



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

انجمن آب و فاضلاب ایران

- ۲ پیشگفتار (شتاب در تغییرات برای رفع بحران‌های آب و فاضلاب، به مناسبت نامگذاری روز جهانی آب در سال ۲۰۲۳)
مجید قنادی

مقالات علمی

- ۴ تحلیل هم‌زمان مصرف ماهانه آب، دمای هوا و فشار شبکه آبرسانی با استفاده از توابع کوپلا، مطالعه موردی: منطقه یک شهر اصفهان
محمدحسین کیخسروی، حمیدرضا صفوی، محمدحسین گل‌محمدی و محمدیهیم کلاهو
- ۱۶ بخش‌بندی مشترکین آب شیراز براساس ارزش دوره عمر آن‌ها و مدل RFM
عظیمه مظفری و راضیه رنجبر
- ۲۵ مطالعه حذف نیترات از فاضلاب خام شهری (تهران) توسط خاک اره درخت گردو به‌روش جذب سطحی
وحید عزیزخانی، مهدی سلطانی و محمد سمیع‌پور گبری
- ۳۷ بررسی کج شدن ناحیه‌ای درختان و سازه‌ها ناشی از نشست خاک در اثر شکستگی لوله شبکه توزیع آب در تهران
نوذر نوذری، رضا مستوری و سید محمد میرحسینی
- ۴۷ امکان‌سنجی استفاده مجدد لجن تصفیه‌خانه آب در تصفیه لجن تصفیه‌خانه فاضلاب
محمدجواد کاظمی و گایک بدلیانس قلی‌کندی
- ۵۶ مساله آب و شکل‌گیری تعادل سیاسی-اجتماعی در توسعه جامعه ایرانی (مورد مطالعه: نظام مدیریت آب در حوضه زاینده‌رود)
مهرداد توحیدی، تقی آزاد ارمکی، سید محمدعلی توکل کوثری، حمیدرضا جلایی پور و علی باقری

مطالب عمومی

- ۶۶ مصاحبه (دکتر طالب بیدختی)
میزگرد (نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد)
- ۶۸ پایان‌نامه برتر
- ۷۹ ایده برتر
- ۸۳ معرفی کتاب
- ۸۶ اخبار انجمن
- ۸۷

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

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

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر علی حقیقی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای

هیئت تحریریه

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

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

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

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

دکتر دراگان ساویچ: استاد، دانشگاه اگزتر، لندن

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

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

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

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

دکتر راضیه فرمائی: دانشیار، دانشگاه اگزتر، انگلستان

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

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

دکتر هاشم امینی: معاون راهبری و نظارت بر بهره برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکتر احمد سلامت: معاون منابع انسانی و پشتیبانی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

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

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

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

ناهد اختری

ناهد اختری، دکتر سید احمدرضا شاهنگیان

انجمن آب و فاضلاب ایران

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

- پیشگفتار (شتاب در تغییرات برای رفع بحران‌های آب و فاضلاب، ۲
به مناسبت نامگذاری روز جهانی آب در سال ۲۰۲۳)
مجید قنادی

مقالات علمی

- تحلیل هم‌زمان مصرف ماهانه آب، دمای هوا و فشار شبکه آبرسانی با استفاده از توابع کوپلا، مطالعه موردی: ۴
منطقه یک شهر اصفهان
محمدحسین کیخسروی، حمیدرضا صفوی، محمدحسین گل محمدی و محمدهیثم کلاهو
- بخش‌بندی مشترکین آب شیراز بر اساس ارزش دوره عمر آن‌ها و مدل RFM ۱۶
عظیمه مظفری و راضیه رنجبر
- مطالعه حذف نیترات از فاضلاب خام شهری (تهران) توسط خاک اره درخت گردو به‌روش جذب سطحی ۲۵
وحید عزیزخانی، مهدی سلطانی و محمد سمیع‌پور گیری
- بررسی کج شدن ناحیه‌ای درختان و سازه‌ها ناشی از نشست خاک در اثر شکستگی لوله شبکه توزیع آب در تهران ۳۷
نودر نودری، رضا مستوری و سید محمد میرحسینی
- امکان‌سنجی استفاده مجدد لجن تصفیه‌خانه آب در تصفیه لجن تصفیه‌خانه فاضلاب ۴۷
محمدجواد کاظمی و گاگیک بدلیانس قلی‌کندی
- مساله آب و شکل‌گیری تعادل سیاسی-اجتماعی در توسعه جامعه ایرانی ۵۶
(مورد مطالعه: نظام مدیریت آب در حوضه زاینده‌رود)
مهرداد توحیدی، تقی آزاد ارمکی، سید محمدعلی توکل کوثری، حمیدرضا جلایی پور و علی باقری

مطالب عمومی

- مصاحبه (دکتر ناصرطالب بیدختی) ۶۶
- میزگرد (نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد) ۶۸
- پایان‌نامه برتر ۷۹
- ایده برتر ۸۳
- معرفی کتاب ۸۶
- اخبار انجمن ۸۷



شتاب در تغییرات برای رفع بحران‌های آب و فاضلاب (به مناسبت نامگذاری روز جهانی آب در سال ۲۰۲۳)



مهندس مجید قنادی

مشاور معاونت برنامه‌ریزی و توسعه،
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

آن برای افراد برخوردار، ممکن است دشوار باشد. برای درک بهتر از ابعاد آن، اگر این بحران را در جامعه‌ای ۱۰۰ نفره تصور کنیم، ۲۵ نفر از آب ناسالم یک جوی و یا حوض می‌آشامند و یا ساعت‌ها در صف و با بهای بالایی آب را می‌خرند. آب آلوده، آن‌ها را بیمار و از آموزش و سایر فعالیت‌های اجتماعی باز می‌دارد و در معرض مرگ ناشی از بیماری‌های قابل پیشگیری، مانند وبا و حصبه قرار دارند. ۲۲ نفر یا چاره‌ای جز استفاده از توالت‌های عمومی، توالت‌های غیر بهداشتی و ناکارآمد، بوته‌ها یا مزارع ندارند. زنان و دختران بیش‌تر از همه در معرض این آسیب قرار دارند و ۴۶ نفر از هر ۱۰۰ نفر آن‌ها، به بیماری‌های زنان مبتلا می‌شوند. ۵۴ نفر دیگر از توالت‌های بهداشتی متصل به سامانه‌هایی که به‌طور ایمن فاضلاب‌ها را تصفیه می‌کنند، بدون آگاهی از نقش مهم آن‌ها در محافظت از سلامت و رفاه بهره‌مند هستند.

در دهه‌های اخیر، حدود نیمی از تالاب‌ها از بین رفته‌اند. افزایش خطر سیل، جان ۲۲ نفر را تهدید می‌کند. سیلاب‌ها، تاسیسات آب و فاضلاب را از بین می‌برند و آب آشامیدنی را آلوده می‌کنند. با دگرگونی آب و هوایی، خشکسالی‌ها، منابع آب را تقلیل و عرضه مواد غذایی را کاهش می‌دهد.

در حال حاضر، جهان از مسیر رسیدن به هدف ششم توسعه پایدار (SDG 6) دور است. برای رفع این معضل، به اقدام‌های بیش‌تری نیاز است. دولت‌ها، به‌طور متوسط، چهار برابر سریع‌تر باید کار کنند تا به اهداف SDG 6 خود تا سال ۲۰۳۰ برسند و به تنهایی قادر نخواهند بود این هدف را محقق سازند. آب بر زندگی فردی و اجتماعی و آینده همه افراد تأثیر می‌گذارد، بنابر این همه باید با هم اقدام کنند. هر مداخله مرتبط با آب، مستلزم نوعی همکاری است. مشارکت‌های آب، در مقیاس‌های محلی تا جهانی، از طریق ترتیبات رسمی و غیررسمی، ذی‌نفعان را با هدف‌های گوناگون گرد هم می‌آورد. مشارکت و همکاری برای سرعت بخشیدن و پیشرفت در نیل به هدف ششم توسعه و تحقق حقوق بشر در برخورداری از خدمات مناسب آب و فاضلاب ضروری است. حفاظت از امنیت آب، غذا و انرژی از طریق مدیریت پایدار آب، ارائه خدمات مناسب آب و فاضلاب به همه، حمایت از سلامت و معیشت انسان، کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی و رخدادهای ناگوار شدید (مانند سیل) و حفظ و احیای اکوسیستم‌ها، همگی قطعات یک پازل بزرگ و پیچیده هستند که تنها از طریق مشارکت و همکاری، به‌درستی کنار هم قرار می‌گیرند و هر کس نقشی دارد. برای این‌که در مدیریت پایدار آب مؤثر باشیم، باید مردم بومی را به‌عنوان سهامداران و حق‌دارانی که از ارزش‌ها و دیدگاه‌های فرهنگی و حتی مذهبی خاص خود، الهام می‌گیرند، وارد کنیم. فراموش نکنیم که آب، آینده مشترک همه ما است و به‌ناچار باید با هم برنامه‌ریزی و اقدام کنیم تا آن را عادلانه و پایدار مدیریت

در ۲۲ دسامبر (دوم فروردین ماه) سال ۱۹۹۲، مجمع عمومی سازمان ملل، با تصویب قطعنامه‌ای، این‌روز را به‌عنوان «روز جهانی آب» اعلام کرد. هدف از نامگذاری این‌روز، جلب توجه همگانی و ترویج مدیریت صحیح و کارآمد و حفظ منابع آب شیرین بود. نخستین روز جهانی آب در سال ۱۹۹۳ جشن گرفته شد و در سال‌های پس از آن، با نامگذاری هر سال، تمرکز بر یکی از معضلات جهانی آب و چاره‌اندیشی برای برون‌رفت از آن، معطوف شد.

در تداوم این رویه، روز جهانی آب در سال ۲۰۲۳ با تمرکز بر هدف ششم، از مجموعه هدف‌های توسعه پایدار سازمان ملل متحد (Sustainable Development Goal (SDGs نامگذاری شده است. هدف ششم «دسترسی همگانی به آب آشامیدنی سالم، پاک و مقرون به‌صرفه برای همه تا سال ۲۰۳۰» است و شعار روز جهانی آب در سال ۲۰۲۳ بر پایه این واقعیت نامیمون که اختلال در عملکرد چرخه آب، سبب تضعیف پیشرفت در همه مسائل مهم جهانی از جمله سلامت، رفع گرسنگی، برابری جنسی، اشتغال، آموزش، توسعه‌ی صنعت، کاهش بلایای طبیعی و حتی صلح شده است، «شتاب در تغییرات برای رفع بحران آب و فاضلاب» نامگذاری شد.

در سال ۲۰۱۵، هدف ششم توسعه پایدار (SDG 6) با این وعده که همه مردم جهان تا سال ۲۰۳۰، از خدمات پایدار آب و فاضلاب با کمیت و کیفیت مناسب، باید بهره‌مند شوند، به‌عنوان بخشی از دستور کار ۲۰۳۰ سازمان ملل متحد قرار گرفت. گزارش‌ها و بررسی‌های میدانی این سازمان نشان می‌دهد که جهان در نیل به این هدف، هم‌چنان ناکام مانده است و میلیاردها نفر و تعداد بی‌شماری از مدارس، مشاغل، مراکز بهداشتی، مزارع و کارخانه‌ها، هنوز از دسترسی خدمات مناسب آب و فاضلاب محرومند. زمانی که از بحران جهانی آب و فاضلاب صحبت می‌کنیم، تجسم

کنیم. همه ما برای نیل به هدف بهره‌مندی همگانی از خدمات مناسب آب و فاضلاب، مسئولیم.

مشکلات پیش‌روی رسیدن به این اهداف به‌شرح زیر است:

- به‌رغم همه تلاش‌ها و اقدام‌های انجام شده، هنوز ۱۲ درصد از مردم جهان به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند و بیماری‌های مرتبط با آب، بیش از مجموع تصادفات رانندگی و ایدز در یک سال، عامل مرگ انسان‌ها هستند.
- سرعت تغییر در سامانه‌های آب فزاینده است و خطرات جدید و بزرگی را ایجاد می‌کند. این در حالی است که تقاضا برای آب، نه تنها در بخش خانگی، بلکه در بخش‌های کشاورزی، انرژی و صنعت نیز در حال افزایش است و به‌رغم پیشرفت‌های شگرف در علوم مرتبط با آب، هنوز شکاف زیادی در دانش ما از چرخه آب و درک چگونگی تأثیر استفاده‌های رقابتی آب در بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعتی، تولید انرژی و مانند آن، بر این چرخه وجود دارد. به‌همین دلیل، به یک پایگاه دانش جامع و ادغام داده‌ها و اطلاعات پراکنده، برای پشتیبانی از سیاست‌ها، مقررات و تصمیم‌گیری‌ها، مبتنی بر آگاهی علمی از منابع آب نیاز داریم. این پایگاه، توسط نهادهای ملی باید ایجاد و داده‌های آن توسط یک فرآیند بین دولتی خاص، تأیید شود. تحقق این ایده، مستلزم ایجاد یک پلت‌فرم علمی-سیاستی بین دولتی برای پایداری آب است. یونسکو این ایده را به‌عنوان کمکی و راه‌کاری عملی برای حل چالش‌های مرتبط با آب، به کنفرانس آب ۲۰۲۳ سازمان ملل متحد ارائه داده است.
- می‌دانیم که آب‌های زیرزمینی برای تداوم حیات روی زمین ضروری است، اما بسیاری از سفره‌های زیرزمینی بیش از حد بهره‌برداری شده و یا آلوده شده‌اند. ما برای تعمیق دانش خود پیرامون آب‌های زیرزمینی و مدیریت پایدار آن، به تعهدات سطح بالا و اقدام‌های هماهنگ، نیاز فوری داریم. شاهد مثال آن که در سال ۲۰۲۱، تعداد ۴۶۸ آبخوان فرامرزی شناخته شد، اما تنها برای تعداد انگشت‌شماری از آن‌ها، ترتیبات مدیریت مشترک ایجاد شده است. دولت‌ها، بخش خصوصی و سایر گروه‌های ذی‌نفع، باید داوطلبانه متعهد به سرعت‌بخشیدن به همکاری‌های فرامرزی آب شوند.
- کارنامه اغلب دولت‌ها در حوزه مدیریت آب نشان می‌دهد که توجه کافی به آموزش و یا جذب و حفظ نیروی کار ماهر برای عرضه خدمات مناسب آب و فاضلاب ندارند. ایجاد ظرفیت‌های انسانی و نهادی به‌منظور بهبود سطح خدمات، بهره‌برداری و حفظ و نگهداری تاسیسات و نظارت بر عملکرد آن‌ها، از جمله موارد ضروری است که باید به آن همت گمارند.

جان کلام آن که مشارکت و همکاری برای تسریع در نیل هدف ششم توسعه پایدار (SDG 6) و تحقق حق مسلم بشر در برخورداری از خدمات مناسب آب و فاضلاب ضروری است و برای نیل به آن، نه تنها نیاز به آگاهی، باور و هنجار عمومی، کاملاً محسوس است، بلکه مهم‌تر از آن، ایجاد وحدت رویه و یک پاسخ واحد به آن است. روز جهانی آب، اهرمی برای شورای جهانی آب است تا به صدای واحد و قدرتمند جهانی، برای تحقق امنیت آبی بدل شود. به‌همین دلیل، مشارکت و همکاری، به‌عنوان موضوع گزارش توسعه جهانی آب، با هم‌افزایی یونسکو به نمایندگی از بخش آب سازمان ملل متحد (UN-Water) و بیش از ۳۰ آژانس سازمان ملل متحد، در ۲۲ مارس ۲۰۲۳ انتخاب شد و افزون بر ۱۵۰۰ خبر پیرامون آن، تنها در مدت ۱۰ روز تولید و به بیش از یک میلیارد نفر مخاطب در سراسر جهان رسید.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Simultaneous Analysis of Monthly Water Consumption, Air Temperature and Water Supply Network Pressure Using Copula Functions, Case Study: Zone No. One of Isfahan City

تحلیل همزمان مصرف ماهانه آب، دمای هوا و فشار شبکه آبرسانی با استفاده از توابع کوپلا، مطالعه موردی: منطقه یک شهر اصفهان

Mohammadhossein Keykhosravi^{1*}, Hamid R. Safavi²,
Mohammad H. Golmohammadi³ and Mohammad
Haytham Klaho¹

محمدحسین کیخسروی^{۱*}، حمیدرضا صفوی^۲، محمدحسین
گل محمدی^۳ و محمدهیثم کلاهو^۱

1- M.Sc. in Water Resources Management, Department of
Civil Engineering, Isfahan University of Technology,
Isfahan, Iran.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده
مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

2- Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan
University of Technology, Isfahan, Iran.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

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

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: mohammad.key1996@gmail.com

*Corresponding Author, Email:
mohammad.key1996@gmail.com

Received: 11/03/2022

Revised: 11/11/2022

Accepted: 15/11/2022

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Analysis and control of water consumption in water supply and distribution networks is important issues, given the country's climatic conditions and the fact that they can be of great help to designers and managers of water resources. Copula functions are suitable tools for multivariate analysis that do not have the limitations of classical multivariate distribution functions. In this study, two and three variables of factors affecting water consumption prediction using the copula functions of the Archimedean family in zone one of Isfahan city were investigated. The results showed that based on the goodness-of-fit criteria and Q-Q plot diagram, Frank joint function between two variables of monthly water consumption and network pressure for this region was selected as the superior function with a model parameter of -2.02 and in the three variables Gamble joint function was selected with correlation parameters 1, 1.05 and 1 for all cases. Considering the best copula function, the conditional cumulative distribution functions of the two variables and the conjunctive, seasonal and conditional return periods were analyzed to predict water consumption, which can be determined according to the specified return period and the numbers obtained in used managerial planning and finally the three-variable analysis was not evaluated due to inadequate correlation.

تحلیل و کنترل مصرف آب در شبکه‌های آبرسانی و توزیع آب، با توجه به شرایط اقلیمی کشور و این که می‌توانند کمک زیادی به طراحان و بهره‌برداران از منابع آب داشته باشند، دارای اهمیت هستند. توابع مفصل یا همان کوپلا ابزار مناسبی برای تحلیل‌های چند متغیره هستند که محدودیت‌های توابع توزیع چند متغیره کلاسیک را ندارند. در این تحقیق عوامل تأثیرگذار دو و سه متغیره بر پیش‌بینی مصرف آب با استفاده از توابع مفصل خانواده اشرمیدسی در منطقه یک شهر اصفهان مطالعه می‌شود. نتایج نشان داد براساس معیارهای نیکویی برازش و نمودار Q-Q plot، تابع مفصل فرانک بین دو متغیره مصرف ماهانه آب و فشار شبکه برای این منطقه به‌عنوان تابع برتر با پارامتر مدل -2.02 انتخاب شد و در بخش سه متغیره، تابع مفصل گامبل با پارامترهای ۱، ۱.۰۵ و ۱ برای تمامی حالات انتخاب شد. با استفاده از توابع کوپلای برتر، توابع توزیع تجمعی شرطی دو متغیره و دوره بازگشت‌های عطفی، فصلی و شرطی برای پیش‌بینی مصرف آب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که می‌توان با توجه به دوره بازگشت‌های مشخص و اعداد به‌دست‌آمده، آن‌ها را در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی به کار برد. همچنین لازم به ذکر است که تحلیل سه متغیره به دلیل نتایج همبستگی نامناسب مورد بررسی قرار نگرفت.

Keywords: Copula functions, Multivariate analysis, Return period, Urban water distribution networks.

کلمات کلیدی: تحلیل چند متغیره، توابع مفصل، دوره بازگشت، شبکه‌های توزیع آب شهری.

مفصل هماهنگی مناسبی با یکدیگر داشته و بنابراین نتیجه گرفت که برای تحلیل خشکسالی‌ها می‌توان از توابع مفصل بهره گرفت. همچنین تجزیه و تحلیل خشکسالی شامل محاسبه احتمال توأم و شرطی و دوره بازگشت‌های توأم و شرطی دومتغیره بر مبنای توابع مفصل، نشان داد که توابع مفصل ابزار مفیدی در بررسی متغیرهای خشکسالی هستند. (Fontanazza et al., 2014) تحلیل آماری چند متغیره پارامترهای موردنظر برای مدل‌سازی تقاضای آب روی هشت خانوار در شهر پالرمو ایتالیا را با استفاده از توابع کوپلا انجام دادند. این تحقیق روش آماری را برای تعریف الگوهای مصرف آب براساس دوره بازگشت و رویکرد احتمالاتی چند متغیره مطرح کرد. این روش سعی در اجتناب از فرض معمولی الگوی تقاضای آب ثابت برای شبیه‌سازی شبکه دارد. تقاضای آب برای دوره بازگشت داده با استفاده از الگوهایی که به لحاظ آماری در نظر گرفته شد، پیش‌بینی شد. تجزیه و تحلیل درصدی تقاضای آب برای دوره بازگشت داده شده نشان داد که روش پیشنهادی تولیدشده شامل الگوهای تقاضا بوده و یک ابزار قدرتمند برای کوپل شدن با مدل‌های شبکه توزیع آب برای مشکلات طراحی یا آنالیز خواهد بود. (Zhang et al., 2016) توزیع احتمال مشترک مبتنی بر تابع کوپلا چند متغیره برای تأمین و تقاضای آب در اراضی کشاورزی لوهان چین را بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از تابع کوپلای t -student، توزیع احتمال مشترک دو متغیره و سه متغیره بارندگی، تبخیر و تعرق و آب آبیاری با ضرایب همبستگی بالاتر ایجاد شده‌اند و توزیع‌های تجربی نمونه با توزیع‌های حاشیه‌ای هم‌خوانی دارند. خطر خشکسالی منطقه آبیاری را می‌توان از نظر کمی و با در نظر گرفتن احتمال مشترک ترکیب‌های مختلف بارش، تبخیر تعرق و آب آبیاری مورد ارزیابی قرار داد. (Zubaidi et al., 2018) تقاضای آب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در کوتاه‌مدت را با توجه به عوامل آب و هوایی پیش‌بینی کردند. هدف این تحقیق بررسی متغیرهای ورودی پتانسیل برای انتخاب بهترین ورودی مدل با به کارگیری چندین تکنیک آماری مختلف بود. هدف دوم این مطالعه تعیین پیش‌بینی دقیق تقاضای آب شهری در آینده با توجه به عوامل جوی بود. یک نکته کلیدی این مطالعه این است که انتخاب بهترین ورودی‌های مدل و عوامل شبکه عصبی مصنوعی مبنی بر روش‌های بهینه‌سازی، بهتر از استفاده از روش آزمون و خطا است. این تحقیق می‌تواند با ارزیابی اثرات متغیرهای آب و هوایی مختلف، بسته به در دسترس بودن داده‌ها، در مورد تقاضای آب برای مکان‌های مختلف در سراسر جهان، پیشرفت بیشتری داشته باشد. (Shang and Zhao (2021) تقاضای آب را با استفاده از روش

دسترس به آب سالم به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل رشد و توسعه جوامع بشری، از دیرباز مورد توجه انسان‌ها بوده است. از سوی دیگر افزایش تقاضا به دلیل افزایش جمعیت، فرسودگی و حوادث روزافزون شبکه‌های توزیع و انشعابات، تلفات زیاد در این شبکه‌ها و همچنین مشکلات تأمین بودجه برای بازسازی و نوسازی شبکه و مسائلی از این دست موجب شده است که موضوع تأمین و توزیع آب و مسائل مرتبط با آن جایگاهی فراتر از مسائل معمول مهندسی پیدا کرده و از جنبه‌های فرهنگی، اقتصادی، مدیریتی و حتی سیاسی و امنیتی مورد توجه قرار گیرد.

شبکه‌های توزیع آب به عنوان بخشی از تأسیسات آبرسانی به شهرها، یکی از اصلی‌ترین قسمت‌های پروژه‌های آبرسانی هستند، چرا که هزینه اجرایی آن‌ها در حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد هزینه کل یک سامانه آبرسانی را به خود اختصاص می‌دهد (منزوی، ۱۳۸۷). پیش‌بینی تقاضای آب یک ابزار اساسی برای طراحی، بهره‌برداری و مدیریت دستگاه‌های تأمین آب در فعالیت‌هایی هم‌چون برنامه‌ریزی یا توسعه سیستم، برآورد اندازه و بهره‌برداری از مخازن، ایستگاه‌های پمپاژ و ظرفیت‌های لوله و برای مسائل مدیریت آب شهری (سیاست‌های قیمت‌گذاری و محدودیت‌های مصرف آب) است (Herrera et al., 2010).

جمع‌آوری اطلاعات، آمار و برداشت‌های میدانی از متغیرهای دبی، فشار، مصرف آب، دمای هوا و غیره به همراه تجزیه و تحلیل آن‌ها در بهبود شرایط بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب و همچنین پیش‌بینی مصرف آن نقش مهمی در طراحی و بهره‌برداری از این شبکه‌ها دارند. لکن به دلیل وابستگی‌های این متغیرها به یکدیگر، استفاده از توابع احتمالاتی کلاسیک چند متغیره با محدودیت جدی مواجه است که عبارت است از: ۱- شکل توابع توزیع آماری پیچیده و استفاده از آن‌ها دشوار است؛ ۲- ارتباط خطی بین پارامترها برقرار نیست؛ به عبارتی متغیرها از هم مستقل هستند و ۳- باید جنس توزیع‌های تک متغیره یکسان باشد و نمی‌توان از دو یا چند نوع تابع مختلف استفاده کرد. به همین دلیل استفاده از توابع کوپلا (مفصل) به واسطه وجود ویژگی‌هایی چون توانایی شبیه‌سازی متغیرها بدون نیاز به فرض استقلال از قابلیت بالایی در تحلیل‌های چندمتغیره برخوردار هستند (Salvadori et al., 2007).

(Shiau (2006) برای اولین بار توابع مفصل را بر متغیرهای سختی و خشکسالی برازش داد. وی نشان داد که احتمال‌های توأم خشکسالی‌های مشاهده شده و احتمال‌های به دست آمده از توابع

یادگیری ماشین^۱ پیش‌بینی کردند. پارامترها در ارتباط با اقتصاد، جامعه، مصرف آب و دسترسی به منابع شناسایی شدند. یازده مدل آماری و یادگیری ماشین ساخته شدند که از داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۹ استفاده شد و از دو سناریوی برون‌یابی (مجموعه داده‌های تاریخی برای آموزش برای پیش‌بینی تقاضای آب در آینده) و درون‌یابی (آموزش و تست نمونه‌ها به‌طور تصادفی از کل مجموعه‌ها انتخاب می‌شوند) برای یافتن بهترین مدل استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل $GBDT^2$ بهترین عملکرد پیش‌بینی را در دو سناریو دارد. در انتها مدل‌های یادگیری ماشین عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های آماری داشتند. در تحقیقات داخلی نیز تابش و همکاران (۱۳۸۳) یک مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف روزانه آب شهری در تهران ارائه نمودند و در این راستا با استفاده از درجه حرارت هوا و مصرف آب روز قبل، میزان مصرف روز بعد را به‌دست آوردند. ملاباشی و علیان (۱۳۸۸) تأثیر تغییرات دمای هوا بر میزان مصرف آب شهری را در مطالعه موردی شهر کوهپایه اصفهان بررسی کردند. یکی از عوامل مؤثر بر میزان مصرف آب یک شهر را می‌توان دمای هوا در نظر گرفت. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد در شهر کوهپایه مصرف آب در هر ساعت با دمای هوا در همان ساعت وابسته است. با جمع‌آوری و اطلاع از دمای هوای هر منطقه و با توجه به اقلیم آن می‌توان مدل‌های خوبی را برای پیش‌گویی میزان مصرف ارائه کرد و از آن در بهره‌برداری کاربردی‌تر تأسیسات آبرسانی به‌ویژه برای پیش‌بینی زمان تعمیر تأسیسات مانند ایستگاه‌های پمپاژ با حداقل قطعی آب و مدیریت شرایط اضطراری استفاده کرد. جزی‌قاسمی و نوروزی (۱۳۹۹) تقاضای آب استان زنجان را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند. بدین منظور از داده‌های مربوط به متغیرهای نرخ شهرنشینی، بعد خانوار، توسعه شبکه توزیع آب، توان تولید و حجم برداشت آب سالیانه به‌عنوان متغیرهای پیش‌گویی تقاضای آب استفاده شد و براساس ۱۱ سناریو محتمل، میزان تقاضای آب، شبیه‌سازی شده و ساختار بهینه مدل خبره با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با پرسپترون چندلایه با چندلایه مخفی و تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک در لایه مخفی به‌دست آمد. مقایسه کمی و کیفی مدل خبره با مقادیر مشاهده‌شده با استفاده از معیار آماری (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE)، بیان کرد که مدل خبره شبکه عصبی مصنوعی کاربرد خوبی در پیش‌بینی تقاضای آب دارد.

در این تحقیق با استفاده از توابع کوپلا پارامترهای دو و سه متغیره مصرف ماهانه آب، دمای هوا و فشار شبکه آبرسانی بررسی

می‌شود. در مروری بر تحقیقات قبلی نشان داده شد که استفاده از توابع مفصل در زمینه شبکه آبرسانی، تحقیقات گسترده‌ای را به‌خود اختصاص نداده و بیشتر در مباحث خشک‌سالی، تأمین و تقاضای آب و حتی با روش‌های دیگری مثل شبکه‌های عصبی و به‌طور محدودی با توابع مفصل انجام شده که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. روش کار خلاصه‌وار بدین صورت است که در ابتدا تعیین توابع توزیع تک متغیره و تخمین پارامترهای آن‌ها انجام شده، سپس همبستگی اولیه بین متغیرها بررسی و سپس با به‌دست آوردن پارامترهای مدل‌ها، در نهایت توابع مفصل ارشمیدسی برای تحلیل احتمالی دو و سه متغیره به‌طور جداگانه انجام و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. پس از آن، انتخاب بهترین تابع مفصل با معیارهای مختلف انجام که در برنامه‌های مدیریت و بهره‌برداری از شبکه آبرسانی، تحلیل ریسک، برنامه‌ریزی احتمالاتی و کنترل مصرف آب به کار می‌رود.

۲- مواد و روش‌ها

با توجه به اهمیت و هدف این تحقیق، گام‌های تحقیق معرفی می‌شود. ابتدا تعیین توابع توزیع تک متغیره و تخمین پارامترهای این توابع برای هرکدام از پارامترهای موردنظر انجام می‌شود. همبستگی اولیه بین متغیرها به‌صورت دو به‌دو با استفاده از ضرایب همبستگی تاوکندال، اسپیرمن و پیرسون تعیین می‌شود. همچنین احتمال تجربی یک، دو و سه متغیره نیز محاسبه می‌شود. کاربرد توابع مفصل ارشمیدسی برای تحلیل احتمالی دو و سه متغیره به‌طور جداگانه بررسی و با یکدیگر مقایسه خواهد شد. پس از آن انتخاب بهترین تابع مفصل با معیارهای مختلف، ارزیابی مدل‌ها (AIC, BIC, RMSE و...) صورت می‌پذیرد. در نهایت استفاده از مدل منتخب برای محاسبه تابع توزیع تجمعی شرطی، دوره بازگشت‌های شرطی، "و" و "یا" به‌صورت دو متغیره انجام می‌شود.

۲-۱- تعیین ضرایب همبستگی متغیرها

ضرایب همبستگی شاخص‌های ریاضی هستند که جهت و مقدار همبستگی بین دو متغیر را توصیف می‌کنند و در مورد توزیع‌های احتمالاتی برای شناخت ارتباط بین متغیرها به کار می‌روند. طبق اصلی که در این مورد وجود دارد اگر ضرایب همبستگی بدون در نظر گرفتن نوع آن‌ها، برابر با صفر باشد همبستگی وجود ندارد. اگر بزرگ‌تر از صفر باشد همبستگی مستقیم است، یعنی هر دو متغیر با هم بزرگ یا کوچک می‌شوند

اسکلار دارد. تابع توزیع تجمعی مشترک $H(x,y)$ از هر جفت (X,Y) از متغیرهای تصادفی پیوسته به فرم رابطه (۵) نوشته می‌شود:

$$H(x,y) = C(F(x), G(y)) \quad x,y \in R \quad (۵)$$

که $F(x)$ و $G(y)$: توزیع حاشیه‌ای و دارای تابع چگالی احتمال یکنواخت تابع مفصل هستند.

در صورتی که تابع چگالی احتمال متغیرهای X و Y پیوسته باشند و با $f(x)$ و $f(y)$ نشان داده شوند، تابع چگالی احتمال ترکیب آن‌ها به صورت رابطه (۶) است.

$$f(x,y) = c(f_x(x), f_y(y)) \quad (۶)$$

که c : تابع چگالی احتمال تابع مفصل C است که طبق رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$c(u,v) = \frac{\partial^2 c(u,v)}{\partial u \cdot \partial v} \quad (۷)$$

که u,v (توابع توزیع تجمعی که به طور جداگانه بر روی متغیرهای موردنظر برازش داده می‌شوند و محدوده آن‌ها بین صفر و یک است)، احتمال حاشیه‌ای دو متغیر مورد بررسی هستند (Nelsen, 2006).

۲-۳- روش تخمین پارامتر توابع مفصل

در این تحقیق از روش درست‌نمایی حداکثر استفاده شده است که متداول‌ترین روش برای تخمین پارامترها است. این روش، شیوه محاسباتی مناسبی برای برازش توزیع‌های فراوانی با استفاده از منابع مختلف اطلاعاتی عرضه می‌نماید. اساس این روش به دنبال بهترین مقدار یک پارامتر توزیع احتمال است که باید مقداری باشد که درست‌نمایی یا احتمال توأم رخ دادن نمونه مشاهده شده را به حداکثر برساند. لذا در عمل، بسیار راحت‌تر است که با لگاریتم تابع درست‌نمایی کار شود و به صورت رابطه (۸) مورد استفاده قرار می‌گیرد (صفوی، ۱۳۹۹):

$$lnl = \sum_{i=1}^n ln[C(u,v)] \quad (۸)$$

که حداکثر مقدار lnl در $\frac{\partial(lnl)}{\partial \theta} = 0$ اتفاق می‌افتد و θ پارامتر تابع مفصل است.

می‌توان برای تخمین پارامترهای توابع مفصل در حالت سه متغیره، از روش سلسله مراتبی استفاده نمود، به این صورت که از پارامتر θ_1 تابع مفصل $C_{\theta_1}(x,y)$ در حالت دو متغیره، پارامتر θ_2 تابع مفصل $C_2(C_1(x,y), F(z), \theta_2)$ در حالت سه متغیره محاسبه می‌شود. شایان ذکر است که انتخاب اولیه متغیرهای

و اگر کوچک‌تر از صفر باشد، همبستگی معکوس است. اگر این ضرایب برابر با ۱ باشد همبستگی را کامل گویند (علیزاده، ۱۳۸۸). ضریب کندال: برای یک سری از داده‌های (X, Y) که $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ و $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ ، ضریب همبستگی تاو کندال از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (She and Xia, 2018):

$$\tau = \frac{2}{n * (n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}((x_i - x_j)(y_i - y_j)) \quad (۱)$$

که n : تعداد داده‌ها و $\text{sgn}(x)$: تابع سیگنال است که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

ضریب اسپیرمن: این ضریب معادل ضریب همبستگی پیرسون در داده‌های کمی است و مبتنی بر رتبه داده‌ها محاسبه می‌شود که از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$\rho = 1 - \frac{6 * \sum d^2}{n * (n^2 - 1)} \quad (۳)$$

برای محاسبه این ضرایب ابتدا به تمام X ها و Y ها برحسب مقادیرشان رتبه داده می‌شود. سپس تفاضل بین رتبه‌های زوج با d و تعداد داده‌های یکی از دو گروه با n نشان داده می‌شود (She and Xia, 2018).

ضریب پیرسون: این ضریب به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت ارتباط بین دو متغیر فاصله‌ای یا نسبی و یک متغیر نسبی و یک متغیر فاصله‌ای به کار می‌رود که از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1) * \sqrt{S_x^2 * S_y^2}} \quad (۴)$$

که $\bar{x}$ و $\bar{y}$: میانگین داده‌های X و Y و S_x^2 و S_y^2 واریانس داده‌ها هستند (She and Xia, 2018).

۲-۲- معرفی تابع توزیع مفصل چند متغیره

وابستگی بین متغیرهای تصادفی را می‌توان با تابع مفصل بیان کرد. این توابع غالباً برای تحلیل پارامترهای غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی استفاده از توابع مفصل، جداسازی توابع حاشیه‌ای و ساختار وابستگی متقابل است. بنابراین، تابع مفصل یک تابع توزیع تجمعی است که وابستگی داخلی متغیرها را در توزیع حاشیه‌های آن‌ها فراهم می‌کند (Joe, 1997; Nelsen, 2006). توجه به حالت دو متغیره با رویکرد تابع مفصل، برای مدل‌سازی وابستگی بین متغیرها، ریشه در قضیه

دومتغیره هیچ تأثیری در نتیجه ندارد (Saad et al., 2014).

۴-۲- توابع مفصل خانواده ارشمیدسی

(Salvadori and De Michele, 2007) بیان نمودند که توابع

مفصل ارشمیدسی ویژگی‌های بسیار مهمی دارند و نقش مؤثری را در کارهای هیدرولوژیکی ایفا می‌کنند. خانواده ارشمیدسی دسته‌ای از مدل‌های متنوع را هم از نظر ماهیت و هم میزان ارتباط بین متغیرها ارائه می‌کنند (Genest et al., 1998). در این تحقیق از چهار تابع معروف کلایتون، فرانک، گامبل و علی-میکائیل-حق که از خانواده ارشمیدسی هستند برای تحلیل‌های دو و سه متغیره پیش‌بینی مصرف آب استفاده شده است. در جدول ۱ توابع ارشمیدسی و روابط مربوط به آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- خانواده ارشمیدسی چند متغیره (Nelsen, 2006)

تابع	رابطه تابع مفصل	دامنه پارامتر
کلایتون	$\left(\sum_{i=1}^d u_i^{-\theta} - d + 1\right)^{-\frac{1}{\theta}}$	$(0, \infty)$
علی-میکائیل-حق	$\frac{\prod_{i=1}^d u_i}{1 - \theta \prod_{i=1}^d (1 - u_i)}$	$(-1, +1)$
گامبل	$\exp\left(-\left(\sum_{i=1}^d (-\ln u_i)^{\theta}\right)^{\frac{1}{\theta}}\right)$	$(1, \infty)$
فرانک	$-\frac{1}{\theta} \ln\left(1 + \frac{\prod_{i=1}^d (e^{-\theta u_i} - 1)}{(e^{-\theta} - 1)^{d-1}}\right)$	$(-\infty, +\infty)$

u, v : توابع توزیع تجمعی احتمال متغیرها، θ : پارامتر تابع مفصل، i : شمارشگر و d : نشان‌دهنده تعداد متغیرها هستند.

۵-۲- توابع توزیع احتمال تجمعی شرطی و دوره بازگشت توأم

و شرطی

بعد از انتخاب بهترین تابع مفصل برای حالت دو و سه متغیره، توابع توزیع تجمعی دو و سه متغیره و دوره‌های بازگشت برای حالت مختلف به‌دست می‌آید. برای مثال تابع توزیع تجمعی شرطی دومتغیره $Y \leq y$ به‌ازای مقادیر مختلف $X=x$ را می‌توان به‌صورت رابطه (۹) بیان نمود (Zhang and Singh, 2007).

$$F(x | Y \leq y) = \frac{F_{x,y}(x, y)}{F_y(y)} \quad (9)$$

دوره بازگشت دو متغیره "و" همان دوره بازگشت تقاطع $T_{x,y}^{\cap}$ دو متغیره برای رخدادهای $X \geq x$ و $Y \geq y$ است و به‌صورت رابطه (۱۰) تعیین می‌شود (Zhang and Singh, 2019).

$$T_{x,y}^{\cap} = T_{x,y}^{and} = \frac{1}{F(X \geq x \cap Y \geq y)} = \frac{1}{1 - F_x(x) - F_y(y) + F_{x,y}(x, y)} \quad (10)$$

که $F_{x,y}(x, y) = C(F_x(x), F_y(y)) = P(X \leq x \cap Y \leq y)$ تابع مفصل منتخب است.

دوره بازگشت دو متغیره در حالت "یا" همان دوره بازگشت تقاطع $T_{x,y}^{\cup}$ دو متغیره برای رخدادهای $X \geq x$ و $Y \geq y$ است و به‌صورت رابطه (۱۱) تعیین می‌شود (Zhang and Singh, 2019).

$$T_{x,y}^{\cup} = T_{x,y}^{or} = \frac{1}{F(X \geq x \cup Y \geq y)} = \frac{1}{1 - F_{x,y}(x, y)} \quad (11)$$

که $F_{x,y}(x, y) = C(F_x(x), F_y(y)) = P(X \leq x \cup Y \leq y)$ تابع مفصل منتخب است.

دوره بازگشت دو متغیره شرطی در حالت $X \geq x$ به‌ازای مقادیر مختلف $Y = y$ را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۲) بیان نمود (Zhang and Singh, 2019).

$$T(X \geq x | Y = y) = \frac{1}{1 - F(x | Y \leq y)} \quad (12)$$

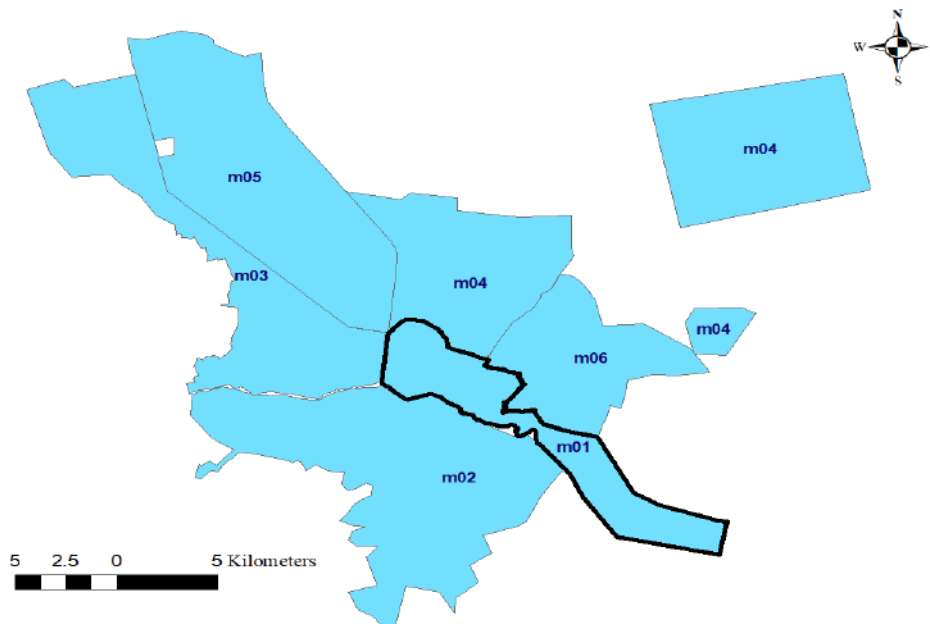
۳- منطقه مورد مطالعه

اصفهان شهری تاریخی و نیمه‌بیابانی است که در مرکز ایران قرار گرفته است. این شهر مرکز استان اصفهان و نیز مرکز شهرستان اصفهان است. شهرستان اصفهان با مساحتی حدود ۱۵۷۷۴.۳۸۹ کیلومتر مربع بعد از تهران و مشهد، سومین شهر بزرگ ایران است. این شهر دارای طول جغرافیایی ۴۰ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی است. ارتفاع شهر اصفهان از سطح دریاهای آزاد در نقاط مختلف آن متفاوت است، به‌طوری‌که در سواحل رودخانه زاینده‌رود ۱۵۵۰ متر و در مناطق مرتفع شهر تا ۱۶۵۰ متر هم می‌رسد. شهر اصفهان بر روی دشتی نسبتاً صاف با شیبی حدود ۳ درصد و به‌طرف شمال شرقی بنا شده است. توسعه شهر در طی قرون متمادی به سمت جنوب غربی بوده، زیرا در این منطقه آب فراوان‌تر و آلودگی نیز کمتر است. اجرای شبکه آبرسانی این شهر به سال ۱۳۳۵ برمی‌گردد و هم‌چنان با توسعه شهر، توسعه شبکه توزیع آب در این شهر انجام می‌شود (مجله اداره کل هواشناسی استان اصفهان، ۱۳۹۴).

شهر اصفهان دارای شش منطقه به لحاظ تقسیم‌بندی شرکت آب و فاضلاب اصفهان است که در این تحقیق منطقه یک شهر اصفهان به‌عنوان نمونه که داده‌های موردنیاز حداقلی را داشته، بررسی می‌شود. در شکل ۱ موقعیت این بخش نسبت به مناطق دیگر شهر اصفهان نشان داده شده است. برای تعیین سه متغیر

وزنی از بخش‌های مرتبط با هر فشارسنج برای هرماه محاسبه شد. آمار ماهیانه این سه متغیر برای سه سال از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این مطالعه موردی بررسی همزمان اثر دمای هوا و فشار شبکه بر روی مصرف آب است.

دمای میانگین (درجه سانتی‌گراد)، مصرف ماهانه آب (مترمکعب) و نیز فشار شبکه (متر آب) در منطقه یک آبفای شهر اصفهان، از آمار هواشناسی و نیز شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان استفاده و فشار شبکه با توجه به نقاط اندازه‌گیری فشار و میانگین‌گیری



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه یک آبفای شهر اصفهان نسبت به کل شهر اصفهان

برخوردار است، تحلیل و ارزیابی نتایج به دو پارامتر مصرف ماهانه آب و فشار شبکه اختصاص می‌یابد.

در این تحقیق باید توابع توزیع تک متغیره حاکم بر هر متغیر تعیین شود. در جدول ۳ بهترین توابع برازش داده‌شده بر هر سه متغیر میزان مصرف ماهانه آب، فشار شبکه و دمای هوا درج شده است. لازم به ذکر است که برآورد پارامترهای توزیع آماری و همچنین آزمون نیکویی برازش برای انتخاب بهترین تابع توزیع حاشیه‌ای، از نرم‌افزار EasyFit استفاده شد که برپایه روش آزمون اندرسون دارلینگ و آزمون کلموگروف اسمیرنف هستند.

۴- نتایج و بحث

برای بررسی همبستگی متغیرها در این تحقیق از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. در جدول ۲ نتایج ضرایب همبستگی دو به دو این سه متغیر نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده همبستگی متوسط و مستقیمی بین مصرف ماهانه آب و دمای هوا و همبستگی معکوسی بین مصرف ماهانه آب و فشار و همچنین همبستگی متوسط و معکوسی بین فشار و دمای هوا وجود دارد. نهایتاً با توجه به این که تغییرات فشار در شبکه از اهمیت بیشتری

جدول ۲- مقادیر ضرایب همبستگی بین پارامترها

ضریب همبستگی	مصرف ماهانه آب و فشار	فشار و دمای هوا	مصرف ماهانه آب و دمای هوا
تاو کندانال	-۰/۲۰	-۰/۴۸	۰/۳۶
اسپیرمن	-۰/۲۹	-۰/۶۶	۰/۵۷
پیرسون	-۰/۳۳	-۰/۶۸	۰/۵۸

جدول ۳- نتایج حاصل از تخمین پارامتر توابع توزیع حاشیه‌ای منتخب بر داده‌ها در منطقه یک

متغیر	تابع توزیع منتخب	پارامترهای توابع توزیع احتمال منتخب بر داده‌ها			
		M	Σ	k	α
مصرف ماهانه آب	مقادیر حدی تعمیم یافته	۱۴۱۰۳۲۰	۲۵۰۳۵۶	-۰/۲۷	-
فشار	لجستیک	۱۴/۵۱	۲/۲۳	-	-
دمای هوا	ویبول	-	-	-	۱/۹۷
					۱۹/۷۲

با توجه به این که هدف اصلی این پژوهش مدل‌سازی توأمان سه متغیره است، به‌منظور تکمیل راه‌کار مورد استفاده توابع مفصل معرفی شده، پارامترهای چهار تابع از توابع مفصل خانواده ارشمیدسی (کلایتون، فرانک، گامبل و علی-میکائیل-حق)

محاسبه شدند. سپس با روش سلسله مراتبی پارامترها در حالت سه متغیره محاسبه شد. نتایج تعیین این پارامترها برای چهار نوع تابع به‌صورت دو متغیره در جدول ۴ و به‌صورت سه متغیره در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴- مقادیر پارامتر θ توابع مفصل ارشمیدسی در منطقه یک آبفای شهر اصفهان

توابع مفصل دو متغیره	پارامتر	تخمین پارامتر θ_{PW} بین فشار و مصرف ماهانه آب	دامنه پارامتر
کلایتون	θ	۰	$(0, \infty)$
فرانک	θ	$-2/0.2$	$(-\infty, +\infty)$
گامبل	θ	۱	$(1, \infty)$
علی میکائیل-حق	θ	-0.97	$(-1, 1)$

جدول ۵- مقادیر θ توابع مفصل ارشمیدسی سه متغیره به‌صورت دو متغیره مفصل شده با متغیر سوم منطقه یک آبفای شهر اصفهان

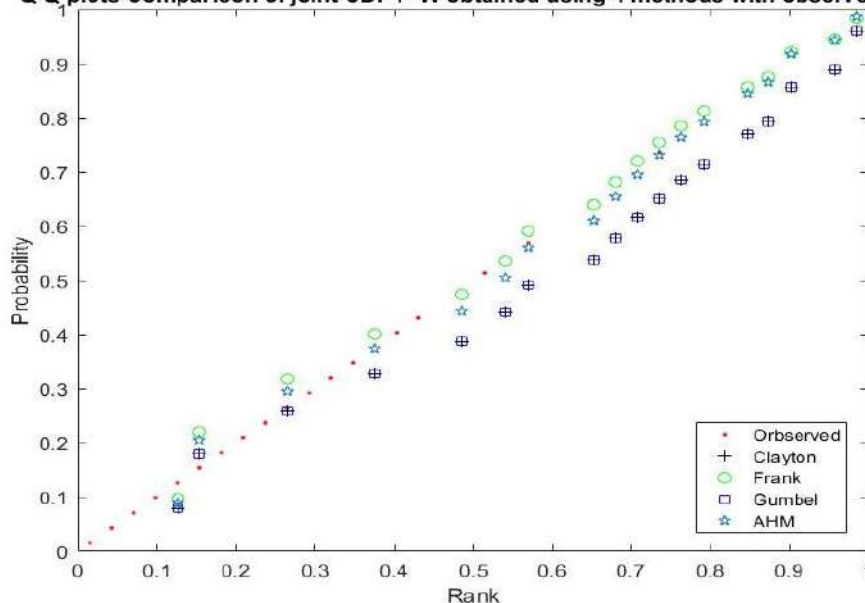
توابع مفصل سه متغیره	پارامتر	تخمین پارامتر $C2(C1(P, W), F(T), \theta_2)$	تخمین پارامتر $C2(C1(P, T), F(W), \theta_2)$	تخمین پارامتر $C2(C1(W, T), F(P), \theta_2)$	دامنه پارامتر
کلایتون	θ_2	۰	$0/0.6$	۰	$(0, \infty)$
فرانک	θ_2	$-0/0.4$	$0/0.51$	$-2/0.56$	$(-\infty, +\infty)$
گامبل	θ_2	۱	$1/0.5$	۱	$(1, \infty)$

که p : فشار شبکه آبرسانی، w : مصرف ماهانه آب و T : دمای هوا هستند.

با توجه به این که نتایج حاصل از تابع علی-میکائیل-حق در محدوده دامنه پارامتر نبود از ارائه پارامترهای آن خودداری شد. بعد از این که پارامترهای توابع مفصل برآورد شد، مهم‌ترین گام برای تحلیل چند متغیره، انجام آزمون‌های نیکویی برازش و انتخاب بهترین تابع مفصل است. بنابراین در این تحقیق از آزمون گرافیکی $Q-Q$ plot که با استفاده از نمودار تابع مفصل تجربی است و از پنج معیار نیکویی برازش برای انتخاب بهترین تابع مفصل دو و سه متغیره استفاده شد. در شکل ۲ منحنی $Q-Q$

$plot$ بین فشار و مصرف ماهانه آب در منطقه یک نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تابع فرانک به خط زاویه ۴۵ درجه نزدیک‌تر از بقیه توابع و در نتیجه مناسب‌تر است. جدول ۶ نشان‌دهنده نتایج آزمون نیکویی برازش برای توابع مفصل دو متغیره بین فشار و مصرف ماهانه آب است. جدول‌های ۷ الی ۹ نیز نشان‌دهنده نتایج نهایی آزمون نیکویی برازش برای توابع مفصل سه متغیره بین فشار، دمای آب و مصرف ماهانه آب هستند.

Q-Q plots Comparison of joint CDF P-W obtained using 4 methods with observed one



شکل ۲- منحنی‌های $Q-Q$ plot بین فشار و مصرف ماهانه آب منطقه یک آبفای شهر اصفهان

جدول ۶- نتایج آزمون نیکویی برازش توابع مفصل دو متغیره بین فشار و مصرف ماهانه آب در منطقه یک آبفای شهر اصفهان

تابع مفصل	پارامتر	حداکثر درست نمایی	آکائیکه	خطای جذر میانگین مربعات	نش-ساتکلیف
کلایتون	۰	۱۱۱/۲۸	-۲۲۲/۵۶	۰/۲۷۳	۰/۹۳۶
فرانک	-۲/۰۲	۱۱۵/۷۸	-۲۳۱/۵۷	۰/۲۴۱	۰/۹۵۱
گامبل	۱	۱۱۱/۲۸	-۲۲۲/۵۶	۰/۲۷۳	۰/۹۳۶
علی میکائیل-حق	-۰/۹۷	۴۳/۲۸	-۸۶/۵۶	۱/۸۰۳	-۱/۷۷۸

جدول ۷- منتخب نتایج آزمون نیکویی برازش سه متغیره براساس سلسله مراتبی $C2(C1(P,W),F(T),\theta2)$

تابع مفصل	پارامتر	حداکثر درست نمایی	آکائیکه	خطای جذر میانگین مربعات	نش-ساتکلیف
گامبل	۱	۷۰/۵۱	-۱۴۱/۰۲	۰/۸۴۶	۰/۵۰۸

جدول ۸- منتخب نتایج آزمون نیکویی برازش سه متغیره بر اساس سلسله مراتبی $C2(C1(P,T),F(W),\theta2)$

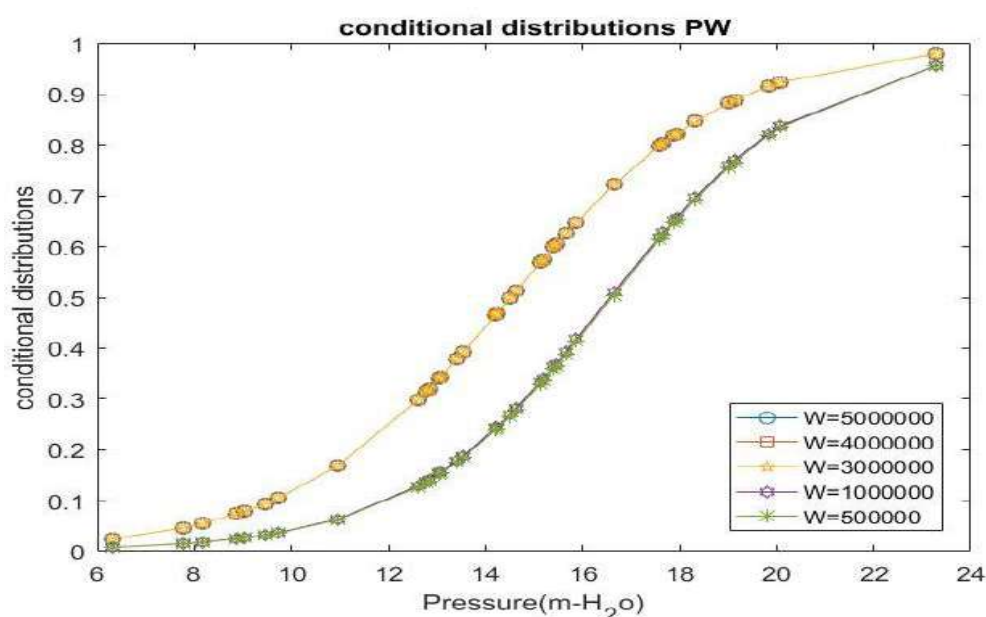
تابع مفصل	پارامتر	حداکثر درست نمایی	آکائیکه	خطای جذر میانگین مربعات	نش-ساتکلیف
گامبل	۱/۰۵	۵۰/۴۴	-۱۰۰/۸۸	۱/۴۷۸	۰/۱۱

جدول ۹- منتخب نتایج آزمون نیکویی برازش سه متغیره بر اساس سلسله مراتبی $C2(C1(W,T),F(P),\theta2)$

تابع مفصل	پارامتر	حداکثر درست نمایی	آکائیکه	خطای جذر میانگین مربعات	نش-ساتکلیف
گامبل	۱	۹۱/۴۶	-۱۸۲/۹۱	۰/۴۷۳	۰/۷۲۲

عمل شد و با توجه به معیارهای نیکویی برازش برای سه حالت بیان شده در قبل، تابع مفصل گامبل انتخاب شد. همچنین در شکل ۳ تابع توزیع تجمعی شرطی براساس تابع مفصل برگزیده بین مصرف ماهانه آب و فشار به ازای مقادیر معینی از مصرف ماهانه آب نشان داده شده است که با بالا رفتن فشار شبکه و افزایش مصرف ماهانه آب، احتمال شرطی دو متغیره با افزایش روبه‌رو است.

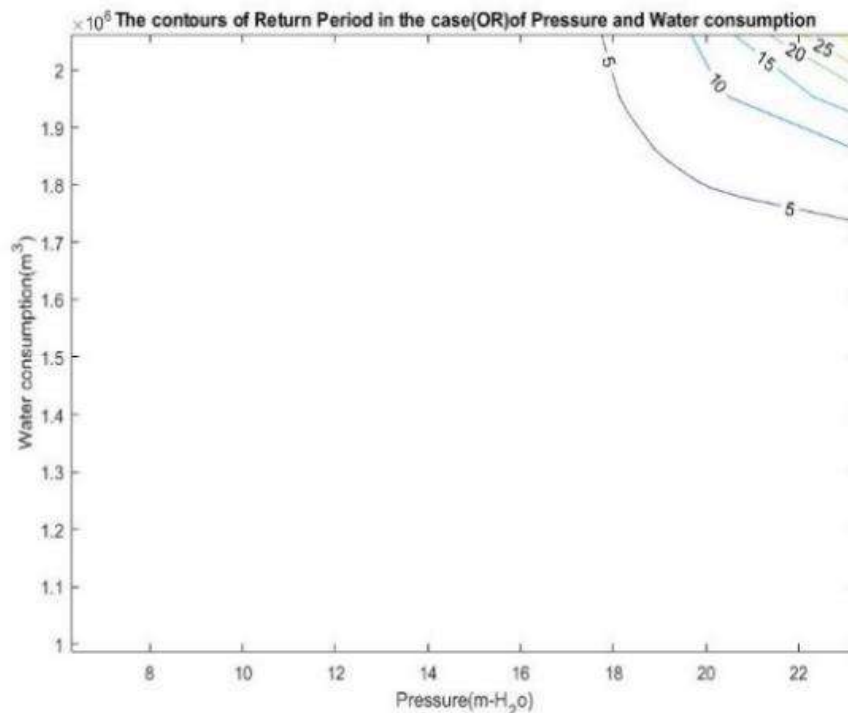
براساس معیار نش-ساتکلیف که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی مدل است که هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد بهتر است. همچنین خطای جذر میانگین مربعات هرچه کمتر باشد، مدل دقت بیشتری دارد. بنابراین تابع مفصل فرانک به‌عنوان بهترین تابع مفصل دو متغیره بین فشار و مصرف ماهانه آب با توجه به معیارهای نیکویی برازش انتخاب شد. به‌همین ترتیب برای انتخاب بهترین تابع مفصل سه متغیره با روش سلسله مراتبی به این روش



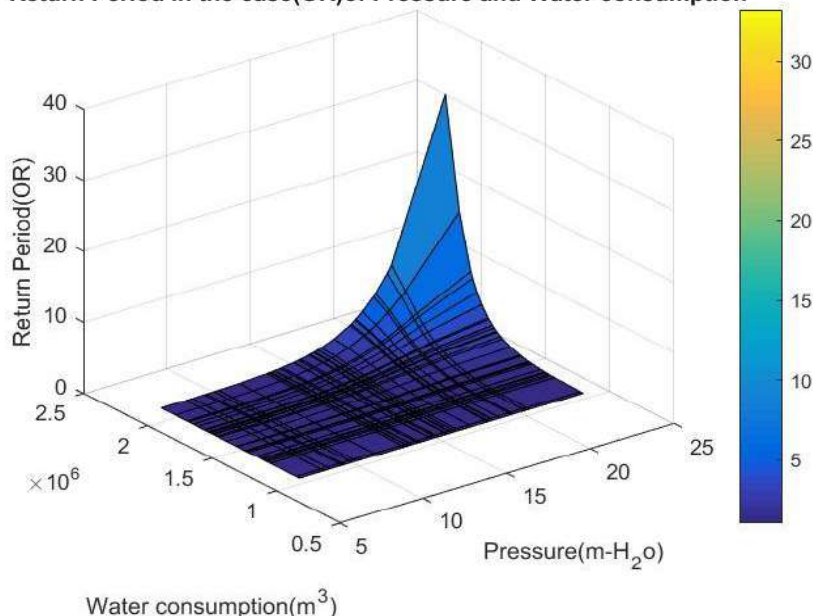
شکل ۳- احتمال توزیع تجمعی شرطی بین مصرف ماهانه آب و فشار در منطقه یک آبفای شهر اصفهان به‌ازای مقادیر معین از مصرف ماهانه آب با تابع مفصل فرانک

بیشتر از ۲۰ متر آب و دوره بازگشت ۵ سال (احتمال ۲۰ درصد) مقدار مصرف آب بیشتر از ۱/۸ میلیون مترمکعب خواهد بود. اعداد به‌دست‌آمده در هنگام طراحی شبکه‌ها و نیز شیوه‌های مدیریت مصرف آب با تنظیم فشار در شبکه‌ها به‌کار برده می‌شوند. در حالت شرطی هم با توجه به فرمول‌های ارائه‌شده، یکی از متغیرها باید از یک مقداری بیشتر و دیگری عددی ثابت باشد.

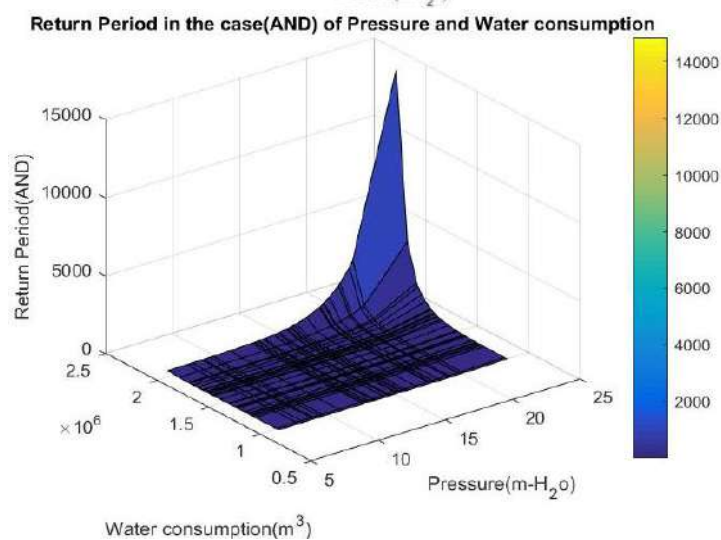
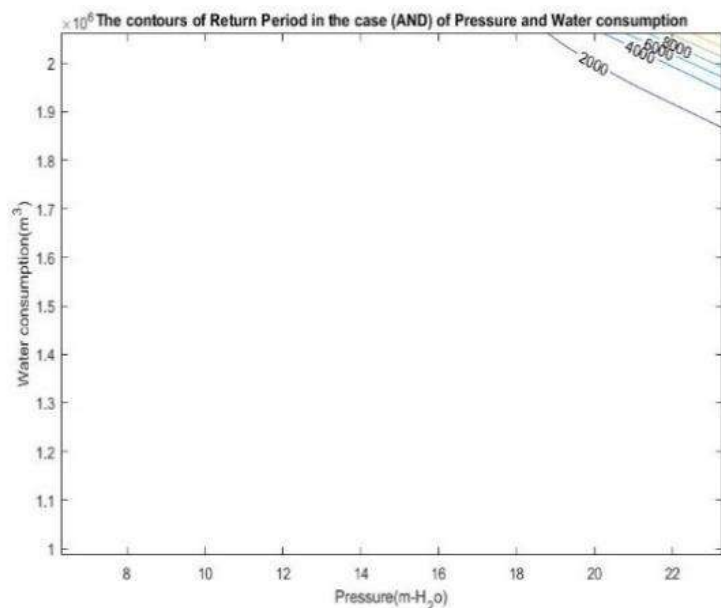
در نهایت در شکل ۴ دوره بازگشت‌های فصلی با تابع فرانک بین مصرف ماهانه آب و فشار شبکه، شکل ۵ دوره بازگشت عطفی و شکل ۶ دوره بازگشت‌های شرطی بین این دو متغیر نشان داده شده است. به‌عنوان نمونه در شکل ۴ باید یکی از پارامترها بیشتر از آستانه خاصی باشد؛ به‌دلیل این‌که تابع مورد نظر از جنس "یا" است، در صورتی‌که اگر تابع "و" برقرار بود باید هر دو مقدار از آستانه خاصی بیشتر باشند. با فرض فشار



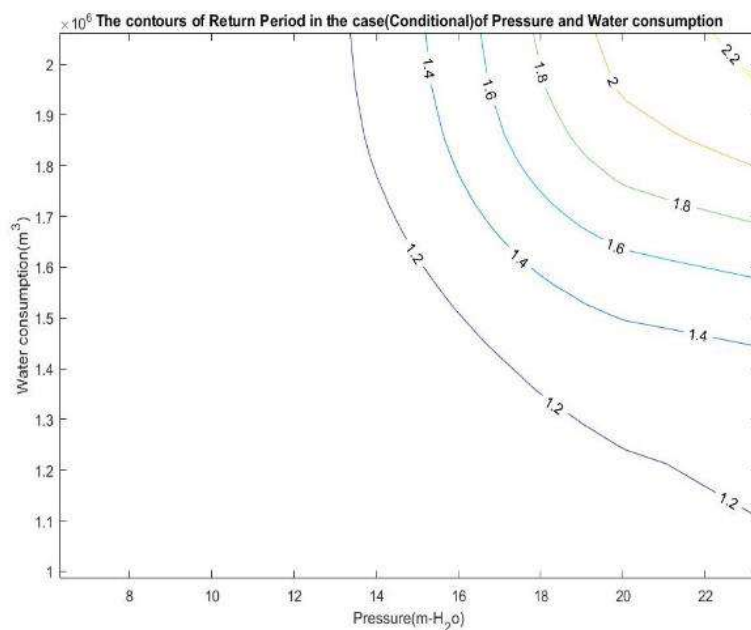
Return Period in the case(OR)of Pressure and Water consumption

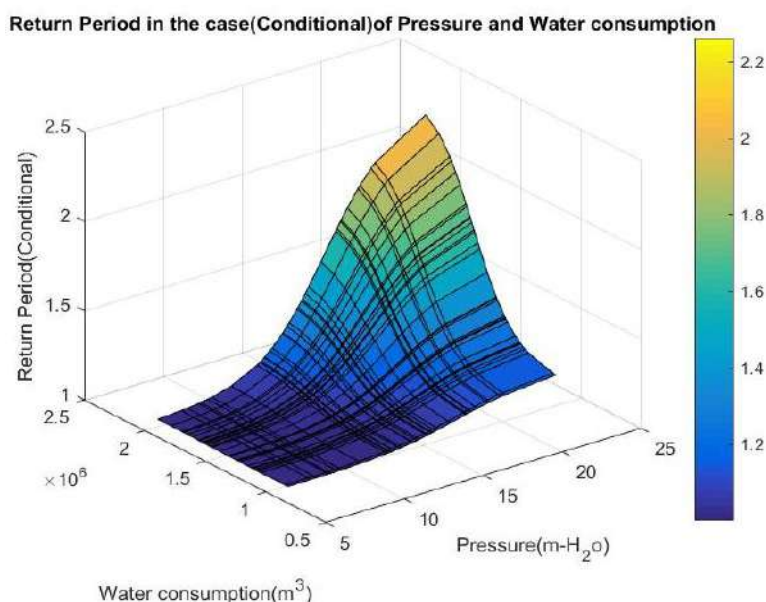


شکل ۴- خطوط کانتوری دوره بازگشت "یا" و دوره بازگشت "یا" دو متغیره با تابع فرانک (مصرف ماهانه آب و فشار) منطقه یک آبفای شهر اصفهان



شکل ۵- خطوط کانتوری دوره بازگشت "و" و دوره بازگشت "و" دومتغیره با تابع فرانک (مصرف ماهانه آب و فشار) منطقه یک آبفای شهر اصفهان





شکل ۶- خطوط کانتوری دوره بازگشت شرطی و دوره بازگشت شرطی دو متغیره با تابع مفصل فرانک (مصرف ماهانه آب و فشار) منطقه یک آبفای شهر اصفهان

۵- نتیجه‌گیری

به شکل سه متغیر با هم انجام شد که علی‌رغم تلاش‌های زیاد جواب‌های منطقی حاصل نشد. زیرا زمانی که مقایسه‌ای هم‌زمان بین سه متغیر انجام شد نشان داد به دلیل این که فشار شبکه پائین است با افزایش دمای هوا، مصرف آب به ناچار کاهش می‌یابد. این موضوع باعث همبستگی نامناسبی بین متغیرها می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده تابع فرانک با پارامتر $2/02$ به عنوان بهترین تابع مفصل بین دو متغیر مصرف ماهانه آب و فشار انتخاب شد و در بخش سه متغیره که به روش سلسله مراتبی انجام شد، تابع مفصل گامبل با پارامترهای ۱، $1/05$ و ۱ برای تمامی حالات انتخاب شد. نحوه انجام کار بدین صورت است که اولین و دومین متغیر باهم مفصل شده‌اند. سپس مفصل حاصل از آن با متغیر سوم دوباره مفصل شده است.

با توجه به اهمیت تحلیل متغیرهای شبکه آب با یکدیگر برای مدیریت شبکه به‌ویژه در مدیریت مصرف آب، احتمال تجمعی شرطی دو متغیره براساس تابع کوپلا انتخابی در حالت‌های مختلف برای این متغیرها محاسبه و ترسیم شد. نشان داده شد که هرچه فشار شبکه بیشتر باشد، با افزایش مقادیر مصرف ماهانه آب، احتمال شرطی دو متغیره به‌ازای مقادیر معین از مصرف ماهانه آب افزایش می‌یابد تا براساس آن برنامه‌های مدیریتی مصرف آب، تحلیل ریسک، برنامه‌ریزی احتمالاتی و به‌ویژه هشدار در مصرف آب انجام شود. هم‌چنین در حالت‌های مختلف با توجه به احتمالات مشخص، میزان مصرف ماهانه آب و فشار شبکه به دست آمد.

تحلیل و کنترل مصرف آب شهری کمک مؤثری به مدیران و بهره‌برداران سیستم‌های آب شهری است تا بتوانند نسبت به مدیریت صحیح به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت آب رو به‌رو هستند اقدام نمایند. در این راستا پیش‌بینی و تحلیل و کنترل دقیق مصرف که خود می‌تواند تابع عوامل متعدد باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق متغیر مصرف آب از شبکه آبرسانی به‌صورت تابعی از دمای هوا و فشار شبکه است که به دلیل اهمیت بیشتر فشار شبکه تحلیل‌های دو متغیره براساس آن مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله از توابع آماری کوپلا برای تحلیل و کنترل شبکه‌های آب استفاده شد؛ بدین‌صورت که در ابتدا تعیین توابع توزیع تک متغیره و تخمین پارامترهای این توابع برای هر کدام از پارامترهای موردنظر انجام شد. سپس همبستگی اولیه بین متغیرها به‌صورت دوجه‌دو با استفاده از ضرایب همبستگی تاوکندال، اسپیرمن و پیرسون تعیین شد. در نهایت کاربرد توابع مفصل ارشمیدسی برای تحلیل احتمالی دو متغیره و سه متغیره به‌طور جداگانه بررسی و با یکدیگر مقایسه شد. پس از آن انتخاب بهترین تابع مفصل با معیارهای مختلف، ارزیابی مدل‌ها (AIC, BIC, RMSE و...) صورت پذیرفت. در نهایت استفاده از مدل منتخب برای محاسبه تابع توزیع تجمعی شرطی، دوره بازگشت‌های شرطی، "و" و "یا" به‌صورت دو متغیره انجام شد. لازم به ذکر است که تحلیل فراوانی

- Nelsen, R.B., (2006), *An introduction to copulas*, Springer, New York, MR2197664.
- Saad, C., El Adlouni, S., St-Hilaire, A., and Gachon, P., (2014), "A nested multivariate copula approach to hydrometeorological simulations of spring floods: The case of the Richelieu River (Québec, Canada) record flood", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(1), 275-294, <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0971-7>.
- Salvadori, G., De Michele, C., and Kottegoda, N.T., and Rosso, R., (2007), *Extremes in nature: An approach using copulas*, Springer, Netherlands.
- Salvadori, G., and De Michele, C., (2007), "On the use of copulas in hydrology: Theory and practice", *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(4), 369-380, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2007\)12:4\(369\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:4(369)).
- She, D., and Xia, J., (2018), "Copulas-based drought characteristics analysis and risk assessment across the loess plateau of China", *Water Resources Management*, 32(2), 547-564, <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1826-z>.
- Shiau, J.T., (2006), "Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas", *Water Resources Management*, 20, 795-815, <https://doi.org/10.1007/s11269-005-9008-9>.
- Shuang, Q., and Zhao, R.T., (2021), "Water demand prediction using machine learning method: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region in China", *Water*, 13(3), 310-326, <https://doi.org/10.3390/w13030310>.
- Zhang, J., Lio, X., and Guo, B., (2016), "Multivariate copula-based joint probability distribution of water supply and demand in irrigation district", *Water Resources Management*, 30, 2361-2375, <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1293-y>.
- Zhang, L., and Singh, V.P., (2007), "Trivariate flood frequency analysis using the Gumbel-Hougaard copula", *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(4), 431-439, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2007\)12:4\(431\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:4(431)).
- Zhang, L., and Singh, V.P., (2019), *Copulas and their applications in water resources engineering*, Cambridge University Press.
- Zubaidi, S.L., Gharghan, S.K., Dooley, J., Alkhaddar, R.M., and Abdellatif, M., (2018), "Short-term urban water demand prediction considering weather factors", *Water Resources Management*, 32(14), 4527-4542, <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2061-y>.



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

- 1- Machine Learning
- 2- Gradient Boosting Decision Tree
- 3- Root Mean Square Error

۷- مراجع

- نمایه اقلیمی اصفهان، (۱۳۹۴)، برگرفته از مجله اداره کل هواشناسی استان اصفهان، (<http://www.esfahanmet.ir/>).
- تابش، م، گوشه، س، و یزدان‌پناه، م.ج، (۱۳۸۳)، "ارائه یک رابطه برای پیش‌بینی مصرف روزانه آب شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، *اولین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران*.
- جزءقاسمی، ع، و نوروزی، ز، (۱۳۹۹)، "پیش‌بینی تقاضای آب شرب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی: مطالعه موردی استان زنجان"، *سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه شیراز، ایران*.
- صفوی، ح. ر، (۱۳۹۹)، *هیدرولوژی مهندسی، چاپ پنجم، انتشارات ارکان دانش*.
- علیزاده، ا، (۱۳۸۸)، *اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و پنجم، انتشارات امام رضا*.
- ملاباشی، آ، علیان، ت، و روشنی، س، (۱۳۸۸)، "بررسی تغییرات دمای هوا بر میزان مصرف آب شهری: مطالعه موردی شهر کوهاپه اصفهان"، *سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره‌برداری، ۳-۸، تهران*.
- منزوی، م. ت، (۱۳۸۷)، *آبرسانی شهری، انتشارات دانشگاه تهران، ایران*.
- Fontanazza, C.M., Notaro, V., Puleo, V., and Freni, G., (2014), "Multivariate statistical analysis for water demand modeling", *16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA, Procedia Engineering*, 89, 901-908, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.523>.
- Genest, C., Ghoudi, K., and Rivest, L.P., (1998), "Understanding relationships using copulas", by Edward Frees and Emiliano Valdez, *North American Actuarial Journal*, 2(3), 143-149, <https://doi.org/10.1080/10920277.1998.10595749>.
- Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J., and Perez-Garcia, R., (2010), "Predictive models for forecasting hourly urban water demand", *Journal of Hydrology*, 387(1-2), 141-150, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.00>.
- Joe, H., (1997), *Multivariate models and multivariate dependence concepts*, CRC Press.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Simultaneous Analysis of Monthly Water Clustering Shiraz Water Subscribers Based on the Value of Their Life Cycle and RFM Model

Azime Mozafari^{1*} and Razie Ranjbar²

1- Master of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Shiraz Water and Wastewater Company, Shraz, Iran.

2- Master of Industrial Engineering, Islamic Azad Shiraz University, Shraz, Iran.

*Corresponding Author, Email: azime.mozafari@yahoo.com

Received: 10/07/2022

Revised: 14/09/2022

Accepted: 26/11/2022

© IWAA

بخش‌بندی مشترکین آب شیراز بر اساس ارزش دوره عمر آن‌ها و مدل RFM

عظیمه مظفری^{۱*} و راضیه رنجبر^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، شرکت آب و فاضلاب شیراز، شیراز، ایران.

۲- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: azime.mozafari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۵

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

Due to the importance of identifying low water consumption subscribers, in this study, using data mining methods, segmentation and identification of water subscribers based on the life cycle value and RFM model are discussed. First, the values of RFM model indices for Shiraz water subscribers were extracted from the subscribers' database and pre-processed. After weighting these three indicators using hierarchical analysis, subscribers were segmented using self-organizing neural network; Then the lifetime value pyramid was drawn to identify key subscribers and clusters of key and valuable subscribers were identified. The results show that the water supply index is the most important and the recent payment index is the least important in determining the value of subscribers and based on this, subscribers were divided into six clusters. According to the life cycle value pyramid, the most valuable subscribers are located in cluster 3, which are mainly residential, commercial and industrial uses, are mainly residents of Zone 2, most of these subscribers have paid their bills on time and their water's amount is mostly low. By identifying valuable and key subscribers, suggestions were made to improve the service to subscribers by considering their value.

با توجه به اهمیت شناسایی مشترکین کم‌مصرف آب، در این پژوهش با استفاده از روش‌های داده‌کاوی، بخش‌بندی و شناسایی مشترکین آب براساس ارزش دوره عمر و مدل RFM انجام می‌شود. ابتدا مقادیر شاخص‌های مدل RFM برای مشترکین آب شیراز از پایگاه اطلاعات مشترکین استخراج شده و پیش‌پردازش شد. پس از وزن‌دهی به این سه شاخص با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مشترکین با استفاده از شبکه عصبی خودسازمان‌ده بخش‌بندی شدند. سپس هرم ارزش دوره عمر برای شناسایی مشترکین کلیدی رسم شده و خوشه‌های مشترکین کلیدی و با ارزش شناسایی شدند. نتایج نشان می‌دهند که شاخص مبلغ آب‌بها دارای بیشترین اهمیت و شاخص تازگی پرداخت دارای کمترین اهمیت در تعیین ارزش مشترکین بوده و بر این اساس مشترکین به شش خوشه تقسیم شدند. طبق هرم ارزش دوره عمر، با ارزش‌ترین مشترکین در خوشه ۳ قرار گرفته‌اند که عمدتاً کاربری مسکونی و تجاری و صنعتی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۲ هستند، اکثر این مشترکین قبوض خود را به‌موقع پرداخت نموده‌اند و مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً کم است. با شناسایی مشترکین با ارزش و کلیدی، پیشنهادهایی برای بهبود امر خدمت‌رسانی به مشترکین با در نظر گرفتن ارزشی که دارند، ارائه شد.

Keywords: Value of subscribers' lifespan, Hierarchical analysis, Self-organizing neural network, Shiraz Water and WasteWater Company.

کلمات کلیدی: ارزش دوره عمر مشترکین، تحلیل سلسله مراتبی، شبکه عصبی خودسازمان‌ده، شرکت آب و فاضلاب شیراز.

خوشه‌بندی^۲ است که به منظور استخراج و شناسایی الگو از بین حجم انبوه داده‌ها استفاده می‌شود. این تکنیک داده‌های مشابه را در یک خوشه قرار داده و الگویی را به عنوان نماینده ارائه می‌کند به طوری که این نماینده بیانگر رفتار داده‌های آن خوشه است (آموزگار، ۱۳۹۵). در بحث خوشه‌بندی، هدف این است که داده‌هایی که در یک خوشه قرار دارند بیشترین تشابه را با یکدیگر و کمترین تشابه را با اعضای خوشه‌های دیگر داشته باشند (کجوری و فریدونیان، ۱۳۹۴). از جمله تکنیک‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شود، شبکه عصبی مصنوعی^۳ خودسازمان‌ده^۴ است که بر پایه اتصال به هم پیوسته چندین واحد پردازشی به نام نرون^۵، ساخته می‌شود که در لایه‌های مشخصی آرایش یافته‌اند (Rosenblatt, 1962). مزایای این روش از جمله تحمل بالای داده‌های مغشوش^۶، کارکرد موازی، قابلیت استفاده زمانی که دانش بسیار کمی در مورد مسئله وجود دارد، استفاده از آن را در بسیاری از کاربردها افزایش داده است (Han et al., 2016). آموزش شبکه خودسازمان‌ده بر مبنای الگوریتم یادگیری بدون ناظر و فاصله اقلیدسی^۷ بنا شده است. پس از پایان مرحله آموزش، نقشه‌ای از نرون‌ها به دست می‌آید که در واقع چکیده‌ای از فضای مورد تحلیل شبکه است (Saggaf et al., 2003; Kreidler, 2018). داده‌های موجود در بانک اطلاعاتی مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز همواره در حال افزایش هستند، در حالی که در عمق این حجم داده‌ها، الگوها و روابط بسیار جالبی میان پارامترهای مختلف به صورت پنهان باقی می‌ماند که به شناسایی مشترکین و تعیین ارزش آن‌ها کمک می‌کند. این پژوهش درصدد است تا با استفاده از داده‌های موجود در بانک اطلاعاتی مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز، به بخش‌بندی آن‌ها بپردازد. شناسایی مشترکین مستلزم تحلیل مشترکین هدف و دسته‌بندی کردن آن‌ها است که به یافتن گروه‌هایی از مشترکین کلیدی براساس ویژگی‌های آن‌ها منجر می‌شود. به این ترتیب با استفاده از خوشه‌بندی می‌توان مشترکین مشابه را در گروه‌های یکسان دسته‌بندی نمود. اما سؤال اصلی این است که چگونه می‌توان مشترکین کلیدی را شناسایی کرد؟ ارزش دوره عمر مفهومی است که می‌تواند در این راستا کمک فراوانی نماید. بر این اساس، مدل پیشنهادی بر مدل RFM^۸ است که برای استخراج الگوهای رفتار مشتری استفاده می‌شود و سه فاکتور تازگی (R)^۹، تعداد دفعات (F)^{۱۰} و ارزش پولی (M)^{۱۱} را برای هر رکورد در نظر می‌گیرد (رزمی و قنبری، ۱۳۸۸؛ Buttle, 2018; Hughes, 1994; Cheng and Chen, 2009). در واقع در این مدل، فرض بر این است که مشترکین دارای ارزش بالای هریک

مصرف آب در ایران بیشتر از مصرف سرانه آب در مکان‌هایی است که از نظر آب و هوایی و زندگی اجتماعی و اقتصادی مشابه ایران هستند و لذا این موضوع نیازمند توجه ویژه به مدیریت مصرف آب است. رفتار مردم در مصرف آب به نگرش و میزان آگاهی آنان بستگی دارد (Foster and Beattie, 1981). لذا با توجه به شرایط کنونی بحران آب و افزایش تقاضا برای این ماده حیاتی و کالای ارزشمند، نگاه فراگیر به آب و مدیریت آن اهمیت خاصی دارد (امینی و همکاران، ۱۳۹۷-الف). برای اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت مصرف آب، لازم است رفتار مشترکین یا مصرف‌کنندگان بررسی و در صورت لزوم اصلاح شود. از این رو امروزه بررسی الگوها و نحوه مصرف آن از اهمیت بالایی برای شرکت‌های آب و فاضلاب برخوردار است و ارائه هرگونه راه‌کاری برای کاهش مصرف و جلوگیری از هدررفت آن بسیار با ارزش است. شرکت‌های آب و فاضلاب همواره برای جلب رضایت مشترکین، تامین و توزیع آب با قیمت مناسب و حداقل نمودن هزینه‌ها تلاش کرده‌اند. این اهداف هنگامی میسر خواهد شد که این شرکت‌ها شناخت و درک صحیحی نسبت به رفتار مشترکین داشته باشند (کجوری و فریدونیان، ۱۳۹۴).

امروزه با توجه به تولید حجم انبوهی از داده‌ها و ذخیره آن‌ها، بازیابی اطلاعات از چنین پایگاه‌های بزرگی، می‌تواند یکی از نقاط قوت یک سازمان محسوب شود. رویکردهای متعددی برای گردآوری، ذخیره، سازمان‌دهی و مدیریت کارآمد داده‌های موجود و رسیدن به نتایج معنی‌دار به کار گرفته شده‌اند که داده‌کاوی^۱ یکی از رویکردهای اخیر در این زمینه است که از طریق آن داده‌ها می‌توانند به صورت موثر ذخیره و استخراج شوند (Monika and Amarpreet, 2018). داده‌کاوی فرآیندی است که از ابزارهای تحلیلی گوناگونی برای کشف الگوها و روابط بین داده‌ها استفاده می‌کند (Berry and Linoff, 2016). از این رو فرآیندی است کاملاً علمی برای کشف دانش‌های پنهان و روابط ناشناخته بین داده‌ها که با نگرشی نو، به مسئله استخراج داده‌ها می‌پردازد (طباطبایی، ۱۳۹۸). داده‌کاوی مجموعه‌ای از روش‌هایی است که به شخص امکان می‌دهد تا ویرای داده‌پردازی معمولی حرکت کند و به استخراج اطلاعاتی که در انبوه داده‌ها مخفی و یا پنهان است، کمک می‌کند. داده‌کاوی همچنین می‌تواند به عنوان بخشی از فرایند بزرگتر کشف دانش در بانک‌های اطلاعاتی در محیط‌های مختلف در نظر گرفته شود (غضنفری، ۱۳۹۹).

یکی از کاربردی‌ترین تکنیک‌های داده‌کاوی، الگوریتم

از شاخص‌های مدل، بهترین مشترکین هستند، البته تا زمانی که در آینده همانند گذشته رفتار نمایند (Keiningham et al., 2006). دلیل استفاده از مدل RFM آن است که در این مدل فقط نگرش‌های مالی مطرح نیست و گرایش اصلی آن در تحلیل ویژگی‌ها، به سمت مسائل غیرمالی است (SeyedHosseini et al., 2011).

نظرات مختلفی پیرامون اهمیت شاخص‌های مدل RFM وجود دارد (Bin et al., 2008) که در این پژوهش به منظور رتبه‌بندی این شاخص‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^{۱۲} استفاده شده که یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^{۱۳} است. این روش که براساس مقایسات زوجی^{۱۴} بنا شده، وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌سازد و در نهایت یک الگوریتم ریاضی به‌گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل شود (مهرگان، ۱۳۹۷). به این ترتیب تحقیق حاضر در پی پاسخگویی به سه سوال زیر است:

سوال اول: اولویت و اهمیت شاخص‌های RFM در تعیین ارزش مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز چگونه است؟

سوال دوم: مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز را می‌توان به چند بخش یا خوشه تقسیم نمود و مشترکین هر خوشه چه ویژگی‌هایی دارند؟

سوال سوم: کدام مشترکین برای شرکت آب و فاضلاب شیراز ارزش بیشتری دارند؟

۲- روش تحقیق

شرکت‌های آب و فاضلاب داده‌های زیادی راجع به مشترکین خود

ذخیره و نگهداری می‌کنند. این درحالی است که در کشف دانش یا ارزش نهفته در این داده‌ها کم‌توان هستند. پایگاه داده مشترکین یکی از مهم‌ترین دارایی‌های این شرکت‌ها است که می‌تواند از آن برای توسعه استراتژی در درک بهتر رفتار مشترکین و مصرف‌کنندگان با استفاده از تجزیه و تحلیل مشخصات و رفتار مصرف هر مشترک استفاده نمایند. با توجه به اهمیت این موضوع، تحقیق حاضر با هدف بخش‌بندی مشترکین آب شیراز براساس مدل RFM انجام شده که برای این منظور از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌کاوی در کنار مفهوم مهمی به نام هرم ارزش مصرف مشترکین استفاده شده است.

از این‌رو تحقیق حاضر به‌دلیل انجام در یک مجموعه مشخص (شرکت آب و فاضلاب شیراز) براساس طبقه‌بندی بر مبنای هدف، از نوع تحقیقات کاربردی است، زیرا نتایج حاصل از آن می‌تواند مورد استفاده سازمان‌ها و شرکت‌های آب و فاضلاب در اتخاذ سیاست‌های مناسب قرار گیرد. تحقیق حاضر با روش پیمایشی - تحلیلی به اجرا درآمده که در آن با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌کاوی چارچوبی برای خوشه‌بندی و پیش‌بینی رفتار مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز ارائه شده است تا زمینه را برای شناسایی مشترکین کلیدی و انتخاب استراتژی‌های مناسب با توجه به ویژگی‌های مشترکین هر بخش فراهم نماید. داده‌های مورد استفاده از بانک اطلاعاتی مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز استخراج شده‌اند و پژوهش در قالب دوره زمانی مقطعی و در بازه زمانی مربوط به ۱۴۰۰/۰۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ انجام شده است و بانک اطلاعاتی مشترکین مورد استفاده در پژوهش شامل ۸۱۳،۶۸۵ رکورد یا مشترک است. مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

• بیان مسئله و تعیین هدف	گام اول
• جمع‌آوری، پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز	گام دوم
• نرمال‌سازی داده‌های تحقیق	گام سوم
• وزن‌دهی به شاخص‌های مدل RFM	گام چهارم
• تعیین ارزش شاخص‌های مدل RFM	گام پنجم
• خوشه‌بندی مشترکین	گام ششم
• تعیین متوسط ارزش شاخص‌های مدل در هر خوشه	گام هفتم
• تحلیل خوشه‌ای	گام هشتم
• محاسبه ارزش دوره عمر مشترکین هر خوشه	گام نهم
• تحلیل مشترکین براساس ارزش دوره عمر آن‌ها	گام دهم

شکل ۱- گام‌های انجام پژوهش

۳- یافته‌ها

۳-۱- جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌های تحقیق

یکی از مهم‌ترین مراحل فرایند استخراج دانش، جمع‌آوری داده‌های خام و شناسایی اطلاعات مفید برای حل مسئله است. پس از شناخت مسئله باید در پی شناسایی اطلاعات مفید برای

حل مسئله و انتخاب منابع داده مناسب بود. به‌طور کلی برای پیاده‌سازی تکنیک‌های داده‌کاوی باید معیارهایی در نظر گرفته شوند که بتوان براساس آن‌ها مشترکین را به گروه‌های مختلف خوشه‌بندی نمود. داده‌های مناسب از پایگاه داده مشترکین شرکت آب و فاضلاب در سال ۱۴۰۰ استخراج شد که به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- متغیرهای تحقیق

ردیف	شاخص	واحد	نوع داده	نوع متغیر	محدوده تغییر
۱	تعداد مشترکین	فقره	عددی	---	از ۱ تا ۸۱۳,۶۸۵
۲	نوع کاربری	---	اسمی	---	مسکونی، تجاری و صنعتی، عمومی و اداری، اماکن مذهبی و آموزشی، نظامی، غیردولتی
۳	محل سکونت	---	اسمی	---	از منطقه ۱ تا ۵
۴	آخرین پرداخت آب‌بها (R)	روز	تاریخ	معکوس	از ۰ تا ۱۰۳ روز
۵	تعداد دفعات پرداخت به‌موقع (F)	دفعه	عددی	مستقیم	از ۱ تا ۱۰ بار
۶	مبلغ هزینه‌های آب‌بها (M)	ریال	عددی	معکوس	از ۰ تا ۱۰,۵۲۱,۰۹۱ ریال

پس از شناخت نوع و ابعاد داده‌ها به منظور استخراج دانش مفید از میان آن‌ها باید داده‌ها را برای استفاده آماده کرد. به‌وسیله تکنیک‌های آماده‌سازی داده می‌توان کیفیت داده‌ها و در نتیجه کیفیت نتایج خروجی را افزایش داد. آماده‌سازی داده‌ها که تحت‌عنوان پیش‌پردازش شناخته می‌شود، بیشترین زمان را به‌خود اختصاص می‌دهد و طبق ارزیابی‌های انجام شده، یکی از مهم‌ترین مراحل کشف دانش است. به‌منظور آماده‌سازی داده‌های تحقیق حاضر نرم‌افزار Modeler به‌کار گرفته شده و اقدامات زیر انجام شده است:

- با توجه به این‌که برخی داده‌های عددی معکوس هستند، نیاز به نرمال‌سازی داده‌ها است. منظور از داده‌های معکوس عددی، داده‌هایی است که کمتر بودن آن‌ها نشان‌گر بالا بودن ارزش شاخص است. به‌عنوان مثال می‌توان از شاخص آخرین پرداخت نام برد.
 - شاخص «تعداد مشترکین» صرفاً بیان‌کننده تعداد رکوردهای موجود است و برای عملیات داده‌کاوی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.
- همان‌طور که در جدول ۱ بیان شده، شاخص آخرین پرداخت (R) مربوط به فاصله زمانی بین آخرین پرداخت آب‌بهای صورت‌گرفته توسط مشترک تا پایان دوره مورد بررسی است که کمتر بودن این فاصله نشان‌گر بالا بودن ارزش این شاخص در مدل است. لازم‌به‌ذکر است که دوره بررسی به‌صورت سالیانه بوده و منظور از پایان دوره مورد بررسی، پایان سال ۱۴۰۰ است.
- شاخص تعداد پرداخت به‌موقع (F) بیان‌گر تعداد دفعاتی است که مشترک در طول دوره زمانی یک ساله ۱۴۰۰، مبلغ آب‌بهای

خود را به‌موقع پرداخت نموده و بیشتر بودن آن نشان‌گر بالا بودن ارزش این شاخص در مدل است. لازم‌به‌ذکر است که تعداد پرداخت توسط تعداد دوره‌های قرائت مشترکین در طول سال ۱۴۰۰ تعیین می‌شود. شاخص ارزش پولی (M) بیان‌گر مبلغ هزینه آب‌بها است که کمتر بودن آن نشان‌گر بالا بودن ارزش این شاخص در مدل است. به این معنی که مشترک، کم‌مصرف بوده و آب‌بهای آن نیز کم شده است و لذا یک مشترک ارزشمند با مصرف کم محسوب می‌شود.

۳-۲- نرمال‌سازی داده‌های تحقیق

با توجه به این‌که آموزش شبکه خودسازمان‌ده بر مبنای فاصله اقلیدسی است، نرمال بودن داده‌های آموزش شبکه می‌تواند نقشه‌های خروجی را به‌شدت تحت‌تاثیر قرار دهد که با استفاده از روابط (۱) تا (۳) انجام می‌شود.

$$R' = \frac{R_{\max} - R}{R_{\max} - R_{\min}} \quad (1)$$

$$F' = \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \quad (2)$$

$$M' = \frac{M - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}} \quad (3)$$

که R ، F و M : مقادیر اصلی شاخص‌ها، $R_{\max}$ ، $F_{\max}$ و $M_{\max}$: بیشترین مقادیر شاخص‌ها، $R_{\min}$ ، $F_{\min}$ و $M_{\min}$: کمترین مقدار شاخص‌ها در طول سال ۱۴۰۰، R' ، F' و M' نیز مقادیر نرمال‌شده شاخص‌ها هستند.

۳-۳- وزن‌دهی به شاخص‌های مدل RFM

وزن نسبی شاخص‌ها، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شده و با W_R و W_F ، W_M نشان داده می‌شود. با استفاده از نظرات ۱۰ متخصص صنعت آب و فاضلاب، ماتریس مقایسات زوجی برای معیارها و گزینه‌ها نسبت به شاخص‌ها تشکیل و با کمک نرم افزار Expert Choice وزن گزینه‌ها محاسبه شد. طبق خروجی این روش، وزن‌های نسبی شاخص تازگی پرداخت معادل ۰/۳۰، تعداد پرداخت به‌موقع معادل ۰/۳۴ و مبلغ آب‌بها معادل ۰/۳۶ تعیین شد. هم‌چنین در پایان برای اطمینان از درستی جواب، نرخ سازگاری محاسبه شد. نرخ سازگاری شاخصی است که میزان صحت و درستی قضاوت‌ها را نشان می‌دهد و بدین منظور باید مقدار آن کمتر از ۰/۱ باشد. اگر این مقدار بیشتر از ۰/۱ باشد قضاوت‌ها متضاد و تصادفی در نظر گرفته می‌شود که باید در آن‌ها تجدیدنظر به‌عمل آید. در این پژوهش نرخ سازگاری برابر با ۰/۰۷ محاسبه شد که کمتر از ۰/۱ است. وزن‌های به‌دست آمده میزان اهمیت شاخص‌ها را نشان می‌دهند، به این ترتیب در این قسمت به سوال اول تحقیق پاسخ داده شده و شاخص مبلغ آب‌بها (M) دارای بیشترین اهمیت و شاخص تازگی پرداخت (R) دارای کمترین اهمیت در تعیین ارزش مشترکین است.

۳-۴- تعیین ارزش شاخص‌های مدل RFM

ارزش هر شاخص از ضرب مقدار نرمال شده آن در وزن آن طبق روابط (۴) تا (۶) تعیین شده و به‌ترتیب با R'' ، F'' و M'' نشان داده می‌شوند.

$$R'' = R' \times W_R \quad (4)$$

$$F'' = F' \times W_F \quad (5)$$

$$M'' = M' \times W_M \quad (6)$$

سپس متوسط ارزش هر یک از این شاخص‌ها با تقسیم مجموع ارزش آن شاخص در همه رکوردها به تعداد کل مشترکین طبق فرمول‌های (۷) تا (۹) تعیین می‌شود.

$$\bar{R}'' = \frac{\sum R''}{n} \quad (7)$$

$$\bar{F}'' = \frac{\sum F''}{n} \quad (8)$$

$$\bar{M}'' = \frac{\sum M''}{n} \quad (9)$$

پس از تعیین ارزش شاخص‌های مدل، مقدار متوسط ارزش شاخص‌ها طبق دستورالعمل گفته شده، محاسبه شد که برای فاکتور تازگی پرداخت معادل ۰/۱۱۴۲، تعداد پرداخت به‌موقع معادل ۰/۱۲۲۰ و مبلغ آب‌بها معادل ۰/۲۰۸۱ به‌دست آمد.

۳-۵- خوشه‌بندی مشترکین

برای خوشه‌بندی از شبکه عصبی خودسازمان‌ده استفاده شد و نتایج حاصل از خروجی شبکه در قالب نقشه‌های گرافیکی تحلیل می‌شود. این عملیات در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. برای انجام خوشه‌بندی، داده‌های آموزش شبکه از ۸۱۳،۶۸۵ بردار سه‌بعدی شاخص‌های مدل تشکیل شده که هر بردار نماینده یک رکورد از رکوردهای پایگاه داده مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز است. لازم‌به ذکر است که کلیه مشترکین انتخاب شده، دارای قرائت یکسان در بازه زمانی سال ۱۴۰۰ بوده‌اند.

در این قسمت به سوال دوم پاسخ داده شده و پس از انجام مراحل در پایان، ۶ بخش یا خوشه اطلاعاتی به‌دست آمد و هر یک از مشترکین در یکی از این خوشه‌ها قرار می‌گیرند. نتایج خوشه‌بندی در جدول ۲ ذکر شده است.

۳-۶- تعیین متوسط ارزش شاخص‌های مدل در هر خوشه

متوسط ارزش هر یک از شاخص‌ها در هر خوشه از تقسیم مجموع ارزش شاخص در آن خوشه به تعداد مشترکین آن خوشه تعیین می‌شود که به‌ترتیب با M_M'' ، M_F'' و M_R'' نمایش داده شده و در جدول ۳ قابل مشاهده‌اند.

۳-۷- تحلیل خوشه‌ای

این تحلیل از طریق مقایسه متوسط ارزش شاخص‌ها در هر خوشه با متوسط ارزش شاخص‌ها در کل داده‌ها و هم‌چنین با مقایسه رتبه‌های خوشه‌ها در هریک شاخص‌ها صورت می‌گیرد. این مقایسه مشخص می‌کند که متوسط ارزش هریک از شاخص‌های مدل در هر خوشه نسبت به متوسط ارزش این شاخص‌ها در کل داده‌ها در چه وضعیتی قرار دارند. برای هریک از شاخص‌ها، وضعیت مطلوب، وضعیتی است که متوسط ارزش شاخص در یک خوشه بهتر از متوسط ارزش آن شاخص در کل داده‌ها باشد و با علامت (↑) نشان داده می‌شود. وضعیت نامطلوب یعنی وضعیتی که متوسط ارزش شاخص در یک خوشه بهتر از متوسط ارزش آن در کل داده‌ها نباشد و با علامت (↓) نشان داده می‌شود. نتایج حاصل در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج خوشه‌بندی مشترکین شهر شیراز در سال ۱۴۰۰

خوشه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
تعداد مشترکین (فقره)	۴۰۱۵۲	۱۴۶۲۰۳	۲۷۱۱۰۲	۹۹۰۲۵	۲۰۱۰۲۵	۵۶۱۷۸
درصد مشترکین	۵	۱۸	۳۳	۱۲	۲۵	۷
نوع کاربری (درصد)	مسکونی و خانگی	۹۰	۹۱	۵۱	۸۰	۶۸
	تجاری و صنعتی	۵	۵	۳۴	۱۴	۲۶
	عمومی و اداری	۲	۱	۵	۲	۱۰
	اماکن مذهبی و آموزشی	۱	۱	۱	۱	۵
	نظامی	۱	۱	۱	۱	۳
	غیردولتی	۱	۱	۸	۲	۸
محل سکونت (درصد)	منطقه ۱	۱۲	۵	۹	۵	۶۹
	منطقه ۲	۴	۸	۶۵	۵	۱۴
	منطقه ۳	۹	۶	۱۲	۷۲	۵
	منطقه ۴	۶۹	۱۰	۶	۱۰	۵۵
	منطقه ۵	۶	۷۱	۸	۸	۱۵
آخرین پرداخت آب‌بها (درصد)	کمتر از ۱۵ روز (مناسب)	۴۴	۷۷	۸۹	۳۲	۸۰
	بیشتر از ۱۶ روز (نامناسب)	۵۶	۲۳	۱۱	۶۸	۲۰
دفعات پرداخت به‌موقع (درصد)	از ۰ تا ۱ بار (کم)	۱۸	۸	۵	۲۵	۱۰
	از ۲ تا ۵ (متوسط)	۳۲	۲۴	۱۴	۳۳	۲۱
	بیشتر از ۶ بار (زیاد)	۵۰	۶۸	۸۱	۴۲	۶۹
مبلغ هزینه‌های آب‌بها (درصد)	از ۰ تا ۲۰۰,۰۰۰ ریال (مصرف کم)	۲۷	۵۴	۵۹	۱۰	۵۵
	از ۲۰۰,۰۰۰ تا ۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال (مصرف متوسط)	۵۰	۳۸	۳۵	۷۹	۲۹
	بیشتر از ۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال (مصرف زیاد)	۲۳	۸	۶	۱۱	۱۳

جدول ۳- متوسط ارزش شاخص‌ها در خوشه‌های مشترکین شهر شیراز در سال ۱۴۰۰

عنوان	مقدار
$M_{R''}$	۰/۲۵۸۷
$M_{F''}$	۰/۱۸۱۷
$M_{M''}$	۰/۰۸۵۲

جدول ۴- تحلیل خوشه‌های مشترکین شهر شیراز در سال ۱۴۰۰

خوشه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
آخرین پرداخت	۰/۲۳۵۴	۰/۲۶۳۲	۰/۲۷۸۵	۰/۲۱۰۴	۰/۲۸۷۵	۰/۲۲۴۱
$(M_{R''})$	رتبه	چهارم	سوم	دوم	ششم	اول
دفعات پرداخت به‌موقع	۰/۱۷۹۴	۰/۲۰۱۵	۰/۲۱۲۰	۰/۱۸۰۰	۰/۱۹۱۱	۰/۱۲۲۶
$(M_{F''})$	رتبه	پنجم	دوم	اول	چهارم	ششم
مبلغ آب‌بها $(M_{M''})$	۰/۰۶۸۸	۰/۰۸۵۵	۰/۰۹۷۵	۰/۰۷۱۴	۰/۰۸۵۸	۰/۰۷۲۱
	رتبه	ششم	سوم	اول	پنجم	دوم
وضعیت متوسط ارزش شاخص‌ها $(M_{R''}, M_{F''}, M_{M''})$	(↓, ↓, ↓)	(↓, ↑, ↑)	(↑, ↑, ↑)	(↓, ↓, ↓)	(↑, ↑, ↑)	(↑, ↓, ↓)

$$CLV = W_R \times M_{R''} + W_F \times M_{F''} + W_M \times M_{M''} \quad (۱۰)$$

۳-۸- محاسبه ارزش دوره عمر مشترکین هر خوشه

ارزش دوره عمر مشترکین هر خوشه از مجموع وزین متوسط

ارزش شاخص‌های RFM در آن خوشه طبق فرمول (۱۰)

مقادیر ارزش دوره عمر در جدول ۵ قابل مشاهده است.

محاسبه می‌شود.

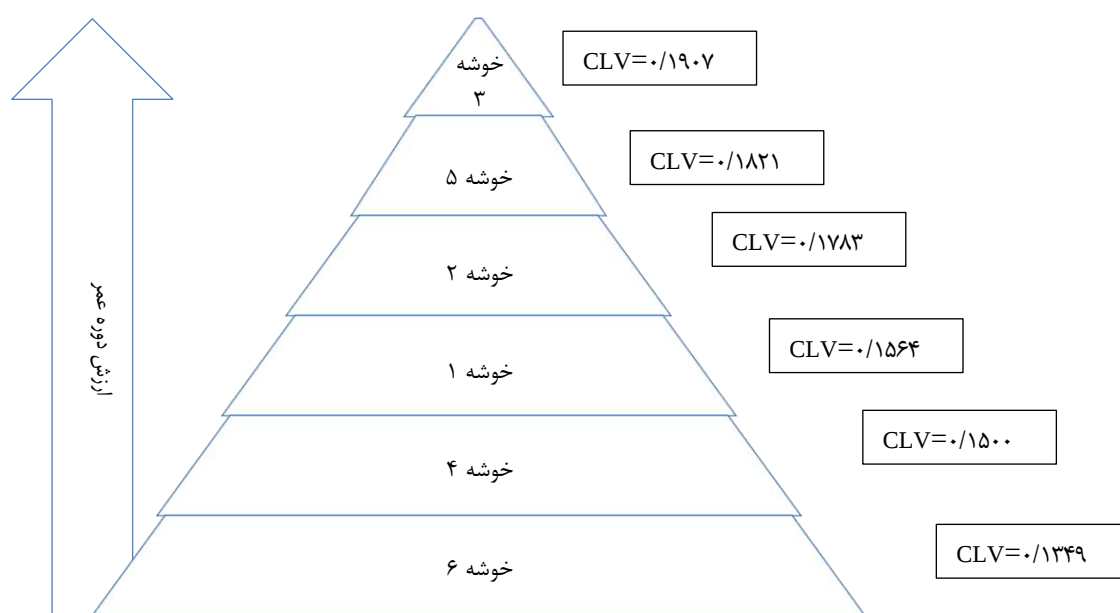
جدول ۵- مقادیر ارزش دوره عمر خوشه‌ها

خوشه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ارزش دوره عمر	۰/۱۵۶۴	۰/۱۷۸۳	۰/۱۹۰۷	۰/۱۵۰۰	۰/۱۸۲۱	۰/۱۳۴۹
	چهارم	سوم	اول	پنجم	دوم	ششم

۹-۳- تحلیل مشترکین بر اساس ارزش دوره عمر آن‌ها

در این گام هرکدام از خوشه‌ها براساس ارزش دوره عمر در قالب هرم ارزش عمر مشخص می‌شوند. ه چه از سطح پایین این هرم به سطوح بالای آن حرکت شود، خوشه‌های با ارزش دوره عمر بیشتر قرار گرفته‌اند. در این قسمت به سوال سوم پاسخ داده شده و خوشه‌ها براساس ارزش دوره عمر مشترکین آن‌ها، در قالب

هرم ارزش عمر که در شکل ۱ نشان داده شده، مشخص شدند. در این هرم، به ارزش دوره عمر مشترکین در شش خوشه اصلی اشاره شده است. هر چه از سطح پایین این هرم به سطوح بالای آن حرکت شود، خوشه‌های با ارزش دوره عمر بیشتر قرار گرفته‌اند. به عبارتی، با حرکت به سمت رأس این هرم، مشترکینی قراردارند که ارزش و اهمیت بیشتری دارند.



شکل ۱- هرم ارزش دوره عمر مشترکین شرکت آب و فاضلاب شیراز

به این ترتیب طبق هرم ارزش دوره عمر، مشترکین خوشه ۳ دارای بیشترین ارزش عمر هستند. مشترکین این خوشه ۳۳ درصد از کل مشترکین را تشکیل می‌دهند، عمدتاً کاربری مسکونی و تجاری و صنعتی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۲ هستند، به تازگی (کمتر از ۱۵ روز) قبوض خود را پرداخت نموده‌اند، تعداد دفعات پرداخت به‌موقع آن‌ها در این دوره یک‌ساله بیشتر از ۶ بار بوده و طبیعی است که مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً کمتر از ۲۰۰,۰۰۰ ریال است.

بعد از خوشه ۳ مشترکین خوشه ۵ از اهمیت بالایی برخوردارند. مشترکین این خوشه ۲۵ درصد از کل مشترکین را تشکیل می‌دهند، عمدتاً کاربری مسکونی و تجاری و صنعتی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۱ هستند، به تازگی (کمتر از ۱۵ روز) قبوض خود را پرداخت نموده‌اند، تعداد دفعات پرداخت

به‌موقع آن‌ها در این دوره یک‌ساله بیشتر از ۶ بار بوده و مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً کمتر از ۲۰۰,۰۰۰ ریال است.

اولویت بعدی با خوشه ۲ است که حدود ۱۸ درصد از کل مشترکین را شامل می‌شود که عمدتاً کاربری مسکونی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۵ هستند، این مشترکین به تازگی (کمتر از ۱۵ روز) قبوض خود را پرداخت نموده‌اند، تعداد دفعات پرداخت به‌موقع آن‌ها در این دوره یک‌ساله بیشتر از ۲ بار بوده و مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً کمتر از ۱۰۰,۰۰۰ ریال است.

خوشه ۱ در اولویت بعدی است که ۵ درصد مشترکین را شامل می‌شود که عمدتاً کاربری مسکونی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۴ هستند، تعداد دفعات پرداخت به‌موقع آن‌ها در این دوره یک‌ساله بیشتر از ۲ بار بوده و مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً کمتر از ۱۰۰,۰۰۰ ریال است.

۳، ۵، ۲، ۱، ۴ و ۶ به ترتیب در رتبه‌های اول تا ششم قرار گرفتند. طبق هرم ارزش، شرکت آب و فاضلاب شیراز باید برای جلب رضایت و تشویق مشتریان با ارزش خود (دارای بیشترین ارزش دوره عمر) در خوشه‌های ۵، ۳ و ۲ تلاش نماید و اهمیت ویژه‌ای برای مشتریان این خوشه‌ها قائل شود. از آنجا که مشتریان خوشه ۶ دارای کمترین ارزش دوره عمر هستند، لذا بهتر است که مطالعه دقیق‌تری پیرامون علل کمبودن مقادیر هر یک از شاخص‌های مدل در این مشتریان انجام گیرد.

لازمه ذکر است که رفتار مشتریان ثابت نیست و بانک اطلاعاتی آن‌ها تغییر می‌کند. مجموعه قوانینی که از بانک اطلاعاتی برای یک زمان خاص دریافت شده فقط برای یک زمان مشخص دارای اعتبار است و سپس منسوخ می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، از مجموعه داده وسیع‌تری به لحاظ قلمروی زمانی استفاده شود که به‌طور قطع منتج به ایجاد نتایج قوی‌تر و گستره وسیع‌تری از دانش کاربردی پیرامون ویژگی‌های رفتاری مشتریان خواهد شد. از طرفی، برش‌های زمانی متناوب از پایگاه داده شرکت، امکان اجرای پویای داده کاوی بر مبنای مدل RFM برای تعیین ارزش دوره عمر مشتریان را فراهم خواهد آورد که نتایج آن از این لحاظ که روند تغییرات در رفتار مشتریان را منعکس می‌کند، می‌تواند نقش شایانی در ارتباط با آن‌ها ایفا نماید.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Data Mining
- 2- Clustering
- 3- Artificial Neural Network
- 4- Self Organization Map (SOM)
- 5- Neuron
- 6- Noisy data
- 7- Euclidean distance
- 8- Recency, Frequency, Monetary (RFM)
- 9- Recency (R)
- 10- Frequency (F)
- 11- Monetary (M)
- 12- Analitical Hierarchy Process
- 13- Multi Criteria Decsion Making
- 14- Pair Wise Comparisons

۶- مراجع

آموزگار، م.، (۱۳۹۵)، "ارائه راه‌کار دو مرحله‌ای برای شناسایی الگوی مصرف برق"، نشریه علمی پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق/ایران، (۹)، ۵۷-۴۸.

اولویت بعدی با خوشه ۴ است که حدود ۱۲ درصد از کل مشتریان را شامل می‌شود که عمدتاً کاربری مسکونی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۳ هستند، عمدتاً بیشتر از ۱۶ روز قبوض خود را پرداخت نموده‌اند، تعداد دفعات پرداخت به‌موقع آن‌ها در این دوره یک‌ساله بیشتر از ۲ بار بوده و مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً بین ۲۰۰،۰۰۰ تا ۱،۰۰۰،۰۰۰ ریال است.

خوشه ۶ معرف مشتریانی است که کمترین ارزش را دارند و تنها ۷ درصد از کل مشتریان را شامل شده، عمدتاً کاربری مسکونی دارند، به‌طور عمده ساکن منطقه ۴ هستند، عمدتاً بیشتر از ۱۶ روز قبوض خود را پرداخت نموده‌اند، تعداد دفعات پرداخت به‌موقع آن‌ها در این دوره یک‌ساله کمتر از ۲ بار بوده و مبلغ آب‌بهای آن‌ها نیز عمدتاً بین ۲۰۰،۰۰۰ تا ۱،۰۰۰،۰۰۰ ریال است.

۴- بحث و جمع‌بندی

با توجه به آن‌چه درمورد تکنیک‌های داده‌کاوی گفته شد و ضمن در نظر گرفتن گسترش فناوری اطلاعات و ارتباطات در سازمان‌ها، با به‌کارگیری بانک‌های اطلاعاتی موجود و استفاده از ابزارها و الگوریتم‌های مفیدی مانند داده‌کاوی، می‌توان ماهیت پیچیده داده‌های مرتبط با رفتار مصرفی مشتریان و روابط نامحسوس میان این داده‌ها را مدل کرده و الگوهای مصرف را شناسایی کرد (امینی و همکاران، ۱۳۹۷-ب). با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی می‌توان ماهیت پیچیده رفتار مصرفی مشتریان را در قالب الگوهایی شناسایی کرد که کمک شایسته‌ای به مدیریت مصرف می‌نماید (امینی، ۱۳۹۹). با توجه به اهمیت این موضوع، در پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی و تصمیم‌گیری چندمعیاره، مشتریان آب شیراز بخش‌بندی شده است. لازم به ذکر است که برای این منظور از مدل RFM و مفهوم هرم ارزش مصرف مشتریان نیز استفاده شده که تاکنون تحقیقی در این راستا و در صنعت آب و فاضلاب انجام نشده است. ارائه تحلیل خوشه‌ای به‌منظور بررسی دقیق‌تر ویژگی‌های مشتریان در خوشه‌ها و همچنین، بخش‌بندی نهایی مشتریان براساس ارزش دوره عمر آن‌ها در قالب هرم ارزش دوره عمر، از مواردی است که در این مطالعه از آن‌ها بهره گرفته شده است. یکی از ویژگی‌های خاص این پژوهش استفاده از روش شبکه عصبی خودسازمان‌ده است که یکی از روش‌های دقیق در حوزه خوشه‌بندی و داده‌کاوی است.

براساس یافته‌های پژوهش، مشتریان آب شیراز به شش خوشه تفکیک شدند که با توجه به ارزش دوره عمر، خوشه‌های

- RS theory", *Expert Systems with Applications*, 36, 4176-4184, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.04.003>.
- Foster, H.S., and Beattie, B.R., (1981), "On the specification of price in studies of consumer demand under block price scheduling", *Land Economics*, 57(4), 624-629, <https://doi.org/10.2307/3145676>.
- Han, J., Pei, J., and Kamber, M., (2016), *Data mining: Concepts and techniques*, Elsevier, <https://doi.org/10.4324/9781351016551>.
- Hughes, A.M., (1994), *Strategic database marketing*, Chicago: Probus Publishing, <https://doi.org/10.1287/ijoc.2021.1121>.
- Keiningham, T.L., Aksoy, A., and Bejou, D., (2006), "Approches to measurement and management of customer value", *Journal of Relationship Marketing*, 5(2), 37-54, https://doi.org/10.1300/J366v05n02_03.
- Kreidler, M., (2018), Guide to auto insurance, Washington State Office of the Insurance Commissioner, viewed 2010/4/24, www.insurance.wa.gov.
- Monika, C., and Amarpreet, K., (2018), "A comparative study of classification techniques for fraud detection", *Journal on Future Revolution in Computer Science and Communication Engineering*, 4, 19-23.
- Rosenblatt, F., (1962). *Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms*, (Vol. 55), Washington, DC: Spartan books.
- Saggaf, M.M., Toksoz, M.N., and Marhoon, M.I., (2003), "Seismic facies classification and identification by competitive neural networks", *Geophysics*, (44), 1041-1063, <https://doi.org/10.1190/1.1635052>.
- Seyedhosseini, S.M., Gholamian, M.R., and Maleki, A., (2011), "A methodology based on RFM using data mining approach to assess the customer loyalty", *International Journal of Industrial Engineering*, 22(2), 171-179, https://doi.org/10.1300/J366v05n02_03.
- امینی، ق.، فرمانی انتظام، ح.، جان صادق‌پور، ع.، و داودآبادی، ع.، (۱۳۹۷-الف)، "کاربرد داده‌کاوی در شناسایی مشترکین با مصارف غیرمجاز آب (مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب قم)"، *دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران*، اصفهان.
- امینی، ق.، فرمانی انتظام، ح.، جان صادق‌پور، ع.، و داودآبادی، ع.، (۱۳۹۷-ب)، "شناسایی و استخراج الگوی مصرف آب به‌روش داده‌کاوی (مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب قم)"، *دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران*، اصفهان.
- امینی، ق.، (۱۳۹۹)، "مدل‌سازی تشخیص مصرف غیرمجاز آب (مطالعه موردی: شهر قم)"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۴)، ۱۸۴-۱۹۳.
- رزمی، ج.، و قنبری، آ.، (۱۳۸۸)، "ارائه مدلی نوین برای محاسبه ارزش دوره عمر مشتری"، *نشریه مدیریت فناوری و اطلاعات*، ۱(۱)، ۳۵-۵۰.
- طباطبایی، ا.، (۱۳۹۸)، *نگرشی بر داده‌کاوی*، دانشگاه آزاد قزوین، ۱۰-۱۵.
- غضنفری، م.، (۱۳۹۹)، *داده‌کاوی و کشف دانش*. تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- کاظمی، ز.، (۱۳۹۴)، "به‌کارگیری فرآیندکاوی برای بهبود فرآیندهای مدیریت دانش در مراکز تماس (مطالعه موردی: مرکز تماس ۱۲۲ سازمان آب و فاضلاب استان تهران)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کجوری نفت‌چالی، م.، و، فریدونیان، ع.، (۱۳۹۴)، "شناسایی الگوی مصرف انرژی الکتریکی با داده‌کاوی"، *سی‌مین کنفرانس بین‌المللی برق*، تهران.
- مهرگان، م.، ر.، (۱۳۹۷)، *پژوهش عملیاتی پیشرفته*، تهران، انتشارات کتاب دانشگاهی، چاپ اول.
- Berry, M.J., and Linoff, G.S., (2016), *Data mining techniques: for marketing, sales, and customer relationship management*, John Wiley and Sons, <https://doi.org/10.4324/9781351016551>.
- Bin, D., Peiji, S., and Dan, Z., (2008), "Data mining for needy student identify based on improved RFM model: A case study of university", *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, New York, <https://doi.org/10.1109/ICIII.2008.128>.
- Buttle, F., (2018), *Customer Relationship Management: Concepts and Tools*, Elsevier Butterworth Heinemann, <https://doi.org/10.4324/9781351016551>.
- Cheng, C.H., and Chen, Y.S., (2009), "Classifying the segmentation of customer value via RFM model and



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

The Study of Nitrate Removal from Raw Sewage of Tehran City by Walnut Tree Sawdust using the Surface Absorption Method

مطالعه حذف نیترات از فاضلاب خام شهری (تهران) توسط خاک اره درخت گردو به روش جذب سطحی

Vahid Azizkhani^{1*}, Mehdi Soltani² and Mohammad Samipour Gori³

وحید عزیزخانی^{۱*}، مهدی سلطانی^۲ و محمد سمیع پور گیری^۳

1- Assistant Professor, Department of Chemistry, Payame Noor University (PNU), P.O. Box 19395-4697, Tehran, Iran.

۱- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

2- M.Sc., Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۲- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

3- Assistant Professor, Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

۳- استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

*Corresponding Author, Email: vahidazizkhani@pnu.ac.ir

*نویسنده مسئول، ایمیل: vahidazizkhani@pnu.ac.ir

Received: 27/06/2022

Revised: 29/08/2022

Accepted: 31/08/2022

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

In this paper, the removal of nitrates from urban raw sewage (Tehran) by walnut tree sawdust using the surface absorption method was introduced as an efficient green method, and the effect of various parameters was studied. The results obtained from Langmuir isotherms $R^2=0.9951$ and Freundlich $R^2=0.9936$ indicated better absorption in low concentrations, which follows the Langmuir model. To complete the present studies, the adsorption diagram, the effect of pH, thermodynamic and kinetic studies were investigated. Kinetic studies showed that the surface adsorption process of nitrate by walnut tree sawdust follows the pseudo-first order kinetic. The absorption capacity obtained from this equation was 34.2 mg/g (its experimental value of 32 mg/g). The results showed that this process is controlled by reversible physical adsorption. According to the FT-IR spectrum of the absorbent, the phenomenon of nitrate absorption takes place with the help of the cellulose structure of the absorbent. The use of walnut tree sawdust (micro size) without chemical modification as a natural, green, environmentally friendly, efficient, and effective adsorbent in removing nitrates from the raw sewage of Tehran city was one of the important features of this research.

در این مقاله، حذف نیترات از فاضلاب خام شهری (تهران) توسط خاک اره درخت گردو به روش جذب سطحی به عنوان یک روش سبز کارآمد معرفی شد و تأثیر پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از ایزوترم‌های لانگمویر $R^2=0.9951$ و فروندلیچ $R^2=0.9936$ نشان‌دهنده جذب بهتر در غلظت‌های پایین است که از مدل لانگمویر پیروی می‌کند. برای تکمیل مطالعات حاضر، نمودار جذب، تأثیر pH، مطالعات ترمودینامیکی و سینتیکی بررسی شد. مطالعات سینتیکی نشان داد که فرآیند جذب سطحی نیترات توسط خاک اره درخت گردو از سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می‌کند. هم‌چنین ظرفیت جذب به دست آمده از این معادله 34.2 میلی‌گرم بر گرم است که به مقدار تجربی آن 32 میلی‌گرم بر گرم نزدیک است. نتایج نشان‌داد که این فرآیند با جذب فیزیکی برگشت‌پذیر کنترل می‌شود. با توجه به طیف FT-IR جاذب، پدیده جذب نیترات با کمک ساختار سلولزی جاذب صورت می‌گیرد. استفاده از خاک اره درخت گردو (سایز میکرو) بدون اصلاح شیمیایی به عنوان یک جاذب طبیعی، سبز، دوستدار محیط‌زیست، کارآمد و مؤثر در حذف نیترات‌ها از فاضلاب خام شهر تهران از ویژگی‌های مهم این تحقیق بود.

Keywords: Tehran wastewater, Walnut sawdust adsorbent, Adsorption isotherm, Nitrate removal, Scanning electron microscope.

کلمات کلیدی: فاضلاب شهری تهران، جاذب خاک اره گردو، ایزوترم جذب، حذف نیترات، میکروسکوپ الکترونی روبشی.

هدف‌گذاری شده بود. (de Lima et al., 2012) از پودر نارگیل اصلاح شده توسط مواد شیمیایی برای حذف آنیون‌های معدنی از طریق فرآیند جذب استفاده کردند. (Stjepanović et al., 2022) نیز به‌عنوان یک کار جدید از پوسته فندق اصلاح شده به‌عنوان یک جاذب جدید برای حذف نیترات از فاضلاب استفاده کردند. از منظر اقتصادی، جاذب‌ها باید کارآمد، ارزان و بسیار انتخابی برای آلاینده‌ها باشند. با در نظر گرفتن این موضوع، جاذب‌های مختلفی برای حذف نیترات و سایر آلاینده‌ها از آب، مانند خاک‌رس، کیتوزان، ژئولیت، بیوپچار، جاذب‌های مبتنی بر کربن و مواد زائد کشاورزی و صنعتی (که بسیاری از آن‌ها حاوی لیگنوسولزولز هستند) آزمایش شده‌اند (Katheresan et al., 2018). هزینه بالای جاذب‌های معمولی مانند کربن فعال پرکاربرد، کاهش ظرفیت جذب با افزایش تعداد سیکل‌ها، روش‌های جداسازی مرسوم خسته‌کننده و زمان‌بر برای جداسازی جاذب از محلول آبی است (Naushad et al., 2017).

با توضیحات ارائه شده، استفاده از جاذب طبیعی و دوستدار محیط‌زیست که آلاینده‌گی برای محیط‌زیست نداشته و بهره‌برداری آن آسان و دارای راندمان قابل‌قبولی باشد، کاندید مناسبی برای استفاده به‌عنوان یک جاذب هستند. با توجه به منابع موجود، مطالعه و تحقیق به‌منظور حذف نیترات از فاضلاب خام شهر تهران با استفاده از خاک اره درخت گردو به‌روش جذب سطحی قبلاً انجام نشده و به‌عنوان یک روش جدید است. به‌همین دلیل، در این تحقیق مطالعه حذف نیترات از فاضلاب خام شهر تهران توسط جاذب خاک اره‌ی درخت گردو به‌روش جذب سطحی انجام می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد شیمیایی مورد استفاده

مواد شیمیایی مورد استفاده برای انجام آزمایش‌های سنجش نیترات عبارتند از: سدیم سالیلات، اسید سولفوریک، محلول استاندارد تهیه شده از تارتارات سدیم-پتاسیم، هیدروکسید سدیم. مواد شیمیایی و حلال‌های به‌کار رفته در این پژوهش از شرکت مرک (آلمان) و فلوکا (سوئیس) خریداری و با درجه خلوص تجزیه‌ای و بدون نیاز به خالص‌سازی بیشتر استفاده شدند.

۲-۲- دستگاه‌های مورد استفاده

طیف‌های زیر قرمز به‌وسیله طیف سنج زیر قرمز تبدیل فوری

از نیترات می‌توان به‌عنوان یکی از آلودگی‌های موجود در آب اشاره کرد. از سال‌ها قبل، تلاش برای حذف یا به حداقل رساندن آن به‌یکی از چالش‌های مهم پژوهشگران و محققین در این حوزه تبدیل شده است و از این‌رو اهمیت فراوانی دارد (احمد پری و هاشمی گرم‌دره، ۱۳۹۷). نیترات یک ماده شیمیایی بی‌رنگ، بی‌بو، بی‌طعم (دارای فرمول شیمیایی NO_3^- و جرم مولکولی ۶۲/۰۴۹ گرم بر مول) است (احمد پری و هاشمی گرم‌دره، ۱۳۹۸). استاندارد نیترات در آب آشامیدنی طبق اعلام سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (برحسب نیترات) است. نیترات پس از ورود به بدن و تبدیل شدن به نیتريت توسط باکتری‌ها در دستگاه گوارش، وارد سیستم گردش خون شده و با اکسید کردن آهن هموگلوبین، ظرفیت آهن را از ۲ به ۳ تبدیل می‌کند. در اثر این فرآیند هموگلوبین به مت‌هموگلوبین تبدیل می‌شود که مت‌هموگلوبین ظرفیت اکسیژن رسانی بسیار کمتری دارد. در نتیجه اکسیژن کافی به بافت‌ها نمی‌رسد و موجب یک بیماری به نام "سندرم نوزاد کبود" می‌شود (Awwa et al., 1990).

رشد فزاینده جمعیت جهانی سبب مصرف بیشتر کودهای شیمیایی در کشاورزی شده، که موجب آلوده شدن آب، منابع آبی، محصولات گیاهی و انسان استفاده‌کننده از این منابع شده است (یادگاری و همکاران، ۱۳۹۶). چندین روش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف نیترات اضافی از آب وجود دارد که از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به جذب (Bhatnagar et al., 2006)، تبادل یونی (Hekmatzadeh et al., 2013)، اسمز معکوس (Elyanow et al., 2003)، الکترودیالیز (Schoeman et al., 2003)، دنیتروفيکاسیون (Pintar et al., 2001)، کاهش کاتالیزوری (Reddy et al., 2000) و فیلتراسیون کربن فعال (Wang et al., 2007) اشاره کرد. به‌دلیل تحرک بالای نیترات، این ترکیب تمایل کمتری برای رسوب و ته‌نشین شدن و جذب از خود نشان می‌دهد و بنابراین خارج سازی آن از آب با روش‌های رایج امروزی دشواری‌های خود را دارد.

از این‌رو، روش جذب و تبادل یونی یکی از محبوب‌ترین، ساده‌ترین و کارآمدترین روش‌ها برای حذف نیترات به‌شمار می‌رود (Battas et al., 2019). (Keräanen et al., 2015). نیترات، سولفات، فسفات و بررسی تاثیر دما و غلظت و رقابت یون‌ها در جذب توسط جاذب خاک اره اصلاح شده را بررسی کردند که عملکرد آن‌ها شبیه رزین‌ها بوده و برای تبادل یون‌ها

تصفیه‌خانه جنوب شهر تهران برای بررسی تاثیر پارامترهای دما و نیترات اولیه در حذف نیترات مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۵- اندازه‌گیری مقدار نیترات فاضلاب

در یک بالن ۲۵۰ میلی‌لیتری، ۱/۵ میلی‌لیتر سدیم سالیسیلات ۰/۵٪ به ۲۰ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده که در بخش ۲-۴ به آن اشاره شد، اضافه و در آن قرار گرفت تا تبخیر شده و کاملاً خشک شود. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دسیکاتور قرار گرفت. در ادامه ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ اضافه شده و پس از گذشت ۱۰ دقیقه، مقدار ۱۵ میلی‌لیتر آب دمین و ۱۵ میلی‌لیتر تارتارات سدیم-پتاسیم (نمک راشل) و ۱۵ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۴۰٪ اضافه شد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه نمونه در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده شد و مورد آنالیز قرار گرفت. در این زمینه از رابطه (۱) استفاده شد.

$$R = \frac{C_0 - C_r}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که R: درصد کاهش نیترات محاسبه شده (میلی گرم بر لیتر)، C_0 : غلظت نیترات اولیه (میلی گرم بر لیتر)، C_r : غلظت نیترات باقی‌مانده (میلی گرم بر لیتر)، و C_0 : برای فاضلاب خام شهر تهران ۱۰۲/۳ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد.

۲-۶- مشخصات فیزیکی و شیمیایی فاضلاب خام شهری و تصفیه‌خانه جنوب تهران

در جدول ۱، برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی مربوط به فاضلاب خام شهر تهران (فاضلاب تصفیه‌خانه جنوب تهران) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی فاضلاب خام شهر تهران

پارامتر	واحد	مقدار و مشخصات
COD	(mg O ₂ /L)	۸۳۰
BOD ₅	(mg O ₂ /L)	۳۶۰
N _{total}	(mg/L)	۱۰۳
N-NH ₄	(mg/L)	۳۹
N-NO ₃	(mg/L)	۸
pH		۷/۱
Color		Yellowish

با توجه به اطلاعاتی که در وب‌گاه شرکت آب و فاضلاب تهران (<https://ts.tpww.ir>) در قسمت طرح‌ها و پروژه‌ها / چکیده اطلاعات تصفیه‌خانه‌ها / تصفیه‌خانه جنوب وجود دارد، واحدها و

(FT-IR) شیمادزو (مدل ۸۶۰۰، ژاپن) و با استفاده از قرص KBr در گستره عدد موجی $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ثبت شد. ریخت‌شناسی و اندازه ذرات جاذب با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل VP۱۴۵۵، LEO Co. کمبریج، انگلستان) انجام شد. برای سنجش pH از دستگاه pH متر (METROHM) استفاده شد. برای اندازه‌گیری جذب از دستگاه اسپکتروفتومتر دو پرتویی CECIL مدل CEV۵۰۰ و تک پرتوی HACH مدل DR۲۸۰۰ استفاده شد.

۲-۳- روش تهیه جاذب از خاک اره درخت گردو

جاذب مورد استفاده از خاک اره درخت گردو به‌وسیله یک نجاری (چوب‌بری) در شهر زنجان تهیه شد. خاک اره پس از خشک شدن به‌روش مکانیکی و توسط دستگاه آسیاب گلوله‌ای (بالمیل) به ذرات ریزتر (در اندازه میکرومتر) تبدیل شد. سپس خاک اره حاصل را با آب بدون یون شستشو داده تا تمام گرد و غبار آن گرفته شود. دلیل این عمل این است که خاک اره خام وقتی به آب اضافه می‌شود رنگ قهوه‌ای به آب می‌دهد و همین عامل سبب ایجاد خطا در مراحل سنجش می‌شود. به‌همین دلیل، برای رفع این مشکل خاک اره چندین مرتبه در آب بدون یون ریخته و خوب هم زده شد. سپس مدتی استراحت داده شد تا خاک اره ته‌نشین شود. آب بالای خاک اره دور ریخته و این عمل تکرار شد تا آب کاملاً صاف شود. در ادامه خاک اره حاصل به مدت ۲۴ ساعت در آن (در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد تا کاملاً خشک شود.

۲-۴- روش کار آزمایشگاهی

در این مرحله، جاذب (خاک اره درخت گردو) پس از خشک شدن که مراحل آن در بخش قبلی ارائه شد، به‌صورت خام مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا به‌منظور پیش‌تصفیه و حذف برخی عوامل مزاحم نظیر مواد معلق و کدورت از کاغذ صافی واتمن سایز ۴۲ استفاده شد. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه فاضلاب خام (زیر صافی) در یک بشر ریخته و سپس ۱۰ گرم از جاذب (خاک اره درخت گردو) که در بخش ۲-۳ به آن اشاره شد) به محلول فاضلاب خام اضافه شد. مخلوط واکنش چند بار به‌خوبی هم‌زده شده و به مدت یک ساعت استراحت داده‌شد، تا نیترات موجود در فاضلاب جذب خاک اره شود. در ادامه نمونه به‌روش فیلتراسیون از طریق کاغذ صافی جدا شده و محلول صاف شده برای اندازه‌گیری نیترات حذف شده به کار برده شد. این مراحل برای تمام نمونه‌های تهیه شده در غلظت‌های مختلف انجام شد. نمونه فاضلاب شهری

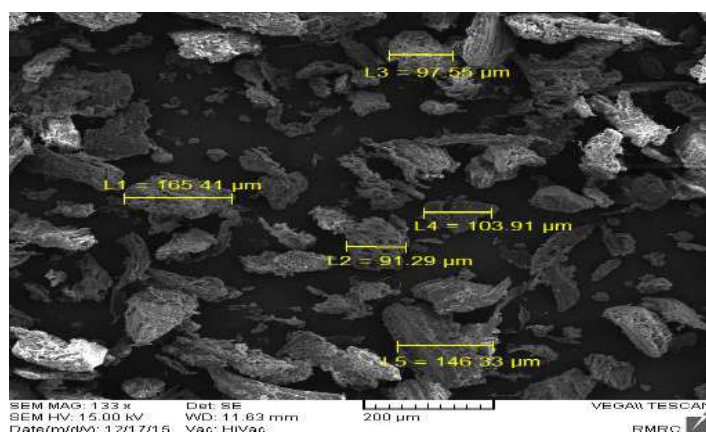
به وسیله دستگاه آسیاب گلوله‌ای (بالمیل) ریزتر (حدوداً بین ۹۰ تا ۱۰۵ میکرومتر) شده است. اندازه ذرات خاک اره با میکروسکوپ الکترونی SEM در مرکز پژوهش متالوژی رازی اندازه‌گیری شد. اکثر ذرات دارای اندازه کمتر از ۱۰۰ میکرومتر بودند. مهم‌ترین خصوصیت جاذب، سطح کل آن است معمولاً جاذب‌ها دارای خلل و فرج زیادی در سطح هستند و ذراتی به شکل‌های کروی و یا نامنظم دارند. هرچه ذرات جسم جاذب کوچکتر باشند سریع‌تر و بهتر در تماس با فاز سیال قرار می‌گیرند و سرعت فرآیند جذب بیشتر خواهد بود. با توجه به این‌که ذرات جاذب مورد استفاده در این تحقیق کوچک‌تر و متخلخل‌تر هستند، این خصوصیت یکی از پارامترهای موثر و مثبت در میزان جذب نیترات از فاضلاب به‌شمار می‌رود (Katal et al., 2012).

مراحل تصفیه‌خانه جنوب دارای مراحل مختلفی است که عبارتند از: واحد تلمبه‌خانه ورودی، واحد آشغال‌گیر دهانه باز، واحد آشغال‌گیر دهانه تنگ، واحد دانه‌گیر، واحد ته‌نشینی اولیه، واحد حوض هوادهی، واحد ته‌نشینی ثانویه، واحد صافی چکنده، واحد تغلیظ کننده ثقیلی و ذخیره لجن خام، واحد تغلیظ کننده مکانیکی و آبگیری از لجن، واحد هاضم‌های بی‌هوازی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی خصوصیات جاذب و تاثیر آن در فرآیند جذب

شکل ۱، تصویر مربوط به خاک اره را نشان می‌دهد که

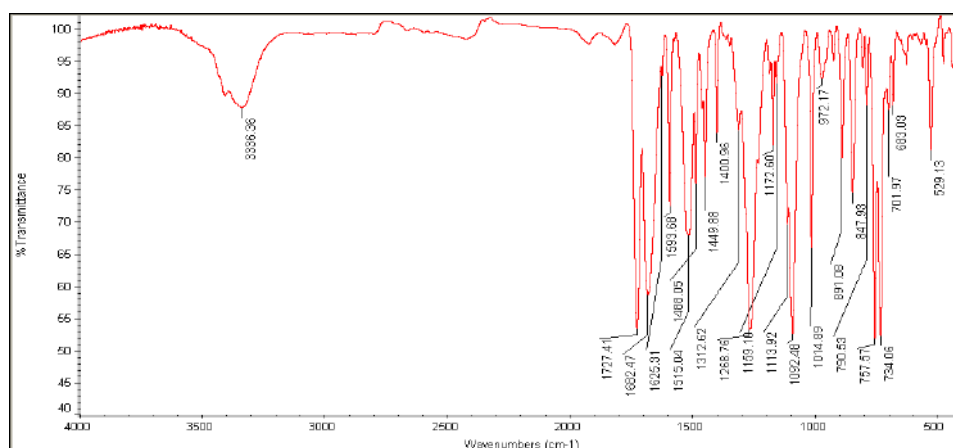


شکل ۱- تصویر SEM از خاک اره درخت گردو میکرو سائز

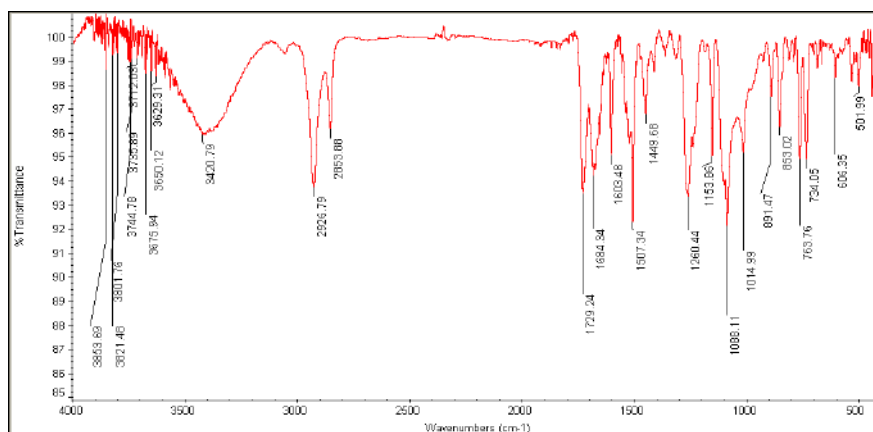
این‌منظور قبل از انجام آزمایش جذب و همین‌طور بعد از جذب (اشباع‌شده در مرحله جذب) طیف زیر قرمز تهیه شد. شکل ۲ مربوط به طیف زیر قرمز (FT-IR) گرفته‌شده از خاک اره ریز سائز خام است. شکل ۳ مربوط به طیف زیر قرمز (FT-IR) از جاذب خاک اره درخت گردو بعد از استفاده به‌عنوان جاذب است.

۳-۲- طیف‌های زیر قرمز جاذب خاک اره خام و استفاده شده

برای بررسی خصوصیات جاذب و علت جذب نیترات توسط خاک اره از نمونه‌های خاک اره (قبل از آزمایش و بعد از آزمایش) طیف زیر قرمز (FT-IR) گرفته‌شد تا تاثیر گروه‌های عاملی و تفاوت چگونگی طیف‌ها به‌دلیل جذب مشخص شود. برای



شکل ۲- طیف زیر قرمز (FT-IR) گرفته شده از خاک اره ریز سائز خام

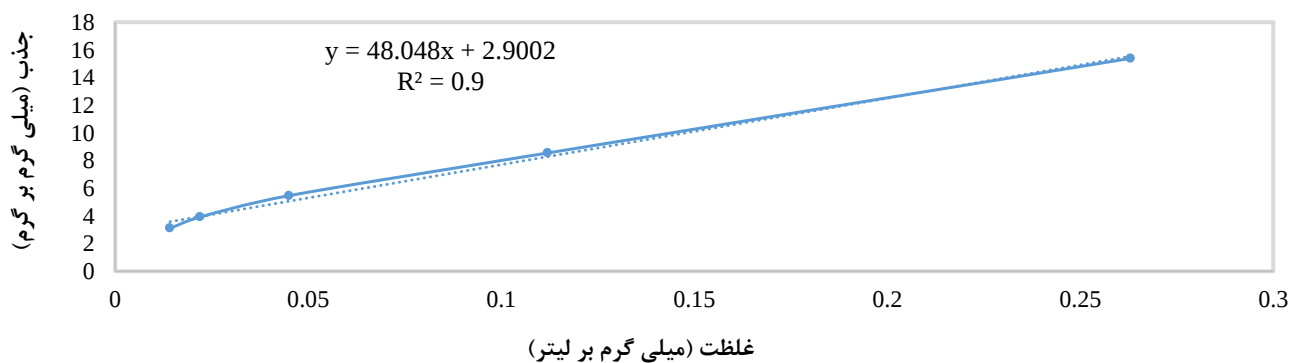


شکل ۳- طیف زیر قرمز (FT-IR) گرفته شده از خاک اره ریز سایز استفاده شده

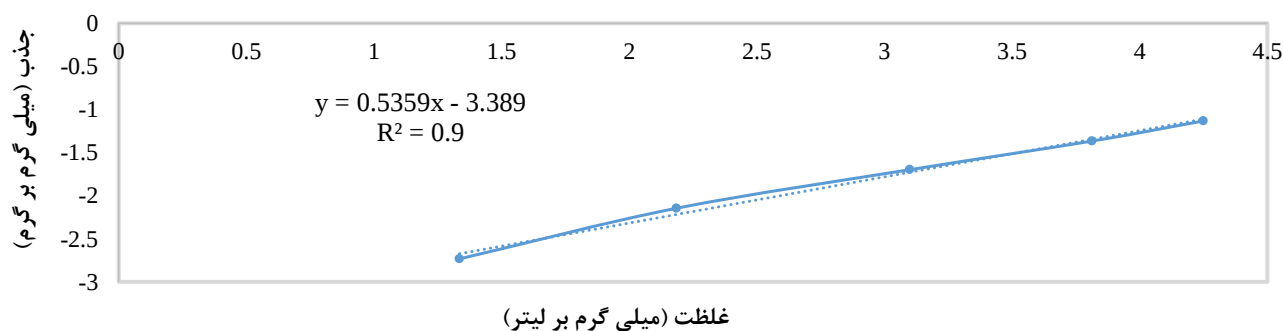
۳-۳- تاثیر غلظت بر روی جذب نیترات

به منظور بررسی تاثیر غلظت در میزان حذف نیترات از فاضلاب، نمونه‌های مختلفی از فاضلاب در ۴ غلظت رقیق تهیه شد. سپس تمام مراحل تست نیترات برای این محلول‌ها نیز انجام و در نهایت نمودار ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ رسم و سپس رگرسیون آن‌ها محاسبه شد. مقدار جذب در هر غلظت و ضرایب لانگمویر و فروندلیچ (جدول ۲) محاسبه شد. ملاحظه می‌شود همانند سایر پژوهش‌ها، با رقیق کردن نمونه و کاهش غلظت اولیه نیترات در نمونه‌ها، حذف نیترات افزایش می‌یابد. شکل‌های ۴ و ۵ نشان دهنده نمودار ایزوترم‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ هستند.

خاک اره یک سلولز است که از حلقه‌های آلیفاتیک دارای گروه‌های عاملی (OH) تشکیل شده است. شکل ۲ طیف خاک اره قبل از جذب را نشان می‌دهد. منطقه ۵۰۰-۲۰۰۰ مربوط به CH_2 آلیفاتیک است و عدد حداکثر ۳۳۳۶ مربوط به رطوبت خاک اره و (OH) است. در طیف خاک اره بعد از جذب (شکل ۳)، عدد حداکثر ۳۴۲۰ مربوط به رطوبت و (OH) سلولز است و عدد حداکثر دوشاخه‌ای در ۲۹۰۰ و ۲۸۰۰ مربوط به نیترات جذب شده و گروه‌های نیتروژنی و آمینی است. چون خاک اره در حین عمل جذب از محیط واکنش جدا می‌شود، امکان تشکیل آمونیاک و دیگر ترکیبات نیتروژنی و گروه‌های آمینی به دلیل قرار گرفتن در معرض هوا و تاثیر شرایط محیط بر آن وجود دارد (اسلامپور، ۱۳۸۹؛ اکبری و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۴- نمودار مربوط به ایزوترم جذب لانگمویر



شکل ۵- نمودار مربوط به ایزوترم جذب فروندلیچ

روی جاذب است. (Akhtar et al. (2007 نشان دادند که در غلظت‌های بالا، جذب از طریق اتصال سطحی به دلیل اشباع شدن سایت‌های جاذب بسیار ناچیز است. در این کار پژوهشی، رابطه‌های (۲) تا (۴) مربوط به ایزوترم لانگمویر و رابطه‌های (۵) و (۶) مربوط به ایزوترم فروندلیچ است.

معادلات لانگمویر

$$q_{m,exp} = \frac{V(C_0 - C_r)}{m} \quad (2)$$

که q_m : ظرفیت جذب نیتراژ محاسبه شده (میلی گرم بر لیتر)، C_0 : غلظت نیتراژ اولیه (میلی گرم بر لیتر)، C_r : غلظت نیتراژ باقی‌مانده (میلی گرم بر لیتر)، V : حجم نمونه و m : وزن جاذب (گرم) هستند.

$$q_e = \frac{q_m K C_e}{1 + b C_e} \quad (3)$$

که C_e : غلظت تعادلی جذب (میلی گرم بر لیتر)، q_m : حداکثر ظرفیت جذب (میلی گرم بر لیتر)، q_e : حداکثر ظرفیت جذب (میلی گرم بر لیتر)، و B : ثابت لانگمویر (لیتر بر میلی گرم) هستند.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K q_m} \quad (4)$$

که K از رسم نمودار $1/q$ بر حسب $1/C$ به دست می‌آید (شکل ۵).

معادلات فروندلیچ

$$q_e = K C_e^{1/n} \quad (5)$$

که q_e : ظرفیت جذب تعادلی (میلی گرم بر گرم)، K : ثابت جذب فروندلیچ (میلی گرم بر گرم)، و C_e : غلظت تعادلی ماده جذب شونده (میلی گرم بر لیتر) هستند.

$$\ln q_e = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

که K از رسم نمودار موجود در شکل ۶ به دست می‌آید که در این رابطه k وابسته به ظرفیت جذب و $1/n$ تابعی از شدت جذب هستند.

$$R_L = \frac{1}{1 + K C_0} \quad (7)$$

با استفاده از محاسبات ریاضی، نشان داده شد که در رابطه (۷)، پارامتر R_L در ایزوترم لانگمویر با توجه به اطلاعات زیر تفسیر می‌شود. وقتی $R_L = 0$ باشد یعنی غیرقابل بازگشت است. وقتی $0 < R_L < 1$ باشد یعنی مطلوب است. زمانی که $R_L = 1$ باشد یعنی به صورت خطی است، و زمانی که $R_L > 1$ باشد یعنی نامطلوب است.

با توجه به تطابق بهتر نتایج و نمودار لانگمویر در این تحقیق نشان‌دهنده تناسب خوب مدل تک لایه‌ای لانگمویر برای حذف نیتراژ توسط جاذب‌های این تحقیق است. این انطباق خوب به دلیل توزیع همگون سایت‌های جذب بر روی سطح جاذب‌ها است، زیرا ایزوترم لانگمویر سطح جاذب را به صورت همگون فرض می‌کند. در غلظت‌های پایین محلول، تعداد مکان‌های فعال برای جذب روی سطح جاذب بیشتر از حالتی است که غلظت نیتراژ در محلول بیشتر است. بنابراین در صد بالایی از نیتراژ، جذب جاذب می‌شوند و هم‌چنین در غلظت‌های پایین سایت‌های خاصی مسئولیت جذب را برعهده دارند که این سایت‌ها در غلظت‌های بالا اشباع می‌شوند. در نتیجه در غلظت‌های بالا اشغال مکان‌های سطحی خالی باقی‌مانده مشکل است، چون بین مولکول‌های جذب‌شده روی سطح جامد و مولکول‌هایی که در فاز محلول قرار دارند دافعه به وجود می‌آید.

در یک فرآیند جذب، غلظت اولیه یون‌های ماده جذب شونده در محلول یک نقش کلیدی به عنوان نیروی محرک برای غلبه بر مقاومت انتقال جرم بین فاز مایع و فاز جامد را دارا است. لذا انتظار می‌رود که با افزایش غلظت، مقدار یون‌های جذب شده افزایش یابد. با این حال تعداد این سایت‌های فعال جذب به تدریج با افزایش زمان فرآیند و افزایش تعداد یون‌های جذب‌شده بر روی جاذب، کاهش پیدا می‌کند، به طوری که سرعت جذب به طور محسوسی کاهش یافته و منجر به شکل‌گیری تعادل در جذب می‌شود. درحالی که میزان راندمان حذف روند معکوسی را نشان می‌دهد. به طوری که با افزایش غلظت اولیه درصد حذف کاهش می‌یابد. زیرا در غلظت پایین سایت‌های جذب قابل دسترس بوده و به راحتی اشغال می‌شوند. در واقع در غلظت پایین نیتراژ، نسبت بین تعداد مول‌های اولیه در محلول و مساحت سطح قابل دسترس کم بوده و لذا جذب مستقل از غلظت اولیه است. اما در غلظت‌های بالاتر تعداد سایت‌های قابل دسترس در مقایسه با تعداد مول‌های نیتراژ موجود کمتر شده و بنابراین درصد حذف وابسته به غلظت اولیه خواهد بود.

(Horsfall et al. (2006 این ایده را تقویت و اظهار کرد که کاهش درصد حذف هنگام افزایش غلظت اولیه به خاطر افزایش تعداد یون‌های رقابت‌کننده برای سایت‌های جذبی قابل دسترس بر روی جاذب و نهایتاً کمبود سایت‌های مذکور در غلظت‌های بالا است. ضمناً در غلظت‌های بالاتر کاهش متوسط فاصله بین اجزای جذب‌شده بر روی توزیع شارژ الکتریکی مجاور خود تاثیر گذاشته، بنابراین قابلیت و توانایی اجزای جذب‌شونده در مهاجرت به سوی سطح جاذب تغییر می‌یابد و نتیجه آن کاهش تثبیت یون‌ها بر

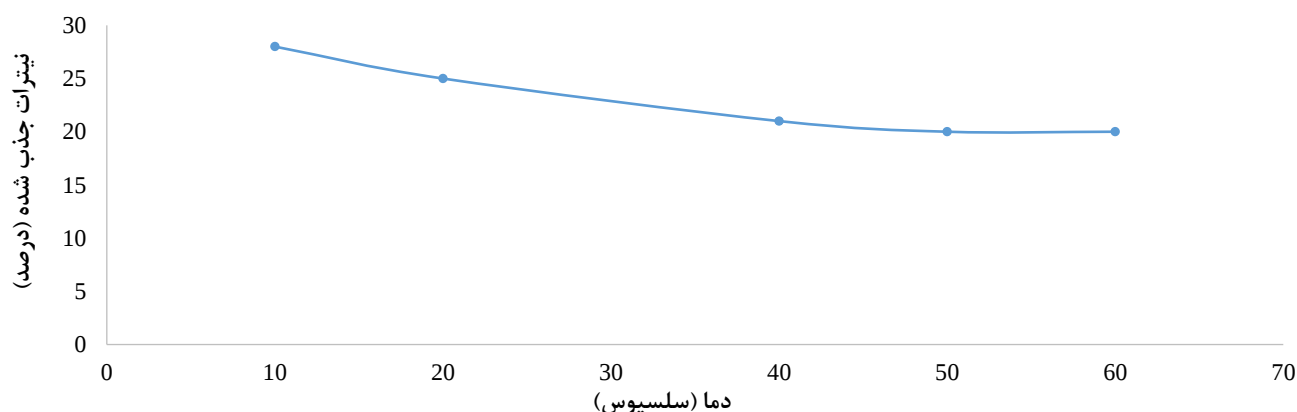
جدول ۲- ایزوترم‌های جذب مربوط به مدل‌های لانگمویر و فرندلیچ

مدل ایزوترم	معادله	R^2	K
لانگمویر	$y = 48.048x + 2.9002$	۰/۹۹۵۱	۰/۰۶۰۳۶
فرندلیچ	$y = 0.5359x - 3.389$	۰/۹۹۳۶	۷۳/۴۵۱۳

۳-۴- تاثیر دما

جذب به وجود می‌آید، ولی توانایی کل جذب کاهش می‌یابد. تاثیر دما بستگی کلی به نوع جاذب مورد استفاده دارد، به طوری که برای هر جاذب مخصوص باید در دمای بهینه به کار برده شود تا میزان جذب بهتری صورت گیرد (شکل ۶).

دمای محلول بر روی میزان جذب موثر است، چون جذب سطحی یک فرآیند گرمازا است، در درجه حرارت‌های پایین میزان جذب بیشتر است و در درجه حرارت‌های بالا افزایش در سرعت

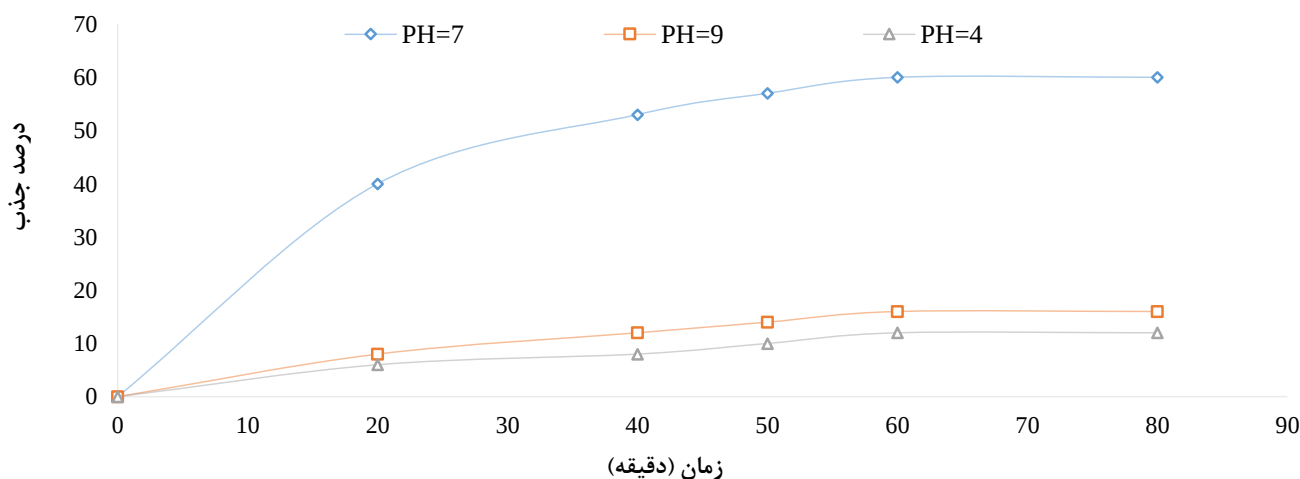


شکل ۶- نمودار تاثیر دما بر مقدار جذب نیترات توسط جاذب خاک اره درخت گردو

۳-۵- اثر pH بر روی جذب

اسیدی، به دلیل وجود یون H^+ ، فعالیت عامل‌های کربونیل، کربوکسیل و هیدروکسیل که عامل‌های جذب یون نیترات در سطح جاذب هستند کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان جذب یون نیترات به دلیل عدم جذب سطحی مناسب کاهش دارد.

همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، با تغییر pH اولیه از محیط اسیدی ($pH = 2$) به محیط خنثی ($pH = 7$) به ترتیب درصد حذف نیترات از ۱۲ به ۶۰ افزایش یافته است. در محیط



شکل ۷- نمودار تاثیر pH بر روی جذب

۳-۶- مطالعه ترمودینامیک جذب

تعادل با دما در حالت تعادلی مورد بررسی و محاسبه قرار داد. تغییرات انرژی آزاد گیبس واکنش جذب به وسیله رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

عامل‌های ترمودینامیکی مانند انرژی آزاد گیبس، تغییرات آنتالپی و تغییرات آنتروپی را می‌توان با استفاده از تغییرات ثابت

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d \quad (8)$$

که ΔG° : تغییرات انرژی آزاد گیبس (کیلو ژول)، R : ثابت عمومی گازها، T : دما (بر حسب کلوین)، و K_d : ثابت تعادل (تشکیل) هستند.

پس با تغییر دما و اندازه‌گیری و محاسبه ثابت تعادل می‌توان تغییرات انرژی آزاد استاندارد را با تغییرات دما به‌دست آورد. از طرف دیگر با رسم نمودار خطی تغییرات انرژی آزاد استاندارد با دما به کمک رابطه (۹) می‌توان تغییرات آنتروپی استاندارد جذب و تغییرات آنتالپی استاندارد جذب را حساب کرد. با توجه به رابطه (۹)، با رسم نمودار خطی تغییرات انرژی آزاد گیبس فرآیند جذب با دما، با استفاده از شیب خط، تغییرات آنتروپی و عرض از مبدا، تغییرات آنتالپی فرآیند جذب محاسبه می‌شود.

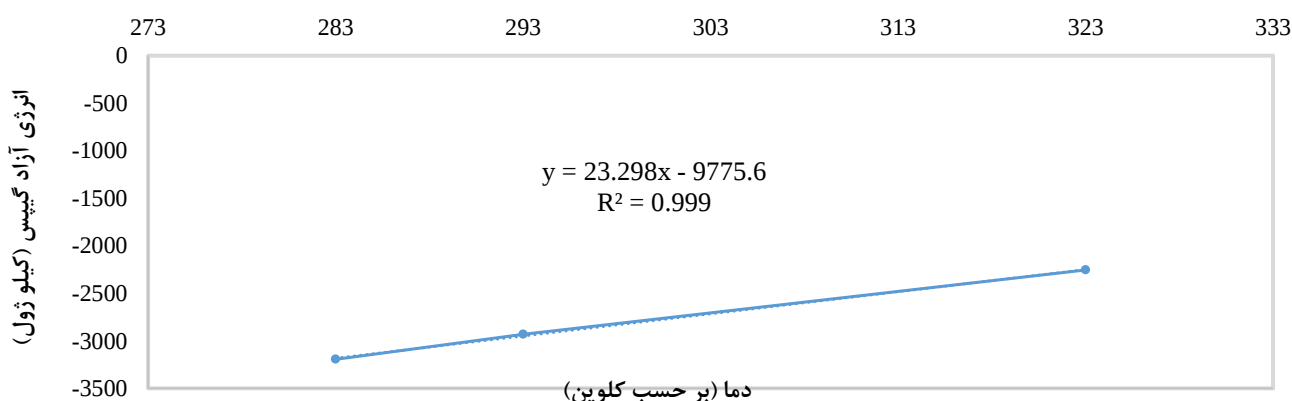
$$\Delta G^\circ = \Delta H - T\Delta S \quad (9)$$

که ΔG° : تغییرات انرژی آزاد گیبس (کیلو ژول)، ΔS : تغییرات آنتروپی (ژول بر کلوین)، و T : دما (بر حسب کلوین) هستند. شکل ۸ نمودار تغییرات انرژی آزاد استاندارد گیبس فرآیند

جذب نیترات با دما را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار دیده می‌شود که با افزایش دما انرژی آزاد استاندارد گیبس سیستم کاهش می‌یابد. از طرف دیگر تغییرات انرژی آزاد استاندارد گیبس با دماهای گوناگون نشان می‌دهد که رفتار خطی با ضریب همبستگی ($R^2 = 0.999$) مناسب بین این دو عامل وجود دارد. تغییرات آنتالپی استاندارد و تغییرات آنتروپی استاندارد فرآیند جذب نیترات توسط خاک اره درخت گردو، به‌ترتیب با اندازه‌گیری عرض از مبدا و شیب این نمودار خطی (شکل ۸) به‌دست آمده است. نتایج محاسبات مربوط به این اندازه‌گیری در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این جدول، مقادیر $9775.6/23.298$ ژول بر مول و $23/298$ ژول بر مول درجه کلوین به‌ترتیب برای تغییرات استاندارد آنتالپی و تغییرات استاندارد آنتروپی به‌دست آمده است.

$$K_d = \frac{\text{مقدار نیترات جذب شده}}{\text{مقدار نیترات جذب نشده}} \times \frac{V}{m} \quad (10)$$

که K_d : ثابت تشکیل، V : حجم (لیتر)، و m : جرم (گرم) هستند.



شکل ۸- نمودار تغییرات انرژی آزاد استاندارد گیبس با دما (بر حسب کلوین) در فرآیند جذب نیترات

آزادی در بین فاز مایع جامد است که همان افزایش بی‌نظمی در فصل مشترک فرآیند جذب است. این یافته نشان می‌دهد که جذب نیترات همیشه خود به‌خود است. (Katal et al., 2012) رفتار مشابهی را در جذب نیترات در پوسته برنج اصلاح شده گزارش کردند.

مقادیر منفی انرژی آزاد گیبس استاندارد نشان می‌دهد که جذب نیترات در تمام دماهای مشاهده شده خود به‌خود و امکان‌پذیر است. مقادیر منفی آنتالپی استاندارد نشان می‌دهد که جذب نیترات توسط جاذب خاک اره درخت گردو، گرمازا است، یعنی میل ترکیبی برای نیترات در دماهای بالا کاهش می‌یابد. مقدار آنتروپی استاندارد مثبت است و نشان‌دهنده افزایش درجه

جدول ۳- پارامترهای ترمودینامیکی جذب نیترات توسط خاک اره درخت گردو

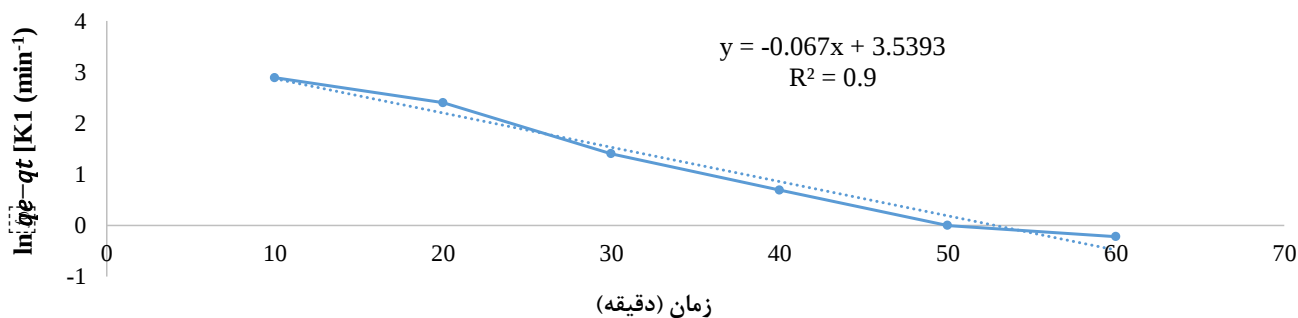
R^2	K_d	ΔG° ($\frac{J}{mol}$)	ΔH ($\frac{J}{mol}$)	ΔS ($\frac{J}{mol \cdot K}$)	دما (کلوین)
	۳/۸۸۸	-۳۱۹۴/۹۲۷			۲۸۳
۰/۹۹۹	۳/۳۳۳	-۲۹۳۲/۶۳۰	-۹۷۷۵/۶	۲۳/۲۹۸	۲۹۳
	۲/۵	-۲۲۵۴/۶۴۸			۳۲۳

۷-۳- سینتیک فرآیند جذب

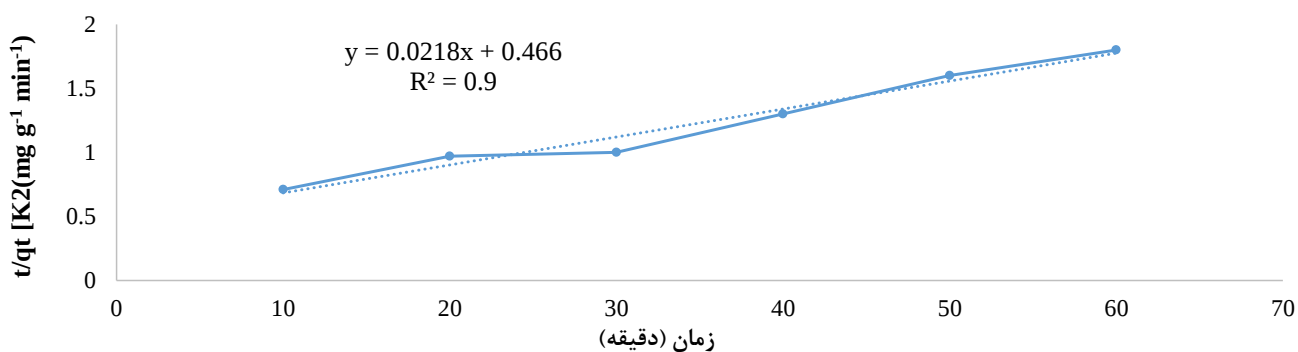
به منظور بررسی سینتیک فرآیند جذب در خاک اره درخت گردو و حذف نیترات از فاضلاب خام شهر تهران، مدل‌های شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و مدل انتشار درون ذره‌ای و بر و موریس بررسی شد. مدل شبه مرتبه اول برای نشان دادن جذب فیزیکی برگشت پذیر، مدل شبه مرتبه دوم جذب شیمیایی بین جاذب و جذب شونده را نشان داد. برای اعتبارسنجی مرحله کنترل سرعت در طول جذب، از مدل (و بر و موریس) نفوذ درون ذره استفاده شد. با توجه به نتایج جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱، مقدار Q_e در مدل شبه مرتبه اول برابر با $34/2$ میلی گرم بر گرم را نشان می‌دهد، در حالی که مقدار Q_e در مدل شبه مرتبه دوم $45/87$ میلی گرم بر گرم است. از طرفی مقدار تجربی Q_e به دست آمده برابر با 32 میلی گرم بر گرم بود. در ادامه، ضرایب همبستگی رگرسیون خطی (R^2) به عنوان مبنایی برای ارزیابی

کاربرد مدل در داده‌های تجربی استفاده شد. طبق جدول ۴ و شکل ۸، سینتیک جذب نیترات از مدل شبه مرتبه اول پیروی می‌کند، زیرا ضریب R^2 بالاتری نسبت به R^2 شبه مرتبه دوم دارد. شکل ۱۱، دو مرحله جذب را نشان می‌دهد: مرحله اول شکل با شیب تند، نشان می‌دهد که جذب به سرعت رخ می‌دهد (احتمالاً به دلیل جذب سطحی)، و مرحله دوم با شیب متوسط، نشان دهنده جذب آهسته‌تر، معمولاً به دلیل نفوذ درون ذره است.

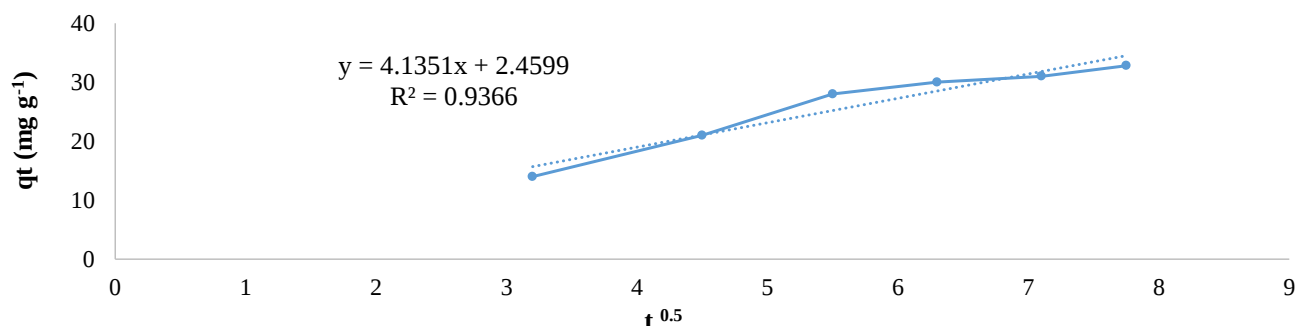
این یافته‌ها نشان می‌دهد جذب نیترات توسط خاک اره درخت گردو به طور قابل توجهی سریع بود، که مدل شبه مرتبه اول با داده‌های سینتیک جذب نیترات توسط خاک اره درخت گردو با حداکثر ظرفیت جذب $34/2$ میلی گرم در گرم برازش دارد. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ منحنی سینتیک مرتبه اول و مرتبه دوم نشان داده شده است. پارامترهای مناسب برای هر مدل و معادلات خطی برای هر مدل در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.



شکل ۹- نمودار سینتیک شبه مرتبه اول حذف نیترات از فاضلاب توسط خاک اره درخت گردو



شکل ۱۰- نمودار سینتیک شبه مرتبه دوم حذف نیترات از فاضلاب توسط خاک اره درخت گردو



شکل ۱۱- نمودار نفوذ در فرآیند جذب نیترات توسط خاک اره درخت گردو

جدول ۴- بررسی مدل‌ها و پارامترهای شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و نفوذ (Wahab et al., 2010 ; Lee et al., 2015 ; Wang et al., 2019) مربوط به سینتیک جذب نیترات توسط خاک اره درخت گردو

مدل	معادله خطی	پارامترها (واحدها)	جذب نیترات	$q_{e.exp} (mg\ g^{-1})$
		$q_e (mg\ g^{-1})$	۳۴/۲	۳۲
شبه مرتبه اول	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$	$k_1 (min^{-1})$	۰/۰۶۷	
		R^2	۰/۹۷۶۴	
		$q_e (mg\ mg^{-1})$	۴۵/۸۷	۳۲
شبه مرتبه دوم	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$	$k_2 (mg\ g^{-1}\ min^{-1})$	۰/۰۰۱۰	
		R^2	۰/۹۷۲۳	
		$k_b (mg\ g^{-1}\ h^{-0.5})$	۴/۱۳۵۱	
نفوذ	$q_t = kt^{0.5} + C$	C	۲/۴۵۹۹	
		R^2	۰/۹۳۶۶	

جدول ۵- مدل ایزوترم لانگمویر (Nodeh et al., 2017) و فروندلیچ (Yin et al., 2018) به همراه معادلات خطی و پارامترهای آن در جذب نیترات از فاضلاب مورد مطالعه

مدل ایزوترم	معادله خطی	پارامترها (واحدها)	جذب نیترات
		$q_{Lm} (mg\ mg^{-1})$	۳۴/۴۸
لانگمویر	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m}$	$K_L (L\ mg^{-1})$	۰/۰۶۰۳
		R^2	۰/۹۹۵۱
		$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0}$	۰/۱۳۹۳
		$k_f [(mg\ g^{-1})(L\ mg^{-1})^{1/n}]$	۷۳/۴۵۱۳
فروندلیچ	$\ln q_e = \ln q_f + (1/n) \ln C_e$	n	۱/۸۶۶۰
		R^2	۰/۹۹۳۶

جدول ۶ مقایسه ظرفیت جذب نیترات از فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق توسط خاک اره درخت گردو را با سایر جاذب‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به جستجو در منابع علمی

جدول ۶- مقایسه ظرفیت جذب خاک اره درخت گردو با سایر جاذب‌های مشابه بر مبنای مدل لانگمویر

جاذب	ایزوترم	پارامترها (واحد)	مقدار
		$q_{m.exp} (mg/g)$	۳۲/۲
خاک اره کاج	لانگمویر	$q_m (mg/g)$	۳۲/۵
(Keränen et al., 2015)		R^2	۰/۹۸۹۶
خاک اره بلوط (اصلاح شده، بیوچار) La-600	لانگمویر	$q_m (mg/g)$	۱۰۰
(Wang et al., 2015)		R^2	۰/۹۵
خاک اره بلوط (اصلاح شده، بیوچار) CK-600	لانگمویر	$q_m (mg/g)$	۸/۹۴
(Wang et al, 2015)		R^2	۰/۹۹
		$q_{m.exp} (mg/g)$	۴/۳۶۶
مواد زائد لیگنوسلولزی	لانگمویر	$q_m (mg/g)$	۴/۳۷۶
(Stjepanović et al., 2019)		R^2	۱
		$q_{m.exp} (mg/g)$	۳۲
خاک اره درخت گردو (این تحقیق)	لانگمویر	$q_m (mg/g)$	۳۴/۲
		R^2	۰/۹۹۵۱

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با بررسی‌ها و مطالعات انجام شده حذف نیترات از فاضلاب خام شهری (تهران) توسط خاک اره درخت گردو به روش جذب سطحی به عنوان یک روش سبز، موثر و کارآمد معرفی و تاثیر برخی عوامل نظیر ساختار، غلظت و دما مطالعه شد. با آزمایش‌های انجام شده مدل‌های مختلف ایزوترم جذب (فروندلیچ و لانگمویر) رسم و پردازش شد. نتایج به دست آمده از ایزوترم‌های لانگمویر $R^2 = 0.9951$ و فروندلیچ $R^2 = 0.9936$ بیانگر جذب بهتر در غلظت‌های پایین بود که از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند. در ادامه بررسی‌ها، تاثیر دما بر جذب بررسی شد و نتایج بیانگر بهتر بودن جذب در دماهای پایین بود. به منظور بررسی تاثیر pH در میزان جذب، آزمایش‌های متعددی انجام شد. بررسی‌ها نشان داد شرایط بهینه برای تاثیر pH در محدوده خنثی (pH=7) بود. به منظور تکمیل شدن پارامترهای جذب، مطالعات ترمودینامیکی نیز بررسی شد. در این بررسی تغییرات آنتالپی به گرمازا بودن جذب نیترات، و تغییرات آنتروپی به افزایش بی‌نظمی در فرآیند جذب حکایت دارد. منفی بودن انرژی آزاد گیبس نیز دلالت بر خود به خودی بودن فرآیند دارد. به منظور بررسی سینتیک فرآیند جذب در خاک اره درخت گردو و حذف نیترات از فاضلاب خام شهر تهران، مدل‌های شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و مدل انتشار درون ذره‌ای وبر و موریس بررسی شدند. مطالعات سینتیکی نشان داد فرآیند جذب سطحی نیترات توسط خاک اره درخت گردو از معادله سینتیکی شبه مرتبه اول تبعیت می‌کند.

نتایج نشان داد این فرآیند به وسیله جذب فیزیکی برگشت پذیر کنترل می‌شود. هم چنین ظرفیت جذب به دست آمده از این معادله $34/2$ میلی گرم بر گرم بود که به مقدار تجربی آن 32 میلی گرم بر گرم نزدیک است. با توجه به طیف FT-IR جاذب، پدیده جذب نیترات با کمک ساختار سلولزی جاذب صورت می‌گیرد. استفاده از خاک اره درخت گردو (میکرو سایز) بدون اصلاح شیمیایی به عنوان یک جاذب طبیعی، سبز، دوستدار محیط زیست، کارآمد و موثر در حذف نیترات فاضلاب خام شهری (تهران) از ویژگی‌های بارز و مهم این تحقیق بود.

۵- مراجع

احمد پری، ه. و هاشمی گرم دره، س.، (۱۳۹۸)، "کاربرد دیواره دنیتریفیکاسیون در حذف نیترات از سفره‌های آب

زیرزمینی"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۴(۳)، ۱۳-۲۵.

احمد پری، ه. و هاشمی گرم دره، س.ا.، (۱۳۹۷)، "مروری بر کارایی راکتورهای زیستی دنیتریفیکاسیون در حذف نیترات از زهاب کشاورزی"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۴)، ۷۳-۸۹.

اسلامپور، غ.، (۱۳۸۹)، طیف سنجی مولکولی، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

اکبری، ب.، نوروزی، پ.، و گنجعلی، م.، (۱۳۸۵)، مبانی طیف بینی اتمی و مولکولی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران. یادگاری، ف.، عبداله زاده شرقی، ا.، و عدل، م.، (۱۳۹۶)، "حذف بیولوژیکی نیترات از آب آشامیدنی در سیستم هیبریدی بیوراکتور انوکسیک - بیوراکتور غشایی"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۲(۲)، ۲۴-۳۳.

AWWA, (1990), *Water quality and treatment*, 4th Edition, Mc Grow-Hill. Inc.

Akhtar, K., Akhtar, M.W., and Khalid, A.M., (2007), "Removal and recovery of uranium from aqueous solutions by *Trichoderma harzianum*", *Water Research*, 41, 1366-1378.

Battas, A., El Gaidoumi, A., Ksakas, A., and Kherbeche, A., (2019), "Adsorption study for the removal of nitrate from water using local clay", *The Scientific World Journal*, vol?? issue??, 9529618, <https://doi.org/10.1155/2019/9529618>.

Bhatnagar, A., and Minocha, A.K., (2006), "Conventional and non-conventional adsorbents for removal of pollutants from water, A review", *Indian Journal of Chemical Technology*, 13, 203-217.

de Lima, A.C.A., Nascimento, R.F., de Sousa, F.F., Filho, J.M., and Oliveira, A.C., (2012), "Modified coconut shell fibers: a green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions", *Chemical Engineering Journal*, 185-186, 274-284, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.037>.

Elyanow, D., and Persechino, J., (2021), "Advances in nitrate removal", Available online: https://www.gewater.com/kcpguest/documents/TechnicalPapers_Cust/Americas/English/TP1033EN.pdf (accessed on 15 June 2021).

Hekmatzadeh, A.A., Karimi-Jashni, A., Talebbeydokhti, N., and Kløve, B., (2013), "Adsorption kinetics of nitrate ions on ion exchange resin", *Desalination*, 326, 125-134, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.07.017>.

Horsfall, M., Abia, A.A., and Spiff, A.I., (2006), "Kinetic studies on the adsorption of Cd^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} ions from aqueous solutions by cassava (*Manihot sculenta* Cranz) tuber bark waste", *Bioresource Technology*, 97, 283-291, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.016>.

Katal, R., Baei, M.S., Rahmati, H.T., and Esfandian, H., (2012), "Kinetic, isotherm and thermodynamic study

- adsorption and biodegradation removal mechanisms during granular activated carbon filtration of microcystin toxins", *Water Research*, 41(18), 4262-4270.
- Wahab, M.A., Jellali, S., and Jedidi, N., (2010), "Ammonium biosorption onto sawdust: FTIR analysis, kinetics and adsorption isotherms modeling", *Bioresource Technology*, 101, 5070-5075, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.121>.
- Wang, C., Tan, H., Liu, H., Wu, B., Xu, F., and Xu, H., (2019), "A nanoscale ferroferric oxide coated biochar derived from mushroom waste to rapidly remove Cr(VI) and mechanism study", *Bioresource Technology Reports*, 7, 100253, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100253>.
- Xue, L., Gao, B., Wan, Y., Fang, J., Wang, S., Li, Y., Muñoz-Carpena, R., and Yang, L., (2016), "High efficiency and selectivity of MgFe-LDH modified wheat-straw biochar in the removal of nitrate from aqueous solutions", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 63, 312-317, <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.03.021>.
- Xu, X., Gao, B.-Y., Yue, Q.-Y., and Zhong, Q.-Q., (2010), "Preparation of agricultural byproduct based anion exchanger and its utilization for nitrate and phosphate removal", *Bioresource Technology*, 101, 8558-8564, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.060>.
- Yin, Q., Wang, R., and Zhao, Z., (2018), "Application of Mg-Al-modified biochar for simultaneous removal of ammonium, nitrate, and phosphate from eutrophic water", *Journal of Cleaner Production*, 176, 230-240, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.117>.
- of nitrate adsorption from aqueous solution using modified rice husk", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18, 295-302, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2011.11.035>.
- Katheresan, V., Kansedo, J., Lau, S., (2018), "Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 4676-4697, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>.
- Keränen, A., Leiviskä, T., Hormi, O., and Tanskanen, J., (2015), "Removal of nitrate by modified pine sawdust: Effects of temperature and co-existing anions", *Journal of Environmental Management*, 147, 46-54.
- Lee, J.E., Park, and Y.-K., (2020), "Applications of modified biochar-based materials for the removal of environment pollutants: A mini review", *Sustainability*, 12, 6112.
- Naushad, M., Ahamad, T., Al-Maswari, B.M., Abdullah Alqadami, A., and Alshehri, S.M., (2017), "Nickel ferrite bearing nitrogen-doped mesoporous carbon as efficient adsorbent for the removal of highly toxic metal ion from aqueous medium", *Chemical Engineering Journal*, 330, 1351-1360, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.08.079>.
- Nodeh, H.R., Sereshti, H., Afsharian, E.Z., and Nouri, N., (2017), Enhanced removal of phosphate and nitrate ions from aqueous media using nanosized lanthanum hydrous doped on magnetic graphene nanocomposite", *Journal of Environmental Management*, 197, 265-274, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.004>.
- Pintar, A., Batista, J., and Levec, J., (2001), "Catalytic denitrification: Direct and indirect removal of nitrates from potable water", *Catalysis Today*, 66, 503-510, [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(00\)00622-2](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(00)00622-2).
- Reddy, K.J., and Lin, J., (2000), "Nitrate removal from groundwater using catalytic reduction", *Water Research*, 34, 995-1001, [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00227-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00227-4).
- Schoeman, J.J., and Steyn, A., (2003), "Nitrate removal with reverse osmosis in a rural area in South Africa", *Desalination*, 155, 15-26.
- Stjepanović, M., Velić, N., and Habuda-Stanić, M., (2022), "Modified hazelnut shells as a novel adsorbent for the removal of nitrate from wastewater", *Water*, 14(5), 816.
- Stjepanović, M., Velić, N., Lončarić, A., Gašo-Sokač, D., Bušić, V., and Habuda-Stanić, M., (2019), "Adsorptive removal of nitrate from wastewater using modified lignocellulosic waste material", *Journal of Molecular Liquids*, 285, 535-544.
- Wang, Z., Guo, H., Shen, F., Yang, G., Zhang, Y., Zeng, Y., Wang, L., Xiao, H., and Deng, S., (2015), "Biochar produced from oak sawdust by Lanthanum (La)-involved pyrolysis for adsorption of ammonium (NH₄⁺), nitrate (NO₃⁻), and phosphate (PO₄³⁻)", *Chemosphere*, 119, 646-653.
- Wang, H., Ho, L., Lewis, D.M., Brookes, J.D., and Newcombe, G., (2007), "Discriminating and assessing



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Regional Tilt Study of Trees and Structures Due to Soil Settlement of Broken Pipe of Water Distribution Network in Tehran

بررسی کج شدن ناحیه‌ای درختان و سازه‌ها ناشی از نشست خاک در اثر شکستگی لوله شبکه توزیع آب در تهران

Nozar Nozary¹, Reza mastouri^{2*} and Seyed Mohammad Mirhosseini²

1- Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

*Corresponding Author, Email: r-mastouri@iau-arak.ac.ir

Received: 26/06/2022

Revised: 07/11/2022

Accepted: 14/11/2022

© IWWA

نوذر نوذری^۱، رضا مستوری^{۲*} و سید محمد میرحسینی^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: r-mastouri@iau-arak.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Burst of the water pipe causes soil settlement, which can cause deformation in structures and trees, depending on the type of soil and weight of structures. Damages caused by this phenomenon in Iran are covered by fire building insurance. Fire station is under the supervision of the municipality of Tehran. The analysis of four-year data of urban water pipe burst in District 5 of Tehran has been done. This analysis helps to find places with burst to find a way to preserve trees after water pipes burst. In this research, the bursting of the water pipe, which has caused damage to the building, asphalt, etc., has been selected in the places where the data was available, and then the effect of the bursting of the water pipe on the trees has been investigated and analyzed. In these accidents, trees and utilities around the place where the water pipe burst were examined to eliminate the effects of wind or pests and sunlight, etc., that affect the trees, so that by comparing the pipe burst on them, the area of the urban water pipe burst could have been managed to cause less damage to the trees and utilities.

Keywords: Tree tilting; Water pipe burst; Settlement; Urban water distribution network.

چکیده

شکستگی لوله آب باعث آبستگی خاک و پدیده نشست خاک می‌شود که می‌تواند بسته به نوع خاک و وزن موجب تغییر شکل در سازه و درختان شود. خسارت‌های ناشی از این پدیده در ایران توسط بیمه آتش‌سوزی پوشش داده می‌شود و در هنگام نشست، آتش‌نشانی که زیرنظر شهرداری است به ایمن‌سازی محل می‌پردازد. بررسی و تحلیل داده‌های چهار ساله شکستگی، لوله آب شهری در منطقه ۵ تهران انجام شده است. در این تحقیق موارد ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب در مکان‌هایی که اطلاعات حادثه موجود بوده انتخاب و بررسی شده است. در این حوادث درختان و علایم راهنمایی و رانندگی و تیرهای برق اطراف محل ترکیدگی لوله آب برای حذف اثرات عوامل باد یا آفت و نور خورشید و غیره که بر درختان موثر هستند، بررسی شده است که با توجه به نتایج، باعث کج‌شدن ناحیه‌ای درختان و سازه‌ها به‌صورت یک‌طرفه و زیگزاگ در اثر نشست خاک ناشی از شکستگی لوله شبکه توزیع آب شده است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، شکستگی لوله آب شهری، کج‌شدگی درختان، نشست.

درختان توسط محققان دیگر در شهر تهران در اثر افزایش رطوبت خاک و فاصله و آبیاری سطحی بررسی شده است (مستوری و همکاران، ۱۴۰۰). تحقیقات نشان داده است که معیار ضعف ساختاری با ۶۱ درصد بیشترین سهم را در خطرآفرینی برای درختان چنار داشته است. ضعف ساختاری، ناشی از ناپایداری درخت است که بخشی تحت تاثیر عوامل مرتبط با ریشه درخت است (قهساره، ۱۴۰۰).

با توجه به این که شرکت های آب و فاضلاب هیچ اشاره ای به خسارات ناشی از این حوادث نکرده اند لذا گزارش ها، عکس ها و فیلم های موجود که در خبرگزاری های داخل کشور و شکایات صورت گرفته، بیشتر بررسی شده است. از طرفی شهرداری ها بیشترین تعمیرات و اصلاحات را در سازه های شهری انجام داده اند که گزارش آن در بخش مدیریت بحران شهری آمده است. همچنین در طول زمان تغییرات فقط توسط شهرداری ها مشاهده می شود و در غیر حوادث بازدید میدانی توسط شرکت های آب و فاضلاب از مسیر لوله ها در سطح زمین انجام نمی شود (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۱). در سال های گذشته در تهران و شهرهای دیگر شکستگی شبکه توزیع لوله آب باعث نشست در راه ها و ساختمان های بسیاری شده است که به چند نمونه از شهرهای مختلف در ادامه اشاره می شود. در سال ۱۳۸۹ ترکیدگی لوله آب شبکه توزیع موجب نشست زمین میدان منیریه تهران در اثر شسته شدن خاک شده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۸۹). در سال ۱۳۹۵ نشست زمین در خیابان ولیعصر تهران به دلیل ترکیدگی لوله آب شبکه توزیع شهری گزارش شده است (خبرگزاری ایلنا، ۱۳۹۵). در سال ۱۳۹۷ ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری در قزوین و نشست زمین و خطر ریزش ساختمان گزارش شده است (خبرگزاری جوان، ۱۳۹۷). در سال ۱۳۹۸ ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری در شهر ری تهران موجب فرونشست زمین شده است (خبرگزاری ایرنا، ۱۳۹۸). در سال ۱۳۹۹ شکستگی لوله موجب فرونشست زمین در خیابان خرمشهر مشهد شده است (خبرگزاری تسنیم، ۱۳۹۹) به نقل از معاونت فنی و عمرانی شهرداری تبریز، در سال ۱۳۹۹ اصلاح نشست خیابان ناشی از ترکیدگی لوله انتقال آب در خیابان امام خمینی انجام شده است (شهرداری منطقه هشت تبریز، ۱۳۹۹). در سال ۱۴۰۰ نشست آسفالت خیابان کارگر به دلیل ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری گزارش شده است (خبرگزاری آنا، ۱۴۰۰). ارزیابی این حوادث، از بعد این که چه سازمانی متولی این کار است نیز بین شهرداری، آتش نشانی و امور آبفا و مدیریت بحران و غیره پیچیدگی هایی دارد. از این لحاظ که اگر ترکیدگی رخ دهد و آب

گزارش های مربوط به شرکت های آب و فاضلاب محیط شهری نشان می دهد سالانه نزدیک به یک میلیون حادثه در شبکه توزیع آب شهری ایران به وقوع می پیوندد (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۹). این موضوع تاثیر زیادی بر سازه های نزدیک محل شکستگی در محیط شهری برجای می گذارد. آلودگی هوا، شرایط نامناسب زیستی و طرح های عمرانی از برجسته ترین عوامل آسیب دیدن چنارها در حاشیه خیابان است. از طرفی، تهران به شهر چناران مشهور بوده است و حفظ چنارهای کهن سال این شهر ارزش تاریخی و محیط زیستی دارد (هویدی و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق حوادث شبکه آبرسانی منطقه ۵ شهرداری تهران از نظر تعداد، جنس، قطر لوله و زمان شکستگی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا اطلاعات و آمار شکستگی از امور مشترکین و کارشناسان رسمی دادگستری منطقه تهیه شد و سپس با مراجعه به محل حادثه، وضعیت درختان بررسی و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بررسی درختان از این لحاظ مهم است که با شناسایی تغییر شکل درختان در محل، می توان به نشت احتمالی شبکه توزیع آب یا مشکلات شبکه جمع آوری آب و فاضلاب و مدیریت آب های سطحی ناشی از بالا رفتن سطح آب زیرزمینی و نشست خاک پی برد. براساس نتایج آنالیز حساسیت قطر تاج، طول تاج درخت، انحراف تنه درخت و قطر یقه درخت به ترتیب بیشترین تاثیر را در طبقه بندی شدت ریسک درختان خطرآفرین داشته اند که انحراف تنه درخت به وضعیت ریشه در خاک و عوامل موثر بر آن بستگی دارد (جهانی، ۱۳۹۵).

نوآوری پیشهادی در تحقیق حاضر، ساده بوده و نیازمند هیچ دستگاه پیچیده برای گمانه زنی نیست و می توان با مشاهدات عینی و جمع آوری شواهد در محل، تصمیم گیری برای جابجایی درخت یا محافظت از درخت تصمیم گیری کرد و یا تعمیرات شبکه آب با حفاظت از درختان را انجام داد. جلوگیری از نشست یک ساختمان کاری پیچیده و گاهی غیرممکن است اما درخت موجود زنده ای است که می تواند با کمک ما به بازسازی خود و تطبیق با شرایط جدید بپردازد. یکی از مواردی که در چند سال اخیر زمینه را برای حوادث درختان بالا برده است کج شدن درختان است. بدین صورت که ریشه های درخت سالم از خاک بالا زده و قابل مشاهده هستند و درخت هیچ گونه آسیب مکانیکی و آفت نیز ندارد. الگوهای کج شدگی تک درخت یا کج شدگی ناحیه ای در مسیر جریان آب های سطحی نیست. الگوهای گروهی کج شدگی

اصلی آن پوسیدگی و شکست لوله‌ها است (مطیعی و همکاران، ۱۳۹۶).

در مطالعات گذشته محققان برای بررسی تأثیر آب و خاک بر لنگرگاه درختان مدل جدیدی برای لنگر انداختن درختان ایجاد شد که شامل توصیف دقیق خواص مکانیکی خاک و معماری ریشه‌ها در این مدل است و می‌تواند به درختان در مراحل مختلف رشد و گونه‌های مختلف قابل تعمیم باشد. خاک‌های مختلف در ترکیب با داده‌های میدانی با شبیه‌سازی‌های مدل‌های قبلی نشان داد که لنگرگاه کاج پیناستر جوان در شن‌ها با خیس شدن خاک به شدت کاهش نمی‌یابد. تا زمانی که خاک به اشباع برسد اشباع کامل افت قابل توجهی در لنگرگاه درخت ایجاد می‌کند. این یافته با یافته‌های قبلی فاصله دارد. این اثر آب و خاک باعث کج شدن و بالازدگی ریشه درخت از درون خاک در حالت اشباع دارد (Défosse et al., 2021).

در این تحقیق اثر شکستگی لوله‌های شبکه توزیع آب شهری بر روی درختان و سایر سازه‌های اطراف محل حادثه برای اولین بار در تهران بررسی شده است. عوامل موثر از قبیل مکانیک خاک و درختان، سازه‌ها و نوع کج شدگی آن‌ها و قطر لوله شبکه توزیع آب در محل شکستگی نیز طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل شده است که جزء نوآوری این مقاله است. هدف از انجام این تحقیق حفاظت از درختان و نشت‌یابی شبکه توزیع آب شهری با شیوه‌ای نوین است. با توجه به این موضوع بررسی میدانی و جمع‌آوری اطلاعات انجام شده است. در گذشته دستورالعمل یا گزارشی در این خصوص برای ارزیابی درختان وجود نداشته است و لذا از نتایج موجود در این مقاله می‌تواند بهره‌برده و رویکردهای جدیدی را تدوین نمود.

۲- مواد و روش‌ها

الگوی کج شدن گروهی درختان در شهر تهران به دو عامل آب و خاک بستگی دارد. درختان آب مورد نیاز خود را از طریق ریشه و از طریق آبیاری سطحی و بارندگی و یا زیرسطحی (آبیاری قطره ای) از ریشه درون خاک دریافت می‌کنند. خاک مناسب گیاه خاکی است که دارای میزان مناسبی ماسه، لای و رس و فضای کافی برای رسیدن آب به ریشه باشد. اگر خاک اطراف درخت شخم زده شود مقاومت خاک را کمتر از خاک زیر سازه‌های ساختمانی اطراف می‌کند. لذا مقایسه الگوی خاص کج‌شدگی درختان در یک مسیر آبرو و بحث ناحیه‌ای کج‌شدگی سازه‌ها دارای اشتراکات و تفاوت‌هایی است (مستوری و همکاران، ۱۴۰۰).

به سطح زمین نرسد و آب وارد چاه فاضلاب ساختمان بشود و با ورود آب، خاک اطراف چاه سست شود و ساختمان نشست کند، وحدت‌نظر بین کارشناسان موجود نیست. زیرا که آب ناشی از ترکیدگی لوله در سطح زمین جاری نشده است که می‌توان به گزارش خانه‌های روی آب ورامین و گزارشات آبفا و آتش‌نشانی در سال ۱۳۹۱ اشاره کرد (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۱). در گزارشات مدیریت بحران شهرداری تهران به ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری به عنوان یکی از دلایل نشست ساختمان و فرونشست زمین در تهران تاکید شده است (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۱). در سال ۱۴۰۱ اقدام به موقع سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، از احتمال فروریزش بزرگراه شهید چمران که بر اثر ترکیدگی لوله آب در مسیر شمال به جنوب رخ داده بود، جلوگیری شد (خبرگزاری ایرنا، ۱۴۰۱).

درختان نقش‌های متفاوتی در محیط شهری تهران ایفا می‌کنند، زیرا به کاهش اثر بحران آب، بحران ریزگردها و آلودگی هوا افسردگی شهروندان کمک کرده و از طرف دیگر با افزایش زیبایی شهر و ایجاد سایه در خیابان‌ها و ایجاد پناهگاه برای جانداران و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها به مدیریت شهری کمک می‌کنند. با توجه به این که در کشورهای دیگر مانند انگلیس و آمریکا این قبیل بحران‌ها وجود ندارد، مشکل ترکیدگی لوله‌های شهری اکثراً از دیدگاه سازه‌ای بررسی می‌شود و اثر ترکیدگی لوله‌ها بر وضعیت درختان بررسی نشده است. در صورتی که درخت نیز همانند سایر سازه‌ها بر بستر خاکی متکی است و آسیب می‌بیند. مشکل دیگر در بررسی این موضوع در ایران و شاید دنیا عدم وجود آمارهای صحیح و یا نبود آمار است، زیرا هیچ سازمانی گزارشی مبنی بر خطا برای اصلاح رویکردها و عملکردهای خود برای کسب نتایج بهتر ارائه نمی‌کند و معمولاً به پوشاندن قضیه می‌پردازد. لذا نقش خبرگزاری‌ها در ایران و خارج از کشور در تهیه گزارش از این نوع حوادث می‌تواند کمک‌کننده باشد.

امروزه به علت بالا بودن عمر سامانه‌های آب در کشور و نیاز مبرم به ارتقای این سامانه‌ها، تقاضا برای تحقیق بیشتر در این حوزه وجود دارد. یکی از راه‌کارها و کلیدهای مهم مدیریت بهینه بهره‌برداری، اتخاذ استراتژی‌های صحیح نوسازی و بازسازی در شبکه‌های توزیع آب شهری، پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌ها و ارزیابی قابلیت کاربری آن‌ها است. در نتیجه لازم است بررسی کاملی از حوادث و اتفاقات شبکه، عوامل مؤثر در ایجاد حادثه و تأثیر مشخصات لوله‌ها در تعداد حوادث و اتفاقات شبکه داشت. در شهر تهران براساس وضعیت موجود میزان تلفات آب بین ۲۵ تا ۳۰ درصد حجم کل آب تامین شده بوده که یکی از عوامل

شهرسازی آزمایش شده است. وزن مخصوص تنه درخت چنار سالم که در تصادف خودرو خیابان ولیعصر سقوط کرده و قطع شده بود ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با توجه با این نکته که درخت هنگام تصادف خشک نبوده است. در این تحقیق، داده‌های امور مشترکین از حوادث ترکیدگی شبکه آب و داده‌های نشست ساختمان‌ها براساس نظریه کارشناسان رسمی دادگستری بررسی شده است. لازم به ذکر است طول لوله و جزئیات انشعابات در نظر گرفته نشده، زیرا داده‌ها پراکنده بود. هم‌چنین در این مدت (۱۳۹۵-۱۳۹۹) بسیاری از درختان قطع و یا ساختمان جدید ساخته شده و یا هرس‌هایی برای سقوط نکردن درختان انجام شده بود (شکل ۱) که دیگر امکان بررسی باقی نمی‌گذاشت. لذا تقریباً ۱۸ درصد داده‌ها از بین رفته بود و افراد صاحب‌صلاحیت برای جمع‌آوری داده و یا شهود کافی وجود نداشت. خوشبختانه در یک مورد با حضور در لحظه شکستگی خط لوله، اطلاعات آن ثبت شد. همان‌طور که گفته شد، حفاظت از درختان بعد از شکستگی خطوط توزیع آب شهری که دارای نشست آنی خاک است لازم است.



شکل ۱- هرس درخت پس از کج شدن در اثر ترکیدگی شبکه توزیع آب

جدول ۱- مشخصات میانگین خاک غالب منطقه ۵ در محل‌هایی که کج‌شدگی اتفاق افتاده

عمق خاک (cm)	۱۰	۳۵	۷۰
چسبندگی خاک C (KPa)	۶۰/۳	۴/۱۴	۳/۳
ضریب اصطکاک ϕ (degrees)	۶/۷	۳۶/۹	۳۶/۳
تخلخل e	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۳۷

ترکیدگی یا شکستگی لوله آب باعث ایجاد آب‌شستگی، فرسایش داخلی یا رگاب، شکست هیدرولیکی خاک و نشست در اثر فشار جریان آب می‌شود. این اتفاق باعث کاهش ظرفیت باربری خاک و ایجاد فضای خالی بیشتر بین ذرات خاک می‌شود که می‌تواند منجر به نشست شود. مدل‌سازی اجزای محدود این مسئله توسط برخی از محققان با نرم‌افزار Abacus برای تک درختان قرارگرفته بر روی خاک با درجه اشباع ۷۰ و ۱۰۰ درصد انجام شده است (مستوری، ۱۴۰۰). با مراجعه به تمامی سازمان‌ها و جمع‌آوری اطلاعات و شواهد که در طول ۴ سال از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ درخصوص شکستگی شبکه توزیع آب مشاهده و ثبت شده است، اطلاعات خاک و آب و درختان و تغییر شکل درختان طبقه‌بندی و مطابق استاندارد بررسی شده است (Keller et al., 2013).

شایان توجه است که در مورد درختان با عمر بالا و وزن بالا، کج‌شدگی با توجه به نشست آنی بسیار سریع است و پدیده جداشدگی ریشه درخت (فارغ از نوع درخت) از درون خاک به‌وجود می‌آید. بیرون‌زدگی ریشه از خاک و کج‌شدگی درختان اثر مهمی در خطرات درختان چنار در تهران دارد (Pourhashemi et al., 2012). نمونه‌برداری خاک منطقه و آزمایش پارامترهای موثر آن برای محاسبه ظرفیت باربری خاک در حالت اشباع و غیر اشباع مقایسه شده است تا تحت تاثیر یک نیروی وزن ثابت مقایسه شود (حالت اشباع زمانی است که لوله شبکه توزیع آب ترکیده باشد). درختان و سایر سازه‌ها در محل حوادث ترکیدگی در شعاع ۵ متری محل بررسی شده‌اند و عوامل دیگر موثر از قبیل نور و باد در مقایسه با نشست خاک ناشی از ترکیدگی و آسیب‌های آن بر روی درختان در ناحیه ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب بررسی می‌شود.

۱-۲- مطالعه و جمع‌آوری داده‌های خاک و درختان منطقه

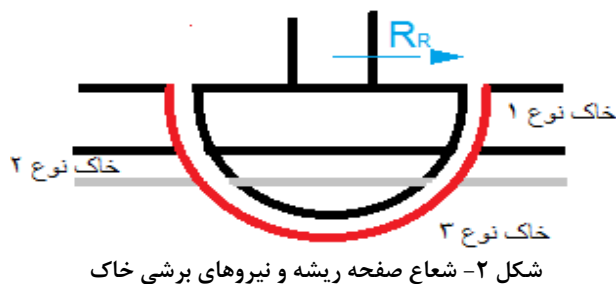
۵

در این مطالعه، متر لیزری با دقت ± 2 میلی‌متر و دمای کاری ۴۰-۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شده و میزان کج‌شدگی درختان و علایم رانندگی با این متر اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین نمونه‌های خاک غیر ریشه‌دار و غیراشباع از محل تهیه شده و ۳ نمونه خاک از نظر رطوبت (وزن آب در ۱۰۰ گرم خاک خشک) آزمایش شده و نتایج، تجزیه و تحلیل و میانگین‌گیری شده است. خاک منطقه ۵ عمدتاً دارای بافت رسوبی و ترکیب ۷۴/۶ درصد ماسه، ۲۰/۲ درصد سیلت و ۵/۲ درصد رس بود. وزن مخصوص خاک خشک ۱۶۳۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود که در جدول ۱ به تفصیل ارائه و در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و

توده خاکی را که ریشه درگیر می‌کند و قطر تنه و سن درخت متفاوت است. نیروی محرک به صورت مشکی رنگ در شکل ۲ و با شعاع صفحه ریشه R_R و هر دو نیروی مقاوم و محرک بر روی سطح نیمکره به شعاع صفحه ریشه در شکل ۲ به صورت دو بعدی نشان داده شده است. بالا آمدن سطح آب در یک لایه خاک باعث کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. در این حالت از میزان تنش موثر کاسته خواهد شد، زیرا تنش برشی توسط ذرات خاک به وجود می‌آید و آب نیروی برشی را تحمل نمی‌کند.

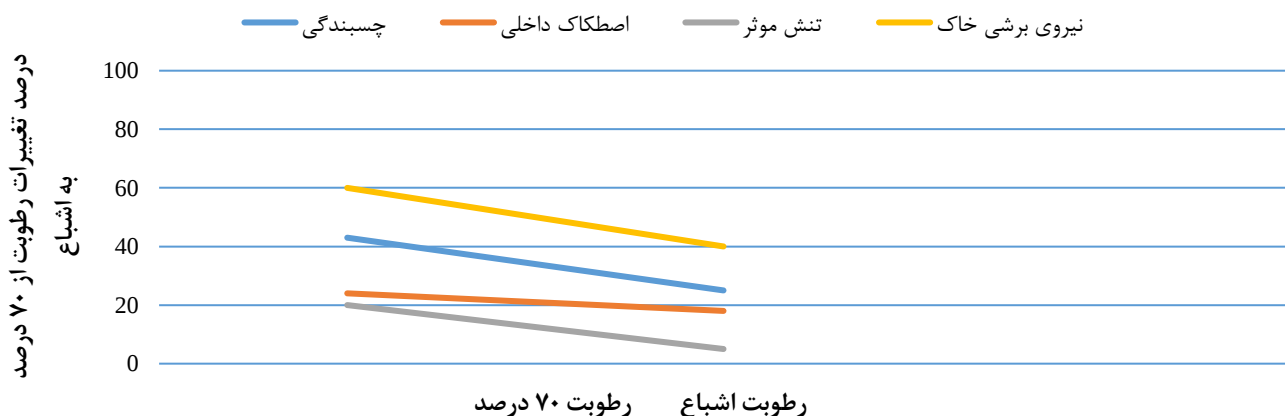
$$M_R = 1.86 \pi \tau R_R^3 \quad (1)$$

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi \quad (2)$$



آزمایش‌های انجام شده توسط محققان مختلف نشان داده است مقاومت برشی در خاک نباتی با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۲). این امر باعث کاهش لنگر مقاوم در مقابل چرخش خواهد شد. مقایسه انجام شده در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

وزن درخت با وزن خاک و ریشه آن در خاک‌های مختلف متناسب است، به طوری که با افزایش وزن درخت ریشه‌ها گسترده‌تر شده و وزن خاک بیشتری را در بر می‌گیرند تا درخت در تعادل قرار بگیرد. کاهش مقاومت خاک با افزایش رطوبت می‌تواند به کاهش نیروی نگهدارنده در تراز ریشه و کج شدن درخت بیانجامد. رطوبت خاک و مشخصات دما توسط ایستگاه‌های هواشناسی از عمق ۷۰ سانتی متر اعلام و ثبت می‌شود. لذا عمق صفحه ریشه را معمولاً تا ۷۰ سانتی متر فرض می‌کنند. لنگر مقاوم برای جابجایی درخت در خاک و عدم کج شدن به صورت رابطه (۱) است (Matthek et al., 1995). همان‌طور که مشاهده می‌شود این فرمول به مقاومت برشی خاک طبق معادله (۲) بستگی دارد که با افزایش رطوبت در خاک‌ها این مقاومت کاهش و در نتیجه احتمال کج شدن درخت تحت بار استاتیکی خود درخت افزایش می‌یابد (Matthek et al., 1995). معمولاً مشخصات خاک در عمق یکسان نیست و هر خاک نیروی برشی مقاوم مطابق با مشخصات خود را دارد. مجموع تک‌تک این نیروها نیروی برشی مقاوم کل به رنگ قرمز در شکل ۲ را تشکیل می‌دهد. لنگر مقاوم و محرک کج شدن درخت به صورت دو نیروی برشی مقاوم و محرک بر روی سطح نیمکره است. نیروی محرک شامل نیروی برشی ناشی از چرخش وزن خاک و ریشه و درخت ناشی از خروج از مرکزیت ثقل در اثر نشست خاک و یا تاج درخت در اثر وزش باد می‌تواند باشد که برای هر درخت بسته به نوع ریشه راست یا افشان (میزان



شکل ۱- مقایسه پارامترهای لنگر خمشی با شعاع صفحه ریشه ثابت در رطوبت‌های ۷۰ درصد و اشباع

اتفاق افتاده است. اما همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود حوادثی که در لوله‌های با قطر بالاتر بوده خسارت بیشتری به درختان و ساختمان‌ها وارد نموده، به طوری که منجر به پرداخت خسارت به شاکیان که مالکین ساختمان‌ها بوده‌اند شده است. در یکی از اتفاقات که مشاهده شد درخت نشست آبی داشت، برای درخت حفاظ گذاشته شد تا سقوط نکند. در شکل ۴ مشاهده

۳- یافته‌ها و بحث

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد حوادث در فصول تابستان و پاییز اتفاق افتاده است. افزایش مصرف و تغییرات فشار در شبکه توزیع آب در این دو فصل از عوامل این پدیده می‌تواند باشد. از طرفی بیشترین تعداد حوادث در لوله‌های با قطر پایین

می‌شود که درختان کهنسال و سنگین‌وزن تا درختان جوان و نهال‌ها، دچار کج‌شدگی بیشتری بر اثر ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب می‌شوند.

مشکلات ریشه و زخم بیشترین سهم را در خطر آفرینی درختان چنار دارند. براساس طبقه‌بندی درختان در حال حاضر، چنار در طبقه‌های خطر بسیار کم و کم قرار دارد ولی در آینده قابلیت تبدیل‌شدن به درختان خطرناک را دارد (نافعیان و همکاران، ۱۴۰۰). یکی دیگر از مواردی که محققان در بررسی‌های خود در کنار درختان لحاظ کرده بودند، وضعیت روسازی کنار درختان بوده است. زیرا آسفالت در نقاطی که نشست وجود داشت دچار ترک‌خوردگی شده بود و در سطح خیابان و کوچه نیز نشست خاک مشهود بود (Wang et al., 2020).

مطالعات گروه کاری هدررفت آب انجمن بین‌المللی آب بین

سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که به‌طور کلی حتی اگر فشار شبکه ثابت بوده و تغییر چندانی نداشته باشد، تواتر شکستگی‌ها در یک شبکه آبرسانی می‌تواند به‌صورت فصلی و یا از سالی به سال دیگر تغییر کند. این تغییرات به‌دنبال اثرات اقلیمی نظیر دماهای بالا یا پائین آب و هوا یا تغییرات در رطوبت خاک که منجر به رانش و حرکت زمین می‌شود، اتفاق می‌افتد. از این‌رو برخی از محققان بر این باورند که شکستگی‌های مربوط به افزایش نوسانات فصلی، وابسته به فشار نبوده و تحت‌تأثیر مدیریت فشار نخواهند بود. ترک‌های حلقه‌ای که در خطوط اصلی با قطر پائین عموماً و جنس چدن و آزیست سیمان اغلب در زمان رانش یا حرکت خاک تجربه می‌شوند، نشان‌دهنده افزایش نوسانات فصلی و طبیعی شکستگی‌ها بوده مستقل از فشار هستند (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ۲- حوادث شبکه توزیع آب در منطقه ۵ غرب تهران از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹

نوع و قطر لوله و تعداد حوادث در فصول مختلف												ع. س. (mm)
PE ۱۱۰	PE ۹۰	PE ۶۳	چدنی ۱۵۰	چدنی ۸۰	چدنی ۶۰	داکتیل ۲۰۰	داکتیل ۸۰	داکتیل ۶۰	آزیست ۲۰۰	آزیست ۸۰	آزیست ۶۰	حادث
۴	۸	۱۲	۳	۸	۱۰	۵۹	۶۵	۷۰	۱	۳	۵	بهار
۰	۱	۲	۰	۲	۱	۷	۹	۱۴	۰	۰	۱	تابستان
۲	۳	۴	۲	۳	۵	۱۹	۲۳	۲۵	۰	۱	۲	پاییز
۱	۳	۵	۱	۳	۳	۲۴	۲۷	۲۱	۱	۲	۱	زمستان
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۹	۶	۱۰	۰	۰	۱	



شکل ۲- نشست سازه در اثر ترکیدگی شبکه توزیع آب و کج‌شدن درختان

جدول ۳- کج‌شدگی علایم راهنمایی و درختان براساس قطر لوله ترکیده و نشست ساختمان

۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۶۳	۶۳-۶۰	قطر لوله (mm)
۱۰۸	۳	۴۱	۲۸	۱۶	تعداد درختان کج‌شده
۱۹	۱	۱۳	۷	۳	تعداد ساختمان‌های نشست کرده
۳۰	۲	۲۱	۱۴	۵	تعداد علایم و تیرهای برق کج‌شده
۰/۹۱	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۶۷	نسبت درختان کج‌شده به کل درختان در شعاع ۵ متری محل ترکیدگی



شکل ۴- ترکیب‌گی شبکه توزیع آب و کج‌شدن درخت

که کج نشده‌اند اگر به‌صورت دایره فرض شوند، قطرشان حدوداً از ۱۰ سانتی‌متر به پایین است که نشان می‌دهد تازه کاشته شده‌اند. در صورتی که سن درختان کج شده به‌طور میانگین بالای ۴۰ سال است. از شناسنامه درختان فضای سبز شهرداری تهران استفاده می‌شود که میانگین محیط بسیار بالاتر از درختان جوان است. محیط تنه درخت در ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متری سطح زمین اندازه‌گیری شده است.

جدول ۴- نوع و تعداد درختان کج شده براساس قطر تنه درخت

نوع درخت	چنار	کاج	سایر گونه‌ها
تعداد درختان کج در محل حادثه	۱۷۱	۲۲	۳
تعداد درختان غیر کج در محل حادثه	۲	۸	۳
میانگین محیط درختان کج‌نشده	۴۴/۵	۳۳/۷	۲۸/۱
میانگین سن درختان کج‌شده	۴۱	۱۵	۱۳/۵

دو دلیل که در گذشته به‌عنوان علت کج‌شدن درختان مطرح بود چرخش تاج درخت به‌سمت نور و کج‌شدن در اثر نیروی باد بوده است. برای ارزیابی صحت این ادعا یک روش خلاقانه در محیط‌های شهری دنبال شد که نتایج آن در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. برای این منظور تمامی علائم راهنمایی و رانندگی کج‌شده که سیستم نصب آن‌ها به‌صورت کار گذاشتن در گودال به‌همراه بتن‌ریزی در زیر آن بود و فاصله آن‌ها از درختان و از یکدیگر و روند کج‌شدن آن‌ها در محل شکستگی لوله شبکه توزیع آب بررسی شدند. دو نکته دارای اهمیت باید ذکر شود. اول: سطح بادگیر علائم راهنمایی و رانندگی و تیر چراغ برق و غیره نسبت به درخت بسیار اندک است، با این‌وجود این علائم نیز کج‌شده بودند. فاصله علائم راهنمایی و رانندگی از کف زمین ۲/۵ متر است که باد نیرویی ناچیز به آن وارد می‌کند و مقاومت برشی خاک اجازه کج‌شدن را نمی‌دهد. دوم: کج‌شدن این علائم در کنار

افزایش رطوبت در خاک‌های شنی (این خاک دارای نسبت زیاد شن و درصد کمی رس است و به خاک سبک نیز معروف معروف است) با خاک‌های رسی متفاوت است. این خاک‌ها پس از آبیاری یا باران به‌سرعت تخلیه شده و به‌راحتی قابل کشت می‌شوند. این نوع خاک که در فصل بهار نسبت به خاک‌های رسی زودتر گرم می‌شوند و از طرفی به سرعت نیز خشک خواهند شد، باعث کاهش ظرفیت باربری خاک در حالت اشباع می‌شود و می‌تواند باعث جابجایی درخت و تغییر مرکز جرم بر اثر نشست و ایجاد لنگر خمشی در اثر وزن تنه و تاج درخت شود لذا درخت شروع به کج‌شدن می‌کند. تنها عامل بازدارنده در این حالت، پایداری ریشه درخت است که با توجه به برای لنگر خمشی وارده ناشی از نیروی وزن باعث بیرون کشیده‌شدن ریشه درخت از درون خاک شده و چرخه افزایش لنگر و افزایش فضای خالی با بیرون کشیده‌شدن ریشه در خاک به‌وجود آید. این فضای خالی که رابطه مستقیم با ضریب تخلخل دارد با جایگزین شدن با آب، به از ریشه درآمدن درخت با افزایش نیروی لنگر خمشی کمک می‌کند (Zhang et al., 2020). با توجه به میزان تراکم خاک در عمق‌های مختلف و عمقی که لوله در زیر سطح زمین قرار دارد تراکم خاک تا عمق ۷۰ سانتی‌متر بررسی و ضریب تخلخل آن برداشت شد. میزان انحراف درختان در ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متری با خط عمود بر زمین در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری که بالای ۲۵ درجه به‌عنوان درخت کج غیرمعمول محسوب می‌شود (Garrido et al., 2015). زیرا براساس قانون اصلی بارگذاری برای تحلیل پایداری سیستم‌های بیولوژیکی، با افزایش بارگذاری در ساختارهای زنده، رشد گیاه در نقاط پر بار بیشتر می‌شود. رشد کمتر در جایی که بار بیشتر وجود ندارد اتفاق می‌افتد تا تنش یکنواخت حاصل شود که ناشی از ترمیم یا حفظ به‌صورت طبیعی است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود محیط درختانی

تحلیل قرار می‌گرفت با قاطعیت نمی‌شد گفت باد و نور خورشید در کج‌شدن بی اثر هستند.

تک درختان در یک محدوده کوچک دلیل محکمی بر اثرگذار نبودن نور خورشید در کج‌شدنشان است، چون به سمت نور جذب نمی‌شوند و ثابت هستند. اگر به تنهایی درخت مورد تجزیه و

جدول ۵- کج‌شدن یک‌طرفه درختان، تیر برق و علایم راهنمایی و رانندگی براساس فاصله کمتر از یک متر

درختان کج‌شده	تعداد علایم و تیرهای برق کج‌شده	تعداد علایم و تیرهای برق غیر کج	درختان طبیعی (غیر کج)	درصد درختان به یک سمت کج‌شده به کل	درصد درختان زیگزاگ کج‌شده به کل
چنار	۱۸	۰	۱	۳/۷	۹۶/۳
کاج	۴	۱	۳	۱۸/۳	۷۱/۷
سایر	۱	۰	۲	۴۷/۱	۵۲/۹

جدول ۶- کج‌شدن زیگزاگی درختان، تیر برق و علایم راهنمایی و رانندگی براساس فاصله بیش از یک متر

درختان کج‌شده	تعداد علایم و تیرهای برق کج‌شده	تعداد علایم و تیرهای برق غیر کج	درختان طبیعی (غیر کج)	درصد درختان به یک سمت کج‌شده به کل	درصد درختان زیگزاگ کج‌شده به کل
چنار	۱۷	۰	۲	۹۷/۵	۲/۵
کاج	۳	۰	۱	۶۸/۷	۲۱/۳
سایر	۱	۲	۲	۵۶/۳	۴۳/۷

بالای ۱۰ درجه است. در صورتی که فواصل کمتر از یک متر باشد، انحراف به صورت زیگزاگ بوده که نسبت به سایر درختان که به صورت صاف بودند مشهود بود. این به خاطر شکستگی لوله شبکه توزیع آب بوده است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این تحقیق مشاهده شد که اگر فاصله اندازه‌گیری شده درخت، علایم راهنمایی یا تیر برق بیش از یک متر باشد، آن‌ها به یک سمت انحراف پیدا کرده و میزان انحراف بالای ۲۵ درجه خواهد بود. میزان انحراف برای علایم راهنمایی و تیرهای برق



شکل ۵- ترکیدگی لوله آب و کج‌شدن یک‌طرفه و زیگزاگ به همراه کج‌شدن تیر برق

۴- نتیجه‌گیری

درختان اطراف محل شکستگی لوله محافظت شوند تا کج نشوند تا منجر به قطع کابل‌های برق و ایجاد خطر برای شهروندان و تاسیسات شهری نشود.
- از روی کج‌شدگی درختان، علایم راهنمایی و رانندگی و تیرهای برق می‌توان به نشت آب یا ضعف شبکه فاضلاب در محل پی‌برد.

این تحقیق با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از مراجع شهری و بررسی آن‌ها و همچنین براساس بازدیدهای محلی به نتایج زیر رسیده است:
- پس از شکستگی یا ترکیدگی لوله توزیع آب شهری باید

خیابان محمدیه قزوین باعث نشست زمین و خسارت به ساختمان‌ها شد"،

<https://www.yjc.news/fa/news/6687386>

خبرگزاری مهر، (۱۳۸۹)، "نشست زمین درمیدان منیره بدلیل ترکیدگی لوله آب بود"،

<https://www.mehrnews.com/xcd6N>

خبرگزاری مهر، (۱۳۹۱)، "خانه‌های روی آب ورامین و جواب آبفا استان"، <https://www.mehrnews.com/news/1800173>

رضائی، م.، و طباطبایی کلور، ر.، (۱۳۹۲)، "بررسی تاثیر عمق و رطوبت بر مقاومت برشی خاک در مزرعه و آزمایشگاه"، هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد،

<https://civilica.com/doc/284411>

شهرداری منطقه هشت تبریز، (۱۳۹۹)، "گزارش امور ارتباطات شهرداری در اصلاح نشست خیابان ناشی از ترکیدگی لوله انتقال آب در خیابان امام خمینی(ره)"،

<http://m8.tabriz.ir/News/3999/>

عبداللهی، ح.، مامی‌زاده، ج.، و رضایی، ر.، (۱۳۹۹)، "تحلیل شکستگی لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی- بخش صالح آباد- استان ایلام)"، نوزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، مشهد.

قهساره اردستانی، م.، الهام، م.، نافیان، م.، و بهمنی، م.، (۱۴۰۰)، "شناسایی و ارزیابی خطرآفرینی درختان چنار در خیابان عباس‌آباد اصفهان"، دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی سیانت/از منابع طبیعی و محیط‌زیست، اردبیل. مستوری، ر.، نوذری، ن.، و حسینی، س.، (۱۴۰۰)، "نقش و اثر آب و خاک بر روی الگوی رشد درختان چنار به‌صورت زیگزآگ در تهران"، مجله گیاهان زینتی، (۱)۱۲، ۸۱-۹۰.

مصلحی، ا.، و جلیلی قاضی‌زاده، م.، (۱۳۹۵)، "مروری بر روابط فشار- شکستگی در شبکه‌های آب‌رسانی"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، (۱)۱، ۴۹-۶۰.

مطیعی، ه.، و قاسم‌نژاد، س.، (۱۳۹۶)، "کاربرد و توسعه مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی میزان شکست لوله‌های شبکه توزیع آب شهری - مورد مطالعاتی ناحیه یک منطقه یک تهران"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، (۲)۲، ۴۸-۵۸.

نافیان، م.، بهمنی، م.، قهساره، ا.، و سلطانی، ع.، (۱۳۹۸)، "ارزیابی و مدل‌سازی خطرآفرینی درختان چنار با استفاده از معیارهای تشخیص خطرآفرینی و آنالیز مولفه اصلی"، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، (۲)۲۶، ۱-۱۶.

هویدی، ح.، حمیدی فراهانی، ف.، علیا، ع.، و مهدلویی، س.،

- آموزش ماموران برداشت کنتور آب در خصوص توجه به کج‌شدن درختان به‌صورت تکی و گروهی، دادن اخطار به مالکین ساختمان‌ها برای نشت‌یابی داخل ملک و همچنین توجه به موارد مشابه در خارج املاک شخصی به کاهش هدررفت آب در محیط‌های شهری با روشی ساده و کاربردی کمک می‌کند. بررسی آزمایشی اثر ترکیدگی لوله بر روی انواع درختان موجود در شهرهای کشور در مقیاس واقعی، می‌تواند به فهم دقیق‌تر موضوع و آموزش بهتر ماموران شرکت آب و فاضلاب یاری نماید.

۵- تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر حسینی مشاور محترم شهردار منطقه ۱۱ به‌خاطر کمک‌های بی‌بدیلشان در جمع‌آوری داده‌ها تشکر و قدردانی می‌نماید.

۶- مراجع

تقوایی، ع. معروفی، س.، و رشتبری، م.، (۱۳۹۱)، "مدیریت بحران در نشست‌های ساختمانی، نمونه موردی: شهر تهران"، مدیریت بحران، (۱)۱، ۲۳-۳۳.

جهانی، ع.، (۱۳۹۵)، "مدل‌سازی ریسک سقوط درختان چنار خطرآفرین در فضای سبز شهری"، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۴)۳، ۳۵-۴۸.

خبرگزاری آنا، (۱۴۰۰)، "نشست آسفالت در خیابان کارگر به‌دلیل ترکیدگی لوله آب"، <https://ana.press/fa/news/602694>

خبرگزاری ایرنا، (۱۴۰۱)، "عبور از بزرگراه چمران بدلیل ترکیدگی لوله آب با محدودیت انجام می‌شود"، <https://www.irna.ir/news/84791746>

خبرگزاری ایرنا، (۱۳۹۸)، "ترکیدگی لوله آب موجب فرونشست زمین در شهر ری شد"، <https://www.irna.ir/news/83533490>

خبرگزاری ایلنا، (۱۳۹۵)، "نشست زمین در خیابان ولیعصر به‌دلیل ترکیدگی لوله آب"، <https://www.ilna.ir/fa/tiny/news-369272>

خبرگزاری تسنیم، (۱۳۹۹)، "ترکیدگی لوله آب سبب فرونشست زمین در خیابان خرمشهر مشهد شد"، <https://www.tasnimnews.com/fa/news/1399/03/07/2274591>

خبرگزاری جوان، (۱۳۹۷)، "ترکیدگی شاه‌لوله اصلی آب در

(۱۳۹۰)، "بررسی علل خشک شدن چنارهای خیابان ولیعصر و راه کارهای احیای آن‌ها"، پنجمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران.

Défossez, P., Veylon, G., Yang, M., Bonnefond, J.M., Garrigou, D., Trichet, P., and Danjon, F., (2021), "Impact of soil water content on the overturning resistance of young Pinus Pinaster in sandy soil", *Forest Ecology and Managemen*", 480, 118614.

Garrido, F., San Martín, R., and Lario, F., (2015), "Root structure and biomass partitioning in tilted plants from twisted- and straight-stemmed populations of Pinus pinaster Ait", *Trees*, 29, 759-774, <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1154-y>.

Keller, T., Lamandé, M., Peth, S., Berli, M., Delenne, J.-Y., Baumgarten, W., Rabbel, W., Radjaï, F., Rajchenbach, J., and Selvadurai, A.P.S., (2013), "An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction", *Soil and Tillage Research*, 128, 61-80.

Office of the Deputy for Technical Affairs Technical Affairs, (2005), "General specifications for urban water and wastewater pipelines", *Criteria Codification and Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau, Journal* 303.

Mattheck, C., Bethge, K., and Albrecht, W., (1995), *Failure modes of trees and related failure criteria*, Wind and Trees (pp. 195-203), Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511600425.011>.

Pourhashemi, M., Esmaeilpour, Kh., and Heidari, M., (2012), "The assessment of hazardous oriental plane (Platanus orientalis L.) trees in Valiasr Street of Tehran", *Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands*, 4(3), 265-275.

Wang, X., Wang, X., Sun, X., Graeme, P., and Abdur, R., (2020), "Effect of pavement and water deficit on biomass allocation and whole-tree transpiration in two contrasting urban tree species", *Urban Ecosystem*, 23, 893-904, <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00953-z>.

Zhang, X., Knappett, J.A., Leung, A.K., Ciantia, M.O., Liang, T., and Danjon, F., (2020), "Small-scale modelling of root-soil interaction of trees under lateral loads", *Plant Soil*, 456, 289-305, <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04636-8>.



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

Research Paper

مقاله پژوهشی

Feasibility of Reusing Water Treatment Plant Sludge in Treating the Sludge from a Wastewater Treatment Plant

Mohammad Javad Kazemi¹ and Gagik Badalians Gholikandi^{2*}

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

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

*Corresponding Author, Email: g.badalians@yahoo.com

Received: 07/08/2022

Revised: 11/09/2022

Accepted: 21/09/2022

© IWWA

امکان سنجی استفاده مجدد لجن تصفیه خانه آب در تصفیه لجن تصفیه خانه فاضلاب

محمدجواد کاظمی^۱ و گاجیک بدلیانس قلی کندی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: g.badalians@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

This study was conducted on the feasibility of improving processes of thickening, anaerobic digestion, and sludge dewatering at wastewater treatment plants on a laboratory pilot scale, aiming to reduce polyelectrolyte consumption by 50% and replace it with chemical sludge. Parameters of Sludge Volume Index (SVI), Specific Filtration Resistance (SRF), compressibility coefficient, filtration rate, and biogas production rate were investigated. It is shown that by applying 200 mg/g of water treatment plant sludge to wastewater sludge, the compressibility coefficient was decreased by 27%, the filtration rate was increased by 70%, and SVI and SRF were decreased by 64.9% and 43.3%, respectively. Therefore, it has facilitated the sludge sedimentation and release of its free water. On the other hand, adding the sludge from a water treatment plant led to the proper access of microorganisms to micronutrients and improvement of their performance resulting in an increase of 7.77% in the total biogas production. The iron present in the digestion process caused an increase in biogas production by increasing the activity of enzymes, reducing oxidation-reduction potential, and improving the direct interspecies electrons transfer. In conclusion, adding the optimal amount of water treatment plant sludge, along with the environmental management of a meaningful portion of water and wastewater residuals, may play an important role in significantly reducing polyelectrolyte consumption and improving biogas production.

Keywords: Chemical sludge of the water treatment plant, Polyelectrolyte consumption, Sludge thickening, Sludge digestion, Sludge dewatering, Reuse.

چکیده

در این مطالعه، امکان سنجی بهبود عملکردی فرآیندهای تغلیظ، هضم بی‌هوازی و آبگیری لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با هدف کاهش ۵۰ درصدی پلی‌الکترولیت مصرفی و جایگزینی آن با لجن شیمیایی تصفیه‌خانه آب در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی انجام پذیرفت. برای این منظور، پارامترهای اندیس حجمی لجن (SVI)، مقاومت ویژه فیلتراسیون (SRF)، ضریب تراکم‌پذیری، نرخ فیلتراسیون و میزان تولید بیوگاز بررسی شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که با افزودن دوز بهینه ۲۰۰ میلی‌گرم برگرم لجن تصفیه‌خانه آب به لجن فاضلاب، ضریب تراکم‌پذیری کاهش ۲۷ درصدی و نرخ فیلتراسیون افزایش ۷۰ درصدی داشته و SVI و SRF به ترتیب برابر ۶۴/۹ و ۴۳/۳ درصد کاهش یافته داشته‌اند و در نهایت منجر به تسهیل ته‌نشینی و آزادسازی آب آزاد شده است. از سوی دیگر افزودن لجن تصفیه‌خانه آب دسترسی میکروارگانیسم‌ها به مواد ریزمغذی را بهبود داده منجر به افزایش ۷/۷۷ درصدی تولید بیوگاز شده است. آهن موجود در فرایند هضم با افزایش فعالیت آنزیم‌ها، کاهش پتانسیل اکسایش-کاهش و بهبود انتقال مستقیم الکترون بین گونه‌ای منجر به افزایش بیوگاز تولیدی می‌شود. افزودن لجن تصفیه‌خانه آب در مقادیر مناسب می‌تواند علاوه بر مدیریت بهینه محیط‌زیستی پسماندهای تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، نقش به‌سزایی در کاهش قابل‌توجه پلی‌الکترولیت مصرفی و افزایش میزان تولید بیوگاز داشته باشد.

کلمات کلیدی: لجن شیمیایی تصفیه‌خانه آب، پلی‌الکترولیت مصرفی، تغلیظ لجن، هضم لجن، آبگیری لجن، استفاده مجدد.

(Wang et al., 2017)، ذرت (Guo et al., 2020) و مواد معدنی دیگر مانند بنتونیت (Masihi and Badalians Gholikandi, 2020)، لجن تصفیه‌خانه آب (Ahmad et al., 2016)، خاکستر لجن تصفیه‌خانه فاضلاب (Qi et al., 2011)، خاک رس و آهک (Joseph-Soly et al., 2019) به‌عنوان حالت‌دهنده فیزیکی یا شیمیایی در فرایند تغلیظ و آبگیری لجن تصفیه‌خانه فاضلاب صورت گرفته است.

نظر به اهمیت فنی-اقتصادی-محیط‌زیستی این موضوع و بررسی‌های محدود موجود، در این تحقیق، تاثیر به‌کارگیری لجن شیمیایی تصفیه‌خانه آب بر کارآمدی مراحل اصلی خط تصفیه لجن فاضلاب (تغلیظ، هضم بی‌هوازی و آبگیری لجن هضم شده) مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، پارامترهای اصلی مرتبط شامل SVI، SRF، ضریب تراکم‌پذیری، نرخ فیلتراسیون و میزان تولید بیوگاز با توجه به میزان لجن شیمیایی مورد استفاده اندازه‌گیری و ارزیابی شدند. از آنجایی‌که در مطالعات محدود پیشین اکثراً تاثیر لجن تصفیه‌خانه آب بر مراحل مجزای خط تصفیه لجن مورد بررسی قرار گرفته است، در این تحقیق کاربردی، تعیین شرایط بهینه راهبری تاسیسات مربوط به مراحل اصلی متعارف خط تصفیه لجن موردنظر بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

نمونه‌های لجن مازاد بیولوژیکی و هضم شده مورد استفاده برای بررسی و ارزیابی کارآمدی مراحل تغلیظ، هضم بی‌هوازی و آبگیری از محل خط جریان برگشتی لجن و جریان خروجی هاضم بی‌هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران برداشت شدند. همچنین از خروجی فرایند تغلیظ نمونه لجن تصفیه‌خانه آب شماره ۱ (جلالیه) که در آن از کلروفریک (۶ میلی‌گرم بر گرم) به‌عنوان منعقدکننده برای انعقاد و لخته‌سازی و آهک (۳ میلی‌گرم بر گرم) برای تنظیم pH آب استفاده می‌شود، برداشت شده‌اند. مشخصه‌های کیفی آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

نظر به این‌که در دو دهه اخیر، بازیابی مواد، بازچرخانی و استفاده مجدد همواره در اولویت برنامه‌ریزی‌ها و اجرای پروژه‌های آب و فاضلاب قرار دارند، بررسی راه‌کارهای ممکن در رابطه با استفاده مجدد از لجن تصفیه‌خانه‌های آب در خط تصفیه لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Li et al., 2016, Luiz et al., 2018). همچنین با توجه به هزینه دفع لجن تابعی از حجم لجن تصفیه‌شده است، یکی از اهداف اصلی تصفیه لجن در کنار تثبیت آن، حداکثر تغلیظ و آبگیری ممکن و کاهش حجم آن است (طاهریون و همکاران، ۱۴۰۱). روش‌های تصفیه معمول لجن را اصولاً به سه بخش اصلی تقسیم می‌کنند: تغلیظ، تثبیت و آبگیری. بسیاری از این روش‌ها شامل به‌کارگیری فناوری‌های متنوع و گاه پیچیده‌ای هستند (Metcalf and Eddy, 2014, Qasim et al., 2000).

لجن حاوی آلوم به‌عنوان یک حالت‌دهنده شیمیایی و فیزیکی در بهبود آبگیری لجن فاضلاب عمل می‌کند و افزودن آن باعث کاهش دوز مصرفی پلی‌اکریل‌امید (پلی‌الکترولیت) و کاهش میزان رطوبت لجن فاضلاب می‌شود (Li et al., 2016). نتایج حاصل از استفاده لجن تصفیه‌خانه آب در تصفیه‌خانه لجن فعال متعارف در مقیاس صنعتی نشان از تاثیر مثبت آن بر فرایندهای بیولوژیکی دارد. همچنین میزان حذف اکسیژن خواهی بیوشیمیایی^۳ (BOD)، جامدات آلی معلق^۴ (VSS)، مواد آلی و فسفر افزایش یافته و میزان بیوگاز تولیدی تا حدوداً دو برابر افزایش نشان می‌دهد (Luiz et al., 2018).

نتایج مطالعه دیگری نشان می‌دهد که استفاده از لجن حاوی آلوم به همراه ۱۰۰ میلی گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی در آبگیری لجن هضم شده، باعث بهبود SRF لجن تا بیش از ۹۰ درصد شد (Lai and Liu, 2004). در مطالعه مشابهی، کاهش این پارامتر تا بیش از ۵۰ درصد میسر شده است (Ren et al., 2020). مطالعات مختلفی برای استفاده از مواد ارزان قیمت مانند پسماند محصولات کشاورزی نظیر برنج (Guo et al., 2019)، پودر درخت بامبو و برنج

جدول ۱- مشخصات کیفی لجن مازاد بیولوژیکی و هضم شده تصفیه‌خانه فاضلاب و لجن تصفیه‌خانه آب

مشخصه کیفی	واحد	لجن مازاد بیولوژیکی	لجن هضم شده	لجن تصفیه‌خانه آب
pH	-	۷/۰۳ ± ۰/۲۰	۶/۹۵ ± ۰/۲۰	۷/۲۳ ± ۰/۲۰
اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)	mg/L	۹۵۲۰ ± ۲۰۰	۲۳۵۸۰ ± ۱۰۰۰	۳۲۸ ± ۱۰
جامدات فرار (VS)	mg/L	۵۷۰۰ ± ۱۰۰	۱۲۶۳۰ ± ۱۰۰۰	۶۴۹ ± ۱۰
کل جامدات (TS)	mg/L	۸۳۵۰ ± ۱۰۰	۲۲۰۰۰ ± ۱۰۰۰	۲۳۸۴ ± ۱۰۰
نسبت VS/TS	%	۶۸/۲ ± ۵	۵۷/۴ ± ۲	۲۷ ± ۲

(Shimadzu, 2014, ژاپن) استفاده شد.

به‌منظور تعیین میزان قابلیت جداسازی آب از لجن، آزمایش مقاومت ویژه فیلتراسیون از طریق قیف بوختر انجام شد. برای این منظور در هر مرحله از مطالعات آزمایشگاهی، ابتدا کاغذ صافی برای ایجاد شرایط آب‌بند، پیش از شروع آزمایش اندکی مرطوب شد و سپس بر روی قیف بوختر قرار داده شد. در مرحله بعد، مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر از نمونه لجن حالت‌دهی شده به روی کاغذ صافی موجود در قیف بوختر انتقال یافت و پس از گذشت زمان ۲ دقیقه از زهکشی ثقلی آب لجن، فشار منفی به‌میزان ۵۰-۸۰ کیلوپاسکال به‌وسیله پمپ خلأ بر آن اعمال شد. در مرحله بعد، مقادیر حجمی آب جمع‌آوری شده در ظرف زیرین قیف بوختر در زمان‌های مختلف (هر ۱۰ ثانیه) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. این امر تا زمانی ادامه یافت که دیگر آب اضافی از لجن خارج نشود. درنهایت، مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن از طریق معادله (۲) محاسبه می‌شود (APHA, 2012).

$$SRF = \frac{2P \cdot b \cdot A^2}{\mu \cdot c} \quad (2)$$

که SRF : مقاومت ویژه فیلتراسیون برحسب متر بر کیلوگرم، P : فشار خلأ اعمال‌شده برحسب نیوتن بر مترمربع، A : سطح مقطع فیلتراسیون برحسب مترمربع، μ : ویسکوزیته دینامیکی لجن صاف‌سازی شده برحسب نیوتن ثانیه بر مترمربع، C : غلظت جامدات خشک لجن برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و b (برحسب t/V^2): نرخ زمان صاف‌سازی لجن است که تحت‌عنوان شیب منحنی به‌دست‌آمده از تغییرات نسبت مدت‌زمان صاف‌سازی لجن برحسب ثانیه به حجم لجن صاف‌سازی شده برحسب مترمکعب (t/V) در مقابل تغییرات حجم لجن صاف‌سازی شده (V) تعریف می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشردگی لجن از آزمایش مقاومت ویژه فیلتراسیون لجن (SRF) حداقل در دو فشار متفاوت مقاومت ویژه فیلتراسیون اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از معادله (۳) مقدار فشردگی لجن (S) محاسبه می‌شود (Zhang et al., 2017).

$$\frac{SRF_1}{SRF_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^S \quad (3)$$

بازده فیلتراسیون عاملی است که براساس آن افزایش فیلتراسیون لجن در دستگاه آبیگری مشخص می‌شود. هرچه مقدار این عامل افزایش یابد نشان می‌دهد که حالت‌دهنده عملکرد بهتری داشته است. واحد بازده فیلتراسیون، کیلوگرم بر مترمربع فیلتر در ساعت است ($Y_N \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$). بازده فیلتراسیون با استفاده از معادله (۴) اندازه‌گیری می‌شود (Qi et al., 2011).

عناصر تشکیل‌دهنده لجن تصفیه‌خانه آب با استفاده از آزمایش XRF° مشخص شد. لجن تصفیه‌خانه آب حاوی مقادیر مناسبی از ریزمغذی‌هایی مانند مولیبدن ($0/69 \text{ mg/g TS}$)، سلنیوم ($0/63 \text{ TS}$)، نیکل ($0/07 \text{ mg/g TS}$) و سایر عناصر تاثیرگذار است که در فرایند هضم بسیار تاثیر گذار هستند (Arif et al., 2018). به‌منظور بررسی تاثیر مواد افزودنی تحت شرایط جامع، لجن تصفیه‌خانه آب به نسبت وزنی به لجن فاضلاب اضافه شده و آزمایش‌های تغلیظ، هضم بی‌هوازی و آبیگری به‌صورت متوالی و با سه بار تکرار انجام شد. نمونه‌ها پس از تغلیظ وارد هاضم بی‌هوازی شده و سپس آبیگری شدند. لجن تصفیه‌خانه آب براساس وزن جامدات خشک به وزن جامدات خشک لجن فاضلاب ترکیب شد. نمونه‌ها براساس روش گام به گام مورد آزمایش قرارگرفتند. ابتدا براساس غلظت جامدات خشک، دوزهای تزریق به لجن به همراه ۱ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی (۵۰ درصد میزان مصرفی در تصفیه‌خانه فاضلاب) برابر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم به گرم جامدات خشک لجن بر مبنای مطالعات قبلی (Masihi and Badalians Gholikandi, 2020) و امکان‌پذیری افزودن آن در مقیاس واقعی انتخاب شد. نمونه پس از اختلاط با هم‌وزن مغناطیسی به‌مدت ۵ دقیقه، برای تعیین SVI به استوانه مدرج منتقل شد و مورد آزمایش قرارگرفت.

شاخص حجمی لجن به‌منظور بررسی تاثیر مواد افزودنی بر بهبود تغلیظ‌پذیری لجن برحسب ml/g مطابق با روش 2710D استاندارد متد از طریق معادله (۱) مورد سنجش قرار می‌گیرد (APHA, 2012).

$$SVI(\text{ml/g}) = \frac{V_s \left(\frac{\text{ml}}{\text{l}}\right) \times 1000 (\text{mg/g})}{SS (\text{mg/l})} \quad (1)$$

که SVI : شاخص حجمی لجن، SS : جامدات معلق موجود در نمونه محلول سوسپانسیون و V_s : حجم لجن ته‌نشین شده در استوانه آزمایش پس از گذشت ۳۰ دقیقه هستند.

آزمایش پتانسیل بیوشیمیایی متان در ۱۰ نمونه با بطری‌های شیشه‌ای با حجم ۲ لیتر در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد انجام شد. بطری‌های شیشه‌ای با یک لیتر از نمونه فاضلاب و به‌علاوه مواد افزوده شده در دوزهای مشخص با میکسر ثابت در حمام آب گرم قرار گرفتند. فضای سر بطری‌های شیشه‌ای با گاز نیتروژن خالص پر شده بود. بیوگاز تولیدی با روش جابجایی آب پایش و با دستگاه بیوگاز آنالایزر (Cubic-Ruiyi, Gasboard-3200L، چین) روزانه و به‌مدت ۲۲ روز اندازه‌گیری شد (Azarmanesh et al., 2020). برای کالیبراسیون دوره‌ای از کروماتوگرافی گازی (GC) (-GC)

$$Y_{N90} = \frac{V_{S90} \times R_S}{T_{90} \times A} \quad (4)$$

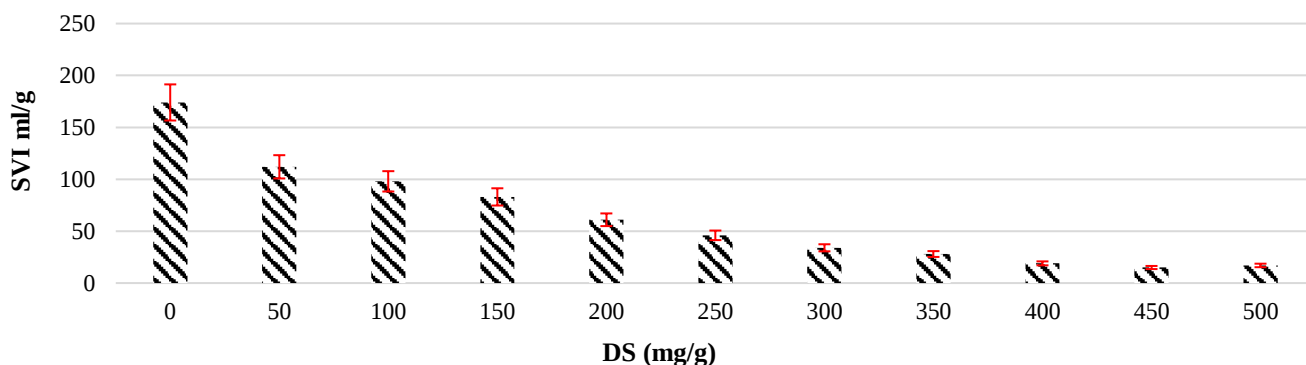
که V_{S90} : درصد حجم نمونه‌ای که بازده فیلترسیون آن اندازه‌گیری خواهد شد (برحسب مترمکعب)، R_S : غلظت جامدات لجن (کیلوگرم بر مترمکعب)، T_{90} : مقدار زمان لازم برای عبور ۹۰ درصد حجم نمونه از فیلتر (برحسب ساعت) و A : سطح فیلتراسیون (برحسب مترمربع) هستند.

۳- نتایج

۳-۱- تاثیر استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب بر فرایند تغلیظ

لجن مازاد بیولوژیکی

تاثیر استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب بر میزان SVI در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی بررسی شد و نتایج آن مطابق شکل ۱ به‌دست آمد. مطابق این شکل با افزایش دوز لجن تصفیه‌خانه آب در ترکیب با لجن فاضلاب، قابلیت ته‌نشینی و تغلیظ بهبود یافته و بهترین عملکرد در دوزهای بالا حاصل شده است. کاهش SVI تا ۹۰ درصد با افزودن دوزهای بالای 400 mg/g DS از لجن تصفیه‌خانه آب به‌دست آمده که نشان می‌دهد افزودن لجن



شکل ۱- تاثیر استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب بر میزان SVI در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

بسته به میزان مواد افزوده شده می‌رسد.

حداکثر میزان تولید هاضم بی‌هوازی در حالت کنترلی در روز هشتم و برای نمونه‌های بالاتر از 350 mg/g DS در روز نهم، برای دوزهای کمتر از 250 mg/g DS روز هفتم و برای دوزهای 250 mg/g DS و 300 mg/g DS روز هفتم به‌دست آمد. دوزهای بالای 300 mg/g DS منجر به افزایش غلظت جامدات خشک (TS) غیرآلی می‌شود. در نتیجه میزان مواد آلی نمونه‌ها کاسته شده و نسبت VS/TS کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان مواد جامد غیرآلی قابل هضم در هاضم افزوده می‌شود. از سوی دیگر با کاهش نسبت VS/TS دسترسی میکروارگانیسم‌ها به مواد غذایی کاهش

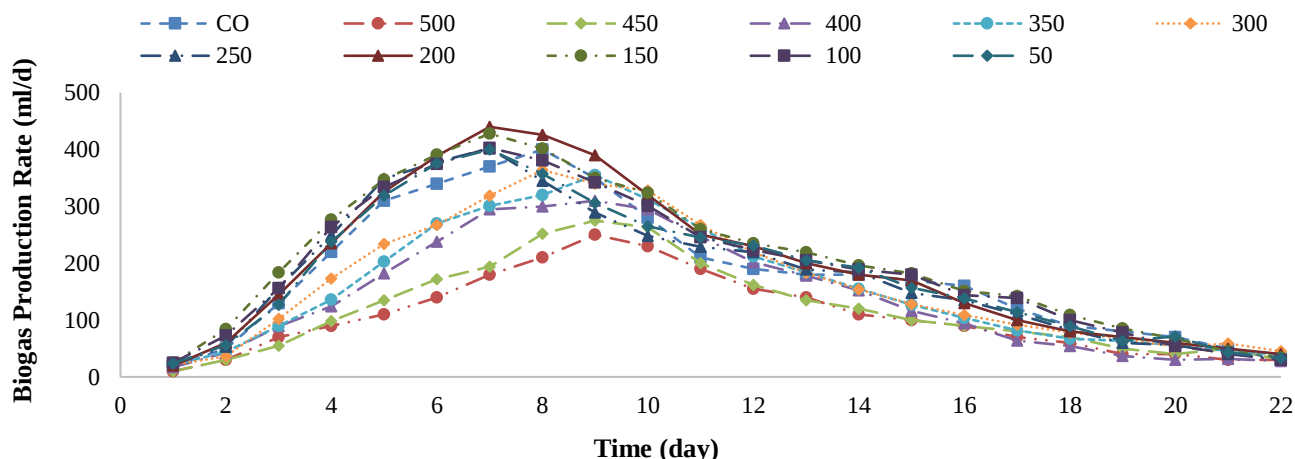
۳-۲- تاثیر استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب بر فرایند هضم

بی‌هوازی

با توجه به این که میزان لجن تصفیه‌خانه آب به‌دلیل دارا بودن آهن فراوان، مواد ریزمغذی و موادغیرآلی بالا در هضم بی‌هوازی تاثیرگذار است (Kapp, 1984; Garlicka et al., 2020)، تاثیر افزودن آن در پایلوت آزمایشگاهی بررسی و میزان بیوگاز تولیدی روزانه و تجمعی آن مطابق شکل ۲ به‌دست آمد. با بررسی نتایج خروجی از پایلوت هضم بی‌هوازی، متوسط تولید روزانه و تجمعی بیوگاز در هاضم بی‌هوازی نشان می‌دهد که تولید بیوگاز از روز دوم شروع شده و در روزهای هفتم تا دهم به بیشترین میزان خود

میزان افزایش غلظت مواد جامد و مواد غیرآلی تغییر چندانی ندارد، میزان تولید بیوگاز افزایش یافته و زمان به حداکثر رسیدن تولید نیز یک روز کاهش پیدا می‌کند. با افزودن ۵۰ و ۲۵۰ (mg/g DS) لجن تصفیه‌خانه آب تغییرات در میزان تولید بیوگاز حدود ۱ درصد است که قابل چشم‌پوشی است.

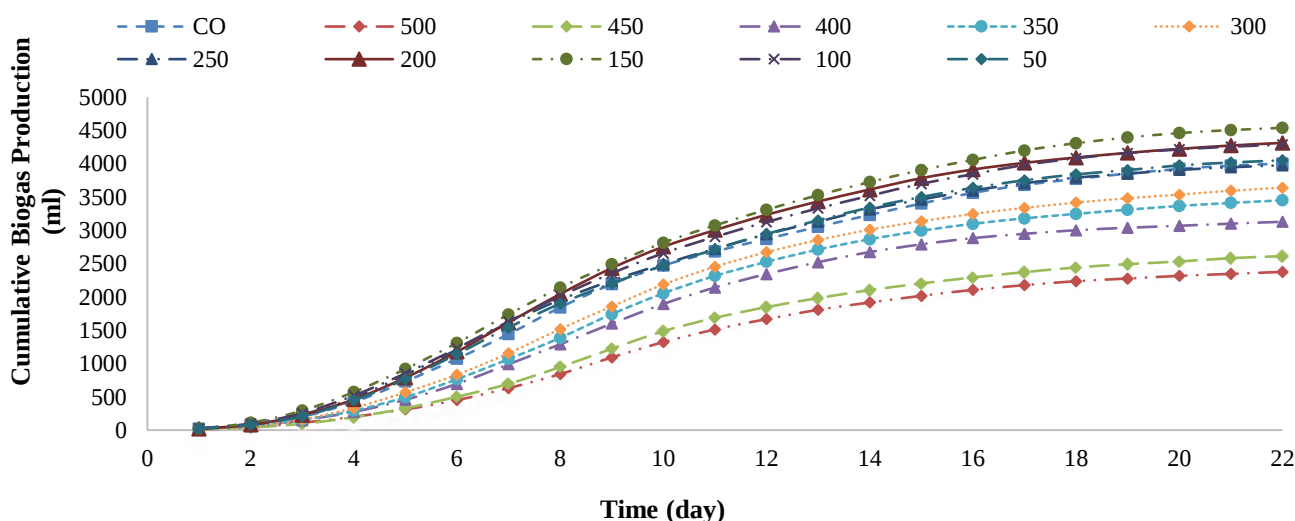
یافته است. هم‌چنین به دلیل میزان آهن بالای آن، زمان بیشتری برای سازگاری میکروارگانیسم‌ها نیاز است که منجر به کاهش میزان بیوگاز تولیدی شده و افزایش یک روزه زمان تولید حداکثر آن می‌شود. در غلظت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ (mg/g DS) میکروارگانیسم‌ها به سرعت با لجن ورودی سازگار شده و به دلیل تامین مناسب آهن و سایر مواد ریزمغذی و با توجه به این‌که



شکل ۲- تاثیر لجن تصفیه‌خانه آب بر میزان بیوگاز تولیدی روزانه

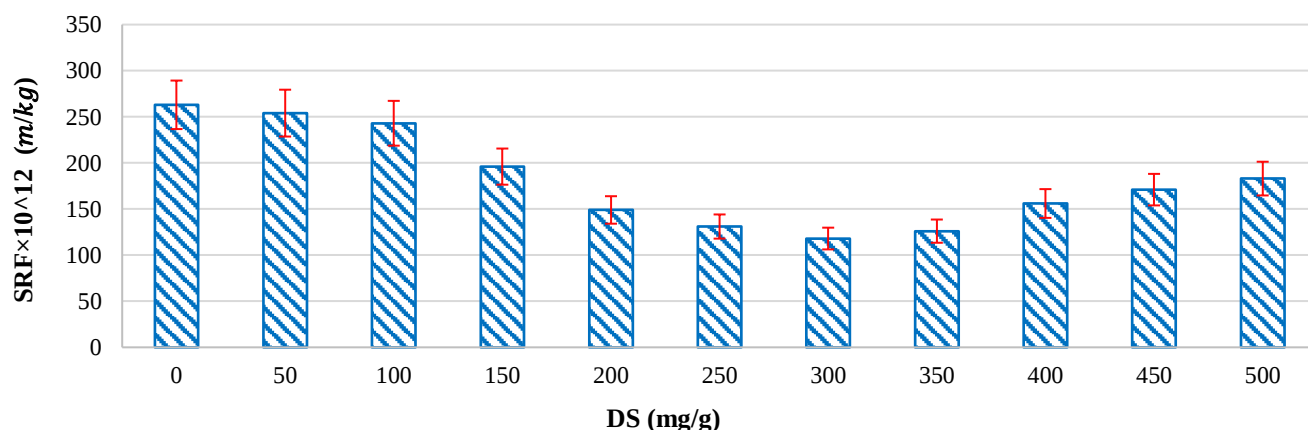
ریزمغذی بیشتر شده ولی از سوی دیگر با افزایش دوز لجن تصفیه‌خانه آب، میزان آهن در هاضم بالا رفته و مانند برخی از فلزات سنگین می‌تواند خاصیت بازدارندگی داشته باشند و عملکرد میکروارگانیسم‌ها را تحت تاثیر قرار دهند. در مطالعه Xie et al. (2021) افزودن ۱۰ درصد لجن تصفیه‌خانه آب موجب کاهش ۲۳ درصدی میزان بیوگاز شده است. استفاده از لجن تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی بر روی هضم پسماند مواد غذایی باعث افزایش ۵۸ درصدی تولید متان و هم‌چنین کاهش زمان ماند و فاز تاخیری شد (Ebrahimi-Nik et al., 2018).

میزان بیوگاز تجمعی تولیدی نشان می‌دهد که با افزودن ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ (mg/g DS) لجن تصفیه‌خانه آب میزان بیوگاز تجمعی تولیدی ۱/۲۲، ۷/۱، ۱۳/۴۲ و ۷/۷۷ درصد به ترتیب افزایش یافته است. هم‌چنین در دوز ۲۵۰ mg/g DS تغییر میزان بیوگاز تولیدی کمتر از نیم درصد است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دوز در مقادیر بالاتر از ۲۵۰ mg/g DS میزان کاهش بیوگاز افزایش یافته و دامنه کاهش بیوگاز تجمعی بین ۹/۰ تا ۴۰/۶ درصد بوده که به ترتیب مربوط به دوز ۳۰۰ و ۵۰۰ (mg/g DS) است. در دوزهای بالا دسترسی میکروارگانیسم‌ها به مواد



شکل ۳- تاثیر لجن تصفیه‌خانه آب بر میزان بیوگاز تولیدی تجمعی

SRF رخ‌نداده ولی پس از آن کاهش SRF روند کاهشی قابل‌توجهی دارد. با افزایش دوز تا 300 mg/g DS روند کاهشی SRF با شیب بیشتری رخ داده و در دوز 300 mg/g DS بهترین عملکرد را داشته و SRF از $10^{12} \times 251$ m/kg به ترتیب به عدد $10^{12} \times 181$ m/kg (53 درصد کاهش) رسیده است. پس از آن مقدار SRF افزایش می‌یابد و در دوز 500 mg/g DS به $10^{12} \times 174$ m/kg می‌رسد. در دوزهای بالا میزان ذرات ریز افزایش یافته و آگیری را با مشکل مواجه می‌کند. آگیری دشوار لجن هضم شده به مواد کلئیدی و فوق کلئیدی که ذرات ریز و ناپایدار هستند مرتبط است که با پراکنده شدن و گرفتگی مدیای لجن، مانع از آگیری مناسب لجن می‌شوند (Amin, 2014). با افزودن لجن تصفیه‌خانه‌آب، از یک سو، غلظت جامدات افزایش پیدا کرده و برهم‌کنش ذرات بیشتر می‌شود و از سوی دیگر به دلیل افزایش اندازه ذرات لجن، با بهبود فیلتراسیون و کاهش تراکم پذیری و نیز کاهش نسبت سطح به حجم، آب پیوندی در لجن کاهش می‌یابد و عملکرد آگیری لجن بهبود می‌یابد (Wang et al., 2017; Wójcik, 2020).



شکل ۴- تاثیر استفاده از دوزهای مختلف لجن تصفیه‌خانه‌آب بر میزان SRF در فرایند آگیری از لجن هضم شده بی‌هوازی

برای لجن هضم‌شده فاقد لجن تصفیه‌خانه‌آب، ضریب تراکم‌پذیری $s = 1$ است. افزودن لجن تصفیه‌خانه‌آب ضریب تراکم‌پذیری را 27 ± 5 درصد کاهش داده است. افزایش ضریب تراکم‌پذیری باعث آگیری دشوارتر لجن می‌شود و هرچه ضریب تراکم‌پذیری کاهش یابد آگیری بهبود یافته و آب به راحتی از لجن خارج می‌شود. تغییر ضریب تراکم‌پذیری به معنای تغییر ساختار لجن بوده و با کاهش آن، ساختار لجن به سمت تشکیل سازندهای فیزیکی رفته و کیک لجن نفوذپذیرتر شده است (Guo et al., 2019). بازده فیلتراسیون دومین فاکتور مورد بررسی است که هرچه میزان این فاکتور افزایش یابد نشان‌دهنده افزایش نرخ فیلتراسیون آب از لجن است. مقدار آن برای لجن هضم شده فاقد

با افزایش دوز لجن تصفیه‌خانه‌آب میزان مواد غیرآلی افزایش یافته و میزان مواد آلی قابل تجزیه و تبدیل به بیوگاز کاهش پیدا می‌کند که در نهایت منجر به کاهش بیوگاز تولیدی می‌شود. وجود آهن انتقال مستقیم الکترون بین گونه‌ای را در فرایند هضم افزایش می‌دهد، فعالیت آنزیم‌ها را افزایش و رشد باکتری‌های متانوزن را تسهیل می‌کند و هم‌چنین آهن با رسوب سولفید، از تشکیل هیدروژن سولفید جلوگیری و بوی نامطبوع لجن را از بین می‌برد (Romero-Güiza et al., 2016). در این مرحله با توجه به تاثیر مثبت در افزایش میزان بیوگاز تولیدی دوز 150 mg/g DS لجن تصفیه‌خانه‌آب می‌تواند به عنوان دوز مناسب در نظر گرفته شود.

۳-۳- تاثیر استفاده از لجن تصفیه‌خانه‌آب بر فرایند آگیری

شکل ۴ تاثیر استفاده از لجن تصفیه‌خانه‌آب بر میزان SRF در فرایند آگیری از لجن هضم شده بی‌هوازی را نشان می‌دهد. در دوزهای کمتر از 150 mg/g DS تغییر محسوسی در میزان

در مطالعه Lai and Liu (2004) استفاده از لجن آلوم به همراه 100 میلی گرم پلیمر کاتیونی، SRF را بیش از 90 درصد در آگیری لجن هضم شده بهبود بخشیده است. در مطالعه دیگری لجن آلوم به همراه پلیمر، SRF را بیش از 50 درصد کاهش داده است (Ren et al., 2020). در صورتی که در مطالعات قبلی لجن آلوم تصفیه‌خانه آب در دوزهای بالا 2000 mg/g (Ren et al., 2020) و 3000 mg/g (Li et al., 2016) میزان SRF را به ترتیب 64 و 71 درصد کاهش داده‌اند. پایین بودن میزان SRF در مقایسه با مطالعات قبلی به دلیل استفاده غیرمستقیم از لجن تصفیه‌خانه آب در فرایند آگیری است، در صورتی که مطالعات قبلی به صورت مستقیم از لجن در فرایند آگیری استفاده نموده‌اند.

تصفیه‌خانه آب نتایج قابل توجهی داشته است، به طوری که با افزودن ۱۵۰ میلی گرم بر گرم لجن تصفیه‌خانه آب، افزایش ۱۳/۴ درصدی تولید بیوگاز حاصل شد. نتایج به دست آمده نشان از پتانسیل مناسب لجن تصفیه‌خانه آب در هضم هم‌زمان با لجن تصفیه‌خانه فاضلاب دارد. علاوه بر افزایش تولید بیوگاز با کیفیت مناسب، حجم راکتورهای مورد نیاز نیز کاهش یافته و در نهایت موجب اقتصادی شدن تاسیسات هضم بی‌هوازی خواهد شد. افزودن لجن تصفیه‌خانه آب به لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن مواد منعقد کننده، مواد معدنی و همچنین وجود برخی فلزات جزئی و تغییر در ساختار و بافت لجن باعث بهبود عملکرد تغلیظ، آبیگری و هضم شده و در نهایت منجر به کاهش مصرف پلی الکترولیت و افزایش بیوگاز می شود که به اقتصادی بودن فرایند منجر می شود. محتوای بالای آهن در لجن تصفیه‌خانه آب، نقش اساسی در هضم بی‌هوازی دارد، زیرا انتقال مستقیم الکترون بین گونه‌ای را افزایش داده و با تحریک آنزیم‌ها فعالیت آن‌ها را افزایش می دهد. همچنین با کاهش پتانسیل اکسایش-کاهش در مرحله متان سازی رشد باکتری‌های متانوژن را تسهیل می کند (Romero-Güiza et al., 2016).

در نهایت، انتخاب دوز مناسب افزودن لجن تصفیه‌خانه آب به فرایند تصفیه لجن فاضلاب باید به گونه‌ای باشد که اولاً تأثیر منفی بر هیچ یک از فرایندهای تغلیظ، هضم بی‌هوازی و آبیگری نداشته و ثانیاً بیشترین بازدهی اقتصادی را نیز داشته باشد. با توجه به نتایج، افزودن ۲۰۰ میلی گرم بر گرم لجن تصفیه‌خانه آب تأثیر مثبت بر فرایندها داشته است و در این مطالعه به عنوان دوز بهینه پیشنهاد می شود. لجن تصفیه‌خانه آب به عنوان پسماند تصفیه آب نتایج قابل توجهی در تغلیظ، هضم بی‌هوازی و آبیگری نشان می دهد و در دوز بهینه ممکن است تا ۵۰ درصد کاهش در مصرف پلی الکترولیت کاتیونی حاصل شود. به منظور بررسی اقتصادی طرح باید در مقیاس واقعی و محل قرارگیری تصفیه‌خانه‌ها بررسی شود. از لحاظ تئوری با تصفیه هم‌زمان لجن تصفیه‌خانه آب و لجن فاضلاب، علاوه بر کاهش مصرف پلی الکترولیت در تصفیه لجن، واحد تصفیه لجن تصفیه‌خانه آب حذف شده و لجن تصفیه‌خانه آب می تواند مستقیماً با یک خط لوله به محل تصفیه خانه فاضلاب منتقل شود که هزینه‌های خط انتقال به هزینه‌های تصفیه اضافه می شود. از سوی دیگر با تصفیه هم‌زمان دو لجن در هزینه‌های نیروی انسانی، تجهیزات، مصرف مواد شیمیایی و انرژی صرفه جویی شده و طرح در بلندمدت اقتصادی خواهد بود. در حال حاضر بیشتر تصفیه‌خانه‌های آب فاقد سیستم مدیریت لجن بوده و به عنوان یک معضل محیط زیستی در تصفیه‌خانه آب تبدیل

لجن تصفیه‌خانه آب ۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت بوده که با افزودن لجن تصفیه‌خانه آب در فرایند تصفیه لجن تا ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت (۰/۳۳۰) افزایش می یابد. همچنین کلروفوریک در مقیاس میکرو، علاوه بر حالت‌دهی شیمیایی به صورت فیزیکی نیز عمل می کند و به نفوذپذیری و کاهش تراکم لجن در زمان آبیگری کمک می کند (Mangunda et al., 2019). ذرات لجن می توانند به عنوان سازندهای فیزیکی و خنثی کننده بار ذرات در لجن عمل کنند (Qi et al., 2011) و با استفاده از برهمکنش‌های شیمیایی و/یا الکترواستاتیکی به سطح مواد متخلخل متصل شوند. از طریق چنین مکانیزمی، مواد متخلخل سفت و سخت تشکیل شده، که می توانند تنش فشاری را بین یکدیگر منتقل کرده، از فشردگی بیش از حد کیک لجن جلوگیری و به جریان خروج بیشتر آب کمک کنند (Farhat et al., 2012). لجن تصفیه‌خانه آب دارای مواد معدنی بالا و فلاک درشت بوده و با توجه به نتایج آزمایشات در این مطالعه، لجن تصفیه‌خانه آب مانند حالت‌دهنده فیزیکی عمل کند.

۴- بحث و نتیجه گیری

بهبود فرایندهای تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی و آبیگری لجن هضم شده نیاز به افزودن حالت‌دهنده‌های فیزیکی و شیمیایی است تا با ایجاد ساختار مناسب و تشکیل ذرات پایدار و درشت‌تر، خروج آب را از لجن تسهیل بخشند (Amin, 2014). لجن تصفیه‌خانه آب می تواند به عنوان یک ماده مکمل در تصفیه لجن تصفیه‌خانه فاضلاب در بخش تغلیظ، آبیگری و بهبود تولید بیوگاز در هاضم بی‌هوازی لجن مورد استفاده قرارگیرد و در نهایت در ترکیب با لجن فاضلاب به روش‌های مختلف مانند سوزاندن، کمپوست و استفاده در کشاورزی از چرخه تصفیه خارج شود. از آنجایی که لجن تصفیه‌خانه آب دارای قابلیت تأثیرگذاری به دو صورت شیمیایی و فیزیکی می تواند به فرایند تغلیظ و آبیگری لجن کمک کند. لجن تصفیه‌خانه آب به دلیل داشتن مواد منعقد کننده با خنثی سازی بار ذرات در ایجاد پل بین ذرات و تشکیل فلوک‌های درشت، منسجم و پایدار به عنوان حالت‌دهنده شیمیایی عمل کرده و از سوی دیگر به دلیل تشکیل فلوک‌های درشت و منسجم و نیز وجود مواد معدنی در آن، مانند یک حالت‌دهنده فیزیکی در لجن عمل نموده و لجن مستحکم و متخلخل با نرخ فیلتراسیون بالا تولید کند. در نهایت عملکرد فرایندهای تغلیظ و آبیگری را بهبود می بخشد (Qi et al., 2011). هضم هم‌زمان لجن تصفیه‌خانه فاضلاب به همراه لجن

- coagulant use", *International Journal of Water and Wastewater Treatment*, 6(3).
- Ebrahimi-Nik, M., Heidari, A., Ramezani Azghandi, S., Asadi Mohammadi, F., and Younesi, H., (2018), "Drinking water treatment sludge as an effective additive for biogas production from food waste; kinetic evaluation and biomethane potential test", *Bioresource Technology*, 260, 421-426, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.112>.
- Farhat, S., Kamel, F., Jedoui, Y., and Kallel, M., (2012), "The relation between the RO fouling membrane and the feed water quality and the pretreatment in Djerba Island plant", *Desalination*, 286, 412-416, <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.058>.
- Garlicka, A., Zubrowska-Sudol, M., Umiejewska, K., Roubinek, O., Palige, J., and Chmielewski, A., (2020), "Effects of thickened excess sludge pre-treatment using hydrodynamic cavitation for anaerobic digestion", *Energies*, 13(10), 2483, <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2483>.
- Guo, J., Jiang, S., and Pang, Y., (2019), "Rice straw biochar modified by aluminum chloride enhances the dewatering of the sludge from municipal sewage treatment plant", *Science of the Total Environment*, 654, 338-344, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.429>.
- Guo, Z., Ma, L., Dai, Q., Ao, R., Liu, H., Wei, Y., and Mu, L., (2020), "Role of extracellular polymeric substances in sludge dewatering under modified corn-core powder and sludge-based biochar pretreatments", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 202, 110882, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110882>.
- Joseph-Soly, S., Saldanha, T., Nosrati, A., Skinner, W., and Addai-Mensah, J., (2019), "Improved dewatering of clay rich mineral dispersions using recyclable superabsorbent polymers", *Chemical Engineering Research and Design*, 142, 78-86, <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.07.032>.
- Kapp, H., (1984), "Sludge thickening prior to anaerobic digestion", *Water Science and Technology*, 16(12), 419-432, <https://doi.org/10.2166/wst.1984.0010>.
- Lai, J.Y., and Liu, J.C., (2004), Co-conditioning and dewatering of alum sludge and waste activated sludge, *Water Science and Technology*, 50(9), 41-48, <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0530>.
- Li, J., Liu, L., Liu, J., Ma, T., Yan, A., and Ni, Y., (2016), "Effect of adding alum sludge from water treatment plant on sewage sludge dewatering", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 746-752, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2015.07.021>.
- Likus, M., Komorowska-Kaufman, M., Pruss, A., Zych, L., and Bajda, T., (2021), "Iron-based water treatment residuals: Phase, physicochemical characterization, and textural properties", *Materials*, 14(14), 3938, <https://doi.org/10.3390/ma14143938>.
- Luiz, M.A., Sidney Seckler, F.F., and Passos, P.R., (2018), "Full-scale effects of addition of sludge from water treatment stations into processes of sewage treatment by conventional activated sludge", *Journal of Environmental Management*, 215, 283-293,

شده است. با استفاده از این طرح می‌توان این چالش را حل کرده و از مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی آن بهره‌مند شد. در مدیریت یکپارچه، پایدار و کارآمد، جمع‌آوری، تصفیه و دفع لجن‌های تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب راه‌کاری مناسب در راستای دستیابی به راهبری بهینه فنی-اقتصادی-محیط‌زیستی است و لازم است در چارچوب کاهش، بازچرخانی و استفاده مجدد مورد توجه قرار گیرد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Sludge Volume Index (SVI)
- 2- Specific Filtration Resistance (SRF)
- 3- Biochemical Oxygen Demand (BOD)
- 4- Volatile Suspended Solids (VSS)
- 5- Chemical Oxygen Demand (COD)
- 6- Volatile Solids (VS)
- 7- Total Solids (TS)
- 8- X-ray Fluorescence

۶- مراجع

- طاهریون، م.، آقابابایی، ب.، محمدی، س.، غلمان، س.و. و صالحی وزیری، ا. (۱۴۰۱)، "بررسی اثر هضم هوازی لجن بر کیفیت آگیری لجن مازاد سیستم SBR تصفیه‌خانه شهر یزد"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۷(۲)، ۳۴-۴۱.
- Ahmad, T., Ahmad, K., Ahad, A., and Alam, M., (2016), "Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant", *Journal of Environmental Management*, 182, 606-611, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.010>.
- Amin, P., (2014), "Primary sludge addition for enhanced biosludge dewatering", M.Sc. Thesis, University of Toronto, Canada.
- APHA, (2012), APHA, AWWA, WEF, *Standard methods for examination of water and wastewater*, Anales de Hidrología Médica.
- Arif, S., Liaquat, R., and Adil, M., (2018), "Applications of materials as additives in anaerobic digestion technology", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 354-366, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.039>.
- Azarmanesh, R., Zonoozi, M.H., and Ghasinejad, H., (2020), "Characterization of food waste and sewage sludge mesophilic anaerobic co-digestion under different mixing ratios of primary sludge, secondary sludge and food waste", *Biomass and Bioenergy*, 139, 105610, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105610>.
- Gobena, B., Adela, Y., Serbessa, G.G., and Alemayehu, E., (2020), "Evaluation of residual Al³⁺ and Fe³⁺ concentration in blended Alum-Ferric Chloride

Zhang, J., Yue, Q., Xia, C., Yang, K., Zhao, P., Gao, B., and Yu, H., (2017), "The study of Na_2SiO_3 as conditioner used to deep dewater the urban sewage dewatered sludge by filter press", *Separation and Purification Technology*, 174, 331-337, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.11.004>.



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

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.072>.
- Mangunda, C., Petersen, J., and Lewis, A.E., (2019), "The effect of Fe(III) concentration on the dewatering behaviour of Fe(III) oxyhydroxide precipitates from low-tenor solutions", *Hydrometallurgy*, 183, 20-28, <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.11.010>.
- Masihi, H., and Badalians Gholikandi, G., (2020), "Using acidic-modified bentonite for anaerobically digested sludge conditioning and dewatering", *Chemosphere*, 241, 125096, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125096>.
- Metcalf, W., and Eddy, C., (2014), *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery, Fifth Edition*, McGraw-Hill.
- Puchajda, B., and Oleszkiewicz, J., (2008), "Impact of sludge thickening on energy recovery from anaerobic digestion", *Water Science and Technology*, 57(3), 395-401, <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2008.021>.
- Qasim, S.R., Motley, E.M., and Zhu, G., (2000), *Water works engineering: Planning, design, and operation*, Prentice Hall.
- Qi, Y., Thapa, K.B., and Hoadley, A F.A., (2011), "Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties, A review", *Chemical Engineering Journal*, 171(2), 373-384, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.04.060>.
- Rahmani, A.R., Nematollahi, D., Godini, K., and Azarian, G., (2013). "Continuous thickening of activated sludge by electro-flotation", *Separation and Purification Technology*, 107, 166-171, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.01.022>.
- Ren, B., Lyczko, N., Zhao, Y., and Nzihou, A., (2020), "Integrating alum sludge with waste-activated sludge in co-conditioning and dewatering: A case study of a city in south France", *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 14863-14871, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08056-0>.
- Romero-Guiza, M.S., Vila, J., Mata-Alvarez, J., Chimenos, J.M., and Astals, S., (2016), "The role of additives on anaerobic digestion: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1486-1499, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.094>.
- Wang, S., Yang, Y.K., Chen, X.G., Lv, J.Z., and Li, J., (2017), "Effects of bamboo powder and rice husk powder conditioners on sludge dewatering and filtrate quality", *International Biodeterioration and Biodegradation*, 124, 288-296, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.05.013>.
- Wójcik, M., (2020), "Investigation of filtration properties and microbiological characteristics of sewage sludge after physical conditioning with the use of ground walnut shells", *Powder Technology*, 361, 491-498, <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.100>.
- Xie, S., Li, X., Pham, C.U., Nguyen, H.V., Song, Y., Chetty, K., Kulandaivelu, J., Wang, C., Hai, F., and Jiang, G., (2021), "Co-digestion of primary sewage sludge with drinking water treatment sludge: A comprehensive evaluation of benefits", *Bioresour Technol*, 330, 124994, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124994>.

Research Paper

مقاله پژوهشی

**The Issue of Water and the Formation of
Socio-Political Balance in the Development of
Iranian Society (Case Study: Water
Management System in Zayandeh-Rud Basin)**

**مساله آب و شکل گیری تعادل سیاسی-اجتماعی در
توسعه جامعه ایرانی (مورد مطالعه: نظام مدیریت آب در
حوضه زاینده رود)**

Mehrdad Tohidi¹, Taghi Azad Armaki^{*2}, Mohamad Tavakol², Hamidreza Jalaeipour³ and Ali Bagheri⁴

1- PhD Student in Sociology, Department of Sociology, Alborz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Sociology, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of Sociology, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

4- Associate Professor, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

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

مهرداد توحیدی^۱، تقی آزاد ارمکی^{۲*}، سید محمدعلی توکل کوثری^۱،

حمیدرضا جلالی پور^۳ و علی باقری^۴

۱- دانشجوی دکتری جامعه شناسی اقتصادی و توسعه، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- استاد گروه جامعه شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه جامعه شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴- دانشیار گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: tazad@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Received: 07/09/2022

Revised: 23/10/2022

Accepted: 02/11/2022

© IWWA

Abstract

چکیده

Water scarcity is one of the most important distinguishing features that development theorists have paid attention to in explaining the characteristics of eastern societies in the social transition. This attitude has led to the presentation of theories such as the Asiatic mode of production, Oriental Despotism, and Iranian Despotism, each of which, considering some characteristics of the society, has tried to explain the relationship between the development of the East and its connection with water, but they have not been able to. This study, by using the qualitative research method and historical studies, reviewing the documents, observation, and interviews with farmers, policymakers, and people living in the Zayandeh-Rud basin area, has tried to get an accurate picture of the connection between water and development of this region in Iran. The results obtained in this research show that the problem of water scarcity in Iran has caused the formation of a system that arises from the two arms of political legitimacy and social acceptability with the processes of appointment and selection, and the development of Iranian society depends on the balance of The powers of these two parts. if the balance disturbed, the society moves towards political despotism or social revolution.

Keywords: Development, Iranian society, Water governance, Water shortage, Zayandeh-Rud water management.

کم آبی و ویژگی های اقلیمی، یکی از مهم ترین وجوه تمایزی است که نظریه پردازان توسعه در توضیح ویژگی ها و شرایط جوامع شرقی و ایران در تحولات اجتماعی جامعه به آن توجه کرده اند. این نگرش منجر به ارائه نظریاتی از جمله شیوه تولید آسیایی، استبداد شرقی و استبداد ایرانی شده است که هر کدام با توجه به برخی از ویژگی های جامعه، سعی در ارائه توضیحی در مناسبات توسعه شرق و پیوند آن با آب داشته اند که نتوانسته اند با توجه به مشخصات جامعه ایرانی، پاسخ دقیقی برای آن تبیین کنند. این مطالعه با بهره گیری از روش تحقیق کیفی و مطالعات تاریخی، با بررسی اسناد و هم چنین مشاهده و مصاحبه با کشاورزان، سیاست گذاران و مردم ساکن حوضه زاینده رود، تصویر دقیق تری از پیوند آب و توسعه در جغرافیای این منطقه از ایران ارائه می دهد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می دهد که مسئله کم آبی در ایران سبب شکل گیری نظامی شده است که برآمده از دو بازوی مشروعیت سیاسی و مقبولیت اجتماعی با فرآیندهای انتصاب و انتخاب است و توسعه جامعه ایرانی، منوط به توازن قوای این دو بخش بوده و چنانچه تعادل قدرت آنان بر هم نخورد، جامعه به سمت استبداد سیاسی و یا انقلاب اجتماعی حرکت می کند.

کلمات کلیدی: توسعه، جامعه ایرانی، حکمرانی آبی، کمبود آب، مدیریت آبی زاینده رود.

۱- مقدمه

علاوه بر رویکرد جغرافیاگرایی، اقتصاددانان کلاسیک انگلیس نیز بر تفاوت شرق و غرب و مناسبات تولیدی آن دو تکیه می کردند. در نگاه این گروه، دو ویژگی برجسته در جوامع شرقی چشم گیر بود. نخست وجود منابع عمومی آب که زیر نفوذ و کنترل دولت مرکزی قرار داشت و سپس تقسیم سرزمین امپراتوری ها به دهکده ها که هریک برای خود سازمان جداگانه ای داشتند، به طوری که به صورت دنیای کوچکی در درون خود بدل می شدند (علمداری، ۱۳۸۰).

اهمیت یافتن آب و مناسبات تولیدی در شرق در نگاه نظریه پردازانی چون مارکس و ویتفولگ، سبب شد تا نظر دیگر پژوهشگران هم به این موضوع جلب شود و تلاش های متعددی در تایید، رد و یا به روزآوری این دیدگاه ها صورت پذیرد. هم چنین با گسترش حضور و اندیشه های مخالف سیاسی در ایران، نام نظریاتی چون فئودالیسم ایرانی و استبداد ایرانی نیز در توضیح الگوی تحولات و توسعه ایران به میان آمد.

مارکس ویژگی اصلی حیات جوامع شرقی را نبود مالکیت خصوصی بر زمین می داند که مولد شکل گیری قدرت دولتی بزرگی در جوامع شرقی است. دلیل این موضوع در اقلیم خاص آسیا نهفته است که آبیاری مصنوعی را در آن اجتناب ناپذیر می سازد (کاظمی، ۱۳۹۹). به نظر مارکس چون کمبود آب در ایران کاملاً جبری و نتیجه وضعیت جغرافیای طبیعی آن بوده است، بنابراین باید قدرتی فائده به نام دولت استبدادی منابع محدود آب را کنترل و از سوی دیگر امنیت آبرسانی را برقرار می کرد. (سراج و یوسفی فر، ۱۳۹۶).

ویتفولگ (۱۳۹۸) از نوشته های مارکس برای سازمان دادن به نظریه دولت آب پایه خود بهره گرفت و در آن استدلال کرد که حکومت های آسیایی به علت اختیاری که در نظارت و سلطه بر امور حیاتی جامعه در امر آبرسانی داشتند به قدرت مطلقه و نیرویی برتر در جامعه تبدیل شدند و در نظم پیشا سرمایه داری که بخش عمده مناطق آسیا را سرزمین های کاملاً خشک پوشانده بود، حیات اقتصادی جامعه به ایجاد شبکه های عظیم آبرسانی و توزیع دقیق آب بستگی داشت. این مهم تنها از عهده یک تشکیلات اداری بزرگ برای سازماندهی و هماهنگ سازی خدمات آبرسانی برمی آمد (افضلی، ۱۳۸۳). وی در کتاب خود خشکی و کم آبی سرزمین و ضرورت یک مدیریت متمرکز و عمومی بر تولید و توزیع آب را علت اصلی ظهور استبداد در کشورهای شرقی از چین تا ایران معرفی کرد و با اتکا به آرای مارکس (ولی با نقد آن ها) معتقد است که اساس دولت آسیایی «نظام آب پایه» است و در همه این دولت ها ما با ساختار دیوان سالاری متمرکز رو به رو

یکی از پیش نیازهای اساسی شکل گیری تمدن ها در جغرافیای زندگی پیشینیان، دسترسی به منابع دائمی آب بوده است و چنین به نظر می رسد که ثبات منابع و تامین نیازهای اولیه از جمله آب، برای مدت زمانی طولانی، زمینه مناسب و بستر شکل گیری تمدن ها را فراهم می ساخت. زمانی که گروه های انسانی پراکنده در فرایند انتقال از جمع آوری غذا به تولید آن روی آوردند، اجتماعات یکجانشین اولیه پدید آمد و تا پیش از این یکجانشینی، دستیابی به نیازهای اولیه حیات در فصول مختلف سال، سبب ساز تحرک گروه های انسانی بود. زندگی و معیشت چادر نشینان، اعم از شکارچی یا شبان، در واقع هیچ گونه تمرکزی را ایجاب نمی کرد؛ نیاز آن نوع معیشت، پراکندگی جمعیت در فضاها و هرچه وسیع تر، به دلیل محدودیت منابع طبیعی، بود. در حالی که کشاورزی، چون با نوعی حیات یکجانشینی همراه است، تا حدی مستلزم تنگ تر شدن بافت های اجتماعی بود (دورکیم، ۱۳۸۱). این تراکم جمعیت و افزایش تعاملات اجتماعی، سبب شکل گیری نظام های تقسیم کار و همچنین سازوکارهای تقسیم منابع از جمله آب شد. این تمایز و تفاوت در جامعه شرقی که کم آبی آن بیش از جوامع غربی، مشهود بوده است، نگرش متفکران غربی را به ارائه توضیح تفاوت مسیر توسعه شرق و غرب از مسیر آب سوق داده است.

۲- ادبیات نظری

رویکرد جغرافیاگرایی هر چند که در ادبیات اجتماعی کلاسیک جایگاه مهمی داشته و بسیاری از اندیشمندان به تحلیل تحولات براساس موقعیت جغرافیایی، آب و هوا و غذا می پرداختند. ولی این رویکرد در حوزه تمدن اسلامی با کارهای ابن خلدون مطرح و بعدها توسط دیگر اندیشمندان در جهان اروپایی، آمریکایی و آسیایی دنبال شد و از قرن هجدهم تاکنون مرجع توضیح تفاوت های بنیادی بین جوامع و فرهنگ ها شده است (آزاد ارمکی، ۱۳۹۱).

ابن خلدون با بررسی و ارائه توصیفات جغرافیایی از جهان، تاثیر آب و هوا بر اخلاق انسان ها و همچنین پدید آمدن رویکردهای متنوع اجتماعی و جسمانی در جوامع مختلف را بررسی کرد. او عوامل جغرافیایی و اقلیمی را به عنوان علت اصلی تمایزات فرهنگی در جوامع بشری معرفی کرد (ابن خلدون، ۱۳۹۳).

هستیم (نامدار و نظری مقدم، ۱۳۹۷).

ویتفوگل (۱۳۹۸) آشکارترین جوهره مشترک جوامع شرقی را در قدرت استبدادی و اقتدار سیاسی آن‌ها می‌دید. او اصطلاحات «جامعه آب‌سالار» و «تمدن آب‌سالار» را از این‌روی برای شرق برگزیده بود که بیشتر بر کنش انسانی تاکید دارد تا ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی. اصطلاح آب‌سالار در چارچوب فکری ویتفوگل بر نقش برجسته حکومت تاکید دارد و توجه را به خصلت مدیریت کشاورزی و دیوان سالاری کشاورزی این تمدن‌ها جلب می‌کند. او در مقایسه با جوامع فئودالی، مالکیت خصوصی فعال و مولد در دولت‌های شرقی را سازمان نیافته و از جهت سیاسی، ناتوان ارزیابی می‌کرد.

از سوی دیگر نظریه استبداد ایرانی که البته کاتوزیان (۱۴۰۰) در ادامه آن را با جامعه کم‌آب و پراکنده، تکمیل می‌کند، بر بنیان نظریات اندیشمندان غربی از جمله مارکس و هم‌چنین یادداشت‌های شرق‌شناسان غربی بنا شده است. کاتوزیان با وجود این‌که به تصدیق بسیاری از ویژگی‌هایی که مارکس، انگلس و اسلافشان برای زندگی و کار در جامعه آسیایی برشمرده‌اند می‌پردازد، اهمیت شرایط اقلیمی، کمبود آب و نیاز به رواج شیوه‌های آبیاری مصنوعی را نیز مانند آنان مورد تاکید قرار می‌دهد (کاتوزیان، ۱۴۰۰).

کاتوزیان برای تمایزگذاری میان نظریه خود با استبداد شرقی، این واقعیت را می‌پذیرد که خشکی عمومی کشور موجب کمبود آب و رواج آبیاری مصنوعی شده، عامل مهمی در سرنوشت این جامعه بوده است (کاتوزیان، ۱۴۰۰). اما او اعتقاد دارد هسته مرکزی نظریه ویتفوگل و مدل مشخصی که برای جامعه آب‌سالار ارائه کرده است، مبتنی بر وجود دستگاه دیوانی گسترده و متمرکز تعمیم یافته از تاریخ چین است و در مورد جامعه ایران کاملاً صدق نمی‌کند.

کاتوزیان هم در نوشته‌های مختلف خود، بیان می‌کند که کمبود آب در ایران به ایجاد واحدهای روستایی خودمختار و پراکنده از هم انجامید که تولید هیچ‌یک برای ایجاد یک پایگاه قدرت فئودالی تکافو نمی‌کرد. اما بر روی هم، مازاد جمعی چندین بزرگی تولید می‌کردند که در صورت تصاحب آن به وسیله یک نیروی سازمان یافته بیرونی (منطقه‌ای یا کشوری) می‌توانست برای جلوگیری از تجزیه قدرت سیاسی-اقتصادی به کار رود. این نیروی نظامی در ابتدا عشایر مهاجم بودند و پس از آن عشایر داخلی و مهاجر که موفق شدند در مقاطع مختلف تاریخ، حکومت شهری مختلفی را تشکیل دهند. حجم مازاد محصولات کشاورزی مستقیم و غیرمستقیم آن‌قدر زیاد بود تا این حکومت‌های

استبدادی را قادر به صرف مبالغی برای حمل و نقل، ارتباطات، سازمان‌های نظامی و بروکراتیک و جز این‌ها کند که هم سلطه‌شان را بر زمین حفظ و هم از پیدایش خودمختاری فئودالی در کشاورزی یا شهروندی بورژوازی در شهرها جلوگیری می‌کرد (کاتوزیان، ۱۴۰۰).

براساس این رویکرد، ساختار و مناسبات اجتماعی-اقتصادی واحدهای تولیدی روستایی در ایران مستقل از یکدیگر به تأمین و مدیریت آب و هم‌چنین تولید محصولات کشاورزی می‌پرداختند که با دیگر روستاها، به‌عنوان یک واحد مستقل زندگی و کار، پیوند و ارتباط چندانی نداشتند. هم‌چنین این دیدگاه، وجود قانون در ایران را که بتواند حد و مرزی برای اعمال قدرت توسط دولت تعیین کند، نفی می‌کند. مهم‌ترین جنبه این نظام این بود که اشخاص برخوردار از زمین یا عایدات آن، هیچ حق مستقلی نسبت به آن نداشتند. این در واقع امتیاز محسوب می‌شد نه حق (کاتوزیان، ۱۳۹۶) و مالک ایرانی هیچ حقی بر مالکیت خود و هیچ امنیتی بر عایدات خود نداشت (کاتوزیان، ۱۳۹۶).

در مقام مقایسه دو نظریه استبداد شرقی و استبداد ایرانی، چنین می‌توان گفت که بنیان هر دو نظریه بر آب و کم‌آبی بنا شده است، اما با این تفاوت که یکی این مسئله را زمینه‌ساز برقراری تعامل و شکل‌گیری سازوکاری جمعی در سطح کشور می‌داند که در نهایت سبب ایجاد دولت می‌شود و دیگری، به دلیل پراکندگی منابع آب، واحدهای تولیدی کوچک، پراکنده، مستقل و بی‌پیوند با یکدیگر را ایجاد می‌کند که مانع از پیروی الگوی غربی توسعه و شکل‌گیری نظام فئودالی می‌شود.

۳- مورد مطالعه

با توجه به ویژگی‌های تاریخی، فرهنگی و محیط‌زیستی حوضه زاینده‌رود و به‌ویژه مشخصه‌های اجتماعی آن که رویدادهای متعددی را در خصوص آب از گذشته تاکنون از سر گذرانده است، به‌عنوان مورد مطالعه در خصوص نقش آب در جریان توسعه ایران انتخاب شد. این حوضه با مساحت ۲۶۹۱۷ کیلومتر مربع، با زیست‌بوم منحصر به فرد خود، نظر جوامع انسانی را در طول قرون مختلف به‌خود جلب کرده است. در ۶۰ سال گذشته، جمعیت ساکنان در محدوده این حوضه، از کمتر از یک میلیون نفر تا نزدیک چهار میلیون نفر افزایش یافته است که امروزه معیشت بیش یک میلیون نفر از ساکنان آن به شغل کشاورزی وابسته است. هم‌چنین برخی صنایع مهم کشور نظیر فولاد، پتروشیمی و سیمان نیز در حاشیه زاینده‌رود قرار گرفته است و اشتغال حدود

تحقیق و مشاهده‌ها، نسبت به طرح یافته‌ها و پرسش از افراد حاضر در جامعه مورد مطالعه اقدام و مشاهدات و نتایج صحت‌سنجی شد.

۵- نتایج

۵-۱- الگوی مدیریت منابع آب و توسعه در حوضه زاینده‌رود

یکی از نظام‌های دقیق مدیریت بر منابع آب و جوامع در ایران، مدیریت سنتی یا تقسیم آب زاینده‌رود است که در این نظام اجرایی، همکاری کاملاً مشخص و مشترک دولت و مردم با دقت مورد توجه قرار گرفته است. این نظام و رویکرد مشارکتی براساس تعامل، اعتماد و همکاری میان حاکمیت و مردم استقرار یافته است.

در اجرای تقسیم آب زاینده‌رود به مدیریت و نیروی انسانی زیادی نیاز بوده است و در ساختار مدیریتی سلسله‌مراتبی به‌شرح زیر قابل بررسی است: ۱. حکومت، ۲. دیوان آبیاری (مستوفیان)، ۳. نمایندگان ۳۳ سهم‌بر آب رودخانه، ۴. میرآب، ۵. کشیک، ۶. مادی سالار، ۷. مردان قاصد، ۸. حقه‌داران و ۹. سرجوی‌ها (حسینی ابری، ۱۳۷۷). در این تقسیم‌بندی، حقه‌داران هر واحد آبیاری روستایی، سرجوی را که زیر نظر کدخدا فعالیت می‌کرد، برای انجام فعالیت‌های مرتبط با تقسیم آب در آبادی، انتخاب می‌کردند. مادی‌سالاران و کشیک‌ها به‌عنوان نمایندگان میرآب، از هر منطقه، به نظارت بر آب مادی‌ها و بلوک‌ها می‌پرداختند. میرآب، به‌عنوان مدیر آب، توسط نمایندگان ۳۳ سهم زاینده‌رود و هم‌چنین تایید نمایندگان دیوانی حکومت، برای یک دوره مشخص، انتخاب می‌شد. مردان قاصد نیز وظیفه نظارت بر برداشت صحیح حقه‌ها را برعهده داشتند. در این میان، با وجود این‌که هریک از این نقش‌های نه‌گانه نقش مهمی در کنترل و مدیریت آب‌ها ایفا می‌کردند، اما میرآب به عنوان واسطه میان حاکمیت و مردم و هم‌چنین حلقه‌ای ارتباطی این دو بخش، نقش مهم‌تری برعهده داشته است.

براساس شواهد و رویدادهای تاریخی و هم‌چنین اقدامات و سیاست‌های مدیریت منابع آب امروز کشور در این حوضه، دولت و حاکمیت نتوانسته است بر زاینده‌رود ادعای مالکیت داشته باشد. حتی در ازای برداشت از سهم کشاورزان، مبلغی به آنان متناسب با وسعت زمین پرداخت کرده است. در اسناد مالکیت زمین‌های کشاورزی این منطقه، از دیرباز متناسب با وسعت زمین، سهم آب آن نیز مشخص و معین شده است و به‌نوعی می‌توان پرداخت

۳۰۰ هزار نفر را در این منطقه فراهم کرده است Mohajeri, (2017).

بخش کشاورزی، بزرگترین مصرف‌کننده آب در حوضه است که به‌دلیل عدم هم‌خوانی فصل کشت و فصل بارندگی، حدود ۲۶۰ هزار هکتار از اراضی حوضه نیازمند آبیاری است. البته راندمان پایین آبیاری کشاورزی در این منطقه (حدود ۳۵ تا ۳۹ درصد) این وضعیت را تشدید می‌کند و سبب شده تا حدود ۹۰ درصد آب حوضه به کشاورزی اختصاص یابد. درحالی‌که تنها نزدیک به ۷ درصد از مساحت کل حوضه، به کشاورزی اختصاص دارد (Madani and Mariño, 2009). استقرار دو بخش صنعت و کشاورزی به‌عنوان بهره‌برداران آب زاینده‌رود در کنار دولت در تامین آب شرب ساکنین حوضه و هم‌چنین مدیریت منابع و مصارف آن و سابقه و پیوند تاریخی و سیاسی زاینده‌رود با جامعه ایران باعث انتخاب این حوضه در این مطالعه شد.

۴- روش تحقیق

این مطالعه، با توجه به اهداف تحقیق و هم‌چنین ویژگی‌های مسئله و ماهیت اکتشافی بودن آن، از روش تحقیق کیفی بهره‌برده است. بر همین اساس، با به‌کار بستن شیوه‌های جمع‌آوری اطلاعات میدانی ازجمله مصاحبه و مشاهده و هم‌چنین بررسی و مطالعه اسناد و متون تاریخی نسبت به جمع‌آوری داده‌های میدانی و اسنادی، اقدام شد. با توجه به جایگاه تاریخی و سیاسی اصفهان در ایران و هم‌چنین استقرار پایتخت صفوی در این شهر در اوج قدرت این سلسله، اسناد و مکتوبات بسیاری در مورد آن به رشته تحریر درآمده است که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به سفرنامه‌های شاردن (۱۳۴۵)، تاورنیه (۱۳۶۳) و کمپفر (۱۳۶۳) اشاره کرد که در یادداشت‌های خود، به نظام آبی این حوضه نیز پرداخته‌اند.

در این مطالعه در مجموع ۷۶ مصاحبه عمیق با ساکنین اصفهان، کشاورزان و باغداران و هم‌چنین مدیران و کارشناسان مرتبط با مدیریت آب برای شناخت دقیق الگوهای نظام مدیریت آبی زاینده‌رود با استفاده از روش نمونه در دسترس صورت گرفت. سپس یافته‌های میدانی حاصل از مشاهده و مصاحبه و هم‌چنین یافته‌های تاریخی مربوط به اسناد و سفرنامه‌ها، فارغ از جنبه‌های ارزشی نگارنده، ثبت شدند. در استخراج مفاهیم و کدگذاری داده‌ها، تلاش شد اصل بی‌طرفی و رعایت اخلاق پژوهش، همواره مدنظر باشد. از آن‌جا که در ارزیابی تحقیق کیفی به مسئله اعتبار بیش از پایایی توجه می‌شود (فلیک، ۱۳۹۶)، برای افزایش اعتبار

از نگاه او در کنار نبود قانون، به شکل‌گیری جامعه کوتاه‌مدت منجر شده است. اما در حوضه زاینده‌رود شاهد آن هستیم که علاوه بر این که مالکیت زمین کشاورزان از دیرباز تاکنون به رسمیت شناخته شده است، علاوه بر زمین، آنان بر حقا به زاینده‌رود نیز مالکیت داشته و این مالکیت در تمام طول تاریخ، محفوظ و مصون مانده است.

با بررسی نظریات جامعه‌شناختی که به تعیین نقش آب در جوامع شرقی و ایران پرداخته‌اند، چنین به نظر می‌رسد که این نظریات بر یکی از دو بخش سیاسی یا اجتماعی تاکید دارند. این مطالعه به نظریه جدید و مدلی در مدیریت منابع آب در حوضه زاینده‌رود دست یافته است که نشانگر حضور این دو بخش در کنار یکدیگر است که «رویکرد تعادل سیاسی-اجتماعی جامعه ایرانی» نامیده شده است.

۵-۲- رویکرد تعادل سیاسی-اجتماعی جامعه ایرانی

کمبود آب و تفاوت شرایط اقلیمی جغرافیای شرق با غرب، اولین وجه تمایزی بود که نظر بسیاری از متفکران غربی را در توضیح چرایی تفاوت این منطقه با سرزمین‌های پرآب اروپایی در کنار وسعت این منطقه در برابر محدودیت زمین اروپا جلب کرد. این تفاوت کار را بدان جا رساند که آب، عامل اصلی و کمیاب تولید در شرق نام گرفت.

براساس رویکرد استبداد شرقی، چنان‌چه آبیاری و توسعه و ساخت شبکه‌های آب، اساس و بنیان شکل‌گیری دولت در شرق در نظر گرفته شود، اجرا، پیاده‌سازی، نظارت، بهره‌برداری و همه این اقدامات زیر نظر دولتی استبدادی صورت می‌گیرد که سعی در کنترل تمامی این موارد در داخل دستگاه اداری خود دارد و جامعه نقشی برای ایفا در این فرایند پیدا نمی‌کند. استبداد ایرانی نیز با محدود ساختن تعاملات اجتماعی در داخل مرز و محدوده روستا، این واحد تولیدی را خودمختار و فارغ از همسایه و آبادی‌های دیگر می‌پندارد. هم‌چنین با پیش‌فرض گرفتن ناپایداری و عدم استمرار مالکیت، شکل‌گیری جامعه و ارتباط نظام‌های تولیدی در سطحی بزرگتر را نادیده می‌گیرد. این پژوهش، به الگوی جدیدی در توسعه جامعه ایرانی دست یافته است که بر مبنای آن مسئله کم‌آبی، زمینه‌ساز برقراری پیوند دولت و جامعه شده است.

براساس آنچه که در حوضه زاینده‌رود از دیرباز رخ داده است و با توجه به مصاحبه‌های انجام شده، در جریان این تحقیق با گروه‌های مختلف و کدگذاری و تحلیل آنان به دست آمده است، استقرار و فعالیت حکومت در کنار جامعه به‌منظور مدیریت نظام

متناسب با وسعت زمین را معادل با سهم آب زمین در نظر گرفت. هم‌چنین دولت بر آب اضافه‌شده به رژیم طبیعی زاینده‌رود با احداث تونل اول کوه‌رنگ که هزینه ساخت آن توسط کشاورزان پرداخت شده است، هیچ‌گاه ادعای مالکیت نکرده است و مالکیت آن آب را نیز برای حقا به‌داران زاینده‌رود براساس طومار منسوب به شیخ بهایی به رسمیت شناخته و کشاورزان حقا به‌دار نیز همواره خود را مالک این بخش از آب زاینده‌رود می‌دانند. به‌همین ترتیب، مالکیت دولت بر حجم آبی که براساس تونل‌های انتقال آب احداث شده با هزینه دولتی به رودخانه افزوده شده است را به رسمیت می‌شناسند.

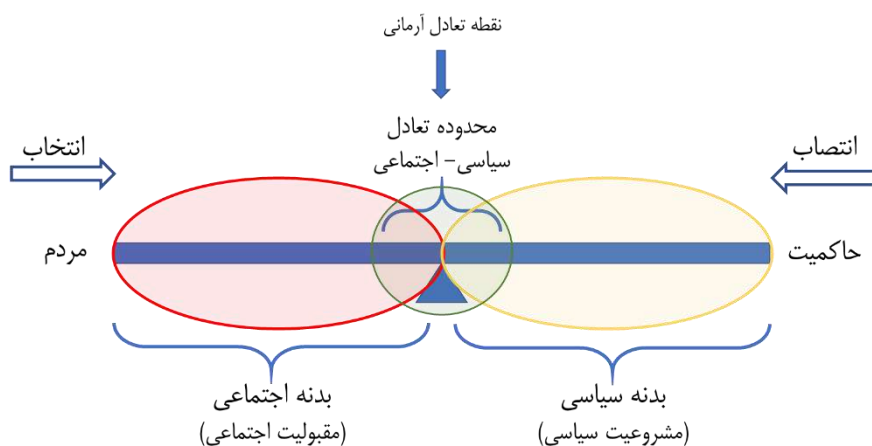
با بررسی و تطبیق نظریه استبداد شرقی ویتفولگ با جامعه ایران و به‌ویژه نظام مدیریت و حکمرانی حوضه زاینده‌رود در طول تاریخ، با وجود اشتراک در برخی موارد مانند پذیرش مالکیت خصوصی در آب و زمین، مطلق نگرستن به نقش دولت به‌عنوان مدیر ساخت و سازهای آب‌سالارانه و هم‌چنین حضور پررنگ و موثر دستگاه حکومتی به‌عنوان ناظر بر تحقق عادلانه نظام‌های آبیاری و تقسیم آب، با نادیده گرفتن سویه دوم نظام تعادل بخش تقسیم آب در حوضه زاینده‌رود، یعنی نقش جامعه و گروه‌های اجتماعی، قابل تصدیق نیست.

نظریه استبداد ایرانی نیز که استقلال و پراکندگی واحدهای تولید روستایی را ویژگی جامعه ایرانی می‌داند به‌واسطه حضور بازوی اجتماعی نظام تقسیم آب زاینده‌رود که برآمده از هماهنگی کامل و مشترک میان تمامی بهره‌برداران آب رودخانه از ابتدا تا انتهای آن است و مدیریت، تقسیم و برداشت آب، با شیوه‌ای جمعی و ساختاری انتخابی در آن سامان یافته است، صحت خود را از دست می‌دهد.

نکته دیگری که کاتوزیان بر آن تاکید می‌ورزد، بی‌قانونی و یا اعمال سلیقه‌ای قانون در ایران است که آن را به سراسر دوران تاریخ تعمیم می‌دهد. طومار منسوب به شیخ بهایی که قوانین برداشت و سهم هریک از مناطق را از آب زاینده‌رود، معین می‌کند، به‌طور آشکار این ادعا را نیز رد می‌کند. چرا که هم قانونی سراسری است، یعنی محدود به یک روستا یا به‌طور مستقل نیست و مشارکت همگانی بهره‌برداران در آن دیده شده است و هم ساز و کار دقیق اجرای آن با فرایندی دوسویه از سمت حاکمیت سیاسی و بدنه اجتماعی به‌گونه‌ای طراحی شده است که کسی نتواند از آن تخطی کند و در صورت زیرپا گذاشتن قانون، مجازات‌های متعددی برای آنان در نظر گرفته و اجرا می‌شده است. نبود مالکیت و ناپایداری آن، چنان‌که کاتوزیان بیان کرده است، حتی موروثی نبودن زمین‌های کشاورزی، عاملی است که

شاید در نگاه کاتوزیان بشود آن را به چشم جامعه کم‌آب و پراکنده دید، اما این پراکندگی به معنی گسسته بودن و عدم پیوستگی نیست. تمامی بهره‌برداران سنتی زاینده‌رود یعنی کشاورزان حقایقه‌دار، در قالب یک شبکه پیوسته و منظم، در این نظام تقسیم آب با هم مرتبط شده و الگوی سهمی و نه حجمی آب، نخستین تا آخرین زمین کشاورزی را با وجود فاصله چندصد کیلومتری به هم پیوند می‌زند. این پیوند که براساس آب و حقایقه زاینده‌رود شکل می‌گیرد، باعث پدیدار شدن یک قدرت اجتماعی در کنار قدرت ساختار سیاسی حکومت می‌شود که استقرار این دو قدرت در جامعه ایرانی در کنار هم، تقویت‌کننده و نیز کنترل‌کننده یکدیگر است. این نظام براساس موازنه دو نهاد حکومت و جامعه بنا شده و پایداری آن، منوط به حفظ این تعادل و موازنه است.

تقسیم آب بوده است. نظام مدیریت سنتی زاینده‌رود، براساس استقرار بر دو بنیان سیاسی و اجتماعی شکل می‌گیرد. در یک‌سوی این نظام، حضور و فعالیت حکومت مرکزی و در سوی دیگر آن جامعه و در پایین سطح، مردم و کشاورزان قرار دارند. به عبارت دیگر جامعه ایرانی نه بر سلطه کامل حکومت بنا شده و نه بر استقلال واحدهای اجتماعی کوچک و پراکنده. موقعیت ویژه‌ای که کم‌آبی در این منطقه به وجود آورده است، سبب شده تا دو بازوی سیاسی و اجتماعی به منظور تحقق اهداف مشترک یعنی مدیریت آب به عنوان عامل کمیاب تولید برای تولید محصول و فراورده‌های کشاورزی و صنعتی در کنار یکدیگر نقش کلیدی در توسعه را برعهده بگیرند. با وجود وسعت جغرافیایی این منطقه و کم‌آبی عمومی آن،



شکل ۱- مدل تعادل سیاسی-اجتماعی جامعه ایرانی (منبع: نتایج تحقیق)

می‌تواند با نوسان‌های اندک هریک از این دو، تا حدودی برقرار بماند. اما چنان‌که یکی از آنان، ضعیف یا بیش از حد قوی شود، این تعادل از میان خواهدرفت و جامعه در حفظ ثبات سیاسی یا ثبات اجتماعی خود، با چالش رو به‌رو خواهد شد.

یکی از شواهد تاریخی مهم درخصوص پایداری این تعادل، طومار منسوب به شیخ بهایی است. اصرار و باور کشاورزان به این انتساب، برآمده از همین موازنه قدرت میان دو بخش سیاسی و اجتماعی است که امروزه نادیده گرفته می‌شود. یعنی فردی که به عنوان وزیر، از مشروعیت سیاسی برخوردار است و مقبولیت اجتماعی او، سبب شده تا دیدگاه وی (هرچند که براساس مستندات تاریخی، این طومار نمی‌تواند به دست او تهیه شده باشد) مورد پذیرش و تعادل بخش روابط میان حکومت و جامعه باشد.

از سوی دیگر، فارغ از نام شیخ بهایی این طومار نوشته هر شخص یا گروهی که باشد، متضمن دو امر است؛ نخست آن‌که

در شکل ۱ استقرار دو بازوی سیاسی و اجتماعی در جامعه ایرانی مشاهده می‌شود که از دو الگوی متفاوت انتخاب و انتصاب سود می‌برد. در نظام سنتی تقسیم آب زاینده‌رود، کشاورزان حقایقه‌دار با فرآیندی انتخابی، سرجوی و کدخدا تا نمایندگان ۳۳ سهم آب زاینده‌رود را انتخاب می‌کردند و این نمایندگان منتخب، فردی را به صورت دوره‌ای به عنوان میراب بر می‌گزیدند.

از سوی دیگر، در راس قدرت، شاه، با انتصاب ماموران دیوانی خود و درنهایت انتصاب میراب، به این منصب که مقبولیت اجتماعی دارد و برآمده از انتخاب مردم است، مشروعیت سیاسی می‌بخشد. به عبارت دیگر، این شخص دارای یک بازوی سیاسی و یک بازوی اجتماعی است که از مشروعیت سیاسی و مقبولیت اجتماعی برخوردار است.

در این حالت، نقطه تعادل آرمانی وضعیتی است که قدرت بدنه سیاسی با قدرت بدنه اجتماعی در تعادل کامل باشد. این تعادل

مردم و کشاورزان حقه‌دار آن را پذیرفته‌اند و این شیوه‌نامه تقسیم آب، مقبولیت اجتماعی دارد. دوم، با مهر شاه، از مشروعیت سیاسی در دستگاه حاکمیت برخوردار است.

در نظام مدیریت سنتی آب زاینده‌رود، همکاری مشترک میان دو بدنه سیاسی و اجتماعی جامعه وجود داشته است. بدنه سیاسی وظیفه نظارت و بدنه اجتماعی، اجرا را برعهده داشته است. هرگاه در اثر تضعیف یکی از این دو بخش و یا دست‌اندازی یکی بر جایگاه و حریم دیگری، یک‌طرف سعی در پذیرش و سلطه بر سهمی فراتر از نقش تعادلی خود داشته است، با برهم خوردن این موازنه قدرت، مناسبات تولیدی و توسعه، دچار چالش جدی شده است.

زمانی که قدرت مرکزی و حکومت در پایان دولت صفوی رو به ضعف نهاد، با بی‌سامانی نظارت سیاسی، نظام تقسیم آب دچار چالش شده است. هر گروه اجتماعی که دارای قدرت بیشتری بوده، سعی در بهره‌برداری بیشتر از آب داشته و در نتیجه توسعه نامتوازن و ناپایدار شکل گرفته است. چراکه با تسلط گروه اجتماعی دیگر بر قدرت و برهم خوردن سهم‌های مازاد به دست آمده، توسعه کوتاه‌مدت پیش‌آمده رو به زوال گذاشته است.

در مقابل، هر زمان که دولت سعی در کنترل کامل و افزایش سلطه خود بر این فرآیند داشته است، با ناتوانی در مدیریت فرآیندهای اجرایی بهره‌برداری که بخش اجتماعی در حالت تعادل، همکار و عهده‌دار آن بوده است، کشاورزان را به انفعال واداشته و در نهایت به موضع طلب‌کاری از حاکمیت سوق داده است.

با افزایش سلطه حکومت و پیش‌روی در نظام مدیریت آب که با کاهش اختیارات و مشارکت اجتماعی همراه است، قدرت بازوی سیاسی افزایش یافته و به تبع آن، قدرت بازوی اجتماعی کاهش می‌یابد. افزایش قدرت کنترل‌گری حکومت که در نتیجه افزایش قدرت بازوی سیاسی رخ می‌دهد، از یک سو با افزایش فشار بر جامعه، وقوع تحولات اجتماعی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، با حرکت به سمت شکل‌گیری یک نظام استبدادی، سعی در کنترل مطلق نظام مدیریت آب دارد.

با انفعال جامعه، قدرت سیاسی به‌تنهایی قادر به سامان‌دادن نظام مدیریت آب نبوده و در نهایت موجب تزلزل ثبات اقتصادی و مناسبات تولیدی می‌شود. در چنین وضعیتی، نظام حاکم یا با کاهش سلطه خود بر جامعه، زمینه را برای افزایش قدرت بازوی اجتماعی و مشارکت جامعه فراهم می‌کند و یا با استمرار اقتدارطلبی سیاسی، به سمت استبداد مطلق و در نهایت دگرگونی ساختاری حرکت می‌کند. هم‌چنین در صورتی که قدرت جامعه بر حکومت غلبه جوید، با افزایش قدرت بازوی اجتماعی و به دنبال

آن، کاهش قدرت کنترل‌گری سیاسی در کنار سلطه جامعه بر نظام سیاسی، این افزایش قدرت، جامعه را به سمت شکل‌گیری انقلاب‌های اجتماعی سوق می‌دهد.

اما سیر تحولات تاریخی جامعه همواره به سمت قدرت‌جویی یکی از این دو بخش نبوده است. در مواردی نیز به دلایل مختلف تنزل قدرت نظام سیاسی و یا کناره‌گیری جامعه از مشارکت در مناسبات اجتماعی مشترک با حاکمیت رخ داده است. به عنوان مثال، در سال‌های پایانی حکومت صفوی، با تضعیف ساختار سیاسی و بروز فساد اداری و بی‌کفایتی شاهزادگان، حکومت قدرت نظارت و کنترل‌گری خود را از دست داد. در این شرایط، گروه‌های مختلف اجتماعی با تعقیب منافع شخصی، باعث بروز بی‌ثباتی‌های اقتصادی و تحولات اجتماعی شدند.

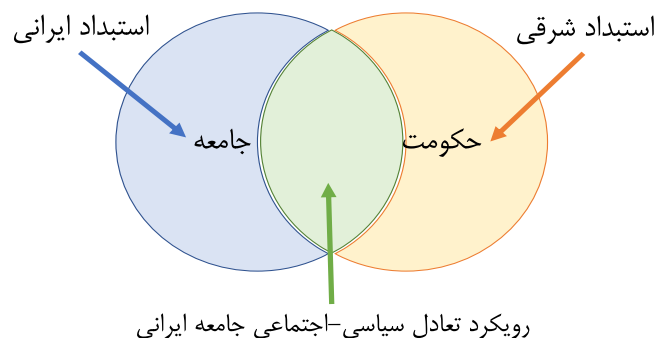
در برخی موارد نیز جامعه به دلیل سرخوردگی‌های سیاسی یا اقتصادی، تمایلی به مشارکت در این امر پیدا نمی‌کند. لذا در صورت عدم تلاش برای احیای تعادل سیاسی-اجتماعی، با افزایش وظایف و قدرت بازوی حکومتی، نظام سیاسی به سمت و سوی استبداد حرکت خواهد کرد. به نظر می‌رسد تلاش‌هایی که امروزه در اعطای برخی اختیارات و افزایش مشارکت جوامع بهره‌بردار با گسترش رویکردهای مشارکتی صورت می‌گیرد را می‌توان نوعی از اقدامات اصلاحی دانست که نادانسته در احیای این تعادل سیاسی-اجتماعی می‌کوشد.

تفاوت رویکردهای نظری استبداد شرقی و استبداد ایرانی با نتایج و یافته‌های این مطالعه، به محدودیت نگرش دو رویکرد فوق به یکی از ساحت‌های سیاسی و اجتماعی باز می‌گردد. آنچه در نظام تقسیم آب زاینده‌رود رخ داده است، حضور این دو بخش در کنار یکدیگر است. استبداد ایرانی، بخش کوچکی از جامعه را در سامان‌دهی تولید دخیل می‌کند که به صورت واحدهای کوچک و پراکنده، هم وظیفه تقسیم آب، مدیریت و توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری را برعهده دارد و هم این که این واحد، به تولید محصولات کشاورزی، مستقل از دیگر واحدهای تولیدی پراکنده و منفک از هم می‌پردازد. از طرف دیگر، استبداد شرقی، تمام دولت را در فرآیند تقسیم و توزیع آب در شرق دخیل می‌داند و حتی در این نظریه، همین نیاز به ساخت و سازهای آبی و سامان‌دهی نظام تقسیم آب در جامعه باعث شکل‌گیری دولت می‌شود.

این درحالی است که مناسبات تولیدی حوضه زاینده‌رود، براساس یافته‌های این مطالعه، از دیرباز، نشان از آن داشته که هر دو بخش جامعه و حکومت، در این فرآیند نقش ایفا می‌کنند و نادیده گرفتن یکی از این دو، چالشی است که دو رویکرد نظری

این وظیفه را برای جامعه منهای حکومت مفروض می‌دارد. مسئله کم‌آبی، باعث برقراری نظام مشارکتی سیاسی-اجتماعی در ایران شده است و ضرورت حفظ این تعادل به منظور پایداری تولید و نظام اقتصادی، دولت و جامعه را به یکدیگر پیوند داده است.

استبداد ایرانی و استبداد شرقی را در توضیح شرایط ایران، ناکام می‌گذارد. به عبارت دیگر، براساس شکل ۲، استبداد شرقی، حکومت منهای جامعه را عامل شکل‌گیری نظام‌های تقسیم آب و همچنین مدیریت آب در شرق می‌پندارد و نظریه استبداد ایرانی،



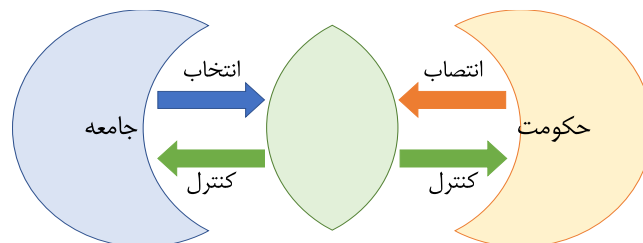
شکل ۲- جایگاه جامعه و حکومت در رویکردهای نظری (منبع: نتایج تحقیق)

بود، جامعه به سمت استبداد سیاسی و یا انقلاب اجتماعی حرکت خواهد کرد.

اهمیت استمرار جریان آب، قدرتی به این بخش مشترک دولت و جامعه می‌بخشد که می‌تواند بر جامعه و ساختار سیاسی، در مناسبات تولید، کنترل و نظارت داشته باشد. چنان‌که در شکل ۳ نشان داده شده است، این بخش برآمده از انتصاب دولتی و انتخاب اجتماعی، به واسطه وضعیت منابع موجود، در فرآیند تولید و توسعه، عملکرد جامعه و دولت را در تعیین نوع و سطح زیر کشت و همچنین مصارف و بهره‌برداری‌های مختلف حوضه، کنترل می‌کند و مشروعیت و مقبولیت آن، سبب شده تا تصمیمات آن اجرا شود. اما چنان‌که این تعادل برقرار نباشد و یکی از بازوهای آن، حذف شوند، مناسبات تولید و توسعه در جامعه ایرانی به سمت منافع یک سمت، گرایش پیدا می‌کند.

آن‌چه که این مطالعه براساس اسناد تاریخی و همچنین مصاحبه‌های میدانی، بدان دست یافته است، پیشرفت و توسعه در جامعه ایرانی، منوط به فعالیت متعادل وجه مشترک جامعه و حاکمیت در این امر است که براساس نیاز مدیریت منابع آب در جامعه شکل می‌گیرد. پدید آمدن این اشتراک نیز زمانی به وقوع می‌پیوندد که منصوبان حکومتی با منتخبان مردمی، یعنی نمایندگان سیاسی با نمایندگان اجتماعی اشتراک داشته باشند. هرچه اشتراک این دو مجموعه بیشتر باشد، تعادل سیاسی اجتماعی به‌صورتی پایدارتر برقرار خواهد شد.

در صورتی‌که این دو مجموعه، اشتراک نداشته باشند، یعنی نظام دولتی تقسیم آب براساس رویکرد خود و نهادهای اجتماعی بر مبنای نگرشی متفاوت، بدون اشتراک دست به فعالیت بزنند، بر مبنای این‌که قدرت کدام گروه، نسبت به دیگری بیشتر خواهد



شکل ۳- نقش کنترلی نظام سیاسی- اجتماعی مدیریت آب بر جامعه (منبع: نتایج تحقیق)

واحد در تمام کشور و یک گروه واحد برآمده از دو بازوی اجتماعی و سیاسی در کشور وجود ندارد. شرایط اقلیمی ایران، مانع از امکان استقرار یک قدرت واحد در سراسر کشور به‌منظور مدیریت و توسعه ساختارهای مدیریت آب و همچنین کنترل جامعه و

قدرتی که به واسطه این تعادل سیاسی-اجتماعی ایجاد می‌شود، در کنار مقطعی بودن آن، یک ویژگی مهم دیگر نیز دارد که براساس گستردگی جغرافیای ایران و همچنین پراکندگی منابع و حوضه‌های آبی پدید می‌آید. آن مسئله این است که یک میراث

حکومت می‌شده است. این امر با تکثر قدرت در میان میراب‌های مختلف، مانند زاینده‌رود، از پدید آمدن یک دولت سایه که تهدیدی برای ساختار سیاسی کشور باشد، جلوگیری می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری

چنین به نظر می‌آید که نظام میرابی، به عنوان ساختار و الگوی تعادل سیاسی-اجتماعی در ایران، مدیریت و کنترل مناسبات تولیدی در واحدهای ولایتی که در تقسیم‌بندی سیاسی تاریخی ایران وجود داشته را انجام می‌داده است. با توجه به مستندات موجود از جمله طومار تقسیم آب زاینده‌رود و همچنین یافته‌های میدانی، این بخش مشترک سیاسی-اجتماعی، علاوه بر تقسیم آب، بر سیاست‌گذاری توسعه و تولید نیز به واسطه نیازهای سیاسی-اجتماعی، نظارت و کنترل داشته‌اند. چرا که تقسیم آب زاینده‌رود براساس نوع محصول کشت در مناطق مختلف و دوره‌های زمانی سال تنظیم شده است. این امر، نشان از نقش این نهاد برآمده از کم‌آبی و نیاز مدیریت آبی بر توسعه جامعه ایرانی دارد.

توسعه جامعه ایرانی به واسطه عوامل اقلیمی و کم‌آبی، سبب شده است تا دو رویکرد سیاسی و اجتماعی در این محدوده جغرافیایی در کنار یکدیگر قرار گرفته و سبب شوند تا الگوی تعادل سیاسی-اجتماعی جامعه ایرانی که بر مناسبات تولید و توسعه و همچنین کنترل جامعه و حکومت اقدام می‌کند، پدیدار شود. اقداماتی که به حذف یا کاهش یکی از این دو بخش منجر شود، موجب کاهش توسعه و حرکت جامعه به سوی استبداد سیاسی و یا انقلاب اجتماعی می‌شود. درحالی‌که نظریات پیشین، با نادیده گرفتن تمام مشخصات و الگوهای نظام تولیدی، جامعه ایرانی را به یکی از این دو بخش تقلیل داده‌اند.

براساس نتایج و یافته‌های این مطالعه در حوضه زاینده‌رود که شاهد تنش‌های مختلف و اعتراضات اجتماعی متعدد بوده است، به منظور کاهش پیامدهای ناشی از برهم خوردن موازنه بازوهای اجتماعی و سیاسی در جامعه ایرانی، پیشنهاد می‌شود تا با افزایش مشارکت‌های اجتماعی در مدیریت آبی حوضه زاینده‌رود و نه صرفاً تقلیل مشارکت در اقدامات بهره‌برداری، بلکه ارتقای آن به سیاست‌گذاری و تصمیم‌سازی‌های کلان توسعه‌ای، نقش و جایگاه قدرت اجتماعی بازبایی شود. با برقراری مجدد این تعادل و ایجاد موازنه قدرت، پیش‌بینی می‌شود علاوه بر کاسته شدن از تنش‌های موجود میان مردم بهره‌بردار در حوضه، از تعارضات پیش‌آمده میان مردم و دولت نیز جلوگیری شود. همچنین از شکل‌گیری تصمیماتی که منجر به ایجاد توسعه نامتوازن در منطقه و

۷- مراجع

- آزاد ارمکی، ت.، (۱۳۹۱)، *بنیان‌های فکری نظریه جامعه ایرانی*، تهران: نشر علم.
- ابن خلدون، ع.، (۱۳۹۳)، *مقدمه ابن خلدون*، ترجمه محمد پروین گنابادی، تهران: علمی و فرهنگی.
- افضلی، ر.، (۱۳۸۳)، "رویکردی فرهنگی به نظم سیاسی پیشامدرن و زمینه‌های تاریخی دولت مدرن در ایران"، *نشریه دانشکده حقوق و علوم سیاسی (دانشگاه تهران)*، ۶۳(۱)، ۱-۳۸.
- تاورنیه، ژ.، (۱۳۶۳)، *سفرنامه تاورنیه*، ترجمه ابوتراب نوری، تصحیح حمید شیرانی، تهران: انتشارات سنایی.
- حسینی ابری، ح.، (۱۳۷۷)، "مدیریت سنتی آب زاینده‌رود، بحثی در دانش بومی ایران"، *دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان*، ۱۵، ۱۰۱-۱۲۰.
- دورکیم، ا.، (۱۳۸۱)، *درباره تقسیم کار اجتماعی*، ترجمه باقر پرهام، تهران: نشر مرکز.
- سراج، م.، و یوسفی‌فر، ش.، (۱۳۹۶)، "نقش حکومت‌ها در ایجاد شبکه‌های آبرسانی کشاورزی در گستره شرقی خلافت تا حمله مغول"، *تاریخ ایران*، ۸۰(۲-۳)، ۷۹-۱۱۰.
- شاردن، ژ.، (۱۳۴۵)، "سیاحت‌نامه شاردن"، ترجمه محمد عباسی، تهران: امیرکبیر.
- علمداری، ک.، (۱۳۸۰)، *چرا ایران عقب ماند و غرب پیش رفت*، تهران: نشر توسعه.
- فلیک، ا.، (۱۳۹۶)، *درآمدی بر تحقیق کیفی*، ترجمه هادی جلیلی، تهران: نشر نی.
- کاتوزیان، م.، (۱۳۹۱)، *ایرانیان، دوران باستان تا دوره معاصر*، ترجمه حسین شهیدی، تهران: نشر مرکز.
- کاتوزیان، م.، (۱۳۹۶)، *ایران، جامعه کوتاه مدت و سه مقاله دیگر*، ترجمه عبدالله کوثری، تهران: نشر نی.
- کاتوزیان، م.، (۱۴۰۰)، *اقتصاد سیاسی ایران، از مشروطیت تا پایان سلسله پهلوی*، ترجمه محمدرضا نفیسی و کامبیز عزیزی، تهران: نشر مرکز.
- کاظمی، ح.، (۱۳۹۹)، "نظریه استبداد شرقی و ماهیت دولت و

جامعه در ایران پیشامدرن"، پژوهش سیاست نظری، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ۲۸(۳-۴)، ۳۶۸-۳۲۹.

کمپفر، ا.، (۱۳۶۳)، سفرنامه کمپفر، ترجمه کیکاووس جهانداری، تهران: خوارزمی.

نامدار، م.، و نظری مقدم، ج.، (۱۳۹۷)، "اعتبارسنجی نظریه استبداد شرقی در فهم تحولات اجتماعی ایران"، پژوهشنامه انتقادی متون و برنامه‌های علوم انسانی، ۶۴(۴)، ۲۰۷-۲۳۰.

ویتفوجل، ک.، (۱۳۹۸)، استبداد شرقی: بررسی تطبیقی قدرت تام، ترجمه محسن ثلاثی، تهران: نشر ثالث.

Madani, K., and Mariño, M., (2009), "System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud River basin", *Water Resources Management*, 23, 2163-2187, <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9376-z>.

Mohajeri, S. (2017), "Integrated water resources management Zayandeh Rud", German-Iranian Research and Development Cooperation for a Better Future, Berlin: inter 3 Institute for Resource Management GmbH.



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



مراکز پژوهشی، صنعت آب و فاضلاب نمی‌توانست در چنین جایگاهی باشد. متأسفانه در ایران سازمان‌های مربوطه در تامین منابع مالی برای تحقیقات دانشگاهی در زمینه آب و فاضلاب نقش موثری ندارند و دانشگاه‌های کشور با پشتکار و ایثارگری اساتید و دانشجویان در ارتقای صنعت آب و فاضلاب کوشا بوده‌اند.



جناب آقای دکتر طالب بیدختی

استاد دانشگاه شیراز و عضو هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب

*** برای تربیت نیروهای کارآمد به‌منظور فعالیت در بخش آب و فاضلاب، چه خلاءهایی در سیستم آموزش عالی وجود دارد و به‌نظر شما به چه ترتیب می‌توان این موارد را مرتفع نمود؟**

- در دانشکده‌ها و بخش‌های مهندسی عمران و محیط‌زیست در زمینه‌های مختلف آب و فاضلاب به‌ویژه در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی محیط‌زیست از نظر آموزشی خلاء خاصی وجود ندارد. اما دانش آموخته‌های بخش‌ها و دانشکده‌های دیگر غیر از مهندسی عمران و محیط‌زیست که به‌تعداد زیادی با تخصص‌های غیرمرتبط در شرکت‌های آب و فاضلاب به‌کار مشغول هستند از تخصص لازم برخوردار نیستند. مشکل دیگر عدم همکاری موثر شرکت‌های آب و فاضلات برای انجام تحقیقات در دانشکده‌های مهندسی عمران و محیط‌زیست است.

*** چگونه دانشگاه‌ها می‌توانند در توسعه دانش و مهارت‌ها و توانمندسازی مهندسی و کارشناسان حوزه آب و فاضلاب در کشور موثر باشند؟**

- متأسفانه موسسات غیرانتفاعی و برخی از دانشگاه‌ها با برگزاری دوره‌های ارشد و دکتری بی‌کیفیت به کارشناسان، مشکل جدی برای صنعت آب و فاضلاب ایجاد کرده‌اند و لازم است در این خصوص بازنگری جدی صورت گیرد.

برگزاری دوره‌های مستمر، سمینارها، کارگاه‌های آموزشی و وبینارهای تخصصی توسط اساتید متخصص و انجام تحقیقات پایه و کاربردی با حمایت شرکت‌های آب و فاضلاب در توسعه دانش و مهارت و توانمندسازی کارشناسان می‌تواند موثر باشد.

*** همواره بحث عدم ارتباط موثر و دوجانبه میان صنعت و دانشگاه مطرح است. به‌نظر شما مهم‌ترین دلیل این امر چیست و چگونه می‌توان این ارتباط را ارتقا داد؟**

- همان‌طوری‌که در بند قبل ذکر نمودم وجود موسسات غیرانتفاعی و مراکز دانشگاهی بی‌کیفیت و بخش‌های غیرمرتبط با تخصص‌های آب و فاضلاب و عدم حمایت شرکت‌های آب و فاضلاب برای تحقیقات، ارتباط موثر و دو جانبه را مختل نموده است.

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

- اینجانب استاد دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز هستم و دکترای خودم را از دانشگاه ایالتی اورگان آمریکا اخذ نمودم. از سال ۱۳۶۳ در دانشگاه شیراز در زمینه‌های آب و محیط‌زیست مشغول آموزش، پژوهش و مشاوره هستم. استاد نمونه کشوری، عضو فرهنگستان علوم ایران، برنده کتاب سال مهندسی، سردبیر مجله انگلیسی زبان علوم و تکنولوژی شاخه مهندسی عمران و پیشکسوت هیدرولیک ایران و دو دوره هم عضو هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران بودم. ضمناً عضو هیئت تحریریه مجله آب و فاضلاب و نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب هم از بدو تاسیس بوده‌ام.

*** لطفاً به مهمترین دستاوردها و فعالیت‌های خود در حوزه مهندسی آب و فاضلاب اشاره بفرمایید.**

- درس مهندسی آب و فاضلاب و پروژه را در دانشگاه شیراز تدریس نموده‌ام. استاد راهنما و استاد مشاور دوره کارشناسی ارشد و دکتری دانشجویان در زمینه‌های آب و فاضلاب بوده‌ام و مقالات چندی در مجلات معتبر علمی و پژوهشی چاپ نموده‌ام. در امر مشاوره هم با سازمان‌های دولتی و خصوصی همکاری داشته‌ام. سخنرانی‌های متعددی هم در زمینه‌های مختلف آب و فاضلاب انجام داده‌ام.

*** به‌نظر شما جایگاه دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی کشور در ارتقا و توسعه صنعت آب و فاضلاب کشور چیست؟**

- همه دانشگاه‌های معتبر جهانی نقش انکارناپذیری در ارتقای صنعت آب و فاضلاب دارند و بدون تحقیقات و مشاوره اساتید و

* به نظر شما کدام یک از بحث‌های زیر باید اولویت اصلی کشور در شرایط فعلی باشد؟ مدیریت تقاضا، مدیریت مصرف و یا مدیریت تامین آب.

- اولویت اصلی کشور باید مدیریت جامع، همه‌سو نگر، منعطف و با رعایت اصول توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست منابع آب باشد. در این راستا مدیریت مصرف هم‌زمان با مدیریت تقاضا باید در اولویت قرار گیرد.

* با توجه به توان علمی و تشکیلاتی انجمن آب و فاضلاب چه توصیه‌ای برای صنعت و دانشگاه برای بهره‌گیری از این ظرفیت به‌نحو موثر دارید؟

- انجمن آب و فاضلاب ایران با مدیریت عالی در طول سال‌های گذشته تلاش‌های ارزنده‌ای در ارتقای صنعت آب و فاضلاب انجام داده است. استمرار فعالیت‌ها شامل برگزاری همایش‌ها، دوره‌های کوتاه‌مدت بازآموزی، وبینارها، انتشار مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب لازم و ضروری است. جلسات با مدیران و کارشناسان استان‌ها، بازدیدهای علمی به‌همراه مدیران و کارشناسان شرکت‌ها، تدوین مقاله‌های سیاستی در موضوعات مختلف آب و فاضلاب و انجام ارزیابی‌ها و پایش‌های مستمر و دادن جوایز به کارشناسان جوان از جمله کارهای ارزنده است که نقش موثری در ارتباط با صنعت آب و فاضلاب و ارتقای آن خواهد داشت.

* برای تقویت نقش و اثربخشی انجمن آب و فاضلاب به‌صورت عملیاتی در صنعت آب و فاضلاب چه پیشنهادی دارید؟

- در این رابطه موارد زیر را می‌توانم ذکر کنم:
✓ تشکیل اتاق‌های فکر برای برون‌رفت از چالش‌های موجود در صنعت آب و فاضلاب کشور؛
✓ چاپ و ترجمه کتاب‌های مرتبط با موضوعات مبتلابه آب و فاضلاب؛
✓ همکاری مستمر با رسانه‌ها در جهت ترویج و ارتقای دانش آب و فاضلاب؛
✓ بیان واقعیت‌های موجود به‌صورت شفاف به مردم در چالش‌های موجود در صنعت آب و فاضلاب و آرایه راه‌کارهای مناسب و شدنی
✓ همکاری همه‌جانبه با تشکلهای استانی و محلی در ارتباط با آب و فاضلاب برای فرهنگ‌سازی بهینه مصرف آب؛
✓ همکاری با کشورهای همسایه و کشورهای توسعه‌یافته برای ارتقای دانش صنعت آب و فاضلاب کشور؛

✓ چاپ و انتشار مجله آب و فاضلاب به‌زبان انگلیسی با همکاری دیگر کشورها؛

✓ همکاری مستمر با سازندگان وسایل مرتبط با صنعت آب و فاضلاب؛

✓ همکاری جدی برای هوشمندسازی سامانه‌های آب و فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب برای پایش و ارزیابی؛

✓ بازدیدهای میدانی از سامانه‌های آب و فاضلاب کشور برای شناخت جامع چالش‌های موجود.

* با توجه به عضویت جنابعالی در هیئت تحریریه نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب نظر خود را در رابطه با وضعیت فعلی و نقاط قوت و ضعف این نشریه بیان کنید.

- خوشبختانه نشریه در وضعیت بسیار خوبی قرار دارد و ضمن چاپ مقاله‌های علمی و پژوهشی، به نشر مقاله‌های کاربردی از صنعت هم می‌پردازد. به‌نظر بنده لازم است تبلیغات بیشتری برای شناساندن مجله به مدیران و کارشناسان شرکت‌های آب و فاضلاب و اساتید و دانشجویان صورت گیرد. با برگزاری جلسات ماهانه و یا فصلی در شرکت‌های آب و فاضلاب استانی ضمن آشنایی با مشکلات و دستاوردهای هر استان، تشویق کارشناسان به نوشتن مقاله و ثبت کارهای انجام شده و مشکلات موجود و راهکارهای پیاده شده انجام گیرد.

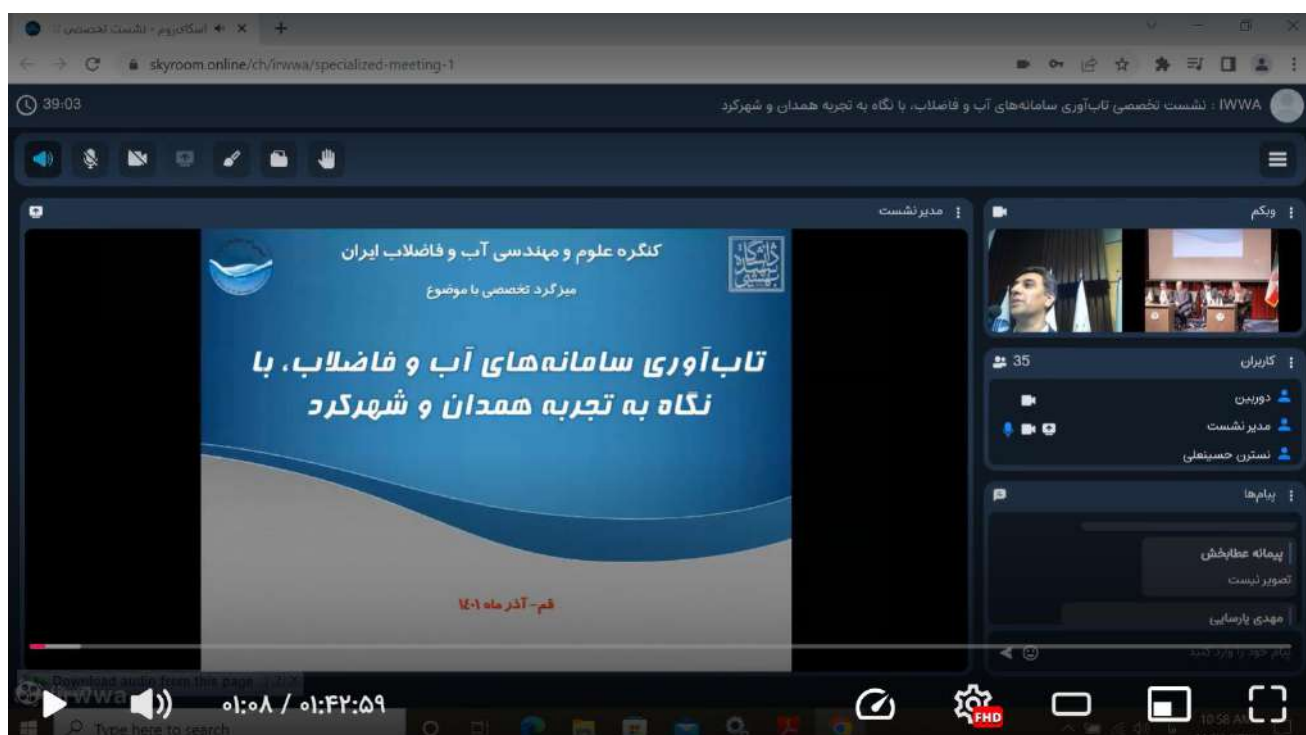
* اگر موردی ناگفته مانده است لطفاً بیان فرمائید.

- از همه همکاران عزیز که در ارتقای انجمن و مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب و ارتقای دانش صنعت آب و فاضلاب کشور نقش دارند سپاسگزارم.



نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد
(چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۱ تا ۳ آذرماه سال ۱۴۰۱، دانشگاه قم)

لینک فیلم نشست: <https://www.aparat.com/v/B5Lle>



اعضای نشست:

مهندس مهدی اوسط (رئیس اداره بهره‌برداری از تاسیسات آب شرکت آبفای استان همدان)
مهندس مجید آقازاده حبشی (معاون مهندسی و توسعه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
دکتر سعید بشیری (معاون هماهنگی امور عمرانی فرمانداری تهران)
مهندس عبدالحمید توکلی بینا (مدیر دفتر مجامع عمومی، حسابرسی و نظارت مالی شرکت آب و فاضلاب استان تهران)
مهندس علی سیدزاده (مدیرکل دفتر مدیریت مصرف، خدمات مشترکین و کاهش هدر رفت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)
دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده (دانشیار دانشگاه شهید بهشتی و مدیر نشست)
مهندس علی اکبر ملکوتی (سرپرست دفتر نظارت بر بهره‌برداری از تاسیسات آب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران)

خدمت آقای دکتر بشیری هستیم معاون محترم هماهنگی امور عمرانی فرمانداری تهران. آقای دکتر برای ما راجع به مبانی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب صحبت خواهند کرد. بعد می‌پردازیم به علل وقوع بحران در همدان و شهرکرد. این قسمت را آقای مهندس آقازاده توضیح می‌دهند که چه اتفاقی در همدان افتاد؟ چرا این اتفاق افتاد و دلایل چه بود؟ با هدف این که این تجربه‌ای که اتفاق افتاد مستندسازی شود و ان شاء الله منتقل شود به کارشناسان و مدیران سراسر کشور. نهایتاً در همدان خوشبختانه مدیریت بحران انجام شد. این مدیریت بحران در دو قسمت بود. یک قسمت خط انتقال که باز این را آقای مهندس



دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

موضوع این نشست تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب هست در برابر انواع بحران‌ها. مطالعه موردی که این جلسه می‌خواهیم به آن بپردازیم موضوع شهر همدان هست/ همانطور که اطلاع دارید از مرداد ماه امسال همدان با مشکل کمبود آب مواجه شد. برنامه نشست ما به این ترتیب خواهد بود که بعد از صحبت‌های بنده

آقازاده توضیح می‌دهند و بحث شبکه‌های توزیع و فعالیت‌هایی که در قسمت شبکه‌های توزیع انجام شد. در این قسمت خدمت آقای مهندس سیدزاده و آقای مهندس اوسط هستیم تا کارهایی که در آنجا انجام شد را توضیح بفرمایند. در هر صورت همدان یک شرایط خاصی بود. تمام شهرهای کشور به کمک همدان رفتند. همان‌طور که اطلاع دارید و خوشبختانه این مسئله حل شد ولی سوال این است که اگر این اتفاق هم‌زمان برای چند تا شهر اتفاق می‌افتاد واقعا وضعیت به چه صورت می‌شد و اگر این مسئله برای شهر بزرگی مثل تهران اتفاق می‌افتاد با شرایط آبی، که همه می‌دانید شرایط آبی در چه شرایطی هست، باید چه کارهایی انجام بدهیم؟ چه آمادگی‌هایی وجود داشته باشد؟ این موضوع را خدمت آقای مهندس ملکوتی و آقای مهندس توکلی‌نیا و دکتر بشیری خواهیم بود که راجع به شرایط آب تهران و بحث آب‌رسانی اضطراری در تهران توضیح بفرمایند. بعد یک فرصت انشالله پانزده دقیقه‌ای خواهیم داشت در خدمت حضار محترم که اگر سوالی دارند از اعضای پنل سوالاتشان را بفرمایند و نهایتا جمع بندی را انجام خواهیم داد. من دعوت می‌کنم از آقای دکتر بشیری که راجع به مبانی تاب‌آوری صحبتشان را شروع بفرمایند.



دکتر بشیری:

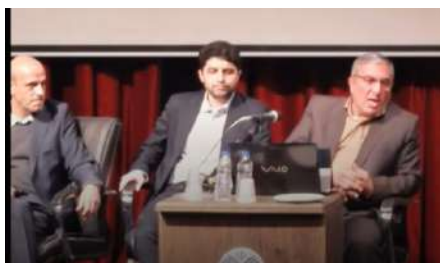
بسم الله الرحمن الرحيم اللهم الجعل عواقب امورنا خيرا: سلام و عرض ادب خدمت بزرگواران که لطف کردند بنده را دعوت فرمودند که خدمت عزیزان امروز باشم. من معاون هماهنگی امور عمرانی فرمانداری تهران هستم ولی پایان‌نامه دکترایم راجع به موضوع تاب‌آوری آب در شهر تهران بوده که یک سری کارها و پروژه‌هایی در این حوزه هم کار شده و افتخار این را دارم که خدمت عزیزان برسم و بتوانم در این خصوص نکاتی را خدمت عزیزان ارائه بکنم. نکته‌ای که معمولا در ماجرای تاب‌آوری تاسیسات یا شبکه آب یا به هر نحوی که داریم روی ماجرای ترمینولوژی کار می‌کنیم مطرح می‌شود بعضا همان رویکردی است که ما احيانا می‌پردازیم به مسایلی مثل بحران و رویکردهای دیگر مثل آسیب‌پذیری، مدیریت ریسک و موارد دیگر. بعضا یک سوال واضحی مطرح می‌شود که این داستان تاب‌آوری در آب یعنی چی؟ اصلا ماجرای تاب‌آوری چی هست؟ من سعی می‌کنم

خیلی مختصر و مفید چندتا نکته خدمت عزیزان عرض بکنم. ماجرای تاب‌آوری مسئله‌ای هست که از علوم روانشناختی و بحث‌های اجتماعی وارد مجامع علمی شد. فکر می‌کنم حدودا سال ۲۰۰۷ بود که در ماجرای همایش هیوگو این مسئله به‌طور خاص در ماجرهای مخاطرات در جوامع شهری مطرح شد و از همان موقع هم اتفاقا در زیرساختها کار کردند، هم در شبکه‌های آب، برق و گاز و شبکه‌های دیگر. از همان موقع هم شبکه‌های آب در این موضع پررنگ شد. بحثی که در تاب‌آوری مطرح هست این است که در مفهومی مثل آسیب‌پذیری شاید ما یک محدودیتی داشته باشیم به لحاظ عملکردی. در واقع یک اصطلاحی داریم تحت‌عنوان کاهش آسیب‌پذیری مثل کاهش ریسک یا همان فرایند ارزیابی ریسک. این که ما چرا داریم می‌گوییم تاب‌آوری، اصلا تاب‌آوری چه مزیتی دارد؟ نکته‌ای که هست با توجه به مخاطراتی که در جوامع شهری ایجاد شد و روز به‌روز هم گسترش پیدا کرد، تغییرات چشمگیری در پرداختن به مخاطرات مطرح شد، به‌نوعی که موضوع ارتباط تاب‌آوری را مطرح کردند به‌دلیل این که یک مفهوم غنی‌تر و دارای راه‌کارهای اثربخش‌تر هم در همه مراحل بحران در واقع زنجیره به آن پرداخته شد، همین که در واقع به تمامی ابعاد پرداخت. یعنی این که هم بعد کالبدی و زیرساختی هم بحث‌های مشارکت مردمی و اجتماعی و هم موضوع ظرفیت‌سازی سازمانی و اقتصادی. این تاب‌آوری یک مفهوم و الگوی پیچیده‌ای است، قاعدتا پویا و پیچیده است و چند رشته‌ای و میان رشته‌ای. این مسئله از سالیان قبل در مورد زیرساخت‌ها خیلی جدی مطرح شد. در بحث آب هم با توجه به این که ما درگیر یک سری موضوعاتی بودیم با رویکرد توانایی سازگاری سیستم‌های آب و فاضلاب در برابر تغییرات، بدون فروپاشی در زمان بحران. ماجرا این است که تاب‌آوری پویا و دینامیک است. مثل خیلی روش‌های دیگر صرفا جای بسته شده نیست، ادامه‌دار است. زمانی که ما داریم راجع به تاب‌آوری صحبت می‌کنیم اولین آیتمی که مطرح می‌شود این است که چقدر سیستم ما آمادگی دارد، چقدر پایداری دارد، چقدر ثبات دارد؟ اصطلاح استحکام واژه‌ای است که در مفهوم تاب‌آوری هست و به عینه در موضوع زیرساختی مثل آب حتما باید به آن پرداخته شود. پس در واقع اولین آیتم ما توانایی جذب مسایل و خطرات هست. سیستم تاب‌آور چقدر می‌تواند این مخاطرات را جذب کند؟ چقدر می‌تواند آمادگی داشته باشد و بتواند در برابر این مخاطرات تحمل و جذب داشته باشد. زمانی هست که یک حادثه‌ای ایجاد می‌شود، از هر نوعی، مسایل اجتماعی هم می‌تواند مطرح باشد. مثلا بحث مصرف یا بحران‌ها مطرح بشود مثل زلزله

و احتمال و پیامد، مقدار ریسک مشخص می‌شود. در نهایت بحث قابلیت ارتقا هم با این جمع می‌شود. پس ببینید چقدر ما داستان ریسک را داریم، آسیب‌پذیری داریم، شهرهای حساس به آب و شهرهای هوشمند را داریم. همه این‌ها در تاب‌آوری و نهایتاً افزونگی تاثیر دارد. خیلی ببخشید که من مفهومی صحبت کردم.

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

خیلی ممنون از آقای دکتر بشیری. در قسمت بعد خدمت آقای مهندس آقازاده خواهیم بود. سوالاتی که در رابطه با بحث همدان مطرح هست حالا بعضی از این‌ها حتی به‌عنوان شایعه و این‌ها هم در جوامع تخصصی مطرح است این‌ها که چرا در همدان این اتفاق افتاد؟ آیا ما قبلاً خبر نداشتیم؟ آیا منتظر بودیم تا یک دفعه این اتفاق افتاد؟ یعنی از قبل قابل پیش‌بینی نبود؟ علتش چی بود؟ بعضی دوستان می‌گویند علتش آبی بود که به کشاورزان زیاد داده شد در سد اکباتان. بعضی‌ها می‌گویند کنتور خراب بود یا می‌گویند چشمه‌های بالادست تخصیص داده شد به بحث کشاورزی و غیره. من خواهش می‌کنم از آقای مهندس آقازاده این مباحث را بفرمایند انشاءالله روشن بشود به‌عنوان یک انتقال تجربه. ما این‌جا دنبال این‌ها که حالا کی مقصر بوده؟ دنبال شخص نیستیم. فقط دنبال این هستیم که این تجربه انشاءالله منتقل شود که برای آینده کشور مفید باشد.



مهندس آقازاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. با عرض خسته نباشد خدمت حضار محترم و میهمانان عزیز. خدا توفیق داد که بنده ۶۰ روز در خدمت مردم همدان باشم. تامین آب شرب همدان ۶۵ درصد از منابع سطحی سد اکباتان، ۲۸ درصد منابع زیرزمینی و ۷ درصد هم موقت. طرح انتقال آب همدان شامل همدان و ۱۱ شهر دیگر استان و ۱۵۹ روستا بوده که مجموعاً ۶۳ میلیون مترمکعب برای جمعیت ۱/۲ میلیون نفری در افق ۱۴۲۵ در قالب طرح آبرسانی از سد طالقان پیش‌بینی شده بود. خط انتقال از سد تالوار حدود ۱۳۹ کیلومتر، سه ایستگاه پمپاژ و ۱۵۳ هزار مترمکعب مخزن و تصفیه‌خانه به ظرفیت ۳/۷ مترمکعب در ثانیه تعریف شده بود. این پروژه از اواخر دهه ۸۰ حدود سال‌های ۸۷ تا ۸۹ آغاز شده بود و حدود ۱۲۱ کیلومتر از خط کار شده و در پیشرفت فیزیکی ۶۰

یا فرونشست و یا هر پدیده‌ای که در آب مطرح است، یا ماجرای سیلاب رخ داده، یک افولی روی سیستم خواهیم داشت. بحث ما در تاب‌آوری در پله اول این است که چقدر می‌تواند مقاومت داشته باشد در برابر حادثه‌ای که رخ داده و چقدر می‌تواند جذب داشته باشد. پس اولین آیتم ما داستان مقاومت هست بعد از آن وارد مرحله بعدی می‌شویم که می‌رویم در حین حادثه که اتفاق افتاده و موضوع پاسخ سریع مطرح است. این موضوع فقط بحث سرعت عمل صرف نیست. بعضاً در اصطلاحات می‌گویند چالاکانه یا چابک. در واقع عمل چابک یعنی این‌که هم سرعت، هم دقت و هم صحت خودش را نشان بدهد. پس در واقع ما زمانی‌که می‌خواهیم پاسخی در برابر این حادثه داشته باشیم باید حتماً سریع باشد. نکته بعدی این است که چقدر طول خواهد کشید؟ سرعت عمل هم در مواجهه با حادثه حایز اهمیت هست. بحث بعدی بازیابی سریع و چابکانه است. نکته‌ای که هست این‌که در این داستان بازیابی سریع ما بینیم با چه شیئی دارد بازیابی می‌کند؟ یعنی با چه شیئی دارد برمی‌گردد به آن حالت اولیه؟ و سازگاری پیدا می‌کنیم. پس ما در واقع با همان شیب داریم می‌رسیم به حالت اولیه. نکته خیلی خاصی که باز در ماجرای تاب‌آوری هست، بعضی از دوستانی که روی سازگاری کار کردند می‌گویند تا این‌جا درسته، ما در سازگاری هم این را داریم. تاب‌آوری می‌آید یک کار دیگر می‌کند و می‌پردازد به ماجرای مثل درس آموخته‌ها. واژه‌های مختلفی برای این به‌کار می‌برند. این‌که ما چقدر از این تجارب استفاده می‌کنیم در بحث بحران؟ دوستان، ما یک مستند داریم یک آزمایش و تجربه. مستند در واقع اسناد و مدارکی است که می‌خواهیم از آن‌ها استفاده بکنیم برای این‌که مقابله کنیم با بحران‌ها. یک موضوع دیگر تجربه است. یعنی از تجارب ما چقدر توانستیم استفاده کنیم؟ آیا ما از تجارب که مثلاً در حادثه سیلاب امام‌زاده داوود یا مشکلاتی که در بحث آبرسانی همدان رخ داد توانستیم استفاده کنیم که بتوانیم سیستم خود را ارتقا دهیم که باعث شود در هنگام بروز مجدد آن مشکل سیستم به آن حالت مقاومت و جذب برنگردد و آن قدر افول پیدا نکند. به‌خاطر همین وقتی ما می‌گوییم باید در زیرساخت تاب‌آوری را انجام بدهیم نکته خیلی مهم این است که چطور آن را محاسبه کنیم که این محاسبه خیلی پیچیده‌تر هست و مقالات مختلفی هم در این حوزه‌ها هست از آن شش فاکتوری که بود از جمله: استحکام، مقاومت، توانایی تامین منابع و غیره باعث افزایش افزونگی می‌شود یا سیستم‌های بک‌آپ و پشتیبانی ما آماده هستند برای پاسخ و بازیابی سریع؟ این شش فاکتور به‌عنوان یک تابعی می‌آیند در عدد ریسک. سپس با اضافه کردن بحث آسیب‌پذیری

درصد متوقف شده بود. در دولت سیزدهم در سفری که مقام عالی وزارت در ۲۷ مهر یعنی دو ماه بعد از تصدی پست وزارت نیرو به منطقه سفر می‌کنند و دستور ویژه برای شروع طرح آبرسانی همدان رو صادر می‌کنند و با جبران کمبود آب به ظرفیت ۱۸۰۰ لیتر بر ثانیه یک مدول از تصفیه‌خانه را در بازه زمانی ۸ ماهه دستور می‌دهند که وارد مدار بکنند. خط انتقال، ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن باید انجام شود که آب برسد به مناطق و مخازن مصرف داخل شهر و با توجه به مشکلاتی که بود شروع شد ولی متأسفانه به زمان موعود خودش نرسید که یک نمونه از این مشکلات را خدمتتان عرض می‌کنم. ما در حین اجرا مواجه شدیم با یک سری نواقص در خط انتقال. حدود ۱۷ کیلومتر از خط که مدفون زیر خاک شده بود دارای یک سری نواقص بود که پیمانکار قبلی باقی گذاشته بود و سه نفر از بومیان منطقه از طریق کپسول هوا این ۱۷ کیلومتر را طی کردند و فقط سه چهار روز شناسایی نواقص خط به طول انجامید. این ۱۷ کیلومتر دارای حیوانات خرنده و بسیار خطرناک بود و حدود ۲۰ روز طول کشید که ما نفر پیدا بکنیم که جرات ورود به داخل لوله را داشته باشد تا نواقص و نقاطش را مشخص بکند که ما برای رفع اقدام بکنیم. پروژه در حد پیشرفت ۶۰ درصد متوقف شده بود و این‌ها همان کارهایی بود که درصد پیشرفت را به کمتر از ۶۰ درصد رسانده بود، چون این کارها انجام نشده بود. در ۲۴ مرداد که ما با مشکل و کمبود آب مواجه شدیم و شهر همدان کلاً سد اکباتان را از دست داد، و نزدیک به ۱۰۰۰ یا ۱۲۰۰ لیتر بر ثانیه آب از مدار خارج شد و ما باید حتماً این آب را تامین می‌کردیم. در منطقه حضور پیدا کردیم و با توجه به برنامه‌هایی که داشتیم و قبلاً دوستان برنامه‌ریزی کرده بودند که اگر با بحران مواجه شوند و این طرح تالوار تامین آب به همدان نرسد چه کاری باید انجام شود در دستور کار قرار گرفت. برنامه را شروع کردیم در چهار حوزه کاری که یکی حوزه تولید بود باید آب تولید می‌کردیم، حوزه انتقال بود باید آب تولیدی را منتقل می‌کردیم و حوزه توزیع بود که باید آب منتقله را در بین نقاط مصرف به نحو احسن توزیع می‌کردیم. یک حوزه هم حوزه رسانه‌ای بود که کار خیلی خوبی اتفاق افتاد. ما در حوزه تولید اولین برنامه‌مان استفاده از آب خود تالوار بود. نزدیک به ۲۸ کیلومتر باقی‌مانده را در سخت‌ترین مسیر خط انتقال و ایجاد فلانچه برای جاهای سنگی انجام دادیم و ایستگاه‌های پمپاژ را آماده بهره‌برداری کردیم. الکتروموتور پمپ‌ها هر کدام سه چهار ماه طول می‌کشید تا تولید شود. مقام عالی وزارت وارد گود شد و سفارشات را انجام دادند و حتی برنامه‌ریزی شد که اگر جواب ندهد از سایر تاسیساتی که در اختیار وزارت

نیرو بود این پمپ‌ها را منتقل بکنیم. ۹۰ کیلومتر را باید لوله‌رسانی و برق‌رسانی می‌کردیم. این کارها همه انجام شد و توانستیم تقریباً ۱۹ مهر آب تالوار را برسانیم. اما تا رساندن آب تالوار و پایدار کردن آب در همدان، ما باید از منابع دیگری آب را تامین می‌کردیم که از آب چاه‌های کشاورزی و آب‌های مالکیتی در منطقه خالدوردی و از چاه‌های نزدیک تصفیه‌خانه و مناطق دیگر استفاده کردیم. ما در عرض ۱۵ روز حدود ۷۲ چاه کشاورزی را با خطوط انتقال به طول حدود ۸۰ کیلومتر را اجرا کردیم. در مناطق کشاورزی با توجه به زمین‌های کشاورزی که در مرداد تا پایان شهریور فصل کشاورزی هم بود و تامین این آب از طریق کشاورزی مقداری سنگین و سخت بود که نهایت همکاری را کردند که من از این جایگاه در غیاب این عزیزان از آن‌ها تقدیر و تشکر می‌کنم. چاه‌های منطقه باغ حصار هم بود که خود شرکت آب و فاضلاب حفاری کرده بود که خطوط انتقال آن اجرا و وارد مدار شد. در حوزه خط انتقال ما باید خط دیگری هم در زون شهر همدان عملیاتی می‌کردیم که ۱۷ کیلومتر بود که از منطقه شهرک صنعتی منطقه بهرام‌آباد شروع کردیم و ۳۴ روز خط چدن داکتیل را با شیرآلات و اتصالات عملیاتی کردیم که آب را بتوانیم منتقل بکنیم به ایستگاه پمپاژ آبشینه و از آن‌جا ۹ کیلومتر پمپاژ بکنیم به تصفیه‌خانه شهید بهشتی که قبل از بحران از سد اکباتان تغذیه می‌کرد. با این چاه‌ها که مدیریت کردیم تقریباً هر روز بحران ما کمتر می‌شد و تعداد ساعات قطعی که قبلاً بود را هر روز کمتر می‌کردیم تا این‌که آب تالوار در ۱۵ مهر رسید و به حالت اولیه برگشت. ما در اولین مرحله بار آبی حاشیه شهر همدان را کم کردیم. یک تعداد شهرک‌ها و روستاهای سوار بر آب تامینی همدان بودند که این‌ها را جدا کردیم، حدود ۲۰۰ لیتر بر ثانیه. همدان در پیک حدود ۲۲۰۰ تا ۲۳۰۰ لیتر بر ثانیه مصرف داشت که در زمستان ۱۷۵۰ بود که تقریباً آن زمانی که ما با بحران مواجه می‌شدیم باید حدود ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ لیتر بر ثانیه را تامین می‌کردیم. بار ۱۰-۱۵ درصد از این آب را ما از همدان برداشتیم و ۱۲ تا زون توزیع آب داشتیم که از طریق ۱۲ مخزن مدیریت می‌شد. زون‌های آب سطحی بودند و زون آب زیرزمینی. ما ۵ تا زون را از سطحی جدا و وارد زون زیرزمینی کردیم. چون عمده آب ما که از چاه‌های کشاورزی و از چاه‌های مالکیتی تامین می‌کردیم و تقریباً دو سه تا زون را باید از سطحی تامین می‌کردیم. در داخل شبکه کارهایی انجام دادیم. که توانستیم آب را از زون زیرزمینی منتقل به زون سطحی بکنیم که باعث شد مدیریت شود. یک‌کار خوبی که در همدان اتفاق افتاد بحث پیوست رسانه‌ای بود که من خودم با این‌که چند سال در حوزه



مهندس سیدزاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت حضار گرامی و تشکر می‌کنم از بانیان و هماهنگ‌کنندگان برگزاری این نشست و این کنگره، جناب آقای دکتر تابش، همکاران محترم و مدیرعامل و دست‌اندرکاران در شرکت آب و فاضلاب استان قم که زحمات زیادی داشتند برای برگزاری این کنگره. در حقیقت من در نشست بعدی که مختص هدررفت هست به‌صورت تخصصی بیشتر خدمت عزیزان خواهم بود. قرار بود آقای دکتر امینی و آقای مهندس گرکانی تشریف بیاورند درخصوص تجربه بحران همدان و شهرکرد که به‌دلیل جلسه‌ای که داشتند حضور پیدا نکردند و من تجربه عزیزان را بیشتر در حوزه بحران خدمت شما عرض خواهم کرد. صحبت‌های اصلی را آقای مهندس آقازاده عرض کردند. انصافاً هم یک کار بزرگ و جهادی انجام شد. جا دارد باز هم تشکر بکنیم از عزیزی که به‌صورت مستقیم درگیر بودند، آقای مهندس جعفری، جناب آقای مهندس آقازاده و تمام دست‌اندرکاران که این مدت در همدان حضور داشتند و مدیریت کردند. از حیث بحث‌های شبکه و مشکلات شبکه بررسی‌هایی کرده و ورود پیدا کردیم. به‌غیر از آن مواردی که مرتبط با بحث‌های نشت‌یابی بود که باز در ادامه عرض خواهم کرد. مشکلاتی را مشاهده کردیم در شبکه آب همدان که نمی‌شود گفت این مشکلات از جنس این هست که ما بگوییم در این شرایط کاری انجام دادیم. در حقیقت همیشه مدیریت در بحران را خوب انجام می‌دهیم ولی مدیریت بحران همان مفهوم تاب‌آوری که از قبل باید اقداماتی انجام بشود نقص داشت. در همدان صحبت‌هایی که آقای دکتر داشتند بسیار مهم بود و مدیریت بحران با مفهوم تاب‌آوری اگر داشته باشیم خیلی کمک‌مان خواهد کرد.

شهرکرد را من خیلی مختصر اشاره بکنم که چه اقداماتی شد. در شهرکرد در طول چند روز بارش‌های زیادی انجام شد که منجر به وقوع سیلاب سهمگین در شهرستان کوهرنگ استان چهارمحال بختیاری شد. کدورت آب چشمه کوهرنگ از ۲ به ۵۷۰۰ NTU افزایش پیدا کرد و موجب شد که چشمه کوهرنگ از مدار خارج و آب شهرکرد دچار مشکل شود. از حیث کیفیت با اقداماتی که انجام شد، در ادامه این موضوع کنترل و مدیریت شد. در بحث همدان هم توضیحات را ارایه کردند که چه اتفاقی افتاد.

فاضلاب کار کرده بودم و مدیریت استانی داشتم این‌قدر اثرش را موثر نمی‌دانستم. هم مقام عالی وزارت دستور دادند که حتماً این اتفاق بیفتد که در کنار پخش خبر، تصاویر عملیات همدان را نشان می‌داد. مصاحبه‌هایی انجام شد و مردم دیدند که کار دارد انجام می‌گیرد و خیلی راضی بودند. الحمدلله اتفاقی یا تجمعی پیش نیامد و بیشتر همکاری مردم بود. یک روز در آرایشگاه دیدم مردم تشکر می‌کردند و من اثر کار رسانه‌ای را دیدم و اعتقاد بیشتری پیدا کردم. اوایل یک شب یکی از کشاورزان سروصدای زیادی می‌کرد و نمی‌گذاشت آب چاه آن را وصل کنیم. من صدایش زدم و ایام اربعین بود. گفتم ببین آن‌طرف شیعیان امام حسین (ع) هستند، حضرت علی اصغر هست و آب ندارند. لشکر عمر سعد آب را بر روی امام بست. شما به‌خاطر یک‌بار بیشتر آب‌دادن محصول داری همان کار را انجام می‌دهی. این باعث شد لبخندی بزند و از آن پس همه برای بخشیدن چاه خود مسابقه می‌دادند و برخی گله‌مند بودند که چرا چاه ما را استفاده نکردید و این فرصت احسان را از ما گرفتید. اگر مردم بفهمند که مسئولین دارند مشکلی را از مردم حل می‌کنند نهایت همکاری را انجام می‌دهند. کار شاقی هم که انجام شد بحث خط انتقال ۱۷ کیلومتری در عرض ۳۴ روز بود که همکاران شرکت آبفای همدان هم پای کار بودند. ما فراخوان که دادیم برای کمک استان‌ها حدود ۱۱۰ تانکر آبرسانی آمد. ۳۷ اکپ از شرکت‌های آبفا برای جوش لوله‌های پلی‌اتیلن آمدند. ۱۸ اکپ نشت‌یابی آمدند برای اصلاح شبکه توزیع. ۱۹ شرکت برای تهیه مصالح و شیرآلات مورد نیاز کمک کردند. ۹۰ هزار بطری آب توزیع شد. ۳۳ مورد برق‌رسانی برای چاه‌ها انجام شد. ۳۰ حلقه چاه توسط شرکت آبفای همدان حفر شد. آقای وزیر یک شب از ساعت ۱۰ تا ۶ صبح حضور داشتند و برای اولین بار در طول ۳۰ سال خدمتم جلسه‌ای را شب گذاشتند که صبح تمام شد.

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

خیلی ممنون از صحبت‌های جناب آقای مهندس آقازاده. در ادامه برنامه خدمت آقای مهندس سیدزاده خواهیم بود. غیر از همدان ما موضوع شهرکرد را هم داریم. حالا آقای مهندس توضیح می‌دهند. بعد خدمت آقای مهندس اوسط خواهیم بود که راجع به کارهایی که در شبکه توزیع انجام شده توضیح بدهند و این تجربه را به دوستان منتقل کنند. بحث مدیریت فشار، بحث جیره‌بندی که انجام شد، بحث زون‌بندی‌ها، زون‌بندی‌هایی که وجود داشت و زون‌بندی‌هایی که تکمیل شد. بحث کنتورها، GIS، مدل هیدرولیکی و بحث‌هایی که ما برای مدیریت شبکه نیاز داریم.

با وضعیت گل آلودگی چشمه کوه‌رنگ ملاحظه می‌فرمایید که به چه شکلی بوده قبل از این که افزایش کدورت داشته باشیم و بعد به چه شکلی شده. در شهر همدان هم که قطع آب دریافتی از سد اکباتان در حدود ۱۴۰۰ لیتر بر ثانیه بود. جمعیت ۲۰۵ هزار نفر در شهر کرد و ۵۵۳ هزار نفر در شهر همدان متاثر شدند از این بی‌آبی و از این افزایش کدورتی که در شهر کرد اتفاق افتاد. سهم منابع را در همدان آقای مهندس عرض کردند و مشخصا در شهر کرد ۴۵ درصد منابع زیرزمینی و چاه‌ها هستند، ۵۵ درصد منابع سطحی چشمه کوه‌رنگ و زاینده‌رود بودند. در همدان ۱۲ زون فشاری داشتیم، ۷ زون از سد اکباتان و ۵ زون از چاه‌ها که بعد با اقدامات و تغییراتی که انجام شد باعث شد که این تعداد زون‌های سطحی کاهش پیدا کند و آب این‌ها از زون زیرزمینی تامین شود. در شهر کرد ۱۰ زون فشاری داشتیم، ۵ زون چشمه کوه‌رنگ و ۵ زون از چاه‌ها. اقدامات قبل از بحران در شهر با تشکیل قرارگاه پایش وضعیت تامین و توزیع آب، فعال شدن پلیس آب برای برخورد با مشترکین پرمصرف، آماده به کار شدن سیستم‌های تامین برق اضطراری و ماشین‌آلات، شناسایی منابع تامین آب و امکانات سایر دستگاه‌ها و بخش خصوصی، اعلام وضعیت قرمز آب ضمن تهیه بیلبوردهای لازم و استفاده از ظرفیت‌های رسانه‌های مکتوب و غیرمکتوب و فضای مجازی، مدیریت فشار در شبکه توزیع، افزایش برداشت آب از آبگیر و بقیه مواردی که این‌ها در حقیقت قبل و حین این بحران انجام شد. در شهر همدان هم تشکیل جلسات مدیریت بحران با مقامات استانی و کشوری، انتقال و برداشت حداکثری از رودخانه‌های فصلی برای حفظ ذخیره سد اکباتان و خدمات فرهنگی که مفصل توضیح دادند، حضور معاونین و مدیرعامل محترم شرکت مهندسی به صورت ویژه و میدانی در منطقه و تیم‌های واکنش سریع همکاران محترم در دفتر بحران در دفتر نظارت بر بهره‌برداری آب زحمت زیادی کشیدند. حضور این عزیزان در محل بسیار باعث شد انرژی چند برابر بشود و بتوانیم اقدامات موثری را انجام بدهیم. در زمان بحران در شهر کرد چه اقداماتی انجام شد: افزایش دو برابری ظرفیت انتقال آب از تصفیه خانه سامان از ۹۰ به ۱۸۰ لیتر در ثانیه، اجرای طرح پدافندی انتقال آب از طرح عمان سامانی به میزان ۲۰۰ لیتر بر ثانیه، اجرای طرح پدافندی انتقال آب از سد فدک به ظرفیت ۲۰۰ لیتر بر ثانیه، وارد مدار نمودن منابع جدید تامین آب به تعداد ۱۳ حلقه چاه، وارد مدار کردن گنج سرامیکی رفع کدورت شهر کرد، راه‌اندازی ایستگاه پمپاژ میانی در محل چاه آهکی به میزان ۲۰۰ لیتر بر ثانیه. در همدان هم به صورت خلاصه استقرار ۱۷ اکیپ نشت‌یابی،

دبی‌سنجی و اصلاح شبکه، ارسال لوله و پمپ و لوازم مورد نیاز از ۱۹ شرکت آبفای استانی، توزیع ۹۰ هزار بطری آب معدنی در شهر کرد، توزیع آب بسته‌بندی به میزان ۴۹۵ هزار لیتر، توزیع آب معدنی به میزان ۳۴۷ هزار بطری یک و نیم لیتری آب‌رسانی سیار با ۷۲ تانکر اعزامی از شرکت‌های آبفا، تغذیه مخازن با تانکرهای سیار به تعداد ۴۴۰ سرویس، اجرای بیش از ۲۰ کیلومتر لوله‌گذاری و پاسخگویی ۲۴ ساعته در مرکز ارتباط با مشتریان یا همان ۱۲۲، بحث تبدیل زون‌بندی‌ها، تغییر وابستگی و سایر موارد. بعد از این اقدامات تغییر وابستگی منابع آب شرب از سطحی به زیرزمینی. در شهر کرد منابع زیرزمینی سهم ۷۲ درصدی به خودش گرفت و منابع سطحی ۲۸ درصد. در شهر همدان ۶۸ درصد وزن این تامین آب روی منابع زیرزمینی و ۲۵ درصد توزیع آب بسته‌بندی، آب معدنی و آب‌رسانی تانکری و ۷ درصد منابع موقت رودخانه‌های فصلی بودند و چاه‌های استیجاری.

در بخش پیشنهادات در شهر کرد پیش‌بینی تمهیدات و تصفیه‌خانه لازم برای مواقع افزایش کدورت چهل چشمه کوه‌رنگ، تکمیل خطوط پدافندی انتقال آب شهر کرد، تامین آب پایدار برای شهرهای استان از جمله شهر کرد، تکمیل زون‌بندی شبکه توزیع شهر از جمله شهر کرد، ساخت و تکمیل مخازن ذخیره آب شرب مورد نیاز. موضوع مهمی که در همدان من خودم و آقای مهندس از دور دستی بر آتش داشتیم، چون بحث‌های شبکه بحث‌های پیچیده است که از قبل باید برنامه‌ریزی بشود. اگرچه اقدامات زیادی در مدیریت بحران شد، یا مدیریت در بحران به تعبیر من، و مشکل حل شد. ولی موضوعات مهمی که همه برمی‌گردد به بحث تاب‌آوری و موضوعاتی که ما سالیان سال در جلسات و بازدیدها و صورت‌جلسات همیشه متذکر شدیم ولی متأسفانه مفعول واقع شده، موضوع مهم افزایش بهره‌وری شبکه توزیع و GIS. ما همیشه فکر می‌کردیم این GIS در شهر همدان واقعا کامل باشد ولی در این شرایطی که من خودم حضور پیدا کردم و خواستیم شبکه را مدل کنیم دیدیم GIS ما متأسفانه کامل نیست، یعنی در حدود ۶۰ درصد نقشه‌ها و عوارض برداشت شده و نمی‌شود با آن شبکه را مدل کرد. یکی از مهم‌ترین بحث‌هایی که ما در شهر همدان برای موضوع مدیریت بهینه آب در شبکه توزیع داشتیم این بود که ما نیاز داشتیم به یک مدل هیدرولیکی وضع موجود. اگر مدل هیدرولیکی وضع موجود را می‌توانستیم در کوتاه‌مدت کالبره و اجرا کنیم خیلی از این تغییرات را می‌توانستیم پیش‌بینی کنیم ولی نقشه‌های GIS خیلی کامل نبود و متأسفانه دچار مشکل شدیم. تهیه مدل کالبره وضع موجود شبکه و تهیه سناریوهای مختلف آب‌رسانی با استفاده

از مدل در شرایط بحرانی موضوعی هست که من بارها تاکید کردم در جلساتی که می‌رویم و خواهیم این هست حتما شرکت‌های آب و فاضلاب از همین الان بیندیشند. سناریوهای مختلف آبرسانی را از الان تنظیم کنند و رویش مانور بدهند، مشابه مانوری که در شرایط زلزله انجام می‌دهند. روی این که یک دفعه اگر منابع آبی یک شهر کاهش پیدا بکند چه‌طور می‌توانند آب را توزیع کنند. در این شرایط اضطراری مخازن ذخیره آب متناسب با نیاز و اتصال مخازن به یکدیگر، اجرای رینگ آبرسانی شهر باز بسیار کمک می‌کند در این مواقع. انجام فعالیت اصلاح و بازسازی هوشمند شبکه، کنترل‌دار کردن کلیه منابع تامین و ورودی‌های شبکه توزیع. یکی از مشکلات ما در شهر همدان این اندازه‌گیری‌ها بود. اگر همه منابع تامین و ورودی‌های شبکه توزیع ما کنترلهای هوشمند می‌داشت، ما می‌توانستیم اطلاعات این‌ها را از یک مرکز تله‌متری رصد کنیم. این بسیار کمک ما می‌کرد در شرایط بحران و مدیریت این بحران. انجام اقدامات گسترده فرهنگی و آموزشی به‌منظور مدیریت بهینه مصرف آب، اجرای تله‌متری شبکه آب، نشت‌یابی فعال شبکه توزیع و انشعابات، شناسایی و رفع انشعابات غیرمجاز پیشنهاداتی هست که الان هم در دستور کار قرار گرفته. مشاوره را برنامه‌ریزی کردیم چون نیاز بود. بحث شبکه بحثی نبود که در کوتاه‌مدت بشود اقدام کرد. این مشاور باید مطالعه بکند GIS را، تکمیل کند شبکه موجود را و مدل کند. مدل هیدرولیکی را کالیبره کند و براساس این مدل هیدرولیکی کالیبره شبکه موجود، اقدامات و توصیه‌هایی را در شبکه آب شهر همدان انجام بدهد که ما بتوانیم انشالله به پایداری لازم در توزیع آب برسیم. در کنار اقداماتی که مرتبط با بحث در فصل قبل هست.



مهندس اوسط:

بسم الله الرحمن الرحيم. ضمن تشکر از همه عزیزانی که دعوت کردند از من برای انتقال تجربیات بحران همدان. در ارتباط با بحث بحران هم عزیزان بیشتر مطالب را بیان کردند. در بحث ایجاد بحران و مشکلاتی که در پیش داشتیم. در ابتدای عرایض تشکر می‌کنم از مجموعه شرکت مهندسی واقعا با حضورشان دلگرمی می‌دادند در پیشبرد اهدافمان و انجام آبرسانی به مردم همدان کمک بسیاری کردند. از مقام وزارت نیرو، مدیرعامل شرکت مهندسی جناب آقای دکتر جعفری، جناب آقای مهندس آقازاده، آقای دکتر امینی، آقای دکتر حیدری، جناب آقای

سیدزاده تشکر می‌کنم. واقعا اگر کمک این عزیزان نبود ما نمی‌توانستیم این بحران را به این خوبی پشت سر بگذاریم. توضیحات قبل از شبکه را دوستان به‌صورت کامل گفتند. بحران ایجاد شد. در روز بیست و چهارم ۱۴۰۰ لیتر در ثانیه ما در شبکه از دست دادیم و به فکر جبران بودیم. بلافاصله جلسات بحران تشکیل شد. مدیریت بحران را در اولویت قرار دادیم. با حضور نماینده شرکت مهندسی جناب آقای مهندس آقازاده که دو ماه تمام در شهر همدان بودند و بسیار کمک کردند. اولین کاری که ما انجام دادیم این بود که زون‌های آب‌های سطحی را کاهش بدهیم. از ۱۲ زون به ۷ زون کاهش دادیم. مدیریت فشار شبانه را به ۱۰۰ درصد رساندیم. تقریبا همدان حدود ۷۱ فشارشکن دارد که چهارتایش لاگردار هست و به‌صورت هوشمند عمل می‌کند. در این مدت ۳ فشارشکن دیگر در زون‌های مختلف اضافه کردیم به‌صورت هوشمند. لاگر وصل کردیم و آن‌را رصد می‌کردیم. مابقی را به‌وسیله اکیپ‌هایی که مستقر کرده بودیم در شهر همدان کنترل می‌کردیم به‌صورت دستی، چون امکان هوشمندسازی در مدت‌زمان کوتاه برایمان مقدور نبود. در ارتباط با بحث توزیع چون این مهم بود که عدالت در بین مردم حتما برقرار بشود و تاکید بر این بود که آب‌دار بودن مردم و این که آب باید به‌صورت عادلانه تقسیم بشود. این در اولویت کار ما قرار گرفت. ما علاوه بر این که زونبندی‌ها را تغییر دادیم در بحث مدیریت فشار هم آن را اعمال کردیم. متأسفانه همان‌طور که آقای سیدزاده فرمودند در بحث مدل‌سازی در چندجا دچار مشکل بودیم و نمی‌توانستیم مدل‌سازی کنیم. ما از این نیروهای بازنشسته خودمان استفاده کردیم برای جبران این قضیه آوردیم‌شان در تیم‌های فعال خودمان. اقداماتی که انجام شد در بحث شبکه به‌علت این که ما بحث جیره‌بندی را شروع کردیم تقریبا از ساعت ۱۱ شب تا ۴ صبح به‌صورت کامل شبکه بی‌آب می‌شد یک‌سری مشکلات برای ما ایجاد می‌شد، از قبیل افتادن شیرها و بعد از این که آب در شبکه برقرار می‌شد بحث گرفتگی، بحث عدم آبرسانی به قسمتی از زون. ما این‌ها را شناسایی می‌کردیم. در مرحله اول که بحث عدالت آبی برقرار شد بحث مشکلات نقطه‌ای را مدنظر قرار دادیم. با ۱۲۲ تماس بودیم. همان‌طور که می‌دانید از ۱۳۸۰۰ تماس در روز تقریبا در بیستم مهرماه رسیدیم به حدود ۲۸۰۰ تماس. تمام اکیپ‌های عملیاتی شهر همدان به‌صورت ۲۴ ساعته بودند تا هفته بعد به‌صورت هفتگی منزل نمی‌رفتند. خود مدیرعامل و معاونین محترم هم در کنار عزیزان شرکت مهندسی بودند. بحث چند تا مشکل بود که در بخش شبکه داشتیم. بحث انتقال آب، ما چون رینگ مخازن نداشتیم در بعضی



مهندس توکلی بینا:

عرض سلام و درود دارم خدمت همه عزیزان حاضر در جلسه و دوستانی که در حوزه علم و تجربه بسیار تلاش می‌کنند و من خوشحالم که در جمع دوستان هستم و دارم درس پس می‌دهم. قبل از این که ورود کنیم به مباحثی که برای پایتخت جمهوری اسلامی ایران در حال رخ دادن است من با چند سوال مطالب خودم را مطرح می‌کنم. نکاتی را در این خصوص به صورت مفهومی عرض می‌کنم. سوال اول این است که الان شما در شهر قم نشستید و با آرامش دارید یک نگاه علمی می‌کنید به رخدادهایی که در ماه‌های گذشته بود، در حالی که این شهر حداقل در ۲۵ سال گذشته که من سابقه حضور در آبفای قم و تهران را دارم بیش از ۵۰ درصد از منابع سطحی‌اش را از دست داده یعنی چیزی شبیه الان تهران. ولی هنوز با آرامش مدیرعامل و معاونین آبفای قم نشسته‌اند، چرا؟ هیچ تیمی از مرکز اعزام نشده و هیچ جلسه‌ای هم برگزار نشده. چرا؟ علتش چیست؟ دومین سوال من این است که بفرمایید که تفاوت مدیریت بحران و اداره بحران در چیست؟ اساساً مدیریت بحران و اداره بحران چیست؟ سومین سوال من این است که چرا پس از ۳۲ سال از تشکیل شرکت‌های آب فاضلاب با یک ساختار علمی و مهندسی، ما دور هم نشستیم و بحران‌هایی که پشت سر گذاشتیم را داریم مرور می‌کنیم و اصطلاحاً به قول آقای دکتر بشیری از درس آموخته‌ها پندآموزی بکنیم از این بحران‌ها. چرا؟ یعنی چرا پس از ۳۲ سال ما همچنان در این مسایل اولیه مانده‌ایم؟ آقای مهندس سیدزاده هم فرمودند یک مانیفستی از فعالیت‌ها که ما در سطح شهر کرد و همدان انجام دادیم و ما الان در تهران هم از همین مانیفست داریم فعالیت‌هایی را انجام می‌دهیم و در سال‌های دور هم انجام داده‌ایم. در قم هم من حداقل سه چهار دوره خشکسالی اداره کردم. در تهران در موقع تصدی بهره‌برداری استان تهران یک دوره خشکسالی داشتیم. الان البته وحشتناک‌تر از دو سه سال پیش هست. این‌ها همه‌ش چرا؟ هم‌چنان ما مشکل داریم و باید پاسخ مردمان را بدهیم. حالا مردم چه می‌گویند؟ حالا شاید این صلاح نباشد ولی به خود ما می‌گویند مردم. آیا این اقداماتی که الان همه دوستان فرمودند را قبلاً نمی‌توانستیم انجام دهیم؟ این سوال چهارم است؟ ببینید من ۲۶ سال در صنعت آب فاضلاب به صورت کارشناسی از کف حرکت کردم آدمم بالا. خشکسالی اداره کردیم

از زون‌هایمان مجبور بودیم از خطوط انتقال به صورت پمپاژ معکوس و خود شبکه استفاده کنیم برای انتقال. این باعث شده بود یک مقدار زمان طولانی‌تر بشود در انتقال آب و همینطور مقداری تلفات بالا برود. بعد از چند روز و مدیریت انتقال توانستیم آن را برطرف بکنیم. این نشان می‌دهد که واقعاً بحث رینگ مخازن در شبکه بسیار مهم است چون این اگر نباشد تلفات بالا می‌رود. مبحث بعدی که ما به آن رسیدیم جانمایی فشارشکن بود. این مشکلی که برای شهر همدان ایجاد شد باعث شد ما متوجه بشویم در قسمت‌هایی که بحث GIS تکمیل نبود و فشارشکن گذاشته بودیم مکان‌نمایی بعضی از فشارشکن‌ها، از حدود ۷۱ فشارشکنی که کار گذاشته بودیم از قبل حدود ۴ تا جای مناسبی نداشته که بلافاصله با توجه به شرایطی که ایجاد شده بود ما این مسایل رو برطرف کردیم. در یک روز ما سه تا فشار شکن نصب کردیم. روز بعدش یکی دیگر از این زون‌ها را پیدا کردیم و آن هم در کمتر از ۴ ساعت مشکلش را برطرف کردیم. در بحث مدیریت شبکه ما یک مشکلاتی با شهرداری داشتیم. جا دارد من این را این‌جا مطرح کنم. باید یک تعاملی بین شهرداری و شرکت آب و فاضلاب باشد. ما خیلی از مشکلاتی که در این بحران به آن برخورد کردیم یا حل مشکل را به قول معروف طولانی‌تر کرد این بود که هنگام آسفالت معابر و خیابان‌ها شهرداری توجهی به تاسیسات آبی نمی‌کند. به صورت شاید یک نامه به شرکت آب و فاضلاب آیا بزند یا نزند، پیگیری از طرف خود پیمانکار دیگر انجام نمی‌شود. تقریباً ۸۰ درصد شیرهای حیاتی ما زیر آسفالت است. بعضی از جاهایش را ما کد داشتیم می‌توانستیم پیدا کنیم، بعضی جاهایش نبود و متأسفانه برای پیدا کردن آن‌ها دچار مشکل می‌شدیم. حفاری می‌خواست و وقت گیر بود که این مشکل را من تقاضا دارم که راه‌حلی برایش اندیشیده شود که این مشکل را بقیه شهرها نداشته باشند.

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

با تشکر از آقای مهندس اوسط خدمت دوستان هستیم از آبفای استان تهران. با توجه به اهمیت شهر تهران من فقط یک نکته‌ای را عرض کنم که حالا بحث جیره‌بندی که انجام می‌شود دوستان می‌دانند که جیره‌بندی چه مشکلاتی دارد. فقط این نکته را عرض کنم که اگر شهری بخواهد جیره‌بندی انجام بدهد باید قبلاً پهنه‌بندی‌اش را انجام داده باشد. فکر نکنید که جیره‌بندی هم کار ساده‌ای هست، پیاده کردنش مشکل است و عوارض زیادی دارد. خدمت آقای مهندس ملکوتی و آقای مهندس توکلی هستیم.

و در حوزه‌های مختلف چرخیدیم. من به دو سه تا نتیجه رسیدم. یکی این که اساسا ما باورمان نسبت به آب در جمهوری اسلامی ایران اشتباه است. اساسا گفتن کلمه خشکسالی اشتباه است. من از همکاران آب منطقه‌ای اطلس آب ایران را گرفتم که از سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ تنظیم شده و نقشه‌هایشان همه را روزهای گذشته مرور می‌کردم. دو سه تا چیز جالب به شما بگویم. کل نقشه اطلس جمهوری اسلامی ایران را در نظر بگیرید. کشور ایران را از هفت گروه خشک، نیمه خشک، فراخشک، مدیترانه‌ای، مرطوب، نیمه مرطوب و خیلی مرطوب، گستره عظیمی از مملکت خشک و نیمه‌خشک است. یعنی بارش نداریم. جالبه در این ده سال گذشته متوسط ۲۵۰ میلی‌متر بارش کشور شده ۲۳۰ میلی‌متر. من ۲۶ سال منتظر ترساییم. بعد یک سال که ترسالی شروع شد دوباره خشکسالی می‌شود. حالا این کلمه را می‌خواهم خودم توبه کنم دیگر به کار نبرم. بنابراین باورمان را نسبت به واقعیت حاکم بر اقلیم کشور باید عوض کنیم. اصلا خشکسالی نداریم. ما کشور کم‌آبیم. حالا وقتی کم آب باشیم می‌آییم نگاه دیگری می‌کنیم به برنامه‌ریزی در حوزه آب. استراتژی‌های دیگری تنظیم می‌کنیم. ما الان استراتژی‌هایی تنظیم کردیم که عمدتا سند ندارد یا سندهایی دارد که تفهیم و تبیین نشده. مطالبه‌گری نشده از سوی دستگاه‌ها و رسانه‌ها. هیچ سندی در خصوص کشور کم آب نداریم. ما اصلا کم آبییم. حاشیه شمال غربی کشور و بخشی از زاگرس در واقع نیمه مرطوب یا مرطوب هست و کلا کشوری خشک و نیمه خشکیم. اصلا یک جاهایی فراخشک هست، سمت کویر لوت و بعد مدام می‌گوییم ترسالی نداریم. الان یک سال‌هایی مثلا بیشتر از نرمال در این ۵۰ یا ۱۰۰ ساله ما بارش بیشتر داشتیم کلی هم هول شدید، سدها را باز کردیم، در مناطق ممنوعه آمدم برنج کاشتیم و این ربطی به دولت خاصی ندارد. اساسا در همه دولت‌ها ما دچار این ناهنجاری بودیم. اگر این باور را عوض کنیم من مطمئنم که ما بزرگترین درس آموخته‌مان همین می‌شود. به سوال دوم پاسخ بدهم. آقای دکتر بشیری فرمودند کلمه تاب‌آوری چند سالی به زیبایی بیان شده. مدیریت بحران یک فرایند است یعنی پیش‌بینی بحران‌های محتمل‌الوقوع قبل از وقوع بحران، مثل مخاطرات طبیعی، سیل، زلزله، جنگ یا سوء مدیریت. این مرحله یک. مرحله دوم در فرهنگ می‌شود اقدام اکشن، عکس‌العمل، به‌قول آقای دکتر چاپکانه در حین بحران. مرحله سوم جبران آثار و زیان‌های بعد از بحران و مرحله چهارم پندآموزی و بازخورد به مرحله قبل از دوره بحران. به این می‌گویند مدیریت بحران. این چهار مرحله که پندآموزی از بحرانی که در این جلسه بیشتر داریم انشالله پندآموزی می‌کنیم. ولی ما در کشور بیشتر داریم اداره بحران می‌کنیم. یعنی به جای این که ۱۰ سال قبل زون‌بندی و پهنه‌بندی بکنیم، مانور جیره‌بندی انجام و مدیریت فشار شبکه انجام بدهیم، چاه‌های منابع استراتژیک داشته باشیم، می‌شود مدیریت قبل از

بحران. دیگر وقتی بحران ایجاد شود همه به هم نمی‌ریزیم و مردم مشکل پیدا نمی‌کنند. این‌ها آسیب‌هایش در ذهن مردم ماندگار است. ببینید من آدم سیاسی نیستم و اصلا صحبت سیاسی نمی‌کنم. این‌جا ما اگر این‌جوری نگاه نکنیم قطعاً در سال‌های آینده گرفتار خواهیم بود با این گسترش افزایش مصرف و جمعیت. ببینید تهران شهری است که پایتخت جمهوری اسلامی ایران، میزبان همه سفرا، وزرا، ۵۴ درصد از اقتصاد کشور در تهران تحصیل می‌شود و ۴۶ درصد در کل ۳۱ استان. شهری با پیچیدگی‌های سیاسی اجتماعی بسیار درهم تنیده. تهران بیش از ۵۰ درصد از منابع سطحی‌اش را که اتکای بالای ۷۰ درصد داشته از دست داده و این دو سه سال هم وضع اسفباری دارد. در سه زمینه برای مدیریت بحران تهران ما عمل کردیم. بخشی را من می‌گویم و بقیه را آقای مهندس ملکوتی عزیز ارائه می‌کنند. سه بخش مدیریت منابع، مدیریت تقاضا و مدیریت مصرف. این دو مفهوم تقاضا و مصرف متفاوت است که بعضی وقت‌ها این دو قاطی می‌شود. ۵۰ هزار لیتر در ثانیه مصرف روزانه تهران در پیک است. اختلاف ارتفاع از شمال تا جنوب از شمیران تا شاه‌عبدالعظیم حدود ۷۵۰ متر است یعنی ما یک بخشی از آب را باید حتما پمپاژ بکنیم. منابع سطحی تهران عمدتا در شمال تهران و منابع زیرزمینی تهران عمدتا در حاشیه جنوبی تهران از ۵ سد دارد آبگیری می‌شود توسط هفت تصفیه‌خانه با ۱۲ هزار کیلومتر شبکه و خط انتقال این شهر بزرگ دارد اداره می‌شود. الان ما بیش از ۵۰ درصد از منابع سطحی را از دست دادیم. حالا باید چه کار کنیم؟ یک کاری که در دهه گذشته انجام شد این بود که رینگ‌هایی در پیرامون باشد. این رینگ‌ها کل تهران را در آغوش گرفته و از بالا به پایین، از پایین به بالا و از غرب به شرق تا ما بتوانیم سوییچ کنیم و در مواقعی که می‌خواهیم حتی بین منابع سطحی آب را جابه‌جا کنیم. مثلا اگر لتیان آب داریم بفرستیم سمت امیرکبیر و از آن‌جا به پایین و غیره. این امسال دارد به درد ما می‌خورد. در بخش منابع زیرزمینی ما نزدیک ۶۵۰ چاه داریم در شهر تهران و استان ۸۰ تا از شهرداری و بخش خصوصی گرفتیم، ۹۰ تا از آب منطقه‌ای گرفتیم و ۵۰ تا داریم خودمان حفر می‌کنیم. یک ایستگاه پمپاژ به ظرفیت ۲۲۱۰ ثانیه ۲۰ روزه و در کنار کانال محمدیه احداث کردیم که بتواند آب را از جنوب به شمال منتقل بکند به مخازنی که در نظر هست. چون وقت من گذشته خواهش می‌کنم آقای مهندس ملکوتی ادامه بدهند.



مهندس ملکوتی:

عرض سلام و خدا قوت دارم و تشکر از برگزارکننده‌های کنگره. چون عنوان نشست تاب‌آوری هست یک توضیح کوچک بدهم که

تاب‌آوری ظرفیتی است برای مقاومت در برابر بحران‌ها. در بخش آب یکی از بحران‌هایی که محتمل است خشکسالی هست و سازگاری با شرایط جدید و ارائه خدمات بدون ایجاد هرگونه وقفه. تمام پیش‌بینی‌ها حاکی از این هست که بالاخره در طی سه سال آینده شاید میزان بارش‌ها حادثر بشود در خاورمیانه به‌خصوص بخشی از ایران. ما باید چه کار بکنیم که بتوانیم این منابع را به‌صورت ایده‌آل در دسترس داشته باشیم و به بحران وارد نشویم. بحران مدیریتش خیلی سخت و هزینه‌بر است، پس بسته به موقعیت جغرافیایی و مولفه‌های تاثیرگذار دیگر بعضی وقت‌ها خیلی مشکل می‌شود. یعنی شاید اصلاً نتوانیم بحران را مدیریت کنیم. می‌دانیم ۲/۵ درصد آب شیرین در دنیا در دسترس است و بقیه‌اش آب شور هست. در کشور ما هم تصفیه آب شور و انتقال بسته به این‌که به این آب نزدیک باشیم یا دور، هزینه‌ها گاهی چندین برابر می‌شود. شاید خیلی مقرون به‌صرفه نباشد. پس باید نگاهمان را تغییر بدهیم برای این‌که این منابع را حفظ و توزیع عادلانه کرده و درست و به‌جا از آن استفاده کنیم.

آقای مهندس توکلی بینا اشاره کردند به منابع. در تقاضا کنترل مصرف و بهینه‌سازی‌ها یکی از مولفه‌های اصلی هست که امروزه در کلیه شهرهای دنیا با هوشمندسازی شبکه از آن بهره می‌گیرند. در شهر تهران یک سری زیرساخت‌های کامل می‌خواهد. ما از بعد سخت‌افزاری و نرم‌افزاری باید ورود پیدا بکنیم به این کار. بخش نرم‌افزاری را می‌گذاریم به‌عهده شرکت‌های متولی ارائه‌دهنده خدمات نرم‌افزاری. مردم در این حوزه وزن سنگینی دارند از نظر تغییر الگوی مصرف. ما نباید به‌هر طریقی که می‌خواهیم از آب شرب استفاده کنیم با توجه به این وضعیتی که الان حاکم است در اکثر شهرهای ایران است منجمله تهران. از سنوات قبل، زیرساخت در شهر تهران ایجاد کردیم. هم اکنون اسکادا را داریم. ما تلاشمان این است که بتوانیم در بخش حاکمیت منابع را حفظ بکنیم. یک بخشی از حفظ این به‌عهده ماست. در شهر تهران ما زیرساخت‌های نقشه‌های GIS را داریم، پیاده‌سازی اسکادا را داریم، تحلیل‌های هیدرولیکی را داریم، اجرای مدل وضعیت موجود شبکه را داریم. یکی از راه‌کارهایی که در این شرایط از طریق اسکادا توانستیم پیاده‌سازی کنیم برای حفظ منابع‌مان این بود که بتوانیم تغییرات فشار را با استفاده از فشارشکن‌هایی که به‌صورت برخط الگو می‌گیرند ایجاد کنیم، برای مشترکین فشار متناسب با مصرفشان تنظیم بکنیم در طول شبانه روز. در شرایط ترسالی فشار شب در شهر تهران گاهی ۲/۵ تا ۳ بار و بعضی جاها شاید ۳/۵ بار بود. ولی الان هیچ‌جای تهران بالای ۱/۱ نیست مگر جاهایی باشد که تراز استاتیکی که دو تا لایه فشاری با هم فاصله دارند بیشتر بشود. ولی در اکثر نقاط تهران شب‌ها فشار را روی ۱/۱ گذاشتیم و روزها هم آوردیم زیر ۱/۶ تنظیم کردیم. این کار خیلی به ما کمک کرد در حفظ

ذخیره منابع آبی در مخازن که بتوانیم در روز توزیع عادلانه آب شرب را برای مردم داشته باشیم. این خیلی کمک کرد به بحث کاهش حوادث. الان حوادث ما در تهران و هدررفت واقعی ما کاهش داشته. از طرفی هم از سنوات قبل حاکمیت از ما همیشه سوال می‌کنند که آقا خودتان بخش حاکمیت هستید، در بخش هدررفت چه کار کردید؟ چرا آن قدر منابع را تلف می‌کنید بعد از مردم توقع دارید که صرفه‌جویی بکنند. ما از سنوات قبل زون‌ها را تماماً کنترل‌گذاری کردیم. یعنی قرائت نوبتی مشترکمان را منطبق بر مخازن کردیم. در هر مخزن اندازه‌گیری مولفه‌های آب بدون درآمد و در نهایت مقدار آن را محاسبه می‌کنیم. براساس اولویت‌بندی که انجام دادیم روی این مخازن، می‌آییم اقداماتی که در بحث کاهش هدررفت موثر هستند را انجام می‌دهیم و اندازه‌گیری می‌کنیم و اثربخشی‌اش را هم استخراج می‌کنیم که کمک می‌کند که منابع‌مان را در بخش هدررفت واقعی اتلاف نکنیم. برای این کار برنامه‌ای را از پیش با کمک مشاور تهیه کردیم که این‌جا به‌صورت فهرست‌وار اشاره می‌شود. شناسایی نقاط کلیدی فشار، فشارسنجی در نقاط بحرانی، طراحی و اجرای زون‌های فشاری، حذف نوسانات فشار، مدیریت فشار، ثبت داده‌های حوادث، یکپارچه‌سازی فرایند گزارش رفع نشت، مدیریت فعال نشت‌یابی، اجرای عملیات رسوب‌زدایی، تحلیل مدل هیدرولیکی. شاید قبلاً راحت‌ترین کار اصلاح و بازسازی بود، اما گرانترین کار در شبکه هست. یعنی ما اول باید بیاییم تحلیل هیدرولیکی را برای شرایط فعلی شبکه انجام بدهیم و بعد برویم سراغ آن نقاطی که می‌تواند در هدررفت برای ما اثرگذار باشد مثلاً انشعابات غیرمجاز، نشت‌یابی، نگهداری و تعمیرات. در تحلیل‌های هیدرولیکی ما می‌توانیم در زون‌ها تغییر بدهیم فشارها را و در واقع متناسب و بهینه بکنیم. بعد می‌بینیم به بازسازی اصلاً نیازی نیست که این همه هزینه بکنیم. این‌ها مواردی هست که در بخش مدیریت تقاضا می‌تواند به ما کمک کند. این چرخه ساختار این برنامه هست که حالا مدیریت هدررفت واقعی، هدررفت ظاهری، مدیریت تقاضا، ساماندهی، برنامه‌ریزی، ظرفیت‌سازی و تقویت زیرساخت‌های اطلاعاتی.

ببینید الان تمام کشورهای پیشرفته بخشی از شهرهایشان از طریق شبکه هوشمند اداره می‌شوند. یعنی چی؟ یعنی اطلاعات مصرف که از قبل آن را روی سرورها داشتند حالا متناسب با ساعت و فصل و گرما و سرما دارند حفظ و ذخیره‌سازی می‌کنند. آن الگوها را روی سیستم‌هایشان اجرا می‌کنند به‌صورت هوشمند. با این نتایج شبکه بهره‌برداری می‌شود و کمک می‌کند به حفظ منابع و جلوگیری از هدررفت.

در بحث مدیریت هدررفت واقعی گروه‌های اقدام ایجاد شده که عبارتند از: سطح تلفات اقتصادی، تلفات فعلی، مدیریت فشار، بهبود سرعت و کیفیت تعمیرات، نشت‌یابی فعال، برنامه نگهداری، بازسازی

شبکه و نوسازی هم در آخرین مرحله هست. یعنی ما حق نداریم اول برویم سراغ این کار چون هزینه‌هایش بسیار بالا است. یک ساختار شکستی هست که برای برنامه بهره‌وری آب در شهر تهران پیاده‌سازی شده. با این مدل تمام شرکت ما دارد کار می‌کند. در این ساختار ما باید بدانیم آب از کجا تامین می‌شود؟ چقدر تامین می‌شود؟ به منابع چقدر وارد می‌شود؟ چقدر به مصرف شبکه می‌رسد؟ اگر ما این اطلاعات را به صورت اندازه‌گیری دقیق داشته باشیم می‌توانیم بخشی از تلفاتی که ممکن است در انتقال از تامین باشد جلوگیری کند. پهنه‌بندی‌های مجزایی که در شهر تهران انجام شده همه کنترل دارند و کنترلرها در اسکادا به صورت برخط قرائت می‌شد. شاید در جریان باشید شهر لندن حدود ۳۰ هزار کنترلر دارد. یعنی کنترلی که به صورت برخط قرائت می‌شود از همین روش‌هایی که ما داریم می‌رویم دنبالش. الگوشان را به صورت لحظه‌ای کنترل می‌کنند براساس سابقه‌ای که اپراتورهای آن جا به دست آوردند. اگر جایی ببینند این الگوها انحرافی دارد سراغ آن زون می‌روند و بررسی می‌کنند چه اتفاقی افتاده. شاید شکستگی یا مصارف غیرمرتبط دارند که فوری جلوگیری می‌کنند.

در بحث مدیریت مصرف ما براساس اقدامات فرهنگی، نصب اطلاعات کاهش مصرف در بیلبوردها و معابر عمومی و اطلاع‌رسانی از طریق صدا و سیما در دستور کارمان هست. ولی یک روش خیلی جدیدتری الان در دنیا هست. ما ورود پیدا کردیم و روی این موضوع هم داریم کار می‌کنیم. استفاده از پلتفرم‌های مشترکین یک نوع سیستم‌های برخطی هست که شما در موبایل با مشترکین ارتباط دارید. می‌توانید با ارایه شیوه‌هایی مصرف را کاهش بدهیم.

این اهداف کلی در واقع تغییر نظام انگیزشی شهروندان در مصرف آب هست. آگاهی‌رسانی و اطلاع‌رسانی از شناسایی و تحلیل ذی‌نفعان آب در شهرها تحت عنوان دوستان. ایجاد فضای گفتگو و تعامل اجتماعی در زمینه مسائل آب شهری، افزایش سرمایه اجتماعی و ایجاد ارتباط میان همه فعالان، جامعه و دولت و تلاش برای ایجاد موازنه و توازن اطلاعاتی، توسعه ظرفیت‌های شهروندان در محله‌های شهر. گفتم بخش عمده‌ای مردم هستند که آب مصرف می‌کنند. ما اگر این‌ها را بتوانیم به درستی راهنمایی بکنیم و به آن‌ها اطلاع‌رسانی بکنیم که کجا مصارف شما زیاده و می‌توانید صرفه‌جویی بکنید، قطعاً در این حوزه موفق خواهیم شد و می‌توانیم از این ابزارها کمک بگیریم. ببینید مثلاً این پلتفرم در کنیا اجرا شده و آکاوو یک نرم‌افزاری هست که در ایالت‌هایی از آمریکا هم این نرم‌افزار برای مدیریت مصرف آب استفاده می‌شود. یک ویژگی مهم در این نرم‌افزار اطلاعاتی است که ارتباط مستقیم با مشترک دارند. در بعضی از این نرم‌افزارها جوایزی هم حتی برای مثلاً بچه‌ها برای ایجاد انگیزه ایجاد کردند که اگر شما بروید مصارفتان را در بحث بهداشت زمانی که دارید مثلاً استحمام می‌کنید یا زمانی که دارید بهداشت دست و صورت را

انجام می‌دهید اگر مصرف را فرضاً از ۳۰ لیتر به ۲۰ لیتر کاهش بدهید این جایزه هم در همان لحظه به شما پرداخت می‌شود. این ایجاد انگیزه می‌کند برای این که مشترکان ورود پیدا بکنند برای این کاهش. یک تغییر الگو که حالا این مدل در نرم‌افزار برقی من هم هست این که ما بیاییم از لحاظ اقتصادی موضوع را به مشترک یادآور بشویم و مقایسه بکنیم با مصارف اطرافش و بگوییم اگر شما در کدام بخش رعایت کنید مصرف کم خواهد شد. من تشکر می‌کنم و در پایان عرایضم باز تاکید می‌کنم که ما باید دیدمان را برای حفظ منابع توزیع عادلانه و مصرف صحیح از آب شرب تغییر بدهیم.

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

با تشکر از جناب آقای مهندس ملکوتی و آقای مهندس توکلی بینا. چند دقیقه فرصت پرسش پاسخ باقی‌مانده است که خدمت دوستان هستیم.

سوال: چرا کارهایی که در عرض ۳۴ روز در همدان انجام شده در فرصت ده ماهه قبل آن انجام نشده بود؟ در شاهین‌شهر یک لوله انتقال فاضلاب از وسط شهر عبور می‌کند و سالانه چند بار نشست می‌کند و چند نفر کشته می‌شوند. چه راه‌حلی در همدان انجام شده که با آن بتوانیم مشکل شاهین‌شهر را هم حل کنیم؟

پاسخ: آقای مهندس گفتند ما ۱۰ ماه زمان داشتیم که این اتفاق نیفتد. نه ما بیشتر زمان داشتیم. پروژه ما سال ۹۰ شروع شد. اما تا ۱۴۰۰ پیشرفت کمی داشت. اما در این فاصله کارهای خیلی بزرگی اتفاق افتاد. ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن سرویس، خط انتقال ۱۷ کیلومتری در سخت‌ترین نقطه، رینگ انتقال به تصفیه‌خانه به طول ۱۷ کیلومتر، پیش‌بینی برای خرداد بود. اما به دلیل مسائل و مشکلاتی که در حین کار با آن مواجه شدند حدود ۹۰ کیلومتر باید برق‌رسانی انجام می‌شد. آن ۳۴ روزی که گفته شد فقط برای خط انتقال از شهرک صنعتی تا ایستگاه آب شیرین صرف شده است.

دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

اگر بخواهیم جمع‌بندی کنیم جلسه را دوستان تاکید داشتند که مدیریت بحران فقط انجام عملیات بحران نیست. قبل از آن بحث تاب‌آوری، بحث تهیه IOP برای انواع بحران‌ها باید در دستور کار قرار بگیرد. موضوع دوم بحث مستندسازی بود که دوستان تاکید داشتند که مستندسازی انجام بشود و انتقال تجربه صورت بگیرد. یک مسئله دیگری که صحبت شد بحث این هست که ما باید استراتژی‌هایمان سنددار باشد. یعنی طبق یک اسنادی کار دنبال بشود. این‌طوری نباشد که هر دولتی بیايد و سلیقه‌ای بخواهد عمل کند. من خیلی تشکر می‌کنم از حضار محترم، از دوستانی که به صورت مجازی از سراسر کشور تشریف دارند و از اعضای محترم پنل.

رتبه اول مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۱ در مقطع کارشناسی ارشد (بخش شبکه آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده فنی، دانشکده مهندسی عمران

عنوان: بررسی آب های نفوذی در شبکه های فاضلاب مجزا

با تاکید بر آب باران نفوذی

نگارش: محسن رضائی

استاد راهنما: دکتر مسعود تابش

تاریخ: شهریورماه ۱۳۹۹

چکیده

میلیون مترمکعب در سال را نشان می دهد. مجموع آب های نفوذی در شبکه به ازای بارشی ۱۶/۶ میلی متری برابر ۰/۹۸۹ لیتر بر ثانیه بر هکتار محاسبه شده که از مقادیر ذکر شده در ضابطه شماره ۱۱۸ بیشتر است. همچنین مجموع آب باران نفوذی در سال ۱۳۹۳ برابر ۳/۲ میلیون مترمکعب به دست آمده است.

در کنار محاسبه آب های نفوذی، با فرض درصدی برای نشت فاضلاب، حجم فاضلاب خارج شده از شبکه محاسبه شده است. همچنین نظر بر این که آب های نفوذی و نشت فاضلاب آثار زیان باری بر سامانه های فاضلاب و محیط زیست منطقه تحمیل می کنند، افزایش هزینه های ناشی از ورود آب های نفوذی در تصفیه خانه فاضلاب بررسی و ارزیابی رد پای آب ناشی از آب های نفوذی و نشت فاضلاب در محدوده مطالعه انجام شده است. رد پای آب به صورت خروج آب آبی از حوضه و آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی منطقه دیده شده و نتیجه محاسبات، ۴۸/۴ میلیون مترمکعب رد پای آب در سال ۱۳۹۳ را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: شبکه جمع آوری فاضلاب مجزا، نشتاب، آب باران نفوذی، نشت فاضلاب، ارزیابی رد پای آب.

جریان فاضلاب منتقل شده در شبکه های جمع آوری فاضلاب به دو جزء اصلی فاضلاب خام و آب های نفوذی تقسیم می شود. برای طراحی اولیه، نوسازی و بهسازی شبکه و تصفیه خانه نیاز است تا هر یک از این دو جزء به طور دقیق محاسبه و پیش بینی شوند تا سامانه های فاضلاب با مشکل کمبود ظرفیت یا بیش طراحی مواجه نشوند. آب های نفوذی در شرایط مختلف مشخصات متفاوتی داشته و برای تعیین مقدار آن در ساعت ها و روزهای مختلف نیاز است تا آب های نفوذی به چند جزء مختلف تقسیم شود. این اجزاء شامل نشتاب و آب باران نفوذی است. نشتاب، جریان آب وارد شده از لایه های اشباع و نیمه اشباع خاک اطراف فاضلابرها است که قسمت ثابتی از جریان در شبانه روز را تشکیل می دهد. آب باران نفوذی نیز به دو شکل نفوذ مستقیم آب باران و نشتاب ناشی از بارش وارد شبکه شده و قسمت بزرگی از جریان را در روزهای تر تشکیل می دهد.

در این تحقیق نشتاب از روش تولید فاضلاب برای شبکه فاضلاب زیر پوشش تصفیه خانه جنوب تهران محاسبه و اجزای جریان در بازه های بدون بارش در سال ۱۳۹۳ مشخص شده اند. پس از مشخص شدن نشتاب و فاضلاب خام در بازه های خشک، با کسر این دو جزء از دبی فاضلاب در روزهای دارای بارش، مقدار آب باران وارد شده به شبکه مشخص می شود. نتیجه محاسبات نشتابی برابر ۰/۱۸۱ لیتر بر ثانیه بر هکتار و حجمی برابر ۱۸/۶

رتبه دوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۱ در مقطع کارشناسی ارشد (بخش شبکه آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشگاه قم

دانشکده فنی و مهندسی

عنوان: توسعه مدل های نوین تصمیم گیری چندمعیاره در تخصیص بهینه پساب و تحلیل نتایج با رویکرد جدید تابع مطلوبیت اضافی

نگارش: کوثر ابراهیمزاده ازبری

استاد راهنما: دکتر پریساسادات آشفته

استاد مشاور: مهندس پروین گلفام

تاریخ: مردادماه ۱۴۰۰

چکیده

به دلیل استفاده از بهینه سازی، از نتایج قابل اطمینانی برخوردار هستند. حسن انتخاب معیار محیط زیستی و اثر بر منابع آب، با توجه اهمیت جلوگیری از آلودگی منابع آب، خاک و گیاه به دلیل محدودیت منابع آب و اهمیت کشاورزی در منطقه مطالعاتی، نشان دهنده دقت روش ها است. هم چنین انتخاب گزینه تغذیه مصنوعی از روش WASPAS به دلیل نیاز به تقویت منابع آب از بین رفته، گزینه محیط زیستی از روش WASPAS بهینه سازی شده و SECA به دلیل نیاز به تقویت منابع محیط زیستی و گزینه آبیاری کشاورزی از روش ARCAS به دلیل توسعه کشاورزی در منطقه مطالعاتی نیز بر دقت بالا روش ها تأکید دارد. در ادامه به منظور تحلیل نتایج روش WASPAS بهینه سازی شده، از روش تابع مطلوبیت اضافی^۵ (UTA) استفاده می شود. مطابقت رتبه بندی روش UTA با روش WASPAS بهینه سازی شده، نشان دهنده اطمینان پذیری بالای روش WASPAS بهینه سازی شده است.

واژه های کلیدی: تخصیص بهینه پساب، تصمیم گیری چندمعیاره، روش SWARA، روش WASPAS، روش ARCAS، روش SECA، روش UTA.

دفع پساب علاوه بر تحمیل هزینه های اقتصادی، سلامت محیط زیست را با خطرهای فراوانی مواجه می کند. اگر بتوان با رعایت ضوابط محیط زیستی، پساب استحصال شده را دوباره در چرخه مصرف قرارداد، می توان از آن برای تأمین نیازهای بخش های مختلف مصرف استفاده کرد و بخشی از تنش های آبی را کاهش داد. انتخاب بهترین نقطه نیاز برای تخصیص پساب، در گام اول نیازمند استفاده از روش های وزندهی مناسب به منظور تعیین اهمیت و وزن معیارها و در گام بعدی استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره^۱ (MCDM) مناسب برای انتخاب بهترین گزینه تخصیص پساب است. بدین منظور، ابتدا از روش تحلیل نسبت ارزیابی وزندهی تدریجی^۲ (SWARA) و روش تصمیم گیری چندمعیاره ارزیابی مجموع وزنی و ضرب وزنی^۳ (WASPAS) استفاده می شود. در پژوهش دوم روش SWARA با روش WASPAS بهینه سازی شده توسعه داده می شوند. سپس روش هیبریدی ARCAS در پژوهش سوم مورد استفاده قرار می گیرد. در پژوهش چهارم روش ارزیابی هم زمان معیارها و گزینه ها^۴ (SECA) توسعه می یابد. روش وزندهی SWARA به دلیل امکان ارزیابی دقت نظرات کارشناسان و روش SECA

^۴ Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives

^۵ Additive Utility Function

^۱ Multi-Criteria Decision-Making

^۲ Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis

^۳ Weighted Aggregated Sum Product Assessment

رتبه سوم مسابقه پایان نامه برتر سال ۱۴۰۱ در مقطع کارشناسی ارشد (بخش شبکه آب و فاضلاب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران)



دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان: بررسی آزمایشگاهی فرآیند فرورفتگی موضعی لوله‌های خطوط انتقال آب تعمیر شده با رزین پلی‌استر تحت فشار داخلی

نگارش: نام: سید صادق درخشان

استادان راهنما: دکتر عباس نیک‌نژاد و دکتر سیما ضیائی

تاریخ: تیرماه ۱۳۹۸

چکیده

داخلی متغیر و ثابت، علاوه بر ثبت فشار داخلی اولیه، الگوی تغییر شکل نمونه‌ها، فشار نهایی آب درون لوله در لحظه بروز نشتی، جابه‌جایی نهایی پانچ، نیروی نهایی و میزان انرژی جنبشی جذب شده، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. نتایج آزمایشگاهی برای تست فرورفتگی موضعی تحت فشار داخلی متغیر نشان می‌دهد، با افزایش فشار داخلی اولیه نمونه‌های آزمایشی، جابه‌جایی پانچ، مقدار بیشینه نیروی جانبی اعمالی به محل آسیب دیده لوله تا لحظه بروز اولین آثار نشتی و نیز میزان انرژی جنبشی جذب شده کاهش می‌یابد. در تست فرورفتگی موضعی تحت فشار داخلی ثابت، با افزایش فشار داخلی اولیه درون نمونه‌های آزمایشی از ۶ تا ۱۴ بار، جابه‌جایی نهایی پانچ، مقدار بیشینه نیروی جانبی اعمالی از طرف پانچ صلب استوانه‌ای بر محل آسیب دیده لوله، قبل از بروز اولین آثار نشتی و نیز مقدار انرژی جنبشی مستهلک شده، به تدریج در نمونه‌های مختلف، افزایش می‌یابد؛ در حالی که به ازای فشارهای بالاتر از ۱۴ بار، مقادیر جابه‌جایی نهایی، نیروی بیشینه و جذب انرژی جنبشی کاهش می‌یابد. در تست فرورفتگی موضعی، برخی دیگر از نمونه‌ها، توسط رزین قالب‌گیری و روکش کامپوزیتی با ابعاد $150 \times 150 \text{ mm}^2$ تعداد لایه‌های مختلف تعمیر می‌شوند و سپس، تحت تست فرورفتگی موضعی با فشار متغیر قرار می‌گیرند. نتایج این گروه از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که افزایش تعداد لایه‌های روکش کامپوزیت، به افزایش نسبی فشار نهایی تا ۲۰ بار منجر می‌شود. در تست فشار گسیختگی انجام

در این پایان‌نامه، رفتار لوله‌های آسیب دیده مورد استفاده در خطوط انتقال آب، در حالتی که توسط رزین پلی‌استر یا بتونه و یا برچسب کامپوزیتی تعمیر شده‌اند و تحت فشار داخلی آب آشامیدنی قرار دارند، تحت دو نوع فرآیند مختلف فرورفتگی موضعی و فشار گسیختگی به روش آزمایشگاهی بررسی می‌شود. بدین منظور، ابتدا یک عیب مکانیکی به صورت ناپیوستگی هندسی، در جداره لوله‌های استوانه‌ای، ماشین‌کاری و سپس، بخش آسیب دیده لوله، توسط رزین پلی‌استر یا بتونه و یا برچسب کامپوزیتی تعمیر می‌شود. در ادامه، لوله دو سر مسدود، به یک مدار هیدرولیک از پیش طراحی شده، متصل و با تزریق آب آشامیدنی با فشارهای مختلف درون آن، لوله تعمیر شده، تحت فشار داخلی اولیه مشخصی قرار می‌گیرد که مقدار این فشار اولیه، در برخی از تست‌ها، مختلف و در برخی دیگر، یکسان است. سپس، نمونه تحت فشار داخلی مشخص، به صورت جانبی، درون دستگاه تست یونیورسال، بین یک صفحه صلب تخت و یک پانچ صلب استوانه‌ای قرار می‌گیرد. برای تست فرورفتگی موضعی، سنبه بر روی محل تعمیر شده و در تست فشار گسیختگی، سنبه بر روی محلی دور از محل تعمیر شده قرار می‌گیرد. با اعمال نیروی جانبی موضعی بر جداره نمونه‌های آزمایشگاهی، تست فرورفتگی موضعی و فشار گسیختگی در شرایط شبه‌استاتیکی انجام می‌شود که تا زمان بروز اولین آثار نشتی در محل تعمیر شده لوله، ادامه می‌یابد. در تست فرورفتگی موضعی تحت فشار

شده بر روی لوله‌های فولادی تعمیر شده با رزین قالب‌گیری و روکش کامپوزیتی با ابعاد $100 \times 100 \text{ mm}^2$ و با تعداد لایه‌های مختلف، تحت فشار اولیه ۱۰ بار، فشارهای گسیختگی نهایی بین ۱۸ تا ۴۰ بار تعیین شده است. در تست فشار گسیختگی مشابه انجام شده بر روی لوله‌های فولادی تعمیر شده با رزین قالب‌گیری و روکش کامپوزیتی با ابعاد و با تعداد لایه‌های مختلف، تحت فشار اولیه ۱۰ بار، فشارهای گسیختگی نهایی بین ۱۳ تا ۵۱ بار اندازه‌گیری شده است. در ضمن، در تست فشار گسیختگی انجام شده بر روی لوله‌های فولادی تعمیر شده با بتونه قالب‌گیری و روکش کامپوزیتی با ابعاد $100 \times 100 \text{ mm}^2$ و با تعداد لایه‌های مختلف، تحت فشار اولیه ۱۰ بار، فشارهای گسیختگی نهایی بین ۱۶ تا ۵۶ بار حاصل شده است. در گروه دیگر، آزمایش‌های فشار گسیختگی انجام شده بر روی لوله‌های فولادی ۲ اینچ تعمیر شده تنها توسط رزین یا بتونه قالب‌گیری نشان می‌دهد، میزان فشار نهایی در هر دو نوع نمونه، تقریباً یکسان (تا ۸ بار) است. در آزمایش‌های فشار گسیختگی انجام شده بر روی لوله‌های پلی‌اتیلن تعمیر شده با رزین قالب‌گیری و برچسب کامپوزیتی با ابعاد $150 \times 150 \text{ mm}^2$ تحت فشار اولیه ۴ بار، فشار گسیختگی ۶ تا ۲۱ بار، گزارش شده است. در مجموع پژوهش حاضر نشان می‌دهد، استفاده از رزین پلی‌استر دارای گواهی "قابل استفاده برای آب آشامیدنی" که در داخل کشور تولید می‌شود، راهکار مناسبی برای تعمیر خطوط انتقال آب آسیب دیده است.

واژگان کلیدی: تعمیر خطوط انتقال آب، رزین پلی‌استر، الیاف شیشه، تست فرورفتگی موضعی، تست فشار گسیختگی.

رتبه اول چهارمین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب (محور بازیافت و کیفیت آب)
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۱)



عنوان: نرم افزار مدیریت برنامه‌های سرویس و نگهداری تجهیزات (PM) در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

نگارندگان: محمدرضا حسینی^۱ و فاطمه رجبی قرائی^۲

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی البرز، البرز، ایران

۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

تاریخ: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

مقدمه

محصول نرم‌افزاری PM و مدیریت برنامه‌های سرویس و نگهداری اضطراری تجهیزات (EM²) برای تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب است.

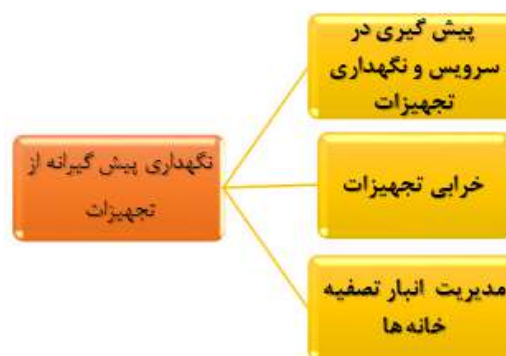
- مسئله موجود

تجهیزات خارجی و وارداتی، وسعت کار و تعداد زیاد تجهیزات و ابزار، حساسیت ابزار و تجهیزات، سختی کار اپراتورها، ایمنی فردی کارکنان، ساکنین و تجهیزات

در فرمت سنتی تعمیر و نگهداری تجهیزات مشکلات فراوانی ایجاد می‌شود که به‌عنوان مثال‌هایی از آن می‌توان به تعمیر دستگاه، پس از خرابی آن، انجام سرویس‌ها و بازدیدها به‌صورت ناقص، متفرق و سلیقه‌ای، عدم ثبت مستمر اطلاعات تعمیراتی، عدم بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات ثبت شده و صدور گزارش‌های مورد نیاز، عدم بهره‌برداری از نتایج گزارشات به‌منظور اصلاح روش‌ها، مشخص نبودن قابلیت اطمینان و ضریب آمادگی دستگاه‌ها و روشن نبودن مقصرین احتمالی در خرابی‌ها به‌دلیل عدم وجود شرح وظیفه و دستورالعمل‌ها اشاره کرد.

- ایده پیشنهادی

یک رویکرد سیستماتیک با برنامه‌نویسی یک نرم‌افزار جامع در حوزه سرویس و نگهداری تجهیزات (PM) در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌دلیل این‌که این روش‌های سنتی را از بین ببرد.



نرم‌افزار مدیریت برنامه‌های سرویس و نگهداری تجهیزات (PM¹) دوار و غیر دوار مکانیکی و الکتریکی و ابزارهای دقیق در حال حاضر یکی از ابزارهای نرم‌افزاری کاربردی در صنایع کوچک و بزرگ است. از آن‌جا که امکان اجرای دستی برنامه‌های سرویس و نگهداری تجهیزات بسیار سخت و در مواردی امکان‌ناپذیر است، وجود یک نرم‌افزار PM در این موارد ضروری است. در حال حاضر نرم‌افزارهای زیادی در بازار موجود هستند، تا آن‌جایی که بررسی‌ها صورت گرفته است، اما نرم‌افزار PM که به‌طور اختصاصی برای تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب برنامه‌نویسی شده باشد، در بازار وجود ندارد. بنابراین این طرح با نام برنامه‌نویسی و تولید

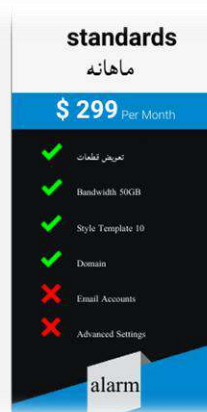
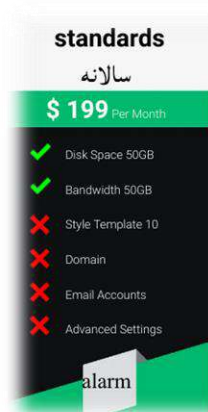
1. Preventive Maintenance
2. Emergency Maintenance

- روش پیشنهادی

پیش‌گیری در سرویس نگهداری تجهیزات

بدین صورت که چک لیست‌هایی طبق دستورالعمل و کاتالوگ یا طول عمر تجهیزات تهیه شده که اپراتور براساس تجهیزات دوار، غیر دوار و ... چک لیست‌ها را به صورت روزانه، ماهانه و یا سالانه

پر می‌کند. مثلاً برای پمپ‌ها در چک لیست روزانه باید به صدا، لرزش دستگاه، پمپ و ... توجه کند. نرم‌افزار بعد از کالبره شدن با دیتاهای واقعی یک سری آنالیزهایی به اپراتور می‌دهد و همچنین برای بازرسی‌های مجدد روتین و غیر روتین آلام می‌دهد.



- مدیریت انبار

در بخش مدیریت انبار که یک پیچ بدون علت نباید گم شود، این نرم‌افزار می‌تواند ورودی و خروجی انبار را با کدگذاری تجهیزات کنترل کند، به سیستم تعمیرات و نگهداری تصفیه‌خانه‌ها متصل و همچنین در مراحل بالاتر به شبکه هم وصل بشود.

❖ کدگذاری تجهیزات انبار؛

❖ اتصال به سیستم تعمیرات و نگهداری تصفیه‌خانه؛

❖ اتصال به شبکه.

- گروه هدف این طرح

شرکت‌های مهندسی تصفیه‌خانه فاضلاب (پیمان‌کاران) که با خرید الگوهای اشتراکی و یا پنل‌های کاربری دائمی به همراه دفترچه راهنما، پشتیبانی و خرید آنلاین با ضمانت‌نامه از این محصول استفاده کنند.

نوآوری و خلاقیت ایده نرم‌افزار می‌تواند مکمل نرم‌افزار تیمار و سیستم مکانیزه PM تحت وب در شرکت‌های آب و فاضلاب باشد. نرم‌افزار PM که به طور اختصاصی برای تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب برنامه‌نویسی شده باشد، در بازار وجود ندارد. این نرم‌افزار می‌تواند به زبان لاتین هم ترجمه شده و مورد استفاده کشورهای همسایه قرار بگیرد.

- نقشه راه ایده :

- خرابی تجهیزات تصفیه‌خانه

بخش دیگری که برای نرم‌افزار تعریف شده، خرابی تجهیزات است. بدین صورت که اگر یک ابزار یا تجهیز خراب شود اپراتور می‌تواند علت و هزینه‌ای که به وجود آمده را در نرم‌افزار وارد کند. این در قدم اول باعث می‌شود در مدت زمان طولانی جلوی چالش‌های تکراری تصفیه‌خانه گرفته شده و مسائل ریشه‌یابی شود. مثلاً علت تسمه پاره کردن پی در پی بلوئر را فهمید.

❑ تعمیر دستگاه پس از خرابی؛

❑ عدم ثبت مستمر اطلاعات تعمیراتی؛

❑ عدم بررسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات ثبت شده و صدور

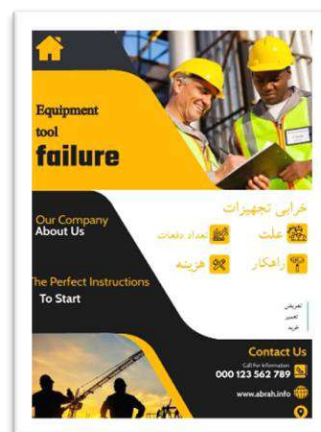
گزارش‌های مورد نیاز؛

❑ عدم بهره‌برداری از نتایج گزارش‌ها به منظور اصلاح روش‌ها؛

❑ مشخص نبودن قابلیت اطمینان و ضریب آمادگی دستگاه‌ها؛

❑ روشن نبودن مقصرین احتمالی در خرابی‌ها به دلیل عدم وجود

شرح وظیفه و دستورالعمل‌ها.





- سخن آخر

تعمیرات پیشگیرانه، ایجاد روشی سیستماتیک برای کنترل وضعیت تجهیزات و دستگاه‌های موجود و بهینه کردن توانایی‌های آن‌ها به منظور رسیدن به حداکثر کارایی و کاهش نرخ خرابی و از کار افتادگی آن‌ها است. اما در رویکرد سیستماتیک ما قصد داریم با برنامه‌نویسی یک نرم‌افزار جامع در حوزه تجهیزات اختصاصی آب و فاضلاب، مشکلات روش‌های سنتی را از بین برده و رویکرد سیستماتیک را پیاده‌سازی کنیم. هدف از محصول نرم‌افزاری برنامه‌نویسی شده در این رویکرد، پیاده‌سازی نظام PM دارای امکاناتی ذیل خواهد بود:

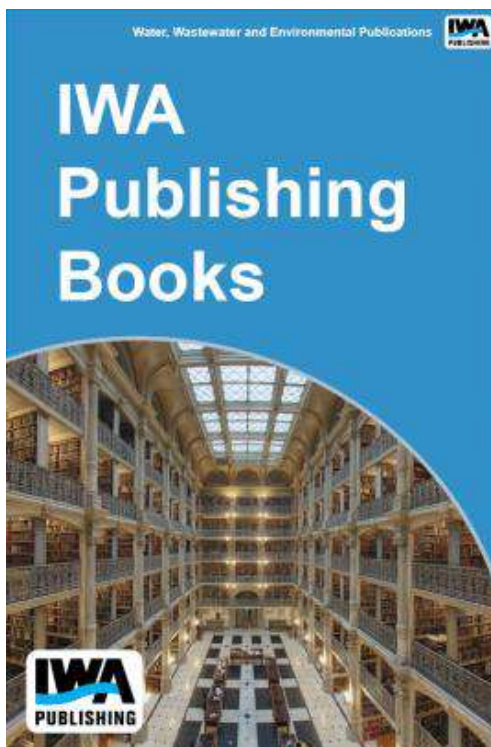
- داشتن قابلیت هشدار برای اعلام زمان سرویس و نگهداری و تعمیرات تجهیزات؛
- اعلام فعالیت‌های تأخیردار برای اطلاع تیم فنی و تصمیم‌گیری در خصوص آن‌ها؛
- سیستم کدگذاری منحصر به فرد و مستقل برای تجهیزات و قطعات یدکی؛
- ایجاد گزارش‌های استاندارد نگهداری و تعمیرات؛
- گزارش‌های فرآیندی و عملکردی از تیم نت مانند درصد PM و EM؛
- امکان تخصیص نیروی انسانی و پیمانکار برای هر فعالیت

نگهداری و تعمیرات؛

- مدیریت قطعات یدکی و انبار؛
- ماژول تحلیل خرابی برای تهیه گزارش‌های؛
- مدیریت دارایی.

این طرح بیزنس پلن، روش تولید یا بستر فعالیت محصول، فرصت‌های بازار و مشتریان محصول، تعیین منطقه و گستره فعالیت، بررسی رقبا و ایده مشابه، بررسی عملکرد و توانایی ایده و نوع زبان برنامه‌نویسی آن مشخص شده است.

عنوان: نانوبیوهیبریدها برای تصفیه پیشرفته فاضلاب و بازیابی انرژی
 ناشر: انجمن بین‌المللی آب (IWA)
 زمان انتشار: سال ۲۰۲۳



یکی از نوآوری‌های پیشگامانه در راستای راه‌حل‌های پایدار محیط‌زیستی، استفاده از نانوبیوهیبریدها برای تصفیه فاضلاب و بازیابی انرژی از آن است. این موضوع، سبب پیشروی فناوری‌های محیط‌زیستی یکپارچه و استفاده از پتانسیل هم‌افزایی‌شده نانو تکنولوژی و بیوتکنولوژی در متحول نمودن روش مدیریت فاضلاب و انرژی حاصل از آن می‌گردد. در این کتاب:

- می‌توانید اصول فرآیندی نانوبیوهیبریدها برای تصفیه آب، سنتز میکروبی نانوکاتالیست‌ها و تجهیزات ذخیره انرژی را بیابید. ساز و کار بیوسنتز نانو ذرات، یکپارچه‌سازی بیومولکول‌ها و تعامل پویای بین نانو تکنولوژی و بیوتکنولوژی و زیست‌شناسی از دیگر موضوعات مطرح‌شده است.
- مولفه‌های اساسی تصفیه فاضلاب (که مبتنی بر محیط‌زیست است) و بازیابی انرژی را بررسی نمایید. این مورد با تمرکز بر دو جزء اصلی نانوبیوهیبریدها صورت می‌گیرد؛ از یک سو، نانوذرات آلی، غیرآلی و مغناطیسی و از سوی دیگر، باکتری‌های الکترواکتیو.
- درکی از مفاهیم نانوبیوهیبریدها برای تصفیه آب و فاضلاب، در راستای نگهداری از منابع و حفاظت از محیط‌زیست، داشته باشید. هم‌چنین می‌توانید بررسی نمایید که چه‌طور این راه‌حل‌ها، به کنترل آلودگی، بازیابی منابع، سنجش و فوتوالکتروکاتالیزها کمک می‌کنند. کتاب حاصل یک منبع ضروری برای پژوهشگران، دانشجویان، سیاست‌گذاران و علاقمندان به علم نانو، نانو تکنولوژی و توسعه پایدار تلقی می‌شود. ما در آستانه یک دوره جدید در مهندسی محیط‌زیست هستیم و کتاب مذکور می‌تواند شما را با آخرین تغییرات آشنا کند. با نانوبیوهیبریدها به جنبش حرکت به سمت آب‌های پاک‌تر، انرژی فراوان و در نتیجه آینده‌ای روشن پیوندید.

اطلاعات بیشتری از این کتاب در لینک زیر موجود است:

<https://www.iwapublishing.com/books/9781789063585/nanobiohybrids-advanced-wastewater-treatment-and-energy-recovery>

اخبار و فعالیت‌های عمده انجام شده انجمن آب و فاضلاب ایران در سه ماهه دوم سال ۱۴۰۲ به شرح زیر است:

- برگزاری جلسه اول شورای اجرایی همایش ۱۴۰۲ (۱۴۰۲/۰۴/۱۲)
- جلسه با معاون پشتیبانی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (۱۴۰۲/۰۴/۰۶)
- برگزاری جلسه اول شورای سیاستگذاری همایش ۱۴۰۲ (۱۴۰۲/۰۴/۱۳)
- درخواست تکمیل فرم نظرسنجی عملکرد انجمن در سال ۱۴۰۱
- درخواست ارسال اطلاعات عملکرد اعضای انجمن در سال ۱۴۰۱
- برگزاری سی و دومین وبینار تخصصی انجمن با عنوان: «مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب» توسط آقای دکتر عباس اکبرزاده (۱۴۰۲/۰۴/۲۰)
- برگزاری سی و سومین وبینار تخصصی انجمن با عنوان: «واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب» توسط سرکار خانم دکتر بنفشه زهرایی (۱۴۰۲/۰۴/۲۶)
- برگزاری جلسه هفتاد و هفتم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۴/۲۸)
- انتشار خبرنامه شماره ۸۸ انجمن (تیرماه ۱۴۰۲)
- کسب رتبه الف در ارزیابی عملکرد نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در سال ۱۴۰۱ به وسیله کمیسیون نشریات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
- برگزاری جلسه دوم شورای اجرایی همایش ۱۴۰۲ (۱۴۰۲/۰۵/۰۲)
- برگزاری جلسه ۲۲ کمیته تخصصی تلفات آب (۱۴۰۲/۰۵/۰۸)
- برگزاری جلسه ۱۲ کمیته تخصصی کیفیت آب (۱۴۰۲/۰۵/۰۹)
- برگزاری سی و چهارمین وبینار تخصصی انجمن با عنوان: «ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا» توسط آقای مهندس ابوالفضل رضایی راد (۱۴۰۲/۰۵/۱۱)
- برگزاری جلسه دوم شورای سیاستگذاری همایش ۱۴۰۲ (۱۴۰۲/۰۵/۱۵)
- برگزاری سی و پنجمین وبینار تخصصی انجمن نیز با عنوان: «پکیج‌های تصفیه فاضلاب؛ معیارهای طراحی و روش ساخت» توسط آقای مهندس حمیدرضا خسروجرودی (۱۴۰۲/۰۵/۲۵)
- برگزاری جلسه ۱۴ کمیته تخصصی باز یافت آب (۱۴۰۲/۰۵/۳۰)
- انتشار خبرنامه شماره ۸۹ انجمن (مردادماه ۱۴۰۲)
- برگزاری جلسه هفتاد و هشتم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۶/۰۱)
- برگزاری جلسه سوم شورای اجرایی همایش ۱۴۰۲ (۱۴۰۲/۰۵/۰۲)
- برگزاری سی و ششمین وبینار تخصصی انجمن نیز با عنوان: «سپتاژ، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها، راه‌حل‌ها» توسط آقای دکتر ذبیح اله یوسفی (۱۴۰۲/۰۶/۰۸)
- برگزاری سی و هفتمین وبینار تخصصی انجمن نیز با عنوان: «قدرت تحول آفرین سنجش از دور و هوش مصنوعی» توسط آقای دکتر احد نظرپور (۱۴۰۲/۰۶/۲۱)
- انتصاب آقای دکتر علی حقیقی به عنوان سردبیر جدید نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۱۴۰۲/۰۶/۲۲)
- برگزاری جلسه هفتاد و نهم هیئت مدیره انجمن (۱۴۰۲/۰۶/۲۹)
- انتشار خبرنامه شماره ۹۰ انجمن (شهریورماه ۱۴۰۲)
- انتشار شماره ۲، دوره ۸ نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (تابستان ۱۴۰۲)

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

https://www.aparat.com/v/D7BvT?playlist=737673	مقدمه‌ای بر یادگیری ماشین برای کاربردهای مهندسی آب شهری (دکتر سیدامیر هوشنگ آیتی)		
https://www.aparat.com/v/D7BvT	طراحی پایدار زیرساخت‌های دفع آب سطحی و فاضلاب شهری به کمک بهینه‌سازی چند هدفه و سیستم‌های کمک تصمیم‌گیری (دکتر امین ابراهیم بخشی پور)		
https://www.aparat.com/v/rKPvH/	چالش‌های مدل‌سازی در بهره‌برداری بهینه و هوشمند از شبکه‌های توزیع آب (دکتر مهدی دینی)		
https://www.aparat.com/v/jTbgx/	مدلسازی سیلاب و زهکشی شهری- اهمیت و رویکردها و مقدمه‌ای بر مدل TU-FLOW و کاربردهای آن (دکتر حامد توکلی‌فر، دکتر دانکن کیتس)		
https://www.aparat.com/v/Nig5q/	کاربرد متدولوژی ارزش برای بهبود پروژه‌های بزرگ آب و آبفا (دکتر کامران امامی)		
https://www.aparat.com/v/AxQw3	آلودگی منابع آب و خاک به آرسنیک و روش‌های پالایش آن (دکتر بهمن یارقلی)		
https://www.aparat.com/v/kdcZC	مدل‌های داده‌محور و برخط پیش‌بینی سیلاب در سیستم‌های جمع‌آوری آب باران شهری (مهندس فرزاد پیاده)		
https://www.aparat.com/v/cQevG	پیل سوختی میکروبی به‌عنوان یک راه‌حل پایدار برای تصفیه فاضلاب: از تحقیق تا کاربرد (دکتر علیرضا ولی پور مرنندی)		
https://www.aparat.com/v/zNPCU	بیوراکتورهای غشایی در تصفیه فاضلاب: وضعیت موجود، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو (دکتر مسعود طاهریون)		
https://www.aparat.com/v/AOrNB	اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب‌های شهری: از مدل‌سازی تا رویکردهای مدیریتی مبتنی بر توسعه پایدار (دکتر یاسر طهماسبی بیرگانی)		
https://www.aparat.com/v/5SVaJ	نبرد شبکه‌های متمرکز و غیرمتمرکز جمع‌آوری آب شهری: از دیدگاه افزونگی (مهندس سینا حصارکزاری)		
https://www.aparat.com/v/Q3Sck	مدیریت ناترازی تولید و مصرف آب با تکیه بر مدیریت مصرف آب (دکتر عباس اکبرزاده)		
https://www.aparat.com/v/Onls2	واکاوی تجربه کشور چین در حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت مصرف آب (دکتر بنفشه زهرایی)		
https://www.aparat.com/v/TtImP	ضربه آبی، چرا و چگونه؟ از مفاهیم تا اجرا (مهندس ابوالفضل رضایی راد)		
https://www.aparat.com/v/ieWtp	پکیج‌های تصفیه فاضلاب؛ معیارهای طراحی و روش ساخت (مهندس حمیدرضا خسروجردی)		
https://www.aparat.com/v/DcoFP	سپتاژ، یک معضل محیط‌زیستی کشور، چالش‌ها، راه‌حل‌ها (دکتر ذبیح اله یوسفی)		
https://www.aparat.com/v/Fvb7q	قدرت تحول آفرین سنجش از دور و هوش مصنوعی (دکتر احد نظرپور)		
https://www.aparat.com/v/6OhwE?playlist=31020035	سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور	نشست‌های تخصصی انجمن آب و فاضلاب ایران	۲
https://www.aparat.com/v/IXWfd?playlist=31174320	تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU?playlist=35531526	هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		

https://www.aparat.com/v/lSgM7?playlist=31219788	بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/tn4E9?playlist=32316111	چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/DZzYX?playlist=879646	تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ?playlist=33416246	استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/o1geI?playlist=36877054	چالش‌ها، راهبردها و انتظارات از وزیر آبی نیرو در حوزه آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw?playlist=879646	نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ?playlist=879646	کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/nBNj5?playlist=879646	تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/PO35T?playlist=879646	مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/xyr2O?playlist=879646	نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب به‌عنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/dVKvu?playlist=879646	مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.aparat.com/v/hEXdv?playlist=879646	مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده‌رود		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG?playlist=879646	دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		
h https://www.aparat.com/v/xyr2O	نشست تخصصی نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور		
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی		
https://www.aparat.com/v/B5Lle	نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://www.aparat.com/v/hcuQk?playlist=5771644	مراسم افتتاحیه	اولین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۵)	۳
https://www.aparat.com/v/j2lAK?playlist=5771644	نشست تخصصی اول؛ سیاست‌های تأمین آب شرب در ایران		
https://www.aparat.com/v/LajYD?playlist=5771644	نشست تخصصی دوم؛ سیاست‌های صنعت جمع‌آوری فاضلاب و بازیافت پساب		
https://www.aparat.com/v/6LBfm?playlist=5771644	نشست تخصصی سوم؛ تأثیر مسائل اجتماعی، فرهنگی و مشارکت جامعه در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/hr4Un?playlist=5771644	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/AmjKX	مراسم افتتاحیه	اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب (۱۳۹۶)	۴
https://www.aparat.com/v/PO35T	نشست تخصصی اول؛ پیل مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/nBNj5	نشست تخصصی دوم؛ پیل تلفات ظاهری آب		
https://www.aparat.com/v/s3lwQ	نشست تخصصی سوم؛ پیل کاهش تلفات واقعی		
https://www.aparat.com/v/wmjDk	مراسم اختتامیه	دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی (۱۳۹۷)	۵
https://www.aparat.com/v/SAOxw	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/hEXdv	نشست تخصصی اول- مدیریت تعارضات آب و بازتعریف مسئله زاینده رود		
https://www.aparat.com/v/dVKvu	نشست تخصصی دوم- مدیریت مصرف آب و سازگاری با کم آبی		
https://www.aparat.com/v/Ax3cG	نشست تخصصی سوم- دستاوردها و چالش‌های استفاده از آب‌های نامتعارف		

https://www.aparat.com/v/pYO7g	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/SHiuG	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/tn4E9	نشست تخصصی اول؛ چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب	دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت (۱۳۹۸)	۶
https://www.aparat.com/v/DZzYX	نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری زیرساخت‌های آب و فاضلاب در شرایط بحران به ویژه سیلاب		
https://www.aparat.com/v/t1iaZ	نشست تخصصی سوم؛ استفاده از آب خاکستری در محیط‌های شهری		
https://www.aparat.com/v/nQ2Ez	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/V7BNT	مراسم افتتاحیه	سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۳۹۹)	۷
https://www.aparat.com/v/6OhwE	نشست تخصصی اول؛ سامانه‌های فاضلاب، اپیدمی‌ها و بیماری‌های نوظهور		
https://www.aparat.com/v/IXWfd	نشست تخصصی دوم؛ تاب‌آوری شبکه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/7JxVU	نشست تخصصی سوم؛ هوشمندسازی و نوآوری در سامانه‌های آب و فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/ISgM7	نشست تخصصی چهارم؛ بازنگری شاخص و استاندارد کیفیت منابع آب ایران		
https://www.aparat.com/v/cGUn1	کلینیک صنعت اول؛ شبکه‌های توزیع آب		
https://www.aparat.com/v/ntsvY	کلینیک صنعت دوم؛ کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/Fz5wu	کلینیک صنعت سوم؛ تصفیه فاضلاب و بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/IKLRc	کلینیک صنعت چهارم؛ شبکه های جمع آوری فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/yLp7u	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/FWHLm	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/xyr2O	نشست تخصصی اول؛ نمک‌زدایی آب‌های شور و بازیافت آب بعنوان منابع راهبردی در مقابله با تنش آبی کشور	اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب (۱۴۰۰)	۸
https://www.aparat.com/v/BFhCa	نشست تخصصی دوم؛ رویکردهای برنامه ایمنی آب		
https://www.aparat.com/v/LxjEw	نشست تخصصی سوم؛ نقش اقتصاد در مدیریت مصرف آب		
https://www.aparat.com/v/5c82a	کلینیک صنعت اول؛ محور شبکه‌های توزیع آب و کاهش هدررفت		
https://www.aparat.com/v/KnEdF	کلینیک صنعت دوم؛ محور بازیافت آب		
https://www.aparat.com/v/A5wkz	کلینیک صنعت سوم؛ محور کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/OgGXj	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/OB57I	مراسم افتتاحیه		
https://www.aparat.com/v/Lzf1g	نشست تخصصی چالش‌های انتقال آب دریا به فلات مرکزی	چهارمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۱۴۰۱)	۹
https://www.aparat.com/v/B5Lle	نشست تخصصی تاب‌آوری سامانه‌های آب و فاضلاب، با نگاه به تجربه همدان و شهرکرد		
https://www.aparat.com/v/41JAS	نشست تخصصی چالش‌های استفاده دوباره از پساب‌های شهری در صنعت و فضای سبز		
https://www.aparat.com/v/16VTE	کلینیک صنعت- محور کیفیت آب		
https://www.aparat.com/v/PupUv	کلینیک صنعت- محور شبکه‌های توزیع و هدررفت آب		
https://www.aparat.com/v/hr8Qs	کلینیک صنعت- محور بازیافت آب و تصفیه فاضلاب		
https://www.aparat.com/v/nRdX3	مراسم اختتامیه		
https://www.aparat.com/v/kIHYq	پیام آقای مهندس محمودیان		
https://www.aparat.com/v/Uaun9	کارگاه ایمنی آب		

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکنندگان	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
اولین همایش ملی دانش سنتی محیط‌زیست در ایران	دانشگاه شهرکرد	شهرکرد	۱۹ مهر ۱۴۰۲	https://conf.sku.ac.ir/TEKI
سیزدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران	دانشگاه علم و صنعت	تهران	۲۵ تا ۲۷ مهرماه ۱۴۰۲	https://13icce.ir/fa/
بیست و دومین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران	انجمن هیدرولیک-دانشگاه مراغه	مراغه	۱۷-۱۸ آبان ۱۴۰۲	https://conf.iha.ir/
دومین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران	تهران	۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲	https://iwwa-conf.ir

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
11th IWA Symposium on Modelling and Integrated Assessment	Québec City, Canada	23 – 27 September 2023	https://watermatex2023.org/
The 1st IWA Non-Sewered Sanitation	Johannesburg, South Africa	23 – 27 October 2023	https://nssconference.org/
IWA Aspire Conference & Exhibition 2023	Kaohsiung, Chinese Taipei	22 – 26 October 2023	https://www.iwaaspire2023.org/
XIV Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion	Queretaro, Mexico	23 – 27 October 2023	https://www.daal14.mx/index.html
5th IWA Resource Recovery Conference	Shenzhen, China	1 – 4 November 2023	http://www.iwarr2023.com/
Pi 2023 – 9th IWA International Conference on Benchmarking, Performance Assessment and Regulation of Water Services	Amsterdam, Netherlands	7 – 8 November 2023	https://www.amsterdamiww.com/pi2023/
Digital Water Summit 2023	Bilbao, Spain	14 – 16 November 2023	https://iwa-network.org/events/digital-water-summit-2023/
Water – Excellent Science and Industrial Development – 3rd Polish YWP Conference	Poznan, Poland	15 – 17 November 2023	https://ywp.put.poznan.pl/
8th International Water Association Specialist Conference on Natural Organic Matter (NOM8) and the IWA Particle Separation Conference	Boksburg, South Africa	3 – 8 December 2023	https://nom8ps.com/
Specialised Conference on Water and Wastewater Management With Special interest to Developing Countries	Perth, Australia	3 – 8 December 2023	https://www.wwm2023.com/
8th International Water Association Specialist Conference on Natural Organic Matter (NOM8) and the IWA Particle Separation Conference	Boksburg, South Africa	3 – 8 December 2023	https://nom8ps.com/
IWA 20th International Conference on Diffuse Pollution & Eutrophication (IWA DIPCON 2023)	Daegu City, South Korea	6 – 8 December 2023	http://www.iwadipcon.org/
8th International Water Regulators Forum	Kigali, Rwanda	10 – 12 December 2023	https://waterdevelopmentcongress.org/
IWA Water and Development Congress & Exhibition 2023	Kigali, Rwanda	10 – 14 December 2023	https://waterdevelopmentcongress.org/
5th IWA Emerging Water Leaders Forum	Kigali, Rwanda	13 December 2023	https://waterdevelopmentcongress.org/
IWA Sustainable Natural and Engineered Water Systems Management	Bangkok, Thailand	13 – 16 December 2023	https://swsm2023.com/

شرکت مهندسی مشاور طوس آب (سطح عضویت طلایی)

شرکت مهندسی مشاور طوس آب با هدف توسعه صنعت آب کشور در سال ۱۳۶۳ تأسیس شد. اکنون پس از گذشت ۳۹ سال، این شرکت توانسته است با تمرکز بر مأموریت سازمانی خود و با تکیه بر رهبری شاخص و معتبر و کارکنانی متخصص و ورزیده، فضای کاری خود را از طریق رشد کیفی و ارتقای بهره‌وری در پروژه‌های داخل و خارج کشور گسترش دهد. این مشاور، در چارچوب منشور اخلاق مهندسی و با تلفیق دستاوردهای علوم و فنون روز و تکیه بر تجربه و خلاقیت سرمایه‌های انسانی، رضایتمندی کارفرمایان را سرلوحه فعالیت‌های خود قرار داده است. رئیس هیأت مدیره و مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور طوس آب، دکتر سعید نی‌ریزی، نقش اصلی و اساسی را در سازماندهی، توسعه و تکامل شرکت به‌عهده داشته است. ایشان از اعضای برجسته مؤسسات بین‌المللی مرتبط با پروژه‌های عمرانی و تحقیقاتی و به‌طور خاص صنعت آب که از سال ۱۳۶۷ به‌عنوان مدیرعامل و رئیس هیأت مدیره شرکت مهندسی مشاور طوس آب انتخاب شد و تاکنون نیز عهده دار این مسئولیت است. زمینه فعالیت‌های شرکت عبارتند از: سد و سازه‌های هیدرولیکی، تأمین، انتقال، ذخیره‌سازی و توزیع آب، تأسیسات تصفیه و نمک‌زدایی آب، مدیریت شبکه‌های توزیع آب، شبکه‌های جمع‌آوری، انتقال فاضلاب و رواناب‌های سطحی، تأسیسات تصفیه و استفاده مجدد فاضلاب، مدیریت جامع منابع آب، شبکه آبیاری و زهکشی، مهندسی رودخانه، مطالعات محیط زیستی و حفاظت کیفی منابع آب، مدل سازی کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی، مطالعات ژئوتکنیک و مکانیک خاک، مطالعات مقاوم‌سازی سازه‌ها، سامانه‌های دفع باطله، سامانه‌های تله‌متری، اسکادا، دیسپاچینگ و مخابرات نیرو، نقشه‌برداری و GIS و فتوگرامتری، کاربرد فناوری «سامانه اطلاعات مکانی» و «سنجش از دور»، راه‌سازی، خطوط انتقال نفت و گاز، پدافند غیرعامل، بهره‌برداری، نگهداری و مدیریت طرح‌های آب و فاضلاب، آزمایشگاه ژئوتکنیک، مکانیک خاک و محیط‌زیست.



شرکت سنجش‌افزار آسیا (سطح عضویت برنزی)

شرکت سنجش‌افزار آسیا در سال ۱۳۷۸ با هدف تحقیق، توسعه و ساخت تجهیزات صنعتی مورد نیاز صنایع وابسته به وزارت نیرو و وزارت نفت، گاز و پتروشیمی آغاز به کار کرد. این شرکت با تحقیق و توسعه در زمینه تجهیزات و دستگاه‌های الکترونیکی و نرم‌افزارهای وابسته به آن، تولید، فروش و بازاریابی محصولات و در آخر ارائه خدمات پشتیبانی و خدمات پس از فروش به مشتریان محترم خدمات خود را ارائه می‌دهد. شرکت سنجش‌افزار آسیا در چهار صنعت برق، گاز، آب و پتروشیمی‌ها و نیروگاه‌ها بطور مؤثر فعال است. این شرکت با بهره‌گیری از دانش روز جهانی موفق به ساخت و تولید تجهیزات کاربردی و بهینه در این صنایع شده است. در صنعت آب می‌توان به دستگاه قرائت کنتور آب مشترکین، کنتور هوشمند آب الکترومغناطیسی، کنتور هوشمند آب پره‌ای سینگل جت، سامانه قرائت از راه دور کنتورهای هوشمند آب، اپلیکیشن اندروید نصب و بازدید کنتور آب، مانیتورینگ توزیع و انتقال سیستم‌های آبرسانی اشاره نمود. در صنعت برق می‌توان به دستگاه تست و بازرسی کنتورهای برق اشاره کرد که اولین دستگاه تست کنتور با طراحی و ساخت کاملاً ایرانی در کشور است. هم‌چنین می‌توان به سیستم قرائت کنتورهای مشترکین، سیستم قرائت از راه دور کنتورها، سیستم بارگیری آنلاین پست‌های توزیع، سیستم مانیتورینگ پست‌های فوق توزیع و پروب‌های نوری قرائت کنتور اشاره کرد. در صنعت گاز می‌توان به سیستم قرائت کنتورهای خانگی و صنعتی، سیستم‌های مانیتورینگ ایستگاه‌های گاز و پروب‌های نوری برای قرائت تصحیح‌کننده‌های گاز، اشاره نمود. هم‌چنین در پتروشیمی‌ها و نیروگاه‌ها می‌توان به سیستم هواشناسی مانیتورینگ دما و رطوبت و سیستم جمع‌آوری اطلاعات اشاره کرد. برخی از محصولات نیز قابلیت استفاده در کلیه صنایع را دارا هستند مانند مودم روتر مخابراتی صنعتی، مودم ترنسپرت قرائت کنتور و پروب‌های نوری. شرکت سنجش‌افزار آسیا به پشتوانه تیم نرم‌افزاری بسیار قوی و مجرب خود، مفتخر به توسعه و اجرای اکثر سامانه‌های مورد استفاده وزارت نیرو است. این سامانه‌ها نقش برجسته‌ای در امر سنجش و پایش مصرف منابع انرژی کشور داشته است. سامانه‌هایی نظیر نرم‌افزار قرائت کنتورهای برق، آب و گاز، نرم‌افزار بارگیری آنلاین پست‌های توزیع، نرم‌افزار آنلاین مدیریت داده‌های کنتور، نرم‌افزار تست و بازرسی کنتورهای برق، نرم‌افزار مانیتورینگ مصرف، نرم‌افزارهای اندروید قرائت کنتور، نرم‌افزارهای قرائت از راه دور کنتورهای برق و آب و نرم‌افزارهای دیگری که سهم عمده‌ای در حفظ منابع انرژی کشور داشته‌اند.



نام شرکت	سطح عضویت	لوگو
مهندسين مشاور آبساران	الماسی	 آبساران مهندسين مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir
فناور ايمن لوتوس	طلایی	 شرکت فناور ايمن لوتوس
مهندسی مشاور طوس آب	طلایی	 طوس آب شرکت مهندسی مشاور
مهندسين مشاور يکم	برنزی	 مهم
آبان بسيار پارسيان	برنزی	 ABRAM ETTESAL
فراگیر انرژی و پالایش مادیار	برنزی	 MGE فراگیر انرژی و پالایش مادیار Madyar Global Energy And Water Treatmet Co
خط لوله هامون (هپیکو)	برنزی	 هپیکو Hapico
مهندسين مشاور طرح و تحقیقات اصفهان	برنزی	
سنجش افزار آسیا	برنزی	 S.A.A Sanjesh Afzar Asia Co. Ltd.

	طلایی	مهندسی مشاور طوس آب
	برنزی	مهندسين مشاور آبران
	برنزی	آب و فاضلاب آذربایجان شرقی
	برنزی	مهندسين مشاور آینده میترا



2nd National Conference on Water Quality Management

4th National Conference on Water Consumption Management with Loss Reduction and Reuse Approach

28-30 Nov. 2023
College of Engineering
University of Tehran, Tehran, Iran

همایش ملی
مدیریت کیفیت آب
و همایش ملی
مدیریت مصرف آب
با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت



۱۴۰۲ آذرماه ۲۷ تا ۲۹
مکان: دانشکده فنی دانشگاه تهران

موضوعات همایش

- رونق‌دهی اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و حقوقی در مدیریت مصرف و استفاده از پساب
- تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی
- ارزیابی و آسیب‌شناسی روش‌های چابگری در مدیریت کیفیت آب
- کاهش مصرف و ارتقای بهره‌وری آب در بخش صنعت
- فناوری‌های ساده و ارزان قیمت بازیافت پساب
- مدیریت و راهبری تصفیه‌خانه‌های آب
- پیوند آب-انرژی در بازیافت پساب
- فناوری‌های نو در حوزه بازیافت
- مدیریت هوشمند کیفیت آب
- اقتصاد و کیفیت آب
- برنامه آمیخته آب
- هدررفت واقعی، ظاهری و مصارف مجاز بدون درآمد در شبکه‌های توزیع آب
- تأثیرات محیط‌زیستی پساب دستگاه‌های آب شربین‌کن بر کیفیت آب
- مدیریت فاضلاب و پسماند حاصل از فرایندهای بازیافت
- آلاینده‌های ویژه و ضوابط کمی و کیفی آب و فاضلاب
- استفاده ایمن از پساب و کاهش ریسک آن
- مدیریت و بازیافت زهاب‌های کشاورزی
- مدیریت هوشمند شبکه‌های توزیع آب
- پایش کیفی پساب بازیافتی
- پایش کیفی اکوسیستم‌ها
- مدیریت مصرف آب

آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان طالقانی، مهلت ارسال مقالات کامل: ۱۵ مهرماه ۱۴۰۲



آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان طالقانی، مهلت ارسال مقالات کامل: ۱۵ مهرماه ۱۴۰۲

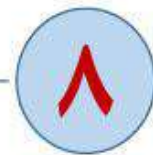


آدرس دبیرخانه: تهران، خیابان طالقانی، مهلت ارسال مقالات کامل: ۱۵ مهرماه ۱۴۰۲





فراخوان هشتمین دوره انتخاب پایان نامه برتر



ویژه دانش آموختگان سال های ۱۳۹۹ به بعد



انجمن آب و فاضلاب ایران در نظر دارد در هشتمین دوره برگزاری مسابقات پایان نامه برتر، به منظور ترویج تحقیقات بنیادی و کاربردی در حوزه علوم و مهندسی 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، **حداکثر تا تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۴۰۲** با مراجعه به سایت انجمن به نشانی **IRWWA.IR**، اقدام به دریافت فرم شرکت در مسابقه نموده و پس از تکمیل، فرم مربوطه را همراه با فایل پایان نامه و مقالات منتشر شده ISI و علمی-پژوهشی خود، به آدرس ایمیل مسابقات انجمن به نشانی **irwwa.competitions@gmail.com** ارسال نمایند.

جوایز نفرات اول تا سوم در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، همزمان با برگزاری

"دومین همایش مدیریت کیفیت آب و چهارمین همایش مدیریت مصرف آب"

با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت

که از ۷ تا ۹ آذرماه ۱۴۰۲ در دانشگاه تهران برگزار می شود، اعطا می شود.



irwwa.ir
info@irwwa.ir



Telegram.me/irwwa94



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



https://www.aparat.com/irwwa



۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷



چهارمین دوره المپیاد آب و فاضلاب

سال ۱۴۰۲



یادواره

دکتر سیمین ناصری

آخرین مهلت ثبت نام:

۲۰ بهمن ماه ۱۴۰۲

نحوه و زمان برگزاری:

مرحله اول: به صورت تستی

۲۶ بهمن ماه ۱۴۰۲

مرحله دوم: به صورت تشریحی

(متعاقباً اعلام می شود)

داوطلبان می توانند در **یک یا هر دو بخش** زیر، به انتخاب خود
در المپیاد شرکت کنند:

- ❖ گزینه اول: طراحی و بهره برداری شبکه های آب، فاضلاب و آب سطحی
- ❖ گزینه دوم: فرایندهای تصفیه، طراحی و بهره برداری تصفیه خانه های آب و فاضلاب

✚ به نفر اول هر گزینه جایزه نفیسی اهدا خواهد شد.

✚ برای اطلاع از آخرین تغییرات آیین نامه برگزاری المپیاد به سایت انجمن مراجعه فرمایید.

✚ شرکت در المپیاد، برای عموم دانشجویان در تمامی مقاطع و متخصصین صنعت آب و فاضلاب مجاز است.

هزینه ثبت نام

اعضای انجمن: ۷۵ هزار تومان

سایرین: ۱۰۰ هزار تومان



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

علاقه مندان می توانند برای کسب اطلاعات بیشتر به
وبسایت **انجمن آب و فاضلاب ایران** مراجعه کنند و یا
با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایند.



مهلت ارسال ایده
۳۰ دی ماه ۱۴۰۲

پنجمین دوره مسابقه ایده برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب

در محورهای هدررفت آب، بازیافت آب، کیفیت آب و سایر موضوعات مرتبط

همراه با جوایز نقدی، لوح تقدیر و چاپ ایده در مجله علمی "علوم و مهندسی آب و فاضلاب" برای رتبه‌های برتر

برای دریافت فرمت ارائه و فرم اصالت ایده به سایت انجمن به نشانی

irwwa.ir مراجعه کرده و پس از تکمیل، آن‌ها را به ایمیل

iwwa.competitions@gmail.com

ارسال فرمایید.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به وب‌سایت انجمن آب و فاضلاب

ایران مراجعه کرده و یا با دفتر انجمن تماس حاصل فرمایید.



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



۰۹۹۶۰۳۹۹۹۳۷

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

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن		حق عضویت اعضای حقیقی	
نوع	مبلغ (ریال)	نوع	مبلغ (ریال)
۱ صفحه در یک شماره	۱۲۵۰۰۰۰	حق عضویت با تاخیر سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ (به ازای هر سال)	۷۵۰۰۰۰
۲ صفحه در یک شماره	۲۵۰۰۰۰۰	حق عضویت دو ساله (۱۴۰۲ - ۱۴۰۳)	۲۳۰۰۰۰۰
۱ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۵۰۰۰۰۰۰	حق عضویت چهار ساله (۱۴۰۲ - ۱۴۰۵)	۳۷۵۰۰۰۰
۲ صفحه در چهار شماره پیاپی*	۸۰۰۰۰۰۰	حق عضویت دو ساله دانشجویی (۱۴۰۲ - ۱۴۰۳)	۱۵۰۰۰۰۰
		عضویت دائمی	۱۳۰۰۰۰۰۰

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبدا: IR930180000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۹۹۰-۳۱۰۱

بانک تجارت شعبه دانشگاه (کد ۱۸۶) به نام انجمن آب و فاضلاب ایران
لطفا اسکن فیش واریزی را به ایمیل انجمن (info@irwwa.ir) ارسال فرمایید.

جدول مزایای اعضای حقوقی طرح جدید

الماسی (سالانه ۱۰) (میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۶) (میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۴) (میلیون تومان)	برنزی (سالانه ۳) (میلیون تومان)	سطح عضویت (مبلغ پرداختی) مزایای عضویت
سالانه ۹ میلیون تومان	سالانه ۵ میلیون تومان	سالانه ۳ میلیون تومان	سالانه ۲ میلیون تومان	دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در ذیل جدول شرح داده می‌شود)
*	*	*	*	درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح عضویت) در مدت زمان عضویت
*	*	*	*	دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) در مدت زمان عضویت
*	*			درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب در مدت زمان عضویت
*	*			ارائه ۵۰٪ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی همزمان با کنفرانس‌های سالانه انجمن در مدت زمان عضویت (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)
*	*			امکان انتقال نیمی از اعتبار باقیمانده به سال آینده (در صورت تمدید عضویت)
*				امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس پروژه‌ها و عملکرد محصولات و ...) مشترک با انجمن (پس از ارائه پروپوزال و انجام هماهنگی‌های لازم) در مدت زمان عضویت
*	*	*	*	دریافت گواهی عضویت دوزبانه
*	*	*	*	دریافت پرچم رومیزی انجمن آب و فاضلاب ایران

اعضای محترم حقوقی / حامیان انجمن، می‌توانند از اعتبار خود در یک یا چند مورد از موارد زیر استفاده کنند:

- درج آگهی در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب (تمام صفحه، معادل ۲ میلیون تومان اعتبار و نیم صفحه معادل ۱ میلیون تومان اعتبار)؛
- استفاده از کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی (متناسب با هزینه کارگاه و تعداد شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت از اعتبار کسر می‌شود)؛
- شرکت در همایش‌های انجمن (متناسب با هزینه شرکت در همایش و تعداد شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت از اعتبار کسر می‌شود)؛
- امکان اجاره غرفه نمایشگاهی که هم‌زمان با همایش‌های انجمن برگزار می‌شوند (متناسب با متراژ غرفه از اعتبار کسر می‌شود)؛
- صدور گواهی شرکت در وبینار (صدور هر گواهی برای شرکت‌کنندگان معرفی شده از سوی شرکت معادل ۵۰ هزار تومان اعتبار است)؛
- * لازم به ذکر است که پس از اتمام اعتبار، اعضای محترم حقوقی کماکان می‌توانند مطابق با روال گذشته، از تخفیفات و مزایای عضویت به شرح زیر بهره‌مند شوند.

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

عضو حقیقی	سطح عضویت حقوقی				مزایای عضویت
	برنزی	نقره‌ای	طلایی	الماسی	
٪۲۰	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در کنفرانس‌های انجمن
-	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در نمایشگاه‌های انجمن
٪۲۰	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در دوره‌های آموزشی انجمن
٪۲۰	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف شرکت در کارگاه‌ها و بازدیدهای انجمن
-	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	تخفیف چاپ مقالات در مجلات انجمن
-	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	تخفیف چاپ آگهی در مجلات انجمن

جدول مزایای حامیان (طرح جدید)

مزایای حمایت	سطح حمایت (مبلغ پرداختی)	برنزی (سالانه ۵ میلیون تومان)	نقره‌ای (سالانه ۱۰ میلیون تومان)	طلایی (سالانه ۱۵ میلیون تومان)	الماسی (سالانه ۲۰ میلیون تومان)
دریافت اعتبار یک‌ساله (نحوه استفاده از اعتبار دریافتی، در صفحه قبل شرح داده شد)		سالانه ۲/۵ میلیون تومان	سالانه ۵ میلیون تومان	سالانه ۷/۵ میلیون تومان	سالانه ۱۰ میلیون تومان
درج لوگوی شرکت در نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب و خبرنامه و سایت انجمن (با مشخص بودن سطح حمایت) به مدت یک سال		*	*	*	*
دریافت اشتراک یک ساله نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب به صورت رایگان (۴ شماره) به مدت یک سال		*	*	*	*
درج رایگان آگهی نیم صفحه (با متن دلخواه) در یک شماره نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب				*	*
ارائه ٪۵۰ تخفیف در اجاره غرفه نمایشگاهی هم‌زمان با کنفرانس‌های سالانه انجمن (در صورت داشتن اعتبار، مبلغ اجاره غرفه از اعتبار کسر خواهد شد)				*	*
امکان انتقال نیمی از اعتبار باقیمانده به سال آینده (در صورت تمدید حمایت)				*	*
امکان برگزاری کارگاه و وبینار کاربردی (براساس پروژه‌ها و عملکرد محصولات و ...) مشترک با انجمن (پس از ارائه پروپوزال و انجام هماهنگی‌های لازم)					*
امکان درخواست برگزاری کارگاه یا دوره تخصصی-آموزشی درخواستی		*	*	*	*
دریافت پرچم رومیزی انجمن آب و فاضلاب ایران		*	*	*	*
دریافت گواهی حمایت معادل مبلغ حمایت خالص		*	*	*	*

و در سایت اعلام کند.

❖ فایل‌های لازم

نویسنده مسئول مقاله به‌هنگام ثبت مقاله، فایل‌های زیر را برای دفتر مجله از طریق سامانه ارسال می‌نماید:

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

- فایل تعارض منافع (Conflict of Interests): نامه‌ای است که نویسندگان با مضمون تعهد به رعایت کلیه اصول اخلاق نشر ارسال می‌نمایند (نمونه این نامه در زمان ثبت مقاله در قسمت نامه به سردبیر قابل رویت است).

❖ نرم‌افزار حروف‌چینی: نرم‌افزار Microsoft Word 2013 یا بالاتر

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

❖ نام نویسنده(گان):

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

❖ نام مؤسسه:

نام مؤسسه در بخش فارسی و انگلیسی منطبق بر نام مصوب و

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

توجه به نکات زیر در ارسال مقاله ضروری است:

- ارسال مقاله منحصراً از طریق ثبت‌نام در سامانه الکترونیک مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب انجام می‌شود.
- نویسنده‌ای که برای بار چندم اقدام به ارسال مقاله می‌نماید، حتماً باید از طریق صفحه شخصی قبلی خود نسبت به ارسال مقاله اقدام نموده و به‌هیچ عنوان دوباره در سامانه ثبت نام نکند.
- وارد کردن اسامی و اطلاعات کامل تمامی نویسندگان در سامانه و در محل مربوط به مشخصات نویسندگان مقاله، الزامی است.

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

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

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

❖ دستورالعمل نگارش و تنظیم مقالات:

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

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

❖ انواع مقالات:

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

رایج مؤسسه است (نام رسمی مندرج در سربرگ رسمی مؤسسات، دانشگاه‌ها، سازمان‌ها و ...).

❖ چکیده فارسی:

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

❖ چکیده انگلیسی: باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:

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

❖ متن مقاله:

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

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و همچنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش قدردانی در انتهای مقاله و قبل از بخش مراجع نوشته می‌شود. بخش‌های مختلف متن و همه صفحات و همین‌طور تمام سطرها به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

- معادل انگلیسی کلمات فارسی که نیاز به توضیح به زبان اصلی دارد، وقتی برای اولین بار در مقاله به کار می‌روند، به صورت پی‌نوشت در انتهای مقاله و قبل از فهرست مراجع درج می‌شوند. پی‌ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می‌شود.

❖ جدول‌ها و شکل‌ها:

جدول‌ها و شکل‌ها در محل مناسب بعد از معرفی آن‌ها در متن مقاله در فایل word مقاله با کیفیت مناسب چاپ، ارائه می‌شوند. همه جدول‌ها و شکل‌ها شماره‌گذاری شده و عنوان جدول در بالای آن و عنوان شکل در زیر آن نوشته می‌شود. در عنوان جدول‌ها و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان‌های دبی آب خام در تصفیه خانه بابا شیخ علی شهر اصفهان در سال ۱۳۹۵. در ضمن اگر شکل یا جدولی از مرجع دیگری اخذ شده است، به

مرجع موردنظر در آخر عنوان جدول یا شکل اشاره می‌شود و مشخصات مأخذ در بخش مراجع درج می‌شود. همچنین ارسال فایل اصلی شکل‌ها در محیط نرم‌افزاری به همراه کاربرگ داده‌های نمودار نیز ضروری است. در فایل pdf مقاله، تمامی شکل‌ها و جدول‌ها در محل خودشان در متن مقاله جانمایی می‌شوند.

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

- در مورد نمودارهایی که با نرم‌افزارهای تخصصی تهیه شده‌اند، ارسال کاربرگ داده‌های رسم نمودار نیز ضروری است.

❖ معادلات:

معادلات به صورت خوانا با حروف و علائم مناسب با استفاده از Microsoft Equation تهیه می‌شوند. واحدها برحسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند. تمام پارامترهای هر معادله باید بلافاصله در زیر آن معرفی شوند.

❖ مراجع:

در داخل متن: نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در متن مقاله به منظور اشاره به مرجع به صورت (نویسنده، سال) عمل می‌شود. ارجاع در داخل متن به بیش از یک مرجع در کنار هم، به این صورت است که مراجع با نقطه ویرگول (;) از هم جدا می‌شوند. فقط مراجعی که در متن مقاله به آن‌ها اشاره شده است، در بخش مراجع آورده می‌شوند. در متن مقاله نام نویسندگان مراجع فارسی (به صورت فارسی) و مراجع انگلیسی (به صورت انگلیسی) نوشته می‌شود. در صورتی که نویسندگان تا دو نفر باشند، نام هر دو نویسنده و در صورتی که بیش از دو نفر باشند، از عبارت (و همکاران) یا (et al.) در متن مقاله استفاده می‌شود.

در فهرست مراجع: نگارش مراجع در این مجله براساس شیوه مرجع‌نویسی هاروارد است. در انتهای مقاله مرجع‌نویسی به صورت الفبایی است. تاکید می‌شود که در بخش فهرست مراجع، نام مجله، انتشارات، مؤسسه، کنفرانس و غیره به صورت کامل درج می‌شود و از به کار بردن نام اختصاری آن‌ها (Abbreviation) خودداری شود.

تذکر: لازم است در انتهای اطلاعات هر مرجع در لیست مراجع، doi مقاله در صورت وجود درج شود.

در نگارش انواع مراجع از فرمت زیر استفاده شود:

• مقاله فارسی:

تابش، م.، بهبودیان، ص.، و بیگی، س.، (۱۳۹۳)، "پیش‌بینی بلندمدت تقاضای آب شرب (مطالعه موردی: شهر نیشابور)"،

تحقیقات منابع آب/ ایران، ۱۰(۳)، ۱۴-۲۵.

عنبری، م.، (۱۳۹۲)، "تحلیل ریسک سیستم‌های فاضلاب با استفاده از شبکه‌های بیزین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد

انجمن آب و فاضلاب ایران در بانک تجارت شعبه اردیبهشت (کد ۱۸۶) واریز و فیش آن را به همراه فایل های مقاله در سایت نشریه بارگزاری کنند.

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, <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2011-8>.

• مقاله منتشر نشده:

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

• کتاب:

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

• بخشی از کتاب:

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

• موسسه به جای نویسنده:

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

• مقالات کنفرانسی:

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

• پایان نامه:

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

• سایت اینترنتی:

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

❖ تذکر مهم:

با توجه به افزایش شدید هزینه های پردازش و انتشار نشریه در سال های اخیر، براساس مصوبه هیئت تحریریه و تایید هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران، کلیه مقالاتی که از ابتدای سال ۱۴۰۲ به مجله ارسال می شود باید مبلغ دو میلیون و پانصد هزار ریال برای هزینه پردازش اولیه و مبلغ سه میلیون ریال برای هزینه انتشار به شماره کارت: ۳۱۰۱-۰۹۹۰-۸۳۷۰-۵۸۵۹ به نام

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 8, No. 2, Summer 2023

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: Haghighi, A. (Ph.D.)

Editorial Board:

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



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

Amini, H. (Ph.D.): Deputy of Supervising on the Operation, Iran National Water and Wastewater
Engineering Company (INWWEC)
Ghane, A.A. (M.Sc.): The head of the Coordination Center of Water and Wastewater Knowledge, Industry,
Market, Scientific Vice Presidency
Ghannadi, M. (M.Sc.): Advisor of Deputy of Engineering and Development, INWWEC
Honari, H. (M.Sc.): Retired Faculty Member, Tehran University of Medical Science
Salamat, A. (Ph.D.): Deputy of Human Resources and Improving of the Management, INWWEC

Editorial Staff:
Graphic Designer:
Page Setting:
English Editor:
Publisher:
Address:
Tel:
Fax:
Print ISSN:
Online ISSN:
E-Mail:

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 8, No. 2, Summer 2023

Preface (Accelerating Changes to Solve Water and Sewage Crises, on the Occasion of Naming the World Water Day in 2023)	2
Majid Ghannadi	

Papers

Simultaneous Analysis of Monthly Water Consumption, Air Temperature and Water Supply Network Pressure Using Copula Functions, Case Study: Zone No. One of Isfahan City	4
Mohammadhossein Keykhosravi, Hamid R. Safavi, Mohammad H. Golmohammadi and Mohammad Haytham Klaho	

Simultaneous Analysis of Monthly Water Clustering Shiraz Water Subscribers Based on the Value of Their Life Cycle and RFM Model	16
Azime Mozafari and Razie Ranjbar	

The Study of Nitrate Removal from Raw Sewage of Tehran City by Walnut Tree Sawdust using the Surface Absorption Method	25
Vahid Azizkhani, Mehdi Soltani and Mohammad Samipour Giri	

Regional Tilt Study of Trees and Structures Due to Soil Settlement of Broken Pipe of Water Distribution Network in Tehran	37
Nozar Nozary, Reza Mastouri and Seyed Mohammad Mirhosseini	

Feasibility of Reusing Water Treatment Plant Sludge in Treating the Sludge from a Wastewater Treatment Plant	47
Mohammad Javad Kazemi and Gagik Badalians Gholikandi	

The Issue of Water and the Formation of Socio-Political Balance in the Development of Iranian Society (Case Study: Water Management System in Zayandeh-Rud Basin)	56
Mehrdad Tohidi, Taghi Azad Armaki, Mohamad Tavakol, Hamidreza Jalacipour and Ali Bagheri	

General Section

Interview (Dr. Taleb Bidakhti)	66
Round-Table (Expert meeting on the resilience of water and sewage systems, looking at the experience of Hamadan and Shahrekord)	68
Best Thesis	79
Best Idea	83
Book Presentation	86
IWWA News	87