



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

# علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

انجمن آب و فاضلاب ایران

## پیشگفتار

۲

## مقالات علمی

۵

آنتی بیوتیک‌ها و مقاومت آنتی‌بیوتیکی در منابع آب و فاضلاب  
رحیم عالی، رضا فولادی فرد، جابر یگانه، بایرام هاشم زاده و فرزاد فنائی

۱۶

مروری بر کاربردهای جاذب‌ها برای حذف ترکیبات فنولی از پساب  
فرهاد سلیمی، جواد سلیمی و فرهاد گل محمدی

۳۴

مروری بر فرآیند جذب سطحی در حذف آلاینده‌های دارویی از محلول‌های آبی و پساب‌ها  
پریسا مشینچی، حسن اقدسی نیا، سید جمال الدین پیغمبردوست، محمود زارعی، حسین رهبری آسیایی، احمدرضا محمدیان سودمند

۵۱

بررسی عملکرد مخزن سد گرانی با رویکرد پویایی‌های سیستم  
عباس اکبرزاده و مریم ابارشی

۶۰

عملکرد سد لاستیکی تجن واقع در پارک ملل ساری در سیلاب اسفند ۱۳۹۷  
میرمجید عمادی، محسن مسعودیان و کلاوس راتچر

۶۹

تاثیر استفاده از آب خاکستری به‌همراه ژئولیت در ساخت و عمل‌آوری بتن غیرمسلح در  
عیارهای سیمان و سنین مختلف  
کامی کابوسی، فرزاد کابوسی و مهران فدوی

## مطالب عمومی

۸۱

مصاحبه

۸۵

میزگرد

۹۹

پایان‌نامه برتر

۱۰۱

معرفی کتاب

۱۰۳

گزارش فعالیت‌های انجمن

# علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

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: شرکت آب و فاضلاب تهران و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی

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

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: مشاور معاونت مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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



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

دکتر احمد سیاحی: مدیر کل 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

ناهد اخترى

مهندس سید احمد رضا شاهنگیان، ناهید اخترى

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

شورای سیاستگزاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمابر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

پیشگفتار..... ۲

## مقالات علمی

آنتی بیوتیک‌ها و مقاومت آنتی‌بیوتیکی در منابع آب و فاضلاب..... ۵  
رحیم عالی، رضا فولادی فرد، جابر یگانه، بایرام هاشم زاده و فرزاد فنائی

مروری بر کاربردهای جاذب‌ها برای حذف ترکیبات فنولی از پساب..... ۱۶  
فرهاد سلیمی، جواد سلیمی و فرهاد گل محمدی

مروری بر فرآیند جذب سطحی در حذف آلاینده‌های دارویی از محلول‌های آبی و پساب‌ها..... ۳۴  
پریسا مشینچی، حسن اقدسی نیا، سید جمال الدین پیغمبردوست، محمود زارعی، حسین رهبری آسیایی، احمدرضا محمدیان سودمند

بررسی عملکرد مخزن سد گرانی با رویکرد پویایی‌های سیستم..... ۵۱  
عباس اکبرزاده و مریم ابارشی

عملکرد سد لاستیکی تجن واقع در پارک ملل ساری در سیلاب اسفند ۱۳۹۷..... ۶۰  
میرمجید عمادی، محسن مسعودیان و کلاوس راتچر

تاثیر استفاده از آب خاکستری به همراه ژئولیت در ساخت و عمل‌آوری..... ۶۹  
بتن غیرمسلح در عیارهای سیمان و سنین مختلف  
کامی کابوسی، فرزاد کابوسی و مهران فدوی

## مطالب عمومی

مصاحبه..... ۸۱

میزگرد..... ۸۵

پایان نامه برتر..... ۹۹

معرفی کتاب..... ۱۰۱

گزارش فعالیت‌های انجمن..... ۱۰۳



## دهه مدیریت نشت در سامانه‌های آبرسانی فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو



محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده

دانشیار دانشگاه شهید بهشتی و

عضو هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران

در سال ۱۳۹۸ سه خبر زیر را در رسانه‌ها داشتیم:

خبر اول: عملیات انتقال آب شیرین از خلیج فارس به استان‌های کرمان و یزد به ترتیب در خرداد و آذرماه سال ۱۳۹۹ انجام خواهد شد. هزینه‌های نمک‌زدایی آب و انتقال این مسیر ۱۵۰۰ کیلومتری، ۱۱ هزار میلیارد تومان برآورد شده که تاکنون ۴۲۰۰ میلیارد تومان و ۲۸۰ میلیون یورو، برای آن هزینه شده است.

خبر دوم: تفاهم‌نامه انتقال آب دریای عمان از سواحل چابهار به استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی امضا شد. طول این خط انتقال ۱۶۰۰ کیلومتر و هزینه‌های آن ۳/۹ میلیارد دلار است. با توجه به احجام آب انتقالی، قیمت تمام شده هر مترمکعب آب در پروژه‌های یاد شده، متناسب با قیمت ارز، بالغ بر چند ده هزار تومان برآورد می‌شود.

خبر سوم: برای پروژه انتقال آب از دریای خزر به فلات مرکزی و سمنان، دو ردیف در بودجه سال ۱۳۹۹ گنجانده شد. این در حالی است که مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی قبلاً اعلام کرده بود که علاوه بر آسیب‌های محیط‌زیستی و اجتماعی، نسبت سود به هزینه این پروژه، ۰/۵۳ است.

عزم بر اجرای این چند پروژه به‌عنوان نمونه‌ای از پروژه‌های پرهزینه تأمین آب، حتی برای نیازهای شرب و صنعت، نشان می‌دهد که علی‌رغم شعارهای فراوان، هنوز در نظام سیاست‌گذاری کشور، دیدگاه سنتی مدیریت تأمین آب (به‌هر قیمت)، بر دیدگاه مدیریت تقاضا و استفاده بهینه از آب، حاکم است.

چرا علی‌رغم این که پتانسیل قابل‌توجهی برای کاهش

هدررفت (نشت) آب شرب در شبکه‌های آبرسانی وجود دارد، هم‌چنان در عمل، تفکر تولید (به‌هر قیمت) به‌جای کاهش هدررفت آب در کشور حاکم و جاری است؟ پاسخ‌ها و یا تفکراتی که برخی مدیران ارشد در این زمینه دارند به‌شرح زیر است:

- ۱- روش‌های کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، پرهزینه و باز یابی آب از طریق مدیریت نشت، اقتصادی نیست؛
- ۲- موفقیت‌آمیز بودن پروژه‌های کاهش نشت، مورد تردید است؛ لذا پروژه‌های تولید آب ترجیح داده می‌شود؛
- ۳- تجهیزات دقیق و کاربردی برای یافتن محل نشت در شبکه‌های آبرسانی وجود ندارد؛
- ۴- مقدار آب استحصال‌شده از محل کاهش هدررفت، پاسخگوی نیازهای تقاضای آبی نیست.

در پاسخ بند ۱ باید اذعان داشت که یکی از الزامات اصلی کنترل هدررفت آب، سرمایه‌گذاری در این زمینه است. اگرچه مقدار سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای استحصال یک مترمکعب آب به‌روش نشت‌یابی، تابع عوامل مختلفی است، اما با قاطعیت می‌توان گفت که در مقایسه با نمک‌زدایی و اجرای خطوط انتقال جدید آب، کاهش نشت شبکه‌های موجود، به‌هزینه بسیار کمتری نیاز دارد. برای تحلیل این موضوع، باید مقدار اقتصادی نشت در هر پروژه تعیین شود. محاسبه مقدار اقتصادی نشت، نقطه سربه‌سر هزینه‌های نشت‌یابی و منافع حاصل از آن را در هر پروژه تعیین می‌کند. بدیهی است که در این تحلیل، قیمت آب در مناطق دارای تنش آبی، بر مبنای نرخ تعرفه جاری آب‌بهای یارانه‌ای مشترکین نیست، بلکه قیمت آب براساس نرخ جایگزینی آن از منابع غیرمعارف (و یا حتی با لحاظ کردن هزینه فرصت‌های از دست‌رفته در این زمینه) محاسبه می‌شود.

براساس این تحلیل، اگر در یک پروژه مقدار نشت بیش از مقدار اقتصادی آن باشد، کاهش نشت در آن پروژه، یک فعالیت سودآور خواهد بود. در چنین شرایطی، حتی اقدامات کاهش نشت را می‌توان برون‌سپاری و علاوه بر ایجاد اشتغال، مشکل سرمایه‌گذاری اولیه شرکت‌های کارفرمایی آب و فاضلاب را نیز کاهش داد. خوشبختانه در سال‌های اخیر برون‌سپاری فعالیت‌های مرتبط با کاهش هدررفت، در معدود شرکت‌های آب و فاضلاب آغاز شده است.

متأسفانه بعضی از مدیران، پیش‌فرضی در ذهن دارند و آن این است که کاهش تلفات آب را فقط به‌معنای تعویض لوله و شبکه‌های آبرسانی می‌دانند. لذا به‌دلیل هزینه‌های زیاد تعویض و نوسازی شبکه‌ها، معمولاً استراتژی کاهش تلفات آب را مورد استقبال قرار نمی‌دهند. این فرض صحیح نیست و کاهش تلفات آب با حفظ شبکه‌های موجود و روش‌هایی بسیار ارزان‌تر از تعویض



لوله‌ها، مانند مدیریت فشار نیز قابل انجام است که در ادامه این نوشتار، به روش‌های دیگر کاهش تلفات بدون تعویض لوله‌ها اشاره خواهد شد.

از لحاظ مقایسه اقتصادی، ذکر این نکته نیز ضروری است که نشت از شبکه و خطوط آب‌رسانی، علاوه بر اتلاف آب، هزینه‌ها و پیامدهای نامطلوب دیگری از جمله اتلاف انرژی در مراحل استحصال، پمپاژ، تصفیه و توزیع آب، مصرف بیشتر مواد شیمیایی موردنیاز برای تصفیه آب و منشأ ریسک‌هایی از جمله افزایش احتمال آلودگی شبکه توزیع، نشست زمین و آسیب به تأسیسات زیربنایی و خسارت به سازه‌های مجاور، ورود هوا به خطوط لوله، کاهش فشار در شبکه توزیع آب و نارضایتی مشترکین را به همراه دارد. لذا در مقایسه اقتصادی بین گزینه‌ها، باید به هزینه‌های غیرمستقیم هر گزینه نیز توجه کرد. علاوه بر موارد ذکر شده، پروژه‌های نمک‌زدایی و انتقال آب، در مقایسه با پروژه‌های کاهش هدررفت دارای مشکلات و هزینه‌های محیط‌زیستی و اجتماعی بسیار زیادی هستند.

در پاسخ به بند ۲ باید توجه داشت که یکی از پایه‌های مورد نیاز و شرط لازم برای کاهش هدررفت آب، وجود نیروی متخصص و آشنا با مفاهیم و روش‌های علمی مدیریت نشت است. به علت پیچیدگی‌های موجود در کنترل نشت، بسیاری از شرکت‌های آب و فاضلاب در چرخه باطل مدیریت نشت قرار می‌گیرند. در این چرخه، مقدار بالای هدررفت آب منجر به کاهش درآمد شرکت‌ها (به دلیل کاهش فروش آب و افزایش هزینه‌های تولید و توزیع) می‌شود. در پی کاهش درآمد شرکت‌ها و محدودیت بودجه، اقدامات کنترلی کاهش نشت محدود شده که متقابلاً، افزایش مقدار نشت آب را به دنبال دارد و بدین ترتیب این چرخه باطل شکل می‌گیرد. نیروهای متخصص با استفاده از فهم علمی و تحلیل‌های کارشناسی این چرخه باطل را می‌توانند بشکنند. خوشبختانه در سال‌های اخیر، علی‌رغم محدودیت‌های بودجه‌ای، آموزش‌های ضمن خدمت تخصصی و مؤثر در شرکت‌های آب و فاضلاب در مسیر صحیح و حرفه‌ای قرار گرفته است.

از طرف دیگر مشاهده می‌شود که بسیاری از کارشناسان شرکت‌های آب و فاضلاب در ضمن خدمت، ارتقای تحصیلات داشته و می‌توان گفت که هم‌اکنون بدنه کارشناسی شرکت‌های کارفرمائی در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد. از طرف دیگر جذب نیروهای جوان و فارغ‌التحصیلان برجسته دانشگاهی که معمولاً از مسیر آزمون و مصاحبه‌های متوالی انتخاب می‌شوند، به صورت قابل توجهی توان تخصصی شرکت‌های آب و فاضلاب را ارتقا داده که اثرگذاری آن در دهه پیش‌رو، نیز بیشتر مشاهده خواهد شد. اما در این زمینه یکی از چالش‌های موجود این است که نیروهای حوزه مدیریت نشت، علاوه بر تخصص، باید انگیزه کافی برای کار در این حوزه را داشته باشند. فعالیت‌های مدیریت نشت برخلاف

اقدامات سازه‌ای مدیریت تولید آب و یا توسعه شبکه، نمایش ظاهری و رخداد برونی ملموسی ندارند. یکی از دلایلی که بعضی مدیران، تمایل کمتری به اجرای فعالیت‌های مرتبط با مدیریت هدررفت دارند، همین عدم رخداد ظاهری و دیده نشدن مستقیم نتایج اقدامات آنان است. لذا مدیران ارشد باید با پشتیبانی مناسب، انگیزه لازم را برای مدیران میانی و نیروهای جوان و متخصص در حوزه‌های مدیریت نشت فراهم آورند. با توجه به این‌که شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی اخیراً ادغام شده‌اند، در نمودار سازمانی جدید، بخش‌های مرتبط با مدیریت نشت مانند دفاتر آب بدون درآمد، باید مورد توجه و پشتیبانی بیشتر قرار گرفته و از نظر کمی و کیفی توسعه یابند.

فعالیت سمن‌های غیرانتفاعی، چون انجمن آب و فاضلاب ایران و کمیته‌های تخصصی آن مانند کمیته هدررفت آب که خوشبختانه در سال‌های اخیر شکل گرفته و عمده اعضای آن نیز از بخش‌های مختلف صنعت آب و فاضلاب و دانشگاه‌ها هستند، می‌توانند به این روند رو به رشد کمک کنند.

در پاسخ به بند ۳ باید یادآوری کرد که در سال‌های اخیر، روش‌های متنوع و جدیدی برای کنترل هدررفت آب توسعه داده شده است. با استفاده از تجهیزات جدید، روش‌های نشت‌یابی مانند تزریق گاز، اشعه نفوذی به زمین (GPR)، ابزارهای صوتی و گرماسنجی، ویدیومتری لوله‌های آب، شبیه‌سازی نرم‌افزاری و روش‌های ماهواره‌ای، به سرعت در حال گسترش هستند. از طرف دیگر توسعه و رشد شرکت‌های دانش‌بنیان در کشور، پتانسیل و بستر بسیار مناسبی برای به‌کارگیری فن‌آوری‌های جدید، در حوزه کاهش تلفات آب را فراهم آورده است.

از طرف دیگر، مفاهیم تخصصی از جمله پهنه‌بندی و استقرار نواحی مجزای اندازه‌گیری شده (DMAs)، مدیریت فشار، استفاده از شبیه‌سازهای نرم‌افزاری، شناخت و تحلیل جدول موازنه آبی، تحلیل حداقل جریان شبانه (MNF)، به‌کارگیری شاخص‌های عملکردی و تحلیل نشت اقتصادی در قالب برنامه‌های استراتژیک مدیریت دارایی، به سرعت در شرکت‌های آب و فاضلاب در حال توسعه و استفاده هستند که به مدیریت و کاهش نشت در شبکه‌های آب‌رسانی کمک شایانی می‌کنند.

در جواب به بند ۴، نگارنده نیز اذعان دارد که ممکن است کاهش نشت و هدررفت آب به تنهایی نتواند مشکل تنش آبی یک منطقه را به صورت کامل مرتفع کند. لذا در کنار اجرای روش‌های کاهش هدررفت، در قدم دوم باید موضوع مدیریت مصرف آب، استفاده از پساب‌ها و بازچرخانی آب نیز برای کاهش مشکلات ناشی از کم آبی در آبی کشور مورد توجه جدی قرار گیرد. علی‌رغم این‌که روش انتقال آب بین حوضه‌ای یکی از گزینه‌های مدیریت تأمین آب محسوب می‌شود، اما تا زمانی که مقدار نشت در شبکه‌ها و خطوط آب‌رسانی به سطح قابل قبول کاهش نیافته

در دانشگاه‌ها، برای رشته‌های مرتبط و تعریف پایان‌نامه‌ها و رساله‌های کاربردی و عملیاتی در این زمینه؛

- چاپ مقالات کاربردی و ارائه مطالعات موردی در کشور در زمینه روشهای کاهش هدررفت آب توسط مجلات تخصصی و نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب برای انتقال تجربیات عملی موفق.

و به موازات آن مدیریت مصرف و بازچرخانی آب نیز در بخش‌های مختلف اجرا نشده است) استفاده از طرح‌های پرهزینه و ناسازگار مانند نمک‌زدایی و یا انتقال آب شیرین بین حوضه‌ای، به صورت جدی زیر سؤال است. لذا ابتدا باید سامانه‌های آب‌رسانی را اصلاح و مقدار نشت آن‌ها را کنترل کرد و سپس در صورت نیاز، آب منتقل شده با روش‌های پرهزینه‌ای مانند نمک‌زدایی و انتقال به مناطق دوردست را در شبکه‌های مطمئن، توزیع کرد. به قول مولانا "اول ای جان دفع شرِ موش کن و انگهان در جمعِ گندم کوش کن".

نکته مثبت قابل توجه این است که عمده عوامل مورد نیاز در کشور، برای موفقیت در جهت کاهش مؤثر نشت و هدررفت شبکه‌های توزیع آب، در حال فراهم شدن است. لذا فارغ از آرمان‌گرایی، به نظر می‌رسد دهه آینده را باید دهه کاهش هدررفت آب در کشور نام‌گذاری کرد. در دهه پیش‌رو باید با رفع چالش‌های باقیمانده، برنامه‌ریزی استراتژیک برای کاهش مقدار هدررفت آب، ارائه و عملیاتی شود تا با توقف یا کاهش نرخ تولید آب، مشکلات ناشی از تنش آبی در کشور کاهش یابد.

برای شتاب بخشیدن و در راستای توسعه صحیح مدیریت هدررفت آب، موارد زیر توصیه می‌شود:

- توجه جدی به تحلیل اقتصادی هدررفت آب و اتخاذ روش‌های تطبیق و مدیریت تعرفه آب مشترکین در شهرها و پروژه‌های مختلف، متناسب با ارزش ذاتی آب در هر پروژه؛
- تقویت جایگاه بخش‌های مرتبط با مدیریت نشت در نمودار جدید سازمانی شرکت‌های آب و فاضلاب ادغام شده و پشتیبانی جدی و ایجاد انگیزه در کارشناسان و مدیران میانی این حوزه توسط مدیران ارشد؛
- بسترسازی برای ایجاد و تقویت مشاورین و پیمانکاران آشنا به موضوع بهره‌برداری و نگهداشت از شبکه‌های آب‌رسانی و تقویت ساختارهای قانونی و مهندسی برای برون‌سپاری فعالیت‌های کاهش هدررفت آب؛
- تدقیق آمار مقادیر هدررفت واقعی و ظاهری آب در شهرها و استان‌های مختلف برای مقایسه عملکرد شرکت‌ها با یکدیگر در محیطی شفاف و قیاس آن‌ها با شاخص‌های بین‌المللی؛
- ادامه روند و توسعه و تقویت آموزش‌های تخصصی مؤثر ضمن خدمت در شرکت‌های آب و فاضلاب و انجام پژوهش‌های کاربردی در زمینه مدیریت نشت؛
- جاری‌سازی طرح مدیریت دارایی مبتنی بر ریسک و توجه به مسائل اپراتوری و نگهداشت در راستای کنترل مستمر نشت؛
- توسعه ارتباط چندجانبه صنعت، دانشگاه، شرکت‌های دانش‌بنیان و سمن‌های تخصصی در زمینه کاهش هدررفت آب؛
- توسعه و ارائه دروس جدید و تخصصی در حوزه مدیریت نشت

## مقاله مروری

## Review Paper

### Antibiotics and Antibiotic Resistance in Water and Wastewater Resources: A review

Rahim Aali<sup>1\*</sup>, Reza Fouladi Frad<sup>1</sup>, Jaber Yeganeh<sup>2</sup>,  
Bayram Hashemzadeh<sup>2</sup> and Farzad Fanaei<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Research Center for Environmental Pollutants, Department of Environment Health Engineering, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environment Health Engineering, Khoy University of Medical Sciences, Khoy, Iran.

3- M.Sc. Student, Department of Environment Health Engineering, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

\* Corresponding author, Email: [Aali1400@gmail.com](mailto:Aali1400@gmail.com)

Received: 21/11/2018

Revised: 09/01/2020

Accepted: 09/03/2020

## Abstract

Antibiotics are extensively used for human and veterinary treatments as well as agricultural growth improvements. In spite of such positive effects, in the present century the antibiotic resistance has become one of the most important environmental challenges. It has involved all environmental sections and putting pressure on microbial groups led to antibiotic resistance followed by ecological changes in environmental sources. Antibiotic resistance in the environment can be transferred from pathogenic bacteria to non-pathogenic and native bacteria. These agents persist in raw inflow and final effluent of wastewater treatment plants and infected the soil and water compartments. Water treatment can not completely eliminate bacteria and their resistance genes. These agents therefore enter the water distribution systems and create health risks for final consumers. This paper evaluated the antibiotic resistance in environmental resources and main factors in antibiotic resistance dissemination. The paper emphasizes on the role of authorities and organizations as well as researchers in the basic pathology of antibiotic resistance in environmental sources and its relationship with clinical places and use of proper control methods.

**Keywords:** Antibiotics, Antibiotic resistance, Water, Wastewater, Sludge.

### آنتی بیوتیک‌ها و مقاومت آنتی بیوتیکی در منابع آب و فاضلاب

رحیم عالی<sup>۱\*</sup>، رضا فولادی فراد<sup>۱</sup>، جابر یگانه<sup>۲</sup>، بایرام هاشم زاده<sup>۲</sup>  
و فرزاد فنائی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، مرکز تحقیقات آلاینده های محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی خوی، خوی، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [Aali1400@gmail.com](mailto:Aali1400@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

## چکیده

آنتی بیوتیک‌ها مبتنی بر اهداف درمانی انسانی، حیوانی و بهبود رشد در کشاورزی، تولید و به صورت وسیع مورد استفاده قرار می گیرند. علی رغم تاثیرات مثبت، مقاومت آنتی بیوتیکی به یکی از چالش های مهم قرن حاضر تبدیل شده است. مقاومت آنتی بیوتیکی کلیه بخش های محیط زیست را درگیر می کند و با فشار بر روی گروه های میکروبی منجر به انتشار مقاومت آنتی بیوتیکی و در نهایت تغییر اکولوژیکی در منابع زیست محیطی می شود. مقاومت آنتی بیوتیکی می تواند از باکتری های پاتوژن به باکتری های غیر پاتوژن و باکتری های بومی منتقل شود. این عوامل به ویژه از طریق فاضلاب خام و پساب خروجی از تصفیه خانه های فاضلاب وارد محیط شده و منابع آب و خاک را آلوده می کنند. تصفیه خانه های آب به صورت کامل توان حذف باکتری ها و ژن های کد کننده مقاومت آن ها را ندارند، در نتیجه این عوامل وارد شبکه توزیع آب می شوند و مستقیما مصرف کننده نهایی آب را در معرض خطر قرار می دهند. این نوشتار مقاومت آنتی بیوتیکی در منابع محیطی و عوامل موثر بر انتشار آن را مورد ارزیابی قرار می دهد و بر نقش سازمان ها و مسئولین در آسیب شناسی این عوامل آلاینده در منابع محیطی، ارتباط آن ها با محیط های درمانی و کاربرد روش های کنترلی تاکید می کند.

**کلمات کلیدی:** آنتی بیوتیک، مقاومت آنتی بیوتیکی، منابع آب، فاضلاب، لجن.





آنتی‌بیوتیک‌ها در روده انسان و حیوانات به صورت ضعیفی صورت می‌گیرد و قسمت عمده آن به صورت تغییر نیافته به شکل مدفوع و ادرار از طرق مختلف مانند دفع فاضلاب و لجن، فاضلاب بیمارستان و زائادات حیوانی به محیط وارد می‌شوند (Julian, 2007; Davies, 2010; Martinez, 2009; Nikolaou et al., 2007). این ترکیبات از طریق پساب بیمارستان‌ها و فاضلاب‌های شهری به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وارد می‌شوند (Zhang and Li, 2011; Tao et al., 2010; Karthikeyan and Meyer, 2006) (شکل ۲). امروزه آنتی‌بیوتیک‌ها به عنوان یکی از آلاینده‌های زیست محیطی مطرح هستند (Zhang et al., 2009; Aminov and Mackie, 2007).

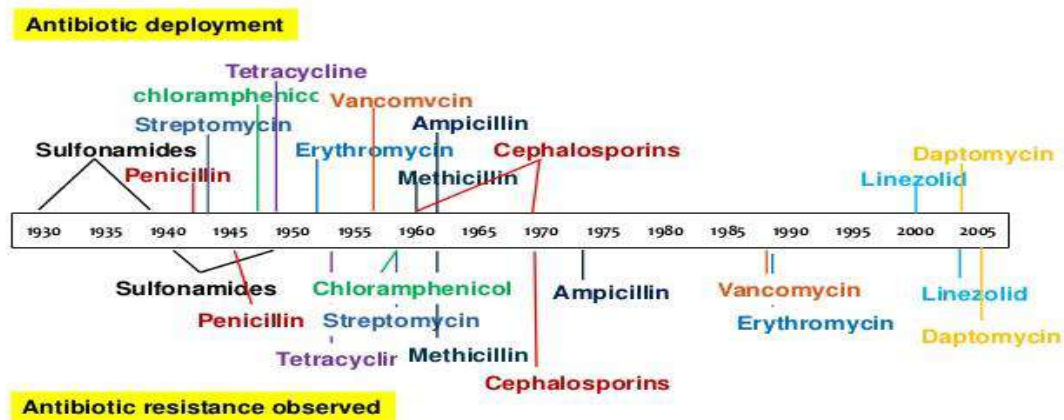
مطالعات نشان می‌دهد فرآیندهای متعارف تصفیه فاضلاب توان حذف آنتی‌بیوتیک‌های موجود در فاضلاب را ندارد و آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط زیست راه می‌یابند (Y iluo, 2010; Kim and Aga, 2007; Pena et al., 2010). آنتی‌بیوتیک‌ها در ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و آب‌های سطحی در محدوده نانوگرم بر لیتر و میکروگرم بر لیتر شناسایی شده‌اند (جدول ۱). مطالعات در کشور نیز حاکی از وجود آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط زیست است (Heidari et al., 2013). نکته حائز اهمیت این‌که، آنتی‌بیوتیک‌ها در آب، خاک یا رسوبات با سرعت تجزیه نمی‌شوند (Kümmerer et al., 2004).

جدول ۱- مشخصه‌ها و گروه‌های اصلی آنتی‌بیوتیک‌های یافت شده در آب و فاضلاب

| منابع                                                                                        | مقدار در خاک و رسوبات                                                    | مقدار در فاضلاب: فاضلاب خام و پساب                           | مقدار در آب‌های زیرزمینی | مقدار در آب‌های سطحی                                                                 | جذب در خاک    | حلالیت در آب    | وزن مولکولی (Da) | کلاس آنتی‌بیوتیکی |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|
|                                                                                              |                                                                          |                                                              |                          |                                                                                      | -             | ۵۰۰۰۰۰<br>۱۰۰۰۰ | ۳۳۲/۴<br>۶۱۵/۶   | آمینوگلیکوزید     |
| Monteiro and Boxall (2010); Verlicchi et al. (2012b); Montforts et al. (2008)                |                                                                          | ۰/۰۰۴۷<br>۰/۰۰۷                                              |                          | -۰/۰۰۲<br>۰/۰۶۱                                                                      | کم            | -۱۰۱۰۰<br>۲۲    | -۳۳۴/۴<br>۴۷۰/۳  | بتالاکتام         |
| Li et al. (2011); Monteiro and Boxall (2010); Golet et al. (2002)                            | -۰/۱۱۹۸<br>۰/۰۲۶۹                                                        | ۰/۰۲۰-۰/۲۵۱<br>۲/۷۳-۰/۰۰۷<br>۰/۴۳-۰/۰۷۲<br>۳۱۰۰۰<br>۰/۲۸-۰/۴ |                          | Nd-۰/۰۳<br>Nd- ۱/۷                                                                   | زیاد          | ۳-۱۷۷۹۰         | ۲۲۹-۴۱۷          | کوبینولون         |
| Li et al. (2011); Monteiro and Boxall (2010); Golet et al. (2002); Verlicchi et al. (2012a)  | ۰-۰/۱۳۴<br>۰/۰۸۵۵<br>۰/۰۶                                                | <۰/۳-۰/۱۴<br>Nd-۰/۱۰۹<br>۰/۰۷                                | ۱۱۶۰-۲۰۰                 | ۰/۰۰۵                                                                                | کم            | ۷/۵-۱۵۰۰        | -۳۰۰<br>۱۷۲/۲    | سولفونامید        |
| Andreu et al. (2009); Hamscher et al. (2002); Hamscher et al. (2006); Watanabe et al. (2010) | ۰/۰۰۵<br>-۰/۰۰۷۳<br>۰/۰۰۴۶<br>-۰/۳۲۲<br>۰/۱۰۴۰<br>۰/۰۱۳<br>۰/۱۷۶<br>۰/۸۲ | Nd                                                           |                          | ۱/۵<br>Nd-۰/۶۹<br><-۰/۰۰۱<br>۰/۱۸۰<br>Nd-۰/۱۱<br>-۰/۰۰۵<<br>۰/۰۰۱<br>Nd-۱/۹<br>۰/۰۰۳ | زیاد          | -۲۳۰<br>۵۰۰۰۰   | -۵۲۷/۶<br>۴۴۴/۵  | تتراسیکلین        |
| Verlicchi et al. (2012a); Monteiro and Boxall (2010)                                         |                                                                          | ۰/۰۸۵-۰/۲۵۵<br>۰/۳۸-۰/۰۴<br><۶-۰/۱۰<br>۲/۷۷-۰/۰۰۹            | ۰/۰۴۹                    | ۰/۰۵۸<br>-۰/۰۰۳۲<br>۱۷۰                                                              | متوسط تا زیاد | ۰/۰۶-۳۰         | -۹۱۶/۱<br>۶۸۷/۹  | ماکرولید          |
| Monteiro and Boxall (2010)                                                                   |                                                                          | ۰/۵۶<br>-۰/۰۶۹<<br>۰/۰۰۶                                     |                          | Nd-۰/۰۶<br>μg/L                                                                      |               |                 |                  | کلرامفنیکل        |

Julian and Dorothy, 2010; Walsh et al., 2011; Knapp et al., 2010). همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، در زمان کوتاهی پس از کشف بسیاری از آنتی‌بیوتیک‌ها، مقاومت آنتی‌بیوتیکی نسبت به آن‌ها اتفاق افتاده است.

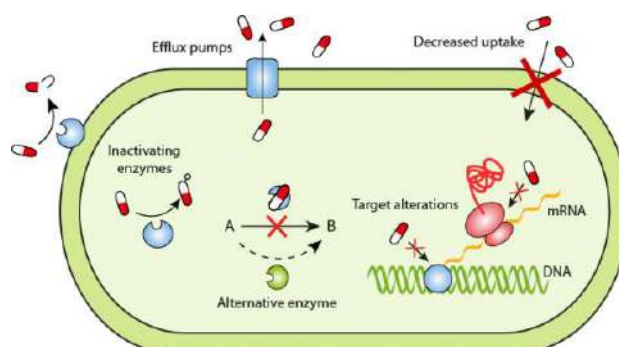
استفاده بیش از حد از آنتی‌بیوتیک‌ها در کشاورزی، دامپروری و مصارف انسانی به‌طور معمول باعث مقاومت آنتی‌بیوتیکی می‌شود



شکل ۲- زمان کشف و شروع مقاومت آنتی‌بیوتیکی

همواره در تلاش بوده‌اند که براساس قانون انتخاب طبیعی بتوانند در برابر این ترکیبات مقاومت کنند. متأسفانه استفاده بی‌رویه از آنتی‌بیوتیک‌ها در سال‌های گذشته، باعث پیدایش سویه‌های مقاوم شده است. بسیاری از باکتری‌های بیماری‌زا در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها مقاوم شده‌اند. بدین طریق کارایی خود را از دست داده‌اند و از طرفی گسترش مقاومت میکروبی نیز اتفاق افتاده است. همچنین منجر به گسترش مقاومت میکروبی شده است (Stange et al., 2019). میکروارگانیسم‌ها با اکتساب و یا ایجاد ژن‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها، مقاومت را از نسلی به نسل دیگر یا از یک گونه میکروبی به گونه دیگر انتقال می‌دهند. با توجه به موارد ذکر شده افزایش ورود و تجمع آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط باعث جایگزینی باکتری مقاوم با میکروفلور طبیعی در محیط شده است. تماس انسانی با منابع محیطی باعث انتقال مقاومت به میکروفلور طبیعی بدن انسان‌ها نیز می‌شود. لذا این موضوع خطری جدی برای سلامت انسان‌ها است. مکانیسم‌های مختلف ایجاد مقاومت در میکروارگانیسم‌ها در شکل ۳ آورده شده است.

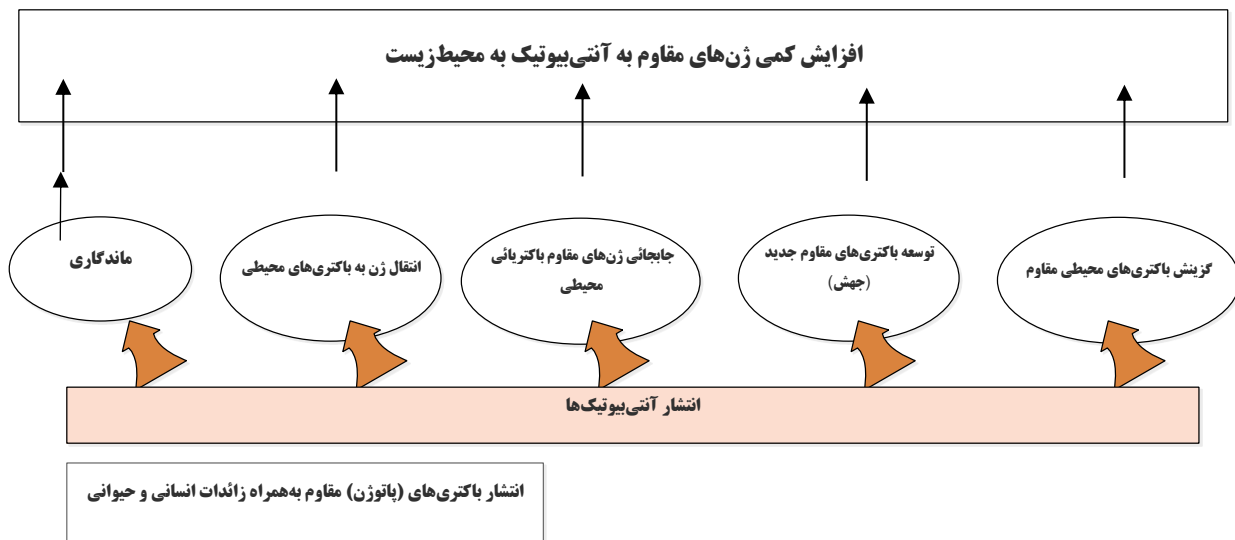
مقاومت ایجاد شده، حساسیت میکروارگانیسم‌ها در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها را کم یا از بین می‌برد. مشکل مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها در سراسر دنیا وجود دارد و گزارش‌های مختلفی در این زمینه از منابع محیطی و بالینی ارائه شده است. براساس آمار مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌ها<sup>۱</sup> (CDC)، سالانه حدود دو میلیون نفر از مردم آمریکا در طول مدت اقامت خود در بیمارستان به عفونت باکتریایی دچار می‌شوند و بیشتر از ۷۰٪ از باکتری‌ها مسبب این عفونت‌ها به حداقل یکی از داروهای معمول برای درمان آن‌ها مقاوم هستند. این باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک علاوه بر پseudomonas، آئروژینوزا، واستافیلوکوکوس اورئوس، گونه‌های کلبسیلا پنومونه را نیز شامل می‌شوند. پseudomonas آئروژینوزا و آسینتوباکتر، بیشترین عوامل ایجاد کننده عفونت‌های بیمارستانی به‌ویژه در بخش مراقبت‌های ویژه هستند که نسبت به طیف وسیعی از آنتی‌بیوتیک‌ها مقاومت نشان می‌دهند (Castanon, 2007; Organization, 2014). از زمان عرضه آنتی‌بیوتیک‌ها و به‌کارگیری آن‌ها در درمان بیماری‌ها، باکتری‌ها



شکل ۳- مکانیسم‌های مختلف کسب مقاومت در میکروارگانیسم‌ها

شده است. مطالعات نشان داده که در منابع محیطی به‌ویژه فاضلاب‌ها تقریباً همه این مسیرها در ایجاد و انتشار ژن‌های کد کننده مقاومت نقش دارند.

مسیرهای احتمالی اثر آنتی‌بیوتیک‌ها بر ایجاد و افزایش ژن‌های کد کننده مقاومت آنتی‌بیوتیکی در محیط زیست در شکل ۴ ارائه

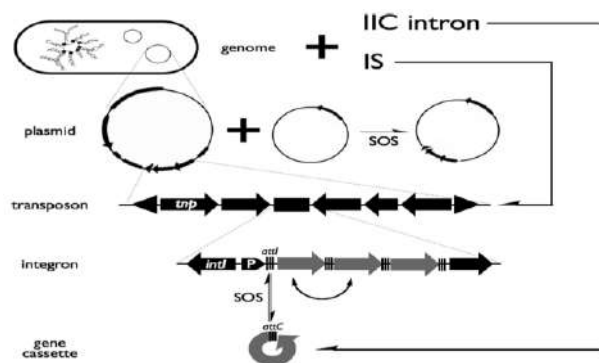


شکل ۴- مسیرهای احتمالی اثر آنتی‌بیوتیک‌ها بر افزایش کمی ژن‌های کد کننده مقاومت آنتی‌بیوتیکی در محیط زیست (Schmitt et al., 2017)

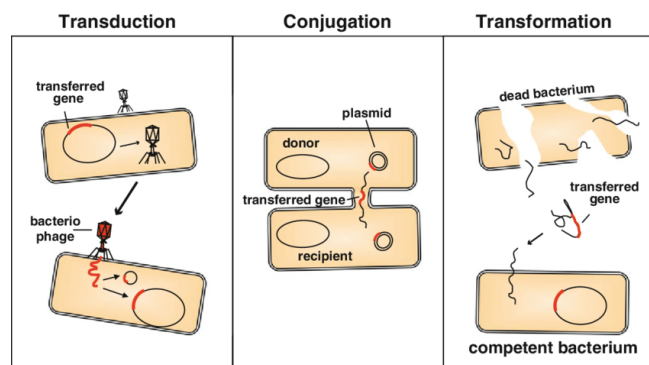
با استفاده از توانمندی سلول میزبان ژن‌های مقاوم آنتی‌بیوتیکی را کد کنند.

انتقال ژن‌های کد کننده از سه طریق اصلی شامل کانزوگاسیون<sup>۲</sup>، ترانس‌دوکسیون<sup>۳</sup> و ترانسفورماسیون<sup>۴</sup> به سلول‌های دیگر صورت می‌گیرد. در شکل ۶ این سه مسیر تشریح شده‌اند.

ژن‌های کد کننده مقاومت آنتی‌بیوتیکی می‌توانند بر روی اجزای مختلف ژنتیکی در سلول‌های باکتریایی مانند DNA ژنومی، پلاسمید، ترانسپوزون و اینتگرون حمل شوند (شکل ۵). در میان این اجزاء، پلاسمیدها بیشترین نقش را ایفا می‌کنند. پلاسمیدها این امکان را دارند که مستقل از DNA ژنومی و البته



شکل ۵- اجزای ژنتیکی درگیر در انتقال مقاومت از یک باکتری به باکتری دیگر در محیط زیست



شکل ۶- مسیرهای اصلی انتقال ژن‌های کد کننده از یک سلول باکتریایی به سلول‌های دیگر

استفاده شده برای حاصلخیزی خاک، پساب سپتیک‌ها و پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وارد منابع آبی می‌شوند (Laroche et al., 2010; Y iluo, 2010; Webster et al., 2004; Hoa et al., 2011; Ferreira et al., 2007; Stine et al., 2007; Ferreira da Silva, 2007; Laroche E et al., 2009).

### الف) مقاومت آنتی بیوتیکی در منابع آب و آب آشامیدنی

مهم‌ترین منبع پذیرنده باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها<sup>۵</sup> (ARB) و ژن‌های مقاوم آنتی‌بیوتیکی<sup>۶</sup> (ARGs) منابع آبی است. محیط‌های آبی در انتشار باکتری‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها تسهیل‌گر هستند. مضاف بر این‌که این عوامل باعث ایجاد تغییرات ژنتیکی در باکتری‌های بومی در اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود (Hoa et al., 2011; N, 2009; Bouki et al., 2013). آنتی‌بیوتیک‌ها (حتی در غلظت‌های پائین) در محیط باعث ایجاد فشار بر روی گروه‌های میکروبی می‌شوند که پیامد این فشار ایجاد مقاومت در آن‌ها است (Hoa et al., 2011; Bahl et al., 2007; Martinez et al., 2009). در جدول ۲ اثر آنتی‌بیوتیک‌ها در ایجاد مقاومت در منابع آبی آورده شده است.

برخی محققین عقیده دارند مقاومت آنتی‌بیوتیکی کسب شده توسط باکتری‌ها در محیط‌های درمانی و دیگر بخش‌های مورد استفاده، وارد محیط نمی‌شوند. این افراد به مطالعاتی استناد کرده‌اند که ثابت نموده توالی ژنتیکی منجر به مقاومت کسب شده در محیط‌های درمانی در نمونه‌های خروجی و یا مکان‌های دریافت کننده فاضلاب‌های خروجی یافت نشده است (Fuentefria et al., 2011). برخلاف این دیدگاه، مطالعات وسیع دیگر از انتشار باکتری‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها به محیط‌زیست اشاره دارند (Bouki et al., 2013; Huang et al., 2012). مطالعات متفاوت از نظر مکانی و بر روی طیف‌های مختلف باکتری‌ها و گروه‌های آنتی‌بیوتیکی با دیدگاه دوم بیشتر هم‌خوانی دارند. اگرچه این نکته قابل ذکر است که نوع مقاومت، شرایط ورود به محیط و نوع میکروارگانیسم نیز می‌تواند در حذف و یا جلوگیری از ورود عوامل به محیط نقش داشته باشند. به‌هرحال باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در روده افراد و حیوانات مصرف کننده وجود دارند و به‌تعداد فراوان از طریق روده دفع می‌شوند. این باکتری‌ها از طرق مختلف از جمله رواناب‌های شهری، رواناب‌های کشاورزی، پسماندهای کشاورزی، فضولات حیوانی

جدول ۲- اثر مقاومت ناشی از آنتی بیوتیک‌ها در منابع آبی

| نوع منبع آبی       | ترکیب                             | زمان تماس (روز) | غلظت ترکیب (میلی گرم در لیتر) | روش اندازه‌گیری مقاومت                                | اثر آنتی‌بیوتیک در ایجاد مقاومت | منبع                       |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| آب‌های سطحی        | آمبی سیلین                        | ۷               | ۱۰ و ۱۰۰/۱                    | اندازه‌گیری در باکتری‌های قابل رشد                    | بله                             | Stepanauskas et al. (2006) |
| آب/رسوبات          | سیپروفلوکساسین                    | ۱۲۰             | ۲                             | سنجش در ایزوله‌ها                                     | بله                             | Yu et al. (2009)           |
| آب رودخانه         | کلروتتراسیکلین                    | ۱۰              | ۸/۸ تا ۳۲                     | اندازه‌گیری در باکتری‌های قابل رشد/بررسی ژن‌های مقاوم | بله                             | Munoz-Aguayo et al. (2007) |
| آب‌های سطحی        | تتراسیکلین                        | ۷               | ۰۰/۰۳، ۰۰/۰۰۳ و ۳۰ و ۳        | اندازه‌گیری در باکتری‌های قابل رشد                    | بله                             | Stepanauskas et al. (2006) |
| آب‌های سطحی/رسوبات | تتراسیکلین، سولفونامید و کوینولون | ۱۴              | هر کدام ۱                     | شناسایی ژن‌های مقاوم در آب و رسوبات                   | بله                             | Xiong et al. (2015)        |
| آب/رسوبات          | اکسی تتراسیکلین                   | ۱۲۰             | ۵                             | سنجش در ایزوله‌ها                                     | بله                             | Yu et al. (2009)           |
| آب دریاچه          | اکسی تتراسیکلین                   | حدود ۶۰         | ۵۰، ۲۰، ۵، ۰ و ۲۵۰            | ژن‌های مقاوم                                          | بله                             | Knapp et al. (2008)        |

آبی مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بیشترین دریافت و انتشار باکتری‌ها و ژن‌ها کد کننده مقاومت آنتی‌بیوتیکی را متاثر از تخلیه فاضلاب‌ها دارند. این عوامل حتی در رسوبات کف منابع آبی نیز حضور دارند و به‌شدت تحت تاثیر مقدار فاضلاب ورودی است (Thevenon et al., 2012).

ARB و ARGs علاوه بر اثرات منفی بر اکوسیستم‌های آبی به آب شرب نیز وارد می‌شوند (Zhang et al., 2009; Xi et al., 2009).

نکته قابل توجه این‌که پس از کاهش و یا حذف فشار آنتی‌بیوتیکی، مقاومت از بین نرفته و تداوم می‌یابد (Zhang et al., 2009; Salyers and Amabile-Cuevas, 1997; Aminov and Mackie, 2007). امروزه انتشار باکتری‌های مقاوم شده و بروز مقاومت باکتریایی در اکوسیستم‌های آبی یک مشکل جهانی بوده و در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Hadi et al., 2011; Rodriguez-Mozaz et al., 2015; Laroche et al., 2010).



(2009). مطالعات وجود این عوامل را در شبکه توزیع آب نیز تایید نموده‌اند. برخی محققین حتی گزارش نموده اند که ARB و ARGs می‌توانند در فرایندهای تصفیه آب ماندگاری خود را حفظ کرده و افزایش یابند. همچنین شبکه توزیع آب آشامیدنی و بیوفیلم آن در انتشار مقاومت آنتی‌بیوتیکی به پاتوژن‌های فرصت‌طلب نقش دارند (Xi et al., 2009; Schwartz et al., 2003). مقاومت‌های آنتی‌بیوتیکی چندگانه<sup>۲</sup> نیز در شبکه توزیع آب گزارش شده است (Armstrong et al., 1981). این موضوع می‌تواند مصرف‌کنندگان را در معرض خطر قرار دهد. به بیانی دیگر این عوامل می‌توانند مقاومت آنتی‌بیوتیکی نسبت به گروه‌های مختلف آنتی‌بیوتیک‌ها را به فلور طبیعی بدن افراد وارد کنند و باکتری‌های فلور مقاوم ایجاد شوند. لذا در این شرایط بدن

افراد به مصرف آنتی‌بیوتیک واکنش نشان داده و منجر به بالا رفتن هزینه‌های درمانی، طول درمان و افزایش درصد مرگ و میر می‌شود. رسوبات در مناطقی که پسماندهای کشاورزی را دریافت می‌کند از مهم‌ترین منابع مقاومت آنتی‌بیوتیکی و ژن‌های مقاوم می‌باشند. پیشنهاد شده است که رسوبات دریاها احتمالاً بعنوان یک مخزن برای ARB و ARGs برای تتراسیکلین است (Bouki et al., 2013).

### ب) مقاومت آنتی‌بیوتیکی در فاضلاب و لجن

آنتی‌بیوتیک‌های موجود در فاضلاب، اثر جدی بر ایجاد مقاومت آنتی‌بیوتیکی در باکتری‌ها در محیط دارند. برخی از این مطالعات در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- اثر مقاومت ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها در فاضلاب

| نوع منبع آبی                              | ترکیب           | زمان تماس (روز) | غلظت ترکیب (میلی گرم در لیتر) | روش اندازه‌گیری مقاومت             | اثر آنتی‌بیوتیک در ایجاد مقاومت | منبع                 |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| فاضلاب فرایند SBR <sup>۸</sup>            | تتراسیکلین      | ۵۱              | ۰/۲۵                          | اندازه‌گیری در باکتری‌های قابل رشد | بله                             | Kim et al. (2007a)   |
| پساب تصفیه فاضلاب                         | اکسی تتراسیکلین | -               | ۱۹/۵                          | سنجش در ایزوله‌ها/ شناسائی ژن‌ها   | بله                             | Li et al. (2010)     |
| خاک لایسیمتر در تماس با فاضلاب سپتیک تانک |                 | ۵۱              | ۵                             | سنجش در ایزوله‌های E coli          | بله. برخی موارد                 | Atoyan et al. (2007) |

براساس مطالعات صورت گرفته، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از مهم‌ترین منابع ورود عوامل مقاوم آنتی‌بیوتیکی به محیط‌زیست هستند. در این راستا نوع فاضلاب، طراحی متفاوت و نوع بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها بر میزان انتشار ARB و ARGs موثر است (Iwane et al., 2001; Mezrioui and Baleux, 1994; Bouki et al., 2013). ارزیابی انتشار جمعیت باکتریایی مقاوم به تتراسیکلین در فرایندهای تصفیه بیولوژیک، ثابت نمود میزان انتشار این باکتری‌ها متأثر از نحوه بهره‌برداری است. به‌علاوه انتشار این باکتری‌ها متأثر از نحوه بهره‌برداری است. به‌علاوه Auerbach et al. (2007) گزارش نمودند ژن‌های مقاوم به تتراسیکلین در تعداد بسیار زیاد از فرایندهای تصفیه فاضلاب وجود دارند. برخی مطالعات اثر فرایند لجن فعال را در حذف ARB و ARGs مناسب ارزیابی می‌کنند. در مقابل برخی دیگر از مطالعات از افزایش این عوامل در طی فرایند لجن فعال گزارش می‌نمایند. در تحقیقی بر روی چهار تصفیه‌خانه لجن فعال، مشخص شد ایزوله‌های باکتریایی دارای مقاومت بالایی نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها هستند (Bouki et al., 2013). مطالعه صورت گرفته توسط Reinthaler et al. (2003) بر روی سه تصفیه‌خانه نشان داد انتشار عوامل ARB و ARGs در تعداد زیاد از طریق لجن به محیط وارد می‌شوند. تحقیقات علاوه بر انتشار، پایداری

این عوامل را در محیط پس از سال‌ها نیز تایید کرده‌اند (Guillaume et al., 2000). محققین برکه‌های تثبیت را در حذف ARB و ARGs موفق دانسته و دلیل این امر را زمان ماند فاضلاب و در معرض تشعشع‌های خورشیدی بودن می‌دانند (Knapp et al., 2010). برخی محققین این موضوع را رد می‌کنند و زمان طولانی و بار آلی بالا در این برکه‌ها را عامل افزایش ARB و ARGs می‌دانند. در مطالعه‌ای که توسط Munir et al. (2011) انجام شد، گزارش شد که فرایند MBR در مقایسه با لجن فعال اثر بیشتری در حذف عوامل مقاوم آنتی‌بیوتیکی دارد. از واحدهای مهم تصفیه فاضلاب که امکان حذف و یا کاهش ARB و ARGs را دارد، واحد گندزدایی است. یافته‌ها نشان می‌دهد اثر واحد کلریناسیون بر حذف/کاهش ARB و ARGs نه تنها ناچیز است بلکه برعکس باعث افزایش این عوامل نیز می‌شود (Munir et al., 2013; Bouki et al., 2011). همچنین مطالعات از عدم تاثیر گندزدایی با UV بر ARB و ARGs حکایت دارد (Auerbach et al., 2007). مطالعه‌ای که توسط Aali et al. (2014b) برای بررسی ARB و ARGs در فاضلاب‌های شهری و بیمارستانی در ایران انجام شد نشان داد که مقاومت آنتی‌بیوتیکی در این فاضلاب‌ها بسیار بالا است. ازطرفی این مطالعه مشخص کرد که فرایندهای

تصفیه فاضلاب توان حذف این آلاینده‌ها را ندارند و یا کارایی آن‌ها بسیار پایین است. این تحقیق نشان داد که فرایند برکه تثبیت فاضلاب می‌تواند اثر افزایشی بر روی برخی باکتری‌ها و یا ژن‌های مقاوم داشته باشد. Kim et al. (2007b,c) گزارش کردند که افزایش بار آلی و میزان رشد بر افزایش مقاومت تاثیر مثبت دارد. این موضوع در برکه‌های تثبیت می‌تواند صادق باشد. در طی تحقیقی مشخص شد فرایندهایی که از سیستم گندزدائی دوگانه (UV+Cl) استفاده می‌کنند و پس از آن از واحد پیشرفته مانند صافی شنی تند استفاده می‌کنند، راندمان بالایی در حذف ARB و ARGs به دست می‌آورند (Aali et al., 2014a).

## ۵- نتیجه گیری

واقعیت تلخی است که آنتی‌بیوتیک‌های معجزه‌گر، امروزه به یکی از فاکتورهای تهدید سلامتی انسان و محیط‌زیست تبدیل شده‌اند. این موضوع دغدغه جهانی را در پی داشته و دارد. منابع محیطی به عنوان بستر فعالیت‌های انسانی است. حفظ کیفیت این منابع نه تنها وظیفه فعلی، برای ارائه خدمات مطلوب به جوامع بوده بلکه در روندهای توسعه پایدار یک وظیفه تاریخی است. در کشور متأسفانه الگوی صحیح مصرف آنتی‌بیوتیک در بخش‌های مختلف رعایت نمی‌شود. ۵۰٪ ایرانیان آنتی‌بیوتیک استفاده می‌کنند. براساس گزارش دفتر آموزش و ارتقای سلامت وزارت بهداشت، نیمی از بیماران مراجعه‌کننده به پزشکان عمومی حداقل یک نوع آنتی‌بیوتیک دریافت می‌کنند. مصرف خودسرانه دارو در چند سال گذشته به یکی از چالش‌های اساسی حوزه بهداشت و درمان کشور بدل شده است. ایران جزء بیست کشور اول دنیا از نظر مصرف دارو است. مصرف آنتی‌بیوتیک در ایران ۱۶ برابر استاندارد جهانی است. پزشکان متخصص به طور متوسط برای ۴۸٪ بیماران خود آنتی‌بیوتیک تجویز می‌کنند. نبود استاندارد ملی مصرف و تجویز دارو یکی از اشکالات جدی به موضوع دارو در کشور است (Abdollahiasl et al., 2011). میانگین بررسی ۹ ساله مصرف آنتی‌بیوتیک در کشور نشان‌دهنده که گروه‌های آنتی‌بیوتیکی بتالاکتام، سولفانامیدها، تتراسیکلین به ترتیب بیشترین مصرف را دارا هستند (Aali and Ghanbari, 2017; Abdollahiasl et al., 2011). مطالعات گوناگون در محیط‌های درمانی کشور نشان می‌دهد مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌ها افزایش زیادی یافته است. مهم‌ترین علت بالارفتن میزان مقاومت باکتریایی نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها در کشور ناشی از تجویز و استفاده بی‌رویه از ترکیبات است (Noorbakhsh Sabet et al., 2010). نکته قابل توجه این‌که نتایج بررسی مقاومت نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها با روند مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در کشور دارای تشابه و قرابت هستند. به بیانی دیگر گروه بتالاکتام که بیشترین مصرف را دارد بیشترین

مقاومت را نیز از خود نشان داده‌است. به‌هرحال جز در موارد محدود، بررسی مقاومت آنتی‌بیوتیکی در محیط‌زیست در کشور صورت نگرفته است (Hadi et al., 2011; Talebi et al., 2008; Rahimi et al., 2007; Aali et al., 2014a,b). نشان داد که میزان تخلیه ARB و ARGs به منابع محیطی در کشور بسیار زیاد است (Aali et al., 2014a,b).

به‌هرحال با علم به اثرات جدی مقاومت آنتی‌بیوتیکی بر اکوسیستم‌های طبیعی و تغییرات ژنتیکی و جمعیتی توجه به این مقوله باید در اولویت باشد. در این راستا محققین، مسئولین در سطوح محلی، ملی و بین‌المللی مسئولیت دارند. مطمئناً در صورت درک عمق موضوع در سطوح یاد شده و تنظیم و اجرای برنامه‌های عملیاتی می‌تواند در کاهش انتشار و در نتیجه کاهش هزینه‌های بهداشتی درمانی و زیست‌محیطی و از همه مهم‌تر مرگ و میر ناشی از این مقاومت آنتی‌بیوتیکی تاثیر مثبت به وجود آید. پیشنهاد می‌شود برای بسط و مدیریت مقوله مقاومت آنتی‌بیوتیکی در کشور ساز و کارهای مدیریتی آن در سطوح مختلف تعریف و نقش سازمان‌ها و نهادهای مختلف در این موضوع مشخص و پایش‌های دقیق و وسیع ملی و محلی و ارتباط آن‌ها با هم انجام شود. همچنین تحقیقات پایه و کاربردی در مورد نحوه ورود و چگونگی جلوگیری از ورود آنتی‌بیوتیک‌ها و باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک به محیط، مورد کنکاش محققین و دانشمندان در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور قرار گیرد.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Central for Disease Control
- 2- Conjugation
- 3- Transduction
- 4-Transformation
- 5- Antibiotic resistance bacteria
- 6- Antibiotic resistance genes
- 7- Multiple Antibiotic resistance (MAR)
- 8- Sequence batch reactor

## ۷- مراجع

- Aali, R., and Ghanbari, R., (2017), "Antibiotic Resistance in Environment and its Public Health Risks in Iran", *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 2(4), 371-3.
- Aali, R., Nikaeen, M., Khanahmad, H., and Hasanzadeh, A., (2014a), "Monitoring and comparison of antibiotic resistant bacteria and their resistance genes in municipal and hospital wastewaters", *International Journal Preventive Medicine*, 5(7), 887-94.
- Aali, R., Nikaeen, M., Khanahmad, H., Hejazi, Z., Kazemi, M. and Hassanzadeh, A., (2014b), "Occurrence of tetracycline resistant bacteria and resistance gene(tetW) in hospital and municipal wastewaters", *Fresenius Environmental Bulletin*,

- Fuentefria, D.B., Ferreira, A.E., and Corcão, G., (2011), "Antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa* from hospital wastewater and superficial water: Are they genetically related?", *Journal of Environmental Management*, 92(1), 250-255.
- Ghanbari, R., Shahryari, A., Asgari, E., Hosseinpour, S., Yeganeh, J., Salighehdar Iran, N., and Aali, R., (2017), "Environmental cycle of antibiotic resistance encoded genes: A systematic review", *The Journal of Qazvin University of Medical Sciences*, 21(5), 71-55.
- Golet, E.M., Alder, A.C., and Giger, W., (2002), "Environmental exposure and risk assessment of fluoroquinolone antibacterial agents in wastewater and river water of the Glatt Valley Watershed, Switzerland", *Environmental Science and Technology*, 36(17), 3645-3651.
- Guillaume, G., Verbrugge, D., Chasseur-libotte, M.-L., Moens, W., and Collard, J.-M., (2000), "PCR typing of tetracycline resistance determinants (Tet A-E) in *Salmonella enterica* serotype Hadar and in the microbial community of activated sludges from hospital and urban wastewater treatment facilities in Belgium", *FEMS Microbiology Ecology*, 32(1), 77-85.
- Hadi, M., Shokohi, R., Ebrahimzadeh Namvar A.M., Karimi, M., and Solaimany Aminabad, M., (2011), "Antibiotic resistance of isolated bacteria from urban and hospital wastewaters in Hamedan city", *Iranian Journal Health and Environment*, 4(1), 105-114.
- Hamscher, G., Priess, B., and Nau, H., (2006), "A survey of the occurrence of various sulfonamides and tetracyclines in water and sediment samples originating from aquaculture systems in Northern Germany in summer 2005", *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 57(4), 97-101.
- Hamscher, G., Sczesny, S., Höper, H., and Nau, H., (2002), "Determination of persistent tetracycline residues in soil fertilized with liquid manure by high-performance liquid chromatography with electrospray ionization tandem mass spectrometry", *Analytical Chemistry*, 74(7), 1509-1518.
- Heidari, M., Kazemipour, M., Bina, B., Ebrahimi, A., Ansari, M., Ghasemian, M., and Amin, M.M., (2013), "A qualitative survey of five antibiotics in a water treatment plant in central plateau of Iran", *Journal of Environmental and Public Health*, 2013.
- Hoa, P.T.P., Managaki, S., Nakada, N., Takada, H., Shimizu, A., Anh, D.H., Viet, P.H. and Suzuki, S., (2011), "Antibiotic contamination and occurrence of antibiotic-resistant bacteria in aquatic environments of northern Vietnam", *Science of the Total Environment*, 409(15), 2894-2901.
- Huang, J.-J., Hu, H.-Y., Lu, S.-Q., Li, Y., Tang, F., Lu, Y., and Wei, B., (2012), "Monitoring and evaluation of antibiotic-resistant bacteria at a municipal wastewater treatment plant in China", *Environment International*, 42, 31-36.
- Iwane, T., Urase, T., and Yamamoto, K., (2001), "Possible impact of treated wastewater discharge on incidence of antibiotic resistant bacteria in river water", *Water Science and Technology*, 43(2), 91-99.
- Davis, J., Davis, D., (2010), "Origins and evolution of antibiotic resistance", *Microbiology and Molecular* 23(10A), 2560-2566.
- Abdollahiasl, A., Kebriaeezadeh, A., Nikfar, S., Farshchi, A., Ghiasi, G., and Abdollahi, M., (2011), "Patterns of antibiotic consumption in Iran during 2000–2009", *International Journal of Antimicrobial Agents*, 37(5), 489-490.
- Aminov, R.I., and Mackie, R.I., (2007), "Evolution and ecology of antibiotic resistance genes", *FEMS Microbiology Letters*, 271(2), 147-161.
- Andreu, V., Vazquez-roig, P., Blasco, C., and Picó, Y., (2009), "Determination of tetracycline residues in soil by pressurized liquid extraction and liquid chromatography tandem mass spectrometry", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 394(5), 1329-1339.
- Armstrong, J.L., Shigeno, D.S., Calomiris, J., and Seidler, R.J., (1981), "Antibiotic-resistant bacteria in drinking water", *Applied and Environmental Microbiology*, 42(2), 277-283.
- Atoyan, J.A., Patenaude, E.L., Potts, D.A., and Amador, J.A., (2007), "Effects of tetracycline on antibiotic resistance and removal of fecal indicator bacteria in aerated and unaerated leachfield mesocosms", *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 42(11), 1571-1578.
- Auerbach, E.A., Seyfried, E.E., and McMahon, K.D., (2007), "Tetracycline resistance genes in activated sludge wastewater treatment plants", *Water Research*, 41(5), 1143-1151.
- Bahl, M.I., Hansen, L.H., Goesmann, A., and Sørensen, S.J., (2007), "The multiple antibiotic resistance IncP-1 plasmid pKJK5 isolated from a soil environment is phylogenetically divergent from members of the previously established [alpha], [beta] and [delta] subgroups", *Plasmid*, 58(1), 31-43.
- Bouki, C., Venieri, D., and Diamadopoulos, E., (2013), "Detection and fate of antibiotic resistant bacteria in wastewater treatment plants: A review", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 91, 1-9.
- Castanon, J.I.R., (2007), "History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds", *Poultry Science*, 86(11), 2466-2471.
- Col, N.F., and O'Connor, R.W., (1987), "Estimating worldwide current antibiotic usage: report of Task Force 1", *Review of Infectious Diseases*, 9(Supplement 3), S232-S243.
- Ding, C., and He, J., (2010), "Effect of antibiotics in the environment on microbial populations", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(3), 925-941.
- Ferreira, C.S.G., Nunes, B.A., Henriques-Almeida, J.M.D.M., and Guilhermino, L., (2007), "Acute toxicity of oxytetracycline and florfenicol to the microalgae *Tetraselmis chuii* and to the crustacean *Artemia parthenogenetica*", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67(3), 452-458.
- Ferreira da Silva, M., Vaz-Moreira, I., Gonzalez-Pajuelo, M., Nunes, O.C., and Manaia, C.M., (2007), "Antimicrobial resistance patterns in Enterobacteriaceae isolated from an urban wastewater treatment plant", *FEMS Microbiol Ecology*, 60(1), 166-176.

- 59(13), 7268-727.
- Martinez, J.L., (2009), "Environmental pollution by antibiotics and by antibiotic resistance determinants", *Environmental Pollution*, 157(11), 2893-2902.
- Martinez, J.L., Fajardo, A., Garmendia, L., Hernandez, A., Linares, J.F., Martínez-solano, L. and Sánchez, M.B., (2009), "A global view of antibiotic resistance", *FEMS Microbiology Reviews*, 33(1), 44-65.
- Mezrioui, N., and Baleux, B., (1994), "Resistance patterns of e. coli strains isolated from domestic sewage before and after treatment in both aerobic lagoon and activated sludge", *Water Research*, 28(11), 2399-2406.
- Monteiro, S.C., and Boxall, A.B., (2010), "Occurrence and fate of human pharmaceuticals in the environment", In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Springer, 53-154.
- Montforts, M., Rijs, G., Staeb, J., and Schmitt, H., (2008), "Diergeneesmiddelen en natuurlijke hormonen in oppervlaktewater van gebieden met intensieve veehouderij", *RIVM Rapport 601500004*.
- Munir, M., Wong, K., and Xagoraki, I., (2011), "Release of antibiotic resistant bacteria and genes in the effluent and biosolids of five wastewater utilities in Michigan", *Water Research*, 45(2), 681-693.
- Munoz-Aguayo, J., Lang, K.S., Lapara, T.M., González, G., and Singer, R.S., (2007), "Evaluating the effects of chlortetracycline on the proliferation of antibiotic-resistant bacteria in a simulated river water ecosystem", *Applied and Environmental Microbiology*, 73(17), 5421-5425.
- N, R.-F., (2009), "The landscape of antibiotic resistance", *Environmental Health Perspective*, 117, 45-50.
- 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.
- Nisha, A., (2008), "Antibiotic residues, A global health hazard", *Veterinary World*, 1(12), 375.
- Noorbakhsh sabet, N., Japoni, A., Mehrabani, D., and Japoni, S., (2010), "Multi-drug resistance bacteria in Qom hospitals, Central Iran", *Iran Red Crescent Medical Journal*, 12(4), 501-503.
- WHO, (2014), "Antimicrobial resistance: Global report on surveillance, World Health Organization.
- Pena, A., Paulo, M., Silva, L., Seifrtová, M., Lino, C., and Solich, P., (2010), "Tetracycline antibiotics in hospital and municipal wastewaters: a pilot study in Portugal", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 396(8), 2929-2936.
- Rahimi, F., Talebi, M., Saifi, M., and Pourshafie, M. R., (2007), "Distribution of enterococcal species and detection of vancomycin resistance genes by multiplex PCR in Tehran sewage", *Iranian Biomedical Journal*, 11, 161-167.
- Reinthal, F.F., Posch, J., Feierl, G., Wust, G., Haas, D., Ruckebauer, G., Mascher, F., and Marth, E., (2003), "Antibiotic resistance of E. coli in sewage and sludge", *Water Research*, 37(8), 1685-1690.
- Rodriguez-Mozaz, S., Chamorro, S., Marti, E., Huerta, B., Gros, M., Sanchez-Melsió, A., Borrego, C.M., *Biology Review*, 74(3), 417-433.
- Karthikeyan, K.G., and Meyer, M.T., (2006), "Occurrence of antibiotics in wastewater treatment facilities in Wisconsin, USA", *Science of The Total Environment*, 361(1-3), 196-20.
- Kim, S., and Aga, D.S., (2007), "Potential ecological and human health impacts of antibiotics and antibiotic-resistant bacteria from wastewater treatment plants", *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 10(8), 559-573.
- Kim, S., Aga, D.S., Jensen, J.N., and Weber, A.S., (2007a), "Effect of sequencing batch reactor operation on presence and concentration of tetracycline-resistant organisms", *Water Environment Research*, 79(11), 2287-2297.
- Kim, S., Jensen, J., Aga, D., and Weber, A., (2007b), "Fate of tetracycline resistant bacteria as a function of activated sludge process organic loading and growth rate", *Water Science and Technology*, 55(1-2), 291-297.
- Kim, S., Jensen, J.N., Aga, D.S., and Weber, A.S., (2007c), "Tetracycline as a selector for resistant bacteria in activated sludge", *Chemosphere*, 66(9), 1643-1651.
- Knapp, C.W., Engemann, C.A., Hanson, M.L., Keen, P.L., Hall, K.J., and Graham, D.W., (2008), "Indirect evidence of transposon-mediated selection of antibiotic resistance genes in aquatic systems at low-level oxytetracycline exposures", *Environmental Science and Technology*, 42(14), 5348-5353.
- Knapp, C.W., Zhang, W., Sturm, B.S.M., and Graham, D.W., (2010), "Differential fate of erythromycin and beta-lactam resistance genes from swine lagoon waste under different aquatic conditions", *Environmental Pollution*, 158(5), 1506-1512.
- Kummerer, K., (2009), "Antibiotics in the aquatic environment, A review, Part I", *Chemosphere*, 75(4), 417-434.
- Kummerer, K., Alexy, R., Huttig, J., and Schöll, A., (2004), "Standardized tests fail to assess the effects of antibiotics on environmental bacteria", *Water Research*, 38(8), 2111-2116.
- Laroche, E.P.B., Berthe, T., Skurnik, D., and Petit, F., (2009), "Occurrence of antibiotic resistance and class 1, 2 and 3 integrons in Escherichia coli isolated from a densely populated estuary (Seine, France)", *FEMS Microbiol Ecology*, 68(1), 118-30.
- Laroche, E., Petit, F., Fournier, M., and Pawlak, B., (2010), "Transport of antibiotic-resistant Escherichia coli in a public rural karst water supply", *Journal of Hydrology*, 392(1-2), 12-21.
- Li, D., Yu, T., Zhang, Y., Yang, M., Li, Z., Liu, M., and Qi, R., (2010), "Antibiotic resistance characteristics of environmental bacteria from an oxytetracycline production wastewater treatment plant and the receiving river", *Applied and Environmental Microbiology*, 76(11), 3444-3451.
- Li, Y-W., Wu, X-L., Mo, C-H., Tai, Y-P., Huang, X-P., and Xiang, L., (2011), "Investigation of sulfonamide, tetracycline, and quinolone antibiotics in vegetable farmland soil in the Pearl River Delta area, southern China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,



- 86(2), 150-155.
- Watanabe, N., Bergamaschi, B.A., Loftin, K.A., Meyer, M.T., and Harter, T., (2010), "Use and environmental occurrence of antibiotics in freestall dairy farms with manured forage fields", *Environmental Science and Technology*, 44(17), 6591-6600.
- Webster, L.F., Thompson, B.C., Fulton, M.H., Chestnut, D.E., Van dolah, R.F., Leight, A.K. and Scott, G.I., (2004), "Identification of sources of *Escherichia coli* in South Carolina estuaries using antibiotic resistance analysis", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 298(2), 179-195.
- Xi, C., Zhang, Y., Marrs, C.F., Ye, W., Simon, C., Foxman, B., and Nriagu, J., (2009), "Prevalence of antibiotic resistance in drinking water treatment and distribution systems", *Applied and Environmental Microbiology*, 75(17), 5714-5718.
- Xiong, W., Sun, Y., Ding, X., wang, M., and Zeng, Z., (2015), "Selective pressure of antibiotics on ARGs and bacterial communities in manure-polluted freshwater-sediment microcosms", *Frontiers in Microbiology*, 6, 194.
- Yiluo, D., Michalysz, Q., Hongjiezhang, L., and Andpedroj, J.A., (2010), "Trends in antibiotic resistance genes occurrence in the Haihe River, China", *Environmental Science and Technology*, 44(19), 7220-7225.
- Yu, D., Yi, X., Ma, Y., Yin, B., Zhuo, H., Li, J., and Huang, Y., (2009), "Effects of administration mode of antibiotics on antibiotic resistance of *Enterococcus faecalis* in aquatic ecosystems", *Chemosphere*, 76(7), 915-920.
- Zhang, T., and Li, B., (2011). "Occurrence, transformation, and fate of antibiotics in municipal wastewater treatment plants", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(11), 951-998.
- Zhang, X.-X., Zhang, T., and Fang, H., (2009), "Antibiotic resistance genes in water environment", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82(3), 397-414.
- Barceló, D., and Balcázar, J.L., (2015), "Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river", *Water Research*, 69, 234-242.
- Salyers, A.A., and Amabile-cuevas, C.F., (1997), "Why are antibiotic resistance genes so resistant to elimination?", *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 41(11), 2321.
- Schmitt, H., Laak, T.T., and Duis, K., (2017), "Development and dissemination of antibiotic resistance in the environment under environmentally relevant concentrations of antibiotics and its risk assessment: Literature Study", *Umweltbundesamt*, 1-159.
- Schwartz, T., Kohnen, W., Jansen, B., and Obst, U., (2003), "Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms", *FEMS Microbiology Ecology*, 43(3), 325-335.
- Stange, C., Yin, D., Xu, T., Guo, X., Schäfer, C., and Tiehm, A., (2019), "Distribution of clinically relevant antibiotic resistance genes in Lake Tai, China", *Science of The Total Environment*, 655, 337-346.
- Stepanauskas, R., Glenn, T.C., Jagoe, C.H., Tuckfield, R.C., Lindell, A.H., King, C.J., and McArthur, J., (2006), "Coselection for microbial resistance to metals and antibiotics in freshwater microcosms", *Environmental Microbiology*, 8(9), 1510-1514.
- Stine, O.C., Johnson, J.A., Keefer-norris, A., Perry, K.L., Tigno, J., Qiayumi, S., Stine, M.S. And Morris Jr, J.G., (2007), "WIDespread distribution of tetracycline resistance genes in a confined animal feeding facility", *International Journal of Antimicrobial Agents*, 29(3), 348-352.
- Talebi, M., Rahimi, F., Katouli, M., Möllby, R., and Pourshafie, M.R., (2008), "Epidemiological link between wastewater and human vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* isolates", *Current Microbiology*, 56(5), 468-473.
- Tao, R., Ying, G.-G., Su, H.-C., Zhou, H.-W., and Sidhu, J.P.S., (2010), "Detection of antibiotic resistance and tetracycline resistance genes in Enterobacteriaceae isolated from the Pearl rivers in South China", *Environmental Pollution*, 158(6), 2101-2109.
- Thevenon, F., Adatte, T., Wildi, W., and Pote, J., (2012), "Antibiotic resistant bacteria/genes dissemination in lacustrine sediments highly increased following cultural eutrophication of Lake Geneva (Switzerland)", *Chemosphere*, 86(5), 468-476.
- Verheij, T.J., (2009), "The antibiotic revolution should be more focused", *British Journal of General Practice*, 59, 716-717.
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., and Zambello, E., (2012a), "Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment, A review", *Science of The Total Environment*, 429, 123-155.
- Walsh, F., Ingenfeld, A., Zampiccoli, M., Hilber-bodmer, M., Frey, J.E. and Duffy, B., (2011), "Real-time PCR methods for quantitative monitoring of streptomycin and tetracycline resistance genes in agricultural ecosystems", *Journal of Microbiological Methods*,



**Review Paper**

**مقاله مروری**

**Review on Applications of Adsorbents to  
Remove Phenolic Compounds from  
Wastewater**

**مروری بر کاربردهای جاذب‌ها برای حذف ترکیبات  
فنولی از پساب**

Farhad Salimi<sup>1\*</sup>, Javad Salimi<sup>2</sup> and Farhad Golmohammadi<sup>3</sup>

1- Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

2- Young Researchers and Elite Club, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

3- Department of Chemistry, Basic Science, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.

\* Corresponding author, Email: [f.salimi@iauksh.ac.ir](mailto:f.salimi@iauksh.ac.ir)

فرهاد سلیمی<sup>۱\*</sup>، جواد سلیمی<sup>۲</sup> و فرهاد گل محمدی<sup>۳</sup>

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۳- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [f.salimi@iauksh.ac.ir](mailto:f.salimi@iauksh.ac.ir)

Received: 27/11/2018

Revised: 19/10/2019

Accepted: 20/10/2019

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۸

**Abstract**

**چکیده**

Population growth and technological and industrial development are governing factors in increase of water consumption, wastewater production and environmental pollution which raise the need for investments to be made in treatment and disposal of wastewater. Due to their toxicity even in very low concentrations, Phenols are of great environmental importance among organic compounds. The limit for phenol in effluent discharge is typically 0.1 mg/l and the World Health Organization has established the maximum level of phenol compounds in drinking water allowable as 1 µg/l. Phenol and phenolic compounds are present in many industrial and domestic wastewaters and due to their toxicity, they must be effectively removed from the wastewater. In this work, the removal of phenolic compounds from wastewater is investigated on low cost adsorptions. The effect of parameters like pH, temperature, initial phenol concentration, and amount of adsorbent is investigated. The studies showed that low cost adsorbents like adsorbent derived from the natural materials, waste materials from agriculture and industry have high potential and flexibility compared to many other methods for removing phenolic compounds. It is shown that adsorbents with high surface activation, surface area and porosity have higher performance.

**Keywords:** Industrial wastewater, Adsorbent, Phenol, Natural sorbent, Agricultural sorbent.

افزایش جمعیت و گسترش صنایع و پیشرفت تکنولوژی عواملی هستند که باعث افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب و آلودگی محیط‌زیست شده‌اند و سرمایه‌گذاری برای تصفیه و دفع بهداشتی را اجباری نموده‌اند. فنول‌ها ترکیبات آلی هستند که توجه بسیاری را به‌دلیل سمی بودن حتی در غلظت‌های پایین به‌سمت خود جلب کرده‌اند. غلظت مشتقات فنول در پساب خروجی هنگام تخلیه حدود  $0.1 \text{ mg/l}$  است و سازمان سلامت جهانی حداکثر سطح آن را در آب قابل شرب  $1 \mu\text{g/l}$  مجاز می‌داند. فنول و ترکیبات فنولی موادی هستند که در بیشتر پساب‌های صنعتی و خانگی وجود دارند و به‌علت سمی بودن باید به‌طور مؤثری از این پساب‌ها حذف شوند. در این مقاله روش حذف فنول از پساب به‌وسیله جاذب‌های کم‌هزینه بررسی می‌شود. تأثیر پارامترهای مختلف مثل غلظت اولیه فنول، pH، دما و مقدار جاذب بر روی مقدار جذب بررسی می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد جاذب‌های کم‌هزینه‌ای مثل جاذب‌های به‌دست آمده از مواد معدنی، پسماند کشاورزی و مواد زائد صنعتی پتانسیل بالا و انعطاف‌پذیری بیشتری را نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر برای حذف ترکیبات فنولی دارد و جاذب‌هایی که فعالیت سطحی بیشتر، سطح و تخلخل بالایی دارند کارایی بیشتری دارند.

**کلمات کلیدی:** پساب صنعتی، جاذب، فنول، جاذب طبیعی، جاذب‌های کشاورزی.

است. مسمومیت ناشی از فنول می‌تواند به شدت باعث آسیب اندام‌های داخلی مثل کلیه‌ها، کبد، طحال، شش‌ها و قلب شود (Mohammadi et al., 2015). غلظت مشتقات فنول در پساب برای خروج حدود  $1 \text{ mg/l}$  است و سازمان سلامت جهانی حداکثر سطح فنول را در آب قابل شرب  $1 \text{ mg/l}$  مجاز می‌داند. هدف از این مقاله، مطالعه مروری در مورد مواد جاذب جدیدی است که بیشتر از زیست توده و اکسیدهای فلزی به دست می‌آیند و کاربرد آن‌ها در تصفیه پساب برای حذف ترکیبات فنولی مثل فنول، ۴-نیتروفنول و ۴-کلروفنول است که در این مقاله به ترتیب با 4-NP، p و 4-CP نشان داده می‌شوند. پساب‌های حاوی ترکیبات فنولی، از انواع مختلف فرآیندهای صنعتی که در ارتباط با تولید این مواد، آماده‌سازی مواد واسطه و استفاده از این مواد به عنوان ماده اولیه هستند، ناشی می‌شوند. صنایع غالب شامل پالایشگاه‌های نفت خام، تأسیسات تولید سوخت، تولید کنندگان پلاستیک، رزین‌ها، آفت‌کش‌ها، دارویی، مهندسی، رنگ هستند (Regulations and Standards, 1985). ترکیب و ماهیت آلوده کننده‌ها از یک صنعت به صنعت دیگر متفاوت است و تصفیه آن‌ها کار پیچیده‌ای است. در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۰ مقدار رها شده 4-NP، p و 4-CP به ترتیب ۲۲، ۴۶٪ و ۷۷٪ تن در سال بود (Ranade and Bhandari, 2014a).

تکنولوژی‌های متفاوتی برای حذف ترکیبات فنولی از پساب وجود دارند. انتخاب راه کار مناسب برای حذف و اصلاح این مواد تا حد مطلوب و با هزینه مناسب، کار پیچیده و چالش برانگیز است. عموماً روش‌های تصفیه در سه دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند: روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (Robinson et al., 2001). تصفیه بیولوژیکی در مقایسه با دو روش دیگر را می‌توان اقتصادی‌ترین روش عنوان کرد. همچنین گزارش‌هایی از انعطاف‌پذیری طراحی و عملیات تصفیه بیولوژیکی وجود دارد در حالی که باید اذعان نمود این روش در اثر سمیت و تغییرات شدید محدود می‌شود و اجرای عملیات تصفیه نیازمند سطح زیادی است (Bhattacharyya and Sarma, 2003). تصفیه شیمیایی که طیف گسترده‌ای از روش‌ها نظیر ترسیب و لخته‌سازی را شامل می‌شود، می‌تواند در حذف آلاینده از پساب بسیار کمک کننده باشد، زیرا برای اهداف تصفیه‌ای، کارایی بسیار بالایی دارد اما باید توجه داشت که هزینه بالای این روش‌ها که احتمالاً در نتیجه مصرف زیاد واکنشگرها و انرژی ورودی است همراه با مشکلات بعدی حذف لجن باقیمانده از فرآیند تصفیه ممکن است امکان استفاده از آن‌ها را محدود نماید.

از جمله مهم‌ترین روش‌های مبتنی بر حذف فیزیکی می‌توان به روش‌های فیلتراسیون و جذب اشاره نمود. اشکالات اصلی فرآیندهای فیلتراسیون عمر مفید محدود، گرفتگی و هزینه بالای آن‌ها است (Namane et al., 2005). در مقابل، جذب یک فرآیند

هدف اصلی در تصفیه پساب کاهش آلاینده‌های موجود در آن است تا خطری برای سلامت انسان یا محیط زیست نداشته باشد. چندین تکنولوژی در چارچوب فرآیند فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی برای تصفیه انواع مختلفی از پساب وجود دارد. هر چند که مشخص است بسیاری از این تکنولوژی‌های مرسوم از جنبه اقتصادی دارای محدودیت‌هایی هستند. بنابراین، ارائه راه‌حلی که از لحاظ هزینه مفید و بدون اینکه اثر بخشی فرآیند را کاهش دهند، الزامی می‌شوند. انتظار می‌رود که کاربرد فرم‌های جدیدی از مواد جاذب کم‌هزینه مثل مواد مشتق شده از زیست توده، پتانسیل انجام این هدف را داشته باشند. چنین جایگزین‌های کم‌هزینه‌ای، توانایی تصفیه را بخصوص در کشورهای در حال توسعه افزایش خواهد داد (Ranade and Bhandari, 2014a).

یک گروه خاص از ترکیبات آلی که تصفیه آن‌ها از پساب صنعتی به دلیل سمی و خطرناک بودن، یکی از نگرانی‌های اصلی محسوب می‌شود، فنول و ترکیبات فنولی است. این مواد، مشتقات هیدروکسیل بنزن هستند که ممکن است در پساب صنعتی و خانگی روی دهد. منابع اصلی آلودگی فنول در محیط آبی شامل فاضلاب‌های صنایع رنگ، سموم دفع آفات، صنایع تبدیل زغال سنگ، رزین پلیمری و صنایع نفت و پتروشیمی است. با ورود ترکیبات فنولی به محیط زیست یا تخریب این مواد به معنای ظهور فنول و مشتقات آن در محیط می‌باشد. کلرزنی آب‌های طبیعی برای ضد عفونی باعث تولید فنول‌های کلردار شده می‌شود (Akbal and Onar, 2003). در هر مورد باید این مواد را قبل از تخلیه به آب‌ها به منظور جلوگیری از آلودگی محیطی به طور مؤثری حذف کنند. فنول در آب، روغن، کربن دی‌سولفید و بسیاری از حلال‌های آبی مثل الکل‌ها، اترها، کتون‌ها و غیره حل می‌شود. فنول در حالت خالص، یک جامد بدون رنگ سفید است، فنول دارای بوی مشخص است که از نظر بیمارستانی<sup>۲</sup> شیرین و خنک است. فنول ماده‌ای سمی و جهش‌زا در غلظت‌های بالا است و ممکن است از طریق پوست جذب شود (Ahmaruzzaman, 2008). فنول در اکثر موارد تجزیه تخریب‌پذیر است. هنگامی که فنول موجود در آب از حد مجاز فراتر می‌رود منجر به از بین رفتن ارگانسیم‌های زنده می‌شود، که اکثر آن‌ها غذای ماهی‌ها هستند. فنول در تماس با ترکیبات کلر، طعم دارویی ایجاد می‌کند (Laszlo et al., 2003). فنول به سرعت پس از تماس با پوست و چشم و استنشاق جذب می‌شود و می‌تواند باعث سوزش چشم و پوست شود. علاوه بر اثرات سوزش می‌تواند باعث حساسیت پوست هم شود. فنول می‌تواند بر روی سیستم عصبی تأثیر بگذارد و باعث از حال رفتن و کاهش هوشیاری شود. از جمله اثرات زیان‌بار استنشاق بخار ترکیبات فنولی، تنگی نفس، سرفه، کبودی پوست

## ۲-۲- تبادل یونی

چون فنول‌ها، اسیدهای ضعیفی هستند، تکنولوژی تبادل یونی می‌تواند به کار گرفته شود و می‌تواند فرآیند جالبی از دیدگاه بازیافت، مخصوصاً در غلظت‌های پایین باشد. فرآیند تبادل یون برگشت پذیر است و رزین‌ها می‌توانند پس از بازیافت فنول‌ها مجدداً تولید شوند. رزین‌ها و ژئولیت‌ها در بسیاری از موارد برای ضدعفونی کردن پساب حاوی فنول به کار گرفته می‌شوند. هر چند این روش محدودیت‌هایی در ظرفیت و انتخاب پذیری دارد و معایب اصلی مربوط به این روش این است که شامل رسوب مواد آلی و میکروبی و آلودگی کلر می‌باشد.

## ۲-۳- اکسیداسیون شیمیایی

ترکیبات فنولی می‌توانند به وسیله واکنش با عوامل اکسید کننده به فرم‌های اکسید شده تبدیل شوند. اکسیداسیون شیمیایی می‌تواند بازدهی بالای تجزیه را برای فنول‌ها کسب کند ولی به انرژی بیشتری نیاز داشته و ممکن است منجر به مشکلات آلودگی ثانویه شود. اکسیدکننده‌هایی که معمولاً در روش اکسیداسیون شیمیایی تصفیه پساب استفاده می‌شوند شامل ازن، کلر، پراکسید هیدروژن، سدیم هیپوکلریت و پتاسیم پرمنگنات است. معمولاً هزینه عملیات بالاست و به راکتورهای پیشرفته‌ای نیاز دارد (Langlais et al., 1991).

## ۲-۴- ازنیزاسیون

ازنیزاسیون عمدتاً در تصفیه آب یا ضدعفونی کردن استفاده می‌شود. Hoigné (1988) مشخص کردند که ازنیزاسیون باعث تولید رادیکال‌های هیدروکسیل از طریق تجزیه ازن با OH می‌شود و مدل استالین، بوهرلر و هوپینگ برای واکنش پیچیده پی‌درپی طی عمل ازنیزاسیون پیشنهاد شد. رادیکال‌های OH یکی از فعال‌ترین گونه‌ها در ازنیزاسیون است و مقدار رادیکال OH بازدهی ازنیزاسیون را مشخص می‌کند (Staehelin et al., 1984). روش ازنیزاسیون تصفیه پساب برای پساب با محتوای خیلی کم از فنول ( $5 \text{ mg l}^{-1}$ ) کاربردی است.

## ۲-۵- الکترولیز

روش الکترولیتی می‌تواند ابزاری را برای تصفیه پساب ارائه دهد. اکسیداسیون ماده آلی ممکن است به دو نوع تقسیم شود، اکسیداسیون مستقیم که در سطح آند اتفاق می‌افتد و اکسیداسیون غیرمستقیم که دور از سطح آند است. این روش می‌تواند 4-NP را حذف کند (Cañizares et al., 2004) ولی مشابه اکسیداسیون شیمیایی دارای محدودیت‌هایی است.

مؤثر، متعادل و با صرفه برای حذف پساب‌ها است به‌طوری‌که امروزه حذف BOD رنگ و کنترل رنگ یکی از مهم‌ترین کاربردهای این فرآیند به‌شمار می‌رود. جذب یک فرآیند جداسازی پایدار و راهی مؤثر برای آلودگی‌زدایی از آب محسوب می‌شود و همچنین نسبت به روش‌های دیگر روشی ممتاز است، زیرا با هزینه کم، انعطاف پذیری بالا، طراحی و ساخت آسان و حساسیت بالا نسبت به مواد سمی، آب را تصفیه کرده و برای استفاده مجدد آماده می‌کند، علاوه بر این، مواد خطرناکی نیز ایجاد نمی‌کند (Ranade and Bhandari, 2014a). جاذب‌های زیادی برای جذب رنگ‌ها از پساب استفاده شدند که پرکاربردترین آن‌ها عبارتند از کربن فعال، جاذب‌های ارزان‌قیمت و زیست‌توده و نانو جاذب‌ها (Venkatesan et al., 2019). کربن فعال مشهورترین جاذب مورد استفاده برای حذف آلاینده‌ها از پساب است. حذف مؤثر طیف وسیعی از رنگ‌ها توسط کربن فعال، این روش را به‌عنوان یک انتخاب در سیستم‌های تصفیه معرفی نموده است. البته باید معایبی نظیر هزینه نسبتاً بالا، مشکلات تولید دوباره، عملکرد غیرانتخابی و عدم حذف رنگ‌های خمره‌ای و دیسپرس را در نظر داشت. برای غلبه بر این مشکل‌ها از جاذب‌های ارزان قیمت استفاده شد. در صورتی که یک جاذب، فرآوری کم‌هزینه و فراوانی در طبیعت را دارا باشد به آن جاذب ارزان قیمت اطلاق می‌شود. از جمله بهترین گزینه‌ها برای جاذب‌های کم‌هزینه، پسماندهای کشاورزی و ضایعات بی‌ارزش صنایع هستند. بسیاری از مواد طبیعی، محصولات زائد صنایع و پسماندهای کشاورزی برای جذب رنگ مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. بعضی از تکنولوژی‌های اصلی موجود برای تصفیه این مواد در ادامه توضیح داده می‌شود.

## ۲- تکنولوژی‌های موجود برای حذف ترکیبات فنولی از پساب

### ۲-۱- انعقاد

انعقاد فرآیند فیزیکی شیمیایی است که برای حذف رنگ و تیرگی از موادی که معمولاً کلوئیدی هستند (۱-۲۰۰ میکرون) استفاده می‌شود. از هردوی منعقد کننده‌های آلی و غیرآلی استفاده شده است. زمان مطلوب برای ترکیب سریع طی چند دقیقه کسب می‌شود. لخته شدن با استفاده از مواد شیمیایی مثل فریک کلرید، فروس سولفات، فریک سولفات، آلوم<sup>۳</sup>، لیم<sup>۴</sup>، پلیمرها یا ترکیبی از این مواد شیمیایی صورت می‌گیرد. گاهی ترکیبی از انعقاد و فرآیند جذب استفاده می‌شود (Nowack et al., 1999). استفاده از چندین منعقدکننده شیمیایی و مصرف لجن مهم‌ترین مشکل این روش است. علاوه بر این، استفاده از منعقدکننده تنها به‌ندرت به حذف مطلوب آلاینده‌ها منتهی می‌شود.

شود و سازش پذیری این ارگانیسم‌ها با محیط پساب ضروری است. غلظت فنول در پساب برای این روش باید در محدوده ۵-۵۰۰ میلی گرم بر لیتر باشد (Ranade and Bhandari, 2014a).

## ۲-۷- اسمز معکوس

اسمز معکوس به شکل تکنولوژی غشا برای بازیافت زیاد پساب مورد استفاده قرار می‌گیرد، هر چند این روش به پیش تصفیه مناسب، کنترل شیمیایی و استفاده از غشای اسمز معکوس که در برابر آلودگی مقاوم باشد، نیاز دارد. در این روش مصرف انرژی بسیار زیاد است. دیگر معایب شامل خطر آلودگی باکتریایی غشا، هزینه پیش تصفیه پساب برای جلوگیری از جرم‌گرفتگی غشا و حساسیت آن نسبت به مواد شیمیایی است.

## ۲-۸- استخراج

این روش شامل جدا کردن فاز آلی با استفاده از حلال‌هایی است که با آب مخلوط شدنی نیستند. سپس فنول با جدا کردن لایه آلی با آلکالی یا تقطیر فنول یا حلال در صورتی که تفاوت زیادی بین دماهای جوش فنول و عامل استخراج کننده وجود داشته باشد، جدا می‌شود. نرمال هگزان، سیکلو هگزان، بنزن، تولوئن و اتیل بنزن برخی از حلال‌های آلی هستند که در این روش استفاده می‌شوند (Greminger et al., 1982). به دلیل تشکیل فاز سوم، استخراج حلال با تلف شدن حلال در پساب همراه می‌شود که موجب ایجاد آلودگی ثانویه می‌شود (Shen et al., 2006). این آلودگی ثانویه پساب توسط حلال‌ها، نقص عمده این روش بوده که علاوه بر این نیازمند انرژی زیاد و هزینه بالای اجرایی است.

## ۲-۹- جذب

جذب برای تصفیه فنول از پساب، مخصوصاً از نظر غلظت کم و بالاتر بودن بازدهی فرآیند نسبت به بسیاری از روش‌های مرسوم، بسیار بهتر است. مزایای روش جذب بر چند روش معمولی تصفیه پساب شامل موارد زیر است:

- نیاز به فضای کم در مقایسه با تصفیه بیولوژیکی؛
- انعطاف پذیری در طراحی و عملکرد؛
- حساسیت کمتر به نوسانات فرآیند؛
- بازدهی بیشتر؛
- عدم حساسیت به آلاینده‌های سمی؛
- عدم تشکیل مواد مضر؛
- کاربرد وسیع‌تر، چون می‌تواند انواع مختلف آلاینده را کاهش داده یا از بین ببرد (Ranade and Bhandari, 2014a).

فرآیند جذب می‌تواند شیمیایی یا فیزیکی باشد. جذب فیزیکی شامل نیروهای ضعیفی است که برگشت پذیر بوده و عمدتاً در دماهای کم روی می‌دهد. از طرف دیگر جذب شیمیایی در دماهای بالا روی می‌دهد و شامل انرژی فعال سازی قابل توجه به

حذف فاضلاب فنولی توسط زیست توده (زنده یا مرده) (قارچ‌های پوسیده سفید و سایر میکروب‌ها) اخیراً موضوع تحقیق بسیاری از محققان بوده است. مشخص شده است که زیست جاذب‌های حاصل از زیست توده میکروبی مناسب می‌توانند برای از بین بردن مؤثر ترکیبات فنولی از محلول‌ها استفاده شوند، زیرا ترکیبات فنولی تمایل زیادی برای اتصال با گونه‌های میکروبی دارند. استفاده از زیست توده برای تصفیه فاضلاب به دلیل در دسترس بودن آن در مقادیر زیاد و قیمت پایین رو به افزایش است. زیست توده میکروبی در فرآیندهای تخمیر برای تولید محصولات ارزشمندی مانند آنتی بیوتیک‌ها و آنزیم‌ها تولید می‌شود. در چنین فرآیندهایی مقدار زیادی از محصولات فرعی تولید می‌شود که می‌توانند در جذب زیادی آلاینده مورد استفاده قرار گیرند. زیست توده به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دارای پتانسیل بالایی به عنوان جاذب است.

مقالات اخیر در مورد روش‌های حذف فنول و ترکیبات آن‌ها از فاضلاب بر روی جذب و فرآیند تجزیه بیولوژیکی میکروبی تمرکز دارند (Godjevargova et al., 2006; Kwon and Yeom, 2009; García-Peña et al., 2012). گونه‌های خاصی مانند *Pseudomonas sp* تحت شرایط بسیار کنترل شده pH، دما و در حضور برخی از مواد مغذی خاص می‌تواند فنول را تخریب کند. سویه سودوموناس، قادر به تخریب پنتاکلروفنول است و در اطراف خاک دباغی جدا شده و به عنوان *Pseudomonas aeruginosa* شناخته می‌شود (Bogan and Sullivan, 2003). استفاده بالقوه از قارچ *Phanerochaete chrysosporium* برای از بین بردن کلروفنول‌ها (فنول، *O*-chlorophenol، *P*-chlorophenol و *trichlorophenol*-۲،۴،۶) از محلول‌های آبی توسط Denzili et al. (2004) ارزیابی شد.

تصفیه بیولوژیکی مواد شیمیایی آلی در صورتی می‌تواند به طور صحیح انجام شود که مجموعه‌های میکروبی برای تجزیه ایجاد شوند. زنجیره‌های میکروبی مثل *Pseudomonas fluorescens*، *Acinetobacter*، *trichosporon*، *pseudomonas putida* و *candida tropicalis* قادر به تجزیه فنول در مقادیر کم هستند. مقادیر زیاد فنول می‌تواند برای اجتناب از میزان سرعت رشد این میکروارگانیسم‌ها سمی باشد. برای کسب عملکرد رضایت بخش، باید میزان فنول مورد نیاز کمتر از سطح سمیت نگه‌داشته شود و خو گرفتن این ارگانیسم‌ها با محیط آب‌های آلوده لازم است. تجزیه زیستی می‌تواند ۴-NP را حذف کند (Yi et al., 2006). زیست تخریب پذیرها قادر به تجزیه فنول در مقادیر کم هستند. در مقادیر زیاد، فنول می‌تواند سمی شود و از رشد این میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کند. بنابراین، برای کسب عملکرد رضایت بخش، مقدار فنول باید کمتر از سطح سمی نگه‌داشته



همراه مشارکت پیوندهای شیمیایی قوی است که ماهیتی برگشتناپذیر دارند. کربن فعال (AC) یکی از پرکاربردترین جاذبها برای حذف آلوده کننده‌های آلی از پساب است که در طبیعت مقاوم هستند. مساحت بالای سطح، ظرفیت بالا در جذب و واکنش‌پذیری بالای سطح، نقاط مثبت این جاذب هستند. علاوه بر این، ظرفیت جذب کربن فعال به شدت وابسته به روش فعال‌سازی و ماهیت مواد مبداء است. تحقیقات زیادی نشان می‌دهد که کربن فعال برای حذف ترکیبات فنولی از پساب مؤثر است. با این وجود بالا بودن قیمت اولیه و پرهزینه بودن فرآیند احیا باعث شده که از لحاظ اقتصادی خیلی مقرون به صرفه نباشد. بنابراین، جستجو برای جاذب‌های کم هزینه و در دسترس باعث شده که تحقیقات زیادی برای جستجوی روش‌های جدید و مؤثر برای استفاده از پسماند کشاورزی، محصولات جانبی و مواد پسماند صنایع و مواد طبیعی به عنوان جاذب انجام شود. لذا علی‌رغم چندین تکنولوژی موجود، توجه عمده به تکنولوژی جذب و توسعه مواد جاذب کم هزینه برای تصفیه پساب حاوی فنول است. این مقاله پیشرفت در این مقوله را با تجزیه و تحلیل اطلاعات جدید بررسی می‌کند.

### ۳- جاذب‌های جدید و پتانسیل آن‌ها برای کاربرد در تصفیه پساب حاوی فنول

تصفیه پساب با استفاده از روش جذب، موضوع بسیار مناسبی را برای تحقیق در این زمینه فراهم کرده است. جاذب‌های کم‌هزینه‌ای برای انواع مختلفی از مواد شیمیایی سمی موجود در پساب مطرح شده‌اند. مواد موجود و توسعه‌یافته می‌توانند برای افزایش ظرفیت یا فعالیت با روش‌های متعددی اصلاح شوند که باعث بازدهی بیشتر در کاربردهای آن‌ها می‌شود. کربن فعال به علت داشتن سطح و تخلخل زیاد نمونه خوبی برای تصفیه تقریباً تمامی آلودگی‌های موجود است. AC ساختار متخلخل و سطح پیچیده‌ای دارد. AC معمولاً ظرفیت جاذب بالایی را برای ترکیبات فنولی دارد و به طور قابل ملاحظه‌ای کم‌هزینه است. به این دلیل، تحقیقات زیادی در این زمینه وجود دارد. به عنوان مثال (Wang et al., 1997) جذب P، 4-NP و 4-CP را گزارش کردند و نشان دادند که گرانول‌های کربن بهتر از نوع پودر شده آن هستند. (Varghese et al., 2004) AC آماده شده از سنبل آبی را برای حذف P، 4-CP و 4-NP به کار بردند. شکل ۱ جذب ترکیبات فنولی را به ازای تغییرات pH نشان می‌دهد. با افزایش pH مقدار جذب افزایش می‌یابد و حداکثر جذب در pH برابر ۶ است که درصد مقدار جذب برای فنول، 4-CP و 4-NP به ترتیب برابر ۹۴/۱٪ و ۹۶/۳٪ و ۹۸/۵٪ را گزارش کردند. (Jung et al., 2001) جذب فنول و کلروفنول‌ها را با چهار نوع AC تجاری به صورت

گرانول بررسی کردند.

چندین ماده که به طور طبیعی ویژگی‌های جاذب را دارند مثل خاک رس، مواد سیلیکاتی، ژئولیت‌ها و بنتونیت‌ها می‌توانند به طور مشابه جاذب‌های کم هزینه‌ای برای حذف آلاینده‌ها از پساب باشند. قابلیت جذب در اینجا به علت بار منفی موجود در ساختار این کانی‌ها است که قابلیت جذب ذرات با بار مثبت را دارد. این مواد همچنین دارای مساحت سطح و خلل و فرج زیادی هستند. استفاده از بنتونیت برای جذب فنول از محلول‌های آبی توسط Banat and Al-Asheh. (1999) گزارش شد. Kaleta et al. (2006) نتایج استفاده از خاک کلاریون و کلینوپتیلولیت اصلاح شده را به عنوان جاذب برای حذف ترکیبات فنولی از آب گزارش کردند. (Mirmohamadsadeghi et al., 2012) تأثیر استفاده جاذب ساخته شده از بنتونیت اصلاح شده با هگزادسیل تری متیل آمونیوم را برای جذب فنول از آب بررسی کردند. اثر استفاده از خاک گرانیت و کائولینیت برای جذب فنول بررسی شد (Taha et al., 2003). Feng et al. (2015) نشان دادند که ذرات ریز سیلیکا اصلاح شده پتانسیل بهتری را برای حذف فنول از پساب دارد. حذف فنول از آب توسط سیلیکاژل، آلومینا فعال شده، AC (Roostaei and Tezel, 2004) و ژئولیت‌ها (Khalid et al., 2004; Su et al., 2005; Damjanović et al., 2010) گزارش شد. ژئولیت‌های اصلاح شده می‌توانند در جذب فنول و 4-CP مفید باشند (Kuleyin, 2007).

### ۳-۱- زیست توده به عنوان جاذب

استفاده از زیست توده برای تصفیه پساب، به دلیل موجود بودن با مقادیر زیاد و هزینه کم در حال افزایش است. تقریباً هر ماده کربن دار ممکن است به عنوان پیش ماده‌ای برای آماده کردن جاذب‌های کربنی استفاده شوند. زغال سنگ به دلیل ارزانی و در دسترس بودن پرکاربردترین پیش ماده برای تولید AC است (Carrasco-Marín et al., 1996). زغال سنگ ترکیبی از مواد کربنی و مواد معدنی است. ویژگی‌های جاذب تحت تأثیر ماهیت اصلی گیاهی و همچنین تغییرات فیزیکی-شیمیایی قرار می‌گیرد (Karaca et al., 2004). حضور گروه‌های عاملی سطحی یک فاکتور مهم است، مخصوصاً برای جذب ترکیبات فنولی که این به دلیل ماهیت شیمیایی برهمکنش بین آن‌ها است. (Wu et al., 2005) جاذب‌های کربنی با اندازه‌های منفذ کنترل شده را از چوب زغال شده صنوبر تهیه و با KOH و بخار آب فعال‌سازی و برای حذف فنول‌ها استفاده کردند. کربن‌هایی که فعال‌سازی آن‌ها توسط بخار با دمای  $900^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۵ و ۷ ساعت انجام شد به ترتیب دارای سطح  $1016\text{ m}^2\text{g}^{-1}$  و  $131\text{ m}^2\text{g}^{-1}$  و حجم منافذ  $0.51\text{ cm}^3\text{g}^{-1}$  بودند. (Teng et al., 1998) سطح اصلاح شده‌ای را با استفاده از اسید فسفریک اشباع شده گزارش کردند که پس از

کربنی شدن در محیط نیتروژنی با دمای ۴۰۰ تا ۶۰۰ °C ، AC از زغال سنگ قهوه‌ای استرالیایی به‌دست آمد.

زیست‌توده مثل مواد زائد و پسماند جامد کشاورزی، برای مثال خاک اره، سبوس برنج و پوست درخت به‌عنوان جاذب استفاده شده‌اند. نقش خاک اره در حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Shukla et al., 2002). (Dutta et al., 2001) تحقیقاتی را در زمینه جذب پارا نیتروفنول با خاک اره سوخته، انجام داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش دما مقدار جذب نیتروفنول کاهش می‌یابد و ماکزیمم مقدار جذب در دمای ۲۹۳ و ۳۱۳ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان ۸۰ دقیقه به‌ترتیب برابر ۸۲٪ و ۶۶٪ است. جذب فنول با استفاده از خاک اره توسط جاذب‌ها بررسی شد (Jadhav and Vanjara, 2004). پتانسیل سبوس برنج و سبوس برنج نیم‌سوز شده را برای حذف ترکیبات فنولی از پساب بررسی شد (Mahvi et al., 2004; Ahmaruzzaman and Sharma, 2005). استفاده از کاه برنج برای جذب فنول توسط سارکر و همکارانش بررسی شد (Sarker and Fakhruddin, 2017). حذف فنول با استفاده از پسماند صنعتی مانند خاکستر بادی توسط Aksu and Yener (1999) بررسی شد و ظرفیت جذب برای خاکستر بادی ۲۷/۹ گرم جاذب بر گرم فنول گزارش شد. کاربرد خاکستر بادی تفاله نیشکر به‌عنوان یک جاذب کم‌هزینه برای حذف فنول و پارا نیتروفنول بررسی شد (Gupta et al., 1998; Mukherjee et al., 2007).

همه مواد مشتق از زیست‌توده که گزارش می‌شوند، در مقادیر زیاد وجود داشته و اهمیت مشخصی برای کشورهای در حال توسعه مثل هند دارند که این اهمیت به‌دلیل کاربرد چنین موادی به‌عنوان جاذب‌ها برای برطرف کردن مشکلات تصفیه پساب هستند. تفاله چای (TW) می‌تواند به‌عنوان جاذب مورد استفاده قرار گیرد (Gokce and Aktas, 2014; Gupta and Balomajumder, 2015). دیواره سلولی غیرمحلول برگ‌های چای عمدتاً از سلولز، همی سلولز، لیگنین، تانین فشرده شده و پروتئین‌های ساختاری تشکیل شده‌اند. به‌دلیل وجود چند گروه عاملی، بیشتر کربوکسیلات، آروماتیک کربوکسیلات و گروه‌های هیدروکسیل فنولی، TW ممکن است برای جذب ترکیبات فنولی از محلول‌های آبی در نظر گرفته شود (Ranade and Bhandari, 2014b).

### ۳-۲- آماده‌سازی و فعال سازی جاذب

فرآیند استاندارد برای آماده‌سازی نمونه‌های خام اصلاح نشده برای استفاده به‌عنوان جاذب‌ها شامل شستشو، از بین بردن رنگ، خشک کردن، پودر کردن و غربال کردن به اندازه‌های مطلوب می‌شود. فعال‌سازی سطح جاذب ضروری است چون ناحیه سطح، نفوذپذیری و تعداد گروه‌های عاملی را که برای افزایش فرآیند

جذب شناخته شده هستند، افزایش می‌دهد. فرآیند فعال‌سازی می‌تواند شامل فعال‌سازی فیزیکی یا شیمیایی باشد. زمان و دمای فعال‌سازی می‌بایست بهینه شود که این با بررسی کردن ویژگی‌های سطح، مثل مساحت سطح جاذب‌های به‌دست آمده از اصلاح مواد خام، در بازه‌های زمانی و دمایی مختلف به‌دست می‌آید.

فعال‌سازی فیزیکی دو شکل دارد: ۱- کربنیزاسیون مواد در یک محیط خنثی؛ ۲- فعال‌سازی ماده کربنی شده در دماهای بالا و در حضور دی اکسید کربن یا بخار (Ahmad et al., 2007). در این روش فعال‌سازی، تراکم و تعداد سوراخ‌های ریز می‌تواند افزایش یابد. با وجود این بازدهی جاذب در این روش فعال‌سازی کم است و این روش برتری کمتری دارد. فعال‌سازی شیمیایی با اشباع عامل‌های شیمیایی و سپس پیرولیز در محیط خنثی با دمای بالا انجام می‌گیرد. فعال‌سازی شیمیایی بر روش فیزیکی ترجیح داده می‌شود که به‌دلیل دمای نسبتاً کم ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین بازدهی در این روش بیشتر است.

عوامل فعال کننده مثل  $\text{NaOH}$ ،  $\text{H}_2\text{O}_2$ ،  $\text{KOH}$ ،  $\text{ZnCl}_2$ ،  $\text{MnO}_2$ ،  $\text{H}_3\text{PO}_4$  می‌توانند اصلاح و عملکرد جاذب‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهند. فسفریک اسید عامل فعال‌کننده مؤثری برای مواد لیگنو سلولزی است. این ماده جاذب‌هایی را با مساحت سطح بالا تولید می‌کند (Patnukao and Pavasant, 2008). فعال‌سازی با فسفریک اسید برای انواع گوناگونی از مواد اولیه سلولزی مثل پوست نارگیل به‌کار گرفته شده است. (Sarker and Fakhruddin, 2017) برای ساخت جاذب ابتدا کاه برنج را شستند و سپس به ذرات ریز تقسیم کردند و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک کردند. سپس آن را خرد کردند و ذرات با اندازه کمتر از یک میلی‌متر به‌دست آمد. آن‌ها از هردو روش فیزیکی و شیمیایی برای فعال کردن جاذب استفاده کردند. در روش فیزیکی ذرات ریز کاه در آب مقطر به مدت ۲ ساعت جوشانده شد و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. در روش شیمیایی ذرات در یک آون به مدت سه ساعت در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از ۳ ساعت ذرات تبدیل به خاکستر شدند و سپس با غربال کردن ذرات با اندازه‌های معین جدا شدند. (Karunarathne and Amarasinghe, 2013) برای به‌دست آوردن جاذب ابتدا تفاله نیشکر را شسته و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس نمونه در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱ ساعت قرار گرفت و کربن فعال به‌دست آمد. اندازه ذرات کربن فعال برای انجام آزمایش بین ۱ تا ۲ میلی‌متر بود.

جاذب‌های به‌دست آمده از TW با حذف کردن تانین‌های قابل هیدرولیز و دیگر حلال‌ها و مواد رنگی از TW به‌دست می‌آید و

این با شستن با آب گرم (۸۰ درجه سانتی گراد) به مدت ۶ ساعت تا زمانی که محلول بی رنگ شده TW در دمای اتاق مشاهده شود، انجام می شود و TW تمیز و فاقد رنگ در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک می شود. ماده جدید دیگر پوست تخم مرغ پسته های تخم مرغ جمع آوری شده و به مدت ۲ ساعت در آون خشک می شوند. پس از شستشو مناسب و با اسید فسفریک در نسبت ۱:۱ در دمای ۳۷۳ کلون به مدت ۲ ساعت اصلاح شد، سپس در دمای ۷۷۳ کلون به مدت ۲ ساعت در کوره گرما داده می شود. پس از آن با آب مقطر شستشو می شوند تا اسیدهای آزادی که ممکن است در سطح جاذب وجود داشته باشند از بین روند و این شستشو تا زمانی که pH به نزدیک ۷ برسد، ادامه می یابد. محصول نهایی، به مدت ۱۲ ساعت و در دمای ۳۷۳ کلون در آون قرار می گیرد تا رطوبت اضافی به دام افتاده در حفره های جاذب حذف شود (Ranade and Bhandari, 2014b).

استفاده از ترکیب اکسیدهای فلزی به عنوان کاتالیزست سال ها است که شناخته شده است. اکسید ترکیب دوتایی آهن و آلومینیوم به عنوان جاذب برای حذف ترکیبات فنولی گزارش شد (Ranade and Bhandari, 2014b). هیدروکسید ترکیبی ابتدا با روش رسوب آماده شد. مقادیر مولی مساوی از  $FeCl_3$ ،  $AlCl_3$  با محلول  $0.1 \text{ mol}^{-1}$  اسید HCl مخلوط شدند و در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. از محلول آمونیاک به عنوان عامل رسوب کننده استفاده شد و قطره قطره به محلول اضافه شد تا pH محلول حدود ۷ شد. محلول به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت و محلول مادر جدا شد. به منظور حذف یون های کلرید، ذرات جامد مکرراً با آب مقطر شسته شد و برای خشک کردن به مدت ۲ روز در برابر هوای گرم با دمای ۶۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. محصول متناظر با حرارت دادن در سه دمای مختلف ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد به دست آمد (Ranade and Bhandari, 2014b).

### ۳-۳- تجزیه و تحلیل جاذب ها

تجزیه و تحلیل جاذب، مرحله اصلی در تحقیقات جذب است. تجزیه و تحلیل سطح BET، تحقیقات SEM، FTIR، XRD برخی از آنالیزهایی هستند که برای مشخص کردن ویژگی های جاذب مورد استفاده قرار می گیرند.

### ۴-۳- مکانیسم جذب سطحی

درک مکانیسم جذب بسیار مفید است، چون تصفیه پساب را از لحاظ جذبی بهینه می سازد. در جاذب هایی که براساس کربن پایه گذاری شده اند گروه های کربوکسیل در گرفتن فنول طی مکانیسم پیچیده دهنده - گیرنده نقش دارند (Mattson et al., 1970). تحقیقات زیادی انجام گرفته تا مکانیسم های جذب

ترکیبات فنولی روشن شود و پیشنهاد می شود که اکسیژن های کربونیل کربن سطحی به عنوان دهنده الکترون و حلقه آروماتیک محلول به عنوان پذیرنده الکترون عمل می کنند. با وجود این مکانیسم واقعی در جذب با AC پیچیده و مشکل است. (Terzyk, 2003) می گوید دو عامل باعث برگشتناپذیری می شود: ایجاد کمپلکس های قوی بین کربونیل سطحی و فنول و لاکتون ها علاوه بر پلیمراسیون. از این رو مکانیسم جذب سطحی فنول نه تنها توسط برهم کنش  $\pi-\pi$  و تشکیل کمپلکس گیرنده - دهنده  $\pi$  تعیین می شود، بلکه هم چنین توسط «اثر حلال» (که به شدت وابسته به دما است) تعیین می شود (Ranade and Bhandari, 2014b). برهم کنش بین جاذب و جذب شونده تابع پراکندگی، برهم کنش الکترواستاتیکی و پیوندهای شیمیایی است.

### ۴- نتایج به دست آمده از جذب

مطالعاتی برای حذف فنول به وسیله کربن فعال به دست آمده از تفاله نیشکر در برج جذب بستر ثابت توسط (Karunarathne and Amarasinghe, 2013) انجام شد. آن ها از یک ستون شیشه ای با قطر ۳ و طول ۵۵ سانتی متر استفاده کردند. آن ها پارامترهای متفاوتی مثل غلظت اولیه محلول، دبی، مقدار جاذب و اندازه ذرات جاذب را بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که با افزایش مقدار جاذب، ظرفیت بستر افزایش می یابد و درصد طول استفاده نشده از برج نیز کاهش می یابد.

Zhang et al. (2015) از ساقه گل آفتاب گردان برای تهیه کربن فعال استفاده کردند. جاذب به دست آمده دارای سطح مخصوص ۳۱۱/۷۹ مترمربع به ازای هر گرم جاذب بود و قطر حفره های ایجاد شده کمتر از ۲ نانومتر بود. آن ها از این جاذب برای جذب فنول، ۴-کلروفنول و پارا نیتروفنول استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که مقدار جذب برای فنول، ۴-کلروفنول و پارا نیتروفنول به ترتیب ۳۱۶/۵، ۳۳۰/۲۴ و ۳۸۷/۶۲ بود و داده های ایزوترم بیشتر با مدل لانگمویر تطابق داشت.

Gayatri and Ahmaruzzaman (2010) روش جذب برای حذف ترکیبات فنولی از پساب با استفاده از جاذب های کم هزینه را بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که جذب فنول در برج پر شده روش مناسبی برای حذف فنول است. بررسی ها برای حذف فنول و سرب از پساب به وسیله جذب بر روی گرانول های کربن فعال در یک برج بستر ثابت توسط Sulaymon et al. (2012) انجام شد. یک مدل ترکیبی که شامل مقاومت انتقال جرم داخلی و خارجی، ضریب پراکندگی شعاعی و غیرخطی بودن همدمایی ترکیبات می شود، برای پیش بینی کردن منحنی نفوذ بستر ثابت این سیستم دوتایی استفاده شد. نتایج آن ها نشان داد که این مدل برای توصیف کردن فرآیند جذب در حالت دینامیکی در

آن‌ها نشان داد که رزین‌های پلیمری در مقابل کربن فعال حساسیت بیشتری به دما دارند. Giraldo and Moreno-Piraján, (2014) از کربن فعال به‌دست آمده از پوسته تخم مرغ را به‌عنوان جاذب برای جذب فنول از پساب استفاده کردند. فرآیند جذب به‌صورت ناپیوسته انجام شد. مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم از جاذب در ۵۰ میلی‌لیتر از محلول شامل فنول قرارگرفت. غلظت فنول از ۴۵ تا ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود و pH محلول در ۵/۷ تنظیم شد. محلول به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفت تا به تعادل برسد. حداکثر مقدار جذب برابر ۱۹۲ میلی‌گرم فنول به ازای گرم جاذب بود.

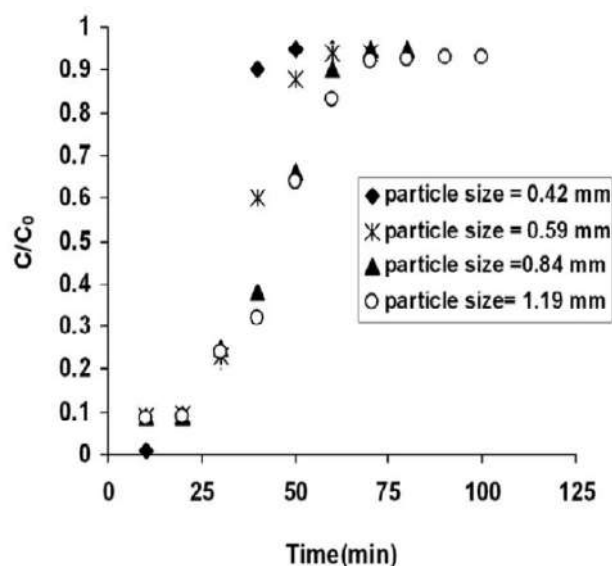
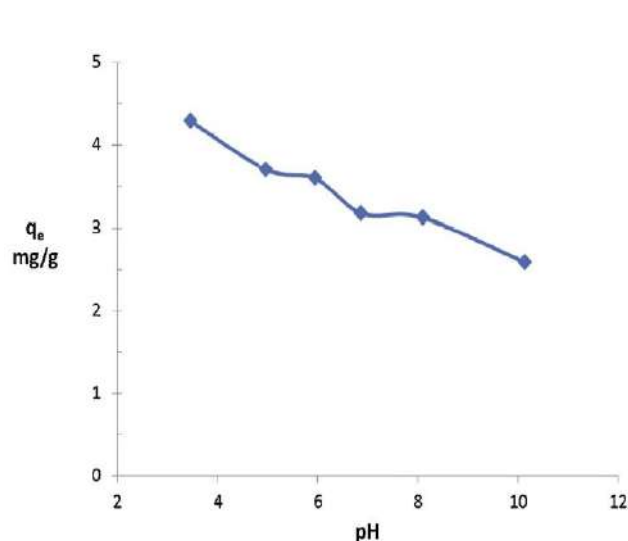
Akhlaghian et al. (2014) از نانوذرات آلومینوسیلیکات به‌عنوان جاذب برای حذف ترکیبات فنول از آب در یک سیستم ناپیوسته استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل لانگمویر تطابق بیشتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد و افزایش غلظت سیلیکا در آلومینوسیلیکات مقدار جذب فنول را افزایش می‌دهد. Kulkarni et al. (2013) کربن فعال را از پوسته نارگیل به‌دست آوردند و از آن برای جذب فنول در یک برج بستر شناور استفاده کردند. تأثیر پارامترهایی مثل غلظت، دبی و اندازه ذرات جاذب بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش غلظت درصد اشباع شونده‌گی جاذب افزایش می‌یابد. همچنین درصد اشباع شکل ۱ نسب جذب را برحسب زمان را به ازای اندازه‌های متفاوت جاذب نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است با افزایش زمان نسبت  $(C/C_0)$  افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش اندازه ذرات زمان لازم برای تماس کاهش می‌یابد. ذرات با اندازه ۰/۴۲ میلی‌متر عملکرد بهتری نسبت به سایر ذرات دارند چون کمترین زمان را برای رسیدن به حداکثر مقدار جذب دارند.

ستونی از جاذب‌های کربن فعال شده مناسب است. جذب فنول از محلول آبی با استفاده از ژئولیت طبیعی در یک برج بستر ثابت توسط Ebrahim (2013) بررسی شد. آن‌ها آزمایش‌هایی را بر روی تأثیر غلظت ورودی، دبی، عمق بستر و دما بر عملکرد بستر بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده وجود دارد.

کربن فعال به‌دست آمده از پوست موز برای حذف ترکیبات فنولی توسط Ingole et al. (2017) استفاده شد. تأثیرات مقدار دوز جاذب، pH اولیه، زمان تماس غلظت فنول اولیه و دما بر روی فرآیند جذب بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که درصد حذف فنول با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر حدود ۸۳ درصد و با غلظت اولیه ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حدود ۶۰ درصد است. pH و زمان تماس بهینه به ترتیب ۶ و ۶۰ دقیقه به‌دست آمد و داده‌های تعادلی جذب با مدل ردلیچ - پترسون تطابق بهتری داشت.

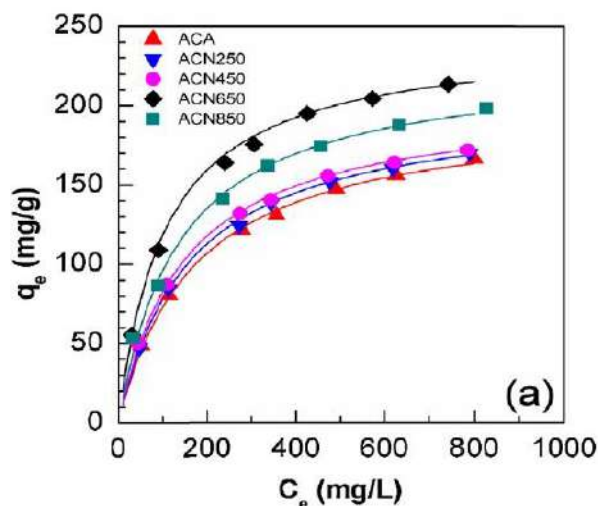
Balarak et al. (2015) تأثیر استفاده از کاه برنج به‌عنوان پسماند کشاورزی را در جذب فنول از محلول‌های آبی بررسی کردند. تأثیر پارامترهای مختلف مثل زمان، pH، غلظت اولیه فنول و دوز جاذب بر عملکرد جاذب بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش زمان تماس و دوز جاذب میزان جذب فنول افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش غلظت اولیه فنول، میزان حذف افزایش یافت و بهترین pH برای جذب برابر با ۳ بود.

مروری بر استفاده از برج بستر ثابت برای حذف فنول از محلول‌های آبی توسط سونیل ارائه شد (Kulkarni and Kaware, 2014). نتایج آن‌ها نشان داد که برج بستر ثابت از لحاظ بازدهی و زمان مناسب است. Otero et al. (2005) از رزین‌های پلیمری و کربن فعال برای حذف فنول از پساب استفاده کردند. آزمایش‌ها در سه دمای ۲۹۳، ۳۱۰ و ۳۳۳ درجه کلون انجام شد. نتایج



شکل ۱- تغییرات نسبت جذب ترکیبات فنولی برحسب زمان به‌ازای اندازه‌های متفاوت جاذب (راست) و تغییرات مقدار جذب برحسب pH (چپ) (Otero et al., 2005)





شکل ۲- تأثیر استفاده از جاذب آمین دار شده در دماهای مختلف بر روی فرآیند جذب فنول (Godini et al., 2015)

El-Naas et al. (2010) کربن فعال به دست آمده از هسته خرما را برای جذب فنول از پساب پالایشگاه بررسی کردند. Abdelkreem (2013) از پسماند درخت زیتون به عنوان جاذب برای حذف فنول از پساب استفاده کرد. فرآیند جذب با هر دو سیستم پیوسته و ناپیوسته بررسی شد.

Feng et al. (2015) از تفاله یک گیاه آبری بنام تیغیا برای حذف ترکیبات فنولی استفاده کردند. از یک سیستم ناپیوسته برای بررسی تأثیرات غلظت اولیه فنول، مقدار جاذب، مقدار pH و دما استفاده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که pH بهینه برای فرآیند جذب حدود ۵ و دوز جاذب بهینه برابر ۱۴/۳۰ گرم بر لیتر است و داده‌های آزمایشگاهی ایزوترم با مدل فروندلینچ تطابق بهتری دارد.

Abdel-Ghani et al. (2015) اثر استفاده از کربن نانوتیوب به عنوان جاذب را برای جذب فنول و نیکل از پساب بررسی کردند. بیشترین مقدار جذب برای فنول و نیکل به ترتیب ۳۲/۲۳ و ۶/۰۹ میلی گرم بر گرم جاذب بود. Gupta et al. (2011) از کربن فعال به دست آمده از پسماند لاستیک تایر برای جذب فنول استفاده کردند. Tang et al. (2015) از جاذب به دست آمده از خاکستر زغال سنگ برای حذف فنول از آب استفاده کردند. شکل ۳ تأثیر مقدار جاذب استفاده شده را بر روی جذب فنول به ازای غلظت‌های فنول ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش مقدار جاذب مقدار جذب افزایش می‌یابد. برای محلول با غلظت فنول ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر، مقدار جاذب ۲۵ گرم بر لیتر یک مقدار بهینه است و استفاده از مقدار جاذب بیشتر از آن تأثیر چندانی بر فرآیند جذب ندارد که علت آن، برقراری تعادل بین فنول موجود در پساب و جاذب است.

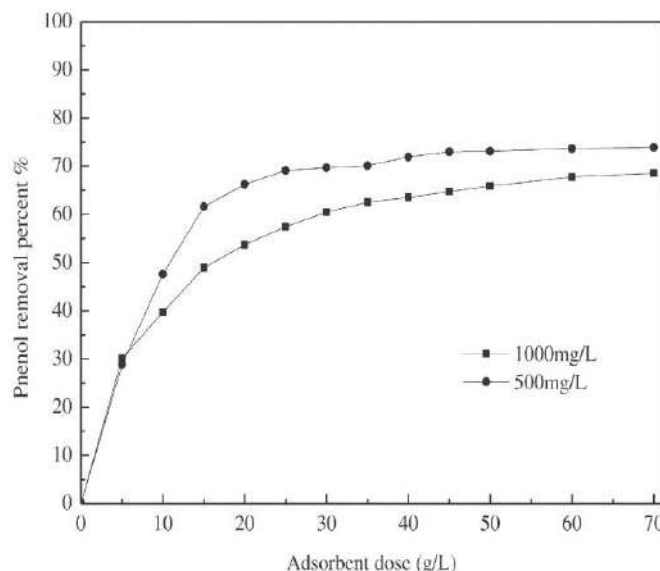
حذف پاراکلروفنول از محلول‌های آبی با استفاده از پوست بلوط اصلاح شده با اسید سولفوریک توسط (Godini et al. 2015) بررسی شد. مدل‌های ایزوترمی لانگمویر، فروندلیچ و سینتیک درجه اول و دوم کاذب برای بررسی تطابق داده‌های آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که کارایی حذف پاراکلروفنول با افزایش زمان تماس و دوز جاذب ارتباط مستقیم و با افزایش pH و غلظت اولیه پاراکلروفنول رابطه معکوس دارد.

Zhang et al. (2014) از زئولیت برای جذب ۲، ۴، ۶-تری کلروفنول (TCP) در پساب استفاده کردند. فرآیند جذب در دمای ثابت و سینتیک واکنش مورد بررسی قرار گرفت و غلظت فنول از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر متغیر بود. نتایج آن‌ها نشان داد که جاذب‌ها کارایی مناسبی برای جذب ترکیبات فنولی داشتند و مدل‌های فروندلیچ و سینتیک درجه دو کاذب برای پیش‌بینی داده‌های آزمایشگاهی استفاده شدند.

Girish and Murty (2015) از تفاله یک گیاه استوایی بنام لانتانا کامرا برای حذف ترکیبات فنولی در یک برج پر شده استفاده کردند. تأثیر ارتفاع برج، غلظت اولیه فنول و دبی‌های مختلف بر روی فرآیند جذب بررسی شد. بیشترین ظرفیت جذب برابر ۱۴۹/۷۷ به دست آمد و نتایج آن‌ها نشان داد که این گیاه پتانسیل مناسبی برای حذف ترکیبات فنولی دارد.

تأثیر pH نیز بررسی شد و از آن برای احیای جاذب‌ها استفاده شد. شکل ۱ تأثیر pH را بر روی جذب (TCP) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش pH مقدار جذب کاهش می‌یابد، اثر مشابهی نیز برای جذب (TCP) با کربن فعال شده (Hameed et al., 2008; Tan et al., 2009) و خاک رس فعال شده (Hameed, 2007) مشاهده شد.

تأثیر استفاده از کربن فعال آمین دار برای جذب فنول از پساب توسط Yang et al. (2014) استفاده شد. آن‌ها ابتدا کربن فعال را با کلریک اسید یک مولار شستند تا یون‌های فلزی از آن جدا شود. سپس با آب مقطر شسته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. برای آمین‌دار کردن کربن فعال، این ماده را به مدت ۲ ساعت در کوره و برای بررسی تأثیر دما بر فرآیند، کوره را در دماهای مختلف ۲۵۰، ۴۵۰، ۶۵۰ و ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دادند. گازهای نیتروژن و آمونیاک به سیستم اضافه شد. در نهایت کربن فعال آمین دار (ACN) به دست آمد. شکل ۲ تأثیر استفاده از جاذب‌ها را که در دماهای مختلف به دست آمده برای جذب فنول نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است کربن فعال آمین دار شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار جذب فنول را دارد. بنابراین، آمین‌دار کردن کربن فعال در این دما یک دمای بهینه برای مقدار جذب است.



شکل ۳- تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب فنول (Tang et al., 2015)

جذب فنول به وسیله مصرف سریع جذب شونده در اولین ساعت جذب معلوم شد و ظرفیت جذب در همه جاذب‌های مطالعه شده درجه  $P < 4-CP < 4-NP$  را نشان می‌دهد.

#### ۴-۱- ترمودینامیک فرآیند جذب و بررسی سینتیک و ایزوترم جذب

معیار دیگری که در توصیف فرآیند جذب اهمیت ویژه‌ای دارد، تعیین پارامترهای ترمودینامیکی جذب است. پارامترهای ترمودینامیکی مانند تغییرات آنتالپی ( $\Delta H^\circ$ )، تغییرات آنترپی ( $\Delta S^\circ$ ) و تغییرات انرژی آزاد گیبس ( $\Delta G^\circ$ ) با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) به دست می‌آید (Nandi et al., 2009). به این صورت که از رسم تغییرات  $\ln K_1$  بر حسب  $1/T$  و محاسبه شیب و عرض از مبدأ خط به ترتیب  $\Delta H^\circ$  و  $\Delta S^\circ$  به دست می‌آیند.

$$\ln K_1 = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (1)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (2)$$

مقدار  $\Delta H^\circ$  اگر مثبت باشد نشان‌دهنده این مطلب است که جذب گرماگیر است و با افزایش دما میزان جذب افزایش می‌یابد. در غیر این صورت یعنی  $\Delta H^\circ$  منفی، جذب گرمازا است.  $\Delta S^\circ$  در این فرآیند مثبت است که بیانگر افزایش بی‌نظمی فرآیند جذب بوده و همچنین ایجاد کمی تغییرات ساختاری در جاذب و جذب‌شونده و در نتیجه برگشت‌ناپذیر بودن عمل جذب است (Pimentel et al., 2008). منفی شدن انرژی آزاد گیبس در دماهای بالا نشان‌دهنده خودبه‌خودی شدن فرآیند جذب و همچنین نشان‌دهنده ظرفیت بالای جذب در دماهای بالا است. با توجه به نتایج جدول ۱ مشاهده می‌شود که برای همه آلاینده‌ها فرآیند جذب خودبه‌خودی است. اما در مورد  $\Delta H^\circ$  روند خاصی وجود

کربن فعال به دست آمده از تفاله پوست فندق برای حذف ترکیبات فنولی در برج پرشده توسط Kumar and Jena (2016) استفاده شد. کربن فعال به دست آمده دارای مساحت سطح بالاتر و تخلخل بیشتر بود. بیشترین مقدار حذف در pH حدود ۷ اتفاق افتاد که حدود ۹۹/۱۹ درصد فنول حذف شد. داده‌های ایزوترم با مدل لانگمویر تطابق بهتری داشت و همچنین مقدار جذب با افزایش طول بستر افزایش یافت.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که جاذب‌های فعال شده با مساحت سطح و نفوذپذیری بالا مقدار بیشتری از فنول‌ها را جذب می‌کنند، در حالی که جاذب‌های فعال نشده مساحت سطح پایین دارند و مقدار جذب پایینی دارند. در کل ظرفیت جذب به این صورت است:  $4-NP > 4-CP > P$ . فاکتور حلالیت نیز برای توضیح دادن این نتایج بررسی شد. حلالیت ترکیبات فنولی در آب به این صورت است:  $P > 4-CP > 4-NP$ . یک مقایسه بین جذب و حلالیت نشان می‌دهد که رابطه عکسی بین این دو وجود دارد، فنول‌های با میل ترکیبی کمتر با آب تمایل بیشتری دارند که در سطح مشترک جامد-مایع جذب شوند.

جذب ۴-نیتروفنول، ۴-CP و فنول روی جاذب‌های مختلف فعال و غیرفعال اختلاف عملکرد معنی‌داری را نشان داد و مکانیسم انتقال برای جاذب‌های مختلف تفاوت فراوانی داشت. جاذب‌های فعال برای حذف ۴-CP، ۴-NP و فنول کارآمد بودند و ظرفیت جاذب‌ها بعد از فعال‌سازی شیمیایی به صورت زیادی افزایش یافت، در حالی که ظرفیت متوسطی برای شکل‌های فعال شده با حرارت یا شکل‌های نیم‌سوخته مشاهده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که جاذب‌های فعال شده برای تصفیه پساب به احتمال زیاد مناسب بوده و به نیازهای سیستم وابسته هستند. لازم به ذکر است که جاذب‌های تصفیه نشده تقریباً ایزوترم‌های یکسانی برای سیستم سه فنولی دارند و کارایی ANL ATW برای

ندارد ولی با مقایسه داده‌ها با همدیگر می‌توان نتیجه گرفت که نتایج آزمایش‌ها  $\Delta H^\circ$  فرآیند جذب را برای آلاینده‌های گزارش

شده بیشتر گرمازا گزارش کرده‌اند.

جدول ۱- مقایسه نتایج بدست آمده برای جاذب‌های مختلف در جذب 4-CP و 4-NP, P (Ranade and Bhandari, 2014b)

| ویژگی های<br>ترمودینامیکی                                         | ظرفیت جذب<br>(mg. g <sup>-1</sup> ) | ایزوترم جذب                            | سینتیک جذب                                      | سیستم                                                           | جاذب                                                            |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| گرمازا و خودبه‌خودی<br>گرمازا و خودبه‌خودی<br>گرمازا و خودبه‌خودی | ۵۴۹/۰۱<br>۲۱۹/۸۱<br>۶۹/۷            | Freundlich<br>Freundlich<br>Freundlich | pseudo-second<br>pseudo-second<br>pseudo-second | ۴-نیتروفنول<br>۴- کلروفنول<br>فنول                              | برگ درخت نیم‌فعال شده (ANL)<br>(Ahmaruzzaman and Gayatri, 2011) |
| گرمازا<br>گرمازا<br>گرماگیر                                       | ۱۴۲/۸۵<br>۳۵/۵۳<br>۴۴/۹۱            | Langmuir<br>-<br>-                     | pseudo-second<br>-<br>-                         | ۴-نیتروفنول<br>(Ahmaruzzaman and Gayatri, 2010a)<br>۴- کلروفنول | پسماند چای فعال شده (ATW)                                       |
| -                                                                 | ۵/۸۰                                | Langmuir                               | pseudo-second                                   | فنول                                                            | پسماند چای<br>(Girish et al., 2017)                             |
| گرمازا<br>گرمازا<br>گرمازا                                        | ۹۳/۳۸<br>۳۱/۹۱<br>۲۷/۴۸             | -<br>-<br>-                            | -<br>-<br>-                                     | ۴-نیتروفنول<br>۴- کلروفنول                                      | پوست تخم مرغ فعال شده (AES)                                     |
| گرماگیر و<br>خودبه‌خودی<br>گرمازا<br>گرماگیر                      | ۳۹/۳۸<br>۳۱/۹۱<br>۲۷/۴۸             | Langmuir<br>-<br>-                     | pseudo-second<br>-<br>-                         | ۴-نیتروفنول<br>Ahmaruzzaman and Gayatri, 2010c)<br>۴- کلروفنول  | الیاف چوبی سوخته با اسید فعال شده<br>(AAJSC)                    |
| گرمازا<br>گرمازا<br>گرمازا                                        | ۳۱/۹۶<br>۲۳/۸۲<br>۲۲/۸۲             | -<br>-<br>-                            | -<br>-<br>-                                     | ۴-نیتروفنول<br>۴- کلروفنول                                      | پوست سیب‌زمینی فعال شده (APPSC)                                 |
| گرماگیر و<br>خودبه‌خودی                                           | ۱۰۶/۳۶                              | Freundlich                             | pseudo-second                                   | ۴-نیتروفنول                                                     | پوست سیب‌زمینی (Gayatri and Ahmaruzzaman, 2014)                 |
| گرمازا و خودبه‌خودی<br>گرمازا<br>گرمازا                           | ۴۰/۶۲<br>۲۴/۰۶<br>۲۲/۹۳             | Freundlich                             | pseudo-second                                   | ۴-نیتروفنول<br>(Ahmaruzzaman and Gayatri, 2010b)<br>۴- کلروفنول | الیاف چوبی سوخته (JSC)                                          |
| گرمازا<br>گرمازا<br>گرماگیر                                       | ۲۷/۴۸<br>۲۰/۶۶<br>۱۶/۹۹             | Freundlich                             | pseudo-second                                   | ۴-نیتروفنول<br>(Gayatri and Ahmaruzzaman, 2014)<br>۴- کلروفنول  | پوست سیب زمینی (PPC)                                            |
| گرماگیر                                                           | ۲۰۱                                 | Langmuir                               | pseudo-second                                   | فنول                                                            | پوسته برنج فعال شده با KOH (ARH)<br>(Fu et al., 2019)           |
| -                                                                 | ۷۶/۶۹                               | Freundlich                             | pseudo-second                                   | ۴- کلروفنول                                                     | کربن فعال شده نانو از ذغال بامبو<br>(Chen et al., 2017)         |
| -                                                                 | ۲۷۷/۷<br>۱۴۴/۹                      | Freundlich<br>Langmuir                 | pseudo-second<br>pseudo-second                  | ۴- کلروفنول                                                     | کربن فعال تهیه شده از Jackfruit<br>(Jain and Jayaram, 2007)     |
| -                                                                 | ۴/۸۷                                | Langmuir                               | pseudo-second                                   | فنول                                                            | گیاه سورگوم<br>(Balarak et al., 2016)                           |
| -                                                                 | ۴/۱۱                                | Langmuir                               | pseudo-second                                   | فنول                                                            | کلزا<br>Balarak et al., 2016                                    |

جذب یک فرآیند چند مرحله‌ای شامل انتقال مولکول‌های جذب شونده از فاز محلول به سطح جاذب و سپس نفوذ ذرات حل شونده به منافذ درونی است. از مدل‌های سینتیکی مختلف تجربی برای بررسی سرعت فرآیند جذب و پتانسیل مرحله تعیین

کننده سرعت استفاده شده است. برای بررسی سرعت جذب و محاسبه ثابت‌های مربوطه از مدل‌های سینتیکی درجه اول و درجه دوم استفاده شده است. از روی ضریب هم‌بستگی و نزدیکی مقادیر  $q_e$  تجربی و تئوری در منحنی‌های سینتیکی درجه اول و دوم میزان تبعیت فرآیند جذب از هرکدام از معادلات را می‌توان

پیش‌بینی کرد. جدول ۱ اطلاعات مربوط به جذب ترکیبات مختلف فنول را (4-NP و 4-CP و P) نشان می‌دهد. ظرفیت جذب نسبتاً خوب برای مواد جاذب تهیه شده به‌دست آمد. نتایج جدول ۱ داده‌های سینتیک برای مطالعات موردی آمده است که از مدل شبه درجه‌ی دوم به‌طور مطلوب‌تری تبعیت می‌کند.

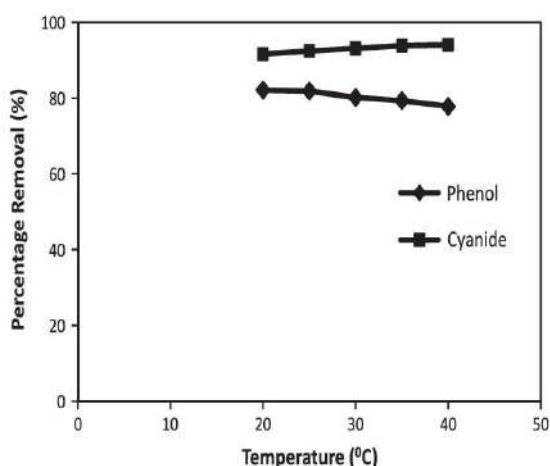
ایزوترم‌های جذب، خواص جذبی و داده‌های تعادلی هستند که به توصیف چگونگی واکنش آلاینده‌ها با مواد جاذب می‌پردازند و در بهینه‌سازی مصرف جاذب نقش اساسی دارند. ایجاد ارتباط مناسب برای منحنی تعادل و بهینه نمودن طراحی یک سیستم جذب سطحی برای حذف آلاینده بسیار مهم است. مدل‌های ایزوترم، نتایج آزمایشی را در قالب فرمول‌های کاربردی با پارامترهای مفید در می‌آورد، به‌طوری‌که در طراحی‌ها به‌راحتی قابل استفاده باشند. به‌عبارت دیگر، ایزوترم جذب نموداری از میزان جذب ( $q_e$ ) و غلظت تعادلی فلز ( $C_e$ ) است. برای بررسی رفتار جاذب در حذف آلاینده و ترسیم ایزوترم‌های جذب از داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده استفاده می‌شود. ایزوترم‌های مورد نظر در این تحقیق شامل ایزوترم لانگمویر<sup>۵</sup>، ایزوترم فروندلیچ<sup>۶</sup> و ایزوترم تمکین<sup>۷</sup> هستند.

آزمایش‌های لازم به‌منظور بررسی ایزوترم‌های جذب با ایجاد شرایط پایه pH، میزان جاذب و زمان تماس بهینه در غلظت‌های اولیه متفاوت از کادمیوم صورت گرفت. نتایج حاصل از ایزوترم‌های مدل لانگمویر، فروندلیچ و تمکین در جدول ۱ برای جاذب‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد جذب ۴-نیتروفنول بر روی اکثر جاذب‌ها از مدل ایزوترم فروندلیچ پیروی می‌کند. در مورد فنول بیشتر از مدل لانگمویر پیروی می‌کند. با توجه به نتایج جدول ۱ نتایج ایزوترم جذب برای ۴-کلروفنول به خوبی نشان می‌دهد که مدل فروندلیچ به خوبی نتایج آزمایشگاهی را پیش‌بینی می‌کند.

#### ۴-۲- استفاده از جاذب‌ها برای حذف ترکیبی از آلوده کننده‌ها

مطالعات کمی در مورد جذب چندین آلاینده به‌صورت هم‌زمان وجود دارد. بعضی از مطالعات که در این زمینه صورت گرفته شامل حذف ترکیبی از فلزات (Srivastava et al., 2008)، فلزات با فنول‌ها (Quintelas et al., 2006) و ترکیبی از مواد آلی (Yang et al., 2008) می‌شود. ترکیب دوتایی از نیتروبنزن و فنول، فنول و آنیلین با گرانول‌های کربن فعال توسط (Jadhav and Srivastava, 2013)، جذب فنول و آنیلین با کربن فعال و رزین پلیمری (Valderrama et al., 2010)، جذب فنول و پاراستامول (Rad et al., 2015)، بررسی شد. تأثیر استفاده از گرانول‌های کربن فعال برای جذب محلول دوتایی سیانید و فنول توسط (Agarwal et al., 2013) بررسی شد. شکل ۴ تأثیر دما را

بر این فرآیند جذب نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش دما مقدار جذب سیانید افزایش می‌یابد که این می‌تواند به‌دلیل افزایش مکان‌های جذب فعال به‌دلیل شکستن بعضی از پیوندهای داخلی نزدیک دیواره سطح در جاذب باشد. همچنین افزایش دما موجب کاهش ویسکوزیته و این باعث افزایش نرخ نفوذ جذب شونده به داخل حفره‌ها می‌شود (Sulaymon et al., 2013). از طرف دیگر با افزایش دما مقدار جذب فنول کاهش می‌یابد که این می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش دما نیروهای ضعیفی که بین مکان‌های فعال جاذب با جذب شونده، علاوه بر بین مولکول‌های مجاور جذب شونده وجود دارد، شکسته شود (Saltah et al., 2007).



شکل ۴- تأثیر دما بر فرآیند جذب در سیستم دوتایی فنول- سیانید (Sulaymon et al., 2013)

Ahmaruzzaman and Gayatri. (2011) ترکیبی دوتایی از ۴-نیتروفنول و ۴-کلروفنول، فنول و ۴-نیتروفنول و فنول با ۴-کلروفنول را بررسی کرد. محلول ساخته شده دارای غلظت‌های مساوی از مواد بود. نتایج آن‌ها نشان داد که ظرفیت جذب ۴-نیتروفنول و ۴-کلروفنول در سیستم دوتایی کمتر از حالت منفرد است، که این می‌تواند به‌دلیل رقابت بین مولکول‌های محلول برای جذب بر روی سطح باشد. ماکزیمم مقدار جذب برای ۴-نیتروفنول و ۴-کلروفنول در سیستم جداگانه به‌ترتیب حدود ۵۴۹ و ۲۱۹/۸ میلی گرم بر لیتر و در حالت مرکب به‌ترتیب ۱۵۶/۵ و ۱۴۸/۴ میلی گرم بر لیتر است. نتایج آن‌ها برای ترکیب دوتایی فنول و ۴-نیتروفنول نشان داد که مقدار جذب فنول افزایش پیدا می‌کند که از ۶۹/۷ به ۹۶/۱۱ میلی گرم بر لیتر می‌رسد. اما از طرف دیگر مقدار جذب ۴-نیترو فنول در سیستم دوتایی نسبت به حالت منفرد کاهش می‌یابد. حضور فنول تأثیر منفی بر روی جذب ۴-نیتروفنول دارد.

کربن فعال به‌دست آمده از سیوس برنج برای حذف ترکیب دوتایی فنول و رزورسیون توسط (Thakur et al., 2014) استفاده شد. آن‌ها تأثیر پارامترهای مخاف از جمله غلظت اولیه فنول و

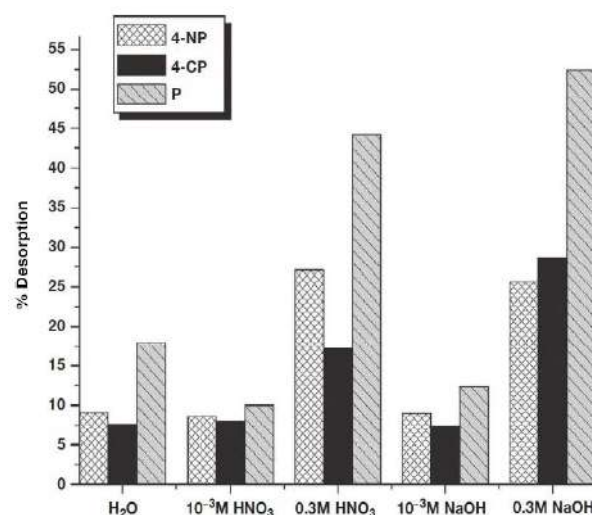
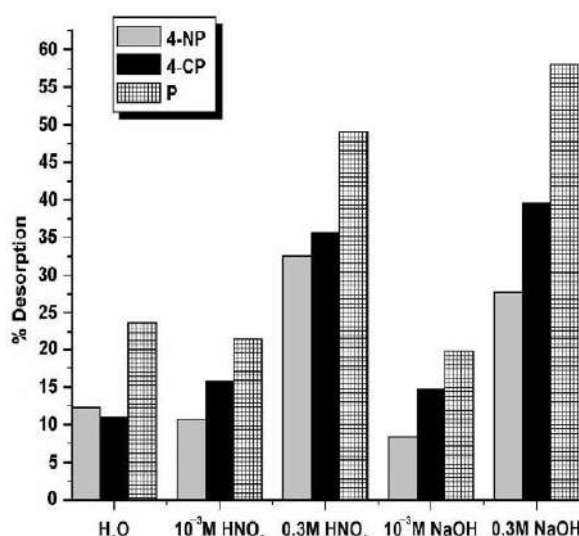


رزورسیون که از ۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر متفاوت بود را بررسی کردند. معادلات فروندلیچ، لانگمویر و ردلیچ - پترسون برای سیستم تکی تطابق بهتری داشت، اما برای ترکیب دوتایی مدل لانگمویر تطابق بهتری را نشان داد. نتایج آن‌ها نشان داد که حضور هر کدام از این دو ماده تأثیر منفی در فرآیند جذب دیگری دارد.

#### ۳-۴- بررسی واجذبی

بررسی‌ها در زمینه واجذبی و احیا در جذب سطحی بسیار حائز اهمیت است. واجذبی ممکن است یا به وسیله عملیات گرمایی یا از طریق عامل‌های واجذبی مناسب صورت گیرد. بیشتر گروه‌های با قدرت اسیدی مثل کربوکسیل‌ها و لاکتون می‌توانند

به‌عنوان CO<sub>2</sub> در دمای ۲۰۰-۶۵۰ درجه سانتی‌گراد واجذب شوند، در حالی که گروه‌های اسیدی (فنول و کربونیل) و بازی ضعیف‌تر به‌عنوان CO یا ترکیبی از CO<sub>2</sub> و CO در دمای ۵۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد واجذب می‌شوند. شکل ۶ واجذبی را برای فنول، NP-۴ و CP-۴ از جاذب‌های تفال‌ه چای و پوست تخم مرغ نشان می‌دهد. در ATW حداکثر میزان واجذبی ۲۷/۰۲، ۲۸/۶۶، ۵۲/۴۴ درصد بوده است و به‌ترتیب مربوط به 4-NP و 4-CP و فنول است. حداکثر واجذبی برای جاذب‌های باردار شده AES به ۳۲/۵۳، ۳۹/۵۵، ۵۸/۰۱ درصد رسیده است که به‌ترتیب مربوط به 4-NP، 4-CP و فنول است. برای 4-NP عامل واجذبی HNO<sub>3</sub> خیلی مؤثرتر عمل می‌کند در حالی که برای 4-CP و فنول NaOH عامل واجذبی مناسب‌تری است. مطالعات نشان داده است که در میان فنول، 4-CP و 4-NP واجذبی 4-NP از هم مشکل‌تر است.



شکل ۶- واجذبی ترکیبات فنولی (فنول، NP-۴ و CP-۴) از جاذب به‌دست آمده از تفال‌ه چای (راست) و پوست تخم‌مرغ (چپ) (Ranade and Bhandari, 2014b).

تحقیقات زیادی باید برای ساختن روش واجذبی مناسب انجام شود (Ranade and Bhandari, 2014b).

هزینه، پارامتر مهمی در این تحقیقات است. معمولاً هزینه ماده جاذب، هزینه فرآیند جذب را تعیین می‌کند. ظرفیت ماده جاذب و سینتیک واکنش‌ها، هزینه عملیات را کنترل می‌کنند. هزینه کلی آماده‌سازی ماده جاذب را به روش مرحله‌ای می‌توان برآورد کرد که هزینه تجزیه گرمایی، خشک کردن، مواد شیمیایی و دیگر هزینه‌ها در نظر گرفته می‌شود. هزینه‌ی یک نمونه از مواد AC با درجه‌ی اختصاصی به طور کلی بالاتر از ۱۰۰۰ روپیه در هر کیلوگرم است و بسیاری از مواقع به چندین هزار روپیه برای هر کیلوگرم می‌رسد. هزینه‌ی جاذب‌های بکار رفته در مطالعه‌ی کنونی کمتر از ۷۰۰ روپیه در هر کیلوگرم است (Ranade and Bhandari, 2014b; Sorokhaibam and Ahmaruzzaman, 2014).

#### ۴-۴- تجزیه و تحلیل دفع و هزینه

دفع ایمن جاذب‌های حاوی فنول یک مسئله زیست‌محیطی است چون ممکن است شستشوی این جاذب‌ها با باران یا با نفوذ کردن به منابع آب اتفاق بیفتد. بعضی از این روش‌ها شامل شستشو، سوزاندن و حرارت دادن است. در روش شستشو، بازیابی مولکول‌های جذب شده و بازسازی جاذب‌ها برای استفاده مجدد در فرآیند انجام می‌گیرد. اگرچه ساده و ارزان است اما بعد از ۳ یا ۴ بار سیکل احیا، بازدهی آن به‌شدت پایین می‌آید که ممکن است به‌خاطر مسدود شدن خلل و فرج‌های سطح جاذب باشد. جاذب‌های حاوی فنول ممکن است در دمای بالا سوزانده شوند تا خاکستر به‌دست آید که می‌تواند به‌طور مناسب بازسازی و دوباره استفاده شود. آزاد کردن گازهای سمی یکی از معایب این فرآیند است. این روش به انرژی و هزینه بالایی نیاز دارد. بنابراین،

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| 4-CP  | 4-chlorophenol                  |
| 4-NP  | 4-Nitrophenol                   |
| AAJSC | acid activated jute stich chars |
| AC    | activated carbon                |
| AES   | activated egg shells            |
| ANL   | activated neem leaf             |
| APPC  | activated potato peel chars     |
| ATW   | activated tea waste             |
| JSC   | jute stich chars                |
| NL    | neem leaf                       |
| P     | phenol                          |
| PPC   | potato peel chars               |
| TW    | tea waste                       |

## ۸- مراجع

- Abdel-Ghani, N.T., El-Chaghaby, G.A., and Helal, F.S. (2015), "Individual and competitive adsorption of phenol and nickel onto multiwalled carbon nanotubes", *Journal of Advanced Research*, 6(3), 405-415.
- Abdelkreem, M., (2013), "Adsorption of phenol from industrial wastewater using olive mill waste", *APCBEE Procedia*, 5, 349-357.
- Agarwal, B., Balomajumder, C., and Thakur, P.K., (2013), "Simultaneous co-adsorptive removal of phenol and cyanide from binary solution using granular activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, 228, 655-664.
- Ahmad, A.L., Loh, M.M., and Aziz, J.A., (2007), "Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on Methylene blue adsorption", *Dyes and Pigments*, 75(2), 263-272.
- Ahmaruzzaman, M. (2008), "Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review", *Advances in Colloid and Interface Science*, 143(1-2), 48-67.
- Ahmaruzzaman, M. and Gayatri, S.L., (2010a), "Activated tea waste as a potential low-cost adsorbent for the removal of p-nitrophenol from wastewater", *Journal of Chemical and Engineering Data*, 55(11), 4614-4623.
- Ahmaruzzaman, M., and Gayatri, S.L., (2010b), "Adsorptive removal of p-Nitrophenol (p-NP) on charred jute stick", *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 8(1), 1-20.
- Ahmaruzzaman, M., and Gayatri, S.L., (2010c), "Batch adsorption of 4-nitrophenol by acid activated jute stick char: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies", *Chemical Engineering Journal*, 158(2), 173-180.
- Ahmaruzzaman, M., and Gayatri, S.L., (2011), "Activated neem leaf: A novel adsorbent for the removal of phenol, 4-Nitrophenol, and 4-Chlorophenol from aqueous solutions", *Journal of Chemical and Engineering Data*, 56(7), 3004-3016.
- Ahmaruzzaman, M., and Sharma, D.K., (2005), "Adsorption of phenols from wastewater", *Journal of*

استفاده از روش جذب برای تصفیه پساب مخصوصاً مواد جاذب ارزان قیمت، می تواند جایگزین مناسبی برای تصفیه پساب صنعتی و به ویژه برای فاضلاب های صنعتی شامل فنول باشد. استفاده از مواد جاذب کم هزینه مواد معدنی مثل خاک رس، کائولین، بنتونیت، مواد سیلیکاتی، آلونیت، زئولیت، پسماند کشاورزی مثل پوست درخت ها، سبوس برنج و غیره و پسماند صنعتی پتانسیل بالایی برای حذف ترکیبات فنولی دارند. توسعه جاذب های جدید فرصت های خوبی را برای کاربردهای تجاری فراهم می کنند. استفاده از گروه های عاملی مناسب می تواند مقدار جذب را افزایش دهد. ایجاد مواد متخلخل از زئولیت ها، آماده کردن الیاف AC، ساخت نانو مواد جدید و اصلاح سطح جاذب ها توسط مواد آلی Belhouchat et al., 2017; Rajput et al., 2017; Rezaiaati et al., 2017; Salimi et al., 2017; Salimia et al., 2017; Sartape et al., 2017; Salimi et al., 2018) می تواند زمینه مناسبی را برای تحقیق در این مورد فراهم کند.

مطالعه چندین جاذب مشتق شده از زیست توده غیر فعال و فعال شده و اکسیدهای دو فلزی برای حذف سه آلوده کننده مهم صنعتی یعنی فنول، 4-CP، 4-NP نشان داد:

- ظرفیت جذب جاذب کاهش قابل توجهی می یابد، وقتی که در شکل تصفیه نشده، در مقایسه با شکل های فعال شده یا نیم سوز شده استفاده شود. جاذب های کربنی کارایی بیشتری نسبت به اکسید مخلوط دو گانه Fe-Al ترکیبی به واسطه تخلخل بیشتر و وجود گروه های عاملی مؤثر که فرآیند جذب را آسان می کنند، نشان داده است؛
- ترتیب جذب به این صورت دنبال می شود  $4\text{-NP} < 4\text{-CP} < \text{فنول}$ ؛
- بیشتر فرآیندهای جذب را می توان به وسیله مدل های ایزوترم فروندلیچ و لانگمویر توضیح داد؛
- جاذب های فعال شده از مساحت سطح بیشتری برخوردارند که معمولاً بالای  $1000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  است. اندازه حفره ها برای بیشتر جاذب ها در دامنه میکروتخلخل یا مزو تخلخل است؛
- هزینه این جاذب ها اساساً از کربن فعال تجاری کمتر است و از این رو پتانسیل رقابت با محصولات تجاری را دارند.

## ۶- پی نوشت ها

- 1- Chlorinated
- 2- Sickeningly
- 3- Alum
- 4- Lime
- 5- Langmuir
- 6- Freundlich
- 7- Temkin

- Dutta, S., Basu, J.K., and Ghar, R.N., (2001). "Studies on adsorption of p-nitrophenol on charred saw-dust", *Separation and Purification Technology*, 21(3), 227-235.
- Ebrahim, S.E., (2013), "Modeling the removal of phenol by natural zeolite in batch and continuous adsorption systems", *Journal of Babylon University/Engineering Sciences*, 21(1), 249-263.
- El-Naas, M.H., Al-Zuhair, S., and Alhaija, M.A., (2010), "Removal of phenol from petroleum refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, 162(3), 997-1005.
- Feng, J., Qiao, K., Pei, L., Lv, J., and Xie, S., (2015), "Using activated carbon prepared from *Typha orientalis* Presl to remove phenol from aqueous solutions", *Ecological Engineering*, 84, 209-217.
- Fu, Y., Shen, Y., Zhang, Z., Ge, X., and Chen, M., (2019), "Activated bio-chars derived from rice husk via one- and two-step KOH-catalyzed pyrolysis for phenol adsorption", *Science of The Total Environment*, 646, 1567-1577.
- García-Peña, E.I., Zarate-Segura, P., Guerra-Blanco, P., Poznyak, T., and Chairez, I., (2012), "Enhanced phenol and chlorinated phenols removal by combining ozonation and biodegradation", *Water, Air and Soil Pollution*, 223(7), 4047-4064.
- Gayatri, S.L., and Ahmaruzzaman, M., (2010), "Adsorption technique for the removal of phenolic compounds from wastewater using low-cost natural adsorbents", *Assam University Journal of Science and Technology*, 5(2), 156-166.
- Gayatri, S.L., and Ahmaruzzaman, M., (2014), "Development of adsorbent from solid waste of potato peel for decontamination of wastewater containing 4-Nitrophenol", *Journal of International Academy of Physical Sciences*, 16(4), 407-420.
- Giraldo, L., and Moreno-Piraján, J.C., (2014), "Study of adsorption of phenol on activated carbons obtained from eggshells", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 106, 41-47.
- Girish, C., and Murty, V.R., (2015), "Adsorption of phenol from aqueous solution using lantana camara, forest waste: packed bed studies and prediction of breakthrough curves", *Environmental Processes*, 2(4), 773-796.
- Girish, C., Singh, P., and Goyal, A.K., (2017), "Removal of phenol from wastewater using tea waste and optimization of conditions using response surface methodology", *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(13), 3857-3863.
- Godini, H., Taheri, F., Kamarehie, B., Mostafaei, P., and Saeedi, S., (2015), *Removal of p-chloro phenol from aqueous solutions using chestnut shell modified by sulfuric acid: Study of adsorption kinetic and isotherm*, *Journal of Environmental Health Engineering*, 2(4), 319-331.
- Godjevargova, T., Ivanova, D., Aleksieva, Z., and Burdelova, G., (2006), "Biodegradation of phenol by immobilized *Trichosporon cutaneum* R57 on modified polymer membranes", *Process Colloid and Interface Science*, 287(1), 14-24.
- Akbal, F., and Onar, A.N., (2003). "Photocatalytic degradation of phenol", *Environmental Monitoring and Assessment*, 83(3), 295-302.
- Akhlaghian, F., Ghadermazi, M., and Chenarani, B., (2014), "Removal of phenolic compounds by adsorption on nano structured aluminosilicates", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 543-549.
- Aksu, Z., and Yener, J., (1999). "The usage of dried activated sludge and fly ash wastes in phenol biosorption/adsorption: Comparison with granular activated carbon", *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 34(9), 1777-1796.
- Balarak, D., Bazrafshan, E., and Kord Mostafapour, F., (2015), "Application of agricultural waste for adsorption bisphenol A from aqueous solution: Kinetic and equilibrium studies", *Journal of Environmental Health Engineering*, 3(1), 29-41.
- Balarak, D., Kord Mostafapour, F., and Mahdavi, Y., (2016), "A Survey on adsorption of phenol from aqueous solutions by sorghum and canola and determination of adsorption isotherms and kinetics", *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 15(8), 793-806.
- Banat, F.A., and Al-Asheh, S., (1999), "Biosorption of phenol by chicken feathers", *Environmental Engineering and Policy*, 2(2), 85-90.
- Belhouchat, N., Zaghoulane-Boudiaf, H., and Viseras, C., (2017), "Removal of anionic and cationic dyes from aqueous solution with activated organo-bentonite/sodium alginate encapsulated beads", *Applied Clay Science*, 135, 9-15.
- Bhattacharyya, K.G., and Sarma, A., (2003), "Adsorption characteristics of the dye, brilliant green, on neem leaf powder", *Dyes and Pigments*, 57(3), 211-222.
- Bogan, B.W., and Sullivan, W.R., (2003), "Physicochemical soil parameters affecting sequestration and mycobacterial biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil", *Chemosphere*, 52(10), 1717-1726.
- Cañizares, P., Sáez, C., Lobato, J., and Rodrigo, M.A., (2004), "Electrochemical treatment of 2,4-dinitrophenol aqueous wastes using boron-doped diamond anodes", *Electrochimica Acta*, 49(26), 4641-4650.
- Carrasco-Marín, F., Alvarez-Merino, M.A., and Moreno-Castilla, C., (1996), "Microporous activated carbons from a bituminous coal", *Fuel*, 75(8), 966-970.
- Chen, C., Geng, X., and Huang, W., (2017), "Adsorption of 4-chlorophenol and aniline by nanosized activated carbons", *Chemical Engineering Journal*, 327, 941-952.
- Damjanović, L., Rakić, V., Rac, V., Stošić, D., and Aurox, A., (2010), "The investigation of phenol removal from aqueous solutions by zeolites as solid adsorbents", *Journal of Hazardous Materials*, 184(1), 477-484.
- Denizli, A., Cihangir, N., Rad, A.Y., Taner, M., and Alsancak, G., (2004), "Removal of chlorophenols from synthetic solutions using *Phanerochaete chrysosporium*", *Process Biochemistry*, 39(12), 2025-

- solution by adsorption", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(5), 546-551.
- Kamari, M., Shafiee, S., Salimi, F., and Karami, C., (2011), "Comparison of modified boehmite nanoplatelets and nanowires for dye removal from aqueous solution", *Desalination and Water Treatment*, 161, 304-314.
- Karaca, S., Guerses, A., and Bayrak, R., (2004), "Effect of some pre-treatments on the adsorption of methylene blue by Balkaya lignite", *Energy Conversion and Management*, 45(11-12), 1693-1704.
- Karunarathne, H.D.S.S., and Amarasinghe, B.M.W.P.K., (2013), "Fixed bed adsorption column studies for the removal of aqueous phenol from activated carbon prepared from sugarcane bagasse", *Energy Procedia*, 34, 83-90.
- Khalid, M., Joly, G., Renaud, A., and Magnoux, P., (2004), "Removal of phenol from water by adsorption using zeolites", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 43(17), 5275-5280.
- Kuleyin, A., (2007), "Removal of phenol and 4-chlorophenol by surfactant-modified natural zeolite", *Journal of hazardous materials*, 144(1), 307-315.
- Kulkarni, S.J., and Kaware, J., (2014), "Removal of phenol from effluent in fixed bed: a review", *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(5), 35-38.
- Kulkarni, S.J., Tapre, R.W., Patil, S.V., and Sawarkar, M.B., (2013), "Adsorption of phenol from wastewater in fluidized bed using coconut shell activated carbon", *Procedia Engineering*, 51, 300-307.
- Kumar, A., and Jena, H.M., (2016), "Removal of methylene blue and phenol onto prepared activated carbon from Fox nutshell by chemical activation in batch and fixed-bed column", *Journal of Cleaner Production*, 137, 1246-1259.
- Kwon, K.H., and Yeom, S.H., (2009), "Optimal microbial adaptation routes for the rapid degradation of high concentration of phenol", *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32(4), 435-442.
- Langlais, B., Reckhow, D.A., and Brink, D.R., (1991). *Ozone in water treatment: application and engineering*, CRC press.
- Laszlo, K., Podkościelny, P., and Dabrowski, A., (2003). "Heterogeneity of polymer-based active carbons in adsorption of aqueous solutions of phenol and 2, 3, 4-trichlorophenol", *Langmuir*, 19(13), 5287-5294.
- Mahvi, A., Maleki, A., and Eslami, A., (2004), "Potential of rice husk and rice husk ash for phenol removal in aqueous systems", *American Journal of Applied Sciences*, 1, 321-326.
- Mattson, J.S., Lee, L., Mark, H.B., and Weber, W.J., (1970), "Surface oxides of activated carbon: Internal reflectance spectroscopic examination of activated sugar carbons", *Journal of Colloid and Interface Science*, 33(2), 284-293.
- Mirmohamadsadeghi, S., Kaghazchi, T., Soleimani, M., and Asasian, N., (2012), "An efficient method for clay modification and its application for phenol removal from wastewater", *Applied Clay Science*, 59, 8-12.
- Mohammadi, S., Kargari, A., Sanaeepur, H., Abbassian, Biochemistry, 41(11), 2342-2346.
- Gokce, Y., and Aktas, Z., (2014), "Nitric acid modification of activated carbon produced from waste tea and adsorption of methylene blue and phenol", *Applied Surface Science*, 313, 352-359.
- Greminger, D.C., Burns, G.P., Lynn, S., Hanson, D.N., and King, C.J., (1982), "Solvent extraction of phenols from water", *Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development*, 21(1), 51-54.
- Gupta, A., and Balomajumder, C., (2015), "Simultaneous removal of Cr(VI) and phenol from binary solution using *Bacillus* sp. immobilized onto tea waste biomass", *Journal of Water Process Engineering*, 6, 1-10.
- Gupta, V.K., Sharma, S., Yadav, I.S., and Mohan, D., (1998), "Utilization of bagasse fly ash generated in the sugar industry for the removal and recovery of phenol and p-nitrophenol from wastewater", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 71(2), 180-186.
- Gupta, V.K., Gupta, B., Rastogi, A., Agarwal, S., and Nayak, A., (2011), "A comparative investigation on adsorption performances of mesoporous activated carbon prepared from waste rubber tire and activated carbon for a hazardous azo dye, Acid Blue 113", *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 891-901.
- Hameed, B., (2007). "Equilibrium and kinetics studies of 2, 4, 6-trichlorophenol adsorption onto activated clay", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 307(1-3), 45-52.
- Hameed, B., Tan, I., and Ahmad, A., (2008). "Adsorption isotherm, kinetic modeling and mechanism of 2, 4, 6-trichlorophenol on coconut husk-based activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, 144(2), 235-244.
- Hoigné, J., (1988), *The chemistry of ozone in water*, In: Process Technologies for Water Treatment, Springer US, Boston, MA, pp. 121-141.
- Ingole, R.S., Lataye, D.H., and Dhorabe, P.T., (2017) "Adsorption of phenol onto banana peels activated carbon", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 100-110.
- Jadhav, A.J., and Srivastava, V.C., (2003), "Adsorbed solution theory based modeling of binary adsorption of nitrobenzene, aniline and phenol onto granulated activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, 229, 450-459.
- Jadhav, D., and Vanjara, A., (2004), "Removal of phenol from wastewater using sawdust, polymerized sawdust and sawdust carbon", 11, 35-41.
- Jain, S., and Jayaram, R.V., (2007), "Adsorption of phenol and substituted chlorophenols from aqueous solution by activated carbon prepared from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) peel-kinetics and equilibrium studies", *Separation Science and Technology*, 42(9), 2019-2032.
- Jung, M.W., Ahn, K.H., Lee, Y., Kim, K.P., Rhee, J.S., Park, J.T., and Paeng, K.J., (2001), "Adsorption characteristics of phenol and chlorophenols on granular activated carbons (GAC)", *Microchemical Journal*, 70(2), 123-131.
- Kaleta, J., (2006), "Removal of phenol from aqueous



- "Determination of trace amounts of chromium ions in water and food samples using ligand-less solid phase extraction-based modified nano-boehmite (AlOOH)", *Iranian Chemical Communication*, 5, 397-406.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., and Nigam, P., (2001), "Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative", *Bioresource technology*, 77(3), 247-255.
- Roostaei, N., and Tezel, F.H., (2004), "Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption". *Journal of Environmental Management*, 70(2), 157-164.
- Salimi, F., Emami, S.S., and Karami, C., (2018), "Removal of methylene blue from water solution by modified nano-boehmite with Bismuth", *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 48(1), 31-40.
- Salimi, F., Tahmasobi, K., Karami, C., and Jahangiri, A., (2017), "Preparation of Modified nano-SiO<sub>2</sub> by Bismuth and Iron as a novel Remover of Methylene Blue from Water Solution", *Journal of the Mexican Chemical Society*, 61(3), 250-259.
- Salimia, F., Eskandaria, M., and Karamib, C., (2017), "Investigation of methylene blue adsorption in wastewater using nano-zeolite modified with copper", *Desalination and Water Treatment*, 85, 206-214.
- Saltah, K., Sari, A., and Aydın, M., (2007), "Removal of ammonium ion from aqueous solution by natural Turkish (Yıldızeli) zeolite for environmental quality", *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 258-263.
- Sarker, N., and Fakhruddin, A.N.M., (2017), "Removal of phenol from aqueous solution using rice straw as adsorbent", *Applied Water Science*, 7(3), 1459-1465.
- Sartape, A.S., Mandhare, A.M., Jadhav, V.V., Raut, P.D., Anuse, M.A., and Kolekar, S.S., (2017), "Removal of malachite green dye from aqueous solution with adsorption technique using Limonia acidissima (wood apple) shell as low cost adsorbent", *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3229-S3238.
- Shen, S., Chang, Z., and Liu, H., (2006), "Three-liquid-phase extraction systems for separation of phenol and p-nitrophenol from wastewater", *Separation and Purification Technology*, 49(3), 217-222.
- Shukla, A., Zhang, Y.-H., Dubey, P., Margrave, J.L., and Shukla, S.S., (2002), "The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water", *Journal of hazardous materials*, 95(1), 137-1352.
- Sorokhaibam, L.G., and Ahmaruzzaman, M., (2014), "Chapter 8 - phenolic wastewater treatment: Development and applications of new adsorbent materials", In: *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse* Ranade, V.V., and Bhandari, V.M. (eds), Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 323-368.
- Srivastava, V.C., Mall, I.D., and Mishra, I.M., (2008), "Antagonistic competitive equilibrium modeling for the adsorption of ternary metal ion mixtures from aqueous solution onto bagasse fly ash", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47(9), 3129-3137.
- Srivastava, V.C., Mall, I.D., and Mishra, I.M., (2009), "Competitive adsorption of cadmium (II) and nickel (II) metal ions from aqueous solution onto rice husk K., Najafi, A., and Mofarrah, E., (2015), "Phenol removal from industrial wastewaters: a short review", *Desalination and Water Treatment*, 53(8), 2215-2234.
- Mukherjee, S., Kumar, S., Misra, A.K., and Fan, M., (2007), "Removal of phenols from water environment by activated carbon, bagasse ash and wood charcoal", *Chemical Engineering Journal*, 129(1), 133-142.
- Namane, A., Mekarzia, A., Benrachedi, K., Belhaneche-Bensemra, N., and Hellal, A., (2005), "Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub> and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>", *Journal of Hazardous Materials*, 119(1-3), 189-194.
- Nandi, B., Goswami, A., and Purkait, M., (2009), "Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: kinetic and equilibrium studies", *Applied Clay Science*, 42(3), 583-590.
- Nowack, K.O., Cannon, F.S., and Arora, H., (1999), "Ferric chloride plus GAC for removing TOC", *Journal of American Water Works Association*, 91(2), 65-78.
- Otero, M., Zabkova, M., and Rodrigues, A.E., (2005), "Adsorptive purification of phenol wastewaters: experimental basis and operation of a parametric pumping unit", *Chemical Engineering Journal*, 110(1-3), 101-111.
- Patnukao, P., and Pavasant, P., (2008), "Activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn bark using phosphoric acid activation", *Bioresource Technology*, 99(17), 8540-8543.
- Pimentel, P., Melo, M., Melo, D., Assuncao, A., Henrique, D., Silva, C., and Gonzalez, G., (2008), "Kinetics and thermodynamics of Cu (II) adsorption on oil shale wastes", *Fuel processing Technology*, 89(1), 62-67.
- Quintelas, C., Sousa, E., Silva, F., Neto, S., and Tavares, T., (2006), "Competitive biosorption of ortho-cresol, phenol, chlorophenol and chromium (VI) from aqueous solution by a bacterial biofilm supported on granular activated carbon", *Process Biochemistry*, 41(9), 2087-2091.
- Rad, L. R., Haririan, I., and Divsar, F., (2015), "Comparison of adsorption and photo-Fenton processes for phenol and paracetamol removing from aqueous solutions: Single and binary systems", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136, 423-428.
- Rajput, S., Singh, L.P., Pittman Jr, C.U., and Mohan, D., (2017), "Lead (Pb<sup>2+</sup>) and copper (Cu<sup>2+</sup>) remediation from water using superparamagnetic maghemite (γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles synthesized by Flame Spray Pyrolysis (FSP)", *Journal of Colloid and Interface Science*, 492, 176-190.
- Ranade, V.V., and Bhandari, V.M., (2014a), *Industrial wastewater treatment, recycling and reuse*, Butterworth-Heinemann.
- Ranade, V.V., and Bhandari, V.M., (2014b), "Industrial wastewater treatment, recycling, and reuse: An overview", In: *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 1-80.
- Rezaeati, M., Salimi, F., and Karami, C., (2017),

- treatment", 11, 825-833.
- Venkatesan, S., ul Hassan, M., and Ryu, H.J., (2019), "Adsorption and immobilization of radioactive ionic-corrosion-products using magnetic hydroxyapatite and cold-sintering for nuclear waste management applications", *Journal of Nuclear Materials*, 514, 40-49.
- Wang, R.C., Kuo, C.C., and Shyu, C.C., (1997), "Adsorption of phenols onto granular activated carbon in a liquid-solid fluidized bed", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology: International Research in Process, Environmental and Clean Technology*, 68(2), 187-194.
- Wu, F.-C., Tseng, R.-L., and Juang, R.-S., (2005), "Preparation of highly microporous carbons from fir wood by KOH activation for adsorption of dyes and phenols from water". *Separation and Purification Technology*, 47(1), 10-19.
- Yang, G., Chen, H., Qin, H., and Feng, Y., (2014), "Amination of activated carbon for enhancing phenol adsorption: effect of nitrogen-containing functional groups", *Applied Surface Science*, 293, 299-305.
- Yang, K., Wu, W., Jing, Q., and Zhu, L., (2008), "Aqueous adsorption of aniline, phenol, and their substitutes by multi-walled carbon nanotubes", *Environmental Science and Technology*, 42(21), 7931-7936.
- Yi, S., Zhuang, W.-Q., Wu, B., Tay, S.T.-L., and Tay, J.-H., (2006), "Biodegradation of p-nitrophenol by aerobic granules in a sequencing batch reactor", *Environmental Science and Technology*, 40(7), 2396-2401.
- Zhang, Y., Mancke, R. G., Sabelfeld, M., and Geißen, S.-U., (2014). "Adsorption of trichlorophenol on zeolite and adsorbent regeneration with ozone", *Journal of hazardous materials*, 271, 178-184.
- Zhang, Z., Feng, X., Yue, X.-X., An, F.-Q., Zhou, W.-X., Gao, J.-F., Hu, T.-P., and Wei, C.-C., (2015), "Effective adsorption of phenols using nitrogen-containing porous activated carbon prepared from sunflower plates", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32(8), 1564-1569.
- ash", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(1), 370-379.
- Staehelin, J., Buehler, R., and Hoigné, J., (1984), "Ozone decomposition in water studied by pulse radiolysis. 2. Hydroxyl and hydrogen tetroxide (HO<sub>4</sub>) as chain intermediates", *The Journal of Physical Chemistry*, 88(24), 5999-6004.
- Su, F., Lv, L., Hui, T.M., and Zhao, X.S., (2005), "Phenol adsorption on zeolite-templated carbons with different structural and surface properties", *Carbon*, 43(6), 1156-1164.
- Sulaymon, A.H., Abbood, D.W., and Ali, A.H., (2012), "Removal of phenol and lead from synthetic wastewater by adsorption onto granular activated carbon in fixed bed adsorbers: prediction of breakthrough curves", *Desalination and Water Treatment*, 40(1-3), 244-253.
- Sulaymon, A.H., Mohammed, A.A., and Al-Musawi, T.J., (2013). "Competitive biosorption of lead, cadmium, copper, and arsenic ions using algae", *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 3011-3023.
- Taha, M.R., Leng, T., Mohamad, A.B., and Kadhum, A.A.H., (2003), "Batch adsorption tests of phenol in soils", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(3), 251-257.
- Tan, I., Ahmad, A., and Hameed, B., (2009), "Adsorption isotherms, kinetics, thermodynamics and desorption studies of 2, 4, 6-trichlorophenol on oil palm empty fruit bunch-based activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), 473-482.
- Tang, W., Huang, H., Gao, Y., Liu, X., Yang, X., Ni, H., and Zhang, J., (2015), "Preparation of a novel porous adsorption material from coal slag and its adsorption properties of phenol from aqueous solution", *Materials and Design*, 88, 1191-1200.
- Teng, H., Yeh, T.-S., and Hsu, L.-Y., (1998). "Preparation of activated carbon from bituminous coal with phosphoric acid activation", *Carbon*, 36(9), 1387-1395.
- Terzyk, A.P., (2003), "Further insights into the role of carbon surface functionalities in the mechanism of phenol adsorption", *Journal of Colloid and Interface Science*, 268(2), 301-329.
- Thakur, C., Mall, I., and Srivastava, V., (2014), "Competitive adsorption of phenol and resorcinol onto rice husk ash", *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 48(1), 60-70.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), (1985), *Technical support document for water quality-based toxics control*, Office of Water Enforcement and Permits, Office of Water Regulations and Standards, US Environmental Protection Agency.
- Valderrama, C., Barios, J.I., Caetano, M., Farran, A., and Cortina, J.L., (2010). "Kinetic evaluation of phenol/aniline mixtures adsorption from aqueous solutions onto activated carbon and hypercrosslinked polymeric resin (MN200)", *Reactive and Functional Polymers*, 70(3), 142-150.
- Varghese, S., Vinod, V., and Anirudhan, T., (2004). "Kinetic and equilibrium characterization of phenols adsorption onto a novel activated carbon in water

**Review Paper**

**مقاله مروری**

**A Survey on the Adsorption Process for the Removal Pharmaceutical Pollution from Aqueous Solutions and Wastewater**

**مروری بر فرآیند جذب سطحی در حذف آلاینده‌های دارویی از محلول‌های آبی و پساب‌ها**

Parisa Mechinchi<sup>1</sup>, Hassan Aghdasinia<sup>\*2</sup>, Seyed Jamaledin Peyghambaroust<sup>2</sup>, Mahmoud Zarei<sup>3</sup>, Hossein Rahbari Asiabi<sup>4</sup> and Ahmad Reza Mohammadian Soudmand<sup>1</sup>

پریسا مشینچی<sup>۱</sup>، حسن اقدسی نیا<sup>\*۲</sup>، سید جمال الدین پیغمبردوست<sup>۲</sup>، محمود زارعی<sup>۳</sup>، حسین رهبری آسیابی<sup>۴</sup>، احمد رضا محمدیان سودمند<sup>۱</sup>

1- M.Sc. Student, Faculty of Chemical and Petroleum engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- Faculty of Chemical and Petroleum engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

۲- دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

۳- گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

4- Msc Graduate, Faculty of Chemical and Petroleum engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

۴- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

\* Corresponding author, Email: [aghdasinia@tabrizu.ac.ir](mailto:aghdasinia@tabrizu.ac.ir)

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [aghdasinia@tabrizu.ac.ir](mailto:aghdasinia@tabrizu.ac.ir)

Received: 26/02/2019

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

Revised: 17/01/2020

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۱۰/۲۷

Accepted: 03/02/2020

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

**Abstract**

**چکیده**

Pharmaceutical pollutants are one of the most important issues concerning human life due to the introduction of these pollutants into the food cycle and resulting in drug resistance which leads to environmental hazards. Thus investigation and pollution control of pharmaceuticals is essential. Aqueous media should be free of such contaminants before entering the environment. Adsorption is an effective and efficient method for removing pharmaceutical pollutants from aqueous solutions which have been given a comprehensive review in this paper, reporting the performance of different adsorbents such as activated carbon, silicagel, clays, zeolites, graphene nanoplates, polymers, clay-polymer nanocomposites and biochars. Removal efficiencies of 70-100% for activated carbon, 87-99% for clay and 98-100% for biochars are reported. Adsorption mechanisms of some antibiotics on various adsorbents are also discussed.

آلاینده‌های دارویی یکی از مسائل مهم در زندگی کنونی بشر محسوب می‌شود. دلیل بررسی و کنترل آلودگی در محیط‌زیست، ورود این آلاینده‌ها به چرخه غذایی و مقاومت‌های دارویی است که خطرات زیست‌محیطی فراوانی را در پی دارد. پس باید قبل از این‌که وارد محیط‌زیست شوند، محیط‌های آبی عاری از این آلاینده‌ها شوند. روش جذب سطحی در زمینه حذف آلاینده‌های دارویی روشی موثر و کارآمد است. در این مقاله، بررسی جامعی درخصوص پارامترهای فرآیند جذب سطحی آنتی‌بیوتیک‌ها توسط جاذب‌های مختلف از جمله کربن فعال، سیلیکاژل، رس، زئولیت‌ها، نانوصفات گرافنی، جاذب‌های پلیمری، نانوکامپوزیت پلیمر-رس و ضایعات کشاورزی و عملکردشان در محیط‌های آبی انجام گرفته است. مطالعه نتایج مبنی بر محدوده راندمان حذف (۷۴-۱۰۰٪) برای کربن فعال، (۸۷-۹۹٪) برای جاذب رس و (۹۸-۱۰۰٪) برای ضایعات کشاورزی گزارش شد. همچنین مکانیسم جذب برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها بر روی جاذب‌های مشخص مرور شد.

**Keywords:** Adsorption, Antibiotics, Aqueous solutions Mineral adsorbents, Natural adsorbents.

**کلمات کلیدی:** جذب سطحی، جاذب‌های معدنی، جاذب‌های طبیعی، آنتی‌بیوتیک‌ها، محلول‌های آبی.

مورد فرآیند جذب این است که دو ماده جاذب بدون داشتن شرایط آزمایشی یکسان حتی برای یک آلاینده یکسان، قابل مقایسه باهم نیستند. برخی پارامترهای اساسی که به شدت کل فرآیند جذب سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارتند از: pH محلول، زمان تماس جاذب و آلاینده، غلظت اولیه آلاینده، دما، سرعت هم‌زدن، مقدار جاذب و قدرت یونی محلول.

در جذب سطحی احیا کردن جاذب، به‌روش‌هایی از جمله  $PSA^3$ ،  $TSA^4$ ، استخراج، pH-swing و ماکروویو باعث ایجاد ضایعات ثانویه شده که خود نیز نیازمند فراورش مجدد بوده که این کار از نظر عملیاتی پرهزینه و زمان‌بر است. به‌عنوان مثال در روش TSA در صورت استفاده از نیتروژن داغ (۱۴۰ درجه سانتیگراد) انرژی مورد نیاز برای و جذب به دلیل ظرفیت گرمایی پایین نیتروژن حاصل نمی‌شود. این موضوع منجر به افزایش جریان‌های گازی رقیق حاوی ماده و جذب شده که نیازمند تجهیزات گران‌قیمت و پیچیده از جمله کندانسور است. روش  $PSA$ ، نیز نیازمند جریان گازی با فشار بالا است که همانند روش فوق به تجهیزات پرهزینه مانند کمپرسور نیاز است (Bathen, 2003). از جاذب‌های مورد استفاده در حذف آلاینده‌های دارویی، می‌توان به کربن فعال، سیلیکاژل، رس، جاذب‌های پلیمری، ژئولیت، نانوصفحات گرافن، ضایعات کشاورزی، نانوکامپوزیت‌های رس/پلیمر اشاره کرد. در این مقاله، ابتدا فرآیند جذب سطحی توصیف شده و سپس انواع جاذب‌های مورد استفاده در زمینه حذف آلاینده‌های دارویی معرفی شده است. با مرور تحقیقات انجام شده، رفتار هریک از جاذب‌ها در حذف آلاینده‌های دارویی از محلول‌های آبی و پساب‌ها به‌روش جذب سطحی مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- جذب سطحی<sup>۵</sup>

جذب سطحی برای اولین بار توسط Scheele در سال ۱۷۷۳ برای گازها و سپس بوسیله لوویتز در سال ۱۷۸۵ در مورد محلول‌ها مطرح شد. جذب سطحی عبارت‌است از یک فرآیند فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی که در آن یک ماده در سطح یا فصل مشترک دو فاز، تغلیظ و جمع می‌شود. این دو فاز می‌توانند مایع-مایع، گاز-جامد یا مایع-جامد باشند. ماده‌ای که در یک سطح جمع می‌شود را جذب شونده و فازی که ماده روی آن جذب می‌شود را جاذب می‌گویند. در مقابل اصطلاح «جذب سطحی» پدیده‌ی «جذب عمقی» نیز موجود است که در آن مولکول‌ها یا اتم‌های یک فاز تقریباً به‌طور هماهنگ در میان فاز دیگر نفوذ می‌کنند تا با فاز دوم، یک محلول یکنواخت را تشکیل دهند. عبارت جذب که معمولاً هر دو نوع را شامل است به فرآیندی اطلاق می‌شود که در آن یک ترکیب از یک فاز حرکت می‌کند تا در فاز دیگر، به‌خصوص اگر جامد باشد، جمع شود (Poulopoulos and

آب یک جزء مهم و ضروری از جهان است که نقش مهمی در عملکرد مناسب اکوسیستم‌های زمین ایفا می‌کند. در اکثر نقاط جهان آب آشامیدنی به‌راحتی در دسترس نیست (Ali and Gupta, 2006). بیش از ۷۰۰ نوع آلاینده آلی و معدنی در آب‌های جهان گزارش شده است که برخی از آن‌ها سمی و سرطان‌زا بوده و برخی به‌مدت طولانی در محیط‌زیست باقی‌مانده و غیرقابل تجزیه هستند (Ho and McKay, 1999). مواد دارویی به‌عنوان دسته جدید شناخته شده از آلاینده‌های محیط‌زیست در حال تبدیل شدن به آلودگی در آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در جوامع صنعتی و مسکونی هستند. حضور مواد دارویی برای اولین بار در آب‌های سطحی و فاضلاب‌ها در ایالات متحده آمریکا و اروپا در دهه ۱۹۶۰ شناسایی شد (Stumm-Zollinger and Fair, 1965). به‌طور کلی داروها از صنایع دارویی و پساب‌های خانگی و همچنین پساب بیمارستان‌ها وارد فاضلاب‌ها می‌شوند (Moussavi et al., 2013). هم‌چنین ممکن است به‌عنوان کود مایع یا لجن فاضلاب، مورد استفاده قرار گرفته و به آب‌های آشامیدنی، محیط‌های آبی، خاک و نهایتاً زنجیره غذایی راه یابند (McArdell et al., 2003; Elmolla and Chaudhuri, 2012). این ترکیبات دارویی به‌طور کامل در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کارخانه‌ها، حذف نمی‌شوند (Rivas et al., 2012). علاوه بر آنتی‌بیوتیک‌ها هم‌چنین ورود برخی از هورمون‌ها از جمله استرادیول از صنایع داروسازی و آزمایشگاه‌های پاتولوژی به منابع مختلف آبی غیرقابل انکار بوده و باید کنترل میزان این نوع آلاینده‌ها نیز انجام شود (Hassani et al., 2016). چندین روش برای حذف مواد دارویی از آب‌های زیرزمینی از جمله تجزیه زیستی<sup>۱</sup>، فوتوکاتالیز<sup>۲</sup>، ازن‌زنی، فرایند فنتون (Kakavandi et al., 2016)، اکسیداسیون پیشرفته، رسوب شیمیایی، انعقاد، اسمز معکوس، تبادل یونی، الکترولیز، الکترودیالیز و نهایتاً جذب سطحی وجود دارد که در میان این‌ها اسمز معکوس، اکسیداسیون پیشرفته، تبادل یونی، الکترولیز، الکترودیالیز، رسوب شیمیایی و انعقاد از نظر عملیاتی دشوار و پرهزینه هستند (Kümmerer, 2009). تکنیک‌های فیزیکی بهترین گزینه برای حل این قضیه است که در میان آن‌ها جذب سطحی به‌علت مؤثر بودن آن، سادگی از نظر عملیاتی، نداشتن اثر سمیت و نهایتاً ارزان بودن، یکی از کارآمدترین آن‌ها است (Han et al., 2008). البته روش جذب سطحی، در صورتی که ماده جاذب گران‌قیمت باشد روش پرهزینه‌ای است. عملکرد فرآیند جذب سطحی، تحت تأثیر مشخصات و ویژگی‌های جاذب بوده و هزینه و بازده عملیات، دو فاکتور مهم فرآیند جذب محسوب شده و بازده فرآیند جذب، تحت تأثیر نوع جاذب و ترکیب جریان پساب است (Aksu and Tunç, 2005). نکته قابل توجه در



(Inglezakis, 2006). عوامل مؤثر در فرآیند جذب سطحی عبارتند از: مساحت سطحی، ماهیت و غلظت اولیه ماده جذب شونده، pH محلول، دما، تداخل مواد و ماهیت و دوز جاذب. چون جذب سطحی یک پدیده سطحی HSJ پس وسعت جذب، متناسب با مساحت سطحی ویژه است (El-Sheikh et al., 2004).

### ۳- پساب دارویی

در سال‌های اخیر، پساب دارویی بسیار پراهمیت شده، چرا که باقیمانده‌های دارویی به‌عنوان یکی از بحث برانگیزترین مسائل در حیطه علوم زیست‌محیطی مطرح شده است. بیش از ۳۰۰۰ ماده شیمیایی مختلف، به‌عنوان دارو برای انسان، دام، کشاورزی و غیره شناخته شده است. در این میان آنتی‌بیوتیک‌ها با مصرف جهانی ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ تن در سال، گروهی از ترکیبات دارویی هستند که به‌شکل قابل‌توجهی، برای کنترل عفونت‌های انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنتی‌بیوتیک‌ها، حدود ۱۵ درصد از کل ترکیبات دارویی را به خود اختصاص می‌دهند. براساس مطالعات انجام شده، ایران به‌علت تجویز و استفاده بی‌رویه، رتبه نخست مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها را در دنیا دارد. استفاده گسترده از داروها در مراقبت‌های بهداشتی باعث وارد شدن بخش قابل‌توجهی از آن‌ها به محیط‌زیست شده است. حضور برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها مانند سیپروفلوکساسین در آب‌های آشامیدنی ممکن است باعث ایجاد سردرد، اسهال، عصبی بودن، لرزش، تهوع، استفراغ، واکنش‌های آلرژیک شده و در صورت وجود با غلظت‌های نسبتاً بالاتر، عوارض جدی از جمله نارسایی حاد

کلیه و بالا رفتن آنزیم‌های کبدی ایجاد می‌کند و باعث تداخل در فتوسنتز گیاهان آبی می‌شود (Bajpai et al., 2012; Heydari and Hajar, 2011). از طرفی رهاسازی تتراسایکلین به چرخه محیط‌زیست باعث صدمات فراوان به اکوسیستم مناطق در معرض پساب چه از لحاظ شیمیایی و چه میکروبی می‌شود. هم‌چنین ورود این دارو به منابع آبی تهدید جدی برای سلامتی بشر به‌حساب آمده و موجب آلودگی آب و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا موجود در آب و محیط زیست می‌شود (Fahelbom, 2008).

جدول ۱ برخی از داروهای شناسایی شده در انواع پساب‌ها و آب‌های سطحی را نشان می‌دهد. حضور مواد دارویی در محیط‌های آبی به‌عنوان یک آلودگی سمی شناخته شده است (Halling-Sørensen et al., 1998; Pocostales et al., 2011). با توجه به پایداری آن‌ها در محیط زیست، حضورشان در درازمدت برای زندگی آبزیان بسیار خطرناک است (Esplugas et al., 2007; Akhtar et al., 2011).

### ۴- انواع آنتی‌بیوتیک‌ها و خواص فیزیکوشیمیایی

جدول ۱ خواص فیزیکوشیمیایی انواع مختلف آنتی‌بیوتیک‌ها را در مطالعات مختلف نشان می‌دهد. آنتی‌بیوتیک‌ها دارای انواع طبقه‌بندی به‌شرح زیر هستند. کلرامفنیکل‌ها، ماکرولیدها، سولفونامیدها، تتراسایکلین‌ها، فلوروکینولون‌ها، ایمیدازول‌ها<sup>۱۱</sup>، بتالاکتام‌ها<sup>۱۲</sup> و دیگر انواع که در جدول ۱ به‌طور کامل ارایه شده است (Kümmerer and Henninger, 2003).

جدول ۱- خواص فیزیکی شیمیایی انواع آنتی‌بیوتیک‌ها بر اساس مطالعات مختلف

| منابع                        | میزان حذف (%) | شرایط عملیاتی                        | غلظت آلاینده (mg/L) | آنتی‌بیوتیک/ ترکیبات            |
|------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Putra et al. (2009)          | ۹۵            | pH ۲-۷, ۰/۱-۳/۵ g AC, ۳۰ °C          | ۳۰۰                 | بتالاکتام‌ها/ آموکسی سیلین      |
| Moussavi et al. (2013)       | ۹۹            | ۴ g/L PAC, pH ۶, ۵۰ °C               | ۵۰                  | بتالاکتام‌ها/ آموکسی سیلین      |
| Pouretedal and Sadegh (2014) | ۷۴-۸۸         | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت | ۲۰                  | بتالاکتام‌ها/ آموکسی سیلین      |
| Pouretedal and Sadegh (2014) | ۷۴-۸۸         | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت | ۲۰                  | سفالکسین                        |
| Rivera-Utrilla et al. (2009) |               | pH ۲-۱۱, ۲۵ °C                       | ۱۰۰-۶۰۰             | ایمیدازول‌ها/ نیتروایمیدازول‌ها |
| Rivera-Utrilla et al. (2009) |               | ۰-۰/۱ M NaCl, 1 g/L AC               |                     | دیمتریدازول<br>مترونیدازول      |
| Méndez-Díaz et al. (2010)    | ۹۰            | pH ۷, ۱-۰/۲ g/L AC, ۲۵ °C            | ۱۵۰                 | رونیدازول<br>تینیدازول          |
| Pouretedal and Sadegh (2014) | ۷۴-۸۸         | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت | ۲۰                  | پنی‌سیلین‌ها/ پنی‌سیلین G       |
| Adams et al. (2002)          | >۹۰           | ۴h, ۰/۶۶ g PAC, pH ۷                 | ۵۰                  | کنوکسالین/ کاربادوکس            |
| Adams et al. (2002)          | > ۹۰          | ۴h, ۰/۶۶ g PAC, pH ۷                 | ۵۰                  | سولفونامیدها/ سولفامرازین       |
| Stackelberg et al. (2007)    |               | ۱/۵-۳ min                            |                     | سولفامتوکسازول                  |
| Genç and Dogan (2015)        | ۱۰۰           | ۲۲ °C, pH ۵/۵, ۰/۰۱۲۵g GAC           | ۲۰-۴۰               | سیپروفلوکساسین                  |
| Torres-Pérez et al. (2012)   | ۸۷            | ۱۲۰ h, pH ۳-۱۱                       | ۵۰, ۱۰۰, ۳۰۰        | تتراسایکلین                     |
| Adams et al. (2002)          | >۹۰           | ۴h, ۰/۶۶ g PAC, pH ۷                 | ۵۰                  | تریمتوپریم                      |
| Kim et al. (2010)            | >۹۰           | pH ۴-۱۰, ۲۵ °C, ۰-۳ g/L AC           | ۵۰                  | تریمتوپریم                      |

جدول ۲- داروهای رایج شناخته شده در منابع مختلف آبی

| انواع مواد دارویی | منابع آبی                                                                                     | غلظت (نانوگرم بر لیتر)                                    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| آموکسی سیلین      | پساب‌های بیمارستان<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                   | ۹۰۰<br>$9/94 \times 10^3$                                 |
| آمپی سیلین        | پساب‌های صنعتی                                                                                | $5/8 \times 10^3$                                         |
| آنتولول           | رودها                                                                                         | ۲۵۰-۶۰۰                                                   |
| بنزافیرا          | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                                         | ۰/۳-۸۷                                                    |
| کافئین            | پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>رودها                                | ۲۳-۷۷۶<br>۲/۹-۱۹۴<br>۲۴۴۸-۴۸۶۵<br>۳۸-۲۵۰                  |
| کاربامازپین       | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>رودها       | ۳۳-۱۳۱۸<br>۷۳-۷۲۹<br>۴/۵-۶۱<br>۲۴-۵۰<br>۵۶-۱۶۰            |
| سفاکسر            | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                                         | $6/15 \times 10^3$                                        |
| سفازولین          | پساب‌های صنعتی                                                                                | $4/2 \times 10^3$                                         |
| سفوتاکسیم         | پساب‌های صنعتی                                                                                | $4/2 \times 10^3$                                         |
| سفالکسین          | پساب‌های بیمارستان<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های صنعتی                                 | $1 \times 10^4$<br>$6/4 \times 10^4$<br>$3/1 \times 10^3$ |
| سیپروفلوکساسین    | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های بیمارستان<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب | ۲۷-۵۱۴<br>۱۱-۶۳<br>$1/5 \times 10^4$<br>$1/1 \times 10^3$ |
| کلاریترومیسین     | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                                         | ۷۲۴                                                       |
| کلافیریک اسید     | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>رود لیاو                                                             | ۸<br>۱۸                                                   |
| دی متیل دیازپام   | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                                         | ۶۲                                                        |
| دیکلوفناک         | پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>رود لیاو<br>رودها                    | ۸/۵-۱۲۸<br>۱/۱-۶/۸<br>۹-۱۳<br>۲۱-۹۸<br>۷۱۷                |
| دیلاتین           | پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی                                                                  | ۸/۸-۱۸۱<br>۱/۱-۸/۹                                        |
| اینروفلوکساسین    | پساب‌های بیمارستان                                                                            | ۱۰۰                                                       |
| اریترومیسین       | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی                                         | ۹-۹۵۳<br>۸/۹-۲۹۴<br>۱/۸-۴/۸                               |
| جم فیروزیل        | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                                         | ۱۸۱-۴۵۱                                                   |
| ایبوپروفن         | رود لیاو<br>پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>رودها                                             | ۲۴۶<br>۱۰-۱۳۷<br>۱۱-۳۸<br>۳۵-۲۷۰                          |

|                                                                            |                                                                                                                                        |                   |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| ۱۱۷۰-۴۰۳۰<br>۲۰-۳۶۱<br>۷۸۰-۸۱۰۰                                            | پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>رودها                                                                                                  | اوپرومید          |
| ۱۱-۶۲۹<br>۱/۷×۱۰ <sup>۳</sup><br>۱/۱×۱۰ <sup>۵</sup>                       | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های بیمارستان<br>پساب‌های صنعتی                                                                          | لینکومیسین        |
| ۷/۸×۱۰ <sup>۳</sup>                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | مترونیدازول       |
| ۶/۷×۱۰ <sup>۳</sup>                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | نالیدیکسیک        |
| ۲۰-۴۸۳<br>۱/۸-۱۸<br>۸۱-۳۶۰                                                 | پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>رودها                                                                                                  | ناپروکسن          |
| ۲۰۰                                                                        | پساب‌های بیمارستان                                                                                                                     | نورفلوکساسین      |
| ۱۵۰-۱۰۸۱<br>۱/۳×۱۰ <sup>۳</sup>                                            | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های صنعتی                                                                                                | اوفلوکساسین       |
| ۱/۵×۱۰ <sup>۴</sup>                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | اوکسی تتراسایکلین |
| ۴۳۳-۸۰۳۶<br>۲۹۵                                                            | تصفیه‌خانه‌های اضلاب<br>رود لیاو                                                                                                       | سالیسیلیک اسید    |
| ۱۱-۱۲۹                                                                     | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                                                                                  | اسپیرامیسین       |
| ۳۵۳                                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | سولفادیازین       |
| ۴۶-۲۵۳<br>۳/۸-۴۰۷<br>۱/۷-۳۶<br>۱۳-۲۶۱<br>۹-۱۹۰<br>۳۰۰<br>۳×۱۰ <sup>۳</sup> | تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب<br>رودها<br>پساب‌های بیمارستان<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب | سولفامتوکسازول    |
| ۲۰۷                                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | سولفانیلامید      |
| ۹/۶×۱۰ <sup>۳</sup>                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | سولفاتیزول        |
| ۱/۵×۱۰ <sup>۳</sup>                                                        | پساب‌های صنعتی                                                                                                                         | تتراسایکلین       |
| ۱۰-۱۸۸<br>۳/۲-۵۳<br>۱۱-۹۴<br>۳۰۰<br>۴/۳×۱۰ <sup>۳</sup>                    | پساب‌های شهری<br>آب‌های سطحی<br>رودها<br>پساب‌های بیمارستان<br>تصفیه‌خانه‌های فاضلاب                                                   | تریمتوپریم        |

## ۵- جاذب‌های مورد استفاده در حذف آلاینده‌های دارویی

### ۵-۱- کربن فعال AC<sup>۱۳</sup>

بی‌شک کربن فعال به‌عنوان محبوب‌ترین جاذب شناخته شده و به‌طور گسترده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش از استفاده از کربن فعال امروزی، از زغال چوب به‌عنوان جاذب‌کننده در تصفیه پساب استفاده می‌شد. کربن فعال با فرآیند دی‌هیدراسیون و کربنه شدن مواد اولیه و سپس فعال‌سازی آن تولید می‌شود. محصول به‌دست آمده به‌عنوان کربن فعال شناخته می‌شود و به‌طور کلی دارای ساختار بسیار متخلخل با سطح ویژه بزرگ در محدوده ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ g/m<sup>2</sup> است. کربن فعال به‌عنوان یک جاذب‌کننده چند منظوره تلقی می‌شود که می‌تواند انواع مختلف آلاینده‌ها را از قبیل یون‌های

فلزی، آنیون‌ها، رنگ‌ها، فنل‌ها، پاک‌کننده‌ها، افتکش‌ها، هیدروکربن‌های کلره و بسیاری از مواد شیمیایی دیگر را حذف کند. با وجود استفاده فراوان از کربن فعال، کاربردهای آن با توجه به هزینه بالای آن محدود شده‌است. بنابراین محققان به‌دنبال جاذب‌کننده‌های کم‌هزینه برای کنترل آلودگی آب‌ها هستند که فاکتور هزینه نقش برجسته‌ای را ایفا کند. برای این منظور تلاش‌هایی نیز برای جایگزین کردن جاذب‌های کم‌هزینه نیز صورت گرفته است.

جاذب‌های کم‌هزینه جایگزین، می‌توانند توسط طیف گسترده‌ای از مواد خام ارزان و فراوان، حاوی مواد آلی بالا و مواد معدنی کم تهیه شوند که به آسانی می‌توانند فعال شوند (Dąbrowski et al., 2005). درجه بالای میکروحررات، مساحت سطح خوب توسعه یافته و ظرفیت جذب بالا ویژگی‌های کلیدی

کربن فعال (گرانولی / پودری) هستند که آن‌ها را به عنوان جاذب مناسب در حذف آلاینده‌های آلی می‌کند (Huang et al., 2011; Roosta et al., 2014a; Roosta et al., 2014b). با این حال کربن فعال معایبی نیز دارد که شامل هزینه تولید و احیای بالا بوده و جذب آنتی‌بیوتیک‌ها در سطح‌شان به طور قابل توجهی تحت تأثیر ویژگی‌هایی از جمله ساختار و هندسه جاذب است (Aksu and Tunç, 2005; Foo and Hameed, 2012).

(Yu et al. (2005 حذف ناپروکسن، کاربامازپین، نونیل فنول NP با نمونه‌هایی از کربن برپایه گرانول (GAC) که شامل- (Coal-based Calgon F400) (coconut-based PICTACTIF TE, based PICA)) هستند را مطالعه کردند. در این مطالعه غلظت اولیه مورد استفاده برای ایزوترم‌های تجربی کمتر از (10-800 ng/L) در نظر گرفته شد. داده‌های تعادلی برای هر دو روش خطی و غیرخطی در فرم‌های فروندلیچ و لانگمویر و لانگمویر-فروندلیچ (L-F) بررسی شد که متد لانگمویر-فروندلیچ (L-F) بهترین تطابق با داده‌ها را داشت. بعد از آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که ظرفیت جذب هر دو نمونه کربن F400 و PICA برای نونیل فنول نسبت به ناپروکسن و کاربامازپین در غلظت‌های پایین خیلی کمتر است. ولی در کل PICA نشان داد ظرفیت جذب بیشتری

نسبت به F400 دارد. با این حال به طور مؤثر هر دو جاذب قادر به حذف هر سه ترکیب در غلظت‌های آزمایش شده بودند.

(Putra et al. (2009 جذب آموکسی سیلین<sup>۱۴</sup> با AC و بنتونیت را مورد مطالعه قرار دادند که به درصد حذف ۹۵٪ AC و ۸۸٪ بنتونیت که درصد حذف بالایی است، رسیدند. (Moussavi et al. (2013 نشان داد حذف آموکسی سیلین با  $\text{NH}_4\text{Cl}$  شامل AC در pH برابر با ۶ و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به ۹۹٪ رسید. با استفاده از AC تولید شده از چوب مشخص شد که حذف انواع آنتی‌بیوتیک از جمله آموکسی سیلین، سفالکسین<sup>۱۵</sup>، سفالوسپورین<sup>۱۶</sup>، پنی سیلین<sup>۱۷</sup>، تتراسایکلین<sup>۱۸</sup> بین ۷۴٪ تا ۸۸٪ تغییر می‌کند که در جدول ۲ گزارش شده است (Pouretedal and Sadegh, 2014).

(Stackelberg et al. (2007 حذف ۱۰۰٪ سولفامتوکسازول<sup>۱۹</sup> و دیگر مواد دارویی را گزارش کردند. علاوه بر آن استفاده از NaOH-AC حاوی AC تولید شده از پوسته فندق با ظرفیت جذب بالا و مساحت سطح بالا  $1542 \text{ m}^2/\text{g}$  برای حذف تتراسایکلین از محلول آبی را گزارش کردند (Martins et al., 2015). جدول ۳ حذف انواع آنتی‌بیوتیک‌ها توسط جاذب کربن فعال را گزارش می‌کند.

جدول ۳- خلاصه حذف آنتی‌بیوتیک‌ها توسط جاذب کربن فعال در تصفیه آب

| آنتی‌بیوتیک/ ترکیبات            | غلظت آلاینده (mg/L) | شرایط عملیاتی                         | میزان حذف | منابع                        |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------|------------------------------|
| بتالاکتام‌ها/ آموکسی سیلین      | ۳۰۰                 | pH ۲-۷, ۰/۱-۳/۵ g AC, ۳۰ °C           | ۹۵        | Putra et al. (2009)          |
| بتالاکتام‌ها/ آموکسی سیلین      | ۵۰                  | ۴ g/L PAC, pH ۶, ۵۰ °C                | ۹۹        | Moussavi et al. (2013)       |
| بتالاکتام‌ها/ آموکسی سیلین      | ۲۰                  | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت  | ۷۴-۸۸     | Pouretedal and Sadegh (2014) |
| سفالکسین                        | ۲۰                  | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت  | ۷۴-۸۸     | Pouretedal and Sadegh (2014) |
| ایمیدازول‌ها/ نیتروایمیدازول‌ها | ۱۰۰-۶۰۰             | pH ۲-۱۱, ۲۵ °C                        |           | Rivera-Utrilla et al. (2009) |
| دیمتریدازول<br>مترونیدازول      |                     | ۰-۰/۱ M NaCl, 1 g/L AC                |           | Rivera-Utrilla et al. (2009) |
| رونیدازول<br>تینیدازول          | ۱۵۰                 | pH ۷, ۱-۰/۲ g/L AC, ۲۵ °C             | ۹۰        | Méndez-Díaz et al. (2010)    |
| پنی‌سیلین‌ها/ پنی سیلین G       | ۲۰                  | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت  | ۷۴-۸۸     | Pouretedal and Sadegh (2014) |
| پنی‌سیلین‌ها/ پنی سیلین G       | ۵۰                  | pH ۶, ۲۵ °C, زمان ۴۸-۷۲ h             |           | Ania et al. (2011)           |
| کنوکسالین/ کاربادوکس            | ۵۰                  | pH ۷, ۰/۶۶ g PAC, ۴h زمان             | >۹۰       | Adams et al. (2002)          |
| سولفونامیدها/ سولفامرازین       | ۵۰                  | pH ۷, ۰/۶۶ g PAC, ۴h زمان             | >۹۰       | Adams et al. (2002)          |
| سولفامتوکسازول                  | ۵۰                  | ۱/۵-۳ min زمان                        |           | Stackelberg et al. (2007)    |
| سیپروفلوکساسین                  | ۲۰-۴۰               | pH ۵/۵, ۰/۰۱۲۵ g GAC, ۲۲ °C: ناپیوسته | ۱۰۰       | Genç and Dogan (2015)        |
| تتراسایکلین                     | ۵۰, ۱۰۰, ۳۰۰        | pH ۳-۱۱, ۱۲۰ h زمان, ناپیوسته         | ۸۷        | Torres-Pérez et al. (2012)   |
| تتراسایکلین                     | ۲۰                  | pH ۲, ۴۵ °C, ۰/۴ g/L AC, زمان ۸ ساعت  | ۷۴-۸۸     | Pouretedal and Sadegh (2014) |
| تتراسایکلین                     | ۶۰۰                 | pH ۳-۱۰                               |           | Martins et al. (2015)        |
| تریمتوپریم                      | ۵۰                  | pH ۷, ۰/۶۶ g PAC, ۴ h زمان            | >۹۰       | Adams et al. (2002)          |
| تریمتوپریم                      | ۵۰                  | pH ۴-۱۰, ۲۵ °C, ۰-۳ g/L AC            | >۹۰       | Kim et al. (2010)            |

سولفات) به عنوان واسطه‌گر در جذب آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین با کربن فعال به دست آمده از ماده ارزان قیمت زغال بلوط پرداختند. نتایج نشان داد pH محلول در محدوده ۳-۹ تأثیر قابل توجهی در

(Takdastan et al. (2016 به مطالعه اثر پارامترهای مؤثر از جمله pH محلول، مقدار جاذب و کاتیون‌های معدنی (لیتیم، پتاسیم، منیزیم، نیکل و آهن) و آنیون‌های (نیترات و



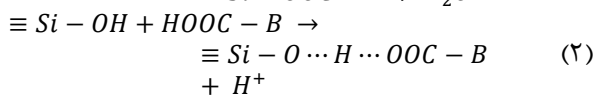
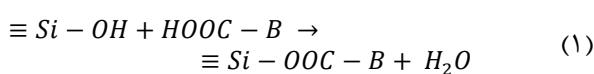
میزان حذف تتراسایکلین نداشته و فرآیند جذب تتراسایکلین بر روی جاذب با سرعت بالا انجام شده و بعد از ۱۲۰ دقیقه سیستم به تعادل رسیده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که حضور کاتیون‌ها و آنیون‌ها در فرآیند جذب مؤثر بوده و باعث کاهش جذب تتراسایکلین بر روی جاذب شده و این کاهش در راندمان حذف، در حضور آهن و نیکل بسیار قابل توجه بوده است. در بررسی اثر مقدار جاذب، مقادیر در محدوده (۳/۵-۲/۵) گرم بر لیتر برای غلظت‌های اولیه تتراسایکلین ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شده که نتایج نشان داد با افزایش مقادیر جاذب، راندمان حذف تتراسایکلین در هر سه غلظت اشاره شده افزایش یافت. این افزایش راندمان به دلیل افزایش سطوح در دسترس و فعال برای جذب تتراسایکلین بوده است.

Ania et al. (2007) احیا کردن کربن فعال مورد استفاده در جذب مواد دارویی با استفاده از روش مایکروویو را مطالعه کردند. در این تحقیق، بعد از جذب سالیسیک اسید، کربن فعال در دماهای ۸۵۰ و ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ دقیقه در حضور گازهای بی‌اثر نیتروژن و کربن دی‌اکسید احیا شد. آزمایش‌ها نشان داد، بازده احیا به شدت به شرایط عملیاتی وابسته بوده و بازده‌های بالا در دماهای بالا (بیش از ۹۵٪ بعد از شش چرخه) در حضور دی‌اکسید کربن به دست آمده است. حضور گاز-دی‌اکسید کربن در طی فرآیند احیا باعث افزایش میزان واجذب سالیسیک اسید شده و از طرفی سالیسیک اسید در دماهای بالا در فاز گازی تجزیه می‌شود و روی شبکه‌های متخلخل رسوب تشکیل نمی‌شود. این موضوع منجر به افزایش طول عمر ماتریس‌های کربنی می‌شود. مطالعات مورفولوژی در این تحقیق نشان داد که روش مایکروویو برای احیا کردن کربن فعال باعث افزایش میزان تخلخل در نتیجه باعث افزایش ظرفیت جذب آن شده ولی تامین دماهای خیلی بالا محدودیت این روش محسوب می‌شود.

## ۵-۲- سیلیکاژل

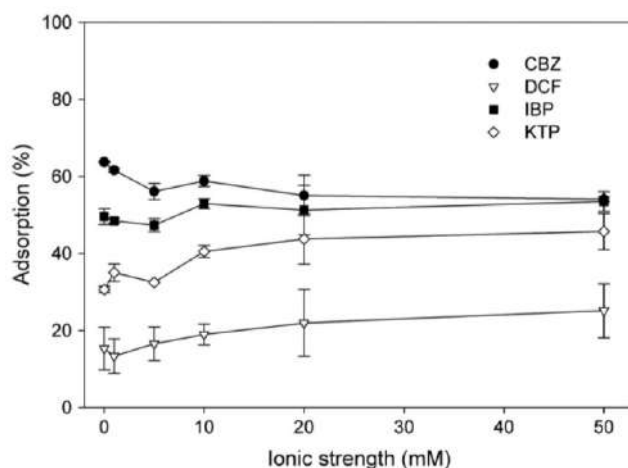
این ماده برای اولین بار در جنگ جهانی اول برای جذب سطحی بخار آب و گاز موجود درون ماسک گاز اشک‌آور استفاده شده است. سیلیکاژل یک بسپار سه‌بعدی است که از واحدهای چهاروجهی دی‌اکسید سیلیسیم تشکیل شده است. این ماده یک ماده متخلخل است. از کاربردهای سیلیکاژل، می‌توان به کاربرد آن به عنوان یک کاتالیزگر، ماده خشک‌کن و غیره اشاره کرد. سیلیکاژل جاذب خوبی برای آب، الکل، فنول‌ها، آمین‌ها و غیره است. ظرفیت جذب‌کنندگی سیلیکاژل در دماهای پایین بیشتر از آلومینا و زئولیت است. با این وجود اگر میزان رطوبت کم باشد، نسبت به زئولیت خاصیت جذب‌کنندگی کمتری نشان می‌دهد. در مقابل، احیای سیلیکاژل راحت‌تر است و با حرارت دادن آن تا دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد ممکن می‌شود. این در حالی است که

زئولیت باید تا حدود ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شود. با توجه به این خواص، سیلیکاژل در محیط‌هایی که دما پایین و ظرفیت جذب‌کنندگی زیادی نیاز است، استفاده می‌شود (Sarker et al., 2005; Britton, 2007; Thomas and Crittenden, 1998). Bui and Choi (2009) جذب سطحی پنج آلایند دارویی از جمله کاربامازپین، کلوفیبریک اسید، دیکلوفناک، ایبوپروفن و کتوپروفن را بر روی جاذب مزومتخلخل سیلیکا SBA-15 بررسی کردند. در محیط اسیدی (pH ۵-۳) راندمان حذف کاربامازپین ۸۵/۲٪، حذف دیکلوفناک ۸۸/۳٪، حذف ایبوپروفن ۹۳٪، حذف کتوپروفن ۹۴/۳٪ و کلوفیبریک اسید ۴۹٪ به دست آمد. در بررسی سینتیک جذب و ایزوترم جذب، فرآیند از مدل سینتیکی شبه درجه دوم و ایزوترم فرندلیچ پیروی کرده است. در این فرآیند جذب، اندرکنش جاذب و جذب‌شونده از نوع اثر هیدروفیلیک بوده و واجذب ضعیف آلایند‌های دارویی از سطح جاذب سیلیکا محیط قلیایی نشان می‌دهد این ترکیبات با اندرکنشی قوی جذب شده‌اند. استحکام اندرکنش‌های بین مواد دارویی و سطح سیلیکا متغیر و وابسته به سطوح فعال (گروه‌های سیلانول) بوده و پیوند قوی بین مواد دارویی جذب شده و جاذب به علت پیوندهای هیدروژنی است. اندرکنش بین مواد آلی که دارای گروه عاملی کربوکسیلیک هستند و گروه سیانول موجود در سطح سیلیکا به صورت واکنش‌های (۱) و (۲) تفسیر می‌شود.

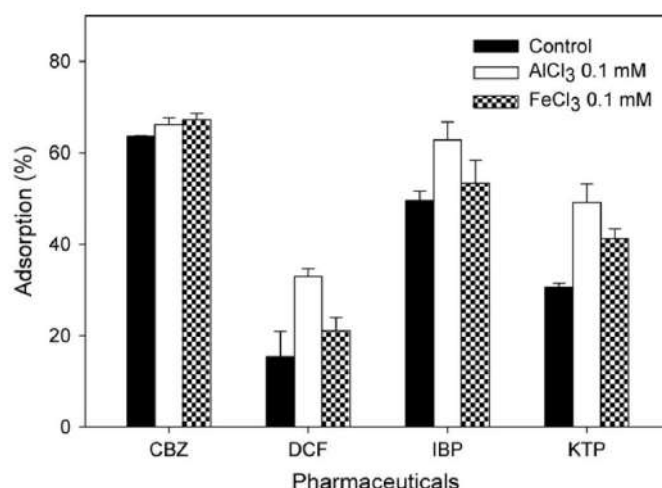


که B: قسمت باقیمانده گروه اسیدی است. در حالت کلی احتمال وقوع واکنش (۲) (همراه با پیوند هیدروژنی) بیشتر از واکنش (۱) (واکنش تبادل لیگند) است (Bui and Choi, 2009).

Bui and Choi (2010) پارامتر اثر قدرت یون‌های مختلف و وجود برخی از آنیون‌های مختلف  $Mg^{2+}$  و  $Ca^{2+}$  و کاتیون‌های سه‌گانه  $Fe^{3+}$  و  $Al^{3+}$  و ماده طبیعی آلی NOM<sup>۲۰</sup> را در مورد داروهای کار با مازپین، دیکلوفناک، ایبوپروفن، کتوپروفن و جاذب ماده سیلیسی متخلخل بررسی کردند. آزمایش‌ها نشان داد که در یک pH مشخص، جذب بیشتر تحت تأثیر قدرت یونی کاتیون‌های سه‌گانه و خواص دارویی است. با توجه به شکل ۱ افزایش قدرت یونی منجر به افزایش جذب داروی کتوپروفن ولی کاهش جذب کاربامازپین شد. جذب داروی کاربامازپین تحت تأثیر کاتیون‌های دوگانه و سه‌گانه نیست، در حالی که جذب دیکلوفناک تنها با حضور  $Al^{3+}$  تأثیر می‌پذیرد. با توجه به شکل ۲ کاتیون‌های دوگانه در غلظت‌های پایین می‌تواند تا حد زیادی جذب داروهای ایبوپروفن و کتوپروفن را افزایش دهد در حالی که NOM جذب داروی دیکلوفناک را کاهش می‌دهد.



شکل ۱- اثر قدرت یونی بر جذب سطحی داروها: کاربامازپین، دیکلوفناک، ایبوپروفن و کتوپروفن بر روی سیلیکاژل



شکل ۲- جذب سطحی داروهای: کاربامازپین، دیکلوفناک، ایبوپروفن و کتوپروفن بر روی سیلیکاژل در حضور  $FeCl_3$ ,  $AlCl_3$

### ۵-۳- رس

رس‌ها به‌طور سنتی در دسته سیلیکات‌ها دسته‌بندی شده‌اند، اما چون فرمول شیمیایی آن‌ها دارای اکسیژن بیشتر از سیلیسیم، آلومینیوم یا منیزیم است، پس رس‌ها به‌عنوان (هیدرو) اکسیدهای سیلیکون، آلومینیوم یا منیزیم در نظر گرفته می‌شوند. جدول ۴ طبقه‌بندی رس‌ها را گزارش می‌کند.

این نتایج نشان می‌دهد که قدرت یونی کاتیون‌های دوگانه و سه‌گانه و NOM عوامل مهمی برای جذب هستند و تعیین‌کننده سرنوشت نهایی داروها در محیط آبی محسوب می‌شوند (Martucci et al., 2012).

جدول ۴- طبقه‌بندی رس‌ها

| نام رایج رس      | منشا                           | جزء اصلی کانی رس                          |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| Ball clay        | رسوبی                          | کائولینیت                                 |
| Bentonite        | سنگ‌های آتشفشانی دگرگونی شده   | مونتموریلونیت                             |
| Bleaching earth  | بنتونیت فعال شده توسط اسید     | مونتموریلونیت تجزیه شده                   |
| Common clay      | رسوبی یا فرسایشی               | گوناگون، اغلب اپلیت/ اسمکتیت              |
| China clay       | هیدروترمال                     | کائولینیت                                 |
| Fire clay        | رسوبی                          | کائولینیت                                 |
| Flint clay       | رسوبی با دیاژنز بعدی           | کائولینیت                                 |
| Fuller's earth   | رسوبی یا هیدروترمال            | مونتموریلونیت، گاهی پالی گورسکیت، سپیولیت |
| Primary kaolin   | رسوبی یا با دگرگونی هیدروترمال | کائولینیت                                 |
| Secondary kaolin | رسوبی                          | کائولینیت                                 |
| Refractory clay  | رسوبی                          | کائولینیت                                 |
| Laponite         | سنتزی                          | اسمکتیت                                   |
| Nanoclay         |                                | عمدتاً مونتموریلونیت                      |

Dordio et al. (2017) مکانیسم جذب سطحی سه نوع آلاینده دارویی گمفیروزیل، مگنامیک اسید و ناپروکسن بر روی دو نوع جاذب رسی لایه‌ای شکل ورمیکولیت و  $^{21}\text{LECA}$  بررسی کردند. نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی مولکولی نشان داده است که این جاذب‌ها تخلخل قابل توجهی به دلیل فضای خالی بین ذره‌ای و ساختار لایه‌ای بین صفحات دارند. این لایه‌ها همچنین حاوی کاتیون‌های فلزات منیزیم، آلومینیم و سیلیسیم بوده و جذب شیمیایی بین جاذب‌ها و آلاینده‌ها به علت اندرکنش‌های بین کاتیون مثبت جاذب‌ها و آنیون گروه‌های عاملی کربوکسیلیک اسید مواد دارویی است. در این جذب شیمیایی، پیوند دوگانه گروه کربوکسیلیک اسید شکسته و با کاتیون فلزی جاذب پیوند قوی تشکیل داده و از طرفی، هیدروژن موجود در قسمت OH پیوند هیدروژنی با اکسیژن موجود در ساختار جاذب تشکیل می‌دهد. Liu et al. (2011) جذب تتراسایکلین (TC) و کلرامفنیکل (CAP) و سولفامتوکسازول (SMX) با رس معدنی بررسی کردند که فقط تتراسایکلین جذب قابل توجهی به مونت‌موریلونیت و رکتوریت نشان داد، در حالی که جذب کلرامفنیکل (CAP) و

سولفامتوکسازول (SMX) با مونت‌موریلونیت و رکتوریت و کائولینت کمتر دیده شد. ثابت تعادل جذب (L/Kg) جذب تتراسایکلین با مونت‌موریلونیت به ترتیب  $332/108$  در pH مساوی با  $3/7$  به دست آمد. ثابت سرعت سینتیک ( $\text{min}^{-1}$ ) برای حذف SMX، CAP به ترتیب زیر نتیجه شد (Bui and Choi, 2010):

کائولینت > مونت‌موریلونیت طبیعی > رکتوریت > مونت-موریلونیت KSF

Genç et al. (2013) جذب سیپروفلوکساسین با جاذب بنتونیت از محلول آبی با زمان تماس  $30 \text{ min}$  و pH برابر با  $4/5$ ، بازده  $99\%$  را گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر (Genç and Dogan, 2015) برای حذف سیپروفلوکساسین از جاذب‌های بنتونیت، AC، زئولیت استفاده شد که بنتونیت ظرفیت جذب بالایی را نشان داد. Putra et al. (2009) حذف آموکسی سیلین با بنتونیت و AC را بررسی کردند که بازده بنتونیت  $88\%$  و AC  $95\%$  گزارش شد (جدول ۵). نتیجه‌ای که به دست آمد این است هیچ جاذبی قادر به حذف  $100\%$  آموکسی سیلین نیست.

جدول ۵- خلاصه درصد حذف آنتی‌بیوتیک‌ها با رس معدنی (بنتونیت) تحت شرایط اعمال شده بر روی آب آلوده

| آنتی‌بیوتیک‌ها / اجزا       | غلظت آلاینده (mg/L) | شرایط عملیاتی                                        | حذف (%)  | منابع                 |
|-----------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|----------|-----------------------|
| بتالاکتام‌ها / آموکسی سیلین | 300                 | pH 2-7، جاذب 0.1-3/5g، $30^\circ\text{C}$            | 88<br>99 | Putra et al. (2009)   |
| فلورو / سیپروفلوکساسین      | 50-500              | بنتونیت 2/5 g/l، pH 4/5، زمان تماس 30 min، ناپیوسته  |          | Genç et al. (2013)    |
| (CIP)                       | 20-40               | جاذب 0.125 g، pH <5/5، $22^\circ\text{C}$ ، ناپیوسته | 87-91    | Genç and Dogan (2015) |

به کار برده می‌شوند (Motsi et al., 2009).

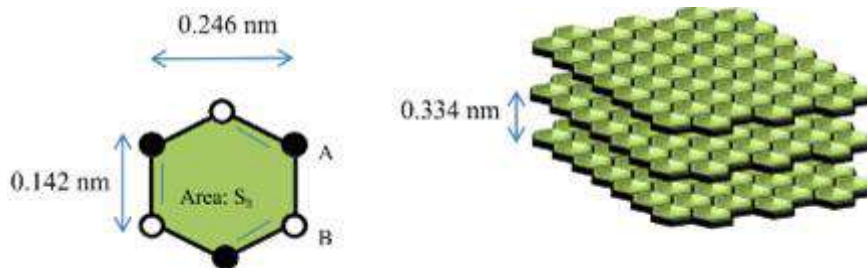
Martucci et al. (2012) کاربرد عملی برخی از جاذب‌های دارویی را مطالعه کردند. در این مطالعه جاذب مورد استفاده زئولیت هیدروفوبیک (ZSM-5)، MOR (Mordenite)، Y و آلاینده‌های دارویی آریترومیسین<sup>۲۲</sup>، کاربامازپین<sup>۲۳</sup>، لووفلوکساسین<sup>۲۴</sup> هستند. ایزوترم نشان داد هر سه داروی فوق به مقدار قابل توجهی در Y جذب جذب شده‌اند. به منظور تست توانایی زئولیت اورگانوفیلیک در حذف داروها، جذب آریترومیسین، کاربامازپین، لووفلوکساسین بر روی زئولیت Y از نمونه‌های جمع‌آوری شده فاضلاب حاصل از کارخانه‌ای شمال ایتالیا انجام شد. این داروها به طور کامل با زئولیت Y حذف شدند (حذف  $100\%$ ) که اثبات شد این ماده مناسب برای حذف داروهای ذکر شده از پساب‌ها است (Jung et al., 2013). Alidadi et al. (2017) نشان دادند که حداکثر راندمان حذف آنتی‌بیوتیک سیپروفلوکساسین در غلظت اولیه ۵ میلی گرم بر لیتر، pH برابر با ۷، مقدار جاذب ۲ گرم و زمان واکنش  $37/5$  دقیقه،  $97/5\%$  درصد است.

#### ۴-۵- زئولیت

لفظ زئولیت از ترکیب دو واژه زئو (به معنی جوش) و لیتوس (سنگ) تشکیل شده است. زئولیت‌ها از جاذب‌های میکروروژن محسوب می‌شوند. ساختار زئولیت  $\text{SiO}_4$  و  $\text{AlO}_4$  (آلومینا سیلیکات) است و نوعی پلیمر معدنی محسوب می‌شود. شکل زئولیت‌ها از واحدهای  $\text{TO}_4$  تتراهدرال تشکیل یافته است. زئولیت‌ها به دلیل خاصیت تبادل یونی که دارند به عنوان تصفیه کننده آب استفاده می‌شوند، برج انباشته از زئولیت برای نرم کردن آب به کار گرفته می‌شود (Worch, 2012).

زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌هایی با نسبت آلومینیوم به سیلیکات (Si/Al) یک تا بی نهایت هستند. ۴۰ نوع زئولیت طبیعی و بیش از ۱۰۰ نوع زئولیت مصنوعی وجود دارد که به عنوان زئولیت‌های انتخابی در نظر گرفته می‌شوند. مواد زئولیت پایه بسیار متنوع دارند و استفاده عمده آن‌ها شامل تولید شوینده، رزین‌های تبادل یونی، استفاده‌های کاتالیستی در صنعت نفت، فرآیند جداسازی (به عنوان مثال غربال مولکولی) بوده و به عنوان یک جاذب برای آب، دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرند. زئولیت‌های گوناگون برای حذف آلاینده‌ها نیز

اصطلاح گرافن برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ معرفی شد که از ترکیب کلمه گرافیت و یک پسوند (ان) که به هیدروکربن‌های



شکل ۳- پیکربندی شش‌ضلعی (لانه‌زنبوری) اتم‌های کربن با هیبرید  $sp^2$

بلورهای نازک گرافیتی می‌نامند (Geim and Novoselov, 2007).

جذب سطحی مواد آلی از جمله مواد دارویی بر روی نانوصفحات گرافنی به سیستم  $\pi$ - الکترون مولکول مواد دارویی و  $\pi$ - الکترون حلقه آروماتیک گرافن بستگی دارد. در حالت کلی پنج اندرکنش بین مولکول‌های جاذب و جذب شونده از جمله اثرات هیدروفوبیک، پیوند  $\pi$ - $\pi$ ، پیوندهای هیدروژنی، نیروهای کوالانسی و الکترواستاتیکی وجود دارد. بسیاری از مواد دارویی از جمله تتراسایکلین، ایبوپروفن، دیکلوفناک، آسپرین و غیره از یک یا چند حلقه آروماتیک تشکیل می‌شوند که دارای سیستم  $\pi$ - الکترون هستند. تحقیقات نشان می‌دهد که جاذبه اصلی بین مولکولی مواد آلی و جاذب‌های گرافنی می‌تواند پیوند  $\pi$ - $\pi$  باشد. علاوه بر این پیوند، نیروهای الکترواستاتیکی و پیوندهای هیدروژنی نقش مهمی در مکانیسم جذب سطحی دارند (Kyzas et al., 2015; Wang et al., 2012).

(Al-Khateeb et al., 2014) به بررسی حذف آسپرین<sup>۲۵</sup> (ASA)، استامینوفن<sup>۲۶</sup> (APAP) و کافئین (CAF)<sup>۲۷</sup> با جذب بر روی نانوصفحات گرافنی (GNP) پرداختند. مشخصات (GNP) نشان می‌دهد یک ساختار شفاف و لایه‌دار و سطح صاف ولی تخلخل زیاد و مساحت سطح ویژه  $635/2 \text{ m}^2/\text{g}$  دارد. در این مطالعه اثرات زمان تماس جاذب و جذب شونده و جرم و pH محلول و قدرت یونی و دما مطالعه و بهینه شد. مطالعه سینتیک جذب با معادله شبه درجه اول و شبه درج دوم مطالعه شد که نتیجه نشان داد داده‌های تجربی با معادله شبه درجه دوم سازگاری دارند. همچنین (GNP) در حذف آسپرین (ASA)، استامینوفن (APAP) و کافئین (CAF) از نمونه‌های زیستی واقعی بازده بسیار خوبی نشان داد (Kyzas et al., 2013).

#### ۵-۶- جاذب‌های پلیمری

جاذب‌های پلیمری در مقایسه با کربن فعال و یا جاذب‌های

گرافن جدیدترین عضو خانواده مواد کربنی گرافیتی چندبعدی است. این خانواده شامل فولرین به‌عنوان نانوماده صفر بعدی (0D)، نانولوله‌های کربنی به‌عنوان نانوماده یک‌بعدی (1D) و گرافیت به‌عنوان یک ماده سه‌بعدی (3D) است (Geim and Novoselov, 2007). صفحات گرافن با کنارهم قرارگرفتن اتم‌های کربن تشکیل می‌شوند. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن با سه اتم کربن دیگر پیوند داده است. این سه پیوند در یک صفحه قرار دارند و زوایای بین آنها با یکدیگر مساوی و برابر با  $120^\circ$  است. در این حالت، اتم‌های کربن در وضعیتی قرار می‌گیرند که شبکه‌ای از شش‌ضلعی‌های منتظم را در حالت ایده‌آل ایجاد می‌کنند. طول پیوند کربن-کربن در گرافن در حدود  $0.142 \text{ nm}$  نانومتر است. در یک صفحه گرافن، هر اتم کربن یک اوربیتال در خارج از صفحه دارد. این اوربیتال مکان مناسبی برای پیوند با برخی گروه‌های عاملی و همچنین اتم‌های هیدروژن است.

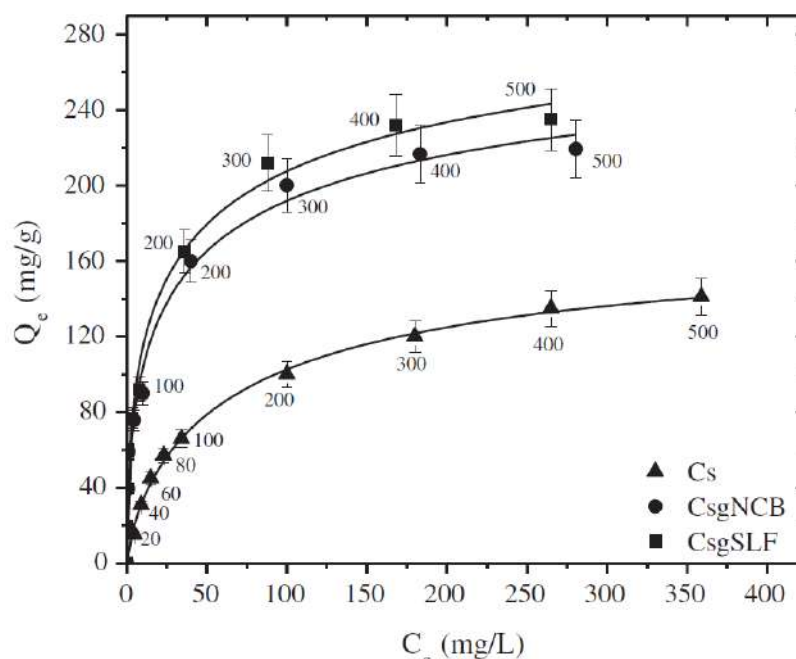
در صفحه گرافن پیوند بین اتم‌های کربن کووالانسی بوده و بسیار محکم است. استحکام بسیار زیاد گرافن نیز ناشی از همین امر است. گرافن تک‌لایه یک ساختار زیربنایی برای ساخت ساختارهای کربنی است که اگر بر روی هم قرار بگیرند توده سه‌بعدی گرافیت را تشکیل می‌دهند. برهم‌کنش بین این صفحات از نوع واندروالسی و با فاصله بین صفحه‌ای  $0.344 \text{ nm}$  نانومتر است. اگر تک‌لایه گرافنی حول محوری لوله شود، نانولوله کربنی شبه یک‌بعدی و اگر به‌صورت کروی پیچانده شود فلورین شبه صفر بعدی را تشکیل می‌دهد. گرافیت نیز که یک ماده کربنی پرمصرف و شناخته شده است که از روی هم قرار گرفتن لایه‌های گرافن تشکیل می‌شود. گرافیت بسیار نرم است آنچه لایه‌های گرافن را روی یکدیگر نگه می‌دارد، پیوندهای واندروالسی بین آنها است. این پیوند بسیار ضعیف بوده و لایه‌های گرافن به‌راحتی می‌توانند روی هم بلغزند و به‌همین دلیل گرافیت (نوک مداد سیاه) نرم است. لایه‌های گرافنی از ۳ تا ۱۰ لایه را به‌نام گرافن کم لایه و بین ۱۰ تا ۳۰ لایه را به نام گرافن چندلایه، گرافن ضخیم و یا نانو



مزومتخلخل ظرفیت جذب کمتری دارند، اما مزایای خاصی نیز داشته و مواد پلیمری کاربرد بالقوه‌ای دارند. همچنین به دلیل مساحت سطح بزرگ و قدرت مکانیکی بالا جایگزین مناسبی برای کربن فعال در تصفیه آب است (Pan et al., 2009). جاذب‌های پلیمری دارای قدرت مکانیکی بالا و توزیع سائز حفرات یکنواخت بوده و توانایی احیای راحت و آسانی در شرایط متعارف دارند و همچنین مقاوم در برابر فرسایش هستند (Xu et al., 2003). جاذب‌های پلیمری می‌توانند به صورت یونی یا هیدروفوبیک (آب‌گریز) اصلاح شده و مناسب برای جذب آلاینده‌های دارویی قطبی و غیرقطبی از محلول‌های آبی شوند (Robberson et al., 2006; Scordino et al., 2003).

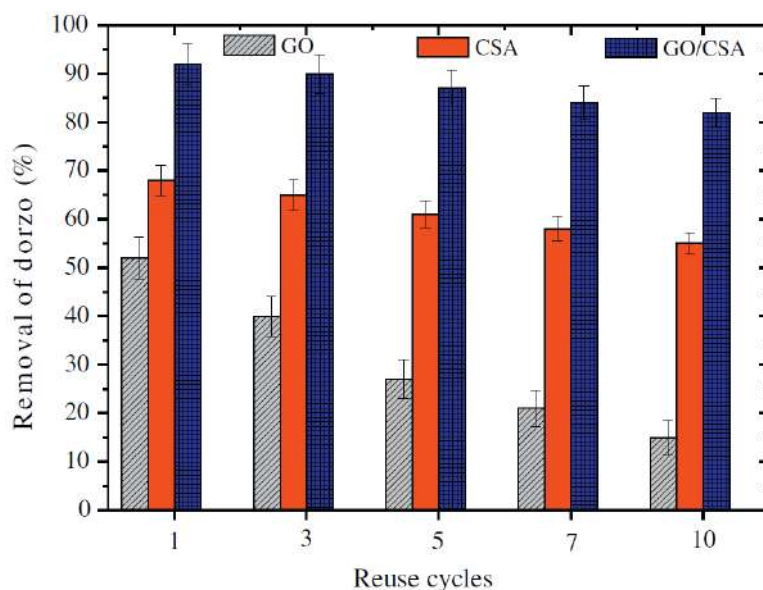
طبقه‌بندی اولیه جاذب‌های پلیمری برپایه خواص بار از جمله خنثی، یونی، آب‌گریز است، و از طرفی تطابق بار جاذب و جذب‌شونده برای جذب موثر الزامی است (Chaubal et al., 1995). اندازه حفره‌ها و مساحت سطح جاذب اهمیت قابل توجهی در این نوع جاذب‌ها دارد. طبقه‌بندی ثانویه‌ی جاذب‌های پلیمری بر پایه ذات (ماهیت) پلیمریزاسیون از جمله آروماتیک<sup>۲۸</sup> و آلیفاتیک<sup>۲۹</sup> است. قابلیت جذب یک جاذب پلیمری بستگی به خواص سطح و ذات شیمیایی آن دارد. ساختار حلقه مانند جاذب‌ها به عنوان مثال، قسمت حلقه‌های آروماتیک در آن‌ها میل بیشتری به داروها داشته و نقاط یونیزه شده آن‌ها میل کمتری به داروها از خود نشان می‌دهند. عکس این قضیه، در مورد جاذب‌های نوع آلیفاتیک صادق است. به عنوان مثال برای سفالوسپرین<sup>۳۰</sup> ۱۷ بار بیشتر جذب جاذب پلیمری XAD-16 با ساختار حلقه‌ای آروماتیک در مقایسه با جاذب پلیمری گزارش شده است (Chaubal et al., 1995). به طور مشابه مقدار بیشتر پنی‌سیلین V به جاذب آروماتیک Amberlite XAD-16 نسبت

به جاذب استری Amberlite XAD-7 جذب می‌شود. Lee et al. (1997) تقریباً جذب ۹۹۰ mg/g سفالوسپرین C بر روی رزین Amberlite XAD-16 گزارش کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شدت انتقال جرم خارجی و کنترل نفوذ داخل ذره، مکانیزم‌های جذب کلی در بستر ثابت رزین XAD-16 هستند. تطابق مشخصات پلیمری رزین و ویژگی ترکیبات دارویی برای جذب موثر الزامی است و دو فاکتور مهم شامل: (۱) ساختار آلیفاتیک و یا آروماتیک داروها و (۲) ذات خنثی یا یونی و یا یون-دوقطبی داروها بوده و تشابه ذات جاذب و جذب شونده برای جذب موثر بسیار مهم است. داروهای آب‌گریز تطابق بهتری با پلیمرهای خنثی و داروهای یونیزه تطابق بهتری با پلیمرهای یونی دارند. به طور مشابه داروهای دارای حلقه‌های آروماتیک تطابق بهتری با پلیمرهای آروماتیک دارند (Robberson et al., 2006). Ramos et al. (2004) متوجه جذب ۲۵۳ mg/g سفالوسپرین C با پلیمر غیر یونی XAD-16 در غلظت تعادلی ۱ g/L و تقریباً جذب ۹۹۰ mg/g از آن در غلظت تعادلی ۳ g/L شدند. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که رزین XAD-16 با عبور از یک راکتور بستر ثابت متانولی قابلیت بازسازی دارد. (Kyzas et al., 2013) استفاده از جاذب پلیمری را بررسی کردند. با سنتز دو کیتوزان اصلاح شده اتصال عرضی گلووتارالدئید با سولفونات (CsSLF) و گروه‌های N-(2- Carboxybenzyl) که مخفف به (CsNCB) در حذف داروهای دی‌هیدروکلراید (PRM) استفاده کردند. شکل ۴ نشان می‌دهد زمانی که غلظت اولیه PRM افزایش می‌یابد، میزان جذب دارو نیز افزایش می‌یابد. ظرفیت جذب به این شرح CsSLF > CsNCB > Cs که به ترتیب (۳۳۷، ۳۰۷، ۱۸۱) (mg/g) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نتیجه شد.



شکل ۴- اثر غلظت اولیه PRM بر روی جذب سطحی CsSLF، CsNCB، Cs در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

Kyzas et al. (2013) سنتز یک اکسید گرافیت (GO) پلی آکریلیک اسید (CSA) و نانوکامپوزیت (GO/CSA) را مورد مطالعه قرار دادند. شکل ۵ پتانسیل استفاده مجدد از جاذب‌های GO, CSA, GO/CSA در حذف دورزولامید را نشان



شکل ۵- چرخه بازیابی GO, CSA و GO/CSA برای جذب سطحی دورزولامید

می‌دهد که GO با از دست دادن ۲۵٪ در ۱۰ دوره، چرخه احیای امیدوارکننده‌ای از خود نشان داد و جاذب CSA با کاهش ۱۳٪ بازسازی بهتری داشت در حالی که کامپوزیت در طی یک رفتار متعادل در ۱۰ دوره ۱۰٪ از دست داد.

styrene(90%)(Mt-PVP-co-S90%) - موریلونیت شدند. ۹۰-۹۹ درصد از آترازین در غلظت‌های ppm (۲۸-۰/۵) در مدت زمان ۲۰-۴۰ min حذف شد. در یک مطالعه بستر ثابت با استفاده از همان جاذب CPN حذف ۹۶-۹۳٪ از آترازین در غلظت ppm ۸۰۰ گزارش شد. این درحالی است که فیلتر کربن فعال گرانیولی تنها قادر به حذف ۸۳-۷۵٪ بود. نانوکامپوزیت (Mt-PVP-co-S90%) بیشترین مقدار آترازین را تا ۳ µg/L (استاندارد USEPA) از محلول‌های آبی کاهش می‌دهد حتی از محلول‌هایی با غلظت اولیه خیلی پایین ۷ µg/L. در مقایسه با آن و تحت شرایط یکسان، فیلترهای GAC به‌عنوان جاذب موثر جدید برای حذف آترازین از آب طبقه‌بندی شده‌اند.

Zhu et al. (2011) جاذب نانوکامپوزیت CPN جدیدی از یک پلیمر جدید پلیمر/سورفکتانت اصلاح شده مونت‌موریلونیت برای حذف فنول از آب استفاده کردند. این CPN کارایی بهتری برای حذف فنول در مقایسه با مونت‌موریلونیت اصلاح شده با سورفکتانت خالص دارد. نتایج نشان می‌دهد CPN جاذب کم‌هزینه برای حذف فنول از محلول‌های آبی است.

#### ۵-۸- ضایعات کشاورزی (BC<sup>۳۴</sup>)ها

محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات که حاوی سلولز هستند، ظرفیت بالقوه‌ای برای جذب آلاینده‌های مختلف از خود نشان می‌دهند. اجزای اصلی پسماندهای کشاورزی شامل سلولز، لیگنین، لیپیدها، پروتئین‌ها، قندهای ساده، آب، هیدروکربن‌ها و نشاسته هستند. از خصوصیات بارز پسماندهای کشاورزی

#### ۵-۷- نانوکامپوزیت پلیمر-رس <sup>۳۱</sup>CPN

کامپوزیت ماده‌ای است که از دو فاز ماتریس و پراکنده کننده تشکیل شده است و از فاز دوم حداکثر به‌اندازه ۵ درصد استفاده شده است. در صورتی که فاز پراکنده در کامپوزیت، نانوذره باشد، ماده ترکیبی نانوکامپوزیت خواهد بود. انواع نانوکامپوزیت‌ها شامل، نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری، نانوکامپوزیت‌های پایه سرامیکی و نانوکامپوزیت‌های پایه فلزی هستند.

#### ۵-۷-۱- نانوکامپوزیت‌های نانو ذره‌ای

در این نوع از کامپوزیت‌ها، از نانوذراتی همچون (خاک رس، فلزات و غیره) به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌شود. در نانوکامپوزیت‌های پلیمری، از مقادیر کمی (کمتر از ۱۰ درصد وزنی) از ذرات نانومتری استفاده می‌شود. این ذرات علاوه بر افزایش استحکام پلیمرها، وزن آن‌ها را نیز کاهش می‌دهد. در ماده نانوکامپوزیت پلیمر-رس، از خاک رس به‌عنوان پرکننده برای بهبود خواص پلیمرها استفاده می‌شود. خاک رس‌های نوع اسمکتیت، ساختار لایه‌ای دارند و هر لایه تقریباً یک نانومتر ضخامت دارد. صدها یا هزاران عدد از این لایه‌ها به‌وسیله یک نیروی واندروالسی ضعیف، روی هم انباشته می‌شوند تا یک جزء رسی تشکیل دهند. با یک پیکربندی مناسب، این امکان وجود دارد که رس‌ها به اشکال و ساختارهای گوناگون، درون یک پلیمر به شکل سازمان یافته قرار گیرند.

Zadaka et al. (2009) موفق به حذف ۹۰٪ داروی آترازین<sup>۳۲</sup> استفاده از جاذبی به نام poly-4-vinylpyridine-co-

اقتصادی بودن، سازگاری با محیط‌زیست با توجه به ترکیب شیمیایی منحصر به فرد، در دسترس بودن به مقدار زیاد، تجدیدپذیر بودن، و هزینه کم است. این موارد باعث شده است که این مواد به عنوان جاذبی برای پالایش آب و پساب مطرح شوند. همچنین پسماندهای کشاورزی یک منبع غنی برای تولید کربن فعال به دلیل میزان کم خاکستر و سختی مناسب هستند. در نتیجه تبدیل پسماندهای کشاورزی به جاذب‌های کم‌هزینه، جایگزینی مطمئن برای حل مشکلات زیست‌محیطی و کاهش هزینه‌ها است. استفاده از جاذب‌های کم‌هزینه برای حذف رنگ و فلزات سنگین از آب و پساب یک راه معقول و منطقی به نظر می‌رسد، چراکه آن‌ها نسبتاً ارزان یا بدون هزینه هستند، به راحتی در دسترس بوده و تجدید پذیرند و همچنین میل زیادی برای جذب آلاینده‌ها دارند (Ahmedna et al., 2000).

از میان پسماندهای کشاورزی، پسماندی کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد که علاوه بر خصوصیات سطحی مناسب، شرایط جذب در حالت بهینه را نیز داشته باشد. این دلیلی بر تفاوت راندمان جذب در پسماندهای کشاورزی مختلف است (Demirbas, 2009). روند افزایشی ضایعات مواد غذایی، یکی از چالش‌های جدی اکثر کشورها به‌ویژه، کشورهای در حال توسعه است. به همین سبب سیاستمداران و اندیشمندان مجامع علمی در جهان سوم درصدد برآمده‌اند تا برای کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت و مراحل توزیع و مصرف چاره‌اندیشی کنند (Malik, 2003). از ضایعات و فرآورده‌های فرعی کشاورزی می‌توان به صدف، پوسته، هسته میوه‌ها، خشکبار و آجیل، خاک اره، پسماند چوب ذرت، ساقه آفتابگردان، نی و کاه اشاره کرد (Worch, 2012).

اخیراً محققان به دنبال جاذب جایگزین کربن فعال (AC) هستند و هدفشان پیدا کردن جاذب جدید مؤثر و کم‌هزینه است که از محصولات جانبی یا از مواد زائد طی فرایندهای صنعتی و کشاورزی به دست می‌آیند. ضایعات کشاورزی جایگزین بالقوه کربن فعال محسوب می‌شود که برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضایعات کشاورزی ساختار تخلخل شبیه کربن فعال (AC) دارند و مناسب برای حذف آلاینده‌های گوناگون از آب‌ها و پساب‌ها است. همچنین ضایعات کشاورزی ظرفیت جذب یکسان یا حتی بیشتری نسبت به AC دارند. مواد اولیه برای تولید BC زیست‌توده‌های کشاورزی و مواد زائد جامد هستند که دارای قیمت پایین بوده و فراوان یافت می‌شوند. طبق مطالعات، جذب آنتی‌بیوتیک‌ها به BC‌ها ممکن است خواص و ویژگی‌های آنتی‌بیوتیک و همچنین خواص BC را تغییر دهد (Xu et al., 2013).

BC‌ها به روش‌های مختلف تهیه می‌شوند و خواص جالب زیادی از جمله هزینه پایین، ساختار تخلخل بالا و ظرفیت جذب بالا برای حذف آلاینده‌های آلی و معدنی از محلول‌های آبی دارند (Ahmad et al., 2014). همچنین به عنوان جاذب غالب برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند درجه حذف بالایی ۱۰۰٪ را داشته باشند (Yao et al., 2012; Xie et al., 2014). جدول ۶ میزان حذف بالای ۱۰۰٪ برای حذف آنتی‌بیوتیک‌های فلورفنیکول<sup>۳۵</sup>، سفتیوفور<sup>۳۶</sup> با جاذب BC را نشان می‌دهد (Mitchell et al., 2015). Teixidó et al. (2011) مقدار  $10^6$  kg/L را برای حذف سولفامتازین با جاذب BC گزارش دادند. در حالی که (Liu et al., 2012) حداکثر ظرفیت جذب  $58/8$  mg/g برای جذب تتراسایکلین با جاذب زیست‌توده را مشاهده کردند.

جدول ۶- خلاصه‌ای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها توسط ضایعات کشاورزی در تصفیه آب‌های آلوده

| منابع                  | حذف (%) | شرایط عملیاتی                                                 | غلظت آلاینده (mg/L) | آنتی‌بیوتیک          |
|------------------------|---------|---------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| Mitchell et al. (2015) | ۱۰۰     | ۲۴h زمان، $22^{\circ}\text{C}$ ، $0/4$ g BC، ناپیوسته         | ۵۰                  | آمفنیکول/ فلورفنیکول |
| Mitchell et al. (2015) | ۹۸-۱۰۰  | ۲۴h زمان، $22^{\circ}\text{C}$ ، $0/4$ g BC، ناپیوسته         | ۵۰                  | سفیتیوفور            |
| Zheng et al. (2013)    | ۹۸-۱۰۰  | ۷۲h زمان، $5$ pH، $35$ rpm، ناپیوسته                          | ۱۲/۵                | سولفامتوکسازول       |
| Yao et al. (2012)      | ۹۸-۱۰۰  | $22 \pm 0/5^{\circ}\text{C}$ ، $0/1$ g BC، ناپیوسته           | ۱۰                  | سولفامتوکسازول       |
| Teixidó et al. (2011)  | ۹۸-۱۰۰  | $20 \pm 0/2^{\circ}\text{C}$ ، $4$ h زمان، $8/8$ pH، ناپیوسته | $0/01-0/1$          | سولفامتازین          |
| Xie et al. (2014)      | ۹۸-۱۰۰  | $6$ pH، $10-15$ mg BC، ناپیوسته                               | ۵۰                  | سولفامتوکسازول       |
| Xie et al. (2014)      | ۹۸-۱۰۰  | $6$ pH، $10-15$ mg BC، ناپیوسته                               | ۵۰                  | سولفاپریدین          |
| Liu et al. (2012)      | ۹۸-۱۰۰  | $30^{\circ}\text{C}$ ، $0/1$ g BC، ناپیوسته                   | ۵۰-۱۰۰۰             | تتراسایکلین          |

یافتن روشی کم‌هزینه و پربازده برای حذف این آلاینده‌ها از محیط‌های آبی هستند. با توجه به این که روش‌های تجزیه زیستی، فوتوکاتالیز، اوزون‌زنی، فرایند فنتون، اکسیداسیون پیشرفته، رسوب شیمیایی، اسمز معکوس در زمینه تصفیه محیط‌های آبی مطرح هستند، باید به این نکته توجه کرد که این روش‌ها از نظر

## ۶- بحث و نتیجه‌گیری

آلاینده‌های دارویی به علت مصرف بیش از اندازه انواع آنتی‌بیوتیک‌ها، به سرعت در حال اضافه شدن به محیط‌زیست بوده و سلامت جامعه را تهدید می‌کنند. محققان با تلاش زیاد در پی

- 12-  $\beta$  Lactams
- 13- Activated Carbon
- 14- Amoxicillin
- 15- Cephalexin
- 16- Cephalosporin
- 17- Penicillin
- 18- Tetracycline
- 19- Sulfamethoxazole
- 20- Natural-Organic-Matter
- 21- Lightweight Expanded Clay Aggregate
- 22- Erythromycin
- 23- Carbamazepine
- 24- Levofloxacin
- 25- Aspirin
- 26- Acetaminophen
- 27- Caffeine
- 28- Aromatic
- 29- Aliphatic
- 30- Cephalosporin
- 31- Clay-Polymer Nanocomposite
- 32- Atrazine
- 33- United States Environmental Protection Agency
- 34- Biochars
- 35- Florfenicol
- 36- Ceftiofur

## ۸- مراجع

- Adams, C., Wang, Y., Loftin, K., and Meyer, M., (2002), "Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes", *Journal of Environmental Engineering*, 128, 253-260.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., and Ok, Y.S., (2014), "Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review", *Chemosphere*, 99, 19-33.
- Ahmedna, M., Marshall, W., and Rao, R., (2000), "Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties", *Bioresource Technology*, 71, 113-123.
- Akhtar, J., Amin, N.S., and Aris, A., (2011), "Combined adsorption and catalytic ozonation for removal of sulfamethoxazole using  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$  loaded activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, 170, 136-144.
- Aksu, Z., and Tunç, Ö., (2005), "Application of biosorption for penicillin G removal: Comparison with activated carbon", *Process Biochemistry*, 40, 831-847.
- Al-Khateeb, L.A., Almotiry, S., and Salam, M.A., (2014), "Adsorption of pharmaceutical pollutants onto graphene nanoplatelets", *Chemical Engineering Journal*, 248, 191-199.
- Ali, I., and Gupta, V., (2006), "Advances in water treatment by adsorption technology", *Nature Protocols*, 1, 26-61.
- Alidadi, H., Dolatabadi, M., Mehrabpour, M., and Dehghan, A., (2017), "The efficacy of ciprofloxacin removal by Chitosan/Zelite composite from aqueous solution: Response surface methodology, kinetic and

عملیاتی دشوار و پرهزینه هستند. تکنیک‌های فیزیکی بهترین گزینه برای حل این قضیه است که در میان آن‌ها جذب سطحی به‌علت مؤثر بودن آن، سادگی از نظر عملیاتی، نداشتن اثر سمیت و نهایتاً به‌علت ارزان بودن یکی از کارآمدترین آن‌ها است. البته روش جذب سطحی، در صورتی که ماده جاذب گران‌قیمت باشد روش پرهزینه‌ای است. مرور تحقیقات نشان می‌دهد عملکرد فرآیند جذب سطحی، تحت تأثیر مشخصات و ویژگی‌های جاذب بوده و هزینه و بازده عملیات دو فاکتور مهم فرآیند جذب محسوب می‌شود و بازده فرآیند جذب، تحت تأثیر نوع جاذب و ترکیب جریان محیط‌های آبی است.

با بررسی جاذب‌ها نتایج نشان داد کربن فعال در حذف آنتی‌بیوتیک‌هایی از جمله آموکسی سیلین، دیمتریدازول، سولفامتوکسین، سفالکسین، پنی‌سیلین و غیره در شرایط عملیاتی مشخص مورد استفاده قرار گرفته و متوسط راندمان حذف (۷۴-۱۰۰٪) گزارش شد. همچنین جاذب رس در حذف آموکسی سیلین و سیپروفلوکساسین متوسط راندمان حذف (۸۷-۹۹٪) و ضایعات کشاورزی در حذف سولفامتازین، تتراسایکلین و سفیتیفور راندمان حذف تقریباً ۱۰۰٪ استنتاج شد. همچنین تحقیقات مربوط به مکانیسم جذب سطحی نشان می‌دهد هرچقدر اندرکنش بین گروه‌های عاملی جاذب و آنتی‌بیوتیک قوی‌تر باشد جذب بهتر صورت گرفته ولی احیا کردن جاذب مشکل خواهد بود. در صورت وجود پیوندهای هیدروژنی جذب سطحی شیمیایی بر جذب سطحی فیزیکی غالب شده و طبیعتاً احیا کردن جاذب سخت‌تر خواهد بود. در ملاحظات اقتصادی، در طراحی سیستم‌های جداسازی به‌روش جذب سطحی باید توازن بین راندمان حذف و هزینه احیای جاذب برقرار باشد. به‌عبارتی دیگر، در صورت گران‌قیمت بودن جاذب، راندمان حذف بالا لزوماً نقطه قوت جذب نبوده، زیرا احیا کردن آن نیز باید مقرون به‌صرفه باشد. این نتایج نشان می‌دهد ضایعات کشاورزی به‌علت ارزان بودن نیاز به احیا ندارند. از طرفی در دسترس بودن و راندمان حذف بالای آن محققین را متمایل به استفاده از این نوع جاذب‌ها در مطالعات سال‌های اخیر کرده است.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- Biodegradation
- 2- Photocatalysis
- 3- Pressure Swing Adsorption
- 4- Temperature Swing Adsorption
- 5- Adsorption
- 6- Chloramphenicols
- 7- Macclides
- 8- Sulfonamides
- 9- Tetracyclines
- 10- Flouroquinolones
- 11- Imidazoles



- Foo, K., and Hameed, B., (2012), "Coconut husk derived activated carbon via microwave induced activation: Effects of activation agents, preparation parameters and adsorption performance", *Chemical Engineering Journal*, 184, 57-65.
- Geim, A., (2012), "Graphene prehistory", *Physica Scripta*, 2012, 1-4.
- Geim, A.K., and Novoselov, K.S., (2007), "The rise of graphene", *Nature Materials*, 6, 183.
- Genç, N., and Dogan, E.C., (2015), "Adsorption kinetics of the antibiotic ciprofloxacin on bentonite, activated carbon, zeolite, and pumice", *Desalination and Water Treatment*, 53, 785-793.
- Genç, N., Dogan, E.C., and Yurtsever, M., (2013), "Bentonite for ciprofloxacin removal from aqueous solution", *Water Science and Technology*, 68, 848-855.
- Grover, D., Zhou, J., Frickers, P., and Readman, J., (2011), "Improved removal of estrogenic and pharmaceutical compounds in sewage effluent by full scale granular activated carbon: Impact on receiving river water", *Journal of Hazardous Materials*, 185, 1005-1011.
- Halling-Sørensen, B., Nielsen, S.N., Lanzky, P., Ingerslev, F., Lützhøft, H.H., and Jørgensen, S., (1998), "Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment, A review", *Chemosphere*, 36, 357-393.
- Han, R., Ding, D., Xu, Y., Zou, W., Wang, Y., Li, Y., and Zou, L., (2008), "Use of rice husk for the adsorption of Congo red from aqueous solution in column mode", *Bioresource Technology*, 99, 2938-2946.
- Hassani, G., Babaei, A., Takdastan, A., Shirmardi, M., Yousefian, F., and Mohammadi, M., (2016), "Occurrence and fate of 17 $\beta$ -estradiol in water resources and wastewater in Ahvaz, Iran", *Global Nest Journal*, 18, 855-866.
- Heydari, M., and Hajar, S., (2011), "Inhibition effect of antibiotics ciprofloxacin and ofloxacin and hormone estradiol 17 valerat on the methanogenic activity of anaerobic biomass", *Iranian Journal of Health and Environment*, 4, 189-200.
- Ho, Y., and McKay, G., (1999), "Batch lead (II) removal from aqueous solution by peat: equilibrium and kinetics", *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 77, 165-173.
- Huang, L., Sun, Y., Wang, W., Yue, Q., and Yang, T., (2011), "Comparative study on characterization of activated carbons prepared by microwave and conventional heating methods and application in removal of oxytetracycline (OTC)", *Chemical Engineering Journal*, 171, 1446-1453.
- Jung, C., Park, J., Lim, K. H., Park, S., Heo, J., Her, N., Oh, J., Yun, S., and Yoon, Y., (2013), "Adsorption of selected endocrine disrupting compounds and pharmaceuticals on activated biochars", *Journal of Hazardous Materials*, 263, 702-710.
- Kakavandi, B., Takdastan, A., Jaafarzadeh, N., Azizi, M., Mirzaei, A., and Azari, A., (2016), "Application of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ C catalyzing heterogeneous UV-Fenton system for tetracycline removal with a focus on isotherm studies", *Journal of Health in the Field*, 5, 1-12.
- Ania, C., Parra, J., Menendez, J., and Pis, J., (2007), "Microwave-assisted regeneration of activated carbons loaded with pharmaceuticals", *Water Research*, 41, 3299-3306.
- Ania, C.O., Pelayo, J.G., and Bandosz, T.J., (2011), "Reactive adsorption of penicillin on activated carbons", *Adsorption*, 17, 421-429.
- Bajpai, S.K., Bajpai, M., and Rai, N., (2012), "Sorbptive removal of ciprofloxacin hydrochloride from simulated wastewater using sawdust: Kinetic study and effect of pH", *Water SA*, 38, 673-682.
- Bathen, D., (2003), "Physical waves in adsorption technology, An overview", *Separation and Purification Technology*, 33, 163-177.
- Britton, S.L., (2007), "Supported phosphate and carbonate salts for heterogeneous catalysis of triglycerides to fatty acid methyl esters", Ph.D. Thesis, The University of Wisconsin, Madison.
- Bui, T.X., and Choi, H., (2009), "Adsorptive removal of selected pharmaceuticals by mesoporous silica SBA-15", *Journal of Hazardous Materials*, 168, 602-608.
- Bui, T.X., and Choi, H., (2010), "Influence of ionic strength, anions, cations, and natural organic matter on the adsorption of pharmaceuticals to silica", *Chemosphere*, 80, 681-686.
- Chaubal, M.V., Payne, G.F., Reynolds, C.H., and Albright, R.L., (1995), "Equilibria for the adsorption of antibiotics onto neutral polymeric sorbents: Experimental and modeling studies", *Biotechnology and Bioengineering*, 47, 215-226.
- Dąbrowski, A., Podkościelny, P., Hubicki, Z., and Barczak, M., (2005), "Adsorption of phenolic compounds by activated carbon, A critical review", *Chemosphere*, 58, 1049-1070.
- Demirbas, A., (2009), "Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: a review", *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1-9.
- Dordio, A., Miranda, S., Ramalho, J.P., and Carvalho, A.P., (2017), "Mechanisms of removal of three widespread pharmaceuticals by two clay materials", *Journal of Hazardous Materials*, 323, 575-583.
- El-Sheikh, A.H., Newman, A.P., Al-Daffaee, H., Phull, S., Cresswell, N., and York, S., (2004), "Deposition of anatase on the surface of activated carbon", *Surface and Coatings Technology*, 187, 284-292.
- Elmolla, E.S., and Chaudhuri, M., (2012), "The feasibility of using combined Fenton-SBR for antibiotic wastewater treatment", *Desalination*, 285, 14-21.
- Esplugas, S., Bila, D.M., Krause, L.G.T., and Dezotti, M., (2007), "Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents", *Journal of Hazardous Materials*, 149, 631-642.
- Fahelbom, K.M., (2008), "Analysis of certain tetracyclines and oxytetracyclines through charge transfer complexation", *American Journal of Pharmacology and Toxicology*, 3, 212-218.

- M., and Medellín-Castillo, N., (2010), "Kinetic study of the adsorption of nitroimidazole antibiotics on activated carbons in aqueous phase", *Journal of Colloid and Interface Science*, 345, 481-490.
- Mitchell, S.M., Subbiah, M., Ullman, J.L., Frear, C., and Call, D.R., (2015), "Evaluation of 27 different biochars for potential sequestration of antibiotic residues in food animal production environments", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 162-169.
- Motsi, T., Rowson, N., and Simmons, M., (2009), "Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite", *International Journal of Mineral Processing*, 92, 42-48.
- Moussavi, G., Alahabadi, A., Yaghmaeian, K., and Eskandari, M., (2013), "Preparation, characterization and adsorption potential of the  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -induced activated carbon for the removal of amoxicillin antibiotic from water", *Chemical Engineering Journal*, 217, 119-128.
- Pan, B., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., Zhang, Q., and Zheng, S., (2009), "Development of polymeric and polymer-based hybrid adsorbents for pollutants removal from waters", *Chemical Engineering Journal*, 151, 19-29.
- Pocostales, P., Álvarez, P., and Beltrán, F., (2011), "Catalytic ozonation promoted by alumina-based catalysts for the removal of some pharmaceutical compounds from water", *Chemical Engineering Journal*, 168, 1289-1295.
- Poulopoulos, S.G., and Inglezakis, V.J., (2006), *Adsorption, ion exchange and catalysis: Design of operations and environmental applications*, Elsevier, 1, 264.
- Pouretedal, H., and Sadegh, N., (2014), "Effective removal of Amoxicillin, Cephalexin, Tetracycline and Penicillin G from aqueous solutions using activated carbon nanoparticles prepared from vine wood", *Journal of Water Process Engineering*, 1, 64-73.
- Putra, E. K., Pranowo, R., Sunarso, J., Indraswati, N., and Ismadji, S., (2009), "Performance of activated carbon and bentonite for adsorption of amoxicillin from wastewater: Mechanisms, isotherms and kinetics", *Water Research*, 43, 2419-2430.
- Qiang, Z., and Adams, C. (2004), "Potentiometric determination of acid dissociation constants (pKa) for human and veterinary antibiotics", *Water Research*, 38, 2874-2890.
- Ramos, A.M.A., Otero, M., and Rodrigues, A.E., (2004), "Recovery of Vitamin B12 and cephalosporin-C from aqueous solutions by adsorption on non-ionic polymeric adsorbents", *Separation and Purification Technology*, 38, 85-98.
- Rivas, F., Gimeno, O., and Borallho, T., (2012), "Aqueous pharmaceutical compounds removal by potassium monopersulfate. Uncatalyzed and catalyzed semicontinuous experiments", *Chemical Engineering journal*, 192, 326-333.
- Rivera-Utrilla, J., Prados-Joya, G., Sánchez-Polo, M., Ferro-García, M., and Bautista-Toledo, I., (2009), "Removal of nitroimidazole antibiotics from aqueous solution by adsorption/bioadsorption on activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, 170, 298-314.
- Kim, S., Shon, H., and Ngo, H., (2010), "Adsorption characteristics of antibiotics trimethoprim on powdered and granular activated carbon", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16, 344-349.
- Kümmerer, K., (2009), "Antibiotics in the aquatic environment, A review, part I", *Chemosphere*, 75, 417-434.
- Kümmerer, K., and Henninger, A., (2003), "Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluent", *Clinical Microbiology and Infection*, 9, 1203-1214.
- Kyzas, G.Z., Koltsakidou, A., Nanaki, S.G., Bikiaris, D.N., and Lambropoulou, D.A., (2015), "Removal of beta-blockers from aqueous media by adsorption onto graphene oxide", *Science of the Total Environment*, 537, 411-420.
- Kyzas, G.Z., Kostoglou, M., Lazaridis, N.K., Lambropoulou, D.A., and Bikiaris, D.N., (2013), "Environmental friendly technology for the removal of pharmaceutical contaminants from wastewaters using modified chitosan adsorbents", *Chemical Engineering Journal*, 222, 248-258.
- Lee, J.W., Park, H.C., and Moon, H., (1997), "Adsorption and desorption of cephalosporin C on nonionic polymeric sorbents", *Separation and Purification Technology*, 12, 1-11.
- Liu, P., Liu, W.-J., Jiang, H., Chen, J.-J., Li, W.-W., and Yu, H.-Q., (2012), "Modification of bio-char derived from fast pyrolysis of biomass and its application in removal of tetracycline from aqueous solution", *Bioresource Technology*, 121, 235-240.
- Liu, Y., Lu, X., Wu, F., and Deng, N., (2011), "Adsorption and photooxidation of pharmaceuticals and personal care products on clay minerals, *Reaction Kinetics*", *Mechanisms and Catalysis*, 104, 61-73.
- Malik, P.K., (2003), "Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: A case study of Acid Yellow 36", *Dyes and Pigments*, 56, 239-249.
- Martins, A. C., Pezoti, O., Cazetta, A.L., Bedin, K.C., Yamazaki, D.A., Bandoch, G.F., Asefa, T., Visentainer, J.V., and Almeida, V.C., (2015), "Removal of tetracycline by NaOH-activated carbon produced from macadamia nut shells: kinetic and equilibrium studies", *Chemical Engineering Journal*, 260, 291-299.
- Martucci, A., Pasti, L., Marchetti, N., Cavazzini, A., Dondi, F., and Alberti, A., (2012), "Adsorption of pharmaceuticals from aqueous solutions on synthetic zeolites", *Microporous and Mesoporous Materials*, 148, 174-183.
- Mcardell, C. S., Molnar, E., Suter, M. J.-F., and Giger, W., (2003), "Occurrence and fate of macrolide antibiotics in wastewater treatment plants and in the Glatt Valley Watershed, Switzerland", *Environmental Science and Technology*, 37, 5479-5486.
- Méndez-Díaz, J., Prados-Joya, G., Rivera-Utrilla, J., Leyva-Ramos, R., Sánchez-Polo, M., Ferro-García,

- Worch, E., (2012), *Adsorption technology in water treatment: Fundamentals, processes, and modeling*, Walter de Gruyter.
- Xie, M., Chen, W., Xu, Z., Zheng, S., and Zhu, D., (2014), "Adsorption of sulfonamides to demineralized pine wood biochars prepared under different thermochemical conditions", *Environmental Pollution*, 186, 187-194.
- Xu, X., Cao, X., and Zhao, L., (2013), "Comparison of rice husk-and dairy manure-derived biochars for simultaneously removing heavy metals from aqueous solutions: Role of mineral components in biochars", *Chemosphere*, 92, 955-961.
- Xu, Z., Zhang, Q., and Fang, H.H. (2003), "Applications of porous resin sorbents in industrial wastewater treatment and resource recovery", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 33, 363-389.
- Yan, C., Yang, Y., Zhou, J., Liu, M., Nie, M., Shi, H., and Gu, L., (2013), "Antibiotics in the surface water of the Yangtze Estuary: occurrence, distribution and risk assessment", *Environmental Pollution*, 175, 22-29.
- Yang, J.-F., Ying, G.-G., Zhao, J.-L., Tao, R., Su, H.-C., and Liu, Y.-S., (2011), "Spatial and seasonal distribution of selected antibiotics in surface waters of the Pearl Rivers, China", *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 46, 272-280.
- Yao, Y., Gao, B., Chen, H., Jiang, L., Inyang, M., Zimmerman, A.R., Cao, X., Yang, L., Xue, Y., and Li, H., (2012), "Adsorption of sulfamethoxazole on biochar and its impact on reclaimed water irrigation", *Journal of Hazardous Materials*, 209, 408-413.
- Yu, Z., Peldszus, S., Anderson, W.B., and Huck, P.M., (2005), "Adsorption of selected pharmaceuticals and endocrine disrupting substances by GAC at low concentration levels", *Proceedings of AWWA Water Quality and Technology Conference*, 1-16.
- Zadaka, D., Nir, S., Radian, A., and Mishaël, Y.G., (2009), "Atrazine removal from water by polycation-clay composites: Effect of dissolved organic matter and comparison to activated carbon", *Water Research*, 43, 677-683.
- Zheng, H., Wang, Z., Zhao, J., Herbert, S., and Xing, B., (2013), "Sorption of antibiotic sulfamethoxazole varies with biochars produced at different temperatures", *Environmental Pollution*, 181, 60-67.
- Zhu, J., Wang, T., Zhu, R., Ge, F., Wei, J., Yuan, P., and He, H., (2011), "Novel polymer/surfactant modified montmorillonite hybrids and the implications for the treatment of hydrophobic organic compounds in wastewaters", *Applied Clay Science*, 51, 317-322.
- 305.
- Robberson, K., Waghe, A., Sabatini, D., and Butler, E., (2006), "Adsorption of the quinolone antibiotic nalidixic acid onto anion-exchange and neutral polymers", *Chemosphere*, 63, 934-941.
- Roosta, M., Ghaedi, M., Daneshfar, A., Sahraei, R., and Asghari, A., (2014a), "Optimization of the ultrasonic assisted removal of methylene blue by gold nanoparticles loaded on activated carbon using experimental design methodology", *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 242-252.
- Roosta, M., Ghaedi, M., Shokri, N., Daneshfar, A., Sahraei, R., and Asghari, A., (2014b), "Optimization of the combined ultrasonic assisted/adsorption method for the removal of malachite green by gold nanoparticles loaded on activated carbon: experimental design", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 118, 55-65.
- Sarker, S.D., Latif, Z., and Gray, A.I., (2005), *Natural products isolation*, Springer Science & Business Media.
- Scordino, M., Di Mauro, A., Passerini, A. & Maccarone, E. (2003), "Adsorption of flavonoids on resins: Hesperidin", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6998-7004.
- Stackelberg, P.E., Gibbs, J., Furlong, E.T., Meyer, M.T., Zaugg, S.D., and Lippincott, R.L., (2007), "Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds", *Science of the Total Environment*, 377, 255-272.
- Stumm-Zollinger, E., and Fair, G.M., (1965), "Biodegradation of steroid hormones", *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37, 1506-1510.
- 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, 2349-2363.
- Teixidó, M., Pignatello, J.J., Beltrán, J.L., Granados, M., and Peccia, J., (2011), "Speciation of the ionizable antibiotic sulfamethazine on black carbon (biochar)", *Environmental Science and Technology*, 45, 10020-10027.
- Thiele-Bruhn, S., (2003), "Pharmaceutical antibiotic compounds in soils, A review", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166, 145-167.
- Thomas, W.J., and Crittenden, B.D., (1998), *Adsorption technology and design*, Butterworth-Heinemann.
- Torres-Pérez, J., Gérente, C., and Andrès, Y., (2012), "Sustainable activated carbons from agricultural residues dedicated to antibiotic removal by adsorption", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20, 524-529.
- Wang, S., Ng, C.W., Wang, W., Li, Q., and Hao, Z., (2012), "Synergistic and competitive adsorption of organic dyes on multiwalled carbon nanotubes", *Chemical Engineering Journal*, 197, 34-40.

**Research Paper**

**مقاله پژوهشی**

## A System Dynamics Approach to Analyze Reservoir Operation of Gerati Dam (Iran)

## بررسی عملکرد مخزن سد گرانی با رویکرد پویایی های سیستم

Abbas Akbarzadeh<sup>1</sup> and Maryam Abareshi<sup>2\*</sup>

1- Assistant Professor, WRI, Head of Tehran Higher Education and Research Complex, Tehran, Iran.

2- PhD in Water Engineering, Tehran Higher Education and Research Complex, Tehran, Iran.

\* Corresponding author, Email: [Abareshi.maryam@yahoo.com](mailto:Abareshi.maryam@yahoo.com)

Received: 10/04/2019

Revised: 18/12/2019

Accepted: 05/01/2020

عباس اکبرزاده<sup>۱</sup> و مریم ابارشی<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات آب، رئیس مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی تهران، تهران، ایران.

۲- دکتری مهندسی عمران آب، مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی تهران، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [Abareshi.maryam@yahoo.com](mailto:Abareshi.maryam@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

### Abstract

One of the important approaches to allocate water resources is system dynamics approach. In this research, the water allocation from the Gerati Dam reservoir was investigated using the system dynamics approach. Model input data included meteorological and hydrological data, downstream water demands (in this study, environmental and agricultural demands) and reservoir geometry. The model developed in the VENSIM software is able to calculate the volume of water being released from Gerati dam based on input data and continuity equation (water balance of reservoir) to supply downstream demands with respect to the maximum allowable lack. The analysis of the reservoir performance indicated that the Gerati dam can prioritize the environmental demand and then supply the water needed in the agricultural sector, according to the cropping pattern, in the area of 1217 hectares for the first 25 years and in the area of 1050 hectares for the second 25 years of the operating period. Also, as a result of the construction of the Gerati dam, net revenue per cubic meter of agricultural water will increase from 671 Rials to 2604 Rials. In addition, after the implementation of the plan, in addition to providing the total forage required in the present situation, 18550 livestock units could be added to the current livestock units of the region to make entrepreneurship for the residents and improve the economic situation of the villagers.

**Keywords:** Water Resources Allocation, System Dynamics, Gerati Dam, VENSIM Model.

### چکیده

یکی از رویکردهای مهم مطرح در تخصیص منابع آب استفاده از رویکرد پویایی های سیستم است. در این تحقیق با استفاده از مدل پویایی سیستم در محیط VENSIM مدل تخصیص آب سد مخزنی گرانی بررسی شد. اطلاعات ورودی مدل، شامل اطلاعات پایه هواشناسی و هیدرولوژی منطقه طرح، نیاز آبی منطقه پایاب سد (در این تحقیق، حقابه زیست محیطی و کشاورزی) و مشخصات هندسی مخزن سد است. مدل تهیه شده در محیط VENSIM قادر است با تحلیل اطلاعات ورودی و براساس معادله پیوستگی (بیلان آب مخزن)، حجم تنظیمی مخزن برای تأمین نیازهای آبی پایاب سد را با توجه به حداکثر کمبود مجاز دوره محاسبه نماید. نتایج تحلیل عملکرد مخزن سد حاکی از آن است که سد گرانی می تواند با اولویت تأمین حقابه زیست محیطی، آب مورد نیاز در بخش کشاورزی را نیز با توجه به الگوی کشت منطقه در مساحتی بالغ بر ۱۲۱۷ هکتار در ۲۵ سال اول و در مساحتی بالغ بر ۱۰۵۰ هکتار در ۲۵ سال دوم دوره بهره برداری به طور مطمئن تأمین نماید. هم چنین در نتیجه احداث سد گرانی، درآمد خالص هر مترمکعب آب کشاورزی از ۶۷۱ ریال به ۲۶۰۴ ریال افزایش پیدا خواهد کرد. به علاوه پس از اجرای طرح می توان علاوه بر تأمین کل علوفه مورد نیاز در شرایط فعلی منطقه، ۱۸۵۵۰ واحد دامی به میزان واحد دامی فعلی منطقه اضافه نمود تا علاوه بر کارآفرینی برای اهالی، وضعیت اقتصادی روستائیان بهبود یافته و موجبات ثبات آن ها در روستا فراهم آید.

**کلمات کلیدی:** تخصیص منابع آب، پویایی های سیستم، سد مخزنی گرانی، مدل VENSIM.



می‌شود. بدین ترتیب می‌توان پاسخگوی صد درصد نیازهای آبی از طریق منابع آب زیرزمینی بود.

ایمانی‌زاده‌شریف‌پور و اسماعیلی (۱۳۹۴) مدیریت عرضه و تقاضای آب در سد مخزنی صفا را به کمک مدل VENSIM مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق ایشان مشخص شد که با کاهش ۳۰ درصدی مقدار نیاز شرب و صنعت در طول دوره بهره‌برداری، طرح جوابگوی اهداف خود خواهد بود. کدخداحسینی و همکاران (۱۳۹۶) نیز سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب سد چغاخور از جمله تغییر در روش محاسبه نیاز زیست‌محیطی، افزایش بازده آبیاری و تغییر در سطح زیر کشت را به کمک روش پویایی‌های سیستم در محیط VENSIM مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مدل نشان داد که سد چغاخور در بهینه‌ترین حالت می‌تواند نیاز آبی ۱۶۰۰ هکتار از اراضی آبخور را تأمین کند. به‌علاوه مشخص شد با انجام آبیاری تحت فشار و افزایش ۳۰ درصدی بازده آبیاری، می‌توان سطح زیر کشت با آبیاری سطحی را از ۳۰۰ به ۳۹۰ هکتار افزایش داد.

فتوکیان و همکاران (۱۳۹۶) نیز به مدل‌سازی پویای سیستم سد مخزنی یامچی در محیط نرم‌افزار VENSIM با اعمال الگوی بهینه کشت برای تدوین سیاست بهره‌برداری پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق ایشان نشان داد که اعمال الگوی کشت بهینه پیشنهادی باعث کاهش کمبود کلی آب در حدود ۴۳ درصد و افزایش شاخص‌های پایداری در مقایسه با ادامه روند بهره‌برداری کنونی می‌شود. علاوه بر کلیه موارد فوق، موضوع تخصیص بهینه منابع آبی در حوضه‌های آبریز دیگری نیز از جمله زنجان‌رود، دره-رود، نازلچای و حوضه آبریز سد علویان مورد مطالعه قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ آقابالایی و همکاران، ۱۳۹۱؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ فاضل‌مدرس و همکاران، ۱۳۹۱).

در این پژوهش، طرح تخصیص منابع آب حوضه آبریز سد گرانی با در نظر گرفتن رویکرد پویایی‌های سیستم در محیط نرم‌افزار VENSIM مدل‌سازی و تحلیل می‌شود. ابتدا اطلاعات اولیه مورد نیاز از جمله سری رواناب ماهانه، تبخیر از سطح مخزن، توزیع ماهانه نیازهای آبی پایاب سد و ... تهیه می‌شوند. سپس عملکرد مخزن سد گرانی در تأمین نیازهای پایاب ارزیابی می‌شود. هم‌چنین تأثیر اجرای طرح سد گرانی بر درآمد خالص هر مترمکعب آب مصرفی در حوزه کشاورزی و بر دامپروری منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- حوضه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی و حوضه آبریز رودخانه کال ولایت (گرانی)، در استان خراسان شمالی و در ناحیه شمال غرب این استان در

ایران به‌عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه، روی کمربند خشک جهان واقع شده و بیش از نیمی از مساحت آن از بیابان‌ها تشکیل شده است. در چنین شرایطی اعمال مدیریت صحیح بر منابع آبی می‌تواند به‌میزان زیادی محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از کمبود منابع آب را تعدیل نماید. به‌منظور مدیریت کارآمد منابع آب می‌توان از علم پویایی‌های سیستم به‌عنوان ابزاری مدیریتی برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب استفاده نمود که ارتباط بین عناصر مختلف سیستم را به‌صورت روابط علت و معلولی تعریف نموده و امکان مدیریت پارامترها را فراهم می‌آورد (Sterman, 2000). یکی از ابزارهای قدرتمند در مطالعه سیستم‌های منابع آب، نرم‌افزار VENSIM است. این نرم‌افزار، ابزار مدل‌سازی تصویری با قابلیت تجسم، پردازش، بهینه‌سازی و تحلیل سیاست‌های پیچیده سیستم‌های منابع آب است. در واقع این نرم‌افزار، ارزیابی رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده را تسریع و تسهیل نموده و پیامدهای نامعلوم تصمیم‌گیری‌های مختلف را آشکار می‌سازد. هم‌چنین با برخورداری از قابلیت بهینه‌سازی، امکان واسنجی سریع مدل‌ها و حصول جواب بهینه را نیز فراهم می‌آورد (Pereira, 2012).

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه کاربرد پویایی‌های سیستم در مدیریت منابع آبی در ایران و سایر کشورها (Leal Neto et al., 2006; Langsdale et al., 2007; Yang et al., 2008; Yang et al., 2015; Kotir et al., 2016) انجام شده است که در ادامه برای رعایت اختصار به معرفی برخی از پژوهش‌های انجام شده در این حوزه در ایران پرداخته می‌شود. میثاقلی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش پویایی‌های سیستم و با در نظر گرفتن کلیه منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی و تمامی مصارف، به مدل‌سازی منابع آب در حوضه آبریز نیشابور پرداختند تا راه‌کارهایی برای بهبود وضعیت منابع آبی منطقه و خروج از وضعیت بحرانی کنونی اتخاذ نمایند. ارشدی و باقری (۱۳۹۲) سیستم منابع آب حوضه کارون را از منظر پایداری به کمک رویکرد پویایی‌های سیستم و نرم‌افزار VENSIM تحلیل نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که خطرات و سناریوی بیرونی در مقایسه با سیاست‌های حاکم در کشاورزی، صنعت و خدمات تأثیر ناچیزی بر کیفیت آب رودخانه دارد. به‌عبارت دیگر، تمرکز بر نگرش حاکم و سیاست‌های اعمالی برای تأمین غذا و انرژی در حوضه، باعث کاهش آسیب‌پذیری حوضه خواهد شد. اعلمی و همکاران (۱۳۹۳) نیز اثرات سد مخزنی گلک در جمع‌آوری جریان‌های سیلابی در زمان‌های بارندگی، تأمین نیازهای منطقه و تغذیه آبخوان آبرفتی دشت پایین‌دست سد را به کمک مدل‌سازی پویا بررسی نمودند. مطالعات ایشان حاکی از آن است که احداث سد تغذیه‌ای گلک باعث تزریق سالانه ۲ میلیون مترمکعب از طریق پخش سیلاب



سد و شبکه آبیاری گراتی در استان را نشان می‌دهد.

## ۲-۲- اطلاعات پایه

رودخانه گراتی به دلیل ماهیت سیلابی و فقدان جریان دائم، فاقد ایستگاه هیدرومتری است. از این رو به منظور برآورد آبدهی سالانه رودخانه گراتی در یک دوره طولانی مدت و توزیع ماهانه آن در طول دوره، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری بیدواز اسفراین در مجاورت حوضه آبریز مورد مطالعه در بازه زمانی سال آبی ۱۳۳۷-۱۳۳۸ تا پایان سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ استفاده شده است. براساس داده‌های مشاهداتی در این بازه زمانی، حجم رواناب ماهانه (برمبنای تعداد روزهای هر ماه) و به تبع آن، حجم رواناب سالانه محاسبه شد. متوسط سالانه حجم رواناب ورودی به مخزن سد ۱۵/۷۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است. متوسط ماهانه حجم رواناب به علاوه مقادیر ارتفاع تبخیر ماهانه از سطح مخزن در محل سد گراتی در جدول ۱ ارائه شده است.

فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان اسفراین قرار دارد. حوضه آبریز رودخانه در مختصات جغرافیایی  $34^{\circ} 57'$  تا  $8^{\circ} 58'$  طول شرقی و  $36^{\circ} 49'$  تا  $37^{\circ} 4'$  عرض شمالی واقع است. بلندترین نقطه حوضه ۳۰۸۴ متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

با هدف استفاده بهینه از رواناب رودخانه فصلی گراتی و دستیابی به آب مطمئن کشاورزی در منطقه، مطالعاتی پیرامون احداث سد مخزنی گراتی بر روی رودخانه گراتی در بالادست روستای گراتی و در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان اسفراین انجام شده است. رودخانه گراتی که از ارتفاعات شاه جهان در شمال حوضه آبریز منشأ می‌گیرد، در پائین‌دست روستای گراتی به رودخانه بیدواز اسفراین پیوسته و وارد کال شور اسفراین می‌شود. محور سد در مختصات جغرافیایی طول  $36^{\circ} 54' 20.07''$  و عرض  $34^{\circ} 36' 4''$  ارتفاع محل سد از سطح دریا ۱۲۲۰ متر است و مساحت حوضه آبریز رودخانه گراتی تا محل سد در حدود ۷۲۳ کیلومتر مربع می‌باشد (مهندسین مشاور آب‌پوی، ۱۳۹۳). شکل ۱ موقعیت محل طرح



شکل ۱- موقعیت محل طرح سد و شبکه آبیاری گراتی در استان

## ۲-۳- مدل‌سازی پویای بهره‌برداری از مخزن

در این پژوهش با استفاده از ابزار پویایی سیستم و نرم‌افزار VENSIM، طرح تخصیص بهینه منابع آب حوضه آبریز رودخانه گراتی مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار گرفته است. شکل ۲ نمودار علت و معلولی حاکم بر مدل مخزن سد گراتی را نشان می‌دهد. در این شکل که براساس معادله پیوستگی یا به عبارت دیگر، بیلان آبی مخزن سد گراتی ترسیم شده است،  $inflow$  رواناب ورودی،  $evaporation$  تبخیر از سطح مخزن،  $spill$  حجم سرریزی و  $outflow$  حجم آب رهاسازی شده از سد است که صرف تأمین حقابه زیست‌محیطی و آبیاری اراضی کشاورزی پایاب سد می‌شود. با ورود رواناب به مخزن، چنانچه تراز آب مخزن به تراز نرمال

هم‌چنین با توجه به دبی ویژه رسوب حوضه معادل  $621/2$  تن در کیلومتر مربع در سال و با در نظر گرفتن مساحت حوضه حدود ۷۲۳ کیلومتر مربع و رواناب سالانه برابر ۱۵/۷۰ میلیون مترمکعب، غلظت رسوب رودخانه برابر  $28/6$  کیلوگرم بر مترمکعب رواناب به دست می‌آید (مهندسین مشاور آب‌پوی، ۱۳۹۳). نیاز آبی سالانه هر هکتار از اراضی کشاورزی پائین‌دست نیز  $5757/7$  مترمکعب برآورد شده و توزیع ماهانه آن در جدول ۱ ارائه شده است. به علاوه در مجوز تخصیص طرح گراتی سالانه  $0/82$  میلیون مترمکعب نیاز زیست‌محیطی به عنوان حقابه زیست‌محیطی منظور شده که توزیع ماهانه آن براساس جدول ۱ است (مهندسین مشاور آب‌پوی، ۱۳۹۳).

برسد، حجم آب مازاد بر حجم نرمال از طریق سرریز به پایاب تخلیه می‌شود. از طرف دیگر، با توجه به مقادیر ارتفاع تبخیر ماهانه (جدول ۱) و سطح مخزن متناظر با تراز آب موجود (که براساس منحنی تراز- سطح (volume-elevation look up) درون‌یابی می‌شود)، حجم تبخیر ماهانه به‌دست می‌آید. پس از کسر احجام سرریز احتمالی و تبخیر ماهانه، حجم آب موجود در مخزن محاسبه می‌شود که البته حجم غیرفعال آن (ذیل تراز آبگیر پایین در ۲۵ سال اول بهره‌برداری و ذیل تراز آبگیر بالا در ۲۵ سال دوم بهره‌برداری) قابل استفاده نیست. حجم فعال نیز به‌منظور تأمین حقابه زیست‌محیطی و مشروب نمودن اراضی کشاورزی پایاب به‌صورت ماهانه رهاسازی می‌شود. با استفاده از این مدل و با اولویت تأمین حقابه مصوب زیست‌محیطی و نیز با

اعمال حداکثر کمبود قابل قبول در طول دوره شبیه‌سازی که در این مطالعه به‌ترتیب برابر با ۰.۴٪ زیست‌محیطی و ۰.۷٪ کشاورزی (با توجه به تنش آبی قابل تحمل توسط الگوی کشت منطقه متشکل از گندم، جو و سورگوم) در نظر گرفته شد، سطح زیر کشت اراضی پایاب سد و حجم تنظیمی مخزن در جهت تأمین پایدار نیازهای آبی پایین دست سد محاسبه می‌شود. دوره آماری انتخاب شده برای شبیه‌سازی عملکرد مخزن سد، یک دوره ۵۰ ساله از سال آبی ۱۳۳۷-۱۳۳۸ تا ۱۳۸۶-۱۳۸۷ بالغ بر ۶۰۰ ماه است. لازم‌به‌ذکر است که در کمیسیون تخصیص مدیریت منابع آب، تخصیص ۷ میلیون مترمکعب آب برای اراضی کشاورزی و ۰/۸۲ میلیون مترمکعب برای زیست‌محیطی تصویب شده است.

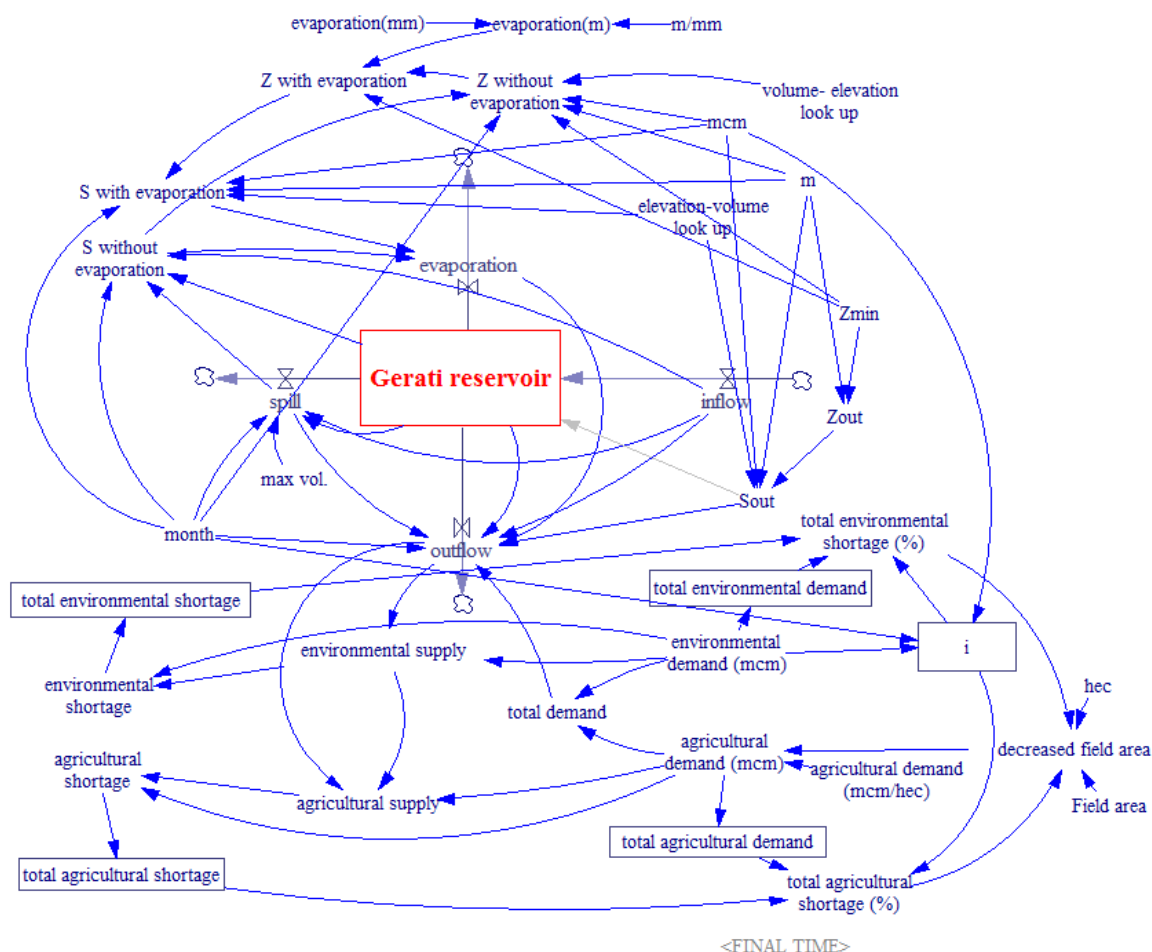
جدول ۱- متوسط ماهانه حجم رواناب، ارتفاع تبخیر و حجم نیاز آبی در محل طرح سد گراتی (مهندسين مشاور آب پوی، ۱۳۹۳)

| ماه      | رواناب<br>(میلیون مترمکعب) | تبخیر<br>(میلی متر) | تقاضای کشاورزی<br>(مترمکعب بر هکتار) | تقاضای زیست‌محیطی<br>(میلیون مترمکعب) |
|----------|----------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| مهر      | ۰/۳۶                       | ۱۳۳/۵               | ۳۴۵/۰                                | ۰/۰۲                                  |
| آبان     | ۱/۰۵                       | ۵۹/۶                | ۲۳۸/۲                                | ۰/۰۳                                  |
| آذر      | ۱/۷۱                       | ۳۲/۳                | ۸۲/۱                                 | ۰/۰۲                                  |
| دی       | ۱/۹۰                       | ۲۰/۹                | ۰/۰                                  | ۰/۰۲                                  |
| بهمن     | ۲/۰۱                       | ۲۸/۷                | ۵۷/۵                                 | ۰/۰۲                                  |
| اسفند    | ۲/۶۴                       | ۵۳/۶                | ۵۲۵/۷                                | ۰/۰۴                                  |
| فروردین  | ۲/۹۲                       | ۱۲۴/۰               | ۱۴۰۴/۵                               | ۰/۱۷                                  |
| اردیبهشت | ۲/۳۱                       | ۲۰۸/۷               | ۱۸۷۲/۷                               | ۰/۲۲                                  |
| خرداد    | ۰/۸۰                       | ۳۱۹/۹               | ۳۸۶/۰                                | ۰/۰۹                                  |
| تیر      | ۰/۰۰                       | ۳۹۷/۶               | ۲۳۰/۰                                | ۰/۰۹                                  |
| مرداد    | ۰/۰۰                       | ۳۵۴/۳               | ۳۵۳/۲                                | ۰/۰۵                                  |
| شهریور   | ۰/۰۰                       | ۲۴۴/۲               | ۲۶۲/۸                                | ۰/۰۵                                  |
| سالانه   | ۱۵/۷۰                      | ۱۹۷۷/۳              | ۵۷۵۷/۷                               | ۰/۸۲                                  |

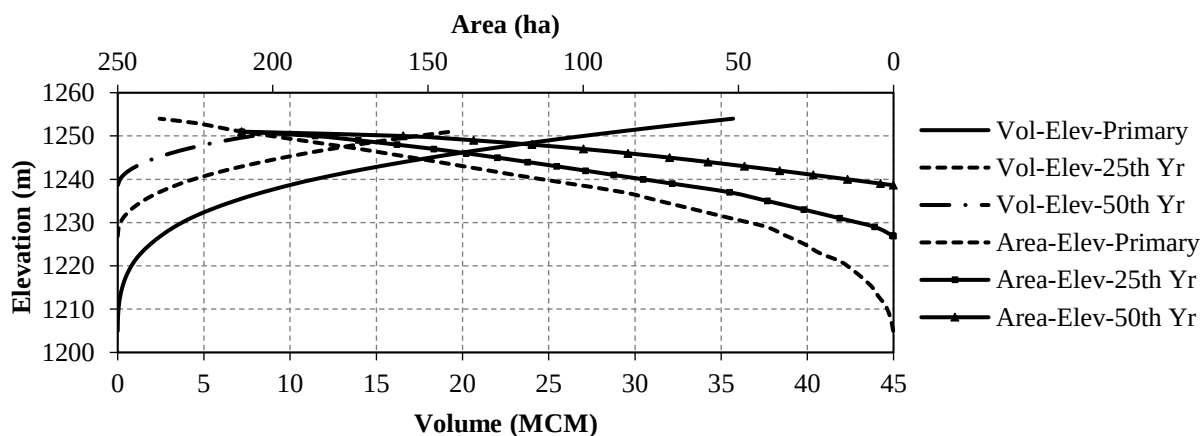
### ۳- تحلیل عملکرد مخزن سد گراتی

در مرحله مطالعات احداث سد، تراز آبگیرها نیز به‌عنوان یکی از اجزای اصلی طرح باید تعیین شود. با توجه به عمر مفید سدهای مخزنی با حجم متوسط و با درجه اهمیت متوسط در مقیاس سد گراتی که در ایران برابر با ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود و با پیش‌بینی دو آبگیر در طرح اولیه برای تأمین حقابه پایاب، منطقی است که تراز آبگیر پایین، بالاتر از تراز رسوبات توزیع شده در مخزن در ۲۵ سال اول دوره بهره‌برداری قرار گیرد. از طرف دیگر، با فرض آن‌که این آبگیر در ۲۵ سال دوم از عملکرد خارج شده و آبگیر بالا مورد استفاده قرار گیرد، لازم است که تراز این آبگیر بالاتر از تراز رسوبات توزیع شده در مخزن در ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری واقع شود.

روند تحلیل عملکرد مخزن بدین صورت است که ابتدا با توجه به حجم رسوبات ورودی به مخزن سد در ۲۵ سال ابتدای دوره بهره‌برداری بالغ بر ۹/۷ میلیون مترمکعب، توزیع رسوب در مخزن به‌روش کاهش سطح به کمک نرم‌افزار کارون ۸۸ که برای بهره‌برداری در صنعت سدسازی و به‌طور عمده به‌منظور انجام محاسبات توزیع رسوب در مخازن و نیز روندیابی سیل در مخازن طراحی شده انجام می‌پذیرد. سپس از منحنی تراز - سطح - حجم به‌دست آمده پس از توزیع رسوب، در برنامه شبیه‌سازی مخزن سد استفاده می‌شود و حداکثر سطح زیر کشت در ۲۵ سال ابتدای دوره بهره‌برداری محاسبه می‌شود. این فرآیند بار دیگر به‌ازای حجم رسوبات ۵۰ ساله تکرار شده و این‌بار مدل سطح زیر کشت در ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری را ارائه می‌دهد. شکل ۳ منحنی تراز - سطح - حجم اولیه مخزن و پس از رسوب‌گذاری ۲۵ ساله و ۵۰ ساله را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار علت و معلولی سد مخزنی گرانی



شکل ۳- منحنی تراز - سطح - حجم مخزن سد گرانی قبل و بعد از رسوب گذاری

بهره‌برداری و در زمان بازسازی شبکه اراضی، زمین زیر کشت کمتری را مدنظر قرار داد.

نتایج تحلیل عملکرد مخزن سد گرانی در ۲۵ سال اول و ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول مقادیر حجم کل مخزن، حجم مرده، حجم مفید، متوسط سالانه حجم رواناب و حجم تلفات سرریز و تبخیر و نیز مقادیر نیاز آبی، حجم تنظیمی و درصد کمبود دوره به تفکیک برای مصارف زیست‌محیطی و کشاورزی ارائه شده‌اند.

لازم به توضیح است که با توجه به کاهش حجم مفید مخزن در ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری در نتیجه حجم رسوبات ورودی به مخزن، نیاز به تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت است. با توجه به الگوی کشت منطقه که حدود ۹۰٪ آن از گندم و جو و حدود ۱۰٪ آن از سورگوم تشکیل شده است و این که گندم و جو از کم‌مصرف‌ترین گیاهان هستند، بنابراین امکان تغییر الگوی کشت در ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری وجود ندارد. از طرف دیگر با توجه به این که عمر مفید شبکه‌های آبیاری اراضی حدود ۳۰ سال است، لذا می‌توان در ۲۵ سال دوم دوره

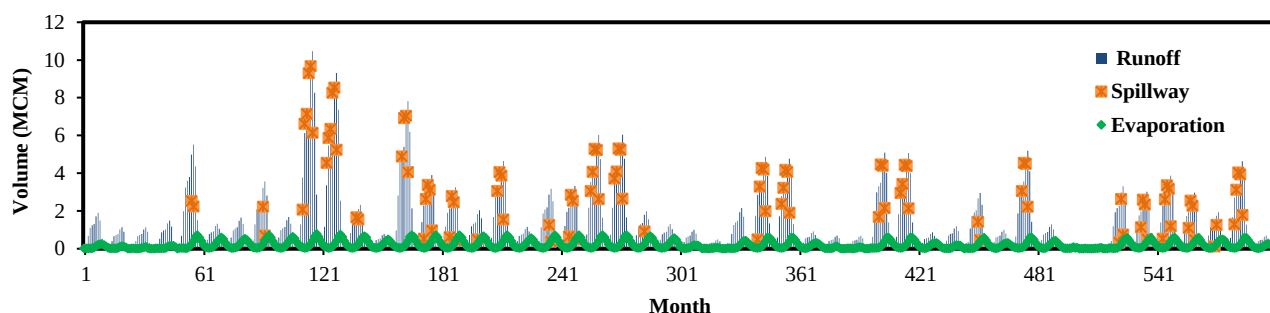
جدول ۲- نتایج تحلیل عملکرد مخزن سد گرانی در دوره بهره‌برداری

| مشخصات مخزن       |           |                                      |
|-------------------|-----------|--------------------------------------|
| سال ۲۵-۰          | سال ۵۰-۲۶ |                                      |
| ۱۲۵۱              | ۱۲۵۱      | تراز نرمال (متر)                     |
| ۲۹/۰۴             | ۲۹/۰۴     | حجم کل مخزن (میلیون مترمکعب)         |
| ۹/۷۰              | ۱۹/۴۰     | حجم مرده مخزن (میلیون مترمکعب)       |
| ۱۹/۳۴             | ۹/۶۴      | حجم مفید مخزن (میلیون مترمکعب)       |
| ۱۵/۷۰             | ۱۵/۷۰     | حجم رواناب سالانه (میلیون مترمکعب)   |
| ۵/۲۹              | ۷/۰۵      | حجم سرریز سالانه (میلیون مترمکعب)    |
| ۲/۷۲              | ۲/۲۴      | حجم تبخیر سالانه (میلیون مترمکعب)    |
| ۰/۸۲              | ۰/۸۲      | حجم نیاز سالانه (میلیون مترمکعب)     |
| ۰/۸۰              | ۰/۷۹      | حجم تأمین سالانه (میلیون مترمکعب)    |
| ۲/۳۹              | ۳/۹۵      | درصد کمبود (%)                       |
| ۱۲۱۷              | ۱۰۵۰      | سطح زیر کشت (هکتار)                  |
| ۵۷۵۷/۷            | ۵۷۵۷/۷    | حجم نیاز سالانه (مترمکعب بر هکتار)   |
| ۷/۰۱              | ۶/۰۵      | حجم نیاز سالانه (میلیون مترمکعب)     |
| ۶/۷۶              | ۵/۶۲      | حجم تأمین سالانه (میلیون مترمکعب)    |
| ۳/۵۱              | ۶/۹۹      | درصد کمبود (%)                       |
| ۷/۸۳              | ۶/۸۷      | حجم نیاز سالانه کل (میلیون مترمکعب)  |
| ۷/۵۶              | ۶/۴۱      | حجم تأمین سالانه کل (میلیون مترمکعب) |
| ۹۶/۶۱             | ۹۳/۳۸     | درصد تأمین دوره (%)                  |
| تقاضای زیست‌محیطی |           |                                      |
| تقاضای کشاورزی    |           |                                      |
| تقاضای کل         |           |                                      |

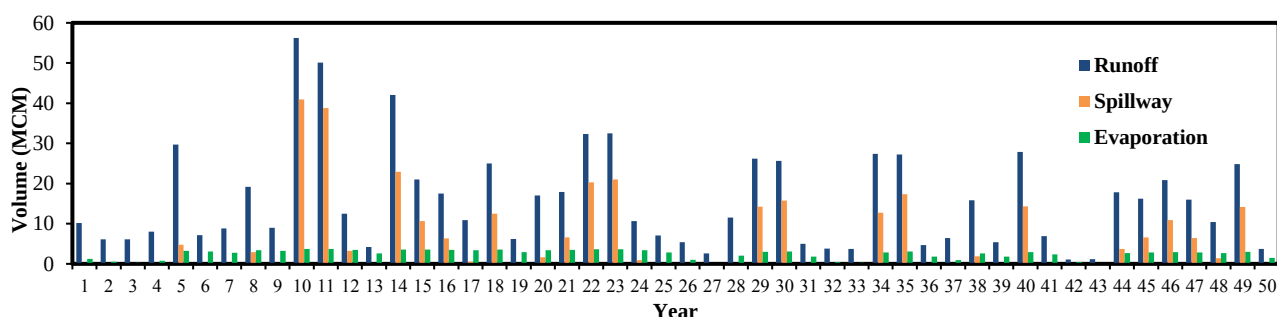
در ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری نیز رهاسازی سالانه به‌طور متوسط ۵/۶۲ میلیون مترمکعب از مخزن سد، نیاز ۱۰۵۰ هکتار اراضی کشاورزی پایاب سد را تأمین خواهد نمود.

شکل‌های ۴ تا ۷ بیانگر نتایج شبیه‌سازی عملکرد مخزن سد گرانی از جمله تغییرات ماهانه و سالانه حجم رواناب ورودی، حجم سرریز و تبخیر و حجم آب رهاسازی شده از سد برای تأمین نیازهای زیست‌محیطی و کشاورزی هستند.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل عملکرد مخزن سد گرانی، با رهاسازی سالانه به‌طور متوسط ۰/۸۰ میلیون مترمکعب از مخزن سد، می‌توان ۹۸٪ نیاز زیست‌محیطی منطقه پایین‌دست سد را تأمین نمود. هم‌چنین در ۲۵ سال ابتدای دوره بهره‌برداری با رهاسازی سالانه به‌طور متوسط ۶/۷۶ میلیون مترمکعب از مخزن سد، با توجه به نیاز آبی الگوی کشت اراضی کشاورزی منطقه بالغ بر ۵۷۵۷/۷ مترمکعب بر هکتار در سال، این حجم آب سالانه پاسخگوی نیاز ۱۲۱۷ هکتار اراضی کشاورزی خواهد بود.

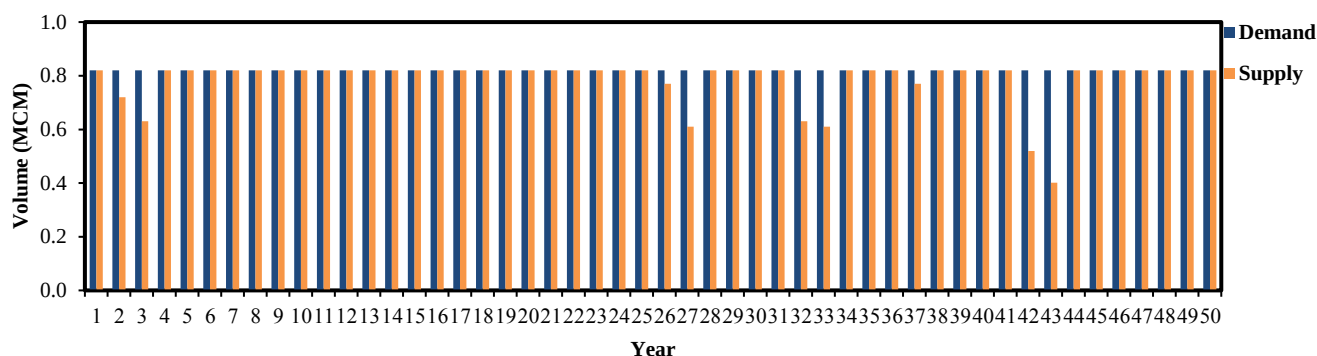


شکل ۴- تغییرات ماهانه حجم رواناب ورودی به مخزن سد، حجم سرریز و تبخیر در دوره بهره‌برداری

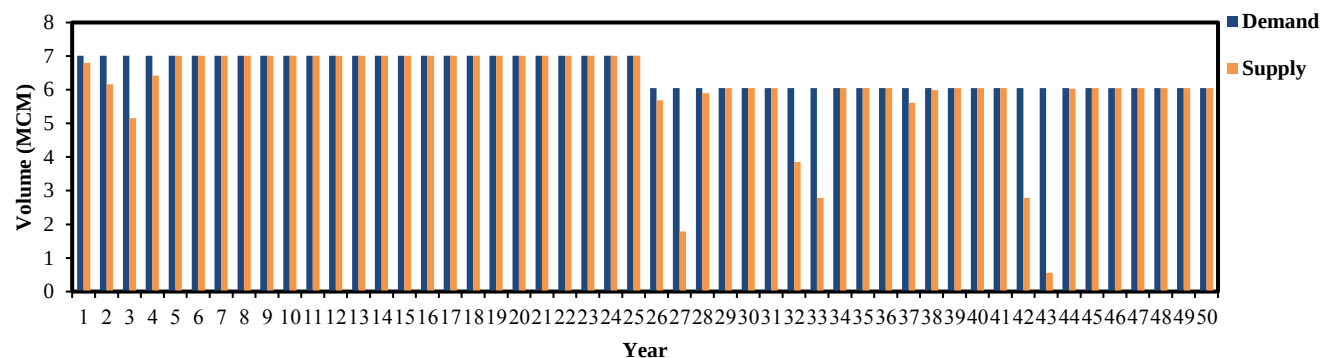


شکل ۵- تغییرات سالانه حجم رواناب ورودی به مخزن سد، حجم سرریز و تبخیر در دوره بهره‌برداری





شکل ۶- تغییرات سالانه توزیع نیاز زیست محیطی و حجم تأمین آب زیست محیطی در دوره بهره‌برداری



شکل ۷- تغییرات سالانه توزیع نیاز کشاورزی و حجم تأمین آب کشاورزی در دوره بهره‌برداری

#### ۴- مقایسه سناریوی توسعه منطقه با سناریوی آینده بدون طرح

##### ۴-۱- کاربری اراضی در محدوده پیشنهادی شبکه

در شرایط فعلی با توجه به کمبود آب کشاورزی، ۱۷۹ هکتار اراضی به کشت آبی، ۷۸۲ هکتار به کشت آیش آبی، ۵۴۰ هکتار به کشت دیم و ۹۵۰ هکتار به کشت آیش دیم اختصاص دارد. لازم به توضیح است زمین آیش شده زمینی است که به منظور استراحت و احیای خاک برای یک دوره معین بدون کشت رها شود. پیش‌بینی می‌شود که در شرایط آینده بدون طرح (وضعیت آینده منطقه مطالعاتی در شرایطی که سد احداث نشده باشد)، سطح اراضی زیر کشت آبی به ۱۴۰ هکتار کاهش و سطح اراضی زیر کشت آیش آبی به ۸۲۱ هکتار افزایش پیدا کند. در صورتی که با اجرای طرح سد گرانی، آب مورد نیاز ۱۲۱۷ هکتار از اراضی پایاب سد به‌طور مطمئن تأمین خواهد شد.

ستون دوم و سوم جداول ۳ و ۴ ترکیب و تراکم کشت محصولات مختلف کشاورزی در شرایط موجود و طرح توسعه منطقه (آینده با طرح) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در وضع موجود، در حدود ۵۳٪ از الگوی کشت به غلات اختصاص دارد که علت این امر را می‌توان به انطباق نیاز آبی این محصولات با رژیم آبدی رودخانه گرانی دانست. لازم به ذکر است الگوهای کشت متفاوتی در منطقه مورد بررسی قرار گرفته و با

توجه به نیاز آبی پایین دست و افزایش سطح زیرکشت و در نهایت افزایش درآمد خالص کل منطقه، الگوی کشت ارائه شده در جدول ۴ به‌عنوان الگوی کشت توصیه شده معرفی شده است (مهندسین مشاور آب‌پوی، ۱۳۹۳). از دیگر مزیت‌های این الگو می‌توان به مصرف به‌هنگام آب در موقع پر آبی رودخانه و کاهش حجم ذخیره آب در سد و در نهایت کاهش تبخیر آب و هزینه ساخت سد از لحاظ ارتفاع و ... دانست.

##### ۴-۲- اقتصاد کشاورزی

هزینه‌های تولید شامل کلیه هزینه‌هایی است که در مراحل کاشت، داشت و برداشت محصولات به مصرف می‌رسد. این هزینه‌ها به سه بخش هزینه‌های نهاده‌های کشاورزی، ماشین‌آلات و نیروی انسانی تقسیم می‌شوند. هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی در وضع موجود در جدول ۳ و در شرایط آینده با طرح در جدول ۴ ارائه شده است. به‌علاوه در این جداول، درآمد تولید هریک از محصولات کشاورزی نیز با لحاظ نمودن درآمد حاصل از محصولات اصلی و فرعی ارائه شده‌اند. بدیهی است که با کسر هزینه‌های کشاورز از درآمد ناخالص، درآمد خالص کشاورز تعیین می‌شود. به‌علاوه با توجه به حجم آب مصرفی در هر هکتار کشت، درآمد خالص هر مترمکعب آب مصرفی محاسبه شده است (ستون آخر جداول ۳ و ۴).

جدول ۳- پارامترهای اقتصادی و درآمد هر هکتار کشت در شرایط وضع موجود

| ردیف | محصول        | نسبت کاشت | درآمد ناخالص (ریال) | هزینه‌های کشاورز (ریال) |            |              |         | درآمد خالص (ریال) | آب مصرفی (مترمکعب) | مترمکعب آب خالص یک (ریال) |
|------|--------------|-----------|---------------------|-------------------------|------------|--------------|---------|-------------------|--------------------|---------------------------|
|      |              |           |                     | کشاورزی نهاده‌های       | ماشین آلات | نیروی انسانی | جمع     |                   |                    |                           |
| ۱    | گندم         | ۰/۳۳      | ۲۶۴۰۰۰              | ۲۰۴۰۸۹                  | ۲۵۲۹۴۵     | ۲۷۷۲۰۰       | ۷۳۴۲۳۴  | ۱۹۰۵۷۶۷           | ۲۴۰۰               | ۷۹۴                       |
| ۲    | جو           | ۰/۲۰      | ۱۳۲۰۰۰              | ۱۰۴۷۹۰                  | ۱۵۳۳۰۰     | ۱۴۷۰۰۰       | ۴۰۵۰۹۰  | ۹۱۴۹۱۰            | ۱۱۶۴               | ۷۸۶                       |
| ۳    | چغندر قند    | ۰/۰۵      | ۷۶۲۷۵۰              | ۳۴۱۲۵                   | ۸۱۶۳۸      | ۲۱۸۶۶۳       | ۳۳۴۴۲۵  | ۴۲۸۳۲۵            | ۹۴۵                | ۴۵۳                       |
| ۴    | پنبه         | ۰/۰۷      | ۷۸۷۵۰۰              | ۶۰۲۷۰                   | ۳۶۳۸۳      | ۲۰۲۴۹۳       | ۲۹۹۱۴۵  | ۴۸۸۳۵۵            | ۸۱۵                | ۶۰۰                       |
| ۵    | هندوانه بذری | ۰/۳۵      | ۳۵۰۰۰۰              | ۱۷۸۲۳۸                  | ۱۵۲۵۱۳     | ۱۲۸۴۴۱۳      | ۱۶۱۵۱۶۳ | ۱۸۸۴۸۳۸           | ۳۰۵۴               | ۶۱۷                       |
|      | الگوی کشت    | ۱         | ۹۰۱۰۲۵۰             | ۵۸۱۵۱۱                  | ۶۷۶۷۷۸     | ۲۱۲۹۷۶۸      | ۳۳۸۸۰۵۶ | ۵۶۲۲۱۹۴           | ۸۳۷۸               | ۶۷۱                       |

جدول ۴- پارامترهای اقتصادی و درآمد تولیدی هر هکتار کشت در شرایط آینده با طرح

| ردیف | محصول     | نسبت کاشت | درآمد ناخالص (ریال) | هزینه‌های کشاورز (ریال) |            |              |         | درآمد خالص (ریال) | آب مصرفی (مترمکعب) | مترمکعب آب خالص یک (ریال) |
|------|-----------|-----------|---------------------|-------------------------|------------|--------------|---------|-------------------|--------------------|---------------------------|
|      |           |           |                     | کشاورزی نهاده‌های       | ماشین آلات | نیروی انسانی | جمع     |                   |                    |                           |
| ۱    | گندم      | ۰/۵۰      | ۱۰۴۴۰۰۰             | ۸۷۶۷۵۰                  | ۷۸۷۵۰۰     | ۶۷۷۲۵۰       | ۲۳۴۱۵۰۰ | ۸۰۹۸۵۰۰           | ۲۷۹۰               | ۲۹۰۲                      |
| ۲    | جو        | ۰/۴۰      | ۶۶۰۴۸۰۰             | ۵۶۴۴۸۰                  | ۶۳۰۰۰۰     | ۴۹۹۸۰۰       | ۱۶۹۴۲۸۰ | ۴۹۱۰۵۲۰           | ۲۰۲۵               | ۲۴۲۵                      |
| ۳    | سورگوم    | ۰/۱۰      | ۲۹۲۵۰۰۰             | ۲۴۹۹۰۰                  | ۴۳۸۹۰۰     | ۲۵۴۱۰۰       | ۹۴۲۹۰۰  | ۱۹۸۲۱۰۰           | ۹۴۳                | ۲۱۰۳                      |
|      | الگوی کشت | ۱/۰۰      | ۱۹۹۶۹۸۰۰            | ۱۶۹۱۱۳۰                 | ۱۸۵۶۴۰۰    | ۱۴۳۱۱۵۰      | ۴۹۷۸۶۸۰ | ۱۴۹۹۱۱۲           | ۵۷۵۸               | ۲۶۰۴                      |

### ۳-۴- دامپروری

مطالعات انجام شده پیرامون جمعیت دام‌های موجود (۸۶۳۰ واحد دامی)، میزان علوفه مورد نیاز دام‌های منطقه (۲۵۸۹۰۰۰ واحد علوفه‌ای) و میزان تولید علوفه از منابع مختلف منطقه مطالعاتی در وضع موجود (۳۰۵۸۱۰ واحد علوفه‌ای) حاکی از آن است که در شرایط فعلی در حدود ۲۲۸۳۱۹۰ واحد علوفه‌ای کمبود وجود دارد که از طریق فشار بر مراتع و یا خرید علوفه از مناطق هم‌جوار به قیمت‌های گزاف تهیه می‌شود. بدیهی است که این وضعیت در شرایط آینده بدون طرح شرایط بدتری نسبت به وضع موجود خواهد داشت.

از طرف دیگر الگوی کشت توصیه شده در منطقه موجبات افزایش علوفه تولیدی در منطقه را فراهم خواهد ساخت. در هر هکتار از الگوی کشت توصیه شده در حدود ۱۲۳۲۴ کیلوگرم علوفه تولید می‌شود که معادل ۶۷۰۰ واحد علوفه‌ای است. با توجه به این که نیاز علوفه‌ای هر واحد دامی در سال معادل ۳۰۰ واحد علوفه‌ای است، می‌توان نتیجه گرفت که در هر هکتار از الگوی کشت در حدود ۲۲/۳ واحد دامی مورد تعلیف قرار خواهد گرفت. هم‌چنان که در بخش ۳ ذکر شد، پس از اجرای طرح، سطحی معادل ۱۲۱۷ هکتار زیر کشت خواهد رفت، لذا پس از اجرای طرح، معادل ۸۱۵۳۹۰۰ واحد علوفه‌ای تولید خواهد شد که موجبات تعلیف ۲۷۱۸۰ واحد دامی را فراهم می‌آورد. به عبارت دیگر، پس

از اجرای طرح سد گرانی می‌توان علاوه بر تأمین کل علوفه مورد نیاز در شرایط فعلی منطقه، ۱۸۵۵۰ واحد دامی به‌میزان واحد دامی فعلی منطقه اضافه نمود تا علاوه بر کارآفرینی برای اهالی، وضعیت اقتصادی روستائیان بهبود یافته و موجبات ثبات آن‌ها در روستا فراهم آید.

### ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثرات احداث سد مخزنی گرانی با در نظر گرفتن رویکرد پویایی‌های سیستم و با استفاده از نرم‌افزار VENSIM مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مخزن سد گرانی مشخص شد که این سد قادر است پس از تأمین حقایقه زیست‌محیطی سالانه بالغ بر ۰/۸۲ میلیون مترمکعب، در ۲۵ سال اول دوره بهره‌برداری حجم آبی معادل ۶/۷۶ میلیون مترمکعب به طور سالانه در اختیار کشاورزان قرار دهد که با توجه به الگوی کشت منطقه پاسخگوی نیاز آبی ۱۲۱۷ هکتار از اراضی پایاب سد خواهد بود. در ۲۵ سال دوم دوره بهره‌برداری با توجه به کاهش حجم مفید مخزن در نتیجه رسوبات ورودی، حجم آب سالانه رهاسازی شده از مخزن سد به ۶/۴۱ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت که از این مقدار، ۰/۷۹ میلیون مترمکعب به‌منظور تأمین حقایقه زیست‌محیطی و مابقی آن برای تأمین نیاز

آبی ۱۰۵۰ هکتار از اراضی کشاورزی پایاب سد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌علاوه در این مطالعه، هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی و نیز درآمدهای حاصل از محصولات اصلی و فرعی کشاورزی محاسبه و مشخص شد که با احداث سد گرانی، درآمد خالص هر مترمکعب آب مصرفی در حوزه کشاورزی از ۶۱۷ ریال به ۲۶۰۴ ریال افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج بررسی در بخش دامپروری نشان داد که با اجرای طرح سد گرانی، علاوه بر این‌که کل علوفه مورد نیاز منطقه در شرایط فعلی تأمین می‌شود، امکان افزودن ۱۸۵۵۰ واحد دامی به واحدهای دامی منطقه نیز وجود دارد که موجب بهبود وضعیت اقتصادی روستائیان خواهد شد.

## ۶- تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از همکاری ارزشمند مهندسین مشاور آب‌پوی تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۷- مراجع

آقابالایی، ب.، فرزین، س.، و اعلمی، م.ت.، (۱۳۹۱)، "مدل‌سازی تخصیص منابع آب حوزه آبریز دره‌رود با استفاده از نرم‌افزار VENSIM"، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.

احمدی، ل.، موسوی، س.ف.، و کرمی، ح.، (۱۳۹۴)، "مدیریت منابع آب حوزه نازلوجای با استفاده از نرم‌افزار VENSIM"، اولین همایش مدیریت تقاضا و بهره‌وری مصرف آب، همدان. ارشدی، م.، و باقری، ع.، (۱۳۹۲)، "تحلیل سیستم منابع آب حوزه کارون از منظر پایداری با رویکرد پایداری سیستم‌ها"، مجله تحقیقات منابع آب/ایران، ۹(۳)، ۱-۱۳.

اعلمی، م.ت.، فرزین، س.، احمدی، م.ح.، و آقابالایی، ب.، (۱۳۹۳)، "مدل‌سازی پویای سیستم سد و آب‌های زیرزمینی به‌منظور مدیریت بهینه آب (مطالعه موردی: سد گلک)", نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۴۴(۱)، ۱-۱۳.

ایمانی‌زاده شریف‌پور، م.، و اسماعیلی، ک.، (۱۳۹۴)، "مدیریت بهره‌برداری مخزن با استفاده از مدل VENSIM (مطالعه موردی: سد مخزنی صفا)", هفتمین همایش ملی آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

شرکت مهندسین مشاور آب‌پوی، (۱۳۹۳)، "گزارش کشاورزی پروژه طرح سد و شبکه آبیاری گرانی اسفراین". شرکت مهندسین مشاور آب‌پوی، (۱۳۹۳)، "گزارش هواشناسی و

هیدرولوژی پروژه طرح سد و شبکه آبیاری گرانی اسفراین". فاضل مدرس، ن.، نیازی، ف.، مفید، ح.، و فاخری‌فرد، ا.، (۱۳۹۱)، "برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب با استفاده از مدل VENSIM (مطالعه موردی: سد علویان)", نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان. فتوکیان، م.ر.، صفاری، ن.، و زرغامی، م.، (۱۳۹۶)، "مدل‌سازی پویای سیستم سد مخزنی یامچی با اعمال الگوی بهینه کشت جهت تدوین سیاست بهره‌برداری"، مجله تحقیقات منابع آب/ایران، ۱۳(۳)، ۱-۱۶.

کدخداحسینی، م.، شامحمدی، ش.، میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، و نوذری، ح.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی سناریوهای مختلف تخصیص منابع آب سد چغاخور با استفاده از روش پویایی سیستم"، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری/ایران، ۱۱(۳۶)، ۲۳-۳۳. محمدی، س.، امیراصلانی، ش.، و مهدی‌نژاد، ح.، (۱۳۸۸)، "برنامه‌ریزی تخصیص بهینه منابع آب با استفاده از مدل VENSIM (مطالعه موردی: حوزه آبریز زنجانرود)", اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

میثاقی، ع.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، و هاشمی‌نیا، س.م.، (۱۳۹۲)، "مدل‌سازی منابع آب در حوزه آبریز با استفاده از روش پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوزه آبریز نیشابور)", مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۷(۳)، ۸۳-۹۴.

Kotir, J.H., Smith, C., Brown, G., Marshall, N., and Johnstone, R., (2016), "A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agriculture development in the Volta river basin, Ghana", *Science of the Total Environment*, 573, 444-457.

Langsdale, S., Beall, A., Carmichael, J., Cohen, S., and Forster, C., (2007), "An exploration of water resources futures under climate change using system dynamics modeling", *Integratin Assessment*, 7, 51-79.

Leal Neto, A.C., Legey, L.F.L., Gonzalez-Araya, M.C., and Jablonski, S., (2006), "System dynamics model for the environmental management of the Sepetiba Bay watershed, Brazil", *Environmental Management*, 38, 879-888.

Pereira, R.M.S., Haie, N., and Machado, G.J., (2012), "VENSIM PLE to create models for water management", *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 6(4), 405-412.

Sterman, J., (2000), *Business dynamics: Systems thinking for a complex world*, Irwin/Mc Graw-Hill.

Yang, C.C., Chang, L.C., and Ho, C.C., (2008), "Application of system dynamics with impact analysis to solve the problem of water shortages in Taiwan", *Water Resources Management*, 22, 1561-1577.

Yang, J., Lei, K., Khu, S., and Meng, W., (2015), "Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model", *Water Resources Management*, 29, 885-899.

**Technical Note**

**یادداشت فنی**

**The Performance of Tajan Rubber Dam in  
Mellal Park in City of Sari during March  
2019 Flood**

**عملکرد سد لاستیکی تجن واقع در پارک ملل  
ساری در سیلاب اسفند ۱۳۹۷**

Mir Majid Emadi<sup>1</sup>, Mohsen Masoudian<sup>2\*</sup> and  
Klaus Rottcher<sup>3</sup>

1- M.Sc. Student in Hydraulic Structures, Sari  
Agricultural Sciences and Natural Resources  
University, Sari, Iran.

2- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences  
and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Professor, Ostfalia University of Applied  
Sciences, Wolfenbuettel, Germany.

\* Corresponding author, Email:  
[masoudian@sanru.ac.ir](mailto:masoudian@sanru.ac.ir)

Received: 04/06/2019

Revised: 04/10/2019

Accepted: 06/10/2019

**Abstract**

Building rubber dams in the northern provinces of Iran are emerging, though the function of such dams in the critical situations especially in great floods is still not given much investigations. In this paper, the function of the rubber dam constructed in Sari (the center of Mazandaran Province) is studied in the flood event of March 2019 with the peak of 880 m<sup>3</sup>/s which was exceptional in the past 100 years. As a recent structure, investigating the function of the rubber dam in this floods is very important. Investigating different parts of the dam showed some deficiencies such as failing of the automatic discharge system, lack of operating plans for flood events, lack of suitable sealing for installations which resulted in the intrusion of water into the control room. In this paper suggestions are presented for design and using the rubber dams.

**Keywords:** Rubber Dam, Tajan River, Exploitation, 2019 Flood

میرمجید عمادی<sup>۱</sup>، محسن مسعودیان<sup>۲\*</sup> و کلاوس راتچر<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

۳- استاد دانشگاه علوم کاربردی استفالتا، ولفنباتل، آلمان.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [masoudian@sanru.ac.ir](mailto:masoudian@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

**چکیده**

احداث سد های لاستیکی در شمال کشور رو به گسترش است. از آنجایی که عمر زیادی از این سازه ها نگذشته عملکرد آن ها در شرایط بحرانی و به ویژه سیلاب های بزرگ نامشخص است. با توجه به این موضوع در این مقاله عملکرد سد لاستیکی احداث شده روی رودخانه تجن در محدوده شهر ساری در سیلاب ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار می گیرد. سیلاب اسفند ۱۳۹۷ با دبی اوج ۸۸۰ مترمکعب بر ثانیه در ۱۰۰ سال اخیر بی سابقه بوده و عملکرد سد لاستیکی به عنوان سازه های نوین در این گونه سیلاب ها حائز اهمیت است. بر این اساس بررسی های میدانی به عمل آمده در بخش های مختلف سد از طراحی تا بهره برداری دارای نقطه ضعف هایی بوده است از جمله: عمل نکردن سیستم تخلیه خودکار سد لاستیکی، عدم وجود برنامه بهره برداری سد در مواقع سیلابی نزد اپراتور، عدم آب بندی مناسب تاسیسات که منجر به نفوذ آب به داخل اتاق کنترل شده می توان اشاره کرد. در این مقاله ضمن تشریح موارد ذکر شده، پیشنهادهای لازم در خصوص طراحی و بهره برداری سد های لاستیکی ارائه شده است.

**کلمات کلیدی:** سد لاستیکی، رودخانه تجن، بهره برداری، سیلاب ۱۳۹۷.

- افزایش ارتفاع آب برای انحراف: به منظور انحراف آب به کانال آبرگیر نیاز به تثبیت رودخانه و افزایش ارتفاع آب است.

- جداسازی آب شور و شیرین در سواحل دریاها: در فصول تابستان که دبی جریان رودخانه کاسته شده و از طرفی بنا به نیاز کشاورزی برداشت از رودخانه زیاد می شود در نواحی ساحلی مانند مازندران آب دریا در مسیر رودخانه به سمت بالادست حرکت نموده و باعث اختلاط آب شور و شیرین و شور شدن سفره آب زیر زمینی می شود.

- طرح های تغذیه مصنوعی: با توجه به قابلیت انعطاف پذیری سدهای لاستیکی در ذخیره سازی و رهاسازی جریان آب، بندهای انحراف پائین دست سدهای بزرگ برای تنظیم جریان آب رها شده از تاسیسات هیدروالکتریک سدهای برقایی بزرگ و استفاده آن در قطب های اراضی کشاورزی با توجه به ناکارآمد بودن بندهای صلب به دلیل حجم زیاد رسوبات است.

- کنترل سیلاب ها و تنظیم جریان رودخانه: این کار توسط دستگاه های الکترونیکی در اتاق کنترل و به طور خودکار انجام می گیرد. پایین آمدن رقوم سطح آب از یک سطح مشخص به معنای پایان سیلاب است، که در این صورت دستگاه کنترل الکترونیکی، دستور افراشتن سد را اعلام می دارد که با این اعلام، کمپرسور هوا به کار افتاده و سد را باد می کند. بنابر گفته مسئول فنی، سد لاستیکی تجن در روز سیلاب از حالت اتوماتیک خارج شده بود و به صورت دستی فرمان پایین آمدن سد را انجام داده بودند.

- کنترل رسوب رودخانه: از آن جا که سکوی بتنی محل استقرار سد لاستیکی، در کف رودخانه و هم تراز با بستر آن کار گذاشته می شود، در هنگام خواباندن سد، شرایط رودخانه مانند شرایط قبل از احداث سد لاستیکی است. به عبارت دیگر پشت سد رسوب گذاری نمی شود، زیرا در هنگام وقوع سیل که بیشترین بار رسوب توسط جریان حمل می شود، سد به صورت اتوماتیک تخلیه شده و رودخانه شرایط طبیعی پیدا می کند.

بوستانی و همکاران (۱۳۸۹) موارد استفاده از سدهای لاستیکی، به عنوان سازه های قابل انعطاف در انحراف جریان و همچنین تنظیم آن در مواقع سیلابی را برشمردند: به عنوان دریچه در کانال های بزرگ و همچنین در رودخانه ها، افزایش ارتفاع سرریز سدها و استفاده از مخزن سیلاب در سدها. اگر از این سازه به عنوان یک سد انحرافی موقتی استفاده شود، در ابتدا باید هزینه آن را با یک سد انحرافی ساده در منطقه مورد مطالعه مقایسه و سپس گزینه مناسب را انتخاب کرد. علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعات خود بیان داشتند که سدهای لاستیکی علاوه بر تنظیم آب رودخانه های ساحلی، می توانند با ساماندهی رودخانه ها در محدوده های شهری جاذبه های توریستی و تفریحی را به دنبال

از گذشته دور در ساخت سازه های آبی نظیر سدها، بندهای انحرافی یا تنظیمی و کانال های آبرسانی از مصالح گوناگونی نظیر بتن، سنگ و خاک استفاده شده است. با گذشت زمان و با پیشرفت در علم مکانیک خاک و سنگ، حل مسائل هیدرولیک و هیدرولوژی و از طرف دیگر احتیاج روز افزون به ذخیره و تامین آب، مصالح جدیدی به دست آمده که کاربرد مناسبی در طرح های آبی پیدا کرده اند. از جمله این مصالح جدید می توان به موادی نظیر ژئوتکستایل<sup>۱</sup>، ژئوممبران<sup>۲</sup>، پی وی سی<sup>۳</sup> و لاستیک<sup>۴</sup> را نام برد. ایده استفاده از سدهای لاستیکی اولین بار در سال ۱۹۵۰ توسط ایمبرسون مطرح شد. در سال ۱۹۶۵ اولین سد لاستیکی بادی در ژاپن برای ذخیره سازی آب به بهره برداری رسید. نحوه کار و سهولت اجرا و بهره برداری از سدهای لاستیکی، آن ها را مناسب برای جایگزینی برخی سدهای کوتاه می سازد. این سدها با توجه به طراحی سریع، سهولت نصب و بهره برداری، هزینه اندک اجرای طرح، مدت زمان کوتاه اجرا، انعطاف پذیری قابل توجه آن در مقابل عوامل خارجی، امکان تغییر شکل و سبکی می توانند در بسیاری از طرح های آبی کشور به ویژه در نواحی ساحلی شمالی و جنوبی که با مشکلات متعدد آبی از جمله کمبود آب کشاورزی و سیلاب های فصلی روبرو هستند، مناسب واقع شوند. کاربرد این سدها متنوع بوده و می توان از اثرات آن ها در افزایش حجم ذخیره سازی سدهای بزرگ، استفاده از آن ها به جای دریچه های فولادی، کاهش فرسایش رودخانه ها، کنترل سیلاب به عنوان بندهای انحرافی، ساخت حوضچه های پرورش آبزیان و غیره نام برد. از آن جایی که تامین آب همواره نیاز اساسی بشر است، لذا مهار سیلاب ها و آب های جاری از طریق احداث سد از کارهای اساسی و زیربنایی برای خودکفایی کشور بوده است. (دانشنامه ویکی پدیا)

گاهی اوقات سدهای لاستیکی را در چم رودخانه و ساحل در راستای مسیر مستقیم رودخانه ساخته شده و سپس با خاکبرداری مسیر رودخانه تغییر می کند. لذا در هزینه انحراف صرفه جویی شده و هزینه تغییر مسیر فقط شامل مقداری خاکبرداری است که جزء اقلام کم هزینه عمرانی محسوب می شود (Kabir, 2014). گرچه عمر استفاده از لاستیک در سازه های هیدرولیکی به ۶۰ سال نمی رسد، اما در همین دوره کوتاه در بسیاری از کشورهای جهان حدود ۵۰۰۰ سد لاستیکی ساخته شده و مورد بهره برداری قرار گرفته است (دانشنامه ویکی پدیا). این فناوری جدید دریچه ای به سوی طرح های زود بازده در زمینه منابع آب باز نموده که هر روز درگوشه و کنار دنیا گسترش قابل ملاحظه ای پیدا کرده است. به طور خلاصه می توان کاربردهای سدهای لاستیکی را به شرح زیر برشمرد (عاطفی فرد و همکاران،



داشته باشند.

سدهای لاستیکی شامل سه بخش بدنه، پی و تاسیسات کنترل و بهره‌برداری به شرح زیر هستند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳):

#### الف) بدنه سد:

بدنه سد پیشرفته‌ترین جزء تشکیل‌دهنده سد لاستیکی است که ترکیبی از لاستیک و الیاف تقویت‌کننده بوده و به صورت ورق به عرض یک تا دو متر در کارخانه تولید می‌شود. سپس ورق‌ها در طول‌های مورد نیاز بریده و به یکدیگر به صورت عرضی متصل (دوخته) می‌شوند تا ورق بدنه سد به شکل یکپارچه ایجاد شود. برای حفاظت بدنه در برابر عوامل جوی و هم‌چنین اجسام معلق در آب از مواد مختلفی برای مقاوم کردن بدنه استفاده می‌شود، از جمله کلروپرن<sup>۵</sup> و اتلین پروپیلن دی ان مونومر<sup>۶</sup> که هر دو ماده مقاومت بالایی در برابر عوامل جوی و تغییرات گسترده درجه حرارت محیط دارند. این نوع مواد از فیبرهای سخت که تحت فشار و حرارت زیاد قرار می‌گیرند تشکیل می‌شود.

#### ب) پی سد و تجهیزات مهار:

پی سد عموماً در کف به صورت سطح و در دو طرف به صورت شیب‌دار ساخته می‌شود. لوله‌هایی که در پر و خالی کردن آب یا هوا به کار می‌روند عمدتاً در بستر کار گذاشته می‌شوند. بدنه لاستیکی سد به وسیله لوله و میله در محل نگه‌داشته و توسط پیچ مهار، نصب می‌شود. با تزریق رزین پلی‌استر<sup>۷</sup> در محل، این قسمت سخت و محکم می‌شود. بخش بیرونی پیچ‌های مهار پس از عبور از سوراخ‌های تعبیه شده در بدنه سد لاستیکی توسط مهره و واشر به پی محکم می‌شود. ارتفاع این پیچ و مهره‌ها پس از بستن سد لاستیکی باید پایین‌تر از سطح کف بستر رودخانه باشد تا از تجمع گل و لای هنگامی که سد خالی است جلوگیری به عمل آید. نصب بدنه سد به پی به دو روش سیستم مهار یک ردیفی و سیستم مهار دو ردیفی صورت می‌گیرد. مزیت سیستم مهار دو ردیفی این است که هر چه فاصله دو ردیف بیشتر باشد تاثیر تغییرات ارتفاع سد با نوسانات سطح آب به حداقل می‌رسد.

#### ج) سیستم کنترل و بهره‌برداری:

مساحت یک اتاق کنترل استاندارد در حدود ۱۰ مترمربع و شامل تجهیزاتی مانند تابلو کنترل، شیرآلات و کمپرسور هوا است. در محدوده پارک ملل ساری سازه‌های هیدرولیکی مختلفی ساخته شده است که می‌توان به کف‌بندها، دیواره‌سازی‌های سد لاستیکی، پل عابر و غیره اشاره نمود. سد لاستیکی روی رودخانه به منظور ایجاد مخزن تفریحی ساخته شده است و در زمان سیلاب باید تخلیه شده و رودخانه به حالت اولیه برگردد. در این مقاله با توجه به اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران (۱۳۹۷) و داده‌های ایستگاه هیدرومتری ریگ چشمه و ظالمرو (گرمرو) که در بالادست این محدوده قرار دارند به بررسی عملکرد این سد

در سیلاب ۲۷ اسفند ۱۳۹۷ پرداخته می‌شود. سیلاب از تاریخ ۲۶ اسفند شروع شده و تا ۱ فروردین ۱۳۹۸ ادامه داشته است.

#### ۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

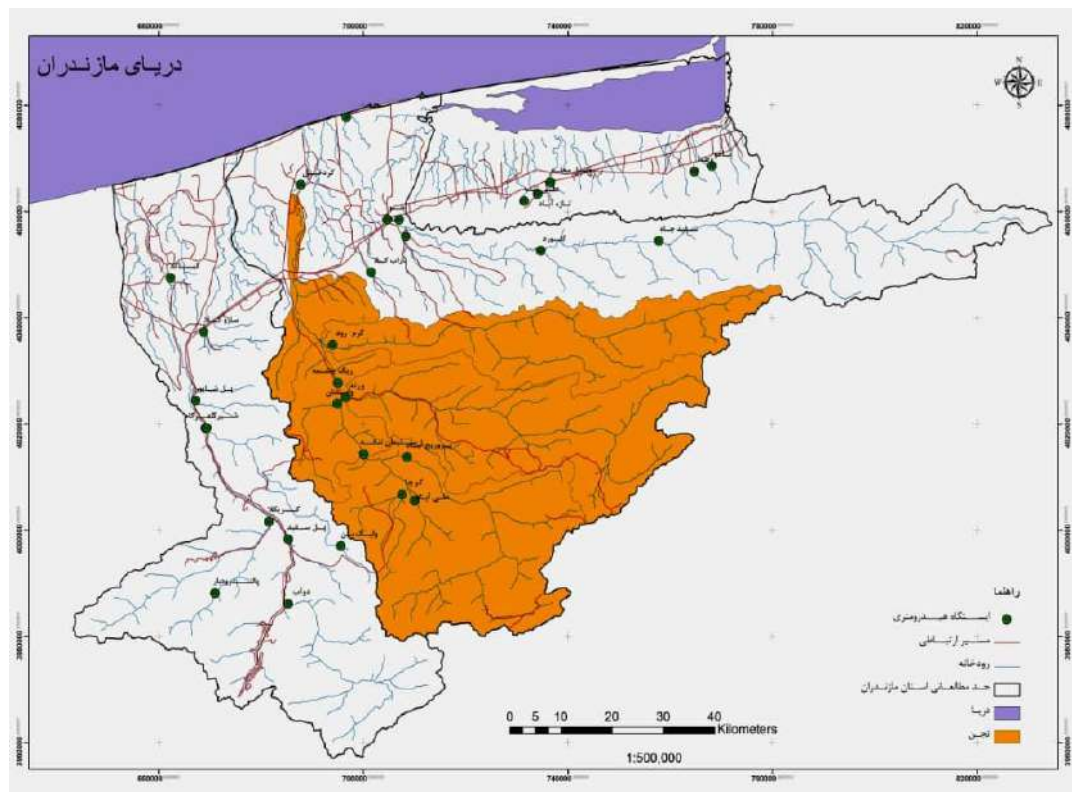
##### ۲-۱- مشخصات حوضه آبریز تجن

تجن از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز دریای مازندران است که از ارتفاع ۳۲۵۱ متری کوه‌های هزار جریب در دامنه شمالی سلسله جبال البرز در جنوب شهرستان ساری از چشمه‌های متعددی در دهستان پشتکوه سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز این رودخانه از شمال به دریای خزر، از شرق به حوضه رودخانه دارابکلا و نکارود، از جنوب به استان سمنان و از غرب به حوضه سیاهرود و رودخانه تالار محدود می‌شود. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۷۲ کیلومتر و سه شاخه اصلی آن دودانگه و چهاردانگه و ظالمرو نام دارند که بر روی شاخه دودانگه سد مخزنی شهید رجایی و سد خاکی فریم اجرا شده و در مسیر شمالی تا رسیدن به دریای خزر از شهرستان ساری می‌گذرد. مساحت حوضه آبریز تا ایستگاه کردخیل واقع در پایاب رودخانه حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). حدود پنجاه درصد آن مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل است و رژیم جریان رودخانه برفی- بارانی بوده که دارای جریان پایه‌ای دائم است.

رودخانه تجن در محدوده کوهستانی به صورت دره-رودخانه است. رودخانه تجن از میانه شهر ساری عبور کرده و در محل شهرستان ساری وارد پهنه ساحلی خزر شده و نهایتاً در ناحیه فرح‌آباد به دریای خزر می‌ریزد. براساس خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی، می‌توان حوضه تجن را به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و آب و هوای کوهستانی تقسیم کرد. آب و هوای کوهستانی خود بر دو نوع معتدل کوهستانی و سرد کوهستانی است.

تجن دارای آب و هوای معتدل خزری است که این اقلیم جلگه‌های غربی و مرکزی استان تا کوهپایه‌های شمالی البرز را شامل می‌شود. در این نواحی به دلیل کمی فاصله کوهستان و دریا رطوبت تجمع می‌یابد که به عنوان پیامد آن می‌توان بارش‌های قابل‌ملاحظه و دمای معتدل را ذکر کرد. میانگین بارندگی سالانه در نواحی ساحلی استان برابر با ۹۷۷ میلیمتر است. توزیع مکانی آن از غرب به شرق با کاهش همراه است، در حالی که توزیع زمانی آن وضعیتی کمابیش منظم دارد (حداکثر بارندگی در پائیز و حداقل آن در بهار اتفاق می‌افتد).

میزان متوسط آبدی رودخانه تجن از سال آبی ۱۳۵۴-۱۳۵۵ تا سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در ایستگاه کردخیل برابر با ۱۳/۷۹ مترمکعب در ثانیه و حجم معادل ۴۳۳ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران، ۱۳۹۳).



شکل ۱- زیرحوضه‌های رودخانه تجن و ایستگاه‌های هیدرومتری (حسینی و رحمانی، ۱۳۹۳)

## ۲-۲- موقعیت سد لاستیکی تجن

تجن و در فاصله ۲۰۰ متری بالادست پل تجن احداث شده است. شکل ۲ موقعیت سد لاستیکی تجن در منطقه را نشان می‌دهد.

سد لاستیکی تجن در محدوده حد فاصل پل راه آهن تا پل



شکل ۲- موقعیت سد لاستیکی در نقشه گوگل ارث

## ۲-۳- مشخصات فنی سد لاستیکی تجن ساری

طرفین سد نیز اتاق کنترل برای کمپرسورهای باد سد تعبیه می‌شود. لازم به ذکر است که عمر اقتصادی این سازه ۴۰ سال است (مهندسین سازه‌پردازی ایران، ۱۳۸۸). در شکل ۳ سد لاستیکی تجن ساری قبل از وقوع سیل نشان داده شده است.

این سد متشکل از دو دهنه که طول هر دهنه آن ۵۵ متر با هسته مرکزی بتنی است. کناره‌های سد دارای ایمن‌سازی طرفین با پاشنه سنگی بوده و شیب آن یک به دو است (جدول ۱). در



شکل ۳- سد لاستیکی تجن ساری قبل از وقوع سیل

جدول ۱- مشخصات فنی سد لاستیکی تجن ساری

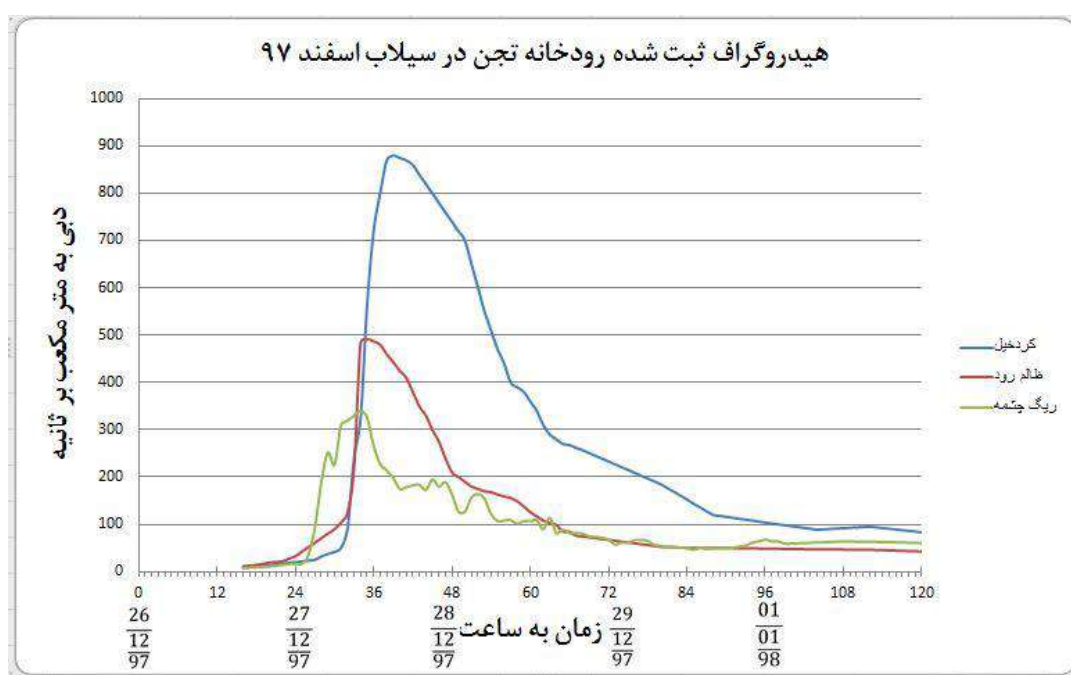
| طول سد (m) | عرض فوندانسیون سد (m) | فاصله سد تا شیب شکن (m) | حداکثر ارتفاع آب از سد (m) | طول شیب شکن (m) | سطح دریاچه (m <sup>2</sup> ) | دبی (m <sup>3</sup> /s) | (ظرفیت) حجم آب دریاچه (m <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| ۱۲۰        | ۱۱                    | ۵۹۰                     | ۲/۵                        | ۱۲۰             | ۷۰۸۰۰                        | ۱۸                      | ۱۷۷۰۰۰                                  |

### ۳- مشخصات سیلاب اسفند ۱۳۹۷

سیلاب اسفند ۱۳۹۷ با بارندگی‌هایی که در حوضه بالادست رودخانه تجن اتفاق افتاد شکل گرفت. بارندگی از ساعت ۴ بعدازظهر روز ۲۶ اسفند شروع شد و براساس آمار و اطلاعات به‌دست آمده، هیدروگراف سیل دارای نقطه اوج ۸۸۰ مترمکعب بر ثانیه در ساعت ۲ بعدازظهر روز ۲۷ اسفند و بیش‌ترین حجم آب برابر ۳۱۱۲۵۶۰ مترمکعب در ایستگاه هیدرومتری کردخیل (که در پایاب رودخانه تجن قرار دارد) بوده است. شکل ۴ هیدروگراف سیلاب از روز ۲۶ اسفند تا ۱ فروردین را نشان می‌دهد.

### ۲-۴- اهداف اصلی و جانبی سد لاستیکی تجن

هدف اصلی و اساسی از اجرای این طرح، ایجاد دریاچه مصنوعی با کاربری تفریحی و در واقع احداث یک محور سبز<sup>۸</sup> حفاظتی- شهری در حاشیه رودخانه تجن برای ارتقای کیفیت زیرساخت‌های شهری در محدوده شهر ساری بوده است. لیکن دلیل اساسی برای مطرح نمودن سد لاستیکی به‌عنوان یکی از گزینه‌های مطرح برای احداث دریاچه مصنوعی، خالی شدن سد لاستیکی و قرار گرفتن آن بر روی بستر رودخانه در مواقع سیلابی و در نتیجه عدم ممانعت آن در مقابل جریان سیل و رسوب بوده است.



شکل ۴- هیدروگراف سیلاب از روز ۲۶ اسفند تا ۱ فروردین



محدوده پارک سریز نموده و کل محوطه را فراگرفته بود. دایک‌ها حدود یک متر بالاتر از تاج سد لاستیکی بوده که بیانگر شدت سیلاب است.

در زمان وقوع سیل و بعد از آن، با حضور در محل سد لاستیکی نسبت به جمع‌آوری اطلاعات میدانی از سایت اقدام شد. شکل ۵ سیلاب عبوری از محل سایت را نشان می‌دهد. گستره سیلاب به حدی بوده که آب از دایک‌های اطراف رودخانه در



شکل ۵- تصاویر مربوط به هنگام وقوع سیل در پارک ملل روز ۲۷ اسفند ۱۳۹۷

وقوع سیلاب، تخلیه سد براساس رقوم سطح آب روی سد انجام گرفته است. چون زمان تخلیه مورد نیاز تا رسیدن پیک سیلاب مناسب نبود، لذا باعث ایجاد خساراتی شد. در شکل ۶ تصویرمربوط به سد لاستیکی در زمان سیلاب نشان داده شده است.

قاعداً در سیلاب‌هایی شدید و حوضه‌هایی به بزرگی تجن، زمان تمرکز حوضه نسبتاً بالا است و به‌اندازه کافی زمان وجود دارد تا اقدامات اولیه برای تخلیه سد لاستیکی انجام گیرد. معمولاً باید هشدار لازم داده شود تا قبل از رسیدن سیلاب به محل سد نسبت به تخلیه آن اقدام شود. ولی در سیلاب مذکور متأسفانه این هشدار انجام نگرفته و براساس مصاحبه با اپراتور سد در زمان



شکل ۶- تصویرمربوط به سد لاستیکی در زمان سیلاب

سد لاستیکی ساعت ۳:۴۵ بامداد ۲۷ اسفند اقدام به تخلیه باد سد و ساعت ۴ بامداد محل کنترل سد را ترک کرده است. براساس گفته‌های اپراتور، قبل از ورود پیک سیل در ساعت حدود ۶ صبح روز ۲۷ اسفند سد کاملاً تخلیه و پارک ملل دچار آب‌گرفتگی شده که در شکل ۷ با خط قرمز نشان داده شده است.

از طرفی بعضی از سنسورهای سد نیز عمل نکردند و باعث تشدید بحران شدند. براساس اطلاعات کسب شده از اپراتور ایشان هیچ‌گونه اطلاعی از وقوع سیلاب نداشته و همچنین هیچ‌گونه دستورالعمل و آموزشی نیز در این ارتباط ندیده بود. نهایتاً پس از وقوع سیل و مشاهده شدت آن، تنها کاری که کرده ترک محل سد بوده است. اپراتور سد بیان کرد که با توجه به ارتفاع آب روی



شکل ۷- تصویر مربوط به سطح سیلاب، اتاق کنترل و کمپرسورهای سد لاستیکی

قرار دارند شود. براساس نمودار و دستورالعمل بهره‌برداری از سدهای لاستیکی، اگر روز قبل از سیلاب، اقدام به تخلیه سد لاستیکی توسط بهره‌بردار می‌شد خسارت وارده به سد و محیط پارک ملل کمتر بود.

حدوداً به اندازه ۲۰ سانتی‌متر بدنه سد لاستیکی سمت پارک ملل به دلیل برخورد سکوها فلزی (شکل ۸) که برای قرارگیری محل پدالوها تعبیه شده بود دچار پارگی شده (شکل ۹) و همین پارگی باعث شد که آب از این طریق وارد اتاق کنترل و خراب شدن موتورهای کمپرسورهای مورد استفاده برای باد کردن سد



شکل ۸- سکوها فلزی محل قرارگیری پدالو





شکل ۹- تصاویر مربوط به سد لاستیکی تجن بعد از وقوع سیل

#### ۴- اثر سد لاستیکی بر محیط زیست

سد دست خوش تغییر شده و در نتیجه سبب آب شستگی در بالا و پائین دست سد لاستیکی شود (شکل های ۱۰ و ۱۱). به ویژه که با بالا آمدن سطح تراز نرمال آب و تماس جریان با مقطع بزرگ تر شده، موجب ریزش دیواره ها و گاهی سبب پر شدن مجرای بالا دست رودخانه می شود. از این رو شستشوی رسوبات بالا دست با استفاده از طغیان های رودخانه می تواند به این امر کمک به سزایی نماید. در بعضی از سدهای لاستیکی برای ایجاد شرایط هیدرولیکی مناسب به منظور احداث سد لاستیکی، معمولاً از یک مثاندر مناسب رودخانه برای احداث سد لاستیکی استفاده می کنند. یکی از مسائل زیست محیطی را در سدهای لاستیکی باید لحاظ شود، احداث پلکان ماهی رو است.

به طور طبیعی سد لاستیکی نیز خود می تواند بر محیط اطراف اثر بگذارد و این اثرات را می توان از جنبه های مختلف مورد توجه قرار داد. یکی از این موارد بحث ناسازگاری سد لاستیکی با طبیعت آبرفت رودخانه است. احداث یک سازه بتنی به عنوان بالشتک سد لاستیکی و دیواره های تقارب بتنی در ساخت گاه سد با توجه به رسوبات آبرفتی در رودخانه در یک مقطع صلب و غیرقابل فرسایش تبدیل شود. به علاوه کاهش احتمالی سطح مقطع سد نیز موجب می شود که هیدرولیک جریان رودخانه در ساخت گاه



شکل ۱۰- رسوبات جمع شده در بالادست سد لاستیکی بعد از وقوع سیل



شکل ۱۱- تصاویر مربوط به آبهستگی‌های دیواره بتنی و تخریب جدول‌های بتنی در بالادست سد لاستیکی بعد از وقوع سیل

## ۵- نتیجه‌گیری

با بررسی‌های به‌عمل آمده در این مقاله نتیجه‌گیری می‌شود که با بررسی دلیل مشکلات به‌وجود آمده برای سد در سیلاب اسفند ۱۳۹۷، لازم است در طراحی، اجرا و بهره‌برداری از سدهای لاستیکی موارد ذیل با دقت در نظر گرفته شود:

- جابجایی و مهار مناسب تاسیسات بالادستی سازه که احتمال جدا شدن از سیستم مهار را دارند مانند اسکله قایقرانی و غیره؛
- آب‌بندی مناسب اتاق‌های تاسیسات و ابزار؛
- تهیه دستورالعمل ویژه اقدام اضطراری برای سدهای لاستیکی،
- تهیه برنامه منظم بازرسی و پایش سیستم‌های خودکار الکترونیکی و مکانیکی (سنسورها و ابزارها، دریچه‌ها و غیره)،
- آموزش پرسنل بهره‌برداری برای انجام دستورالعمل‌های اقدام اضطراری.

نکته قابل تاکید این‌که سدهای لاستیکی به‌دلیل ماهیت عملکردی و جنس مصالح به‌کار رفته با دیگر سدها متفاوت بوده و به‌این دلیل باید آیین‌نامه‌های ویژه‌ای در راستای طراحی، اجرا و بهره‌برداری آن‌ها تهیه شود.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Geotextile
- 2- Geomembrane
- 3- PVC
- 4- Rubber
- 5- Chloroprene
- 6- EPDM
- 7- Polyester resin
- 8- Green Corridor

## ۷- مراجع

بوستانی، آ.، عمادی، ع.، و اکبرزاده، م.، (۱۳۸۹)، "بررسی و مقایسه سدهای لاستیکی با سازه‌های معمول تنظیم جریان در شبکه‌ها و انهار مناطق ساحلی کشور"، اولین همایش ملی

مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، ایران.

حسینی، ح.، و رحمانی، س.، (۱۳۹۳)، "مزایا و معایب و نحوه ساخت سدهای لاستیکی"، همایش ملی آب/انسان و زمین، ایران، اصفهان، شرکت توسعه سازان گردشگری اصفهان، اصفهان، ایران.

شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران (۱۳۹۴)، "گزارش مطالعات هیدرولوژیکی پروژه زیباسازی رودخانه تجن، ۲۳-۲۸. شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران (۱۳۹۷)، دفتر مطالعات پایه منابع آب.

عاطفی‌فرد، م.، خیری، م.، داوودی، س.، آزاد فلاح، ع.، و بهنیا، س.، (۱۳۹۴)، "بررسی اجمالی سدهای لاستیکی"، دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری، شهرسازی و محیط زیست پایدار، استانبول، ترکیه.

علیزاده، م.، میرزایی، ا.، باباتبار، م.، و عرب لاریمی، ع.، (۱۳۸۹)، "افزایش بهره‌وری منابع آب اراضی ساحلی با احداث سدهای لاستیکی (مطالعه موردی: سدهای لاستیکی نوار ساحلی دریای خزر)"، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، ایران.

مهندسين سازه‌پردازي ايران (۱۳۸۸)، "گزارش مطالعات هیدرولیک پروژه زیباسازی رودخانه تجن"، ۳۲-۴۷.

Hasan, M.S., Kabir, M.I., (2014), "Feasibility of Nature Rubber Dam on Mahanonda river in Bangladesh and its performance on irrigation", American Journal of Engineering Research (AJER), 3(1), 27-34.

## Research Paper

## مقاله پژوهشی

### The Effect of Greywater and Zeolite Usage in the Construction and Curing of Plain Concrete in Different Cement Contents and Ages

Kami Kaboosi<sup>1\*</sup>, Farzad Kaboosi<sup>2</sup> and Mehran Fadavi<sup>2</sup>

1- Department of Water Engineering, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

2- Department of Civil Engineering, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

\* Corresponding author, Email: [kkaboosi@yahoo.com](mailto:kkaboosi@yahoo.com)

Received: 09/06/2019

Revised: 05/10/2019

Accepted: 06/10/2019

## Abstract

Regarding the significant contribution of the concrete industry in water consumption and greenhouse gas emissions, it is necessary to study the possibility of using unconventional waters and environmental friendly materials in this industry. Accordingly, the present study was conducted to investigate 120 treatments including three levels of water quality (tap water, greywater and mixture of equal ratio of tap water and greywater), four levels of zeolite (0, 10, 20 and 30 percent of zeolite application instead of cement in the concrete mix), two levels of cement content (250 and 350 kg.m<sup>-3</sup>) and five curing ages (3, 7, 21, 56 and 90 days) in three replications by construction of 360 concrete specimens. Considering the considerable types of the experimental treatments in this study and in respect to the lack of statistical analysis in previous studies, the results of this study were analyzed based on a completely randomized design with factorial experiment using analysis of variance (ANOVA) and means comparison (LSD) tests. The results showed that the use of greywater, in whole or combined, increased the compressive strength of concrete. Also, although the application of zeolite in both cement contents generally reduced the compressive strength of concrete, the rate of change was significantly lesser in cement content 350 kg.m<sup>-3</sup> than 250 kg.m<sup>-3</sup>, so that replacement of 10%, 20% and 30% of cement by zeolite led to decrease of the compressive strength by 15.0%, 26.1% and 34.0%, respectively; whereas in the cement content 350 kg.m<sup>-3</sup>, the changes of compressive strength of specimens were -2.4%, +5.4% and -13.7%, respectively. However, considering the significant interaction of these two factors with water type, which means the different effects of water quality and the percentage of zeolite on different contents of cement, the best level of application of zeolite and water type regarding the cement content should be selected based on in-situ mix design test.

**Keywords:** Analysis of variance, Curing age, Interaction, Mix design, Unconventional water.

تاثیر استفاده از آب خاکستری به همراه زئولیت در ساخت و عمل آوری بتن غیر مسلح در عبارهای سیمان و سنین مختلف

کامی کابوسی<sup>۱\*</sup>، فرزاد کابوسی<sup>۲</sup> و مهران فدوی<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی آب، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

۲- گروه عمران، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [kkaboosi@yahoo.com](mailto:kkaboosi@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

## چکیده

نظر به سهم قابل توجه صنعت بتن در مصرف آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای، بررسی امکان استفاده از آب‌های نامتعارف و مصالح دوستدار محیط زیست در این صنعت ضروری است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی برهم‌کنش سه نوع آب (شامل آب شهری، آب خاکستری و ترکیب آب شهری و آب خاکستری با نسبت برابر)، ۴٪ جایگزینی سیمان با زئولیت (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد)، دو سطح مصالح سیمانی (شامل ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و پنج سن عمل‌آوری (۳، ۷، ۲۱، ۵۶ و ۹۰ روز) بر مقاومت فشاری بتن در سه تکرار با ساخت ۳۶۰ نمونه بتنی صورت گرفت. نظر به تنوع قابل‌ملاحظه تیمارهای آزمایش در این پژوهش و با توجه به عدم تجزیه و تحلیل‌های آماری در پژوهش‌های قبلی، نتایج پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت آزمایش فاکتوریل تحت آزمون‌های تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها (LSD) قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از آب خاکستری و ترکیبی موجب افزایش مقاومت فشاری بتن شد. همچنین، اگرچه کاربرد زئولیت در هر دو عبار سیمان عموماً منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن شد، نرخ تغییرات در عبار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به مراتب کمتر از عبار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود، به‌طوری‌که جایگزینی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد زئولیت در مقایسه با تیمار عدم کاربرد زئولیت در عبار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب موجب کاهش مقاومت فشاری به‌میزان به ترتیب ۱۵/۰، ۲۶/۱ و ۳۴/۰ درصد شد. ولی در عبار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمونه‌ها را به ترتیب ۲/۴-، ۵/۴+ و ۱۳/۷- درصد تغییر داد. با این حال، با توجه به برهم‌کنش معنی‌دار این دو عامل با نوع آب، که به معنای اثرات متفاوت نوع آب و درصد زئولیت در عبارهای مختلف سیمان است، انتخاب بهترین سطح کاربرد زئولیت و نوع آب با توجه به عبار سیمان موردنظر باید براساس آزمون طرح اختلاط در کارگاه به‌دست آید.

**کلمات کلیدی:** آب نامتعارف، برهم‌کنش، تجزیه واریانس، سن بتن، طرح اختلاط.



برآورد شده است که آبپوشی (hydration) هر گرم سیمان به حدود ۰/۲۵ گرم (Alradhawi and Angalekar, 2016) و ساخت هر مترمکعب بتن به ۱۵۰ لیتر آب نیاز دارد (Asadollahfardi et al., 2015). به همین دلیل، صنعت ساختمان با مصرف یک ششم آب شیرین دنیا، یکی از بزرگترین مصرف کنندگان آب در بین صنایع مختلف شناخته شده است (Asadollahfardi et al., 2015; Al-Joulani, 2015). در این شرایط آب خاکستری به عنوان یکی از مهم ترین گزینه های جایگزینی با آب شرب در صنعت بتن معرفی شده است (Ghrai et al., 2018). آب خاکستری (greywater) که به آن فاضلاب خاکستری (grey wastewater) نیز گفته می شود، فاضلاب خروجی از وان حمام، دوش، ماشین لباسشویی و ظرفشویی و سینک ظرفشویی آشپزخانه را شامل می شود، اما فاضلاب سرویس بهداشتی (توالت) را دربر نمی گیرد (Alqam et al., 2014). البته برخی از پژوهشگران فاضلاب آشپزخانه را نیز مستثنی کرده اند (Ghrai et al., 2018).

براساس اغلب استانداردهای کیفیت آب بتن، در صورتی که کاهش مقاومت بتن تهیه شده از پساب یا سایر آب های نامتعارف کمتر از ۱۰ درصد مقاومت بتن تهیه شده از آب آشامیدنی باشد، استفاده از این آب ها در طرح اختلاط بتن قابل قبول است (Babu and Ramana, 2018; ASTM C1602, 2012; Al-Jabri et al., 2011; آبا، ۱۳۸۳؛ استاندارد ملی شماره ۱۴۷۴۸، ۱۳۹۱؛ مهرداد و همکاران، ۱۳۸۸). با این حال بر اساس استاندارد BS 3148 (1980) انگلستان (نسخه جایگزین آن BS EN1008, 2002) می باشد) کاهش مقاومت فشاری بتن در صورت استفاده از آب غیرآشامیدنی تا ۲۰ درصد نیز مجاز دانسته شده است، مشروط بر آن که این کاهش مقاومت از طریق اصلاح طرح اختلاط جبران شود (Babu and Ramana, 2018).

استفاده از آب های نامتعارف مانند آب شور (Al-Joulani, 2015)، فاضلاب و پساب های شهری (Asadollahfardi et al., 2016; Al-Joulani, 2015; Al-Ghusain and Terro, 2003; El-Nawawy and Ahmad, 1991؛ مهرداد و همکاران، ۱۳۸۸)، آب خاکستری (Ghrai et al., 2018; Alradhawi and Angalekar, 2016; Alqam et al., 2014)، آب روغنی (Al-Joulani, 2015)، کارواش (Al-Jabri et al., 2011)، شستشوی تراکمیکسر، کارگاه تولید بتن صنعتی (batching plants) و کارگاه شن و ماسه (Asadollahfardi et al., 2015; Chatveera and Lertwattanaruk, 2009)، کارخانه سیمان (اسراری و شجاع پور، ۱۳۹۵) و تصفیه خانه های اسمز معکوس آب شرب (Babu and Ramana, 2018) برای ساخت بتن مورد بررسی قرار گرفته است. ترکیبات آلی موجود در پساب می تواند آبپوشی (hydration) سیمان را به تاخیر اندازد، زمان گیرش اولیه و نهایی را افزایش

دهد یا هوای بیشتری را در بتن حبس کند (Asadollahfardi et al., 2016; Al-Ghusain and Terro, 2003). وجود فضای خالی بیشتر بین سنگدانه ها و تراکم کمتر ذرات در بتن ساخته شده با پساب شهری در مقایسه با آب آشامیدنی گزارش شده است (Asadollahfardi et al., 2016). ترکیبات آمونیومی موجب سیلان ملات (جریان آب به سمت بالا از بتن به دلیل فشار اسمزی) می شود (Al-Ghusain and Terro, 2003). غلظت بالای سولفات آب موجب حمله سولفات ها و ایجاد ترک در بتن می شود (Al-Jabri et al., 2011). انتظار می رود که وجود ترکیبات صابونی که موجب ایجاد حباب های هوا در بتن می شود، اثر منفی بر مقاومت فشاری بتن ایجاد کند. با این حال با توجه به حجم آب مورد استفاده، این اثر معنی دار نیست (Alqam et al., 2014). Alqam et al. (2014) گزارش کردند که استفاده از آب خاکستری تاثیر محسوسی بر زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان ندارد، در حالی که پژوهش Ghrai et al. (2018) نشان داد زمان گیرش اولیه توسط آب خاکستری ۲۵-۲۰ دقیقه دیرتر از آب مقطر است. با این حال، این مدت در محدوده استاندارد ASTM C94 است که بیان می کند اختلاف زمان گیرش اولیه خمیر سیمان ساخته شده با آب مورد تردید نسبت به آب مقطر نباید زودتر از ۶۰ دقیقه یا دیرتر از ۹۰ دقیقه باشد. همچنین استفاده از آب خاکستری به دلیل وجود شونده ها (و کاهش کشش سطحی آب) و مواد محلول موجب کاهش جزئی اسلامپ بتن شد که این موضوع می تواند پتانسیل کاهش هزینه های ساخت بتن به دلیل کاهش مصرف فوق روان کننده ها را ایجاد نماید (Ghrai et al., 2018; Alqam et al., 2014).

گزارش شده است که استفاده از آب خاکستری تصفیه شده و تصفیه نشده موجب کاهش مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف (تا ۲۰۰ روز) شد؛ با این حال درصد کاهش در سنین بالا و همچنین در آب خاکستری تصفیه شده کمتر و عموماً در محدوده کاهش مجاز ۱۰ درصد بود (Ghrai et al., 2018). همچنین استفاده از آب خاکستری برای ساخت و عمل آوری بتن نه تنها منجر به کاهش مقاومت فشاری بتن در سنین تا ۶۰ روز نشد بلکه در برخی موارد آن را به میزان جزئی افزایش داد. استفاده از آب خاکستری برای عمل آوری بتن ساخته شده با آب آشامیدنی نیز موجب اثر مثبت بر مقاومت فشاری بتن شد (Alqam et al., 2014). نتایج مهرداد و همکاران (۱۳۸۸) و Asadollahfardi et al. (2016) نشان داد که اگر چه استفاده از پساب شهری به دلیل بالا بودن اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) در آن ها موجب کاهش مقاومت فشاری بتن شد، درصد این کاهش نسبت به آب شهری کمتر از ۱۰ درصد بود.

زئولیت های طبیعی با فرمول کلی  $\text{AlO}_2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  شامل



گروه وسیعی از آلومینوسیلیکات‌های هیدراته هیپتوکریستالی (Cryptocrystalline alumino-silicate) با ساختار لانه زنبوری سه‌وجهی دارای یک شبکه تتراهیدرال اتم‌های اکسیژن در اطراف سیلیسیوم (Si-O) و آلومینیوم (Al-O) است (Sabet et al., 2013; Valipour et al., 2013; Ahmadi and Shekarchi, 2010). بالا بودن سطح ویژه (۳۵-۴۵ مترمربع بر گرم) به همراه عدم توازن الکتریکی (بار منفی) زئولیت‌ها موجب قابلیت تبادل کاتیونی بالای (حدود ۳۰۰-۲۰۰ میلی‌اکی‌والان در صد گرم) آن‌ها شده است (Sabet et al., 2013; Ahmadi and Shekarchi, 2010). علی‌رغم ساختار بلوری، ویژگی‌های پوزولانی زئولیت‌های طبیعی اثبات شده است. این ویژگی به وجود مقدار قابل توجه اکسید سیلیسیوم ( $\text{SiO}_2$ ) و اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) واکنش‌پذیر در زئولیت که با هیدروکسید کلسیم ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) سیمان برای تولید بیشتر سیلیکات کلسیم و آلومینوسیلیکات کلسیم واکنش می‌دهد، نسبت داده شده است (Khoshroo et al., 2013; Sabet et al., 2018a). این واکنش از طریق تولید بیشتر ژل سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) موجب کاهش فضای خالی و پر شدن حفرات بیشتر بتن شده و در نهایت با بهبود ریزساختار بتن نفوذ آب به آن‌را کاهش و مقاومت فشاری آن‌را افزایش می‌دهد. علت دیگر این امر، درصد بالای مواد سیلیسی زئولیت و ضریب نرمی بالای آن ذکر شده است (Valipour et al., 2014; Ahmadi and Shekarchi, 2010; Jana, 2007; احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ قویدل شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳). هم‌چنین حل شدن هیدروکسید کلسیم و مواد قابل حل و مهاجرت آن‌ها به سطح بتن نقش زیادی در تشکیل فضاهای خالی در بتن دارد که با تشکیل ژل سیلیکات کلسیم هیدراته از فرار ترکیبات قابل حل به سطح بتن جلوگیری کرده و موجب افزایش وزن مخصوص و کاهش فضای خالی بتن می‌شود (اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳).

گزارش شده است که کاربرد زئولیت در بتن به دلیل توان تبادل یونی، چگالی پایین و روزه‌های فراوان (اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳) موجب ریزتر شدن منافذ، کاهش خلل و فرج، افزایش منافذ بسته و انفصال ارتباط موئینه حفرات جذب آب (Nagrockiene and Girskas, 2016؛ قویدل شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴)، کاهش سیالیت و اسلامپ (Markiv et al., 2018؛ Khoshroo et al., 2018a؛ Sabet et al., 2013؛ رنجبر و همکاران، ۱۳۹۲؛ جاویدان و زمانی‌ایبانه، ۱۳۹۱)، کاهش نرخ افزایش مقاومت فشاری بتن در سنین اولیه (Khoshroo et al., 2018a)، جلوگیری از آب انداختگی و جداسازی بتن تازه (Sabet et al., 2013؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳)،

سهولت پمپاژ (اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳)، افزایش مقاومت و پایداری بتن به‌ویژه در برابر واکنش قلیایی سنگ‌دانه‌ها (Sabet et al., 2013؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳)، کاهش درصد جذب آب و نفوذپذیری اولیه و نهایی بتن (Nagrockiene and Girskas, 2016؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ قویدل شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳؛ رنجبر و همکاران، ۱۳۹۲)، کاهش عمق نفوذ آب (Markiv et al., 2016؛ قویدل شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵)، کاهش ضریب جذب آب موئینه (Khoshroo et al., 2018b؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴)، کاهش ضریب مهاجرت و نفوذ یون کلر (Khoshroo et al., 2018b؛ قویدل شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴)، افزایش مقاومت ویژه الکتریکی و کاهش احتمال خوردگی آرماتور (Khoshroo et al., 2018b؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ قویدل شهرکی و همکاران، ۱۳۹۵) شده است.

گزارش شده است که مقاومت فشاری بتن حاوی ۱۰ درصد زئولیت در طولانی مدت تقریباً مشابه با بتن شاهد (بدون استفاده از زئولیت) بود (Khoshroo et al., 2018a). هم‌چنین در حالی که استفاده از ۱۰ و ۲۰ درصد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶) و ۱۰ و ۱۵ درصد (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۲) زئولیت در بتن به جای سیمان موجب کاهش مقاومت فشاری به ترتیب ۷ و ۳ روزه بتن نسبت به عدم کاربرد زئولیت شد، مقاومت فشاری به ترتیب ۲۸ و ۹۰ روزه بتن نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که این موضوع با نتایج (Valipour et al., 2013) نیز همخوانی دارد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۶) افزایش مقاومت فشاری بتن در اثر کاربرد زئولیت در سطح ۱۰ درصد را بیشتر از ۲۰ درصد گزارش کردند در حالی که نتایج (Khoshroo et al., 2018a) نشان داد که این افزایش در سطح ۱۵ درصد بیشتر از ۱۰ درصد است. در پژوهشی جایگزینی تمام سطوح از ۱۰ تا ۳۰ درصد زئولیت به جای سیمان موجب افزایش مقاومت فشاری بتن خودتراکم در تمام سنین نسبت به عدم کاربرد زئولیت شد (اسماعیل‌نیا عمران و فریدی، ۱۳۹۳). از سوی دیگر در برخی پژوهش‌ها کاهش مقاومت فشاری بتن در اثر کاربرد زئولیت مشاهده شده است. گزارش شده است که جایگزینی ۲۰ درصد سیمان با زئولیت طبیعی موجب ۱۷-۵ درصد کاهش مقاومت فشاری بتن شد (Madandoust et al., 2013). براساس نتایج یک پژوهش، اگرچه جایگزینی ۱۰ درصد سیمان با زئولیت موجب افزایش مقاومت فشاری بتن شد ولی این اثر در سطح کاربرد ۲۰ درصد جزئی و در سطح کاربرد ۳۰ درصد کاهشی بود (Valipour et al., 2014). هم‌چنین نتایج (Khoshroo et al., 2018b) و (Sabet et al., 2013) نشان داد که کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد زئولیت مقاومت فشاری بتن را به‌طور معنی‌داری تغییر نداد. پژوهش (Raggiotti et al., 2018) نشان داد که استفاده از

## ۲-۲- آب اختلاط

آب خاکستری مورد استفاده از محل تخلیه کانال اصلی جمع‌آوری فاضلاب خانگی و رواناب بارندگی یک شهرک مسکونی در شهر گرگان (مرکز استان گلستان) به رودخانه تهیه شد. با توجه به این‌که در ده روزه منتهی به زمان تهیه آب از این کانال هیچ بارندگی در محدوده تحت زهکشی آن صورت نگرفت، بنابراین آب مورد استفاده صرفاً فاضلاب خانگی است. فاضلاب خانگی این کانال صرفاً دربرگیرنده فاضلاب تصفیه نشده آشپزخانه، حمام و کفشور حیاط است. پارامترهای کیفی هر سه نوع آب (آب خاکستری، آب شهری و آب ترکیبی) مطابق روش استاندارد (APHA, 2012) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای مقایسه کیفیت آب‌های مورد بررسی با استانداردهای ملی و بین‌المللی، محدوده مجاز ناخالصی‌های آب برای ساخت بتن غیرمسلح در جدول ۲ ارائه شده است. با مقایسه حدود ذکر شده استانداردهای مختلف برای ناخالصی‌های مجاز آب اختلاط بتن در جدول ۲ می‌توان دید که محدوده مجاز استانداردهای مختلف عموماً به یکدیگر نزدیک و بعضاً مشابه یکدیگر هستند. با این حال، بین حد مجاز کل جامدات معلق استاندارد (EPA (2012 با سایر استانداردها، کل جامدات محلول کشور انگلستان (۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) با آبا (۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و بین حد مجاز کلرید آبا (۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و استاندارد ۱۴۷۴۸ ایران (۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) با یکدیگر و با دیگر استانداردها اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای وجود دارد. همچنین مقایسه ویژگی‌های کیفی آب‌ها (جدول ۱) با دیگر استانداردها (جدول ۲) نشان می‌دهد که کیفیت آب شهری، آب خاکستری و آب ترکیبی در تمام ویژگی‌ها، به‌جز پارامترهای  $BOD_5$  و TSS در آب خاکستری و ترکیبی، در محدوده مجاز است؛ به‌طوری‌که  $BOD_5$  این آب‌ها به‌ترتیب ۱۶۷ و ۳۳ درصد بیشتر از حد مجاز استاندارد است. گزارش شده است که افزایش  $BOD_5$  منجر به کاهش مقاومت بتن شد (مهردادی و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین می‌توان انتظار داشت که مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ساخته شده با آب خاکستری کمتر از آب ترکیبی و آب شهری باشد.

## ۲-۳- زئولیت

زئولیت پودری مورد استفاده از نوع کلینوپتیلولیت (Clinoptilolite) با فرمول شیمیایی  $KNa_2Ca_2(Si_{29}Al_7)O_{72}.24H_2O$  و جرم مخصوص ۱/۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که از شرکت نگین پودر سمنان تهیه شد. ویژگی‌های شیمیایی این زئولیت طبیعی در جدول ۳ ارائه شده است. حداقل فعالیت پوزولانی، که برابر مجموع درصد وزنی اکسید سیلیسیوم ( $SiO_2$ )، اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) و اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) است، براساس ASTM C618 برای پوزولان‌های طبیعی

سطوح مختلف زئولیت تا ۲۰ درصد در بتن به‌جای سیمان (دو تیپ سیمان متفاوت) موجب کاهش مقاومت فشاری بتن در سنین ۷، ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز شد، اگرچه این کاهش در سنین ابتدایی بیشتر و در سنین بالاتر جزئی بود. نتایج مشابهی برای زئولیت ۱۰ درصد توسط Markiv et al. (2016) نیز گزارش شد. اگرچه نتایج پژوهش‌های متعددی نشان می‌دهد که کاربرد زئولیت طبیعی می‌تواند موجب افزایش دوام بتن شود، نتایج مطالعات به‌دلیل تنوع و تفاوت ساختار، ترکیبات شیمیایی، واکنش‌پذیری و درجه خلوص زئولیت‌های طبیعی مشابه نبوده و حتی بعضاً متناقض است (Najimi et al., 2012; Jana, 2007). از سوی دیگر، در کشورهای دارای کمبود منابع آب شیرین، انجام پژوهش مستمر برای یافتن منابع آب جایگزین (Alqam et al., 2014) و ارزیابی و توسعه استانداردهای آب اختلاط بتن ضروری است (Al-Jabri et al., 2011). لذا، با توجه به داده‌های منتشر شده اندک در زمینه استفاده از آب خاکستری به‌عنوان آب اختلاط بتن و نیز عدم بررسی برهمکنش کیفیت آب، زئولیت، عیار سیمان و سن عمل‌آوری بر مقاومت فشاری بتن، پژوهش حاضر به مطالعه اثر خواهد پرداخت. همچنین در پژوهش‌های پیشین، تغییر مقاومت فشاری بتن تحت تاثیر کاربرد زئولیت یا کیفیت آب فقط برحسب میزان یا نرخ تغییر گزارش شده بود. از آن‌جا که این نوع گزارش‌ها نمی‌توانند معنی‌داری اختلاف بین تیمارها (طرح‌های اختلاط بتن) را از نظر آماری منعکس نمایند، در پژوهش حاضر از تحلیل‌های آماری شامل آزمون تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تیمارها و طرح آماری

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر استفاده منابع آب نامتعارف به‌همراه زئولیت برای تهیه و عمل‌آوری بتن غیرمسلح در عیارهای مختلف سیمان صورت گرفت. آزمایش با چهار عامل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ساخت ۳۶۰ بلوک بتنی در قالب ۱۲۰ تیمار در سه تکرار صورت گرفت. تیمارها شامل ترکیب حالت‌های مختلف متشکل از سه نوع آب (شامل W1: آب شهری، W2: ترکیب آب‌های شهری و خاکستری با نسبت برابر و W3: آب خاکستری)، چهار درصد جایگزینی سیمان با زئولیت (شامل کاربرد Z1: ۰٪، Z2: ۱۰٪، Z3: ۲۰٪ و Z4: ۳۰٪)، دو سطح مصالح سیمانی بتن (شامل C1: ۲۵۰ و C2: ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و پنج سن عمل‌آوری (شامل d1: ۳، d2: ۷، d3: ۲۱، d4: ۵۶ و d5: ۹۰ روز) بود. مقاومت فشاری بتن به‌عنوان متغیر وابسته مورد سنجش قرار گرفت.

گروه N باید ۷۰ درصد باشد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Najimi et al., 2012) که برای زئولیت مورد استفاده در این پژوهش برابر با ۸۰/۲۰ درصد است. هم‌چنین براساس این استاندارد بیشینه مقدار تری‌اکسید گوگرد و درصد کسر وزنی باید به‌ترتیب ۴ و ۱۰

درصد باشد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Najimi et al., 2012) که اولی مطابق استاندارد و دومی کمی بیشتر است. دلیل این امر دمای بالای فرآوری زئولیت (تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس) به‌جای دمای استاندارد ASTM C618 (تا ۷۵۰ درجه سلسیوس) است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی آب‌های مورد استفاده (بر حسب  $\text{mg.l}^{-1}$  به‌جز برای pH و هدایت الکتریکی)

| نوع آب     | کربنات          | بی‌کربنات                             | کلرید | سولفات  | کل آنیون‌ها | کلسیم     | منیزیم | سدیم  | پتاسیم | کل کاتیون‌ها |
|------------|-----------------|---------------------------------------|-------|---------|-------------|-----------|--------|-------|--------|--------------|
| آب شهری    | ۰/۰             | ۳۹۶/۶                                 | ۱۳۴/۷ | ۱۱۵/۳   | ۶۴۶/۶       | ۵۸/۱      | ۵۸/۴   | ۵۹/۸  | ۴/۰    | ۱۸۰/۳        |
| آب ترکیبی  | ۰/۰             | ۵۰۹/۴                                 | ۲۰۲/۱ | ۱۳۴/۵   | ۸۴۶/۰       | ۱۰۵/۲     | ۵۷/۲   | ۱۰۴/۷ | ۵/۰    | ۲۷۲/۰        |
| آب خاکستری | ۰/۰             | ۶۲۲/۳                                 | ۲۶۹/۵ | ۱۵۳/۷   | ۱۰۴۵/۵      | ۱۵۲/۳     | ۵۵/۹   | ۱۴۹/۵ | ۶/۰    | ۳۶۳/۷        |
| نوع آب     | کل جامدات محلول | هدایت الکتریکی ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) | pH    | سختی کل | فسفر کل     | نیترژن کل | BOD    | COD   | TSS    |              |
| آب شهری    | ۸۰۶             | ۱/۲۶                                  | ۷/۶   | ۳۸۵     | ۰/۵         | ۱/۲       | ۰      | ۰     | ۰      |              |
| آب ترکیبی  | ۹۹۵             | ۱/۵۶                                  | ۷/۸   | ۴۹۷/۵   | ۴/۴         | ۱۷/۹      | ۹۸     | ۱۵۵   | ۴۰     |              |
| آب خاکستری | ۱۱۸۴            | ۱/۸۵                                  | ۷/۹   | ۶۱۰     | ۸/۲         | ۳۴/۶      | ۱۹۶    | ۳۱۰   | ۸۰     |              |

جدول ۲- محدوده مجاز ناخالصی آب اختلاط برای بتن غیرمسلح (بر حسب  $\text{mg.l}^{-1}$  به‌جز در موارد علامت‌دار)\*

| ویژگی                 | محدوده مجاز | منبع                   | ویژگی     | محدوده مجاز | منبع                   | ویژگی            | محدوده مجاز | منبع                   |
|-----------------------|-------------|------------------------|-----------|-------------|------------------------|------------------|-------------|------------------------|
| pH                    | ۷-۹         | BS 3148                | کربنات    | ۱۰۰۰        | Babu and Ramana (2018) | نیترات           | ۵۰۰         | استاندارد ۱۴۷۴۸        |
|                       | ۶-۹         | EPA (2012)             |           | ۱۰۰۰        | تفسیر آبا              |                  | ۵۰۰         | BS EN1008              |
| کل جامدات معلق (TSS)  | ۵-۸/۵       | آبا                    | بی‌کربنات | ۴۰۰         | Babu and Ramana (2018) | قلیائیت کل*      | ۵۰۰         | BS 3148                |
|                       | ۲۰۰۰        | Babu and Ramana (2018) |           | ۴۰۰-۱۰۰۰    | تفسیر آبا              |                  | ۱۵۰۰        | BS EN1008              |
|                       | ۳۰          | EPA (2012)             | سولفات    | ۳۰۰۰        | ASTM C1602             |                  | ۶۰۰         | آبا                    |
| کل جامدات محلول (TDS) | ۲۰۰۰        | آبا                    |           | ۳۰۰۰        | آبا                    | مواد غیرآلی      | ۳۰۰۰        | Babu and Ramana (2018) |
|                       | ۲۰۰۰        | BS 3148                |           | ۲۰۰۰        | Ghrai et al. (2018)    | مواد آلی         | ۲۰۰         | Babu and Ramana (2018) |
|                       | ۳۵۰۰۰       | آبا                    |           | ۲۰۰۰        | استاندارد ۱۴۷۴۸        | شوینده‌ها**      | ۲           | BS EN1008              |
| کل جامدات             | ۵۰۰۰۰       | ASTM C1602             | منیزیم    | ۲۰۰۰        | BS 3148                | شکر              | ۱۰۰         | Babu et al. (2018)     |
| کلرید                 | ۱۰۰۰۰       | آبا                    | سدیم      | ۲۰۰۰        | BS 3148                |                  | ۱۰۰         | استاندارد ۱۴۷۴۸        |
|                       | ۱۰۰۰        | ASTM C1602             | کلسیم     | ۲۰۰۰        | BS 3148                | BOD <sub>5</sub> | ۳۰          | EPA (2012)             |
|                       | ۵۰۰         | Ghrai et al. (2018)    | پتاسیم    | ۲۰۰۰        | BS 3148                | COD              | ۵۰۰         | Ghrai et al. (2018)    |
|                       | ۴۵۰۰        | استاندارد ۱۴۷۴۸        | فسفات     | ۱۰۰         | استاندارد ۱۴۷۴۸        | چربی و روغن      | ۵۰          | Babu et al. (2018)     |
| باقی‌مانده کلر        | ۱           | EPA (2012)             |           | ۱۰۰         | BS EN1008              | کلیفرم مدفوعی*** | ۲۰۰         | EPA (2012)             |

\* در این جدول مقادیر استاندارد (EPA (2012) برای استفاده مجدد از فاضلاب شهری پس از تصفیه ثانویه و گندزدایی است.

\*\* بر حسب میلی گرم بر لیتر معادل کربنات کلسیم، \*\* کف باید طی مدت دو دقیقه محو شود، \*\*\* تعداد در هر ۱۰۰ میلی لیتر نمونه

جدول ۳- مشخصات شیمیایی سیمان و ژئولیت مصرفی (برحسب درصد)

| ترکیب                                       | سیمان | ژئولیت | ترکیب                                 | سیمان | ژئولیت | ترکیب                             | سیمان | ژئولیت |
|---------------------------------------------|-------|--------|---------------------------------------|-------|--------|-----------------------------------|-------|--------|
| اکسید سیلیسیوم ( $\text{SiO}_2$ )           | ۲۱/۱۱ | ۶۹/۲۸  | اکسید کلسیم ( $\text{CaO}$ )          | ۶۳/۳۶ | ۳/۵۶   | اکسید منیزیم ( $\text{MgO}$ )     | ۱/۵۱  | ۰/۵۰   |
| اکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | ۴/۴۲  | ۱۰/۴۳  | اکسید سدیم ( $\text{Na}_2\text{O}$ )  | ۰/۳۸  | ۰/۷۳   | تری اکسید گوگرد ( $\text{SO}_3$ ) | ۲/۶۱  | ۰/۰۰۵  |
| اکسید آهن ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )       | ۳/۹۶  | ۰/۴۹   | اکسید پتاسیم ( $\text{K}_2\text{O}$ ) | ۰/۵۱  | ۱/۲۷   | درصد کسر وزنی (LOI)               | ۲/۹۸  | ۱۲/۹۷  |

## ۲-۴- مصالح مورد استفاده، طرح اختلاط، روش ساخت و عمل‌آوری بلوک‌های بتنی

برای ساخت بتن از دو نوع سنگدانه شن و ماسه از نوع شکسته به‌صورت دوبرار شسته استفاده شد. وزن مخصوص مصالح ریزدانه و درشت‌دانه به‌ترتیب ۲۵۵۰ و ۲۶۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. آزمون دانه‌بندی سنگدانه‌ها براساس استاندارد ملی شماره ۴۹۷۷ (۱۳۹۳) صورت گرفت. منحنی دانه‌بندی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه و اطلاعات حاصل از آن نشان داد که الزامات استاندارد ملی شماره ۳۰۲ (۱۳۹۴) رعایت شده است، به‌طوری که بیشینه اندازه مصالح ریزدانه و درشت‌دانه به‌ترتیب ۹/۵ و ۱۹ میلی‌متر و ضریب نرمی مصالح ریزدانه ۲/۹ بود. سیمان مورد استفاده از نوع پرتلند تپ ۲ با خاصیت ضدسولفات بود که از کارخانه سیمان شاهرود تهیه شد. ویژگی‌های شیمیایی سیمان در جدول ۳ ارائه شده است.

ساخت بلوک‌های بتنی به ابعاد  $150 \times 150 \times 150$  میلی‌متر بر اساس استاندارد ملی شماره ۵۸۱ (۱۳۹۳) در میکسر ۱۰۰ لیتری و تراکم بتن در قالب به‌روش دستی صورت گرفت. نمونه‌برداری از بتن تازه مطابق استاندارد ملی شماره ۳۲۰۱-۱ (۱۳۸۸) صورت گرفت. علی‌رغم آن‌که در این پژوهش مقاومت خاصی از بتن مدنظر نیست و نتایج صرفاً برای مقایسه نسبی با یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌منظور افزایش دقت آزمایش، ابتدا ۵۴ بلوک بتنی مشتمل بر ۱۸ طرح اختلاط مختلف متشکل از سه نسبت سنگدانه شن و ماسه، دو نسبت آب به سیمان و سه میزان وزن مخصوص بتن در سه تکرار ساخته شد و درنهایت بر مبنای بیشترین مقاومت سه‌روزه، طرح اختلاط مناسب براساس وزن مخصوص بتن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مکعب (میانگین وزن مخصوص طرح‌های اختلاط نهایی ذکر شده در جدول ۴، نسبت وزنی برابر مصالح شن و ماسه و نسبت آب به مواد سیمانی ۴۵ درصد (با لحاظ کردن میزان رطوبت مصالح براساس درصد رطوبت وزنی) انتخاب شد. جزئیات طرح اختلاط تیمارهای مختلف در جدول ۴

ارائه شده است. با توجه به این‌که کاربرد ژئولیت موجب کاهش روانی و اسلامپ بتن می‌شود، از یک فوق‌روان‌کننده تجاری برپایه کربوکسیلاتی استفاده شد. مقدار مصرف آن براساس آزمون و خطا در طرح‌های اختلاط مقدماتی براساس اسلامپ ۱۰-۸ سانتی‌متر به‌دست آمد. هم‌چنین برای اطمینان از کارایی بتن و کنترل آن، آزمایش اسلامپ بتن برای هر طرح اختلاط (تیمار) حداقل یک‌بار تکرار شد.

در این پژوهش مجموعاً ۴۱۴ بلوک بتنی ساخته شد که از این تعداد ۵۴ عدد برای انتخاب طرح اختلاط مناسب و ۳۶۰ عدد برای آزمایش نهایی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های آزمایشگاهی پس از ساخته شدن به‌مدت ۲۴ ساعت درون قالب در محیط آزمایشگاه (دمای  $20 \pm 4$  درجه سلسیوس) نگهداری شدند. سپس قالب‌ها باز شده و عملیات عمل‌آوری آغاز شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Al-Jabri et al., 2011). به‌منظور شبیه‌سازی کامل تاثیر تیمارهای کیفیت آب بر مقاومت فشاری، عمل‌آوری بلوک‌های ساخته شده با آب اختلاط صورت گرفت. برای این‌منظور سه حوضچه بتنی جداگانه با ابعاد  $1 \times 1 \times 1$  متر ساخته شد و هر یک از حوضچه با یکی از انواع آب اختلاط بتن پر شد. در طول مدت آزمایش ضمن پوشش سطح حوضچه‌ها با ورقه فایبرگلاس، افت سطح آب در هر حوضچه به‌دلیل نشت از دیواره با اضافه کردن همان نوع آب جبران شد به‌گونه‌ای که سطح آب درون حوضچه همواره ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح بالایی بلوک‌ها باشد. به‌منظور اطمینان از یکنواختی شرایط آزمایش تمام آب مورد نیاز برای ساخت و عمل‌آوری بتن در یک زمان تهیه شد و آب مازاد نیز در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شد (Al-Ghusain and Terro, 2003). مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی توسط دستگاه جک هیدرولیکی دیجیتال مدل ADR-Auto 3000 ساخت کارخانه ELE International با سرعت بارگذاری  $6/8$  کیلونیوتون بر ثانیه اندازه‌گیری شد. برای این‌منظور الزامات و شرایط استاندارد ملی شماره ۳۲۰۶ (۱۳۷۱) رعایت شد. شکل ۱ نمایی از مصالح و مراحل اجرایی پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۴- جزئیات طرح اختلاط (برحسب کیلوگرم در هر مترمکعب بتن)

| تیمار | آب  | سیمان | ژئولیت | شن  | ماسه | تیمار | آب  | سیمان | ژئولیت | شن  | ماسه |
|-------|-----|-------|--------|-----|------|-------|-----|-------|--------|-----|------|
| C1Z1  | ۱۱۲ | ۲۵۰   | ۰      | ۹۶۹ | ۹۶۹  | C2Z1  | ۱۵۸ | ۳۵۰   | ۰      | ۸۹۶ | ۸۹۶  |
| C1Z2  | ۱۱۲ | ۲۲۵   | ۲۵     | ۹۶۹ | ۹۶۹  | C2Z2  | ۱۵۸ | ۳۱۵   | ۳۵     | ۸۹۶ | ۸۹۶  |
| C1Z3  | ۱۱۲ | ۲۰۰   | ۵۰     | ۹۶۹ | ۹۶۹  | C2Z3  | ۱۵۸ | ۲۷۵   | ۷۵     | ۸۹۶ | ۸۹۶  |
| C1Z4  | ۱۱۲ | ۱۷۵   | ۷۵     | ۹۶۹ | ۹۶۹  | C2Z4  | ۱۵۸ | ۲۴۵   | ۱۰۵    | ۸۹۶ | ۸۹۶  |



بررسی معنی‌داری یا عدم معنی‌داری این تغییرات صورت نگرفته است. از سوی دیگر در پژوهش حاضر چهار عامل نوع آب، درصد ژئولیت، عیار سیمان و سن آزمون‌ها و برهمکنش بین آن‌ها (۱۰ حالت برهمکنش آماری) می‌تواند عامل تغییر میزان مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی باشد. بر این اساس، در پژوهش حاضر آزمون‌های تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین (برمبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ (IBM, 2010) بر روی داده‌های مقاومت فشاری انجام گرفت.



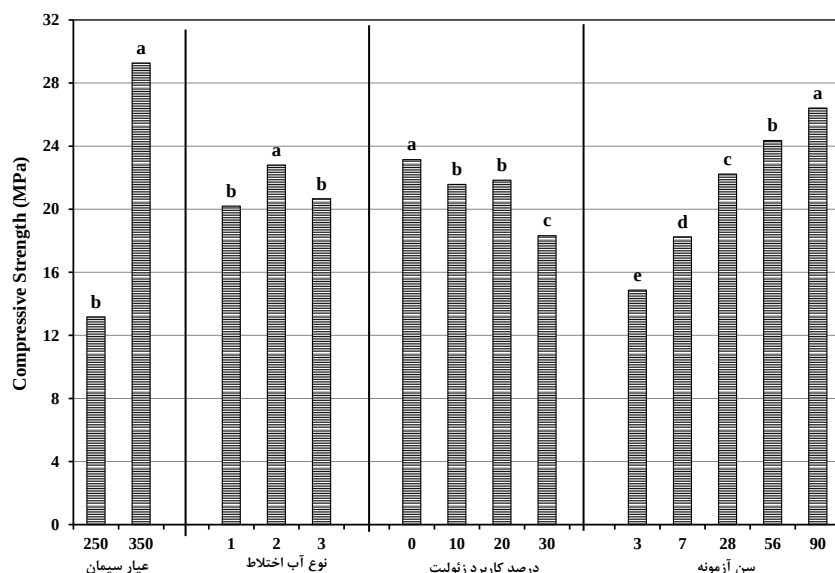
سنین مختلف آزمون‌ها به ترتیب در عیارهای مختلف سیمان و سطوح مختلف زئولیت است. به طریق مشابه غیرمعنی‌داری برهمکنش چهارگانه عیار سیمان در نوع آب در زئولیت در سن آزمون نشان می‌دهد که عیارهای مختلف سیمان در انواع مختلف آب و در شرایط مورد بررسی کاربرد زئولیت تاثیرگذاری مشابهی بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در سنین مختلف دارند. بنابراین در بخش بعد صرفاً نتایج مقایسه میانگین منابع تغییری که موجب اثر معنی‌داری بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی شدند، ارائه می‌شود.

نتایج آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) نشان داد که اثر ساده عیار سیمان، نوع آب، رئولویت و سن آزمون، برهمکنش‌های دوگانه عیار سیمان در نوع آب، عیار سیمان در رئولویت و عیار سیمان در سن آزمون و برهمکنش سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب در رئولویت بر مقاومت فشاری بتن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). هم‌چنین برهمکنش‌های دوگانه نوع آب در رئولویت، نوع آب در سن آزمون و رئولویت در سن آزمون و برهمکنش‌های سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب در سن آزمون و نوع آب در رئولویت در سن آزمون و برهمکنش چهارگانه عیار سیمان در نوع آب در رئولویت در سن آزمون بر میزان مقامت فشاری آزمون‌های بتنی معنی‌دار نبود. عدم معنی‌داری برهمکنش دوگانه نوع آب در رئولویت نشان‌دهنده روند مشابه تاثیرگذاری نوع آب بر مقاومت فشاری آزمون‌ها در سطوح مختلف رئولویت و عدم معنی‌داری برهمکنش‌های دوگانه نوع آب در سن آزمون و رئولویت در سن آزمون نشان‌دهنده روند مشابه تاثیرگذاری به ترتیب نوع آب و رئولویت بر مقاومت فشاری آزمون‌ها در سنین مختلف است. هم‌چنین عدم معنی‌داری برهمکنش‌های سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب در سن آزمون و نوع آب در رئولویت در سن آزمون بیانگر تاثیرپذیری مشابه مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی از نوع آب در

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده چهار عامل مورد بررسی بر مقاومت فشاری آزمونه‌های بتنی در شکل ۲ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در هر عامل مورد بررسی، تیمارهایی که حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر داشته باشند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند. مطابق انتظار، افزایش مقاومت فشاری آزمونه‌ها با افزایش سن در تمام سطوح معنی‌دار بود و افزایش عیار سیمان از ۲۵۰ به ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز موجب افزایش معنی‌داری (۱۲۲ درصد) مقاومت فشاری بتن گردید (شکل ۲).

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) بر روی مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی

| منابع تغییر                    | درجه آزادی | میانگین مربعات | سطح معنی‌داری |
|--------------------------------|------------|----------------|---------------|
| عیار سیمان (C)                 | ۱          | ۲۳۳۱۵/۲        | ۰/۰۰۰         |
| نوع آب (W)                     | ۲          | ۲۳۲/۷          | ۰/۰۰۰         |
| کاربرد زئولیت (Z)              | ۳          | ۳۷۸/۳          | ۰/۰۰۰         |
| سن آزمون (d)                   | ۴          | ۱۵۶۶/۵         | ۰/۰۰۰         |
| برهمکنش دوگانه C × W           | ۲          | ۵۴۹/۰          | ۰/۰۰۰         |
| برهمکنش دوگانه C × Z           | ۳          | ۲۹۸/۰          | ۰/۰۰۰         |
| برهمکنش دوگانه C × d           | ۴          | ۲۷۱/۲          | ۰/۰۰۰         |
| برهمکنش دوگانه W × Z           | ۶          | ۷/۸            | ۰/۳۴۸         |
| برهمکنش دوگانه W × d           | ۸          | ۴/۷            | ۰/۷۷۱         |
| برهمکنش دوگانه Z × d           | ۱۲         | ۱۲/۵           | ۰/۰۸۹         |
| برهمکنش سه‌گانه C × W × Z      | ۶          | ۷۹/۶           | ۰/۰۰۰         |
| برهمکنش سه‌گانه C × W × d      | ۸          | ۸/۹            | ۰/۳۳۰         |
| برهمکنش سه‌گانه W × Z × d      | ۲۴         | ۱۰/۷           | ۰/۱۱۸         |
| برهمکنش چهارگانه C × W × Z × d | ۳۶         | ۳/۴            | ۰/۹۹۸         |
| خطای کل                        | ۲۴۰        | ۷/۷            | -             |



در هر عامل، سطوح دارای یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شکل ۲- اثر ساده عیار سیمان، نوع آب، درصد کاربرد زئولیت و سن آزمون بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی

دارد. گزارش شده است که ناخالصی‌های موجود در آب اختلاط آثار متفاوتی بر بتن دارند و ممکن است همه ناخالصی‌ها اثر منفی بر روی بتن ایجاد نکنند، به‌گونه‌ای که برخی می‌توانند بی‌زیان باشند و حتی باعث بهتر شدن خصوصیات بتن شوند. در بیشتر مواقع محدودیت‌های مجازی برای مقدار ناخالصی‌های موجود در آب اختلاط بتن وجود دارد، در حالی‌که در آن محدوده ناخالصی‌ها می‌توانند بی‌زیان باشند (Babu et al., 2018). مهندادی و همکاران، (۱۳۸۸). این موضوع می‌تواند توضیحی بر علت افزایش مقاومت فشاری آزمون‌های ساخته شده با هر دو آب نامتعارف نسبت به آب شهری باشد.

استفاده از آب خاکستری اگرچه موجب ۲/۳ درصد افزایش مقاومت فشاری آزمون بتنی نسبت به آب شهری شد، لیکن این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). در مقابل، استفاده از آب ترکیبی در ساخت بتن (نسبت برابر از آب شهری و آب خاکستری) موجب افزایش معنی‌دار (۱۲/۹ درصد) مقاومت فشاری آزمون‌ها نسبت به آب شهری شد. این افزایش نسبت به آب خاکستری نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۲). کاهش مقاومت فشاری آزمون‌های ساخته شده با آب خاکستری نسبت به آب ترکیبی را می‌توان به‌میزان قابل‌توجه مواد آلی ( $BOD_5$ ) آن نسبت داد که با نتایج مهندادی و همکاران (۱۳۸۸) همخوانی

استفاده از ژئولیت منجر به کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در تمام سطوح شد، اما اختلاف بین سطح کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد با یکدیگر معنی‌دار نبود. میزان کاهش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد جایگزینی سیمان با ژئولیت نسبت به شرایط بدون کاربرد آن به ترتیب ۶/۸، ۵/۶ و ۲۰/۸ درصد بود (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های Madandoust et al. (2013) که گزارش کردند جایگزینی ۲۰ درصد سیمان با ژئولیت طبیعی موجب ۱۷-۵ درصد کاهش مقاومت فشاری بتن ۳ تا ۹۰ روزه شد و یافته‌های Najimi et al. (2012) که نشان داد جایگزینی ۱۵ و ۳۰ درصد سیمان با ژئولیت موجب کاهش مقاومت فشاری بتن در تمام سنین (۷، ۱۴، ۲۸، ۹۰ و ۳۵۶ روز) به ترتیب میزان بین ۱۵-۳ و ۳۸-۷ درصد شد، هم‌خوانی دارد. همچنین گزارش شده است که کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد ژئولیت به جای سیمان به ترتیب منجر به کاهش مقاومت سنین مختلف ۷، ۲۸ و ۳۶۰ روزه بتن با عملکرد بالا به میزان ۱۸-۴، ۳۵-۲۵ و ۶۳-۴۵ درصد شد (Vejmelková et al., 2012) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

### ۳-۲- مقایسه میانگین برهمکنش‌های دوگانه

مقایسه میانگین‌های برهمکنش‌های دوگانه عیار سیمان در نوع آب، عیار سیمان در ژئولیت و عیار سیمان در سن آزمون در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج جدول ۶-الف نشان می‌دهد که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمون ساخته شده با آب ترکیبی با ۶۶/۴ و ۴۰/۶ درصد افزایش نسبت به ترتیب آب شهری و آب خاکستری آماری معنی‌داری با آن‌ها داشت. همچنین ۱۸/۳ درصد افزایش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی ساخته شده با آب خاکستری نسبت به آب شهری موجب اختلاف معنی‌دار آن‌ها با یکدیگر شد. در مقابل، در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری تیمار آب ترکیبی با ۵/۳ درصد کاهش اختلاف معنی‌داری نسبت به آب شهری داشت، ولی بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به عبارت دیگر، استفاده از آب خاکستری در ساخت بتن تغییر معنی‌داری در مقاومت فشاری آزمون‌ها نسبت به آب شهری و آب ترکیبی ایجاد نکرد. به این ترتیب میزان کاهش مقاومت فشاری در این شرایط در محدوده مجاز ۱۰٪ استاندارد ملی شماره ۱۴۷۴۸ (۱۳۹۱) و آبا (۱۳۸۳) و استانداردهای بین‌المللی است. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد آب خاکستری و آب ترکیبی به عنوان آب اختلاط بتن در این عیار سیمان نیز بدون ایجاد محدودیت قابل توصیه است.

مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه عیار سیمان در ژئولیت (جدول ۶-ب) نشان می‌دهد در حالی که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، تمام سطوح کاربرد ژئولیت موجب کاهش

معنی‌دار مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی شد، در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بین تیمار ۰ و ۱۰ درصد کاربرد ژئولیت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و کاربرد ۲۰ درصد ژئولیت با افزایش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی به میزان ۵/۴ درصد، موجب ایجاد اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار عدم استفاده از ژئولیت شد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر برهمکنش‌های دوگانه بر مقاومت فشاری آزمون‌ها (مگاپاسکال)

| الف- برهمکنش عیار سیمان در نوع آب |             |                    |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|
| عیار سیمان                        | نوع آب      | مقاومت             |
| ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب            | شهری        | ۱۰/۳ <sup>e</sup>  |
|                                   | ترکیبی      | ۱۷/۱ <sup>c</sup>  |
|                                   | آب خاکستری  | ۱۲/۲ <sup>d</sup>  |
| ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب            | شهری        | ۳۰/۱ <sup>a</sup>  |
|                                   | ترکیبی      | ۲۸/۵ <sup>b</sup>  |
|                                   | آب خاکستری  | ۲۹/۲ <sup>ab</sup> |
| ب- برهمکنش عیار سیمان در ژئولیت   |             |                    |
| عیار سیمان                        | درصد ژئولیت | مقاومت             |
| ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب            | ۰           | ۱۶/۲ <sup>d</sup>  |
|                                   | ۱۰          | ۱۳/۸ <sup>e</sup>  |
|                                   | ۲۰          | ۱۲/۰ <sup>f</sup>  |
|                                   | ۳۰          | ۱۰/۷ <sup>g</sup>  |
| ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب            | ۰           | ۳۰/۱ <sup>b</sup>  |
|                                   | ۱۰          | ۲۹/۴ <sup>b</sup>  |
|                                   | ۲۰          | ۳۱/۷ <sup>a</sup>  |
|                                   | ۳۰          | ۲۵/۹ <sup>c</sup>  |
| ج- برهمکنش عیار سیمان در سن آزمون |             |                    |
| عیار سیمان                        | سن آزمون    | مقاومت             |
| ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب            | ۳           | ۹/۶ <sup>i</sup>   |
|                                   | ۷           | ۱۱/۶ <sup>h</sup>  |
|                                   | ۲۸          | ۱۳/۷ <sup>g</sup>  |
|                                   | ۵۶          | ۱۴/۵ <sup>g</sup>  |
|                                   | ۹۰          | ۱۶/۶ <sup>f</sup>  |
| ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب            | ۳           | ۲۰/۱ <sup>e</sup>  |
|                                   | ۲۰          | ۲۴/۹ <sup>d</sup>  |
|                                   | ۲۸          | ۳۰/۸ <sup>c</sup>  |
|                                   | ۵۶          | ۳۴/۲ <sup>b</sup>  |
|                                   | ۹۰          | ۳۶/۳ <sup>a</sup>  |

در هر برهمکنش، گروه‌های با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همچنین نرخ کاهش مقاومت فشاری آزمون‌ها در اثر کاربرد ژئولیت در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به مراتب کمتر از عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود، به طوری که جایگزینی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ژئولیت در مقایسه با تیمار عدم

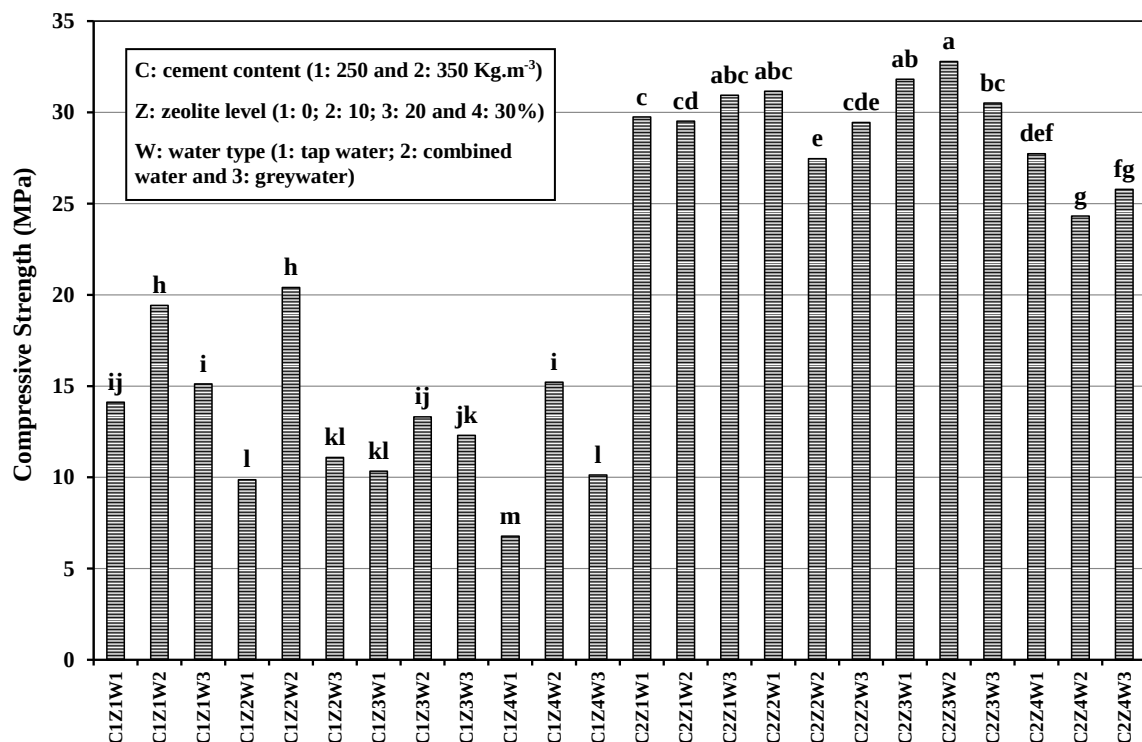
کاربرد ژئولیت در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب موجب کاهش مقاومت فشاری به ترتیب به میزان ۱۵/۰، ۲۶/۱ و ۳۴/۰ درصد شد ولی در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمون‌ها را به ترتیب ۲/۴-، ۵/۴+ و ۱۳/۷- درصد تغییر داد. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از ژئولیت در بتن‌های با عیار سیمان بالا با موفقیت بیشتری در حفظ یا افزایش مقاومت فشاری بتن همراه است.

مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه عیار سیمان در سن آزمون (جدول ۶-ج) نشان می‌دهد که نرخ افزایش مقاومت فشاری با گذشت زمان در دو عیار سیمان با یکدیگر متفاوت است، به گونه‌ای که در تیمار عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب ۲۱، ۴۲، ۵۱ و ۷۳ درصد نسبت به مقاومت فشاری ۳ روزه افزایش یافت، در حالی که در تیمار عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب این رشد به ترتیب ۲۴، ۵۳، ۷۰ و ۸۰ درصد بود. بنابراین این نرخ در عیار سیمان ۳۵۰ بیشتر از ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

### ۳-۳- مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه

مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه عیار سیمان در نوع آب در درصد ژئولیت در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در تیمارهای بدون ژئولیت با آب ترکیبی (C1Z1W2) و ۱۰ درصد ژئولیت با آب ترکیبی (C1Z2W2) نسبت به تیمار شاهد (C1Z1W1: بدون ژئولیت با آب شهری) از

برتری آماری معنی‌داری (به ترتیب ۳۷/۶ و ۴۴/۶ درصد افزایش) برخوردار بود و در تیمارهای بدون ژئولیت با آب خاکستری (C1Z1W3)، ۲۰ درصد ژئولیت با آب ترکیبی (C1Z3W2)، ۳۰ درصد ژئولیت با آب خاکستری (C1Z3W3) و ۳۰ درصد ژئولیت با آب ترکیبی (C1Z4W2) اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. این در حالی است که در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، اختلاف معنی‌دار مثبت مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی نسبت به تیمار شاهد (C2Z1W1: بدون ژئولیت با آب شهری) در تیمارهای ۲۰ درصد ژئولیت با آب شهری (C2Z3W1) به میزان ۷/۰ درصد و ۲۰ درصد ژئولیت با آب ترکیبی (C2Z3W2) به میزان ۱۰/۲ درصد به دست آمد. همچنین در این عیار سیمان، میزان کاهش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در هیچ تیماری به جز تیمارهای ۱۰ درصد ژئولیت با آب ترکیبی (C2Z2W2) و ۳۰ درصد ژئولیت با هر سه نوع آب (C2Z4W1، C2Z4W2 و C2Z4W3) با تیمار شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که امکان استفاده از آب خاکستری و ژئولیت در طرح اختلاط بتن به ویژه در سطح عیار سیمان بالا بدون آن که موجب کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری بتن شود، و حتی این ویژگی را در برخی شرایط به طور معنی‌داری افزایش دهد، وجود دارد. با این حال، با توجه به وجود برهمکنش سه گانه این عوامل که به دلیل اثرات متفاوت نوع آب و درصد ژئولیت در عیارهای مختلف سیمان است، انتخاب بهترین سطح کاربرد ژئولیت و نوع آب با توجه به عیار سیمان مورد نظر باید در کارگاه براساس آزمون طرح اختلاط به دست آید.



تیمارهای با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه عیار سیمان در نوع آب در درصد ژئولیت بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی



اسراری، ا.، و شجاع پور، ف.، (۱۳۹۵)، "بررسی کیفیت بتن سیمان سفید تهیه شده با پساب بهداشتی تصفیه خانه فاضلاب (مطالعه موردی: شرکت سیمان سفید نی ریز)"، *تحقیقات بتن*، ۹(۲)، ۱۲۳-۱۳۰.

اسماعیل نیا عمران، م.، و فریدی، م.، (۱۳۹۳)، "رابطه مقاومت فشاری با مقاومت کششی و ضریب کشسانی در بتن خودتراکم حاوی سنگدانه بازیافتی و ژئولیت طبیعی"، *تحقیقات بتن*، ۷(۱)، ۲۲-۷.

رنجبر، م.م.، مدندوست، ر.، و موسوی، س.ی.، (۱۳۹۲)، "بررسی تاثیر استفاده ترکیبی از دوده ژئولیت بر خواص بتن تازه و سخت شده خودتراکم"، *تحقیقات بتن*، ۶(۱)، ۵۳-۷۱.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۷۱)، تعیین *مقاومت فشاری آزمونه های بتن*، استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۶.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۸)، *بتن تازه- قسمت ۱: نمونه برداری*، استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰۱-۱. سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۹۱)، *استاندارد آب/اختلاط بتن*، استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۷۴۸.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۹۳)، *سنگدانه ها- دانه بندی سنگدانه های ریز و درشت- روش آزمون*، استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۷۷.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۹۳)، *ساخت و عمل آوری آزمونه های بتن در آزمایشگاه- آیین کار*، استاندارد ملی ایران شماره ۵۸۱.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۹۴)، *سنگدانه های بتن- ویژگی ها*، استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۳)، *آیین نامه بتن ایران (آبا)*، نشریه شماره ۱۲۰، ۴۳۴ص.

سلطانی، ا.، طریقت، ا.، و رستمی، ر.ا.، (۱۳۹۶)، "تاثیر رس های کلسینه شده و میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن"، *مهندسی سازه و ساخت*، ۴(۱)، ۳۳-۵۰.

قویدل شهرکی، م.، میری، م.، و رخشانی مهر، م.ا.، (۱۳۹۵)، "بررسی آزمایشگاهی اثر استفاده از ترکیب ژئولیت و متاکائولین بر دوام و خوردگی میلگرد در بتن خودتراکم"، *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست*، ۴۶(۱)، ۴۹-۵۸.

مهردادی، ن.، اکبریان، ا.، و حق اللهی، ع.، (۱۳۸۸)، "استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری در تهیه و نگهداری بتن"، *محیط شناسی*، ۳۵(۵۰)، ۲۹-۱۳۶.

وزارت نیرو، (۱۳۸۹)، *ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها*، نشریه شماره ۵۳۵، ۱۳۵ ص. Amadi, B., and Shekarchi, M., (2010), "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material",

- نتایج نشان داد که به جز میزان مواد آلی ( $BOD_5$ ) در آب های نامتعارف، تمام ویژگی های کیفی هر سه نوع آب (آب شهری، آب خاکستری و آب ترکیبی) در محدوده مجاز آب اختلاط بتن براساس استانداردهای ملی و بین المللی قرار داشت.

- استفاده از آب خاکستری موجب افزایش غیرمعنی دار مقاومت فشاری آزمونه بتنی نسبت به آب شهری شد، در حالی که آب ترکیبی این ویژگی را به طور معنی داری (۱۲/۹ درصد) افزایش داد.

- جایگزینی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سیمان توسط ژئولیت نسبت به شرایط بدون کاربرد ژئولیت موجب کاهش مقاومت فشاری آزمونه های بتنی به میزان به ترتیب ۶/۸، ۵/۶ و ۸/۲۰ درصد شد.

- مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه عیار سیمان در نوع آب در ژئولیت نشان داد که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمونه های بتنی در تیمارهای بدون ژئولیت با آب ترکیبی و ۱۰ درصد ژئولیت با آب ترکیبی نسبت به تیمار شاهد (بدون ژئولیت با آب شهری در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) افزایش معنی داری (به ترتیب ۶/۳۷ و ۶/۴۴ درصد افزایش) داشت ولی در سایر تیمارها عموماً کاهش معنی داری مشاهده شد. این در حالی بود که در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمونه های بتنی در اغلب تیمارها، به جز تیمارهای دارای ۳۰ درصد ژئولیت، با افزایش همراه بود.

- نتایج نشان داد که پتانسیل استفاده از آب نامتعارف (آب خاکستری و آب ترکیبی) و ژئولیت در طرح اختلاط بتن بدون ایجاد اثر منفی معنی دار بر مقاومت فشاری بتن، به ویژه در عیارهای سیمان بالا، وجود دارد. با این حال، نظر به برهمکنش سه گانه معنی دار عوامل مورد بررسی، انتخاب بهترین سطح کاربرد ژئولیت و نوع آب با توجه به عیار سیمان موردنظر باید بر اساس آزمون طرح اختلاط در کارگاه به دست آید.

## ۵- مراجع

احمدی، ج.، بیگدلو، ا.، و سلیمانی راد، م.، (۱۳۹۶)، "تاثیر استفاده از ژئولیت، میکروسیلیس و متاکائولین بر کارایی و مقاومت بتن خودتراکم"، *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست*، ۴۷(۳)، ۱-۷.

احمدی، ج.، عزیزی، ح.، و کوهی، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی تاثیر ژئولیت در عیارهای مختلف سیمان بر روی مقاومت و نفوذپذیری بتن"، *تحقیقات بتن*، ۸(۲)، ۵-۱۸.

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۷۱)، تعیین *مقاومت فشاری آزمونه های بتن*، استاندارد ملی ایران شماره

- "Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes", *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1519-1525.
- ISO 12439, (2010), *Mixing water for concrete*, Last update: (2015).
- Jana, D., (2007), "A new look to an old pozzolan: Clinoptilolite, A promising pozzolan in concrete", *Proceedings of the 29<sup>th</sup> Conference on Cement Microscopy*, Quebec City, Canada, May 20-24.
- Khoshroo, M., Shirzadi Javid, A.A., and Katebi, A., (2018a), "Effect of chloride treatment curing condition on the mechanical properties and durability of concrete containing zeolite and micro-nano-bubble water", *Construction and Building Materials*, 177, 417-427.
- Khoshroo, M., Shirzadi Javid, A.A., and Katebi, A., (2018b), "Effects of micro-nano bubble water and binary mineral admixtures on the mechanical and durability properties of concrete", *Construction and Building Materials*, 164, 371-385.
- Madandoust, R., Sobhani, J., and Ashoori, P., (2013), "Concrete made with zeolite and metakaolin: a comparison on the strength and durability properties", *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 14(4), 533-543.
- Markiv, T., Sobol, Kh., Franus, M., and Franus, W., (2016), "Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16, 554-562.
- Nagrockiene, D. and Girska, G., (2016), "Research into the properties of concrete modified with natural zeolite addition", *Construction and Building Materials*, 113, 964-969.
- Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B., and Shekarchi, M., (2012), "An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan", *Construction and Building Materials*, 35, 1023-1033.
- Raggiotti, B.B., Positieri, M.J., and Oshiro, Á., (2018), "Natural zeolite, A pozzolan for structural concrete", *Procedia Structural Integrity*, 11, 36-43.
- Sabet, F.A., Libre, N.A., and Shekarchi, M., (2013), "Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash", *Construction and Building Materials*, 44, 175-184.
- Valipour, M., Pargar, F., Shekarchi, M., and Khani, S., (2013), "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study", *Construction and Building Materials*, 41, 879-888.
- Valipour, M., Yekkalar, M., Shekarchi, M., and Panahi, S., (2014), "Environmental assessment of green concrete containing natural zeolite on the global warming index in marine environments", *Journal of Cleaner Production*, 65, 418-423.
- Vejmelková, E., Ondráček, M., and Černý, R., (2012), "Mechanical and hydric properties of high performance concrete containing natural zeolites", *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, 6(3), 186-189.
- Cement and Concrete Composites*, 32, 134-141.
- Al-Ghusain, I., and Terro, M.J. (2003), "Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait", *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 30(1), 213-228.
- Al-Jabri, K.S., Al-Saidy A.H., Taha R., and Al-Kemyani, A.J., (2011), "Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete", *Procedia Engineering*, 14, 370-376.
- Al-Joulani, N.M.A., (2015), "Effect of wastewater type on concrete properties", *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(19), 39865-39870.
- Alqam, M., Jamrah, A., Al-Hafith, B.A., Al-Zubi, R., and Al-Shamari, N., (2014), "Fresh and hardened properties of sustainable concrete using recycled household greywater", *Arabian Journal of Science and Engineering*, 39, 1701-1708.
- Alradhawi, H., and Angalekar, S.S., (2016), "Study the feasibility of use of grey water in concrete", *International Journal of Science and Research*, 5(6), 493-498.
- APHA, (2012), *Standard methods for examination of water and wastewater*, American Public Health Association, 18<sup>th</sup> Edition, Washington DC.
- Asadollahfardi, G., Asadi, M., Jafari, H., Moradi, A., and Asadollahfardi, R. (2015), "Experimental and statistical studies of using wash water from ready-mix concrete trucks and a batching plant in the production of fresh concrete", *Construction and Building Materials*, 98, 305-314.
- Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Rashnoiee, V., and Ghonabadi, N., (2016), "Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete", *Construction and Building Materials*, 105, 253-261.
- ASTM C1602, (2012), *Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Babu, G.R., and Ramana, N.V. (2018), "Feasibility of wastewater as mixing water in cement", *Materials Today: Proceedings*, 5, 1607-1614.
- Babu, G.R., Reddy, B.M., and Ramana, N.V., (2018), "Quality of mixing water in cement concrete: A review", *Materials Today: Proceedings*, 5, 1313-1320.
- BS EN1008, (2002), *Mixing water for concrete: Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete*, British Standard Institution, www.bsigroup.com
- BS EN3148, (1980), *Method of test for water for making concrete (including notes on the suitability of the water)*. British Standard Institution.
- Chatveera, B., and Lertwattanaruk, P., (2009), "Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture", *Journal of Environmental Management*, 90, 1901-1908.
- El-Nawawy, O.A., and Ahmad, S., (1991), "Use of treated effluent in concrete mixing in an arid climate", *Cement and Concrete Composites*, 13, 137-141.
- EPA, (2012), *Guidelines for water reuse*, EPA/600/R-12/618, Washington, D.C.
- Ghrai, A.M., Al-Mashaqbeh, O.A., Sarireh, M.K., Al-Kouz, N., Farfoura, M., and Megdal, S.B., (2018),



بوده‌ام و نظارت دوازده مورد از پروژه‌های مختلف پژوهشی در سطح ملی و استانی را برعهده داشته‌ام. دبیر علمی پنجمین کنفرانس جامع ملی مدیریت سیلاب، چاپ و داوری مقالات متعدد مجلات علمی- پژوهشی، همایش‌ها و کنفرانس‌های معتبر ملی مختلف کشور، راهنمایی و مشاوره پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد را انجام داده‌ام و به‌خصوص همواره در تعریف موضوع رساله‌های مختلف دکتری به دانشجویان و اساتید کمک کرده‌ام. از نظر سوابق یک و نیم سال کارشناس بخش منابع آب شرکت مهندسی مشاور مشانیر، شش سال کارشناس دفتر پژوهش‌های کاربردی شرکت مدیریت منابع آب، دو سال کارشناس ارشد دفتر استاندارد‌ها و طرح‌های آب و آبفای وزارت نیرو، پنج سال رئیس پژوهشکده منابع آب، موسسه تحقیقات آب و در حال حاضر مسئولیت موسسه تحقیقات آب را برعهده دارم. هم‌چنین تاکنون دو نوبت از وزرای نیرو لوح تقدیر دریافت نموده‌ام.



### دکتر مرتضی افتخاری

رئیس محترم موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

**\* لطفاً دستاوردهای مهم موسسه تحقیقات آب در طول دوران فعالیت آن را ذکر کنید.**

- اهم دستاوردهای موسسه تحقیقات آب که با کمک مدیران موسسه و تلاش ستودنی کارشناسان و اعضای هیات علمی موسسه حاصل شده در ده محور به‌شرح ذیل است:

#### محور (۱): آمار و اطلاعات پایه

(۱) تولید اطلاعات ارزشمند ذیل با استفاده از سنجش از دور در پایش حوضه‌های آبریز مشترک با افغانستان:

- پایش روند تغییرات کاربری‌های اراضی و الگوی کشت آن‌ها؛
  - پایش برف و آب معادل برف؛
  - برآورد بارش؛
  - استخراج بسیمتری سد کجکی و منحنی سطح و حجم (تغییرات ماهانه پهنه آبی این سد).
- (۲) توسعه روش‌شناسی کاربرد سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در مدیریت منابع آب:
- تبخیر- تعرق واقعی؛
  - سطح و آب معادل برف؛
  - پایش خشکسالی کشاورزی؛
  - رطوبت خاک؛
  - تراز آب؛
  - فرونشست.

(۳) استخراج نقشه دقیق بسیمتری دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سال ۱۳۹۲ برای اولین بار؛

(۴) استخراج حجم رسوبات نمکی ته‌نشین شده دریاچه ارومیه و

**\* لطفاً موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و اهداف و تشکیلات آن را معرفی فرمایید.**

- موسسه تحقیقات آب یک مجموعه تحقیقاتی است که جزو مجموعه‌های پژوهشی زیرنظر وزارت نیرو است، لیکن همانند دانشگاه‌ها از قوانین و مقررات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تبعیت می‌کند. وظیفه اصلی موسسه مدیریت و انجام پژوهش‌های کاربردی در حل مسائل اولویت‌دار و بین‌بخشی مورد نیاز آب و آبفای کشور است. موسسه هم‌اکنون دارای دو پژوهشکده "مطالعات و تحقیقات منابع آب" و "مهندسی هیدرولیک و محیط‌های آبی" و دو مرکز "مطالعات و تحقیقات آب و فاضلاب" و "مطالعات و تحقیقات دریای خزر" است. از جمله اهداف موسسه می‌توان به مواردی چون "کمک به تبیین و اجرای بهتر برنامه‌های بخش آب و آبفای وزارت نیرو از طریق پژوهش"، "تسهیل‌گری و کمک به ایجاد بستر ارتباط صنعت و دانشگاه" و "توسعه و ترویج دستاوردهای پژوهشی و فناوری‌های نوین کاربردی" و "تلاش درجهت تسری دانش حاصل از پژوهش در بدنه مدیریتی و کارشناسی بخش آب و آبفای وزارت نیرو" اشاره نمود.

**\* لطفاً یک معرفی اجمالی از سوابق خود ارائه فرمایید.**

- رشته تحصیلی اینجانب در هر سه مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی عمران- آب و (به‌ترتیب) در دانشگاه‌های خواجه‌نصیرالدین طوسی، امیرکبیر و تربیت‌مدرس بوده است. از نظر سوابق پژوهشی به‌صورت کلی محقق اصلی و همکار حدود ده مورد از پروژه‌های مختلف پژوهشی در سطح ملی و استانی

برآورد نرخ رسوب‌گذاری آن طی سال‌های خشک اخیر با استفاده از فناوری سنجش از دور؛

(۵) کاربرد پهپاد در تدقیق و راستی آزمایی تصاویر ماهواره‌ای؛

(۶) تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه‌های آبریز کشور؛

(۷) روش‌شناسی تهیه نقشه بسیمتری دریاچه‌ها و تالاب‌ها با استفاده از فناوری سنجش از دور و عملیات میدانی؛

(۸) تهیه نقشه راه مطالعات پایه منابع آب؛

(۹) بررسی نحوه استخراج بیلان آب در حوضه‌های آبریز با مؤسسات پژوهشی بخش کشاورزی؛

(۱۰) طراحی و ساخت سامانه اندازه‌گیری سطح آب در چاه‌ها؛

(۱۱) نصب و راه‌اندازی سامانه پایش یخچال علم‌کوه؛

(۱۲) خرید و ورود دستگاه اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی (Scintillometer) به‌عنوان دقیق‌ترین دستگاه برای اولین بار در کشور؛

(۱۳) تهیه اطلس یخچال‌های طبیعی کشور به‌عنوان مهم‌ترین سنسور پایش تغییر اقلیم در کشور برای اولین بار؛

(۱۴) اندازه‌گیری روند تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز کرخه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در ۱۵ سال گذشته؛

(۱۵) تهیه فرمولاسیون عامل کاهنده تبخیر آب مخازن و بررسی آثار کیفی و کمی آن در محدوده آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی؛

(۱۶) طراحی و بومی‌سازی شهپاد (شناور هدایت‌پذیر از راه‌دور) به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات بستر مخازن سدها؛

(۱۷) استفاده از پهپاد برای حفاظت و مدیریت آب تعیین آب خروجی از مخازن سدها با توجه به نیاز واقعی اراضی پایین‌دست.

## محور (۲): منابع آب جدید قابل استحصال

(۱) مطالعات پهنه‌بندی مناطق مستعد آب ژرف کشور (اتمام فاز اول)؛

(۲) طراحی و ساخت پهپاد مختص باروری ابرها؛

(۳) طراحی و بومی‌سازی ساخت رادار کوچک هواشناسی و قابل جابجایی مرتبط با باروری ابرها؛

(۴) ساخت و تولید ۵۰۰۰ فشنگ باروری ابرها برای اولین بار در کشور؛

(۵) تهیه نقشه راه مدیریت منابع آب جوی؛

(۶) بررسی روش‌های نوظهور تعدیل وضع هوا در دنیا نظیر یونیزاسیون جو پایین و تکنولوژی هارپ.

## محور (۳): مدیریت کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی

(۱) توسعه مدل و روش‌شناسی حسابداری منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز کشور؛

(۲) تدوین راهبردها و برنامه ملی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب؛

(۳) تهیه روش‌شناسی پهنه‌بندی کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی براساس آلاینده‌های مختلف؛

(۴) دستیابی به خودکفایی بر مبنای اقتصاد مقاومتی در بارورسازی ابرها از طریق طراحی و ساخت پهپاد، بومی‌سازی پیروپاترون، طراحی و ساخت رادار.

## محور (۴): اقدامات غیرسازه‌ای در بخش آب کشور

(۱) تهیه نقشه راه مطالعات اجتماعی؛

(۲) تهیه نقشه راه مطالعات حقوقی.

## محور (۵): بستر و حریم رودخانه‌ها و سواحل

(۱) نظارت دقیق بر پروژه‌های ساماندهی رودخانه در پنج استان کشور؛

(۲) تهیه نقشه توپوگرافی حریم و بستر رودخانه‌ها با استفاده از پهپاد.

## محور (۶): سامانه‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، بازچرخانی و استفاده از پساب

(۱) تهیه نقشه راه نمک‌زدایی و تصفیه فاضلاب.

## محور (۷): پیش‌هشدار بحران

(۱) ایجاد سامانه کشوری برخط پیش‌بینی و هشدار سیل؛

(۲) کاربرد پهپاد و مدل‌های هیدرولیکی در تعیین محدوده پخش سیلاب؛

(۳) پیش‌بینی فصلی و ماهانه بارش کشور با استفاده از نتایج پیش‌بینی بارش شش مدل جهانی آب و هوا؛

(۴) تهیه مدل بومی پیش‌بینی فصلی و ماهانه بارش کشور؛

(۵) تهیه مدل بومی پیش‌بینی کوتاه‌مدت بارش کشور؛

(۶) پیش‌بینی میزان فرونشست دشت‌های کشور ناشی از برداشت منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های راداری؛

(۷) مطالعه ریزگردها و طوفان‌های گرد و غبار ایران و خاورمیانه برای بخش برق و ارسال پیامک پیش‌بینی گرد و غبار برای بخش برق؛

(۸) بررسی امکان‌پذیری کاهش بارش‌های کشور به‌طور هدفمند و غیرطبیعی؛

(۹) استخراج روند وضعیت بارش و دما در ایران و جهان با تأکید بر کشورهای همسایه؛

(۱۰) بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های هم‌جوار با دریاچه ارومیه و تبادلات آبی آن‌ها.

## محور (۸): کیفیت طراحی طرح‌های توسعه منابع آب

(۱) انجام مطالعات مدل‌های هیدرولیکی سدهای خداآفرین، قیزقلعه‌سی، رودبار لرستان، دشت پلنگ، مارون، گتوند و هراز؛

(۲) تهیه برنامه تخلیه شوری سد گتوند از طریق مطالعات میدانی آزمایشگاهی و عددی.



- (۱) حضور مستمر و منظم در اجلاس منطقه‌ای CASPCOM (کمیته هماهنگی آب‌شناسی و هواشناسی و مراقبت محیطی دریای خزر)؛
- (۲) میزبان چهارمین نشست کارگروه مدیریت منابع آب کمیسیون دائم همکاری‌های تجاری و اقتصادی ایران و روسیه و امضای تفاهم‌نامه؛
- (۳) امضای تفاهم‌نامه همکاری با موسسه تحقیقاتی علوم زمین GFZ آلمان؛
- (۴) تدوین روش‌شناسی پتانسیل‌یابی منابع آب کارستی با همکاری سازمان زمین‌شناسی فرانسه (BRGM).

محور (۱۰): سایر موارد

- (۱) تدوین کتاب سیمای آب کشور (جلد اول: وضعیت موجود جلد دوم: چالش‌ها و راه‌کارها)؛
- (۲) تهیه ۴۰ جلد گزارش مدیریتی مناسب برای مدیران ارشد بخش آب کشور مانند اثر اجرای پروژه‌های آبخیزداری بر آب‌های سطحی و زیرزمینی و اثر آبیاری مدرن بر حوضه‌های آبریز؛
- (۳) برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های تخصصی ارائه و آموزش دستاوردهای نتایج تحقیقات انجام شده؛
- (۴) مصاحبه در صدا و سیما، جراید و نشریات؛
- (۵) همکاری علمی با دانشگاه‌ها در قالب انعقاد تفاهم‌نامه با دانشگاه‌ها، هدایت پایان‌نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی، برگزاری بازدیدهای دانشجویی و جذب و راهنمایی کارآموز؛
- (۶) بررسی وضعیت موسسه به روش تحلیل راهبردی (ماتریس SWOT) و تدوین مدل تعالی سازمانی موسسه تحقیقات آب.

\* مهم‌ترین نقاط ضعف و مشکلاتی که مانع از رسیدن موسسه به برخی از اهداف آن شده است چیست؟

- موانع دستیابی موسسه به اهداف خود را می‌توان در دو دسته کلی داخلی (داخل موسسه) و خارجی (خارج موسسه) دسته بندی نمود.

مهم‌ترین موانع داخلی برای دستیابی موسسه به اهداف خود را می‌توان به شرح زیر اعلام نمود:

- (۱) محدودیت جذب نیروهای پژوهشی جدید در قالب هیئت علمی و غیرهیئت علمی و در نتیجه عدم امکان ورود موسسه به موضوعات جدید پژوهشی مورد نیاز بخش آب وزارت نیرو؛
  - (۲) عدم تناسب اعتبارات پژوهشی موسسه در مقایسه با تعداد و بزرگی مشکلات بخش آب و آبفا در شرایط فعلی.
- در خارج از موسسه نیز موانع زیادی در مسیر دستیابی موسسه به اهداف خود وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر هستند:

- (۱) باور ضعیف مدیران به ظرفیت پژوهش در حل مشکلات کشور؛
- (۲) عدم کاربردی شدن تحقیقات در بخش آب و آبفا کشور و ضعف به‌کارگیری پژوهش در صنعت؛
- (۳) وجود موازی‌کاری در حوزه پژوهش‌های کاربردی.

\* بین موسسه تحقیقات آب و بخش‌های تحقیقاتی شرکت‌های آب و فاضلاب و سازمان‌های آب منطقه‌ای چه ارتباطی وجود دارد؟

- در این خصوص فرآیند و پروتکل ارتباطی تعریف شده و مشخصی وجود ندارد و در اغلب اوقات، موسسه مانند سایر دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور، به‌عنوان مجری پروژه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب و آب‌های منطقه‌ای با آن‌ها مرتبط است و متأسفانه از ظرفیت‌های بالای موسسه در تحقیقات کاربردی این شرکت‌ها استفاده مناسب و کاربردی‌تری نمی‌شود.

\* وضعیت پژوهش در موسسه تحقیقات آب و بخش‌های تحقیقاتی تابعه وزارت نیرو و ارتباط آن‌ها با دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی چگونه است؟ برای رفع ضعف‌ها و خلأهای موجود در این زمینه چه اقداماتی باید انجام شود؟

- به نظر اینجانب در شرایط فعلی از ظرفیت بالای دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی کشور استفاده مناسبی برای حل مسائل و مشکلات بخش‌های اجرایی وزارت نیرو نمی‌شود. یک بخش این مشکل به‌عدم کاربردی بودن نتایج پژوهش‌های دانشگاه‌ها در صنعت آب کشور (در اغلب موارد) بر می‌گردد و بخش دیگر آن مربوط به مدیریت ضعیف تحقیقات در دستگاه‌های اجرایی می‌باشد که در سؤال ۴ به برخی از دلایل آن اشاره شد.

برای رفع این خلأ نیز علاوه بر لزوم ارتباط بیشتر دانشگاه‌ها و صنعت آب و انجام پژوهش‌های کاربردی توسط دانشگاه‌ها، ضروری است دستگاه‌های اجرایی از جمله وزارت نیرو نیز برنامه درازمدت خود برای حل مسائل و مشکلات فعلی و آتی خود از طریق پژوهش و تحقیق را تهیه و در خصوص نحوه مدیریت و اجرای آن، تصمیم‌گیری صریح و شفاف انجام دهند. قطعاً بدون وجود برنامه‌ای مشخص و همچنین عدم تمرکز مدیریت مالی و اجرایی این برنامه (وجود موازی‌کاری در حوزه انجام پژوهش‌های کاربردی) مسائل و مشکلات موجود رفع نخواهد شد.

\* این موسسه به‌عنوان یک مرکز تحقیقاتی چه ارتباط ارگانیکی با دانشگاه داشته است؟ چقدر توانسته از پژوهش‌های دانشگاهی برای رفع نیازهای خود استفاده کند؟

- مشکل ارتباط ضعیف دانشگاه‌ها و صنعت، متأسفانه مشمول مراکز تحقیقاتی زیرمجموعه دستگاه‌های اجرایی نیز می‌شود. اگرچه

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، بخشی از آن به دلیل عدم انجام پژوهش و تحقیقات منجر به راه‌کار در دانشگاه‌ها است. با توجه به لزوم استفاده حداکثری از ظرفیت اساتید دانشگاه‌های کشور، اگرچه در سال ۱۳۹۸ از تعداد زیادی از آن‌ها در قالب کمیته‌های نظارت و راهبری پروژه‌های موسسه استفاده شد، اما در سال ۱۳۹۹ برنامه‌ریزی مناسبی در موسسه برای استفاده از ظرفیت اساتید و دانشجویان نخبه دانشگاه‌های کشور برای انجام پژوهش‌های مورد نیاز بخش آب و آبفا کشور شده است.

#### \* چگونه می‌توان به کاربردی شدن نتایج تحقیقات دانشگاه‌ها کمک کرد و موسسه چه نقشی در این رابطه می‌تواند ایفا کند؟

– قدم اول در این خصوص، ایجاد باور در مدیران دستگاه‌های اجرایی کشور به این‌که موضوع تحقیقات و پژوهش، یک امری تجمعاتی نبوده و دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی کشور ظرفیت حل چالش‌های فعلی و آتی کشور را دارند. ایجاد این باور موجب حمایت بیشتر از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و اتکا به آن‌ها برای حل مشکلات خواهد شد. در قدم بعدی، به نظر اینجانب ضرورت دارد تا پروژه‌های مشترک تحقیقاتی بین دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی زیر نظر دستگاه‌های اجرایی کشور تعریف شده تا هم زمان ضمن استفاده از تئوری‌ها، ابزارها و راه‌حل‌های علمی در حل مسائل توسط دانشگاه‌ها، مسائل به یک موضوع فانتزی و غیرواقعی (به دلیل استفاده از روش‌های غیر کاربردی یا داده‌های غیرواقعی و غیره) تبدیل نشود. ضمن این‌که به نظر می‌رسد تمرکزگرایی مدیریت مالی و اجرایی برنامه‌های پژوهشی و تحقیقاتی دستگاه‌های اجرایی در مراکز تحقیقاتی زیر نظر آن‌ها نیز کمک زیادی به این موضوع بنماید.

#### \* لطفاً وضعیت آب و فاضلاب کشور در حال حاضر را تشریح کرده و چشم‌انداز آتی آن را بیان کنید.

– در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی در زمینه تأمین آب سالم و جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب در وزارت نیرو انجام شده است و نسبت به بسیاری از کشورهای جهان، کشور از شرایط مطلوبی برخوردار است؛ اما به نظر اینجانب، چالش آینده بخش آب کشور، موضوع آب و فاضلاب است. افزایش جمعیت و نیاز به آب شرب سالم و کاهش دسترسی مطمئن به آب قابل استحصال در اثر تغییر اقلیم از یک‌طرف و تولید فاضلاب بیشتر در بخش‌های مختلف مصرف از طرف دیگر، موضوع آب و فاضلاب را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشور در آینده‌ای نزدیک تبدیل خواهد کرد. لذا ضروری است ضمن توجه جدی به موضوع تحقیق و پژوهش در زمینه مشکلات فعلی این صنعت، مطالعات آینده پژوهشی جدی در زمینه آب و فاضلاب انجام گیرد تا مسائل و مشکلات آتی کشور در این زمینه احصاء شده و مطالعات مورد نیاز از هم‌اکنون آغاز شود.

#### \* مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه تحقیقات در زمینه

#### آب و فاضلاب در کشور را چه می‌دانید؟

- از نظر اینجانب مهمترین چالش‌های پیش روی بخش آب و فاضلاب کشور به شرح زیر هستند:
  - ۱) نشت و هدررفت بالای شبکه‌های انتقال و توزیع آب شهری؛
  - ۲) وضعیت پیچیده و نامناسب شبکه توزیع و انتقال آب شهرها به‌خصوص در شهرهای بزرگ؛
  - ۳) مسائل و مشکلات کیفی منابع تأمین آب شرب (به‌خصوص منابع آب زیرزمینی) در فصول مختلف؛
  - ۴) توسعه سریع واحدهای نمک زدایی در کشور و چالش‌های پساب‌های آن‌ها؛
  - ۵) ورود پساب‌های بخش‌های مختلف مصرف به منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور و لزوم ارائه راهکارهایی برای به حداقل رساندن مشکلات کیفی منابع آب کشور در سال‌های آتی؛
  - ۶) مدیریت و کنترل پسماندهای تصفیه‌خانه آب و فاضلاب؛
  - ۷) لزوم استفاده از روش‌ها و فناوری‌های نوین تصفیه آب به‌منظور کاهش هزینه تصفیه آب؛
  - ۸) مدیریت تأمین آب شرب سالم در شرایط بحرانی مانند سیلاب، زلزله و شیوع بیماری‌های واگیردار.
- \* با توجه به امضای تفاهم‌نامه همکاری با انجمن آب و فاضلاب ایران چه انتظاری از همکاری با این انجمن دارید؟
- در تفاهم‌نامه امضا شده، تعهدات دو طرف به‌روشنی مشخص شده است. مهم‌ترین انتظار موسسه از انجمن اجرای دقیق و پیگیری مستمر مفاد تفاهم‌نامه فی مابین است.
- \* نقش و جایگاه انجمن را در توسعه و رشد علوم و صنعت آب و فاضلاب کشور در چه حد می‌دانید؟
- ظرفیت‌های قابل استفاده انجمن علمی آب و فاضلاب می‌تواند در قالب موارد ذیل متجلی شود:
- ۱- برگزاری کنفرانس‌ها و همایش‌های مستمر سالانه به‌همراه مستندسازی آن؛
  - ۲- اولویت‌بندی نیازهای پژوهشی بخش آب و آبفا در سه سطح ملی، منطقه‌ای و استانی با کمک موسسه تحقیقات آب؛
  - ۳- برگزاری دوره‌های آموزشی خاص ناظر بر آخرین دستاوردهای دنیا در زمینه آب و آبفا؛
  - ۴- بازنگری محتوای دوره‌های آموزشی؛
  - ۵- تدوین پیشنهاد پروژه‌های تحقیقاتی و انجام پروژه‌های مشترک با کمک موسسه تحقیقات آب.
- \* برای تقویت حوزه آب و فاضلاب از طریق همکاری شرکت‌های آب و فاضلاب و دیگر دستگاه‌های تابعه وزارت نیرو و انجمن آب و فاضلاب ایران چه پیشنهادی دارید؟
- این سؤال در پاسخ سؤالات بالا، جواب داده شده است.



"سیاست‌ها و برنامه‌های تامین آب شرب ایران"  
برگزار شده در اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (بهمن ۱۳۹۵ - دانشگاه تهران)



اعضای میزگرد:

دکتر مسعود تابش (استاد دانشگاه تهران و مدیر جلسه)

مهندس علی اصغر قانع (معاون برنامه‌ریزی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)

دکتر محمد کارآموز (استاد دانشگاه تهران)

دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی)

خانم دکتر سیمین ناصری (استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران)

وارد بحثی بشویم و با واکاوی نظرات و بحث روی موضوعات مطرح شده، نقاط مشترک و نقاط افتراق نظرات روا جدا کنیم و بتوانیم یک جمع‌بندی مناسب انجام بدهیم. چیزی که مدنظر ما هست رسیدن به یک‌سری راه‌کار است. در جلسه قبل هم جناب مهندس دائمی مواردی را مطرح فرمودند که جزو دغدغه‌ها و تشریح وضع موجود بود. ما با دوستان مختلفی هم که تماس گرفتیم و دعوت کردیم برای طرح مباحث، نکته مهم این بود که نمی‌خواهیم خیلی آمار بدهیم یا شعار بدهیم. می‌خواهیم دردها را مطرح کنیم ولی به دنبال درمان‌ها بگردیم. در مرحله درمان‌ها هم هر کسی در حوزه وظیفه مسئولیت سازمانی که دارد باید مشخص کند که چه گام‌های عملی برای رسیدن به بخشی از آن راه‌کارها برداشته است. به عنوان مثال دوستانی که در وزارت نیرو یا شرکت مهندسی آب و فاضلاب هستند نمی‌شود که بیایند مثل من استاد



دکتر تابش:

عنوان میزگرد سیاست‌های تامین آب شرب در ایران. از اعضای پنل که حاضر هستند خواهش میکنم که تشریف بیاورند. از هر کدام از دوستان درخواست می‌شود در عرض ۵-۶ دقیقه پیرامون محور اصلی، دیدگاه‌های کلی خود را بیان بفرمایند و بعد از آن

دانشگاه، که دستم از همه جا کوتاه است و بالاخره به یک سری مطالعات و دیدگاه‌هایی رسیده‌ام، آن دوستان هم ببینند دیدگاه‌ها را مطرح کنند. دوستانی که در حیطه اجرا هستند انتظار داریم که مراحل اجرایی شدن گام به گام آن قضایا مطرح و نقاط ضعف و قوتی که در اجرا وجود داشته مطرح شود. حالا اگر کمک‌هایی را احتیاج دارند که از بعد فنی یا تحقیقاتی یا علمی در حوزه دانشگاهی یا همکاری‌های بین سازمانی در بعد اجرایی صورت بگیرد، این هم در جمع‌بندی لحاظ می‌شود تا به یک همگرایی نسبی بیشتری دست پیدا کنیم.



مهندس قانع:

به نام خدا. عرض سلام و ادب خدمت دوستان و اساتید محترم و حاضرین. ما بعد از ۲۵ سال تاسیس شرکت آب و فاضلاب و تعاملاتی که بین دانشگاه‌ها و شرکت‌های آب و فاضلاب داشتیم هرچند کارهای خوبی انجام شده ولی خود این مطلب هم باید یک مقدار آسیب‌شناسی شود که ما بتوانیم از ظرفیت‌های دو طرف بهتر استفاده کنیم. مفهوم بحران آب مفهوم خیلی جدی و قابل توجهی در دنیای امروزی است. امروزه یک موضوع امنیتی است و مسائلی که در این حوزه مطرح شده تعریف را کمی عوض کرده است. باید در این بخش به مسائل مختلفی بپردازیم. آگاه‌سازی و ظرفیت‌سازی که باید در بخش‌های مختلف انجام شود. توجیه مردم می‌تواند بسیار راه‌گشا باشد و کمبود مسائلی که در رابطه با کیفیت آب به وجود آمده و راه کارهای مهندسی که باید به این موضوع پرداخته شود نقش آب را از یک کالای معمولی و صرفاً مهندسی خارج کرده و مباحث اجتماعی‌اش بیشتر رونق پیدا کرده و جایگاه بسیار بزرگی را در مسائل دارد.

موضوعاتی که بین کشورها و خود شهرها و استان‌های کشور پیش آمده و تعارضات زیادی در این حوزه داریم که یکی از چالش‌های اصلی است و مشارکت‌های اجتماعی اینجاست که می‌تواند به کار بیفتد و شاید بتواند به حاکمیت آب خیلی کمک بدهد و از همه مهم‌تر این که نگاه ما باید یک نگاه اقتصادی،

مهندسی، فرهنگی به مقوله آب باشد. به نوعی دولت ده تا چالش را به عنوان چالش‌های اصلی مطرح می‌کند یکی از چالش‌های اصلی، آب است. در برنامه ششم توسعه از ۱۲ تا موضوع اصلی که به آن پرداخته شد در دولت و مجلس، شامل مباحث آب، محیط‌زیست و صندوق‌های بازنشستگی بود که نشان از اهمیت این موضوع است. اگر خیلی خلاصه بخواهم مباحثی را مطرح کنم این است که امروز رشد جمعیت را در کشور شاهد هستیم.

طی سال‌های گذشته اتفاقاتی افتاده و رشد زیادی مخصوصاً در جوامع شهری شاهد بودیم و هم‌چنین افزایش نسبت شهرنشینی به روستانشینی، عدم تناسب توسعه در شهرها از لحاظ پتانسیل‌های منابع آبی خیلی تاثیر گذاشته، محدودیت منابع آب، بحران‌هایی که در بحث‌هایی مخصوصاً آب زیرزمینی که بسیار پر اهمیت است و در موردش بحث می‌شود، همه این‌ها باعث شده که عدم توازن را در مدیریت تقاضا و مصرف داشته باشیم. از طرفی امروز شاهد بروز آلاینده‌های جدید هستیم. نوع آلاینده‌های ما از نوع مواد معدنی دارد تبدیل می‌شود به مواد آلی که پیچیدگی‌های زیادی در این حوزه وجود دارد که در واقع ماهیت آلاینده‌ها دارد تغییر می‌کند. ازدیاد شهرها و فاصله‌ای که داریم تامین آب را انجام می‌دهیم. یک‌روزی در کشور شاید حداکثر طول خطوط انتقالی که طراحی می‌کردیم ۱۰-۱۵ کیلومتر بود. امروز حداقل خط انتقال آب از سد کوثر تا حدود بندر لنگه ۷۶۱ کیلومتر است و پروژه‌ای با ۱۲۶۰ کیلومتر دارد انجام می‌شود. این‌ها مواردی است که نشان از مشکلات این حوزه است و مهم‌تر از همه آن‌ها عدم کفایت منابع مالی است. کار ما همه‌اش با منابع دولتی بوده و امروز می‌بینیم که پروژه‌ای باید ۴-۵ ساله تمام بشود ما شاهد طول زمان‌های ۱۵-۲۰ سال یا بیشتر برای اجرای یک طرح آبرسانی در کشور هستیم. هم‌چنین بحث‌های مدیریتی و اقتصادی که دوستان اشاره جمعی به آن داشتند یکی از چالش‌های اصلی هست که عدم توجه به اقتصاد خیلی تاثیرگذار است.

اما راه کارهایی که متصور هست برای این موضوع در سیاست وزارت نیرو و آب و فاضلاب کشور، بحث بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب‌ها رو داریم، ارتقا و کارامدی بحث آب را در حوزه مصرف داریم، افزایش ظرفیت ذخیره آب و هم‌چنین به کارگیری روش‌های دیگر برای تامین آب از جمله بحث جمع‌آوری باران و بحث نمک‌زدایی و استفاده از آب‌های غیرمتمعارف که به شدت در چند سال گذشته توسعه پیدا کرده است. این نشان از آن دارد که ما امروز بالغ بر ۱۴۳ میلیون مترمکعب قراردادی است که بخش خصوصی دارد در حوزه بیع متقابل برای بازچرخانی انجام می‌دهد و از پساب دارد استفاده مجدد در صنعت انجام می‌دهد. در حوزه نمک‌زدایی و استفاده از آب‌های غیرمتمعارف حدوداً ۴۰۰۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز، قراردادهایی است که در حال بهره‌برداری



و اجرا است. انشالله از نظرات دوستان استفاده خواهیم کرد و ادامه بحث را در نوبت بعدی در خدمت شما خواهیم بود.

**دکتر تابش:** با تشکر از جناب آقای قانع. از سرکار خانم ناصری درخواست می‌کنم که مباحث مدنظر خود را مطرح بفرمایند.



**خانم دکتر ناصری:**

مجددا سلام عرض می‌کنم و با توجه به کمبود وقت سعی می‌کنم که از مقدمه سریعتر بگذرم. ولی من فکر کردم با توجه به این‌که شاید بقیه همکارانی که در این پنل حضور دارند بیشتر از نگاه فنی و مهندسی بخواهند در ارتباط با تصمیم‌سازی‌های مسائل مرتبط با آب شرب صحبت کنند، تاکیدم را در صحبت شخصی خودم گذاشتم روی مسائل مربوط به بهداشت و سلامت و نقشی که آب شرب می‌تواند در بهداشت جامعه و مصرف‌کنندگان داشته باشد. همه این اعتقاد را داریم. خوشبختانه الآن مدت‌ها است راجع به این صحبت می‌شود که آب آشامیدنی اگر با کیفیت خوبی باشد می‌تواند در سلامت مردم و مصرف‌کنندگان نقش داشته باشد. جنبه‌های اقتصادی بسیار روی این مسئله تاثیر دارند و مدیریت یکپارچه که گاهی اوقات فکر می‌کنم خسته شدیم از بس گفتیم مدیریت یکپارچه و باید هرچه بیشتر این یکپارچگی در مدیریت منابع آب و تامین آب شرب انشالله شکل بگیرد. در تصمیم‌سازی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها و سیاست نوشتن مسائل آب شرب باید این‌ها رعایت بشود.

اما از دیدگاه سلامت و آن چیزی که مطرح است، آلاینده‌هایی که در محیط‌زیست هستند نقش اساسی داشته‌اند. ولی الآن بیشتر از گذشته نقش دارند در ارتباط با سلامت مردم و بروز بیماری‌های مختلف و افزایش بار بیماری‌ها. بنابراین آماری که داده می‌شود اخیرا این‌که از ۱۲/۶ میلیون مرگ و میری که به محیط‌زیست مربوط هست حدود ۸ میلیون از این آمار مرتبط هست با بیماری‌های غیرواگیر. بیماری‌هایی که به‌نوعی تاکید دارد روی آلاینده‌های شیمیایی که از محیط می‌آید. این بیماری‌ها می‌تواند از ایست قلبی، مغزی، سکنه مغزی، سرطان و چیزهای دیگه باشد ولی در آیتم شمارش مسائل مربوط به بیماری‌های گوارشی و آن چیزی که در سلامت و گوارش مردم هم تاثیر دارد.

می‌خواهم اشاره کوتاهی بکنم به دلیل این‌که خیلی اعتقاد دارم به آن چیزی که در اهداف توسعه پایدار (sustainable development goals یا SDG) نوشته شده، اخیرا در سال ۲۰۱۶ و ایران هم متعهد شده است مثل خیلی کشورها که در چهارچوب SDG برنامه‌ها و سیاست‌گذاری‌هایش را تنظیم بکند.

در ۱۷ تا هدف اصلی که در اهداف توسعه پایدار SDG تنظیم شده، هدف شماره ۶ که من دقت کردم مشخصا راجع به آب سالم و شرایط بهداشتی و بهسازی مناسب است. در کنارش چیزهای خیلی مهم دیگری هم دیده می‌شوند که البته چیزهای عمومی‌تر هستند مثل بحث فقرزدایی و این‌که مردم گرسنه نباشند، بحث تغییر اقلیم و خیلی چیزهای دیگر. من دوست دارم روی آیتم شماره ۱۷ هم تاکید داشته باشم که نقش مشارکت همه نهادها و همه جامعه در رسیدن به اهداف SDG هست و در این آیتم شماره ۶ که به‌صورت مشخص راجع به آب و آب شرب دارد حرف می‌زند اگر که ما این را جدا ببینیم هیچ‌وقت نمی‌توانیم به یک سرانجام مثبتی برسیم مگر این‌که با اهداف دیگر این متناسب با هم و به موازات هم‌دیگر باشد. مثلا من همیشه تاکید و اعتقاد دارم که اگر بحث فقر وجود دارد در جامعه‌ای و SDG سطحش پایین است نباید خیلی انتظار داشته باشیم که دسترسی مردم به آب سالم و شرب بالا باشد. بنابراین باید نگاه کنیم که دولت چه بودجه‌ای دارد و کجاها خرج می‌کند و نقش مردم در دسترسی به این آب براساس شرایط اقتصادی‌شان چطور می‌تواند باشد.

من وارد جزئیات دیگر نمی‌شوم ولی ۵-۶ تا آیتم دیگر از این ۷ تا هدف به‌صورت مشخص با آب سالم ارتباط دارند و به‌خصوص اگر بخش فقر را درنظر بگیریم این‌ها با هم متقابلا حرکت می‌کنند. بنابراین باید سعی کنیم که این‌ها همسو با هم‌دیگر بشوند و اگر در جهت فقرزدایی کشوری دارد حرکت می‌کند، یکی از آیتم‌هایش هم باید رسیدن به دسترسی به آب سالم باشد و این می‌تواند نقش اصلی را در سلامت مردم داشته باشد. در زیرمجموعه هدف ۶، اهداف ریزتری هستند که من وارد جزئیاتش نمی‌شوم ولی به‌خصوص تاکید شده روی ممانعت و جلوگیری و برنامه‌ریزی سیاست‌گذاری در جهت جلوگیری از وجود آلاینده‌های مختلف منابع آب. به‌خصوص در شرایطی که کشورها ممکن است شرایط اقتصادی‌شان خوب نباشد و نتوانند تصفیه‌خانه‌هایشان را توسعه بدهند.

اما آلاینده‌های جدید که بعضی‌شان سنتتیک هم هستند و در پساب فاضلاب‌ها و کارخانجات وجود دارند این‌ها وارد سیستم می‌شوند. اگر روی بار بیماری‌های ناشی از آب آشامیدنی بخواهیم حرکت کنیم تجربه نشان داده که آماری که سازمان جهانی بهداشت تاکید کرده این است که ۳/۵ میلیون مرگ و میر به‌نوع مستقیمی ارتباط دارند با عدم دسترسی به آب سالم و کافی و مرتبط هستند با شرایط بهداشت در جامعه. در یک شاخص،

کشورها را از این نقطه نظر با هم دیگر مقایسه می کنند و ده درصد از بار بیماری هایی که در مسائل غیرواگیر به صورت اختصاصی مطرح می شود. این ها مرتبط هست با عدم کفایت کیفیت آب شرب که در اختیار مردم است. بنابراین ده درصد رقم بزرگی است و ما واقعا باید به فکرش باشیم که چه طور می توانیم سرمایه گذاری کنیم برای این که این را کاهش بدهیم. ۸۴۲۰۰۰ مرگ و میر نسبت داده می شد. البته این در کشورهای در حال توسعه و کشورهای نسبتا از نظر اقتصادی پایین دیده می شود. ۸۴۲۰۰۰ نفرش به این جنبه های آب و بهداشت مرتبط است و به صورت خیلی اختصاصی از این تعداد آمار مرگ و میر، ۵۰۲۰۰۰ یعنی ۶۱ درصدش مرتبط هست با عدم دسترسی به آب سالم و کافی براساس استانداردهای ملی.

بنابراین خیلی مهم است که ما منابع آبمان را به درستی مدیریت کنیم. اگر نکنیم ما دیگر آب تجدیدپذیر آیا داریم؟ قطعا نداریم. همان طور که آقای مهندس دائمی اشاره کردند. بنابراین این می تواند تاثیر داشته باشد و هرچقدر کمیت منابع آب ما دچار کاهش بشود، مطمئنا غلظت آلاینده ها حتی آلاینده های طبیعی در منابع آبمان افزایش پیدا می کند و این سوال هست که آیا تصفیه خانه های ما توانمندی حذف این آلاینده ها را دارند یا نه و اگر ندارند چه برنامه ها و سیاست هایی باید دولت و وزارت نیرو در این چارچوب انجام بدهد.

اگر ما فقط بحث دسترسی به آب سالم را بخواهیم مطرح کنیم، منظورم از آب سالم آب لوله کشی هست و خوشبختانه کشور ما از این نقطه نظر در دنیا خوب است و بیش از ۹۰ درصد مردم ما به آب لوله کشی دسترسی دارند که این امتیاز خوبی هست. سازمان ملل همیشه تاکید می کند که اگر شما روی منابع آب و کیفیت آب شربتان از لحاظ سلامت تاکید کنید اگر ۱ دلار هزینه کنید تا ۸ دلار می توانید بازگشت سرمایه داشته باشید. چون اگر که ما این کار را نکنیم و آب شربمان سالم نباشد، هزینه ها را باید در بخش درمان بکنیم و وزارت بهداشت هست که پول بسیار زیادی را خرج کرده و از این به بعد هم بیشتر خرج خواهد کرد. یک شاخص دیگری که من اشاره می کنم و دوست دارم که کسانی که در سیاست گذاری به آن تاکید دارند و مسئولیت دارند به این شاخص ها بیش از گذشته بپردازند، شاخص EPI (شاخص عملکرد زیست محیطی) است که در دلش مسائل مربوط به آب و فاضلاب هم دیده می شود.

اولین بار دانشگاه ییل در آمریکا شروع به جمع آوری اطلاعات کرد. این اطلاعات هم رسمی هستند. یعنی دولت ها به صورت رسمی به نهادهای بین المللی اعلام می کنند. براساس همین اطلاعات کشورها براساس وضعیت محیط زیست و آب و فاضلابشان رتبه بندی می شوند. حالا شاخص های دیگری مثل بهداشت، تغییر اقلیم، کشاورزی، مسائل جنگل، همه این ها دیده

شده و در دل این برنامه ای که در EPI هست ۹ تا گروه دیده شدند و ۲۰ تا معیار اصلی در این امتیاز دادن و تعیین رتبه کشورها مشخص شده که به صورت مشخص اگر ببینیم یک بخشش برمی گردد به بهداشت محیط که در دلش اثرات بهداشتی آلودگی ها دیده شده و تاکید می کنند روی ریسک مواجهه مردم با آلودگی ها در محیط زیست چه می تواند باشد و یک بخش دیگرش آب و بهداشت (water and sanitation) هست و منابع آب. بنابراین این ها خیلی برجسته شده در رتبه بندی کشورها و وضعیتی که دارند و در دل این دوتا، آیتم دوم بحث آب سالم، کیفیت آن و تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد و دوباره، با اجازه دکتر رازقی باید بگویم استفاده دوباره نه مجدد، چون ایشان همیشه تاکید دارند روی این، استفاده دوباره از فاضلاب تصفیه شده، مربوط به آب و سلامت هستند.

این نقشه در واقع وضعیت کشورها را براساس رتبه ای که پیدا کردند در این شاخص هایی که از منظر بین المللی EPI بسیار مهم است و هر جا که در سازمان ملل یا WHO برنامه یا گزارشی می خواهد داده شود از یک کشوری که تایید شود می گویند که ما دنبال این هستیم که شما چه رتبه ای را در EPI گرفتید و این نقشه نشان می دهد که کشورهایی که آبی تر هستند رتبه شان بهتر است و آن هایی که به رنگ قرمز نزدیک تر می شوند وضعیت نامطلوب تری دارند. از بین ۱۸۰ کشوری که در دنیا وجود دارند این آخرین آماری که دیروز درآوردیم، رتبه ایران ۱۰۵ هست. در تمام مسائل محیط زیستی. بالاترین رتبه را کشور فنلاند و پایین ترین رتبه را کشور سومالی دارد. یعنی در بازه ۲۷ تا حدود ۹۰ و امتیازی که ایران گرفته که رتبه ۱۰۵ را به آن اختصاص دادند، ۶۶/۳۲ است که خوشبختانه بررسی ها نشان داد که در واقع در طول ۱۰ سال گذشته، این امتیازی که گرفته، ۲/۴۹ درصد افزایش یافته و من وقتی دیدم، بیشتر در بخش تصفیه فاضلاب ها که ایران توانسته در این قسمت با توسعه تصفیه خانه هایش امتیاز بگیرد. اگر مشخصا راجع به رتبه بندی کشور ایران در بخش آب وارد شویم در بخش آب و بهداشت می بینیم که امتیاز ایران ۷۶/۸۹ است و رتبه ۱۰۱ را دارد. در بخش منابع آب و تصفیه فاضلاب می بینیم که رتبه اش ۹۲ هست در مجموع کشورهای دنیا. اما اگر به سمت چپ اینجا توجه کنید، نشان می دهد که در بخش تصفیه فاضلاب توانسته در ۱۰ سال گذشته اتفاقات خوبی برایش بیفتد و این باعث شد که رتبه اش نسبت به گذشته بهتر شود.

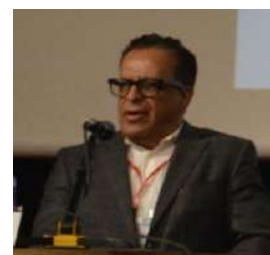
من سعی کردم مقایسه کوتاهی هم در کشورهای منطقه داشته باشم که ببینیم که وضعیت ایران نسبت به کشورهای منطقه چگونه است. در بخش آب و بهداشت، بعد از عربستان سعودی، ترکیه و ازبکستان قرار گرفته است. در بخش دسترسی به آب آشامیدنی بعد از عربستان سعودی و ترکیه قرار گرفته است.

البته فاصله‌شان خیلی زیاد نیست. عربستان البته فاصله‌اش زیاد است و در بخش آب آشامیدنی سالم بعد از ترکیه و ازبکستان هست. ما باز سعی می‌کنیم جایگاهمان را پیش ببریم و گاهی اوقات ما ناراحت می‌شویم که چرا عربستان از ما جلوتر است. ولی به دلیل این که آن‌ها مسائل اقتصادیشان حل شده است، امتیاز می‌گذارند روی این قضیه، جمعیتشان محدودتر است و مسائل دیگر.

در جمع‌بندی می‌خواهم به این نکته برسم که دوستان هم اشاره کردند که اگر ما برداشت‌های بی‌رویه را شاید نتوانیم هیچ‌وقت به حتی ۲۰ سال گذشته برسانیم ولی واقعا سعی کنیم که به یک ثباتی در منابع آبمان حداقل برای ۲۰ سال آینده برسیم و چالش‌های دسترسی به آب دارد برایمان بسیار اهمیت پیدا می‌کند و وقتی که ما کمبود منابع آب داریم، مطمئنا بحث شستشو یا شرایط بهداشتی بسیار بسیار دچار اشکال خواهد شد و این منجر می‌شود به این که بار بیماری‌های ناشی از آلودگی‌هایی که در منابع آبمان و آب شرب هست افزایش پیدا کند. همه می‌دانیم، همه اساتیدی که حضور دارند کار کردند در آب‌های زیرزمینی و آب‌های دیگری که در کشور وجود دارد، خود شرکت آبفا این اطلاعات را دارد. اگر آلاینده‌هایی می‌بینیم باید برای برنامه‌ریزی صحیح بکنیم که منجر به سیاست‌های اجرایی و قابل‌دسترس بشود. من یک اشاره کوتاه بکنم که مورد مثبتی که در ایران دارد اتفاق می‌افتد بحث برنامه ایمنی آب (water safety plan) که خوشبختانه وزارت نیرو و شرکت مهندسی آب و فاضلاب در این زمینه کار کردند. الان چند سال است که در شهرهای مهم دارد اتفاق می‌افتد و این بحث ایمنی آب را از نقطه‌ای که آب تولید می‌شود یعنی در دسترس قرار می‌گیرد تا نقطه مصرف می‌رساند دربر می‌گیرد. نیازمند این است که تخصیص اعتبار بیشتری به این داستان داده شود. پیشنهادهایی در این زمینه دارم که چون فرصت محدود است در فرصت‌های بعدی خدمتتان هستم. خیلی ممنون.

#### دکتر تابش:

از آقای دکتر کارآموز خواهش می‌کنم که مطالب کلی خودشان رو بفرمایند.



#### دکتر کارآموز:

سلام عرض می‌کنم خدمت دوستان. موضوع این میزگرد policies

and plans for domestic water supply in Iran است. سیاست‌ها و برنامه‌ها را سیستم اجرایی باید بیاید اینجا ارائه کند. پنبلی که ما الان هستیم ما یک مدیر ارشد کشور را داریم و ۴ تا دانشگاهی. می‌خواهیم درباره سیاست‌ها و برنامه‌ها صحبت کنیم. این کار ما نیست. با این وجود می‌گویم من همیشه بر خودم لازم می‌دانم که از هر مقطعی و از هر پلتفرمی استفاده کنم و بخواهم از سیستم اجرایی کشور که ما رهنمود نمی‌خواهیم، ما مشکلات را می‌دانیم چه هست. اگر معاون برنامه‌ریزی وزارت نیرو می‌آید این‌جا ما همه مشکلاتی که ایشان گفتند را می‌دانیم. ما راه‌حل می‌خواهیم و برنامه و سیاست‌گذاری می‌خواهیم. ما در ۲۰ سال پیش زمان دکتر منوچهری، ۲۰ تا جلسه برای برنامه سوم داشتیم. دانشگاهیانمان مشارکت کامل داشتند در سیاست‌گذاری. خود بنده افتخار داشتم که تک‌تک این جلسات را با دانشجویهای فارغ‌التحصیل خودم شرکت می‌کردیم. در برنامه ششم چه کردیم؟ کدام‌یک از ما می‌داند که نقش سیاست‌هایی که در ارتباط با تامین آب شهرهای بزرگ ما هست که یک معضل اجتماعی و اقتصادی شده، این‌ها در برنامه ششم چه جایگاهی را دارند. آقای مهندس دائمی می‌گویند آقا آن حلقه دانشمندان و ....، چه قدر از این دانشمندان استفاده می‌کنید؟ چه قدر در ۲۰ سال گذشته ما بنیه و توانایی‌هایمان افزایش پیدا کرده؟ چه قدر دانشجوی دکتری من تا الان شکوفا شده است؟

باید هر مدیر اجرایی کشور بگوید این سیاست است. این برنامه است. ما داریم مسائل را حل می‌کنیم. خودمان را با دانمارک مقایسه نکنیم. خودمان را با کشورهای اطرافمان مقایسه کنیم. ما یک کشور خشک هستیم. ۱۰ سال دیگر هم حسرت امروز را می‌خوریم. ما منابع آب داریم. ما یک کشور غنی هستیم. اشکال از مدیریت و اشکال از همان صحبتی است که دکتر تابش کردند. چرا مردم اعتماد ندارند به تصمیماتی که گرفته می‌شود؟ چرا شفافیت در سیستم نیست. من عذرخواهی می‌کنم از مدیران ارشدی که این‌جا هستند ولی جای‌شان خیلی خالی است این‌جا. چرا در خوزستان یک اتفاقی می‌افتد باید قائم مقام وزیر برود آن‌جا. او جایش خالی است این‌جا. چرا آقای جانباز نیست این‌جا؟ من عذرخواهی می‌کنم ولی ببینید ماها جمع می‌شویم بعد از ماه‌ها زحمتی که دوستان می‌کشند می‌خواهیم در مورد سیاست‌ها و برنامه‌ها صحبت کنیم. من دانشگاهی باید بیایم این‌جا و آرزو کنم که در یک سری مسائلی که من با دانشجویهایم نشستم و گفتم بالاخره ۵ دقیقه وقت دارم، بیایم یک نکاتی را بگویم که تفکر ایجاد کنیم.

هر شهر ما، هر قسمتی از مملکت باید این برنامه تامین آب و پایداری تقاضا را داشته باشد. خیلی هم ساده است. آب بدون درآمد هم خیلی می‌تواند تاثیر داشته باشد. من دانشگاهی آدمی هم هستم که خیلی در جریان مسائل هستم و سعی می‌کنم بدانم

چه می‌گذرد. باید برنامه آگاهی عمومی را داشته باشیم. روانشناسی مصرف و تعرفه آب را باید بدانیم. ما چه می‌دانیم از روانشناسی که با مردم خوزستانی و اصفهانی نمی‌شود یک‌جور رفتار کرد. هر کدام روانشناسی خودشان را دارند. بیاییم این‌ها را در برنامه‌ریزی‌مان دخالت بدهیم. بحث‌های اجتماعی را. من خیلی سریع خدمتتان می‌گویم. به‌عنوان یک دانشگاهی، بنده این‌را درس می‌دهم. آقای مهندس دائمی همین گراف را به‌شکل دیگری نشان دادند. آقا یک وقتی آب داریم بعد می‌آید بالا باید مدیریت تامین را ببریم بالا. بعد مدیریت تقاضا باید بزند بالا. چگونه باید این را برسانیم به یک سطح پایدار برای هر کدام از شهرهای بزرگ ما.

من عذرخواهی می‌کنم از آقای قانع. ایشان از مدیران ارزشمند مملکت هستند. این صحبتی که من می‌کنم خدایی ناکرده خرده‌گیری بر یک فرد خاص نیست. آن عزم ملی می‌خواهد که اگر می‌خواهیم سیاست‌گزاری و برنامه‌ریزی کنیم برای شرب کشور. این دیگر انسان‌ها هستند. باید برنامه داشته باشیم. باید سیاست داشته باشیم. این پتل بهترین پتل است برای این‌که ما ارزیابی کنیم که کجا ایستادیم. ما باید برای تک‌تک شهرها برنامه داشته باشیم. ۵ تا فاز دارد. رسیدیم به فاز سوم. باید در ارتباط با بهره‌وری سیستم‌مان و راندمان استفاده نهایی برنامه بدهیم. بگوییم ما این‌جا در این گراف ما اینجا ایستادیم. انشالله سال آینده می‌آییم یک قدم پایین‌تر. بالاخره هدفمان این هست که به پایداری برسیم. چقدر مشکلات را باید از مدیران بشنویم. ما از آن‌ها راه‌حل می‌خواهیم. راه‌حل هم باید مکتوب باشد. آقا ما این کارها را انجام دادیم. بله پروژه‌های زیادی انجام شده ولی هیچ کدامش منتشر نشده است. در اختیار اساتید و عموم مردم قرار نگرفته است. حالا من خیلی وقت جلسه را نمی‌گیرم ولی این‌ها فازهای مختلفی هست که ما الآن می‌توانیم انجام دهیم. علاقی نداریم. باید به آن حد پایداری برسد.

مطلب دوم آب بدون درآمد است. در کشور سنگاپور ۶ درصد آب بدون درآمد داریم. قبلاً می‌گفتم آب به‌حساب نیامده الآن شده بدون درآمد، آبی که درآمد ندارد. یک نفر در جمعیت همین‌جا بگوید ما در تهران چند درصد تلفات داریم. ما دیروز نشستیم با دانشجویهای من حساب کردیم ۱ درصد شما کم کنید هدررفت شبکه تهران را. این مساوی با آب مورد نیاز برای ۱۰۰۰۰۰ نفر است. ما ۲۵ یا ۲۶ درصدیم. سنگاپور ۶ درصد است. من نمی‌دانم عددمان چقدر است. یک جای کار دارد از نظر مسائل اقتصادی، که کم کردن این عدد، چقدر برای ما هزینه دارد. بعضی کشورها نمی‌توانند بیايند زیر ۱۲ درصد. ممکن است حد ما ۱۵ درصد باشد. ولی این حساسی را انجام بدهیم که ببینیم کجا ایستادیم. آن می‌شود برنامه. آن می‌شود سیاست‌هایی که می‌توانیم در ارتباط با تخصیص بودجه. دارایی املاکمان. ما از

مدیریت دارایی صحبت نمی‌کنیم. بسیار مسئله مهمی است. دارایی‌های زیادی داریم. نمی‌دانیم که چگونه مدیریتشان کنیم. این باز همان ادامه بحث‌های رسیدن به آن حدی هست که غیرقابل اجتناب هست. یک مقداری از هدررفت غیرقابل اجتناب است. هم حد اقتصادی دارد که هرچه شما به آن نزدیک شوید برای هر درصد در تهران، ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت را می‌توانید آب بدهید. روش حساسی است و جواب می‌دهد برویم روی برنامه‌ریزی کنیم. ۶ درصد سنگاپور. سهم ما چقدر است در تهران؟ استدعا دارم آقای مهندس قانع این سوال را جواب بدهند.

این خیلی جالب است. نشان می‌دهد که ما چقدر جا برای کار داریم. برنامه داریم. سیاست می‌توانیم داشته باشیم که همه بفهمند. بحث آخر آگاهی عمومی است. بحث روانشناسی مصرف و تعرفه آب. یعنی من مصرف‌کننده نمی‌دانم چرا این قدر پول می‌دهم آخر ماه. من هنوز نمی‌دانم بعضی وقت‌ها مقاومت می‌کنم. مردم نمی‌دانند چرا باید صرفه‌جویی کنند. اعتمادی را که دکتر تابش گفتند ندارند به سیستم. بیاییم روی این کار کنیم. ما یک کشوری هستیم با اقوام مختلف. روانشناسی شمال با جنوب فرق می‌کند. بیاییم روی این مسائل تمرکز کنیم. دنیا روی این تمرکز کرده است. ما هنوز غصه می‌خوریم که چرا وضعمان خراب است. چرا ۸۰ درصد آب تجدید پذیرمان مصرف می‌شود. راه‌حل برایش پیدا کنیم. ارزش در برابر هزینه.

ما هنوز نمی‌دانیم ارزش آبمان چقدر است. می‌آییم می‌گوییم ۱۱۰۰ تومان. از مصرف‌کننده ۴۰۰ تومان می‌گیریم. این‌ها باید حساب و کتاب داشته باشد. قیمت بنزین را بردید بالا. آب را هم ببرید بالا. روی حساب و کتاب بیاییم شفافیتی که لازم است را شما باید به جامعه و به دانشمندان بدهید. دانشمندان یک جایگاهی دارد. اگه این جایگاه حفاظت شد. اگر در سیستم اجرایی مملکت از آن استفاده کردند آن معنی دارد. این مسائل ارزش و قیمت اگر لازم شد بیشتر می‌شود پرداخت به این مسائل مهم. مواردی است که جامعه را تحریک می‌کند. ما دنبال قهرمانیم. در جوامع دنبال قهرمان‌هایی هستند که آن مدیر فکر کند اگر تحولی ایجاد کرد می‌شود یک قهرمان یا فردی که اسمش می‌ماند در تاریخ آب و فاضلاب کشور که این توانسته یک تحولی ایجاد کند. به انگیزه‌ها ساختار بدهیم و این‌ها را با یک شفافیت و یک انطباق که همه تکلیف خودشان را بدانند در جامعه و سیستم اجرایی و دانشگاهی و در امور مردم اعمال کنیم. تشکر می‌کنم.

**دکتر تابش :** خیلی متشکر. از آقای دکتر جلیلی قاضی زاده خواهش می‌کنم مطالب خودشان را بفرمایند.





دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. با عرض سلام خدمت حضار محترم. ما در رابطه با سیاست‌های آب شرب می‌توانیم از سیاست‌های کلان شروع کنیم تا سیاست‌های خرد. الآن بحثی که در دنیا مطرح است این است که ما مشکل آب را بدون انرژی و غذا نمی‌توانیم حل کنیم و یک مدیریت یکپارچه روی آب، غذا و انرژی باید داشته باشیم که تحت عنوان مدیریت هم‌بست (nexus management) مطرح است. الآن کشورهایی مثل کشورهای عربی اطراف خودمان آب ندارند ولی توانستند توسعه یافتگی را داشته باشند در حد خودشان. ما الآن می‌بینیم افغانستان آمده سد سلمان را زده و بحث سد دوستی را تحت تاثیر قرار داده است. چه کار می‌توانیم با این انجام بدهیم؟ ما باید از اهرم انرژی استفاده کنیم. یعنی این بحث‌ها به هم وابسته است در حد کلان. بحث مدیریت یکپارچه در خود بحث منابع آب که بحث مشخصی است. وقتی به آب می‌رسیم بحث مدیریت تامین را داریم و مدیریت تقاضا را. یا باید روی تامین آب کار کنیم یا کنترل تقاضا و مشخصا تقاضای آب شرب و مدیریت مصرف. پس ما باید مصارف را کاهش بدهیم و یکی از بحث‌هایمان بحث تلفات است. من حالا می‌خواهم کمی کاربردی‌تر صحبت کنم. می‌خواهم روی تلفات صحبت کنم. فرض کنیم که می‌خواهیم برای شهری یک گزینه را انتخاب کنیم. گزینه‌های مختلفی این‌جا موجود هست با مزایا و معایبی که دارد. در هر صورت ما برای هر شهری باید یک نسخه بپیچیم که معمولا نمی‌شود با یک نسخه همه پاسخ‌ها را داد و مسائل چند بعدی هست و باید از چند جهت به این مشکل نزدیک بشویم تا بتوانیم حلش کنیم. بودجه‌مان هم محدود هست پس باید اولویت‌بندی کنیم که خیلی مهم است. ما باید با بودجه محدودی که داریم، اولویت‌بندی انجام بدهیم. در ضمن موضوعات سلامت و بهداشت، اقتصاد، محیط‌زیست، مسائل اجتماعی باید لحاظ بشود. اما راجع به تلفات آب شرب، دوستان این آمار تلفات آب شرب در کشور هست در واقع آب بدون درآمد با متوسط ۲۶ درصد در سطح آب و فاضلاب‌های شهری. ما می‌بینیم شهرها و استان‌هایی داریم که نزدیک ۴۰ درصد تلفات دارند و حداقل‌شان هم تقریبا ۱۷-۱۸ درصد است. در این نمودار تغییرات آب بدون درآمد از سال‌های گذشته است و طبق برنامه پنجم ما الآن باید

به زیر ۲۰ درصد می‌رسیدیم، در صورتی که عددی که داریم ۲۶ درصد در بحث شهری است. در روستایی بالاتر از ۳۰ درصد است و در کل کشور بخواهیم بگوییم بعضی‌ها اعتقاد دارند که بعضی از اعداد دقیق نیست و شاید اعداد کمتر گزارش می‌شود. لذا چیزی حدود ۳۰ درصد می‌توانیم برای سطح کشور در نظر بگیریم. آب بدون درآمد از دو قسمت تلفات ظاهری و واقعی تشکیل شده است. اگر از این مقدار، ۶۰ درصدش را تلفات واقعی در نظر بگیریم و فیزیکی، این نمودار مشخص می‌شود.

نکته جالب این است که در سال آخرین آماری که ما داریم، درصد آب بدون درآمدمان افزایش پیدا کرده است. خیلی جالب است در این شرایطی که هستیم می‌بینیم تلفاتمان افزایش یافته که می‌تواند به علت شفاف‌سازی آمار باشد یا عدم کنترل. ما مصرف سرانه‌مان در شهری، ۲۷۵ و در روستایی ۲۲۲ لیتر هست. تقریبا الآن در سال ۱۳۹۵ حدود ۷ میلیارد مترمکعب در بحث آب شهری مصرف داریم. وقتی این بحث را مطرح می‌کنیم، دوستان خیلی‌ها این جواب را می‌دهند که مصرف آب کشاورزی ما مثلا ۹۰ درصد داریم. ما بیاییم در آب کشاورزی ۱۰ درصد صرفه‌جویی کنیم. این صحبت‌ها همه درست است ولی چون ما داریم بحث اجرایی انجام می‌دهیم هیچ بحث کشاورزی را رد نمی‌کنیم. آبی که تصفیه شده، انتقال پیدا کرده و پمپاژ شده، انرژی برایش صرف شده آب گران‌قیمتی هست. در ضمن مدیریت تلفات می‌تواند باعث کاهش آلودگی و حوادث و هزینه‌ها بشود. اما هدف این آمار را همه می‌دانند. این که چرا ما موفق نیستیم در این کار، من خواستم راجع به این صحبت کنم و واقعا باید قدردانی کنیم از دوستانمان در شرکت آب و فاضلاب. چون من از نزدیک کار می‌کنم با دوستان، بسیار زحمت‌کش هستند. شما اگر با یک مدیر بهره‌برداری بخواهید یک ساعت بنشینید می‌بینید چقدر موبایلش زنگ می‌زند. بحث ما بحث اشخاص یا بعضی از مدیران نیست. بحث آن سیاست‌ها است. این یک گزارشی از میدان محلی است. می‌گوید وقتی ما به افراد می‌گوییم چرا تلفات آیتان زیاد است، یک دلایلی می‌آورند. این‌ها را تحت عنوان عذر مطرح می‌کند. می‌گویند که نه. ما استاندارد هستیم. ما بیشتر تلفاتمان اتصالات غیرمجاز و آبدزدی‌ها است. می‌گویند که ما باید کل سیستم را عوض کنیم. یا بحث دیگری که مشاهده می‌شود که بحث بین‌المللی است می‌گویند اگر ما شبکه را توسعه بدهیم از نظر سیاسی بهتر از این است که بازسازی کنیم و بحث‌های دیگر. یا این که ما با جیره‌بندی و نوبت‌بندی می‌توانیم تلفات را کاهش بدهیم که کاملا مشخص است که غلط است.

قانون توسعه در بهینه‌سازی آب شرب شهری و روستایی در اسفند ۱۳۹۴ تصویب شد و در اردیبهشت ۱۳۹۵ به وزارت نیرو و سازمان برنامه ابلاغ شد. در یکی از این بندها خیلی نکات خوبی پیش‌بینی شده است. بحث کاهش ۱ درصد تلفات سالانه است.

ببینید این را همه ما می‌دانیم. هدف من از ارائه این موضوع این است که مشکل کجا است؟ مشکل ما این است که از نظر دیدگاهی واقعا مدیرانمان اعتقاد جدی ندارند به این موضوع. اشکالی هم ندارد. یعنی اعتقادشدن این است که مثلا ما اگر آب شیرین کن بیاوریم و آب را منتقل کنیم بهتر از این است که تلفات را کم کنیم. اگر واقعا عزم جدی و اعتقاد جدی وجود داشت ما الان باید شاهد تلفات کمتری بودیم با وضع مشکلات کشور. لذا این بحث مدیریت تلفات یک بحثی دارد که در تمام دنیا هم هست. این نمایشی ندارد. یعنی اگر شما یک ساختمان سه طبقه بسازید همه می‌بینند. اما اگر بگویید ۱۰ درصد تلفات را کاهش دادم خیلی نمایشی نیست.

لذا در بحث کارشناسان هم این‌طور است. ما در این بخش واقعا نیاز به تشویق و انگیزه داریم. اگر تیم اجرایی ما انگیزه نداشته باشد در این بخش موفق نخواهد شد. پس ما باید این انگیزه را برایشان تامین کنیم. مسئله دیگر این‌که ما چگونه بودجه تخصیص می‌دهیم به بحث تلفات. تا آنجایی که من اطلاع دارم یک‌سری بودجه‌هایی کم و بیش وارد می‌شود ولی در بحث نشت‌یابی و کاهش حوادث و مدیریت فشار، دوستان باید از بودجه جاری استفاده کنند. یعنی یک شرکت آب و فاضلاب روستایی می‌آید یک پولی می‌گیرد از مشترکین و آب را با قیمت خیلی کمی می‌فروشند. با این پول باید حقوق پرسنلش را بدهد. بعد اگر پولی ماند نشت‌یابی کند. اصلا بعضی از دوستان ما واقعا با این مفاهیم آشنا نیستند به علت محدودیت‌های بودجه. این بحث تفکر مدیران بالا هست که به این موضوع توجه کافی نمی‌شود. از ابتدای سال ۱۳۹۵ یک‌سری از بودجه‌هایی که برای کاهش تلفات بوده کلا حذف شده است. من با شرکت‌ها کار می‌کنم. تمام شرکت‌هایی که در این زمینه کار کردند گزارش می‌دهند که ما مثلا ۱۰ میلیون تومان سرمایه‌گذاری کردیم، درآمد شرکت شد ۲۰ میلیون تومان. یعنی این‌ها روش‌های بسیار زودبازده‌ای هستند برخلاف آن چیزی که بعضی‌ها ممکن است فکر کنند. ما وقتی می‌خواهیم مدیریت کنیم آن چیزی که نزدیک‌ترین راه است را باید بچینیم. چرا کارهای پیچیده کنیم؟

یک مسئله دیگر ما در خود بحث کاهش تلفات وقتی با دوستان مواجه می‌شویم وقتی می‌گوییم ما تلفات داریم می‌گویند شبکه کهنه است و باید شبکه را عوض کنیم. این لزوما درست نیست. در دنیا این‌طور نیست که هر ۱۰ سال یک‌بار شبکه را عوض کند. لذا یک مقداری عدم شناخت در این‌جا وجود دارد. حالا من وارد بحث فنی نمی‌شوم. ما ۳ مدل داشت داریم. از این ۳ مدلش تحت‌تاثیر تغییر شبکه است. یعنی اگر شما شبکه را عوض کنید کاهش پیدا می‌کند. آن ۲ مدل دیگر در شبکه نو و کهنه یکسان هستند.

پس ما باید استراتژی‌های درست انتخاب کنیم و به مسائل

روز دنیا آشنا باشیم. بحث روش‌هایی که ما داریم برای کنترل تلفات و هر شرکتی این کار را کرده جواب گرفته است. یعنی یک شرکتی نیست که بگوید من انجام دادم و جواب نگرفتم. یعنی ما اشکال دیدگاهی داریم که عرض کردم. لذا ما احتیاج به آشنایی مدیران داریم با این مباحث. یک وقت‌هایی باور کنید سر کلاس هستیم. کارشناسان می‌گویند ای کاش مدیران ما بیایند در این کلاس شرکت کنند. چون مسائل دنیا دارد به سرعت رشد می‌کند. من که استاد دانشگاه هستم وقتی که مقالات منتشر می‌شود فرصت نمی‌کنم این‌ها را بخوانم. لذا واقعا الان تکنولوژی و علم در حال پیشرفت است. یک مشکل دیگر این‌جا داریم که از خود ما دانشگاهیان است. این‌که به دانشجویهایمان در این بحث آب و فاضلاب یک‌جوری برنامه‌ریزی شده که ما زمانی برای آموزش نداریم. یعنی یک دانشجوی رشته عمران که درس می‌خواند چقدر راجع به آب و فاضلاب خوانده؟ یک درس ۳ واحدی دارند که هم شبکه آب باید باشد هم شبکه فاضلاب باشد هم پروژه باشد هم تصفیه‌خانه باشد. این‌هم تغییراتی است که ما باید با آن به‌روز شویم.

ما در چند سال پیش پیشنهاد دادیم در وزارت نیرو که یک دانشکده آب و فاضلاب داشته باشیم، چرا ما الان احتیاج به کنفرانس آب و فاضلاب داریم؟ چرا قبلا این احتیاج نبود؟ چون واقعا آب و فاضلاب توسعه پیدا کرده است. پس در بحث دانشگاهی باید کار کنیم و بحث آموزش‌های تخصصی که باید انجام بشود و تغییر دیدگاه‌ها نسبت به مدیریت تلفات. در هر صورت آینده این هست و گریزی برایش نیست. دوستان، ما الان روش‌هایی داریم مثل یک مریضی که شما می‌برید نوار قلب می‌گیرند و می‌گویند مشکل کجاست، ما الان می‌توانیم شبکه‌ها را در واقع راحت با داشتن تجهیزات اشکال‌یابی کنیم و بگوییم کجا مشکل دارد و این‌چه‌طور باید رفع شود. این بدین معنا نیست که ما باید شبکه را عوض کنیم. بگوییم باید شبکه تهران را عوض کنیم این‌قدر هزینه دارد. پس ما این کار را نمی‌توانیم انجام دهیم، پس تلفات‌مان بالا است؟ خیر.

من برای این‌که خیلی تئوری صحبت نکرده باشم یک مثال می‌آورم از پروژه‌ای که یکی از همکاران شما در شرکت آب و فاضلاب انجام داده، این پروژه در مشهد انجام شده است. ستون اول که می‌بینید در اثر پیاده‌سازی مدیریت فشار مقدار جریان ورودی به شبکه را از ۱۰۰٪ به ۶۶٪ رساندند. یعنی یک سوم تولید آب را کاهش دادند با یک‌روش ارزان قیمت، شبکه را عوض نکردند. ببینید یک مدیری می‌خواهد که مسلط به این موضوع باشد و این کار را پیاده کند. یعنی من آدرس می‌دهم که این‌ها کارهای اجرایی هست. این یکی هم یک پروژه هست که ما در سال ۱۳۸۶ در تهران انجام دادیم و ۲۱٪ تولید آب کاهش پیدا کرده است. این یک پروژه هست که همکاران‌مان در زنجان انجام

داده و با یک سیستم پمپ دور متغیر ۷۵٪ حوادث و تلفات را کاهش داده است. لذا من دهها مثال می‌توانم بیاورم که این‌ها کارهای اجرایی هست. من فکر کردم این‌ها راحت‌ترین و بهترین سیاستی هست که اینجا ارائه کنم.

**دکتر تابش:** اگر این بحث‌هایی که مطرح شد را جمع کنیم ما یک سیاست تامین آب داریم و یک سیاست توزیع آب و کنترل مصرف هست، که این دو کاملاً به هم وابسته هستند. بیشتر می‌خواهیم ببینیم که الان در حوزه وزارت نیرو و شرکت مهندسی آب و فاضلاب واقعا در این حوزه‌ها به چه راه‌کارهایی رسیدند که آن را اجرا می‌کنند. خیلی از ما می‌دانیم که در بحث تامین آب، علاوه بر این که بحث شرب ما از بعد مخازن سدها و منابع آب زیرزمینی به بن‌بست‌هایی رسیده، بیشتر در سال‌های اخیر روی بحث آب شیرین‌کن‌ها، استفاده از منابع آب شرب با استفاده از سیستم نمک‌زدایی و هم‌چنین سیستم‌های چندگانه کارهایی انجام شده است. که حالا مهندس قانع لطف کنند و توضیحاتی در این رابطه بدهند. منتهی در کنار آن هماهنگی که مدنظر دوستان دیگر شرکت‌کننده هم بود با بحث‌های مدیریت تقاضا یعنی الان ما دو تا معاونت مختلف داریم یک جاهایی که آب کم می‌آید می‌خواهند به صورت اورژانسی آب را تامین کنند و سریع‌تر هم می‌خواهند بازدهی‌اش را در کوتاه‌مدت ببینند. ولی آن بحث مدیریت مصرف و مدیریت تقاضا طبیعتاً بازدهی‌اش طولانی‌تر و با صرف وقت و هزینه بیشتری خواهد بود. بنابراین ما انتظار داریم لینک بین این دو سیاست‌گذاری در حوزه اجرا که واقعا آیا این درست هست که معاونت تامین در قسمت تامین دارد می‌دود و بحث بهره‌برداری در قسمت بهره‌برداری و خیلی فرصت و شرایط و یا امکانات مالی و اجرایی لازم برای هماهنگی و ارتباط متقابل این دو بخش هنوز فراهم نشده و این را هم توضیحاتی بفرمایید متشکر می‌شوم.

**مهندس قانع:** تاکید آقای دکتر کارآموز در بحث برنامه و شفاف‌سازی بود که بسیار فرمایش به جا و درستی بود. من فقط اشاره بکنم وزارت نیرو تقریباً طی سالیان گذشته به نظر می‌رسد آن برنامه راهبردی استراتژیکی که دارد یکی از جامع‌ترین برنامه‌هایی هست که در بخش‌های مختلف چه برق، چه آب، چه آبفا برنامه‌اش تدوین شده. این برنامه به ریز استراتژی‌ها، سیاست‌ها، برآوردهای حتی جزئی که همگی قابل احصا و قابل ارائه است. یعنی هیچ چیز محرمانه یا غیرشفافی ندارد. خیلی از اساتید در تدوین این برنامه مشارکت داشتند و نه می‌شود گفت این برنامه کامل و جامع هست بالاخره. ولی یک چیزی است که حداقل وجود دارد و می‌شود نقدش کرد و اصلاحش کرد و خوشبختانه به اندازه کافی انعطاف‌پذیری در این حوزه وجود دارد

و خوشبختانه کسی که سه سال این برنامه را تدوین کرد در دولت یازدهم خودش وزیر شد. بعد هم به نوعی همه این دوستانی که این برنامه را نوشتند مسئولیت پیدا کردند و شاید یکی از دستاوردها اتفاقات خوبی بود که طی دو سه سال گذشته افتاد.

بیشتر تاکید بزرگواران بر بحث‌های هدررفت است که باید اشاره کنم ما هفت هشت سال گذشته مسئولیت‌مان در حوزه بهره‌برداری بود که برای اولین بار تقریباً برای ۹۰۰ تا از شهرهای کشور بالانسینگ آب را نوشتیم و جالب هست که در یکی از کنفرانس‌هایی که در برلین آلمان هم بود کشور ایران به عنوان یکی از نمونه‌ها انتخاب شد. کمتر کشوری را دیدیم که فرم‌های بالانسینگ برطبق استاندارد IWA است در این سطح در دنیا انجام شده باشد. ما نزدیک ۱۳۰۰ شهر در کشور داریم. یک سیاستی اتخاذ شد که ۷۰ تا از این شهرها که حدود کمتر از ۷٪ بود اما حجم آب و تاسیسات موجود حدود ۷۰٪ بود تمرکز کردیم. برای این شهرها برنامه عملیاتی تهیه شد که در این برنامه تک‌تک پروژه‌هایی که امکان هست در کاهش NRW نقش داشته باشد از آموزش و کارهای فرهنگی گرفته تا کارهای فنی و مهندسی، یعنی سه تا محور اصلی داشت بحث‌های اقتصادی، فنی و آموزشی. در این ۳ محور ۶۵ پروژه تبیین شد، تک‌تک این پروژه‌ها ارزیابی شده و ما الان در تهران اگر در هدررفت ظاهری بخواهیم کار بکنیم و اصلاح کننتور انجام بدهیم و هدررفت را از محل اصلاح داده و هوشمندسازی بخواهیم انجام بدهیم این چقدر هزینه دارد، دوره بازگشتش چقدر هست. همه این‌ها حساب شده است. یعنی این کار بسیار بزرگی است که بعید می‌دانم در خیلی از کشورها در این حجم انجام شده باشد، یعنی حساب‌رسی‌ها را حداقل در حوضه شهری به ریز داریم و الان هم در سایتی که وجود دارد همه این‌ها قابل دسترسی است.

اما در عملکرد اشکالی که وجود دارد این است که دولت یک‌بار سرمایه‌گذاری می‌کند و تاسیسات و زیرساخت‌ها را ایجاد می‌کند، که وظیفه دولت و حاکمیت‌ها است که این را انجام دهند، اما ادامه آن و بهره‌برداری از آن و حفظش، هزینه‌های جاری‌اش را مردم باید بدهند. در دنیا عرف است بعید می‌دانم کسی این‌جا ایرادی به این سخن داشته باشد، بالاخره قیمت تمام شده که در بهره‌برداری از این تاسیسات است را در دنیا دارند پرداخت می‌کنند. کمتر از یک دلار یا یک یورو سقف عددهایی هست که مردم در دنیا دارند به‌خاطر آب و خدمات فاضلابشان پرداخت می‌کنند. ولی در کشور ما متأسفانه متوسط آن چه که مشترک در کشور پرداخت می‌کند حدود ۴۰۰ تومان است که در قیاس با قیمت تمام شده که در بخش شهری داریم الان شاید بالای ۱۲۰۰ تومان باشد منهای بحث تامین آب یعنی اگر سد و سرمایه‌گذاری در حوزه تامین سدها را کنار بگذاریم از بعد از سدها که وارد خطوط انتقال و تصفیه‌خانه‌ها می‌کنیم، این مابه‌التفاوت هست و

۳۰٪ بیشتر الان دریافتی را ندارد، این اتفاقی که حادث می‌شود بالاخره تالیسات روز به روز دارد مستهلک می‌شود بدون این که بتوانید نگه‌داری کنید. حالا چه کسی مقصر است که به اقتصاد آب توجه نمی‌کند؟ این را می‌شود ریشه‌یابی کرد.

در صحبت‌های دکتر تابش در افتتاحیه بود که واقعا اقتصاد آب را چه کسی باید بگوید؟ ما برویم بگوییم، بلافاصله می‌گویند دنبال درآمد و رفع مشکلات خود هستند. بالاخره ما نماینده‌هایی را انتخاب کردیم تا در مجلس قانون را تصویب کنند، اجازه به ما نمی‌دهند تا این کار را انجام دهیم. در دولت هم ملاحظات خاص خود را دارند. ببینید این یک بحث اساسی است که به نظر من این جاها می‌شود مراجعی مثل این اساتید بزرگوار بتوانند این را به ما کمک کنند تا مسئله را حل کنیم. ببینیم داریم لطف می‌کنیم به مردم یا نه. یعنی من که امروز دارم ۳۰ درصد می‌گیرم و خدمت درست نمی‌توانم بکنم و آب بدون درآمد را از ۲۴ تا ۲۵ درصد کاهش دهم. بالاخره این واقعیتی است که وجود دارد. این با هر یک درصد که اگر بخواهد کاهش پیدا بکند ما حداقل هزار میلیارد تومان نیاز به منابع مالی داریم. یک ریال بابت این موضوع به شرکت‌ها پرداخت نمی‌شود. نه تنها این را نمی‌گوییم که کمک دهید؛ حتی وضع موجود را هم نمی‌توانیم حفظ کنیم. یعنی وضع موجودی که شما باید به شکل جاری ۱۲۰۰ تومان قیمت تمام شده است، همین امروز که من در خدمت شما هستم تا پایان سال ۱۳۹۴ زیان انباشته شرکت آب و فاضلاب ما دوازده هزار میلیارد تومان است.

ببینید این اتفاقاتی است که دارد در کشور حادث می‌شود. من نمی‌گوییم که همه این‌ها شاید مقصرش سوء مدیریت و غیره هست. همه چیزی ممکن است در آن باشد. ولی سهم این‌ها را اگر بخواهیم مشخص کنیم واقعا چند درصد آن را می‌شود بگوییم فاصله بین ۴۰۰ تومان تا ۱۲۰۰ تومان است. این فاصله را چه طور می‌توان پوشش داد؟ امروز بخش خصوصی پیشنهاد داده به ما که می‌خواهد بیاید کاهش هدررفت بدهد در شهر بوشهر. هر مترمکعبی که ما می‌خواهیم در آن جا کاهش هدررفت بدهیم و آب را ذخیره کنیم، آبی که ذخیره می‌شود از محل کاهش NRW برای ما ده هزار تومان هزینه دارد. ما نمی‌گوییم، مشاوره داخلی دارد، مشاوره خارجی دارد. جالب آن که هم سرمایه‌گذار داخلی و هم سرمایه‌گذار خارجی، که بیاییم این را به شکل BOT از او خریداری آب کنیم. در همین شهر بوشهر می‌توانیم مثلا در کنار دریا آب شیرین کن بگذاریم و مترمکعبی ۴۰۰۰ تومان آب دریا را شیرین کنیم. هیچ منبعی هم نداریم. یعنی نه دولت پول می‌دهد و نه برای مردم آب کفایت می‌کند. واقعا اگر شما باشید چه کار می‌کنید؟ آب را مترمکعبی ۱۰ هزار تومان می‌دهید و کاهش هدررفت می‌دهید، یا مترمکعبی ۴ هزار تومان آب دریا را نمک‌زدایی می‌کنید و وارد شبکه می‌کنید، حالا ۳۰ درصد یا ۴۰

درصد از آن در شبکه هدر شود. ببینید این پارادوکس‌هایی است که بالاخره در سیستم‌ها وجود دارد. این را به عنوان یک مثال شاهد نمونه که این اتفاق می‌خواهد بیفتد.

در بحث آب زیرزمینی این کشور به اصرار و فشار وزارت نیرو در برنامه ششم پیش‌بینی شده ۱۱ میلیارد مترمکعب طی برنامه باید برداشتمان را از آب زیرزمینی کاهش دهیم. با مصیبت خوشبختانه این در مجلس رای آورده که اتفاق بیفتد، اما از نظر اجرایی شما فکر می‌کنید که حاکمیت، (وقتی که می‌گوییم حاکمیت فکر می‌کنیم که تنها وزارت نیرو حاکم بر آب است. حاکمیت کشور ما سه تا قوه دارد که بالای سر آن هم رهبری وجود دارد. این‌ها حاکمیت این مملکت است. این‌ها باید عزم‌شان جزم شود که این مسائل حاکمیتی را حل کنند نه وزارت نیرو به عنوان یک المانی کوچک از این حاکمیت) می‌خواهد ۱۱ میلیارد مترمکعب را طبق برنامه ششم کم بکند. می‌آید چاه‌های غیرمجاز را می‌بندد تبعات و اثرات این‌ها، مسائلی که از خود کسانی که عضو این حاکمیت هستند در مقابل همین حاکمیت آب جبهه می‌گیرد. این‌ها بالاخره مسائلی است که وجود دارد که آن هم نماینده‌ای است که ما انتخاب کردیم و فرستادیم در مجلس و می‌گوید، این چاه را نبندید و فلان نکنید. ما در ایران زندگی می‌کنیم و نه در لوس آنجلس و این واقعیت‌ها را باید بپذیریم. برای این‌ها باید نسخه بیچیم. باید راه کار داد و کمک به این که این مسائل را در این حوزه حل کنیم.

من فقط خواستم عرض بکنم که برنامه در وزارت نیرو در حوزه‌های مختلفش وجود دارد. ولی این که چه قدر اجرایی می‌شود، بخشی به لحاظ مسائل مالی و بخشی سیاسی و منازعاتی که در کشور ما وجود دارد. البته همه این‌ها نباید کارهایی که شده فراموش شود. ببینید الان شما مستندی دارید که می‌توانید بگویید هر کس بخواهد ۹۰۰ تا شهر را بالانسینگ آبش را طبق فرمت IWA محاسبه کند و به دست بیاورد. امروز که من در خدمت شما هستم برای اولین بار ما تا آخر ۲۰ روز دیگر ۵ میلیون و ۲۰۰ هزار نفر در بخش روستایی‌مان را توانستیم ظرف سه سال گذشته آب پایدار و مستمر بدهیم. ببینید این شاخص دارد اضافه می‌شود. برای این برنامه داشتیم چرا؟ چون در ابتدای آن استراتژی‌هایی که نوشته بودیم یکی از بحث‌های ما این بود که تمرکز کنیم در بخش آب روستایی، این کار را دولت و مجموعه وزارت نیرو انجام داد و چهار و نیم میلیون نفر ظرف سه سال گذشته در بخش روستایی توانستیم آب مستمر و دائم بدهیم و کیفیت آب شرب آن‌ها را ببریم بالا.

در بخش فاضلاب امروز شاخص ما در کشور در بخش حوزه شهری بالای ۴۳٪ است. این‌ها همه اقداماتی است که برای آن برنامه داشتیم و بدون برنامه این کار صورت نگرفته است. ولی چرا شاید من باید امروز در بخش روستایی به شاخص ۸۰ درصد



می‌رسیدیم شد ۷۴٪، باید در طی برنامه ششم برسیم به ۹۲٪. ممکن است به ۸۷٪ برسیم. این‌ها واقعیت‌هایی است که وجود دارد، اما این نبوده که برنامه نداشته باشیم. دوستان اذعان داشته باشند که این برنامه‌ها وجود دارد. توفیقاتی هم که در این زمینه‌ها حادث شده به‌واسطه این برنامه‌ها و مشارکت‌هایی است که شده است. اما بالاخره بحث‌هایی هم وجود دارد که باید برایش

راه کار دهیم. خیلی ایرادهایی که بالاخره در یک فضا و یک اتمسفری باشد که قابلیت اجرایی نداشته باشد، این فاصله‌هایی که بالاخره ما باید در بخش‌های دانشگاهی و در بخش‌های بیرونی کم کنیم و به یک هم‌زبانی و یک گفت‌وگویی برسیم که انشالله برای تک‌تک این‌ها، راه کارهای عملی و اجرایی داشته باشیم.



**دکتر تابش:** من از دوستان می‌خواهم تا در حدود ۳ دقیقه یک جمع‌بندی از مباحث خودشان داشته باشند.

**خانم دکتر ناصری:** من خاطرم هست که حدود ۳ سال پیش آقای مهندس چیت‌چیان برای اولین بار به‌عنوان اولین وزیر نیرویی که جرات فرمودند و مسائل مربوط به آب و آلودگی‌هایش و مشکلات آن را مطرح کردند، واقعاً خیلی خوشحال شدم و بعد دیدیم که در شرکت مهندسی آب و فاضلاب در بخش راهبری، در بخش صنعت، در بخش فنی، در بخش پژوهشی همه افرادی که کار می‌کنند همه آدم‌های ارزشمندی هستند و سابقه و مهارت‌های خیلی خوبی دارند. آقای مهندس قانع اشاره فرمودند به برنامه استراتژیک، به برنامه راهبردی، که اگر همکاران به آن نگاه بکنند که احتمالاً در دسترسشان هم هست در سایت، برنامه خوبی نوشته شده، شاید چالش‌هایی در آن باشد. من همیشه معتقدم یک برنامه راهبردی که نوشته می‌شود، این برنامه باید در کنارش یک برنامه اقتصادی تدوین بشود. یعنی ما چشم‌اندازمان را هم خیلی دور نبینیم، خیلی آرمان‌گرا نباشیم. اما در واقع بخواهیم که مردم در کشور نگرانی اصلی‌شان نگرانی مربوط به مسائل آب نباشد. این چیزی است که الان دارد در مردم رشد می‌کند. یعنی مردم مدام می‌گویند که آب ما قطع می‌شود؟ کیفیت آب چه‌طور است؟ اعتماد ندارند به آن چیزی که همکاران در شهرهای بزرگ دارند زحمت می‌کشند که آبی که توزیع می‌شود کیفیتش مطلوب باشد. اما خوب به‌دلیل آن‌که

آگاهی‌رسانی به مردم ضعیف است و در بحث شفافیت که من هر بار صحبت کردم در بیست سال گذشته.

حالا خوشبختانه از پارسال سامانه‌ای را شروع کردند رویش کار کردن. این سامانه دسترسی را به مردم در سطوح مختلف باید بدهد که اگر مثلاً عضوی از یک خانواده هستند بدانند که اگر در جایی از کشور دارند زندگی می‌کنند، آبی که مثلاً میانگین کیفیت آن در سه ماه گذشته از شیر لوله‌کشی آن‌ها می‌آمده چگونه بوده؟ در سطح اندیشمندان و پژوهشگران اطلاعات وسیع‌تری به آن‌ها داده شود. این سامانه تنظیم شده اما هنوز فعال نشده است. من امیدوارم تا پایان همین دولت فعلی این سامانه به‌نوعی بازگشایی شود و آمادگی هر کمکی که از طرف من و دوستان باشد را دارم. مطمئناً اگر این اتفاق بیفتد باعث نمی‌شود که وحشت در مردم زیاد شود برعکس، الان وحشت به‌اندازه کافی زیاد هست. شاید در خیلی از شهرها مردم متوجه شوند که آبی که می‌خورند مشکلی ندارد. آرام آرام اعتماد به‌این اطلاعات افزایش پیدا می‌کند و نقشی که مردم به‌عنوان جامعه و مشارکت‌شان در رسیدن به اهداف استراتژیک شرکت آب و فاضلاب است به‌نظر من می‌تواند خیلی مثبت باشد. ولی واقعاً این را اطلاع دارم و می‌دانم که بودجه لازم به صنعت آب و فاضلاب داده نمی‌شود. حالا این‌که در کدام بخش‌ها می‌تواند همین بودجه محدود هم هزینه شود، چالش‌های عجیب و غریب است که به‌هر حال خود همکاران فنی اطلاعات دارند.

نکته‌ای که می‌خواهم بگویم این است که من به‌عنوان یک

استاد صحبت نمی‌کنم. بلکه به‌عنوان یک شهروند در ایران حق من هست که دسترسی به آب کافی و سالم داشته باشم و این جزو حقوق اولیه است. در واقع ما کشور فقیری نیستیم و باید بدانیم که این پولی که حاصل از نفت است کجاها دارد هزینه می‌شود. آیا من اطلاع دارم که چه بخش‌هایی به آن‌ها بودجه داده می‌شود، اما پاسخ‌گو هم نیستند. این پول من و شما است. بخواهیم از مسئولین و کسانی که در حکومت محترم خودمان هستند، شفاف‌سازی کنند. بگویند به این دلایل ما در بخش سیستم‌های نظامی‌مان مجبور هستیم هزینه بکنیم و ... اما چون شفافیت وجود ندارد، به حقوق اولیه شهروندی هم حتی تا ۲۰ سال آینده ممکن است نرسیم. بنابراین ضمن احترام به همکاران در شرکت آب و فاضلاب و وزارت نیرو که واقعاً دارند زحمت می‌کشند، اما یک ذره خودمان را هم تکان دهیم و ببینیم که واقعا به کجا می‌خواهیم برویم؟ اصلاً می‌توانیم برویم یا داریم عقب عقب می‌رویم؟ بنابراین به‌صورت جدی بر روی تک‌تک این مسائل به‌صورت کلی به‌نظر من باید صحبت شود.

**دکتر کارآموز:** من تشکر می‌کنم از توضیحاتی که جناب مهندس قانع دادند. واقعا زحمت زیاد کشیده می‌شود. برنامه زیاد داریم. اما چه چیزی از داخل آن درآمد. برنامه راهبردی قرار شد که بهترین برنامه باشد. خوب من یک آدم متوسطی نیستم. یک دانشگاهی هستم که هر روز این مسائل را دارم درس می‌دهم. چرا این‌ها منعکس نمی‌شود؟ چرا از این‌ها استفاده نمی‌کنیم؟ چرا نظر نمی‌خواهیم؟ مردم بفهمند که چه قدر دارند زحمت می‌کشند. مشکل دیگری که هست کیفیت و نتیجه این زحمتی است که می‌کشند. من سال ۱۳۷۲ که به ایران برگشتم قانون در وزارت نیرو دستور اجرایی بود. وزیر یک چیزی می‌گفت و اگر حسن‌نیت وجود داشت این کار انجام می‌شد؛ امروز وزیر یک چیز می‌گوید می‌آید پیش معاونش، معاونش ارجاع می‌کند به بعدی بعد یک کشویی باز می‌شود و این می‌رود داخل کشو و منتفی می‌شود. من عذرخواهی می‌کنم اگر که منتقدانه برخورد می‌کنم، ما خسته شدیم از خبرهای منفی که می‌شنویم و این‌ها به دانشجویان منعکس می‌شود. آقایانی که در سیستم اجرایی هستید یک خبر خوب به‌ما بدهید. چیزی بگویید که به ما انرژی دهد. بیايد این مکانیزم، این سینرژي پویا را در سیستم اجرا کنیم. که هم ما هیجان زده شویم و هم دانشجو، تا بتواند تحول ایجاد کند و زحماتی که می‌کشد را ببیند. واقعا زحمت می‌کشند این‌ها منعکس شود. از آن درس بگیریم این‌ها را بحث و تبادل نظر بکنیم.

آقای دکتر جلیلی فرمودند که مدیریت فشار در شهر مشهد کردند که این هزینه‌ای ندارد. اما ما جا برای اصلاح زیاد داریم. بیايم یک حسابرسی داشته باشیم. این حسابرسی را منتقل کنیم،

این اعتماد را در مردم، در اساتید، در دانشمندان در کارشناسان بالا ببریم، تا بالاخره یک احساس بهتری داشته باشیم. این روز ما شروع می‌شود از خبرهای خوب و بدی که می‌شنویم. ما از سیستم اجرایی انتظار داریم که آقا ما به این دستاوردها رسیدیم، این نتایج است، همین‌جا در همین پلتفرمی که ما هستیم باید بگویم این برنامه راهبردی استراتژیک خیلی هم برنامه خوبی است! چی از آن درآمده؟ یک آیتمی که مربوط می‌شود به آب شرب مملکت که نبض اساسی آب‌رسانی در کشور هست و از همه چیز هم مهم‌تر است. سلامت همه ما به آن ربط دارد.

**دکتر جلیلی قاضی زاده:** من چون در دانشگاه صنعت آب و برق بودم همیشه خودم را عضوی از وزارت نیرو و شرکت آب و فاضلاب می‌دانم. بحث‌های انتقادی در حقیقت بیشتر برای اصلاح سیستم است. سال ۱۳۶۹ من دانشجو بودم رفتم شرکت آب و فاضلاب مشهد برای کارآموزی. یک ساختمان مسکونی را اجاره کرده بودند، این شرکت آب و فاضلاب مشهد بود. واقعاً رشدی که شرکت‌ها در این سال‌ها داشتند مخصوصاً در این چند سال اخیر خیلی رشد خوبی بوده و ما این را منکر نیستیم. اما جناب آقای مهندس قانع الان بهمن ماه امسال یک چاه دارد در یک شهری حفر می‌شود که ۵۲۰ متر عمق آن است. ببینید درست است که الان بحث محدودیت بودجه همه جا هست. فقط این دیدگاه را عوض کردیم. دیدگاه ما سازه‌ای است. دیدگاه ما حتی در بحث کاهش تلفات هم سازه‌ای است. لذا این دیدگاه جای اصلاح دارد. من قبل از این بارندگی‌های اخیر در شهری بودم، که گفتند که باید جیره‌بندی داشته باشیم. یکی از مراکز استان. ما این کارها را می‌گذاریم و یک‌دفعه می‌رویم در بحث جیره‌بندی. سال ۱۳۸۰ که ما در تهران جیره‌بندی داشتیم، در یک پروژه‌ای حساب کردیم فقط ۱۰ میلیارد تومان خسارت به تاسیسات آب و فاضلاب وارد شد از محل جیره‌بندی. جدا از موارد خاص که مردم چه قدر اذیت شدند و آلودگی آب و این‌ها. یعنی ببینید ما باید روش‌های درست را انتخاب کنیم و گر نه بحث محدودیت بودجه هست.

**یکی از حضار:** جناب مهندس فرمودند که قیمت آب تولید شده با قیمتی که مردم می‌پردازند هیچ تناسبی ندارد. من اهواز زندگی می‌کنم، یک شهر پست است، متأسفانه شرکت آب و فاضلاب نمی‌تواند فشار مناسب تامین کند. تمامی آپارتمان‌ها پمپ دارند، کلی هزینه نگهداری پمپ است. بعد ما یک سیستم تصفیه در خانه‌هایمان داریم (سیستم RO یا اسمز معکوس) فیلترهای آن را ۱۵ روز یک‌بار عوض می‌کنیم، بعضی از فیلترها را یک‌ماه یک‌بار، ممبران آن‌ها هر سه ماه یک‌بار، که هر کدام از ممبران‌ها قیمتش ۸۰ الی ۹۰ هزار تومان است. من بخواهم این هزینه‌ها را با آبی که شرکت آب و فاضلاب به ما تحویل می‌دهد، فکر می‌کنم ما از

یک نفر در نیویورک گران تر آب را می خریم. بعد شرکت آب و فاضلاب را من می خواهم نمودار پرسنلی اش را ببینم از ۲۰ سال گذشته تاکنون. من فقط ساختمان آن را می بینم که از کنارش رد می شود. قبلاً یک ساختمان سه طبقه بود الان شده ۴ یا ۵ طبقه و معادل همان را هم کنارش ساخته اند، یعنی این پرسنل حداقل ۲ تا ۲/۵ برابر شده، کارایی پایین تر و کیفیت آب هم که نامناسب است.

**اعلایی مدیر شرکت آب و فاضلاب زابل:** به دلیل آن که خیلی انتقاد شد نسبت به این که مدیران شرکت نکردند. ما با سه مقاله از استان سیستان و بلوچستان در خدمت شما بودیم. در پی فرمایشات جناب آقای مهندس قانع من عرض می کنم که خیلی بی انصافی است که نسبت به خدماتی که در ۳ سال گذشته انجام شده این گونه با قضیه برخورد بکنیم. سیستم یکپارچه سپتال و سیستم های دیگر که من در ابتدای کار به عنوان مدیر این مجموعه ها، تصور نمی کردم که این سیستم ها بتواند این گونه گسترده عمل کند. سیستم یکپارچه ای که آب و فاضلاب کشور کاملاً رصد می کند در تمام نقاط کشور، ریزترین اطلاعات را. یعنی اطلاعات یک پمپ که در دورترین نقطه ثبت می شود از این چیپ برداشت می شود. اطلاعات کامل در رابطه با بهره برداری در رابطه با تغییرات، تمامی پیمان کاران ما از این سیستم برداشت می کنند و صورت وضعیت می دهند. تمامی برنامه ریزی ها، برنامه بودجه بندی ما به طور ریز و دقیق. این کار خیلی خیلی بزرگی بود که من به عنوان یک مدیر اجرایی واقعاً فکر نمی کردم که ما بتوانیم به این سطح برسیم و من نه به عنوان همکار آقای خادمی بلکه به عنوان یک شهروند به عنوان یک کسی که در این زمینه محقق هستم، از ایشان تشکر کنم و خوشحال می شوم تا این موارد بیان بشود تا این دغدغه دانشگاهیان ما کمتر شود. من امیدوارم از این جنس همایش ها بیشتر برگزار شود و این رابطه نزدیک تر شود تا تعاملات بیشتر شود تا این ها بیان شود و دغدغه ها کمتر شود ضمن این که از پتانسیل دانشگاه هم استفاده شود.

**مهندس قانع:** وضعیتی که در خوزستان و اهواز هست بسیار سخت است. کسی تا در آن شرایط نباشد نمی تواند درک کند؛ آب، هوا و گرما. بسیار شرایط سختی دارد. انشالله دوستان کمک کنند روز به روز وضعیت بهتر شود. الان چیزی نیست که من بتوانم از آن دفاع کنم، بلکه وضعیت بغرنجی دارد خوزستان و اهواز. اما باز می گویم برنامه وجود دارد و کارهایی هم انجام شده است. یک قدم در سال های گذشته آمدم جلو. اولاً تامین فشار به دلیل همین مسائل که در اهواز هست، اگر همین امروز تمامی پمپ هایی که مردم گذاشته اند را خاموش کنند، بالاخره در حدی که طراحی مهندسی شده و مخازنی که وجود دارد در لوله های

مختلف و ایستگاه های پمپاژ؛ طوری طراحی شده که حداقل فشار را برای مردم تامین بکنند. یک مقطعی ما محاسباتی که انجام می دادیم در یک محل چیزی در حدود ۴۰ هزار پمپ بود در یک مجموعه در شهر اهواز که هم زمان در پیک مصرف مستقیم از شبکه دارد آب می کشند. این کاری است که اصلاً اصولی نیست و نباید قانوناً همین کار را انجام دهند، ولی خود همین باعث شده که این اتفاق بیفتد. یعنی شاید اگر این ها برگردد، بالاخره طراحی که برای شبکه شما شده و هدی که آن مخازن دارند علی القاعده نباید مشکل داشته باشد. یعنی می خواهم بگویم از نظر فشار شما تصور بفرمایید الان اتفاقی که افتاده مردم فکر می کنند با گذاشتن این پمپ مسئله خودش حل شده، اما برای همسایه خود یک مشکل دیگر ایجاد می کند. این یک بخش کار است.

نکته ای که باز می خواهم عرض بکنم، کاری که شده، شما فرمودید، بالاخره ظرفیت دو سال گذشته، پروژه ای برای خوزستان، اهواز تعریف شده، طرح آبرسانی غدیر که پروژه ای است حدود ۶ هزار میلیارد تومان باید تامین مالی شود. امروز که من در خدمت شما هستم شاید خود شما هم اطلاع داشته باشید حدود ۸۰۰ هزار میلیارد تومان هزینه شده، حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد شهر اهواز از طرح غدیر آب می گیرد. غدیر چون به کرخه وصل است و EC کرخه حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ است، هنوز کیفیت خیلی مناسب نیست. ولی این را مقایسه کنید شما با دو سال قبل. دو سال قبل که ما از کارون آب می گرفتیم با EC ۲۰۰۰ الی ۲۴۰۰؛ امروز داریم از کرخه می گیریم با عدد حدود ۱۲۰۰، نباید باشد، باید بیاید پایین تر، این کاری است که باید ادامه پیدا کند با حداقل ۳-۴ هزار میلیارد تومان که ما پیش بینی کردیم ظرف ۲-۳ سال آینده و این وصل بشود به دز که EC آن حدود ۴۰۰ است، انشالله این اتفاق بیفتد. برنامه هست اما خوب منابع هم محدود است.

اما آن نکته ای که شما اشاره کردید من رد نمی کنم. یعنی ما مشکلاتی که متأسفانه در بحث های مدیریتی داریم، آن هم فشارهای منطقه ای است. یعنی واقعاً معضلاتی که ما داریم در بحث اشتغال در استان خوزستان و فشاری که روی سیستم ما هست این را من هم به صراحت اعلام می کنم، که خیلی از نیروهایی که وجود دارد می توان این کار را انجام داد. ولی ۴۰۰ تا فقط در یک طرح به سیستم ما اضافه شدند. اما اخراج آن ها از سیستم و مسئله ای که می تواند ایجاد بکند خیلی معضل است. این بارش دوباره برمی گردد روی دوش سیستم. می خواهم بگویم که فرمایش شما را رد نمی کنم در آن بخش. شما هم بهتر از من خوزستان را می شناسید، واقعاً دوستان ما به اجبار افرادی که وارد سیستم شما می شود بخشی به خاطر فشار سیاسی ها است و بخشی به خاطر وضعیت بیکاری در خوزستان. امیدوارم مسائل این چنینی هم حل شود.

سازندگان هستند. ما می‌خواهیم یک فضای گفت و گو را ایجاد بکنیم.

من در صحبت صبحم هم گفتیم که می‌خواهیم اعتماد مردم را جلب کنیم. ولی در گام اول این است که ما دو تا طیف که جزو سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزها و پشتیبانی‌کنندگان آن سیاست‌ها هستیم، این قدرت تعامل را داشته باشیم، بشینیم در کنار هم گفت و گو کنیم، حرف هم‌دیگر را بشناسیم و بفهمیم؛ از هم‌دیگر نترسیم، واهمه نداشته باشیم و بعد با این گفت و گو آرام آرام بتوانیم روی هم‌دیگر تأثیرگذار باشیم و نتیجه این تأثیرگذاری‌ها می‌تواند به بهبود سیاست‌گذاری‌ها، بهبود اجراها و مسائل متعاقب آن بینجامد. بنابراین ما حداقل به‌عنوان انجمن اعلام می‌کنیم که پوستمان کلفت است و به آمدن و نیامدن یک کسی یا وقت دادن و یا ندادن یک کسی ناامید و مایوس نمی‌شویم. ما آمده‌ایم که بایستیم و کار بکنیم و گوشه‌ای از مشکلات مردم را حل کنیم. همان‌طور که جناب دکتر کارآموز هم گفتند مشکلات خیلی زیاد است، خودمان بتوانیم یک گام به‌نفع مردم برداریم.

بنابراین از تمام حضار خواهش می‌کنم که ما را در این مسیر و در راه تحقق این هدف یاری بکنند. درهای انجمن به روی همه باز است. دوستان می‌توانند با ما تماس مستقیم داشته باشند و این هم‌افزایی نیروها از طریق این انجمن که به‌عنوان یک موتور محرک کار می‌کند. نه وابسته به دولت است، نه وابسته به وزارت نیرو است، نه وابسته به دانشگاه خاصی است. یک محلی است که دردمندان و دل‌سوزان باید بشینند دور هم و تشریح مسائل بکنند و بعد با قوت تبلیغ بکنند و پافشاری بکنند روی این‌که آن یافته‌هایشان که هم بعد علمی دارد و هم امکان تحقق‌پذیری اجرایی دارد، حالا بیاید در سطح مملکت این دنبال شود. من به‌عنوان یک خبر به دوستانی که بحث تلفات آب را مطرح کردند، اعلام می‌کنم ان‌شاءالله فردا ما جلسه داریم و اولین کمیته تخصصی انجمن را در بعد تلفات آب با دوستان متخصصی که در این محفل هم حضور دارند کلید می‌زنیم. قدم به قدم در ایجاد این کمیته‌های تخصصی سعی می‌کنیم که دوستان دانشگاهی و دوستان صنعت در کنار هم بنشینند، خودشان سنگ‌هایشان را وا بکنند و بعد شروع کنند به آن فکر مشترک و ایده مشترک که پیدا می‌کنند، حالا بیایند در صحنه جامعه و آنجا مطالبه‌گری خودشان را انجام بدهند.

**دکتر ناصری:** چون بحث سیستم‌های تصفیه آب خانگی را مطرح کرده‌اند و این روز به روز در کشور بیشتر هم می‌شود، واقعیتش این هست که اطلاع‌رسانی درست از نظر علمی به مردم نمی‌شود که شما از کجا و از چه برندی استفاده بکنید. به‌همین دلیل ما از چند ماه پیش شروع کردیم و در سطح ملی ۳ تا شهر را پیدا کردیم از جمله اهواز، تهران و رشت را کار کردیم. فکر می‌کنم تا سه ماه آینده نتایج عملکرد این سیستم‌ها در آب اهواز، در آب تهران و در آب رشت گزارشش خواهد آمد. همین‌قدر من اشاره می‌کنم که من نگرانی‌ام شدیدتر شده نسبت به آن چیزی که سال‌های گذشته داشتیم. به‌دلیل آن‌که در بعضی از این برندهایی که به‌خصوص در اهواز دارد کار می‌شود در ورودی‌اش آلودگی‌های شیمیایی و چیزهایی باشد، اما در خروجی‌اش آلودگی میکروبی هم دیدیم. بنابراین استفاده از این‌ها همین‌طوری هم نباید باشد. حالا اهواز شرایط ویژه‌ای دارد و مردم مجبورند استفاده بکنند. حتی در تهران برخی استفاده می‌کنند، اصلاً نیازی نیست. یعنی آب تهران در اکثر ماه‌های سال اصلاً مشکل خاصی ندارد. ممکن است بعضی وقت‌ها چالش‌هایی داشته باشد. بنابراین، این بحث آگاهی و رساندن اطلاعات و شفافیت به مردم خیلی مهم است و می‌تواند هزینه‌ها را کم بکند، می‌تواند هزینه خانوار را کم بکند. اگر همین بودجه که در اهواز صرف می‌شود جمع‌اش بیاید در خود صنعت تصفیه آب، مردم اعتماد پیدا می‌کنند که آبی که دارند می‌خورند از شبکه لوله‌کشی، آب سالم است. بنابراین خیلی روی این مسئله فکر نکنید که اگر آب لوله‌کشی آلوده است سیستم تصفیه آب خانگی شما به شما از نظر سلامت کمک می‌کند.

**دکتر تابش:** دوستان همان‌طور که توجه کردند مسائل از دید دانشگاهی و اجرایی صحبت شد. در بعضی از محدوده‌ها ما همبستگی مناسبی داریم، به‌دلیل این‌که اطلاعات مناسبی از عملکرد هم‌دیگر داریم. ولی در بعضی از محدوده‌ها با هم اختلاف نظرهایی داریم. یک قسمت از این اختلاف نظرها به‌دلیل عدم اطلاع‌رسانی کامل از عملکردها، طرح‌ها، برنامه‌ها و میزان موفقیت آن‌ها است و یک قسمت از آن‌ها به‌خاطر آن‌است که کمتر فرصت به‌ما داده شده که این عملکردها و سیاست‌ها را نقد کنیم و دوستانی که این سیاست‌ها و برنامه‌ها را می‌ریزند و اجرا می‌کنند آن‌ها هم بیایند بشینند و گوش بکنند و نقدها را بپذیرا باشند. بنابراین من اینجا باز هم اهمیت جایگاه انجمن آب و فاضلاب را گوشزد می‌کنم، که ما می‌خواهیم بیایم اینجا این نقش واسط را ایفا کنیم. خوشبختانه در ساختار ما هم تعداد بسیار زیادی از اساتید و دانشگاهیان هستند و هم تعداد زیادی از دوستانی که در صنعت و شرکت‌های آبفا و کارشناسانی که در مهندسين مشاور و



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



دانشگاه علوم پزشکی شیراز  
دانشکده تحصیلات تکمیلی  
رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان: بررسی میزان حذف بقایای آموکسی سیلین از محیط‌های آبی  
با استفاده از سیستم پیوندی فیلتر بیولوژیکی هوادهی شده و رآکتور بیولوژیکی غشائی  
نگارش: محمد فرامرزian  
استاد راهنما: دکتر محمدعلی بقاءپور  
استاد مشاور: مهندس محمدرضا شیردره  
تاریخ: شهریور ۱۳۹۲

## چکیده

مصنوعی بر پایه آموکسی سیلین و ساکارز در ۳ سطح زمان ماند هیدرولیکی و ۴ غلظت آموکسی سیلین مورد بارگذاری و بررسی قرار گرفتند.

**نتایج:** نتایج نشان دادند که حداکثر راندمان حذف آموکسی سیلین در بیورآکتور هوادهی شده، غشائی و سیستم پیوندی به ترتیب برابر ۵۰/۷، ۹۹/۱ و ۹۹/۶ درصد بود، همچنین حداکثر راندمان حذف COD در بیورآکتور هوادهی شده، غشائی و سیستم پیوندی به ترتیب برابر ۴۵/۷، ۹۸/۶ و ۹۹/۲ درصد بود. **بحث و نتیجه گیری:** در این مطالعه مشخص شد که بیورآکتور غشائی در بارگذاری‌های مشابه کارآیی بسیار بیشتری در حذف آموکسی سیلین و COD محلول نسبت به فیلتر هوادهی شده دارد. نتایج حاکی از این مطلب بود که مدل استور-کینکن بر بارگذاری فیلتر بیولوژیک مستغرق هوادهی شده با آموکسی سیلین برازش بسیار خوبی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آموکسی سیلین، فیلتر مستغرق هوادهی شده، بیورآکتور غشائی، سیستم پیوندی، آنتی بیوتیک.

**مقدمه:** آموکسی سیلین یکی از پرمصرف‌ترین آنتی بیوتیک‌های مورد استفاده در دنیای پزشکی پیشرفته محسوب می‌شود. این آنتی بیوتیک به دلیل فشار بخار کم، ساختار شیمیایی، سطح فعالیت و خصوصیات ضدحیاتی و پایداری در محیط‌زیست به‌درون آب‌های سطحی و زیرزمینی نفوذ می‌یابد. تا به امروز روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیاری برای حذف این آنتی بیوتیک از محیط‌های آبی و خاکی پیشنهاد شده، اما این روش‌ها دارای هزینه‌های بسیار بوده و از لحاظ عملی مقرون به‌صرفه نیستند، از طرفی فیلترهای بیولوژیک مستغرق به‌سبب ماهیت روش تصفیه‌شان کمک شایان‌توجهی در پایین آوردن هزینه‌ها نموده‌اند.

**روش کار:** در مطالعه حاضر با هدف حذف آنتی بیوتیک آموکسی سیلین از محیط‌های آبی کاربرد ترکیبی (پیوندی) از فیلتر مستغرق و بیورآکتور غشائی با استفاده از یک مدل فیزیکی در مقیاس پایلوت مورد بررسی قرار گرفت. مدل شامل فیلتر بیولوژیک مستغرق هوادهی شده با آکنه‌های هم‌شکل و بیورآکتور غشائی بود که با تقدم فیلتر هوادهی شده توسط فاضلابی

رتبه دوم دومین دوره مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۳۹۶ در مقطع دکتری  
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران - گرایش آب

عنوان: تعیین نشت و کالیبراسیون خطوط لوله با استفاده از تحلیل معکوس جریان گذرا در حوزه فرکانس

نگارش: محمدهادی رنگین کمان

استاد راهنما: دکتر علی حقیقی

استاد مشاور: دکتر حسین محمد ولی سامانی

تاریخ: اسفند ۱۳۹۵

## چکیده

خطوط لوله توسعه داده می‌شود. به این منظور، یک مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی در حوزه فرکانس برای محاسبه پاسخ فرکانسی دبی و فشار به صورت تابعی از پارامترهای نشت و ضرایب افت توسعه داده می‌شود. سپس یک مدل مفهومی برای تولید بهترین جریان گذرا در سیستم معرفی می‌شود. پس از آن، یک روش جدید به اسم میز تصمیم‌گیری Decision Table Method (DTM) برای طراحی سایت اندازه‌گیری برای مشخص کردن تعداد و مکان سنسورهای فشار در شبکه توسعه داده می‌شود. براساس مدل شبیه‌ساز و داده‌های اندازه‌گیری، یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی (Non-Linear Programming (NLP)) با تابع هدف اختلاف مربعات و متغیرهای تصمیم‌گیری پارامترهای نشت و ضرایب افت معرفی می‌شود و برای حل مسئله از یک الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm (GA)) حقیقی ساده استفاده می‌شود. مدل ارائه شده برای چند مثال تئوری و آزمایشگاهی شامل خطوط لوله و شبکه‌ها به کار برده شد. نتایج به دست آمده نشان داد مدل پیشنهادی از نظر محاسباتی بهینه، قابل اعتماد و آسان برای سیستم‌های واقعی است. همچنین در مقایسه با ITA در حوزه زمان آنالیز معکوس در حوزه فرکانس به پارامترهای نشت بسیار حساس‌تر بوده و دقت آن به میزان بسیار کمتری تحت تاثیر تخمین غیردقیق ضرایب افت است.

**واژه‌های کلیدی:** تعیین نشت، کالیبراسیون، خطوط لوله، شبکه‌های آبرسانی، تحلیل معکوس جریان گذرا، حوزه فرکانس

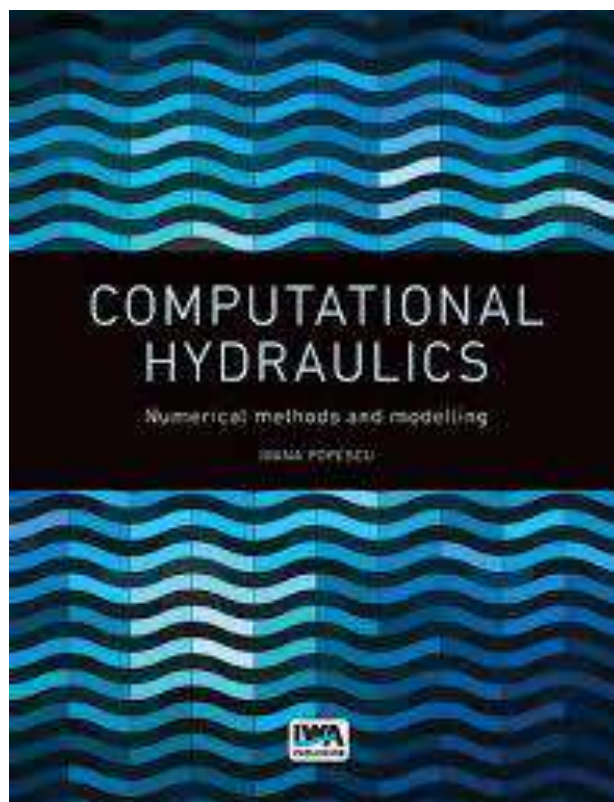
نشت یکی از عوامل مهم هدررفت آب در خطوط انتقال و شبکه‌های آبرسانی است. نشت در تمام سیستم‌های آبرسانی به دلیل کیفیت بد مواد و اتصالات، خطا در بهره‌برداری و تعمیرات، خوردگی، فشار بالا، حرکت خاک و بارهای ترافیکی اتفاق می‌افتد و همراه با هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بالایی است. در دو دهه اخیر روش‌های متعددی بر پایه مدل ریاضی برای تعیین نشت در خطوط لوله توسعه یافته‌اند. از کاراترین و قابل‌اعتمادترین روش‌های نشت‌یابی، تحلیل معکوس جریان گذرا (Inverse Transient Analysis (ITA)) است. ITA به منظور تعیین نشت و کالیبراسیون سیستم براساس داده‌های مشاهداتی، مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی و تکنیک‌های بهینه‌سازی توسعه داده شده است. تقریباً در کلیه روش‌های بر پایه ITA از تحلیل جریان گذرا در حوزه زمان و روش خطوط مشخصه (Method Of Characteristics (MOC)) استفاده شده است. این روش اگرچه قدرتمندترین مدل عددی در تحلیل سیستم‌های پیچیده خطوط لوله است اما از نظر محاسباتی اقتصادی نیست و اطلاعات محدودی از مشخصات و عملکرد سیستم در حوزه زمان به دست می‌دهد. روش دیگر برای تحلیل جریان گذرا، تحلیل در حوزه فرکانس (Frequency Domain Analysis (FDA)) است. برای به کارگیری FDA معادلات حاکم جریان گذرا ابتدا خطی‌سازی شده و سپس به حوزه فرکانس منتقل می‌شوند. در نهایت معادلات حاکم به صورت جبری ساده برای حل مسئله و استخراج پاسخ فرکانسی سیستم به کار می‌روند. بنابراین FDA بسیار سریعتر از MOC است. اساساً نسبت به پارامترهای نشت حساس‌تر است و بنابراین مشخصات نشت را با وضوح بالاتری منعکس می‌کند. در این تحقیق یک روش ITA در حوزه فرکانس (Inverse Frequency Domain Analysis (IFDA)) برای تعیین نشت و کالیبراسیون

عنوان: هیدرولیک محاسباتی: روش‌های عددی و مدل‌سازی  
(Computational Hydraulics: Numerical Methods and Modeling)

پدیدآورنده: Ioana Popescu

ناشر: IWA Publishing

سال اولین چاپ: ۲۰۱۴



کتاب هیدرولیک محاسباتی مفهوم مدل‌سازی و استفاده از روش‌های عددی و تحلیل‌های عددی در مدل را معرفی می‌کند. این کتاب توضیحاتی مختصر و جامع از اصول اساسی هیدرولیک و مشکلات پرداخته شده توسط این اصول در محیط آبی را ارائه می‌دهد. معادلات جریان، راه‌حل‌های تحلیلی و عددی گنجانده شده است. مراحل لازم برای ساخت و استفاده از روش‌های عددی در هیدرولیک، هسته اصلی کتاب را تشکیل می‌دهد و دو مثال کاربردی از هیدرولیک محاسباتی به دنبال دارد: سیستم‌های رودخانه‌ای و مدل‌سازی کیفیت آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها. این تئوری و تمریناتی که در کتاب وجود دارد یادگیری مفاهیم در محیط‌های دانشگاهی را ارتقا می‌بخشد. هیدرولیک محاسباتی برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد، محققان، اعضای ادارات دولتی و غیردولتی و متخصصان درگیر در مدیریت مشکلات مربوط به آب در نظر گرفته شده است.

در این کتاب، تئوری مدل‌سازی و مدل‌سازی مرتبط با مشکلات آبی در فصل‌های یک و دو به ترتیب آمده است. در ادامه به تفسیر دامنه جریان سیال و روش اجزا محدود و روش حجم محدود و مشخصات روش‌های عددی در ادامه می‌پردازد. در فصل هفتم به مدل‌سازی سیستم رودخانه و انتشار سیل پرداخته و در نهایت مدل‌سازی کیفیت آب را بیان می‌کند. در هر یک از فصول مثال‌هایی نیز آورده شده که به روشن کردن مطالب همان فصل کمک می‌کند.

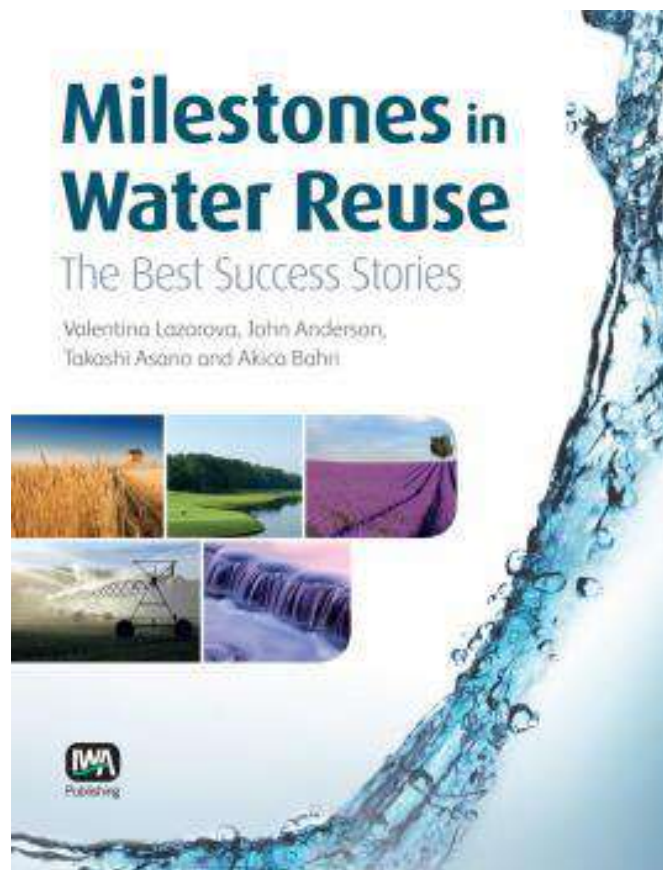
عنوان: نقاط عطف در استفاده مجدد از آب، بهترین نمونه‌های موفق

(Milestones in Water Reuse, The Best Success Stories)

پدیدآورندگان: Valentina Lazarova; Takashi Asano; Akiça Bahri and John Anderson

ناشر: IWA Publishing

سال اولین چاپ: ۲۰۱۳



کتاب نقاط عطف در استفاده مجدد از آب، بهترین داستان‌های موفق از مزایای استفاده مجدد از آب در مدیریت منابع آب یکپارچه و نقش آن در مدیریت چرخه آب شهری، سازگاری با تغییرات آب و هوایی و توسعه پایدار شهرهای آینده را نشان می‌دهد. مطالعات موردی منتخب برای نشان دادن فواید، چالش‌ها و کلیدهای موفقیت در انواع روش‌های استفاده مجدد از آب، مثل آبیاری کشاورزی، زمین گلف و آبیاری فضای سبز، مصارف شهری و صنعتی، تقویت محیط‌زیست و همچنین استفاده مجدد از آب آشامیدنی مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌شود. این کتاب با درک خوبی از بهترین شیوه‌های استفاده مجدد از آب در سطح جهان در اختیار سیاست‌گذاران بزرگ سیاسی، افسران منتخب، مدیران، مهندسين، برنامه‌ریزان، اپراتورها، مصرف‌کنندگان آب بازیافتی قرار می‌گیرد و به آن‌ها کمک می‌کند تا آب بازیافت شده را به صورت ایمن، اقتصادی، با دوام، دوست‌دار محیط‌زیست، دوستانه و با ارزش اجتماعی بالا در نظر بگیرند.

این کتاب پس از بیان مقدمه و مروری بر چالش‌های اصلی موجود در این زمینه به هفت بخش تقسیم می‌شود که شامل نقش استفاده مجدد از آب در مدیریت یکپارچه آب و شهرهای آینده، استفاده شهری از آب بازیافتی، استفاده مجدد از آب شهری: سیستم‌های بازیافت غیرمتمرکز آب، استفاده از آب بازیافتی در کشاورزی، استفاده از آب بازچرخانی در کاربردهای صنعتی، استفاده محیطی و تفریحی از آب بازیافتی و افزایش منابع آب‌های آشامیدنی است و در هر بخش در طی فصل‌هایی به جزییات و تجربه‌های موفق در هر زمینه می‌پردازد. در نوشتن هر بخش از افراد و متخصصان سرشناسی استفاده شده است که در کتاب به آن‌ها نیز اشاره می‌شود.



- اخبار و فعالیت های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه چهارم سال ۱۳۹۸ به شرح زیر است:
- انتشار سومین شماره از سال چهارم نشریه علمی - ترویجی علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در دانشگاه صنعتی اصفهان به نمایندگی دکتر حمیدرضا صفوی (۹۸/۱۰/۰۵)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در دانشگاه اصفهان به نمایندگی دکتر شروین جمشیدی (۹۸/۱۰/۰۵)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به نمایندگی خانم مهندس آسپه سادات ملاباشی (۹۸/۱۰/۰۵)
  - برگزاری اولین جلسه هماهنگی نمایندگان انجمن در استان اصفهان (۹۸/۱۰/۰۵)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در دانشگاه شهید بهشتی به نمایندگی آقای دکتر محمدرضا جلیلی قاضی زاده (۹۸/۱۰/۰۷)
  - برگزاری مراسم تقدیر از کادر اجرایی همایش مدیریت مصرف (۹۸/۱۰/۱۵)
  - برگزاری سومین جلسه شورای سیاست گذاری سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۹۸/۱۰/۱۷)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در دانشگاه شیراز به نمایندگی آقای دکتر ناصر طالب بیدختی (۹۸/۱۰/۱۷)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در شرکت آب و فاضلاب استان فارس به نمایندگی آقای مهندس اردوان نیکنام (۹۸/۱۰/۱۷)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در شرکت آب و فاضلاب شهرستان کاشان به نمایندگی آقای مهندس علی اکبر قانع (۹۸/۱۰/۲۴)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در دانشگاه کاشان به نمایندگی خانم دکتر زهرا جمشیدزاده (۹۸/۱۰/۲۴)
  - برگزاری سی و ششمین جلسه هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۸/۱۰/۲۶)
  - برگزاری جلسه هفتم هیئت تحریریه نشریه انجمن (۹۸/۱۰/۲۶)
  - انتشار نظرات انجمن در مورد گزارش هیئت ویژه سیلاب (۹۸/۱۰/۲۶)
  - ملاقات با معاون تحقیقات وزیر نیرو (۹۸/۱۰/۳۰)
  - ملاقات با مدیران آموزش و تحقیقات وزارت نیرو (۹۸/۱۰/۳۰)
  - انتشار چهارم و ششمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (دی ۹۸)
  - برگزاری چهارمین جلسه کمیته تخصصی کیفیت آب (۹۸/۱۱/۰۲)
  - راهاندازی نمایندگی انجمن در دانشگاه صنعتی ارومیه به نمایندگی دکتر اکبر شیرزاد (۹۸/۱۱/۱۵)
  - حمایت معنوی و شرکت در نمایشگاه جانبی همایش هیدرولیک (۱۶ و ۹۸/۱۱/۱۷)
  - سخنرانی کلیدی آقای دکتر طالب بیدختی (عضو هیئت مدیره انجمن) در هجدهمین همایش ملی هیدرولیک (۹۸/۱۱/۱۶)
  - اعلام عمومی کسب رتبه A در ارزشیابی سال ۱۳۹۷ با امتیاز ۱۱۰۹/۷۵ (۹۸/۱۱/۲۰)
  - انتخاب عضو هیئت مدیره انجمن در کمیته تخصصی مدیریت آب و پساب کارگروه راهبری مدیریت سبز وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (۹۸/۱۱/۲۱)
  - عضویت نماینده انجمن آب و فاضلاب ایران در کمیته مدیریت مصرف آب وزارت نیرو (۹۸/۱۱/۲۶)
  - امضای تفاهم نامه با موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو (۹۸/۱۱/۳۰)
  - انتشار چهارم و هفتمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (بهمن ۹۸)
  - فراخوان پنجمین دوره "انتخاب پایان نامه برتر" (۹۸/۱۲/۰۱)
  - انتشار پوستر سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۹۸/۱۲/۰۱)
  - انتشار چهارم و هشتمین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (اسفند ۹۸)
  - فهرست برنامه های عمومی انجمن در اسفندماه که به دلیل شیوع بحران کرونا به تعویق افتاد:
  - جلسه کمیته تخصصی تلفات آب در روز ۴ اسفند
  - جلسه اتحادیه انجمنهای علوم آب در روز ۶ اسفند
  - جلسه کمیته تخصصی بازیافت در روز ۱۱ اسفند
  - برنامه بزرگداشت روز ملی آب و نشست تخصصی کمیته کیفیت آب با موضوع چالش های استفاده از دستگاه های تصفیه خانگی در دانشکده فنی دانشگاه تهران در روز ۱۳ اسفند
  - جلسه هیئت مدیره انجمن در روز ۱۳ اسفند
  - نشست تخصصی در مورد استفاده از پساب برای دریاچه ارومیه در روز ۲۰ اسفند در محل ستاد احیای دریاچه ارومیه



**زنده یاد علی اکبر قانع، نماینده انجمن در شرکت آب و فاضلاب کاشان**

علی اکبر قانع دارای دکتری مدیریت کسب و کار بود. ایشان ۲۲ سال سابقه خدمت در صنعت آب و فاضلاب را داشته و مدیر امور آب و فاضلاب شهرستان آران و بیدگل، معاونت خدمات مشترکین و درآمد، معاونت برنامه ریزی و منابع انسانی، عضویت در هیئت مدیره شرکت آب و فاضلاب کاشان و عضو مرکز تحقیقات علمی- کاربردی آب، خشکسالی و تغییر اقلیم دانشگاه کاشان مناصبی است که در کارنامه اجرایی و مدیریتی ایشان وجود دارد. تدوین و پیاده سازی نظام ارزیابی عملکرد کارکنان با توجه به ساختار و تشکیلات صنعت آب و فاضلاب، مستندسازی تجربیات متخصصین و خبرگان صنعت آب و فاضلاب، نگارش بیش از ۱۰ مقاله علمی و پژوهشی و برگزاری همایش، کنفرانس و نشست های علمی از فعالیت های شاخص علمی و پژوهشی ایشان بوده است.

انجمن آب و فاضلاب ایران درگذشت نابهنگام آقای مهندس علی اکبر قانع را به خانواده محترم و جامعه آب و فاضلاب کشور تسلیت گفته و برای ایشان آرامش و علو درجات و برای خانواده ایشان صبر جمیل و اجر اخروی آرزومند است

**زهرا جمشیدزاده، نماینده انجمن در دانشگاه کاشان**

دکتر زهرا جمشیدزاده در ۲۶ مهر ۱۳۵۵ در شهر کاشان دیده به جهان گشود و تحصیلات خود را تا پایان دبیرستان در کاشان به اتمام رسانید. پس از دوران دبیرستان، در دانشگاه صنعتی اصفهان در سال های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۸ در رشته مهندسی عمران- عمران مشغول به تحصیل شد. پس از اتمام دوره کارشناسی به کاشان بازگشت و به عنوان مدرس گروه معماری دختران دانشکده فنی و حرفه ای کاشان به تدریس پرداخت و هم زمان با دفتر فنی معاونت عمرانی دانشگاه آزاد کاشان همکاری نمود. در مهر سال ۱۳۸۱ فعالیت حرفه ای خود را به عنوان مسئول دفتر فنی سازمان عمران و بهسازی شهر کاشان آغاز نمود که تا مهر ۱۳۸۳ ادامه داشت. در سال ۱۳۸۴ برای ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد عمران- آب دانشکده فنی دانشگاه تهران پذیرفته شد و پس از آن در سال ۱۳۸۷ در مقطع دکتری تخصصی عمران- آب دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی تهران مشغول به تحصیل شد. در سال ۱۳۹۱ یک دوره کوتاه مدت تحقیقاتی در زمینه های مدل سازی و بهینه سازی جریان آب زیرزمینی در دانشگاه ایالتی لویزیانا آمریکا را گذراند. بعد از اتمام تحصیلات اکادمیک، در سال ۱۳۹۳ به عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه کاشان در گروه عمران دانشکده مهندسی مشغول به کار شد. تالیف یک جلد کتاب با عنوان آب های زیرزمینی، چاپ چندین مقاله علمی در مجلات معتبر خارجی و علمی پژوهشی داخلی و کنفرانس های معتبر علمی داخلی و همچنین انجام یک طرح پژوهشی با شرکت آب و فاضلاب کاشان از جمله فعالیت های پژوهشی وی در طول مدت اشتغال در دانشگاه کاشان بوده است.

**شروین جمشیدی، نماینده انجمن در دانشگاه اصفهان**

دکتر شروین جمشیدی دارای مدرک دکتری مهندسی محیط زیست از دانشگاه تهران (۱۳۹۴)؛ کارشناسی ارشد مهندسی عمران (آب و فاضلاب) از دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور (۱۳۹۰) و کارشناسی مهندسی عمران (آب) از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۸۷) است. او از سال ۱۳۸۹ فعالیت حرفه ای خود را در حوزه آب و فاضلاب به عنوان کارشناس پژوهشی و سپس مدیر پروژه در موسسه تحقیقات آب و وزارت نیرو آغاز نمود و در سال ۱۳۹۷ به عنوان استادیار دانشکده مهندسی عمران در دانشگاه اصفهان مشغول به تدریس شد. دکتر جمشیدی افزون بر ۱۰ سال تجربه در حوزه های آموزش، پژوهش، مشاوره و اجرا در صنعت آب و فاضلاب، حائز عناوین پژوهشگر برتر دانشگاه تهران و وزارت نیرو است و سوابق انجام ۱۰ طرح ملی و استانی، انتشار بیش از ۴۰ عنوان مقاله علمی- پژوهشی، یک عنوان کتاب و تدوین استانداردهای ملی را دارا است. از حوزه های پژوهشی مورد علاقه ایشان می توان به کیفیت آب، فناوری های تصفیه فاضلاب و لجن، ارتقا و بهسازی تصفیه خانه، بازیافت آب و بازچرخانی پساب، تاب آوری و امنیت آب و انرژی اشاره کرد.





## کنفرانس‌های داخلی

| عنوان کنفرانس                                                | برگزارکننده                             | محل برگزاری                               | تاریخ برگزاری    | سایت کنفرانس                                                                    |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| دوازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران                             | دانشگاه صنعتی سهند                      | تبریز - دانشگاه صنعتی سهند                | ۷ و ۸ خرداد ۱۳۹۹ | <a href="http://12-ncce.ir/fa">http://12-ncce.ir/fa</a>                         |
| اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت یکپارچه منابع آب در گذر زمان | دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری | ساری - دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری | ۲۳ و ۲۴ مهر ۱۳۹۹ | <a href="http://iwrmt2020.sanru.ac.ir/fa/">http://iwrmt2020.sanru.ac.ir/fa/</a> |
| سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران                  | انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشگاه شیراز | شیراز - دانشگاه شیراز                     | ۴ تا ۶ آذر ۱۳۹۹  | <a href="http://iwwa-conf.ir">http://iwwa-conf.ir</a>                           |

## کنفرانس‌های خارجی

| عنوان کنفرانس                                                                                                                                                                        | محل برگزاری             | تاریخ برگزاری                                     | سایت کنفرانس                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IWA UK YWP Conference 2020: Webinar Series                                                                                                                                           | United Kingdom, Cardiff | 15 – 17 April 2020 (Postponed)                    | <a href="https://www.instituteofwater.org.uk/events-info/?id=1125">https://www.instituteofwater.org.uk/events-info/?id=1125</a> |
| 6 <sup>th</sup> International Symposium on Knowledge and Capacity for the Water Sector: From capacity development to implementation science (Supported)                              | Delft, Netherlands      | 27 – 29 May 2020 (Symposium goes Online)          | <a href="http://capdevsymposium.un-ihe.org/">http://capdevsymposium.un-ihe.org/</a>                                             |
| Nutrient removal and recovery conference                                                                                                                                             | Espoo, Finland          | 8 – 12 June 2020                                  | <a href="http://www.iwa-nrr.org/">http://www.iwa-nrr.org/</a>                                                                   |
| IWA Conference Water in Industry 2020                                                                                                                                                | Nanjing, China          | 24 – 28 August 2020                               | <a href="http://www.iwa-win.org/">http://www.iwa-win.org/</a>                                                                   |
| 6 <sup>th</sup> IWA International Symposium on Water, Wastewater and Environment in Ancient Civilizations: Traditions and Cultures                                                   | Istanbul, Turkey        | 8 – 10 September 2020                             | <a href="http://wwetc2020.eap.gr/">http://wwetc2020.eap.gr/</a>                                                                 |
| 17 <sup>th</sup> Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems and 9 <sup>th</sup> Specialised Conference on Resources Oriented Sanitation (POSTPONED – PENDING DATE) | Belo Horizonte, Brazil  | 14 – 17 September 2020 (Postponed – Pending Date) | <a href="http://swwsros2020.com/">http://swwsros2020.com/</a>                                                                   |
| 12 <sup>th</sup> Eastern European Young Water Professionals Conference: Water Research and Innovations in a Digital Era                                                              | Riga, Latvia            | 15 – 18 September 2020                            | <a href="http://iwa-ywp.eu/">http://iwa-ywp.eu/</a>                                                                             |
| IWA World Water Congress & Exhibition 2020                                                                                                                                           | Copenhagen, Denmark     | 18 – 23 October 2020                              | <a href="http://worldwatercongress.org/">http://worldwatercongress.org/</a>                                                     |
| Water Loss 2020                                                                                                                                                                      | Shenzhen, China         | 8 – 11 November 2020                              | <a href="https://www.waterloss2020.org/en/index.html">https://www.waterloss2020.org/en/index.html</a>                           |
| 2 <sup>nd</sup> Latin American and Caribbean Young Water Professional Conferences: Towards Sustainable Development                                                                   | Colombia, Manizales     | 9 – 12 November 2020                              | <a href="http://www.ucm.edu.co/iwa2020/">http://www.ucm.edu.co/iwa2020/</a>                                                     |
| XIV Latin American Workshop and Symposium of Anaerobic Digestion                                                                                                                     | Cozumel, Mexico         | 11 – 13 November 2020                             | <a href="http://www.daal.online/Default-eng.html">http://www.daal.online/Default-eng.html</a>                                   |
| Digital Water Summit                                                                                                                                                                 | Spain, Bilbao           | 30 November – 12 December 2020                    | <a href="https://digitalwatersummit.org/">https://digitalwatersummit.org/</a>                                                   |
| IWA Biofilms 2020 Conference: Processes in Biofilms: Fundamentals to Applications                                                                                                    | Thailand, Phuket        | 8 – 10 December 2020                              | <a href="http://iwabiofilms2020.org/">http://iwabiofilms2020.org/</a>                                                           |
| 1 <sup>st</sup> Trans-Asia IWA Young Water Professionals Conference on Smart Technologies for Water and Wastewater Treatment                                                         | Vellore, India          | 16 – 19 December 2020                             | <a href="https://iwa-ts2020.org/">https://iwa-ts2020.org/</a>                                                                   |
| 13 <sup>th</sup> IWA International Conference On Water Reclamation and Reuse                                                                                                         | Chennai, India          | 17 – 21 January 2021                              | <a href="http://iwareuse2021.com/">http://iwareuse2021.com/</a>                                                                 |
| The 17 <sup>th</sup> IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies                                                                                                | Reno, USA               | 21 – 26 February 2021                             | <a href="https://iwa-let.org/">https://iwa-let.org/</a>                                                                         |





انجمن آب و فاضلاب ایران

# کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

## 3<sup>rd</sup> IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress

24-26 November 2020

Shiraz- Iran



### محورهای کنگره:

#### محور ویژه: تاب آوری سامانه های آب و فاضلاب

دانشگاه شیراز

۴ الی ۶ آذر ماه ۱۳۹۹

مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهر ماه ۱۳۹۹

[www.iwwa-conf.ir](http://www.iwwa-conf.ir)  
[info@iwwa-conf.ir](mailto:info@iwwa-conf.ir)  
[telegram.me/iwwsec](https://t.me/iwwsec)

- تامین و انتقال آب (با رویکرد آمایش سرزمین)، تصفیه، توزیع و ایمنی آب شرب
- جمع آوری، انتقال، تصفیه، بازچرخانی و بازافت فاضلاب و آب های سطحی
- رویکردهای نوین استفاده از آب های نامتعارف، آب انبارها و آب های لب شور
- فناوری های نوین در آب و فاضلاب
- ارتقاء، مقاوم سازی و بازسازی سامانه های آب و فاضلاب
- مدیریت بهره وری منابع انسانی و تامین منابع مالی پایدار در خدمات آب و فاضلاب
- رویکردهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط زیستی در مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی
- پدافند غیرعامل، مهندسی ارزش، مدیریت انرژی و ایمنی در خدمات آب و فاضلاب
- رویکردهای نوین تامین آب و دفع بهداشتی فاضلاب در روستاها و جوامع کوچک
- برون سپاری، تامین مالی از منابع غیردولتی و ظرفیت خیرین و سمن ها در خدمات آب و فاضلاب
- تدوین استانداردها، ضوابط و تجارب بومی سامانه های آب و فاضلاب
- هوشمند سازی سامانه های آب و فاضلاب



Sponsored and indexed by  
**CIVILICA**  
We Respect the Science



**ISC**  
International Science Congress



آدرس دبیرخانه:

شیراز- میدان نمازی- دانشگاه شیراز-  
دانشکده مهندسی شماره یک- بخش مهندسی  
راه، ساختمان و محیط زیست- دبیرخانه سومین  
کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

کد پستی ۷۱۳۴۸۵۱۱۵۶

تلفن: ۰۷۱۳۶۴۷۴۰۲۸

فکس: ۰۷۱۳۶۴۷۴۰۲۷





## فراخوان پنجمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۵

ویژه دانش آموختگان سال های ۱۳۹۵ به بعد



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

از علاقه مندان دعوت می شود تا برای شرکت در مسابقه، فایل پایان نامه به همراه مقالات منتشر شده ISI و علمی- پژوهشی خود را **حداکثر تا تاریخ ۳۰ مهرماه ۱۳۹۹** از طریق سایت انجمن به نشانی [IRWWA.IR](http://IRWWA.IR) بارگذاری نمایند.

جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، همزمان با برگزاری "سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران" که از ۴ تا ۶ آذرماه ۱۳۹۹ در دانشگاه شیراز برگزار می شود، اعطا می گردد.

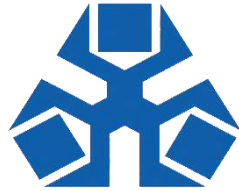


[irwwa.ir](http://irwwa.ir)  
[info@irwwa.ir](mailto:info@irwwa.ir)

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

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



|                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>شرکت مهندسی کاشفانفا</p>                                                |  <p>سیال کنترل<br/>FLUID CONTROL</p> <p>ما راهی را پیدا می کنیم</p>                       |  <p>مهندسین مشاور آبخوان<br/>منابع آب - تأسیسات شهری - سدسازی -<br/>کشاورزی، منابع طبیعی و دامپروری -<br/>حفاظت و مهندسی رودخانه - محیط زیست</p> |
|  <p>معین زیست آریا</p>                                                      |  <p>پادیاب تجهیز</p>                                                                      |  <p>PERSIA ARAS<br/>JONOUB Co.</p>                                                                                                               |
|  <p>سنجش افزار آسیا (با مسئولیت محدود)</p>                                  |  <p>سپید یاس فراز<br/>(سهامی خاص)</p>                                                      |  <p>شرکت مهندسی حلیل آب پایدار</p>                                                                                                               |
|  <p>شرکت فناوری زیست محیط<br/>بیاک سبا<br/>تأسیسات: ۱۵۲۲</p>               |  <p>ماشین سازی اراک</p>                                                                   |  <p>مهاب قدس<br/>شرکت مهندسی مشاور<br/>MAHAB GHODSS<br/>CONSULTING ENGINEERING CO.</p>                                                          |
|  <p>مهندسین مشاور<br/>آببران</p>                                          |  <p>SafBon</p>                                                                           |  <p>تالایه همپین<br/>تأسیسات: ۱۳۵۱</p>                                                                                                         |
|  <p>تأسیسات اتوماتیک بلندا<br/>www.bolanda-co.com<br/>@bolandafaucets</p> |  <p>مهندسین مشاور آب<br/>(سهامی خاص)<br/>رسته کارهای آبی - معماری و ژئوتکنیک</p>         |  <p>آبساران مهندسین مشاور<br/>Absaran Consulting Engineers<br/>www.absaran-co.ir</p>                                                           |
|  <p>شرکت فرایند ارقام پرداز</p>                                           |  <p>گوه صینا<br/>شرکت مهندسی و ساخت<br/>بویلر و تجهیزات مینا</p>                         | <p>توسعه انهار آریانا</p>                                                                                                                                                                                                           |
|  <p>مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب</p>                           |  <p>هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون<br/>Hamoon Pipe Line Development Company Hapico</p> |                                                                                                                                                                                                                                     |

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

#### حق عضویت اعضای حقیقی

| نوع                                                                    | مبلغ (ریال) |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|
| حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ (به ازای هر سال)                | ۵۵۰۰۰۰      |
| حق عضویت دو ساله (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰)                                         | ۱۰۰۰۰۰۰     |
| حق عضویت چهار ساله با تخفیف (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲)                             | ۱۸۰۰۰۰۰     |
| هزینه صدور و ارسال کارت عضویت (در صورت تمایل به دریافت کارت غیر کاغذی) | ۳۰۰۰۰۰      |

#### حق عضویت اعضای حقوقی

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

#### هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

\* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره 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](mailto:info@irwwa.ir)) ارسال فرمایید.

#### مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

| مزایای عضویت                                                         |  |  |  |  | عضویت حقیقی                              |        | عضویت حقوقی (شرکت‌ها) |       |      |
|----------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|------------------------------------------|--------|-----------------------|-------|------|
|                                                                      |  |  |  |  | پیوسته                                   | 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 مقاله از مجلات انجمن                                      |  |  |  |  | ٪۲۰                                      | ٪۲۰    | ٪۱۰                   | ٪۱۵   | ٪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 | *      | *                     | *     | *    |



محتویات مقاله است و شکل‌ها و جدول‌ها در جای خود جانمایی شده‌اند.

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

– فایل مشخصات نویسندگان.

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

❖ **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 به‌طور 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:**

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

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

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

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

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

– نویسندگان در قسمت ارسال فایل‌ها با ارسال یک فایل word که به امضای همه نویسندگان رسیده است، حق چاپ مقاله را به مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب واگذار می‌نمایند. در غیر 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 علوم و مهندسی آب و فاضلاب به زبان فارسی و با چکیده انگلیسی چاپ می‌شود. تعداد صفحات مقاله کامل و نیز مروری حداکثر ۱۲ صفحه و یادداشت فنی بین ۴ تا ۶ صفحه قابل چاپ است. لازم به ذکر است که مقاله ارسالی نباید هم‌زمان در مجله دیگری چاپ شده یا تحت داوری باشد.

با توجه به آیین نامه جدید نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، از این پس امکان چاپ مقالات پژوهشی نیز وجود دارد و نوع هر مقاله (پژوهشی، ترویجی، یادداشت فنی) در بالای آن درج خواهد شد.

❖ **فایل‌های لازم**

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 شامل کلیه اجزا و

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

متن مقاله شامل بخش های چکیده، مقدمه، مواد و روش ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه گیری و مراجع و همچنین شکل ها و جدول ها است. در صورت لزوم، بخش قدردانی در انتهای مقاله و قبل از بخش مراجع نوشته می شود. بخش های مختلف متن و همه صفحات و همینطور تمام سطرها به ترتیب شماره گذاری می شوند.

- معادل انگلیسی کلمات فارسی که نیاز به توضیح به زبان اصلی دارد، وقتی برای اولین بار در مقاله به کار می روند، به صورت زیر نویس در صفحه مربوط درج می شوند. زیر نویس ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می شود.

#### ❖ جدول ها و شکل ها:

در صفحات جداگانه در انتهای فایل word مقاله با کیفیت مناسب چاپ ارائه می شوند. همه جدول ها و شکل ها شماره گذاری شده و عنوان جدول در بالای آن و عنوان شکل در زیر آن نوشته می شود. در عنوان جدول و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان های دبی آب خام در تصفیه خانه بابا شیخ علی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۵. در ضمن اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگری اخذ شده است، به مرجع مورد نظر در آخر عنوان جدول یا شکل اشاره می شود و مشخصات مأخذ در بخش مراجع درج می شود. همچنین ارسال فایل اصلی شکل ها در محیط نرم افزاری به همراه کار برگ داده های نمودار نیز ضروری است. در فایل pdf مقاله، تمامی شکل ها و جدول ها در محل خودشان در متن مقاله جانمایی می شوند.

- در صورتی که در مقاله از عکس استفاده شده باشد، ارسال فایل اصلی آن الزامی است.

- در مورد نمودارهایی که با نرم افزارهای تخصصی تهیه شده اند، ارسال کار برگ داده های رسم نمودار نیز ضروری است.

#### ❖ معادلات:

معادلات به صورت خوانا با حروف و علائم مناسب با استفاده از Microsoft Equation تهیه می شوند. واحدها بر حسب واحد بین المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره گذاری می شوند.

#### ❖ مراجع:

نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت انگلیسی (نویسنده، سال) عمل می شود و در انتهای مقاله مرجع نویسی 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 می شوند. لازم به ذکر است که همه مراجع فارسی به زبان انگلیسی ترجمه و ارائه می شوند. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می شوند. تاکید می شود که در بخش فهرست مراجع نام تمامی مجلات- انتشارات- موسسات- کنفرانس ها و غیره به صورت کامل درج می شود و از به کار بردن نام اختصاری آن ها (Abbreviation) خودداری می شود. در متن مقاله نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می شود. در صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که بیش از دو نفر باشند، از عبارت (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می شود.

#### ❖ مقاله فارسی:

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

عنبری، م.، (۱۳۹۲)، "تحلیل ریسک سیستم های فاضلاب با استفاده از شبکه های بیزین"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

#### ❖ مقاله غیر فارسی:

Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Rasi Faghihi, N., and Heydarzadeh, R., (2018), "Risk assessment of factors influencing Non-Revenue Water using Bayesian Networks and Fuzzy Logic", *Water Resources Management*, 31(9), 2561-2578.

#### ❖ مقاله منتشر نشده:

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

#### ❖ کتاب:

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

#### ❖ بخشی از کتاب:

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

❖ موسسه به جای نویسنده:

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

❖ مقالات کنفرانسی:

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

❖ پایان نامه:

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

❖ سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

با توجه به افزایش شدید هزینه‌های انتشارنشریه در سال ۱۳۹۷، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۳۹۸ به مجله ارسال می شود باید مبلغ ۵۰۰ هزار ریال برای هزینه داوری و در صورت پذیرش مقاله نیز مبلغ یک میلیون ریال برای هزینه انتشار به حساب انجمن واریز و فیش آن را به همراه فایل های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

# Table of Content

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Preface</b>                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>2</b>   |
| <br><b><u>Papers</u></b>                                                                                                                                                                                                                                                   |            |
| <b>Antibiotics and Antibiotic Resistance in Water and Wastewater Resources: A review</b><br>Rahim Aali, Reza Fouladi Erad, Jaber Yeganeh, Bayram Hashemzadeh and Farzad Fanaei                                                                                             | <b>5</b>   |
| <b>Review on Applications of Adsorbents to Remove Phenolic Compounds from Wastewater</b><br>Farhad Salimi, Javad Salimi and Farhad Golmohammadi                                                                                                                            | <b>16</b>  |
| <b>A Survey on the Adsorption Process for the Removal Pharmaceutical Pollution from Aqueous Solutions and Wastewater</b><br>Parisa Mechinchi, Hassan Aghdasinia, Seyed Jamaledin Peyghambaroust, Mahmoud Zarei, Hossein Rahbari Asiabi and Ahmad Reza Mohammadian Soudmand | <b>34</b>  |
| <b>A System Dynamics Approach to Analyze Reservoir Operation of Gerati Dam (Iran)</b><br>Abbas Akbarzadeh and Maryam Abareshi                                                                                                                                              | <b>51</b>  |
| <b>The Performance of Tajan Rubber Dam in Mellal Park in City of Sari during March 2019 Flood</b><br>Mir Majid Emadi, Mohsen Masoudian and Klaus Rottcher                                                                                                                  | <b>60</b>  |
| <b>The Effect of Greywater and Zeolite Usage in the Construction and Curing of Plain Concrete in Different Cement Contents and Ages</b><br>Kami Kaboosi, Farzad Kaboosi and Mehran Fadavi                                                                                  | <b>69</b>  |
| <br><b><u>General Section</u></b>                                                                                                                                                                                                                                          |            |
| <b>Interview</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>81</b>  |
| <b>Round-Table</b>                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>85</b>  |
| <b>Best Thesis</b>                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>99</b>  |
| <b>Book Presentation</b>                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>101</b> |
| <b>IWWA News</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>103</b> |



# Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 4, No. 4, Winter 2020

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

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

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

## Editorial Board:

**Azimi, A.A. (Ph.D.):** Assistant Professor, University of Tehran  
**Bina, B. (Ph.D.):** Professor, Isfahan University of Medical Science  
**Ghanadi, M. (M.Sc.):** Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water and Wastewater Engineering Company  
**Naseri, S. (Ph.D.):** Professor, Tehran University of Medical Science  
**Nazif, S. (Ph.D.):** Associate Professor, University of Tehran  
**Safavi, H.R. (Ph.D.):** Professor, Isfahan University of Technology  
**Sajadifar, S.H. (Ph.D.):** Tehran Water and Wastewater Engineering Company and Assistant Professor, Islamic Azad University  
**Sarrafzadeh, M.H. (Ph.D.):** Associate Professor, University of Tehran and Chairholder of UNESCO Chair on Water Reuse  
**Tabesh, M. (Ph.D.):** Professor, University of Tehran  
**Takdastan, A. (Ph.D.):** Associate Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science  
**Talebbeydokhti, N. (Ph.D.):** Professor, Shiraz University  
**Torabian, A. (Ph.D.):** Professor, University of Tehran  
**Vosoghi, M. (Ph.D.):** Professor, Sharif University of Technology



## Industrial Water and Wastewater Policy Council:

**Ghane, A.A. (M.Sc.):** Advisor of Managing Director, Iran National Water and Wastewater Engineering Company  
**Sayahi, A. (Ph.D.):** Director General of the Office of Research, Technology Development and Industry Relations, Iran Water and Wastewater Engineering Company  
**Hajhariri, A. (M.Sc.):** Former Deputy of Supervision of Operation, Tehran Water and Wastewater Company

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

**Akhtari, N.**  
**Shahangian, S. A. , Akhtari, N.**  
**Akhtari, N.**  
**Ostadrahimi, A.**  
**Iran Water and Wastewater Association (IWWA)**  
**500**  
**No. 7, 4<sup>th</sup> 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 and Wastewater Science and Engineering

Volume 4, No. 4, Winter 2020

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Preface</b>                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>2</b>   |
| <b><u>Papers</u></b>                                                                                                                                                                                                                                                       |            |
| <b>Antibiotics and Antibiotic Resistance in Water and Wastewater Resources: A review</b><br>Rahim Aali, Reza Fouladi Frad, Jaber Yeganeh, Bayram Hashemzadeh and Farzad Fanaei                                                                                             | <b>5</b>   |
| <b>Review on Applications of Adsorbents to Remove Phenolic Compounds from Wastewater</b><br>Farhad Salimi, Javad Salimi and Farhad Golmohammadi                                                                                                                            | <b>16</b>  |
| <b>A Survey on the Adsorption Process for the Removal Pharmaceutical Pollution from Aqueous Solutions and Wastewater</b><br>Parisa Mechinchi, Hassan Aghdasinia, Seyed Jamaledin Peyghambaroust, Mahmoud Zarci, Hossein Rahbari Asiabi and Ahmad Reza Mohammadian Soudmand | <b>34</b>  |
| <b>A System Dynamics Approach to Analyze Reservoir Operation of Gerati Dam (Iran)</b><br>Abbas Akbarzadeh and Maryam Abareshi                                                                                                                                              | <b>51</b>  |
| <b>The Performance of Tajan Rubber Dam in Mellal Park in City of Sari during March 2019 Flood</b><br>Mir Majid Emadi, Mohsen Masoudian and Klaus Rottcher                                                                                                                  | <b>60</b>  |
| <b>The Effect of Greywater and Zeolite Usage in the Construction and Curing of Plain Concrete in Different Cement Contents and Ages</b><br>Kami Kaboosi, Farzad Kaboosi and Mehran Fadavi                                                                                  | <b>69</b>  |
| <b><u>General Section</u></b>                                                                                                                                                                                                                                              |            |
| <b>Interview</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>81</b>  |
| <b>Round-Table</b>                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>85</b>  |
| <b>Best Thesis</b>                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>99</b>  |
| <b>Book Presentation</b>                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>101</b> |
| <b>IWWA News</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>103</b> |