$)، شرایط آزمایش (pH: ۵٫۷، $25^{\circ}C$ ، دما: 1.0 g.L^{-1} ، دوز کاتالیست، 50 mg.L^{-1} ، غلظت سولفامتوکسازول، 2 g.h^{-1} ، دوز اولیه ازن، ۵ min -۰: زمان واکنش) - به دلیل وابستگی قوی مولکول های ازن به سایت های خالی اسید لوئیس، نانوذرات مگنتیت (Fe_3O_4) سایت های اسید لوئیس بیشتری را برای افزایش فرآیند ردوکس در جذب و تخریب ازن ارائه می دهند که این منجر به تولید رادیکال های هیدروکسیل بیشتری برای تخریب سولفامتوکسازول می شود و در نتیجه راندمان حذف در حضور نانوذرات در مقایسه با ازن در غیاب نانوذرات بهبود پیدا می کند.
Gao et al. (2017)	نوع دارو (سولفامتوکسازول)، نوع فرآیند ($FMSO/O_3$)، شرایط آزمایش (pH: 7 ± 0.1 ، $25^{\circ}C$ ، دما: ۶۰ min -۰: زمان واکنش، $3/62 \text{ mg.min}^{-1}$ ، سرعت ازن، 500 mg.L^{-1} -۰: دوز ازن، $25/3 \text{ mg.L}^{-1}$ ، غلظت اولیه سولفامتوکسازول، 1000 mg.L^{-1} ، غلظت FMSO - برهم کنش کاتالیست با ازن در محلول آبی انتقال جرم ازن، جذب میزانی از ازن روی سطح کاتالیست و راندمان تبدیل ازن به رادیکال های هیدروکسیل را تسریع می بخشد که این موجب تخریب و نامحلول شدن سولفامتوکسازول در دوزهای پایین تر ازن نسبت به ازن زنی بدون کاتالیست می شود. علاوه بر این، مشخص شد که سرعت ازن و دمای واکنش دو پارامتری مهم است که روی حذف TOC تاثیر می گذارند.
Chen et al. (2016)	نوع دارو (دیکلوفناک)، نوع فرآیند ($O_3+Fe-MCM-41$)، شرایط آزمایش (pH: ۷، 298 K ، دما: 1 L.min^{-1} ، سرعت جریان اکسیژن، 20 mg.L^{-1} ، غلظت اولیه محلول دیکلوفناک، $1/4 \text{ L}$ ، حجم محلول دیکلوفناک، 1 g.L^{-1} ، غلظت کاتالیست، ۶۰ min -۰: زمان واکنش، 100 mg.L^{-1} ، دوز ازن، انجام آزمایش در یک راکتور به حجم $1/3$ لیتر، ارتفاع 500 میلی متر و صفحات شیشه ای با تخلخل 60 میلی متر) - تخریب ازن روی سطح کاتالیست Fe-MCM-41 منجر به تولید رادیکال های هیدروکسیل شده که رادیکال های ایجاد شده باعث بهبود تخریب دیکلوفناک و راندمان حذف کل کربن آلی در مقایسه با ازن زنی در غیاب کاتالیست شدند. علاوه بر این، سمیت و راندامان محصولات جانبی شکل گرفته در طول ازناسیون با افزایش زمان واکنش کاهش پیدا کرد.
Hansen et al. (2016)	نوع دارو (ایوپروفرن، ناپروکسن، مگنمیک اسید، دیکلوفناک، کلوفیریک اسید، جم فیروزیل، تری کلوسان، کتوپروفن)، نوع فرآیند (O_3)، شرایط آزمایش (pH: $9.7/7.5$ ، $25^{\circ}C$ ، دما: 18 mg.L^{-1} ، $7/3 \text{ DOC}$ ، $1/4 \text{ bar}$ = فشار، انجام آزمایش در راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک) - آزمایش انجام شده برای حذف 90% از داروها موجود در فاضلاب بیانگر این بود که با افزایش دوز ازن حذف ترکیبات به مقدار مورد نظر می رسد. اما به دلیل ساختار متفاوت داروها مقدار دوز ازن مورد نیاز نیز متفاوت بود، چرا که ازن تمایل دارد با ترکیباتی که دانسیته الکترونی بالاتری دارند واکنش دهد. همچنین بررسی پارامترها نشان داد که ازن زنی فاضلاب برای حذف میکروآلاینده ها وابسته به زمان تماس ازن و رادیکال ها هیدروکسیل شکل گرفته از واکنش ازن بوده که این خود وابسته به پارامترهای کیفی آب یعنی کربن آلی محلول (DOC) و pH است.
Moussavi et al. (2015)	نوع دارو (آموکسی سیلین)، نوع فرآیند (O_3/NAC ، O_3/SAC ، O_3)، شرایط آزمایش (pH: $2-10$ ، $25^{\circ}C$ ، دما: $150-25 \text{ mg.L}^{-1}$ ، غلظت کاتالیست، $1/6 \text{ g.min}^{-1}$ ، سرعت ازن، ۶۰ min -۰: زمان واکنش، انجام آزمایش در یک راکتور نیمه پیوسته با حجم کل 300 میلی لیتر) - حذف 100% آموکسی سیلین با افزایش پارامترهای pH، دز ازن و غلظت کاتالیست در فرآیند O_3/NAC ناشی از تولید رادیکال های اکسیدکننده بیشتر، نسبت به دو فرآیند دیگر به دست آمد که دلیل آن افزایش گروه های عاملی و سایت های اسید لوئیس روی سطح کاتالیست کربن فعال -آمونوم کلرید (NAC) بود.
Mashayekh et al. (2017)	نوع دارو (استامینوفن)، نوع فرآیند (O_3/MgO ، O_3)، شرایط آزمایش (pH: $5/4$ ، $30-10 \text{ min}$ ، زمان واکنش، $1/8 \text{ mgO}_3.\text{min}^{-1}$ ، سرعت ازن، 5 g.L^{-1} ، دوز کاتالیست (MgO)، 50 mg.L^{-1} ، غلظت استامینوفن) - فرآیند ازن/کاتالیست باعث بهبود تخریب داروی استامینوفن و معدنی سازی آن در مقایسه با ازن بدون کاتالیست شد که این به دلیل فعالیت کاتالیستی منیزیم/اکسید بود. به طوری که برهم کنش بین مولکول های ازن و گروه های عاملی بازی روی سطح نانوذرات اصلاح شده منیزیم/اکسید منجر به شکل گیری رادیکال های هیدروکسیل با واکنش پذیری بالا شد. نهایتاً در زمان واکنش 10 دقیقه، 99.3% از دارو تخریب و با افزایش زمان تا 30 دقیقه 94% آن معدنی سازی شد.
Liu et al. (2014)	نوع دارو (نورفلوکساسین، افلوکساسین، روکسیتروماکسین، آزیترومایسین)، نوع فرآیند (UV/O_3)، شرایط آزمایش (pH: $7/9$ ، $20^{\circ}C$ ، دمای واکنش، ۳۰ min، زمان واکنش، 1 L.min^{-1} ، سرعت جریان ازن، 4 mg.L^{-1} ، غلظت ازن، 600 g.L^{-1} ، غلظت آنتی بیوتیک ها) - نمونه انتخابی برای اکسایش از یک پساب واقعی گرفته شده بود. این پساب ابتدا از غشاء نافیلتراسیونی عبور داده شده و سپس کنسانتره به دست آمده از نافیلتراسیون با فرآیند تایش فرابنفش -ازن تصفیه شد. نهایتاً بعد از 10 دقیقه، 99% از آنتی بیوتیک های شناسایی شده به دلیل تولید گونه های اکسیدکننده قوی یعنی رادیکال های هیدروکسیل حذف شدند و میزان حذف اکسیژن خواهی شیمیایی و میزان سمیت به ترتیب به 40% و 58% رسید.
Márquez et al. (2014)	نوع دارو (اتنولول، هیدروکلروتیازید، افلوکساسین، تری متوپریم)، نوع فرآیند (تابش خورشید/ O_3)، شرایط آزمایش (pH: 7 ± 0.8 ، $30^{\circ}C$ ، دمای واکنش، ۹۰ min، زمان واکنش، 45 L.h^{-1} ، دبی حجمی گاز، 19 mg.L^{-1} ، غلظت ازن گازی، 20 mg.L^{-1} ، TOC: اولیه، $10-0.5 \text{ mg.L}^{-1}$ ، غلظت داروها، 250 mg.L^{-1} ، غلظت TiO_2) - با استفاده از فرآیند ازن زنی فتوکاتالیست خورشیدی 4 داروی شناسایی شده به طور کامل تخریب و راندمان معدنی سازی به 85% و میزان حذف سمیت به بالای 90% رسید.
Dai et al. (2014)	نوع دارو (آسپرین)، نوع فرآیند ($O_3+Fe_3O_4/SiO_2/CeO_2$)، شرایط آزمایش (۱۲۰ min، زمان واکنش) - راندمان حذف آسپرین در غیاب و حضور کاتالیست بعد از 60 دقیقه به ترتیب از $64/1$ به 81% و حذف TOC هم بعد از 120 دقیقه از $34/2$ به 44% افزایش یافت. مکانیسم واکنش نیز از سینتیک شبه درجه اول پیروی می کرد که ثابت سرعت در ازناسیون $3/2 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ و ازناسیون کاتالیستی $4/8 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ بود. حضور ترت بوتیل الکل به عنوان بازدارنده ی رادیکال هیدروکسیل تاثیری در راندمان تخریب نداشت که نشان دهنده عدم مداخله رادیکال ها در تخریب و تاییدی بر توسعه مکانیسم واکنش ازن زنی کاتالیستی از طریق واکنش های سطحی بود.

مراجع	توضیحات
Garoma et al. (2010)	نوع دارو (سولفادیازین، سولفامتیزول، سولفامتوکسازول، سولفاتیازول)، نوع فرآیند (O_3)، شرایط آزمایش (۱۰-۲: pH، ۱۸۰ s: زمان واکنش، $1/2 L \cdot min^{-1}$: سرعت جریان گاز ازن، $1000 g \cdot L^{-1}$: غلظت اولیه سولفونامیدها، $1-2/3-3/2 mg \cdot L^{-1}$: غلظت ازن ورودی) - با افزایش غلظت ازن و pH راندمان تخریب افزایش یافت به طوری که در غلظت $3/2 mg \cdot L^{-1}$ ، ۹۰٪ از سولفادیازین، ۹۵٪ از سولفامتیزول و سولفاتیازول و ۹۹٪ از سولفامتوکسازول تخریب شد. در pH های پایین ازن با مکانیسم مسقیم با ترکیبات واکنش می دهد. در pH های بالا رادیکال های هیدروکسیل ایجاد می شوند که سرعت واکنش پذیری آنها بیشتر از ازن است و منجر به افزایش تخریب در زمان کمتری می شود.
Qi et al. (2015)	نوع دارو (فناستین)، نوع فرآیند ($O_3/CuFe_2O_4$)، شرایط آزمایش (۷/۷۲: pH، ۲۰۰ min: زمان واکنش، $0/36-3/85 mg \cdot L^{-1}$: غلظت ازن، 3^1 : غلظت کاتالیست) - حضور کاتالیست در فرآیند ازن زنی باعث افزایش انتقال جرم ازن می شود که در این فرآیند سرعت حذف فناستین نسبت به غیاب کاتالیست بیشتر است گرچه عملکرد نهایی هر دو فرآیند در یک سطح است. اما تفاوتی که این دو فرآیند باهم دارند در میزان حذف TOC است که حذف TOC در فرآیند کاتالیستی، ۲ الی ۳ برابر نسبت به ازن زنی در غیاب کاتالیست بیشتر است.

روی حذف ۴۲ نوع ترکیب دارویی شناسایی شده در یک فاضلاب شهری در مقیاس پایلوت نشان داد که گرچه افزایش غلظت ازن منجر به کاهش غلظت داروها از فاضلاب می شود اما امکان تولید محصولات جانبی سمی مانند برومات ها وجود دارد. بنابراین آن ها برای کاهش غلظت سه داروی اگزازپام، استرون و متوپرولول که در غلظت غیرمجاز بعد از ازن زنی شناسایی شده بودند از سیستم بیولوژیکی استفاده کردند (Baresel et al., 2016). بنابراین غلظت ازن پارامتر بسیار مهمی است که هنگام ازن زنی باید به آن توجه شود. اما چگونگی تاثیر آن روی راندمان حذف بستگی به نوع و غلظت آلاینده دارد. زمان تماس ازن با آلاینده نیز می تواند یک پارامتر مهم در فرآیند ازن زنی باشد. برای بررسی چگونگی تاثیر این پارامتر در میزان تخریب و حذف آلاینده (Aghaeinejad-Meybodi et al., 2015) مطالعاتی را روی داروی ضد افسردگی فلوکستین انجام دادند. آن ها بیان کردند افزایش زمان تماس غلظت مولکول های ازن را در محلول افزایش داده و محلول آبی تقریباً با ازن اشباع خواهد شد. بنابراین، رادیکال های هیدروکسیل بیشتری شکل می گیرند و این منجر به افزایش راندمان حذف خواهد شد.

۶- اندازه گیری ازن

قرار گرفتن طولانی مدت در معرض ازن موجب مشکلات تنفسی و ریوی می شود و از آن جایی که غلظت ازن موجود در جو حدود $0/1 ppmv$ (قسمت در میلیون حجمی) است سازمان بهداشت و ایمنی ایالات متحده محدوده مجاز غلظت ازن را در فضای کاری $0/1 ppmv$ گزارش کرده است. بنابراین، غلظت ازن باقیمانده در آب در فرآیند ازن زنی باید کنترل شود. از روش های مختلفی برای

میزان معدنی سازی آلاینده ها و میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی اندازه گیری خواهند شد (Clesceri et al., 1996). معمولاً در pH بازی به دلیل وجود یون های هیدروکسیدی که با مولکول ازن واکنش داده و رادیکال های هیدروکسیل تولید می کنند، راندمان حذف بالاتر است. برای مثال، برای حذف آموکسی سیلین از آب مطالعات نشان داد در شرایط بازی به دلیل افزایش ثابت سرعت و تولید رادیکال های هیدروکسیلی که به مولکول آموکسی سیلین حمله کرده و موجب تخریب آن شده اند، راندمان حذف به حداکثر مقدار خود می رسد (Kıdak and Doğan, 2017).

تحقیقات انجام شده توسط Baresel et al. (2016) روی حذف ۴۲ نوع ترکیب دارویی شناسایی شده در یک فاضلاب شهری در مقیاس پایلوت نشان داد که گرچه افزایش غلظت ازن منجر به کاهش غلظت داروها از فاضلاب می شود، اما امکان تولید محصولات جانبی سمی مانند برمات ها وجود دارد. علاوه بر این، تغییرات فصلی هم در حذف داروها با این روش بی تاثیر نبود، به طوری که در فصل تابستان نسبت به بهار و پاییز به دلیل فعالیت میکروبی راندمان حذف بالاتر بود. سپس آن ها از ترکیب سیستم بیولوژیکی و ازن زنی استفاده شد و فاضلاب خروجی از سیستم بیولوژیکی قبل از تخلیه به منابع آب های طبیعی وارد سیستم ازن زنی با غلظت های متفاوت ۳، ۵ و ۸ ppm شد. در نهایت بالاترین راندمان حذف در غلظت ۸ ppm به دست آمد، به طوری که در این غلظت، ایبوپروفن، فنوپروفن کتوپروفن و ناپروکسن به طور کامل حذف و بزافیرات در غلظت بسیار پایین در حدود میکروگرم در لیتر در فاضلاب باقی ماند (Choi et al., 2012).

همچنین تحقیقات انجام شده توسط Baresel et al. (2016)

اندازه‌گیری ازن در فاز مایع استفاده می‌شود که در جدول ۴ به برخی از این روش‌ها اشاره شده است (Gottschalk et al., 2009).

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش‌های اکسایش پیشرفته با تاکید بر ازن‌زنی در حذف آلاینده‌های دارویی از آب و پساب مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند ازن‌زنی به علت قدرت بالا اکسایش می‌تواند به طور مستقیم و یا غیر مستقیم با آلاینده‌های دارویی که در غلظت بسیار کم در آب و فاضلاب موجود هستند واکنش داده و منجر به تخریب و حذف آن‌ها شود. با این حال راندمان حذف و تخریب به عوامل و پارامترهای مختلفی چون، نوع دارو و ویژگی‌های آن (مشخصات شیمیایی، فیزیکی و ساختاری)، دوز ازن، pH محلول، دما، زمان تماس آلاینده با ازن و غلظت آلاینده بستگی دارد. بررسی پژوهش‌های مختلف نشان داد که فرآیند ازن‌زنی به تنهایی در حذف کامل برخی از آلاینده‌های دارویی نظیر آسپرین (۶۴٪) و ایبوپروفن (۲۷٪) ناتوان بوده و یا هنگام تخریب داروهای مثل ایبوپروفن منجر به ایجاد محصولات ثانویه‌ای شده که از خود ترکیب اصلی خطرناک‌تر و سمی‌تر هستند. علاوه بر این، توانایی کاهش TOC و COD را به‌طور کامل ندارد. بنابراین لازم به افزایش دوز ازن یا ترکیب آن با سایر فرآیندها نظیر انواع

کاتالیست‌ها، تابش فرابنفش، اولتراسونیک و فتوفنتون خورشیدی برای بهبود درصد حذف، کاهش TOC و COD است، به‌طوری‌که ترکیب ازن با کاتالیست‌های مختلف درصد حذف داروهای نظیر ایبوپروفن (از ۲۷ به ۵۵٪)، آموکسی سیلین (۱۰۰٪)، بزافیرات (۱۰۰٪) و آسپرین (از ۶۴ به ۸۱٪) را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، ترکیب آن با UV منجر کاهش COD (۴۰٪)، کاهش سمیت (۵۸٪) و حذف ۹۹٪ از آنتی‌بیوتیک‌های نظیر نورفلوکساسین، افلوکساسین، روکسیترومایسین و آزیترومایسین می‌شود. بنابراین استفاده از فرایندهای ترکیبی ازن به‌عنوان یکی از روش‌های اکسایش پیشرفته در کاهش موثر غلظت آلاینده‌های دارویی از آب و پساب توصیه می‌شود.

۸- پی‌نوشت‌ها

- 1- Food and Drug Administration (FDA)
- 2- Not Detected (ND)
- 3- Limit Of Quantification (LOQ)
- 4- Advanced Oxidation Processes (AOPs)
- 5- Criegee
- 6- Electrochemical ozone production
- 7- Depolarize
- 8- Total Organic Carbon (TOC)
- 9- Mineralization
- 10- Chemical Oxygen Demand (COD)

جدول ۴- روش‌های اندازه‌گیری ازن در فاز آبی (Gottschalk et al., 2009)

نوع روش	شرح روش
یدومتری	در این روش ازن، پتاسیم یدید موجود در محلول را اکسید کرده و ید را آزاد می‌نماید. در ادامه مقدار ید آزاد شده با تیتراسیون توسط سدیم تیوسولفات اندازه‌گیری می‌شود. یکی از مزایای این روش کم هزینه بودن آن است. وقت‌گیر بودن و اکسید کردن موادی که پتانسیل الکتروشیمیایی آنها بالاتر از $E=0.54\text{eV}$ از معایب این روش محسوب می‌شود.
اسپکتروفتومتر	حداکثر جذب ازن در طول موج 254 nm رخ می‌دهد که کاهش شدت جذب تابش فرابنفش از 254 nm نانومتر متناسب با غلظت ازن براساس قانون جذب بیر-لامبرت است. از مزایای این روش می‌توان به سادگی و امکان اندازه‌گیری مداوم با آن اشاره کرد. معایب این روش حضور آلاینده‌های آروماتیک در آب است که در طول موج‌های کمتر از 254 nm توسط اشعه ماورای بنفش جذب شده و باعث مداخله در اندازه‌گیری خواهند شد.
ایندیکو	با استفاده از این روش غلظت ازن در فاز آبی با رنگ‌زدایی تری‌سولفات ایندیکو تعیین می‌شود. واکنش بسیار سریع و انتخابی، کم‌هزینه بودن و عدم مداخله اکسیدان‌های ثانویه در طول اندازه‌گیری در ظرف ۴ تا ۶ ساعت از جمله مزایای این روش است.
الکتروود غشایی ازن ^{۱۴}	با این روش اندازه‌گیری ازن به‌صورت پیوسته و اتوماتیک در مایع امکان پذیر است. الکتروود غشا معمولاً شامل یک کاتد از جنس طلا، یک آند از جنس نقره، یک الکترولیت (برای مثال، K_2SO_4 ، AgBr ، KBr) و غشای تفلونی است. در آند نقره اکسید شده و الکترون‌ها تولید می‌شوند و در کاتد طلا ازن به اکسیژن کاهش می‌یابد. در نتیجه هدایت جریانی که اندازه‌گیری می‌شود متناسب با غلظت ازن خواهد بود.

- cal reduction of high-efficiency ozone generation through nitrogen-doped diamond-like carbon electrodes", *RSC Advances*, 3(17), 5917-5925.
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., and Eaton, A.D., (1996), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, APHA, AWWA and WPCF, Washington DC.
- Dai, Q., Wang, J., Yu, J., Chen, J., and Chen, J., (2014), "Catalytic ozonation for the degradation of acetylsalicylic acid in aqueous solution by magnetic CeO₂ nanometer catalyst particles", *Applied Catalysis B: Environmental*, 144(1), 686-693.
- Dehghan, S., Kakavandi, B., and Kalantary, R.R., (2018), "Heterogeneous sonocatalytic degradation of amoxicillin using ZnO@ Fe₃O₄ magnetic nanocomposite: Influential factors, reusability and mechanisms", *Journal of Molecular Liquids*, 264(15 Aug.), 98-109.
- Foller, PC., Goodwin, ML., (1984), "The electrochemical generation of high concentration ozone for small-scale applications", *Ozone: Science and Engineering*, 6(1), 29-36.
- Gao, G., Kang, J., Shen, J., Chen, Z., and Chu, W., (2017), "Heterogeneous catalytic ozonation of sulfamethoxazole in aqueous solution over composite iron-manganese silicate oxide", *Ozone: Science and Engineering*, 39(1), 24-32.
- García-Araya, J.F., Beltrán, F.J., and Aguinaco, A., (2010), "Diclofenac removal from water by ozone and photolytic TiO₂ catalysed processes", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(6), 798-804.
- Garoma, T., Umamaheshwar, S.K., and Mumper, A., (2010), "Removal of sulfadiazine, sulfamethizole, sulfamethoxazole, and sulfathiazole from aqueous solution by ozonation", *Chemosphere*, 79(8), 814-820.
- Gonçalves, A.G., Órfão, J.J., and Pereira, M.F.R., (2012), "Catalytic ozonation of sulphamethoxazole in the presence of carbon materials: Catalytic performance and reaction pathways", *Journal of Hazardous Materials*, 239(15 Nov.), 167-174.
- Gonçalves, A.G., Órfão, J.J., and Pereira, M.F.R., (2015), "Ozonation of bezafibrate over ceria and ceria supported on carbon materials", *Environmental Technology*, 36(6), 776-785.
- Gottschalk, C., Libra, J.A., and Saupe, A., (2009), *Ozonation of water and waste water: A practical guide to understanding ozone and its applications*, John Wiley & Sons.
- Hansen, K.M., Spiliotopoulou, A., Chhetri, R.K., Bester, K., and Andersen, H.R., (2016), "Ozonation for source treatment of pharmaceuticals in hospital wastewater", *Water Science and Technology*, 75(4), 296-301.
- Aghaeinejad-Meybodi, A., Ebadi, A., Shafiei, S., Khataee, A., and Rostampour, M., (2015) "Degradation of antidepressant drug fluoxetine in aqueous media by ozone/H₂O₂ system: pProcess optimization using central composite design", *Environmental Technology*, 36(12), 1477-1488.
- Almomani, F.A., Shawaqfeh, M., Bhosale, R.R., and Kumar, A., (2016) "Removal of emerging pharmaceuticals from wastewater by ozone-based advanced oxidation processes", *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 35(4), 982-995.
- Babaei, A.A., Lima, E.C., Takdastan, A., Alavi, N., Goudarzi, G., Vosoughi, M., Hassani, G., and Shirmardi, M., (2016), "Removal of tetracycline antibiotic from contaminated water media by multi-walled carbon nanotubes: operational variables, kinetics, and equilibrium studies", *Water Science and Technology*, 75(4), 296-301.
- Babaei, A.A., Ahmadi, K., Kazeminezhad, I., Alavi S.N., and Takdastan, A., (2016), "Synthesis and application of magnetic hydroxyapatite for removal of tetracycline from aqueous solutions", *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(136), 46-159.
- Baresel, C., Malmberg, J., Ek, M., and Sehlén, R., (2016) "Removal of pharmaceutical residues using ozonation as intermediate process step at Linköping WWTP, Sweden", *Water Science and Technology*, 73(8), 2017-2024.
- Betancur-Corredor, B., Soltan, J., and Peñuela, G.A., (2016), "Mineralization of ibuprofen and humic acid through catalytic ozonation", *Ozone: Science and Engineering*, 38(3), 203-210.
- Bing, J., Hu, C., and Zhang, L., (2017), "Enhanced mineralization of pharmaceuticals by surface oxidation over mesoporous γ -Ti-Al₂O₃ suspension with ozone", *Applied Catalysis B: Environmental*, 202, 118-126.
- Chen, J., Wei, X.D., Liu, Y.S., Ying, G.G., Liu, S.S., He, L.Y., Su, H.C., Hu, L.X., Chen, F.R., and Yang, Y.Q., (2016), "Removal of antibiotics and antibiotic resistance genes from domestic sewage by constructed wetlands: Optimization of wetland substrates and hydraulic loading", *Science of the Total Environment*, 565(15 Sep.), 240-248.
- Cheng, L.C., Hung, T.F., Lee, P.H., Lin, I.C., Wen, H.L., Lu, L.H., Chiu, C.L., Chen, S.C., Sung, J.C., Weng, B.J., and Liu, R.S., (2013), "Electrochemi-

- netics, ecotoxicity and phytotoxicity assessment and removal of antibiotic resistant enterococci", *Water Research*, 46(17), 5621-5634.
- Moreira, N.F., Orge, C.A., Ribeiro, A.R., Faria, J.L., Nunes, O.C., Pereira, M.F.R., and Silva, A.M., (2015), "Fast mineralization and detoxification of amoxicillin and diclofenac by photocatalytic ozonation and application to an urban wastewater", *Water Research*, 87(15 Dec.), 87-96.
- Moussavi, G., Alahabadi, A., and Yaghmaeian, K., (2015), "Investigating the potential of carbon activated with NH_4Cl for catalyzing the degradation and mineralization of antibiotics in ozonation process", *Chemical Engineering Research and Design*, 97(1), 91-99.
- Nghiem, L.D., Schäfer, A.I., and Elimelech, M., (2005), "Pharmaceutical retention mechanisms by nanofiltration membranes", *Environmental Science and Technology*, 39(19), 7698-7705.
- Nikolaou, A., Meric, S., and Fatta, D., (2007), "Occurrence patterns of pharmaceuticals in water and wastewater environments", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387(4), 1225-1234.
- Oppenländer, T., (2003), *Photochemical purification of water and air: Advanced oxidation processes (AOPs)-principles, reaction mechanisms, reactor concepts*, John Wiley & Sons.
- Pengphol, S., Uthaibutra, J., Arquero, O.A., Nomura, N., and Whangchai, K., (2012), "Oxidative degradation and detoxification of chlorpyrifos by ultrasonic and ozone treatments", *Journal of Agricultural Science*, 4(8), 164.
- Qi, F., Chu, W., and Xu, B., (2015), "Ozonation of phenacetin in associated with a magnetic catalyst CuFe_2O_4 : The reaction and transformation", *Chemical Engineering Journal*, 262(15 Feb.), 552-562.
- Quero-Pastor, M.J., Garrido-Perez, M.C., Acevedo, A., and Quiroga, J.M., (2014), "Ozonation of ibuprofen: A degradation and toxicity study", *Science of the Total Environment*, 466(1), 957-964.
- Schönbein, C.F., (1840), "Comptes Rendus Hebd. *Seances Academic Science*, 10, 706.
- Sharma, S., Buddhdev, J., Patel, M., and Ruparelia, J.P., (2013), "Studies on degradation of reactive red 135 dye in wastewater using ozone", *Procedia Engineering*, 51, 451-455.
- Silva, L.M.D., Santana, M.H., and Boodts, J.F., (2003), "Electrochemistry and green chemical processes: electrochemical ozone production", *Quimica Nova*, 26(6), 880-888.
- Šojić, D., Despotović, V., Orčić, D., Szabó, E., Arany, E., Armaković, S., Illés, E., Gajda-Schranz, K., Dombi, A., Alapi, T., and Sajben-Nagy, E., (2012), "tal wastewater-ozone lifetime and required ozone dose", *Chemical Engineering Journal*, 290(15 Apr.), 507-514.
- Hassani, G., Babaei, A.A., Takdastan, A., Shirmardi, M., Yousefian, F., and Mohammadi, M.J., (2016), "Occurrence and fate of 17β -estradiol in water resources and wastewater in Ahvaz, Iran", *Global Nest Journal*, 18(4), 855-866.
- Jaafarzadeh, N., Kakavandi, B., Takdastan, A., Kalantary, R.R., Azizi, M., and Jorfi, S., (2015), "Powder activated carbon/ Fe_3O_4 hybrid composite as a highly efficient heterogeneous catalyst for Fenton oxidation of tetracycline: degradation mechanism and kinetic", *RSC Advances*, 5(103), 84718-84728.
- Jung, Y.J., Kim, W.G., Yoon, Y., Kang, J.W., Hong, Y.M., and Kim, H.W., (2012), "Removal of amoxicillin by UV and $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ processes", *Science of the Total Environment*, 420(1), 160-167.
- Kakavandi, B., Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Azizi, M., Mirzaei, A., and Azari, A., (2016), "Application of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ catalyzing heterogeneous UV-Fenton system for tetracycline removal with a focus on optimization by a response surface method", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 314(1), 178-188.
- Kasprzyk-Hordern, B., Ziślek, M., and Nawrocki, J., (2003), "Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment", *Applied Catalysis B: Environmental*, 46(4), 639-669.
- Kıdak, R., and Doğan, Ş., (2018), "Medium-high frequency ultrasound and ozone based advanced oxidation for amoxicillin removal in water", *Ultrasonics Sonochemistry*, 40(1), 131-139.
- Kim, S.E., Yamada, H., and Tsuno, H., (2004). Evaluation of estrogenicity for 17β -estradiol decomposition during ozonation", *Ozone: Science and Engineering*, 26(6), 563-571.
- Liu, P., Zhang, H., Feng, Y., Yang, F., and Zhang, J., (2014), "Removal of trace antibiotics from wastewater: a systematic study of nanofiltration combined with ozone-based advanced oxidation processes", *Chemical Engineering Journal*, 240(15 Mar.), 211-220.
- Loeb, B.L., 2016. Water-Energy-Food Nexus Márquez, G., Rodríguez, E.M., Beltrán, F.J. and Álvarez, P.M., (2014), "Solar photocatalytic ozonation of a mixture of pharmaceutical compounds in water", *Chemosphere*, 113(1 Oct.), 71-78.
- Michael, I., Hapeshi, E., Michael, C., Varela, A.R., Kyriakou, S., Manaia, C.M., and Fatta-Kassinos, D., (2012), "Solar photo-Fenton process on the abatement of antibiotics at a pilot scale: Degradation ki-

- "Degradation of thiamethoxam and metoprolol by UV, O₃ and UV/O₃ hybrid processes: Kinetics, degradation intermediates and toxicity", *Journal of Hydrology*, 472, 314-327.
- Stucki, S., Baumann, H., Christen, H.J., and Kötzt, R., (1987), "Performance of a pressurized electrochemical ozone generator", *Journal of Applied Electrochemistry*, 17(4), 773-778.
- Takdastan, A., Mahvi, A.H., Lima, E.C., Shirmardi, M., Babaei, A.A., Goudarzi, G., Neisi, A., Heidari Farsani, M., and Vosoughi, M., (2016), "Preparation, characterization, and application of activated carbon from low-cost material for the adsorption of tetracycline antibiotic from aqueous solutions", *Water Science and Technology*, 74(10), 2349-2363.
- Trovo, A.G., Nogueira, R.F.P., Agüera, A., Fernandez-Alba, A.R., and Malato, S., (2011), "Degradation of the antibiotic amoxicillin by photo-Fenton process—chemical and toxicological assessment", *Water Research*, 45(3), 1394-1402.
- Wang, Y.H., Cheng, S., and Chan, K.Y., (2006), "Synthesis of ozone from air via a polymer-electrolyte-membrane cell with a doped tin oxide anode", *Green Chemistry*, 8(6), 568-572.
- World Health Organization, (2012), *Pharmaceuticals in drinking-water*, WHO, France.
- Yargeau, V., and Danylo, F., (2015), "Removal and transformation products of ibuprofen obtained during ozone-and ultrasound-based oxidative treatment", *Water Science and Technology*, 72(3), 491-500.
- Yin, R., Guo, W., Zhou, X., Zheng, H., Du, J., Wu, Q., Chang, J., and Ren, N., (2016), "Enhanced sulfamethoxazole ozonation by noble metal-free catalysis based on magnetic Fe₃O₄ nanoparticles: Catalytic performance and degradation mechanism", *RSC Advances*, 6(23), 19265-19270.

Water Quality Zonation Based on Chemical Analysis on Surface Water Supplies for Drinking, Agriculture and Industry in the Southeastern of Sistan and Baluchestan Province

Keyvan Soltani¹ and Mohammad Hossein Jahangir^{2*}

1- PhD Candidate in Civil Engineering, Water Engineering and Hydraulic Structures, Razi University, Kermanshah, Iran,

2- Assistant Professor, Department of Renewable Energies and Environmental Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding author, Email: mh.jahangir@ut.ac.ir

Received: 03/07/2018

Revised: 12/01/2019

Accepted: 19/01/2019

Abstract

In this study, the quality of surface water supplies in the southwestern region of Sistan and Baluchestan Province were evaluated for the purposes of drinking, industry and agriculture based on the results of chemical analysis. Firstly, the results of the analysis of surface waters from four selected stations were studied, then it prepared in GIS environment. In order to determine the quality of water for drinking, Ca, Mg, Na, TDS, TH, Cl, SO₄ and HCO₃ parameters are used and it was determined that the water of all stations was considered as inappropriate indicating hardness of the water in the area. Wilcox method is also utilized to determine the water quality in agricultural use. In the graph of this index, the horizontal axis index is water salinity in micro masses per centimeter and the vertical axis in relation to sodium absorption (SAR). Studies have also shown that the water of all stations is one of the classes C2-S1, C3-S1, C3-S2. During the statistical years it is considered to be agriculture. Also, in determining the quality of water for industrial use, the Langelier Saturation Index (LSI), which is in fact the difference between the actual pH of water and the saturated water content of calcium carbonate, was used and it was found that in all stations only three years of water for industrial use. It is in a state of equilibrium and in the rest of years it is a precipitating and corrosive state. Therefore, the conditions in this area for the construction of water related to industries are also inadequate. To monitor, control and manage the system, the qualitative results of the analysis is entered into the GIS environment and the surface water database of the southwestern region of Sistan and Baluchestan province was formed and in the first step, zoning of important water quality issues to support the correct decision of the face accepted.

Keywords: Agriculture, Drinking, Industry, Sistan and Baluchestan, Surface water, Water quality, Water resources management.

پهنه‌بندی کیفی منابع آب شهری، صنعتی و کشاورزی در منطقه جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان

کیوان سلطانی^۱ و محمد حسین جهانگیر^{۲*}

۱- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: mh.jahangir@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹

چکیده

در این پژوهش کیفیت آب‌های سطحی منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان از نظر شرب، صنعت و کشاورزی بر اساس نتایج تحلیل‌های شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا نتایج تحلیل آب‌های سطحی متعلق به ۴ ایستگاه بررسی و در محیط SIG بانک اطلاعاتی آن آماده‌سازی شد. در تعیین کیفیت آب برای مصارف شرب از پارامترهای Ca, Mg, Na, TDS, TH, Cl, SO₄ و HCO₃ استفاده و مشخص شد که آب تمامی ایستگاه‌ها از نظر مقدار کلسیم در منطقه نامناسب و کاملاً نامطلوب قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده سختی بالای آب در منطقه است. برای مشخص شدن کیفیت آب در مصارف کشاورزی از روش ویلکوکس استفاده شد. در نمودار این شاخص محور افقی به شوری آب بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص یافته است. بررسی‌ها نشان داد که آب تمامی ایستگاه‌ها جزو یکی از کلاس‌های C₂-S₁, C₃-S₁, C₃-S₂ در طی سال‌های آماری قرار گرفته و از نظر کشاورزی مناسب است. همچنین در تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی از شاخص اشباع لائزلیه (LSI) که در واقع تفاوت مابین pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم است استفاده شد. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد در کل ایستگاه‌ها تنها آب سه سال برای مصارف صنعتی در وضعیت متعادل قرار دارد و در بقیه سال‌ها حالت رسوب‌گذار و خورنده حاکم است. پس شرایط در این منطقه از نظر احداث صنایع مرتبط با آب نیز نامناسب است. برای پایش، کنترل و مدیریت سیستم، نتایج کیفی تحلیل‌ها در محیط GIS وارد شده و بانک اطلاعات آب‌های سطحی منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان تشکیل شد. سپس پهنه‌بندی موارد مهم در کیفیت آب برای پشتیبانی از تصمیم‌های صحیح صورت پذیرفت.

کلیدواژه‌ها: آب‌های سطحی، استان سیستان و بلوچستان، کیفیت آب، مدیریت منابع آب، مصارف شرب و کشاورزی و صنعتی

بر کیفیت آب دخیل هستند. یکی از عوامل بسیار مهم در این زمینه چرخه هیدرولوژیکی است که به طور مستقیم بر شبکه زهکشی آب و با آلودگی رسوبات، آب و... بر روی گیاهان و جانوران محلی تأثیر گذاشته و مشکلات عدیده‌ای را به وجود می‌آورد. برای آگاهی از کیفیت آب و کاربری مناسب آن در هر زمینه به تحقیقات و پایش مناسب منابع آبی موجود نیاز است که داشتن اطلاعات جامع، صحیح و قابل اطمینان با دوره‌های زمانی مناسب می‌تواند عامل مهمی در تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری‌های صحیح باشد (Mohebbi et al., 2013; Li et al., 2014; Nazeer et al., 2018). در این راستا مدل‌ها و روش‌های زیادی برای تعیین کیفیت آب برای مصارف گوناگون از جمله مصارف کشاورزی، شرب و صنعت بوجود آمده است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های ویلکوکس^۱، شولر^۲، پایپر^۳ و ... اشاره نمود. در این زمینه پژوهش‌هایی نیز انجام گرفته است (Mohebbi, Zhai, 2014; SCI, 2012; Seeboonruang, 2012; Nazeer, 2014; Li, 2014; 2013; زارعی و آخوندعلی (۱۳۸۵) روند کیفی و رخساره‌های هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی سعدابوالعباس (خوزستان) را در سال ۱۳۸۴ با نمودار ویلکوکس و پایپر بررسی نمودند. دیندارلو و همکاران (۱۳۸۵) در ارزیابی کیفیت شیمیایی آب شرب بندرعباس به این نتیجه رسیدند که میزان سولفات، کلرور، سدیم، سختی کل در منابع زیرزمینی از حداکثر مجاز و میزان نیتریت، TDS و کلسیم از حد مطلوب فراتر هستند. در مطالعه پورمقدس (۱۳۸۲) مشخص شد که به طور کلی آب‌های زیرزمینی شهرستان لنجان اصفهان جزء آب‌های بسیار سخت محسوب می‌شوند. شیروانی و همکاران (۱۳۹۴) آب زیرزمینی دشت صحرای باغ را از نظر کشاورزی و صنعت با استفاده از شاخص‌های ویلکوکس و لانژیبه مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج نشان داد کلسیم، پتاسیم و سدیم، کاتیون‌های غالب این آبخوان بودند. محتشمی و ناصری (۱۳۹۴) کیفیت آب در دشت درمیان اسد آبادی از سه جنبه کشاورزی، شرب و صنعت تحلیل نمودند که با ارزیابی نمودارهای ویلکاکس و شولر ترسیم شده در این نقاط، آب از نظر کشاورزی و شرب طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌ها نامناسب برای کشاورزی و شرب هستند. همچنین با استفاده از شاخص‌های لانژیله، خوردنگی و رسوب‌دهی مورد پایش قرارگرفت و مشخص شد که آب خاصیت خورنده و رسوب‌دهی داشته و برای مصارف صنعتی نامناسب است. کاوه‌کار و همکاران (۱۳۹۵) کیفیت آب را از نظر کشاورزی،

هر ساله ۸۴۲۰۰۰ انسان به علت در دسترس نبودن آب سالم و مصرف آب‌های آلوده جان خود را از دست می‌دهند (Clasen et al., 2014; Kayser et al., 2015). از سال ۱۹۷۰ تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت آب به یک چالش و نگرانی بزرگ تبدیل شده است (White, 1976; Rimer et al., 1978; Zhao et al., 2015). پس از آن محققان از سال ۱۹۹۰ شروع به تجزیه و تحلیل ارتباط کاربری اراضی با کیفیت آب‌ها نمودند (Johnson et al., 1997; Zhao et al., 2015). اخیراً با توسعه چشم‌انداز محیط‌زیست و تکنیک GIS مطالعات و بررسی‌های کیفیت آب شکل نوینی پیدا کرده و تأثیر کاربری اراضی و شرایط هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی بر کیفیت آب مورد توجه اساسی قرار گرفته است (Allan, 2004; Booth et al., 2004; Hathaway and Hunt, 2011; Ribolzi et al., 2011; Mari-ni et al., 2013; Tu, 2013). به طور کلی این باور پذیرفته شده است که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط‌های آبی می‌تواند منعکس کننده واقعی وضعیت سلامت یک اکوسیستم باشد (Zheng et al., 2014). مدیریت کیفیت آب برای اخذ استراتژی‌های مدیریتی منابع آب در حوزه آبخیز ضروری است (Ashton et al., 1995). آب‌های زیرزمینی به دلیل ارتباط هیدرولوژی با دیگر منابع آبی همواره در معرض آلودگی با روند تخریبی هستند (Appleton, 2002). دسترسی به آب آشامیدنی سالم همواره مورد نیاز حیات پایدار بشر بوده است. کیفیت آب از مهمترین عوامل مشخص‌کننده کاربری آن به منظور کاربرد، در مصارف مختلف است (Kayser et al., 2015). دسترسی به آب ناسالم و آلوده باعث بیماری‌ها و مشکلات عدیده‌ای می‌شود که آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و ... را به دنبال خواهد داشت. در این راستا آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی نحوه استفاده از آب در زمینه‌های کشاورزی، صنعت، شرب و ... است (Abtahi et al., 2015; Lobato et al., 2015; Zhang et al., 2018). روزبه‌روز کیفیت آب به دلیل فعالیت‌های انسان و ورود آلاینده‌های مختلف به آب تغییر نموده است که این امر بر زندگی بشر تأثیر داشته و کاربری آن را در بخش‌های گوناگون کشاورزی، صنعت و ... تغییر می‌دهد. عوامل مختلفی نظیر زمان، محیط و عوامل بیولوژیکی، فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در سیستم‌های طبیعی و ... بر فاکتورهای تأثیر انسان

مورد مطالعه پرداخته شده و روش انجام پژوهش ارائه شده است.

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

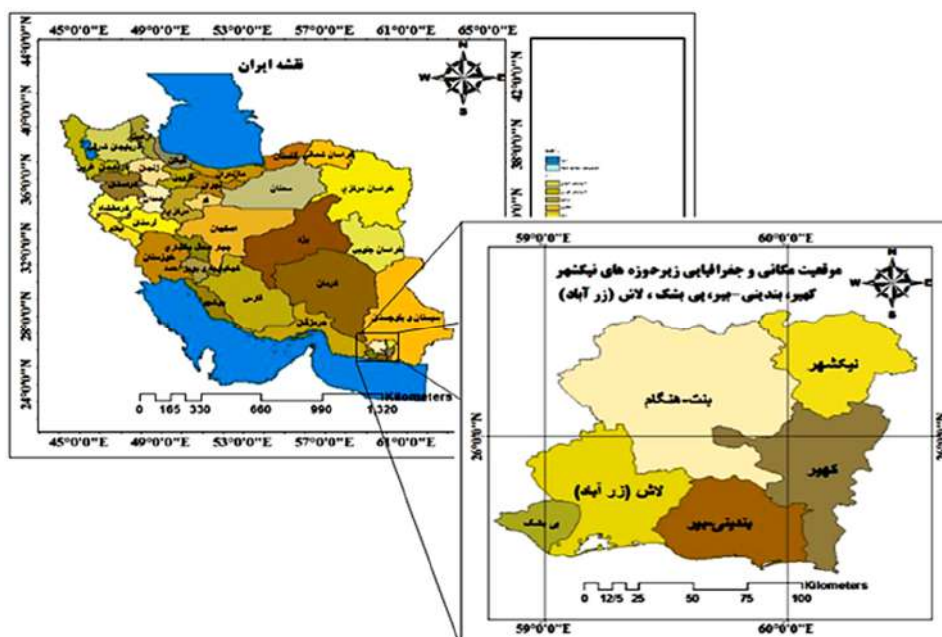
منطقه مورد مطالعه شامل زیرحوزه‌های پی‌بشک، لاش (زر آباد)، بنت-هنگام، بندینی-بیر، کهیر و نیک‌شهر است که در جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان قرار دارند. استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران با حدود ۱۸۰/۷۲۶ کیلومتر مربع وسعتی کمابیش اندازه کشور سوریه دارد و بیش از ۱۱ درصد وسعت ایران را دربر می‌گیرد. سیستان شامل زابل و شهرهای اطراف آن و بلوچستان دربرگیرنده بقیه شهرها از زاهدان تا چابهار است. در این منطقه با توجه به پایین بودن بارش و عدم وجود منابع برفی کوهستانی، اکثر جریان‌های رودخانه‌ای، موقتی و فصلی بوده و مهم‌ترین رودخانه این استان، هیرمند است. در شکل ۱ موقعیت مکانی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

به منظور بررسی کیفیت آب موجود در منطقه از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری موجود استفاده شد. در این منطقه ۴ ایستگاه هیدرومتری موجود است که برخی دارای آمار محدود و تا ۲ سال هستند. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. مشخصه‌های آماری ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در

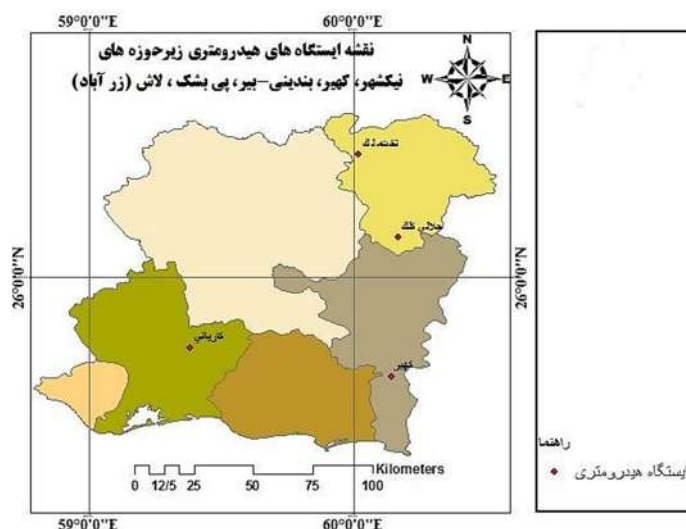
شرب و صنعت در حوزه آبخیز سلامت آباد مورد ارزیابی قرار دادند. دیاگرام ویلکوکس ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نشان داد که آب محدوده در کلاس C_4S_1 و C_2S_1 و C_3S_1 قرار داشته و لذا کیفیت آب از نظر کشاورزی در محدوده کمی شور تا خیلی شور قرار دارد. بررسی نمودار شولر در گزارش حاکی از آن است که نمونه آب تحلیل شده در محدوده خوب تا متوسط برای شرب قرار می‌گیرد. همچنین کیفیت آب از نظر سختی، سخت تا کاملاً سخت بوده و بررسی نمونه آب تحلیل شده برای مصارف صنعتی، رسوب‌گذار است. ساقی و همکاران (۱۳۹۲) پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی براساس شاخص ویلکاکس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به پراکنش نقاط در منحنی ویلکاکس می‌توان قضاوت کرد که وضعیت کیفی آب برای کشاورزی در کلاس خوب و متوسط قرار دارد، اما افزایش تدریجی آلاینده‌ها و کاهش کیفیت آب رودخانه در منطقه پایین‌دست و میانی، قابل توجه است.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های کیفی، کیفیت آب منطقه جنوب شرقی استان سیستان و بلوچستان در طی سال‌های آماری موجود مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه به معرفی منطقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در زیرحوزه‌های نی‌کشر، کهیر، بندینی-بیر، پی‌بشک و لاش (زرآباد)

طعم بوده و به‌لحاظ عناصر و مواد شیمیایی موجود در آن در محدوده مجاز که توسط سازمانهای بهداشتی تعیین شده است باشد. آب آشامیدنی باید دارای کیفیت مناسب از جنبه‌های مختلف باشد که می‌توان آن‌ها را در مجموع ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، سموم، باکتریولوژیکی و رادیولوژیکی مورد بررسی قرار داد. براساس نمودار شولر که برای طبقه‌بندی آب از لحاظ شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد یا، برحسب میزان غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در نمونه آب این دیاگرام، آب را در یکی از بازه‌های خوب، قابل‌قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطبوع و غیرقابل شرب طبقه‌بندی می‌کند. از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نیز می‌توان آب‌های مختلف برای شرب انسان را با اندازه‌گیری آنیون‌ها، کاتیون‌ها، TH و TDS با استفاده از دیاگرام شولر طبقه‌بندی کرد. به‌مقدار کل املاح محلول در آب اطلاق می‌شود که معمولاً برحسب میلی‌گرم بر لیتر بیان می‌شود. مقدار TDS و TH از مهم‌ترین پارامترها برای تعیین کیفیت آب شرب هستند. در واقع در نمودار شولر برای هر یک از مقادیر کاتیون‌ها (K, Na)

منطقه از جمله نام رودخانه، کد ایستگاه و نوع ایستگاه در جدول ۱ آمده است.

قبل از پرداختن به بحث کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه لازم است اطلاعات موجود از نظر آماری مورد بررسی قرار گیرد. برای این‌کار نمودار مربوط به پارامترهای آماری برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه رسم شد. نمودار مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها در ادامه ارائه شده است (شکل‌های ۳ تا ۶)

همان‌گونه که از نمودارها پیدا است بیشترین تغییرات در ایستگاه جلایی کلک اتفاق افتاده که این موضوع را می‌توان به‌دلیل کمبود آمار در منطقه دانست. پس از آن، ایستگاه کاربانی دارای بیشترین ضریب تغییرات و نوسانات پارامترهای آماری در بین سایر ایستگاه‌ها است. در ادامه کیفیت آب در مصارف مختلف بررسی می‌شود.

۲-۲- بررسی کیفیت آب ایستگاه‌ها برای مصارف شرب

به‌منظور بررسی قابلیت شرب آب رودخانه از نمودار نیمه لگاریتمی شولر استفاده شد. آب آشامیدنی باید فاقد رنگ، بو و

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه

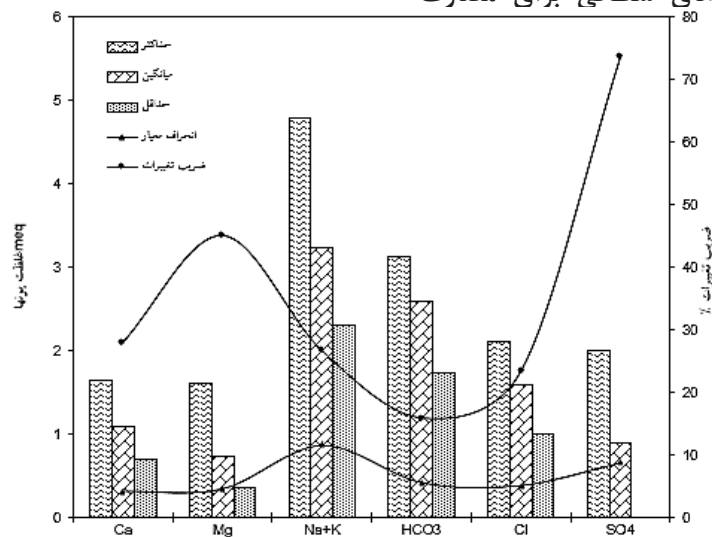
نام ایستگاه	نام رودخانه	کد ایستگاه	نوع ایستگاه
کاربانی	راپچ	۲۹۰۰۱	آب‌سنجی درجه یک
کهیر	کهیر	۲۹۰۰۵	آب‌سنجی درجه سه
جلایی کلک	نیک‌شهر	۲۹۰۵۱	آب‌سنجی درجه سه
تخت ملک	تنگ سرچه	۲۹۰۲۷	آب‌سنجی درجه سه

، Ca و Mg و آنیون ها (HCO_3 و SO_4 ، Cl) و نیز درجه سختی آب (TH) محور جداگانه‌ای در نظر گرفته شده که با تعیین آن‌ها در آزمایشگاه و اتصال نقاط متناظرشان روی این محورها می‌توان مطابق شکل‌های ۳ تا ۶ زیر به درجه تناسب آب برای شرب پی‌برد. (Booth et al., 2004; Marinoni et al., 2013; Kayser et al., 2015) لازم به ذکر است اطلاعات به کار رفته در این پژوهش از سازمان مدیریت منابع آب ایران تهیه شده است.

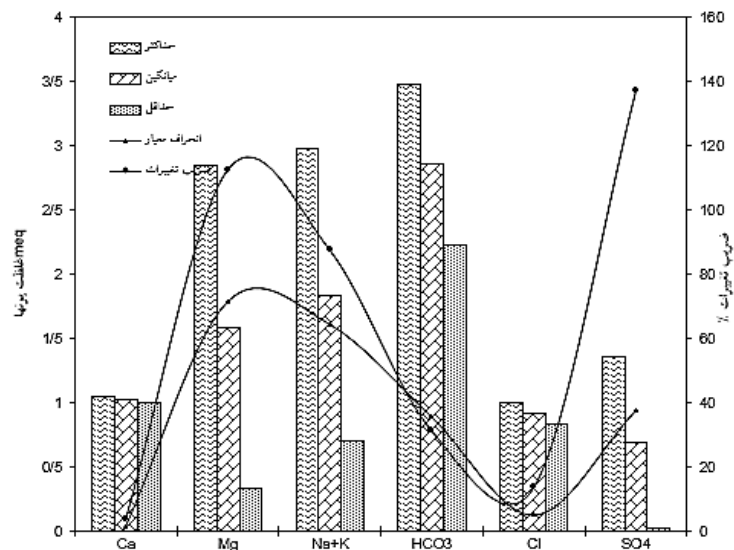
کشاورزی

برای بررسی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی از تحلیل ویلکوکس استفاده شد. مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری (هدایت الکتریکی) و مقدار سدیم موجود در آن است. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک را نیز مشخص می‌سازند. در نمودار ویلکوکس محور افقی به شوری آب برحسب میکروموس بر

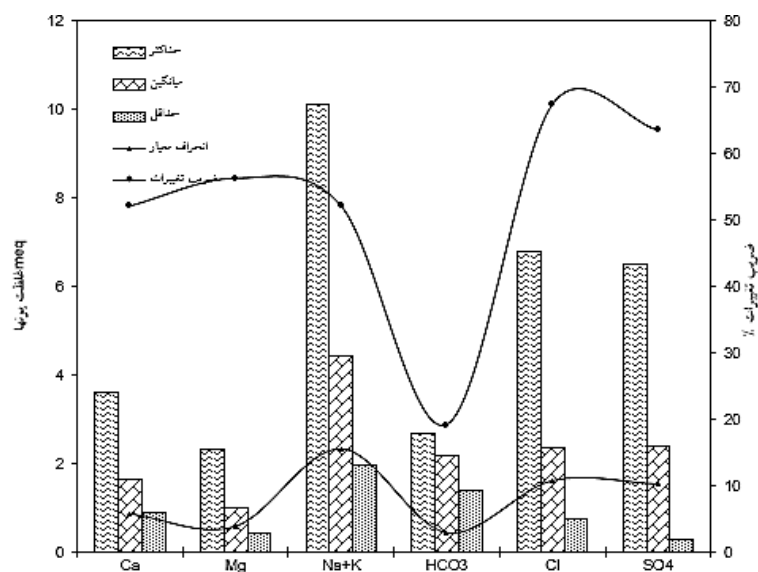
۳-۲- بررسی کیفیت آب‌های سطحی برای مصارف



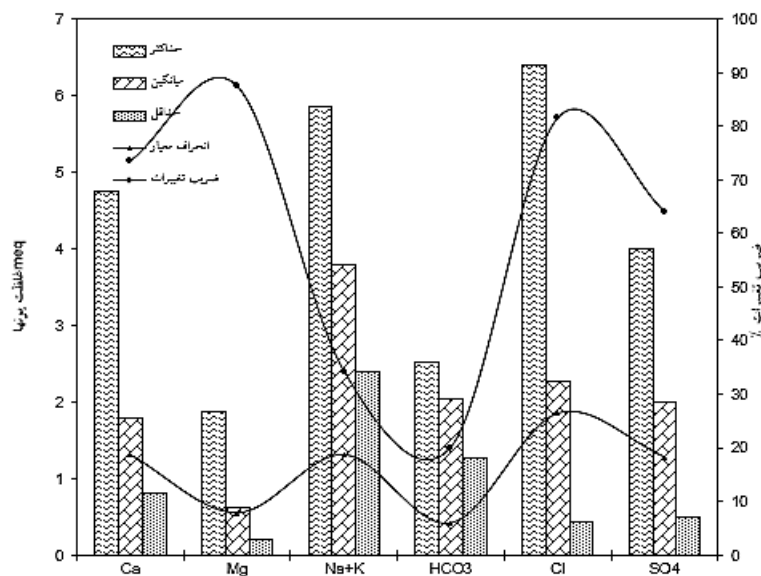
شکل ۳- نمودار شولر برای ایستگاه تخت ملک



شکل ۴- نمودار شولر برای ایستگاه جلایی کلک



شکل ۵- نمودار شولر برای ایستگاه کاربانی

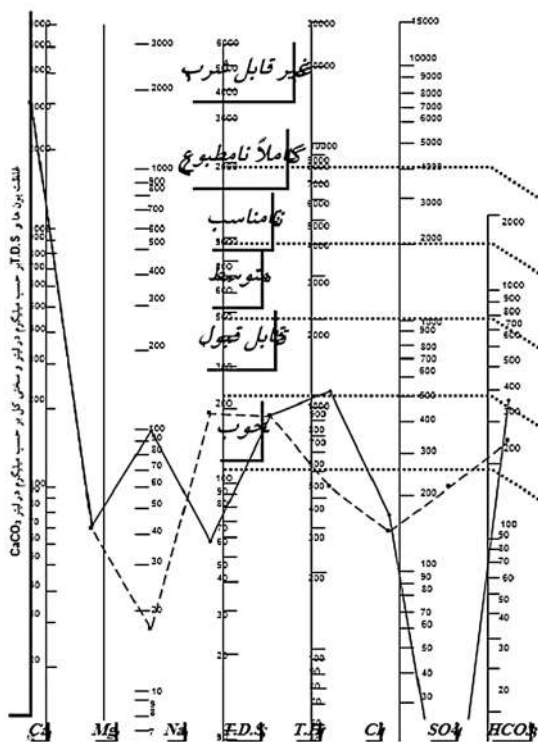


شکل ۶- نمودار شولر برای ایستگاه کهیر

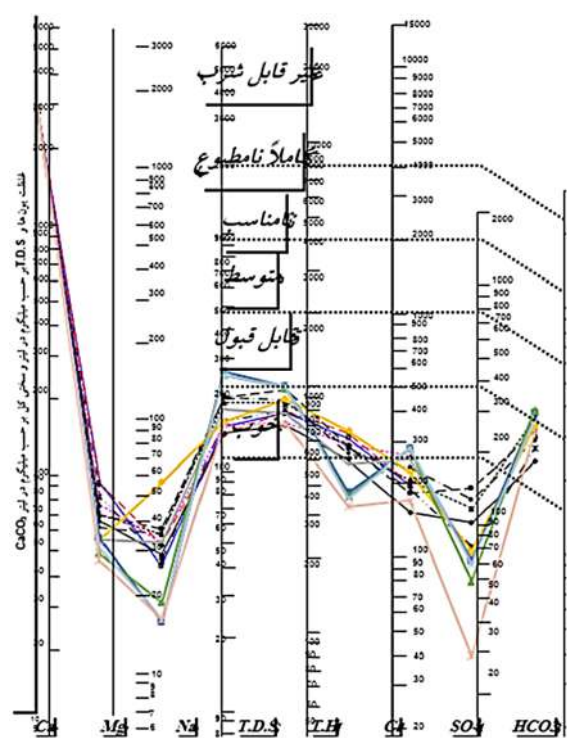
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{0.5 (Ca^{++} + Mg^{++})}} \quad (1)$$

کاربردترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در علم هیدرولوژی است. در این نمودار مختصات مربوط به هر آب در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که با حروف C از نظر شوری و S از نظر سدیم مشخص می‌شود. مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب

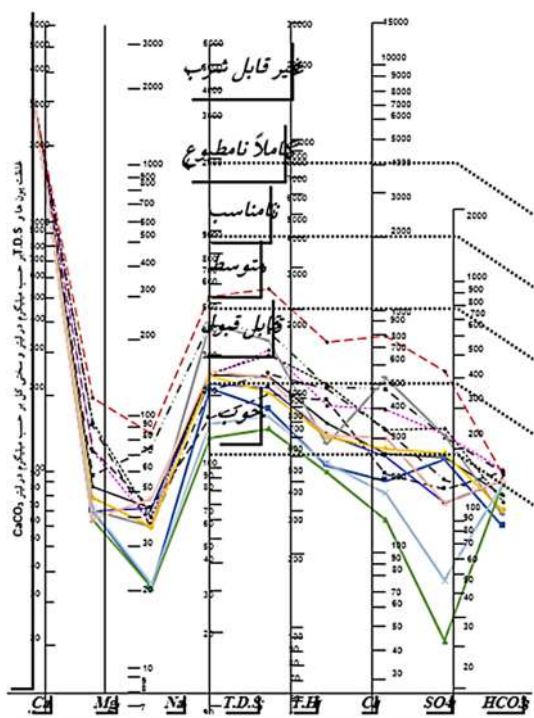
سانتی‌متر ($1.06 \times EC$) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد که نسبت جذب سدیم SAR از رابطه (۱) به دست می‌آید. در این رابطه سدیم، کلسیم و منیزیم برحسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر بیان می‌شود (White, 1976; Li et al., 2014; Abtahi et al., 2015). روش طبقه‌بندی ویلکوکس و استفاده از نمودار آن



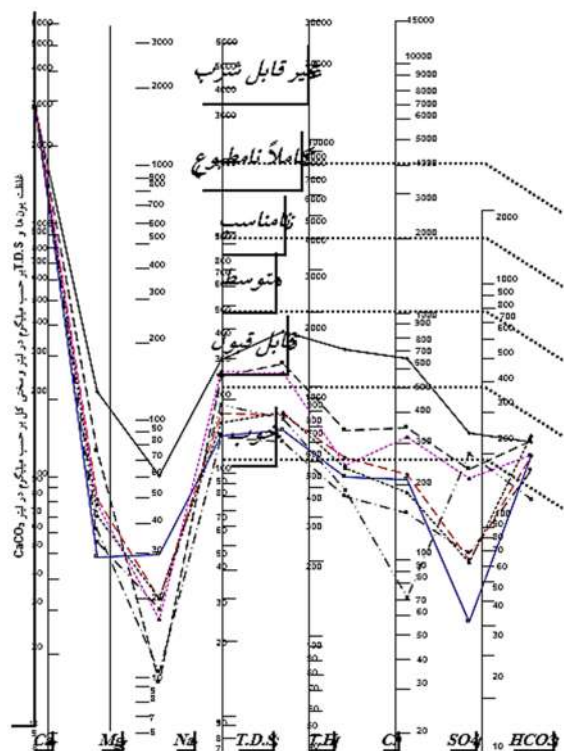
شکل ۴- نمودار شولر برای ایستگاه جلائی کلک



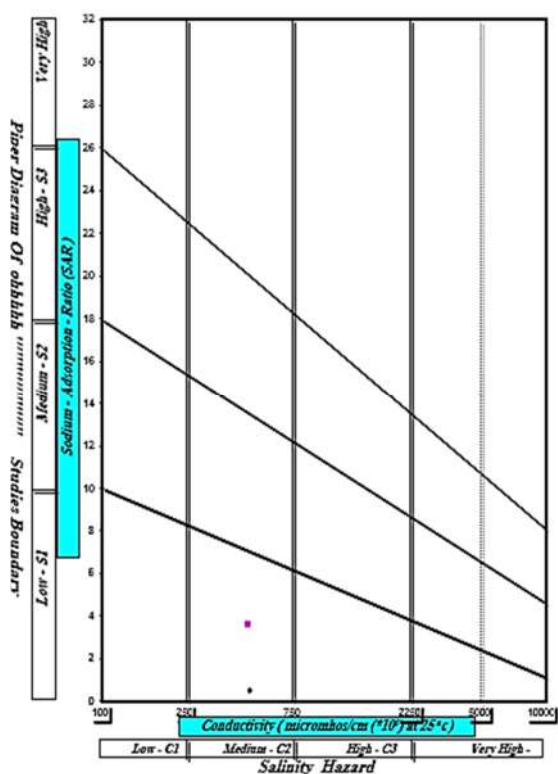
شکل ۳- نمودار شولر برای ایستگاه تخت ملک



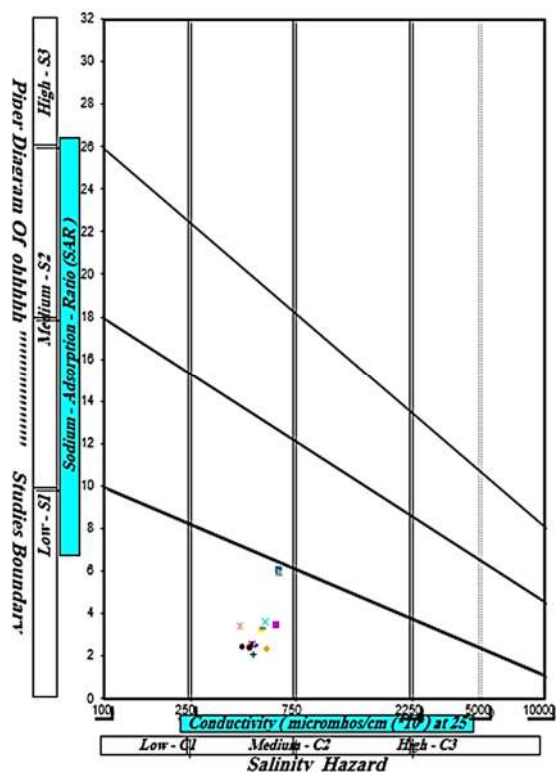
شکل ۶- نمودار شولر برای ایستگاه کهیر



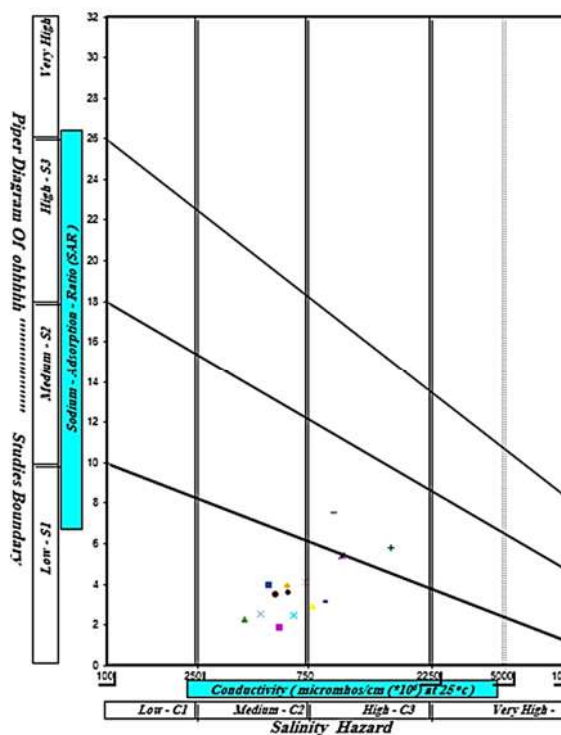
شکل ۵- نمودار شولر برای ایستگاه کاریانی



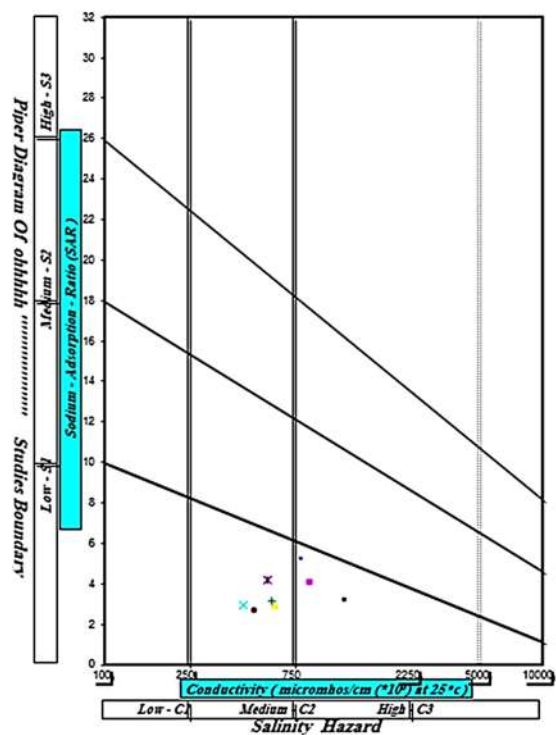
شکل ۸- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه جلایی کیک



شکل ۷- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه تخت ملک



شکل ۱۰- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه کهیر



شکل ۹- نمودار ویلکوکس برای ایستگاه کاربانی

نشان دهنده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. برطبق این طبقه‌بندی آب‌های خیلی خوب همگی دارای EC کمتر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر هستند. نمودار ویلکوکس تهیه شده برای تمامی ایستگاه‌ها در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ طبقه‌بندی شده است.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی ویلکوکس در جدول‌های ۲ تا ۷ طبقه‌بندی شده است. با توجه به کلاس به‌دست آمده تمامی سال‌ها در دسته کمی شور - مناسب برای کشاورزی قرار می‌گیرند. بر این اساس و بر طبق نمودار رسم شده برای بررسی کیفیت آب از نظر کشاورزی مشاهده می‌شود که طی سال‌های آماری در منطقه، کلاس آب برای ایستگاه تخت ملک و جلایی کلک C_2-S_1 ، ایستگاه کاریانی C_2-S_1 و C_3-S_1 ، ایستگاه کهیر C_2-S_1 ، C_3-S_1 و C_3-S_2 بوده و دارای شوری زیاد و یا خیلی زیاد و سدیم کم تا متوسط است (شکل ۶).

جدول ۲- درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی در ایستگاه تخت ملک

C ₂			
S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
۰	۰	۰	۱۰۰

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفی ویلکوکس برای مصرف کشاورزی در ایستگاه جلایی کلک

ردیف	سال	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱	۱۳۸۹	۰/۴۷	۴۶۲	C_2-S_1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۲	۱۳۹۰	۳/۶	۴۵۸/۵	C_2-S_1	کمی شور - مناسب برای کشاورزی

جدول ۴- درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی در ایستگاه کاریانی

C ₃				C ₂			
S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
۰	۰	۰	۳۷/۵	۰	۰	۰	۶۲/۵

تفسیر نتایج شاخص LSI به‌صورت زیر است:
 $LSI > 0$ ، پتانسیل تشکیل پوسته وجود ندارد و آب $CaCO_3$ را در خود حل می‌کند (خوردندگی)
 $LSI = 0$ ، حالت تعادل و عدم تمایل به رسوب‌گذاری و خوردگی
 $LSI < 0$ ، تمایل به تشکیل پوسته رسوب $CaCO_3$
 تجزیه و تحلیل انجام شده برای ۴ ایستگاه نمونه‌برداری شده

مواد جامد، درجه حرارت و pH آب ضروری است. کیفیت آب، تغییر درجه حرارت و یا تبخیر می‌تواند شاخص را تحت تاثیر قرار دهد. شاخص لانژیه در واقع تفاوت مابین pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم بوده و به‌عنوان شاخصی برای بیان مقدار خوردندگی و یا رسوب‌گذاری آب به‌کار می‌رود (Allan, 2004; Abtahi et al., 2015; Zhao et al., 2015).

جدول ۵- طبقه‌بندی کیفی ویلکوکس برای مصرف کشاورزی در ایستگاه کاربانی

سال	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱۳۶۰	۳/۱۵	۱۲۶۵	C ₃ -S ₁	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۱۳۶۱	۴/۱۱	۸۷۵	C ₃ -S ₁	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۱۳۶۶	۲/۹۹	۵۹۸	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۳۶۷	۲/۹۴	۴۲۸/۷۵	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۳۶۹	۴/۱۵	۵۶۲/۱۱۱	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۳۸۱	۲/۶۸	۴۹۰	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۳۸۲	۳/۱	۵۷۸	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۳۹۰	۵/۲۹	۷۸۷	C ₃ -S ₁	شور - قابل استفاده برای کشاورزی

جدول ۶- درصد هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی ویلکوکس برای مصارف کشاورزی برای ایستگاه کهیر

C ₃				C ₂			
S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
۰	۰	۱۴/۲۹	۲۱/۴۳	۰	۰	۰	۶۴/۲۹

جدول ۷- کیفیت آب از نظر کشاورزی برای ایستگاه کهیر در سال‌های آماری در دسترس

ردیف	سال	SAR	EC	کلاس آب	کیفیت آب برای کشاورزی
۱	۱۳۵۰	۳/۵۹	۶۰۵/۵	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۲	۱۳۵۱	۱/۸۸	۵۵۲	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۳	۱۳۵۳	۲/۹۴	۷۷۱/۲۵	C ₃ -S ₁	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۴	۱۳۵۴	۲/۴۷	۶۳۴/۵	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۵	۱۳۵۵	۵/۴۴	۱۰۲۶	C ₃ -S ₁	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۶	۱۳۵۶	۳/۵	۵۳۲	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۷	۱۳۶۰	۵/۸۱	۱۶۶۵	C ₃ -S ₂	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۸	۱۳۶۱	۳/۲۱	۸۶۵/۸۳	C ₃ -S ₁	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۹	۱۳۶۲	۷/۶	۹۴۵	C ₃ -S ₂	شور - قابل استفاده برای کشاورزی
۱۰	۱۳۶۳	۳/۸۹	۵۹۷/۵	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۱	۱۳۶۴	۳/۹۴	۴۹۴	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۲	۱۳۶۵	۲/۲۶	۳۹۰	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۳	۱۳۶۶	۲/۵۳	۴۵۶	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی
۱۴	۱۳۹۰	۴/۱	۷۱۰	C ₂ -S ₁	کمی شور - مناسب برای کشاورزی

جدول ۸- تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی در ایستگاه تخت ملک در طی سال‌های آماری

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۴۸	۵۲/۹	۲۱/۳۳۳	۱۱/۲۸	۸/۲	۸/۳۵	-۰/۱۵	رسوب‌گذار
۱۳۴۹	۸۰/۵	۲۳	۱۱/۲۹	۸	۸/۳۵	-۰/۳۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۰	۷۵/۴۴	۲۲/۸	۱۱/۲۸	۸	۸/۰۹	-۰/۰۹	رسوب‌گذار
۱۳۵۱	۸۱/۲۸	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۲	-۰/۱	رسوب‌گذار
۱۳۵۳	۶۱/۸۶۵	۲۷/۸	۱۱/۲۸	۸	۸/۲۵	-۰/۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۵۴	۵۹/۳۳۳	۳۲/۶۶۷	۱۱/۲۸	۸	۸/۲۳۳	-۰/۲۳۳	رسوب‌گذار
۱۳۵۵	۵۸/۶۱	۳۲	۱۱/۲۸	۸	۸/۲	-۰/۲	رسوب‌گذار
۱۳۷۷	۶۰/۰۲۱۷	۲۵/۶۶۷	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۳۲۸	-۰/۲۲۸۳	رسوب‌گذار
۱۳۷۸	۷۱/۸۱۲۵	۱۷/۵	۱۱/۲۸	۸/۲	۸/۵۱۳	-۰/۳۱۲۵	رسوب‌گذار
۱۳۸۵	۶۲/۲۶۳۳	۱۷/۳۳۳	۱۱/۲۸	۸/۲	۷/۷۵۷	۰/۴۴۳۳	رسوب‌گذار
۱۳۸۶	۱۱۰/۹۱۴	۱۷/۷۲۳	۱۱/۲۹	۸	۸/۰۹۱	-۰/۰۹۰۸	رسوب‌گذار
۱۳۸۷	۱۰۸/۴۷۸	۱۵	۱۱/۲۹	۸/۱	۷/۹۶۶	۰/۱۳۴۱۷	خورنده
۱۳۸۸	۱۰۶/۱۰۲	۱۶	۱۱/۲۹	۸/۱	۸/۰۳۳	۰/۰۶۷	خورنده
۱۳۹۰	۶۶/۹۱۵	۱۴	۱۱/۲۸	۸/۳	۸/۱	۰/۲	خورنده

جدول ۹- تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی در ایستگاه جلایی کلک در طی سال‌های آماری

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۸۹	۱۶/۷۴	۲۱	۱۱/۲۸	۸/۷	۷/۵۶	۱/۱۴	خورنده
۱۳۹۰	۶۹/۱۴۵	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۷/۷۱۸	۰/۳۸۲۵	خورنده

جدول ۱۰- تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی در ایستگاه کاریانی

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۶۰	۱۳۶/۷	۹۵	۱۱/۳	۷/۲	۸/۴	-۱/۲	رسوب‌گذار
۱۳۶۱	۱۱۰/۷۲	۵۰	۱۱/۳	۷/۶	۷/۶	۰	متعادل
۱۳۶۶	۷۰/۵۷۶	۲۵/۲	۱۱/۲۸	۸	۷/۹۴	۰/۰۶	خورنده
۱۳۶۷	۵۹/۷۱۷۵	۲۱/۵	۱۱/۲۷	۸/۲	۸/۰۲۸	۰/۱۷۲۵	خورنده
۱۳۶۹	۸۴/۳۳۱۱	۱۸/۸۸۹	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۴۳۱	-۰/۳۳۱۱	رسوب‌گذار
۱۳۸۱	۵۵/۲	۱۶	۱۱/۲۸	۸/۳	۸/۵۸	-۰/۲۸	رسوب‌گذار
۱۳۸۲	۷۳/۲۵	۳۰	۱۱/۲۸	۷/۹	۸/۵۸	-۰/۶۸	رسوب‌گذار
۱۳۹۲	۱۲۰/۰۵	۲۸/۵	۱۱/۲۹	۷/۸	۷/۷	۰/۱	خورنده

جدول ۱۱- کیفیت آب از نظر صنعت برای ایستگاه کهپر

سال	قلیائیت بر حسب CaO	Ca (mg/l)	ضریب C	PHs	PH	PHs-PH	کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۱۳۵۰	۸۹/۹۱۵	۲۶	۱۱/۲۹	۷/۹	۸/۲۲۵	-۰/۳۲۵	رسوب گذار
۱۳۵۱	۵۴/۸۵	۴۰	۱۱/۲۸	۷/۹	۷/۹	۰	متعادل
۱۳۵۳	۹۲/۸	۵۴/۲۵	۱۱/۲۹	۷/۶	۸/۰۲۵	-۰/۴۲۵	رسوب گذار
۱۳۵۴	۷۸/۶۲۵	۵۲	۱۱/۲۹	۷/۷	۸/۱۲۵	-۰/۴۲۵	رسوب گذار
۱۳۵۵	۱۷۱/۴۵	۳۰	۱۱/۳	۷/۶	۸/۵	-۰/۹	رسوب گذار
۱۳۵۶	۸۱/۲۸	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۸/۱	۰	متعادل
۱۳۶۰	۲۳۳/۹	۷۲	۱۱/۳۱	۷/۱	۸/۵	-۱/۴	رسوب گذار
۱۳۶۱	۹۳/۲۱۰۳	۳۹/۳۳۳	۱۱/۲۹	۷/۷	۷/۹۷۵	-۰/۲۷۵	رسوب گذار
۱۳۶۲	۱۷۹/۰۹	۲۰	۱۱/۳	۷/۷	۸/۴۵	-۰/۷۵	رسوب گذار
۱۳۶۳	۹۵/۰۶۵	۲۳	۱۱/۲۸	۷/۹	۷/۸۷۵	۰/۰۲۵	خورنده
۱۳۶۴	۸۴/۰۹	۲۰	۱۱/۲۸	۸/۱	۷/۹۲	۰/۱۸	خورنده
۱۳۶۵	۴۶/۹۳	۱۸	۱۱/۲۷	۸/۳	۸/۰۸	۰/۲۲	خورنده
۱۳۶۶	۵۵/۲۵۴	۲۰/۴	۱۱/۲۸	۸/۲	۸/۰۲	۰/۱۸	خورنده
۱۳۹۰	۹۶/۲۵	۱۸	۱۱/۲۹	۸/۱	۸/۲۵	-۰/۱۵	رسوب گذار

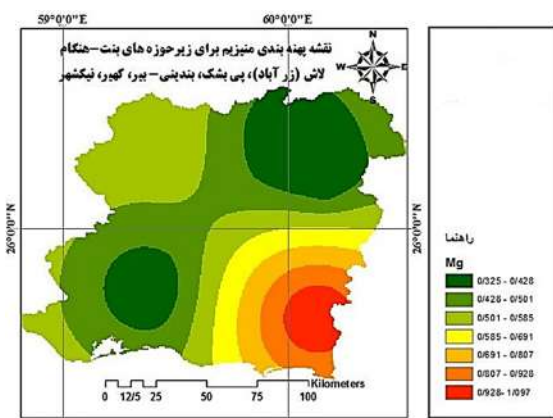
برای استفاده ندارند. در صورت نیاز به استفاده، لازم است تمهیدات لازم برای کاهش خسارت به ادوات صنعتی اتخاذ شود.

۵-۲- نقشه پهنه‌بندی برخی پارامترهای مهم آب

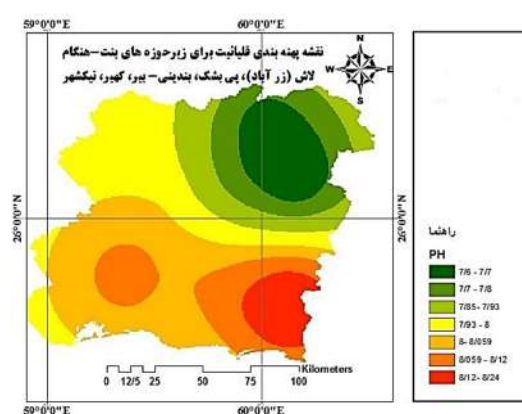
برای بهتر مشخص شدن تغییرات یون‌ها در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS این پارامترها به‌روش

در جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان کیفیت پایین آب این منطقه را برای مصرف در صنعت نشان می‌دهد که باعث مشکلات بسیاری در دستگاه‌های صنعتی و تولیدات خواهند شد (جدول‌های ۸ تا ۱۱).

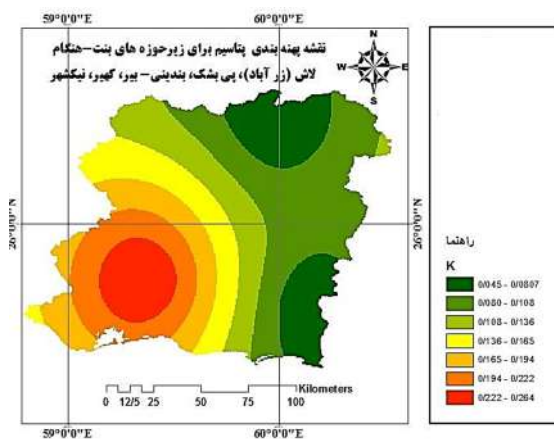
همانگونه که دیده می‌شود آب تمامی ایستگاه‌ها در طی سال‌های مطالعه شده، جز تعداد محدودی دارای وضعیت رسوب‌گذار و خورنده هستند و از نظر صنعت وضعیت مناسبی



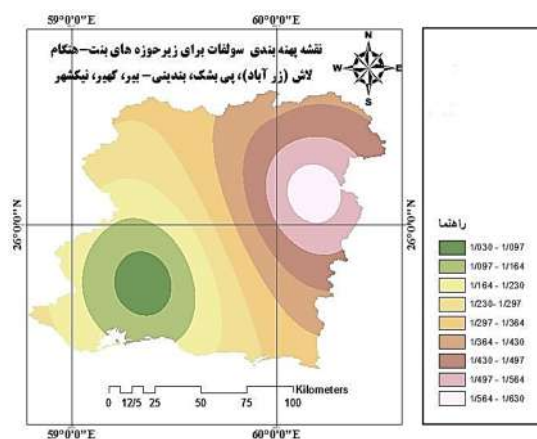
شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی مقدار منیزیم



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی قلیائیت



شکل ۱۴- نقشه پهنه بندی مقدار پتاسیم



شکل ۱۳- نقشه پهنه بندی مقدار سولفات

مقدار سختی و تبعات پس از آن نظیر سنگ کلیه در صورت استفاده از آن آب می شود. با بررسی کیفیت آب ایستگاه ها برای مصارف کشاورزی مشخص شد که در دو ایستگاه جلایی کلک و تخت ملک ۱۰۰٪ داده ها در کلاس C_2-S_1 قرار می گیرند که کمی شور و مناسب برای کشاورزی هستند. در ایستگاه کاریانی ۶۲/۵٪ در کلاس C_2-S_1 و بقیه در کلاس C_3-S_1 قرار می گیرند. برای ایستگاه کهر نیز سه کلاس C_2-S_1 ، C_3-S_1 ، C_3-S_2 در طی سال های آماری وجود دارد که به ترتیب دارای ۶۴/۲۹، ۲۴/۴۳ و ۱۴/۲۹ درصد هستند. همچنین با بررسی های انجام شده مشخص شد در کل ایستگاه ها تنها سه سال آب برای مصارف صنعتی در وضعیت متعادل قرار دارد و در بقیه سال ها حالت رسوب گذار و خورنده حاکم است. پس شرایط در این منطقه از نظر احداث صنایع مرتبط با آب نیز نامناسب است. نتایج این پژوهش با تحقیقات انجام شده در گذشته سازگاری دارد، به طوری که در پژوهش های شیروانی و همکاران (۱۳۹۴) و ساقی و همکاران (۱۳۹۲) مقدار کلسیم در منطقه بالا برآورد شده است. همچنین در تمامی پژوهش های قبلی، آب در منطقه برای مصارف صنعتی خورنده و رسوب گذار بوده که با این پژوهش سازگاری دارد. همچنین نتایج به دست آمده با کارهای کلاه کار و همکاران (۱۳۹۵) هم خوانی دارد. در نهایت با توجه به اهمیت تأمین آب مصرفی برای شرب، کشاورزی و صنعت، لزوم توجه به کیفیت آن بارزتر می شود و امید است با اهتمام دولت و مردم برنامه ریزی درست و کاربردی در این منطقه حساس اکولوژیکی صورت پذیرد.

کریجینگ پهنه بندی شد که نقشه های نهایی آن در شکل های ۱۵ تا ۱۸ نشان داده شده است. به دلیل قرارگرفتن برخی یون ها در یک کلاس، نقشه پهنه بندی آن ها در این مقاله آورده نشده و فقط نقشه یون هایی که در بخش های مختلف متفاوت هستند ارائه شده است. با توجه به نقشه های تهیه شده می توان برنامه ریزی لازم برای پیشبرد اهداف مدیریتی را در منطقه انجام داد. در کل با توجه به نقشه های تهیه شده قسمت شمال شرقی منطقه از وضعیت مطلوب تری برخوردار است.

۳- نتیجه گیری

بررسی کیفیت آب مصرفی در بخش های مختلف شرب، کشاورزی و صنعتی یکی از پارامترهای اساسی در توسعه پایدار و بالابردن سطح سلامت محصولات و جامعه است. در این پژوهش سعی شد تا با بررسی کیفیت آب های سطحی در منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان بتوان گامی مؤثر در جهت پیشبرد اهداف توسعه پایدار و مدیریت صحیح این منابع برداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که آب های سطحی این منطقه از نظر شرب به غیر از مقدار بالای کلسیم، بقیه عناصر در محدوده خوب تا قابل قبول قرار گرفته اند و تنها مقدار کلسیم در تمامی ایستگاه ها در وضعیت نامطلوب قرار دارد. در هر حال برای استفاده از آب این منطقه به منظور مصرف شرب، علاوه بر از بین بردن اثرات بالای کلسیم لازم است تصفیه اولیه آب نیز انجام پذیرد. این مقدار کلسیم بر سختی آب در این منطقه مؤثر خواهد بود و باعث بالارفتن

- ber.
- Ashton, P.J., Van Zyl, F.C., and Heath, R.G., (1995), "Water quality management in the Crocodile river catchment, Eastern Transvaal, South Africa", *Water Science and Technology*, 32(5-6), 201-208.
- Booth, D.B., Karr, J.R., Schauman, S., Konrad, C.P., Morley, S.A., Larson, M.G., and Burges, S.J., (2004), "Reviving urban streams: Land use, hydrology, biology, and human behavior", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 40(5), 1351-1364.
- Clasen, T., Pruss-Ustun, A., Mathers, C.D., Cumming, O., Cairncross, S., and Colford Jr, J. M., (2014), "Estimating the impact of unsafe water, sanitation and hygiene on the global burden of disease: evolving and alternative methods", *Tropical Medicine and International Health*, 19(8), 884-893.
- Hathaway, J.M. and Hunt, W.F., (2011), "Evaluation of first flush for indicator bacteria and total suspended solids in urban stormwater runoff", *Water, Air and Soil Pollution*, 217(1-4), 135-147.
- Johnson, L., Richards, C., Host, G., and Arthur, J., (1997), "Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems", *Freshwater Biology*, 37(1), 193-208.
- Kayser, G. L. et al. (2015) "Drinking water quality governance: A comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi", *Environmental Science and Policy*, 48(1 Apr.), 186-195.
- Li, P., Wu, J., Qian, H., Lyu, X., and Liu, H., (2014), "Origin and assessment of groundwater pollution and associated health risk: A case study in an industrial park, northwest China", *Environmental Geochemistry and Health*, 36(4), 693-712.
- Lobato, T.C., Hauser-Davis, R.A., Oliveira, T.F., Silveira, A.M., Silva, H.A.N., Tavares, M.R.M., and Saraiva, A.C.F., (2015) "Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region", *Journal of Hydrology*, 522(1 Mar.), 674-683.
- Majcher, E.H., Woytowicz, E.L., Reisinger, A.J., and Groffman, P.M., (2018), "Factors affecting long-term trends in surface-water quality in the Gwynns Falls watershed, Baltimore City and County, Maryland, 1998-2016 (No. 2018-1038)", US Geological Survey.
- Marinoni, O., Higgins, A., Coad, P., and Garcia, J.N., (2013), "Directing urban development to the right places: Assessing the impact of urban development on water quality in an estuarine environment", *Landscape and Urban Planning*, 113(1 May), 62-77.
- Mohebbi, M.R., Saeedi, R., Montazeri, A., Vaghefi,

- 1- Wilcox
- 2- Schueller
- 3- Piper

۵- مراجع

- پورمقدس، ح.، (۱۳۸۲)، «بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه لنجانات اصفهان»، فصل‌نامه دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، ۱۱(۱)، ۱۵-۲۶.
- ساقی، م.ح.، صمدی، م.ت.، رحمانی، ع.، و محسنی بندپی، ا.، (۱۳۹۲)، «پهنه‌بندی آب رودخانه سیلوار از نظر کیفیت آب کشاورزی براساس شاخص WILCOX استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی»، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط / ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.
- شیروانی، ت.، شیروانی سارویی، ا.، بوچانی، م.ح.، و عارف، ف.، (۱۳۹۴)، «ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ برای مصارف کشاورزی و صنعت»، اکوهیدرولوژی، ۲(۴)، ۳۴۵-۳۵۶.
- کاوه‌کار، ش.، جوادی، س.، یوسفی، ر.، و عبادی‌فر، م.، (۱۳۹۵)، «ارزیابی کیفی آب‌های سطحی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سلامت آباد)»، ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه کردستان، سنندج.
- محتشمی، ع.، و ناصری، م.، (۱۳۹۴)، «طبقه‌بندی کیفی آب جهت مصارف شرب کشاورزی صنعت (مطالعه موردی دشت درمیان - اسد آباد خراسان جنوبی)»، اولین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی، دانشگاه اراک، اراک.
- Abtahi, M., Golchinpour, N., Yaghmaeian, K., Rafiee, M., Jahangiri-rad, M., Keyani, A., and Saeedi, R., (2015), "A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran", *Ecological Indicators*, 53(1 Jun.), 283-291.
- Allan, J.D. (2004), "Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems", *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(15 Dec.), 257-284.
- Appleton, A.F., (2002), "How New York City used an ecosystem services strategy carried out through an urban-rural partnership to preserve the pristine quality of its drinking water and save billions of dollars and what lessons it teaches about using ecosystem services", *Katoomba Conference*, Tokyo, Novem-

- K.A., Labbafi, S., Okaie, S. and Mohagheghian, A., (2013), "Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI)", *Ecological Indicators*, 30(1 Jul.), 28-34.
- Nazeer, S., Hashmi, M.Z., and Malik, R.N., (2014), "Heavy metals distribution, risk assessment and water quality characterization by water quality index of the River Soan, Pakistan", *Ecological Indicators*, 43(1 Aug.), 262-270.
- Ribolzi, O., Cuny, J., Sengsoulichanh, P., Mousquès, C., Soulileuth, B., Pierret, A. and Sengtaheuanghoung, O., (2011), "Land use and water quality along a Mekong Tributary in Northern Lao PDR", *Environmental Management*, 47(2), 291-302.
- Rimer, A.E., Nissen, J.A., and Reynolds, D.E., (1978), "Characterization and impact of stormwater runoff from various land cover types", *Journal of Water Pollution Control Federation*, (1 Feb.), 252-264.
- Seeboonruang, U., (2012), "A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes", *Journal of Environmental Management*, 101(30 Jun.), 134-142.
- Tu, J., (2013), "Spatial variations in the relationships between land use and water quality across an urbanization gradient in the watersheds of northern Georgia, USA", *Environmental Management*, 51(1), 1-17.
- White, C.S., (1976), "Factors influencing natural water quality and changes resulting from land-use practices", *Water, Air and Soil Pollution*, 6(1), 53-69.
- Xie, Y., (2016), *Disinfection byproducts in drinking water: Formation, analysis, and control*, CRC press.
- Zhai, X., Xia, J., and Zhang, Y., (2014), "Water quality variation in the highly disturbed Huai River Basin, China from 1994 to 2005 by multi-statistical analyses", *Science of the Total Environment*, 496(15 Oct.), 594-606.
- Zhao, J., Lin, L., Yang, K., Liu, Q., and Qian, G., (2015), "Influences of land use on water quality in a reticular river network area: A case study in Shanghai, China", *Landscape and Urban Planning*, 137(1 May), 20-29.
- Zheng, B., Lei, K., Liu, R., Song, S., and An, L., (2014), "Integrated biomarkers in wild crucian carp for early warning of water quality in Hun River, North China", *Journal of Environmental Sciences*, 26(4), 909-916.
- Zhang, Q., Harman, C.J., and Kirchner, J.W., (2018), "Evaluation of statistical methods for quantifying fractal scaling in water-quality time series with irregular sampling", *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 1175-1192.

Investigating Pump and Treat Methods in Remediation of Contaminated Aquifer

Seyed Mostafa Tabatabaei^{1*} and Abolfazl Akbarpour²

1- Ph.D. Student of Water Resources, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding author, Email: Tabatabaei1984@yahoo.com

Received: 01/08/2018

Revised: 28/12/2018

Accepted: 29/12/2018

Abstract

Penetration of pollutions to groundwater resources and extending in the aquifer environment can endanger the health in large volumes of groundwater resources as green and sustainable water. Pump and treat methods have not been widely used in Iran in last decades due to the operational complexity, exercising high potential costs and low threat of pollution. In this study, pump and treat methods are investigated for successful implementation and overcoming the failure factors in Iran. The study is library-based and the content is based on the experiences of this method for contaminated sites, scientific and experimental studies of this method, along with guidelines from the US Environmental Protection Agency in a descriptive-analytical manner. It is shown that determination of pollutant type and contamination range through sampling with new tools, hydraulic containment to prevent the spread of contaminated mussels, computer simulation, effective pumping operation, monitoring the contaminated area, employing a suitable purification method and evaluating the total operation performance, reducing the costs and duration of the project and the success of the pump and treat method are effective in achieving the objectives of purification practice in the contaminated area. The principal application of the pump and treat method can prevent the development of pollution in groundwater resources and high purification costs and help to rehabilitate many contaminated aquifers in Iran.

Keywords: Ground water, Pollution control, Pumping and injection, In-situ treatment.

مروری بر تجارب جهانی روش پمپاژ و تصفیه در پالایش آبخوان‌های آلوده

سید مصطفی طباطبائی^{۱*} و ابوالفضل اکبرپور^۲

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: Tabatabaei1984@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸

چکیده

کاربرد روش پمپاژ و تصفیه از چند دهه گذشته در کشورهای توسعه یافته رواج دارد و به دلیل پیچیدگی‌های عملیاتی، اعمال هزینه‌های احتمالی زیاد و عدم گسترش و تهدید آلودگی در دهه‌های گذشته، در ایران استفاده چندانی نداشته است. در این پژوهش به بررسی کامل روش پمپاژ و تصفیه برای اجرای موفق و غلبه بر عوامل شکست پروژه‌های پمپاژ و تصفیه در صورت اجرا در کشور پرداخته شده است. روش انجام این پژوهش از نوع کتابخانه‌ای بوده و مطالب براساس تجربیات اجرایی این روش در سایت‌های آلوده و بررسی‌های علمی و تجربی مختلف پیرامون این روش به همراه رهنمودهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا به شیوه توصیفی-تحلیلی در بخش‌های مختلف با بیان ساده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که موفقیت این سیستم به دلیل بزرگ بودن ابعاد و پیچیدگی‌های محیط آبخوان بستگی به استفاده از ابزار و راهکارهای درست برای درک دقیق مسئله در محیط واقعی دارد. تعیین نوع آلاینده و محدوده آلودگی از طریق نمونه‌برداری با ابزارهای نوین، مهار هیدرولیکی مناسب برای جلوگیری از گسترش توده آلوده، شبیه‌سازی کامپیوتری، عملیات پمپاژ موثر، پایش منطقه آلوده، به کارگیری روش مناسب تصفیه و ارزیابی عملکرد مجموع عملیات، در کاهش هزینه‌ها و مدت زمان اجرای طرح و موفقیت روش پمپاژ و تصفیه برای رسیدن به اهداف پاکسازی منطقه آلوده موثر هستند. کاربرد اصولی روش پمپاژ و تصفیه می‌تواند در جلوگیری از توسعه آلودگی منابع آب زیرزمینی و تحمیل هزینه‌های زیاد تصفیه جلوگیری نماید و در احیای بسیاری از آبخوان‌های آلوده کشور مفید و موثر واقع شود.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، پمپاژ و تزریق، تصفیه در محل، کنترل آلودگی

در سراسر دنیا آب زیرزمینی به عنوان تامین کننده بخشی از نیازهای آبی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و این اهمیت در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک برجسته‌تر است (Polemo et al., 2008). توسعه روزافزون جوامع بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی سهم عمده‌ای در آلودگی محیط زیست به‌ویژه منابع آب دارد. یکی از مهمترین منابع آبی آسیب‌پذیر در برابر آلودگی آب‌های زیرزمینی هستند و به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی با دشواری و هزینه بیشتر همراه است (گرگانی و همکاران، ۲۰۱۷). نفوذ انواع آلاینده‌ها که در ادامه مهمترین آن‌ها به‌همراه چند نمونه از پژوهش‌های انجام شده پیرامون آن ذکر شده است، از عمده موارد حاصل از فعالیت‌های بشری بر منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شوند، که آبخوان‌های زیادی را در کشور با آلودگی موجه ساخته‌اند. از این بین می‌توان آلاینده‌هایی نظیر شیرابه زباله‌های شهری و صنعتی گزارش شده توسط (اسدی‌شیرین و غلامعلی‌فرد، ۱۳۹۵؛ کاکائی و همکاران، ۱۳۹۵) آفت‌کش‌ها و سموم دفع آفات کشاورزی (خدادادی و همکاران، ۱۳۸۹؛ خلیجیان و همکاران، ۱۳۹۵) و هیدروکربن‌های نفتی گزارش شده توسط (ناصری و همکاران، ۱۳۹۰؛ پاکروان و صائب، ۱۳۹۴) را نام برد. از طرفی پایداری آلاینده‌ها در محیط متخلخل آبخوان نسبت به آب‌های سطحی بسیار بالا بوده و پالایش و پاکسازی آن‌ها نیازمند به‌کارگیری روش مناسب احیای آب زیرزمینی است (Thomson and Johnson., 2000). در یک دسته‌بندی کلی پالایش آبخوان معمولاً به روش‌های زیست پالایی^۱ (Raymond et al., 1977)، پمپاژ و تصفیه^۲ (Chau., 1988)، گیاه پالایی^۳ (Mulligan., 2001)، استخراج بخار خاک^۴ (U.S EPA., 1995) انجام می‌شود.

در این پژوهش روش پمپاژ و تصفیه به‌عنوان روش معمول پالایش آبخوان‌های آلوده، مورد بررسی قرار گرفته است. این روش برای حذف و پاکسازی درصد قابل توجه آلودگی به‌عنوان اولین گزینه مطرح است و یکی از گسترده‌ترین فنآوری‌های مورد استفاده در پالایش آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود. برای تکمیل پروسه پاکسازی و افزایش عملکرد این روش می‌توان از سایر روش‌ها بهره برد.

روش پمپاژ و تصفیه یکی از ارکان اصلی پالایش آب‌های

زیرزمینی برای حذف و یا کنترل آلودگی است و به‌طور معمول برای تصفیه و زلال‌سازی آب‌های زیرزمینی که با مواد شیمیایی حل‌شونده از جمله حلال‌های صنعتی، فلزات سنگین و روغن‌های سوختی آلوده شده‌اند کاربرد دارد (Chau., 1988). آمار ارائه شده از (EPA (2001 نشان می‌دهد که اگر چه تعداد پروژه‌های پمپاژ و تصفیه از ۹۲ درصد کل پروژه‌های روش‌های پالایش آب زیرزمینی در سال ۱۹۸۶، به ۳۰ درصد در سال ۱۹۹۹ کاهش یافته است، اما این روش به‌عنوان متداول‌ترین روش پالایش در فهرست اولویت‌های دولتی قرار دارد. در روش پمپاژ و تصفیه آب زیرزمینی برای حذف آلودگی و جلوگیری از گسترش توده آلوده و رسیدن به چاه‌های برداشت آب آشامیدنی، تالاب‌ها و سایر منابع طبیعی، به سطح زمین پمپاژ می‌شود و پس از پالایش به آبخوان تزریق می‌شود، یا در بخش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و یا برای تصفیه بیشتر از طریق سیستم انتقال به تصفیه‌خانه منتقل می‌شود. روش تصفیه نیز بستگی به خواص فیزیکی و شیمیایی نوع آلاینده‌هایی دارد که باید حذف شوند. این سیستم به‌عنوان پمپاژ و تصفیه (P & T) شناخته می‌شود (USEPA, 1996). مدت زمان عملیات پمپاژ و تصفیه ممکن است از چند سال تا چند دهه ادامه یابد و زمان پاکسازی واقعی آبخوان در نقاط مختلف متفاوت است. در محلی که غلظت آلودگی بالا، توده آلاینده بزرگ، جریان آب زیرزمینی آهسته، مسیر حرکت جریان پیچیده بوده و یا منبع آلودگی به‌طور کامل حذف نشده باشد، زمان عملیات پمپاژ و تصفیه طولانی است (Mackay and Cherry, 1989).

(EPA (1991 در ارزیابی عملکرد سیستم پمپاژ و تصفیه، به‌طور کلی شکست این روش را به‌دلیل ناتوانی در دستیابی به کاهش آلاینده‌ها به مقدار استانداردهای بهداشتی در پیش‌بینی‌های ۵ تا ۱۰ ساله طراحی این پروژه‌ها اعلام کرد. سیستم‌های پمپاژ و تصفیه توسط (Doty and Travis (1991 در یک گزارش با عنوان "یک واقعیت ساده که حذف آلودگی‌ها نمی‌تواند از طریق پمپاژ و تصفیه دوباره انجام شود" مورد انتقاد قرار گرفت. با این حال، انتظارات برای اثربخشی فناوری پمپاژ و تصفیه ممکن است بیش از حد بالا باشد. بطوری که با توجه به حجم زیاد آبخوان با استفاده از روش پمپاژ و تصفیه می‌توان بار آلودگی قابل توجهی را کاهش داد. طبق نظر متخصصین و مهندسین زمین‌شناسی بهبودی کامل یک منطقه آلوده از آبخوان یک هدف غیر واقعی به نظر می‌رسد. هرچند که انتظارات غیرواقعی از پمپاژ و تصفیه

می‌تواند منجر به نارضایتی از عملکرد این سیستم شود، اما استفاده متناسب روش تصفیه براساس نوع آلودگی و شرایط زمین شناسی در منطقه در عملکرد این فرایند تاثیر زیادی دارد. چرا که مسئله پالایش آبخوان از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌عنوان مثال وجود مقدار کم برخی از حلال‌ها در آب زیرزمینی می‌تواند عاملی برای به خطر افتادن سلامت انسان و محیط زیست اطراف آن محسوب شود. این نوع آلودگی‌ها همراه با جریان آب زیرزمینی در محیط آبخوان جریان می‌یابند و در آب‌های زیرزمینی تجزیه می‌شوند و یا مقداری در فضاها بین ذرات محیط متخلخل جذب می‌شوند. روش پمپاژ و تصفیه با این‌که دارای معایبی چون نیاز به هزینه زیاد و زمان بر بودن فرایند پالایش دارد، همواره یکی از محبوب‌ترین روش‌های پالایش آبخوان‌های آلوده محسوب می‌شود (Huang et USEPA, 2001; al., 2006). پژوهش‌های انجام شده در دهه اخیر برپایه روش اولیه متمرکز بوده و پیرامون کاهش هزینه و زمان پاکسازی عملیات پمپاژ و تصفیه روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در دنباله این مبحث به ضرورت، روش و هدف انجام این پژوهش پرداخته شده است. سپس مطالعات تجربی پیرامون روش پمپاژ و تصفیه مرور شده و در انتها در بخش‌های مختلف مراحل و نکات فنی و اجرایی این روش مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۱- ضرورت، اهداف و روش انجام پژوهش

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و گسترده‌گی آبخوان‌ها، جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی برای کاهش مخاطرات ناشی از آلودگی و اعمال هزینه‌ها ضرورت دارد. انتشار آلودگی در سراسر یک آبخوان باعث محدودیت کاربرد آب می‌شود و محیط زیست را با تهدید مواجه می‌سازد. ضمن این‌که در بسیاری از مناطق پس از گسترش آلودگی و لزوم تصفیه، ممکن است در محل مصرف امکان تصفیه آب فراهم نباشد. روش پمپاژ و تصفیه به‌عنوان یک روش کنترل آلودگی و احیای آبخوان در محل ایجاد آلودگی مطرح است. کاربرد این روش از چند دهه گذشته در کشورهای توسعه یافته رواج دارد و به‌دلیل پیچیدگی‌های عملیاتی، اعمال هزینه‌های احتمالی زیاد و عدم گسترش و تهدید آلودگی در دهه‌های گذشته، در ایران استفاده چندانی نداشته است، در حالی‌که با توسعه کشور در دهه اخیر آبخوان‌های متعددی در محل پالایشگاه فرآورده‌های نفتی

و محل دفن مواد زائد، همچنین زهاب‌های کشاورزی حاوی سموم کشاورزی و آفت‌کش‌ها و سایر منابع آلودگی نقطه‌ای وجود دارد که باعث آلودگی آبخوان‌های متعددی شده است. از طرف دیگر نسبت به دهه‌های گذشته وجود متخصصان داخلی و بسیاری از محدودیت‌های تکنولوژی در کشور برطرف شده است. بنابراین به‌کارگیری صحیح و مناسب از این روش تحت یک مدیریت واحد می‌تواند ضمن کنترل آلودگی در محل، از گسترش آن جلوگیری نماید و محدودیت‌های کاربرد آب را در مناطق مختلف برطرف سازد و از مجموع هزینه‌های تصفیه در محل مصرف بکاهد. هدف از انجام این پژوهش بررسی مراحل مختلف روش پمپاژ و تصفیه و ارائه موارد و نکات حاصل از تجربیات کاربردهای مختلف این روش در کشورهای توسعه یافته برای غلبه بر عوامل شکست و اجرای موفق پروژه‌های پمپاژ و تصفیه در صورت استفاده در کشور بوده و روش انجام آن از نوع کتابخانه‌ای است. مطالب براساس تجربیات اجرایی این روش در سایت‌های آلوده و بررسی‌های علمی و تجربی مختلف پیرامون این روش به‌همراه رهنمودهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات آمریکا به‌شیوه توصیفی-تحلیلی و بیانی ساده در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مطالعات تجربی

تاکنون تصفیه آب زیرزمینی توسط فناوری پمپاژ و تصفیه در بسیاری از سایت‌های آلوده مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به گزارش‌های EPA (2000; 2002; 2007; 2008) و USACE (2000) اشاره کرد. در گزارش‌های Rivett et al. (2006) و Sale and Newell (2011) عوامل موثر بر عملکرد روش پمپاژ و تصفیه در سایت‌های مورد نظر شناسایی شده است. مطابق با نقشه راه آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA (2011 و استراتژی راه‌حل‌های تکمیلی تصفیه آب زیرزمینی (EPA (2014). در هنگام اعمال تصفیه روش موردنظر باید بهینه‌سازی شده و یا با یک روش بهتر جایگزین شود. علاوه بر این، شورای ملی تحقیقات (NRC (2013 تصفیه آب‌های زیرزمینی و در سایت‌های پیچیده آلوده را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل نشان داد که روش‌های جانبی کمکی و حتی جایگزینی روش تصفیه بر عملکرد موفق پمپاژ و تصفیه در این سایت‌ها موثر است. اولین سیستم پمپاژ و تصفیه در

ایران پس از انجام مطالعاتی توسط شرکت ژاپنی Idmitsu در سال ۲۰۰۴ با هدف جلوگیری از انتقال و گسترش توده‌های آلاینده به سایر نقاط آبخوان با تاکید بر مهار هیدرولیکی توده آلوده در پالایشگاه نفت تهران به بهره‌برداری رسید. این سیستم علیرغم هزینه‌های زیاد با شکست مواجه شد. جلالی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی پیرامون بررسی این سیستم، عملکرد آن را ۱۱ درصد برآورد کردند.

Knox et al. (1984) برای افزایش درصد موفقیت سیستم پمپاژ و تصفیه با تاکید بر مهار هیدرولیکی مناسب، در مورد طراحی و ساخت موانع فیزیکی و مهار هیدرولیکی توده‌های آلاینده روش و راهکارهایی ارائه دادند. Rogers et al. (1995) در آزمایشگاه ملی "لارنس لیورمور" رویکرد بهینه‌سازی غیرخطی را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی بیش از چهار میلیون الگوی پمپاژ چاه‌های پمپاژ و تزریق آب ۲۸ پروژه مورد ارزیابی قرار دادند. در سه الگوی اول پمپاژ با هشت تا ۱۳ چاه، در عمر ۵۰ ساله پروژه هزینه ۴۱ تا ۵۳ میلیون دلار تخمین زده شد. استفاده از این الگوی پمپاژ در ۲۸ پروژه هزینه پمپاژ را یک سوم تا یک چهارم هزینه پیش‌بینی شده کاهش داد. Voudrias (2001) برای ارزیابی اثر جذب آلاینده بر پمپاژ و تصفیه یک آبخوان کم عمق با ضخامت کم که به آفتکش‌ها، بروماسیل، لیندن و DDT آلوده شدند را مورد بررسی قرار داد. در این پروژه پمپاژ از چاه‌های کاملاً نفوذ یافته در یک خط مستقیم و در عرض بخش آلوده انجام گرفت. وی عملیات پمپاژ و تصفیه را تا کاهش ۹۵ درصدی غلظت آلودگی ادامه داد و طول توده آلوده را ۱۰۰ متر برآورد نمود و مقدار انحلال‌پذیری لیندن، بروماسیل و DDT را به ترتیب ۸۱۵، ۷ و ۰/۰۵۵۲ میلی‌گرم بر لیتر ارزیابی کرد.

گزارش EPA (2002) نشان می‌دهد که تکنولوژی پمپاژ و تصفیه اغلب در مناطق آلوده به MTBE^۵ که در اثر نفوذ این آلودگی از مخازن ذخیره بنزین ایجاد شده، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. طبق این گزارش بیش از ۷۰۰ پروژه پمپاژ و تصفیه در کشور آمریکا در حال اجرا است که ۸۸ پروژه از حمایت‌های مالی برخوردار هستند و هزینه‌های زیادی را به دولت‌های محلی تحمیل می‌کنند. به‌طوری که میانگین هزینه‌های اختصاص یافته دولتی به این پروژه‌ها به‌طور سالانه ۵۷۰ هزار دلار تعیین شده است.

ارزیابی پروژه‌های پمپاژ و تصفیه توسط Ros et al. (2003) نشان می‌دهد که آئین‌نامه‌ها و توصیه‌های EPA در بیش از ۵۰

درصد پروژه‌های اجرایی به‌صورت کامل اجرا شده و در کمتر از ۱۰ درصد از این پروژه‌ها تخلف گسترده انجام شده که اجرای این پروژه‌ها به حالت تعلیق درآمده است. Hand and Jarvie (2004) سناریوهای مختلف تصفیه آب‌های زیرزمینی با طیف وسیعی از انواع و غلظت‌های آلاینده‌های شیمیایی، با هدف تغییرات غلظت خروجی آلاینده‌ها پس از عملیات پمپاژ و تصفیه را مدل‌سازی کردند (USEPA, 2008).

Endres (2004) برای کمک به تصمیم‌گیری درست گزینه‌های مختلف طراحی سیستم‌های پمپاژ و تصفیه آبخوان‌های آلوده‌ای که اطلاعات زیادی از مشخصات فیزیکی آبخوان و شیمیایی آلاینده‌های آن در اختیار نبود را مورد بررسی قرار دادند. وی با شناسایی دقیق منطقه آلوده و پارامترهای موثر بر آن و درنظر گرفتن استانداردهای موجود، زمان پاکسازی و احیای آبخوان را مورد بررسی قرار داد و جنبه‌های فنی سیستم تصفیه براساس خواص فیزیکی حاکم بر منطقه و محدودیت‌های قانونی به شیوه‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. به‌عنوان مثال، در شرایطی که اهداف پمپاژ و تصفیه ثابت و برخی از پارامترهای محدودکننده تعیین شده است، با اضافه کردن یا تغییر در سیستم تصفیه فیزیکی برآورد دقیق‌تر هزینه‌ها را می‌توان به‌دست آورد. ایجاد تغییرات فنی به مانند انتخاب تکنولوژی و نرخ پمپاژ زمانی انجام می‌شود که در آبخوان و یا شرایط حاکم بر منطقه تغییراتی ایجاد شود و محدودیت‌هایی ایجاد نماید. تاثیر تغییرات در مقدار تصفیه باید بر اساس هزینه‌ها انجام شود. پارامتر زمان نفوذ و منبع آلودگی تاثیر زیادی بر ناحیه آلوده شده و منطقه هیدرولویکی تحت تاثیر جریان آب دارد. وی درنهایت برای ارزیابی تاثیر پروژه‌های مختلف طراحی چارچوبی ارائه داد.

صفوی و همکاران (۱۳۸۴) برای احیای آب زیرزمینی آلوده در محل پالایشگاه تهران روش پمپاژ و تصفیه و هوادهی را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها با مدل‌سازی این دو روش امکان شبیه‌سازی در مقیاس واقعی را فراهم کرده و صحت‌سنجی آن را مورد بررسی قرار دادند. سپس مدل ارائه شده را در یک مطالعه موردی برای حذف توده آلاینده MTBE آبخوان باقرشهر واقع در غرب پالایشگاه به‌کار بردند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که برای احیای منطقه‌ای این آبخوان در طی یک دوره ۵ ساله شبیه‌سازی و بدون نصب ادوات احیای آبخوان در مناطق شهری، مقدار آلاینده در آبخوان به ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. Cheng Chang et al. (2007) با ترکیب الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی پویا سیستم

چاه‌های تزریق را برای به حداقل رساندن هزینه‌های روش پمپاژ و تصفیه طراحی کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها هزینه حفر چاه‌ها، عملیات پمپاژ، عملیات تصفیه و تزریق در نظر گرفته شده است. مدل آن‌ها با توجه به برآورد شدن کیفیت آب در حد استاندارد، تعداد مطلوب چاه‌های پمپاژ و تزریق و مکان حفر آن‌ها را برای کاهش هزینه‌ها بهینه می‌کند. همچنین آن‌ها با عدد و رقم نشان دادند که ایجاد تعادل در حجم پمپاژ و تزریق می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر طرح نهایی تاثیر مطلوبی داشته باشد.

Chul Park et al. (2011) طرحی و بهینه‌سازی آب‌های زیرزمینی آلوده در یک منطقه صنعتی واقع در کشور کره جنوبی با استفاده از روش پمپاژ و تصفیه را مورد بررسی قرار دادند. آبخوان منطقه موردنظر آلوده به TCE و سایر حلال‌ها بوده است. آن‌ها انتقال آلودگی را با MODFLOW، MT3D و RT3D شبیه‌سازی نموده و بهینه‌سازی سیستم پمپاژ و تصفیه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند. سپس برای ارائه یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه سه سناریوی اجرایی را در نظر گرفتند. سناریوی اول شامل حذف TCE از کل منطقه آلوده با استفاده از پمپاژ دائمی از چاه‌های موجود و چند چاه اضافی در محل‌های مناسب و هزینه حفر چاه‌های پمپاژ اضافی و انرژی مصرفی برای عملیات پمپاژ آب و تصفیه آن بود. نتایج نشان داد که برای دستیابی به اهداف تصفیه ایجاد چند چاه اضافی در مناطق مختلف منطقه به‌صورت پراکنده ضروری است. سناریوی دوم شامل حذف هم‌زمان TCE و سایر حلال‌ها از کل منطقه آلوده بود. هزینه سناریوی دوم ۱۸۰ درصد بیشتر از سناریوی اول برآورد شد. سناریوی سوم مستلزم پمپاژ از چاه‌ها در یک خط و استفاده از یک روش جانبی پالایش بود، تا از این طریق بتوان هزینه‌های طرح را کاهش داد. مقایسه هزینه‌های سناریوی اول با سوم نشان داد که هزینه موردنیاز در اجرای سناریوی سوم تنها ۳۷ درصد اجرای سناریوی اول می‌شود. بنابراین آن‌ها استراتژی اصلاحی سوم را به‌دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن پیشنهاد نمودند.

Bortone et al. (2013) طراحی و بهینه‌سازی پالایش آبخوان آلوده را به‌روش پمپاژ و تصفیه و موانع واکنش را مورد بررسی قرار دادند. منطقه میدانی مورد مطالعه آن‌ها در نزدیکی یک لندفیل واقع در شمال کشور ایتالیا بود که در اثر نفوذ شیرابه به آب زیرزمینی سطح وسیعی از آبخوان منطقه را با آلودگی مواجه ساخته بود. برای هر دو فناوری موردنظر جذب آلودگی

بر روی کربن فعال دانه‌ای را برای حذف PCE از آب در نظر گرفته شد. مقایسه براساس سناریوهای راندمان حذف آلاینده و هزینه‌های مورد نیاز انجام شد. برای هر دو فناوری تصفیه، جذب بر روی کربن فعال دانه‌ای برای حذف PCE از آب در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج حاصل از هر دو با توجه به اثربخشی حذف آلاینده و هزینه عمومی اولیه مربوطه انجام شد. آن‌ها در نهایت یک مدل تجاری سه‌بعدی را برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی توسعه دادند.

Kazemzadeh et al. (2015) به شبیه‌سازی سیستم‌های پمپاژ و تصفیه به‌روش اجزای محدود^۶ (FEM) پرداختند. آن‌ها از الگوریتم FA^۷ برای بهینه‌سازی مدل طراحی شده استفاده کرده و به‌منظور حداقل‌سازی هزینه‌های پمپاژ و تصفیه، نرخ پمپاژ از آبخوان را با توجه به زمان، به حداقل رساندند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کاربرد FA در بهینه‌سازی سیستم پالایش آب‌های زیرزمینی ضمن این‌که کیفیت آب تصفیه شده را در حد استاندارد نگه می‌دارد، موجب کاهش هزینه‌های عملیات پمپاژ و تصفیه می‌شود. همچنین آن‌ها نتایج حاصل از بهینه‌سازی انجام شده با FA را با نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک مقایسه کردند. نتایج این مقایسه نشان دهنده همگرایی بهتر FA نسبت به GA^۸ بود. از جمله پژوهش‌های انجام شده برای غلبه بر معایب (زمان طولانی اجرا و هزینه‌های اجرا) روش پمپاژ و تصفیه می‌توان به پژوهش‌هایی در زمینه شبیه‌سازی آنالینگ^۹ (Bau and Mayer, 2006)، برنامه‌ریزی دینامیک^{۱۰} (Lu et al., 2008)، الگوریتم ژنتیک (Ko and Lee, 2010)، برنامه‌ریزی‌های غیرخطی^{۱۱} (He et al., 2009) و شبکه‌های عصبی مصنوعی^{۱۲} (Almasri and Kaluarachchi, 2005) اشاره کرد.

۳- مراحل عملیاتی روش پمپاژ و تصفیه

۳-۱- تعیین مشخصات کامل محل آلوده

تعیین دقیق محدوده آلوده به دو تابع عمده کمک می‌کند. اول این‌که ارزیابی دقیق محدوده و شکل آلودگی، عملکرد و اثربخشی پمپاژ و تصفیه را افزایش می‌دهد. این مسئله نیاز به شناخت فیزیکی آلودگی در دو فاز آب و خاک و اندازه‌گیری و نحوه توزیع آلودگی این دو بخش دارد. در واقع اطلاعات ناکافی در مورد محدوده آلوده بر عملکرد عملیات پمپاژ و تصفیه تاثیر

منفی دارد. دوم این که توصیف سه بعدی کامل از لایه های خاک و هیدروژئولوژی منطقه آلوده، از جمله توزیع اندازه ذرات، خصوصیات جذب و هدایت هیدرولیکی، پایه ای قوی برای استقرار مناسب چاه های پمپاژ و تصفیه را فراهم می آورد. این اطلاعات همچنین برای ارزیابی میزان ضریب تاخیر که ممکن است در یک منطقه وجود داشته باشد نیز مورد نیاز است. تکنیک های توصیف سه بعدی شامل مشاهدات غیرمستقیم و استفاده از روش های ژئوفیزیکی، نمونه برداری مستقیم از خاک و آب زیرزمینی و اندازه گیری های مخروط افت چاه است.

با پیچیده تر شدن شرایط برای شناسایی دقیق تر محل آلودگی و شکل و توزیع آن در محیط دو فازی آبخوان می توان از تکنیک های مدل سازی استفاده کرد. نرم افزار EPA SITE3D که توسط سازمان حفاظت و بازسازی آب زیرزمینی در بخش آزمایشگاه مدیریت ریسک توسعه یافته است، امکان شبیه سازی سه بعدی آلودگی را فراهم می آورد. نرم افزار آماری توسعه یافته توسط EPA مانند Geo-EAS و GEOPACK برای تجزیه و تحلیل ژئواستاتستیکی و تعمیم داده های آلودگی آب زیرزمینی و GRITS / STAT برای تجزیه و تحلیل غلظت آلاینده ها از جمله ابزارهای رایج برای تجزیه و تحلیل داده های توسعه آلودگی در آب زیرزمینی است. برای آبخوان های همگن و همروند حل تحلیلی به صورت دستی، روش ترسیمی و کدهای کامپیوتری ممکن است کافی باشد. در شرایط پیچیده تر ممکن است روش های کامپیوتری عددی مورد نیاز باشد. این مدل ها در تهیه الگوهای حرکت جریان در اطراف پمپاژ و تعیین نقاط مناسب پایش موثر هستند (Bear et al., 1992). مدل WHPA ارائه شده توسط Blandford and Haitjema (1991) و مدل CZAEM ارائه از (1984) و توسعه یافته توسط EPA نمونه های نرم افزاری کامپیوتری نسبتاً ساده هستند که جریان آب زیرزمینی را به صورت خطی تجزیه و تحلیل می کنند.

مدل های عددی MODFLOW و MODPATH که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده توسعه یافته است، برای مدل سازی شرایط پیچیده تر استفاده می شود (Cohen et al., 1994). یکی از مدل های سه بعدی انتقال آلودگی در آب های زیرزمینی Modular Transport three-dimensional Multi-Species است که نسخه اولیه آن توسط Zheng (1990) توسعه داده شد، بیشترین کاربرد را در زمینه آلودگی آب های زیرزمینی دارد و با عنوان MT3DMS عمومیت پیدا کرده

است. این مدل سه بعدی برای شبیه سازی پخشیدگی، انتقال، انتشار مولکولی، واکنش های شیمیایی و جذب آلودگی در آب زیرزمینی کاربرد دارد، به طوری که قادر است انواع واکنش های شیمیایی، جذب و تجزیه را در انواع آبخوان مدل کرده و با هر مدل از نوع MODFLOW قابلیت اجرا دارد. این مدل سه روش تفاضل محدود استاندارد، ردیابی ذره Eulerian-Lagrangian و روش TVD را در خود جا داده است و در حل معادلات انتقال از توانایی بالایی برخوردار است (Zheng, 2009).

علاوه بر این روش های بهینه سازی برای بهبود طراحی سیستم پمپاژ و تصفیه موثر هستند (Gorelick et al., 1993). همان طور که در طراحی اعمال می شود سیستم های بهینه سازی پمپاژ شامل تعریف یک تابع هدف مانند به حداقل رساندن میزان پمپاژ به ازای بیشترین مقدار حذف آلودگی از مجموعه چندین چاه بهینه سازی میشود. با اعمال یک بهینه سازی نرخ پمپاژ را می توان از ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش داد. برای دستیابی به این اهداف محدودیت های مسئله باید رعایت شود. به عنوان مثال برای موفقیت در مهار هیدرولیکی یک توده آلاینده نیازمند به کارگیری روش های بهینه سازی غیرخطی است. مخصوصاً هنگامی که غلظت آلاینده ها به عنوان محدودیت در نظر گرفته می شود (Rogers et al., 1996).

۳-۲- مهار هیدرولیکی توده آلوده

کنترل و مهار هیدرولیکی توده آلودگی تقریباً هدف طراحی تمام سیستم های پمپاژ و تصفیه برای دستیابی به استانداردهای بهداشتی است. هدف اصلی این مهار، جلوگیری از گسترش بیشتر توده آلوده در دوره پمپاژ و تصفیه است. در چنین شرایطی یک سیستم پمپاژ و تصفیه معمولی ممکن است برای حذف توده آلوده استفاده شود. مهار هیدرولیکی می تواند با کنترل مسیر جریان آب زیرزمینی از طریق چاه های پمپاژ، ایجاد فشار از طریق چاه های تزریق و یا با استفاده از موانع فیزیکی در مقابل توده آلوده انجام شود. شکل ۱ پلان یک سیستم پمپاژ و تصفیه را نشان می دهد که در آن از هر سه نوع روش مهار هیدرولیکی استفاده شده است. مطابق این شکل منبع آلاینده توسط یک دیواره مانع احاطه شده است. جنس دیواره می تواند از خاک منطقه، خاک رس و پوشش های مصنوعی باشد. در حالت دوم چاه های پمپاژ در حاشیه های توده آلوده حفر شده است و با هدایت جریان به کناره ها مانع حرکت جریان در جهت شیب

هیدرولیکی می شود. در حالت سوم آب های زیرزمینی تصفیه شده با تزریق به آبخوان یک فشار در امتداد محور آلودگی ایجاد می کنند و سرعت و جهت حرکت آلودگی را تحت تاثیر قرار می دهد (Cohen et al., 1994).

موارد خاصی مانند اثرات ناهمسان گردی، ممکن است باعث گریز آلودگی از سیستم مهار هیدرولیکی شود. شکل ۲ نشان می دهد که ناپیوستگی افقی چگونه می تواند جهت جریان را تغییر دهد. در یک آبخوان هم روند مانند شکل ۲-الف جهت جریان آب زیرزمینی در جهت شیب هیدرولیکی است. در این مثال، قرار دادن چاه پمپاژ در جهت شیب هیدرولیکی (شکل ۲-ب) منجر به استخراج آلودگی تنها در ناحیه حریم چاه می شود. اگر حرکت توده آلوده در جهت شیب هیدرولیکی نباشد ممکن است جریان تحت تاثیر ناهمسان گردی قرار گرفته باشد. نرم افزارهای کامپیوتری مانند WHPA می تواند برای ارزیابی اثرات بالقوه ناهمسان گردی موثر واقع شود (Bradbury et al., 1991).

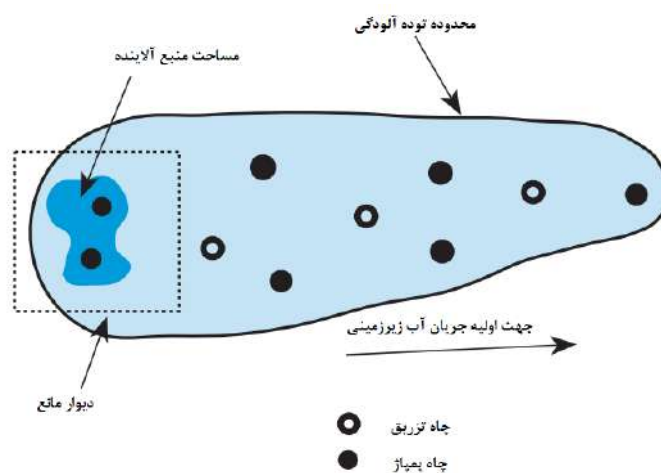
۳-۲-۱- چند نکته فنی در مهار هیدرولیکی و حذف توده آلودگی و منبع آلاینده

در صورتی که منبع آلودگی شناسایی و حذف یا حداقل توده آلوده وارد شده به آبخوان برای جلوگیری از آلودگی بیشتر آبخوان کنترل نشود، هرگونه اقدام تصفیه ممکن است نتایج مطلوبی به دنبال نداشته باشد. در بسیاری از مناطق آلوده، یکی از مهمترین عوامل آلودگی آب های زیرزمینی مایعات آلی

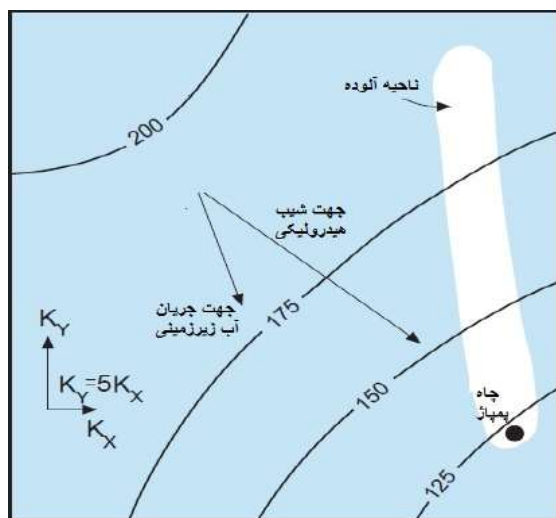
هستند. آلاینده های هر مایع به نسبت چگالی خودش به چگالی آب و مقداری که با آب مخلوط شده است مشخص می شود. حتی زمانی که مایع آلی در منطقه بین سطح زمین و سطح آب محصور است، می تواند به عنوان یک منبع آلودگی آب زیرزمینی مطرح باشد. در چنین شرایطی، آلودگی زمانی اتفاق می افتد که مقداری از مایع آلوده در هر تماس با آب به آب زیرزمینی منتقل می شود و یا بخار آلودگی ممکن است بدون نفوذ آلاینده به سطح آب برسد و در آب زیرزمینی آلودگی ایجاد کند. در چنین شرایطی حذف منبع آلاینده موثرترین راه برای جلوگیری از آلودگی بیشتر است. همچنین در جایی که آلودگی های غیر آلی یا آلی با یک دوز مشخص در یک منطقه محدود هستند، گزینه سرمایه گذاری برای حذف منبع ارجحیت دارد. هنگامی که حذف کامل آلودگی امکان پذیر نیست، اغلب مانند DNAPL که در زیر سطح آب قرار دارند، اولین مرحله ضروری در پالایش، مهار هیدرولیکی آلودگی است. در بعضی موارد، مهار آلودگی می تواند از طریق جلوگیری از نفوذ بارندگی و یا کاهش نفوذ آن در خاک آلوده حاصل شود. بنابراین اگر سطح آب نوسان داشته باشد یا زمانی که بخار NAPL وجود دارد می تواند در انتشار آلودگی و کاهش عملکرد سیستم پمپاژ و تصفیه موثر باشد (Heron et al., 2016).

۳-۳- عملیات پمپاژ موثر

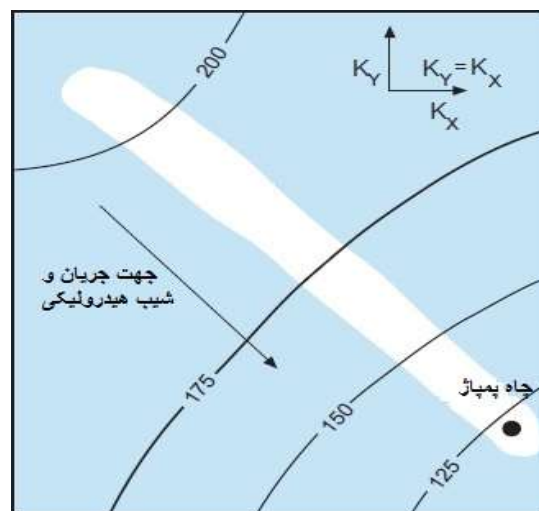
عملیات پمپاژ برای اثربخشی روش پمپاژ و تصفیه باید یک فرآیند پویا باشد. به این منظور که باید از اطلاعات مربوط به



شکل ۱- مهار منبع آلودگی در سیستم پمپاژ و تصفیه



(ب)



(الف)

شکل ۲- الف) جهت جریان هم جهت با شیب هیدرولیکی، ب) ناهمسان گردی در جهت حرکت آب به سمت چاه پمپاژ

پمپاژ موثر در شکل ۵ نشان داده شده است و مطابق آن در صورت استفاده از پیک‌های ثابت پمپاژ، حذف آلودگی از محل حدود ۱۰۰ سال زمان نیاز دارد. انجام مدلسازی و پمپاژ موثر می‌تواند زمان مورد نیاز پاکسازی سایت را تا حدود ۵۰ سال کاهش دهد (Cohen et al., 1994).

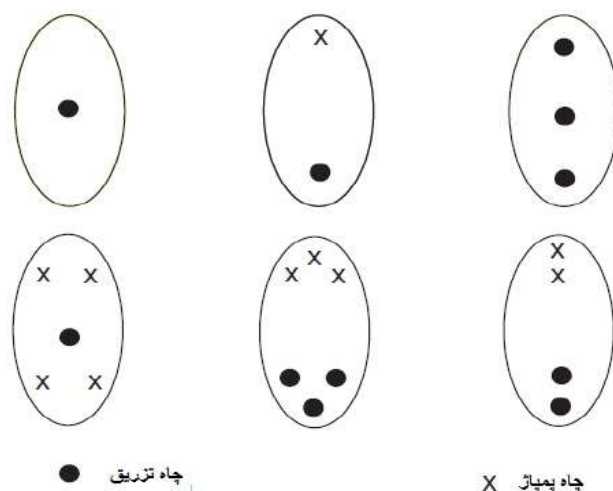
۳-۳-۲- پیش‌بینی فرایند تاخیر و مشکلات بازگشت آلودگی

پس از عملیات پمپاژ در سایت‌های آلوده پدیده بازگشت آلودگی به مقدار کمتر از غلظت اولیه به‌طور معمول اتفاق می‌افتد. این بازگشت بعد از توقف پمپاژ در یک مدت زمان کوتاه به‌میزان قابل‌توجهی سریع است و این افزایش در یک غلظت مشخصی که بستگی به شرایط متعددی دارد، به ثبات می‌رسد و متاثر از اختلاف سرعت حرکت جریان در حالت پمپاژ و بدون پمپاژ است. این اختلاف سرعت در واقع در زمان تماس آب با آلودگی در این دو حالت موجب تغییر غلظت‌های آلودگی در حالت پمپاژ و پس از پمپاژ می‌شود (شکل ۶). این پدیده دو مشکل عمده برای عملیات پمپاژ و تصفیه ایجاد می‌کند. اول این‌که مدت زمان عملیات فرایند تصفیه را طولانی می‌کند. به‌طور نظری در حالت بدون بازگشت آلودگی، با پمپاژ و اعمال تصفیه، توده آلاینده نیز در طول عملیات پمپاژ و تصفیه حذف و پاکسازی می‌شود. اما در اغلب موارد به‌دلیل فرایند تاخیر که

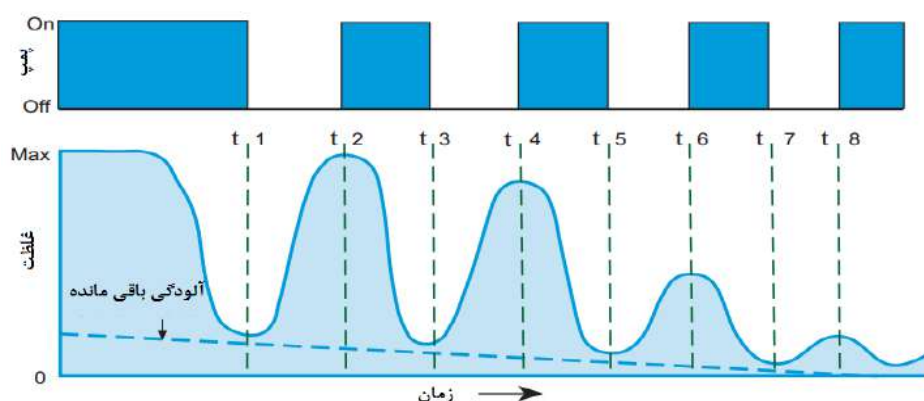
پاسخ سیستم آب و خاک برای بهبود کارایی عملیات پمپاژ استفاده شود. عناصر عملیاتی پمپاژ موثر می‌توانند شامل: ترکیب پمپاژ از مرکز آلودگی و کنترل توده آلودگی، احداث مرحله‌ای چاه‌های پمپاژ، درنظر گرفتن شعاع تاثیر چاه‌ها و پمپاژ پالسی یا نوسانی باشد. احداث مرحله‌ای چاه‌های پمپاژ اجازه می‌دهد داده‌های پایش شده عملیات پمپاژ در مکانیابی احداث چاه‌های بعدی مورد استفاده قرارگیرد. درنظر گرفتن شعاع تاثیر چاه حالت و الگوهای مختلف پمپاژ و تزریق را به‌عنوان گزینه‌های پیش‌رو در اختیار قرار می‌دهد و الگوهای پمپاژ در کاهش افت سطح ایستایی تاثیر به‌سزایی دارد. در شکل ۳ انواع معمول الگوهای پمپاژ / تزریق نشان داده شده است (Satkin and Bedient, 1988).

۳-۳-۱- پمپاژ پالسی

روش پمپاژ پالسی دارای توان بالقوه برای افزایش نسبت پمپاژ آلودگی به حجم آب است. در طی مرحله خاموشی پمپ، غلظت آلاینده‌ها به‌علت انتشار، پخشیدگی و تجزیه و انحلال در آب به آرامی افزایش می‌یابد. در هنگام پمپاژ، آب زیرزمینی با غلظت بالایی از آلاینده‌ها استخراج می‌شود. نکته مهم در طی این عملیات این است که باید از اهداف مهار هیدرولیکی در طی دوره خاموشی پمپ، اطمینان حاصل شود. مفهوم پمپاژ پالسی را می‌توان به‌صورت شکل ۴ نشان داد و تاثیر آن بر عملیات



شکل ۳- انواع معمول الگوی چاه پمپاژ / تزریق



شکل ۴- مفهوم پمپاژ پالسی

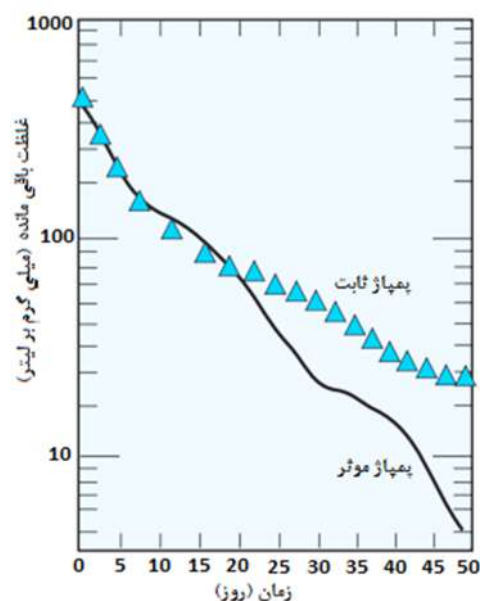
استانداردهای بهداشتی مطابقت داشته باشد انجام می‌گیرد. روش تصفیه نیز بستگی به نوع آلاینده و تحلیل هزینه‌ها دارد. ساده‌ترین شاخص بررسی موفقیت تصفیه آب زیرزمینی، اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار پاکسازی شده است که توسط غلظت‌های ورودی به سیستم و خروجی از تصفیه اندازه‌گیری می‌شود. در پژوهش Cohen et al. (1994) عملکرد سیستم در اثر پدیده بازگشت آلودگی پس از سال اول کاهش یافت و میزان حذف در سال‌های بعد روند کاهشی کندی به خود گرفت. اما آلودگی در یک سطح معین ثابت ماند. با توجه به این شرایط ادامه روند پمپاژ و تصفیه برای مقدار آلودگی باقی مانده ممکن است سال‌ها به طول انجامد. در این شرایط کاربرد یک روش دیگر پالایش برای تکمیل پمپاژ و تصفیه می‌تواند موثر و توجیه‌پذیر باشد.

منجر به برگشت آلودگی پس از عملیات پمپاژ می‌شود، به‌طور قابل‌توجهی زمان پمپاژ و تصفیه را برای دستیابی به اهداف پالایش و از بین بردن آلودگی آب زیرزمینی ممکن است برای چندین دهه افزایش دهد. دومین مشکل برگشت آلودگی این است که پس از عملیات پمپاژ و تصفیه بازگشت آلودگی ممکن است در غلظتی بالاتر از استانداردهای تصفیه به ثبات برسد و با افزایش زمان و هزینه تصفیه، توجیه به‌کارگیری از روش پمپاژ و تصفیه را با تردید مواجه سازد (Gorelick et al., 1993).

۳-۴- تصفیه آب زیرزمینی آلوده

تصفیه به‌منظور کاهش غلظت آلودگی محلول در آب زیرزمینی به اندازه از قبل تعیین شده و یا به اندازه‌ای که کیفیت آب با

آلوده به ترکیبات آلی کاربرد دارند. بهترین روش های تصفیه بیولوژیکی شامل: سیستم های لجن فعال، راکتورهای پیوسته متوالی، دیسک های بیولوژیکی دوار (بیو راکتورهای لایه ثابت) (RBC) و راکتورهای بیولوژیکی غشایی (MBR) است (Mackay and Cherry, 1989). روش های تصفیه فیزیکی- شیمیایی یا ترکیبی از روش های فیزیکی و شیمیایی می تواند برای حذف آلاینده ها از آب زیرزمینی استفاده شود. از پرکاربردترین آن ها می توان روش: کربن فعال، تبادل یون، اسمز معکوس، ترسیب شیمیایی فلزات، اکسیداسیون شیمیایی، فیلتراسیون، اکسیداسیون تابش اشعه فرابنفش (UV) و فنآوری های پیشرفته مانند روش های الکتروشیمیایی را نام برد. کاربرد فنآوری های مختلف تصفیه آب زیرزمینی آلوده شده توسط هر یک از دسته های اصلی آلودگی های آلی و غیرآلی در جدول ۱ خلاصه شده است (U.S. EPA, 1991).

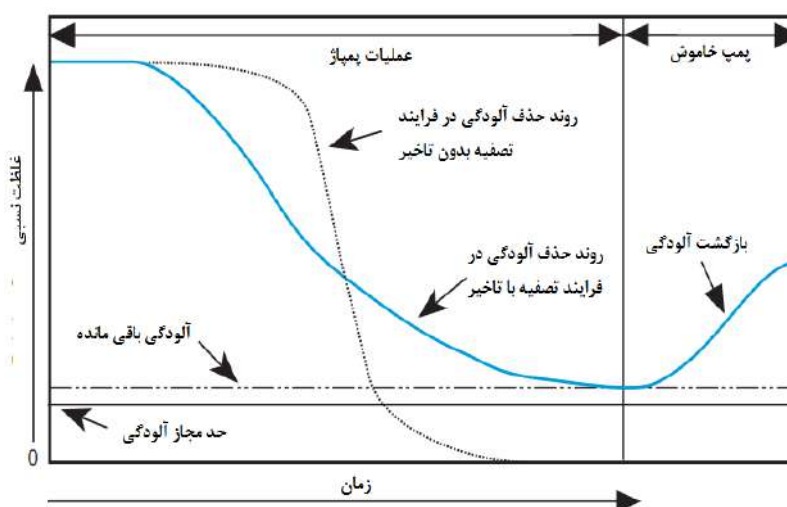


شکل ۵- تاثیر پمپاژ پالسی بر عملیات پمپاژ موثر

۳-۵- پایش، نظارت و مدیریت پویا

طراحی یک سیستم پایش برای اندازه گیری اثربخشی سیستم پمپاژ و تصفیه برای دستیابی به اهداف پاکسازی آبخوان از آلودگی ضروری است. نظارت بر بازسازی آبخوان عمدتاً شامل اندازه گیری غلظت آلودگی در چاه های پمپاژ و مشاهده ای برای تعیین میزان و اثربخشی فرایند حذف آلودگی است. نظارت بر پاکسازی آبخوان از آلودگی شامل سه عنصر است. اول: نمونه برداری به منظور بررسی پیشرفت عملیات پاکسازی آبخوان، که پارامترهای

سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا تکنولوژی های تکامل یافته تصفیه فاضلاب های صنعتی برای تصفیه عملیاتی توده های آلاینده آب زیرزمینی را تشریح کرده است. این روش ها به دو دسته اصلی روش های بیولوژیکی و فیزیکی-شیمیایی تقسیم می شوند. در روش های تصفیه بیولوژیکی از میکروارگانیسم ها برای از بین بردن ترکیبات آلی استفاده می شود. این روش ها برای تصفیه آب های زیرزمینی



شکل ۶- تغییرات غلظت در مدت زمان پمپاژ و واکنش تاخیر و برگشت آلودگی

جدول ۱- فناوری‌های کاربردی در تصفیه آب زیرزمینی آلوده (U.S. EPA., 1991)

نوع آلاینده	روش تصفیه																
	ذخیره سازی	اختلاط سریع	منفقد سازی	اشعه UV	اکسیداسیون	احیا	تقطیر	هوادهی	استخراج بخار	کربن فعال	تجزیه	ته نشینی	شناور سازی	جداسازی	تبادل یون	فیلتراسیون	الکتروشیمیایی
فلزات سنگین	-	*	*	-	-	+	-	-	+	*	*	-	*	*	*	-	*
کروم	-	*	-	-	-	*	-	-	+	*	-	-	+	*	-	-	*
آرسنیک	-	+	*	+	+	-	-	-	+	-	+	-	*	*	*	+	+
جیوه	-	*	*	-	-	*	-	-	*	-	+	-	+	*	*	-	-
سیانید	-	-	-	*	*	-	-	-	-	*	-	-	*	*	-	+	+
مواد خوردنده	*	*	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ترکیبات آلی فرار	-	-	-	+	*	-	*	*	*	-	-	-	+	+	-	+	-
کتون‌ها	-	-	-	-	+	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-
عناصر نیمه فرار	-	+	+	*	*	-	*	-	*	+	+	+	*	*	-	+	-
آفت کش‌ها	-	*	+	*	*	-	*	-	*	+	+	+	*	*	*	+	-
پلی کلرو بی فنیل	-	*	*	*	*	-	*	-	*	*	*	*	*	*	*	+	-
دی اکسین‌ها	-	*	*	*	*	-	*	+	*	*	*	*	*	*	+	+	-
روغن و گریس	-	*	*	*	-	-	*	-	-	*	*	*	*	*	+	+	-

* اجرایی، - غیر قابل اجرا، + دارای پتانسیل اجر

اطلاعات جامع تر می‌تواند از نظر اقتصادی و زیست محیطی نیز موثر واقع شود. به طور کلی تر، پایش و جمع آوری اطلاعات اضافی در مورد منطقه پمپاژ و تصفیه به اپراتورها اجازه می‌دهد تصمیمات آگاهانه در مورد استفاده کارآمد از منابع و تجهیزات تصفیه را اتخاذ کنند. به طور خاص، این روش مدیریت پویا با دخالت دادن مشاهدات و تجربیات در هر مرحله و تاثیر دادن آموخته‌ها در ادامه فرایند پمپاژ و تصفیه باعث موفقیت بیشتر سیستم پمپاژ و تصفیه می‌شود و در نهایت زمان لازم برای دستیابی به اهداف پاک‌سازی ناحیه آلوده را به حداقل می‌رساند.

یک مولفه کلیدی از رویکرد مدیریت پویا، طراحی موثر و عملیاتی سیستم پمپاژ و تصفیه است و برای دستیابی به این منظور همواره دو اصل باید مورد توجه قرار گیرد. تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده، مدل سازی و بهینه سازی برای مکان یابی مناسب چاه پمپاژ و دوم، حفر و احداث چاه های پمپاژ و پایش، به طوری که اطلاعات حاصل از بهره برداری چاه های اولیه، در تصمیم گیری در مورد احداث چاه های بعدی مورد استفاده قرار گیرد (Ross et al., 2003).

مورد تجزیه و تحلیل آن شامل مواد شیمیایی خطرناک، مواد شیمیایی مانند آهن که با احیا شدن ته نشین می‌شود و مواد شیمیایی دیگری مانند اکسیژن محلول، دی اکسید کربن که در وقوع فرایندهای تجزیه زیستی تاثیر گزارند است. مشخصات این نمونه‌ها برای دستیابی به عملیات پمپاژ بهینه موثر است. دوم: نمونه برداری دوره ای و تجزیه شیمیایی نمونه برداری های بخش جامد آبخوان در منطقه آلودگی به منظور اندازه گیری کاهش مقادیر آلاینده های غیر محلول. سوم: نمونه برداری منظم و تجزیه و تحلیل برای ارزیابی عملکرد سیستم تصفیه مانند تغییرات شیمیایی و غلظت آلودگی محلول که ممکن است بر عملکرد تصفیه تاثیر گزار باشند (Feldman and Campbell, 1994).

برای موثر بودن عملیات پمپاژ و تصفیه پس از عملیات تصفیه، منطقه باید به صورت پویا مدیریت شود. به عنوان مثال: اطلاعات جمع آوری شده در حین حفاری و احداث عملیات چاه های پمپاژ، اطلاعات به دست آمده در حین پمپاژ و ردیابی تغییرات آب در چاه های پایش و غلظت آلودگی در چاه های مشاهده ای می‌تواند تصویر واقعی تر بخشی از آبخوان منطقه مورد نظر را نشان دهد. مدیریت پویای منطقه پمپاژ براساس

۳-۶- ارزیابی موفقیت به‌سازی آبخوان

موفقیت عملیاتی روش پمپاژ و تصفیه زمانی حاصل می‌شود که کیفیت آب به یک استاندارد از پیش تعیین شده برسد و پایدار بماند. شکل ۷ روش تعیین موفقیت و یا اتمام سیستم پمپاژ و تصفیه را به‌صورت فلوچارت بیان می‌دارد (Cohen et al., 1994).

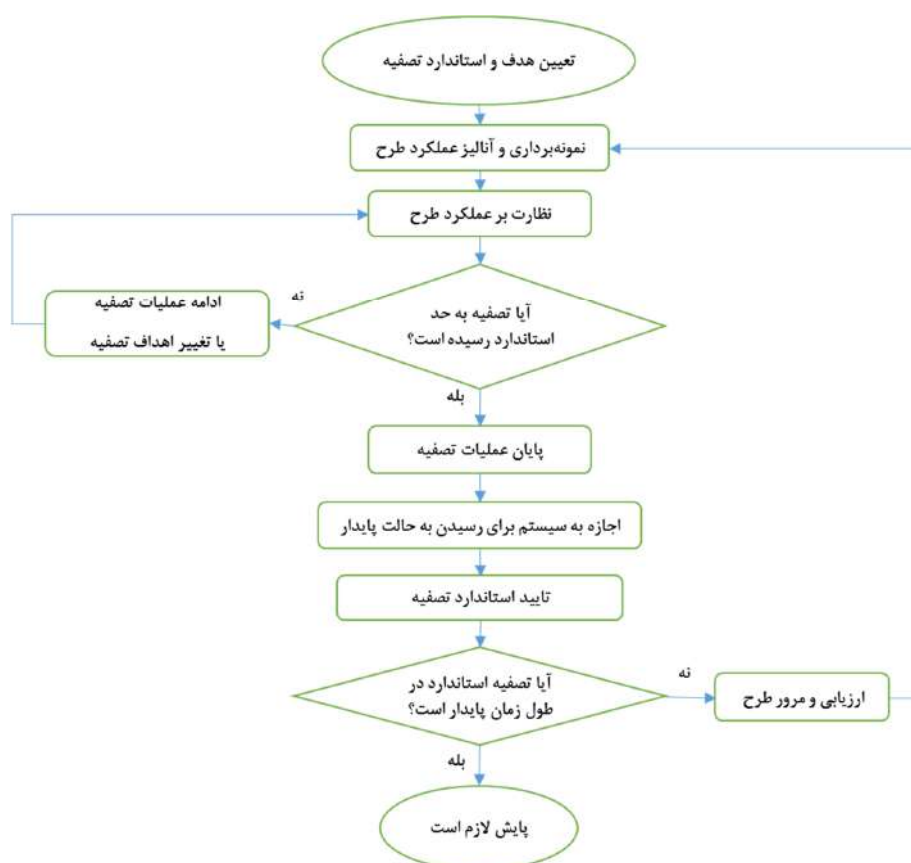
باشد)، استفاده از چاه‌های افقی یا ترانشه‌ها برای جایگزینی یا تکمیل چاه‌های عمودی، همچنین استفاده از چاه‌های افقی یا شیب دار، استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی سطحی برای شناسایی دقیق و سریع مناطق آلوده، استفاده از روش‌های شیمیایی پیشرفته تصفیه که سرعت عمل تصفیه را افزایش می‌دهد، در بهبود و ارتقای روش پمپاژ و تصفیه موثر است.

۳-۷- ارتقای سیستم‌های پمپاژ و تصفیه

هرچند که جایگزین کردن سایر روش‌های پالایش به‌جای روش پمپاژ و تصفیه بدون عملیات پمپاژ و تصفیه وجود ندارد، اما ایجاد تغییر در سیستم پمپاژ و تصفیه همراه با پیشرفت تکنولوژی موجب افزایش سرعت در این روش شود. انواع عمده تغییرات عبارتند از: جایگزینی چاه‌های پمپاژ عمودی با ترانشه و زهکش در شرایط مطلوب (به‌عنوان مثال عمق آلودگی کم

۴- راه‌کارهای پیشنهادی برای کاربرد موفق روش پمپاژ و تصفیه در ایران

این روش در ایران در محل فعالیت پالایشگاه فراورده‌های نفتی، محل ورود زهاب‌های کشاورزی به آبخوان، محل دفن مواد زائد جامد، محل فعالیت معادن و سایر منابع آلودگی که به‌صورت نقطه‌ای به منابع آب زیرزمینی نفوذ و به سایر نقاط آبخوان منتقل و منتشر می‌شوند کاربرد بیشتری دارد. هرچند که



شکل ۷- فلوچارت ارزیابی سیستم پمپاژ و تصفیه

اتخاذ تدابیر مدیریتی و اجرایی برای جلوگیری از ورود این آلودگی‌ها به منابع آب زیرزمینی توصیه موکد می‌شود، اما همواره با توسعه مناطق شهری و گسترش فعالیت‌های مختلف صنایع و معادن و پالایشگاه‌ها پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان‌های کشور افزایش یافته و بسیاری از آبخوان‌ها را در معرض آلودگی قرار داده و استفاده از روش‌های موفق پالایش را اجتناب‌ناپذیر نموده است. مهم‌ترین مواردی که می‌تواند در اجرای موفق پروژه‌های پمپاژ و تصفیه در ایران موثر واقع شود شامل مواردی چون ورود تکنولوژی‌های پیشرفته این روش به داخل کشور، استفاده از تجربیات موفق سایر نقاط جهان، به‌کارگیری رهنمودهای سازمان حفاظت محیط زیست و توسعه دهندگان این روش، به‌کارگیری نیروی متخصص، استفاده از دانش و تکنیک‌های به‌روز پیشرفته و روش‌های بهینه‌سازی به‌همراه به‌کارگیری فناوری‌های جانبی موثر بر افزایش راندمان پمپاژ و تصفیه است. پایش مستمر منبع آلاینده و محیط آبخوان آلوده شده در تعیین اثربخشی پمپاژ و تصفیه و به‌کارگیری تمهیدات مدیریتی می‌تواند در اجرای موفق این پروژه‌ها موثر واقع شود. برای کاهش هزینه‌های این روش در کشور می‌توان هزینه پمپاژ را از طریق مکان‌یابی مناسب چاه‌های پمپاژ از طریق شبیه‌سازی‌های کامپیوتری و تحقیقات میدانی کاهش داد. هم‌چنین می‌توان با شناسایی الگوهای بهینه پمپاژ و تزریق، حجم عملیات پمپاژ و هزینه نهایی را کاهش داد. در صورت امکان می‌توان بخشی از آب پمپاژ و تصفیه شده را در محل مورد استفاده قرار داد و حجم و تعداد چاه‌های تزریق را کاهش داد. از طرف دیگر می‌توان هزینه تصفیه را با استفاده از روش‌های بیولوژیکی تصفیه و استفاده از جاذب‌های طبیعی خاص هر منطقه کاهش داد. علاوه بر راه کارهای مهندسی به کارگیری تدابیر و سیاست‌هایی چون موظف نمودن تامین بخشی از هزینه‌های پمپاژ و تصفیه از سوی ارگان مربوطه به‌عنوان عامل ایجاد آلودگی، گامی موثر جهت کاهش منبع آلودگی در آینده و تامین بخشی از هزینه‌های این روش در حال حاضر محسوب می‌شود. از طرف دیگر با اعطای تسهیلات و وام‌های با بهره پایین به شرکت‌ها و مجریان این طرح‌ها می‌توان هزینه عملیاتی پروژه‌های پمپاژ و تصفیه را تامین نمود.

۶- نتیجه‌گیری

پمپاژ و تصفیه یک روش موثر برای کنترل و حذف آلودگی در احیای آبخوان‌های آلوده به انواع آلاینده‌های آلی و غیرآلی

با اجرای در محل است. موفقیت این سیستم به‌دلیل بزرگ بودن ابعاد و پیچیدگی‌های محیط آبخوان بستگی به استفاده از ابزار و راه کارهای درست برای درک دقیق مسئله در محیط واقعی دارد. اگرچه عملیات پمپاژ یک فرایند مجزا و مستقل از عملیات تصفیه است، اما هر دو باید هماهنگ و متناسب یکدیگر باشند و به‌صورت یک سیستم هماهنگ برای دستیابی به اهداف پروژه با در نظر گرفتن هزینه و زمان عمل کنند. تعیین نوع آلاینده و محدوده آلودگی از طریق نمونه‌برداری با ابزارهای نوین، مهار هیدرولیکی مناسب برای جلوگیری از گسترش توده آلوده، شبیه‌سازی کامپیوتری، عملیات پمپاژ با بیشترین حجم استخراج آلودگی نسبت به آب از طریق پمپاژ پالسی و یا پمپاژ با در نظر گرفتن شعاع تاثیر چاه‌ها، پایش و مدیریت پویای منطقه از طریق ابزار و روش‌های مناسب و استفاده از دانش و تجربیات حاصل در مراحل بعدی عملیات، به‌کارگیری روش مناسب تصفیه و ارزیابی کلی عملیات مذکور تحت یک مدیریت واحد در کاهش هزینه‌ها و مدت زمان اجرای طرح در موفقیت روش پمپاژ و تصفیه برای رسیدن به اهداف احیای آبخوان موثر است. بنابراین با استفاده از دانش موجود و تجربیات اجرایی روش پمپاژ و تصفیه در سایت‌های آلوده کشور می‌توان از توسعه آلودگی در سراسر آبخوان جلوگیری به‌عمل آورد و به‌دنبال آن محدوده کاربرد آب را افزایش و هزینه‌های تصفیه در محل را کاهش داد.

۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- Bioremediation
- 2- Pump and Treat Method
- 3- Phytoremediation
- 4- Soil Vapor Extraction
- 5- Methyl Tert Butyl Ether
- 6- Finite Element Method
- 7- Firefly Algorithm
- 8- Genetic Algorithm
- 9- Simulating Annealing
- 10- Dynamic Programming
- 11- Non Linear Programming
- 12- Artificial Neural Network

۸- مراجع

اسدی شیرین، گ.، غلامعلی فرد، م.، (۱۳۹۴)، "تطبیق ضوابط و ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی محل دفن پسماند

- Ground Water Issue, EPA/540/S-92/005. R.S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, 11 pp.
- Blandford, T.N., and Huyakorn, P.S., (1991), WHPA: "Modular semi-analytical mle from EPA center for subsurface modeling support, Ada, OK. Version 1.0 was released in 1990, [Four modules: MWCAP, RESSQC, GPTRAC, MONTEC; most current disk version is 2.1].
- Bortone, I., Chianese, S., Di Nardo, A., Di Natale, M., Erto, A., and Musmarra, D., (2013), "A Comparison between pump & treat technique and permeable reactive barriers for the remediation of groundwater contaminated by chlorinated organo compounds", *Chemical Engineering Transaction*, 32(1), 31-36.
- Bradbury, K.R., Muldoon, M.A., Zaporozec, A., and Levy, J., (1991), "Delineation of wellhead protection areas in fractured rocks", EPA/ 570/9-91-009. Office of Water, Washington, DC, 144 p.
- Chau, T.S., (1988), "Analysis of sustained groundwater withdrawals by the combined simulation-optimization approach", *Journal of Ground Water*, 26(4), 454-463.
- Cheng Chang, L., Jay Chu, H., and Tsai Hsiao, CH., (2006), "Optimal planning of a dynamic pump-treat-inject groundwater remediation system", *Journal of Hydrology*, 342, 295-304.
- Chul Park, Y., Min Jeong, J., Il Eom, S., and Pyoung Jeong, U., (2011), "Optimal management design of a pump and treat system at the industrial complex in Wonju, Korea", *Journal of Geosciences*, 15(2), 207-223.
- Cohen, R.M., Vincent, A.H., Mercer, J.W., Faust, C.R., and Spalding, C.P., (1994), "Methods for monitoring pump-and-treat performance", EPA/600/R-94/123. R.S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, 102 pp.
- Doty, C.B., and Travis, C.C., (1991), "The effectiveness of groundwater pumping as a restoration technology", Knoxville: University of Tennessee, Waste Management Research and Education Institute.
- Endres, K.L., (2004), "Optimal design of pump and treat remediation systems: treatment modeling, source modeling and time as a decision variable", Dissertation, Michigan Technological University.
- EPA, (2000), "Superfund reform strategy, implementation memorandum: Optimization of fund-lead ground water pump treat (P&T) systems", OSWER Directive 9283.1-13, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
- EPA, (2002), "Elements for effective management قائم‌شهر با استفاده از ماتریس Leopold و RIAM"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۱(۳)، ۱۹۳-۲۰۶.
- پاکروان، ش.، صائب، ک.، (۱۳۹۴)، "بررسی انواع آلاینده‌های نفتی ناشی از عملیات پالایشگاه نفت و پتروشیمی اصفهان در منابع آب زیرزمینی"، *هفتمین کنفرانس ملی و نمایشگاه تخصصی محیط زیست*، تهران، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران.
- جلالی، م.، سامانی، ن.، و رضائی، م.، (۱۳۸۸)، "پایش نفت و آلودگی آب در پالایشگاه تهران"، *اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب*، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- خدادادی، م.، صمدی، م.، رحمانی، ا. ر.، ملکی، ر.، اله‌رسانی، ا. و شهیدی، ر.، (۱۳۸۶)، "تعیین میزان آفتکشی‌های ارگانوفسفره و کربامات در منابع آب آشامیدنی همدان در سال ۱۳۸۶"، *مجله سلامت محیط زیست*، ۲(۴)، ۲۵۰-۲۵۷.
- خلیجیان، ا.، سبحان اردکانی، س.، و چراغی، م.، (۱۳۹۳)، "بررسی دیازینون در منابع آب زیرزمینی دشت همدان در بهار ۱۳۹۳"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۲(۳)، ۲۱۱-۲۰۳۱.
- صفوی، ح. ر.، سوخک لاری، ک.، و تائبی، ا.، (۱۳۸۴)، "شبیه‌سازی روش‌های پمپاژ-تصفیه و هوادهی در احیای محلی آب‌های زیرزمینی آلوده"، *مجله آب و فاضلاب*، ۵۶، ۳۰-۳۹.
- کاکائی، ک.، ریاحی بختیاری، ا.، و غلامعلی فرد، م.، (۱۳۸۷)، "ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌وسیله فلزات سنگین حاصل از شیرابه محل دفن زباله‌های همدان و توصیه‌های پوشش مناسب"، *مجله پژوهش در بهداشت محیط*، ۲(۳)، ۲۲۷-۲۲۱.
- گرگانی، ش.، بافکار، ع.، و فاطمی، ا.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با شاخص دراستیک، (مطالعه موردی: دشت ماهیدشت کرمانشاه)"، *مجله سلامت و محیط زیست*، ۹(۴)، ۵۲۷-۵۳۶.
- ناصری، ح.، مدبری، ر.، و فلسفی، س.، (۱۳۹۱)، "آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از آلودگی‌های نفتی در منطقه ری (جنوب تهران)"، *مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی*، ۲۱(۸۱)، ۲۲-۱۱.
- Almasri, M.N., and Kaluarachchi, J.J., (2005), "Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the onground nitrogen loading and recharge data", *Journal of Environmental Modeling and Software*, 20(7), 851-871.
- Bau, D.A., and Mayer, A.S., (2006), "Stochastic management of pump and treat strategies using surrogate functions", *Journal of Advances in Water Resources*, 29(12), 1901-1917.
- Bear, J., Beljin, M.S., and Ross, R.R., (1992), "Fundamentals of ground-water modeling"،

- firefly algorithm", *Engineering Optimization*, 47(1), 1-17.
- Knox, R.C., Canter, L.W., Kincannon, D.F., Stover, E.L., and Ward, C.H., (1984), "State-of-the art of aquifer restoration", EPA, 1984; 600/2-84/182 a & b (NTIS PB85-181071 and PB85-181089).
- Ko, N.Y., and Lee, K.K., (2010), "Information effect on remediation design of contaminated aquifers using the pump and treat method", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(5), 649-660.
- Lu, H.W., Huang, G.H., and Zeng, G.M., (2008), "An inexact two-stage fuzzy-stochastic programming model for water resources management", *Water Resources Management*, 22(8), 991-1016.
- Mackay, D., and Cherry, J.A., (1989), "Groundwater contamination: Pump-and-treat remediation", *Environmental Science and Technology*, 23(6), 630-636.
- Kazemzadeh, M.J., Daneshmand, F., Ahmadfard, M., Adamowski, J., and Martel, R., (2015), "Optimal groundwater remediation design of pump and treat systems via a simulation-optimization approach and firefly algorithm", *Engineering Optimization*, 47(1), 1-17.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., and Gibbs, B.F., (2001), "Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: An evaluation", *Journal of Engineering Geology*, 60(4), 193-207.
- NRC, (2013), "Alternatives for Managing the Nation's Complex Contaminated Groundwater Sites", National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Polemo, M., and Casano, D., (2008), "Climate change, drought and ground water availability in southern Italy", *Geological Society*, 288(10), 39-51.
- Raymond, R.L., Jamison, V.W., and Hudson, J.O., (1977), "Beneficial stimulation of bacterial activity in groundwater containing petroleum hydrocarbons", *American Institute of Chemical Engineers Symposium Series*, 73(166), 390-404.
- Rivett, M.O., Chapman, S.W., Allen-King, R.M., Feenstra, S., and Cherry, J.A., (2006), "Pump-and-treat remediation of chlorinated solvent contamination at a controlled field experiment site", *Environmental Science and Technology*, 40(21), 6770-6781.
- Rogers, L.L., Dowla, R.U., and Johnson, V.M., (1995), "Optimal field-scale groundwater remediation using Neural Networks and Genetic Algorithm", *Journal of Environmental Science and Technology*, 29(5), 1145-1155.
- Ros, K., Kincheloe, C., Baldinger, E., and Nikaidoh, of operating pump and treat systems", EPA/542/R-02/009, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
- EPA, (2007), "Optimization strategies for long-term ground water remedies (with particular emphasis on pump and treat systems)", EPA/542/R-07/007, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- EPA, (2008), "A systematic approach for evaluation of capture zones at pump and treat systems", EPA/600/R-08/003, U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio.
- EPA, (2011), "Groundwater road map: Recommended process for restoring contaminated groundwater at superfund sites", OSWER 9283.1-34, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- EPA, (2014), "Groundwater remedy completion strategy", OSWER 9200.2-144, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C.
- Feldman, P.R., and Campbell, D.J. (1994), "Evaluating the technical impracticality of ground-water cleanup", *Journal of Ground Water Management*, 18, 595-608.
- Gorelick, S.M., Freeze, R.A., Donohue, D., and Keely, J.F., (1993), *Groundwater contamination: Optimal capture and containment*, Lewis Publishers: Boca Raton, FL, 416 pp.
- Haitjema, H.M., Wittman, J., Kelson, V., and Bauch, N., (1994), "WhAEM: Program documentation for the wellhead analytic element model", EPA/600/R-94/210, 120 pp.
- He, L., Huang, G.H., and Lu, H.W., (2009), "A coupled simulation-optimization approach for groundwater remediation design under uncertainty: An application to a petroleum-contaminated site", *Environmental Pollution*, 157(8-9), 2485-2492.
- Heron, G., Bierschenk, J., Swift, R., Watson, R., and Kominek, M., (2016), "Thermal DNAPL source zone treatment impact on a CVOC plume", *Journal of Groundwater Monitoring and Remediation*, 36(1), 26-37.
- Huang, Y.F., Wang, G.Q., Huang, G.H., Xiao, H.N., and Chakma, A., (2007), "IPCS: An integrated process control system for enhanced in-situ bioremediation", *Environmental Pollution*, 151(3), 460-469.
- Kazemzadeh, M., Daneshmand, F., Ahmadfard, M., Adamowski, J., and Martel, R., (2015), "Optimal groundwater remediation design of pump and treat systems via a simulation-optimization approach and

- Voudrias, E.A., (2001), "Pump and treat remediation of groundwatr contaminated by hazardous waste: Can it really be achievd", *International Journal Global Nest*, 3(1), 1-10.
- Zheng, C., (2009), "Recent developments and future directions for MT3DMS and related transport codes", *Journal of Groundwater*, 47(2), 620-625.
- L.,)2003(, "Improving nationwide effectiveness of pump-and-treat remedies requires sustained and focused action to realize benefits", Office of Inspector General, Catalyst for Improving the Environment, United States Environmental Protection Agency Washington, D.C., 20460.
- EPA, U., (2003), "Improving nationwide effectiveness of pump-and-treat remedies requires sustained and focused action to realize benefits report", EPA Office of Inspector General, Memorandum Report, 11 p.
- Sale, T., and Newell, C., (2011). "A guide for selecting remedies for subsurface releases of chlorinated solvents", ESTCP ER-200530, Environmental Technology Security Certification Program, Alexandria, Virginia. Available at: <https://www.serdpestcp.org/content/download/10883/137620/file/ER-200530-DG.pdf>.
- Satkin, R.L., and Bedient, P.B., (1988), "Effectiveness of various aquifer restoration schemes under variable hydrogeologic conditions", *Ground Water*, 26(4), 488-498.
- Thomson, N.R., and Johnson, R.L., (2000), "Air distribution during in site air sparging: An overview of mathematical modeling", *Journal of Hazardous Materials*, 72(2-3), 265-282.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1991), "Handbook: Stabilization technologies for RCRA corrective actions", EPA/625/6-91/ 026. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 62 p.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1995), Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, Soil Vapor Extraction (SVE), "Enhancement technology resource guide", Washington, D.C. 20460, October.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), (1996), "Ground-water and leachate treatment systems", EPA/625/R-94/005. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 119 pp.
- U.S. EPA, (2008), "A systematic approach for evaluation of capture zones at pump and treat systems", U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-08/003, Washington, United States of America.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2001), "A citizen's guide to pump and treat", Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.
- USACE, (2000), "Operation and maintenance of extraction and injection wells at HTRW sites", EP 1110-1-27, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

Water Resources Management and Sewage Recycling, Solutions for Domestic Water Supply in Arid Areas, Case Study: Mashhad City

Ali Heidari

PhD, Iran Water and Power Resources Company (IWPC)

*Corresponding author, Email: heidari@engineer.com

Received: 17/09/2018

Revised: 27/01/2019

Accepted: 28/01/2019

Abstract

As a result of the climate change and water abstraction in neighbouring countries, domestic water supply to boarder line cities has faced serious challenges due to reduction in available water. Mashhad city is one of the most strategic cities of Iran that would face with water scarcity challenge. Though the Oman Sea water desalinization and transfer to Mashhad is being studied at the moment, this paper defines water demand and conventional and non-conventional regional water supplies and shows that the available regional water resources can meet domestic demand. Despite the low volume of water supply in some individual projects; local water management is superior to sea water transfer scenario in terms of economic and environmental aspects. Agricultural water consumption management based on groundwater entitlement and sewage water recycling are more suitable scenarios for domestic water supply. There are two alternatives for recycling sewage water including: 1) substituting agricultural water with sewage in adjacent aquifers and convey clean water for domestic use and 2) secondary treatment of effluent and injecting it into domestic aquifer. Future domestic demand of Mashhad city is 1.5 times of existing demand and regional water supply schemes not only can meet the demand but also provide 122 MCM excess water (31% of demand) as confidence limit.

Keywords: Aquifer recharge, Domestic water supply, Mashhad, Sewage recycling.

مدیریت منابع آب و بازچرخانی پساب، راهکار
تامین آب شرب مناطق خشک: مطالعه موردی
شهر مشهد

علی حیدری*
دکتری مدیریت منابع آب، شرکت توسعه منابع
آب و نیروی ایران
* نویسنده مسئول، ایمیل: heidari@engineer.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۶

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

چکیده

کاهش منابع آب به دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش آب‌های مرزی ورودی به کشور و ساخت و سازهای کشورهای همسایه، هم‌زمان با افزایش جمعیت در حوضه‌های خشک و نیمه خشک، تامین آب شرب شهرهای مرزی کشور را با چالش جدی مواجه نموده است. شهر مشهد یکی از شهرهای استراتژیک کشور است که با این چالش روبرو است. علی‌رغم مطرح بودن انتقال آب از دریای عمان، در این مقاله، ضمن تعیین نیاز آبی شرب و منابع متعارف و غیر متعارف موجود در منطقه، کفایت میزان منابع آب محلی برای مصارف شرب شهر مشهد تبیین شده است. در این راستا هر چند طرح‌های مهار و انتقال آب‌های سطحی منطقه دارای حجم آب کم و هزینه‌های بالایی هستند ولی در مقایسه با گزینه انتقال آب از دریا، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی از ارجحت ملموسی برخوردارند. کاهش مصارف کشاورزی از آب زیرزمینی تا سقف آب قابل برنامه‌ریزی، بازچرخانی پساب فاضلاب شهر مشهد به عنوان راهکار تکمیلی تامین آب شرب مطرح هستند. برای بازچرخانی پساب، دو راهکار جابجایی با مصارف کشاورزی آبخوان‌های غرب مشهد و یا تصفیه تکمیلی و تزریق آن به آبخوان شرب مطرح است که هر دو راهکار، پتانسیل مناسبی برای تولید آب شرب دارند. نیاز آبی شرب مشهد در افق ۱۴۲۰ به میزان ۱/۵ برابر نیاز فعلی خواهد بود که با در نظر گرفتن منابع آب محلی و بازچرخانی پساب، نه تنها دارای کمبود نخواهد بود بلکه ۱۲۲ م.م.م در سال معادل ۳۰٪ نیاز آبی شرب آب مازاد نیز در جهت حاشیه اطمینان وجود خواهد داشت.

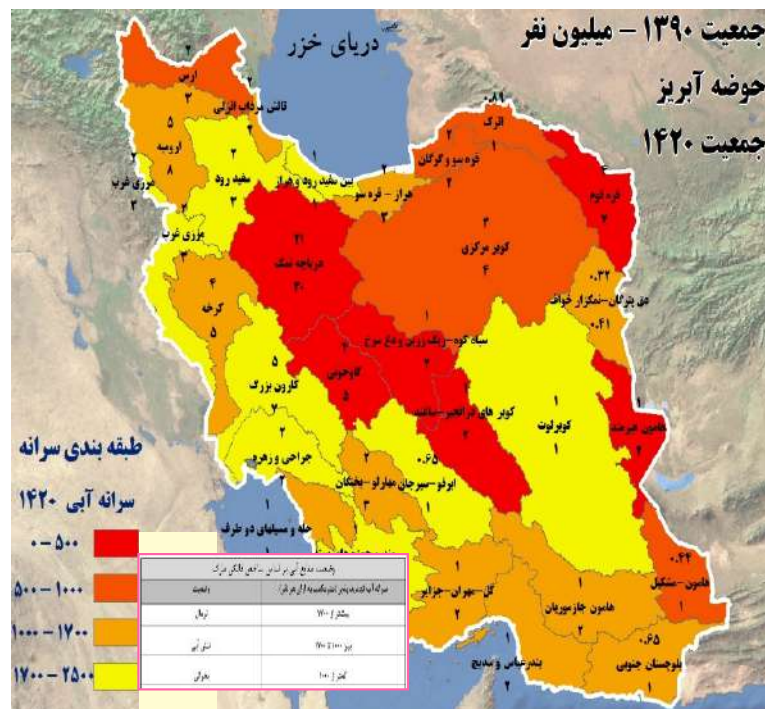
کلمات کلیدی: تامین آب شرب، بازچرخانی فاضلاب، تغذیه آبخوان، مشهد.

محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و افزایش جمعیت باعث کاهش سرانه آب تجدیدپذیر شده و تامین آب شرب نقاط جمعیتی را از منابع آب متعارف با هزینه‌های کلان مواجه نموده است. یکی از منابع آب در دسترس در محدوده شهرها، فاضلاب شهری است که از لحاظ کمی از اطمینان‌پذیری مناسبی برخوردار است. لذا تصفیه و بازچرخانی فاضلاب به‌عنوان یکی از منابع آب غیرمتعارف و مطمئن (از نظر کمی) می‌تواند در کنار منابع آب متعارف محلی برای تولید آب شرب به‌کار گرفته شود. در این رابطه حتی در کشورهای با سرانه آب تجدیدپذیر بالا، تصفیه فاضلاب و بازچرخانی آن برای مصارف مختلف به‌عنوان راه‌کار پایدار و در راستای مدیریت مصرف استفاده می‌شود. تصفیه فاضلاب علاوه بر جلوگیری از تخلیه آب آلوده به محیط‌زیست، سبب حذف یا کاهش استفاده از کودهای کشاورزی از طریق بازیافت مواد مغذی فاضلاب می‌شود. همچنین هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه طرح‌های آبرسانی با بازچرخانی پساب کاهش می‌یابد. استفاده مجدد از پساب دارای منافع و ریسک‌های اقتصادی، اجتماعی، سلامتی و زیست‌محیطی است. آلودگی و انتشار بیماری ناشی از استفاده غیرایمن پساب می‌تواند به ریسک‌های اقتصادی، اجتماعی و سلامتی منجر شود. این روش پاسخی به نیازهای در حال رشد و تطبیق با شرایط تغییر اقلیم در دنیا است. تغییر اقلیم و کمبود آب در مناطق خشک دو عامل اصلی برای استفاده از پساب است. نتایج مدل‌های تغییر اقلیم حاکی از کاهش ۱۰ تا ۲۵٪ منابع آب قابل برنامه‌ریزی کشورهای اروپایی است. کشورهای آلمان، اتریش و کره جنوبی و ولز در رتبه‌های بالای بازچرخانی پساب هستند به‌طوری که این کشورها ۵۲ تا ۵۶ درصد فاضلاب شهری را بازچرخانی می‌کنند. استفاده مجدد از پساب در برخی کشورهای اروپایی و مدیریتانه به‌عنوان یکی از مولفه‌های موثر در مدیریت بلندمدت منابع آب تبدیل شده است (MWWRWG, 2007). دهه اخیر شاهد رشد با سرعت پایین ولی مقبولیت بیشتر استفاده مجدد از پساب در اروپا بوده است به‌طوری که در حال حاضر ۲۰۰ پروژه استفاده مجدد از پساب شهری در این قاره فعال هستند. پروژه AQUAREC در خصوص مفهوم یکپارچه استفاده مجدد از پساب در قالب برنامه ۵ ساله در اروپا و استرالیا انجام شده است (Wintgens et al., 2006). این پروژه یک روش مبتنی

بر مدل‌سازی را برای ارزیابی کمی پتانسیل استفاده مجدد از پساب با استفاده از جریان خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که می‌تواند در سطح یک کشور، منطقه و یا حوضه آبریز کاربرد داشته باشد را توسعه داده است. متدولوژی کار براساس معادله بیلان با تعیین مقادیر حجمی جریان پساب در مکان و زمان خاص در منحنی عرضه و تقاضای پساب بوده است.

در ایران استفاده مجدد از پساب بحثی نو بوده و تجربه عملی معدودی برای استفاده ایمن از پساب وجود دارد. برای سال‌های متمادی فاضلاب سطحی شهرهای بزرگ بدون تصفیه در پایاب آن‌ها برای کشاورزی استفاده می‌شده‌اند. با در نظر گرفتن وضعیت منابع آب کشور، بازچرخانی آب به‌عنوان راه‌کاری مناسب برای تامین نیازهای رو به رشد آب و کاهش تلفات و تبخیر می‌تواند تلقی شود. ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک با بارش متوسط ۱۵ سال اخیر کمتر از ۲۲۰ میلی‌متر در سال قرار گرفته است. به دلیل پدیده افزایش دما و کاهش بارش، متوسط منابع آب تجدیدپذیر کشور در ۱۵ سال اخیر حدود ۳۰٪ نسبت به متوسط درازمدت دوره قبل از آن کاهش یافته است. علاوه بر کاهش منابع آب تجدیدپذیر، توزیع مکانی و زمانی بارش نیز طوری است که در بسیاری از مناطق کشور و یا در فصول خشک سال، منابع آب کافی منطبق بر نیاز آبی وجود ندارد. از سوی دیگر مصرف غیربهینه آب در بخش‌های مختلف مصرف باعث افزایش نیاز آبی هم‌زمان با افزایش جمعیت شده است. این موضوع باعث شده است طرح‌های ذخیره‌سازی و سامانه آبرسانی با توجه به توزیع و پراکندگی جمعیت اجتناب ناپذیر باشد. براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته، نرخ رشد جمعیت در ایران حداقل تا دو دهه آتی افزایشی بوده و پس از رسیدن به جمعیت اشباع، کاهشی خواهد شد. با افزایش جمعیت، سرانه منابع آب تجدیدپذیر در برخی از حوضه‌های آبریز درجه ۲ به کمتر از ۵۰۰ هزار مترمکعب در سال در هر نفر مطابق شکل ۱ خواهد رسید.

طبق طبقه‌بندی فالکن مارک (Falkenmark, 1989)، سرانه ۱۷۰۰ مترمکعب در سال مرز تنش آبی و کمتر از ۱۰۰۰ وضعیت بحرانی محسوب می‌شود که بسیاری از حوضه‌های آبریز مرکز و شرقی کشور در این وضعیت قرار می‌گیرند. فالکن مارک شاخص دیگری تحت عنوان شاخص جمعیت آبی (WCI) برحسب تعداد جمعیت ساکن در هر میلیون مترمکعب منابع آب تجدیدپذیر ارائه نموده است (Falkenmark, 1989)



شکل ۱- مقادیر جمعیت در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۲۰ و سرانه تجدیدپذیر سال ۱۴۲۰ به تفکیک حوزه‌های آبریز درجه ۲

منابع آب تجدیدپذیر در حوزه‌های آبریز واقع در این مناطق محدود بوده و انتقال آب از حوزه‌های آبریز مجاور با منابع آب بیشتر نیز دارای چالش‌های اجتماعی گسترده‌ای است. منابع پساب عمدتاً ناشی از فاضلاب خانگی، پساب‌های صنعتی و آب برگشتی کشاورزی است که در بیلان منابع آب سطحی و زیرزمینی جزو مولفه ورودی بوده و در محاسبات مربوط به منابع آب تجدیدپذیر کشور لحاظ می‌شود. منابع آب لب شور آب‌های واقع در نمک‌زارها و آبخوان‌های شور است که به دلیل شوری بالا مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. منابع آب دریا به دلیل هزینه‌های بالای نمک‌زدایی و انتقال به نقاط جمعیتی که عمدتاً از دریا فاصله قابل توجهی دارند و همچنین اطمینان‌پذیری پایین ناشی از وقوع پدیده‌های زیست‌محیطی نظیر کشند قرمز از مقبولیت کمتر برای مصارف بخصوص شرب برخوردارند.

مدیریت مصرف و صرفه‌جویی آب به عنوان یکی دیگر از راهکارهای تامین آب شرب مطرح بوده و هست که به دلیل تعرفه‌های پایین قیمت آب در بخش‌های مختلف مصرف، عملاً سیاست‌های تشویقی و ترغیبی موجود برای کاهش مصرف، کارایی لازم را نداشته و هم‌چنان شاخص‌های مصرف آب در کشور از استانداردهای جهانی بالاتر است. البته الگوی مصرف آب در مناطق خشک کشور، به مقادیر بهینه نزدیکتر است ولی

(Pallett et al., 1997). چنان‌چه این شاخص بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ باشد تنش آبی، بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کمبود مطلق آب و بالاتر از ۲۰۰۰ آب به عنوان مانع رشد و توسعه محسوب می‌شود. با توجه به متوسط منابع آب تجدیدپذیر کشور در ۱۵ سال اخیر معادل ۸۹ میلیارد متر مکعب در سال و جمعیت سرشماری سال ۱۳۹۵ معادل ۸۰ میلیون نفر، شاخص WCI حدود ۹۰۰ برای سال ۱۳۹۵ حاصل می‌شود که در مرز تنش آبی است. با در نظر گرفتن پیش‌بینی جمعیت کشور در سال ۱۴۲۰ معادل ۱۰۸ میلیون نفر (وزارت نیرو، ۱۳۹۴) و فرض عدم کاهش منابع آب تجدیدپذیر در آینده به رغم وجود اثرات منفی تغییر اقلیم بر منابع آب، این شاخص به ۱۲۰۰ می‌رسد که در محدوده کمبود مطلق آب است. البته این شاخص برای مناطق خشک کشور عدد بالاتری نسبت به متوسط کشور است. به عنوان مثال برای حوزه آبریز قره قوم در شمال شرق کشور این شاخص به ۲۰۰۰ برای سال ۱۴۲۰ می‌رسد که در آن آب به عنوان مانع رشد و توسعه تلقی می‌شود.

یکی از دغدغه‌های مهم کشور در مناطق خشک، تامین آب شرب نقاط جمعیتی در آینده است. منابع آب در دسترس برای تامین نیازهای آبی شامل منابع آب تجدیدپذیر و منابع آب غیرمعارف شامل پساب، آب‌های لب شور و آب دریا هستند.

از لحاظ وابستگی معشیت مردم به کشاورزی و قانون حقایقه‌ها عملاً تخصیص آب کشاورزی به شرب را با مشکل مواجه نموده است.

در این مقاله چالش‌ها و راه‌کارهای تامین آب شرب شهر مشهد به‌عنوان یکی از شهرهای استراتژیک واقع در حوضه آبریز سرخس ارائه شده است. شهرهای با ویژگی‌های منابع آبی مشابه شهر مشهد در نقاط مختلف کشور وجود دارند که راه‌کارهای پیشنهادی در این مقاله می‌تواند برای آن‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۲- بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب

هرچند پساب (فاضلاب تصفیه شده) به‌عنوان منبع جدید آب محسوب نمی‌شود ولی نزدیکی آن به نقاط جمعیتی و اطمینانپذیری بالای آن به لحاظ کمی، می‌تواند به‌عنوان پتانسیل تولید آب شرب از طریق تصفیه‌های ثانویه و جایگزینی با مصارف غیر شرب باشد. امروز با استحصال منابع آب سالم در نزدیکی شهرها و محدودیت این منابع، تامین آب بهداشتی از منابع آب سالم نیاز به هزینه‌های هنگفت تصفیه و انتقال آب دارد. در برخی از نقاط کشور نیز منابع جدید آب سالم وجود نداشته و با لحاظ تنش‌های اجتماعی عملاً برای افزایش ظرفیت تامین آب شرب باید به منابع آب دریا متکی بود. پساب معمولاً به منابع آب طبیعی تخلیه شده و برای استفاده مجدد در نقطه دیگری که از لحاظ مکانی و زمانی متفاوت از نقطه خروجی تصفیه‌خانه است برداشت می‌شود. در این حالت، پساب با سایر منابع آب قبل از استفاده مجدد مخلوط شده و تقلیل کیفیت می‌یابد. این‌روش به‌عنوان روش غیرمستقیم استفاده مجدد از پساب تلقی می‌شود. در حالتی که پساب بدون تقلیل کیفیت (بدون اختلاط با رواناب سطحی یا آب زیرزمینی) مستقیماً مورد استفاده قرار گیرد، استفاده مجدد مستقیم نامیده می‌شود.

روش مستقیم استفاده مجدد پساب برای موارد زیر کاربرد دارد:

- آبیاری کشاورزی، فضای سبز، مصارف ورزشی و تفریحی؛
- آب مورد نیاز فرآیندهای تولید و خنک‌کننده‌های صنایع؛
- سیستم آبرسانی دوگانه شهری برای مصارف غیرشرب (فلاش تانک‌ها و آبیاری باغچه)؛

- آتش‌نشانی، شستشوی خیابان، غبارروبی و ساخت برف؛
 - آب مورد نیاز برای احیا و بازسازی اکوسیستم آبی؛
 - تزریق به آبخوان از طریق چاه‌های تزریق برای کنترل هجوم آب شور؛
 - استخرهای ماهی.
- روش غیرمستقیم می‌تواند برای موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:
- افزایش آب قابل برنامه برای تولید آب شرب؛
 - افزایش آب قابل برنامه‌ریزی صنعت؛
 - تزریق به آبخوان و برداشت آب با تاخیر برای افزایش کمیت و کیفیت منابع آب.

در برخی شهرهای اروپا با جمعیت بالا نظیر لندن، برلین و بارسلون، استفاده از روش غیرمستقیم برای مصارف شرب از طریق تزریق در آبخوان و یا ترکیب با منابع آب سطحی صورت می‌گیرد. ریسک‌ها و منافع استفاده مجدد پساب شامل اقتصادی، اجتماعی، سلامتی و محیطی زیستی هستند که به نوع کاربرد استفاده مجدد از پساب، کیفیت پساب، ریسک سلامتی و میزان تماس با پساب، جغرافیا، اقتصاد منطقه، یارانه و سایر عوامل بستگی دارند. ریسک‌های سلامتی و اجتماعی مربوط به تهدید سلامت عمومی به‌خصوص در موارد استفاده غیرقانونی و غیر ایمن به‌دلیل کمبود منابع آب و یا عدم وجود دستورالعمل تصفیه مناسب فاضلاب و کم بودن تجربه تصفیه است. درخصوص ریسک‌های محیط‌زیستی هم می‌توان به پساب فاضلاب‌های سمی و خطرناک حاصل از فعالیت‌های صنعتی و نمک آب‌های شور برگشتی کشاورزی اشاره نمود که می‌تواند به کاهش کیفیت منابع آب، به خطر افتادن سلامت عمومی و اثرات منفی بر محیط‌زیست منجر شود. اثرات و ریسک تجمع مواد زاید حاصل از تصفیه فاضلاب نظیر لجن باید به‌دقت مدیریت شود. همچنین آلودگی‌های ناشی از دارو و درمان ممکن است در سلامت انسان و اکوسیستم تاثیرگذار باشند. در مقابل ریسک‌های مذکور، منافع متعدد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌خصوص در مناطق کم آب برای استفاده مجدد از پساب وجود دارد. از جمله می‌توان به کاهش نیاز آبی شرب و بهداشت، کاهش و یا حذف مصرف کودهای شیمیایی و افزایش بهره‌وری کشاورزی، کاهش نیاز به ساخت تاسیسات آبرسانی، کمک به تحقق اهداف توسعه هزاره (MDG) از طریق افزایش آب قابل برنامه‌ریزی، امنیت غذایی و پایدار کشاورزی

از طریق بازچرخانی مواد مغذی، کاهش فقر و افزایش کیفیت زندگی، کمک به حفاظت منابع پاک آب، کمک به کاهش اثرات تغییر اقلیم از طریق کاهش انرژی پمپاژ آب از آب زیرزمینی و آب شیرین‌کن‌ها، کاهش نیاز آبی صنعت به آب پاک، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی، کمک به احیای تالاب‌ها و بدنه‌های آبی، احیای آبخوان‌ها و ... اشاره نمود.

۳- مطالعه موردی

مطالعه موردی در این مقاله شهر مشهد واقع در حوضه آبریز کشف رود در شمال شرق کشور است. در حال حاضر سد دوستی واقع در مرز ترکمنستان در رودخانه هریرود، مهم‌ترین تامین کننده آب شرب مشهد است. این سد متاثر از برداشت‌های آب در حوضه آبریز بالادست است که بیش از ۹۰٪ آن در

کشور افغانستان قرار دارد. با ساخت سد سلما در افغانستان و وقوع خشکسالی‌های دهه اخیر، آورد ورودی به سد به تدریج در حال کاهش است. همچنین سدهای دیگری نیز در بالادست سد سلما در حال ساخت هستند که بهره‌برداری آن‌ها تاثیر مستقیمی بر منابع آب سد دوستی خواهد داشت.

۳-۱- پیش‌بینی جمعیت

جمعیت آتی شهر مشهد متاثر از جمعیت ساکن و جمعیت متغیر (زائین) است. برای پیش‌بینی جمعیت از نتایج مطالعات طرح جامع آب کشور استفاده شده است که در آن روش توصیفی - تحلیلی وضعیت کنونی جمعیت برای پیش‌بینی به کار رفته است. مبانی اطلاعاتی این روش داده‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران، داده‌های ثبتی وقایع حیاتی سازمان ثبت احوال کشور و در مورد مهاجرت‌های

جدول ۱- پیش‌بینی جمعیت شهر مقدس مشهد در افق‌های آتی - برحسب نفر (وزارت نیرو، ۱۳۸۹)

شرح	۱۳۹۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰	۱۴۱۵	۱۴۲۰
جمعیت ساکن شهر مشهد	۲,۷۶۶,۲۵۸	۳,۱۳۶,۰۰۰	۳,۵۰۶,۸۰۰	۳,۸۶۸,۰۰۰	۴,۲۲۶,۸۰۰	۴,۵۸۰,۴۰۰	۴,۹۳۹,۳۰۰
جمعیت زائر (نفر شب اقامت)	۲۶۶,۸۵۵	۳۱۲,۶۸۰	۳۷۳,۱۶۳	۴۴۵,۳۴۶	۵۳۱,۴۹۲	۶۳۴,۳۰۰	۷۷۰,۰۰۰
جمع	۳,۰۳۳,۱۱۳	۳,۴۴۸,۶۸۰	۳,۸۷۹,۹۶۳	۴,۳۱۳,۳۴۶	۴,۷۵۸,۲۹۲	۵,۲۱۴,۷۰۰	۵,۷۰۹,۳۰۰

جدول ۲- طبقه‌بندی سرانه خانگی شهری مطابق جمعیت - برحسب مترمکعب در روز (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴)

طبقه بندی سطوح جمعیتی	محدوده مصرف سرانه آب خانگی	حداقل مصرف سرانه کل	متوسط مصرف سرانه کل	حداکثر مصرف سرانه کل
روستاها	۷۵ تا ۹۰	۹۵	۱۱۷	۱۳۰
شهرهای کمتر از ۲۰ هزار نفر	۷۵ تا ۱۱۰	۹۵	۱۳۳	۱۷۱
شهرهای بین ۲۰ تا ۱۰۰ هزار نفر	۱۰۰ تا ۱۳۰	۱۲۷	۱۶۴	۲۰۲
شهرهای بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هزار نفر	۱۲۰ تا ۱۴۰	۱۵۲	۱۸۵	۲۱۷
شهرهای بیش از ۵۰۰ هزار نفر	۱۳۰ تا ۱۵۰	۱۶۵	۱۹۹	۲۳۳

جدول ۳- نیاز آبی شهر مشهد در افق‌های آتی

افق	۱۳۹۵	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰	۱۴۱۵	۱۴۲۰
سرانه مصرف آب جمعیت ساکن (لیتر در روز)	۲۱۸	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۴	۲۱۲	۲۰۸
سرانه زائر (لیتر در روز)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
متوسط کل نیاز آبی (میلیون مترمکعب در سال)	۲۵۸/۱	۲۸۶/۷	۳۱۷/۱	۳۴۴/۷	۳۷۱/۸	۳۹۶

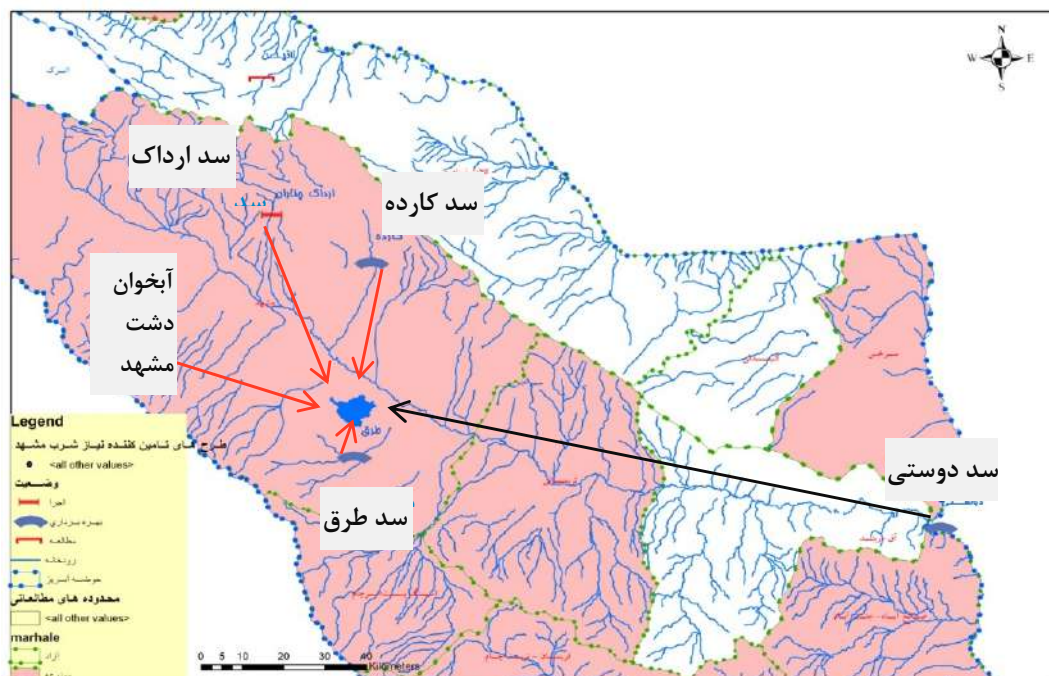
خارجی آمارهای اتباع بیگانه وزارت کشور بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹). بر این اساس پیش‌بینی جمعیت ساکن شهر مشهد براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ و قبل از آن به شرح جدول ۱ است. با توجه به ویژگی‌های زائرپذیری شهر مشهد و براساس آمار مسافرت‌های زائرین، برآورد متوسط جمعیت زائر نیز برحسب نفر در شبانه‌روز در طول سال صورت گرفته است (شرکت آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۴).

۳-۲- نیاز آب شرب شهر مشهد

نیاز آبی شرب بر اساس جمعیت آبی و سرانه مصرف تعیین می‌شود. سرانه مصرف آب خانگی با درنظر گرفتن الگوی کاهش مصرف آب شهری مطابق ابلاغیه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور براساس دسته‌بندی جمعیت مطابق جدول ۲ برای سه سناریوی حداقل، متوسط و حداکثر بوده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴). برای محاسبه نیاز آبی شرب، لازم است پس از برآورد جمعیت ساکن و متغیر (زائرین) در افق‌های مختلف، میزان مصرف خانگی به‌همراه سایر مصرف شهری محاسبه شود. پس از تعیین سرانه خانگی مطابق دسته‌بندی جمعیت جدول ۲، سرانه مصرف عمومی و

تجاری به ترتیب معادل ۱۰٪ و ۱۲/۵٪ مصرف خانگی و آب به‌حساب نیامده (تلفات واقعی و آب بدون درآمد) معادل ۱۵٪ کل مصرف برای سناریوی متوسط منظور شده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴). بر این اساس حداقل مصرف سرانه جمعیت ساکن ۲۰۸ لیتر در شبانه‌روز در سال افق ۱۴۲۰ حاصل شده است. سرانه مصرف زائرین نیز ۷۵ لیتر در شبانه‌روز درنظر گرفته شده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۴) که بر این اساس کل نیاز شرب شهر مشهد در سال‌های آتی مطابق جدول ۳ برآورد شده است.

علاوه بر نیاز شرب شهر مقدس مشهد، شرب شهرهای طبرقه، شاندیز، گلبهار، چناران، رضویه، ملک آباد و روستاهای دشت مشهد مشابه روش به‌کار رفته برای مشهد، معادل ۱۰۰ میلیون متر مکعب (م.م.م) در سال ۱۴۲۰ برآورد می‌شود. براساس نتایج آماربرداری سراسری (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲) نیاز صنعت محدوده مطالعاتی مشهد در شرایط موجود (بدون توسعه) معادل ۵۰ م.م.م در سال است که با احتساب آن، مجموع شرب و صنعت مورد نیاز افق ۱۴۲۰ معادل ۵۵۰ م.م.م برای محدوده مطالعاتی مشهد خواهد بود. همچنین نیاز آبی فضای سبز ۴۰ م.م.م است که مستقیماً از آبخوان برداشت



شکل ۲- طرح‌های در دست بهره‌برداری و اجرا در محدوده مشهد

می‌شود.

طرح مطالعاتی هزار مسجد که در یال شمالی حوضه آبریز سرخس واقع است، طرح پیچیده و پرهزینه‌ای است که تنها قادر به انتقال آب غیرمطمئن ۳۶ م.م در سال است. این طرح متشکل از سدهای کوتاه شامل بندهای ایبور، لایین، ایده لیک و کلات و ۲ سد مخزنی در دست بهره‌برداری قره تیکان و چه چیه است. با توجه به توسعه باغات در پایین دست سدهای مخزنی قره تیکان و چه چیه، حجم آب انتقالی از این طرح‌ها ۵ م.م در سال بوده و دارای هزینه‌های بالای اتصال به سامانه اصلی انتقال است. سامانه انتقال آب طرح هزار مسجد علاوه بر عبور از زیرحوضه‌های متعدد حوضه سرخس از مرز کوهستانی حوضه آبریز کشف‌رود و یال شمالی سرخس می‌گذرد تا به شهر مشهد واقع در بخش میانی حوضه کشف‌رود برسد.

علاوه بر طرح هزار مسجد، سد شورپچه با حجم کل مخزن ۲۰۰ م.م در منتهی‌الیه حوضه آبریز کشف رود و بندهای گلستان و شاندیز در غرب شهر مشهد نیز برای انتقال آب مطرح هستند. حوضه آبریز سد شورپچه در واقع زهکش پساب‌های شهری، روستایی، صنعتی و کشاورزی حوضه کشف‌رود بوده و از لحاظ شاخص‌های بیولوژیکی کیفیت آب و شوری از وضعیت مناسبی برخوردار نیست. علاوه بر کیفیت پایین، در پایاب این سد اراضی حقایبه بر دشت سرخس قرار دارد که جزو بهره‌برداران قدیمی رودخانه کشف‌رود و هریرود به‌شمار می‌روند. خط انتقال آب از سد دوستی به مشهد از مناطق پایاب سد شورپچه عبور می‌کند که در آن اراضی کشاورزی متعلق به آستان قدس از سامانه انتقال آب دوستی دارای اشتراک هستند. لذا با ساخت سد شورپچه و تهاتر آب اراضی کشاورزی آستان قدس با این سد، امکان انتقال آب سهم آب این اراضی از سد دوستی و آب مازاد خروجی حوضه کشف‌رود برای شرب

۳-۳- منابع آب سطحی تامین کننده آب شرب مشهد

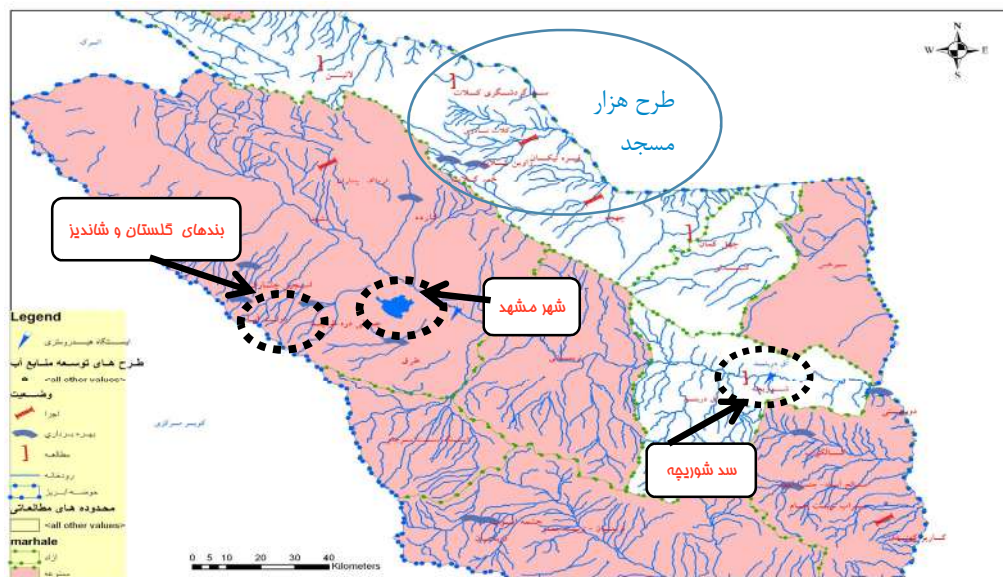
تامین آب شرب از منابع آب سطحی و زیرزمینی صورت می‌گیرد که در شکل ۲ طرح‌های در دست بهره‌برداری و اجرا نشان داده شده است.

سدهای دوستی، طرق و کارده در دست بهره‌برداری و طرح ارداک در شرف بهره‌برداری هستند که به همراه منابع آب زیرزمینی غرب شهر مشهد کل نیاز آبی شرب را تامین می‌کنند. نیاز آبی شرب شهر در شرایط موجود ۲۶۰ م.م در سال است که در افق ۱۴۲۰ به ۳۹۶ (بیش از ۵/۱ برابر) خواهد رسید. میزان مجوز تخصیص آب طرح‌های مذکور، میزان آب تحویلی آن‌ها در سال آبی ۹۴-۹۵ و میزان تامین آب براساس داده‌های به‌هنگام منابع آب برای مصارف شرب شهر مشهد در جدول ۴ نشان داده شده است.

آب قابل برنامه‌ریزی سد دوستی با توجه به ویژگی‌های آن، براساس برآورد تقریبی آورد حوضه ناشی از حوضه میانی پایین دست سد سلما در کشور افغانستان و حوضه آبریز سد واقع در ایران تعیین شده است. به‌رغم مجوز تخصیص آب ۱۲۶ م.م در سال، میزان آب قابل تامین از سد دوستی معادل ۳۰ م.م در سال در سال‌های آتی تخمین زده شده است. میزان حجم آب قابل انتقال از سد ارداک تا ۱۴۰۰ به میزان ۶ میلیون مترمکعب و از سال ۱۴۰۵ تا ۱۴۲۰ به میزان ۱۰ میلیون مترمکعب با اخذ موافقت کشاورزان منطقه برای جابه‌جایی حقایبه کشاورزی این سد با پساب فاضلاب شهری مشهد منظور شده است. هم‌چنین طرح‌های در دست مطالعه برای انتقال آب به مشهد در شکل ۳ نشان داده شده است (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۹۳).

جدول ۴- حجم آب انتقالی شرب مشهد از طرح‌های منابع آب سطحی در دست بهره‌برداری و اجرا (م.م در سال)

منبع	مجوز تخصیص آب	حجم آب تحویلی در سال ۹۴-۹۵	حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای آینده
سد دوستی	۱۲۶/۲	۸۵	۵۰ برای سال ۱۳۹۷ ۳۰ برای سال‌های ۱۴۰۰ به بعد
سد کارده	۸/۷	۳	۹
سد طرق	۶/۸	۵/۴	
ارداک	۱۴	عدم بهره‌برداری سامانه انتقال آب	۱۰
جمع منابع سطحی موجود	۱۵۵/۷	۹۳/۴	۴۹



شکل ۳- موقعیت طرح‌های مطالعاتی تامین آب شرب شهر مشهد از منابع آب سطحی

شاندیز واقع در غرب و شمال غرب مشهد به تصفیه‌خانه آب و برق دیگر طرح مطالعاتی تامین آب شرب مشهد است. براساس متوسط آبدهی این رودخانه‌ها در ۱۵ سال اخیر، حجم آب قابل انتقال برای شرب مشهد برای گزینه‌های مختلف به شرح جدول ۵ است. حجم آب انتقالی از بندها عمدتاً بر فصول تر سال تمرکز بوده و دارای اطمینان‌پذیری سالانه کمتری است، به‌طوری‌که در برخی سال‌های خشک امکان انتقال آب کلاً وجود ندارد.

مشهد فراهم می‌شود. هم‌چنین با احداث تصفیه‌خانه می‌توان خط انتقال آب دوستی را از سد شورپه تامین آب نمود. حجم قابل انتقال آب برای مشهد از سد شورپه با در نظر گرفتن ظرفیت انتقال آب معادل متوسط ۱۰/۵ م.م. در سال خواهد بود. آب انتقالی از این سد با توجه به توزیع زمانی آبدهی عمدتاً در سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد متمرکز است. تامین آب شرب مشهد از رودخانه‌های گلستان و سرآسیاب

جدول ۵ - حجم آب قابل انتقال برای شرب مشهد از طرح‌های سطحی مطالعاتی

طرح	گزینه	ظرفیت انتقال / تصفیه‌خانه آب (لیتر بر ثانیه)	متوسط حجم آب قابل انتقال برای شرب (MCM/y)
هزار مسجد	بدون سدهای مخزنی قره تیکان و چه چه	-	۳۶
	با سدهای قره تیکان و چه چه		۴۱
سد شورپه	تهاتر حقابه‌های آستان قدس	-	۱۰/۵
بندهای گلستان و سرآسیاب شاندیز	بدون لحاظ حقابه آستان قدس	با ظرفیت موجود تصفیه - ۱۱۰۰	۷/۵
		توسعه ظرفیت تصفیه - ۱۵۰۰	۱۲/۱
	با لحاظ حقابه آستان قدس	با ظرفیت موجود تصفیه - ۱۱۰۰	۷/۳
		توسعه ظرفیت تصفیه - ۱۵۰۰	۱۱/۶
جمع	بدبینانه	-	۵۳/۸
	خوشبینانه		۶۳/۶

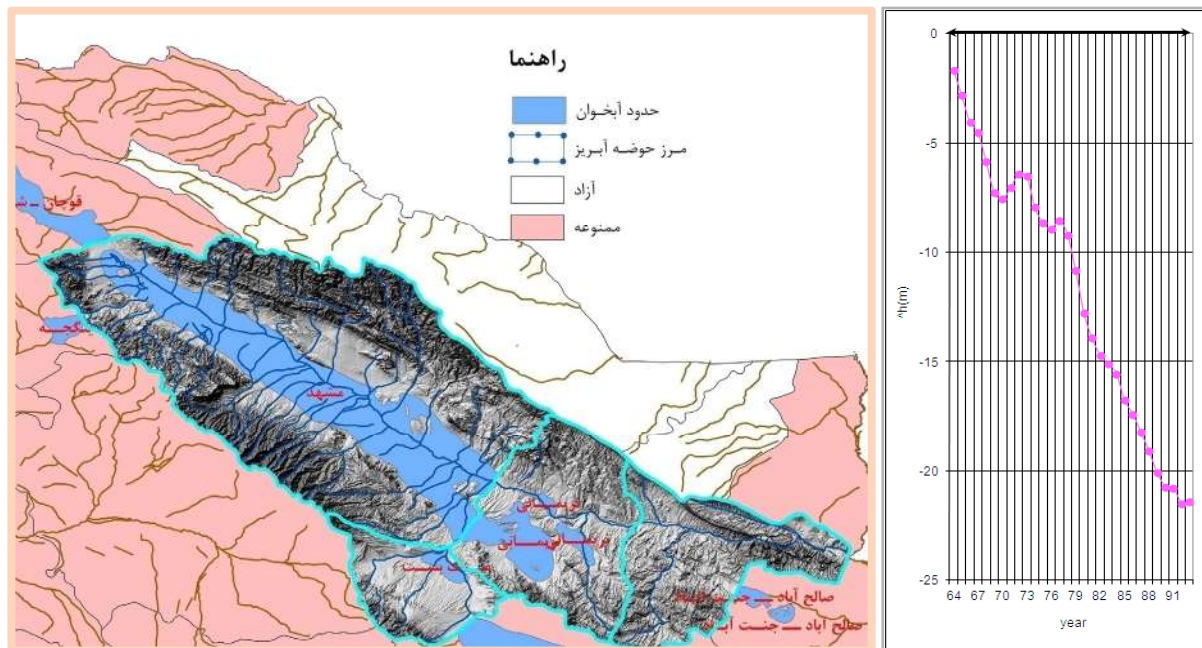
۴-۳- منابع آب زیرزمینی

حوضه آبریز کشفرود دارای ۴ محدوده مطالعاتی است که بزرگترین آن به لحاظ وسعت و حجم آبخوان، محدوده مطالعاتی ممنوعه مشهد مطابق شکل ۴ است. کاهش تراز آب زیرزمینی در آبخوان مشهد حدود ۲۲ متر طی ۳۰ سال اخیر بوده و کسری مخزن آن ۱۰۵ م.م. در سال طبق بیلان آب زیرزمینی منتهی به سال ۱۳۹۰ است. میزان برداشت از آبخوان مشهد ۹۷۵ م.م. در سال است که درصد مصارف کشاورزی، فضای سبز، شرب و صنعت به ترتیب ۶۵۳ (٪۶۷)، ۱۳ (٪۱/۳)، ۲۷۰ (٪۲۷/۷) و ۳۹ (٪۴) م.م. در سال است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۵).

از آنجا که حجم منابع آب تجدیدپذیر (آب قابل برنامه‌ریزی) آبخوان متأثر از آب برگشتی مصارف شرب است و با تکمیل اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، بیلان آبخوان تغییر خواهد نمود، لذا با در نظر گرفتن مولفه‌های آب پاک بیلان منتهی به سال آبی ۹۰-۸۹ و دو گزینه (۱) تعادل بخشی آبخوان (جبران کسری مخزن تجمعی طی ۲۰ سال آتی از زمان شروع طرح تعادل بخشی در سال ۱۳۹۳ و ۲) محدودیت کاهش

علاوه بر این آستان قدس برای مصارف کشاورزی از این دو رودخانه دارای حقابه است. لذا بدون تعامل با حقابه‌بران پایین دست به‌ویژه آستان قدس رضوی، انتقال آب این رودخانه‌ها با تنش‌های اجتماعی همراه خواهد بود. آلودگی رواناب به فاضلاب انسانی و کشاورزی به‌علت عدم فرصت خودپالایی رودخانه‌ها تا محل برداشت از دیگر مشکلات این طرح است و تصفیه‌خانه موجود غرب مشهد و طرح توسعه آن امکان تصفیه بیولوژیکی آلودگی‌ها را ندارند. هم‌چنین این رودخانه‌ها تغذیه‌کننده آبخوان مشهد هستند که در صورت انتقال آب احتمال کاهش آبدهی یا خشک شدن چاه‌های در دست بهره‌برداری در پایین‌دست رودخانه‌ها وجود دارد.

با در نظر گرفتن طرح‌های موجود، اجرایی و مطالعاتی، مجموع حجم قابل‌تامین شرب از منابع آب سطحی در دو گزینه بدبینانه و خوشبینانه به ترتیب معادل ۱۰۲/۸ و ۱۱۲/۶ م.م. خواهد بود که به ترتیب معادل ۲۶٪ و ۲۹٪ نیاز آبی شرب شهر مشهد در افق ۱۴۲۰ است.



شکل ۴ - محدوده‌های مطالعاتی حوضه کشفرود و تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان مشهد

جدول ۶ - حجم آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی دشت مشهد پس از اجرای کامل شبکه جمع‌آوری فاضلاب در حالات مختلف تعادل بخشی آبخوان (میلیون مترمکعب در سال)

با اعمال محدودیت حداکثر تعدیل ۵۰٪ برای مصارف کشاورزی				با جبران کسری مخزن سالانه و تجمعی در ۲۰ سال آتی	
جمع	صنعت و فضای سبز	کشاورزی	شرب *	درصد تعدیل مصارف کشاورزی	آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی
۶۴۸/۵	۵۲	۳۲۶/۵	۲۷۰	٪۷۶	۴۷۸

* در آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی که توسط وزارت نیرو ابلاغ شده است مصارف شرب به میزان ۲۰٪ نسبت به وضع موجود اضافه شده است. به دلیل وضعیت بحرانی دشت مشهد این افزایش در نظر گرفته نشده است تا آب شرب آتی از سایر منابع تامین شود.

* از ۲۷۰ م.م.م آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی شرب دشت مشهد، ۲۴۳ م.م.م مربوط به شهر مشهد است.

سیر نزولی بگیرد ولی به‌منظور تسریع در کاهش تراز و جبران کمبود آب شرب، برداشت ۳۰ میلیون مترمکعب در سال از منابع آب زیرزمینی بی‌کیفیت از طریق ایجاد فرآیند تصفیه و یا جابجایی با مصارف کشاورزی در دستور کار قرار دارد. حداکثر برداشت آب از آب‌های زیرزمینی برای شرب مشهد در افق آتی، ۲۴۳ م.م.م در سال با تکمیل بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری فاضلاب خواهد بود.

۳-۵- پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

تعداد هشت تصفیه‌خانه فاضلاب در طرح جمع‌آوری فاضلاب شهر مشهد مطابق مشخصات شکل ۵ پیش‌بینی شده است (شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۴). ظرفیت هریک از تصفیه‌خانه‌ها و حجم پساب تولیدی آن‌ها براساس اطلاعات جمعیت افق شهر و سرانه مصرف آب شرب در افق آتی و اعمال ضرایب مربوط به تولید فاضلاب و پساب مطابق فرضیات زیر بوده است:

- ۲۰٪ نیاز شرب به مصارف می‌رسد که به فاضلاب تبدیل نمی‌شود؛

- ۱۵٪ فاضلاب تولیدی در شبکه جمع‌آوری و تصفیه‌خانه تلف می‌شود؛

- ۹۰٪ جمعیت با فرض استفاده از ابزارهای قانونی برای اتصال مشترکین، تحت پوشش شبکه جمع‌آوری قرار گیرد. فرضیات فوق براساس نتایج پایش‌های میدانی برای برخی شهرها نظیر شهر تهران تعیین شده است.

پساب اصولاً منابع جدید آب نبوده و مولفه‌ای از تغذیه منابع آب زیرزمینی بوده است که پس از تحقق طرح‌های

مصارف کشاورزی به دلیل موانع اجتماعی، آب قابل برنامه‌ریزی آبخوان مشهد مطابق جدول ۶ محاسبه شده است. حداکثر ضریب تعدیل مصارف کشاورزی به دلیل موانع اجتماعی موجود نظیر وابستگی معیشت به کشاورزی و سایر موانع، ۵۰٪ منظور شده است. این محدودیت در ابلاغیه آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی وزارت نیرو نیز منظور شده است. محدودیت ضریب تعدیل به معنی افزایش دوره زمانی تعادل بخشی به بیش از ۲۰ سال است.

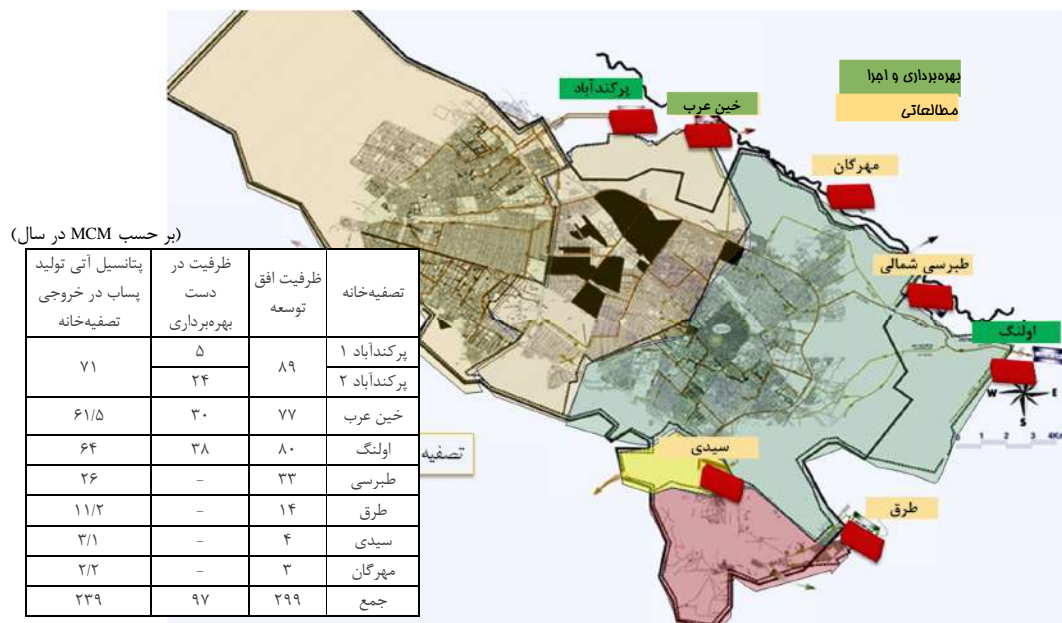
در حال حاضر برداشت آب شرب شهر مشهد از طریق ۱۸۴ حلقه چاه داخل شهر و ۱۵۶ حلقه چاه در آبخوان‌های غرب شهر مشهد صورت می‌گیرد که متوسط برداشت آب آن در ۵ سال اخیر با احتساب چشمه و قنات ۱۱۷ م.م.م بوده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵). با پیشرفت طرح تعادل بخشی آبخوان شامل بستن چاه‌های غیرمجاز، تعدیل پروانه بهره‌برداری و نصب کنتور هوشمند و رسیدن به کاهش ۵۰٪ در مصارف کشاورزی، میزان آبدهی چاه‌های موجود شرب نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به انتقال آب سد دوستی به شهر مشهد در دهه‌های اخیر و عدم وجود شبکه جمع‌آوری فاضلاب خانگی، عمق سطح آب زیرزمینی در محدوده حرم در تراز ۱۷-۱۸ متر قرار گرفته و بسیاری از پایه‌های مربوط به زیرگذر آن تا بیش از ۳۰ متر در داخل آب زیرزمینی قرار گرفته است. بالآمدگی بیشتر آب در هسته مرکزی، سبب عدم امکان حفاری چاه‌های دستی دفع فاضلاب خانگی و نیز تأثیر مستقیم فاضلاب بر کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. هرچند انتظار می‌رود با بهره‌برداری از شبکه جمع‌آوری فاضلاب، روند بالآمدگی تراز آب متوقف یا

جمع‌آوری فاضلاب به مولفه آب سطحی تبدیل می‌شود. بنابراین برای برنامه‌ریزی استفاده از آن باید توجه شود که منابع آب زیرزمینی و پساب به اشتباه چند بار در محاسبات به‌کار گرفته نشود. برای بخشی از پساب تولید فعلی، قرارداد جایگزینی پساب با منابع آب سدهای طرق و کارده به میزان ۲۵ م.م.م در سال با کشاورزان منطقه بسته شده است. این درحالی است که حجم قابل انتقال آب از این سدها برای شرب مشهد تنها ۹ م.م.م در سال است. طرح جایگزینی نیز به‌دلیل برداشت پساب در طول مسیر رودخانه توسط سایر کشاورزان منطقه، مورد شکایت کشاورزان طرق و کارده است که درحال حاضر دارای پرونده حقوقی هستند. حجم آب قابل انتقال آب از سدهای طرق و کارده با برورسانی منابع آب این سدها به‌میزان تعهد ایجاد شده برای تامین آب از پساب نیست. طرح جابجایی پساب با حق‌آبه‌های کشاورزی در سد ارداک نیز به‌میزان ۴ م.م.م صورت گرفته و منابع آب پاک آن‌ها برای انتقال به شهر مشهد در طرح‌های آب سطحی منظور شده است. در افق توسعه کامل شبکه جمع‌آوری، پساب باقیمانده پس از کسر تعهدات موجود و با احتساب ۲۰٪ تلفات معادل ۱۶۳ م.م.م در سال خواهد بود که با توجه به ممنوعه بودن دشت مشهد و کمبود آب شرب، برنامه‌ریزی مصرف پساب برای تبدیل به آب شرب با استفاده از دو گزینه زیر باید صورت گیرد:

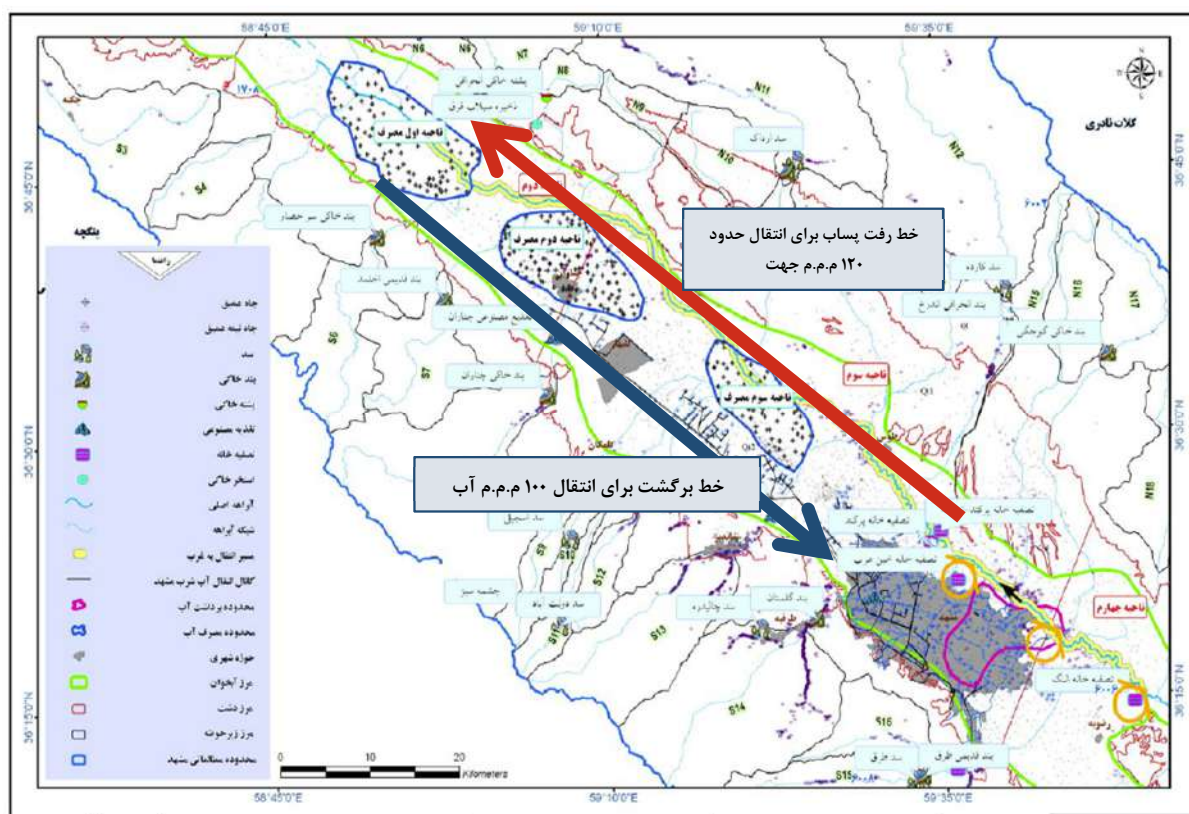
(۱) انتقال پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها به غرب شهر مشهد و جایگزینی آن با مصارف موجود کشاورزی و انتقال آب پاک به شهر مشهد؛

(۲) انجام تصفیه ثانویه پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حدی که قابل شرب باشد و تزریق آن به آبخوان شرب مشهد.

در شرایط فعلی دبی خروجی تصفیه‌خانه‌های موجود به رودخانه تخلیه می‌شود که برخی از تصفیه‌خانه‌ها از نوع برکه تثبیت بوده و دارای کیفیت مناسبی نیست. ارتقای این تصفیه‌خانه‌ها به‌روش لجن فعال در حال انجام است که در صورت تحقق، کیفیت پساب خروجی بهبود خواهد یافت. برای گزینه جابجایی تخصیص آب چاه‌های کشاورزی واقع در آبخوان غرب مشهد با پساب، احداث سامانه انتقال با حجم پساب ۱۲۰ م.م.م در سال به سه ناحیه در فواصل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلومتری از محل تصفیه‌خانه پرکندآباد مطابق شکل ۶ برنامه‌ریزی شده است. با توجه به تلفات خط، حجم برگشت آب پاک برای مصارف شرب ۱۰۰ م.م.م در سال خواهد بود. تعداد چاه‌های فعال کشاورزی با دبی بالا برای جابجایی با پساب در سه ناحیه مذکور به‌ترتیب ۹۵، ۱۴۰ و ۷۴ است که تخلیه سالانه آن‌ها به‌ترتیب ۵۰/۵، ۶۰ و ۳۴ میلیون مترمکعب است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵). در این راه‌کار پساب می‌تواند به‌صورت مستقیم



شکل ۵ - تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و ناحیه‌بندی شهر مشهد (شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، ۱۳۹۴)



شکل ۶- طرح جابه‌جایی مصارف آب کشاورزی چاه‌های غرب مشهد با پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و انتقال آب آن‌ها برای شرب مشهد (KRWA, 2016)

۱- تزریق سطحی از طریق حوضچه‌های تغذیه (SSB) و یا سایر تاسیسات ذخیره آب. این روش ساده‌ترین، قدیمی‌ترین، معمول‌ترین و مهم‌ترین روش تغذیه مصنوعی است.

۲- چاه‌های تزریق در ناحیه غیراشباع (VIW). این روش از تکنولوژی‌های جدید برخوردار بوده و در نواحی شهری با قیمت بالای زمین و برای آبخوان آزاد کاربرد دارد.

۳- چاه‌های تزریق مستقیم در ناحیه اشباع (DIW). این روش از تکنولوژی‌های جدید برخوردار بوده و در نواحی شهری با قیمت بالای زمین، برای آبخوان آزاد و محبوس کاربرد دارد.

حوضچه‌های تغذیه دارای حجم تبخیر بالاتری بوده و محدودیت اشغال زمین نسبت به دو روش دیگر دارند. چاه‌های تزریق در ناحیه غیر اشباع از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالایی برخوردارند و دارای ظرفیت محدود برای تغذیه هستند. همچنین در این روش تأثیرات تغذیه به سبب هیدرولیک جریان از زون غیر اشباع به سمت زون اشباع کم و زمان‌بر است. چاه‌های تزریق مستقیم در ناحیه اشباع هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالایی

به سیستم‌های آبیاری کشاورزان منتقل شود و یا این‌که پس از تغذیه مصنوعی آبخوان (در صورت عدم آلوده نمودن آبخوان شرب) از منابع آب زیرزمینی مجدد برداشت شود.

راه کار دوم ایجاد تصفیه ثانویه و حذف نیترات و سایر فلزات سنگین مضر از خروجی تصفیه‌خانه‌های موجود و تزریق آن به آبخوان شرب مشهد است. این روش از لحاظ تکنولوژیکی و دقت عمل در دوران بهره‌برداری از حساسیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که هرگونه خطا در عملکرد تصفیه‌خانه می‌تواند تبعات سنگینی به‌همراه داشته باشد. بنابراین مدیریت ریسک و ایجاد تمهیدات پیشگیرانه در این روش بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر مسائل دوران بهره‌برداری، در مرحله طراحی نیز باید استانداردهای کیفیت آب برای تغذیه مصنوعی با پساب (سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۸۹) با توجه به کاربری مصارف رعایت شود. پس از تصفیه تکمیلی و ایجاد اطمینان از تمهیدات مدیریت ریسک، تغذیه پساب به آبخوان باید با یکی از روش‌های تغذیه مصنوعی آبخوان به‌شرح زیر صورت پذیرد:

داشته و نیاز به تصفیه پیشرفته‌تری به دلیل حذف نقش آبخوان در جذب آلاینده‌ها دارند. ظرفیت تغذیه در این روش نیز نسبت به حوضچه‌های تغذیه پایین است. در بسیاری از موارد تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از روش‌های ۲ و ۳ در کشورهای مختلف، هدف جلوگیری از پیشروی آب شور دریا نظیر کشور تونس (Gaaloul and Eslamian, 2014)، ذخیره‌سازی آب نمک‌زدایی شده در آبخوان نظیر کشور عربستان (Missimer et al., 2012) و ذخیره‌سازی بارش‌های ناهنگام در آبخوان نظیر کشور هلند (Woltheke et al., 2013) بوده است. تفاوت مورد مشهد تنها در الزامات تصفیه آب قبل از تزریق به آبخوان است که طرح تحقیقی و مطالعاتی آن با مشارکت کارشناسانی از کشور آلمان در دست انجام است.

۳-۶- برنامه‌ریزی تامین آب شرب مشهد

با احتساب طرح‌های تامین آب از منابع آب متعارف و تحقق راه‌کارهای استحصال آب شرب از پتانسیل پساب، میزان تامین آب شرب شهر مشهد مطابق جدول ۷ خواهد بود. منابع آب زیرزمینی قابل استحصال در حالت خوشبینانه با فرض تحقق هدف‌گذاری طرح احیا و تعادل‌بخشی آب زیرزمینی برای کاهش ۵۰٪ برداشت آب برای مصارف کشاورزی است. از آنجا که فرض فوق در گرو حل مشکلات معیشتی کشاورزان برای کاهش سطح اراضی کشاورزی و سرمایه‌گذاری برای کاهش تلفات آب کشاورزی که نیاز به مشارکت بخش دولتی و خصوصی دارد، است لذا هر میزان عدم موفقیت در تحقق اهداف طرح مذکور منجر به کاهش حجم آب قابل استحصال از منابع آب زیرزمینی و پساب برای شرب خواهد شد.

با در نظر گرفتن منابع آب موجود، تحقق طرح‌های تامین آب سطحی در حال اجرا و مطالعه و به‌کارگیری پتانسیل پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای تامین آب شرب حتی در شرایط

بدون اعمال اثرات طرح تعادل‌بخشی آب زیرزمینی، کمبودی در تامین آب شرب شهر مشهد وجود نخواهد داشت. این درحالی است که طرح تعادل‌بخشی آبخوان مشهد باید مطابق هدف‌گذاری آن پیش رود که در صورت تحقق حتی بخشی از آن، حجم تامین آب بیشتر از نیاز آب شرب خواهد شد. لازم‌به ذکر است در صورت عدم کاهش سرانه موجود مصرف آب در افق آتی، امکان تامین آب با راه‌کارهای مذکور برای نیاز آبی شرب ۴۱۴ م.م.م در سال مطابق جمعیت افق و سرانه موجود فراهم است. در گزینه خوشبینانه، حجم مازاد حدود ۱۲۲ م.م.م در سال برای ایجاد حاشیه اطمینان در صورت افزایش سرانه مصرف و یا تخصیص به شرب سایر نقاط جمعیتی فراهم خواهد بود. سایر راه‌کارها نظیر کاهش تلفات آب در مسیرهای انتقال آب و شبکه توزیع و مدیریت مصرف از طریق روش‌های ترغیبی و تشویقی برای کاهش سرانه مصرف خانگی یا تبدیل کولرهای آبی به گازی که به تنهایی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی ۳۰ م.م.م در سال شود نیز می‌توانند به موازات طرح‌های تامین آب در جهت افزایش حاشیه اطمینان در دستور کار قرار گیرند. همچنین تامین آب توسعه صنعت منطقه باید از طریق خرید و تغییر کاربری چاه‌های کشاورزی و استفاده از ظرفیت پیش‌بینی شده در ماده ۲۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب از محل آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی پس از کاهش ۵۰٪ مصارف باید صورت گیرد.

با در نظر گرفتن مدیریت منابع و مصارف مذکور، انتقال آب از دریای عمان که به‌عنوان یکی از راه‌کارهایی اصلی تامین آب شرب شهر مشهد مورد پیگیری برخی مسئولین است، منتفی می‌شود. طرح تامین آب از دریا که دارای طول ۱۶۰۰ کیلومتر و ارتفاع پمپاژ استاتیک ۱۰۰۰ متر است علاوه بر هزینه‌های بسیار بالای نمک‌زدایی و انتقال آب از اطمینان‌پذیری کمتری به لحاظ مباحث زیست‌محیطی دریا و پدافند غیرعامل نسبت به

جدول ۷- منابع آب تامین آب شرب شهر مشهد در افق ۱۴۲۰ (بر حسب MCM در سال)

کل منابع تامین آب		منابع آب جایگزینی از پساب*	منابع آب زیرزمینی		منابع آب متعارف سطحی		نیاز آبی افق
خوشبینانه	بدبینانه		خوشبینانه (تحقق اهداف طرح تعادل بخشی)	بدبینانه (شرایط موجود و استحصال آب بالا آمده)	خوشبینانه	بدبینانه	
۵۱۸/۶	۴۰۵/۸	۱۶۳	۲۴۳	۱۴۰	۱۱۲/۶	۱۰۲/۸	۳۹۶

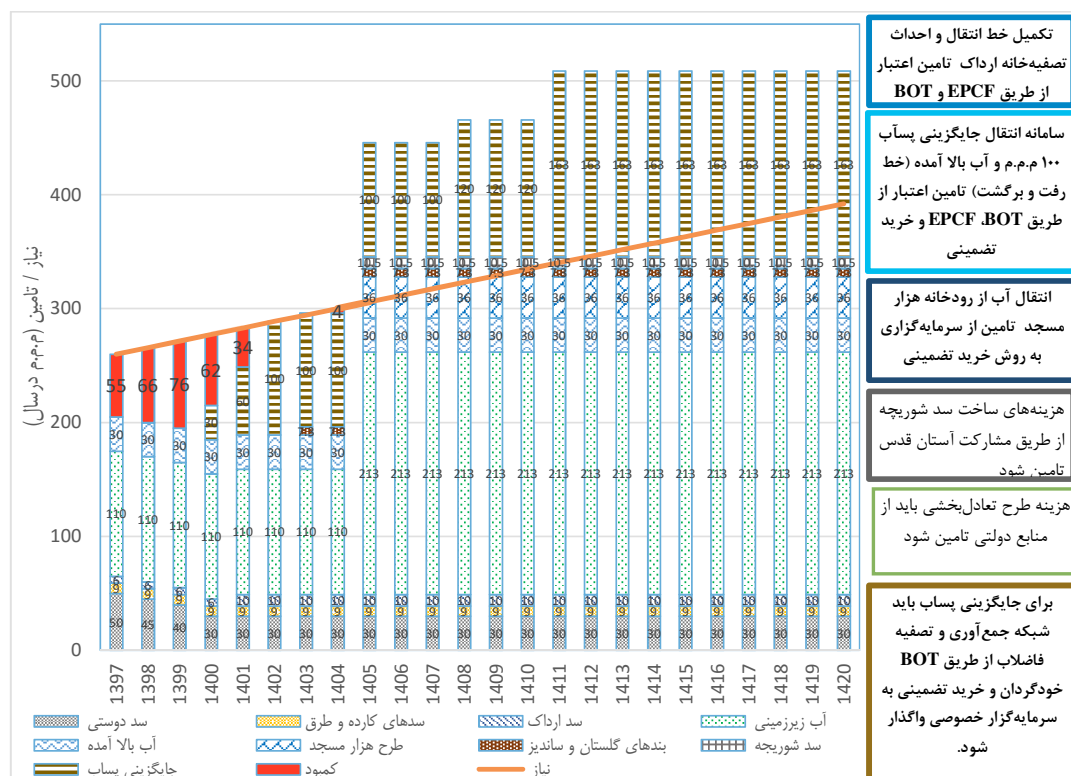
* با احتساب جابجایی پساب با حقابه‌های کشاورزی سدهای طرق، کارده و ارداک و اعمال ۲۰٪ راندمان تبدیل به آب شرب

۴- خلاصه و جمع بندی

شهر مشهد به عنوان یکی از شهرهای استراتژیک و مرکز جذب توریست در منطقه‌ای خشک و فراخشک واقع شده است که تامین آب شرب آن حائز اهمیت است. در دهه اخیر با بهره‌برداری از خط انتقال آب سد دوستی بخش قابل توجهی از نیاز آبی شهر از آن تامین می‌شده است که حدود ۹۰٪ حوضه آبریز آن در کشور افغانستان واقع است. با مهار منابع آب سطحی حوضه آبریز هریرود در خاک افغانستان، آسیب‌پذیری تامین آب از این سد افزایش می‌یابد و ایجاد منابع جدید تامین آب به منظور پاسخگویی به نیاز شرب روبه‌رشد و همچنین جایگزینی با سد دوستی در سال‌هایی که منابع آب کافی ندارد اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا به کارگیری پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی و بازچرخانی پساب و یا طرح نمک‌زدایی و انتقال آب از دریای عمان مورد بحث و اختلاف نظر تصمیم‌گیرندگان و کارشناسان بوده است. در این مقاله ضمن توصیف طرح‌های تامین آب اعم از مهار آب‌های سطحی

سایر روش‌ها برخوردار است. لذا از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی (سه اصل توسعه پایدار) گزینه انتقال آب دریا قابل رقابت با گزینه‌های مدیریت منابع و مصارف داخل حوضه و بازچرخانی پساب نیست.

برنامه زمان‌بندی تامین نیازهای آبی، کمبود و مازاد آب در افق‌های مختلف و نحوه تامین منابع مالی و بودجه آن‌ها مطابق شکل ۷ است. به دلیل زمان‌بر بودن دوره ساخت برای تحقق بهره‌برداری از طرح‌های تامین آب، باید شروع عملیات اجرایی و تخصیص منابع مالی آن‌ها مطابق زمان‌بندی مذکور انجام شود. چالش مهم برای انطباق نیاز آبی شرب با منابع تامین آب شهر مشهد، تامین اعتبار مالی برای شروع عملیات اجرایی طرح‌ها قبل از افزایش نیاز است. برای تحقق امر مهم تامین آب شرب شهر مشهد، نیاز به سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، مشارکت و همراهی آستان قدس به عنوان سرمایه‌گذار و مالک حقایقه‌های کشاورزی و حمایت سازمان برنامه و بودجه کشور برای تخصیص اعتبارات دولتی است.



شکل ۷ - برنامه زمان‌بندی و تامین منابع مالی برای تامین آب شرب مشهد از طرح‌های مختلف

- ایجاد سامانه‌های دقیق نظارت و پایش کمی و کیفی تامین آب شرب؛
- ایجاد زیرساخت‌ها و تمهیدات لازم برای مدیریت ریسک.

۵- تشکر و قدردانی

از آقای مهندس ابراهیم‌نیا مدیرکل سابق دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا و خانم‌ها نیکفر و فیروزمنش کارشناسان گروه برنامه‌ریزی و تخصیص آب وزارت نیرو و کارشناسان و مدیران شرکت‌های آب منطقه‌ای خراسان رضوی، آب و فاضلاب شهری مشهد، شرکت مدیریت منابع آب ایران و کارشناسان شرکت طوس آب برای ارائه پیشنهادات طرح تامین آب شرب مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Water Crowding Index
- 2- Red tide
- 3- Millennium Development Goals
- 4- Surface Spreading Basin
- 5- Vadose Zone Injection Well
- 6- Direct Injection Well

۷- مراجع

سازمان برنامه و بودجه کشور، (۱۳۸۹)، معیارهای زیست محیطی برای استفاده مجدد آب برگشتی و فاضلاب، نشریه شماره ۵۳۵.
شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، (۱۳۹۴)، تامین آب شرب شهر مشهد در سال ۱۳۹۴.
شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۳)، طرح‌های مطالعاتی تامین آب شرب شهر مشهد، شرکت‌های مشاور پاژ آب تدبیر و سیمای آب خاوران.
شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، (۱۳۹۵)، مطالعات انتقال آب زیرزمینی و فاضلاب به آبخوان‌های غرب مشهد جهت جای‌گزینی با حقابه‌های کشاورزی و تغذیه مصنوعی، شرکت‌های مشاور پاژ آب تدبیر و سیمای آب خاوران.
شرکت مدیریت منابع آب، (۱۳۹۵)، بیان آب زیرزمینی منتهی به سال ۱۳۹۰.
شرکت مدیریت منابع آب ایران، (۱۳۹۲)، نتایج آماربرداری سراسری منابع آب.

داخل حوضه کشف‌رود و یال شمالی حوضه سرخس، احیا و تعادل بخشی آب زیرزمینی و بازچرخانی پساب فاضلاب شهری مشهد و برنامه زمان‌بندی تحقق آن‌ها ارائه شد. طرح‌های معرفی شده در این مقاله، مجموعه‌ای از پیشنهادات مطرح در جلسات مدیریتی و کارشناسی در سطوح ملی و استانی هستند که مقادیر واقعی حجم قابل برنامه‌ریزی تعیین شده و مزایا و معایب آن‌ها تشریح شده است. در صورت تمرکز بر طرح‌های تامین آب از منطقه، ضمن پاسخگویی به نیازهای شرب در افق ۱۴۲۰، نیازی به انتقال آب از دریای عمان به مشهد نخواهد بود. از نظر شاخص‌های ارزیابی نظیر اقتصادی، زیست‌محیطی و پدافند غیرعامل طرح‌های مدیریت منابع آب و پساب منطقه از برتری محسوسی نسبت به طرح انتقال آب از دریا برخوردارند. بررسی حجم قابل تامین شرب برای طرح‌های مختلف به صورت منفرد در این مقاله انجام شده است. هرچند حجم مخازن بزرگی نظیر مخزن سد دوستی برای مدیریت تامین آب شرب در زمان (عمدتاً فصلی و ماهانه) وجود دارد و نگرانی از کاهش اطمینان‌پذیری زمانی تامین آب وجود ندارد، لیکن به منظور تدقیق اطمینان‌پذیری حجمی و زمانی تامین نیاز آبی شرب نیاز به مدل‌سازی تامین آب در یک سیستم یکپارچه است. همچنین اثر طرح‌های منابع آب سطحی و بازچرخانی پساب در منابع آب زیرزمینی براساس روش بیلانی تعیین شده است که به منظور تدقیق آن می‌توان از مدل‌های آب زیرزمینی بهره گرفت.

نکات کلیدی تحقق برنامه‌ریزی ارائه شده در این مقاله را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:
- تحقق اعتبار مالی از طریق تعریف طرح‌های واگذاری به سرمایه‌گذار خصوصی؛
- تامین اعتبارات مالی دولتی برای تکمیل مطالعات و شروع به موقع عملیات اجرایی طرح‌های مهار و انتقال آب؛
- همراهی و همکاری مردم و مسئولین برای تحقق اهداف طرح احیا و تعادل بخشی آب زیرزمینی؛
- همراهی استان قدس در خصوص تهاتر حقابه‌ها به خصوص در طرح‌های سد شورپیجه (حقابه سرخس) و بند گلستان؛
- طراحی، پیاده‌سازی و بهره‌برداری دقیق طرح‌های تصفیه‌خانه فاضلاب با به کارگیری نیروهای متخصص و دلسوز؛
- افزایش تدریجی تعرفه‌های آب شرب به طوری که پاسخگوی بازگشت سرمایه و خرید تضمینی طرح‌های BOT باشد؛

- شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، (۱۳۹۴)، *ابلاغیه مصرف سرانه شرب در طرح‌های آبرسانی*.
- دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو، (۱۳۸۹)، «پیش‌بینی جمعیت حوضه آبریز قره‌قوم»، طرح جامع آب کشور، شرکت مشاور طوس آب.
- Falkenmark, M. (1989), "Vulnerability generated by water scarcity", *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 18(6), 352-353.
- Gaaloul, N., and Eslamian, S., (2014), "Artificial recharge experiences in semiarid areas", *Handbook of Engineering Hydrology Environmental Hydrology and Water Management*, Saeid Eslamian (ed.), Taylor and Francis Group.
- Mediterranean Waste Water Reuse Working Group (MWWRWG), (2007), *Mediterranean wastewater reuse report*, (http://Ec.Europa.Eu/Environment/Water/Blueprint/Pdf/Med_Final_Report.Pdf).
- Missimer, T.M., Sinha, A., and Ghaffour, N., (2012), "Strategic aquifer storage and recovery of desalinated water to achieve water security in the GCC/Mena region", *International Journal of Environment and Sustainability*, 1(3), 87-99.
- Pallett, J., Heyns, P., Falkenmark, M., Lundqvist, J., Seeley, M., Hydén, L., Bethune, S., Drangert, J., and Kemper, K. (1997), "Sharing water in Southern Africa", Windhoek, Namibia: Desert Research Foundation of Namibia (DRFN).
- Wintgens, T., Bixio, D., Thoeye, C., Jeffrey, P., Hochstrat, R., and Melin T., (2006), "Reclamation and reuse of municipal wastewater in Europe – Current status and future perspectives", Analyzed by The Aquarec Research Project, http://Www.Iwrm-Net.Eu/Sites/Default/Files/Aquarec_Policy%20brief_Final_A4.Pdf.
- Woltheka, N., Raath, K., Ruijter, J.A.D., Kempermand, A., and Oosterhofa, A. (2013), "Desalinization of brackish groundwater and concentrate disposal by deep well injection", *Journal of Desalination and Water Treatment*, 5(4-6), 1131-1136.

A Social and Intra-Organizational Approach: The Need and Urgency for Water Management in the Country

Shahin Pakrooh^{1*} and Majid Ghannadi²

1-Deputy Director of Engineering and Development, Water and Wastewater Engineering Company of Iran, Tehran, Iran.

2-Advisor to Deputy of Engineering and Development, Water and Wastewater Engineering Company of Iran, Tehran, Iran.

*Corresponding author, Email: Ghannadi48@gmail.com

Received: 09/10/2018

Revised: 27/01/2019

Accepted: 28/01/2019

رویکرد اجتماعی و درون سازمانی، نیاز و ضرورت مدیریت آب کشور

شاهین پاکروح^۱ و مجید قنادی^{۲*}

۱- معاون مهندسی و توسعه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران، ایران

۲- مشاور معاونت مهندسی و توسعه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران، ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: Ghannadi48@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸

Abstract

Now a days, the subject of water and its associated topics have gone beyond technical and service lines and water has become a commodity of strategic nature with the power to influence political, economic, environmental and even military change. This doubled and unprecedented sensitivity is the result of increased demand and scarcity of high quality water resources in adequate quantities. Over time, with less water resources being available, making decisions about water will be more subjected to political decisions. In this context, efficient water management and preservation of water resources for the future will mainly focus on four areas: attracting political support to improve water and wastewater services and management, engaging consumers in look for solutions to water shortage, strengthening regional and inter-sectorial partnerships to achieve water security and motivate consumers and attract their attention to the water crisis. It is clear that gaining success in these four approaches calls for and requires social intervention in the management of water and wastewater services. This article aims to highlight the necessity of a social approach to the management of water and wastewater services, while featuring some requirements and do's and don'ts.

Keywords: Requirements, Social approach, Water and wastewater services management.

چکیده

در دنیای امروز، بیش از سه دهه است که موضوع آب و مباحث پیرامون آن، از گردونه فنی و خدماتی فراتر رفته و به عنوان کالایی با ماهیت راهبردی و قدرت اثرگذاری بر تحولات سیاسی، اقتصادی، زیست محیطی و حتی نظامی بدل گشته است. این حساسیت مضاعف و بی سابقه، ثمره افزونی تقاضا و کمیابی منابع آب با کمیت و کیفیت مناسب است. با گذشت زمان و کمیابی بیش تر آب، تصمیم گیری برای آن، بیش تر تابع تصمیم های سیاسی خواهد شد. در این شرایط مدیریت کارآمد آب و حفظ منابع آبی برای آینده، بر چهار محور: جلب حمایت سیاسی به منظور بهبود خدمات آب و فاضلاب و مدیریت آن، درگیر ساختن مصرف کنندگان در چاره اندیشی برای تنگناهای آب، تحکیم مشارکت های منطقه ای و بین بخشی به منظور نیل به امنیت آبی و تحرک بخشیدن و جلب توجه مصرف کنندگان به بحران آب باید متمرکز شود. پرواضح است که نیل به موفقیت در چهار رویکرد گفته شده، نیازمند ورود عرصه اجتماعی در مدیریت خدمات آب و فاضلاب است. این نوشتار بر آن است تا ضمن جلب توجه به ضرورت رویکرد اجتماعی در مدیریت خدمات آب و فاضلاب، برخی الزامها و باید ها و نبایدهای آن را بیان دارد.

کلمات کلیدی: مدیریت خدمات آب و فاضلاب، رویکرد اجتماعی، الزامها

۱- سرآغاز

هم‌زمان با دگرگونی‌های عظیم جهانی که در مدت زمان به نسبت کوتاهی رخ داده است، نیازمندی‌ها و الزام‌های مدیریت منابع طبیعی که زیربنا و ماده اولیه برای حیات، تولید و رونق اقتصادی است، دستخوش نوسان‌ها و دگرگونی‌های فاحش شده است. اگر در گذشته مدیریت منابع آب منحصر به مهار، استحصال، انتقال، تصفیه و توزیع آب بود و رویکردهای فیزیکی و سازه‌ای، تفکر قالب در مدیریت آب محسوب می‌شد و اگر فراوانی آب، مشکل مالکیت آن را مخفی نگه می‌داشت و اگر حجم و تعداد اندک منابع آلاینده و غلبه فرآیندهای خودپالایی بسترهای آبی بر آلاینده‌ها، دشواری‌ها و تنگناهای کیفیت آب را کم رنگ می‌نمود و ده‌ها اگر دیگر، امروز آب و توزیع آن در کاربری‌های گوناگون، حلقه‌ای از زنجیره مدیریت اجتماعات انسانی محسوب می‌شود که با تغییر در مفاهیم و کنش و واکنش با محیط روبه‌رو است و جنبه‌های زیرساختی و اجتماعی، بحران‌های آبی و زیست‌محیطی، اقتصاد و سرمایه‌گذاری و تغییر در قوانین و استانداردها و موضوع‌هایی از این قبیل، از سرفصل‌های مهم پیش‌روی آن است (قنادی، ۱۳۸۱). اگر در گذشته رابطه انسان و آب، تنها بر دو محور برداشت و آلودگی رقم می‌خورد، امروز رابطه انسان‌ها با یک دیگر بر محوریت آب و ظهور موضوع‌هایی هم چون قانون، مالکیت، تجارت، حقوق، رقابت و ... که از درج موضوع آب در رابطه متقابل انسان‌ها سرچشمه می‌گیرد، به عنوان سرفصل‌های

مهم در مدیریت آب به شمار می‌رود (شکل ۱)، به طوری که در روزگار ما و در پی دگرگونی‌ها و ظهور ایده‌ها و سرفصل‌های نوین برشمرده، واقعیت‌های ملموس زیر فراروی مدیریت آب کشور قرار گرفته است:

- افزایش جمعیت و در نتیجه افزونی تقاضا و رقابت میان بخش‌های متقاضی آب برای دستیابی به منابع آب با کیفیت بهتر؛

- ارتقای سطح بهداشت عمومی و افزایش حساسیت اجتماعی به موضوع آب؛

- افزایش مستمر سرعت گذار آب در چرخه انسانی آن؛

- افزایش آسیب‌پذیری منابع آب متاثر از استحصال بیش از سرعت بازیابی و عدم توازن بین شدت آلودگی و سرعت خودپالایی طبیعی منابع آب؛

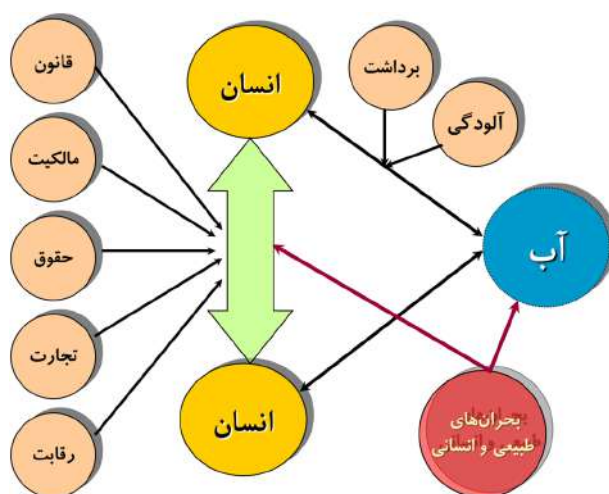
- سختگیرانه‌تر شدن تدریجی استانداردها و ضابطه‌های آب شرب و دفع فاضلاب؛

- عدم توجه جدی و عملی به جنبه‌های زیست محیطی و حفاظت از منابع آب در طرح‌های توسعه صنعتی، کشاورزی و خدمات شهری و روستایی؛

- عدم کفایت منابع مالی برای اجرای برنامه‌ها و بالا بودن هزینه سرانه‌ی احداث و نگهداری تأسیسات؛

- بروز ادواری و استمرار خشکسالی در پهنه وسیعی از کشور؛

- تغییر نوع و ماهیت آلاینده‌های منابع آب از معدنی به آلی و ظهور اشکال آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی مقاوم و پایدار در فرآیندهای متعارف تصفیه در منابع آب؛



شکل ۱- اجزای رابطه متقابل انسان‌ها در موضوع آب

- ازدیاد فاصله منابع تأمین و نقاط مصرف که منجر به افزایش قیمت تمام شده و نزول کیفیت آب در جا به جایی طولانی آن می‌شود؛

- افزایش تدریجی سهم آب‌های نامتعارف در تأمین آب شرب مناطق ساحلی و برخی مناطق مرکزی کشور؛

- افزایش تدریجی فاصله بهای تمام شده خدمات آب و فاضلاب و تعرفه‌های رایج آن؛

- افزایش مطالبات اجتماعی و انتظارات از وزارت نیرو.

در این شرایط راهبردهای مدیریت آب، با هدف مدیریت کارآمد آب و حفظ منابع آبی برای آینده، بر چهار محور: جلب حمایت سیاسی به منظور بهبود خدمات آب و فاضلاب و مدیریت آن، درگیر ساختن مصرف‌کنندگان در چاره‌اندیشی برای تنگناهای آب، تحکیم مشارکت‌های منطقه‌ای و بین بخشی به منظور نیل به امنیت آبی و تحرک بخشیدن و جلب توجه مصرف‌کنندگان به بحران آب باید متمرکز شود (Fauchon, 2010). اجرای چنین اقدام‌هایی، در نخستین گام، نیازمند کارکنان و مدیرانی متبحر، دانش آموخته، خود انگیزه، پای بند به اصول حرفه‌ای، آشنا به ظرایف مدیریت، پیش‌رو و دانش‌اندوز است که با سرمایه درونی خود و بهره‌گیری از خرد جمعی و ظرفیت‌های مدیریتی و شناسایی نقاط ضعف، که اهم آن‌ها در فراتر بودن نیازها از موجودی، روزمرگی و یکنواختی در کار، عدم انتقال تجربه از نسلی به نسل دیگر، غلبه و اولویت یافتن جنبه‌های اداری و حاشیه‌ای بر مسایل فنی کار و فقدان بازخورد از فعالیت‌ها، خلاصه می‌شود، بتوانند برنامه‌های سازمان را با رویکرد به چهار اصل زیر محقق سازند (قنادی، ۱۳۹۴).

نخست آن‌که، تکرار روش‌های مدیریتی، فرآیندها و شیوه‌های اجرای طرح‌ها که در گذشته و متناسب با شرایط آن زمان، به کار گرفته می‌شد، اگر تنزل هم نداشته باشد، چندان مفید فایده نخواهد بود و هرچند می‌توان و باید از تجربه پیشکسوتان و سایر کشورهای موفق، در مدیریت و راهبری شرکت‌های آب و فاضلاب بهره جست، اما واقعیت این است که به دلیل تنوع مستمر و نیازها و اقتضائات زمانی و مکانی، راه کار تعریف شده و مشخصی، برای الگوبرداری، وجود ندارد و تنها با خلاقیت، دلسوزی و انگیزه است که راه کار مناسب به وجود می‌آید.

دوم، حفظ و تقویت خصلت‌های بنگاه‌داری و مهارت‌های تجاری سازی و به روزآوری شاخص‌های آن، به همراه تقویت مهارت‌ها و قابلیت‌های فنی و مهندسی در سازمان و تقویت

درک علمی از موضوع‌های بهداشتی، زیست محیطی و اجتماعی، در ابعاد نیروی انسانی، نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و مهم‌تر از آن، جبران زیست محیطی، از دیگر لازمه‌های موفقیت در مدیریت بخش فنی و مهندسی شرکت‌های آب و فاضلاب است.

سوم، درک عمیق و صحیح از موضوع ظرفیت‌سازی، مبتنی بر ایمان و جسارت حرفه‌ای و انگیزه در کار. در بنگاه‌داری، اصل بر حرفه‌ای‌گری و مهارت است. برتری طلبی و تعالی جویی، در کنار تعصب حرفه‌ای، لازمه موفقیت است.

چهارم آن‌که، به عنوان یک اصل مهم در مدیریت، باید توجه داشت که شرایط همیشه یکسان نیست و بهترین راه حل‌های امروز، به الزام، مناسب‌ترین گزینه، برای دشواری‌های فردا، نخواهد بود (IWA, 2001). با پذیرش این اصل، باید با ایجاد و تقویت روحیه یادگیری، مطالعه، کار و هم‌اندیشی در سطوح مختلف سازمان و چگونگی تعامل با مشتریان و سایر ذی‌نفعان، سازمان را برای مقابله با تنگناهای پیش‌روی، که همواره در سطوح بالاتری ظهور می‌یابند، تقویت و پویا نگاه داشت. در این میان "رویکرد اجتماعی در مدیریت خدمات آب و فاضلاب"، در ابعاد درون و برون سازمانی، شرط لازم برای نیل به هدف‌های گفته شده است. در یک نگاه کلی، برای مدیریت پایدار خدمات آب و فاضلاب، هشت حوزه کاری به شرح زیر متصور است (شکل ۲).

۱- آگاهی بخشی و برقراری تعامل هم‌افزا با مشتریان و ذی‌نفعان (رویکرد اجتماعی)؛

۲- ایجاد و توسعه طرح‌های آب و فاضلاب (رویکرد مهندسی)؛

۳- نگاه‌داری، راهبری و به روزآوری طرح‌ها و تاسیسات (رویکرد مهندسی)؛

۴- شرکت‌داری و مدیریت کسب و کار (رویکرد اقتصادی)؛

۵- پیش‌بینی نیازهای آینده و شرایط پیش‌روی (رویکرد سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی)؛

۶- توسعه ظرفیت‌های انسانی (رویکرد منابع انسانی)؛

۷- توسعه قابلیت‌های فنی و اجرایی (رویکرد تحقیق و توسعه)؛

۸- آمادگی برای مقابله با شرایط اضطراری و رخداد‌های قابل پیش‌بینی و غیرقابل پیش‌بینی (رویکرد مدیریت بحران).

از حجم درخواست‌ها و مکاتبه‌های متاثر از عدم آگاهی و یا استنباط‌های نادرست و سرانجام ارتقای مقبولیت وزارت نیرو در جامعه را به همراه خواهد داشت.

۲- ضرورت رویکرد اجتماعی در خدمات آب و فاضلاب

بر پایه نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (شکل ۲)، شرکت‌های آب و فاضلاب تنها بخشی از زنجیره مدیریت تأمین و عرضه خدمات آب و فاضلاب هستند و کارکرد شایسته آن‌ها در انجام وظایف و ارایه مناسب، مطلوب و به هنگام خدمات قانونی تعریف شده، منوط به تحقق سه اصل توجه به عامل‌های درون سازمانی (نیروی انسانی، منابع مالی، توانمندی‌های علمی، اجرایی، ابزارها و...)، عملکرد شایسته و به هنگام سایر اجزای زنجیره تأمین و عرضه خدمات آب و فاضلاب (شکل ۳) و تعامل هم‌افزا با سایر اجزای این زنجیره است. شاهد مثال آن‌که، در حالی‌که نیازهای آبی و حاکمیت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بر پهنه وسیعی از کشور، تسریع در اجرای طرح‌های آب و فاضلاب را ضرورت می‌بخشد، محدودیت‌های مالی - که عموماً معطوف به سایر اجزای این زنجیره است - اجرای آن‌ها را کند و یا با تاخیر مواجه می‌سازد. در این شرایط، تنگنای جدی مدیریت آب و فاضلاب، تسریع در اجرای طرح‌ها، در عین محدودیت‌های مالی و اعتباری است.

کسانی قادرند حوزه‌های کاری خدمات آب و فاضلاب را مدیریت و به سامان درآورند که ضمن برخورداری از پنج ویژگی فردی صداقت، صبوری، صمیمت، صراحت و صلابت، پای‌بند و ملتزم به چهار اصل درس گرفتن از گذشته، خرد گروهی، وحدت بین نظر و عمل و اعتدال و میانه‌روی در امور باشند. لازمه موفقیت آنان، اعتقاد و التزام به شش ارزش کیفیت، نوآوری، انعطاف‌پذیری، همکاری، مسئولیت‌پذیری و اصول بازرگانی و تجارت در تفکر، برنامه‌ریزی و اقدام و اعتقاد در فکر و عمل به کارمداری و انسان‌مداری است (کاشانی، ۱۳۸۱).

نگاهی گذرا به شرایط کنونی خدمات آب و فاضلاب، به ما می‌نمایاند که آسیب‌پذیری شرکت‌های آب و فاضلاب، برخلاف تصور رایج، پیش و بیش از آن‌که در حوزه‌های عمرانی و مالی باشد، در حوزه اجتماعی و فرهنگی است. موضوع قیمت‌گذاری خدمات و انتظارات بلندپروازانه از وزارت نیرو، نمونه‌هایی از آسیب‌پذیری شرکت‌های آب و فاضلاب در این حوزه است. باید توجه داشت که برخلاف حوزه‌های عمرانی و مالی، کار در حوزه اجتماعی و فرهنگی، به نسبت دشوار، مستمر، بی‌وقفه و زیربنایی برای سایر حوزه‌ها است. در صورت موفقیت در آن، افزایش رضایتمندی از طرح‌های اجرا شده و خدمات عرضه شده، تسهیل در رفع موانع اجرای پروژه‌ها، همراه ساختن ذی‌نفعان و متنفذان در اجرای برنامه‌ها و پروژه‌ها، کاستن



شکل ۳- اجزای نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی آب و فاضلاب



شکل ۲- حوزه‌های کاری مدیریت پایدار خدمات آب و فاضلاب

۳- مدیریت بحران و رویکرد اجتماعی

سال‌ها است که شمار قابل‌توجهی از شهرها و روستاهای کشور ما، با معضلات و بحران‌های نام‌آشنایی که کم‌آبی، افت فشار و نوبت‌بندی توزیع آب، یکی از آن‌ها است، رو به رو هستند. در این رخدادها، هرچند در مقطعی از سال، گام‌هایی برای کاهش آلام آن بر تن رنجور و مضطرب شهرها و روستاها برداشته شده و می‌شود، اما به دلیل مقطعی‌بودن آن‌ها و یا دیر هنگام بودن روش‌های پیشگیری، نتیجه اقدام‌ها نیز، اغلب مقطعی و موقتی بوده است. هر سال با آغاز فصل گرما، نگرانی از کم‌آبی و تکاپو برای پاسخگویی به نیاز افزایش یافته آب، در نهادها و سازمان‌های متولی آب رخ می‌دهد و با کاهش دمای هوا، اقدام‌ها و تکاپوها نیز رنگ می‌بازد تا در سال بعد، دوباره این رخداد تکرار شود. اما واقعیت این است که در کشور ما، موضوع آب و چاره‌اندیشی برای مدیریت صحیحی که بتواند برآورده ساختن نیازها را با موجودی آب کشور هم‌آوا و هماهنگ سازد، فراتر از اقدام‌های مقطعی و احساسی است.

اگر مدیریت آب کشور نتواند فارغ از نوسان‌های فصلی و فشارهای سیاسی و اجتماعی، الگوهایی متناسب با شرایط زمانی و مکانی مناطق مختلف کشور را پی‌ریزی و مستقر سازد، «روز صفر» برای بسیاری از شهرها و روستاهای کشور، نزدیک و نزدیک‌تر خواهد شد (Department of Water and Sanitation, 2018). اصطلاح «روز صفر»، زمانی به‌کار می‌رود که متأثر از کم‌آبی، تنها توان تأمین ۲۵ لیتر آب در روز برای هر نفر وجود دارد (David, 2018). آمار گذشته و پیش‌بینی دورنمای آینده، به ما می‌نمایاند که مسئله آب در کشور ما به گونه‌ای است که فقط برای تأمین آب شرب مردم، و نه فراتر از آن، چاره‌ای جز جراحی‌های بزرگ نداریم.

در سال ۱۳۹۶، در بخش شهری حدود ۶ میلیارد مترمکعب (۶۰۴۵ میلیون مترمکعب) و در بخش روستایی حدود ۱/۴ میلیارد مترمکعب (۱۳۸۲ میلیون مترمکعب) و در مجموع ۷/۴ میلیارد مترمکعب آب مصرف شده است و در صورت تحقق سیاست‌های ابلاغی رشد جمعیت، در سال ۱۴۳۰، نیاز آبی شهرها و روستاهای کشور، با ۷۹ درصد افزایش، به ۱۳/۳ میلیارد مترمکعب خواهد رسید. این در حالی است که در صورت تکمیل تمامی طرح‌های حوزه آب شرب، مندرج در پیوست قانون بودجه، توان تولید آب شرب کشور در سال

۱۴۲۵ به ۱۱۴ میلیارد مترمکعب می‌رسد که با نیاز آبی شرب کشور در سال ۱۴۳۰ فاصله قابل‌توجهی دارد (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، ۱۳۹۷).

در دهه‌های گذشته و هم اکنون، تنها چاره مدیریتی برای پاسخگویی به نیاز آبی، اقدام‌های مهندسی با هدف بهره‌گیری هرچه بیش‌تر از پتانسیل‌های آبی کشور بوده است و کم‌تر اثری از مدیریت جامع و فراگیری که در آن، آمایش سرزمین و استقرار جمعیت و توسعه، متناسب با پتانسیل منابع آبی مشاهده نمی‌شود. به عنوان نمونه، جمعیت شهر تهران از ۳۰۰ هزار نفر در سال ۱۳۱۰ به ۸/۵ میلیون نفر در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است. آب شرب این شهر، از طریق ۶۱۵ حلقه چاه (شامل چاه‌های آب شرب مناطق شش گانه و چاه‌های متعلق به شرکت تامین و تصفیه شهر تهران، بدون لحاظ کردن چاه‌های آب شرب شهرها و مناطق پیرامونی شهر تهران) و ۵ سد در شعاع ۱۵۰ کیلومتری با مجموع حوضه‌ی آبریز ۴۸۴۷ کیلومتر مربع که بیش از ۶ برابر وسعت این شهر است، تأمین می‌شود (دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، ۱۳۹۷). با ظرفیت مجاز برداشت از آب‌های زیرزمینی و سطحی پیرامون آن، شهر تهران، می‌تواند حداکثر پذیرای جمعیت ۳ میلیون نفر باشد، این درحالی است که تهران، به اتکای انتقال آب از حوضه‌های برفگیر کوهستانی، بیش از ۴ برابر توان طبیعی خود، برای شهروندانش آب تأمین می‌کند. حال پرسش این است که تمرکز بر بهره‌برداری حداکثری از منابع آبی، تا کی و کجا می‌تواند دوام یابد؟

نمونه تهران، به‌تقریب در تمام مراکز استان‌ها و شهرهای پرجمعیت کشور صادق است. از یاد نبریم که منابع آب شرب شهرهایی که متکی به ذخایر برفی و رواناب‌ها هستند، به شدت در برابر تغییر اقلیم و البته آلودگی‌های انسانی، آسیب‌پذیرند و شهروندان ما، با پیروی از الگوی نامناسب مصرفی و اقتصاد آب شرب ناکارآمد در مدیریت هزینه‌های احداث، نگهداری و راهبری تأسیسات مواجه هستند. در این شرایط، مدیران ما، اغلب بسته‌هایی از سیاست‌ها و راهکارهای مهندسی را با تکیه بر بودجه عمومی کشور ارایه می‌دهند که در آن‌ها، به الزام‌های اجتماعی پذیرش و تحقق آن‌ها کم‌تر توجه شده است. رخداد تنش‌های اجتماعی در مخالفت با انتقال آب -که نمونه‌های آن از جنوب تا شمال کشور فراوان است- پیامد عدم توجه به جنبه‌های اجتماعی است و این در حالی است که به تقریب بخش عمده آب شرب تمام مراکز استان‌های کشور، از استان‌های هم‌جوار و یا از فاصله‌های

بیش از ۱۰۰ کیلومتر تأمین می‌شود.

هم اکنون و در آینده، تصور استقرار مدیریت کارآمد آب، بدون در نظر داشتن الزام‌های اجتماعی و گفت‌وگو پیرامون آن، امکان‌پذیر نیست و در جامعه‌ای که با تهدید افول سرمایه‌های اجتماعی، رشد فردگرایی و زوال همبستگی و انسجام رو به رو است، تحقق آن، صرفاً با اتکا به راه‌کارهای مهندسی، خیال و سرایی بیش نخواهد بود. ما -پیش از آن که موضوع آب، به یک آسیب ژرف اجتماعی بدل شود- باید آن را به یک گفتمان و دغدغه عمومی بدل سازیم و مشارکت مردم و گروه‌های ذی‌نفع را در مدیریت و مصرف آب جلب کنیم. بهینه‌سازی مصرف آب، جز با مشارکت و آموزش گسترده مردم ممکن نمی‌شود و در شرایطی که حتی کارکنان نهادها و سازمان‌های متولی آب و خانواده‌های آنان، اعتماد و اعتقادی به آن ندارند، چگونه می‌توان انتظار همراهی جامعه را داشت؟

زنگ‌های هشدار، از مدت‌ها قبل به صدا درآمده است. صدای این زنگ‌ها، یا شنیده نشده و یا آن که مخاطب آن، صرفاً دولت انگاشته و حل معضل کم‌آبی به چارچوب‌های محدودی منحصر شده است. اما واقعیت این است تا زمانی که جامعه از مسایل و وضعیت کلان و محلی آب، به ویژه در حوزه‌های "تبعات تغییر اقلیم" و "عمق بحران اقتصاد آب"، آگاه نباشد و تا زمانی که به سازمان‌های متولی آب و گفته‌های آنان، اعتماد و باوری وجود نداشته باشد، امکان اخذ نظر و درگیر ساختن گروه‌های مختلف اجتماعی و حتی کارکنان سازمان‌ها و خانواده‌های آنان مهیا نیست. در چنین شرایطی، پتانسیل رجوع به روش‌های مناقشه برانگیز و خشونت‌آمیز افزایش می‌یابد. تنها چاره‌ی ما، استفاده از تمامی ظرفیت‌های موجود برای گفت و گوی ملی و محلی و جلب اعتماد عمومی به گفته‌هایمان است. در این راه، نخستین گام، نگاه به درون و اصلاح رویکردهای مدیریتی است.

۴- وظایف مدیران در رویکرد اجتماعی

برجسته‌ترین و شاید مهم‌ترین هنر و وظیفه مدیران، شکوفا ساختن و به پرواز درآوردن اندیشه انسان‌ها در سازمان است و برای نیل به آن، به سه عنصر «اعتقادات و دیدگاه‌های درست»، «اشراف بر اصول علمی و مدیریتی روابط انسانی» و «تجربه‌های کاربردی» باید مجهز باشند. در مدیریت شرکت‌های آب و فاضلاب، آن جا که با انسان‌ها، چه در جایگاه کارمند و مجری،

و چه در مقام مشترک- سر و کار داریم، پیشینه فرهنگی، شرایط اجتماعی و اقتصادی و زمان و مکان، در اعمال مدیریت، نقش آفرینند. اگرچه، به علم و تجربه ثابت شده است که انسان در همه جای دنیا، انسان است و اصول حاکم بر پرورش، انگیزش، شناخت و پاسخگویی به نیازهای او، یکسان است، اما باید اصول علمی را با شرایط محیطی و محلی، هم آوا و هماهنگ سازیم تا بتوانیم با استخراج الگوهای محلی جدید، مدیریت موفق‌تری را در شرکت‌ها جاری سازیم. عدم توجه به این نکته کلیدی، سبب شده است تا به رغم گذراندن دوره‌های آموزشی و مهارتی مدیریت، فاصله بسیاری بین گفته‌ها و کردارها در سازمان، پدیدار شود و در عمل، از نظریه‌ها و دانش مدیریت، جز در قفسه‌ها و گاهی در ذهن‌ها، کم‌تر نمودی مشاهده می‌شود.

می‌دانیم که ساختار ظرفیت انسان، به اندازه‌ای بزرگ آفریده شده است که به هر چه بخواهد، می‌تواند دست یابد. به تعبیر نویسنده کتاب «توانگران چگونه می‌اندیشند؟» "آن چه را که با عشق و اشتیاق بخواهیم و بر آن پای فشاری کنیم، به دست خواهیم آورد" (کاشانی، ۱۳۸۱). انسان‌ها، برای کار بهتر و نیل به آرزوهای فردی و جمعی، باید از سه عنصر استعداد، اشتیاق و انرژی، بهره‌مند باشند و وظیفه مدیر، آن است که این سه عنصر را در سازمان و مشترکان خود پرورش دهد. در این زمینه به سه نکته کلی اشاره می‌شود و بر این باوریم که مصداق‌ها و نمونه‌هایی از آن چه در ادامه گفته خواهد شد، در حافظه خوانندگان محترم می‌باشد.

نخست آن که دل خوش داشتن به موفقیت‌ها و کامیابی‌های گذشته، همراه کننده مدیران و شرکت‌ها است. چیزی که ما را در گذشته کامیاب کرده است، به الزام، همان چیزی نیست که کامیابی آینده ما را تضمین کند. عدم توجه به این حقیقت، عامل شکست و سقوط مدیران بسیاری است که امروز، تنها خاطره آن‌ها باقی است.

دوم آن که، در فرهنگ ما و بیش‌تر از آن، در نظام مدیریتی ما، متأسفانه، اغلب دیگران را مقصر می‌دانیم و هرگز در آینه حقیقت، خود را نمی‌نگریم. در میان مدیران، به ندرت و شاید هیچ مدیری دیده نشود که شهامت آن را داشته باشد که بگوید «تقصیر من است». در گیر و دارهای اداری و اجرایی، مقصر، همیشه یک شخص غایب، بی‌جان و بدون توان واکنش است. اما واقعیت این است که آن چه در سازمان‌ها و شرکت‌های ما می‌گذرد و آن چه مردم و کارکنان، از سازمان ما می‌بینند، و یا پیرامون آن

می‌اندیشند، انعکاسی از شیوهی مدیریتی ماست.

سوم آن‌که اغلب مدیران، در همه سطوح مدیریتی، به دنبال تغییر و اصلاح دیگران هستند و پویایی و رشد سازمان خود و بهتر شدن کارها را در اصلاح آن‌ها جست و جو می‌کنند و کم‌اند مدیرانی که بپذیرند و باور داشته باشند که هم‌زمان، و حتی پیش از تغییر دیگران، خود آن‌ها باید تکامل یابند.

۵- نیازمندی‌های مدیریتی رویکرد اجتماعی

با شناخت اجمالی کاستی‌های برشمرده، در نگاه به شیوه مدیریتی شرکت‌ها و سازمان‌های ما، دو سبک مدیریت شبانی و باغبانی بیش‌تر نمود و بروز دارد. عمده مشغولیت مدیریت شبانی، همانند یک چوبان، هدایت گله به مرتع و چراگاه، نشستن زیر سایه درختی و رها کردن گوسفندان به چرا و مانند آن است. بدون آن‌که دخالتی در فربه شدن گوسفندان و یا زاد و ولد آنان داشته باشد. در مقابل، مدیران فراوانی نیز بوده و هستند که با اتکا به سبک باغبانی، هیچ لحظه‌ای شرکت خود را رها نمی‌کنند و هم‌چون باغبانی دلسوز، لحظه به لحظه در تدارک نیازها و حل و فصل امور آنند. در برابر این دو سبک، ایده دیگری در مدیریت، به نام «پرواز غازها» قرار دارد که کم‌تر اثری از آن در شرکت‌های ما دیده می‌شود. احساس مسؤولیت همگانی، مراقبت از یک دیگر، هم‌افزایی، آگاهی از سیر پرواز و رهبری و جلودار بودن نوبتی، از ویژگی‌های پرواز دسته جمعی غازها است که آن‌ها را قادر می‌سازد دسته جمعی، ۷۰ درصد بیش‌تر از پرواز انفرادی، راه بپیماند (کاشانی، ۱۳۸۱).

با این توضیح مختصر، می‌توان گفت که پیش‌نیاز و لازمه تحقق رویکردهای جدید در مدیریت آب، هم‌چون «سازگاری با کم‌آبی»، «مدیریت تقاضا»، «صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف آب»، «افزایش کارآمدی و بهره‌وری در مصرف» و مانند آن، که به کرات بر زبان مسؤولان جاری می‌شود، در بطن خود، موضوع فرهنگی و اجتماعی را در بر دارد و بدون توجه به آن، اجرای آن‌ها ناممکن خواهد بود. برای استقرار رویکرد اجتماعی در مدیریت خدمات آب و فاضلاب، شایسته و لازم است تا صاحبان اندیشه و قلم، رهنمودها و بایدها و نبایدهای آن را تدوین و عرضه دارند و بر مدیران شرکت‌های آب و فاضلاب، فرض است تا ضمن قوت بخشیدن به پیش‌نیازها و ابزارهای مراودات اجتماعی، چنین رهنمودهایی را متناسب با اقتضای

مکانی و زمانی، تعدیل و به کار گیرند. جان کلام آن‌که استقرار رویکرد اجتماعی در مدیریت شرکت‌ها، تنها با سخن‌گفتن رخ نمی‌دهد و لازمه آن، اصلاح درون ساختاری شرکت‌ها است. ما باید در کنار التزام به نظم در امور و پای‌بندی به وعده‌ها -که از ضرورت‌های جذب مخاطب است- مهارت فن بیان، تسلط بر سخنرانی و توان پاسخگویی و نقش‌آفرینی در بحث‌های گروهی را در مدیرانمان تقویت کنیم و یکی از ملاک‌های سنجش و ارزیابی مدیران را، میزان توانایی و کامیابی آنان در برقراری روابط مستمر، هدفمند و اثرگذار با مشتریان و ذی‌نفعان قرار دهیم. مخاطب‌شناسی و بیان مطالب، متناسب با سطح آگاهی و قدرت درک و دریافت مخاطب، یکی از ضعف‌های ما در حوزه اجتماعی است. دیده شده است که برخی مدیران، برای دانش‌آموزان، مردم عادی، مدیران حاضر در یک جلسه اداری و مانند آن، بدون توجه به ویژگی‌های مخاطب، یکسان سخن می‌گویند.

بدانیم که پیش‌نیاز اثرگذاری گفته‌های ما، اعتقاد درونی به آن‌ها و اجرای آن‌ها توسط خود ما، سازمان ما و منتسبان به ماست و تا زمانی‌که ما و وابستگان ما، هم‌چون دیگران می‌اندیشم و رفتار می‌کنیم و تنها به اقتضای شغل و مسؤولیت خود، سخنی را بر زبان می‌رانیم، نمی‌توان و نباید امید به اثرگذاری داشت. سرانجام آن‌که، تغییر در رفتارها و هنجارهای فرهنگی، زمان‌بر است و تحقق آن‌ها، نیاز به بردباری و استمرار دارد و نباید انتظار داشت که میوه‌های آن، هم‌چون اقدام‌های مهندسی، در کوتاه مدت و یا میان مدت، به ثمر نشیند. به گفته انتیشتن، «دو چیز نامتناهی است: کائنات و نابخردی انسان و من در مورد کائنات، مطمئن نیستم» و فایق آمدن بر نابخردی‌ها، کم‌آگاهی‌ها و یا ناآگاهی‌ها که سرانجام به اجماع جمعی و همراهی و هم‌افزایی برای گره‌گشایی از مشکلات و تنگناها می‌انجامد، به تدریج و در بستر زمان محقق می‌شود. به یاد داشته باشیم که هنجار سازی و تغییر در دیدگاه‌ها و نهادینه ساختن رفتارها، گاه در طی چندین نسل رخ می‌دهد.

جان کلام آن‌که در جهان امروز، سیاست‌ها و رویکردهای مدیریتی، بدون پذیرش و همراهی افکار عمومی، محقق نمی‌شود. سیاست، اگر چه باید در چارچوب حقوق باشد، اما امری فراحقوقی است و به الزام، تابع آداب و قواعد آن نیست. سیاست، ابتدا تابع قدرت است و بعد حقوق، و قدرت واقعی ما، در کارکنان متبحر، خودانگیخته، پای‌بند به اصول حرفه‌ای،

پیش‌رو، دانش‌اندوز و اعتماد، رضایت نسبی و باور عمومی به ما، سازمان ما و عملکرد ما است. به یقین با چنین سرمایه ارزشمندی، امکان بهره‌گیری از خرد جمعی در گره‌گشایی از هر تنگنا و مشکلی و اجرای راه‌کارها و تمهیدهای اندیشیده شده برای برون رفت از آن، امکان‌پذیر خواهد بود.

۶- مراجع

دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، (۱۳۹۷)، "گزارش عملکرد و آخرین وضعیت تأسیسات آب و فاضلاب در بخش‌های شهری و روستایی در پایان سال ۱۳۹۶"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

قنادی، م.، (۱۳۹۴)، "مجموعه مباحث مدیریت طرح‌های آب و فاضلاب (تجربه‌اندوزی از گذشته- نگاه به آینده)"، شانزدهمین گردهمایی سراسری رشد، ویژه معاونان مهندسی و توسعه شرکت‌های آب و فاضلاب، ۲۱ و ۲۲ مهر ماه، مشهد.

قنادی، م.، (۱۳۸۱)، "مجموعه مباحث میزگردهای تخصصی دومین نمایشگاه بین‌المللی آب و تأسیسات آب و فاضلاب ایران- چالش‌ها، رویکردها و آینده صنعت آب در ایران"، روابط عمومی و امور بین‌الملل وزارت نیرو، چاپ اول، اسفند. کاشانی، م.، (۱۳۸۲)، نقش دل در مدیریت، سازمان مدیریت صنعتی ایران، چاپ اول.

La France D.B. (2018) "Day zero, defeat day zero", *Journal American Water Works Association (AWWA)*, 110(3), 10.

Department of Water and Sanitation, City of Cape Town, (2018), "Water outlook 2018", Report Revision 25, updated 20 May, City of Cape Town, Isixeko Sasekapa Stad Kaapstad.

Maksimovic, C., and Tejada-Guibert, J.A., (2001) *Frontiers in urban water management*, International Water Association (IWA), Chapter 9, 405 p.

Fauchon, L., (2010), "A new water politics, world water council 2010-2012 strategy", World Water Council, www.worldwatercouncil.org.

A Review on the Efficiency of Denitrification Bioreactors in Nitrate Removal from Agricultural Drainage Water

Hedieh Ahmadpari¹ and Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh^{2*}

1- M.Sc. Student, Department of Irrigation and Drainage, Collage of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage, Collage of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran.

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

Received: 23/10/2018

Revised: 20/01/2019

Accepted: 20/01/2019

Abstract

One of the most important problems in drainage systems is the leaching of nitrate and its entry into surface water resources. Increased concentration of nitrate in water resources causes health problems to human and animals. The denitrification process, as one of the suitable solutions for nitrate removal from contaminated water, faces restrictions in agricultural soils due to lack of the carbon materials. Providing carbon in the soil promotes the process and removes more nitrate from the environment. The use of organic materials as cheap and affordable carbon is one of the best options for this purpose. In fact, biofuel reactor are a simple and relatively inexpensive technology in which carbon sources are used to facilitate denitrification. The intensity of denitrification in biological reactors depends on the type of carbon source, temperature, water soluble oxygen, hydraulic residence time and hydraulic parameters. Studies have shown that biological reactors are capable of removing up to 99 percent of nitrates in agricultural drainage. In recent years, numerous studies have been accomplished on the use of biological reactors and their ability and how they are applied to remove nitrates. In this paper, biological bioreactors of denitrification have been investigated as a method for removing nitrate from agricultural drainage.

Keywords: Denitrification, Denitrification bioreactors, Drainage systems, Nitrate.

مروری بر کارایی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون در حذف نیتрат از زهاب کشاورزی

هدیه احمدپری^۱ و سید ابراهیم هاشمی گرم دره^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، پردیس
ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران،
پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
* نویسنده مسئول، ایمیل: sehashemi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰

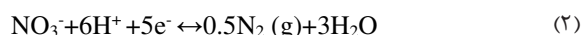
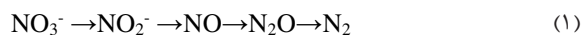
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰

چکیده

یکی از مهم ترین مشکل های سیستم های زهکشی، آب شویی نیترات و ورود آن به منابع آب سطحی است. افزایش غلظت نیترات در منابع آب باعث ایجاد مشکلاتی برای انسان ها و حیوان ها می شود. فرایند دنیتریفیکاسیون یکی از راه کارهای مناسب برای حذف نیترات از آب های آلوده است. این فرایند در خاک های کشاورزی به علت کمبود مواد کربنی با محدودیت مواجه است. تأمین کربن مورد نیاز در خاک باعث افزایش این فرایند و حذف بیشتر نیترات از محیط می شود. استفاده از مواد آلی به عنوان ماده کربنی ارزان قیمت و قابل دسترس یکی از بهترین گزینه ها برای این هدف است. در واقع راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون یک تکنولوژی ساده و نسبتاً ارزان هستند که در آن ها از منابع کربن برای تسهیل دنیتریفیکاسیون استفاده می شود. شدت دنیتریفیکاسیون در راکتورهای زیستی به نوع منبع کربنی مورد استفاده، دما، اکسیژن محلول در آب، زمان ماند هیدرولیکی و پارامترهای هیدرولیکی بستگی دارد. مطالعات صورت گرفته نشان داده است که راکتورهای زیستی توانایی حذف تا ۹۹ درصد از نیترات موجود در زهاب های کشاورزی را دارند. طی سال های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از راکتورهای زیستی به منظور حذف نیترات و توانایی و چگونگی کاربرد آن ها انجام شده است. در این مقاله راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون به عنوان یک روش برای حذف نیترات از زهاب کشاورزی مورد بررسی قرار می گیرند.

واژه های کلیدی: سیستم های زهکشی، نیترات، دنیتریفیکاسیون، راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

شده است (Robertson et al., 1984)، ولی بیش از ۹۹ درصد از دنیتریفیکاسیون توسط دنیتریفیکاتورها در شرایط بی‌هوای و در غیاب اکسیژن صورت می‌گیرد (Van Rijn et al., 2006). میکروارگانیسم‌های دنیتریفیکاتور نیترات را به‌عنوان گیرنده الکترون برای تنفس مورد استفاده قرار می‌دهند. حذف نیترات از طریق واکنش نیمه عمر رابطه (۲) صورت می‌گیرد.



از منظر بیوشیمی دنیتریفیکاسیون فرآیند باکتریایی است که در آن اکسید نیتروژن (به‌صورت اشکال یونی و گازی) به‌عنوان گیرنده نهایی الکترون در انتقال تنفسی الکترون شرکت می‌کند. الکترون‌ها از یک الکترون دهنده (سوبسترا، ترکیبات آلی) از طریق سیستم‌های حمل متعددی انتقال داده می‌شوند تا به‌شکل نیتروژن اکسید شده برسند. انرژی آزاد شده حاصله در پی فرآیند فسفوری در آدنوزین تری فسفات^۲ (ATP) ذخیره می‌شود و به‌وسیله ارگانیسم‌های دنیتریفایر برای تنفس سلولی مصرف می‌شود (Brix et al., 2003). نیتروژن آخرین محصول این فرایند است، اما ممکن است تحت شرایط خاصی باعث افزایش محصولات واکنش‌های میانی شامل NO ، NO_2 و N_2O شود. اکسیژن به‌عنوان مهمترین عامل تنظیم کننده دنیتریفیکاسیون است. شدت انجام دنیتریفیکاسیون بستگی کامل به شرایط محیطی دارد، زیرا معمولاً دنیتریفیکاتورها در تمام خاک‌ها به‌تعداد خیلی زیاد وجود دارند، ولی تنها در صورت ایجاد بعضی شرایط خاص به‌طور قابل‌توجهی سبب احیای نیترات‌ها می‌شوند. این عوامل شامل موجود بودن نیترات فراوان، کمبود اکسیژن، مواد آلی، گیاهان، رطوبت، pH و دمای مناسب است. در صورتی که pH کمتر از ۵ و میزان اکسیژن در محیط زیاد باشد، در این‌صورت کاهش نیترات در مسیر دنیتریفیکاسیون کامل نمی‌شود و تولید NO و N_2O افزایش می‌یابد (Beckman, 2005). دنیتریفیکاتورهای هتروتروف به‌عنوان مهم ترین دنیتریفیکاتور در طبیعت شناخته می‌شوند و ترکیبات کربنی آلی و الکترون را به‌عنوان منبعی برای تولید انرژی مصرف می‌کنند. این ترکیبات شامل کربوهیدرات‌ها، الکل‌های آلی، اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب هستند. البته در شرایط کمبود کربن محلول در طبیعت دنیتریفیکاتورهای غالب دنیتریفیکاتورهای اتوتروف هستند که از ترکیبات معدنی مانند

افزایش آبیاری و به‌کار بردن آب‌های با کیفیت پایین باعث افزایش شوری و هم‌چنین ماندابی اراضی در سال‌های اخیر شده است. زهکشی و آب‌شویی مناسب مؤثرترین روشی است که در شرایط کنونی می‌تواند برای جلوگیری از روند شور شدن اراضی به‌کار برده شود. در این روش‌ها برای کاهش بیشتر شوری خاک نیاز به افزایش بیشتر مقدار آب کاربردی است که این آب مازاد در صورت عدم خروج توسط زهکش‌های مناسب صعود سطح آب‌های زیرزمینی و به‌دنبال آن مشکلات زهکشی را به‌دنبال خواهد داشت. اگرچه آب‌شویی نمک‌ها، یکی از اهداف اصلی نصب سیستم‌های زهکشی است، ولی آب‌شویی مواد دیگری از قبیل آفتکش‌ها و کودها و وارد شدن آن‌ها به آب‌های سطحی یکی از بزرگترین معایب این سیستم‌ها است. وارد شدن این مواد به آب‌های سطحی باعث آلوده شدن آب‌های سطحی و هم‌چنین ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌شود (Wang et al., 2009). یکی از مهم‌ترین این آلاینده‌ها، نیترات است. امروزه افزایش غلظت نیترات در محیط‌های آبی به‌خصوص در آب آشامیدنی به یک مسئله مهم تبدیل شده است. زیرا گزارش‌هایی مبنی بر اثرات سوء کوتاه و بلندمدت نیترات بر انسان از جمله بیماری متمرکولوبینمی^۱ یا سندروم کودک آبی^۲، اثرات منفی بر رشد جنین و هم‌چنین سرطان‌های گوارشی ارائه شده است (Gilchrist et al., 2010). روش‌های متعددی به‌منظور حذف آلاینده‌های نیترات از آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که هرکدام از این روش‌ها نقاط قوت و ضعف مخصوص خود را دارند و کارایی آن‌ها وابسته به هزینه، کیفیت آب، مدیریت مواد باقیمانده و الزامات بعد از تصفیه است. تحقیقات صورت گرفته در جهان حاکی از آن است که برای نیترات‌زدایی از زهاب زهکشی روش دنیتریفیکاسیون نسبت به دیگر روش‌های حذف نیترات هزینه کمتر و عملکرد بهتری دارد (Warneke et al., 2011; Schipper et al., 2010). احیای نیترات یا نیتريت به گازهای نیتروژنه شامل اکسید نیتروژن (NO)، اکسید نیترو (N_2O) و گاز نیتروژن (N_2) را دنیتریفیکاسیون می‌گویند که به‌صورت بیولوژیک و شیمیایی از طریق رابطه (۱) اتفاق می‌افتد. دنیتریفیکاسیون توسط گروهی از میکروارگانیسم‌ها که بیشتر در محیط بی‌هوای فعالیت می‌کنند انجام می‌شود. اگرچه گزارش‌هایی در مورد فعالیت دنیتریفیکاتورهای هوای نیز ارائه

و تکمیل کننده دیگر روش های مدیریت کشاورزی هستند که منجر به کاهش آب شویی نیترات به آب های سطحی می شوند (Schipper et al., 2010).

۳- انواع راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

(Schipper et al., 2010) در مطالعه ای تاریخیچه ای از راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون، منابع کربنی جامد مورد استفاده، غلظت های نیترات و همچنین اثرات و فاکتورهایی که عملکرد آن ها را تحت تاثیر قرار می دهند را ارائه نموده اند. راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون شامل دیواره های دنیتریفیکاسیون، لایه های دنیتریفیکاسیون و بسترهای دنیتریفیکاسیون می شوند. این محققین عملکرد بسترها و دیواره های دنیتریفیکاسیون را در هر دو مطالعات میدانی و صحرایی با سرعت های ۰/۰۱ تا ۳/۶ گرم بر متر مکعب در روز برای دیواره ها و ۲ تا ۲۲ گرم بر متر مکعب در روز برای بسترها، موفقیت آمیز گزارش کرده اند. در زیر به شرح مختصری از هریک از این راکتورهای زیستی پرداخته شده است.

۳-۱- دیواره دنیتریفیکاسیون

دیواره دنیتریفیکاسیون دیواری نیمه نفوذپذیر است که بر سر راه سفره آب زیرزمینی آلوده به نیترات ساخته می شود و آب آلوده پس از عبور از آن تصفیه می شود (Della Rocca et al., 2007). در حقیقت دیواره دنیتریفیکاسیون از مواد غیرفعال (Deactive) تشکیل شده که آلودگی نیتراتی را از آب آلوده جدا کرده و آن را تصفیه می کند (Robertson et al., 2007; Long et al., 2011). دیواره های دنیتریفیکاسیون را موانع واکنش پذیر متخلخل و نفوذپذیر تعریف کرده اند، که در داخل سطح آب زیر زمینی نصب می شوند به طوری که آب زیرزمینی در سرتاسر آن دیوار، جریان می یابد و منبع کربنی ترکیب شده با خاک به عنوان منبع انرژی مورد نیاز دنیتریفیکاتورها در جهت تبدیل نیترات در آب زیرزمینی به گاز نیتروژن فعالیت می کند. در شکل ۱ نمایشی از نحوه عملکرد دیواره دنیتریفیکاسیون نشان داده شده است.

۳-۲- بستر دنیتریفیکاسیون

بسترهای دنیتریفیکاسیون حوضچه هایی هستند که از منابع

منگنز و آهن به عنوان منبع الکترونی و کربن معدنی به عنوان منبع کربنی استفاده می کنند (Van Rijn et al., 2006) و در نهایت نیترات را به گاز نیتروژن تبدیل می کنند (Schipper et al., 2010). در بیشتر سیستم هایی که از دنیتریفیکاسیون هتروتروف استفاده می شود، این فرآیند با عبور دادن آب آلوده به نیترات از میان یک محیط حذف شامل مواد کربنی، شدت دنیتریفیکاسیون افزایش یافته و باعث حذف نیترات و اصلاح آب آلوده به نیترات می شود. استفاده از این نوع راکتورهای زیستی یک روش مناسب به منظور حذف نیترات از زهاب زهکش های زیرزمینی است. در مطالعات انجام شده در دو دهه اخیر، منابع کربنی آلی مختلفی به عنوان ماده کربنی به منظور افزایش فعالیت دنیتریفیکاتورها در مزرعه مورد استفاده قرار گرفته اند و نتایج نشان داده است که می توان از این مواد در محیط زهکش با راندمان بالایی برای حذف نیترات استفاده نمود (Boley et al., 2003; Hashemi et al., 2011). بنابراین با توجه به موضوع گفته شده، هدف از این پژوهش بررسی و معرفی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون و عوامل موثر بر آن ها به عنوان یک روش برای تصفیه نیترات زهکشی کشاورزی است.

۲- راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

دنیتریفیکاسیون میکروبی فرایندی است که طی آن نیترات به گاز نیتروژن تبدیل می شود. اما این فرایند در خاک های زیرسطحی در اثر کمبود منابع کربن با محدودیت مواجه است (Cambardella et al., 1994). چندین راه کار دنیتریفیکاسیون برای کاهش نیترات در زهکش های زیرزمینی ارائه شده است. همه این راه کارها با ایجاد یک محیط از منابع کربنی و عبور آب زهکش از میان آن باعث افزایش دنیتریفیکاسیون و حذف نیترات از محیط می شوند (Schipper et al., 2010). استفاده از راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون یک روش مناسب به منظور حذف نیترات از زهاب زهکش های زیرزمینی است. در مطالعات انجام شده در دو دهه اخیر، منابع کربنی آلی مختلفی به عنوان ماده کربنی به منظور افزایش فعالیت دنیتریفیکاتورها در مزرعه مورد استفاده قرار گرفته اند و نتایج نشان داده است که می توان از این مواد در محیط زهکش با راندمان بالایی برای حذف نیترات استفاده نمود (Boley et al., 2003; Hashemi et al., 2011). یک تحلیل اولیه هزینه به سود، نشان داده است که راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون یک روش مقرون به صرفه

کربنی جامد پر شده اند و پساب زهکشی از یک سمت به آن وارد و از سمت دیگر از آن خارج می شود (شکل ۲) (Cameron and Schipper, 2010). منابع کربنی موجود در این بسترها به عنوان منبع انرژی برای دنیتریفایرها عمل میکند و موجب کاهش نیترات منابع تخلیه نقطه ای می شود و به این ترتیب نیترات موجود در پساب زهکشی توسط دنیتریفایرها به گاز نیتروژن تبدیل می شود (Warneke et al., 2011).

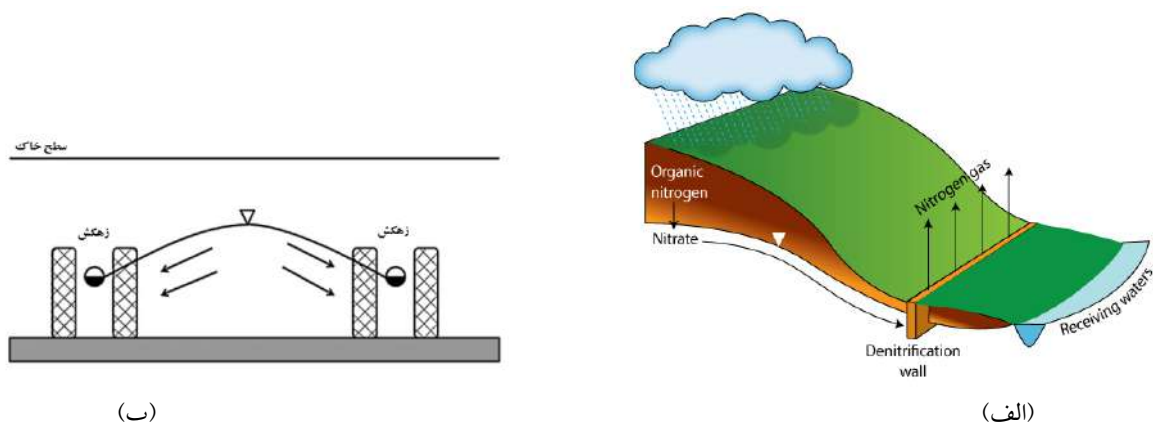
۳-۳- لایه های دنیتریفیکاسیون

لایه های دنیتریفیکاسیون لایه هایی افقی از مواد کربنی جامد هستند که در زیر خاک های آبیاری شده و دارای پساب، قرار گرفته اند (Schipper and McGill, 2008). Robertson and Cherry (1995) عملکرد یک لایه دنیتریفیکاسیون حاوی خرده چوب را که در منطقه غیر اشباع و زیر بستر نفوذ یک سیستم

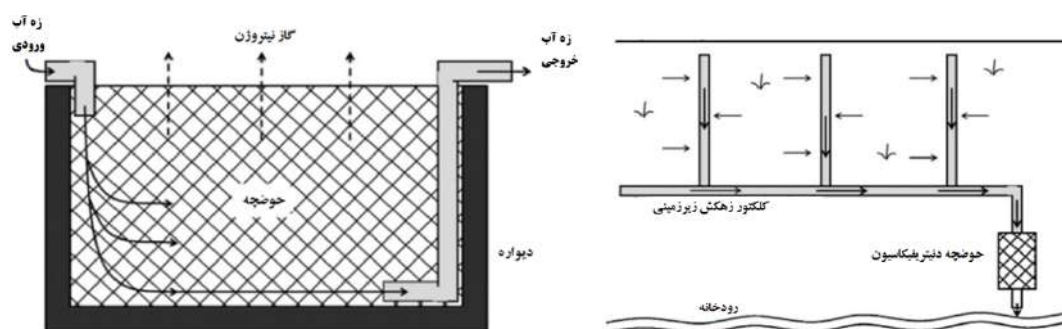
سپتیک معمولی قرار گرفته بود در طول یک سال مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که عملکرد لایه دنیتریفیکاسیون در حذف نیترات از آب موفقیت آمیز بوده است و راندمان حذف نیترات در آن ۶۰ تا ۸۰ درصد است. این محققین گزارش کردند که لایه های دنیتریفیکاسیون در مناطق غیر اشباع (در بالای سطح ایستابی) توانایی آن را دارند که همیشه اشباع و فاقد هوا بمانند و عملکرد خوبی در دنیتریفیکاسیون داشته باشند. شکل ۳ نمایشی از نحوه عملکرد لایه دنیتریفیکاسیون نشان داده شده است.

۴- مزایای راکتورهای زیستی (بسترهای) دنیتریفیکاسیون

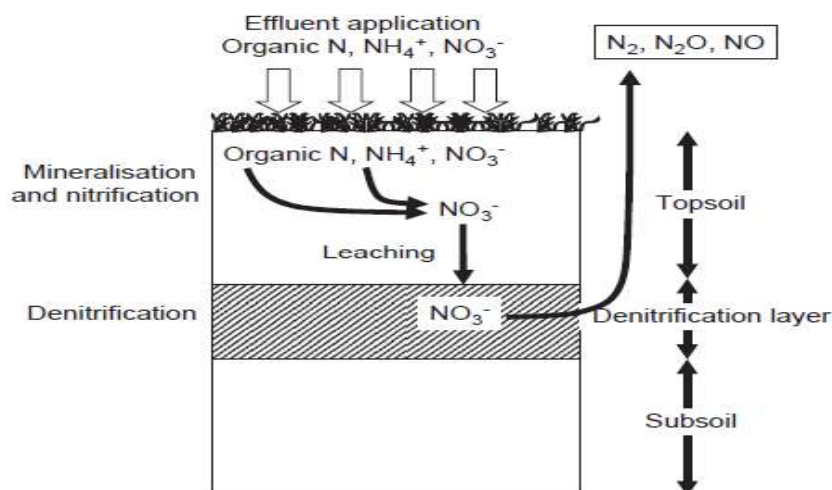
در حال حاضر بسترهای دنیتریفیکاسیون به طور فزاینده ای مورد



شکل ۱- نحوه نصب دیواره دنیتریفیکاسیون: (الف) در جریانهای زیرزمینی، (ب) در کنار لوله زهکش (Schipper, 2013)



شکل ۲- نحوه اجرای حوضچه دنیتریفیکاسیون در انتهای خطوط زهکش (Schipper, 2012)



شکل ۳- نمودار مفهومی از یک لایه دنیتریفیکاسیون و انتقالات نیتروژن (Schipper and McGill, 2008)

۵- معایب راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

هرچند راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون به عنوان یک گزینه برای تصفیه آلودگی نیترات در آب های زیرزمینی و آب های سطحی مورد آزمایش قرار گرفته اند، با این حال اثرات زیان آور این تکنولوژی تولید گازهای گلخانه ای و متیل جیوه است (Elgood et al., 2010). دنیتریفیکاسیون با کنترل کردن محصول اولیه به صورت غیرمستقیم باعث تغییر اقلیم جهانی می شود. علاوه بر این دنیتریفیکاسیون به صورت مستقیم با تولید N_2O و NO که هر دو از گازهای گلخانه ای هستند بر اقلیم جهانی تأثیر می گذارد. اثر تخریبی NO و N_2O ، ۳۰۰ برابر بیشتر از CO_2 است. (Moorman et al., 2010) میزان انتشار گاز گلخانه ای N_2O را در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون که بیش از ۹ سال در مزرعه کار کرده است را بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که N_2O خارج شده از آب زهکشی زیرزمینی موجود در راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون به میزان ناچیزی بیشتر از مقدار N_2O خارج شده در آب زهکشی زیرزمینی موجود در شاهد بود و تلفات N_2O از آب زهکشی زیرزمینی موجود در راکتور زیستی حدود ۰/۰۰۶۲ کیلوگرم N_2O-N بر کیلوگرم NO_3-N برآورد شد. (Healy et al., 2012) میزان انتشار گاز گلخانه ای CH_4 و CO_2 را در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که انتشار گازهای گلخانه ای متان و کربن دی اکسید زیاد بود ولی انتشار

استفاده قرار می گیرند تا نیترات اضافی را از منابع نقطه ای مانند پساب فاضلاب یا پساب زهکشی زیرزمینی مزارع کشاورزی حذف نمایند (Warneke et al., 2011). از مهم ترین مزایای بسترهای دنیتریفیکاسیون علاوه بر هزینه های پایین نصب و نگهداری آن ها نسبت به دیگر روش ها، توانایی بالای حذف نیترات بالا در آن ها است. به طوری که مطالعات نشان داده است که این بسترها توانایی حذف بیش از ۹۹٪ نیترات موجود در زهاب ها را دارا هستند (Robertson et al., 2005; Schipper et al., 2010). از دیگر مزایای بسترهای دنیتریفیکاسیون می توان به موارد زیر اشاره کرد (Robertson et al., 2005; Schipper et al., 2010; Cameron and Schipper, 2010).

- ۱- در اغلب مناطق برای ایجاد راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون نیاز به مصرف زمین زراعی نیست؛
- ۲- حذف نیترات بلافاصله به محض اتمام جریان آب آغاز می شود؛
- ۳- می توان آن را در منظره هایی که تالاب ساخته نمی شود، نصب کرد؛
- ۴- در مقایسه با نصب و راه اندازی تالاب هزینه آن کم است و می توان آن را در ترکیب با تالاب برای کاهش هزینه تصفیه زهکشی زیرزمینی در یک حوضه مورد استفاده قرار داد؛
- ۵- منابع کربنی که در این بسترها استفاده می شود کم هزینه هستند؛
- ۶- نصب و نگهداری آن ها ساده است؛
- ۷- قابل استفاده برای تصفیه زهاب در مقیاس بزرگ هستند.

اکسید نیتروژن (N_2O) به علت شرایط بی‌هوازی درون راکتور زیستی کم بود. (Elgood et al. (2010) تولید گازهای گلخانه‌ای در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون بررسی کردند. نتایج نشان داد که متوسط تولید متان و اکسید نیتروژن (N_2O) در راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون به ترتیب حدود ۹۷۴ میکروگرم کربن در لیتر (μgCL^{-1}) و ۶/۴ میکروگرم نیتروژن بر لیتر (μgNL^{-1}) است و حباب‌های گازی محبوس در رسوبات پوشاننده راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون ترکیبی از متان (۶۴-۱۹ درصد)، کربن دی‌اکسید (۶-۱ درصد) و اکسید نیتروژن (۲-۰/۵ قسمت در میلیون حجمی (ppmv)) بودند. با این حال نرخ انتشار حباب گاز در این مطالعه اندازه‌گیری نشده است. میزان تولید N_2O محلول از راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون مشابه نرخ انتشار گزارش شده در برخی از زمین‌های کشاورزی ۰/۱-۱۵ میلی‌گرم نیتروژن بر متر مربع بر روز ($mgNm^{-2}d^{-1}$) است. همچنین CH_4 محلول در راکتور زیستی طی ماه‌های تابستان حدود ۱۲۳۶ میلی‌گرم کربن بر مترمربع بر روز ($mgCm^{-2}d^{-1}$) بود که این مقدار بیشتر از مقدار گزارش شده در برخی از رودخانه‌ها و مخازن (۶-۶۶ میلی‌گرم کربن بر مترمربع بر روز) و کمتر از میزان گزارش شده در برخی از تاسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب (۱۹/۵۰۰-۳۸۰۰۰ میلی‌گرم کربن بر مترمربع بر روز) است. (Warneke et al. (2011) تولید گازهای گلخانه‌ای N_2O ، CH_4 و CO_2 در یک بستر دنیتریفیکاسیون را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که از سطح بستر به‌طور متوسط حدود ۷۸/۵۸ میکروگرم N_2O-N بر مترمربع بر دقیقه، ۰/۲۳۸ میکروگرم CH_4 بر مترمربع بر دقیقه و ۱۲/۶ میلی‌گرم CO_2 بر مترمربع بر دقیقه انتشار یافت. در امتداد طول بستر غلظت N_2O-N محلول افزایش یافت و بستر به‌طور متوسط حدود ۳۶۲ گرم N_2O-N محلول را در روز آزاد می‌نمود. غلظت CH_4 محلول نشان داد که در امتداد طول بستر بدون روند بوده است و در دامنه ۵/۲۸ تا ۳۴/۲۴ میکروگرم بر لیتر قرار داشت. به‌طور کلی نتایج این محققین نشان داد که بسترهای دنیتریفیکاسیون اگر چه ابزاری کارآمد برای حذف بالای نیترات پساب‌ها هستند اما مقداری هم گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کنند و اگر قرار است بسترهای دنیتریفیکاسیون به‌طور معمول استفاده شود نیاز است که مکانیزم کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای نیز بررسی شود. (David et al. (2016) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون که از خرده چوب ساخته شده بود، اقدام به

حذف نیترات پساب زهکشی نمودند. نتایج نشان داد که در حین حذف نیترات مقدار کمی N_2O منتشر می‌شود. (Herbstritt (2014) مزایا و معایب زیست‌محیطی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون را بررسی نمود. نتایج نشان داد که راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون یک تکنولوژی موثر برای حذف نیترات از پساب زهکشی کشاورزی هستند ولی اثرات نامطلوبی مانند تولید گازهای متان و سولفید هیدروژن دارند که می‌توانند اثرات زیان‌آوری به محیط‌زیست وارد کنند. (Li et al. (2017) به‌منظور تصفیه آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی از خرده چوب و گوگرد در یک دیواره دنیتریفیکاسیون استفاده کردند. نتایج نشان داد که در حین حذف نیترات مقدار کمی نیتريت و آمونیوم نیز تولید می‌شود. (Hashemi et al. (2011) نشان دادند که در حین حذف نیترات در دیواره‌های دنیتریفیکاسیون مقدار کمی آمونیوم نیز تولید می‌شود.

۶- طراحی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه طراحی راکتورهای زیستی برای دنیتریفیکاسیون انجام شده است (Reising and Schroeder, 1995; McCleaf and Schroeder, 1996). در بیشتر این سیستم‌ها، با عبور دادن آب آلوده به نیترات از میان یک محیط حذف شامل مواد کربنی، شدت دنیتریفیکاسیون افزایش یافته و باعث حذف نیترات و اصلاح آب آلوده می‌شود. روش‌های طراحی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون زهکشی کشاورزی باید با سیستم‌های جدیدی بهینه‌سازی شوند تا بهبود کیفیت آب حداکثر شود (Christianson et al., 2013). (Christianson et al. (2013) مدلسازی و کالیبراسیون معیارهای طراحی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون زهکشی را بررسی کردند. تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی مدل نشان داد که روند طراحی راکتورهای زیستی با توجه به سرعت جریان و زمان ماند باید به گونه‌ای باشد که نرخ جریان طراحی ۱۰ تا ۲۰ درصد حداکثر نرخ جریان پیش‌بینی شده در زمان ماند طراحی ۶ تا ۸ ساعت باشد. این محققین نتیجه گرفتند که روش طراحی اصلی باید به‌روزرسانی و اصلاح شود و راکتورهای زیستی ای تولید شود که نسبت طول به عرض آن‌ها زیاد باشد تا عملکرد میزان حذف نیترات و نرخ حذف نیترات را بهبود دهد. (Christianson et al. (2011) از مجموعه‌ای از راکتورهای زیستی زهکشی در مقیاس پایلوت استفاده نمودند تا تاثیر شکل هندسی راکتورهای

زیستی بر خواص هیدرولیکی راکتورهای زیستی بررسی شود و همچنین میزان حذف نیترات تحت شرایط پایدار تعیین شود. بدین منظور راکتورهای زیستی با هندسه‌های مختلف مقطعی (شکل مقطع‌های مختلف) ولی با عمق مشابه و حجم کل برابر را مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصد کاهش توده نیترات پساب با زمان ماند هیدرولیکی نظری همبستگی خطی داشت و ۳۰ تا ۷۰ درصد حذف $\text{NO}_3\text{-N}$ در زمان ماند ۴ تا ۸ ساعت مشاهده شد. آزمون ردیاب نشان داد که زمان ماند هیدرولیکی درجا به‌میزان قابل‌ملاحظه‌ای (یعنی حداقل ۱/۵ برابر) از زمان ماند هیدرولیکی نظری بیشتر است. احمدپری (۱۳۹۶) به منظور بررسی شکل مقطع بر میزان حذف نیترات، سه مقطع هیدرولیکی نیم‌دایره، مثلث و مستطیل ولی با عمق مشابه و حجم یکسان را در مقیاس پیلوت مورد ارزیابی قرار داده و نشان داد که با افزایش طول میزان راندمان حذف نیترات افزایش می‌یابد و سطح مقطع مثلث بیشترین راندمان حذف را دارا است. براساس نتایج محققین در زمینه طراحی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون میتوان گفت عواملی مهم تاثیرگذار بر روی راندمان حذف نیترات شامل زمان ماند هیدرولیکی، اندازه راکتورهای زیستی، درجه حرارت، طراحی ورودی و خروجی، اکسیژن محلول در ورودی و شکل هندسی راکتورهای زیستی هستند (Christianson et al., 2011; Schipper et al., 2010). Ghane et al. (2015) در یک بستر دنیتریفیکاسیون حذف نیترات را با سنتیک‌های Michaelis-Menten مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که این سنتیک‌ها نرخ حذف نیترات در بستر دنیتریفیکاسیون را به‌خوبی توصیف می‌کنند. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که این مدل می‌تواند در طراحی بسترهای دنیتریفیکاسیون به‌منظور افزایش کارایی حذف نیترات و بهبود کیفیت پساب زهکشی به‌کار گرفته شود. Ghane et al. (2014) در یک راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون که از خرده چوب ساخته شده بود، اقدام به اندازه‌گیری سرعت حرکت آب در راکتورهای زیستی نمودند و سپس از معادلات Forchheimer و Darcy سرعت جریان را برآورد نمودند. نتایج نشان داد که معادله Forchheimer سرعت جریان آب در راکتورهای زیستی را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند در حالی که معادله داری در پیش‌بینی سرعت آب در راکتورهای زیستی کارایی ندارد. بنابراین در طراحی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون باید این نکته را در نظر گرفت که تنها شرط جریان آرام درون راکتورهای

زیستی برای توصیف سرعت جریان آب در آن کافی نیست و نباید برای پیش‌بینی سرعت جریان آب درون راکتورهای زیستی از معادله داری استفاده نمود.

۷- منابع کربنی مورد استفاده در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

کاربرد دنیتریفیکاسیون فاز جامد (کاربرد منابع کربنی جامد) برای حذف نیترات از آب‌های زیرزمینی و آشامیدنی توسط محققان زیادی گزارش شده است (Boley et al., 2000). مواد کربنی که از آن‌ها در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون استفاده می‌شود باید با محیط سازگار باشند. این مواد باید به گونه‌ای باشند که محصول واکنش آن‌ها و نیترات، هیچ گونه تاثیر مضر روی محیط زیست اطراف خود نداشته باشد و به یک منبع آلودگی در آینده تبدیل شوند. برای این‌که هزینه‌های ناشی از راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون حداقل مقدار باشد، باید موادی انتخاب شوند که دوام طولانی داشته و در طول زمان در اثر واکنش زوال پیدا نکنند. همچنین ماده موردنظر باید کمترین مزاحمت را برای حرکت آب درون خود فراهم کند. Schipper et al. (2010) گزارش کردند که بسیاری از منابع کربن مانند دانه خرد شده ذرت، ساقه ذرت، نی و غیره ممکن است میزان حذف نیتراتی بیش از چوب داشته باشند ولی باید بستر یا دیواره را در مدت زمان کوتاهی از این مواد پر کرد چون تخلیه کربن آن‌ها سریع صورت می‌گیرد. Cameron et al. (2012) گزارش کردند که دما و موجودیت منبع کربنی فاکتورهای بااهمیت‌تری در مقایسه با سایر فاکتورهای تاثیرگذار بر روی نرخ حذف نیترات طی فرایند دنیتریفیکاسیون هستند. مطالعات بر روی دیواره و بستر دنیتریفیکاسیون در مقیاس میدانی نشان می‌دهد که در اکثر آن‌ها از تولیدات چوب (پوشال و چوب) استفاده شده است، چون این مواد به‌مقدار زیاد در دسترس بوده و هزینه کم و نفوذپذیری و نسبت کربن به نیتروژن بالایی دارند (Gibert et al., 2008; Robertson and Merkley, 2009). Lepine et al. (2016) در یک دوره ۲۶۸ روزه با استفاده از بسترهای دنیتریفیکاسیون خرده‌های چوب مدت زمان ماند هیدرولیکی بهینه را برای یک بستر پیلوت محاسبه نمودند. در این تحقیق میزان زمان ماند هیدرولیکی بین ۶/۶ تا ۵۵ ساعت و غلظت نیترات ورودی بین ۳۰ تا ۸۰ میلی گرم در

لیتر متغیر بود. در این مطالعه میزان سرعت حذف نیترات بیش از ۳۹ گرم نیتروژن در مترمکعب در روز به دست آمد که بیشتر از مطالعات پیشین بود. (Wu et al. (2013) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون از پلیمر زیست تخریب پذیر^۴ به عنوان ماده کربنی استفاده کردند و عملکرد آن را در حذف نیترات از محلول آبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که راندمان حذف نیترات آن ۹۵ درصد بوده و پلیمر زیست تخریب پذیر، ماده کربنی مناسبی برای دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی است. (Hashemi et al. (2011) با استفاده از ستون های آزمایشگاهی چهار ماده کربنی خرده چوب، شلتوک برنج، برگ نخل خرما و پوشال جو را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که به ترتیب برگ نخل خرما، پوشال جو، شلتوک برنج و چوب بیشترین مقدار حذف نیترات را داشتند. (Greenan et al. (2006) از خرده چوب، مقوا و ساقه های ذرت به عنوان ماده کربنی اضافی به صورت آغشته به روغن سویا و بدون استفاده از روغن سویا در آزمایش های خود استفاده کردند. نتایج کار آن ها نشان داد که عملکرد ساقه های ذرت در مقایسه با دیگر مواد در کاهش نیترات آب بهتر بوده و همچنین افزودن روغن سویا به خرده چوب سبب افزایش راندمان حذف نیترات از آب شده است. (Hernandez et al. (2008) از پوست درخت کاج و الیاف نارگیل برای حذف فلزات و نیترات از لجن فاضلاب استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آن ها نشان داد که هر چند هر دو ماده مؤثر هستند ولی پوست درخت کاج از کارایی بیشتری در زمینه حذف نیترات برخوردار است. (Bucco et al. (2014) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون از بامبو به عنوان منبع تلقیح که در آن تعداد زیادی از میکروارگانیسم های دنیتریفایر وجود دارد؛ و از اتانول به عنوان منبع کربنی استفاده نمودند و عملکرد این راکتورهای زیستی را در حذف نیترات از آب آشامیدنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که راندمان حذف نیترات در این راکتورهای زیستی ۸۰ درصد است. (Liang et al. (2015) عملکرد یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون که از کاه برنج ساخته شده بود، را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در زمان ماند هیدرولیکی ۲۴ ساعت غلظت نیتروژن نیتراتی و نیتروژن آمونیومی پساب زهکشی به ترتیب حدود ۵۳ و ۲۵ درصد کاهش یافت. (Wu et al. (2013) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون از پلی-کاپرولاکتون به عنوان ماده کربنی استفاده کردند و عملکرد آن را در دنیتریفیکاسیون مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که

راندمان حذف نیترات آن ۹۳ درصد بوده و پلی-کاپرولاکتون^۵ ماده کربنی مناسبی برای دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی است. Li et al. (2014) به منظور تصفیه آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی از ژئولیت در یک دیواره دنیتریفیکاسیون استفاده کردند. نتایج نشان داد که راندمان حذف نیترات در دیواره دنیتریفیکاسیون ۹۷/۷ درصد است. (Li et al. (2017) به منظور تصفیه آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی از ساقه های ذرت به عنوان منبع کربنی در یک دیواره دنیتریفیکاسیون استفاده کردند. نتایج نشان داد که راندمان حذف نیترات در دیواره دنیتریفیکاسیون ۹۵ درصد است و ساقه های ذرت به عنوان یک منبع کربنی پتانسیل خوبی برای دنیتریفیکاسیون دارند. (Cameron et al. (2010) مشاهده کردند که براده های ذرت بدون این که منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی شوند نیترات بیشتری را در مقایسه با براده های چوب حذف نمودند. بنابراین منابع کربنی متفاوت میتوانند اثرات متفاوتی بر روی هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل موثر داشته باشند. (Schipper et al. (2010) از چوب درختان به عنوان منابع کربنی در بسترهای دنیتریفیکاسیون و زهکش های مزرعه استفاده کرده و اعلام کردند که استفاده از منابع کربن منجر به کاهش غلظت نیترات زهآب میشود و یک تکنولوژی موثر و در عین حال کم هزینه است. (Elgood et al. (2010) برای حذف نیترات در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون از خرده چوب درخت کاج استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در طی یک دوره یک ساله متوسط ماهانه حذف نیترات از پساب در دامنه ۱۸ تا ۱۰۰ درصد یعنی حدود ۲/۵-۰/۳ میلی گرم در لیتر N است. (Healy et al. (2012) نرخ حذف نیترات را در مدیای مختلف کربن آلی مقایسه نمودند. مقایسه مدیای مختلف کربن در شرایط پایدار نشان داد که راکتورهای زیستی کاه جو و مقوا دارای بیشترین شار کربنی بوده و بیشترین حذف نیترات را دارا هستند. (Greenan et al. (2006) گزارش کردند که برای ذرات چوب و مقوای نازک که ضخامتی کمتر از ۲ میلی متر دارند میزان حذف نیترات بیشتر است. (Van Driel et al. (2006) میزان حذف نیترات در دو بستر دنیتریفیکاسیون که یکی از ذرات درشت و دیگری ذرات ریز ساخته شده بود مقایسه کردند. نتایج نشان داد که میزان حذف نیترات برای ذرات درشت حدود ۵/۹ گرم نیتروژن بر مترمکعب بر روز و برای ذرات ریز ۵/۵ گرم نیتروژن بر مترمکعب بر روز است. (Gibert et al. (2008) و همچنین Cameron and

Schipper (2010) گزارش کردند که هیچ تفاوتی در میزان حذف نیترا ت چوب گونه‌های درختی در حال رشد (چوب نرم) و چوب سخت نیست و هردو گونه چوب سفت و نرم با مزیت کم یکی بر دیگری در آزمایش های میدانی به‌طور موفقیت‌آمیز استفاده شده است. (Schipper et al., 2010) گزارش کردند که آزمایشاتی که در مقیاس آزمایشگاهی انجام میشود این فرصت را فراهم میکند تا میزان حذف نیترا ت و عملکرد هیدرولیکی ماده های کربنی متفاوت با هم دیگر مقایسه شوند ولی ممکن است میزان حذف نیترا ت و عملکرد هیدرولیکی حاصله از این مطالعات برای استفاده در تاسیسات بزرگ مقیاس قابل اعتماد و معتبر نباشد که این امر ناشی از تاثیر مقدار اکسیژن محلول در میزان حذف نیترا ت در آزمایشات کوچک مقیاس است. Jaynes et al. (2008) گزارش کردند که آزمایشات میدانی چندساله برای مدیای چوب در راکتورهای زیستی نشان داده است که میزان حذف نیترا ت اندازه‌گیری شده برای یک‌سال می‌تواند نماینده عملیات حذف نیترا ت در بلندمدت باشد. به‌همین خاطر (Schipper et al., 2010) توصیه کردند که مطالعات آزمایشگاهی برای تشخیص ماده کربنی مطلوب به‌مدت حداقل یک‌سال انجام شود و در نهایت ماده کربنی که بین هزینه، در دسترس بودن آن و همچنین سرعت واکنش آن تعادل باشد انتخاب شود. در ایران نیز در مطالعات مختلف از چوب (هاشمی گرمدره، ۱۳۹۰؛ احمدپری، ۱۳۹۶)، باگاس نیشکر (مقیمی، ۱۳۹۴؛ تنگسیر، ۱۳۹۶؛ Hashemi et al., 2017)، برگ نخل خرما، شلتوک برنج و کاه جو (هاشمی گرمدره، ۱۳۹۰) به‌عنوان ماده مناسب در راکتورهای زیستی استفاده شده است.

۸- عوامل ضروری برای وقوع و تکمیل فرایند دنیتریفیکاسیون در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

(Greenan et al., 2006) حضور نیترا ت و کربن آلی را از عوامل تاثیرگذار بر سرعت فرایند دنیتریفیکاسیون تشخیص داده‌اند. (Hill and Cardaci, 2004) نشان دادند در صورتی که نیترا ت به‌اندازه کافی در دسترس باکتری‌های دنیتریفایر باشد، در آن‌صورت سرعت دنیتریفیکاسیون با افزایش مواد آلی، افزایش می‌یابد. (Dodla et al., 2008) گزارش کرده اند که تنها مقدار مصرف مواد کربنی (کمیت مواد کربنی)، توسط باکتری‌های دنیتریفایر برای عملکرد خوب آن‌ها در یک بستر دنیتریفیکاسیون کفایت نمی‌کند بلکه کمیت و کیفیت

هر دو بر فرایند دنیتریفیکاسیون موثر هستند. (Chen et al., 2016) وجود مقادیر کافی از منابع کربنی یا نسبت کربن به نیتروژن (C: N) را یک فاکتور بسیار مهم برای اطمینان از راندمان حذف نیترا ت قابل قبول پیشنهاد داده اند. البته قابل ذکر است که، عامل تعیین کننده برای حذف نیترا ت، دسترسی باکتری‌های دنیتریفیکاتور به کربن است و هرگونه فرایندی که باکتری‌های دنیتریفیکاتور را از رقابت، برای دسترسی به کربن خارج کند موجب می‌شود میزان حذف نیترا ت در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون کاهش پیدا کند (Schipper et al., 2010). اکسیژن محلول در آب ممکن است به میکروب‌های هوازی اجازه دهد که باکتری‌های دنیتریفیکاتور را از رقابت برای دسترسی به کربن خارج کند (Rivett et al., 2008). احتمال وقوع این مشکل بیشتر در زمان ماند کوتاه است و در راکتورهای زیستی بزرگ با زمان ماند طولانی این نگرانی کمتر وجود دارد (Schipper et al., 2010). (Luo et al., 2014) در یک راکتورهای زیستی که در آن از پلی بوتیلن سوکسینات به‌عنوان منبع کربن استفاده شده بود، تاثیر اکسیژن محلول را بر دنیتریفیکاسیون هتروتروفیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اکسیژن محلول در راکتورهای زیستی موجب می‌شود تا از استفاده پلی بوتیلن سوکسینات به‌عنوان منبع کربن جلوگیری شود و همچنین تجزیه زیستی آن نیز افزایش یابد. آزمایش میدانی نشان داده است که حذف نیترا ت در بسترهای دنیتریفیکاسیون در ابتدا به‌علت بالا بودن اکسیژن محلول در آب و زمان ماند نسبتا کوتاه ناچیز است (Healy et al., 2006).

۹- تاثیر درجه حرارت بر میزان دنیتریفیکاسیون راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

به‌طور کلی سرعت واکنش های بیولوژیکی با افزایش دما افزایش می یابد (Schipper et al., 2010). بررسی سرعت واکنش در انواع مطالعاتی که محدودیت نیترا ت وجود نداشت نشان داد که یک رابطه مثبت بین حذف نیترا ت و میانگین سالانه دما وجود دارد (Robertson et al., 2008, 2009; Cameron and Schipper, 2010). آزمایش میدانی راکتورهای نزدیک به سطح در کانادا نشان داده است حذف نیترا ت از پساب با سرعت متوسط ۲ گرم نیتروژن بر مترمکعب در روز در دمای کمتر از ۵-۱۰ درجه سانتیگراد ادامه می‌یابد (Robertson and Merkley, 2008).

بعدی نشان داد که در راکتورهای زیستی بستر جریان عملیات حذف نیترات در طول فصل زمستان ادامه داشت، اگرچه سطح جریان یخ زده بود (Schipper et al., 2010). این مطالعات با استفاده از طیف وسیعی از مواد مانند ذرات چوب انجام شد و این احتمال وجود دارد که سایر عوامل مانند تجزیه پذیری لایه های مختلف کربنی نیز تحت تاثیر واکنش درجه حرارت قرار دارند (Schipper et al., 2010). مطالعه ای که توسط Cameron and Schipper (2010) بر روی ساقه ذرت صورت گرفت حاکی از آن است که میزان حذف نیترات در درجه حرارت بالا کاهش یافت زیرا کربن ناپایدار در درجه حرارت بالا به سرعت از چوب ذرت تخلیه می شود، در حالی که سرعت حذف نیترات با افزایش درجه حرارت افزایش می یابد. (Warneke et al. 2011). نرخ حذف نیترات در یک بستر دنیتریفیکاسیون را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که نرخ حذف نیترات در طول آزمایش به کربن و درجه حرارت وابسته است. (Robertson and Merkley 2009) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون تاثیر درجه حرارت آب و سرعت جریان را بر میزان دنیتریفیکاسیون بررسی نمودند. نتایج نشان داد که حذف توده نیترات با افزایش سرعت جریان افزایش می یابد تا زمانی که نرخ حذف نیترات متوقف نشود. این نرخ در دامنه ۱۱ میلی گرم N بر مترمربع بر ساعت در درجه حرارت ۳ درجه سانتی گراد تا ۲۲۰ میلی گرم N بر مترمربع بر ساعت در درجه حرارت ۱۴ درجه سانتی گراد قرار گرفت. (Christianson et al. 2012) به ارزیابی عملکرد چهار راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون زهکشی کشاورزی در آیووا پرداختند. آن ها عوامل موثر بر عملکرد راکتورهای زیستی از قبیل زمان ماند، غلظت نیترات پساب، درجه حرارت، دبی جریان، نسبت طول به عرض، شکل مقطع و سن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دما و غلظت نیترات پساب از مهم ترین عوامل موثر بر کاهش بار نیترات و نرخ حذف نیترات هستند. همچنین این محققین بیان نمودند که سرعت متغیر جریان و درجه حرارت آب زهکشی از چالش های عمده در طراحی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون به شمار می آیند. Hartz et al. (2017) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون که از خرده چوب ساخته شده بود، اقدام به حذف نیترات زهاب زهکشی در دو فصل زمستان و تابستان نمودند. نتایج نشان داد که در هر روز از فصل تابستان به طور متوسط حدود ۸ تا ۱۰ میلی گرم در

لیتر و در فصل زمستان در هر روز تقریباً ۵ میلی گرم در لیتر، نیترات حذف می شود. (Hoover et al. 2016) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون که از خرده چوب ساخته شده بود، اقدام به حذف نیترات زهاب زهکشی در سه درجه حرارت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتیگراد نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت، میزان کاهش غلظت $\text{NO}_3\text{-N}$ افزایش می یابد. (Ghane et al. 2016) عملکرد بسترهای دنیتریفیکاسیون را برای حذف نیترات از زهاب زهکشی در دماهای سرد (۷/۵-۹/۳) درجه سانتیگراد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در دماهای ۷/۵-۹/۳ درجه سانتیگراد راندمان حذف نیترات حدود ۰/۴-۸/۷ درصد است و این نشان می دهد که نیاز به یک استراتژی برای افزایش حذف نیترات از زهاب زهکشی در دماهای سرد وجود دارد. این پژوهشگران گزارش کردند که با افزودن کربن قابل دسترس (به عنوان مثال استات) و اضافه نمودن باکتری های سازگار به سرما در راکتورهای زیستی می توان راندمان حذف نیترات را افزایش داد.

۱۰- تاثیر زمان نگهداشت هیدرولیکی بر عملکرد راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

(Ueda et al. 2006) دریافتند که بدون در نظر گرفتن مقدار نسبت کربن به نیتروژن (C: N)، زمان نگهداشت هیدرولیکی باید برای تکمیل فرایند دنیتریفیکاسیون تنظیم شود. به طوری که کوتاه بودن این زمان میتواند منجر به عملکرد ضعیف بسترهای دنیتریفیکاسیون شود. این محققین حداقل نسبت C:N و زمان نگهداشت هیدرولیکی را به ترتیب ۲ و ۰/۸ ساعت گزارش کردند. (Calderer et al. 2014) کاهش تخلخل در نتیجه گرفتگی بیولوژیکی در محل لایه های آبدار را یکی از محدودیت های موفقیت آمیز بودن آزمایش های دنیتریفیکاسیون در این لایه ها گزارش کردند. نتایج تحقیق Cameron and Schipper (2012) نشان داد که بهبود راندمان هیدرولیکی بسترهای دنیتریفیکاسیون از طریق کاهش جریان کوتاه مدت، می تواند سرعت حذف طولانی مدت را افزایش داده و منجر به کاهش اندازه بستر و هزینه نصب پایینتر شود. Damaraju et al. (2015) در تحقیقی در زمینه بررسی تاثیر زمان نگهداشت هیدرولیکی و رشد بیومس در یک راکتور زیستی افقی ساخته شده از چوب سخت، مشاهده کردند که با افزایش زمان نگهداشت هیدرولیکی، راندمان حذف نیترات افزایش می یابد. این محققین

یک مقدار بهینه حدود هشت ساعت را برای حذف بیش از ۹۹ درصد از نیترات ورودی با غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر پیشنهاد دادند. آن‌ها مشاهده کردند که افزایش بیشتر زمان نگهداشت هیدرولیکی به ۱۲ ساعت منجر به بهبود راندمان حذف نمی‌شود. گزارش شده است که در زمانهای نگهداشت هیدرولیکی کم، توده زیستی به خارج از بستر دنیتریفیکاسیون شسته شده و بنابراین باکتری‌های دنیتریفایر برای مدت زمان کوتاه‌تری با سطح منبع کربنی اضافه شده تماس فیزیکی خواهند داشت، به‌طوری‌که می‌تواند منجر به کاهش راندمان حذف نیترات شود (Schipper et al., 2010). همچنین این پژوهشگران تایید نمودند که بسته به نوع منبع کربنی اضافه شده، حداقل زمان نگهداشت هیدرولیکی برای حذف مطلوب نیترات نیز متفاوت است. Deng et al. (2016) نیز تایید نمودند که زمان نگهداشت هیدرولیکی کم منجر به نرخ بارگذاری بیشتر مواد آلی شده که منجر به افزایش غلظت توده زیستی و کاهش غلظت اکسیژن حل شده در محلول خروجی از راکتورهای زیستی می‌شود. پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که نرخ حذف نیترات با کاهش زمان نگهداشت هیدرولیکی افزایش می‌یابد (Schipper et al., 2010; Moussavi et al., 2015; Wang et al., 2016). Hoover et al. (2016) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون که از خرده چوب ساخته شده بود، اقدام به حذف نیترات زهاب زهکشی در زمان ماند هیدرولیکی ۲ تا ۲۴ ساعت نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، میزان کاهش غلظت $\text{NO}_3\text{-N}$ از ۸ به ۵۵ درصد افزایش می‌یابد. Nordström and Herbert (2017) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون از مخلوط خرده چوب درخت کاج و لجن فاضلاب استفاده کردند و میزان دنیتریفیکاسیون را در دو زمان ماند هیدرولیکی متفاوت (۶۴-۵۸/۲ ساعت و ۲۰/۶-۱۸/۷ ساعت) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در زمان ماند هیدرولیکی ۶۴-۵۸/۲ ساعت غلظت نیترات حدود ۳۰ میلی گرم در لیتر کاهش یافت ولی در زمان ماند هیدرولیکی ۲۰/۶-۱۸/۷ ساعت فرایند حذف نیترات کامل انجام نشد.

۱۱- تاثیر پارامترهای هیدرولیکی بر میزان دنیتریفیکاسیون در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

Hashemi et al. (2011) تاثیر شدت جریان عبوری از فیلترهای زیستی بر میزان کاهش نیترات آب زهکشی در ستون‌های

آزمایشگاهی و همچنین تاثیر بار فشاری ورودی بر عملکرد دیواره دنیتریفیکاسیون را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش بار فشاری ورودی در این آزمایش تاثیر کمی بر روی مقدار حذف نیترات داشته است ولی با افزایش هد و افزایش سرعت جریان عبوری میزان نیترات حذف شده کاهش می‌یابد. Lin et al. (2008) گزارش کردند که افزایش نرخ بارگذاری هیدرولیکی به بیش از ۰/۴ متر در روز منجر به افت شدید نرخ حذف نیترات می‌شود. Tangsir et al. (2017) گزارش کردند که در بسترهای حاوی باگاس نیشکر، همبستگی مثبتی بین شدت جریان حجمی خروجی و نرخ حذف نیترات وجود دارد در حالی‌که در بسترهای فاقد باگاس نیشکر همبستگی منفی بین شدت جریان حجمی خروجی و نرخ حذف نیترات مشاهده می‌شود. Tangsir et al. (2017) گزارش کردند که حذف مطلوب نیترات مستلزم وقوع بهترین شدت جریان حجمی خروجی است و همیشه افزایش نرخ حذف نیترات با این مشخصه هیدرولیکی رابطه مستقیم ندارد. Tangsir et al. (2017) گزارش کردند که افزایش طول در بسترهای فاقد باگاس نیشکر منجر به بهبود راندمان و کاهش نرخ حذف نیترات شده است و دلیل افزایش راندمان حذف نیترات با افزایش طول بستر را، افزایش زمان نگهداشت هیدرولیکی بیان نمودند. Ghane et al. (2015) افزایش طول بستر را، راه‌حلی برای طولانی نمودن زمان نگهداشت هیدرولیکی و در نهایت جریان خروجی با غلظت نیترات کمتر پیشنهاد دادند. Robertson and Merkley (2009) در یک راکتور زیستی دنیتریفیکاسیون تاثیر سرعت جریان را بر میزان دنیتریفیکاسیون بررسی کردند. نتایج نشان داد که حذف توده نیترات با افزایش سرعت جریان افزایش می‌یابد تا زمانی که نرخ حذف نیترات متوقف نشود.

۱۲- تاثیر شوری بر میزان دنیتریفیکاسیون در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون

شوری بالا یک مشکل کلیدی است که بر روی فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب تاثیر گزار است (Chen et al., 2016). در چند سال اخیر چندین تحقیق در زمینه تاثیر شوری بر روی فعالیت میکروارگانیسم‌ها در بیواکتورها انجام شده که بیانگر این مطلب است که شوری بالا در فاضلاب می‌تواند منجر به تخریب تعادل آنزیم‌های تجزیه کننده و همچنین منجر به کاهش فعالیت سلولی و پلاسمازیس شدن سلول شود (Rietz and Haynes, 2011).

2003). Bassin et al. (2012) گزارش کردند که تنش شوری با تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جمعیت‌های میکروبی می‌تواند بر عملکرد دنیتریفیکاسیون موثر باشد. Wu et al. (2008) در مکان‌های ماندابی اشباع شده از فاضلاب، پتانسیل دنیتریفیکاسیون را در سطوح شوری مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها کاهش پتانسیل دنیتریفیکاسیون را در بالاترین سطح شوری نشان داد. تعداد زیادی از مطالعات که در خاک‌های باتلاقی انجام شده، نشان داد که افزایش شوری منجر به کاهش نرخ معدنی شدن ازت می‌شود. به عبارتی شوری منجر به تنش بیولوژیکی جوامع میکروبی شده و در نهایت منجر به کاهش جمعیت میکروبی و عملکرد ضعیف جوامع میکروبی موجود می‌شود (Jackson and Vallaire, 2009). Jafari et al. (2015) عملکرد یک راکتور بیولوژیکی چرخشی را برای حذف نیتрат در چندین سطح شوری بررسی کردند. این پژوهشگران مشاهده کردند که در شروع آزمایش، دنیتریفیکاسیون تابعی از شوری است به‌طوری‌که با افزایش شوری راندمان حذف نیترات کاهش یافته و با گذشت چند روز از آزمایش مجدداً به شرایط پایدار (کاهش ۱۰۰ درصد نیترات) نزدیک شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که دنیتریفیکاسیون موجود در راکتور در محدوده زمانی معینی به تنش شوری مقاوم و قادر به تکرار شرایط متابولیکی برای فرایند دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی شدند. (Di Capua et al. 2015) طی مطالعه‌ای به بررسی تاثیر غلظت نمک کلرید سدیم به‌طور هم‌زمان بر روی دنیتریفیکاسیون هتروتروفیک و اتوتروفیک برمبنای سولفور و متانول به‌عنوان منبع کربنی آلی پرداختند. این محققین حذف کامل نیترات تا ۳/۵ درصد نمک کلرید سدیم را مشاهده کرده و گزارش نمودند که افزایش غلظت شوری به ۴ و ۵ درصد به‌ترتیب منجر به کاهش راندمان حذف نیترات به ۷۸ و ۴۸ درصد شده است. (Kristensen and Jepsen 1991) وقوع فرآیند دنیتریفیکاسیون در حضور ۳۰ گرم بر لیتر نمک کلرید سدیم را موفقیت‌آمیز گزارش کردند. به‌علاوه کاهش نسبت C:N در خاک‌های نگهداری شده تحت شوری بالاتر توسط Yuan et al. (2007) گزارش شده است. Zhao et al. (2013) گزارش کردند که تاکنون مطالعات کمی در زمینه بررسی تاثیر شوری بر عملکرد دنیتریفیکاسیون صورت گرفته و هنوز توافق کلی در این زمینه وجود ندارد. (Tangsir et al. 2017) به بررسی تاثیر سطوح شوری ۲، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، بر عملکرد

راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون پرداختند. نتایج نشان داد که کمترین راندمان حذف نیترات در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر رخ داد. همچنین این پژوهشگران مشاهده کردند که عملکرد راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون تحت شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشابه هم است و گزارش کردند که عملکرد یکسان راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون در سطوح شوری ۲ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر، نشان می‌دهد که یک حد بهینه باید برای سطح شوری وجود داشته باشد، به‌طوری‌که بیشتر از آن حد منجر به کاهش عملکرد راکتورهای زیستی می‌شود.

۱۳- تاثیر غلظت نیترات ورودی بر عملکرد راکتورهای زیستی های دنیتریفیکاسیون

Thompson et al. (1995) همبستگی مثبتی بین افزایش غلظت نیترات و سرعت دنیتریفیکاسیون در آب‌های پوشش شده روی باتلاق‌های نمکی مشاهده کردند. Jafari et al. (2015) در تحقیقی به بررسی تاثیر غلظت نیترات بر عملکرد دنیتریفیکاسیون در یک راکتور بیولوژیکی پرداختند. این پژوهشگران مشاهده کردند که با افزایش غلظت نیترات ورودی از ۱۵۰۰ به ۱۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف نیترات از ۹۹ درصد به ۸۸ درصد کاهش یافته است. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش نرخ بارگذاری نیترات تا ۳/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب بر روز، نرخ حذف نیترات به‌طور خطی به ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بر روز افزایش می‌یابد و افزایش بیشتر نرخ بارگذاری نیترات، منجر به افت نرخ حذف نیترات می‌شود. آن‌ها این روند کاهش را به بارگذاری بیش از حد راکتورهای زیستی نسبت دادند. (Moussavi et al. 2015) کاهش راندمان و نرخ حذف نیترات با افزایش غلظت نیترات ورودی را به تکمیل حداکثر ظرفیت میکرو ارگانیسم‌ها برای کاهش بیشتر نیترات ورودی نسبت دادند. Tangsir et al. (2017) به بررسی تاثیر غلظت نیترات بر عملکرد راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نیترات ورودی تا ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، نرخ حذف نیترات و راندمان حذف نیترات افزایش یافت ولی افزایش غلظت نیترات ورودی به بیشتر از ۸۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش نرخ حذف نیترات و راندمان حذف نیترات را در پی داشت. Hashemi et al. (2011) به بررسی دو غلظت نیترات ورودی

- 3- Adenosine triphosphate
- 4- Biodegradable polymer
- 5- Polycaprolactone (PCL)

۱۶- مراجع

احمدپری، ه.، (۱۳۹۶)، "بررسی تأثیر سطح مقاطع هیدرولیکی مختلف حوضچه‌های دنیتریفیکاسیون در میزان حذف نیترات از زهاب کشاورزی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران.

تنگسیر، س.، (۱۳۹۶)، "تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد دیوار دنیتریفیکاسیون کربنی در حذف نیترات زهاب زهکش‌های زیرزمینی"، رساله دکتری، گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

مقیمی، ن.، (۱۳۹۴)، "بررسی عملکرد باگاس نیشکر در کاهش نیترات خروجی از زهاب زهکش‌های زیرزمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

هاشمی، م.، ناصری، ع.ع.، تکدستان، ا.، (۱۳۹۶)، "بررسی کارایی جاذب باگاس نیشکر در حذف نیترات از زهاب خروجی کشاورزی"، علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۳)، ۱۰-۱.

هاشمی گرمدره، س.ا.، (۱۳۹۰)، "بررسی عملکرد فیلترهای کربنی در حذف نیترات از زهاب زهکش‌های زیرزمینی"، رساله دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

Bassin, J.P., Kleerebezem, R., Rosado, A.S., van Loosdrecht, M.M., and Dezotti, M., (2012), "Effect of different operational conditions on biofilm development, nitrification, and nitrifying microbial population in moving-bed biofilm reactors", *Environmental Science and Technology*, 46(3), 1546-1555.

Beckman, M., (2005), *Nitrogen status and risk of nitrification in two clear-cut areas in southwest Sweden*, UPTec, ISSN 1401-576.

Bernet, N., Dangcong, P., Delgenès, J.P. and Moletta, R., (2001) "Nitrification at low oxygen concentration in biofilm reactor", *Journal of Environmental Engineering*, 127(3), 266-271.

Boley, A., Mergaert, J., Muller, C., Lebrezn, H., Cnockaert, M.C., Müller, W.R., and Swings, J., (2003), "Denitrification and pesticide elimination in drinking water treatment with the biodegradable polymer poly (ϵ -caprolactone) (PCL)", *Clean Soil, Air, Water*, 31(3), 195-203.

Boley, A., Müller, W.R., and Haider, G., (2000),

در راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نیترات ورودی از ۴۰ به ۱۶۰ میلی گرم در لیتر میزان افزایش حذف نیترات افزایش یافت که آن را به افزایش فعالیت میکرواورگانیزمها نسبت دادند.

۱۴- نتیجه گیری

استفاده از راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون برای تصفیه زهاب کشاورزی، از زمانی که ابداع شد، راه زیادی را پیموده است. قدیمی‌ترین راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون حدود دو دهه عمر دارد؛ با این وجود، این مدت هنوز برای تامین اطلاعات برای کمک به درک کافی و پیش بینی عملکرد طولانی مدت راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون کافی نیست. در میان طیف وسیع روش‌های پاک‌سازی، روش راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون روش بسیار امیدبخشی به نظر می رسد و کماکان سوالات بسیاری برای تحقیقات بیشتر و عمیق‌تر وجود دارد. با توجه به آن‌چه در این مقاله آمده است، تکنولوژی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون کارایی بالایی در حذف نیترات از زهاب کشاورزی دارد. همچنین با توجه به عدم نیاز به مصرف انرژی، فراوان بودن مواد کربنی، کم بودن هزینه آن و اثر بخش بودن، راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون به عنوان یک تکنولوژی پایدار در تصفیه زهاب کشاورزی مطرح است. بنابراین با توجه به مزایای راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون، تجربه‌های موفق استفاده از آن در دنیا و آلودگی نیتراتی آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور، در ایران نیز می توان از این سیستم با کارکرد بالا برای تصفیه سفره‌های آب زیرزمینی آلوده به نیترات و زهاب کشاورزی استفاده کرد و به این صورت از آلوده شدن آب‌های سطحی جلوگیری نمود. در پایان ذکر این نکته ضروری است که ایران نیز با توجه به پتانسیل‌های موجود (فراوان بودن و در دسترس بودن مواد کربنی از قبیل کاه جو، گندم، برگ درخت خرما و خاک اره)، میتواند با برنامه‌ریزی لازم در جهت نایل شدن به پیشرفت‌های مناسب و در خور، در این راه گام بردارد و یک پروژه تصفیه زهاب کشاورزی را در مقیاس بزرگ به مرحله اجرا درآورد.

۱۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Methemoglobinemia
- 2- Blue baby syndrome

- Engineering*, 139(9), 699-709.
- Christianson, L.E., Bhandari, A., and Helmers, M.J., (2011), "Pilot-scale evaluation of denitrification drainage bioreactors: Reactor geometry and performance", *Journal of Environmental Engineering*, 137(4), 213-220.
- Damaraju, S., Singh, U.K., Sreekanth, D., and Bhandari, A., (2015), "Denitrification in biofilm configured horizontal flow woodchip bioreactor: Effect of hydraulic retention time and biomass growth", *Ecohydrology and Hydrobiology*, 15(1), 39-48.
- David, M.B., Gentry, L.E., Cooke, R.A., and Herbstritt, S.M. (2016), "Temperature and substrate control woodchip bioreactor performance in reducing tile nitrate loads in east-central Illinois", *Journal of environmental quality*, 45(3), 822-829.
- Della Rocca, C., Belgiorno, V., and Meriç, S., (2007), "Overview of in-situ applicable nitrate removal processes", *Desalination*, 204(1-3), 46-62".
- Deng, L., Guo, W., Ngo, H.H., Zhang, X., Wang, X.C., Zhang, Q., and Chen, R., (2016), "New functional biocarriers for enhancing the performance of a hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor system", *Bioresource Technology*, 208(1 Mar.), 87-93.
- Di Capua, F., Papirio, S., Lens, P.N., and Esposito, G., (2015), "Chemolithotrophic denitrification in biofilm reactors", *Chemical Engineering Journal*, 280(15 Nov.), 643-657.
- Dodla, S.K., Wang, J.J., DeLaune, R.D., and Cook, R.L., (2008), "Denitrification potential and its relation to organic carbon quality in three coastal wetland soils", *Science of the Total Environment*, 407(1), 471-480.
- Elgood, Z., Robertson, W.D., Schiff, S.L., and Elgood, R., (2010), "Nitrate removal and greenhouse gas production in a stream-bed denitrifying bioreactor", *Ecological Engineering*, 36(11), 1575-1580.
- Ghane, E., Fausey, N. R., and Brown, L.C. (2014), "Non-darcy flow of water through woodchip media", *Journal of Hydrology*, 519(27 Nov.), 3400-3409.
- Ghane, E., Fausey, N.R., and Brown, L.C. (2015), "Modeling nitrate removal in a denitrification bed", *Water Research*, 71(15 Mar.), 294-305.
- Ghane, E., Feyereisen, G.W., Rosen, C.J., Sadowsky, M.J., and Christianson, L.E., (2016), "Performance of denitrification beds for removing nitrate from drainage water at cold temperatures", *10th International Drainage Symposium Conference*, 6-9 September, Minneapolis, Minnesota, pp. 1-4, American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Gibert, O., Pomierny, S., Rowe, I., and Kalin, R.M., "Biodegradable polymers as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture systems", *Aquacultural Engineering*, 22(1), 75-85.
- Brix, H., Arias, C.A., and Johansen, N.H., (2003), "Experiments in a two-stage constructed wetland system: Nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal", *Wetlands-Nutrients, Metals and Mass Cycling*, Netherlands, University of Leiden, pp. 237-258.
- Bucco, S., Padoin, N., Netto, W. S., and Soares, H.M., (2014), "Drinking water decontamination by biological denitrification using fresh bamboo as inoculum source", *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 37(10), 2009-2017.
- Calderer, M., Martí, V., De Pablo, J., Guivernau, M., Prenafeta-Boldy, F.X., and Viñas, M., (2014), "Effects of enhanced denitrification on hydrodynamics and microbial community structure in a soil column system", *Chemosphere*, 111(1 Sep.), 112-119.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Novak, J.M., Turco, R.F., and Konopka, A.E., (1994), "Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils", *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501-1511.
- Cameron, S.G., and Schipper, L.A., (2011), "Evaluation of passive solar heating and alternative flow regimes on nitrate removal in denitrification beds", *Ecological Engineering*, 37(8), 1195-1204.
- Cameron, S.G., and Schipper, L.A., (2010), "Nitrate removal and hydraulic performance of organic carbon for use in denitrification beds", *Ecological Engineering*, 36(11), 1588-1595.
- Cameron, S.G., and Schipper, L.A., (2012), "Hydraulic properties, hydraulic efficiency and nitrate removal of organic carbon media for use in denitrification beds", *Ecological Engineering*, 41(1 Apr.), 1-7.
- Chen, J., Han, Y., Wang, Y., Gong, B., Zhou, J., and Qing, X., (2016) "Start-up and microbial communities of a simultaneous nitrogen removal system for high salinity and high nitrogen organic wastewater via heterotrophic nitrification", *Bioresource Technology*, 216(1 Sep.), 196-202.
- Christianson, L., Bhandari, A., Helmers, M., Kult, K., Sutphin, T., and Wolf, R., (2012), "Performance evaluation of four field-scale agricultural drainage denitrification bioreactors in Iowa", *Transactions of the ASABE*, 55(6), 2163-2174.
- Christianson, L., Christianson, R., Helmers, M., Pederson, C., and Bhandari, A., (2013), "Modeling and calibration of drainage denitrification bioreactor design criteria", *Journal of Irrigation and Drainage*

- Jafari, S.J., Moussavi, G. and Yaghmaeian, K., (2015), "High-rate biological denitrification in the cyclic rotating-bed biological reactor: effect of, nitrate concentration and salinity and the phylogenetic analysis of denitrifiers", *Bioresource Technology*, 197(1 Dec.), 482-488.
- Jaynes, D.B., and Thorp, K., (2008), "Potential water quality impact of drainage water management in the Midwest cornbelt", *ASABE Annual Meeting, Providence, RI*. Paper No. 084566.
- Kristensen, G.H., and Jepsen, S.E., (1991), "Biological Denitrification of Waste Water from Wet Lime-Gypsum Flue Gas Desulphurization Plants", *Water Science and Technology*, 23(4-6), 691-700.
- Lepine, C., Christianson, L., Sharrer, K. and Summerfelt, S., (2016), "Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater", *Journal of Environmental Quality*, 45(3), 813-821.
- Li, R., Feng, C., Chen, N., Zhang, B., Hao, C., Peng, T., and Zhu, X., (2014), "A bench-scale denitrification wall for simulating the in-situ treatment of nitrate-contaminated groundwater", *Ecological Engineering*, 73(1 Dec.), 536-544.
- Li, R., Feng, C., Xi, B., Chen, N., Jiang, Y., Zhao, Y., and Zhao, B., (2017), "Nitrate removal efficiency of a mixotrophic denitrification wall for nitrate-polluted groundwater in situ remediation", *Ecological Engineering*, 106(1 Dec.), 523-531.
- Li, T., Li, W., Feng, C., and Hu, W., (2017), "In-situ biological denitrification using pretreated maize stalks as carbon source for nitrate-contaminated groundwater remediation", *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(1 Sep.), 1-9.
- Liang, X., Lin, L., Ye, Y., Gu, J., Wang, Z., Xu, L., and Tian, G., (2015), "Nutrient removal efficiency in a rice-straw denitrifying bioreactor", *Bioresource Technology*, 198(1 Dec.), 746-754.
- Lin, Y.F., Jing, S.R., Lee, D.Y., Chang, Y.F. and Shih, K.C., (2008), "Nitrate removal from groundwater using constructed wetlands under various hydraulic loading rates", *Bioresource Technology*, 99(16), 7504-7513.
- Long, L.M., Schipper, L.A. and Bruesewitz, D.A., (2011), "Long-term nitrate removal in a denitrification wall", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(3), 514-520.
- Luo, G., Li, L., Liu, Q., Xu, G., and Tan, H., (2014), "Effect of dissolved oxygen on heterotrophic denitrification using poly (butylene succinate) as the carbon source and biofilm carrier", *Bioresource Technology*, 171(1 Nov.), 152-158.
- McCleaf, P.R. and Schroeder, E.D., (1995), (2008), "Selection of organic substrates as potential reactive materials for use in a denitrification permeable reactive barrier (PRB)", *Bioresource Technology*, 99(16), 7587-7596.
- Gilchrist, M., Winyard, P.G., and Benjamin, N., (2010), "Dietary nitrate—good or bad?", *Nitric Oxide*, 22(2), 104-109.
- Greenan, C.M., Moorman, T.B., Kaspar, T.C., Parkin, T.B., and Jaynes, D.B., (2006), "Comparing carbon substrates for denitrification of subsurface drainage water", *Journal of Environmental Quality*, 35(3), 824-829.
- Hartz, T., Smith, R., Cahn, M., Bottoms, T., Bustamante, S., Tourte, L., and Coletti, L., (2017), "Wood chip denitrification bioreactors can reduce nitrate in tile drainage", *California Agriculture*, 71(1), 41-47.
- Hashemi, S.E., Heidarpour, M., and Mostafazadeh-Fard, B., (2011), "Nitrate removal using different carbon substrates in a laboratory model", *Water Science and Technology*, 63(11), 2700-2706.
- Healy, M.G., Ibrahim, T.G., Lanigan, G.J., Serrenho, A.J., and Fenton, O., (2012), "Nitrate removal rate, efficiency and pollution swapping potential of different organic carbon media in laboratory denitrification bioreactors", *Ecological Engineering*, 40(1 Mar.), 198-209.
- Healy, M.G., Rodgers, M., and Mulqueen, J., (2006), "Denitrification of a nitrate-rich synthetic wastewater using various wood-based media materials", *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 41(5), 779-788.
- Herbstritt, S., (2014), "Environmental tradeoffs of denitrifying woodchip bioreactors", Graduate Dissertations and Theses at Illinois. www.ideals.illinois.edu/handle/2142/49622.
- Hernandez-Apaolaza, L., and Guerrero, F., (2008), "Comparison between pine bark and coconut husk sorption capacity of metals and nitrate when mixed with sewage sludge", *Bioresource Technology*, 99(6), 1544-1548.
- Hill, A.R., and Cardaci, M., (2004), "Denitrification and organic carbon availability in riparian wetland soils and subsurface sediments", *Soil Science Society of America Journal*, 68(1), 320-325.
- Hoover, N.L., Bhandari, A., Soupir, M.L., and Moorman, T.B., (2016), "Woodchip denitrification bioreactors: Impact of temperature and hydraulic retention time on nitrate removal", *Journal of Environmental Quality*, 45(3), 803-812.
- Jackson, C.R., and Vallaire, S.C., (2009), "Effects of salinity and nutrients on microbial assemblages in Louisiana wetland sediments", *Wetlands*, 29(1), 277-287.

- Robertson, W.D., Vogan, J.L. and Lombardo, P.S., (2008), "Nitrate removal rates in a 15-year-old permeable reactive barrier treating septic system nitrate", *Groundwater Monitoring and Remediation*, 28(3), 65-72.
- Schipper, L., (2012), "Denitrifying bioreactors: A synthesis of removal rates, controls and utility", *Workshop at the 2012 Land Grant and Sea Grant National Water Conference*, University of Waikato, New Zealand.
- Schipper, L., (2013), <https://www.sciencelearn.org.nz/images/886-denitrification-wall-diagram>
- Schipper, L.A., and McGill, A., (2008), "Nitrogen transformation in a denitrification layer irrigated with dairy factory effluent", *Water Research*, 42(10), 2457-2464.
- Schipper, L.A., Robertson, W.D., Gold, A.J., Jaynes, D.B. and Cameron, S.C., (2010), "Denitrifying bioreactors,—An approach for reducing nitrate loads to receiving waters", *Ecological Engineering*, 36(11), 1532-1543.
- Tangsir, S., Moazed, H., Naseri, A.A., Garmdareh, S.E.H., Broumand-nasab, S., and Bhatnagar, A., (2017), "Investigation on the performance of sugarcane bagasse as a new carbon source in two hydraulic dimensions of denitrification beds", *Journal of Cleaner Production*, 140(1), 1176-1181.
- Thompson, S.P., Paerl, H.W., and Go, M.C., (1995), "Seasonal patterns of nitrification and denitrification in a natural and a restored salt marsh", *Estuaries*, 18(2), 399-408.
- Ueda, T., Shinogi, Y., and Yamaoka, M., (2006), "Biological nitrate removal using sugar-industry wastes", *Paddy and Water Environment*, 4(3), 139-144.
- Van Driel, P.W., Robertson, W.D., and Merkley, L.C., (2006), "Denitrification of agricultural drainage using wood-based reactors", *Transactions of the ASABE*, 49(2), 565-573.
- Van Rijn, J., Tal, Y. and Schreier, H.J., (2006), "Denitrification in recirculating systems: Theory and applications", *Aquacultural Engineering*, 34(3), 364-376.
- Wang, J. and Chu, L., (2016), "Biological nitrate removal from water and wastewater by solid-phase denitrification process", *Biotechnology Advances*, 34(6), 1103-1112.
- Wang, Q., Feng, C., Zhao, Y. and Hao, C., (2009), "Denitrification of nitrate contaminated groundwater with a fiber-based biofilm reactor", *Bioresource Technology*, 100(7), 2223-2227.
- Warneke, S., Schipper, L.A., Matiassek, M.G., Scow, K.M., Cameron, S., Bruesewitz, D.A., "Denitrification using a membrane-immobilized biofilm", *Journal of the American Water Works Association*, 87(3), 77-86.
- Moorman, T.B., Parkin, T.B., Kaspar, T.C. and Jaynes, D.B., (2010), "Denitrification activity, wood loss, and N₂O emissions over 9 years from a wood chip bioreactor", *Ecological Engineering*, 36(11), 1567-1574.
- Moussavi, G., Jafari, S.J. and Yaghmaeian, K., (2015), "Enhanced biological denitrification in the cyclic rotating bed reactor with catechol as carbon source", *Bioresource Technology*, 189(1 Aug.), 266-272.
- Nordström, A., and Herbert, R.B., (2017), "Denitrification in a low-temperature bioreactor system at two different hydraulic residence times: laboratory column studies", *Environmental Technology*, 38(11), 1362-1375.
- Reising, A.R., and Schroeder, E.D., (1996), "Denitrification incorporating microporous membranes", *Journal of Environmental Engineering*, 122(7), 599-604.
- Rietz, D.N., and Haynes, R.J., (2003), "Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity", *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845-854.
- Rivett, M.O., Buss, S.R., Morgan, P., Smith, J.W. and Bemment, C.D., (2008), "Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes", *Water Research*, 42(16), 4215-4232.
- Robertson, L.A., and Kuenen, J.G., (1984), "Aerobic denitrification - old wine in new bottles", *Groundwater Monitoring and Remediation*, 50(5-6), 525-544.
- Robertson, W.D., Ptacek, C.J., and Brown, S.J., (2007), "Geochemical and hydrogeological impacts of a wood particle barrier treating nitrate and perchlorate in ground water", *Groundwater Monitoring and Remediation*, 27(2), 85-95.
- Robertson, W.D. and Cherry, J.A., (1995), "In situ denitrification of septic system nitrate using reactive porous media barriers: field trials", *Groundwater*, 33(1), 99-111.
- Robertson, W.D. and Merkley, L.C., (2009), "In-stream bioreactor for agricultural nitrate treatment", *Water Research*, 43(1), 230-237.
- Robertson, W.D. and Merkley, L.C., (2009), "In-stream bioreactor for agricultural nitrate treatment", *Journal of Environmental Quality*, 38(1), 230-237.
- Robertson, W.D., Ford, G.I. and Lombardo, P.S., (2005), "Wood-based filter for nitrate removal in septic systems", *Transactions of the ASAE*, 48(1), 121-128.

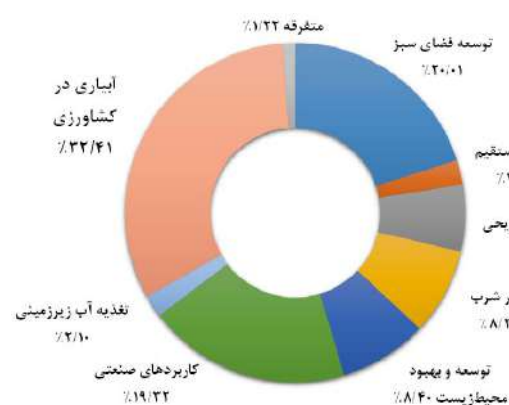
- and McDonald, I.R., (2011), "Nitrate removal, communities of denitrifiers and adverse effects in different carbon substrates for use in denitrification beds", *Water Research*, 45(17), 5463-5475.
- Warneke, S., Schipper, L.A., Bruesewitz, D.A., and Baisden, W.T., (2011), "A comparison of different approaches for measuring denitrification rates in a nitrate removing bioreactor", *Water Research*, 45(14), 4141-4151.
- Wu, Q., Zheng, C., Zhang, J., and Zhang, F., (2017), "Nitrate removal by a permeable reactive barrier of Fe0: A model-based evaluation", *Journal of Earth Science*, 28(3), 447-456.
- Wu, W., Yang, L., and Wang, J., (2013), "Denitrification performance and microbial diversity in a packed-bed bioreactor using PCL as carbon source and biofilm carrier", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(6), 2725-2733.
- Wu, W., Yang, L., and Wang, J., (2013), "Denitrification using PBS as carbon source and biofilm support in a packed-bed bioreactor", *Environmental Science and Pollution Research*, 20(1), 333-339.
- Wu, Y., Tam, N.F.Y., and Wong, M.H., (2008), "Effects of salinity on treatment of municipal wastewater by constructed mangrove wetland microcosms", *Marine Pollution Bulletin*, 57(6), 727-734.
- Yuan, B.C., Li, Z.Z., Liu, H., Gao, M., and Zhang, Y.Y., (2007), "Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions", *Applied Soil Ecology*, 35(2), 319-328.
- Zhao, W., Wang, Y., Liu, S., Pan, M., Yang, J., and Chen, S., (2013), "Denitrification activities and N₂O production under salt stress with varying COD/N ratios and terminal electron acceptors", *Chemical Engineering Journal*, 215(15 Jan.), 252-260.



امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر بوده و بهره‌برداری از این منابع می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های مهم در جهت جبران کمبود آب در مصارف مختلف کشور مدنظر مدیران و برنامه‌ریزان کلان آب کشور باشد. نکته بسیار مهم در این خصوص توجه به اثرات ناشی از بقایای سموم، هورمون‌ها، داروهای شیمیایی و سایر ترکیبات نوظهور است که بعضاً ناشناخته هستند.

* به نظر شما، اولویتهای استفاده از آب بازچرخانی شده چیست؟

- به‌نظر بنده اشتباه بزرگ در بازچرخانی آب این است که به آب بازچرخانی شده به‌عنوان یک منبع جدید نگاه شده و براین اساس مصارف جدیدی برای آن تعریف شود. این نگرش ویرانگر بوده و موجب ناپایداری و تشدید بحران آب کشور خواهد شد. واقعیت این است که پساب و فاضلاب نیز جزئی از چرخه آب تجدیدپذیر کشور بوده و جدای از مباحث و محدودیت‌های کیفی در برنامه مصارف باید مشابه آب متعارف موردتوجه قرار گیرد. در کنار هر برنامه بازچرخانی، توجه به بیلان منفی آبخوان‌ها و کمک به تامین حقابه‌های زیست‌محیطی باید مدنظر باشد. بررسی تجارب جهانی نشان می‌دهد که مصارف آب بازچرخانی شده در سطح دنیا به‌شرح ذیل است:



ولی با توجه شرایط بحرانی آب کشور و بیلان منفی آبخوان‌ها به‌نظر من اولویت مصارف در کشور باید به شرح زیر باشد:

اولویت اول: استفاده از این منبع برای جبران بیلان منفی آبخوان‌ها است. برای این منظور ضمن رعایت الزامات بهداشتی و زیست‌محیطی تغذیه مصنوعی باروش‌های مناسب توصیه می‌شود.



دکتر بهمن یارقلی

عضو هیئت علمی و محقق مروج ارشد سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و عضو کمیته تخصصی بازیافت آب، انجمن آب و فاضلاب ایران

* نظر کلی شما نسبت به استفاده از بازچرخانی پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب چیست؟

- طی چند دهه گذشته مصرف آب کشور به‌علت رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و پیشرفت صنعت افزایش داشته و هم‌زمانی آن با دوره‌های خشک‌سالی، کشور را با بحران آب مواجه ساخته است. در حال حاضر بسیاری از رودخانه‌ها خشک و اکثر دشت‌های کشور بحرانی و دچار بیلان منفی پیش‌رونده هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص سرانه منابع آب تجدیدپذیر کشور در دهه‌های اخیر از روندی کاهشی برخوردار بوده، به‌طوری‌که مقدار آن از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به کمتر از ۱۲۰۰ مترمکعب در حال حاضر تنزل یافته است. این در حالی است که منابع آب غیرمتعارف کشور که از حجم قابل‌توجهی برخوردارند به‌دلیل دارا بودن مشکلات کیفی با درجات مختلف، در برنامه‌های توسعه و بهره‌برداری منابع آب کشور گنجانده نشده‌اند. در صورتی‌که مشکلات آن‌ها با انجام روش‌های مختلف تصفیه و یا اتخاذ روش‌های مدیریتی کاربردی و رعایت الزامات زیست‌محیطی تا حد زیادی قابل اصلاح و اغماض هستند. در این خصوص به‌ویژه پساب‌های حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خانگی، با توجه به توسعه سامانه‌های جمع‌آوری و تصفیه و فراهم نمودن حجم قابل‌توجهی پساب با کیفیت نسبتاً مناسب (بالغ بر یک میلیارد مترمکعب در سال) یکی از گزینه‌های مهم تامین کمبود آب کشور محسوب می‌شوند. اعتقاد بر این است که در شرایط حاضر برنامه‌ریزی و عملیاتی نمودن برنامه‌های بازچرخانی، با لحاظ کردن الزامات بهداشتی و زیست‌محیطی

اولویت دوم: مصارف صنعت. البته این مصرف نباید به صورت تعریف مصارف صنعتی جدید باشد، بلکه باید به عنوان جایگزین مصارف قبلی و یا به صورت جابجایی تخصیص باشد. بدین صورت که صنعتی که تخصیص از آب رودخانه یا زیرزمینی داشته، پساب تصفیه شده را جایگزین منبع قبلی کند و برداشت از منبع قبلی را متوقف سازد.

اولویت سوم: مصارف کشاورزی می تواند به عنوان اولویت سوم و البته یکی از مهم ترین، حساس ترین و پرچالش ترین عرصه های مصرفی این منابع محسوب شود. در این مصارف رعایت الگوی کشت، انتخاب روش آبیاری مناسب و همچنین رعایت کلیه الزامات بهداشتی و زیست محیطی و اجتماعی الزامی بوده و رعایت این الزامات درجه سلامت و پایداری برنامه را تضمین خواهد نمود. در مصارف کشاورزی اولویت به ترتیب زیر توصیه می شود:

- استفاده برای آبیاری درختان جنگلی و غیر مثمر؛
- استفاده برای آبیاری مراتع؛
- استفاده برای آبیاری محصولات صنعتی؛
- استفاده برای محصولاتی که مورد استفاده دام قرار می گیرند؛
- استفاده برای محصولاتی که مستقیماً مورد استفاده انسان قرار نمی گیرند؛
- استفاده در آبیاری درختان میوه؛
- آبیاری محصولات خوراکی پخته و یا فرآوری شده؛
- عدم استفاده در محصولات سبزی و صیفی و محصولاتی که به صورت خام مصرف می شوند؛
- استفاده از پساب در تغذیه آبخوان هایی که توان خود پالائی داشته و آب استحصال شده از آنها مورد استفاده شرب قرار نمی گیرد؛
- توصیه می شود که پس از هر فصل آبیاری با پساب، زمین با بارندگی یا آبیاری معمولی شستشو شود؛
- استفاده از پساب برای فضای سبز داخل شهرها و به خصوص چمن و مناطقی که در معرض رفت و آمد کودکان قرار می گیرد با حساسیت های ویژه و استانداردهای سختگیرانه ای همراه است.

*** به نظر شما استفاده از آب بازچرخانی شده در مقایسه با سایر استراتژی های مدیریت تقاضا، تا چه حد می تواند ابزار مناسبی برای مقابله با تنش آبی و سازگاری با کم آبی باشد؟**

- با توجه به بحران آب کشور، یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی، برقراری تعادل بین تقاضا و منابع آب موجود با کمترین هزینه و حداقل زمان ممکن است. برای نیل به این اهداف برنامه های کلانی به شرح ذیل مدنظر است:

- راهبردهای صرفه جویی در مصارف آب؛
- توسعه روش های مدیریت کارآمد جدید؛
- افزایش بهره وری آب؛
- شیرین سازی آب های شور؛
- استفاده از منابع آب غیرمتعارف.

همان گونه که ملاحظه می شود، نقش و سهم بازچرخانی آب در مدیریت بحران آب و سازگاری با کم آبی، به عنوان یکی از برنامه های کلان مهم و موثر است، به ویژه این که آب بازچرخانی منبعی مستمر، مطمئن و قابل اطمینان بوده و قابل برنامه ریزی است. ولی با توجه به سهم کم آن در مقایسه با مصارف کشاورزی، از نقش کم رنگ تری در مقایسه با استراتژی های مدیریت تقاضا برخوردار است. مدیریت تقاضا به ویژه در مصارف کشاورزی و حتی شرب (مدیریت مصرف و کاهش هدررفت در شبکه آبرسانی شهری) و صنعت از اثر بیشتری برخوردار است. به عبارت دیگر تنها چند درصد کاهش مصرف آب در کشاورزی و یا افزایش راندمان و بهره وری آب در این مصارف می تواند چندین برابر آب بازچرخانی از فاضلاب برای مقابله با تنش آبی و سازگاری با کم آبی موثرتر باشد.

*** نظر شما در ارتباط با پذیرش اجتماعی چنین طرح هایی در حوزه های مختلف از جمله استفاده در ساختمان ها (حوزه شهری)، صنعت و کشاورزی چیست؟**

- آنچه مسلم است آموزش و فرهنگ سازی درخصوص بازچرخانی به جای منابع آب متعارف و بهره برداری صحیح از پتانسیل قابل توجه این منابع، یکی از ضروری ترین، اساسی ترین و پیچیده ترین فعالیت ها در زنجیره و ساختار بازچرخانی پساب در مصارف مختلف، به ویژه حوزه شهری و کشاورزی محسوب می شود. شاید به جرات بتوان گفت با توجه به اعتقادات مذهبی، اجتماعی و فرهنگی کشور، بدون آموزش، ترویج و فرهنگ سازی، پذیرش، مشارکت و عملی نمودن این برنامه ها نزد مصرف کنندگان مقدور نبوده و نیز دستیابی به اثربخشی مطلوب آنها با کمترین اثرات زیست محیطی و اجتماعی تقریباً غیرممکن خواهد بود.

در امر آب بازچرخانی طیف گسترده‌ای از قشرهای مردمی و دولتی باید آموزش داده شوند که در این میان با عنایت به ضرورت اشاعه آن در بخش‌های تولید و مصرف، تصور بر آن است که سیاست‌مداران، سیاست‌گزاران، برنامه‌ریزان بخش آب، کشاورزی، صنعت، محیط‌زیست و بالاخره مصرف‌کنندگان این منابع باید مدنظر قرار گیرند. در مراجع قانونگذاری باید پشتوانه قانونی و مالی برای اجرای طرح‌ها (از جمله آموزش و آگاهی‌رسانی) تصویب شود و به‌دنبال آن عوامل اجرایی (دولت در سطوح مختلف) گام‌های عملی تحقق استفاده از این منابع را تدوین و عملیاتی نمایند. نهایتاً گروه‌های مصرف باید با استقبال از برنامه‌های دولتی نسبت به تغییر شرایط حاکم در جهت جایگزینی این منابع با منابع متعارف اقدام نمایند.

در کشور ما به‌لحاظ جاری بودن معیارهای شرعی در کاربرد این منابع (در اسلام از فاضلاب انسانی به‌عنوان نجاست یاد می‌شود) آگاهی‌رسانی در سطوح علما و روحانیون از نقطه‌نظر حذف آلودگی‌ها و نجاست به‌دنبال تصفیه فاضلاب ضروری بوده و باید مورد تاکید قرارگیرد.

* ملاحظات فنی استفاده از آب بازچرخانی شده و نیز مخاطرات آن را در چه مواردی می‌بینید؟

- این سوال دو بخش دارد که در بخش اول آن ملاحظات فنی استفاده از آب بازچرخانی شده بوده و بخش دوم شامل مخاطرات بازچرخانی غیراصولی است، که این دو بخش به‌ترتیب در دو قسمت الف و ب بیان می‌شود:

الف- ملاحظات فنی استفاده از آب بازچرخانی شده:

ملاحظات فنی استفاده از آب بازچرخانی را می‌توان به سه مرحله به‌شرح ذیل تقسیم نمود:

* مرحله اول: انتخاب و طراحی فرآیند مناسب تصفیه‌خانه فاضلاب

متاسفانه مشاوران و پیمانکاران تخصصی آب و فاضلاب کشور هنوز علاقه‌مند و محدود به روش‌های تصفیه گذشته هستند و به‌دلیل ریسک‌های احتمالی، کمتر سراغ فناوری‌های جدید می‌روند. به‌نظر من توجه به شرایط جغرافیایی، محیطی، اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی و همچنین نوع کاربری پساب حاصل می‌تواند به‌عنوان فاکتورهای اصلی در انتخاب فرآیند تصفیه مدنظر بوده و مشاوران باید با افزایش دانش فنی و همچنین

ترغیب از طرف کارفرمایان گرایش به فناوری‌های جدید داشته باشند. در این‌خصوص توجه به مصارف اصلی پساب تولیدی، فاکتوری مهم در انتخاب فرآیند تصفیه محسوب می‌شود.

* **مرحله دوم:** مرحله بهره‌برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه‌ها اگر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اصولی و درست بهره‌برداری و نگهداری نشوند، حتی در صورت انتخاب و طراحی درست فرآیند، قطعاً نخواهند توانست اهداف موردنظر را برآورده سازند. بررسی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب درحال بهره‌برداری در سطح کشور نشان می‌دهد که متاسفانه در مواردی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌دلیل ضعف در بهره‌برداری (کمبود نیروی متخصص، بهره‌برداری بیش از حد ظرفیت، عدم پایش و نبود تجهیزات آزمایشگاهی مناسب، ضدعفونی غیر اصولی و ...)، فاقد کارایی و عملکرد موردنظر هستند. این موضوع در نهایت منجر به تولید پسابی با کیفیت نامناسب و دارای محدودیت برای بازچرخانی می‌شود.

* **مرحله سوم:** مدیریت استفاده از آب بازچرخانی شده مرحله سوم با عنوان مدیریت استفاده از آب بازچرخانی شده، از خروجی پساب از تصفیه‌خانه شروع و شامل مراحل مختلف استفاده و تولید محصول، به شرح ذیل می‌شود که توجه و رعایت آن باعث مدیریت بهینه این چرخه و تولید محصول سالم، حفظ محیط زیست و توسعه پایدار خواهد شد.

- ضرورت توجه کافی به استانداردها، قوانین و ضوابط زیست‌محیطی و بهداشتی و همچنین مسائل اجتماعی و فرهنگی و حقوقی در استفاده مجدد از پساب‌ها؛

- ضرورت اجرای دقیق نظامنامه پایش (تصفیه‌خانه، آب و خاک، محصول تولیدی و سلامت کارگران) و مشارکت دادن ذی‌نفعان و ذی‌ربطان در چرخه تولید و بازچرخانی پساب و توجه به آلاینده‌های نوظهور؛

- ضرورت برنامه‌ریزی، هدف‌گذاری مناسب و ایجاد ارتباط سیستماتیک بین سازمان‌ها، وزارت‌خانه‌ها، بخش‌ها و نهادها (درون‌سازمانی و برون‌سازمانی) درخصوص بازچرخانی و اجرای قوانین و مقررات مربوطه؛

- ضرورت آموزش و آگاهی‌رسانی عمومی در گروه‌های مختلف؛

- انتخاب الگوی کشت مناسب و متناسب با محدودیت‌های کیفی پساب، همچنین انتخاب روش آبیاری مناسب، توام با پایش بهداشتی و زیست‌محیطی.

ب- مخاطرات بازچرخانی غیراصولی فاضلاب:

همان‌طور که بیان شد با افزایش نیاز آبی در مصارف مختلف، به‌ویژه در بخش کشاورزی، تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب‌ها برای جبران بخشی از این نیازها، به‌عنوان یکی از گزینه‌های مهم موردتوجه برنامه‌ریزان کلان آب کشور است. در این راستا با توجه به ترکیب و ماهیت پساب‌ها، اثرات سوء بهداشتی و زیست‌محیطی احتمالی استفاده غیراصولی از آن‌ها، اثرات و مخاطرات بهداشتی و زیست‌محیطی مختلفی را می‌تواند در پی داشته باشد. از مخاطرات مهم بازچرخانی غیراصولی فاضلاب‌ها می‌توان به آلوده‌سازی منابع آب و خاک، انتقال آلاینده‌های مختلف، به‌ویژه فلزات سنگین و ارگانیک‌های بیماری‌زای به گونه‌های زراعی و تولید محصولات آلوده اشاره نمود.

* تأثیرات اجتماعی، فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی چنین طرحی را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

- بررسی‌ها نشان می‌دهد که عموماً در حال حاضر، استفاده مناسب و سالمی از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صورت نمی‌گیرد و عمدتاً پساب تولیدی در محیط‌زیست رها شده و موجبات آلودگی منابع آب و خاک می‌شود و یا بدون رعایت ملاحظات بهداشتی و زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که علاوه بر آلودگی آب و خاک باعث تولیدی محصولات آلوده شده می‌تواند مخاطرات بهداشتی برای مصرف‌کنندگان این محصولات در پی داشته باشد. در صورتی که اجرای اصولی برنامه بازچرخانی آب با لحاظ کردن الزامات و ملاحظات قانونی، بهداشتی، زیست‌محیطی و اجتماعی از اثرات سودمندی اجتماعی و زیست‌محیطی برخوردار بوده و ضمن کمک به حل بحران آب کشور، می‌تواند باعث ایجاد اشتغال، بهبود شاخص‌های اقتصادی و افزایش سطح رفاه عمومی و سلامت و پایداری محیط‌زیست شود.

* در صورت استفاده از آب بازچرخانی شده در مصارف کشاورزی، ساز و کار مناسب نحوه آبیاری برای کاهش مخاطرات احتمالی چیست؟ همچنین کیفیت آب بازچرخانی مورد استفاده در این بخش، باید چه حداقل‌هایی را داشته باشد؟

- در شرایط استفاده از منابع آبی متعارف، شاخص‌های موردنظر برای انتخاب روش آبیاری شامل کمیت و کیفیت آب موردنظر،

اقلیم منطقه، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، الگوی کشت موردنظر، هزینه سیستم آبیاری، شیب زمین و توانایی بهره‌بردار در روش آبیاری موردنظر است. در صورتی که در استفاده از آب بازچرخانی شده علاوه بر شاخص‌های فوق، کیفیت پساب، نوع محصول، میزان تماس بخش‌های مختلف محصول با پساب، سلامتی کارگران مزرعه، حفاظت از محیط‌زیست، اثرات و خطرات ناشی از آلاینده‌های موجود در پساب نیز باید مورد توجه باشد. در این خصوص روشی اولویت دارد که حداقل تماس بین پساب با محصول تولیدی و کارگران شاغل در مزرعه را داشته باشد. براین اساس به‌ترتیب اولویت روش‌های آبیاری پیشنهادی در استفاده از این منابع در کشاورزی به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

- **روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی:** این روش در مقایسه با روش قطره‌ای سطحی آلودگی‌های بیولوژیکی کمتری را وارد محیط خاک سطحی نموده و در نتیجه نگرانی‌های ناشی از تماس مستقیم محصول و کارگران با خاک سطحی را کاهش می‌دهد؛

- **روش آبیاری قطره‌ای:** این روش بخش عمده‌ای از مشکلات بهداشتی ناشی از کاربرد پساب را مرتفع می‌نماید؛

- **روش آبیاری بارانی:** در این روش حرکت پاتوژن‌ها با باد، سوزش برگ‌ها، رسوب املاح در لوله‌ها، آلودگی اندام هوایی، اثر بر ساکنین زمین‌های مجاور و... قابل مشاهده بوده و به‌همین دلیل توصیه نمی‌شود؛

- **روش‌های آبیاری سطحی:** طی این روش، به‌ویژه روش غرقابی به‌واسطه تماس محصول با پساب و همچنین نفوذ عمقی زیاد، امکان آلودگی محصول و منابع آب زیرزمینی وجود دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که طی آبیاری سطحی با پساب، ۲۴ درصد از ازت کل موجود در پساب، آب‌شویی و از دسترس گیاه خارج شده و ۴۷ درصد آلودگی میکروبی در محصول مشاهده می‌شود. به‌طور عمومی کیفیت آب بازچرخانی مورد استفاده در این بخش باید مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی بوده و فاقد محدودیت‌های ناشی از فلزات سنگین، میکروبی (باکتری، ویروس، تخم انگل و تک‌یاخته‌ها)، ترکیبات سمی و یون‌های ویژه بوده و فاقد محدودیت شوری باشد. به‌صورت تخصصی‌تر با توجه به گونه زراعی موردنظر، روش آبیاری و شرایط محیطی استانداردهای تخصصی‌تری باید مدنظر باشد. همچنین در مصارف کشاورزی این منابع غلظت نیترات با توجه به تحرک پذیری بالای

آن و پتانسیل آلاینده‌گی منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت است.

* جایگاه پایش زیست‌محیطی و بهداشتی در طرح‌های بازچرخانی آب چگونه است و اجزای این پایش چیست؟

پایش بهداشتی و محیط‌زیستی از ضروری‌ترین ارکان پروژه‌های بازچرخانی در مصارف مختلف، به‌ویژه کشاورزی است. بدون طراحی و اجرای برنامه ارزیابی و پایش مستمر و موثر علاوه بر امکان عدم استمرار سودمندی و تاثیر پروژه، بلکه امکان بروز اثرات سوء بهداشتی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی نیز وجود دارد. برنامه پایش زیست‌محیطی شامل بررسی کارایی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در بهبود کیفی پساب، کمیت پساب تولیدی، بررسی کیفی پساب و آب‌های برگشتی مصرفی و تطبیق آن با استاندارد موردنظر، خط انتقال آب تا محل مصرف، کمیت و کیفیت محصولات تولیدی و سایر فعالیت‌های موجود طرح برای دستیابی به اهداف پروژه است. به‌طور کلی اهداف پایش طرح به شرح ذیل است:

- ارزیابی اجزای پروژه برای دستیابی به عملکردی مطلوب؛
- اصلاح اجزا و بخش‌های مختلف سامانه برای کاهش اثرات سوء احتمالی بهداشتی و زیست‌محیطی؛
- کنترل اثربخشی برنامه‌ها و اقدامات پیشنهادی برای حذف و یا تقلیل اثرات و پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی؛
- تغییر اجزای سامانه در جهت افزایش راندمان و عملکرد و استفاده پایدار از این منابع.

به‌طور کلی در یک طرح جامع و مهندسی استفاده مجدد از پساب، با فرض تصفیه فاضلاب تا حد دستیابی به معیارهای کیفی توصیه شده، برنامه پایش عملیات، بیش‌تر بر مراحل تصفیه متمرکز می‌شود، ولی با توجه به اشکالات احتمالی در مراحل تصفیه یا کاستی‌های احتمالی در مدیریت، بررسی و مراقبت منظم و مداوم از مراحل تصفیه و اجزای طرح شامل خاک، محصولات کشت شده، منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده طرح و سلامت کارگران شاغل ضروری به‌نظر می‌رسد. لازم به ذکر است پایش کیفی مراحل تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه‌ها از وظایف شرکت آب و فاضلاب بوده ولی اطلاع از نتایج مربوطه برای ارگان‌های ذیربط به‌ویژه شرکت‌های آب منطقه‌ای ضروری است. اجزای پایش در یک برنامه جامع پایش به‌شرح ذیل است:

- پایش مراحل مختلف تصفیه فاضلاب و

- پایش خط انتقال؛

- پایش کیفی پساب دریافتی و اندازه‌گیری حجمی مقدار پساب مصرفی؛

- پایش کیفی خاک مزارع؛

- پایش بهداشتی محصولات؛

- برنامه کنترل و پایش بهداشتی کارگران و دیگر کارکنان مربوطه؛

- پایش منابع آب سطحی؛

- برنامه پایش منابع آب زیرزمینی؛

- برنامه پایش سلامتی و بهداشت محصولات تولیدی.

* منابع و مصارف اصلی در روند بازچرخانی آب چیست؟

- فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی مهم‌ترین منابع موردنظر در بازچرخانی بوده که هریک از گروه‌های فوق‌الذکر کیفیت، اختصاصات و اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی خاص خود را داشته و به‌منظور استفاده مجدد به تکنیک‌های خاص برای پالایش نیازمند هستند. مشخصه اصلی فاضلاب‌های انسانی BOD و COD بالا، عناصر مغذی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتریایی و انگلی) است. این فاضلاب‌ها در صورت عدم نفوذ فاضلاب‌های صنعتی، فاقد فلزات سنگین در حد خطرزا هستند، لذا از این‌نظر جای نگرانی نیست. این منابع در صورت راهبری درست تصفیه‌خانه از حداقل نوسانات کیفی برخوردار خواهند بود. در زه‌آب‌های کشاورزی وابسته به کیفیت آب مصرفی، نوع و راندمان سامانه آبیاری، نوع سامانه زهکشی، میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی، نوع و ویژگی‌های خاک و هم‌چنین شرایط اقلیمی منطقه است. مشخصه اصلی زه‌آب‌های کشاورزی دارا بودن EC بالا، وجود عناصر مغذی فسفر و نیتروژن (P و N) در غلظتی قابل‌توجه و هم‌چنین حضور بقایای سموم و آفت‌کش‌ها و در درجه‌های کم‌تر عوامل میکربی است. مهم‌ترین عامل محدودیت‌زا در استفاده مجدد از این منبع در کشاورزی میزان بالای املاح بوده و از جنبه‌های زیست‌محیطی عناصر مغذی، بقایای سموم و آفت‌کش‌ها از اهمیت بیش‌تری برخوردارند. بیش‌ترین تفاوت کیفی در داخل گروه‌های سه‌گانه مربوط به فاضلاب‌های صنعتی است. این گروه دارای دامنه تغییرات کیفی وسیعی هستند. مشخصه فاضلاب صنایع غذایی، مواد آلی و عناصر مغذی بالا، صنایع فلزی ترکیبات فلزی، به‌ویژه فلزات سنگین زیاد و مشخصه فاضلاب صنایع دارویی دارا بودن

ترکیبات شیمیایی و آلی قابل توجه است. با توجه به تنوع و دامنه وسیع تغییرات کیفی پساب‌های صنعتی، از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی محدودیت‌ها در مصارف مجدد، می‌توان به حضور ترکیبات شیمیایی و سمی، فلزات سنگین، مواد آلی، pH نامناسب و دما و رنگ اشاره نمود. در استفاده از این منابع توجه به غلظت فلزات سنگین و همچنین ترکیبات شیمیایی از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. به‌طور کلی استفاده از این منابع نیاز به ملاحظات کیفی و زیست‌محیطی شدیدتری در مقایسه با زه‌آب‌های کشاورزی و همچنین پساب‌های خانگی دارد. آب بازچرخانی شده در مصارف مختلفی به‌شرح ذیل کاربرد داشته و تعیین محدودیت‌های کیفی مربوطه، یکی از ابعاد با اهمیت در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از این منابع محسوب می‌شود.

- استفاده در کشاورزی؛

- استفاده در مصارف شهری؛

- استفاده در تغذیه آب‌های زیرزمینی؛

- استفاده در آبیاری فضای سبز؛

- استفاده در مقاصد تفریحی؛

- استفاده در مصارف شرب غیرمستقیم؛

- استفاده در مصارف صنعتی؛

- استفاده در مصارف شیلات؛

- استفاده بعنوان حقاله زیست‌محیطی.

* مشکلات، موانع و چالش‌های مهم و اصلی در بازچرخانی آب در کشور چیست؟

- چالش‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در بازچرخانی آب شامل اجزا و بخش‌های مختلفی است که از نقطه مصرف آب شروع و تا نقطه مصرف نهایی پساب و تولید محصول را شامل می‌شود.

الف- مصرف آب:

مصرف آب نقطه شروع این چرخه بزرگ بوده و از اهمیت زیادی در فرآیند تولید و استفاده مجدد از فاضلاب برخوردار است. چالش‌های موجود در این بخش شامل موارد زیر است:

✓ مصرف زیاد آب؛

✓ نوسانات شدید کمی و کیفی آب و فاضلاب تولیدی در طول سال. شستشوی فرش، لوازم منازل و ... در اواخر سال و ورود پیک آب و همچنین غلظت بالای شوینده‌ها به شبکه

جمع‌آوری و به‌تبع آن تصفیه‌خانه فاضلاب؛

✓ عدم تفکیک مناسب و کامل بین مصارف شرب و صنعت؛

✓ عدم توجه به کیفیت آب برای مصارف مختلف و استفاده

از آب شرب و تصفیه شده برای مصارف عمومی و غیرضروری

همچون شستشوی ماشین، وسائل و اساس خانه و ...؛

✓ استفاده از آب شرب تصفیه شده برای آبیاری باغچه، فضای

سبز و ...

ب- جمع‌آوری و انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه

سیستم جمع‌آوری و انتقال فاضلاب به تصفیه‌خانه، بزرگترین و یکی از با اهمیت‌ترین اجزای چرخه استفاده از پساب محسوب می‌شود. نوع سیستم و شبکه جمع‌آوری فاضلاب تاثیر قابل توجهی بر میزان و کیفیت فاضلاب انتقالی به تصفیه‌خانه داشته و رعایت اصول طراحی، اجرا و بهره‌برداری از این تاسیسات حائز اهمیت است. چالش‌های موجود در این بخش به‌شرح ذیل قابل ارائه است:

✓ مبانی بعضاً نادرست طراحی، اجرا و بهره‌برداری از شبکه

جمع‌آوری و انتقال فاضلاب؛

✓ عدم لحاظ کردن اصولی و درست بار ورودی ناشی از

فضولات دام‌ها، به‌ویژه در نقاط کوهستانی و غربی کشور؛

✓ استفاده از روش‌های مرسوم و متعارف در طراحی و اجرای

خطوط جمع‌آوری فاضلاب و عدم توجه کافی به شرایط

جغرافیائی و طبیعی و اقلیمی منطقه. به‌عنوان مثال اجرای

شبکه جمع‌آوری مشابه در استان‌های بوشهر، کردستان، یزد

و شهرهای شمالی؛

✓ عدم توجه کافی به سطح ایستابی و نفوذ آب‌های زیرزمینی به

شبکه جمع‌آوری فاضلاب و در نتیجه شور شدن فاضلاب انتقالی

به تصفیه‌خانه و اختلال در فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی

فاضلاب (به‌طور نمونه در استان‌های جنوبی)؛

✓ عدم توجه کافی به شرایط اقلیمی منطقه و لحاظ کردن آن

در مبانی طراحی. به‌عنوان نمونه خروج فاضلاب از منهول‌های

شهر اهواز در فصول و مواقع بارانی و جاری شدن آن در سطح

معابر و ...؛

✓ عدم تفکیک فاضلاب‌های خانگی با سایر منابع، به‌ویژه ورود

فاضلاب‌های صنعتی با آلاینده‌های مختلف به شبکه فاضلاب؛

✓ شوک ناشی از تخلیه غیرمجاز فاضلاب‌های صنعتی به

شبکه جمع‌آوری فاضلاب‌های خانگی و ایجاد شوک ناشی از

بار مواد سمی و...؛

✓ برداشت فاضلاب خام انتقالی به تصفیه‌خانه از خط اصلی انتقال به‌منظور مصارف زراعی. برداشت و مصرف فاضلاب خام در کشاورزی در مسیر انتقال فاضلاب از طریق مسدود کردن خط انتقال با ریختن سنگ و یا انداختن گونی پر از خاک در داخل منهول‌ها و...؛

✓ آلاینده‌گی ناشی از فاضلاب آزمایشگاه‌ها (شیمیایی و طبی و ...). بیمارستان‌ها و موسسات تحقیقاتی.

ج- طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب

طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب مهم‌ترین عنصر در بازچرخانی آب محسوب می‌شود. کیفیت پساب خروجی وابسته به فرآیند تصفیه و راندمان و کارایی واحدهای مختلف تصفیه‌خانه دارد. انتخاب فرآیند مناسب و طراحی اصولی و مناسب بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه و راهبری مناسب آن تضمین‌کننده کیفیت مناسب پساب خروجی و کاهش بخش مهمی از دغدغه‌ها و چالش‌های فراروی استفاده از پساب‌ها در کشاورزی است. مهم‌ترین چالش‌ها و نگرانی‌های موجود در این بخش به اختصار به شرح ذیل است:

✓ عدم انتخاب فرایند مناسب و مبانی بعضاً نادرست طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب

✓ عدم توجه به شرایط اقلیمی و محیطی در انتخاب روش تصفیه فاضلاب

✓ عدم توجه به مقوله استفاده مجدد از فاضلاب در مکان‌یابی تصفیه‌خانه

✓ ساخت یک تصفیه‌خانه برای پوشش کل فاضلاب شهر و افزایش هزینه اجرا، کاهش امنیت و ایجاد مشکل در انتقال پساب تولیدی برای مصارف مجدد و...

✓ الگو برداری صرف از روش‌ها و معیارهای طراحی تصفیه‌خانه رایج در دنیا. عدم توجه به خصوصیات فرهنگی، اجتماعی و بعضاً اقتصادی و...

✓ استفاده از فناوری‌های غیرسازگار با محیط و منطقه

✓ عدم توجه به اولویت‌بندی و توجیه فنی و منطقی برای ساخت تصفیه‌خانه برای شهرها.

✓ تصمیم‌گیری‌های سیاسی، رقابت و ...

✓ آیا در همه شهرهای کشور ساخت تصفیه‌خانه ضرورت دارد؟

✓ آیا ضرورت دارد که تمام سطح شهر تحت پوشش شبکه

جمع‌آوری فاضلاب قرار گیرد؟

د- راهبری تصفیه‌خانه

نحوه راهبری و مدیریت تصفیه‌خانه، هم‌وزن انتخاب فرآیند و طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب ارزشمند و حائز اهمیت است. بدون راهبری و مدیریت درست تصفیه‌خانه، علی‌رغم انتخاب فرآیند و طراحی و اجرای صحیح آن حصول هدف اصلی که دستیابی به استاندارد کیفی موردنظر در پساب تولیدی است، غیرممکن خواهد بود. چالش‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در این بخش به اختصار به شرح ذیل است:

✓ نبود پرسنل متخصص و کارآمد برای راهبری و مدیریت تصفیه‌خانه‌ها به‌ویژه در اغلب شهرهای کوچک؛

✓ عدم ضدعفونی اصولی و مناسب پساب خروجی؛

✓ نبود آزمایشگاه تحلیل کیفی پساب با تجهیزات و کادر فنی و دقت مناسب. با توجه به دستورالعمل پایش پساب در برنامه تخصیص و استفاده مجدد از آن؛

✓ بهره‌برداری بیش از ظرفیت از تصفیه‌خانه؛

✓ عدم تخلیه به‌موقع لجن انباشته شده در سیستم‌های تصفیه با روش برکه تثبیت؛

✓ عدم طراحی و به‌کارگیری فرآیندهای تصفیه پیشرفته (مرحله سوم) برای حذف عناصر مغذی و ... برای مدیریت پساب در فصول غیرزراعی

ه- استفاده مجدد از پساب خروجی

استفاده مجدد از پساب تولیدی تصفیه‌خانه‌ها بخش نهایی و هدف اصلی در چرخه تولید و استفاده از پساب محسوب می‌شود و عنصری مهم و موظف در برنامه‌های تصفیه و استفاده از فاضلاب در کشاورزی محسوب می‌شود. عدم توجه به مسائل و چالش‌های حاکم بر این بخش، علی‌رغم حل چالش‌های بخش‌های دیگر می‌تواند عوارض بهداشتی و زیست‌محیطی خطرناکی به‌همراه داشته باشد و سودمندی و پایداری برنامه استفاده مجدد از پساب‌های خانگی را زیر سوال ببرد. چالش‌های مهم این بخش به شرح زیر هستند:

✓ عدم توجه کافی به استانداردها، قوانین و ضوابط زیست‌محیطی و بهداشتی در استفاده مجدد از پساب‌ها؛

✓ عدم توجه کافی به مسائل اجتماعی، فرهنگی و دینی در برنامه‌های استفاده مجدد از پساب؛

✓ تعریف معیارها، نظامنامه‌ها و چارچوب‌هایی برای استفاده مجدد از پساب، بدون توجه و تدارک زیرساخت‌های مورد نیاز؛
 ✓ خلاء قانون و استاندارد در استفاده از این منابع؛
 ✓ نبود آزمایشگاه و تجهیزات مناسب و کافی برای اجرای نظامنامه تخصیص پساب؛
 ✓ عدم توجه به آلاینده‌های خاص و نوظهور؛
 ✓ عدم اجرای نظامنامه پایش پساب و دخالت دادن عناصر موظف؛
 ✓ عدم اجرای برنامه پایش زیست‌محیطی در مرحله تصفیه و استفاده از پساب (فاضلاب، پساب، منابع آب و خاک، محصول تولیدی و سلامت کارگران)
 ✓ عدم توجه به مسائل حقوقی و قانونی در عرضه محصولات آبیاری شده با پساب و ...

و- قوانین، استانداردها و ساختار تشکیلاتی و حقوقی و فرهنگی اجتماعی

یکی از الزاماتی که در امکان عملیاتی شدن برنامه‌های بازچرخانی نقش کلیدی و بنیادی دارد، تامین جنبه‌های قانونی و مقرراتی است. بررسی قوانین و دستورالعمل‌های موجود نشان می‌دهد که مسئولیت نظارت حاکمیتی بر نحوه تخلیه فاضلاب‌ها به‌ویژه از دیدگاه زیست‌محیطی به سازمان حفاظت محیط‌زیست محول شده و از دیدگاه بهداشت و سلامت عمومی نیز علاوه بر سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت بهداشت نیز دارای جایگاه نظارتی و مرجع تشخیص مجاز بودن بهره‌برداری از این منابع شده است. بنابراین ظرفیت‌های قانونی موجود تولید تخصیص و بهره‌برداری از این منابع را به وزارت نیرو محول نموده، ولی از دیدگاه نظارتی و بهداشتی دو مرجع اصلی سازمان حفاظت محیط‌زیست و وزارت بهداشت دارای نقش تعیین کننده‌ای هستند که در این میان سازمان حفاظت محیط‌زیست دارای مسئولیت و نقش بسیار بارزتر و کلیدی‌تری است. در ادامه نقاط ضعف مربوط به قوانین و مقررات ارائه می‌شود:
 ✓ عدم شفافیت در مورد جایگاه و وظایف سازمان حفاظت محیط‌زیست و عدم ارتباط موثر و برنامه‌ریزی شده، تداخل وظایف و عدم تبیین جایگاه این سازمان با سایر ارگان‌ها در رابطه با مسائل زیست‌محیطی؛
 ✓ فقدان برنامه‌ریزی، هدف‌گذاری مناسب، پیگیری و ارتباط سیستماتیک و هماهنگی با سایر بخش‌ها و نهادها (درون

سازمانی و برون سازمانی) برای بهره‌برداری از قوانین و مقررات موجود و برنامه‌های توسعه و سیاست‌های کلی؛
 ✓ ضعف در اجرای قوانین و مقررات به دلیل مصلحت‌اندیشی، ناهماهنگی و نبود نیروی انسانی و تجهیزاتی کافی؛
 ✓ عدم وجود سیستمی برای ارزیابی عملکرد و کارایی قوانین و عدم برنامه‌ریزی برای توسعه، تکمیل، به‌روز رسانی، تفسیر و شناسایی مشکلات و تداخل‌های قوانین؛
 ✓ وجود اشکال در روندهای تعیین شده برای اجرای مقررات و عدم برنامه‌ریزی برای رفع اشکالات مربوطه؛
 ✓ فقدان برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری مناسب و عدم وجود ارتباط سیستماتیک بین واحدهای درون سازمانی و برون سازمانی؛
 ✓ عدم وجود ارتباط سیستماتیک بین نهادهای مختلف در زمینه اهداف زیست‌محیطی و عدم استفاده از ظرفیت نهادها؛
 ✓ عدم توجه کافی به بخش آموزش و آگاهی رسانی عمومی و تعریف و اجرای معیارهای ارزیابی عملکرد مناسب؛
 ✓ کمبود نیروی انسانی متخصص و تجهیزات لازم در استان‌ها.

میزگرد منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها دانشکده فنی دانشگاه تهران، سه شنبه ۹۷/۱۲/۱۴



اعضای میزگرد:

- دکتر اکبرزاده: عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات آب
- دکتر تابش: استاد دانشگاه تهران و رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (مدیر جلسه)
- مهندس جمالی: مدیرعامل شرکت راهدان سما (مشاور طرح)
- دکتر صراف‌زاده: دانشیار دانشگاه تهران و رئیس کرسی یونسکو در بازیافت آب
- دکتر فاضلی: عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
- دکتر یارقلی: عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات جهاد کشاورزی

دانشگاه برای هم‌اندیشی‌ها و با بضاعت علمی موجود در دانشگاه به تصمیم‌گیری بهتر و اجرای بهتر تصمیمات در زمینه آب کمک شود. به همین منظور انجمن چند کمیته تخصصی دارد شامل بازیافت آب، تلفات آب و کیفیت آب. این جلسه با همت کمیته تخصصی بازیافت آب تشکیل شده است. به آگاهی می‌رساند با توجه به ضرورت چاره‌اندیشی در مسائل مرتبط با بحران آب قراردادی بین معاونت آب و آبفای وزارت نیرو با مهندس مشاور منعقد شده بود تا ضوابطی برای استفاده از آب بازچرخانی شده در ساختمان‌ها تدوین شود. نتیجه این مطالعات در وزارت نیرو با حضور مشاور و کارشناسان به بحث گذاشته شد که انجمن آب و فاضلاب ایران یکی از مدعوین این جلسات بود. هدف از این میزگرد این است که بحث درباره این مطالعات عمومی‌تر شود و بتوان از نظرات بیشتری استفاده کرد تا طرح پخته‌تر شود و در اختیار وزارت نیرو قرار گیرد تا از مجموعه این نظرات و مباحث استفاده لازم را ببرند و بهترین تصمیم اتخاذ شود. در ابتدا از آقای مهندس جمالی خواهش



دکتر تابش: به نام خدا. ضمن تبریک روز آب. همان‌طور که می‌دانید آب یکی از چالش‌های اصلی کشور است و آب اضافه هم نداریم. در نتیجه باید از منابع موجود استفاده کنیم و چون محدود است در نتیجه باید از راه‌کار مدیریت مصرف و کاهش تقاضا و ساز و کارهای دیگری مانند بازچرخانی و استفاده کرد. انجمن آب و فاضلاب ایران تلاش می‌کند با ایجاد ارتباط بین صنعت و دانشگاه و استفاده از پتانسیل‌های موجود در

می‌کنم خلاصه‌ای از طرح را ارائه کنند و سپس بحث پیرامون طرح با حضور اعضای کمیته بازیافت انجمن و سایر حضار ادامه می‌یابد.



مهندس جمالی: ضمن عرض سلام به اطلاع می‌رساند هدف اولیه طرح، انجام مطالعات کتابخانه‌ای و تدوین راهنمای پشتیبان برای اجرای بازیابی آب خاکستری و برداشت آب باران در ساختمان بود. در وزارت نیرو فرض اولیه بر این بود که این کارها مطلوب هستند و ما به دنبال جزئیات انجام آن بودیم و بررسی این که چرا باید این کار انجام شود. بعد از سال اول مطالعه، اهداف مطالعه به مطالعات پیشا قانون‌گذاری تغییر کرد (علی‌رغم وجود قوانینی در وزارت نیرو، این مطالعه به سمتی پیش رفت که انگار قوانینی وجود ندارد و نیاز به تصحیح دارد). برای این امر بالغ بر ۳۵۰ آیین نامه، کتاب، راهنما و ... بررسی و در نهایت راهنمایی تهیه شد که در سه بخش تنش آبی، بازیابی آب خاکستری و برداشت آب باران بود.

آب خاکستری به پساب تولیدی آشپزخانه، حمام، روشویی و ماشین لباسشویی گفته می‌شود که بار آلودگی کمتری دارد. در اغلب مناطق دنیا فقط پساب حمام و روشویی را آب خاکستری می‌دانند که آب خاکستری سبک نامیده میشوند و کمترین بار آلودگی را دارند. کم بودن بار آلودگی خیلی غیرفنی است و پیچیدگی‌های زیادی وجود دارد.

بازیابی آب خاکستری بحث سهلی است و حجم عظیمی از منابع فنی متنوع موجود و قابل دسترس است. ولی طبق بررسی ما اسناد موجود در اینترنت مربوط به زمانی است که تصمیم راجع به استفاده از بازیابی آب خاکستری گرفته شده است. یعنی افراد علاقه‌مند به این که مصرف را کاهش دهند و مصرف سرانه را کم کنند، بازیابی آب خاکستری را به عنوان راه کار در نظر گرفته‌اند و برای چارچوب‌دهی به آن و کنترل خطرات آن، دولت‌ها آیین‌نامه‌هایی را تدوین کرده‌اند و خیلی کم برعکس این مورد عمل شده است. یعنی بخش عمومی

تشخیص داده است که بازیابی آب خاکستری خوب است و بررسی کرده که خوب است یا خیر و بعد از آن آیین‌نامه‌های لازم تهیه شده‌اند و این کارهای پیشا قانون‌گذاری انگشت شمارند.

اجزای اصلی مصرف خانگی: سه مورد از این سبدها در گزارش ارائه شده و یک نمونه به عنوان مثال آورده شده است. در مناطق مختلف این تفکیک متفاوت ولی حالت غالب آن‌ها یکسان است. هدف از بازیابی خاکستری چیست؟ این که قسمت‌های کم رنگ خاکستری را برای مصارفی همچون سیفون توالت و آبیاری استفاده کنند.

کیفیت آب خاکستری: بار آلودگی کمتری دارند ولی بعضی پارامترها عدد بالایی داشته و مطلوب نیستند و خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی دارند. مثلاً کم بودن نیتروژن هم مطلوب نیست زیرا باعث سخت شدن تصفیه می‌شود (آب خاکستری نیتروژن پایینی دارد). در نتیجه بدون تردید موضوع جدید و شیکی است و منطبق با معیارهای زیست‌محیطی است (به ظاهر) ولی در عمل دشواری‌های زیادی دارد.

بازیابی آب خاکستری براساس آیین‌نامه‌های معتبر جهانی: آب خاکستری تصفیه نشده در جهان فقط یک کاربرد دارد (آبیاری زیرسطحی). در صورت بازیابی آب خاکستری فقط شوینده‌های فاقد کلر، هیدروکلریک و ... قابل استفاده‌اند. وگرنه باید آن‌ها را فاضلاب دانست و اگر آب خاکستری باشند می‌توانند پیش از تصفیه در آبیاری سطحی، استفاده در سیفون‌ها (بدون تصفیه و فقط در محل) به کار گرفته شوند و یا حتی برای شستشوی لباس (پس از تصفیه تا استاندارد لازم) معیارهای آن‌ها خیلی سخت‌گیرانه و نزدیک به آب آشامیدنی است.

انواع سامانه‌های بازیابی آب خاکستری (طبق استانداردهای مختلف): بازخورد اجتماعی بازیابی آب خاکستری. از نگاه غیرمتخصص این موضوع خیلی جذاب است و صرفه‌جویی به حساب می‌آید و در اغلب کارهایی که در زمینه آب خاکستری انجام شده همین نگاه بوده که این چه کار خوبی است و چارچوب‌ها بعداً شکل گرفته‌اند.

چالش‌های فنی بازیابی آب خاکستری برای پرکردن سیفون‌ها: نیاز به لوله کشی تحت فشار است. مصرف آب در سیفون‌ها در ساعات مختلف متفاوت است. در نتیجه نیاز به مخزن ذخیره داریم و نگهداری آن دشوار است (بو، باکتری‌ها و غیره). روش‌های بازیابی آب خاکستری (در راهنمای مختلف).

مخاطرات بازیابی آب خاکستری: در بحث بازیابی آب خاکستری مخاطرات جدی زیست‌محیطی و بهداشتی وجود دارد.

ملاحظات زیستی‌محیطی: عوارض بازیابی آب خاکستری باید به‌عنوان یک راه‌کار بلندمدت و نه موقت بررسی شوند.

مراحل ارزیابی مخاطرات بهداشتی ناشی از عوامل میکروبیولوژیک: تیپ استاندارد دارد و در راهنما توضیح داده شده و راهنما هم از طرف وزارت نیرو در دسترس است. مخاطرات اجزای مختلف در بحث بازیابی آب خاکستری بررسی میشود و به‌صورت عددی تحلیل می‌شود. درنهایت اگر از سطح استانداردهای لازم بهتر باشد، قابل استفاده است.

سطح ۱:۱۰۰۰۰۰۰ از طرف سازمان جهانی بهداشت تشخیص داده شده که مقدار مخاطرات قابل قبول برای خطرات بهداشتی ناشی از آب است. با این استاندارد براساس معیار DALY (مقدار روزی که از عمر جامعه به‌علت عوامل بیماری‌زا کم می‌شود) و این نباید از ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بیشتر باشد، یعنی از یک میلیون روز، یک روز. بعد از بررسی‌ها برای آب خاکستری یک سری روش‌ها داریم که مثلاً یکی از آن‌ها این است که چند عامل بیماری‌زای مطرح را که بیشتر در جامعه شایع هستند، به‌عنوان معیار استفاده می‌کنند. یکی از مشهورترین آن‌ها ویروس اسهال خونی کودکان (روتا ویروس) است که در خیلی از مطالعات آب استفاده میشود. ما هم از این روتا ویروس استفاده کردیم. اگر کسی بیمار شود طبق معیار DALY مخاطرات آن ۰/۰۱۴ است و اگر ۱:۱۰۰۰۰۰۰ را بر ۰/۰۱۴ تقسیم کنیم ۰/۰۰۰۰۷۱۴ به‌دست می‌آید و نسبت بیماری به آلودگی ۵ درصد است. یعنی اگر ما در معرض ویروس باشیم ۵ درصد احتمال بیماری داریم و میزان قابل قبول احتمال ۰/۰۱۴۳ است. یعنی حداکثر میزان آلودگی با ویروس باید ۱۴۳ در ۱۰۰۰۰۰ نفر باشد و این نیاز به توضیح و مطالعه دارد تا واضح شود. برای بررسی، روش‌های مختلفی وجود دارد: ۱- روش اپیدمیولوژیک: نیاز به مطالعات میدانی دارد و روش آسانی نیست؛ ۲- روش تحلیل ریاضی: که مدل ریاضی ناشی از بیمارشدن به‌علت در معرض آب آلوده قرارگرفتن را مورد بررسی قرار میدهد و توضیح منحصر مدل ریاضی. براساس همه این روش‌ها در اکسل این مدل پیاده شده و ما حالات مختلف را گفتیم که مثلاً برای پرکردن سیفون، بازیافت با روش تصفیه خاص، بازیافت با احتمال از کار افتادن دستگاه تصفیه، بازیافت

از منابع خاص آب خاکستری و سناریوهای مختلف دیگر. درنتیجه طبق این مدل تقریباً همه نمونه‌ها از نظر مخاطرات بهداشتی غیر قابل قبول هستند و استاندارد سازمان بهداشت جهانی را ارضا نمیکنند. ولی برای مخاطرات زیست‌محیطی چنین معیاری موجود نیست و مطالعات میدانی کمی انجام شده و در راهنما به آن‌ها اشاره شده است.

مرور تجارب جهانی در زمینه بازیابی آب خاکستری: چند کشور مورد مطالعه قرار گرفتند. مثلاً استرالیا به میزان بالایی بازیابی را انجام می‌دهد (۷ تا ۸ درصد ساختمان‌ها). اسناد متنوع از این کشور بررسی شده است و همین‌طور در سایر کشورها مثل آمریکا، انگلیس، آلمان و رژیم اشغالگر قدس. در مورد آخر، باتوجه به این‌که وضعیت وخیمی در بحث آب دارد و منابع آن حتی از کشور ما نیز کمتر است ولی استفاده از آب خاکستری کلاً ممنوع است. در کشورهای دیگر مجاز است و در بعضی هم توصیه شده است. در انگلیس و رژیم اشغالگر قدس مطالعات پیشا قانون‌گذاری هم انجام شده است و آب خاکستری در دومی ممنوع و اولی قابل تردید تشخیص داده شده است.

ابعاد فنی-اقتصادی بازیابی آب خاکستری: در یکی دیگر از فصول راهنما بحث اقتصادی آب خاکستری را بررسی کردیم با این فرضیات: بعد خانوار ۳/۷ نفر، ارتفاع طبقه: ۳ متر و در اماکن فرضی مختلف روش‌های تصفیه مختلف بررسی شده است. درنتیجه با توجه به قیمت آب در ایران این فرایند بازیابی آب خاکستری اقتصادی نخواهد بود و مطالعات در دنیا هم این مورد را تایید میکنند. زیر ۴ دلار قیمت هر مترمکعب آب یعنی ۴۸ هزار تومان، قیمت آب اقتصادی نیست. درضمن هزینه‌های بهداشتی هم در این ۴ دلار لحاظ نشده است.

نتیجه: هزینه سالانه برای فرایند RBC حدود ۷۵ برابر هزینه دارد. چهار سناریو برای کاهش هزینه: ۱- کاهش هزینه از طریق تکنولوژی‌های ارزان‌تر که این انتظار در میان مدت عملی نیست؛

۲- تغییر تعرفه: حتی اگر تعرفه تا ۱۰ برابر هم بشود، به ۴۸ هزار تومان نمیرسد.

۳- اعمال سیاست‌های حمایتی: مثلاً دادن وام به افراد که این‌هم بعداً با هزینه بهره‌برداری که دارد باعث میشود دستگاه‌ها بدون استفاده بمانند و نگهداری از آن‌ها انجام نشده و عملکرد مطلوب نداشته باشند.

۴- اجبار قانونی: که همین مشکلات را دارد با این تفاوت

که بار اجرای اولیه را هم دارد که به دوش بهره‌بردار و مصرف کننده نهایی است.

چارچوب قانون‌گذاری و الزامات شیوه نامه‌ها: یک فصل دیگر از راهنما با همین عنوان موجود است. اهداف این قوانین: حفظ بهداشت عمومی، بهره‌وری و حفاظت منابع آب، احترام به تکرر اجتماعی و آزادی‌های فردی. موارد اول و دوم خیلی مشوق بازیابی آب خاکستری نیستند و فقط سومی می‌تواند محرک باشد. به‌طور مثال فردی علاقه‌مند تمام فاضلاب را در زیرزمین تصفیه می‌کرد و آب تصفیه شده را به بام انتقال می‌داد برای پرکردن کولرها و آب آتش نشانی و که علی‌رغم اقتصادی نبودن آن را اجرا می‌کنند. در نتیجه نیاز است برای پاسخگویی به مورد سوم، آیین‌نامه‌هایی تدوین شود که به‌طور مفصل ضوابط آن در راهنما بحث شده است.

جمع‌بندی بحث: آب خاکستری می‌تواند ۱۵ تا ۴۰ درصد مصرف سرانه را کم کند. هدف از کاهش سرانه: ۱- کاهش فشار بر منابع آب، ۲- کاهش فشار بر روی شبکه توزیع آب، ۳- کاهش هزینه‌های بهره‌بردار (این مورد در ایران محدود است ولی در دنیا می‌تواند جزو انگیزه‌ها باشد). در نتیجه ما دو مورد اول را در نظر می‌گیریم. ممکن است بعضی‌ها بگویند جایگزین‌های دیگری برای کاهش فشار بر منابع آب وجود دارد که خیلی متنوع هستند. مثلاً بهره‌وری در مصرف آب. مثلاً ادوات آب‌بر و آب‌پخش آیا بهره‌وری لازم را دارد و یا خیر؟ که این‌ها در حوزه مدیریت مصرف قرار می‌گیرند. آیا فرهنگ مصرف آب ما قابل تصحیح نیست؟ ۲- بهره‌وری آب شهری: مثلاً تلفات آب در شبکه آبرسانی امکان بهبود ندارد؟ ۳- بازیابی آب شهری: مثلاً پساب آب تصفیه شده شهری را بازیابی می‌کنیم یا نه؟ این موارد می‌توانند فشار سرانه بر منابع آب را کاهش دهند. پس آب خاکستری چه زمانی می‌تواند بر آن‌ها ارجحیت داشته باشد؟ زمانی که اقتصادی‌تر باشد نسبت به آن روش‌ها. ولی بررسی‌های ما نشان می‌دهد که اقتصادی‌تر نیست و بررسی‌ها با شرایط بومی و کشورهای دیگر هم همین را نشان می‌دهند. اگر منابعی را صرف این بکنیم حتماً منابعی را به موارد دیگر کمتر اختصاص می‌دهیم.

دیدگاه دیگر: چون ما تصفیه آب خاکستری را در محل انجام می‌دهیم این فاضلاب دیگر به تصفیه خانه نمی‌رود و در نتیجه انرژی کمتری مصرف می‌شود و زیرساخت‌های کمتری هم لازم دارد. ولی بررسی‌ها در دنیا این را نشان می‌دهد که

ردپای بازیابی آب خاکستری و حتی برداشت آب باران بیشتر از وضعیتی است که تصفیه به‌صورت کلان و در مقیاس شهری انجام می‌شود و این مورد در دنیا دیده شده است. در جاهایی که بازیابی آب خاکستری مجاز است اگر بازیابی در مقیاس غیر شهری انجام شود غیرمجاز است. حتی در استرالیا که مجاز است و خود آن‌ها از تولیدکنندگان ادوات بوده اند، نوشته‌اند که این مورد به دولت فدرال توصیه می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که بازیابی در شرایطی خاص مجاز است و بررسی اقتصادی هم نشده است.

بحث دیگر: درست است که کاهش سرانه ۱۵ تا ۴۰ درصد را می‌توان انتظار داشت، اما در اینجا نکته‌ای وجود دارد که ما انتظار داریم چند درصد از ساختمان‌های ما بازیابی آب خاکستری انجام بدهند؟ یعنی ضریب نفوذ آن در جامعه انتظار می‌رود که چقدر باشد؟ در این سالن اگر ۱ نفر آنفولانزا داشته باشد مخاطرات آن برای همه افزایش پیدا می‌کند. پس اگر ۱۰ درصد ساختمان‌های ما آب خاکستری را بازیابی کنند، این مخاطرات برای همه افراد جامعه افزایش پیدا می‌کند. آن‌گاه دست‌آورد چه خواهد بود؟ اگر این ۱۰ درصد را در آن ۱۵ تا ۴۰ درصد کاهش سرانه ضرب کنیم می‌بینیم که با قرار دادن این دو کنار هم، اصولاً بازیابی آب خاکستری به دلیل ضریب نفوذ پایینی که دارد امکان و پتانسیل چندانی برای کاهش سرانه فشار در منابع آب ندارد.

در مدیریت جامع آب شهری همه قسمت‌ها کنار هم معنی پیدا می‌کند، چون همه برای یک هدف تدوین شده‌اند. همه این راهبردها برای کاهش سرانه برداشت از منابع آب هستند. پس ما همه این‌ها را کنار یکدیگر در یک سبد باید ببینیم و نمیتوانیم تک تک و مجزا ببینیم چون یک تصویر کلی هستند. تا وقتی که ما بتوانیم کاری را با هزینه پایین‌تر از طریق راهبرد دیگری از راهبردهای این سبد انجام دهیم، اقتصادی نیست که به دنبال بازیابی آب خاکستری برویم. من خودم مخالف این هستم که بازیابی آب خاکستری توصیه شود. یعنی قابل توصیه نیست. اما از آن جایی که عده‌ای از افراد جامعه طبیعتاً به دنبال آن خواهند رفت، مانند آن مثالی که گفتیم در تهرانپارس اتفاق می‌افتد، نیاز است که آیین‌نامه‌های لازم به‌صورت واقع‌بینانه تعیین بشوند. این آیین‌نامه‌ها شامل آیین‌نامه‌های اجرایی و استانداردهای ادوات تصفیه و استاندارد نحوه ساخت آب خاکستری مصنوعی هستند، برای مثال چگونه باید ساخت که

دستگاه را تست بکنیم. چه طور و در چه دوره زمانی دستگاه را تست بکنیم و این پکیج‌ها باید به صورت بسته‌های تجاری قابلیت استفاده داشته باشند. این که یک نفر برود و خودش بازیابی آب خاکستری بکند نیاز به بررسی فنی همان یک مورد دارد و این بار بالاسری نظارتی خیلی سنگینی را به جامعه تحمیل می‌کند. بنابراین پکیج‌ها باید استاندارد باشند و هر شرکتی برای پکیج خاص بعد از طی ضوابط و مراحل مجوز تولید بگیرد و سپس برای بهره‌برداری نیز باید چهارچوب نظارتی داشته باشد، مانند چهارچوب نظارتی که برای آسانسور در ساختمان‌ها هست. همه این‌ها باید کنار هم در نظر گرفته بشود تا بتوانیم از آب خاکستری استفاده کم خطرتری داشته باشیم. اگر چه به عنوان یک راهبرد در سبد راهبردهای مدیریت جامع آب شهری راهبرد خیلی مناسبی نیست.

دکتر تابش: نکته اصلی که مطرح شد و می‌خواهیم به بحث بگذاریم این بود که برای غلبه کردن بر بحران آب و کمبود آب یکی از راه‌کارها استفاده از بازچرخانی است. قبلاً در فکر خیلی‌ها نبود که بازچرخانی مستقیم می‌تواند مخاطراتی داشته باشد، یعنی همان آب مصرف شده را بلافاصله آماده مصرف مجدد بکنیم. بنابراین اینجا ابتدا بحث بازیابی آب و سپس بازچرخانی مطرح می‌شود. این آب را طبق گرافی که نشان داده شد نمی‌توان همان زمان مصرف کرد. پس احتیاج به یک ذخیره‌سازی نیز در ساختمان پیدا می‌کند. همه این‌ها که هم شامل ضریب اطمینان آن تصفیه و هم بحث نگهداری آن می‌شود یک سری مخاطرات بهداشتی را دامن می‌زند که شاید در محاسبات اولیه ذهن ما وجود نداشته است. از طرف دیگر کل این فرایند از نظر اقتصادی با توجه به چیزی که مشاور اعمال می‌کند در شرایط موجود تعرفه ایران که متوسط فروش آب حدود ۴۵۰ تا ۵۰۰ تومان است باز هم به هیچ عنوان اقتصادی نیست. از طرف دیگر از آن‌جا که نمی‌توان همه را مجبور کرد که از یک تکنولوژی خاص استفاده بکنند، ایشان فرض کرده بودند که اگر ضریب نفوذ ۱۰ درصد گرفته بشود چه شرایط و مسائلی پیش می‌آید و سپس تأثیرات اجتماعی، زیست محیطی، اقتصادی و بهداشتی آن به چه صورت خواهد بود. یعنی آن چیزی که در ابتدا ما یا در واقع وزارت نیرو فکر می‌کرد که یک امر ناگزیر یا مسلمی است که باید از آن استفاده کرد که تنش آبی‌مان را در یک حدی با کاهش مصرف سرانه

آب در ساختمان‌ها جبران کنیم. نتیجه گزارش مشاور می‌گوید که از این ابعاد این بخش را توصیه نمی‌کند. حال آیا وزارت نیرو باید به دنبال این بحث برود؟ آیین‌نامه‌هایی که می‌خواهد بنویسد در چه حدودی باشد؟ آیا شرایط اقتصادی را ملاک بگیرد یا شرایط بهداشتی را ملاک بگیرد و گزینه‌های تأثیرگذار و قابل دستیابی برای وزارت نیرو چه چیزهایی خواهد بود؟



دکتر فاضلی: در بحث آب خاکستری داخل ساختمان چند تا نکته مهم است. یکی آن است که شرکت‌ها و سازمان‌های متولی آب و فاضلاب اجازه ورود به ساختمان را ندارند. بنابراین مدیریت چنین موردی باید توسط مدیران ساختمان یا افراد ساختمان انجام شود و شرکت آب و فاضلاب و سازمان‌های محیط‌زیستی نمی‌توانند این کار را انجام دهند. تنها می‌توانند مجوز دهند براساس رعایت یک سری آیتم‌ها که یک ساختمان سیستم بازیافت آب بگذارد و استفاده کند و آن سازمان براساس تعرفه‌ها مقداری به ساختمان تخفیف بدهد که با توجه به قیمت‌های مشخص شده باید تخفیفی بدهد که برای خودش مقرون به صرفه باشد و بتواند چنین کاری را انجام بدهد. بنابراین آب خاکستری وقتی در خانه تصفیه می‌شود مسئولیت کل اتفاقاتی که می‌افتد به عهده خود افراد خانه است. ما الان حتی در تصفیه آب خانگی مشکل داریم. یعنی کسانی که دستگاه تصفیه آب خانگی می‌گذارند آلودگی‌های خاصی در خانه‌ها اتفاق می‌افتد. به علت این که امکان پایش مستمر وجود ندارد خیلی از این دستگاه‌ها آلودگی میکروبی را تجربه کردند و آسیب‌هایی را به افراد خانه زده‌اند، حالا چه برسد به آب خاکستری که مشکلاتی که گفتم همه را دارد. آبی که ما استفاده می‌کنیم از چند مسیر وارد بدن ما می‌شود: یکی از طریق پوست، یکی از طریق آشامیدن و یکی هم از طریق تنفس. ما حتی سیفونی که استفاده می‌کنیم مقداری از این آب داخل هوا پخش می‌شود و احتمالاً اگر آلودگی میکروبی را

است و باید به آن توجه شود. نهایتاً نتیجه‌ای که گرفتند به نظر من از نظر اقتصادی و فنی نتیجه قابل قبولی است و باید به آن در این زمینه بیشتر توجه کرد.



دکتر اکبرزاده: من اول یک قسمت از بحث مهندس جمالی را تایید و تکمیل کنم. در موضوع مدیریت مصرف در منزل مسکونی همه جلوه‌هایی که دارد باید به آن توجه شود. مثال اولی را که خود ما بر روی آن کار کردیم را تاکید می‌کنم که برای همه دوستانی که از آب در منزل استفاده می‌کنند ملموس است. همیشه این مواقع که ما راجع به بهینه کردن مصرف آب در منزل صحبت می‌کنیم یا یک خبری را می‌بینیم که میکروفون را سمت یک نفر گرفته و می‌پرسد به نظر شما چه کاری می‌شود کرد؟ سریع آن طرف می‌گویند مثلاً در فلش تانکمان آجر بگذاریم که مصرف آب کم شود و از این چیزهای کلیشه‌ای زیاد گفته می‌شود. ولی از خودمان می‌پرسیم آیا کسی هست که در منزل این کار را کرده باشد؟ هیچ‌کس این کار را انجام نمی‌دهد، اما برای حرف زدن خوب هست. بنابراین حرف‌هایمان باید عملی باشد. ما این کار را از چندین سال قبل شروع کردیم که من جلوه‌های آن را خدمت شما بیان می‌کنم که مشاهده کنید چه مقدار عملی است. ما آمديم استانداردى را تعريف کردیم در حوزه لوازمی که شما در منزل استفاده می‌کنید و این‌ها یک حجمی از آب را مصرف می‌کنند. نمی‌گوییم هدر می‌دهند! مثلاً شما در هر بار فلش تانکی که استفاده می‌کنید فکر می‌کنید چند لیتر آب از آنجا خارج می‌شود؟ استاندارد قبلی کشور ۱۵ لیتر بوده و سقفی که الان تایید شده و استاندارد ملی گرفته است ۶ لیتر است. یعنی شما خواسته یا ناخواسته نمی‌توانید بیشتر آب مصرف کنید، که احتیاجی به هیچ توجهی هم نیست و لازم هم نیست که هیچ اطلاعی راجع به مدیریت مصرف داشته باشید. به هر حال ما در وزارت نیرو از نظر حاکمیتی باید کارهایی را بکنیم که

داشته باشد می‌تواند مشکلاتی را ایجاد کند. در بعضی از جاها دیده شده است که از این نوع آب‌ها برای آب‌های سطحی استفاده می‌کنند. دسترسی افراد غیرمسئول و غیر آگاه مثلاً ممکن است برای خانه مهمان بیاید و در جریان نباشد، اما افراد خانه می‌دانند که برای مثال آن شیری که زرد رنگ است آب خاکستری است یا شرب است ...

آب‌های دیگری وجود دارد مانند آب باران و آب‌های محیطی مانند آب چاه خصوصی و غیره که می‌توانند بسیار مناسب‌تر باشند برای این‌که از آن‌ها برای آب خاکستری استفاده شود و با یک تصفیه محدود و خوب می‌توان آن‌ها را کنترل کرد. مشکل اساسی که وجود دارد نگاه‌داشتن آب است. ایران کشوری نیست که مدام باران بیاید و ممکن است در یک فصل باران زیاد بیاید و یک فصل باران نیاید. برای مثال اگر آب باران بیاید، مراحل نگاه‌داشتن آب خیلی مهم است که بعداً بتوانند استفاده کنند. کشور ایران کشوری است که سابقه استفاده از آب باران را دارد و در دشت‌هایی مانند دشت ترکمن مردم آب انبار داشتند و آب باران را جمع می‌کردند و استفاده می‌کردند. نهایتاً نمی‌توان گفت که کلاً ممنوعه است و هیچکس نمی‌تواند از آب خاکستری استفاده کند. اما به نظر من تنها در جاهایی می‌توان آن را استفاده کرد که ساختمان دارای سازمان فنی باشد. یعنی درواقع یک مجموعه‌ای از افراد متخصص در ساختمان بتوانند کیفیت آب و روند تصفیه و روند استفاده آن را کنترل کنند، خارج از مسئولیتی که شرکت‌های عمومی و دولتی و خصوصی دارند. این هم طبیعتاً در ساختمان‌های کوچک و مجتمع‌های کوچک قابل استفاده نیست. در نتیجه می‌شود فرض کرد که یک شهرک خاصی وجود داشته باشد و یک سازمان فنی در آن شهرک مستقر شده باشد و از الف تا ی این قضیه را مدیریت بکند و نهایتاً آب را به آن شکلی که لازم است در بیاورد و مورد استفاده قرار گیرد. بحث دیگر این است که ما چرا می‌گوییم عمل بازگردانی آب انجام شود. Reuse می‌تواند نتیجه خوبی باشد. همین الان هم فاضلاب‌ها می‌آید و در تصفیه‌خانه فاضلاب تصفیه می‌شود. نهایتاً در پایین دست reuse یا استفاده مجدد می‌شود در صنایع و... البته برای کشاورزی، من کاملاً مخالف هستم که استفاده بشود، اما جاهای دیگر می‌تواند استفاده بشود. در ساختمان‌ها هم شاید برای آبیاری زیر قشری از آن بتوان استفاده کرد اما باید مدیریت بشود. همچنین ارتباط متقابل بین آب خاکستری تصفیه شده و آب شرب نیز مهم

غیر از آن که مسئولیت اجتماعی را گوشزد بکند خود ما هم حتما باید کارهایی را انجام دهیم. همین طور در حوزه استاندارد شیرآلات و استاندارد سردوش که اشاره کردند استانداردهای ملی تعریف شده است. این استانداردها معمولا اول تشویقی است و بعد اجباری می شود. یعنی بعد از این که اجباری شد هیچ تولید کننده ای نمی تواند محصولی را تولید کند که آب بیشتری خارج کند. نکته دیگر که خیلی کوتاه از روی آن می گذرم در حوزه فناوری است که روز به روز فناوری قوی تر می آید. بحث پراتورها وجود دارد که سال های سال است در وزارت نیرو صحبت می شود و به جز آن مواقعی که رایگان داده شده است استفاده دیگری زیاد نشده است. پراتورهای غیر استاندارد که در منزل استفاده می کنند به دلیل غیر استاندارد بودن معمولا باز می شود و آن قسمتی که می خواهد هوا را با آب مخلوط کند کنار گذاشته می شود. اگر عدد و رقم آن را خواستید می توانید با مراجعه به سایت هایی که در رابطه با پراتورهای مختلفی که بین المللی هستند مطلع شوید که واقعا عدد آن قابل تامل است. عدد آن در کل مصرف خانواده ۲۰ درصد است. یعنی شما اگر بتوانید ۲۰ درصد فقط با کاهش مصرف کاهش تولید بکنید ایده آل است و اصلا لازم نیست کار دیگری انجام دهید، حتی اگر بارندگی کم شود یا هر اتفاق دیگری بیفتد. بنابراین یک نکته که تایید و تکمیل فرمایش دوستان بود در حوزه استفاده از فناوری ها و استانداردها و بحث هایی است که به صورت اتوماتیک شما می توانید مصرف آب را منطقی تر بکنید.

در ارتباط با بحث آب های خاکستری من چند نکته را بگویم. من به دلیل این که افتخار این را داشتم که مجری نقشه راه سیستم های تصفیه فاضلاب نوین کشور باشم، یک سری نکاتی را خدمت شما بیان می کنم که خروجی های آن است و ما در بعضی از جلساتمان به آن رسیدیم. البته یک سری اتفاق ها می افتد در صحبت کردن که معمولا آب سبز و آب خاکستری و آب سیاه قاطی شده و جای یکدیگر هم استفاده می شوند. توجه به این نکته خیلی مهم است که ما اگر درباره سیستم تصفیه آب فاضلاب خانگی صحبت می کنیم یا راجع به سیستم بازیافت آب خاکستری حرف می زنیم و یا باز چرخانی آب سبز، این سه با هم کاملا متفاوت هستند.

نکته دوم که باید به آن توجه کنیم و یک دفعه قضاوت نکنیم که بد است یا خوب است، این است که موضوع سیستم های

بازچرخانی و بازیافت آب بستگی به نوع ساختمان دارد. اگر ویلا باشد کاملا سیستم تصفیه فاضلاب منفرد برایش مناسب است و سیستم دیگری جواب نمی دهد. مثلا شما برای یک ویلا در منطقه دور افتاده کار دیگری نمی توانید بکنید. ساختمان های دیگر نیز مثل همین ساختمان ها که ما در محله مان داریم مانند ۱۰ واحد در ۵ منطقه و ساختمان های بلند و مجتمع های مسکونی که باید برای آن ها نیز تصمیم بگیریم که چه کاری می خواهیم بکنیم. من در رابطه با ساختمان های بلند و مجتمع های مسکونی نمی توانم این قضاوت را بپذیرم که نباید برای آن ها سیستم تصفیه فاضلاب قرار داد. بازیافت آب خاکستری برای آن ها ۱۰۰ درصد توجیه دارد که این مطلب را با علم به این موضوع بیان می کنم. هم چنین درباره تصفیه آب فاضلاب آن نیز باید بررسی بیشتری بشود. ساختمان های بسیار بزرگی ما داریم که مصارف عظیمی دارند، مثلا ساختمان هایی که به صورت برج هستند. یکی از مصارف عمده آن ها کارواش است. کسانی که در برج هستند معمولا وضعیت مالی خوبی دارند و یک روز در میان یا دو روز در میان ماشین شان را به کارواش می دهند و با آن آب شسته می شود که یا باید آن آب را بخرند یا چاه داشته باشند و یا از آب شهری استفاده بکنند. این ها می توانند همان آب جایگزین یعنی آب ساختمان آن برج را برایش استفاده بکنند، البته باید ضوابطی را برایش اجرا بکنند.

نکته دیگری که از پروژه آن طرح به نظر من دارای اهمیت است بحث تصفیه درجا است که در کشورهای اروپایی به عنوان یک رویکرد وجود دارد. لازم نیست یک آپارتمان حتما خودش این سیستم را انجام بدهد و می تواند موقعی که دارد ساخته می شود (نه برای جاهای ساخته شده) زیرساخت آن طوری طراحی بشود که یک منزل بتواند این سرویس را به چند تا از منازل اطراف بدهد. من مستندات نمونه این کار را دارم و در هلند انجام شده است و کاملا خانه های اطراف از آب بازیافتی دارند استفاده می کنند. آخرین نظر من از نظر محاسبه اقتصادی این است که خیلی قضاوت روی این که در کدام کشور چگونه محاسبه شده و چند درصد است نکنید. من همین پروژه ای که آقای جمالی راجع به آن صحبت کردند، این آقا را من خودم به وزارت نیرو معرفی کردم در زمانی که موسسه تحقیقات آب بودیم. من نمی دانم عدد و رقمش را گرفتند یا نه اما من خدمت شما عرض می کنم. پولی که ایشان برای تصفیه خانه داده ۳۶ میلیون تومان بوده است. ۱۰ واحد را ساخته و از هر کدام از

واحد ۳/۶ میلیون تومان گرفته است که آن‌ها موقعی که واحد را خریدند اصلاً متوجه نشدند که ۳/۶ میلیون تومان برای این سیستم بوده است. اتفاقاً بسیار بسیار تشویق شده‌اند که این ساختمان را بخرند به دلیل آن که کسی که فروشنده بود به آن‌ها گفته بود که برای شستن حیاط و ماشین، استفاده برای آب کولر، شستن جلوی خانه، سیستم تصفیه فاضلاب وجود دارد. یعنی در آن‌جا سیستم اصلاً آب خاکستری نیست و مجموعه آب‌هایی که در ساختمان تولید می‌شود در پکیج تصفیه می‌شود و از نظر ضد عفونی نیز شرایط بدی نداشت. هرچند در آن‌جا هم ما نظرداریم. بنابراین از لحاظ اقتصادی وضعیت کشور ما به خصوص در حوزه مسکن و به خصوص کسانی که پول میدهند برای مسکن لوکس که خیلی هم زیاد هستند، آن‌ها می‌توانند در زمره افرادی قرار بگیرند که موضوع اقتصادی بودن اصلاً برای آن‌ها مهم نیست. همین موضوع نیز در شیرآلات وجود دارد. مثلاً وقتی یک نفر می‌رود و یک پکیج شیر را چند ده میلیون تومان می‌خرد، اصلاً برایش این چیزها مهم نیست که یک میلیون بالاتر باشد یا پایین‌تر. بنابراین بحث اقتصادی هم وجود دارد.

جمع‌بندی ما از این بحث این بود که این بحث به طور کلی قابل رد کردن نیست. درست است که ما نظارت محیط زیستی و بهداشتی روی خانه‌ها نداریم، ولی برای مجتمع‌های مسکونی و ساختمان‌های بلند قابل استفاده است و کار وزارت نیرو هم نیست بلکه کار چند بعدی است، به خصوص شامل وزارت مسکن میشود و در ضوابط ساخت مسکن باید آن را بیاورد. در وهله اول این ساختمان‌ها می‌توانند همه شرایط را داشته باشند، هم تصفیه‌خانه خوب داشته باشند و هم نظارت برای آن تعریف شود که چه طور نظارت شود و هم بخش عمده‌ای از آب‌های دیگر که نباید استفاده بشود را استفاده نکند. ممنونم.



دکتر یارقلی:

من خیلی مختصر می‌خواهم به مسئولین دانشگاه یک

توصیه‌ای بکنم. ما در کشور الان از لحاظ بحث‌های سازه‌ای از نظر متخصص کم و کسری نداریم. بحث‌های مشابه این بحث مانند بحث‌های کیفی و استفاده از آب‌های نامتعارف ما به شدت نیروی متخصص کم داریم و می‌طلبید که دوستان هم دانشجویان هم اساتید توجه بیشتری به این امر داشته باشند.

من صحبت‌هایی که دارم بر اساس پاورپوینت‌هایی که مهندس جمالی ارائه دادند است. ممکن است که ایشان اسناد پشتیبانی قوی و کامل‌تری داشته باشند که به هر حال آن را من ندیدم. صحبت‌هایم را با چند تا پیشنهاد در بحث فنی خود پروژه شروع می‌کنم و در نهایت با یک جمع‌بندی در خدمتان هستم. من معتقدم شاخصی که برای بهداشتی مد نظرشان بوده است شاید برای این بخش از آب شاخص مناسبی نبوده است. ما شاید ویروس‌های روتاری را در این منابع شاهدش نباشیم. ما بار آلودگی آب خاکستری‌مان بسیار کم است و می‌تواند با انتخاب منابع، کمتر هم بشود. نظر شخصی من این است که آلودگی میکروبی خیلی نگرانی برای ما ندارد و با روش‌های ضد عفونی ارزان قیمت می‌توانیم این نگرانی را برطرف کنیم. بحث بعدی من این است که من انتظار داشتم که یک تحلیل کیفی از این منابع ارائه بشود که بیشتر براساس معیارهای جهانی کشورهای مختلف بود. شاید هم اصلاً این تحلیل نشده باشد. ولی لازم است بدانید در کشور در میانگین جامعه ما این منابع چه کیفیتی را دارد؟ آیا بار میکروبی خاصی دارد؟ BOD, COD و نسبت عناصر آن برای فرایند تصفیه چه شرایطی را دارد؟ بحث بعدی من هم با آقای دکتر اکبر زاده موافق هستم. قیمت تمام شده به نظر خیلی خیلی بالا محاسبه شده است. شاید مستندات آن را بعداً ببینیم ولی با معیارهایی که ما الان در جامعه داریم عدد درشتی به نظر می‌آید با توجه به سیستم‌هایی که مدنظر آن‌ها بوده است و این می‌تواند روی تصمیم‌گیری موثر باشد اگر اقتصادی‌تر باشد. این‌ها بحث‌های جزئی بود که در ارتباط با خود کار بود. اگر بخواهیم این بحث را در جمع‌بندی رد یا تایید کنیم من می‌خواهم بگویم معیار تصمیم‌گیری ما وضع موجود کشور نباشد. ما الان یک اصول معماری و شهرسازی داریم که در تحول است. ما قطعا در آینده شهرک‌سازی خواهیم داشت، مجتمع‌های مسکونی بزرگ خواهیم داشت. این‌طور بحث‌ها از نظر اقتصادی به سمت توجیه‌پذیر بودنش می‌رود. شاید برای یک منزل مسکونی یک آپارتمان کوچک یا یک ساختمان چند طبقه از لحاظ اجرایی یا

فنی یا کاربری قابل توجه نباشد، اما نظر شخصی من این است که ما آن را ۰ و ۱۰۰ نبینیم و باز بگذاریم برای تصمیم‌گیری چون اصول شهرسازی و معیار خانه‌سازی ما دارد به تبع از جهان حرکت می‌کند و به علاوه این که به نظر من در این زمینه دیگر حق انتخاب نداریم. ما مشکل آلمان خیلی حاد است. دو تا راه بیشتر نداریم یا باید مدیریت مصرف داشته باشیم یا بحث بازچرخانی. مدیریت مصرف هم حدی دارد و سرانه را از یک مقدار بیشتر نمی‌توان کاهش داد. پس برمی‌گردیم به مدیریت بازچرخانی و من معتقد هستم که باید روی اقتصادی کردن و فنی کردن این قضیه پیش برویم و آن را رد نکنیم.



دکتر صراف‌زاده: من می‌خواهم ۵ نکته را خدمت شما بیان کنم که از دل این‌ها و مجموعه ارزیابی صحبتی که آقای مهندس داشتند بتوان به نتایجی رسید. من کل طرح ایشان را ندیدم و فقط یک جمع‌بندی نهایی ایشان را مطالعه کرده بودم و با این توضیحات شفاهی‌شان من مجموعه اطلاعاتی که از طریق ایشان جمع‌آوری شده دارم.

اما نکات: ببیند آب خاکستری معنی‌اش در همین عنوانش است. خاکستری به چه معنا است؟ نگاه خاکستری داشتن یعنی چه؟ ما باید نگاه‌مان را از نگاه ۰ و ۱ و منطق اقلیدسی ببریم به سمت منطق فازی. آب خاکستری را نمی‌توان گفت رد یا قبول. آب خاکستری اگر دقت بشود به مفهومش، راه‌کار در خود همین مفهوم است. خاکستری بین سفید و سیاه است. خاکستری به سفید نزدیک است یا به سیاه نزدیک است؟ در طبقه‌بندی آب که می‌خواهیم تصمیم بگیریم نمی‌توان گفت آب خاکستری کاملاً رد یا قبول. اگر شما یک تصویری را داشته باشید از یک شبکه‌ای که قرار است آب خاکستری را جدا کند از آب فاضلاب که به آب سیاه شناخته می‌شود. حالا شما اگر بتوانید آن عامل جداکننده آب خاکستری را درست انتخاب کنید، یعنی آن سنسوری که به ما می‌گوید این آب باید به

فاضلاب برود یا ویژگی‌هایی دارد که برای بازیافت مناسب است و باید جزو آن آب برود. اگر آن را باز بگذاریم که متناسب با سطح اقتصادی و سطح فنی فناوری بازیافت که قرار است در این سیستم انجام بشود، آن تنظیم را متناسب با آن انتخاب کنیم. دیگر بحث این که ما کلاً رد کنیم یا قبول کنیم مطرح نخواهد بود. البته مهندس جمالی صحبت کردند و گفتند که بعضی از کشورها کلاً رد کردند. مثلاً گفتند که رژیم اشغالگر قدس کلاً رد کرده است. من نمی‌دانم شاید در آن کشور هیچ‌وقت یک هد ۷۰۰ متری از جنوب تهران تا شمال تهران را برای بازیافت ندارد و یا شاید مجموعه شبکه‌ای را که برای کل تصفیه‌خانه فاضلاب آن طراحی کرده اگر بیاید و آن آب خاکستری را توجه نکند عملاً آبی باقی نماند برای آن شبکه. در نتیجه نمی‌توان مقایسه کرد و هر مورد را باید در شرایط خاص خودش و شرایط بومی ایران ارزیابی کرد.

نکته سوم به نظر من عنوان این طرح اصلاً مناسب نیست. ما باید رویکردهایمان به جای این که برود به طرف مدیریت تامین، برود به طرف مدیریت تقاضا و مصرف. اما این عنوان طوری انتخاب شده است که خلاف اهدافی است که برای این طرح در نظر گرفته شده است. شاید عنوان مناسب‌تر برای چنین کاری که کل مجموعه را مانند یک پکیج می‌دید مثلاً در قالب ساختمان سبز دیده می‌شد، یا در قالب ساختمان‌های حساس به آب، یا هر ادبیات نرمال و مناسب دیگری که به جای آن که بحث تامین را برجسته کند به بحث مصرف توجه کند. بنابراین ما باید در ساختمان‌ها کل یک مجموعه را به صورت یک پکیج ببینیم. پکیجی که هم در آن موضوع کاهش و بهینه‌سازی مصرف و هم بحث reuse و recycle دیده شده است. این ۳ استراتژی باید در کل پکیج دیده شود.

نکته بعدی در ارتباط با علاقه شخصی خود من است که ترجیح می‌دهم یک موضوع در حوزه انرژی نیز برایش مترادف قرار دهم. ما در کشورمان بحث آب و انرژی را که نگاه می‌کنیم در حوزه انرژی مجموعه‌های ذی‌ربط یک خط هم جلوتر از بحث آب هستند. شاید هم علت دارد. علت آن هم این است که قبلاً ما فکر می‌کردیم که نفت زودتر تمام می‌شود و ما به مشکل می‌خوریم، بنابراین در حوزه انرژی ما یک قدم جلوتر هستیم. همیشه بعضی از قوانین و استانداردهایی را که لازم بوده قبل از حوزه آب تصویب کردیم. مثلاً ما بحث اصلاح الگوی مصرف انرژی را و آیین‌نامه‌های اجرایی صرفه‌جویی در مصرف انرژی

را در ساختمان داریم که این آیین‌نامه‌ها می‌توانست یک الگو باشد در این طرح و طرح‌های مشابه که در حوزه آب، همان‌ها مدنظر قرار بگیرد. فرض کنید زمانی که آیین‌نامه اصلاح انرژی در ساختمان در دست تدوین بود، مثلا در مذاکرات بررسی همان آیین‌نامه هم یک نفر می‌گفت پنجره‌ها را دو جداره نکنید، زیرا اگر این کار را بکنید گردش هوا در آن‌جا خوب انجام نمی‌شود. ممکن است تبعات بهداشتی داشته باشد. این رویکردی که ما به آب خاکستری داشته باشیم و با آن نگاه، نگاه کنیم به‌نظر من باز هم یک نگاه از جنس ۰ و ۱ است. ما باید خاکستری ببینیم این موضوع را. در حوزه انرژی چون ما یک قدم جلو هستیم. خیلی از آن‌ها را می‌توانستیم الگو قرار بدهیم. در حوزه انرژی ما مثلا بحث برداشت صیانتی از مخازن نفت را داریم، ولی در حوزه آب نداریم. یعنی وقتی پارامترهای مختلف را نگاه می‌کنیم شاید ما در حوزه آب یک نگاه عقب‌تری را داریم که در همان حوزه بحث ساختمان هم خیلی خوب بود که مشاور طرح یک نگاهی به کارها و سابقه‌ای که در حوزه انرژی ساختمان‌ها صورت گرفته می‌داشتند که آن بحث ساختمان سبز را در بحث آب آن به‌صورت یک پکیج خوب دریاورند.

دکتر تابش: همان‌طور که دیدید یک طیفی از نظرات توسط دوستان ارائه شد. آقای دکتر فاضلی تقریبا هم رای بودند با مشاور. آقای دکتر اکبر زاده روی مدیریت مصرف آب و کاهش مصرف تاکید شدید داشتند و برای ساختمان‌های بلندمرتبه این قضیه را توصیه می‌کردند. آقای دکتر یارقلی بحث‌های بهداشتی را به‌این شدت که مشاور گفته تایید نمی‌کردند و آقای دکتر صراف‌زاده هم گفتند ما نباید راحت از این بحث بگذریم و به‌راحتی نمی‌توان آن را رد کرد و در حوزه‌هایی قابل‌استفاده است.

مهندس جمالی: این داستان ۴۰-۵۰ سال است که ادامه دارد و در این میزگرد و این پنل هم حل نخواهد شد و این موضوع محل مجادله بوده است. آقای دکتر اکبرزاده به چند موضوع اشاره کردند که یک بخشی از آن را من رویش خیلی تاکید می‌کنم. در واقع سبد راهبردهای ما برای کاهش سرانه، سبد متنوعی است از راهبردها که آن‌ها کنار هم درنظر گرفته شده‌اند. ایشان به بحث این‌که در بعضی ساختمان‌ها ممکن است بازچرخانی اقتصادی باشد اشاره کردند. ببینید این ممکن

است و درست است. در دنیا برخی مطالعاتی که انجام شده است بستگی به خیلی چیزها داشته است. ولی برای نمونه بیان می‌کنم و نتیجه‌ای نیست که در همه دنیا این شکلی باشد ولی مطالعات نشان داده‌اند ساختمان مسکونی که از حدود ۴۰ واحد بالاتر می‌رود کم‌کم به آن نقطه مرزی که به‌سمت اقتصادی شدن پیش می‌رود نزدیک می‌شود. این فقط یک نمونه بود و ممکن است جاهای دیگر متفاوت باشد. بنابراین در این‌جا این داستان وجود دارد که با بزرگ شدن اقتصادی می‌شود. اما یک بحثی که هست از نظر فلسفی، نگاه به‌این که آیا مدیریت بهداشت عمومی در حوزه بخش عمومی است یا حوزه بخش اشخاص در حوزه آب؟ در ۱۰۰ سال گذشته شکست اساسی این نمودار ناشی از صدمات ناشی از بیماری‌های مربوط به آب که در جهان اتفاق افتاده است ناشی از فلسفه کنترل بحث مدیریت توزیع و تامین آب و تصفیه آن در دست بخش عمومی بوده است. یعنی ما بحث تمرکززدایی را در این مرز باید درنظر بگیریم. تمرکززدایی یکی از چیزهایی است که الان خیلی رویکرد مثبتی دارد و در دنیا دارد اتفاق می‌افتد اما تا کجا؟ یک شهرک مثلا می‌تواند تصفیه‌خانه داشته باشد اما در اختیار بخش خصوصی گذاشتن ۰ تا ۱۰۰ آن که عملا اتفاق می‌افتد، وقتی که ما می‌آییم و مثلا در یک برج ۱۶ طبقه بازیابی آب خاکستری را انجام می‌دهیم، این یک مقدار مشکل دارد. فقط بحث اقتصادی نیست و هر دوی این موضوع‌ها وجود دارد. روی این موضوع می‌توان بحث کرد و در راهنما به آن پرداخته شد. بحث سوم که آقای یارقلی اشاره کردند که واقعا فکر کنم خیلی هم غیربهداشتی نیست. نکته این‌جا است که ما یک موقع استنباط خودمان را درباره‌اش صحبت می‌کنیم اما یک موقع هم هست که ما مستند هم می‌کنیم و می‌گوییم این فرض و این هم مدارک و مستندات آن. تمام مطالعاتی که در دنیا انجام شده است تاکید می‌کنند که مکرر نتایج آن‌ها داخل جداول مختلف در راهنما آمده است. اشاره می‌کنند که آب خاکستری مخاطره برانگیز است. چند تا عامل میکروبی هستند که در دنیا هم در مطالعاتی که انجام شده به‌عنوان شاخص‌های مرجع برای تحلیل بهداشتی آن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یعنی کاملا خیالتان راحت که همین‌طوری سلیقه‌ای نبوده است. یک نکته‌ای که من در پرانتز بیان بکنم و باعث خوشبختی و خوشحالی است برای من، این است که ما به‌جای این‌که فکر بکنیم، در تدوین این راهنما بسیار بسیار مطالعه

کرده‌ایم. یعنی سخت ممکن است کسی بیاید و بگوید این منبع هم بوده است و یا این کد هم بوده است در فلان کشور و شما حواستان به آن نبوده است. بالغ بر ۳۰۰ تا کد و کتاب در این باره شخم خورده اند و طبیعتاً این‌ها منعکس شده و مراجع هم هستند و داخل متن هم کاملاً دقیق اشاره شده است و هر کسی می‌تواند آن‌ها را ردیابی کند و خلاف آن اگر مدرکی هست ارائه کند.

نکته آخر درباره منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها هستند که به آن‌ها منابع آب جایگزین می‌گویند. حال چرا ما به آن‌ها می‌گوییم منابع آب جایگزین؟ به دلیل آن‌که آن‌ها منابعی هستند که به جای آب آشامیدنی که تامین می‌کنیم مطرح هستند و در ساختمان می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند و منابع محلی هستند. منابعی که در خود ساختمان از محل بازیابی می‌توانند در دسترس قرار بگیرند. بنابراین این موضوع سلیقه‌ای نبوده است. نکته دوم: آب خاکستری که ما نگاه کردیم بحث آب خاکستری در ساختمان‌ها است. منابع جایگزین در ساختمان‌ها یعنی آب باران و آب خاکستری در ساختمان‌ها. حوزه کلی که آب خاکستری می‌پوشاند وسیع تر است. آب خاکستری هر آبی است که بعد از استفاده تا استانداردهای لازم برای تخلیه به محیط یا کاربرد در نظر گرفته شده مناسب است. پس ما آب خاکستری داریم که در ساختمان‌ها رد می‌کنیم. آب خاکستری را به عنوان یکی از اجزای آن سبد مدیریت جامع آب رد نمی‌کنیم. من در واقع شاید خلاصه مسائل اصلی را بیان کردم ولی خیالتان راحت که روی این‌ها بررسی‌های لازم انجام شده است و می‌شود این بحث را ادامه داد.

یکی از حضار: آب خاکستری در ساختمان را باید مثل دارو دید. آن تصفیه‌ای که وارد ایران می‌شود هیچ‌کدام برایش استانداردسازی نمی‌شود برای تجاری و فقط برای تولید آن استانداردسازی می‌شود. پس بهتر است در رابطه با آن مانند دارو عمل شود. دارو قبل از آن‌که وارد شود باید وزارت بهداشت آن را تایید کند. منبع اصلی را بازدید کند. بعد تازه می‌تواند مجوز بگیرد و وارد شود.

درخصوص بحث آب خاکستری تنها ما نیستیم که تصمیم می‌گیریم و گروه‌های دیگر هم می‌توانند تصمیم بگیرند. ما ساختمان‌سازی‌های جدید داریم. بازسازی‌ها را داریم که در همه این‌ها می‌توان اعمال کرد. در مورد هزینه آن همین الان

در برخی خانه‌های جنوب تهران که دارد بازسازی می‌شود در ۴ طبقه ۸ واحد دارند. این‌ها را لاکچری می‌سازند. سنگ مثلاً متری ۲۰۰ هزار تومان کار می‌شود. این هزینه آن‌چنانی ندارد که بخواهد در تاسیسات بیاید. الان بحث پکیج‌هایی که دارند در طبقات می‌زنند در آینده نزدیک مشکلاتش را خواهیم دید. سیستم جدید ساختمان‌سازی دارد مانند سیستم‌های اروپا و جاهای دیگر می‌شود که مثلاً بخشی از خانه‌ها را می‌آورند طبقه پایین. خب آب خاکستری هم همان پایین است. مجتمع‌های بزرگ دارد ساخته می‌شود که کارواش و چیزهای دیگر دارد. مجوز چاه می‌دهند به آن‌ها.

بعد درباره آلودگی که شما گفتید که می‌گویند کم است درست است. صنایع داخلی ما دستگاه سختی گیر ساختند. آب خیلی از آن نیز برای خوردن بوده است. سختی‌گیری که ساختند فلزی بود. در ابتدا داخل آن از اپوکسی استفاده نکردند و مواد چند سری عوض شد و رسیدند به این نتیجه که این کار را می‌شود انجام داد. همان‌طور که آقای دکتر صراف‌زاده گفتند درباره مصرف یک صحبت‌هایی کردید. جایگزینی این منابع آب در این جا جواب نمی‌دهد و باید روی مسئله مصرف آن کار کرد، فرهنگ سازی کرد و همه سازمان‌ها هم باید موازی باهم حرکت کنند. یک کالا که وارد می‌شود استاندارد بشود و تولیدگرها کمک کنند در انتقال تکنولوژی کار کنیم و چیزی که سازمان ملل می‌گوید ما را آسیا غربی می‌داند ما نرویم به دنبال آمریکا. نرویم هلند را بیاوریم. فرهنگ‌ها فرق می‌کند. خیلی کشورها وضو گرفتن ما را ندارند. آبکشی ما را ندارند. ما سرانه مصرف روزانه‌مان ۱۵۷ لیتر است برای هر نفر. ۱۰۰ لیتر آن برای حمام و دستشویی و لباس‌شویی است. به نظر من باید روی این کار کرد، همان‌طور که روی فاضلاب شهری کار کردند. درست است که در تهران به مشکلاتی می‌خوریم. همین فاضلابی که الان به خانه‌های قدیمی دارند وصل می‌کنند اما در آینده همین خانه قدیمی می‌شود یک خانه جدید اما آن شبکه فاضلاب درست به آن وصل نمی‌شود.

یکی دیگر از حضار: من می‌خواستم یک سوال بکنم و ببینم در این تحقیق اصلاً به ایران اشاره شده است؟ آیا سابقه‌ای در ایران دارد برای آب خاکستری، به جز آن ساختمانی که اشاره کردند آقای دکتر. چند مورد شما بازدید کردید؟ یک نکته‌ای من می‌خواهم اشاره کنم. در ایران الان بیش از ۵۰ مورد سیستم

آب خاکستری نصب شده است و دارند استفاده می‌کنند. چندین نکته بود که من فکر می‌کردم اگر روی ایران تمرکز می‌کردید شاید نتایج‌تان بهتر از آن ۳۰۰ تا ترم یا سندی بود که اشاره کردید. بهترین سندی که به آن گذرا اشاره کردید و گذشتید همان BS8525 بود که در آن به شما اجازه داده حتی براساس آن استاندارد آب خاکستری تصفیه شده را برای آبیاری پاششی هم استفاده کنید که اجازه داده‌اند برای ماشین لباسشویی هم استفاده کرد. پس ما می‌توانیم آب خاکستری را به سطحی از استاندارد برسانیم که در ماشین لباسشویی هم استفاده بشود و این اتفاق در همین ایران خودمان الان دارد می‌افتد. یک نکته دیگری هم که باید به آن اشاره کرد و فکر می‌کنم آقای دکتر اکبرزاده و فاضلی به آن اشاره کردند این است که شما باید بدانید این نسخه را برای چه کاربری می‌خواهید ببینید. ما در مصارف اداری به ازای هر نفر در هر شیفت ۸ ساعته کاری ۵۰ لیتر آب مصرف می‌کنیم. براساس همان استاندارد که فلش تانک ۱۵ لیتر آب مصرف می‌کرد ۳ بار اگر فلش تانک را بکشند ۴۵ لیتر، یعنی بالای ۹۰ درصد از مصرف در کاربری اداری فلش تانک است. این مصرف فلش تانک را خیلی راحت می‌توانستیم با آب خاکستری جایگزین کنیم. منظور من این است که باید دید آب خاکستری را برای چه کاربری و کجا می‌توان استفاده کرد که بهترین جواب را به ما بدهد.

یک نکته دیگری من درباره قیمت آن بگویم. جایی را ما می‌شناختیم که برای هر مترمکعب آب پارسال ۴۰۰۰۰ تومان پول می‌دادند و با آن حمام می‌کردند. نکته این است که بحث قیمت خیلی جاها مطرح نیست. بحث بود یا نبود مطرح است. یعنی شما وقتی در اصفهان از صبح تا شب آب را قطع می‌کنند یا فشارش را کم می‌کنند، آن جا دیگر قیمت مطرح نیست. در شیراز به شما اجازه نمی‌دهند با آب شهری باغچه را آبیاری کنید. اگر باغچه را آبیاری کنید کنتور را می‌کنند و می‌برند. یا برج خنک‌کن در یزد اجازه ندارید که استفاده کنید. الان ساختمان‌هایی که در یزد ساخته می‌شوند برج خنک‌کن اجازه ندارند استفاده کنند. یک مثال هم برای‌تان بزنم که شاید جالب باشد. در شیراز شهرداری شیراز ۴-۵ سال قبل طرحی را تدوین کرد که اگر بام سبز احداث بکنیم و برای آبیاری بام سبز از آب خاکستری استفاده بکنیم، آن جا به شما یک طبقه تشویقی می‌دهند. بیش از سیصد پروانه در عرض یک ماه در این خصوص صادر شد. ادامه کار از آن سیصد تا پروژه،

چهل - پنجاه تا پروژه‌اش اجرا شده و از آب خاکستری بیش از چند سال است که استفاده می‌کنند.

عرض بنده این است که ما اگر حالا گروه‌های مختلف را مثل سازمان نظام مهندسی، آب و فاضلاب، دانشکده پزشکی، این مبانی مربوط به استانداردسازی را از a تا z اگر توانستند تدوین بکنند. الان ما در مبحث شانزدهم ساختمان یک اشاره کوچک کردیم که رایزر آب خاکستری باید جدا باشد. بعد به آن رایزر آب خاکستری رنگ زده و استفاده شود. در صورتی که این می‌تواند (حالا می‌دانم که دوستان دارند رویش کار می‌کنند)، تدوین بشود با همان استانداردهایی هم که دارد. استانداردهای خوبی مثل BS8525 تمام موارد را عنوان کرده و شما می‌توانید تا آن سطح این فاضلاب را تصفیه کنید. ممنون و متشکر.

یکی دیگر از حضار: ضمن سلام و تشکر از اساتید محترم. اول تشکر می‌کنم. من تا حالا جلسه همفکری که به این مدت قبل از اجرای قانون در ایران برگزار شود و بخواهند تمام نظرات را بشنوند ندیده بودم. خیلی جلسه مثبتی است به نظر من. یک ابهام داشتم و دو تا سوال. ابهام این بود که الان ما بحثمان بود و نبود آب هست یا هزینه تمام شده برای دولت؟

ببینید اگر می‌خواهیم به بخش خصوصی واگذار کنیم همان جوری که دوستان فرمودند، الان پنج طبقه صد متری ساختنش در تهران دو میلیارد تا دو میلیارد و پانصد میلیون هزینه دارد. بحث تصفیه آب شاید عددی محسوب نشود. همان طوری که جناب دکتر اکبرزاده فرمودند خیلی هزینه‌های دیگر می‌شود که شاید تصفیه آب نسبت به آن‌ها هم توجیه‌پذیرتر است، هم شاید رغبت زیادتری به آن باشد، وقتی فرهنگش وجود داشته باشد. همین ساختمان سبز که جناب دکتر صراف‌زاده فرمودند اگر فرهنگش باشد مردم خودشان، همان‌طور که می‌روند سنگ اسپانیایی پیدا می‌کنند و وارد می‌کنند، شیوه به‌صرفه‌ای هم پیدا می‌کنند. اما از این بابت سوالم این‌جا است که همان‌طور که جناب آقای مهندس جمالی فرمودند آیا بحث ما این است که می‌خواهیم این هزینه را بیاوریم در این زمینه هزینه کنیم؟ ببینید تا آن جایی که بنده اطلاع دارم نسبت مصرف آب کشاورزی به آب شهری واقعا خیلی متفاوت است. اگر بحث بود و نبود است شاید این هزینه را ببریم در کم کردن مصرف آب کشاورزی شاید بهتر باشد. اما اگر بحث انتقال بخش دولتی به بخش خصوصی است، شاید

همین پلکانی کردن مصرف آب که حالا هزینه‌اش دارد دیده می‌شود، این خودش مشمول است. فقط کافی است که یک مقداری به سمت فرهنگ این که این مورد، قضیه لوکسی نیست برویم، شاید مردم خودشان وارد بکنند این مسئله را. حالا لطف کنید بفرمایید الان مسئله چیست؟ مسئله بود و نبود است یا هزینه، و دوم هم این که آیا مثلاً آن سیاست‌هایی که می‌فرمایید تعامل بین سازمان‌های مختلف قرار است به وجود بیاید یا قرار است که فقط صرف آیین‌نامه‌ای باشد که در وزات نیرو هست؟ خیلی ممنونم.

یکی از دیگر حضار: یک پیشنهاد دارم. اگر قرار است که هم‌چنین نشستی با هم‌چنین عنوانی ادامه پیدا بکند من اول خواهم این است که حداقل نظام مهندسی ساختمان تهران حضور داشته باشد. چون نقششان خیلی مهم است در این تصمیم‌گیری. در این سیاست‌گذاری قطعا دوستان مطالعاتی داشتند، کارهایی و پیگیری‌هایی انجام دادند. پیشنهاد دوم بحث موضوع نشست است. ما بیشتر صحبت‌هایمان رفت سمت آب خاکستری. آیا صرفاً آب خاکستری مصرفش فقط برگرداندن در ساختمان است؟ ما دغدغه داریم و ریسک‌هایش را بررسی می‌کنیم. چون ریسک‌هایی خواهد داشت و ما در ایران نتوانستیم مباحث نظارتی را خوب پیاده کنیم، کامل ردش کنیم. همین الان که ما داریم صحبت می‌کنیم در همین کشور ژاپن در شهر توکیو که یک کلان شهری هست مثل تهران، دارند در خیلی از مناطقش این کار را عملیاتی می‌کنند. هم در استفاده از آب خاکستری، در بحث فلاش تانک و هم در بحث آبیاری فضای سبز. شهر توکیو، بالای ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال متوسط بارندگی‌اش هست. در کشور ما متوسط بارندگی ۲۰۰ میلی‌متر است. آیا با این وضعیت منابع آب و حالا ریسک‌هایی که ما داریم صحبت می‌کنیم به راحتی امکان‌پذیر نیست که از آن عبور کنیم؟

می‌خواستم این را بگویم که اگر این نشست بخواهد ادامه پیدا بکند، عنوانش بشود راه کارهای استفاده از آب خاکستری. صرفاً مصرفش استفاده در ساختمان‌ها نیست. این را خواستم تذکر داده باشم. یک بحث فنی که الان مطرح هست در کلانشهرها، یک تفکر این هست که ما بیاییم تمام آب مصرفی‌مان را از طریق شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، که همین الان هم داریم در خیلی از شهرهایمان و در واقع می‌توانیم بگوییم نسبت به

خیلی از کشورهای دیگر ما خیلی جلوتر هستیم، یک راه‌کارش این است که ما بیاییم تمام آب مصرفی را وارد شبکه فاضلاب بکنیم. بعد بیاییم یک تصفیه‌خانه‌ای بزنیم و ببینیم که تصفیه‌خانه فاضلاب شهری چه خروجی را به ما خواهد داد. اگر حالا بیاییم روی خروجی آن تصفیه‌خانه فاضلاب بررسی بکنیم که چه قدرش را بدهیم سهم فضای سبز و چه قدرش را سهم صنعت، چه قدر سهم کشاورزی تا بتوانیم آب خامی که قبلاً برای آن‌ها استفاده می‌شد را ذخیره کنیم برای حداقل تامین آب شرب. منتهی تفکر جدیدی که الان مطرح هست این است که حداقل کردن مصرف آب تا آنجایی که ما می‌توانیم مصرف را در محل کم کنیم که الان ما به آن اعتقاد داریم. ما هنوز هم تاسیساتمان در ساختمان مشکل دارند. شما می‌رویم حمام عادی باید حتی در ساختمان‌های جدید، باید شیر آب گرم را باز بکنید، منتظر باشید حداقل سه - چهار دقیقه بگذرد تا آب گرم بیاید. چه قدر آب تلف می‌شود؟ هنوز ما در بحث ساختمان خیلی خیلی مشکل داریم. می‌خواهم این را خدمتتان عرض کنم: تفکر جدید این است که حداقل کردن مصرف آب در محل، یکی از موارد این است که چه باشد؟ همین بحث فنی کردن بازچرخانی آب در ساختمان‌ها و استفاده از آب خاکستری باشد و همین آبیاری فضای سبز محلات هم می‌تواند رویش واقعاً کار بشود.

دکتر تابش: من از اعضای محترم خواهش می‌کنم هرکدام در عرض دو دقیقه نظرات خود را درباره مباحثی که انجام شد بدهند. من در پاسخ به دوست عزیزمان هم اشاره می‌کنم که ما با توجه به این که این موضوع در حال انجام بوده، در دستور کار کمیته تخصصی بازیافت انجمن قراردادیم و دوستان خودشان بحث‌های داخلی خواهند داشت. حالا از نظر ظهور و بروز، طبیعتاً نشست‌های دیگر خواهد بود. همایش سال آینده ما در دانشگاه تهران در این زمینه برگزار می‌شود و آن‌جا مباحث را خیلی گسترده‌تر بررسی خواهیم کرد. این نقطه شروع است. درحقیقت خواستیم یک اعلام عمومی کنیم. بحث را مطرح کنیم و ما هم به نوبه خود بتوانیم سهم خود را ادا کنیم.

دکتر فاضلی: من عرض کنم که در واقع می‌توان از آب خاکستری استفاده کرد. منتهی یک لوازمی دارد. من چهار تا استاندارد را اکیدا می‌گویم باید داشته باشد، آب خاکستری که

ما می‌خواهیم استفاده کنیم، یکی استاندارد کیفی است. تصفیه آب خاکستری کجا است؟ خروجی‌اش چه باید باشد؟ و اگر این استاندارد کیفی‌اش رعایت نشود چه اتفاقی می‌افتد؟ نهایتاً استاندارد کیفی، تجهیزات لازم دارد. همان‌جوری که دوستان فرمودند برای تجهیزات باید حتماً استاندارد بشود. کیفیت خروجی چه باید باشد. چه کسی باید انجام بدهد؟ دومین استاندارد بهره‌برداری است از این سامانه که پساب خاکستری را دارد تبدیل می‌کند به آب قابل استفاده. این جوری که داریم صحبت می‌کنیم باز چرخانی در خانه است. این از نظر من غلط است. باید به فکر استفاده مجدد باشیم. همان‌طور که آقای جمالی گفتند جاهای دیگر استفاده کنیم ایرادی هم ندارد. البته خیلی از شهرها هستند که فضای سبزشان با آب خاکستری است. اصلاً پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری دارند. استاندارد کیفی، سطح تصفیه و کیفیت خروجی مهم هست. استاندارد بهره‌برداری همان‌طوری که گفتیم شرکت‌های آب و فاضلاب اجازه ورود به ساختمان را ندارند. بنابراین استاندارد بهره‌برداری کجا باید رعایت بشود؟ در خود ساختمان و خود خانه‌ها. استاندارد سازمان بهره‌برداری: مثلاً فرض کنید اگر شرکت آب و فاضلاب یا دولت دارد کنترل می‌کند، باید بگوید الان سازمان بهره‌برداری شامل چه کسانی هست؟ چه تخصص‌هایی در آن هست؟ دارای چه تجهیزاتی هست؟ ببینید یک تصفیه‌خانه بدون آزمایشگاه اصلاً معنی ندارد. حالا می‌خواهد میکرو تصفیه‌خانه یا ماکرو تصفیه‌خانه باشد. آن بحثی که راجع به تصفیه آب خانگی من گفتم، دستگاه خیلی هم خوب است، استاندارد هم هست. ولی من نتوانم بهره‌برداری کنم، نتوانم پایشش کنم، طبیعتاً یک‌جایی دچار نقص شده و من دچار مشکل خواهم شد. بنابراین استاندارد سازمان بهره‌برداری از نظر تجهیزات محل بهره‌برداری، از نظر نفراتی که دارند بهره‌برداری را انجام می‌دهند و نهایتاً استانداردهای فرهنگی و پذیرش عمومی هست. مردم باید به قول یکی از دوستان اگر از نظر فرهنگی برایشان جا افتاده باشد می‌آیند کمک می‌کنند. مردم کمک نکنند همه چیز حل می‌شود. مشکل ما این است که می‌خواهیم همه مدیریت‌ها را دولت انجام بدهد و این بدترین چیز است. نهایتاً استاندارد فرهنگی و پذیرش عمومی هست که می‌تواند این‌را جا بیندازد. همه این‌ها رو اگر با هم ببینیم قابل قبول است و استفاده هم می‌شود کرد، و گرنه ریسک است. ریسک آن هم خیلی بالا است. احتمال این‌که ایجاد اپیدمی

بکند، بیماری‌های مختلف بوجود بیاورد، وجود خواهد داشت.

دکتر اکبر زاده: من یک نکته‌ای دارم که بعضی از دوستان الان اشاره کردند که موضوع را تغییر بدهیم. موضوع را این‌طوری بیان کنیم یا هر بحث دیگری در این حوزه هست. در تکمیل فرمایش دکترباش عرض می‌کنم که این یک پروژه تعریف شده‌ای در وزارت نیرو است و موضوع ما این است که راجع به این موضوع داریم بحث می‌کنیم. هر بحث دیگری هم سر جای خودش قابل قبول است، اما علت انتخاب این موضوع کاری بوده که انجام شده است.

موضوع دیگری که از قلم افتاد در عرایض پیشین بنده این بود که در ارایه مهندس جمالی از روش‌های سیستم‌های SBR و MBR و این‌ها استفاده شده است. این‌ها هیچ‌کدام روش تصفیه آب خاکستری نیست. یعنی شما اگر آب خاکستری را ببرید در MBR اصلاً کار نمی‌کند. حالا می‌خواهد ۷۵ برابر قیمتش باشد یا ۲۰۰ برابر. یعنی جایی که MLSS10000 دارد کار می‌کند شما نمی‌توانید مثلاً در SBR یا در حتی لجن فعال معمولی که با MLSS2000 یا MLSS3000 هست کار کنید. یعنی شما مجبورید که آب سیاه داخل آن بکنید که اصلاً از داخل این موضوع فکر کنم خارج است. موضوع بعدی هم که دوستان اشاره کردند، حالا نظام مهندسی را که آقای مهندس اشاره کردند. جاهای دیگری هم هست. مرکز تحقیقات مسکن کارکرده و دستگاه‌های نظارتی که در این حوزه کار می‌کنند، سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت بهداشت که در جلسات ما حضور داشتند و این مهم‌ترین ایرادی است که می‌شود گرفت. یعنی چون نه وزارت بهداشت می‌تواند نظارت بکند، نه سازمان حفاظت محیط‌زیست می‌تواند نظارت بکند. یک مقدار باید راجع به آن ترسید. باید با دقت انجام شود. این حرف درست است. این را کاملاً باید پذیرفت. اما راجع به آن مثالی که زدم و گفتم آن خانه دارد چه‌جوری آب را مصرف می‌کند، می‌خواهم ربطش بدهم به استاندارد. الان استانداردهای بین‌المللی را نگاه کنید، می‌گوید بله حتی اگر آب را می‌خواهید برای تزریق در سفره آب زیرزمینی استفاده کنید باید از UF و RO عبور بدهید. استانداردهای جدید درست است. ما در کجای کار هستیم؟ الان شهرداری باغچه‌های کنار خانه‌های ما را با چه چیز آب می‌دهد؟

دکتر یار قلی: متشکرم. خسته نباشید. من می‌خواهم جمع‌بندی‌ام را خیلی واضح و شفاف دوباره تاکید کنم. من مصمم به این‌نظر هستم که ما باید برنامه‌ریزی کنیم برای شیوه‌های عملیاتی کردن این کار. نه این‌که بگوییم بله یا نه. این فاز را باید بگذاریم کنار. باید چه کار کنیم. معتقدم در سه فاز زمان‌بندی شده برای وضع موجود، میان‌مدت و بلندمدت برنامه داشته باشیم. مباحثی به‌شرح زیر را حتما باید در برنامه‌مان داشته باشیم. اجتماعی و فرهنگی باید کار کنیم. هنوز جامعه پذیرش این بحث را شاید به‌حد کفایت نداشته باشد. شاخص‌های کیفی تعریف کنیم متناسب با آب خاکستری و براساس مستندات موجود، آب خاکستری ما چه کیفیتی دارد؟ چه خطراتی را می‌تواند در پی داشته باشد؟ چه مصارفی می‌خواهیم از این داشته باشیم و براساس آن شاخص تعریف کنیم و این بشود استاندارد. در بحث آموزش باید کار بشود. گروه‌های هدف مشخص بشوند. مصرف‌کننده‌ها، مردم، قانون‌گزاران، اساتید دانشگاه، دانشجویان، همه ... برای هر کدام متناسب با حیطه کاری خودشان مباحث آموزشی عمومی و تخصصی تدوین و اجرا شود و بحث مهم‌تری که ساختار باید تعریف شود. دوستان هم فرمودند این بحث، بحثی نیست که در قالب یک ارگان، یک وزارتخانه، یک دانشگاه بگنجد. نیاز به مشارکت تمام ارگان‌ها، وزارت نیرو، محیط زیست، دانشگاه‌های مختلف بهداشت و درمان و صاحب مسکن و شهرداری و ... و خیلی جاهای دیگر را می‌طلبد که اگر بخواهند اجرایی بشود باید دست در دست هم بدهند، در کنار هم کار کنند و به یک نتیجه مفید برسند.

دکتر صراف‌زاده: خیلی ممنون. من تشکر می‌کنم که نکات خیلی خوبی را مطرح کردند. من یک جمع‌بندی خیلی خلاصه‌ای اگر خدمت شما بخواهم داشته باشم، قبل از جمع‌بندی بگذارید این نکته را هم بگویم. در وضعیت موجود، آیا هیچ دغدغه‌ای سیستم‌های آب ما ندارند؟ الان نگاه کنید در یک خانه، فشار آب تهران روزهایی که کم می‌شود در اکثر ساختمان‌هایی که بالای سه چهار طبقه هستند، آمدند یک‌سری شبکه خودشان طراحی کردند. من در خیلی از خانه‌ها دیدم. آمده یک مخزن گذاشته در زیرزمین آب می‌آید فشار شبکه آب را به صفر می‌رساند. بعد از مخزن، تازه پمپ می‌کند به شبکه خانگی. همه این دغدغه‌هایی که مطرح شد روی مخاطرات بهداشتی آن‌جا هم مطرح است.

اولا پمپاژ که انجام می‌دهد خیلی اوقات فشار منفی ایجاد می‌کند در شبکه معمولی که ما در سطح خیلی از مناطق قدیمی تهران داریم یا حالا شهرهای دیگر، این نفوذ آلودگی به‌راحتی می‌تواند صورت بگیرد. دغدغه دیگر که باز الان خیلی متداول است. مثلا فرض کنید همین سیستم‌های تصفیه آب خانگی که در خیلی از مناطق به‌کار می‌رود، آن‌جا هم باز نیاز به یک سازمان کنترل کیفیت دارد، این‌ها اگر کنترل کیفیت رویش صورت بگیرد بعد باز مسئله مخاطرات بهداشتی از نظر آلودگی میکروبی می‌تواند داشته باشد. اگر رسیدگی نشود عملا ما با این وضع موجود روبرو هستیم. اما از این بحث که بگذریم، ببینید من در بحث آب خاکستری گفتم باید نگاهتان یک نگاه پکیجی باشد. یک پکیج کامل در بحث ساختمان‌ها است. حالا ما کلا بحث‌مان بحث مصرفی ساختمان‌ها بود ولی این‌را می‌شود تعمیم داد به بحث شهری و بعد هم موضوعات دیگر مصرفی. یعنی صنعتی و کشاورزی که موضوع این جلسه نبود. ولی در این بحث شهری، بحث ساختمان شاید یک مقدار باید تعمیمش داد و مثلا در حوزه یک منطقه شهری دید این‌را. در این نظامی که بشود تمام بخش‌هایی که مصرف‌کننده آب و تولیدکننده فاضلاب یا پساب یا آب خاکستری هستند. این‌ها را باید به‌صورت یک مجموعه چشمه و چاه دید. آب خاکستری که من عرض کردم یک آب هست که ممکن است نیاز به استفاده مجدد بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای در یک مصرف خاص بشود انجام داد. ممکن است این آب خاکستری را بشود با یک تصفیه خیلی کم‌هزینه و ارزان قیمت در یک مصرف دیگر انجام داد. منتهی باید این‌را در قالب یک شبکه دید که این چشمه و چاه‌ها را به‌هم وصل کرد. در کرسی یونسکو در بحث آب، بازیافت آب، ما خوشبختانه در سطح دنیا با نظام مدار بسته آب هستیم که دقیقا چندین موضوع در این نظام دیده شده و بازیافت آب خاکستری هم یکی از المان‌هایش است. حالا اگر در نهایت این طرح انجام شود، می‌شود آن نظام را در توزیع شهری پیاده‌سازی کرد و از همه آن دغدغه‌ها هم به‌نوعی رها شد. خیلی ممنون.

دکتر تابش: من فقط یک نظری بدهم. موقعی که آقای دکتر در رابطه با پمپ در خانه‌ها فرمودند، اگر پمپ بعد از مخزن اجرا شود، هیچ مشکلی از نظر آلودگی وجود نخواهد داشت. پمپ‌هایی که مستقیما پشت کنتور هستند و بدون ارتباط

با مخازن آب را می‌کشند، آن‌ها مشکل بحث آلودگی را در شرایطی ایجاد می‌کنند. دو تا بحث ریز هست که حالا دوستان دقت داشته باشند. از آقای مهندس جمالی به عنوان حسن ختام برنامه خواهش می‌کنم که در حد مقدور، نه این که جزء به جزء بخواهند جواب بدهند، خیلی خلاصه، نقطه نظراتشان را راجع به نظرها و سوال‌ها بفرمایند.

مهندس جمالی: این بحث‌هایی که امروز شد، این بحث‌ها، بحث‌های جدیدی نیست. این‌ها بحث‌هایی هست که در دنیا هم وجود دارد، اما من دارم توجه‌تان را به یک نکته‌ای جلب می‌کنم. یک بحث، بحث تکنیکی نیست، بحث راهبردی است. در واقع طرفداران بازیابی آب خاکستری در ساختمان می‌گویند ما داریم در این بسته و این پکیج بررسی‌اش می‌کنیم، در ساختمان. صحبت ما آب خاکستری نیست به آن معنی عام‌اش. داریم در ساختمان بررسی می‌کنیم. در واقع طرفدارانش دو دسته‌اند: دسته‌ای که این بحث را تکنیکی می‌بینند و دسته‌ای که ذی‌نفع مالی هستند در این موضوع. این دو دسته طرفدارانش هستند. دسته سومی هم وجود دارد. گروه‌های اجتماعی طرفدار محیط‌زیست هستند که الزام کارشناس نیستند. آن دوتایی که عرض می‌کنم در حوزه متخصصین. بحث تکنیکی نیست. بحث دومم که آن هم باز می‌شود رفرنس داد که در کشورهای دیگر دنیا هم این‌ها تاثیرگذار بودند و دقیق می‌شود رد آن‌ها را گرفت. اما بحث دسته اول: تکنیکی، بله، از نظر تکنیکی روش‌های مختلفی برای تصفیه آب خاکستری وجود دارد که نه در حد آب شرب، در حد آبی که برای مثلا تولید میکروچیپ هم مورد نیاز است بشود تصفیه کرد. پس تکنیکی نیست. نکته‌ای هم که اشاره کردند، آن روش‌هایی که من اشاره کردم، روش‌هایی هست که الان پکیج‌های تجاری در دنیا وجود دارد. همه پکیج‌های تجاری روش‌هایشان ایندکس شده و در راهنما آمده است. اگر مثلا MBR اشاره کردیم، متقابلا پکیج تجاری بوده که از MBR استفاده می‌کرده است. خوب است؟ بد است؟ از نظر شما که تخصصش را دارید. برای تصفیه آب خاکستری حالا این که این چه اشکالاتی داشته، ایشان تخصصشان قطعا در تصفیه آب بیشتر است. من تخصص بهره‌وری آب است. ولی من فقط می‌گویم این چیزها بوده است. هیچ کدام از عرایض بنده بدون اتکا به مابه‌ازای بیرونی در مدارک و مستندات نیست. ولی هدف چیست؟ هدف کاهش

فشار بر منابع آب است. از نظر راهبری یعنی چه؟ یعنی این شکلی نگاه کنیم. این شکلی نگاه نکنیم که مثلا ۵۰ پروژه آب خاکستری اجرا شده، بگوییم که چه قدر خوب است! ببینید این نگاه، تکنیکی است. تازه نگاه تکنیکی ناقصی هست. اگر مثلا همراهش نتایج آزمایش باشد، بگوییم این‌ها، این منبع، این خروجی، تازه مثلا، هنوز تکنیکی هست. من می‌گویم تکنیکی نگاه نکنیم. راهبردی یعنی چه؟ هدف کاهش سرانه است. برای کاهش سرانه، ما سبیدی از راهبردها را داریم. این راهبردها در کنار هم معنی پیدا می‌کنند. سبد راهبردها. هدف وقتی کاهش سرانه هست، ما می‌توانیم با پراتورها و با کاهنده‌های مصرف این کار را انجام بدهیم.

میزگرد تلفات واقعی، اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب، آذر ۱۳۹۶، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس شهید عباسپور



اعضا میزگرد:

دکتر جلیلی قاضی زاده: عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی

مهندس طباطبایی: مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب مشهد

مهندس توکلی بینا: معاون بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب استان تهران

مهندس مبینی: مدیرکل نظارت بر بهره‌برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

مهندس جمالی: شرکت مهندسی مشاور راهدان سما



مهندس طباطبایی:

در سال ۲۰۱۶ به مقدار ۳۲ میلیارد مترمکعب آب بدون درآمد وجود داشته است که حدوداً ۶ میلیارد دلار هزینه به شرکت‌های آب و فاضلاب تحمیل کرد. اگر قرار باشد ۵۰ درصد آن مدیریت شود، یک کشور ۹۰ میلیونی را می‌شود مدیریت کرد. اگر بخش هدررفت واقعی را به‌عنوان یک سیستم در نظر بگیریم عوامل



دکتر جلیلی قاضی زاده:

با اعلام این که طبق آمار شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، آب بدون درآمد در سال ۹۵ حدود ۲۶/۵ درصد بوده است و در سال ۹۶ به مقدار ۲۵/۵ درصد کاهش یافته است. از اعضای محترم میزگرد خواشمند است بیانات خود را در این زمینه ارائه نمایند.

که توسط اکپ‌های عملیاتی تولید می‌شود. و تصمیم‌گیری درست منجر به انجام اقدامات موثر می‌شود و ورود جدی به pm و نگهداری و تعمیرات در شبکه‌ها.



مهندس توکلی بینا:

بحث را از زاویه دیگری نگاه می‌کنیم. چند نکته را براساس تجربیات شخصی خدمتتان عرض می‌کنم. بیماری‌های بخش پروژه‌های هدررفت باید حل شود. یکی از مواردی که به شدت اثرات محسوس و کوتاه‌مدت می‌گذارد اسکادا است، به‌خصوص اسکادای شبکه. با تجربه‌ای که در این خصوص طی ۱۵-۲۰ سال در بخش شبکه داشتم باید بگویم که اجرای برنامه‌ای کاهش آب بدون درآمد و پرهیز از مقاطعه‌کاری و پراکنده‌کاری باید در دستور کار قرار بگیرد. در این رابطه می‌توان از پروژه‌های اسکادا نام برد. معمولاً اسکادا را از تاسیسات شروع می‌کنند ولی باید آن را از شبکه شروع کرد و به‌جای اصلاح شبکه، اسکادای شبکه به‌صورت گسترده‌تر انجام شود. بعضاً در نواحی که نت زیر ۲۰-۳۰ درصد است با اصلاح شبکه هدررفت واقعی پایین بیاید و ظاهری بالا برود و فشار را بالا بردیم که منجر به خطای کنورها و انشعابات غیرمجاز و کم‌اندازی و... و در شبکه‌های پایین‌دست، منجر به افزایش هدررفت واقعی هم می‌شود، چون در بالادست فشار بالا رفته است. در واقع اصلاح شبکه با این هزینه‌های زیادی که می‌شود و در ادبیات اجرایی کشور هم جا افتاده در سطح سازمان مدیریت و استانداری و شورای برنامه‌ریزی استان، ما در سال ۹۵ حدود ۳۰۰۰ کیلومتر اصلاح شبکه داشیم و اگر کیلومتری ۳۰۰ میلیون تومان متوسط بگیریم، حدود ۹۰۰ میلیارد تومان در اصلاح شبکه هزینه کردیم. اگر نصف آن را در اسکادا هزینه می‌کردیم چقدر به رستگاری رسیده بودیم؟ هنوز در ادبیات ما این‌گونه است که حدود ۲-۳ درصد از شبکه فرسوده است. شبکه پوسیده نشت دارد و دیگری شبکه مسن است و لزوماً شبکه مسن پوسیده نیست. در خیلی استان‌ها شبکه‌های قدیمی وجود دارد که

اصلی تاثیرگذار عمده عبارتند از: مدیریت فشار (دارای عملکرد دوگانه است هم می‌تواند باعث افزایش و هم کاهش تلفات واقعی شود)، مدیریت نشت، نوسازی و تعمیرات و بازسازی شبکه و نوع و کیفیت لوازم مصرفی و دقت تعمیرات. تمام این عوامل به ما کمک می‌کند که به مرز اقتصادی (EARL) هدررفت واقعی برسیم.

مدیریت فشار: بحث فشارشکن‌ها مطرح می‌شود. خیلی راحت با سیستم‌های کنترلی می‌توان اثر گذاشت و می‌تواند یک بهره‌بردار کنترل‌های دستی را در نظر بگیرد و پهنای آن را بشناسد و به‌سمت استقرار سیستم‌های کنترل از راه دور پیش رود. اجراکننده باید با درک منطقی از وضعیت شبکه مدیریت صحیحی در شبکه داشته باشد. برای کنترل خطوط در شب و روز و کنترل‌های فصلی که هر فصلی از لحاظ کنترل با بقیه متفاوت است، ایجاد زیربنای فشاری مناسب لازم است. در بعضی شهرها آب به‌طور مستقیم از چاه به شبکه تزریق می‌شود که استفاده از مخزن می‌تواند به کاهش تلفات کمک کند.

مدیریت نشت: براساس بررسی‌های انجام شده در حوزه مدیریت نشت، برگشت هزینه در مشهد ۲ تا ۳ ماه طول کشیده است یعنی برگشت هزینه سریع بوده ولی باید بدانیم که سقفی دارد. در شهر مشهد در طی سه سال حدود ۱۰ میلیارد تومان صرفه‌جویی شده است.

سرعت و کیفیت تعمیرات و لوازم: کنترل کیفی از قبل از تولید محصول تا بعد از بهره‌برداری که در قالب مدیریت دارایی فیزیکی تعریف می‌شود می‌تواند بسیار تاثیرگذار باشد. علاوه بر کیفیت محصول، سرعت در عمل، استقرار سامانه‌هایی که می‌تواند به تسریع در تشخیص و انتقال کمک کند، تغییر و بازنگری در گروه‌های عملیاتی (مدیریت زمان) و استفاده از سامانه‌هایی به‌عنوان مدیریت آنلاین حوادث (کارتابل دستور کار) در مشهد این کار انجام شده است (گروه‌های عملیاتی سریعاً در محل حاضر شوند و تعمیرات را به لحاظ زمانی مدیریت کنند و با در نظر گرفتن اطلاعات در دسترس، جریان تعمیر را به لحاظ زمانی مدیریت کند).

نوسازی و بازسازی شبکه: همه ما در شبکه‌هایی که در اختیار داریم بحث اصلاح شبکه را در دست داریم و اگر هوشمند نباشد سرمایه را به باد داده است. استفاده از تکنولوژی و تهیه نقشه‌های پراکندگی حوادث و اصلاح و قابل اعتمادسازی سامانه‌های GIS، در نتیجه، رسیدن به اطلاعات صحیح روزانه و لحظه‌ای

پوسیده نیست و لوله‌های خوبی دارد. ما در آن‌ها اگر تقاضای شبکه را پاسخ ندهد اصلاح شبکه می‌کنیم با مدیریت فشار. مثلاً ده تا شبکه است و مشترک اضافه شده و باید سائز لوله بزرگ شود. این بحث دیگری است و بعضاً نیاز است و می‌تواند در کنار اسکادا باشد. ولی این کار که بعد از ۳۰ سال حتماً نوسازی کرده باشیم هیچ پشتوانه علمی ندارد. به درد امروز نمی‌خورد، با این‌که در بودجه هم گفته می‌شود. بحث بعدی این است که ما باید تغییر گفتمان بدهیم در موضوع اصلاح شبکه‌ها. در تامین اعتبار، بودجه‌های تملک دارایی‌ها گرفته می‌شود. باید اسکادا را به عنوان پروژه در نظر بگیریم و اول و آخر زمان مشخص باشد و در برنامه‌های توسعه هر تصمیمی که برای تملک دارایی و غیره می‌گیریم حتماً خرید تجهیزات و نصب در آن نوشته شود. حداکثر ۱۰ درصد هزینه‌های تملک دارایی می‌تواند هزینه اسکادا شود. عدد خیلی کمی است.

در بحث اقتصادی شدن و معنادار شدن: ما در حال حاضر قیمت را به صورت اقتصادی نداریم که اگر اقتصادی شود ۱- درآمد بهتری برای اجرای سریع‌تر پروژه‌های هدررفت؛ ۲- سطح اقتصادی آب بالا می‌آید و انگیزه بیشتری برای حرکت داریم. مثلاً UARL در ایران ۱۵ درصد است و اگر قیمت آب معنادار شود این سطح بالاتر می‌آید و ۱۰-۱۲ درصد می‌شود. در محیط سازمان باید این فرهنگ جا بیفتد:

۱- هزینه اصلاح شبکه کم شود و در عوض در اسکادا هزینه شود.

۲- هزینه‌های اسکادا در بخش سرمایه‌ای قرار بگیرد و چون سرمایه‌گذاری برای کاهش زیان و سرمایه‌گذاری برای کاهش پروژه‌هایی برای تامین کمیت آب مثل چاه و تصفیه‌خانه و ... است و از هزینه‌های جاری نیست. هزینه‌های سرمایه‌ای را از همه‌جا می‌توان استحصال کرد و هزینه‌های جاری دستمزد و پول برون‌سپاری و غیره هست خیلی نمی‌توان هزینه کرد.



مهندس مبینی:

چالش‌ها و راه‌کارهای کاهش هدررفت واقعی را می‌خواهیم مورد ارزیابی قرار دهیم. از مصادیق هدررفت واقعی می‌توان

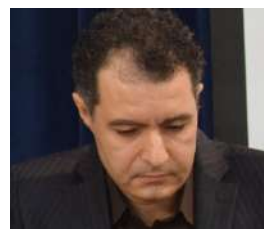
به: نشت از مخازن، سرریز از مخازن، نشت از خطوط انتقال، نشت از انشعابات، پمپاژ، تصفیه خانه و ... اشاره کرد. راهبردهای کاهش هدررفت: افزایش سرعت و کیفیت تعمیرات، کنترل فعال نشت، مدیریت فشار، مدیریت خطوط لوله و دارایی‌ها. دیدگاهی که برای کاهش هدررفت وجود دارد بیشتر منفعلانه است. مثلاً کنترل فعال نشت پیشگیرانه است و مدیریت فشار بحث راهبری و عملیاتی شبکه است، افزایش سرعت و کیفیت شبکه بحث تعمیرات است و بحث مدیریت خطوط لوله و دارایی‌ها بحث انتخاب و نشت و نگهداشت و اصلاح و تعویض مطرح می‌شود.

چالش‌های موجود که مانع اجرای راهبردها می‌شود: عدم نگاه فرایندی به کار (آب بدون درآمد به صورت پروژه نیست بلکه به صورت فرایند است)، عدم وجود مدیریت در شبکه توزیع (متأسفانه در چارت سازمانی برای مدیریت شبکه مدیریت مستقل نداریم و همین دلیل است که بحث اسکادا را جذاب می‌کند و مدیریتی بر روی آن قرار می‌گیرد) عدم وجود سیستم دستور کار و نظارت بر رفع حوادث (زمان رسیدن، زمان رفع حادثه، تحلیل حوادث، مکان تکراری، قطر لوله، فشار و ... باید کنترل شود)، برون‌سپاری به پیمان‌کارها با دانش فنی کم (اگر بخواهیم تعمیرات را دقیق ببینیم باید روی کار، نظارت کنیم که وجود ندارد)، عدم توجه به سیستم شکست کار (در بحث آب بدون درآمد با انبوهی از مسائل روبه‌رو هستیم طبق طرح عملیات، مشکلات را بررسی و حل کنیم). متأسفانه کمتر به این مسئله توجه شده است و فکر می‌کنیم که با یک قرارداد یک ساله می‌توانیم آب بدون درآمد را کنترل کنیم که چنین کاری انجام‌پذیر نیست، عدم توجه به دستگاه اندازه‌گیری و روند اندازه‌گیری (حتماً باید اندازه‌گیری شود و حتی اندازه‌گیری غلط هم از نبود اطلاعات بهتر است، زیرا می‌تواند بعداً تصحیح شود و چیزی برای صحبت وجود دارد. همه ما فکر می‌کنیم هر چه در ذهنمان است درست است، در حالی که باید اطلاعات جامع و هماهنگی وجود داشته باشد)، مسائل مربوط به نگهداشت و مدیریت دارایی (فکر نکنیم که فقط مطالعه کردن انجام می‌شود بلکه الان در حال حاضر عده‌ای دارند شبکه را هدایت می‌کنند که اگر آموزش کافی ندیده باشند روز به روز به مشکل اضافه می‌شود). بحث نگهداشت و مدیریت دارایی را باید جدی بگیریم و وسیله‌ای که می‌خریم باید تحت کنترل ما باشد و بتوانیم براساس این موضوع به بهینه‌ترین حالت از آن استفاده کنیم.

- ۲- مسایل مالی که مهندسين مشاور با آن درگیر هستند. وارد این بحث نمی‌شویم.
- ۳- ظرفیت‌سازی مسئله.

دکتر جلیلی قاضی زاده:

از دیدگاه فنی موضوع تحلیل تلفات واقعی کار ساده‌ای نیست. فرض کنید که دو شهر مقدار ۲۵٪ آب بدون درآمد داشته باشند، اگر در شهر A، ۵٪ تلفات واقعی و ۲۰٪ تلفات ظاهری وجود داشته باشد و در شهر B برعکس این مقادیر، در آن صورت نحوه برخورد و رویکرد حل مشکل برای این دو شهر یکسان نخواهد بود. در تحلیل تلفات واقعی هم چنین مسائلی وجود دارد. برای کاهش نشت، راه‌کارهای ما مدیریت فشار و نشت‌یابی فعال، بازسازی و افزایش سرعت و کیفیت تعمیرات است که هرکدام زیربخش‌هایی دارد مثلاً نوسازی شامل: rehabilitation (به‌سازی)، repair (تعمیر) و replacement (تعویض لوله) است. وقتی یک مشاور با پروژه‌های با هدررفت بالا مواجه می‌شود باید استراتژی مناسب را انتخاب کند و بدین منظور باید مشکل را خوب شناسایی کند. در بحث تلفات واقعی (جدا از بحث سرریز مخازن): تلفات را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد: نشت زمینه، نشت گزارش شده و نشت گزارش نشده. بعضی از مدیران شبکه را تعویض می‌کنند ولی می‌بینند که مقدار نشت کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا نکرده است. در نتیجه احتیاج به شناخت دقیق رویکردها است. باید مانند یک پزشک، اول مشکل را شناسایی کنیم بعد دارو و درمان مناسب که همان راه‌کارهای تخصصی است را برای هر پروژه انتخاب کنیم. در قدم اول باید نوع نشت مشخص شود. سپس با استفاده از استانداردها و شاخص‌های موجود (به‌عنوان مثال ILI) راه‌کار صحیح انتخاب شود. این شاخص به ما نوع راه‌کار مناسب و نقشه راه می‌دهد. مثلاً برای پروژه ای که ILI کمتر از ۲ دارد نباید فعالیت بیشتری انجام دهیم، چون از دیدگاه هدررفت پروژه خوبی داریم. برای ILI بین ۲ تا ۴ نیاز به مدیریت فشار است و اگر بیشتر از ۴ بود باید نشت‌یابی فعال و مدیریت فشار انجام دهیم و بیشتر از ۸ تعویض لوله‌ها پیشنهاد می‌شود. این شاخص‌ها فقط برای تئوری نیستند و باید در پروژه‌ها به کار گرفته شوند و بر آن اساس عملیات اجرایی مناسب انتخاب شود. البته این شاخص‌ها برای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه و همچنین روستاها تفاوت می‌کند. هم‌اکنون شاخص‌های



مهندس جمالی:

قرار است بحث مربوط به مشاورین و بحث‌های فنی مربوط به هدررفت واقعی بیان شود. اشکال اساسی کار در کجاست؟ چرا حرکت مطلوبی در ۲۰ سال گذشته اتفاق نیفتاده است؟ آیا مشکل در دانش فنی بوده است؟ از نظر من در دانش فنی مشکلی وجود ندارد و تقریباً همه، موارد اصلی مثل حداقل جریان شبانه و نشت‌یابی و نحوه محاسبه و بهره‌وری آب و ... را می‌شناسند. از نظر من مشکل در یک لایه بالاتر است و منظور در عرصه تفکر است و ما نیاز به بازسازی و بازپروراندن بعضی تعاریف داریم در راهبردها و تعریف و انتخاب اقدامات و اتصال آن‌ها باید بیشتر کار شود که به‌گونه‌ای به مهندسين مشاور هم مربوط می‌شود. در تمام این ۲۵-۳۰ سال گذشته بزرگانی این کارها را شروع کرده‌اند و بعد از آن هم مشاورین حضور داشته‌اند. از جمله مشکلات مشاورین عبارت است از:

۱- شکل همکاری که مشاورین می‌توانند با بدنه صنعت داشته باشند چگونه است؟ یک قسمت از راه‌حل مسئله است. بحث آب بدون درآمد تفاوت اساسی با ساخت یک تصفیه‌خانه یا احداث پل دارد. تفاوت آن در این است که بسیار اقدامات، متنوع و متداخل و پویا و دینامیک است. این کار باید همیشه باشد و جزیی از خدمات آب و فاضلاب است و این از عللی است که مهندسين مشاور به‌دلیل کپی شدن ایده راهبردی (تعریف یک خدمات مقطوع با قیمت مقطوع برای انجام مطالعات در زمان مقطوع) که از ایرادات بوده ولی شاید ۲۵-۳۰ سال پیش به جهت این که ما را با کلیات و تعاریف آشنا کرده و ظرفیت‌سازی کرده است مناسب بوده است. ولی به‌عنوان یک راه‌کار، خرید با قیمت مقطوع در زمینه آب بدون درآمد پاسخگو نیست و منجر به تکرار مکررات شده است و مطالعات زیادی در آن انجام شده است. روی انتقاد من به هیچ‌جا نیست و در حال بیان در عرصه تفکر این صنعت هستیم و من به‌عنوان مشاور ایده دیگری نداشتم ولی کم‌کم می‌توانیم آلت‌رناتیوهای در این زمینه داشته باشیم.

جدیدی مثل GLI معرفی شده است.

در قدم بعدی باید بدانیم نشت مورد نظر از خطوط انشعاب است یا خطوط انتقال و یا شبکه توزیع. در نهایت با نشت‌های مختلف و گزینه‌های علاج بخشی متفاوتی روبه‌رو هستیم. رفتار خط انشعاب با خط انتقال در موضوع نشت کاملاً متفاوت است. باید بدانیم که رفتار شبکه در پروژه‌های مختلف نیز یکسان نیست. به عنوان مثال، علی‌رغم این‌که به نشت از انشعابات توجهی زیادی نمی‌شود ولی طبق تحقیقات آمار موجود بیش از ۷۰٪ حوادث در خطوط انشعاب اتفاق می‌افتد. با توجه به این‌که گاهی تا چند ماه نشت یک انشعابات پنهان مانده و تعمیر نمی‌شوند (چون شبکه اصلی را مهم‌تر تلقی می‌کنند)، آب هدررفته از آن بسیار قابل توجه خواهد بود. حجم آب هدررفته یعنی مقدار دبی نشت ضرب در زمان نشت. ممکن است مثلاً دبی یک خط انشعاب ۱ درصد یک ترکیدگی بزرگ در شبکه اصلی باشد ولی یک ترکیدگی بزرگ، معمولاً سریع کشف و تعمیر می‌شود. اما ممکن است یک حادثه خط انشعاب تا چند ماه و حتی سال مخفی بماند و در مقایسه، حجم آب از دست‌رفته یک انشعاب، بیشتر از یک حادثه شبکه اصلی شود. از اشتباهات رایج موجود که می‌تواند باعث افزایش تلفات شود سپردن اجرای خطوط انشعابات و خرید تجهیزات به خود مشترکین است. گاهی بیان می‌شود که ما توسط ناظرین نظارت می‌کنیم ولی ممکن است در عمل به دلایل مختلف خط انشعاب خوب اجرا نشود و تلفات افزایش یابد. حداقل می‌توان لوله، شیر و دیگر متعلقات با کیفیت مناسب را خریداری و به مشترک تحویل دهیم، اگر چه اجرای آن را نیز نباید به مردم سپرد. در نهایت اگر خط انشعاب به درستی اجرا نشود مشکلات آن گریبانگیر شرکت‌های خودمان خواهد شد.

سوال: جای بحثی که خالی است، بحث ILI مطرح شده است. در استرالیا این شاخص جایگزین درصد تلفات شد. در شبکه روستایی ممکن است ۲۷٪ تلفات باشد و در شهر ۲-۳٪ و هر دو شبکه خوب محسوب شوند. پس باید بیان به شکل درصد حذف شود.

- آمارهای هدررفت بسیار غیرواقعی است. تا کی به این کار ادامه دهیم؟

مهندس مبینی: می‌توانیم ادامه ندهیم. ولی چالش اساسی وجود دارد و شرکت‌هایی که انجام می‌دهند دلیلی برای خود

دارند و اگر آمار واقعی بدهند نمی‌توانند بحث تبادل با شهرداری را داشته باشند. فقط بحث اندازه‌گیری نیست و شرکت‌های ما توان اندازه‌گیری دارند ولی انگیزه‌ای ندارند. در صورتی که ۵۰٪ نشت داشته باشند مدیریت خودشان زیر سوال می‌رود. به همین دلیل صورت مسئله را پاک می‌کنند. هیچ‌وقت اصراری نبوده که رقم‌ها دست‌کاری شوند. شاخص‌های مطرح شده شاخص بهره‌برداری‌اند که نشان‌دهنده این است که آیا با پارامترهای موجود کار درست انجام شده یا خیر.

سوال: متأسفانه دفاتر آب بدون درآمد زیرمجموعه معاونت‌های بهره‌برداری شده‌اند و موضوع اصلاح شبکه را معاونت مهندسی در شرکت آب و فاضلاب انجام می‌دهد، به نظر شما آیا وقت آن نرسیده است که مدیریت آب بدون درآمد و مدیریت مصرف در شرکت‌های آب و فاضلاب تشکیل شود؟

مهندس مبینی: شاید تشکیل معاونت مشکلی را حل نکند و مشکل ما این است که چند نفر با هم نمی‌توانند کار کنند. جمع‌بندی مشکلات بحثی اساسی است. مثلاً دفتر فنی شاید هیچ‌وقت نظر شما را نپرسد. پس اگر این چرخه را درست انجام دهند و بخش‌های مختلف با هم همکاری کنند مشکلات حل خواهند شد و صرفاً ایجاد معاونت راهگشا نیست.

مهندس طباطبایی: اگر ما قرار است کاری در این حوزه انجام دهیم باید هدف‌گذاری داشته باشیم و نقشه راه داشته و مرزهای اقتصادی پروژه را بدانیم. باید براساس پروژه محور کردن فعالیت‌ها قابل سنجش باشد و اگر این کار را نکنیم به نتیجه نخواهیم رسید. اگر ما تعریف دقیقی از شبکه داشته باشیم به راحتی می‌توانیم به بحث مدیریت فشار ورود پیدا کنیم. خیلی از شهرها که با کم آبی درگیر بودند این مسائل را درک کرده‌اند و شناسایی مرز اقتصادی بسیار مهم است.

سوال: آیا واگذاری خدمات بهره‌برداری شبکه به بخش خصوصی با هدف کاهش هدررفت واقعی وجود داشته است؟

مهندس طباطبایی: در سال ۹۲ پروژه‌ای در شهر مشهد تعریف شد و همین رویکرد را داشت. هدف، ایجاد شرکت آب و فاضلاب کوچکی بود با تمام وظایف و فعالیت‌ها. بخشی از منابع درآمدی آن از کاهش هدررفت به دست می‌آمد و این اتفاق افتاد. مدیریت فشار می‌تواند عملکرد عکس داشته باشد. قبلاً عرض کردم که عملکرد دوگانه دارد و ما باید نقطه بحرانی

را شناسایی کنیم. در این زمینه نشت‌یابی فعال می‌تواند موثر باشد. پس نیاز به اقدامات اولیه دارد.

سوال: چرا سالانه ۱/۵ درصد کاهش آب بدون درآمد را پیش‌بینی می‌کنید؟ آیا از وضعیت درآمدی شرکت‌ها اطلاع ندارید؟

مهندس طباطبایی: این یک هدف‌گذاری است. شهرها بسیار بزرگ شده‌اند و نیاز به منابع بیشتری دارند. ما در حال حاضر آب شهر مشهد را از سد دوستی با فاصله ۱۷۶ کیلومتر تامین می‌کنیم و ماهانه ۱/۵ میلیارد تومان پول برق پمپاژ را داریم که هزینه‌ها را بالا می‌برد که با شناسایی مرزهای اقتصادی تلفات، منجر به آب ارزان‌تری می‌شود. در مشهد هدف‌گذاری موجود است که باتوجه به رشد جمعیتی شهر مشهد که خارج از رشد طبیعی کشور است، اگر بعد از انقلاب رشد کشور ۲-۳ برابر شده است، مشهد ۶ برابر شده است و این شهر دارای محدودیت‌های آبی فراوان است و ما هدف رشد تولید صفر را در نظر گرفته‌ایم که اولاً سرانه مصرف را تا جایی که می‌شود به لحاظ فرهنگی و تجهیزات کاهنده کاهش دهیم و ثانیاً کاهش هدررفت (در حوزه تلفات واقعی معنا پیدا می‌کند) که به این شکل فاصله بین تولید و مصرف کم شده و هزینه پایداری منابع کمتری متحمل شده‌ایم.

سوال: چرا شما اصلاح شبکه را نفی کردید؟

مهندس توکلی بینا: من اصلاح شبکه را نفی نمی‌کنم. در بعضی مناطق نشت بالای ۳۰ درصد داریم و به شرط این که مدیریت فشار بکنیم در زون و گزارش نشت‌یابی بالاست باید اصلاح شبکه اتفاق بیفتد. براساس تجربه من در یک شبکه ۲۰۰۰ کیلومتری در یک زون ما با اسکادا ۳۰ درصد حوادث شبکه را کاهش داده‌ایم. ادبیاتمان را درخصوص اصلاح شبکه با بیرونی‌ها عوض کنیم، مخصوصاً روستاها که اعتبار آن‌ها بیشتر عمرانی است. فقط نگوییم اصلاح شبکه، ما برای اسکادای شبکه اول یک مطالعه هیدرولیکی انجام می‌دهیم و پهنه‌های فشاری را مجزا می‌کنیم و درجهایی که می‌خواهیم کنترل شود باید فشارشکن نصب شود و بعد کنترل از راه دور روی آن انجام شود. بعد ممکن است ته کوچه‌ای فشار بالا برود و آن‌جا باید اصلاح شبکه انجام شود و آن‌را در برنامه تحلیل دارایی بنویسید. بیرونی‌ها فقط اصلاح شبکه را متوجه می‌شوند ولی ما

در سازمان مدیریت استان جا انداخته‌ایم که پهنه‌بندی و اسکادا وجود دارد و ما برای آن بودجه گرفته‌ایم. تبصره ۳ و ماده ۷، پنج هدف به ما داده است، در این ماده با ریزنی با سیستم‌های محلی و شورای شهر می‌توان به‌منظور جبران قیمت تمام شده و کاهش هدررفت این کار را انجام داد. پس می‌توان با همکاری به‌راحتی بودجه را تامین کرد. در روستاها که شبکه‌ها جمع و جورتر است اسکادای شبکه راحت‌تر است. ولی فقط دو تا مسئله وجود دارد: ۱- نیروی نخبه نداریم و ۲- عدم وجود خط و آنتن و... که در سال‌های اخیر تقریباً با وجود خطوط ارتباطی APN حل شده است.

مدیریت هوشمند شبکه یک مفهوم پیچیده است و نیاز به بانک اطلاعاتی چند ساله دارد و در اسکادای شبکه می‌توان به‌عنوان ساده‌ترین مدل از الگوهای زمانی شهر یا روستا استفاده کنیم که این الگو می‌تواند چندپله‌ای باشد. این الگو ۷۰ درصد مسئله ما را حل خواهد کرد و سپس الگوهای پیچیده‌تر را می‌توان به آن اضافه کرد.

سوال: در خصوص هدررفت آب چقدر نشت مجاز است؟
دکتر جلیلی قاضی زاده: ILI به‌صورت نشت موجود به نشت اجتناب‌ناپذیر تعریف می‌شود و نشت اجتناب‌ناپذیر، حداقل نشت اجرایی است که در هر پروژه‌ای می‌تواند وجود داشته باشند و دستیابی به کمتر از آن بعید است. اگر در پروژه‌ای $ILI=1$ باشد به این معنی است که نشت اجتناب‌ناپذیر آن با نشت موجود یکسان است، که نشان‌دهنده یک پروژه ایده‌آل اجرایی است. ولی باید بدانیم که ایده‌آل حداقل با اقتصادی متفاوت است. در شبکه‌ها به نشت ایده‌آل می‌توان دست یافت. شهرهایی در استان اصفهان داریم که دارای ILI مساوی یک هستند. ولی ممکن است شرایط ایده‌آل، لزوماً اقتصادی نباشد. پس از تعیین این مقادیر برای هر پروژه، باید به سمت ILI اقتصادی پیش رفت.

سوال: خرید تجهیزات اندازه‌گیری ایرانی و خارجی؟ نقطه ضعف تجهیزات بر همه پرواضح است. چرا از طرف دولت سازمان استاندارد برای کنترل واقعی نه شعار، به وظایف و تهیه لیست تجهیزات اقدام نمی‌کند و طبق استاندارد عمل نمی‌کند؟
مهندس مبینی: اگر تجهیزاتی داخلی مناسب با نیاز شما نیست نامه بزنید و اگر کمیته تشخیص داد از خارج بخرید. در

حال آماده‌سازی لیستی از تجهیزات مصرفی هستیم و در بخش شبکه حدوداً به جمع‌بندی اولیه رسیده‌ایم و حدود ۶۰۰۰ قلم مصرفی داریم و باید ببینیم از کدام شبکه بیشتر استفاده می‌شود و کدام بیشتر خراب می‌شود و ... که در برنامه کاری وجود دارد. باید در قسمت تاسیسات هم این‌ها انجام شود.

سوال: چرا فعالیت‌ها برون‌سپاری نمی‌شوند؟
مهندس جمالی: تا حدی خرید تجهیزات نشت‌یابی در حال برون‌سپاری است و سیاست شرکت‌ها به این سمت حرکت می‌کند.

آخرین نکات:

مهندس طباطبایی: مشکل ما باور است، اقدامات کوچک و با برنامه و هدفمند می‌تواند به ما کمک کند.
مهندس توکلی بینا: چهار نکته را بیان می‌کنم:
- کاهش آب بدون درآمد باید به‌عنوان گفتمان راهبردی در شرکت تبدیل بشود و اگر نشود مشکل باور پیدا می‌کنیم.
- در خصوص برخورد با بیرونی‌ها، شامل مسئولین محلی و دولتی و مردم و رسانه‌ها باید ادبیاتمان را تغییر دهیم و مفهوم ۲۴ درصد آب بدون درآمد برای آن‌ها معلوم نیست. مثلاً هدررفت واقعی را بیان کنیم تا مجابشان کنیم.
- مهاجرت رفتاری از اصلاح شبکه به اسکادا شبکه باید انجام شود.
- اصلاح اقتصاد آب باید انجام شود.

مهندس مبینی: دوستان باید طرح عملیات را براساس داده‌های واقعی و اراده مدیریت برای اجرا آماده کنند که با برنامه ۵ ساله می‌توانیم به نتایج درستی برسیم.

مهندس جمالی: برنامه‌ریزی برای آب بدون درآمد به‌دلیل طبیعت پویای عوامل موثر بر آن نیاز به سبک خاصی از برنامه‌ریزی دارد که شناخته شده است. مدیریت پروژه باید به‌صورت چابک انجام شود و قدم الان، قدم بعدی را تعیین می‌کند و راه انتقال از وضع فعلی به برنامه‌های راهبردی است.



رتبه اول سومین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۷ در مقطع کارشناسی ارشد
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)

دانشگاه: تهران

پردیس: دانشکده های فنی، دانشکده مهندسی شیمی

رشته: مهندسی شیمی-گرایش طراحی فرایند

عنوان: بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر تشکیل و عملکرد غشای دینامیکی با استفاده از استاتیک میکسر در

بیوراکتور غشایی

نگارش: محمد صباغیان

اساتید راهنما: دکتر محمدرضا مهرنیا و دکتر محمد اسماعیلی

استاد مشاور: مهندس داود نورمحمدی

زمان: زمستان ۱۳۹۵

چکیده

بهترین عملکرد را در تشکیل همگن غشای دینامیکی دارند، به طوری که کدورت خروجی به کمترین مقدار خود می رسد، اما گرفتگی توسط این دو پارامتر هوادهی در D_{up} برابر با ۸۰ میلی متر افزایش به سزایی داشته است. زمان پایداری به ترتیب برای هوادهی ۳ و ۶ لیتر بر دقیقه برابر با ۱۱۸/۲ و ۹۵ دقیقه است. بنابراین علاوه بر تشکیل همگن غشای دینامیکی، به دلیل گرفتگی زیاد، فاصله جانبی (D_{la}) تغییر داده شد. به طوری که در D_{up} برابر با ۲۵ میلی متر زمان پایداری برای هوادهی ۶ لیتر بر دقیقه حدودا دو برابر شد، ولی زمان تشکیل غشای دینامیکی به ۲۰ دقیقه افزایش یافت که برای مرحله تشکیل، نسبتا زمان کمی است. در ادامه سامانه استاتیک میکسر با سامانه هوادهی و همزن مورد مقایسه قرار گرفت و دو سامانه همزن (دور rpm ۳۰۰) و استاتیک میکسر (فاصله عمودی ۸۰ میلی متر) بهترین عملکرد را در حذف کدورت و زمان تشکیل داشتند. در پایان از بهترین عملکرد سامانه بیوراکتور غشایی دینامیکی همراه با استاتیک میکسر برای عملیات بلند مدت استفاده شد. میانگین حذف COD، نیتروژن یون آمونیوم و فسفر یون فسفات در این سامانه در شرایط عملیاتی تعریف شده به ترتیب برابر با ۸۹/۲٪، ۹۶/۱۳۳٪ و ۵۰/۴۸٪ به دست آمد.

کلمات کلیدی: بیوراکتور غشایی دینامیکی، استاتیک میکسر، غشای دینامیکی، کدورت خروجی، گرفتگی.

در این پژوهش فرایند بیوراکتور غشایی دینامیکی برای تصفیه پساب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. غشای مورد استفاده در این سامانه برخلاف سامانه های رایج بیوراکتور غشایی از نوع مش فیلتر است که به دلیل منافذ بزرگ، نیاز به اصلاح دارد. بنابراین لایه ای از لجن فعال روی سطح مش فیلتر تشکیل می شود، تا عمل تصفیه بهبود یابد. در تشکیل این لایه آن چه حائز اهمیت فراوانی است همگن و یکنواخت بودن لایه است. در حال حاضر از سامانه همزن برای تشکیل غشای دینامیکی استفاده می شود ولی به دلیل مصرف انرژی و هزینه بر بودن آن، تصمیم گرفته شد با سامانه مورد مطالعه استاتیک میکسر جایگزین شود. هدف از این پژوهش تشکیل همگن و یکنواخت غشای دینامیکی بر سطح مش فیلتر با استفاده از استاتیک میکسر است. پارامترهای موثر در تشکیل غشای دینامیکی با استفاده از استاتیک میکسر عبارتند از: فاصله عمودی (D_{up})، فاصله جانبی (D_{la}) و شدت هوادهی که هریک به نوبه خود روی مشخصات جریان در ناحیه غشا، تاثیر به سزایی دارند. برای اثبات این سامانه تاثیر عوامل عملیاتی روی گرفتگی، کدورت خروجی، حذف رنگ، میزان پروتئین و پلی ساکارید لایه غشای دینامیکی، جرم خشک غشای دینامیکی و ضخامت غشای دینامیکی بررسی شد. فاصله عمودی (D_{up}) ۸۰ میلی متر و هوادهی ۳ و ۶ لیتر بر دقیقه



رتبه سوم دومین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۶ در مقطع کارشناسی

ارشد

(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)

دانشگاه: آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

دانشکده: فنی و مهندسی

رشته: مهندسی عمران - مهندسی آب

عنوان: توسعه مدل تصمیمگیری چند معیاره طرحهای بازسازی شبکههای توزیع آب

نگارش: ستار صالحی

اساتید راهنما: دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده و پروفسور مسعود تابش

استاد مشاور: پروفسور ابوالفضل شمسانی

زمان: تابستان ۱۳۹۶

چکیده

بنابراین برای تحلیل بازسازی کلیه لوله های شبکه توزیع آب تحت اثر معیارهای مؤثر مختلف، توسعه روشی توانمند ضروری به نظر می آمد؛ که برای این امر روش TOPSIS برای مدل سازی بازسازی شبکه توزیع آب انتخاب شد. علت انتخاب این روش توانایی بالای آن در مدل سازی مسائلی است که دارای کثرت قابل توجهی از معیار و گزینه های تصمیم گیری هستند. بر این اساس با توجه به این که در حوزه برنامه ریزی طرح های بازسازی شبکه های توزیع آب تاکنون از این روش استفاده نشده (علی رغم استفاده در دیگر حوزه های مدیریت شهری)، بنابراین می توان این رساله را به عنوان یکی از جدیدترین تجربه های استفاده از مدل TOPSIS در این حوزه دانست. علاوه بر این در این تحقیق ضروری بود که بتوان عدم قطعیت موجود در اطلاعات شبکه های توزیع آب را پوشش داده و مرتفع نمود. همچنین با توجه به ضرورت استفاده از ساختارهای تصمیم گیری گروهی برای بازسازی شبکه های توزیع آب، بتوان شک و تردید موجود در این تصمیم گیری ها را مدل سازی کرد. بنابراین مدل TOPSIS توسعه داده شده در این رساله در قالب ریاضیات فازی (Fuzzy TOPSIS) تبیین شد، تا بتواند موارد

شبکه های توزیع آب شهری یکی از جریان های اصلی در جوامع بشری محسوب شده که همواره طراحی صحیح و بهره برداری مطلوب تأسیسات مرتبط به آن ها مورد توجه خاص مدیران شرکت های آب و فاضلاب بوده است. بر این مبنا یکی از دغدغه های اصلی در این حوزه، اصلاح و بازسازی شبکه های توزیع آب به صورت منسجم و برنامه ریزی شده است. در این رساله به طور خاص فعالیت های بازسازی شبکه های توزیع آب شهری مورد توجه قرار گرفته و اهداف عالیه آن ارائه یک مدل کاربردی برای برنامه ریزی هدفمند این عملیات است. برای این امر در گام اول مجموعه جامعی از معیارهای مؤثر (۴۲ معیار) در برنامه ریزی بازسازی شبکه های توزیع آب مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس یک مدل تصمیم گیری توسعه داده شده که بتواند اثر گذاری این معیارهای جامع را در برنامه ریزی بازسازی شبکه های توزیع آب مدل سازی کند. از طرفی مدل توسعه داده شده در این تحقیق به گونه ای تبیین شده که هر لوله را به عنوان یک گزینه برای عملیات بازسازی تعیین کند، و در نهایت بتواند اولویت های هریک از این لوله ها و سیاست های بازسازی آن ها را تعیین کند.

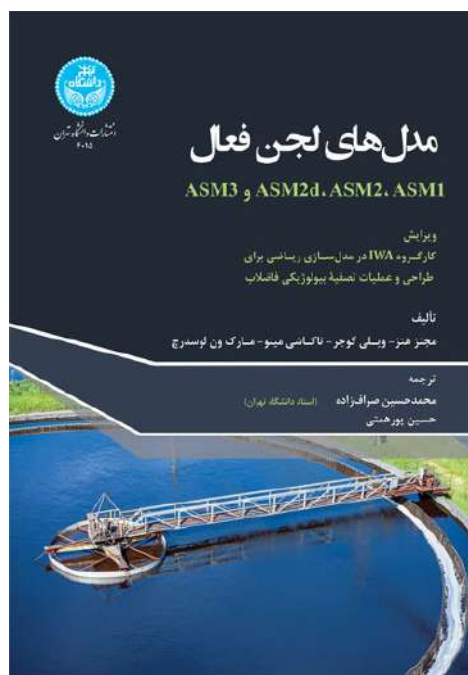
ذکر شده را پوشش داده و مدل سازی نماید. در مدل توسعه داده شده در این رساله از قابلیت های GIS-Based نیز بهره گیری شد تا برنامه ریزی بازسازی شبکه های توزیع آب با استفاده از لایه های GIS شبکه سهل تر شود.

در این رساله برای بررسی صحت عملکرد مدل توسعه داده شده که تحت عنوان مدل WDSR (Water Distribution System Rehabilitation) نام گذاری شده، ابتدا دو مثال رایج در مطالعات پیشین یعنی شبکه دو حلقه ای و شبکه Anytown مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این دو مثال بیانگر دقت عمل مدل WDSR برای مدل سازی تصمیم گیری های گروهی برای بازسازی شبکه و همچنین قابلیت این مدل در تعیین اولویت های بازسازی و سیاست های مرتبط با آنها برای لوله های شبکه است. پس از صحت سنجی مدل WDSR، برای اعتبارسنجی این مدل در تجارب میدانی و واقعی، برنامه بازسازی شبکه توزیع آب شهرک قدس واقع در شهرستان قم با استفاده از WDSR تعیین شد. نتایج این مدل سازی بیانگر آن است که این مدل در مقایسه با نیازهای واقعی این شبکه در سال های گذشته عملکردی صحیح داشته و برنامه ریزی بازسازی را مطابق با نیازهای واقعی شبکه انجام می دهد. بنابراین می توان اذعان داشت که با استفاده از این مدل می توان یک نقشه راه صحیح و بهینه برای برنامه ریزی فعالیت های بازسازی شبکه های توزیع آب ارائه داد. همچنین در این مطالعه میدانی مشخص شد که معیارهای هیدرولیکی اعم از فشار، نرخ جریان و سرعت جریان لوله ها و همچنین معیار قطر لوله می تواند معیارهای قابل اعتمادی برای تعیین اولویت ها و سیاست های بازسازی باشد. از دیگر نتایج به دست آمده از مطالعه شبکه توزیع آب شهرک قدس می توان به این نکته اشاره نمود که برای تعیین اولویت های بازسازی نواحی مختلف شبکه های توزیع آب و همچنین تعیین سیاست های بازسازی لوله ها ارجح است که از الگوی پیش فرض مدل WDSR استفاده نمود، در صورتی که برای تعیین اولویت بازسازی لوله ها بهتر است این الگو با مقادیر حداقل و حداکثر معیارهای تصمیم گیری در حوزه مطالعاتی تطبیق داده شود.

کلید واژه ها: شبکه توزیع آب شهری، بازسازی، مدل تصمیم گیری گروهی چند معیاره، Fuzzy TOPSIS، GIS-Based، WDSR.

نام: مدل‌های لجن فعال ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3 و
ویرایش کارگروه IWA در مدل‌سازی ریاضی برای طراحی و عملیات تصفیه بیولوژیکی زیستی فاضلاب

نویسندگان: مجنز هنز، ویلی گوجر، ناکاشی مینو و مارک ون لوسدرچ
مترجمان: دکتر محمدحسین صرافزاده و حسین پورهمتی (کرسی یونسکو در باز یافت آب)



شابک: ۹۷۸-۹۶۴۰۳۷۲۷۵۳

ناشر: دانشگاه تهران

تعداد صفحات: ۱۲۲

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۷

مدل‌های لجن فعال نامی عمومی برای گروهی از معادلات ریاضی توسعه داده شده در مدل‌سازی فرایندهای تصفیه زیستی فاضلاب و مبتنی بر کاربرد لجن فعال است. کارگروهی از انجمن جهانی آب (IWA) پژوهش در این زمینه را ترتیب داده‌اند. مدل‌های لجن فعال در پژوهش‌های علمی برای مطالعه و فهم آن‌چه در فرایندهای تصفیه زیستی رخ می‌دهد بسیار کارگشا هستند. هم‌چنین، می‌توان آن‌ها را در بهینه‌سازی واحدهای بزرگ مقیاس تصفیه فاضلاب به کار برد.

برای سال‌های طولانی، پژوهشگران گوناگونی کوشیده‌اند فرایندهای زیست‌فناوری را مدل نمایند. مدل‌سازی عملیات تصفیه زیستی فاضلاب نیز، به‌عنوان یکی از رایج‌ترین فرایندهای زیستی، بسیار مورد توجه بوده و مدل‌های گوناگونی نیز برای آن ارائه شده است. با این حال، هرکدام از این مدل‌ها مستقل و مطابق با نظر توسعه‌دهندگان آن مدل تهیه و تنظیم می‌شدند و در نتیجه پیوستگی کافی بین مدل‌های گوناگون وجود نداشت تا به شکل‌گیری یک روش قابل اتکا و یک مدل منطقی و قابل تعمیم منجر شود. برای حل این مشکل، IWA برنامه‌ای را آغاز کرد که به‌نتیجه رسیدن آن، در حدود دو دهه، به‌طول انجامید و در نهایت در سال ۲۰۰۰، در قالب کتاب مدل‌های لجن فعال، ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3 و برای اولین بار چاپ شد. ویژگی مدل‌های IWA آن بود که همگی زبانی مشترک داشتند و از عوامل و عناصر مشترکی بهره می‌بردند که تعریف هریک از آن‌ها مشخص بود. دیگر آن‌که، این مدل‌ها پی‌درپی و با توجه به پیشرفت دانش فنی و مهندسی مربوط به فرایندهای تصفیه، ارائه می‌شدند. ابتدا ASM1 ارائه شد. بعد از آن، ASM2 و سپس با کمی تغییر، ASM2d. در نهایت، ASM3 مبنای کاملاً جدیدی ایجاد کرد. با این حال، پیوستگی و وابستگی بین مدل‌ها کاملاً مشهود است. برای مثال، کاربر ASM3 باید ASM1 را بشناسد. نحوه ارائه مدل ASM3 همان روشی است که اولین بار برای ASM1 به کار رفت؛ یعنی هرچند امروزه مدل‌های اولیه چندان مطلوب نیستند و در بهینه‌سازی و طراحی واحدها مورد استفاده قرار نمی‌گیرند،

دانش ارائه شده در قالب آن مدل‌ها هنوز ابزار کار محققان و مهندسان است. ویژگی قابل توجه دیگر این مدل‌ها این است که کاربرد آن‌ها محدود به شرایط خاصی نیست و برای رسیدن به نتایج منطبق با واقعیت، باید برای هر شرایطی آن‌ها را واسنجی کرد. این بدان معنا است که بر مبنای هر کدام از آن‌ها می‌توان مدل‌های گوناگون دیگری ارائه کرد. شاید دور از واقعیت نباشد اگر بگوییم که این مدل‌ها مانند زبان‌های برنامه‌نویسی هستند که می‌توان با آن‌ها برنامه‌های گوناگونی نوشت که همان زبان نیستند، اما در محدوده قابلیت‌های آن زبان عمل می‌کنند.

این کتاب، به عنوان تنها کتاب مرجع مدل‌سازی سامانه‌های لجن فعال، در تدوین مدل‌های جدید، چارچوب کلی را تعیین می‌کند و وجود این مدل‌های جدید مرهون استفاده از زبان و عوامل و قوانین این کتاب است. کتاب متشکل از چهار فصل بوده که در واقع چهار مدلی هستند که در طول سال‌ها، یکی پس از دیگری، ارائه و سرانجام در قالب کتاب موجود چاپ شدند. باتوجه به جنبه‌های علمی و جهانی این کتاب، معرفی آن به جامعه علمی ایران، از طریق ترجمه آن به فارسی، ضروری می‌نمود. این امر، به خصوص باتوجه به افزایش واحدهای تصفیه فاضلاب کشور در سال‌های اخیر و ضرورت استفاده از مدل‌سازی در طراحی، راهبری، افزایش بهره‌وری و نیز دقت عملیاتی این واحدها، اهمیتی دوچندان یافته است. اکنون، که هر روز بر ضرورت یافتن راه‌حل‌هایی برای معضل کم‌آبی و همچنین آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی بیش از پیش تأکید می‌شود، می‌توان امید داشت که مدل‌های لجن فعال و نرم‌افزارهایی که بر مبنای این مدل‌ها طراحی شده‌اند جای خود را در مقوله تصفیه فاضلاب پیدا کنند تا از هدررفت سرمایه اقتصادی و انسانی در سعی و خطاهای مکرر جلوگیری شود. همچنین، می‌توان امیدوار بود تا در نتیجه نشر کتاب و ارائه آن، به عنوان واحد درسی در مقاطع تحصیلات تکمیلی، نیروهای متخصص آشنا به زبان مدل‌سازی لجن فعال، مدل‌های بومی متناسب با شرایط فاضلاب‌های ایران را تهیه کنند.

در این کتاب مرجع مدل‌سازی، درباره فرایندهای زیستی، که در واحدهای تصفیه رخ می‌دهند، به تفصیل بحث شده است. همچنین، به یاری تجارب کرسی یونسکو در بازیافت آب در حوزه تصفیه فاضلاب، توضیحات متعددی، به صورت پانوش، برای کمک به درک مطالب و نیز ارائه مطالب تازه ارائه شده است. در لینک زیر نیز می‌توان به فایل معرفی تکمیلی کتاب دسترسی داشت: http://press.ut.ac.ir/book_3204.html

[ut.ac.ir/book_3204.html](http://press.ut.ac.ir/book_3204.html)

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه چهارم سال ۱۳۹۷ به شرح زیر است:

- ❁ انتشار سومین شماره از سال سوم نشریه علمی - ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
- ❁ تشکیل یازدهمین جلسه کمیته تلفات آب (۹۷/۱۰/۰۲)
- ❁ تشکیل دومین کمیته تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "کیفیت آب" (۹۷/۱۰/۰۹)
- ❁ تشکیل سومین کمیته تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران با عنوان "بازیافت آب" (۹۷/۱۰/۱۷)
- ❁ برگزاری بیست و هفتمین جلسه هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۷/۱۰/۱۷)
- ❁ ملاقات نمایندگان هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب با آقای مهندس کشفی (۹۷/۱۰/۲۶)
- ❁ برگزاری دومین جلسه کمیته بازیافت آب انجمن (۹۷/۱۱/۰۹)
- ❁ برگزاری دومین جلسه کمیته تخصصی کیفیت آب انجمن (۹۷/۱۱/۱۴)
- ❁ برگزاری جلسه هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۹۷/۱۱/۲۵)
- ❁ برگزاری بیست و هشتمین جلسه هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۷/۱۱/۲۵)
- ❁ انتخاب عضو هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، سرکار خانم دکتر سارا نظیف، به عنوان پژوهشگر برجسته جوان در رشته مهندسی عمران از سوی فرهنگستان علوم جمهوری اسلام ایران (۹۷/۱۲/۰۵)
- ❁ برگزاری بیست و هشتمین جلسه کمیته ملی آب و فاضلاب (۹۷/۱۲/۰۶)
- ❁ برگزاری دوازدهمین جلسه کمیته تخصصی تلفات آب (۹۷/۱۲/۱۲)
- ❁ ملاقات رئیس هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب با معاون شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (۹۷/۱۲/۱۲)
- ❁ برگزاری جلسه نقد و بررسی طرح منابع آب جایگزین در ساختمان‌ها (۹۷/۱۲/۱۳)
- ❁ برگزاری سومین جلسه کمیته تخصصی بازیافت آب انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۷/۱۲/۱۴)
- ❁ انتشار خبرنامه ماهانه انجمن (شماره‌های ۳۴ تا ۳۶)
- ❁ دعوت به عضویت در کمیته های تخصصی انجمن

به نام خدا

حضور اعضای محترم انجمن آب و فاضلاب ایران

با سلام و احترام

ضمن تشکر از عضویت جنابعالی / سرکار عالی در انجمن آب و فاضلاب ایران، با توجه به تشکیل کمیته‌های تخصصی تلفات آب، بازیافت آب و کیفیت آب، بدین وسیله از جنابعالی دعوت می‌شود تا با انتخاب کمیته تخصصی مورد علاقه خود، در برنامه‌ها و فعالیت‌های این کمیته‌ها فعالانه مشارکت به عمل آورید. لطفا نام کمیته تخصصی مورد علاقه خود را به ایمیل انجمن ارسال فرمایید.

با تشکر

انجمن آب و فاضلاب ایران



خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۳۴

IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال سوم - شماره سی و چهارم - دی ماه ۱۳۹۷

اطلاعات تماس:
info@irwwa.ir
۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

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

نشانی تلگرام:
<https://telegram.me/IRWWA94>

نشانی لینکدین:
<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- رویدادهای پیشرو
- اخبار صنعت
- فناوری

همکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف
دکتر مسعود تابش
مهندس سید احمدرضا
شاهنکیان
سروش تابش

سخن اول:



سابقه شماره ۲۲

به نظر شما کدامیک از عوامل زیر بیشترین تاثیر را در افت ایمون تهران داشته است:
۱- توسعه شبکه فاضلاب
۲- برداشت بیش از حد از منابع
۳- تغییرات اقلیمی و کاهش بارش
لطفا شماره گزینه منتخب خود را به آدرس ایمیل comp.irwwa@gmail.com تا ۲۹ اسفند ارسال فرمایید. در قسمت subject ایمیل شماره سابقه را وارد کنید. در پایان هر ماه به نظر برگزیده به قید قرعه هدیه‌ای اعطا می‌شود.

با مشارکت عالی اعضا محترم انجمن آب و فاضلاب ایران، در ماه جاری دو کمیته جدید تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران، کمیته "باز یافت آب" و نیز کمیته "کیفیت آب" فعالیت خود را آغاز نمودند. با توجه به حضور فعال متخصصان جوان و با انگیزه در کنار صاحب‌نظران پیشکسوت و مجرب از صنعت و دانشگاه در این کمیته‌ها، انتظار می‌رود که فعالیت‌های این کمیته‌ها منشا خیر و برکت فراوانی برای کشور در حوزه صنعت آب و فاضلاب باشد. از کلیه اعضا محترم انجمن آب و فاضلاب که علاقمند به مشارکت در این کمیته‌ها هستند، برای عضویت و مشارکت در این کمیته‌ها دعوت می‌شود. امیدواریم که چون گذشته همراهی شما عزیزان را نیز در این کمیته‌ها داشته باشیم.



خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۳۵

IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال سوم - شماره سی و پنجم - بهمن ماه ۱۳۹۷

اطلاعات تماس:
info@irwwa.ir
۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

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

نشانی تلگرام:
<https://telegram.me/IRWWA94>

نشانی لینکدین:
<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- رویدادهای پیشرو
- اخبار صنعت

همکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف
دکتر مسعود تابش
مهندس سید احمدرضا
شاهنکیان
سروش تابش

سخن اول:



سابقه شماره ۲۳

به نظر شما مهمترین محدودیت در استفاده از آب خاکستری در مناطق مسکونی چیست؟
(الف) عدم وجود زیرساختهای مناسب برای تفکیک آب خاکستری و بارشوری آن
(ب) عدم وجود زیرساختهای فرهنگی و اجتماعی برای استفاده از آن
(ج) عدم اطمینان پذیری بالای سیستم های جمع آوری، تصفیه و توزیع در استفاده از این منابع
لطفا شماره گزینه منتخب خود را به آدرس ایمیل comp.irwwa@gmail.com تا ۲۱ فروردین ارسال فرمایید. در قسمت subject ایمیل شماره سابقه را وارد کنید. در پایان هر ماه به نظر برگزیده به قید قرعه هدیه‌ای اعطا می‌شود.

با توجه به تشکیل کمیته های تخصصی در انجمن آب و فاضلاب ایران زمینه برای همکاری بسیار نزدیک اعضا محترم با فعالیتهای انجمن فراهم شده است. اعضا انجمن می‌توانند به فراخور علاقه و تخصص خود در این کمیته ها به فعالیت بپردازند و محدودیتی در عضویت این کمیته ها وجود ندارد. عمده فعالیتهای این کمیته ها بر شناخت چالشهای فنی و نیازهای صنعت در زمینه تخصصی و زمینه سازی پاسخ به آنهاست که در قالب برگزاری کارگاه ها و دوره های آموزشی، کنفرانسها، نشستهای تخصصی انتشارات و تعریف و انجام طرحهای پژوهشی تعریف می‌شوند. منتظر حضور فعال شما عزیزان در کمیته ها هستیم.



خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۳۶

IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال سوم - شماره سی و ششم - اسفند ماه ۱۳۹۷

اطلاعات تماس:
info@irwwa.ir
۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

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

نشانی تلگرام:
<https://telegram.me/IRWWA94>

نشانی لینکدین:
<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- رویدادهای پیشرو
- اخبار صنعت

همکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف
دکتر مسعود تابش
مهندس سید احمدرضا
شاهنکیان
سروش تابش

سخن اول:



بهار با نوید رویش مجدد و دوباره برخاستن بعد از سختی و مشقت زمستانی سرد فرا میرسد تا درسی باشد برای سبز شدن بعد از سختی ها و مشکلات. در سالی که گذشت علیرغم تمام فراز و نشیبها، با همراهی شما عزیزان و یاوران بردبار و همیشه همراه انجمن آب و فاضلاب ایران، یک گام در پیشبرد اهداف انجمن به جلو گذاشتیم و سعی نمودیم تا گامی برداریم در جهت حل مشکلات صنعت آب و فاضلاب و ارتقا دانش تخصصی و حرفه ای در این حوزه، در سال آینده با توجه به وضعیت موجود کشور، توسعه فعالیتها در جهت استفاده هرجه بهتر از منابع موجود و ارتقای بهره وری از اهمیت دوچندان برخوردار خواهد بود و انجمن امیدوار است که بتواند در این ارتباط اقدامات موثری را انجام دهد. همچون همیشه در سال جدید نیز منتظر حضور گرم و فعال شما در کنار انجمن و نیز کمیته های تخصصی آن هستیم.



انجمن آب و فاضلاب ایران

معرفی انجمن

انجمن آب و فاضلاب ایران از تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۰۱ توسط تعدادی از برجسته‌ترین استادان و پیشکسوتان حوزه مهندسی و علوم آب و فاضلاب کشور با مجوز کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تشکیل شد. پروانه تأسیس انجمن به شماره ۳-۲۱۰۶۱۹ مورخ ۱۳۹۴/۱۱/۰۷ توسط معاونت پژوهشی و فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری صادر گردید. اعضای این انجمن شامل اعضای هیئت علمی و دانشجویان دانشگاه‌های مختلف در رشته‌های مرتبط با علوم آب و فاضلاب و متخصصین صنعت آب و فاضلاب کشور می‌باشند. در راستای ارتقای علوم آب و فاضلاب و ارتباط هرچه نزدیک‌تر با این صنعت، بر طبق اساسنامه اهداف متنوعی پیش‌بینی شده است که انجمن فعالیت‌های خود را در راستای تحقق آن‌ها برنامه‌ریزی کرده است.



Iran Water & Wastewater Association

اهداف انجمن

- ایجاد و تحکیم روابط علمی و تحقیقاتی در سطح ملی و بین‌المللی بین محققان و متخصصانی که به گونه‌ای با علوم و مهندسی آب و فاضلاب سروکار دارند.
- همکاری با نهادهای اجرایی، علمی و پژوهشی در زمینه ارزیابی، بازنگری، اجرا و راهبری طرح‌ها و برنامه‌های مربوط به امور آموزش و پژوهش.
- مشارکت مؤثر در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان و ارائه راهکار یا نقدهای مفید در زمینه امور اجرایی آب و فاضلاب.
- ترغیب و تشویق پژوهشگران و تجلیل از محققان، استادان و دانشجویان ممتاز و همچنین فعالان پیشکسوت حوزه آب و فاضلاب.
- ارائه خدمات آموزشی، پژوهشی و فنی.
- برگزاری مسابقات و رقابت‌های علمی در سطح ملی.
- برگزاری گردهمایی‌های علمی در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی.
- انتشار کتب و نشریات علمی

عضویت در انجمن

- عضویت در انجمن به چهار نوع حقیقی، حقوقی، افتخاری و دانشجویی است.
- ✓ عضویت مؤسسان و کلیه افرادی که حداقل دارای درجه کارشناسی ارشد در علوم و مهندسی آب و فاضلاب و گرایش‌ها و رشته‌های وابسته باشند، به‌صورت پیوسته است.
 - ✓ عضویت اشخاصی که دارای درجه کارشناسی هستند و مدت ۵ سال به نحوی در یکی از رشته‌های مذکور شاغل باشند، به‌صورت وابسته است.
 - ✓ عضویت اشخاص ایرانی و خارجی که مقام علمی و سازمانی آنان در زمینه‌های مهندسی و علوم آب و فاضلاب و گرایش‌های مرتبط حائز اهمیت خاص باشد، یا در پیشبرد اهداف انجمن کمک‌های مؤثر و ارزنده‌ای نموده باشند، به‌صورت افتخاری است.
 - ✓ عضویت سازمان‌هایی که در زمینه‌های علمی و پژوهشی مربوط به آب و فاضلاب و علوم مرتبط فعالیت دارند، به‌صورت حقوقی است.
 - ✓ عضویت کلیه دانشجویانی که در رشته‌های مرتبط با مهندسی و علوم آب و فاضلاب به تحصیل اشتغال دارند، به‌صورت دانشجویی است.
- اعضای انجمن پس از پرداخت حق عضویت سالانه از مزایای ارزنده‌ای ازجمله تخفیف در کنفرانس‌ها، دوره‌های آموزشی و کارگاهی، امکان حضور در نشست‌ها و کارگروه‌های تخصصی و بسیاری از تسهیلات دیگر، برخوردار خواهند شد.

ارکان اصلی انجمن

اعضای هیئت مؤسس

دکتر احمد ابریشم‌چی	دکتر عباس افشار
دکتر بیژن بینا	مهندس عباس پیراینده
دکتر مسعود تابش	دکتر مسعود تجریشی
دکتر ناصر رازقی	

اعضای هیئت مدیره

اعضاء اصلی	سمت
دکتر مسعود تابش	(رئیس هیئت مدیره)
مهندس علی اصغر قانع	(نایب رئیس)
دکتر حمیدرضا صفوی	(خزانه‌دار)
دکتر سارا نظیف	(دبیر)
دکتر ناصر طالب بیدختی	
دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده	
مهندس عباس پیراینده	

اعضاء علی‌البدل

دکتر حسین سجادی‌فر - دکتر رحیم عالی - مهندس محمد عبداله‌زاده
--

بازرسین

دکتر میلاد لطیفی (اصلی)	مهندس حمیدرضا هنری (علی‌البدل)
-------------------------	--------------------------------

برنامه‌های مهم انجمن

- برگزاری کنگره آب و فاضلاب ایران به‌طور مستمر با مشارکت دانشگاه‌ها و شرکت‌های آب و فاضلاب کشور
- انتشار مجلات علمی - ترویجی و علمی - پژوهشی
- برگزاری کارگاه‌های آموزشی و سخنرانی‌های علمی
- راه‌اندازی شعب استانی و شاخه‌های دانشجویی
- انتخاب و تشویق پایان‌نامه‌ها و تحقیقات برتر در دانشگاه و صنعت
- برگزاری بازدیدهای علمی

چارت سازمانی انجمن



انجمن آب و فاضلاب ایران



سایت انجمن

سایت انجمن علمی به نشانی irwwa.ir حاوی مطالب تخصصی (شامل نشریات، کتب، استانداردها، پایان‌نامه‌ها، ...)، اخبار کنفرانس‌های داخلی و بین‌المللی و بسیاری مطالب ارزنده دیگر آماده خدمت‌رسانی رایگان به اعضا و علاقه‌مندان در زمینه آب و فاضلاب است.

خبرنامه انجمن

خبرنامه انجمن که به‌صورت ماهانه منتشر می‌شود، پلی خواهد بود میان ما و شما تا بتوانیم با همراهی یکدیگر ضمن اطلاع از اخبار و دانش روز علمی و حرفه‌ای صنعت آب و فاضلاب، گام‌های مؤثری در راستای توسعه و ارتقاء انجمن برداریم.

با ما همراه باشید

تهران، خیابان طالقانی، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷

۸۸۳۹۱۳۹۰۰۰۲۱

۱۰۰۰۲۱۶۱۱۱۲۶۴

irwwa.ir
info@irwwa.ir

<https://telegram.me/irwwa94>

<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>

Iran Water & Wastewater Association



انجمن آب و فاضلاب ایران

معرفی کمیته‌های تخصصی انجمن

کمیته تخصصی هدررفت آب



IWWA Water Loss
Specialist Group



Iran Water & Wastewater Association

ارکان کمیته

اعضا

هیئت رئیسه

هیئت رئیسه

اعضای اصلی

دکتر تابش (دبیر)	مهندس مبینی
دکتر جلیلی قاضی زاده	دکتر میرسپاسی
دکتر حریری اصلی	مهندس هنری
مهندس سیدزاده	

اعضای علی‌البدل

دکتر صالحی	مهندس غزلی
------------	------------

برای عضویت در گروه تلگرامی "Water Loss" و مشارکت و تبادل نظر با اعضاء کمیته هدررفت آب و دیگر اعضاء گروه، از لینک زیر استفاده کنید.

<https://t.me/joinchat/Dq3UUFLLJre6fdZflg0yEqw>

رویکرد اصلی

تلاش در جهت تبیین و بهبود شیوه‌های مدیریت مصرف و کاهش هدررفت آب روش‌ها:

آموزش، پژوهش، تبلیغات، انتشارات، ارتقای فناوری و ظرفیت‌سازی از طریق ارتباط با شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی، دانشگاه‌ها، مشاورین، پیمانکاران، تولیدکنندگان، تصمیم‌سازان و اقشار مختلف مردم برنامه‌های در دست اقدام:

برگزاری مستمر همایش‌های مدیریت مصرف و هدررفت آب (با همکاری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)



اعضا (فراخوان عضویت در کمیته)

کلیه علاقمندان به مشارکت در برنامه‌های مدیریت مصرف و هدررفت آب می‌توانند برای عضویت در "کمیته تخصصی هدررفت آب" یا از طریق ایمیل و تلفن، با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند و یا به ترتیب زیر عمل نمایند:

فرآیند عضویت در کمیته

مراجعه به سایت انجمن آب و فاضلاب ایران به نشانی irwwa.ir

عضویت در سایت و دریافت پسورد

تکمیل فرم عضویت انجمن و انتخاب نوع کمیته تخصصی در فرآیند ثبت نام

تعیین و تأیید نوع عضویت توسط انجمن و صدور کارت عضویت

سایر اهداف

بررسی آسیب‌شناسانه وضعیت موجود مدیریت مصرف و هدررفت آب و ترسیم وضع مطلوب
بررسی آسیب‌شناسانه روند آموزش و پژوهش در این حوزه
آسیب شناسایی آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود و برنامه‌ریزی برای اصلاح آنها یا تدوین استانداردهای جدید
انتشار کتاب و نشریه در رابطه با موضوع
کمک به تبیین موضوع از طریق ارتباط با جامعه، صدا و سیما، خبرگزاری‌ها، مطبوعات، مدارس، تصمیم‌سازان و ایجاد یک فرهنگ عمومی



انجمن آب و فاضلاب ایران

کلیه اعضا و علاقمندان می‌توانند دستاوردهای علمی و تجربی خود را برای انتشار در "نشریه علمی- ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب" از طریق آدرس jwwse.ir ارسال کنند.

با ما همراه باشید

ارتباط مستمر با هیئت رئیسه انجمن و مشارکت در برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های مصوب انجمن در این حوزه

تهران، خیابان طالقانی، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد



irwwa.ir
info@irwwa.ir

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۱۰۰۰۲۱۶۱۱۲۲۶۴

<https://telegram.me/irwwa94>

<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>



Iran Water & Wastewater Association



انجمن آب و فاضلاب ایران

معرفی کمیته‌های تخصصی انجمن

کمیته تخصصی کیفیت آب



IWWA Water Quality
Specialist Group



Iran Water & Wastewater Association

رویکرد اصلی

گسترش فعالیت‌های کنترل کیفیت و تلاش در جهت حفظ و ارتقای کیفیت منابع آب و آب شرب
روش‌ها:

آموزش، پژوهش، تبلیغات، انتشارات، ارتقای فناوری و ظرفیت‌سازی از طریق ارتباط با سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط دولتی، دانشگاه‌ها، مشاورین، پیمانکاران، تولیدکنندگان، تصمیم‌سازان و اقشار مختلف مردم

برنامه‌های در دست اقدام:

- شناسایی چالش‌ها و نیازهای صنعت در حوزه کنترل کیفیت آب و تدوین برنامه مناسب برای پاسخگویی به آنها
- برگزاری دوره‌ها و کارگاه‌های آموزشی
- مشاوره در حوزه کنترل کیفیت و ارائه راهکارهای کاربردی
- ایجاد کارگروه‌های مختلف (حريم، اجتماعی، ارزیابی تجهیزات، مواد و لوازم کیفیت، اقتصاد آزمایشگاه‌ها، خانواده، زنان و کیفیت)
- اطلاع‌رسانی عمومی در حوزه کنترل کیفیت آب به جامعه از طریق بولتن، تبلیغات، مقالات کوتاه، سایت و خبرنامه
- تهیه بانک اطلاعاتی جامع اساتید و شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات

سایر اهداف

بررسی آسیب‌شناسانه وضعیت موجود در راستای توسعه کنترل و افزایش کیفیت آب در سطح کشور و ترسیم وضع مطلوب
بررسی آسیب‌شناسانه روند آموزش و پژوهش در این حوزه
آسیب شناسایی آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود و برنامه‌ریزی برای اصلاح آنها یا تدوین استانداردهای جدید
تولید دانش و انتشار کتاب و نشریه در رابطه با موضوع
کمک به تبیین موضوع از طریق ارتباط با جامعه، صدا و سیما، خبرگزاری‌ها، مطبوعات، مدارس، تصمیم‌سازان و ایجاد یک فرهنگ عمومی

اعضا (فراخوان عضویت در کمیته)

کلیه علاقمندان به مشارکت در فعالیت‌های کنترل کیفیت می‌توانند برای عضویت در "کمیته تخصصی کیفیت آب" یا از طریق ایمیل و تلفن، با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند و یا به ترتیب زیر عمل نمایند:

فرآیند عضویت در کمیته

مراجعه به سایت انجمن آب و فاضلاب ایران
به نشانی irwwa.ir

عضویت در سایت و دریافت پسورد

تکمیل فرم عضویت انجمن و انتخاب نوع کمیته تخصصی در فرآیند ثبت نام

تعیین و تأیید نوع عضویت توسط انجمن و صدور کارت عضویت

ارکان کمیته

اعضا

هیئت رئیسه

هیئت رئیسه

دکتر اکبری	مهندس شفاقی
مهندس امیر مظاهری	دکتر غلامی
دکتر باغبان (دبیر)	دکتر غیائی
دکتر ترابیان	مهندس قنادی
دکتر حسن	مهندس اعظم واقفی

برای عضویت در گروه تلگرامی "IWWA_water quality" و مشارکت و تبادل نظر با اعضا کمیته کیفیت آب و دیگر اعضای گروه، از لینک زیر استفاده کنید.
https://t.me/joinchat/Dq3UUENbO_xShzraq5CwIQ



انجمن آب و فاضلاب ایران

کلیه اعضا و علاقمندان می‌توانند دستاوردهای علمی و تجربی خود را برای انتشار در "نشریه علمی- ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب" از طریق آدرس jwwse.ir ارسال کنند.

با ما همراه باشید

ارتباط مستمر با هیئت رئیسه انجمن و مشارکت در برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های مصوب انجمن در این حوزه

تهران، خیابان طالقانی، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد



irwwa.ir
info@irwwa.ir

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۱۰۰۰۲۱۶۱۱۱۲۲۶۴

<https://telegram.me/irwwa94>

<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>



Iran Water & Wastewater Association



انجمن آب و فاضلاب ایران

معرفی کمیته‌های تخصصی انجمن

کمیته تخصصی بازیافت آب



IWWA Water Reuse
Specialist Group



رویکرد اصلی

تلاش در جهت گسترش پایدار و ایمن
فعالیت‌ها در حوزه بازیافت آب
روش‌ها:

آموزش، پژوهش، تبلیغات، انتشارات، ارتقای
فناوری و ظرفیت‌سازی از طریق ارتباط با
سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط دولتی،
دانشگاه‌ها، مشاورین، پیمانکاران،
تولیدکنندگان، تصمیم‌سازان و اقشار مختلف
مردم

برنامه‌های در دست اقدام:

- شناسایی چالش‌ها و نیازهای صنعت و
تدوین برنامه مناسب برای پاسخگویی به
آنها
- برگزاری دوره‌ها و کارگاه‌های آموزشی
- مشارکت در تدوین استانداردهای مورد نیاز

سایر اهداف

- بررسی آسیب‌شناسانه وضعیت موجود
در راستای توسعه بازیافت در سطح کشور و
ترسیم وضع مطلوب
- بررسی آسیب‌شناسانه روند آموزش و
پژوهش در این حوزه
- آسیب شناسایی آیین‌نامه‌ها و
استانداردهای موجود و برنامه‌ریزی برای
اصلاح آنها یا تدوین استانداردهای جدید
- انتشار کتاب و نشریه در رابطه با
موضوع
- کمک به تبیین موضوع از طریق ارتباط
با جامعه، صدا و سیما، خبرگزاری‌ها،
مطبوعات، مدارس، تصمیم‌سازان و ایجاد
یک فرهنگ عمومی



انجمن آب و فاضلاب ایران

کلیه اعضا و علاقمندان می‌توانند دستاوردهای
علمی و تجربی خود را برای انتشار در "نشریه
علمی-ترویجی علوم و مهندسی آب و
فاضلاب" از طریق آدرس jwwse.ir ارسال
کنند.

با ما همراه باشید

ارتباط مستمر با هیئت رئیسه انجمن و مشارکت در
برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های مصوب انجمن در این حوزه

تهران، خیابان طالقانی، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

۱۰۰۰۲۱۶۱۱۱۲۶۴



irwwa.ir
info@irwwa.ir

<https://telegram.me/irwwa94>

<https://ir.linkedin.com/in/irwwa-irwwa-098454117>



اعضا (فراخوان عضویت در کمیته)

کلیه علاقمندان به مشارکت در برنامه‌های کمیته
تخصصی "بازیافت آب" یا از طریق ایمیل و
تلفن، با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند و یا
به ترتیب زیر عمل نمایند:

فرآیند عضویت در کمیته

مراجعه به سایت انجمن آب و فاضلاب ایران
به نشانی irwwa.ir

عضویت در سایت و دریافت پسورد

تکمیل فرم عضویت انجمن و انتخاب نوع
کمیته تخصصی در فرآیند ثبت نام

تعیین و تأیید نوع عضویت توسط انجمن و
صدور کارت عضویت

ارکان کمیته

اعضا

هیئت رئیسه

هیئت رئیسه

اعضای اصلی

دکتر اکبرزاده	دکتر محمدی ده چشمه
دکتر حسن اقلی	دکتر مهرنیا
دکتر صراف زاده	مهندس نایب
مهندس عبدالله زاده	دکتر نظیف (دبیر)
دکتر فاضلی	مهندس وکیلی
مهندس قانع	دکتر یارقلی

اعضای علی‌البدل

دکتر اکبری	دکتر قاسمیان
دکتر پژوم	دکتر یوسفی

برای عضویت در گروه تلگرامی "IWWA-Water Reuse" و مشارکت و تبادل نظر با اعضاء کمیته بازیافت آب و دیگر اعضای گروه، از لینک زیر استفاده کنید.
<https://t.me/joinchat/BWhqOkVs-rF5fUv7WcQZIQ>

کنفرانس های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکننده	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
کنفرانس ملی بهداشت و محیط زیست	دانشگاه علوم پزشکی اردبیل،	اردبیل-دانشگاه علوم پزشکی اردبیل	۵ تا ۶ تیر ۱۳۹۸	http://confhe.ir/fa/
چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران	دانشگاه ارومیه - انجمن آبخیزداری ایران	ارومیه	۲۵ و ۲۶ تیر ۱۳۹۸	http://wms98.ir/fa/
پانزدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر	دانشگاه شهید باهنر کرمان	کرمان	۶ و ۷ شهریور ۱۳۹۸	http://ncier15.uk.ac.ir/
هفتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب	دبیرخانه دائمی کنفرانس	تهران	۱۴ و ۱۵ مرداد ۱۳۹۸	http://www.ifmc.ir/fa/
چهارمین کنگره بین المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران	دانشگاه میعاد با همکاری دانشگاه شیراز، یاسوج و مازندران	تبریز	۲۳ تا ۲۵ مرداد ۱۳۹۸	http://www.4icsda.ir/fa/
دومین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران	دانشگاه صنعتی مراغه	تهران	۳۱ مرداد ۱۳۹۸	http://caumconf.com/fa/
دومین همایش ملی مدیریت مصرف با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت آب	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشگاه تهران	تهران	۱۹ تا ۲۱ آذر ۱۳۹۸	http://iwwa-conf.ir

کنفرانس های خارجی

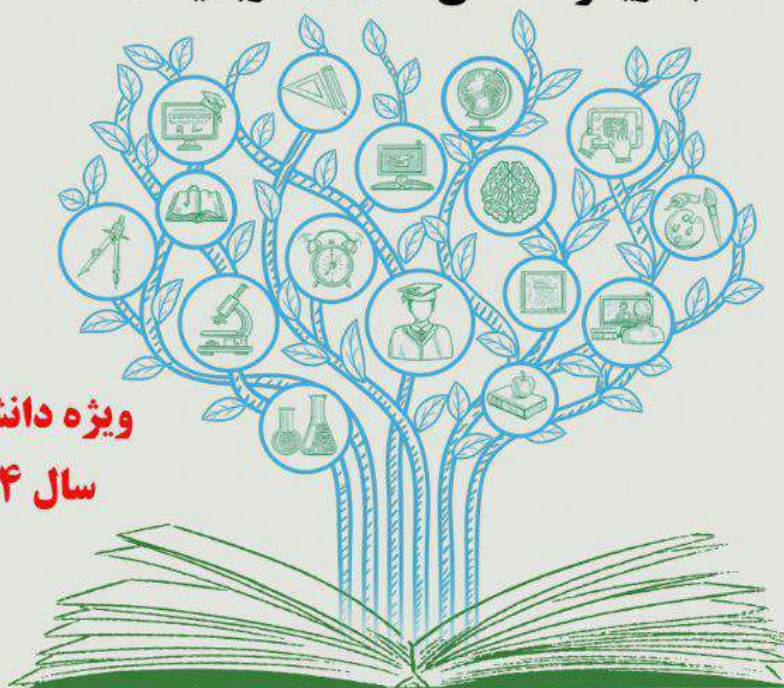
عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
LET2019- The 16th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies	Edinburgh, United Kingdom	10 – 14 June 2019	http://iwa-let.org/
12th IWA International Conference on Water Reclamation and Reuse	Berlin, Germany	16 – 20 June 2019	http://iwareuse2019.org/
10th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries	Rhodes, Greece	19 – 21 June 2019	http://agro2019.itu.edu.tr/
9th IWA Specialised Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	Toulouse, France	23 – 27 June 2019	https://mtc2019.sciencesconf.org/
International Young Water Professionals Conference	Toronto, Canada	23 – 27 June 2019	http://iwa-youngwaterprofessionals.org/
16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion	Delft, Netherlands	23 – 27 June 2019	https://www.ad16conference.com/
IWA Conference on Algal Technologies and Stabilisation Ponds for Wastewater Treatment and Resource Recovery	Valladolid, Spain	1 – 2 July 2019	http://eventos.uva.es/23274/detail/iwalga-e-2019.html
9th IWA Specialized Conference on Sustainable Viticulture, Winery Wastes and Agri-industrial Wastewater Management	Mons, Belgium	3 – 5 July 2019	http://www.winery2019.com/

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
The 11th International Symposium on Water Supply Technology – Supported	Yokohama, Japan	9 – 11 July 2019	https://water2019.jp/en/
9th International Conference on Sewer Processes and Networks	Aalborg, Denmark	27 – 30 August 2019	http://www.spn9.dk/
10th IWA Symposium on Modelling and Integrated Assessment	Copenhagen, Denmark	1 – 4 September 2019	http://www.watertext2019.org/
Smarter Catchment Monitoring, Cleaner Waters- Supported	London, United Kingdom	4 – 6 September 2019	http://conference.intcatch.eu/
3rd IWA Resource Recovery Conference	Venice, Italy	8 – 12 September 2019	http://www.iwarr2019.org/
5th IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilisations: Evolution of Technologies from Prehistory to Modern Times	Dead Sea, Jordan	11 – 13 September 2019	http://conferences.ju.edu.jo/en/IWA5/Home.aspx
20th International Symposium on Health Related Water Microbiology	Vienna, Austria	15 – 20 September 2019	http://www.hrwm.eu/
Regional Water Loss Conference	Bucharest, Romania	22 – 24 September 2019	http://www.waterloss2019.org/index.php/en/
LESAM/PI 2019	Vancouver, Canada	23 – 27 September 2019	https://lesampi2019.com/upload/
IWA-IDB Innovation Conference on Sustainable Use of Water: Cities, Industry and Agriculture	Guayaquil, Ecuador	30 September – 3 October 2019	https://www.globalsustainablewater.org/
11th IWA EE YWP Conference: Water for All, Water for Nature, Reliable Water Supply, Wastewater, Treatment and Reuse	Prague, Czech Republic	1 - 5 October 2019	http://iwa-ywp.eu/
The 7th IWA Specialist Conference on Natural Organic Matter in Water	Tokyo, Japan	7 – 10 October 2019	http://iwa-nom7.org/index.html
European workshop. Wastewater Phosphorus Removal Tomorrow: Ambitions and Reality – Supported	Liege, Belgium	9 October 2019	https://phosphorusplatform.eu/events/upcoming-events
8th IWA Odour and VOC/Air Emissions Conference	Hangzhou, China	14 - 16 October 2019	http://iwaodours2019.csp.escience.cn/
11th Micropol & Ecohazard Conference 2019	Seoul, South Korea	20 – 24 October 2019	http://www.micropol2019.org/
19th IWA International Conference on Diffuse Pollution & Eutrophication	Jeju, South Korea	27 – 31 October 2019	http://www.iwadipcon2019.org/
8th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition 2019	Hong Kong, China	31 October – 2 November 2019	http://www.iwaaspire2019.org/
Amsterdam International Water Week Conference	Amsterdam, Netherlands	4 – 5 November 2019	https://www.amsterdamiww.com/
IWA Biofilms: Biofilms & their interactions with surfaces	Santiago, Chile	5 – 8 November 2019	http://biofilms2019.org/
IWA Particle Separation Specialist Conference 2019: Formation, Utilization and Removal of Particles for Improved Water Quality	Amherst, Massachusetts, USA	13 – 15 November 2019	https://blogs.umass.edu/iwaparticles2019/%20%20
The 4th IWA Spain National Young Water Professionals Conference	Madrid, Spain	13 – 15 November 2019	https://iwa-network.org/events/the-4th-iwa-spain-national-young-water-professionals-conference/

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
8th IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference	Hiroshima, Japan	17 – 20 November 2019	http://mewe2019.org/
2019 Innovation Conference on Sustainable Wastewater Treatment and Resource Recovery	Shanghai, China	25 – 28 November 2019	http://www.nrr2019.com/
16th International Specialised Conferences on Small Water and Wastewater Systems	Murdoch, Australia	1 – 5 December 2019	http://www.swws2019.com/
IWA Water and Development Congress & Exhibition 2019	Colombo, Sri Lanka	1 – 5 December 2019	http://www.waterdevelopmentcongress.org/
15th IWA Specialist Conference on Water Basin and River Management	Quy Nhon, Vietnam	9 – 13 February 2020	http://www.iwa-network.org/events/15th-iwa-specialist-conference-on-water-basin-and-river-management/
2nd IWA Polish Young Water Professionals Conference	Warsaw, Poland	12 – 14 February 2020	https://iwa-network.org/events/2nd-iwa-polish-young-water-professionals-conference/
6th IWA young water professionals conference of the BeNeLux	Luxembourg, Luxembourg	12 – 14 February 2020	https://iwa-network.org/events/6th-iwa-young-water-professionals-conference-of-the-benelux/
IWA Conference Water in Industry 2020	Nanjing, China	30 March – 2 April 2020	https://iwa-network.org/events/iwa-conference-water-in-industry-2020/

فرخوان چهارمین دوره انتخاب پایان نامه برتر باموضوع

مدیریت مصرف آب
 بارویکرد کاهش هدررفت و بازیافت



ویژه دانش آموختگان
سال ۱۳۹۴ به بعد

انجمن آب و فاضلاب ایران در نظر دارد در چهارمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در حوزه علوم و آب و فاضلاب، پایان نامه های برتر در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری با رویکردهای زیر را مورد تشویق قرار دهد.

- کاهش مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در بخش‌های شرب و صنعت
- فناوری‌های ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب و مدیریت مصرف
- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی و کاهش ریسک استفاده از آن
- تحلیل پایداری و پیوند آب-انرژی در سامانه‌های آبرسانی
- کاهش آب بدون درآمد در سامانه‌های آبرسانی
- هوشمندسازی شبکه‌های توزیع آب، بهره‌برداری از
- تاسیسات آب و فاضلاب در شرایط بحرانی
- رویکردهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در
- مدیریت مصرف و استفاده از پساب
- مدیریت و بازیافت زهاب کشاورزی

از علاقه مندان دعوت می شود تا برای شرکت در مابقه، فایل پایان نامه به همراه مقالات منتشر شده علمی و پژوهشی خود را حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۳۹۸ از طریق سایت انجمن به نشانی IRWWA.IR برگزاری نمایند.

جوایز مابقه پایان نامه برتر همزمان با برگزاری دومین همایش ملی مدیریت مصرف در آذرماه ۱۳۹۸ اعلام می شود.

 i r w w a . i r
 info@iwwa.ir
 [@i r w w a 9 4](tel:@i r w w a 9 4)



آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان طالقانی، (بین قدس و وصال)،
پلاک ۴۲۹، طبقه چهارم، واحد ۷، کد پستی: ۱۴۱۷۷۱۳۷۶۵
تلفکس: ۸۸۳۹۱۳۹۰-۲۱



دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب بارویکرد کاهش هدررفت و بازیافت

زمان: ۱۹ تا ۲۱ آذر ماه ۱۳۹۸
مکان: دانشگاه تهران

2nd NATIONAL CONFERENCE ON
WATER CONSUMPTION MANAGEMENT
LOSS REDUCTION & REUSE
10-12 DEC. 2019 - TEHRAN-IRAN

محورهای همایش

- کاهش مصرف و ارتقای بهره وری آب در بخش های شرب و صنعت
- فناوری های ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب و مدیریت مصرف
- پایش کمی و کیفی پساب بازیافتی و کاهش ریسک استفاد از آن
- تحلیل پایداری و پیوند آب-انرژی در سامانه های آبرسانی
- هوشمندسازی شبکه های توزیع آب، بهره برداری از تاسیسات آب و فاضلاب در شرایط بحرانی
- رویکردهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در مدیریت مصرف و استفاده از پساب
- کاهش آب بدون درآمد در سامانه های آبرسانی
- مدیریت و بازیافت زهاب کشاورزی

مهلت ارسال مقالات کامل: ۲۰ مهر ماه ۱۳۹۸

iwwa-conf.ir

info@iwwa-conf.ir

[@WCM2](https://twitter.com/WCM2)



آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس،

کوی فردانش، پلاک ۱۱، دفتر کرسی یونسکو در بازیافت آب

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۷۰۳۷۵، فکس: ۰۲۱-۸۸۹۷۴۶۳۹، ایمیل: ucwr@ut.ac.ir



جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت



کرسی یونسکو بازیافت آب



موسسه آب



جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

 شرکت مهندسی کاشفان	 سیال کنترل FLUID CONTROL ما راهی را پیدا می‌کنیم	 مهندسین مشاور آپخسوان منابع آب - تأسیسات شهری - سدسازی - کشاورزی، منابع طبیعی و دامپروری - حفاظت و مهندسی رودخانه - محیط زیست
 هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company Hapico	 پادیاب تجهیز	 PERSIA ARAS JONOUR Co.
 S.A.A سنگش افزار آسیا (با مسئولیت محدود)	 سپید یاس فراز (سهامی خاص)	 Halilab Group Halilab Company شرکت مهندسی حلیل آب پایدار
 شرکت فناوری زیست محیط سباک صبا تأسیسات تأسیسات: ۱۵۲۲	 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب MAHAB GHODSS CONSULTING ENGINEERING CO.	 م‌لاب قدس شرکت مهندسی مشاور MAHAB GHODSS CONSULTING ENGINEERING CO.
 مهندسین مشاور آبران	 وزارت نیرو شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	 شرکت آب و فاضلاب استان تهران
 BOLANDA تأسیسات اتوماتیک بهداشت (خط) ۰۲۵ - ۳۳۳۳۳۳۳۳ www.bolanda-co.com @bolandafaucets	 مهندسین مشاور آبران آب (سهامی خاص) رسته کارهای آبی - معماری و ژئوتکنیک	 آبساران مهندسین مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir

شرکت آبساران شرکت آبساران در سال ۱۳۶۶ با هدف خدمات مشاوره ای در زمینه های مطالعات، طراحی و نظارت بر اجرای پروژه های تاسیسات آب و فاضلاب، سد سازی، شبکه های آبیاری و زهکشی، حفاظت و مهندسی رودخانه، خدمات مشاوره ای اقتصادی، پدافند غیرعامل، بندر سازی و سازه های دریایی، راه سازی، شهر سازی، محیط زیست، نقشه برداری زمینی و کشاورزی، منابع طبیعی و گلخانه و مدیریت طرح تأسیس شد. شرکت با پشتوانه فنی و تجربی کادر تخصصی خود که در عرصه های علمی و دانشگاهی و در زمینه های کاربردی و اجرایی، فعالیت داشته اند ادامه مسیر داد و با کسب مجوز از سازمان برنامه و بودجه، قادر به انجام مجموعه خدمات مشاوره ای و مطالعات در زمینه مهندسی آب و تاسیسات زیربنایی شد و هم اکنون با استفاده از آخرین دستاوردهای علمی موجود و با استفاده از متدولوژی های نوین مطالعاتی و پیشرفته ترین نرم افزارهای مهندسی، توانایی فعالیت در کلیه عرصه های صنعت آب و دیگر امور عمرانی کشور ایران را دارا است.	 آبساران مهندسین مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir
---	---

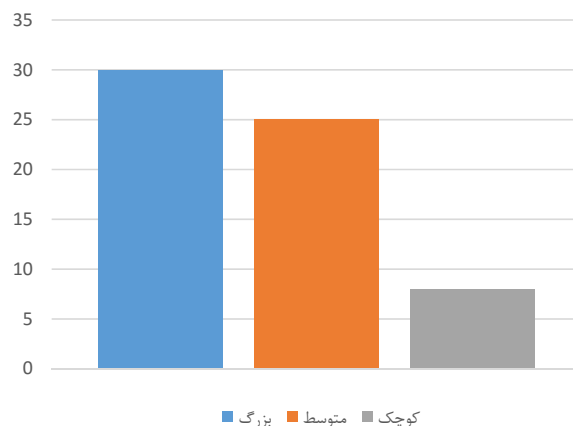
شرکت تجهیزات کاهنده مصرف آب بلندا شرکت دانش بنیان بلندا از سال ۱۳۷۴ با هدف توسعه فرهنگ صرفه جویی در مصرف آب با بومی سازی تکنولوژی ساخت شیرآلات چشمی توسط متخصصان دانشگاهی و ۳ ثبت اختراع و چندین ثبت طرح صنعتی اقدام به تولید بیش از ۸۰ محصول کاهنده مصرف آب از جمله انواع شیرآلات چشمی، پدالی، فشاری زماندار، لمسی، اهرمی و همچنین انواع سردوش های کاهنده (AirTurbo) و آیفشان های کاهنده رگلاتوری نموده است. این شرکت هم اکنون دارنده ۴ نشان استاندارد ملی و تنها دارنده استاندارد آیفشان و شیرآلات چشمی در ایران است و با دریافت مجوز صادرات اتحادیه اروپا (CE)، برگزیده جایزه ستاره طلایی کیفیت پاریس در سال ۲۰۱۵ شد.	 شیرآلات اتوماتیک بلندا www.bolanda-co.com @bolandafaucets
---	---

مجتمع صنعتی طلایه مجتمع صنعتی طلایه به عنوان بزرگترین طراح و تولیدکننده کیت های انشعاب آب و فاضلاب در ایران با بهره گیری از نوآوری، سیستم های مدیریت کیفیت براساس استاندارد ISO 9001-2015 و استاندارد HSE-MS سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت، سعی در توسعه و بهبود تجهیزات و روش های انشعاب آب و فاضلاب را داشته است. این مجتمع از سال ۱۹۸۰ میلادی تاکنون به عنوان مجموعه ای پیشرو در عرصه نوآوری و با تکیه بر خلاقیت مهندسان و کارشناسان خود و بهره گیری از سال ها تجربه، ضمن درک ضرورت بهبود روش ها، با انجام مطالعاتی در جهت کیفی سازی لوازم انشعاب به همراه استفاده بهینه از مواد، موفق به ارتقای کیفیت این صنعت و افزایش رضایت مشتریان خود شده است. این مجتمع تاکنون با تولید بیش از ۷۰۰ نوع محصول در طرح ها و اندازه های مختلف، علاوه بر ثبت تعداد زیادی نوآوری، موفق به کسب ۵۰ عنوان پژوهشگر برتر، سازمان نوآور برتر، مدیر نوآور برتر، کارآفرین برتر ملی، واحد تحقیق و توسعه نمونه، برگزیده طرح کشوری، برند برتر، واحد نمونه استاندارد و ... از نمایشگاه ها و جشنواره ها شده است.	 طلایه همیشه یک گام جلوتر TALAYER INDUSTRIAL COMPLEX تاسیس ۱۳۵۱
---	---

اعضای انجمن از نگاه آمار

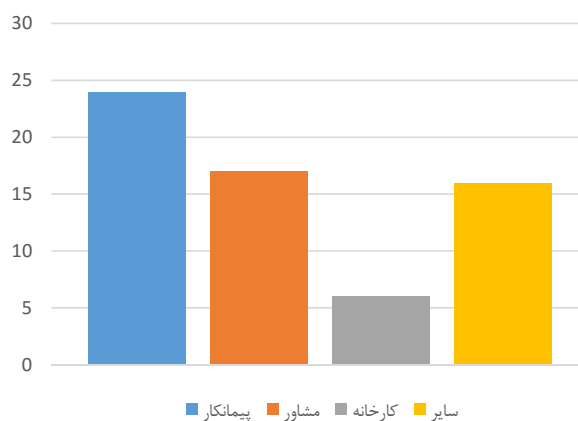
وضعیت اعضای انجمن آب و فاضلاب ایران در دوره اول (۱۳۹۴-۱۳۹۷) به شرح زیر است:

حقوقی	
30	بزرگ
25	متوسط
8	کوچک
63	مجموع



۱- تعداد اعضای حقوقی براساس نوع شرکت

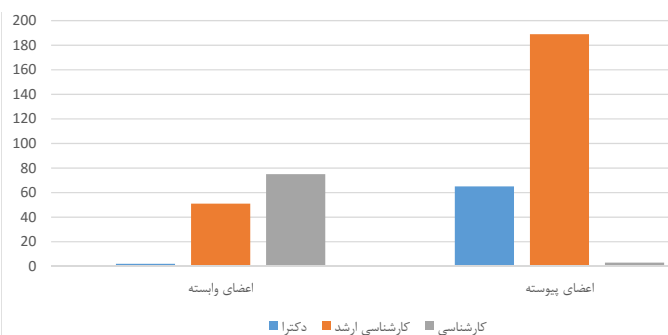
حقوقی	
24	پیمانکار
17	مشاور
6	کارخانه
16	سایر
63	مجموع



۲- تعداد اعضای حقوقی براساس شغل

اعضای پیوسته	
65	دکتر
189	ارشد
3	کارشناسی
257	مجموع

اعضای وابسته	
2	دکتر
51	ارشد
75	کارشناسی
128	مجموع



۳- تعداد اعضای حقیقی براساس تحصیلات

اعضای پیوسته	
181	عمران
28	شیمی
10	مکانیک
18	بهداشت محیط
4	کشاورزی
2	صنایع
6	مدیریت
3	برق
6	سایر
258	مجموع

اعضای وابسته	
68	عمران
15	مکانیک
11	برق
6	بهداشت محیط
11	مدیریت و اقتصاد
8	شیمی
4	آبخیزداری
4	زمین شناسی
1	صنایع
1	علوم اجتماعی
2	نقشه کشی
131	مجموع

۴- تعداد اعضای حقیقی براساس رشته تحصیلی

اعضای پیوسته	
99	ش آبفا
47	شرکت خصوصی
91	دانشگاهی
237	مجموع

اعضای وابسته	
75	ش آبفا
22	شرکت خصوصی
11	دانشگاهی
108	مجموع

۵- تعداد اعضای حقیقی براساس محل کار

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.

تذکر مهم:

با توجه به برگزاری مجمع عمومی و انتخابات انجمن در سال ۱۳۹۷، براساس ضوابط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تنها اعضای حقیقی که حق عضویت خود را پرداخت نموده باشند حق رأی خواهند داشت.

حق عضویت اعضای حقوقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (به ازای هر سال)	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)	۱۰۰۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله با تخفیف (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱)	۱۸۰۰۰۰۰
هزینه صدور و ارسال کارت عضویت (در صورت تمایل به دریافت کارت غیر کاغذی)	۳۰۰۰۰۰

حق عضویت اعضای حقیقی

نوع	مبلغ (ریال)
حق عضویت با تاخیر سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (به ازای هر سال)	۵۵۰۰۰۰
حق عضویت دو ساله (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)	۱۰۰۰۰۰۰
حق عضویت چهار ساله با تخفیف (۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱)	۱۸۰۰۰۰۰
هزینه صدور و ارسال کارت عضویت (در صورت تمایل به دریافت کارت غیر کاغذی)	۳۰۰۰۰۰

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شب: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۰۱۲-۶۲۵۶

بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۷) به نام انجمن آب و

فاضلاب ایران

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

ارسال فرمایید.

* 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 یک سال عضویت حقوقی انجمن

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

مزایای عضویت			عضویت حقیقی			عضویت حقوقی (شرکت‌ها)		
			پایسته	وابسته	کوچک	متوسط	بزرگ	
تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن			٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن			-	-	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن			٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن			٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن			٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن*			-	-	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	
تخفیف خرید انتشارات انجمن			٪۲۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	
امکان صدور معرفی‌نامه عضویت در انجمن			*	*	*	*	*	
اطلاع‌رسانی و امکان حضور در نشست‌ها، گردهمایی‌ها و کارگروه‌های انجمن			*	*	*	*	*	
دسترسی به اطلاعات سایت انجمن	دسترسی به مقالات بارگذاری شده در سایت		*	*	*	*	*	
	دسترسی به آموزش‌های بارگذاری شده در سایت		*	*	*	*	*	

نویسندگان محترم پس از آماده‌سازی مقاله مطابق راهنمای تدوین مقالات، از طریق ثبت نام 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 ثبت نام 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 به هیچ عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.

- وارد کردن اسامی 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 این صورت 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-ترویجی 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.
نویسنده مسئول مقاله به هنگام ثبت مقاله، فایل‌های زیر را برای دفتر مجله از طریق سامانه ارسال می‌نماید:

- فایل Word مقاله بدون نام نویسندگان، که محل شکل‌ها و جدول‌ها را در متن مشخص کرده است اما شکل‌ها و جدول‌ها در انتهای متن ارائه 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 کپی رایت که 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).

🌀 **نرم‌افزار حروف چینی:** نرم‌افزار Microsoft Word 2013
🌀 **عنوان:** کوتاه اما معرف محتوای مقاله است و از ۱۵ واژه تجاوز نمی‌کند.

🌀 **نام نویسنده(گان):** به همان ترتیبی که در مقاله چاپ می‌شود، در یک فایل جداگانه به طور کامل آورده می‌شود. عناوین دانشگاهی نویسنده(گان) به ترتیب نویسنده: مرتبه علمی، گروه، دانشکده، دانشگاه، شهر، کشور نشان داده می‌شود. عناوین غیر دانشگاهی نیز به ترتیب عنوان آخرین مدرک دانشگاهی، سمت، محل کار، شهر و کشور نشان داده شود. ثبت اسامی تمامی نویسندگان به همراه 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 این صورت 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، دانشگاه‌ها، سازمانها و ...).

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

🌀 **چکیده انگلیسی:** باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

🌀 **واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:** باید یکسان و شامل حداقل چهار و حداکثر شش واژه مجزا باشد که موضوع

تحقیق، بیشتر پیرامون آنها است.

🌀 **متن مقاله:** متن کامل مقاله در دو فایل جداگانه شامل یک فایل Word 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، با این تفاوت که محل ارائه تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در انتهای فایل word است و فقط محل ارجاع آن‌ها در متن اصلی جانمایی می‌شود. در فایل pdf، مقاله به صورت کامل و با جانمایی درست شکل‌ها و جدول‌ها ارائه شود. همان‌طور که اشاره شد، در هر دو فایل word و pdf اسامی و مشخصات نویسندگان به طور کامل حذف می‌شوند.

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و همچنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش قدردانی و بخش پی‌نوشت‌ها 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 قبل از لیست مراجع درج می‌شوند. شماره پی‌نوشت‌ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می‌شود و به صورت مسلسل ادامه می‌یابد.

🌀 **جدول‌ها و شکل‌ها:** در صفحات جداگانه در انتهای 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 جداول و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان‌های دبی آب خام در تصفیه‌خانه بابا شیخ علی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۵. در ضمن اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگری اخذ شده است، به مرجع مورد نظر 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 بر حسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

🌀 **مراجع:** نگارش مراجع در این مجله بر اساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت انگلیسی یا فارسی (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. لازم به ذکر است که همه مراجع فارسی انگلیسی به ترتیب ارائه 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 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 et al., (و همکاران) در متن مقاله استفاده می‌شود.

🌀 **مقاله غیر انگلیسی:**

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 انگلیسی:**

Pasha Zanousi, S., Ayati, B., and Ganjoudous T.H.,

(2010), "Investigation of tubifex worms potential in mass and volume reduction of sludge wastewater treatment plants in laboratory scale", *Journal of Water and Wastewater*, 24(4), 59-65.

🌀 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 & K.W. Kinzler (eds.), *The Genetic Basis of Human Cancer*, pp. 93-113, McGraw-Hill, New York.

🌀 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", *Proceedings of the International Conference on Hydraulics in Civil Engineering*, Institution of Engineers, Brisbane, Australia, pp. 149-155.

🌀 پایان نامه:

Hashemi, S.S., (2010), "Optimization of water networks by minimizing pumping energy", MSc. Thesis, School of Civil Engineering, Collage of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

🌀 سایت اینترنتی:

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 3, No. 4, Winter 2019

Ministry of Science, Research and Technology of Iran has granted the Science and Promotion (Elmi-Tarviji) credit to JWWSE according to the letter No. 3/18/290129 at 6 March 2017.

Concessionaire

Iran Water and Wastewater Association (IWWA)

Director-in-Charge

Tabesh, M. (PhD)

Editor-in-Chief

Safavi, H.R. (PhD)

Editorial Board

Azimi, A.A. (PhD): Assistant Professor, University of Tehran and Islamic Azad University (Ahar Branch)

Bina, B. (PhD): Professor, Isfahan University of Medical Science

Ghanadi, M. (MSc): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water & Wastewater Engineering Company

Naseri, S. (PhD): Professor, Tehran University of Medical Sciences

Nazif, S. (PhD): Assistant Professor, University of Tehran

Safavi, H.R. (PhD): Professor, Isfahan University of Technology

Sajadifar, S.H. (PhD): Assistant Professor, Islamic Azad University, Shahriar Branch and Advisor of Deputy of Planning and Economical Issues, Iran National Water & Wastewater Engineering Company

Sarrafaazadeh, M.H. (PhD): Associate Professor, University of Tehran

Tabesh, M. (PhD): Professor, University of Tehran

Takdastan, A. (PhD): Associate Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Sciences

Taleb Beydokhti, N. (PhD): Professor, Shiraz University

Torabian, A. (PhD): Professor, University of Tehran

Vosoghi, M. (PhD): Professor, Sharif University of Technology



Industrial Water and Wastewater Policy Council

Ghane, A.A. (MSc): Adviser of Managing Director, Iran National Water And Wastewater Engineering Company

Sayahi, A. (PhD): Director General of the Office of Research, Technology Development and Industry Relations, Iran Water and Wastewater Engineering Company

Hajhariri, A. (MSc): Former Deputy of Supervision of Operation, Tehran Water and Wastewater Company

Editorial Staff:

**Graphic Designer
and Page Setting:**

English Editor:

Publisher:

No. Prints:

Address:

Tel and Fax:

Print ISSN:

Online ISSN:

E-Mail:

Akhtari, N.

Mahdi Esfahani, N.

Ostadrahimi, A.

Iran Water and Wastewater Association (IWWA)

1000

No. 7, 4th Floor, 429 Taleghani Street, Tehran, Iran.

+98 21 88956097, +98 21 88391390

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir



ISSN 2588-3941

Journal of Water & Wastewater Science and Engineering

Volume 3, No. 4, Winter 2019

Preface	2
Technical Papers	
A Review on Removal of Pharmaceuticals Contaminants from Wastewater Using Ozonation and Advanced Oxidation Processes Seyed Reza Nabavi and Maryam Fahadi	5
Water Quality Zonation Based on Chemical Analysis on Surface Water Supplies for Drinking, Agriculture and Industry in the Southeastern of Sistan and Baluchestan Province Keyvan Soltani and Mohammad Hossein Jahangir	18
Investigating Pump and Treat Methods in Remediation of Contaminated Aquifer Seyed Mostafa Tabatabaei and Abolfazl Akbarpour	33
Water Resources Management and Sewage Recycling, Solutions for Domestic Water Supply in Arid Areas, Case Study: Mashhad City Ali Heidari	49
A Social and Intra-Organizational Approach: The Need and Urgency for Water Management in the Country Shahin Pakrooh and Majid Ghannadi	65
A Review on the Efficiency of Denitrification Bioreactors in Nitrate Removal from Agricultural Drainage Water Hedieh Ahmadpari and Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh	73
General Section	
Interview	90
Roundtable	98
Best Thesis	121
Book Presentation	124
IWWA News	126