



ISSN 2588-3941

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال پنجم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

نشریه علمی

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال پنجم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

انجمن آب و فاضلاب ایران

پیشگفتار

مقالات علمی

- ۲
- ۴ مروری کوتاه بر وضعیت «پژوهش» و «نوآوری» در ایران، با تاکید بر بخش آب: ضرورت تغییر رویکردها
مجتبی شفیعی، میثم مجیدی خلیل آباد، محمد غارثی فرد، ثمانه توکلی امینیان و فریبا قنبری
- ۱۴ بررسی قابلیت کاهش سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای
جاجرم با استفاده از دو نوع نانو آلومینا
عماد گرمه، میثاق قمری و عوض وردی گوکلانی
- ۲۱ ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق، ارائه مدل‌های بهینه براساس رگرسیون خطی چند متغیره
در اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل سرد
احمد رضا کریمی پور و گل‌نوش بنی‌طالبی
- ۳۹ تهیه مدل هیدرولیکی و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب (مطالعه موردی: شهر اشنویه)
اکبر شیرزاد، محرم حیدرزاده و میرعلی محمدی
- ۴۸ ارزیابی هزینه‌ای مدل‌های فرا ابتکاری مورد استفاده در طراحی شبکه توزیع آب شهری
مبین افتخاری و محمد اکبری
- ۵۷ به‌کارگیری جاذب سبوس برنج در حذف فورفورال از آب‌های آلوده در مقایسه با کربن فعال
سمیرا سلطانی، مهرداد فرهادیان و نیلا داوری

مطالب عمومی

- ۶۴ مصاحبه
- ۶۸ میزگرد
- ۸۱ پایان‌نامه برتر
- ۸۴ ایده برتر
- ۸۵ معرفی کتاب
- ۸۷ گزارش فعالیت‌های انجمن

علوم و مهندسی آب و فاضلاب

سال ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹

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.

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

انجمن آب و فاضلاب ایران

دکتر مسعود تابش

دکتر حمیدرضا صفوی

اعضای

هیئت تحریریه

دکتر مسعود تابش: استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

دکتر علی ترابیان: استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

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

دکتر 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 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

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

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

دکتر سارا نظیف: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

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

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

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

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



شورای سیاستگذاری

صنعت آب و فاضلاب

کارشناس اجرایی:

طراح و صفحه آرا:

ناشر:

شمارگان:

آدرس:

تلفن:

نمبر:

شاپا چاپی:

شاپا الکترونیکی:

ایمیل:

چاپ:

ناهید اختری

مهندس سید احمدرضا شاهنگیان، ناهید اختری

انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۰۰ نسخه

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

۰۲۱-۸۸۹۵۶۰۹۷

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

2588-3941

2588-396X

info@jwwse.ir

فرشیوه

پیشگفتار..... ۲

مقالات علمی

مروری کوتاه بر وضعیت «پژوهش» و «نوآوری» در ایران، با تاکید بر بخش آب: ضرورت تغییر رویکردها..... ۴
مجتبی شفیع، میثم مجیدی خلیل آباد، محمد غارثی فرد، ثمانه توکلی امینیان و فریبا قنبری

بررسی قابلیت کاهش سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور از آب مورد استفاده..... ۱۴
در کارخانه آلومینای جاجرم با استفاده از دو نوع نانو آلومینا
عماد گرمه، میثاق قمری و عوض وردی گوکلانی

ارزیابی روش های مختلف بر آورد تبخیر و تعرق، ارائه مدل های بهینه..... ۲۱
براساس رگرسیون خطی چند متغیره در اقلیم های نیمه مرطوب معتدل سرد
احمد رضا کریمی پور و گل نوش بنی طالبی

تهیه مدل هیدرولیکی و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع آب (مطالعه موردی: شهر اشنویه)..... ۳۹
اکبر شیرزاد، محرم حیدرزاده و میرعلی محمدی

ارزیابی هزینه های مدل های فرا ابتکاری مورد استفاده در طراحی شبکه توزیع آب شهری..... ۴۸
مبین افتخاری و محمد اکبری

به کارگیری جاذب سیوس برنج در حذف فورفورال از آب های آلوده در مقایسه با کربن فعال..... ۵۷
سمیرا سلطانی، مهرداد فرهادیان و نیلا داوری

مطالب عمومی

مصاحبه..... ۶۴

میزگرد..... ۶۸

پایان نامه برتر..... ۸۱

ایده برتر..... ۸۴

معرفی کتاب..... ۸۵

گزارش فعالیت های انجمن..... ۸۷



مشکلات پیش‌رو در شبکه‌های توزیع آب کشور



مهندس حمیدرضا هنری

عضو هیئت علمی بازنشسته گروه مهندسی بهداشت محیط،
دانشگاه علوم پزشکی تهران، مشاور سابق شرکت‌های آب
منطقه‌ای و آب و فاضلاب استان تهران و مهندسین مشاور
آبران

بحران آب و خشک‌سالی ناشی از تغییرات اقلیمی افزون بر نیازهای ناشی از رشد و توسعه سریع جوامع، علت اصلی مشکلات و مسائل مربوط به آب در مناطق مختلف دنیا است. بسیاری از کشورهای در حال توسعه با رشد سریع جمعیت و توسعه شهر و روستاها و مسائل و چالش‌های پیش‌روی آن مواجه هستند و با ضرورت جایگزینی ساختارهای قدیمی و فرسوده برای تامین نیازهای فعلی و آینده خود به‌خوبی برخورد کرده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد و تاکید می‌کند که برای توسعه ساختارهای توزیع آب نیاز به افزایش سرمایه‌گذاری در این زمینه است. از طرفی در دنیا و به‌خصوص در طول دهه گذشته در مسائل بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات آبی رخدادهای مهمی ایجاد شده و حساسیت روی بهره‌برداری و نگهداری ساختارهای موجود و ساختارهایی که جدیداً احداث شده به‌طور جدی دنبال می‌شود، زیرا در اثر کم‌توجهی و عدم سرمایه‌گذاری لازم روی آن منجر به بروز مشکلات و ضعف در سرویس‌دهی به مشترکین می‌شود که در نهایت پیامدهای آن باعث تهدید سلامت جامعه و بروز تنش‌های اجتماعی خواهد بود.

در ایران آنچه که مسلم است تاکنون توجه مدیریت کلان عمدتاً به سرمایه‌گذاری در خصوص اقدامات سازه‌ای احداث تاسیسات تامین، انتقال، تصفیه، ذخیره‌سازی و توزیع آب به‌دلیل نمایش ظاهری و رخداد برون‌ی ملموس، بیشتر معطوف بوده است تا سرمایه‌گذاری روی بهره‌برداری و نگهداری از ساختارهای موجود. در حالی‌که بهره‌برداری و نگهداری صحیح از تاسیسات به‌خصوص شبکه‌های توزیع آب سبب جلوگیری از افزایش تلفات و هدررفت سرمایه ملی و بروز خطرات بهداشتی برای مشترکین خواهد شد.

از طرفی سرمایه‌گذاری مناسب یکی از فاکتورهای مهم در احداث تاسیسات آبی به‌خصوص شبکه توزیع است که سبب کاهش هزینه‌ها در بهره‌برداری و نگهداری است، به‌نحوی که اگر در مطالعه و اجرای طرح‌ها از بهترین اقدامات مهندسی و بالاترین کیفیت لوازم، اجناس و تجهیزات در طرح استفاده شود، علی‌رغم افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌هایی که باید در آینده برای بهره‌برداری و نگهداری صرف شود، به‌شدت کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی قابلیت اطمینان و پایداری یک شبکه توزیع وابسته به یکپارچگی سه نوع خصوصیت فیزیکی، هیدرولیکی و کیفی آب است که ارتباط بین شبکه توزیع و محیط خارج (فیزیکی)، ارتباط بین جریان آب با فشار مناسب برای رسانیدن آب کافی به مشترکین (هیدرولیکی) و کیفیت مناسب و سلامت آب و حفظ امنیت آن دارد. این سه ویژگی مستقل از هم هستند، اما روی یکدیگر اثر می‌گذارند. به‌عنوان مثال فقدان استحکام فیزیکی به‌دلیل ایجاد ترک در لوله‌ها موجب کاهش بازده هیدرولیکی شبکه و همین‌طور کاهش کیفیت آب به‌دلیل احتمال ورود آلاینده از طریق ترک‌ها به‌داخل لوله‌ها خواهد بود.

طبق آمار اعلام شده از طرف وزارت نیرو و شرکت‌های تابعه آن تا سال ۱۳۹۹ کل طول شبکه‌های توزیع آب شهری از مرز ۱۶۰ هزار کیلومتر و طول شبکه‌های توزیع آب در مناطق روستایی از ۱۸۴ هزار کیلومتر عبور کرده است. بنابر اعلام معاونت راهبری و نظارت بر بهره‌برداری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور حدود ۲۵ الی ۳۰ درصد شبکه توزیع آب فرسوده و سن شبکه‌ها بیش از ۲۵ سال است. بدین‌ترتیب طول کلی خطوط لوله شبکه توزیع آب فرسوده در بخش شهری حدود ۴۰ هزار کیلومتر و در بخش روستایی حدود ۵۰ هزار کیلومتر است. این درحالی است که سالانه و به‌تدریج با توجه به سپری‌شدن عمر مفید شبکه‌های توزیع آب به این طول اضافه می‌شود. از طرفی توان مالی شرکت‌ها برای اصلاح و بازسازی شبکه‌ها سالانه حدود ۲ الی ۳ هزار کیلومتر است. بر این اساس با توجه به شرایط موجود و کاهش اعتبارات، در شرایط کم‌آبی و در آینده‌ای نه چندان دور با چالش بزرگی مواجه خواهیم بود که تبعات آن منجر به خسارات بسیاری به سلامت جامعه و ایجاد نارضایتی برای مشترکین خواهد شد. بنابراین یکی از چالش‌های پیش‌روی شرکت‌های آب و فاضلاب علاوه بر مشکلات مالی ناشی از واقعی نبودن قیمت آب‌بها، عمدتاً ناشی از قدمت بالای شبکه توزیع و شرایط نامناسب آن و مشکلات مربوط به تاسیسات و زیرساخت‌ها است.

از چالش‌های دیگر ساختاری در شبکه‌های توزیع آب کشور عدم مدیریت فشار و مدیریت جریان است. به‌عنوان مثال در

کلان‌شهری مانند شهر تهران به دلیل ایجاد زیرساختی درست و منطقی در تاسیسات آبرسانی و شبکه‌های توزیع و علی‌رغم هجوم جمعیت به پایتخت، به خوبی تاکنون توانسته جمعیت بیش از ۱۳ میلیونی را جوابگو باشد. برای پی‌بردن به این موضوع لازم است اشاره‌ای مختصر به تاریخچه احداث لوله‌کشی آب شهر تهران شود. اولین مناقصه برای لوله‌کشی آب تهران منجر به برنده شدن یک شرکت خارجی به نام مشاور سر الکساندر گیپ با سابقه بیش از ۱۵۰ سال در این زمینه شد و در سال ۱۳۲۶ اولین کلنگ اجرای لوله‌کشی آب تهران به زمین زده شد. بعدها از سال ۱۳۵۹ به بعد با هجوم و رشد سریع جمعیت در شهر تهران روند توسعه تاسیسات مختلف و به خصوص شبکه توزیع براساس ضوابط، خط‌مشی، چارچوب و ساختاری که مشاور مذکور برای ایجاد پایداری و قابلیت اطمینان (یکپارچگی سه خصوصیت مورد اشاره)، در تاسیسات آبی تعیین کرده بود ادامه یافت و علی‌رغم وجود اختلاف ارتفاع بیش از ۷۰۰ متر در سطح دشت شهر تهران تاکنون با آبرسانی و احداث بیش از ۷۲ مخزن در نقاط مختلف شهر با ترازهای ارتفاعی مختلف که در مدار بهره‌برداری قرار دارند عهده‌دار تامین فشار ثابت و یکنواختی برای شبکه توزیع هستند. به منظور پرهیز از بالا رفتن فشار در شبکه تحت پوشش هر مخزن زون بندی شده و در مرز بین زون‌ها نیز ارتباط شبکه از طریق فشارشکن‌ها و با قطع ارتباط بین زون‌های بالادستی و پائین‌دستی انجام شده است.

این موضوع توسط نگارنده در مطالعه روی سایر کلان‌شهرها و شهرها طی سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. علی‌رغم وجود تاسیسات ذخیره‌سازی و سایر امکانات به‌ندرت مشاهده شده که زون‌بندی و ایزوله‌سازی شبکه توزیع تحت پوشش مخازن برای توزیع یکنواخت فشار آب در شبکه‌ها صورت گرفته باشد، بلکه در هر کجا که مشکلاتی در شبکه توزیع به وجود آمده و امکانات تامین آب از منابع زیرزمینی فراهم بوده، با حفر چاه‌ها و پمپاژ مستقیم به داخل شبکه توزیع رفع مشکل شده است. یا در بسیاری از شهرها و روستاها مشترکین خود اقدام به تامین فشار با پمپاژ مستقیم از انشعاب و گذاشتن تانکر نموده‌اند، که همین موضوع در کنار فرسودگی شبکه باعث هم‌افزایی در ایجاد و بالا رفتن آمار حوادث و تلفات واقعی و ایجاد نارسایی در توزیع و تامین آب می‌شود.

از آنجایی که طبق آمار اعلام‌شده از سوی وزارت نیرو ظرفیت آبرسانی به شهرها و روستاها و صنایع سالانه حدود ۱۱ میلیارد مترمکعب برآورد شده است، تلفات واقعی آب در تاسیسات آب و به خصوص شبکه‌های توزیع (با کسر تلفات اقتصادی) به عنوان یک پتانسیل با ظرفیت حدود ۲ میلیارد مترمکعبی برای تامین آب محسوب می‌شود. زیرا حجم قابل‌توجهی از این طریق هدررفته است که باید جایگزین شود. ضروری است برای مدیریت این منبع

تامین آب قابل‌دسترس با رعایت سود و زیان اقتصادی از شیوه‌نامه‌ها، تجهیزات و وسایل پیشرفته و استراتژی‌های مختلف در بهره‌برداری و نگهداری استفاده شود.

برای عبور از این شرایط و با توجه به کمبود اعتبارات لازم در بخش بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های توزیع لازم است ساختارهای قانونی و مهندسی برای برون‌سپاری فعالیت‌ها با استفاده از قراردادهای مبتنی بر عملکرد (قراردادهای عملکردمبنا برای کاهش آب بدون درآمد) نیز فراهم شود که می‌تواند راه‌حلی مناسب برای شرکت‌ها در کنار واحدهای بهره‌برداری و نگهداری باشد تا ضمن ایجاد اشتغال به خصوص جذب نیروهای تحصیلکرده در جهت حرکت به سمت ایجاد بانک اطلاعاتی نسبتاً دقیقی در مورد تاسیسات شبکه و انشعابات، ارزشیابی وضعیت موجود، ایجاد زون‌های فشاری برای استقرار مدیریت فشار، کنترل و کاهش موارد مرتبط با آب بدون درآمد، استقرار سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و استفاده از تجهیزات برای هوشمندسازی شبکه توزیع باشد. مدیریت هوشمند و موثر شبکه‌های توزیع یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریتی است که با استفاده از تجهیزات پیشرفته و استراتژی‌های لازم برای تحلیل، پایش، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری صحیح از شبکه‌های توزیع صورت می‌گیرد. در چنین شرایطی استفاده از فناوری ارتباطات و اطلاعات که در سطح کشور به سهولت قابل‌دسترسی است، در بخش آب فرصت‌های جدیدی برای مدیریت شبکه‌های توزیع آب فراهم می‌آورد و چشم‌انداز جدیدی را برای مدیریت شبکه‌ها ایجاد می‌کند.

Review Paper

مقاله مروری

An Overview on Research and Innovation in Water Sector of Iran: the Necessity of Paradigm Shifts

Mojtaba Shafiei^{1*}, Maysam Majidi Khalilabad²,
Mohammad Gharesifard³, Samaneh Tavakoli
Aminian⁴ and Fariba Ghanbari⁵

1- Assistance Professor, East Water and Environmental Research Institute (EWERI), Mashhad, Iran.

2- Assistance Professor, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

3- Researcher, IHE Delft Institute for Water Education, Integrated Water Systems and Governance Department, Delft, The Netherlands.

4- Research Group Director, Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran.

5- Research Officer, Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran.

* Corresponding author, Email: moj.shafiei@gmail.com

Received: 26/07/2019

Revised: 02/05/2020

Accepted: 16/05/2020

مروری کوتاه بر وضعیت «پژوهش» و «نوآوری» در ایران، با تاکید بر بخش آب: ضرورت تغییر رویکردها

مجتبی شفیعی^{۱*}، میثم مجیدی خلیل آباد^۲، محمد غارثی فرد^۳،

ثمانه توکلی امینیان^۴ و فریبا قنبری^۵

۱- استادیار پژوهش، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI)، مشهد، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.

۳- پژوهشگر، گروه سیستم‌های یکپارچه آبی و حکمرانی آب، موسسه IHE Delft، دلفت، هلند.

۴- رئیس گروه تحقیقات و فناوری، شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد، ایران.

۵- کارشناس گروه تحقیقات و فناوری، شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: moj.Shafiei@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

Abstract

چکیده

As illustrated by World Economic Forum, the developed and developing countries are differentiated by the relevance of their economy to Innovation. Innovation is the engagement of many different individual and institutional actors and one of its key elements, is research. Global index confirmed that Iran is not high ranked with regards to innovation and the country showed its most success in presenting scientific papers. Although in the field of water there are some significant enhancements but the activities have not played an effective contribution in solving the existing challenges. This review note is reporting the importance of research and innovation in water management studies as well as the role of Iranian Innovation System in the same. The two main challenges which are addressed in this study are the weakness of institutional frameworks and the low efficiency of research actors/stakeholders. Results also showed that although there are many different high-level documents in this context in Iran, most of strategies and processes of research organizations or the influential stakeholders are not coinciding such documents and need revision. Furthermore, one of the key solutions for improving the research and innovation effectiveness is the relationship and engagement between the three elements of the national innovation system (i.e. universities, industries and government) such that the mobility of people among these elements would help to increase knowledge, skills, experiences and the “tacit knowledge” in form of a horizontal open engagement.

Keywords: Tacit knowledge, Research network, Sustainable development, Innovation, High-level documents.

بر اساس گزارش مجمع جهانی اقتصاد وجه تمایز کشورهای توسعه یافته با کشورهای در حال توسعه مبتنی بودن اقتصاد آنها بر نوآوری است. پژوهش یکی از مولفه‌های فرآیند نوآوری به‌شمار می‌رود و نوآوری نتیجه تعاملات فراوان و فزاینده بین نهادهای مختلف است. شاخص‌های جهانی نشان می‌دهد که در حوزه نوآوری، ایران رتبه قابل قبولی ندارد و تنها در حوزه تولید علم (تولید مقاله) موفقیت‌هایی داشته است. در همین راستا در بخش آب نیز دستاوردهای اندکی در زمینه پژوهش و نوآوری وجود دارد و این فعالیت‌ها نقش کمی در رفع نیازهای واقعی جامعه داشته‌اند. متن مروری حاضر به ارائه گزاره‌های مختلف در مورد اهمیت، ارتباط و نقش پژوهش در توسعه و نظام ملی نوآوری، به‌همراه ارائه چالش‌ها و ظرفیت‌های موجود در ارتقای پژوهش و نوآوری با تاکید بر بخش آب پرداخته است. در این نوشتار دو چالش کلان شامل ضعف چارچوب نهادی و ضعف عملکردی بازیگران عرصه پژوهش با توجه به مفهوم نظام نوآوری و بررسی تجارب موجود ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در زمینه اثرگذاری و اشاعه پژوهش در کشور و در وزارت نیرو، اسناد بالادستی متعدد و مهمی وجود دارند که باید راهبردها و فرآیندهای سازمان‌های ذی‌مدخل در راستای آنها تعریف و یا اصلاح شوند. همچنین از مهم‌ترین راه کارهای ارتقای فعالیت‌های پژوهش و نوآوری توجه به ساختار ارتباط اجزای سه‌گانه نظام نوآوری (شامل دانشگاه، صنعت و دولت) و تعامل آنها است. به‌طوری‌که گردش افراد بین سه جز مذکور بسیار اهمیت دارد، زیرا افراد با خود دانش و مهارت و به‌طور کلی دانش ضمنی را منتقل می‌کنند.

کلمات کلیدی: دانش ضمنی، شبکه پژوهش، توسعه پایدار، نوآوری، اسناد بالادستی

در پژوهش و توسعه رتبه ۸۱ و به لحاظ کاربرد اختراعات ثبت شده، رتبه ۱۰۰ گزارش شده است. همان طور که مشاهده می شود بهترین رتبه ایران مرتبط با کیفیت موسسات تحقیقاتی و تولید مقالات به ترتیب رتبه ۱۶ و ۴۲ است. در سایر موارد نیز وضعیت خوبی به چشم نمی خورد (Schwab, 2018). هر چند براساس گزارش موجود رتبه ایران در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال های گذشته اندکی ارتقا یافته است، اما واقعیت این است که رتبه ایران از میانگین رتبه های کشورهای آسیای میانه همچنان کمتر است و کشور ایران در شاخص های توسعه مبتنی بر نوآوری در جایگاه مناسبی قرار ندارد. بنابراین تغییر رویکردها و اتخاذ سیاست های مناسب در این زمینه ضروری است. علاوه بر این به عقیده نگارندگان و براساس واقعیت های موجود، این جایگاه در حوزه آب و محیط زیست به مراتب پایین تر نیز هست. بنابراین توجه جدی به زمینه های فوق مورد نیاز است.

پژوهش یا تحقیقات از مهم ترین عوامل تاثیرگذار بر توسعه اقتصادی ملت ها و دولت ها است. براساس گزارش شاخص رقابت پذیری مجمع جهانی اقتصاد مراحل سه گانه توسعه اقتصادی عبارتند از مرحله اول: اقتصاد مبتنی بر عوامل تولید و منابع، مرحله دوم: اقتصاد مبتنی بر تقویت کارایی و مرحله سوم: اقتصاد مبتنی بر نوآوری (Schwab, 2018). مهم ترین ارکان مرحله سوم توسعه، مرتبط با حوزه پژوهش و نوآوری است. در جدیدترین گزارش این مجمع (سال ۲۰۱۸) در مرحله سوم توسعه (رکن نوآوری)، از بین ۱۴۰ کشور رتبه ایران ۶۵ گزارش شده است. شکل ۱ تمامی زیرشاخص های مرتبط با رکن نوآوری (رکن شماره ۱۲) را نشان می دهد. با توجه به شکل رتبه کشور در زیرشاخص های رکن نوآوری در محور اختراعات مشترک بین المللی ۹۱، مشارکت های چند ذی نفعی^۱ ۱۱۴، به لحاظ هزینه ها

Index Component	Value	Score	Rank/140
 Pillar 12: Innovation capability 0-100 (best)	-	37.6 ↑	65
12.01 Diversity of workforce 1-7 (best)	3.7	44.2 ↓	125
12.02 State of cluster development 1-7 (best)	3.6	43.9 ↓	82
12.03 International co-inventions applications/million pop.	0.06	1.9 ↓	91
12.04 Multi-stakeholder collaboration 1-7 (best)	3.1	34.9 ↓	114
12.05 Scientific publications H Index	241.7	81.3 ↑	42
12.06 Patent applications applications/million pop.	0.08	1.4 ↓	100
12.07 R&D expenditures % GDP	0.3	10.8 =	81
12.08 Quality of research institutions index	0.17	44.2 ↑	16
12.09 Buyer sophistication 1-7 (best)	3.6	43.3 ↓	56
12.10 Trademark applications applications/million pop.	675.69	70.1 ↑	59

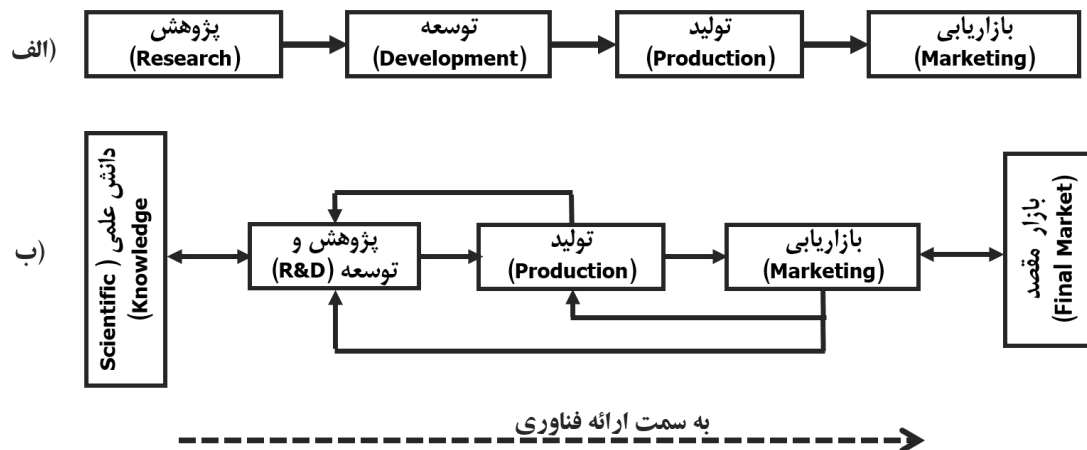
شکل ۱- برشی از زیرشاخص های رکن ۱۲ (نوآوری) در گزارش شاخص رقابت پذیری سال ۲۰۱۸ (Schwab, 2018)

سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۴ (OECD) در کتابچه معروف به راهنمای اسلو^۵ ویرایش سوم آن (OECD, 2005)، نوآوری را به صورت ذیل تعریف نموده است: «نوآوری، پیاده سازی یک محصول جدید یا به طور قابل ملاحظه ای بهبود یافته (کالا یا خدمت)، فرایندی جدید، روشی جدید در بازاریابی، روش سازمانی جدید در شیوه های کسب و کار، سازمان محل کار یا روابط خارجی است». پژوهش یا تحقیق به عنوان یکی از مهم ترین ساختارها و مراحل فرایند نوآوری به شمار می رود. فرایند نوآوری شامل مراحل پژوهش، توسعه، تولید و بازاریابی معرفی شده (شکل ۲) و اثبات شده است که فرایند مذکور غیرخطی است. در مفهوم خطی بودن فرایند نوآوری، این فرایند باید با پژوهش شروع شود اما در مفهوم غیرخطی فرایند نوآوری پژوهش می تواند در تمامی ساختارها و مراحل فرایند اثرگذار باشد. بنابراین پژوهش به تنهایی بخش کوچکی از فرایند نوآوری

تعاریف و دیدگاه های مختلفی در ارتباط با «نوآوری» وجود دارد. به طور کلی نوآوری عبارت از به کارگیری ایده های جدید است. خلاقیت^۳ و نوآوری از مواردی هستند که اغلب با یکدیگر به اشتباه مترادف فرض شده و یا به جای یکدیگر استفاده می شوند، درحالی که تفاوت های زیادی میان آن ها است. خلاقیت به زبان ساده یعنی تولید یک اندیشه و فکر نو و یا حتی نگاهی کنجکاوانه به پدیده ای قدیمی، درحالی که نوآوری عملی ساختن آن اندیشه و فکر است. توانایی خلق ایده های جدید (خلاقیت)، به طور بالقوه در همه انسان ها (با شدت و ضعف متفاوت) نهاده شده و به فعل درآوردن این توانایی، نیازمند زمینه مناسب، محرک ها و عوامل خاص است. از این دیدگاه، نوآوری امری خودبه خودی و اتفاقی نیست، بلکه فرایندی است پیچیده که نیازمند الزامات گوناگون است و در ابعادی گسترده در اقتصاد و اجتماع اثر می گذارد (شفیعی و مجیدی، ۱۳۹۷؛ ثابت تیموری و همکاران، ۱۳۹۴).

است و همچنین می‌تواند ورودی این فرآیند به‌شمار رود. همچنین قابل‌ذکر است که مفهوم «فناوری»^۶ که گاهی ممکن است به نادرستی به‌جای نوآوری استفاده شود، به معنی دانش و فن مرتبط

با فعالیت‌های تولید و عرضه خدمات است (McAdam et al., 2002). بنابراین، فناوری بخشی از خروجی فرآیند نوآوری به‌شمار می‌رود.



شکل ۲- فرآیند نوآوری خطی؛ الف) با نمونه‌ای از فرآیند نوآوری غیر خطی؛ ب) و ارتباط آن‌ها با فناوری

پژوهش کشور به‌همراه تغییر رویکردها و در نهایت راه‌کارهایی مبتنی بر ظرفیت‌ها و بسترهای موجود را ارائه می‌نماید.

۲- چالش‌ها و ضعف‌های «پژوهش» کشور

یکی از معتبرترین گزارش‌های بررسی وضعیت پژوهش و فناوری کشور، گزارش سازمان کنفرانس توسعه و تجارت سازمان ملل^۸ (UNCTAD) است که وضعیت علم، فناوری و نوآوری ایران را برای دومین بار در یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵) بررسی کرده است. در این گزارش تاکید شده که ایران دو موج توسعه آموزش عالی و موج توسعه پژوهش و فناوری (به لحاظ زیرساختی) را پشت سر گذاشته است و اکنون در ابتدای موج سوم یعنی نوآوری قرار دارد. از نظر مقایسه سه زمینه علم، فناوری و نوآوری، ایران عملکرد خوبی در علم و فناوری دارد اما در بحث نوآوری (به‌عنوان مهم‌ترین لازمه توسعه اقتصادی) وضعیت نامناسبی دارد (UNCTAD, 2016). از آنجایی که پژوهش و تحقیق و توسعه از مهم‌ترین ارکان فرآیند نوآوری است، این گزارش مهم‌ترین ضعف‌های پژوهش و نوآوری کشور را موارد ذیل برشمرده است:

- عدم ایجاد ظرفیت برای سرمایه‌گذاری خارجی در پژوهش و فناوری؛
- عدم استفاده از ظرفیت‌های بخش خصوصی و پتانسیل سرمایه‌های انسانی؛
- عملکرد محور نبودن بودجه‌های پژوهشی.

در حوزه پژوهش و فناوری، چالش‌ها و ضعف‌های متعددی وجود دارد و این موضوع در مراجع مختلف مورد بحث قرار گرفته است (عرب‌مازار و همکاران، ۱۳۸۸). با این حال، در این مقاله و با

نوآوری نتیجه تعاملات فراوان و فزاینده بین فعالان و نهادهای مختلفی است که تابعی از ویژگی‌های هر سرزمین است و از آن به‌عنوان «نظام ملی نوآوری»^۹ (NIS) نام برده‌اند. در واقع، به بیانی ساده‌تر NIS شامل سازمان‌ها (عناصر یا بازیگران)، پیوند بین آن‌ها و یک محیط نهادی یا ساختار حکومتی است. مهم‌ترین بازیگران در نظام ملی نوآوری شامل دولت، صنعت و دانشگاه (شامل مراکز پژوهشی) هستند و حاصل تعاملات آن‌ها تولید دانش، مهارت‌ها و خلاقیت‌هایی است که منجر به فناوری‌های جدید می‌شوند (OECD, 1999). سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، هفت کارکرد اصلی برای نظام ملی نوآوری ذکر کرده است که مشتمل بر موارد: ۱- سیاست‌گذاری و راهبری، ۲- تسهیل، هدایت و تامین مالی فعالیت‌های پژوهش و توسعه، ۳- انجام فعالیت‌های پژوهش و توسعه، ۴- توسعه و ارتقای منابع انسانی، ۵- انتشار و اشاعه فناوری، ۶- ارتقای کارآفرینی مبتنی بر فناوری، ۷- تولید کالاها و ارائه خدمات، است.

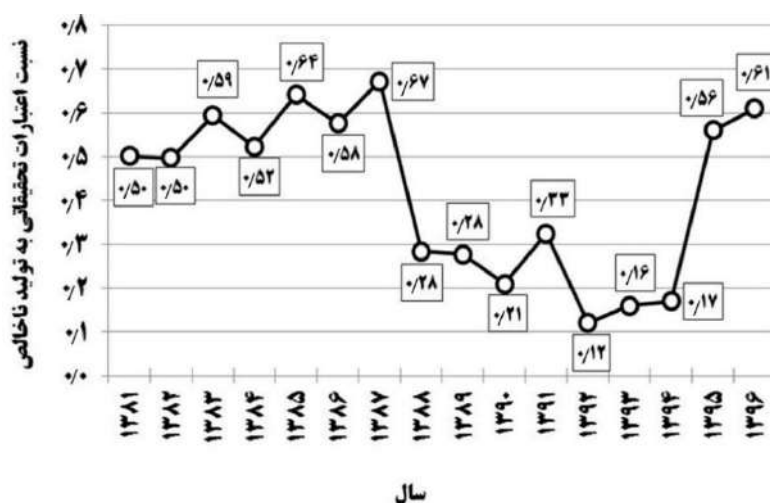
تجارب جهانی نشان می‌دهد، کشورهایی که در زمینه پژوهش و نوآوری، بیشترین سرمایه‌گذاری‌ها را انجام داده‌اند، آن‌هایی هستند که اکنون صاحب فناوری و صنایع پیشرفته هستند. هرچند کشور ما در حوزه تولید علم (تولید مقاله) پیشرفت‌های نسبی خوبی داشته است. اما عملکرد بخش پژوهش و نوآوری تنها توسط تولید مقالات سنجیده نمی‌شود و بخش مهمی از آن متوجه مسائل اقتصادی، ساختار و تعاملات نظام نوآوری در هر کشور است. از طرف دیگر مشهود است که بخش پژوهش در حوزه آب و محیط‌زیست کشور سهم بسیار اندکی در رفع نیازهای جامعه داشته است. همچنین پژوهش مبنای بخش عمده‌ای از سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری‌ها در این حوزه‌ها نیست. در ادامه، این نوشتار بخشی از مهم‌ترین ضعف‌های حوزه

تاکید بر حوزه آب و محیط‌زیست، براساس بررسی نظام ملی نوآوری کشور (حیدری، ۱۳۸۶؛ منطقی و بوشهری، ۱۳۸۸) و همچنین مرور اسناد بالادستی حوزه پژوهش و فناوری (در سطح ملی و وزارت نیرو)، مهم‌ترین آسیب‌ها در قالب دو دسته کلی (شامل: الف) ضعف چارچوب‌های نهادی و ب) ضعف بازیگران عرصه پژوهش مورد بحث قرار گرفته است.

۲-۱- ضعف چارچوب نهادی

چارچوب نهادی عبارت است از مجموعه‌ای از سازمان‌ها، هنجارهای رسمی و غیررسمی (عادات مشترک، عرف‌ها، رویه‌ها مورد توافق، قواعد، ارزش‌های مشترک، مقررات) که برای ارائه خدمات و مدیریت یک بخش تدوین می‌شود. ساختارها و استراتژی‌های سازمانی بخشی از چارچوب نهادی است. معمولا نود درصد استراتژی‌های تدوین شده سازمان‌ها در زمان تعیین شده پیاده‌سازی نمی‌شوند و به اهداف و نتایج مورد انتظار خود نمی‌رسند (Heracleous, 2000). معمولا با تغییر شیوه‌ها و رویه‌های انجام کار (اصلاح نهادها) می‌توان تعارض بین کارکردهای دستگاه‌های اجرایی را کاهش داد. در این راستا، در وزارت نیرو «نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری» در سال ۱۳۹۴ تبیین و تصویب شده است. این نظام‌نامه با هدف ایجاد هماهنگی‌ها در امور سیاست‌گذاری و اجرای پژوهش و

فناوری در وزارت نیرو با ارائه ساختار پژوهش و فناوری و همچنین تعریف مجریان در سطوح مختلف به‌همراه وظایف و عملکردهای آن‌ها تنظیم شده است. از جمله نقاط ضعف نظام‌نامه مذکور عدم توجه به توسعه ظرفیت سازمانی و اجزا و ابعاد نظام ملی نوآوری در کشور است. مورد قابل توجه دیگر در این زمینه، بند «ب» ماده ۶۴ قانون ششم پنج‌ساله کشور ابلاغی سال ۱۳۹۶ است. متأسفانه برخلاف برنامه پنجم، تنها یک درصد از اعتبارات تخصیص یافته هزینه‌ای برای پژوهش در نظر گرفته شده است. این درحالی است که در برنامه پنجم سهم پژوهش از تولید ناخالص داخلی، سالانه به‌میزان نیم درصد و تا پایان برنامه به سه درصد افزایش یافته است. همچنین در برنامه قبلی این درصد از محل منابع تملک، دارایی و عمرانی بوده است، اما در برنامه ششم تنها مرتبط با هزینه‌های جاری سازمان‌ها است. در شکل ۳ تغییرات نسبت اعتبارات تحقیقاتی به تولید ناخالص^۱ (GDP) ایران در سال‌های مختلف ارائه شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی سال‌ها نسبت اعتبارات تحقیقاتی به تولید ناخالص داخلی کمتر از ۰/۷ بوده است. همچنین مشاهده می‌شود که روند صعودی نسبت اعتبارات تحقیقاتی به تولید ناخالص از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ ادامه داشته، اما در سال ۱۳۸۸ افت شدید داشته و شرایط رکود آن تا سال ۱۳۹۴ ادامه داشته است.



شکل ۳- تغییرات نسبت اعتبارات تحقیقاتی به تولید ناخالص (GDP) ایران

شده است. به‌طور مثال در کشور تلاش شده است، مشکل ارتباط صنعت و دانشگاه با توسعه پارک‌های علم و فناوری مرتفع شود. در واقع این سه ضلع مثلث (پیشرفت) مراکز علمی (دانشگاه) - دولت - صنعت، همواره در راس تحول‌ها و پیشرفت‌های کشورهای توسعه یافته است. ضعف عملکردی در این حوزه در دو بخش قابل توصیف است: (۱) ضعف عملکرد فردی و کار تیمی و (۲) نبود شبکه دانش و تعاملات سازنده به‌خصوص در بدنه دانشگاه و مراکز پژوهشی.

۲-۲- ضعف عملکردی بازیگران عرصه پژوهش

بازیگران مهم عرصه پژوهش و نوآوری شامل دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی، صنعت و دولت هستند. در واقع پیوند بین آن‌ها در یک محیط نهادی یا ساختار حکومتی است که در بخش قبلی بدان اشاره شده است. هرچند که مثلث دانشگاه، صنعت، دولت اجزای اصلی نظام ملی نوآوری را شکل می‌دهند. اما به سبب نقش موثر آن‌ها در خلق، انباشت و انتقال دانش و با توجه به این ارتباط و نقش فردی و سازمانی آن‌ها، این موارد به‌صورت جداگانه مطرح

در بدنه مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی، پژوهشگران اغلب یا مدیریت می‌کنند و مدیر اجرایی هستند و یا به اصطلاح به عنوان مونتاژ کار پژوهشی فعالیت می‌نمایند. نتیجه این که این پژوهش‌ها هرچند به ظاهر تولید علم دارد ولی به عمق نیازهای جامعه پاسخی نمی‌دهد. پژوهشگر باید به درد جامعه توجه داشته باشد و پژوهش برای او صرفاً ابزار تامین معاش نباشد. به عنوان مثال تحقیقات دانشجویی اغلب تحت تاثیر دیدگاه بوروکراتیک (تبصره‌ها، مراحل، بودجه و زمان بندی) است و گاهی ممکن است در یک بازه زمانی به سبب کمبود زمان به لحاظ آموزشی و تحت تاثیر مسائل بروکراتیک این تحقیقات در مسیر درستی قرار نگیرد. بنابراین ممکن است، در این مسیر نه دانشجو و نه استاد هیچ کدام امکان تعمق و به کارگیری خلاقیت و نوآوری را نداشته باشند. بحث بعدی ضعف در پذیرش مسئولیت مشترک و کار گروهی است. قابل توجه است که اغلب کارایی گروه‌های کاری از جمع کارایی تک تک اعضای گروه کمتر است. عمدتاً کاهش تلاش فرد در یک تیم ناشی از دیده نشدن است. بنابراین برای رسیدن به سطح مطلوب کار گروهی و افزایش کارایی و نوآوری در پژوهش‌ها نیازمند نگاه جدی‌تر در فرهنگ سازی انجام کار گروهی هستیم. حس تعلق به کار گروهی باعث افزایش انگیزه‌های درونی افراد می‌شود. بنابراین داشتن درک مشترک (هم افزایی) اعضا گروه در انجام امور و همچنین داشتن رسالت و مأموریت مشخص (دانستن مقصد تیم) از مهم ترین عوامل در انجام کارهای گروهی موفق به شمار می‌رود.

۲-۲-۲- نبود شبکه دانش و تعاملات سازنده

سه جزء اصلی نظام ملی نوآوری دانشگاه (مانند مراکز پژوهشی)، دولت و صنعت هستند که هر کدام اهداف، سازوکار و کارکردهای مربوط به خود را دارند. تعامل اجزای این سیستم با یکدیگر عامل بسیار مهمی در عملکرد نظام ملی نوآوری به شمار می‌رود. این که چگونه این سه جزء به عنوان عناصر یک سیستم جمعی در خلق، جذب، انتشار و در نهایت، کاربرد و بهره‌برداری از دانش با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند، موضوع مهمی در تحلیل عملکرد نوآوری در هر کشوری است. دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی - پژوهشی وظیفه خلق دانش و ارائه فناوری مورد نیاز کشور را بر عهده دارند. بخش صنعت و خصوصی کمتر به دنبال انجام پژوهش‌های پایه‌ای است زیرا این نوع پژوهش‌ها بسیار دیربازده است. نقش دیگر دانشگاه‌ها تربیت نیروی متخصص است. در واقع گردش افراد بین سه جزء نظام ملی نوآوری (دانشگاه، صنعت و دولت) و همچنین انتقال افراد از دانشگاه به دولت (یا صنعت) و برعکس بسیار اهمیت دارد، زیرا افراد با خود دانش، مهارت، تجربه و به طور کلی دانش ضمنی^{۱۰} را منتقل می‌کنند. دانش ضمنی

سطح نامحسوسی از درک است که به سادگی قابل بیان کردن نیست و در پی تجربه‌ها، مهارت‌ها، و دانایی‌های شخصی به وجود می‌آید. در این مورد نیز قابل ذکر است اغلب دانشگاه‌ها به جای این که پژوهش محور باشند، آموزش محور هستند و این امر موجب ضعف نظام نوآوری در کشور نیز هست. به همین دلیل در گزارش سال ۲۰۱۸ شاخص رقابت پذیری مجمع جهانی اقتصاد رتبه ایران به لحاظ همکاری چند ذی نفعی (دانشگاه - دولت - صنعت) رتبه بسیار پایین، ۱۱۴ از ۱۴۰ کشور (شکل ۱) را کسب نموده است. نکته قابل تامل دیگر در این زمینه عدم وجود تعاملات باثبات^{۱۱} و پایدار^{۱۲} بین اجزای نظام ملی نوآوری است. توجه به مشارکت همه ذی مدخلان (هم افرادی که تاثیرگذارند و هم افرادی که تاثیر پذیرند) در انجام پژوهش و فرآیند نوآوری بسیار ضروری است. این مشارکت و تعامل باید دارای «ثبات» باشد و تحت تاثیر مناصب سیاسی و حزبی قرار نگیرد؛ و پیش شرط دیگر این مشارکت، «پایدار» بودن آن است که تضمین کننده منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی جامعه باشد. رویکرد جزیره‌ای عمل کردن همواره موجب از دست رفتن زمان و اتلاف سرمایه‌های انسانی کشور می‌شود. طرح‌ها و پروژه‌های مشترک با همکاری دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی مختلف بسیار اندک است. هرچند در زمینه تعاملات ملی و داخلی پیشرفت‌هایی ایجاد شده است، اما دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (اعم از خصوصی و دولتی) نقش اندکی در پژوهش‌ها و نوآوری‌های بین‌المللی داشته‌اند. دانشگاه‌های کشور اغلب در زمینه بین‌المللی، ارزآوری بسیار کمی دارند و تنها با سیل عظیمی از تفاهم‌نامه‌ها، فعالیت‌های بین‌المللی خود را نمایش می‌دهند.

۳- پیشنهاد تغییر رویکردها، ظرفیت‌ها و بسترهای ارتقای فعالیت‌های بخش پژوهش در حوزه آب

همان‌طور که اشاره شد، تجارب جهانی نشان می‌دهد کشورهایی که در زمینه پژوهش، بیشترین سرمایه‌گذاری را انجام داده‌اند، آن‌هایی هستند که اکنون صاحب فناوری و صنایع پیشرفته هستند. ساختار پیشنهادی نوشتار حاضر برای ارتقای فعالیت‌های پژوهشی و به طور کلی «فرآیند نوآوری» و اثربخشی آن در کشور با تاکید بر بخش آب کشور در سه بخش قابل تفکیک است: (۱) تغییر رویکردها، (۲) شناخت بسترها و ظرفیت‌های موجود و (۳) راه کارهای کلان یا مولفه‌های نقشه راه ارتقای بخش پژوهش کشور در بخش آب. سه بخش مذکور در ادامه تشریح شده‌اند.

۳-۱- تغییر رویکردها^{۱۳}

تغییر رویکرد (تغییر پارادایم) به معنی تغییراتی مهم در شیوه تفکر یا انجام کارها است که به صورت راه و رسم جدید جایگزین

قبلی می‌شود (Vanner and Bicket, 2016). براساس بررسی نقاط ضعف (بخش دوم) و بررسی تجارب بین‌المللی در حوزه ارتقای مدیریت پژوهش و فناوری، مهم‌ترین تغییر رویکردها به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

الف) تمرکز بر اقدامات بلندمدت: بر کسی پوشیده نیست که سرمایه‌گذاری بلندمدت در حوزه تحقیق و توسعه و آموزش نیروی انسانی از مهم‌ترین عوامل تضمین‌کننده توسعه کشورها به‌شمار می‌رود. بنابراین، ارائه و پیگیری برنامه‌های بلندمدت، کلان‌نگری و کاهش شتاب ذهنی مسئولان لازمه رشد و توسعه کشور است.

ب) توجه به «سیاست پژوهش‌محور» به جای «پژوهش سیاست‌محور»: پژوهش بتواند پشتیبان واقعی مطالعات و سیاست‌گذاری‌های حوزه مدیریت منابع آب کشور باشد. بدین معنی که سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌ها براساس و با پشتوانه پژوهش‌ها صورت گیرد. متأسفانه ابتدا اغلب مواضع، تصمیمات و سیاست‌ها اتخاذ می‌شود و سپس بررسی و تحلیل آنها کلید می‌خورد.

ج) تقویت نهادی مراکز خصوصی - تخصصی پژوهشی حوزه آب و محیط‌زیست: این امر بارها به اثبات رسیده است که بدنه دولتی به‌سبب ضعف‌های ساختاری قادر به پیاده‌سازی و اجرای موفق بسیاری از برنامه‌ها و سیاست‌ها نیست. از طرفی اغلب بخش‌های خصوصی موفق به دلیل رقابت با بخش‌های دولتی مشابه خود بعد از مدتی پایداری و ثبات خود را از دست می‌دهند. بنابراین تقویت سازوکار نهادی و توجه به توسعه ظرفیت سازمانی در این حوزه اهمیت ویژه‌ای دارد.

د) جذب سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی و بخش‌های خصوصی: در کشور ساز و کارهای متنوعی در جذب و استفاده از سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی و بودجه‌های مشترک (مانند وزارت علوم، سازمان‌های وابسته به سازمان ملل و...) وجود دارد. از طرفی اخیراً به‌سبب مشکلات در دیپلماسی پایدار در عرصه جهانی این منابع بعضاً قابل پیگیری نیست. ایجاد سامانه یا پایگاهی برای ثبت این موارد، سوابق و پیگیری‌ها می‌تواند اثرگذار باشد.

۳-۲- ظرفیت‌ها و بسترهای موجود در ارتقای پژوهش و نوآوری در حوزه مدیریت آب

مهم‌ترین ظرفیت‌ها و بسترها در ارتقای نقش پژوهش در حل مسائل آبی کشور در دو بخش قابل پیشنهاد است: الف) ضوابط و اسناد بالادستی ملی و وزارتخانه‌ای و ب) رصد و مشارکت در تحقق آرمان‌های توسعه پایدار سازمان ملل (۲۰۱۵-۲۰۳۰).

الف) ضوابط و اسناد بالادستی ملی و وزارتخانه‌ای:

مهم‌ترین ظرفیت‌ها و بسترها برای تحقق یک هدف، توجه به اسناد و ضوابط بالادستی است. اسناد بالادستی شامل برنامه‌های جامع، قوانین لازم‌الاجرا و یا حمایتی در حوزه‌های مختلف در تمام

کشورهای دنیا در تمامی سطوح (بین‌المللی، ملی، استانی، سازمانی و...) هستند. در امر پژوهش و فناوری نیاز به سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی بیش از پیش حائز اهمیت است. اسناد بالادستی در کشور با ارائه شاخص‌ها، سیاست‌های کلی، راهبردها و اقدامات ملی سعی داشته‌اند تا حد امکان مشکلات و موانع را مرتفع ساخته و تأثیری مثبت بر روند توسعه و ارتقای پژوهش در کشور داشته باشند. اثرگذاری اسناد بالادستی زمانی محقق می‌شود که راهبردهای سازمان در امتداد و راستای اسناد بالادستی باشد. به‌عبارتی تطبیق راهبردها و سیاست‌های هر سازمان با این اسناد ضروری است. بنابراین، این اسناد ضمانت اجرایی راهبردهای هر پروژه (سازمان) و سیاست‌های آن خواهند بود. در جدول ۱ بخشی از مهم‌ترین اسناد بالادستی و ضوابط لازم اجرای مرتبط با پژوهش و فناوری در حوزه مدیریت آب در کشور ارائه شده است. برخی از این اسناد با ماهیت ارشادی و حمایتی، در سطح ملی (مانند قانون ششم توسعه) و برخی در سطح وزارتخانه‌ای (مانند وزارت نیرو و وزارت علوم) تدوین شده‌اند.

ب) رصد و مشارکت در تحقق آرمان‌های توسعه پایدار سازمان ملل:

«توسعه پایدار»، یک انتخاب نیست؛ بلکه مهم‌ترین راهی است که به بشریت این امکان را می‌دهد که در زندگی شرافتمندانه در این کره خاکی، یعنی تنها سیاره‌ای که در حال حاضر در اختیار داریم، سهیم باشند. آرمان‌های توسعه پایدار^{۱۴} (SDGs) شامل مجموعه منسجمی است که وظایف کشورها را تا سال ۲۰۳۰ تعیین کرده و با استفاده از تجربیات پیشین یعنی اهداف توسعه هزاره به ارائه راهبردهایی برای حل مشکلات کره زمین در زمینه فقر، آب سالم، محیط زیست، عدالت، انرژی و آموزش می‌پردازد (Costanza et al., 2016؛ شفیع، ۱۳۹۶). در واقع آرمان‌های توسعه پایدار تلاشی چندجانبه در جهت سوق دادن کره زمین به سمت پایداری و تاب‌آوری است. دستورکار آرمان‌های توسعه پایدار سازمان ملل متحد ۲۰۱۵-۲۰۳۰ حاوی ۱۷ آرمان و ۱۶۹ هدف است.

آرمان شماره ۶ این سند (SDG6) مستقیماً مرتبط با موضوع آب و فاضلاب است و ذیل آن ۸ مورد اهداف آن وجود دارد که در ادامه آورده شده است:

SDG 6-1: تحقق دسترسی همگانی و برابر به آب شرب سالم و در توان پرداخت همگان.

SDG 6-2: تحقق دسترسی به سیستم دفع بهداشتی کافی و برابر فاضلاب برای همگان.

SDG 6-3: بهبود کیفیت آب با کاهش آلودگی، حذف تخلیه زباله و به حداقل رساندن رها شدن مواد شیمیایی خطرناک، به نیم رساندن سهم پساب تصفیه نشده و افزایش بازچرخانی و استفاده مجدد تا درصد مشخص در سطح جهان.

SDG 6-4: افزایش اساسی در کارایی مصرف آب در تمام بخش‌ها

و اطمینان از برداشت و تضمین پایدار آب شیرین برای روبرویی با کمپابی آب و کاهش اساسی در شمار افراد گرفتار کمپابی آب. SDG 6-5: پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در تمام سطوح، شامل همکاری برون‌مرزی. SDG 6-6: حفاظت و احیای اکوسیستم‌های وابسته به آب، شامل کوه‌ها، جنگل‌ها، تالاب‌ها، رودخانه‌ها، آبخوان‌ها و دریاچه‌ها. SDG 6-a: توسعه همکاری بین‌المللی و پشتیبانی از ظرفیت‌سازی در کشورهای در حال توسعه در فعالیت‌های مرتبط با آب و دفع بهداشتی فاضلاب و طرح‌ها، شامل جمع‌آوری آب، نمک‌زدایی،

کارآیی آب، تصفیه پساب، بازچرخانی و فناوری‌های استفاده مجدد. SDG 6-b: پشتیبانی و تقویت مشارکت جوامع محلی برای بهبود مدیریت آب و فاضلاب. بنابراین اهداف ارائه شده ذیل آرمان شماره ۶، به‌همراه ابزارهای پیاده‌سازی و نشانگرهای پایش آن‌ها از مهم‌ترین ظرفیت‌های موجود در زمینه ارتقای آموزش، پژوهش و فناوری در حوزه آب و محیط زیست محسوب می‌شود.

جدول ۱- لیست اسناد و ضوابط بالادستی مرتبط با حوزه ظرفیت‌ها و بسترهای موجود در ارتقای نظام پژوهش کشور در بخش آب و محیط‌زیست

سند	هدف/معرفی مختصر	سال انتشار
سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ کشور	ارائه چشم‌انداز و افقی برای توسعه کشور در زمینه‌های مختلف	۱۳۸۴
نقشه جامع علمی کشور	ارائه سیاست‌ها و راهبردها، ساختارها و الزامات تحول راهبردی علم و فناوری کشور	۱۳۸۹
برنامه راهبردی وزارت نیرو ۱۴۰۴	ارائه مأموریت، چشم‌انداز، ارزش‌ها و راهبردهای بلند مدت وزارت نیرو در بخش‌های مختلف	۱۳۹۲
سیاست‌های ابلغی اقتصاد مقاومتی	ارائه رشد و بهبود شاخص‌های اقتصاد مقاومتی و سند چشم‌انداز	۱۳۹۲
آیین‌نامه تعریف، دآوری، نظارت و ارزیابی طرح‌های پژوهشی	این آیین‌نامه توسط بخش مدیریت پژوهش و فناوری وزارت نیرو تهیه شده است	۱۳۹۲
نظام‌نامه تحقیقات آب و فاضلاب	هدایت، هماهنگی، و شکوفایی تحقیقات در شرکت‌های آبفای کشور	۱۳۹۲
سیاست‌های کلی علم و فناوری	ارتقای نظام آموزش عالی، تحقیقات و فناوری	۱۳۹۳
نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو	با هدف ارتقای پژوهش و فناوری در برنامه‌های توسعه وزارت نیرو	۱۳۹۴
سند ملی فناوری‌های راهبردی آب (پیش‌نویس)	این سند توسط گروه آب ستاد توسعه فناوری آب، خشک‌سالی، فرسایش و محیط‌زیست معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری تدوین شده است.	۱۳۹۴
قانون پنج‌ساله ششم توسعه کشور	سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه کشور در ابعاد مختلف در دوره ۱۳۹۶-۱۴۰۰	۱۳۹۶
سیاست‌ها و اولویت‌های پژوهش و فناوری کشور (۱۳۹۶-۱۴۰۰)	با هدف سیاست‌گذاری، اولویت‌گذاری، پژوهش و فناوری که توسط شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری وزارت علوم تهیه شده است	۱۳۹۶

۳-۳- جمع‌بندی و ارائه راه‌کارهایی به‌منظور ارتقا و اثربخشی فعالیت‌های پژوهش در بخش آب
راه‌کارهای پیشنهادی مقاله حاضر که می‌توانند جزء مولفه‌های نقشه راه ارتقای نظام آموزشی عالی و پژوهش کشور در بخش آب و محیط‌زیست در نظر گرفته شوند، به‌صورت موارد سه‌گانه ذیل قابل ارائه هستند:

۳-۳-۱- بررسی و اصلاح ساختار ارتباط مراکز آموزشی-پژوهشی-دولت-صنعت در حوزه آب و محیط‌زیست (اصلاح نظام نوآوری ملی در زمینه آب)

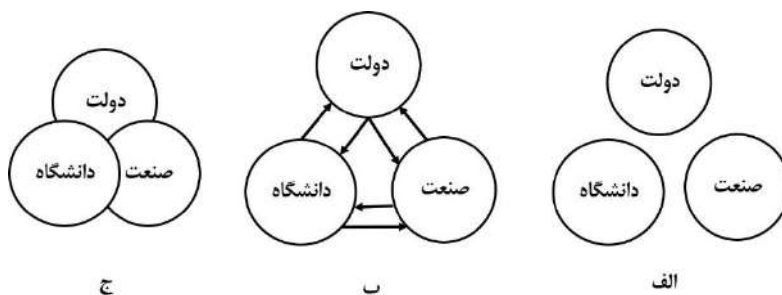
این‌که چگونه این سه جزء به‌عنوان عناصر یک سیستم جمعی در خلق، جذب، انتشار و در نهایت، کاربرد و بهره‌برداری از دانش با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند، موضوع مهمی در تحلیل عملکرد نوآوری در این زمینه است. دانشگاه، دولت و صنعت اجزای «نظام ملی نوآوری» را تشکیل می‌دهند. در کشور سبک حکمرانی «نظام ملی نوآوری» از نوع دستوری و عمودی است (حاجی حسینی و همکاران، ۱۳۹۰؛ باقری مقدم و مصلح، ۱۳۹۵).

سطح تعامل در نظام ملی نوآوری یا به‌عبارتی الگوی حاکمیتی آن به سه دسته مرسوم تقسیم می‌شوند شامل تعامل فردی، نهادی - فردی و رسمی - نهادی است (Inzelt, 2004). در شکل ۴ تعاملات مذکور نشان داده شده‌اند. سطح اول تعامل «تعامل ضعیف» نامیده می‌شود. موارد تعامل منحصر به ارتباط فردی در بین اجزای نظام نوآوری است. انواع حالات این تعامل شامل: ۱- مشورت‌های غیررسمی و موردی کارکنان بنگاه‌ها در مراکز پژوهشی، ۲- سخنرانی اعضای دانشگاه‌ها در بنگاه‌ها و ۳- سخنرانی اعضای دانشگاه در بنگاه‌ها و ... است. منظور از بنگاه^{۱۵}، بنگاه اقتصادی است که عبارت است از یک شخص حقیقی یا حقوقی که با ترکیب عوامل اقتصادی مختلف در تولید کالا یا خدمات فعالیت می‌کند و مالکیت آن می‌تواند دولتی یا خصوصی باشد. سطح دوم تعامل، «تعامل فردی (عمودی) و کماکان ضعیف» نامیده می‌شود و موارد تعامل شامل ارتباط عمودی و دستوری در بین اجزای نظام نوآوری است. انواع حالات این نوع تعامل شامل: ۱- استخدام اعضای دانشگاه یا مراکز پژوهشی به‌عنوان مشاور دائمی، ۲- هدایت کارکنان بنگاه‌ها توسط پژوهشگران، ۳- آموزش کارکنان

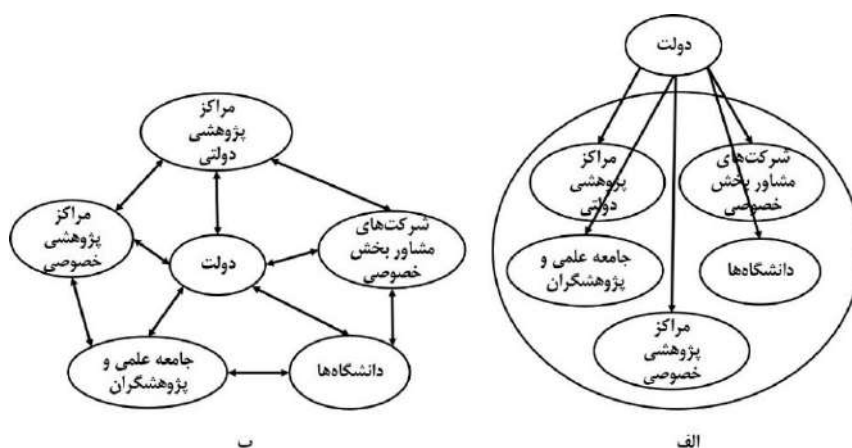
رسمی در پژوهش و توسعه به صورت پروژه‌های پژوهشی مشترک و ... است.

«نظام ملی نوآوری» در کشور اغلب به صورت فردی یا حالت عمودی و دستوری بوده و لازم است به قالب شبکه‌ای و افقی مبدل شود. در حوزه آب و محیط‌زیست نیز شناخت بازیگران اصلی و اصلاح ساختار تعامل و الگوی حکمرانی ضروری است. در شکل ۵ مثالی از اصلاح الگوی نظام نوآوری به همراه بازیگران اصلی آن ارائه شده است.

بنگاه‌ها توسط استادان دانشگاه، ۴- انتشارات مقالات به صورت مشترک و تأسیس دوره‌های مشترک تحصیلات تکمیلی بین دانشگاه و صنعت است. سطح سوم تعامل که تعامل رسمی - نهادی است، سطح تعامل «مارپیچ سه گانه»^{۱۶} نیز نامیده می‌شود. موارد تعامل شامل شبکه باز و ارتباط افقی سیاست‌گذاری در بین اجزای نظام نوآوری است. انواع حالات این نوع تعامل شامل: ۱- دسترسی به تجهیزات خاص و تخصصی دانشگاه‌ها - بنگاه‌ها، ۲- سرمایه‌گذاری در مراکز پژوهشی و آموزشی توسط بنگاه‌ها، ۳- خرید منظم پژوهش‌های دانشگاه‌ها و مؤسسات، ۴- همکاری‌های



شکل ۴- سطوح مختلف تعامل بین اجزای نظام ملی نوآوری: الف) تعامل ضعیف، ب) تعامل فردی و دستوری و ج) تعامل رسمی و نهادی، مارپیچ سه گانه



شکل ۵- نمونه‌ای از الگوی حاکمیتی در ارتباط بین بازیگران نظام نوآوری: الف) شبکه بسته و عمودی و ب) شبکه افقی و باز

همان‌طور که در بخش دوم اشاره شد یکی از نقاط ضعف بازیگران عرصه پژوهش و به خصوص پژوهشگران، پایین بودن عملکرد فردی و ضعف مشارکت و کار تیمی است. از طرف دیگر در راستای اصلاح ساختار ارتباط دانشگاه، دولت و صنعت نیازمند «توسعه ظرفیت سازمانی» در حوزه تعیین نیازهای پژوهشی، انجام پژوهش و پیاده‌سازی دستاوردهای پژوهشی در بخش آب و محیط‌زیست کشور نیز هستیم. در واقع «توسعه ظرفیت سازمانی» یک دیدگاه سیستماتیک است که مشتمل بر یادگیری پیوسته برای بهبود بخشیدن به توانایی سازمان در جهت استفاده موثر و اثربخش از منابع مالی و انسانی در دسترس خود است. توسعه ظرفیت موجب افزایش توانایی سازمان برای انجام دادن وظایف و دستیابی به اهداف بلندمدت سازمان می‌شود.

۳-۳-۲- توسعه ظرفیت‌های سازمانی از طریق تشکیل «شبکه پژوهش» آب کشور

کلید اصلی توسعه یا به عبارتی تنگنای اصلی کشورهای در حال توسعه، «ظرفیت‌های سازمانی» آن‌ها است؛ بدین معنی که، توانایی یادگیری و همکاری‌های آن‌ها چقدر سازمان‌یافته است. به واسطه کارکردهای سازمان (شکل‌گیری دانش ضمنی با هویت جمعی، شکل‌گیری مهارت‌های همکاری و شکل‌گیری نظم و انضباط) ظرفیتی پدید می‌آید که به اصطلاح به آن ظرفیت سازمانی^{۱۷} می‌گویند (Manca, 2009). در تعریفی ساده‌تر، «ظرفیت سازمانی» به توانایی سازمان برای عمل کردن موثر و اثربخش به تعهدات و اختیاراتش گفته می‌شود.

- 2- Innovation
- 3- Creativity
- 4- Organization for Economic Co-operation and Development
- 5- Oslo Manual
- 6- Technology
- 7- National Innovation System
- 8- United Nations Conference on Trade and Development
- 9- Gross Domestic Product
- 10- Tacit Knowledge
- 11- Stable
- 12- Sustainable
- 13- Paradigm Shift
- 14- Sustainable Development Goals
- 15- Firm
- 16- Triple Helix
- 17- Organizational Capacity

۶- مراجع

- باقری مقدم، م.، و مصلح، ع.، (۱۳۹۵)، "رشد و توسعه فناوری‌های پایدار: چارچوبی برای تحلیل حکمرانی نظام‌های نوآوری"، *فصلنامه علمی ترویجی سیاست‌نامه علم و فناوری*، ۱۱۷-۱۳۹، (۱۵)۶.
- ثابت تیموری، م.، شفیعی، م.، و توکلی امنیان، ث.، (۱۳۹۴)، "مروری کوتاه بر جوایز جهانی آب؛ معیارهای مؤثر برای نامزدی کسب جوایز و معرفی نمونه جوایز دریافتی"، *نشریه آب و توسعه پایدار*، ۲(۲)، ۲۷-۳۴.
- حاجی حسینی، ح.، محمدی، ع.، و عباسی، ف.، (۱۳۹۰)، "تحلیل حکمرانی نظام نوآوری ایران برپایه چرخه سیاست‌گذاری نوآوری"، *مجله سیاست علم و فناوری*، ۴(۱)، ۳۳-۴۸.
- حیدری، ح.، (۱۳۸۶)، "نظام ملی نوآوری به‌عنوان چارچوبی برای تحلیل نوآوری: رویکردی نظری"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۹(۳۳)، ۱۲۹-۱۶۳.
- شفیعی، م.، (۱۳۹۶)، "یادداشت تحلیلی: پاسخ در طبیعت نهفته است: تاملی بر موضوع روز جهانی آب ۲۰۱۸ در بستر توسعه پایدار"، *نشریه آب و توسعه پایدار*، ۴(۲)، ۱۶۶-۱۶۸.
- شفیعی، م.، و مجیدی، م.، (۱۳۹۷)، "«پژوهش و فناوری» یا «پژوهش و نوآوری»: لزوم توجه به مفهوم فرآیند نوآوری در کاهش فاصله بین علم تا عمل"، *یادداشت سیاستی، شبکه ملی سیاست‌گذاری عمومی دولت، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری*.
- <http://npss.ir/ArticlePreview.aspx?id=182350>
- منطقی، م.، و بوشهری، ح.، (۱۳۸۸)، "شناسایی چالش‌های سیاست‌گذاری در نظام ملی نوآوری ایران"، *مجله سیاست علم و فناوری*، ۲(۳)، ۸۷-۱۰۲.
- عرب‌مازار، ع.، جمشیدی، م.ت.، و صالحیان عمران، ا.، (۱۳۸۸)، "آسیب‌شناسی تحقیق و توسعه در سازمان‌های دولتی"،

بنابراین شبکه پژوهش آب کشور از مهم‌ترین مصادیق توسعه ظرفیت‌سازمانی در نهادهای متولی پژوهش است. در این راستا درنظر گرفتن سند بالادستی «نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو» و همچنین «سند ملی فناوری‌های راهبردی آب» که موضوعات اصلی آب کشور را در ده محور طبقه‌بندی کرده و راهبردهای معینی برای تحقق آن‌ها داده است بسیار ضروری است.

۳-۳-۳- تعریف ماموریت‌های پژوهشی

در هر حال ماموریت اصلی، و تبیین اهداف و خروجی‌های قابل انتظار طی دوره‌های زمانی مختلف (کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت)، باید مدنظر قرار گرفته و انتظار داشت با گام‌های سه‌گانه مذکور، به ارزش افزوده قابل‌توجهی از این‌گونه فعالیت‌ها دست یافت. در این گام، می‌توان اولویت‌های پژوهشی و نیازسنجی آن برای دستگاه‌های اجرایی را به‌نحوی تعریف کرد که حتماً در ابتدای برنامه، نیازهای کوتاه‌مدت و بلندمدت تا حد زیادی مشخص شود. بدین معنی که مسیر و نقشه راه تحقیقات هر مجموعه و نیز زیرمجموعه‌های آن مشخص شود، و تعیین این اولویت‌ها، بر مبنای شرایط منطقه ارزیابی و سپس تایید شود. از سوی دیگر طی تعامل با وزارت علوم، تحقیقات و فناوری می‌توان به دستورالعمل و تفاهم‌نامه مشترکی رسید که دانشگاه‌های دارای ردیف اعتباری که عمده درآمد آن‌ها از طریق بودجه سالانه دولت تامین می‌شود، به هر طریقی اعم از هدایت رساله‌های دانشجویی تا انجام طرح‌های تحقیقاتی، ملزم به تولید محتوای دانش‌محور برای آسیب‌ها و فرصت‌های حوزه آب و محیط‌زیست شوند و این از سهم مشارکت آن‌ها در این گونه فعالیت‌ها محسوب شود. در مجموع، انفعال این بخش از بدنه علمی کشور آن‌هم به دلیل کاهش اعتبارات پژوهشی در دستگاه‌های اجرایی، در حالی که خود دریافت‌کننده اعتبارات دولتی هستند، قابل‌پذیرش نیست. اصلاح این موضوع، نیازمند پایش فعالیت‌ها نیز هست که در این باره تنها ارزیابی عملکردمحور، می‌تواند راه‌گشا باشد.

۴- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر بخشی از طرح پژوهشی با کد ۹۶/۱۶۹۳۳۵ در شرکت آب و فاضلاب مشهد است. بدین‌وسیله از حمایت‌های ارزنده جناب آقای مهندس طباطبایی، مدیرعامل وقت و خانم مهندس نیشابوری، معاون وقت برنامه‌ریزی و منابع انسانی شرکت آب و فاضلاب مشهد، سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Multi-Stakeholder Collaboration

- Costanza, R., Fioramonti, L., and Kubiszewski, I., (2016), "The UN sustainable development goals and the dynamics of well-being", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 39-59.
- Heracleous, L., (2000), "The role of strategy implementation in organization development", *Organization Development Journal*, 18(3), 75-86.
- Inzelt, A., (2004), "The evolution of university-industry-government relationships during transition", *Research Policy*, 33(6-7), 975-995.
- Manca, F., (2009), "Technology catching-up and the Role of Institutions", *Journal of Macroeconomics*, 4(2), 59-69.
- McAdam, R., Mason, B., and Mc Crory, J., (2002), "Exploring the dichotomies within the tacit knowledge literature: towards a process of tacit knowledge in organizations", *Knowledge Management*, 11(2), 43-59.
- OECD, (1999), *Managing national innovation systems*, Paris.
- OECD, (2005), *Oslo manual, Guidelines for collecting and interpreting innovation data*, Paris.
- Schwab, K., (2018), "The global competitiveness report 2017-2018", *World Economic Forum*, Geneva.
- United Nations Conference on Trade and Development, (2016), *Science, technology and innovation policy review the Islamic Republic of Iran*, United Nations publication, 114 p.
- Vanner, R., Bicket, M., (2016), "The Role of paradigm analysis in the development of policies for a resource efficient economy", *Sustainability*, 7(8), 645.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Investigation of the Absorption of Metallic and Non-Metallic Constituents from Water Used in Jajarm Alumina Factory Using Two Types of Nano Alumina

Emad Garmeh¹, Misagh Ghamari^{1*} and Avazverdy Gooklani²

1- Nano Technology Laboratory, Faculty of Engineering, Esfarayen University of Technology, Esfarayen, Iran.

2- Laboratory Unit, Jajarm Alumina Factory, Jajarm, Iran.

* Corresponding author, Email: ghamari_iust@yahoo.com

Received: 02/07/2019

Revised: 18/02/2020

Accepted: 04/03/2020

بررسی قابلیت کاهش سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم با استفاده از دو نوع نانو آلومینا

عماد گرمه^۱، میثاق قمری^{۱*} و عوض وردی گوکلانی^۲

۱- آزمایشگاه فناوری نانو، دانشکده فنی و مهندسی، مجتمع آموزش عالی اسفراین، اسفراین، ایران.

۲- واحد آزمایشگاه، شرکت آلومینای جاجرم، جاجرم، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: ghamari_iust@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

Abstract

Due to the adverse effects of some metallic and non-metallic components on water properties, this paper describes the absorption of calcium, iron, silica, chlorine and water hardness from the water used in Jajarm alumina factory by using two types of alumina nanopowders. Both types of nano-alumina have similar properties except that they are made in two different ways. The time parameter was selected as the main variable in the adsorption process. To do this, first a certain amount of alumina nanoparticles were placed in a certain amount of water consumed by the alumina plant and then the sample was placed on magnetic stirrer for 60, 120, 180, 240, 360 and 480 minutes for complete homogenization. The temperature of the solutions was constant at 25 °C and the pH of the solutions was constant at 7.6. The results showed that the average absorption percent of silica, iron, calcium, hardness and chlorine by alumina A1 and A2 were 89.73-35, 100-100, 29.73-32.43, 11.22-16.45 and 10.37-6.67, respectively. As the contact time increases, the adsorption increases. The results of the experiments also showed that alumina nanopowder can be used as an effective method for absorbing the mentioned species and reducing the hardness of aqueous solutions.

Keywords: Adsorption, Chlorine, Hardness, Iron, Silica.

چکیده

با توجه به اثرات نامطلوب برخی اجزای فلزی و غیر فلزی بر خواص آب، این مقاله جذب اجزای کلسیم، آهن، سیلیس، کلرور و سختی از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم را با استفاده از دو نوع نانو پودر آلومینا شرح می‌دهد. هر دو نوع نانو آلومینا خواص مشابهی دارند با این تفاوت که از دو روش متفاوت ساخته شده‌اند. پارامتر زمان به عنوان متغیر اصلی در فرآیند جذب انتخاب شد. برای این کار ابتدا مقدار مشخصی از نانو ذرات آلومینا در مقدار مشخصی از آب مصرفی کارخانه آلومینا قرار گرفته و سپس برای همگن سازی کامل، نمونه در مدت زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه روی هم‌زن مغناطیسی قرار گرفت. دمای محلول‌ها ثابت و برابر با ۲۵ درجه سانتی گراد و pH محلول‌ها نیز در تمام نمونه‌ها ثابت و برابر ۷/۶ بود. نتایج نشان داد که میانگین درصد جذب سیلیس، آهن، کلسیم، سختی و کلروراید توسط آلومینای A1 و A2 به ترتیب ۸۹/۷۳-۳۵، ۱۰۰-۱۰۰، ۲۹/۷۳-۳۲/۴۳، ۱۱/۲۲-۱۶/۴۵ و ۱۰/۳۷-۶/۶۷ است. با افزایش زمان تماس، میزان جذب افزایش می‌یابد. هم‌چنین نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها مشخص کرد که می‌توان از نانو پودر آلومینا به عنوان یک روش مؤثر برای جذب گونه‌های اشاره شده و کاهش سختی از محلول‌های آبی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، سختی، کلرور، آهن، سیلیس

ذرات آلومینا به صورت واکنش بین یون‌های آلومینیوم (اسید لوئیز) و یون‌های هیدروکسیل (باز لوئیز) در نظر گرفته می‌شود. گروه‌های هیدروکسیل تشکیل شده بر روی سطح آلومینا به عنوان مکان‌های اسیدی برونستد عمل می‌کنند. اما با قرار گرفتن آلومینا در محیط‌های آبی گروه‌های هیدروکسیل روی سطح آن تشکیل می‌شوند که توانایی رفتار به عنوان اسید یا باز برونستد در شرایط خاص را دارا هستند. به همین دلیل آلومینا را در دسته مواد آمفوتر قرار می‌دهند که در شرایط خاصی می‌توانند یون‌های متفاوت موجود در محیط‌های آبی را جذب نمایند.

از ذرات آلومینا تاکنون به منظور جذب برخی المنت‌ها از آب مانند کلسیم، سرب، مس (Karabelli et al., 2011)، کروم (Dubey et al., 2016)، آهن، آرسنیک (Kim et al., 2004)، سیلیس (Bouguerra et al., 2007)، نیترات (Bhatnagar et al., 2010) و موارد دیگر استفاده شده است (Mahmoud et al., 2010).

در این پژوهش با استفاده از ذرات ریز گاما اکسید آلومینیوم، جذب و در صورت امکان حذف سیلیس، آهن، کلسیم، سختی و کلرور از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به این که روش‌های سنتز گوناگون می‌توانند ویژگی‌های متفاوتی را به پودر جاذب معرفی نمایند، در این جا دو نوع گاما آلومینا که با روش‌های احتراقی و سل ژل تهیه شده‌اند به عنوان جاذب استفاده شده و تاثیر نوع جاذب و زمان مورد نیاز برای جذب مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو نمونه نانو پودر آلومینا (نانو ذرات آلومینا تولید شده توسط شرکت فناوران دانش گستر سپهرآیین و نانو آلومینا تولید شده در شرکت آلومینای ایران) به عنوان جاذب در حذف عناصر فلزی و غیرفلزی استفاده شده است. برای نمونه تهیه شده از شرکت فناوران دانش گستر سپهرآیین اندازه ذرات در محدوده ۳۸ و ۸۶ نانومتر، $BET=87$ مترمربع بر گرم و همچنین برای نمونه تهیه شده از شرکت آلومینای ایران $BET=75$ مترمربع بر گرم و ذراتی با ابعاد کمتر از ۲۰۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفته است. کلیه مراحل آزمایش در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH یکسان انجام شد. در این تحقیق روش اندازه‌گیری کلسیم، سختی (روش تیتراسیون با E.D.T.A)، سنجش کلرور (روش موهر یا آرژانتومتري با استفاده از $AgNO_3$) و همچنین برای سیلیس و آهن با استفاده از اسپکتروفتومتر UV/Vis به ترتیب در طول موج‌های ۸۱۵ و ۵۰۰ نانومتر انجام شده است که براساس روش‌های مندرج در مرجع استاندارد موجود در آزمایشگاه آب کارخانه آلومینای ایران-جاجرم

آب تمیز یکی از ضروری‌ترین مواد مورد نیاز در حوزه سلامتی انسان به شمار می‌رود. علاوه بر این، در صنایعی که تمیزی آب روی کیفیت محصول اثرگذار است، اهمیت زدودن مواد شیمیایی مضر، نمایان تر می‌شود. بنابراین امروزه تصفیه آب به یکی از موضوعات جذاب پژوهشگران در حوزه‌های مختلف تبدیل شده است (Fane et al., 2015; Werber et al., 2016). با توجه به وجود منابع آلوده کننده انواع آب که در محیط‌های مختلف به ویژه در حوزه صنعت وجود دارد، مسئله خروج آلودگی‌ها اهمیت انواع پژوهش در این بخش را دو چندان کرده است. استفاده از لوله‌های پایه آهنی، استفاده از مواد شیمیایی مختلف در خطوط مختلف تولید، وجود اقلیم‌های متنوع و حضور ضایعات رها شده در بخشی از کارخانجات که توانایی ایجاد انواع یون‌ها در حضور آب را دارند، می‌توانند موجبات آلودگی آب را فراهم آورند.

دانشمندان و مهندسين آب در حال تحقیق در مورد افزایش کیفیت آب هم‌سو با افزایش رشد مصرف آن با توجه به مقررات و استانداردهای سخت‌گیرانه هستند. با توجه به اندازه‌های بسیار کوچک املاح موجود در آب که گاهی به محدوده چند انگستروم می‌رسد، هرگونه تلاش به منظور از میان بردن این اجزا نیازمند مطالعات گسترده در مقیاس‌های بسیار ریز است.

در سال‌های اخیر استفاده از فناوری نانو در برنامه‌های کاربردی محیط‌زیستی برای تصفیه آب و فاضلاب مورد توجه قرار گرفته است (Dervin et al., 2016; Chaturvedi and Dave, 2019). مواد نانومقیاس در تصفیه آب باعث عملکرد فوق‌العاده‌ای می‌شوند که ممکن است به ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها نظیر نسبت سطح به حجم زیاد، اندازه بسیار ریز و ظرفیت بالا برای جذب، نسبت داده شود. مشکلات آلودگی آب موجود، از جمله کیفیت آب، می‌تواند با استفاده از نانوذرات، نانوکاتالیست‌ها، غشاهای کاتالیزوری نانو ساختار و بسیاری از محصولات و فرآیندهای تولید شده از پیشرفت فناوری نانو بهبود یابد (Zhang et al., 2016). جذب از طریق نانو مواد دارای مزیتی است که دیگر روش‌ها کمتر دارا هستند و آن این که در این روش می‌توان در محلول‌هایی که غلظت یون‌ها کم است نیز عمل جذب را به خوبی انجام داد (Wang et al., 2016). تعداد زیادی از نانومواد به عنوان جاذب برای جداسازی آلاینده‌ها از فاز مایع به کار گرفته شده‌اند که در این بین نانو اکسید آلومینیوم به دلیل ارزانی و ویژگی‌های برجسته ترموشیمیایی-مکانیکی مورد توجه جدی قرار گرفته است (Savage and Diallo, 2005; Shivaprasad et al., 2018). ویژگی برجسته و مهم تعیین کننده خواص سطحی آلومینا، تعداد اتم‌های آلومینیوم با کوردیناسیون پایین است که به صورت توانایی دفع یا جذب پروتون مطرح می‌شود. جذب سطحی آب بر روی سطح

صورت گرفته است. دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis مدل DR2800 کمپانی HACH، به منظور اندازه گیری میزان جذب عناصر فلزی و غیرفلزی و pH سنج مدل Ionometer-MS 31 ساخت کشور چک برای تعیین pH مورد استفاده قرار گرفتند. در تمام مراحل تحقیق، به منظور تعیین میزان جذب عناصر فلزی و غیرفلزی، آزمایشات جذب در حضور ۰/۲ گرم جاذب آلومینایی و میزان ۳۹۹/۸۰ میلی لیتر آبی که تمام روش هایش قبلا مورد

آزمایش قرار گرفته است، در مدت زمان های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه صورت گرفت. عمل هم زدن مایع به منظور ایجاد اختلاط مناسب پودر با استفاده از دستگاه هم زن مغناطیسی صورت گرفت. دهانه بشرهای استفاده شده به منظور ممانعت از تأثیر هوای محیط بر انجام واکنش به دقت پوشش داده شد. نتایج حاصل از تحلیل آب مصرفی کارخانه آلومینا که در آزمایشگاه آب انجام شده است، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مقدار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی موجود در آب مصرفی کارخانه آلومینا

پارامتر	SiO ₂ ppm	Cl ⁻ ppm	Fe ppb	Ca ²⁺ ppm	T.H mg/L	EC μS/cm	pH
مقدار پارامتر	۱۸/۵	۶۷۵	۳۷	۳۷۰	۷۶۶	۲۸۶۰	۷/۶

در این جا منظور از EC هدایت الکتریکی برحسب میکروزیمنس بر سانتی متر و منظور از T.H سختی کل آب است

که به مجموع یون های کلسیم و منیزیم موجود در آب گفته می شود.



شکل ۱- دستگاه های pH متر و EC مورد استفاده

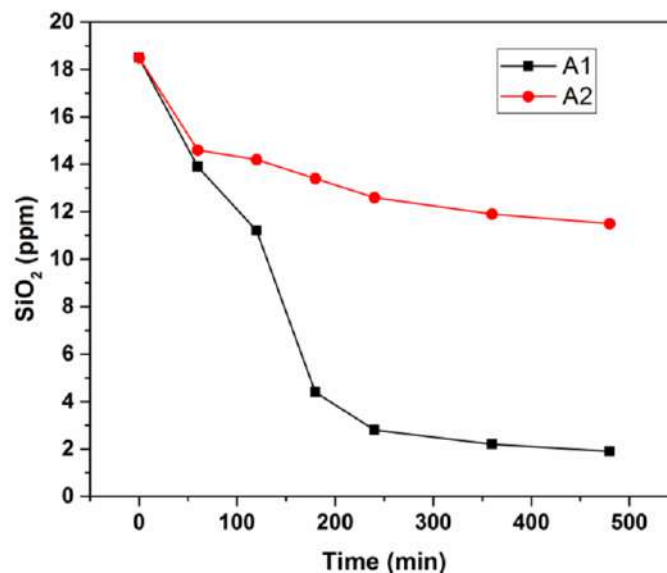
تصویر دستگاه های pH متر و EC مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. تمامی تحلیل های انجام شده در کارخانه آلومینای جاجرم به انجام رسیده است. برای هر کدام از آزمایش ها یک مرتبه آزمون با دقت بالا انجام شد. غلظت جاذب آلومینایی ۰/۲ گرم در ۳۹۹/۸۰ میلی لیتر آب در تمامی آزمون ها در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-۱- بررسی اثر زمان تماس بر کارایی نانو پودرهای مختلف در جذب سیلیس

سیلیس در آب های طبیعی تا کمتر از ۱۰۰ ppm وجود دارد. در شرایط قلیایی مقدار اندکی سیلیس می تواند در آب حل شود اما در حالت اسیدی تقریباً نامحلول است. رسوب سیلیس در برخی تجهیزات مانند بویلرها می تواند راندمان آن را کاهش داده و باعث خوردگی آن شود. با افزایش دما و فشار بویلر مقادیر مجاز سیلیس در آب باید کاهش یابند. در این مطالعه اثر زمان تماس (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه) در pH و جرم ثابت جاذب بر جذب سیلیس بررسی شد. اثر پارامترهای زمان و نوع جاذب بر جذب سیلیس در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳-۱-۳- بررسی اثر زمان تماس بر کارایی نانو پودرهای مختلف در حذف عناصر فلزی و غیرفلزی



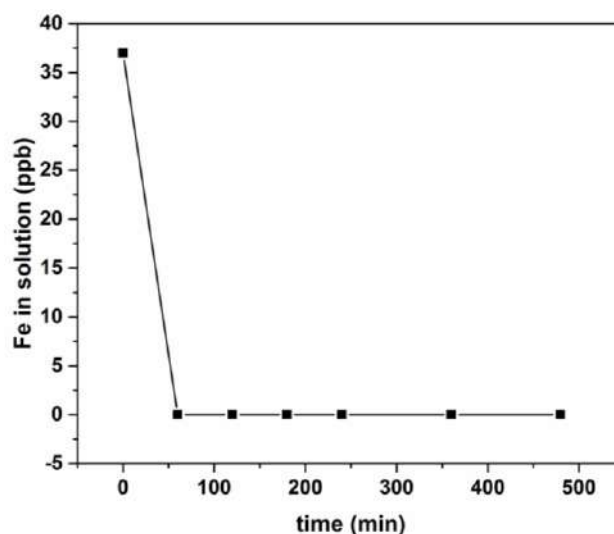
شکل ۲- تأثیر زمان بر میزان جذب سیلیس توسط A1 و A2 در pH ثابت

جذب شد (Bouguerra et al., 2007).

۳-۱-۲- تأثیر زمان تماس روی میزان حذف آهن توسط نانو ذرات آلومینا

آهن از جمله فلزاتی است که معمولاً در آب چاه‌ها به میزان قابل توجهی وجود دارد. علت این موضوع نیز، وجود بستر سنگی در آب‌های زیرزمینی است. آهن در چاه‌های با عمق بالا بیشتر یافت می‌شود. به این دلیل که در این چاه‌ها، آب مدت زمان بیشتری با سطوح سنگی حاوی این فلز در تماس بوده است. البته در مناطقی که حفر معادن در آن وجود دارد نیز، امکان حضور این عنصر در آب بیشتر می‌شود. همچنین احتمال حضور آهن در مخازنی که با دمای بالا کار می‌کنند نیز بالا است.

نتایج بیانگر این است که با افزایش زمان تماس، میزان جذب به‌طور معمول افزایش می‌یابد. میزان جذب با نمونه نانو آلومینا تهیه‌شده از شرکت سپهرآیین (A1) در مدت زمان‌های تعیین‌شده به‌ترتیب مقادیر ۱۸/۵، ۱۳/۹، ۱۱/۲، ۴/۴، ۲/۸، ۲/۲ و ۱/۹ بوده و دارای روند افزایشی جذب است. در شرایط مشابه برای نانو آلومینای تهیه‌شده در شرکت آلومینای ایران (A2) به‌ترتیب مقادیر ۱۸/۵، ۱۴/۶، ۱۴/۲، ۱۳/۴، ۱۲/۶ و ۱۱/۹ بوده و میزان جذب برای این نمونه نیز با گذشت زمان افزایش یافته است (شکل ۲). براساس نتایج نمونه A1 دارای راندمان بیشتری در حذف سیلیس در زمان مساوی است. در پژوهش دیگری که به‌منظور جذب سیلیس از آب انجام شده است pH در محدوده ۸-۸/۵ بهترین نتایج جذب را در غلظت سیلیس ۵۰ ppm ارائه می‌دهد. حدود ۹۰٪ از سیلیس توسط مقدار ۲/۵ گرم جاذب از محلول



شکل ۳- تأثیر زمان در حذف آهن (pH ثابت A1 و A2)

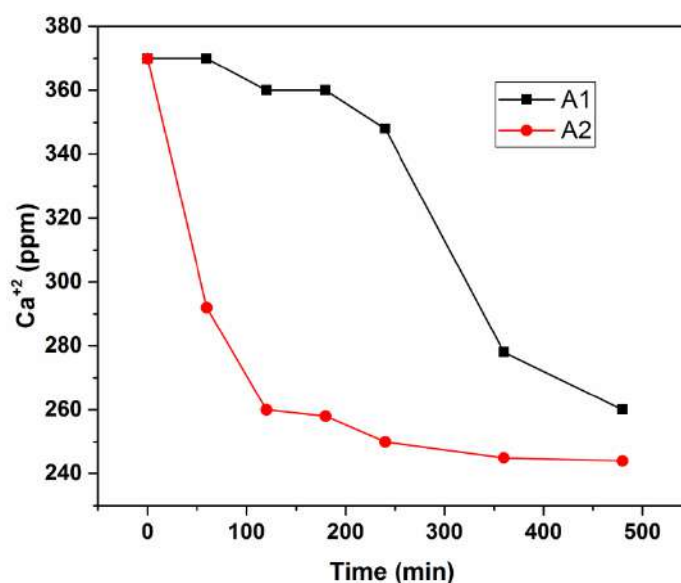
بررسی شد. نتایج حاصل نشان‌داد که با افزایش زمان تماس، میزان حذف افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در همان ۶۰ دقیقه اولیه

در این مرحله اثر زمان‌های تماس مختلف در pH ثابت و میزان نانو ذرات آلومینا ۰/۲ گرم برای حذف آهن موجود در آب

واکنش جذب، مقدار آهن موجود در آب از ۳۷ ppb به صفر رسید. میزان جذب در تمام زمان‌های آزمایش ۱۰۰٪ بوده که نشان‌دهنده این است که هر دو نمونه نانو پودر استفاده شده توانایی حذف کامل آهن موجود در آب را دارند (شکل ۳). در پژوهشی که پلی آنیلین روی ذرات نانو آلومینا پوشش داده شده بود راندمان جذب ۸۳٪ از محلول ۵۰ ppm آهن در pH ۳ به دست آمد (حاجی زاده، ۱۳۹۳).

۳-۱-۳- تأثیر زمان تماس روی میزان جذب کلسیم

پیش از ورود آب به مخازن و دیگ‌ها باید سختی آن را کنترل



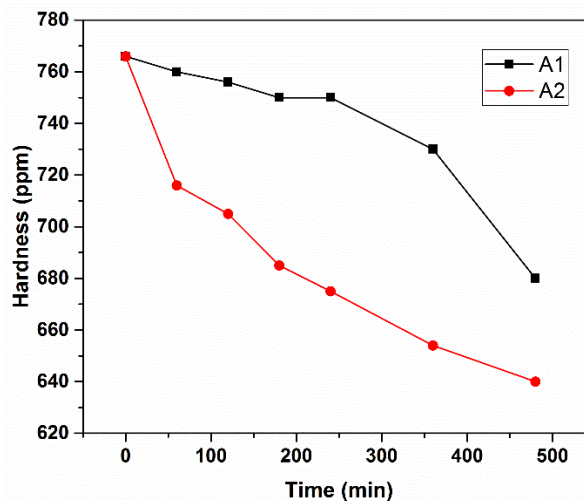
شکل ۴- تأثیر زمان تماس روی میزان جذب کلسیم توسط دو نمونه A2 و A1

۳-۱-۴- بررسی اثر زمان تماس بر کارایی جذب سختی

وجود سختی آب می‌تواند منجر به ته‌نشینی رسوبات در انواع لوله‌ها و تاسیسات شده که این امر در دراز مدت می‌تواند عایق شدن تاسیسات را به دنبال داشته باشد که به نوبه خود مانع از انتقال حرارت به آب درون بویلرها می‌شود. این امر علاوه بر کاهش راندمان حرارتی می‌تواند باعث گرمایش بیش از حد فلز نیز بشود.

شکل ۵، تاثیر زمان تماس بین نانو ذرات آلومینا به عنوان جاذب را بر مقدار جذب سختی نشان می‌دهد. بر این اساس، با افزایش زمان تماس، مقدار جذب سختی توسط نانو ذرات آلومینا افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش زمان تماس، یون‌های موجود در آب فرصت بیشتری دارند تا توسط ذرات آلومینا جذب شوند. هم‌چنین این نمودار نشان می‌دهد که نمونه A2 در ۶۰ دقیقه ابتدایی آزمایش فرآیند جذب بسیار سریع بوده و میزان سختی از ۷۶۶ ppm به ۷۱۶ ppm رسیده است. پس از آن، در مرحله بعدی یعنی بعد از ۶۰ تا ۴۸۰ دقیقه سرعت جذب توسط جاذب A2 با نرخ کمتری نسبت به ۶۰ دقیقه اول ادامه می‌یابد.

میزان جذب در زمان‌های اولیه زیاد بوده ولی بعد از مدتی ثابت می‌شود که نشان‌دهنده این است که واکنش به حالت تعادل رسیده است. در این حال برای نمونه A1 در مدت زمان‌های اولیه واکنش صفر تا ۲۴۰ دقیقه میزان جذب کلسیم خیلی کم بوده و منحنی شیب آرامی دارد. ولی در مرحله بعدی جذب افزایش می‌یابد و به‌طور مشخص جذب سریع‌تر از مراحل اولیه صورت گرفته و منحنی شیب تندتری دارد. لذا بیشتر شدن راندمان حذف در این مرحله به‌خاطر آن است که با افزایش زمان، برای جاذب فرصت بیشتری به‌وجود می‌آید تا با یون‌های کلسیم تماس پیدا کرده و آن‌ها را جذب کند. مقایسه دو نوع جاذب موردنظر نشان داد که نمونه A1 نسبت به نمونه A2 مدت زمان جذبش دیرتر شروع می‌شود ولی بعد از شروع جذب، راندمان بالاتری دارد. هم‌چنین جاذب نیز در مدت زمان‌های دیرتری اشباع می‌شود. (McBride 1978) برای جذب کلسیم از آلومینای بی‌شکل در مقادیر pH کم استفاده کرد که عدم جذب مشاهده شد.

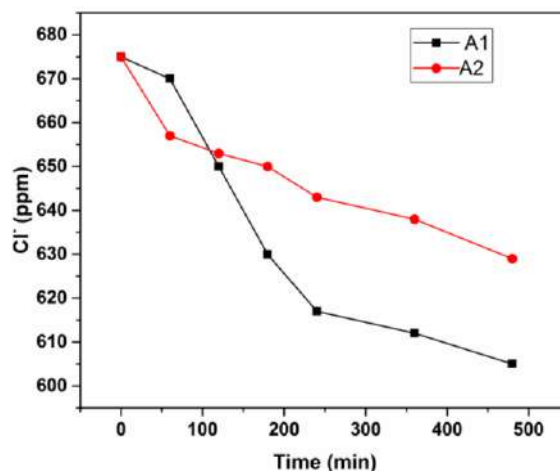


شکل ۵- تأثیر زمان تماس روی میزان جذب سختی آب

۳-۱-۵- تأثیر زمان تماس روی جذب کلرور

کلرور در هنگام حضور در آب با آن واکنش داده و اسیدی تولید می‌کند که خورنده بوده و برای سلامتی انسان مضر است. شکل ۶ تأثیر تغییرات مدت زمان تماس بر میزان جذب کلرور را نشان می‌دهد. با افزایش زمان تماس به دلیل افزایش فرصت و شانس تماس یون‌های کلرور با ذرات جاذب، مقدار جذب افزایش می‌یابد. تأثیر زمان تماس در فواصل زمانی صفر تا ۴۸۰ دقیقه برای هر دو جاذب A1 و A2 با کلرور بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص شده است برای جاذب تهیه‌شده از شرکت سپهرآیین (A1) با افزایش زمان تماس میزان جذب افزایش می‌یابد. بیشترین میزان جذب در لحظات اولیه رخ می‌دهد. ولی برای جاذب تهیه‌شده از شرکت آلومینای ایران (A2) تغییر آن‌چنانی صورت نمی‌گیرد و جذب آهسته‌تر و کمتر اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی در صورت استفاده از این دو نوع جاذب برای حذف یا کاهش کلرور، نیاز به زمان بیشتری نسبت به حالت عادی برای کامل‌شدن جذب روی خلل و فرج سطوح نانو ذرات خواهد بود.

حال برای نمونه A1 با توجه به شکل در مدت زمان‌های صفر تا ۲۴۰ دقیقه میزان جذب سختی خیلی آرام بوده و منحنی شیب کمتری دارد، که حتی در زمان ۱۸۰ تا ۲۴۰ دقیقه به تعادل رسیده است. ولی در مرحله بعدی جذب افزایش می‌یابد. به‌طور مشخص جذب سریع‌تر از مراحل اولیه صورت گرفته و منحنی شیب تندتری دارد. لذا بیشتر شدن راندمان حذف در این مرحله به‌خاطر آن است که با افزایش زمان، برای جاذب فرصت بیشتری به‌وجود می‌آید تا با یون‌هایی که عامل سختی (همان کلسیم و منیزیم) هستند تماس پیدا کرده و آن‌ها را جذب نماید. در هر صورت با افزایش pH مقدار جذب یون‌های فلزی قلیایی خاکی افزایش می‌یابد و این جذب در pH های نزدیک نقطه ایزوالکتریک و کمتر از آن کاهش می‌یابد. تمایل به جذب یون‌های فلزی قلیایی خاکی به سطح ذرات آلومینا در منیزیم بیشترین و در باریم کمترین است که نشان‌دهنده این است که پایداری کمپلکس‌های سطحی با افزایش شعاع یونی کاهش می‌یابد (Huang and Stumm, 1973).



شکل ۶- تأثیر زمان تماس در میزان حذف کلرور آب

آلومینا به دلیل دافعه بارهای هم‌نام منفی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان تا حدی انتظار داشت با کاهش pH آب بتوان مقدار بیشتری کلرور را از آب جذب کرد. مقدار جذب یون‌های کلرور

با توجه به این که آزمایش جذب در pH قلیایی انجام شده که در این pH بار سطحی ذرات آلومینا تا حدی منفی است، مقدار جذب کلرور در قیاس با یون‌های فلزی مثبت بر سطح ذرات نانو

- Ghamari, M., and Farzi, G., (2017), "The impact of morphology control on the microhardness of PMMA/Boehmite hybrid nanoparticles prepared via facile aqueous one-pot process", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 84(1), 135-144.
- Hasson, D., Avriel, M., Resnick, W., Rozenman, T., and Windreich, S., (1968), "Mechanism of calcium carbonate scale deposition on heat-transfer surfaces", *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 7(1), 59-65.
- Huang, C.-P., and Stumm, W., (1973), "Specific adsorption of cations on hydrous γ - Al_2O_3 ", *Journal of Colloid and Interface Science*, 43(2), 409-420.
- Kameda, T., Yoshioka, T., Mitsunashi, T., Uchida, M., and Okuwaki, A., (2003), "The simultaneous removal of calcium and chloride ions from calcium chloride solution using magnesium-aluminum oxide", *Water Research*, 37(16), 4045-4050.
- Karabelli, D., Ünal, S., Shahwan, T., and Eroğlu, A.E., (2011), "Preparation and characterization of alumina-supported iron nanoparticles and its application for the removal of aqueous Cu^{2+} ions", *Chemical Engineering Journal*, 168(2), 979-984.
- Kim, Y., Kim, C., Choi, I., Rengaraj, S., and Yi, J., (2004), "Arsenic removal using mesoporous alumina prepared via a templating method", *Environmental Science and Technology*, 38(3), 924-931.
- Mahmoud, M.E., Osman, M.M., Hafez, O.F., and Elmelegy, E., (2010), "Removal and preconcentration of lead (II), copper (II), chromium (III) and iron (III) from wastewaters by surface developed alumina adsorbents with immobilized 1-nitroso-2-naphthol", *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 349-357.
- McBride, M.B., (1978), "Retention of Cu^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and Mn^{2+} by Amorphous Alumina 1", *Soil Science Society of America Journal*, 42(1), 27-31.
- Okamoto, G., Okura, T., and Goto, K., (1957), "Properties of silica in water", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 12(1-2), 123-132.
- Savage, N., and Diallo, M.S., (2005), "Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges", *Journal of Nanoparticle Research*, 7(4-5), 331-342.
- Shivaprasad, P., Singh, P.K., Saharan, V.K., and George, S., (2018), "Synthesis of nano alumina for defluoridation of drinking water", *Nano-Structures and Nano-Objects*, 13, 109-120.
- Stumm, W., (1956), "Calcium carbonate deposition at iron surfaces", *Journal of American Water Works Association*, 48(3), 300-310.
- Wang, X., Li, Y., Li, H., and Yang, C., (2016), "Chitosan membrane adsorber for low concentration copper ion removal", *Carbohydrate Polymers*, 146, 274-281.
- Werber, J.R., Osuji, C.O., and Elimelech, M., (2016), "Materials for next-generation desalination and water purification membranes", *Nature Reviews Materials*, 1(5), 16018.
- Zhang, R., Liu, Y., He, M., Su, Y., Zhao, X., Elimelech, M., and Jiang, Z., (2016), "Antifouling membranes for sustainable water purification: strategies and mechanisms", *Chemical Society Reviews*, 45(21), 5888-5924.

در صورت استفاده از ذرات جاذب اکسید منیزیم آلومینیوم در شرایط خاص کنترل شده در دمای ۲۰-۶۰ درجه سانتیگراد می‌تواند تا ۹۸/۲٪ نیز افزایش یابد (Kameda et al., 2003).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر پارامتر زمان بر میزان جذب سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور در آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم توسط دو نمونه نانو پودر آلومینای سنتز شده با روش احتراقی (A1) و سل ژل (A2) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش زمان میزان جذب سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور موجود در آب افزایش یافت. هر دو نمونه A1 و A2 توانایی جذب کامل یون‌های فلزی آهن از آب را دارند. در این حال میزان جذب سیلیس (SiO_2) توسط A1 بسیار بیشتر از نمونه A2 مشاهده شد. هر دو جاذب توانایی جذب بخشی از سختی، کلرور و کلسیم آب را نشان دادند.

۵- تشکر و قدردانی

تمامی فعالیت‌های آزمایشگاهی در کارخانه آلومینای جاجرم انجام شده است. بدین‌وسیله از همکاری بخش‌های مختلف کارخانه به‌ویژه بخش آزمایشگاه صمیمانه قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- مراجع

- حاجی‌زاده، ح.، طاهری انارکی، م.، و عرب ابوسعدي، ز.، (۱۳۹۳)، "پوشش نانوذرات آلومینا با پلی‌آنیلین جهت حذف یون آهن از محلول آبی"، *فصلنامه بهداشت در عرصه*، ۲(۳)، ۴۲-۵۰.
- Bhatnagar, A., Kumar, E., and Sillanpää, M., (2010), "Nitrate removal from water by nano-alumina: Characterization and sorption studies", *Chemical Engineering Journal*, 163(3), 317-323.
- Bouguerra, W., Ali, M.B.S., Hamrouni, B., and Dhahbi, M., (2007), "Equilibrium and kinetic studies of adsorption of silica onto activated alumina", *Desalination*, 206(1-3), 141-146.
- Chaturvedi, S., and Dave, P.N., (2019), "Water purification using nanotechnology an emerging opportunities", *Chemical Methodologies*, 3(1), 115-144.
- Dervin, S., Dionysiou, D.D., and Pillai, S.C., (2016), "2D nanostructures for water purification: Graphene and beyond", *Nanoscale*, 8(33), 15115-15131.
- Dubey, S., Gusain, D., and Sharma, Y.C., (2016), "Kinetic and isotherm parameter determination for the removal of chromium from aqueous solutions by nanoalumina, A nanoadsorbent", *Journal of Molecular Liquids*, 219, 1-8.
- Fane, A.G., Wang, R., and Hu, M.X., (2015), "Synthetic membranes for water purification: Status and future", *Angewandte Chemie International Edition*, 54(11),

Research Paper

مقاله پژوهشی

Evaluation of Different Evapotranspiration Methods, Optimizing the Best Model Based on Multivariate Linear Regression in Cold Moderate and Semi-Humid Climates

ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق، ارائه مدل‌های بهینه براساس رگرسیون خطی چند متغیره در اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل سرد

Ahmadreza Karimipour^{1*} and Golnoosh Banitalebi²

1- Instructor, Department of Civil Engineering, Payam Noor University, Shahrekord, Iran.

2- PhD student, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

* Corresponding author, Email: ahm.karimipour@gmail.com

احمدرضا کریمی‌پور^{۱*} و گل‌نوش بنی‌طالبی^۲

۱- مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، شهرکرد، ایران.

۲- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: ahm.karimipour@gmail.com

Received: 20/07/2019

Revised: 31/12/2019

Accepted: 05/01/2020

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

Abstract

چکیده

ET₀ plays an essential role in water resources management. In this study, nine temperature-based, ten radiation-based and six mass transfer-based methods at three-time scales (monthly, seasonal, and annual) were evaluated versus the FAO56-PM model, and the best and worst methods were selected from each group for the cold moderate and semi-humid climate of Iran. At annual and seasonal time scales (spring, summer and autumn seasons) Hargreaves-M4 and Trajkovic methods (temperature-based methods), Priestley-Taylor and IRMAK 1 equations (radiation-based methods) in winter season and for monthly time scale: Meyer and Rohwer, Hargreaves-M4, Trajkovic, IRMAK 1, and Priestley-Taylor methods were shown to have the best performance in comparison to FAO56 PM. These equations are the best ET₀ estimators in cold moderate, and semi-humid climate. In this study, two equations with the best performance, namely Hargreaves-M4 and Trajkovic were optimized as linear and power functions. The results showed that the power equation had better performance than the linear equation. Finally, two equations were presented based on the linear multivariate regression to simplify ET₀ estimation. The results revealed that those kinds of equations, which used T_{max}, T_{min} as input parameters have high accuracy in comparison with Hargreaves-M4 and Trajkovic equations.

تبخیر و تعرق نقش مهمی در مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. در این مطالعه ۹ روش برپایه درجه حرارت، ۱۰ روش برپایه تشعشع و ۶ روش برپایه انتقال جرم در سه مقیاس زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) در مقایسه با روش FAO56-PM مورد ارزیابی قرار گرفتند و بهترین روش از هر گروه برای اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد ایران انتخاب شدند. در میان روش‌های برپایه درجه حرارت، دو روش Hargreaves-M4 و Trajkovic در مقیاس‌های زمانی سالانه و فصلی (بهار، تابستان و پاییز)، در بین روش‌های برپایه تشعشع، روش‌های Priestley-Taylor و IRMAK 1 در فصل زمستان و در مقیاس زمانی ماهانه روش‌های Priestley-Taylor، IRMAK 1، Trajkovic، Hargreaves-M4، Meyer و Rohwer دارای بهترین عملکرد در مقایسه با FAO56-PM بودند. از این روش‌ها می‌توان به‌عنوان بهترین تخمین‌گر ET₀ در نواحی با اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد نام برد. در این مطالعه دو معادله با بهترین عملکرد با نام‌های Hargreaves-M4 و Trajkovic به‌صورت خطی و توانی بهینه و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که معادلات توانی عملکرد بهتری نسبت به معادلات خطی دارند. در نهایت این دو معادله براساس رگرسیون خطی چند متغیره برای سادگی در تخمین ET₀ ارائه شدند. نتایج مربوط به این دو معادله نشان داد که استفاده از پارامتر دما به‌عنوان پارامتر ورودی منجر به دقت بالاتر در برآورد ET₀ در مقایسه با روش‌های Hargreaves-M4 و Trajkovic می‌شود.

Keywords: ET₀, FAO56-PM, Multivariate linear regression, Optimization.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، FAO56-PM، رگرسیون خطی چند متغیره، بهینه‌سازی.

است. (George and Raghuwanshi (2012) شش مدل متفاوت تخمین ET_0 را برای چهار منطقه مختلف در هند مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفتند که برای مناطقی با اقلیم مرطوب روش فائو-۲۴ دارای تطابق بیشتری با روش FAO56-PM بود.

(Sharifian and Ghahreman (2006 به بررسی و مقایسه تبخیر و تعرق برآورد شده از تشت تبخیر با مقادیر ET_0 روش استاندارد در منطقه گرگان پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که برای بازه زمانی ۱۰ روزه، روش‌های کونیکا، اشنایدر اصلاح شده و آلن - پروت و برای مقیاس ماهانه روش‌های کونیکا و اشنایدر اصلاح شده مناسب هستند. تحقیقات (Gundekar (2004 نشان داد که مقادیر تبخیر و تعرق به‌دست آمده از ضریب تشت اشنایدر در استان مازاراشتاور در کشور هند تطابق بسیار خوبی با مقادیر تبخیر و تعرق حاصله از روش فائو- پنمن-مانتیت دارد. خوشحال و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع با روش تشت تبخیر فائو در حوضه آبریز شرق و جنوب شرق ایران پرداختند. نتایج نشان داد که در برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع، در مقیاس فصلی، فصل تابستان کمترین خطا و فصل زمستان بیشترین خطا را در برآورد ET_0 دارد. (Irmak et al. (2003 معادلات مبتنی بر تابش خورشیدی را برای برآورد تبخیر تعرق مرجع در منطقه‌ای با آب و هوای مرطوب مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادلات مبتنی بر تابش می‌تواند به‌عنوان روش‌های عملی و مناسب برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع در مناطق مرطوب جنوب شرقی آمریکا مورد استفاده قرار گیرند. (Zhendong et al. (2017 روند تبخیر و تعرق مرجع و عوامل موثر بر آن را در حوضه غربی رودخانه لیائو چین مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه از اطلاعات ۱۵ ایستگاه هواشناسی در ناحیه خشک و نیمه‌خشک حوضه رودخانه لیائو چین از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقیاس زمانی سالانه، پارامتر تابش خورشید و در مقیاس زمانی فصلی، سه پارامتر میانگین دمای هوا، حداکثر دمای هوا و رطوبت نسبی به‌عنوان اثرگذارترین پارامتر بر مقدار ET_{ref} در فصل بهار، تابستان، زمستان و پاییز شناخته شدند. (Feng et al. (2017 تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق مرجع در بازه زمانی ۱۹۵۴-۲۰۱۳ در جنوب غربی چین را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از آزمون من-کندال^۲، روند خطی، تحلیل موجک مورلت^۳ و روش‌های درون‌یابی وزن و فاصله معکوس برای تحلیل استفاده شد. صمدی و مجدزاده (۱۳۸۳) به بررسی و مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق مرجع حاصله از لایسیمتر با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع حاصله از روش‌های تجربی بلانی کريدل، ترنت وایت و پنمن-مانتیت در شهر کرمان پرداخته و نتیجه گرفتند که معادله بلانی کريدل مناسب‌ترین روش برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق در مناطق خشک است.

افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به مواد غذایی و همچنین محدودیت منابع آب و خاک ضرورت پایداری در توسعه کشاورزی را در شرایط اقلیمی ایران آشکار می‌سازد. در میان اجزای مختلف چرخه هیدرولوژیکی، تقریب دقیق مقدار تبخیر و تعرق، شاید به‌دلیل تعامل پیچیده آن با سیستم خاک-گیاه-اتموسفیر امری دشوار بوده و برآورد دقیق ET_0 برای تخمین نیاز آبیاری خالص، برنامه‌ریزی منابع آب منطقه‌ای و مدیریت و مدل‌سازی تغییرات آب و هوایی ضروری است. تبخیر و تعرق به دو روش مستقیم (استفاده از لایسیمتر) و غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود ولی به‌منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه، بیشتر محققین از روش‌های غیرمستقیم برای برآورد میزان تبخیر و تعرق استفاده می‌کنند. این روش‌ها مبتنی بر اطلاعات هواشناسی منطقه، ارتفاع و عرض جغرافیایی هستند. روش‌های غیرمستقیم برآورد تبخیر و تعرق به سه دسته برپایه تشعشع، انتقال جرم و درجه حرارت تقسیم‌بندی می‌شوند. از بین همه این روش‌ها، روش پنمن-مانتیت به‌علت دقت بالای این روش در تخمین تبخیر و تعرق، در همه شرایط آب و هوایی قابل کاربرد است. این روش به‌عنوان روش استاندارد از طرف سازمان فائو معرفی شده و برای ارزیابی سایر مدل‌های تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش FAO56-PM در حال حاضر به‌طور گسترده به‌عنوان روش مرجع در زمینه زراعت، مدیریت آب و آبیاری و سایر زمینه‌های مرتبط برای تحقیق هدف استفاده می‌شود (Alexandris et al., 2006).

روش مورد استفاده برای تخمین مقادیر ET_0 با نوع شرایط آب و هوایی و اطلاعات هواشناسی مورد استفاده تغییر می‌کند. داده‌های مورد نیاز از روشی به‌روشی دیگر تغییر می‌کند. در صورت عدم وجود داده‌های هواشناسی، روش‌های تجربی برای مکان‌های جدید با استفاده از مدل FAO56-PM استاندارد می‌شوند. ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف تخمین ET_0 توسط شمار زیادی از محققان انجام شده است. (Yoder et al. (2005 هشت معادله مختلف تخمین ET_0 در جنوب ایالات متحده را مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفتند که معادله تورک^۱ جایگزین مناسبی برای مدل FAO56-PM بوده در حالی که معادله هارگریوز-ام^۴ برای منطقه موردنظر انتخابی مناسب نبود. (Nandagiri and Kovoov (2006 عملکرد هفت روش مختلف برآورد ET_0 را در تمام شرایط آب و هوایی هند مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که روش تورک دارای بهترین عملکرد است. (Fooladmand et al. (2008 انواع مختلف معادلات هارگریوز را برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی در جنوب ایران با معادله FAO56-PM به‌عنوان معادله استاندارد مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادله Hargreaves-M4 برای شرایط آب و هوایی مرطوب و باد کم یک گزینه مناسب

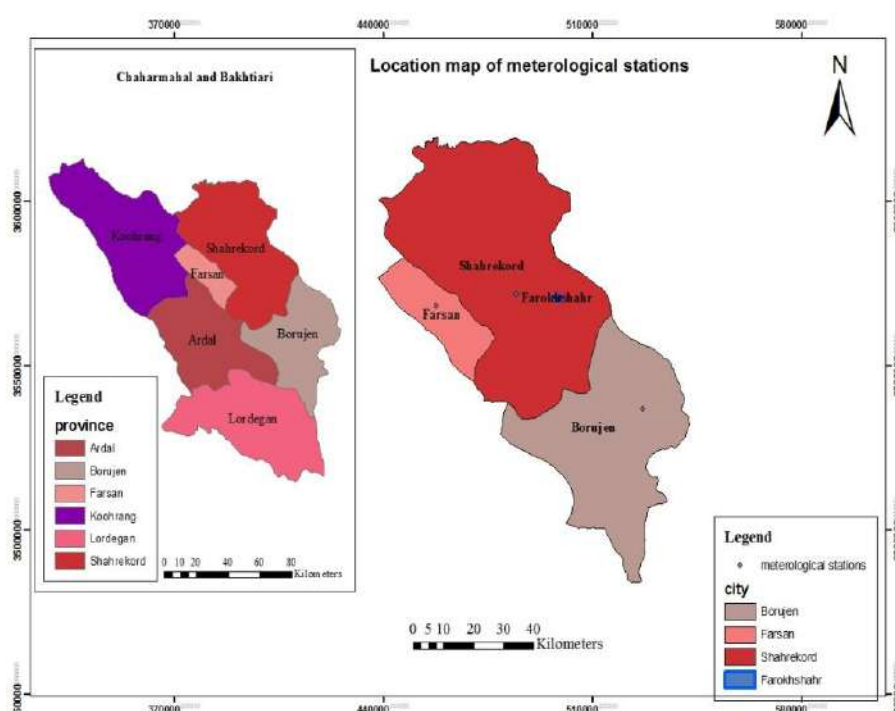
Xing et al. (2018) روش‌های تجربی پرستلی-تیلور و پنمن-مانتیت را برای تخمین ET_0 با روش تشت تبخیر در ایستگاه ساحلی پژوهشگاه کشت سیب زمینی کانادا مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که روش تشت تبخیر، تخمین کمتری از ET_0 نسبت به روش‌های پرستلی-تیلور و پنمن-مانتیت ارائه می‌دهد. (Kaya and Salih (2012 مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل را در ناحیه ایگدیر ترکیه با استفاده از معادلات مختلف تخمین ضریب تشت تبخیر برآورد نمودند و در مقایسه مقادیر حاصله با معادله فائو-پنمن-مانتیت نتیجه گرفتند که روش اشنایدر در مقیاس ماهانه عملکرد خیلی خوبی دارد. (Naseri et al. (2000 مقادیر تبخیر و تعرق مرجع را با استفاده از روش‌های مختلف تجربی برآورد نموده و سپس مقادیر حاصله را با نتایج حاصل از لایسیمتر مورد مقایسه قرار داده و نتیجه گرفتند که روش‌های بلانی کریدل و تشت تبخیر برای برآورد ET_0 در این منطقه مناسب هستند.

با توجه به تحقیقات و بررسی‌های انجام شده هیچ گزارشی مبنی بر مطالعات انجام شده برای ارزیابی عملکرد روش‌های تخمین تبخیر و تعرق بر پایه انتقال جرم، دما و تشعشع در مناطق سردسیر و نیمه‌مرطوب در ایران وجود ندارد. علاوه بر این بسته به شرایط خاص آب و هوایی نوع پارامترهای اثر گذار و معادله تجربی مناسب در برآورد تبخیر و تعرق نیز متفاوت است. از این رو به منظور بررسی انطباق هر یک از روش‌های تجربی با شرایط اقلیمی نیمه مرطوب معتدل سرد و همچنین میزان انطباق آن‌ها با فصول گرم و سرد سال به صحت‌سنجی، ارزیابی و مقایسه هر یک از این معادلات پرداخته شد. بدین منظور این مطالعه در قابل چهار هدف. (۱) محاسبه الگوهای ماهانه، سالانه و فصلی سری ET_0 در

جنوب غربی ایران، استان چهارمحال و بختیاری و بختیاری از سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷، (۲) اندازه‌گیری روندهای ماهانه، سالانه و فصلی سری‌های ET_0 بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷، (۳) تعیین یک جایگزین مناسب برای معادله استاندارد (معادله پنمن-مانتیت) و (۴) ارائه یک رابطه ساده با نیاز به حداقل داده‌های هواشناسی در مناطق دارای کمبود پارامتر هواشناسی تحت شرایط اقلیم نیمه مرطوب و معتدل سرد پایه‌ریزی شد.

۲- مواد و روش‌ها

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس واقع شده است و دارای تنوع آب و هوایی بسیار بوده و شامل اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل سرد، مرطوب معتدل سرد، نیمه مرطوب کمی سرد و اقلیم نیمه مرطوب بسیار گرم است. شهرهای مورد مطالعه در این مقاله شامل شهرکرد، بروجن، فارسان و فرخ‌شهر هستند که دارای اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد می‌باشند. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی شهرکرد، بروجن، فارسان و فرخ‌شهر استفاده شده است. موقعیت این ایستگاه‌های هواشناسی بوسیله بسته نرم‌افزاری Arc GIS 10.2 مشخص و در شکل ۱ آورده شده است. نام و موقعیت این ایستگاه‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- محل ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)
شهرکرد	۳۲°۱۷'	۵۰°۵۵'	۲۰۵۰
بروجن	۳۱°۵۸'	۵۱°۱۷'	۲۲۶۰
فارسان	۳۲°۱۵'	۵۰°۳۳'	۲۰۵۹
فرخ‌شهر	۳۲°۱۷'	۵۰°۵۵'	۲۰۸۵

درجه حرارت: معادلات: ترنث‌وایت^۴، بلانی کریدل^۵، هارگریوز-سامانی^۶، اسکندل^۷، هارگریوز-ام^۸، فائو-۲۴^۹، بلانی کریدل^۹، تراجکویک^{۱۰}، راوازانی^{۱۱}، معادلات بر پایه انتقال جرم: پنمن^{۱۲}، ماهرینگر^{۱۳}، بروکامپ و ونر^{۱۴}، میر^{۱۵}، راهور^{۱۶} و دالتون^{۱۷} و معادلات بر پایه تشعشع شامل تورک، فائو-۲۴^{۱۸}، والنیریز^۱ و ۲^{۱۹}، ترک اصلاح شده^{۲۰}، پریستلی-تیلور^{۲۱}، ماکینک^{۲۲} و ایرماک^۱، ۲ و ۳^{۲۳} تقسیم‌بندی شدند.

متغیرهای هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش شامل سرعت باد، حداقل، حداکثر و متوسط درجه حرارت هوا و حداقل، حداکثر و متوسط رطوبت نسبی هوا، تعداد ساعات تابش خورشید و میزان بارندگی بوده که در جدول ۲ آورده شده است. این داده‌ها از ۴ ایستگاه هواشناسی و به مدت ۲۲ سال جمع‌آوری شده است. پردازش داده‌ها و تعیین موقعیت ایستگاه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Arc GIS انجام شد. در این مطالعه روش‌های محاسباتی مورد استفاده به سه دسته معادله‌های برپایه

جدول ۲- میانگین ماهانه تغییرات آب و هوایی در ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن، فارسان، فرخ‌شهر از سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۶*

پارامترها	واحد	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مهر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
T _{max}	(°C)	۱۶/۵	۲۲/۳	۲۸/۳	۳۲/۹	۳۲/۴	۲۹/۹	۲۴/۵	۱۶/۳	۹/۹	۶/۴	۶/۸
T _{min}	(°C)	۲/۱	۶/۲	۹/۱	۱۳/۴	۱۳	۹/۷	۵	۱/۲	-۳/۶	-۷/۲	-۵/۹
T _{mean}	(°C)	۹/۳	۱۴/۳	۱۹	۲۳/۲	۲۲/۷	۱۹/۸	۱۴/۷	۸/۷	۳/۱	-۰/۴	۰/۵
P	(mm)	۱/۸	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۰۳	۰/۱	۱/۳	۱/۹	۱/۴	۱/۸
RH	(%)	۴۴/۷	۳۹/۷	۲۷/۹	۲۴/۵	۲۴/۵	۲۵/۶	۳۱/۹	۴۷/۷	۵۶/۷	۵۹/۶	۵۸/۲
U ₂	(m s ⁻¹)	۲/۵۱	۲/۲۸	۱/۹۶	۱/۸۸	۱/۸۱	۱/۸۱	۱/۶۵	۱/۶۵	۱/۲۶	۱/۳۴	۱/۸۱
R _s	(MJm ⁻² d ⁻¹)	۱۸/۶	۲۱/۹۸	۲۵/۹۴	۲۵/۲	۲۳/۹۸	۲۱/۸۸	۱۷/۷۶	۱۳/۰۳	۱۰/۲۵	۱۰/۲۸	۱۲/۰۶
n	hour	۸/۱	۹/۲	۱۱/۴	۱۰/۹	۱۰/۸	۱۰/۵	۹/۸	۷/۶	۶/۷	۶/۸	۷/۲
N	hour	۱۲/۶	۱۳/۳	۱۳/۸	۱۳/۶	۱۳/۳	۱۲/۳	۱۱/۷	۱۰/۳	۱۰/۳	۱۰/۴	۱۱/۲
R _a	(MJm ⁻² d ⁻¹)	۳۴/۶	۳۹/۱	۴۱/۴	۴۱	۳۸/۷	۳۴/۲	۲۸/۱	۲۲/۳	۱۸/۹	۱۸/۹	۲۲/۴
R _n	(MJm ⁻² d ⁻¹)	۱۰/۵۰	۱۵/۰۰	۱۵/۴۳	۱۵/۳۶	۱۴/۲۷	۱۱/۹۵	۸/۴۳	۵/۲۸	۳/۵۸	۳/۶۰	۵/۱۵

* T_{max}: دمای حداکثر، T_{min}: دمای حداقل، T_{mean}: دمای میانگین، p: میزان بارندگی (mm)، RH: رطوبت نسبی، U₂: سرعت باد در ارتفاع دو متری، R_s: تشعشع خورشیدی رسیده به زمین، n: تعداد ساعات آفتابی، N: حداکثر ساعات آفتابی، R_a: تابش برون زمینی، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی

تعرق مرجع است و مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ET_0 = \frac{0.408 \times \Delta (R_n - G) + \gamma [900 / (T + 273)] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

که ET₀: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm d⁻¹)، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJm⁻²d⁻¹)، T: متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (°C)، U₂: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s⁻¹)، e_a-e_d: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری

۱-۲- معادلات تخمین تبخیر و تعرق مرجع

براساس عملکرد، سادگی کاربرد و نیاز به حداقل داده‌های ورودی هواشناسی از ۲۵ معادله تخمین تبخیر و تعرق مرجع استفاده شد و صحت عملکرد این معادلات در مناطق با اقلیم نیمه‌مرطوب و معتدل سرد توسط معادله استاندارد و بین‌المللی (معادله پنمن-مانتیت) مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت.

۱-۱-۲- معادله پنمن - مانتیت (معادله استاندارد)

این معادله به‌عنوان معتبرترین روش برای تخمین تبخیر و

از سطح زمین (kPa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار (برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، γ : ضریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و G : شار گرما به داخل خاک ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$) هستند.

۲-۲-۲- معادلات بر اساس درجه حرارت

معادلات براساس درجه حرارت از اولین معادلاتی بودند که برای تخمین تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفتند. معادله‌های مورد استفاده در این مطالعه در ادامه آورده شده است.

۲-۲-۱- معادله هارگریوز-سامانی

معادله هارگریوز و سامانی یک روش تجربی مبتنی بر تابش است و در مناطقی که دارای داده‌های آب و هوایی محدود هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این معادله فقط نیاز به پارامتر دمای هوا است و مقدار تبخیر و تعرق در آن با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_0 = 0.0023 \times R_a \times (T + 17.8) \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} \quad (۲)$$

که T : دمای متوسط هوا در دوره مورد نیاز ($^{\circ}\text{C}$) مثلاً روزانه، $T_{\max}$ و $T_{\min}$: حداکثر و حداقل دمای هوا در دوره مورد نظر ($^{\circ}\text{C}$) و R_a : تابش خورشیدی (mm/d) هستند.

۲-۲-۲- معادله بلانی کريدل

این روش توسط Pruitt واسنجی شده و برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع به صورت زیر ارائه شده است:

$$ET_0 = a + b[P(0.46T + 8.13)] \quad (۳)$$

که P : متوسط ساعات روشنایی هر روز در ماه موردنظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضرب در ۱۰۰ و a و b : ضرایب اقلیمی هستند.

$$a = 0.0043(RH_{\min}) - \frac{n}{N} - 1.41 \quad (۳-الف)$$

$$b = 0.82 - 0.0041(RH_{\min}) + 1.07\left(\frac{n}{N}\right) + 0.066(U_2) - 0.006(RH_{\min})\frac{n}{N} - 0.0006(RH_{\min})(U_2) \quad (۳-ب)$$

که n : تعداد ساعات واقعی آفتاب، N : حداکثر ساعات ممکن تابش آفتاب، $RH_{\min}$: حداقل رطوبت نسبی (درصد) و U_2 : سرعت باد در طول روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s^{-1}) هستند.

۲-۲-۳- معادله رومانکو^{۲۴}

$$ET_0 = 4.5 \times \left[1 + \frac{T}{25}\right]^2 \times \left(1 - \frac{e_a}{e_s}\right) \quad (۴)$$

این معادله توسط Oudin et al. (2005) اصلاح شده و فقط نیاز به داده‌های فشار بخار واقعی و اشباع و متوسط درجه حرارت هوا دارد. در این معادله e_a : فشار بخار واقعی برحسب kPa و e_s : فشار بخار اشباع برحسب (kPa) هستند.

۲-۲-۴- معادله ترنث‌وايت

اساس این معادله در تعیین میزان تبخیر و تعرق، دمای متوسط ماهانه است و میزان تبخیر و تعرق با این روش به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$ET_0 = 16 \times N_m \times \left(\frac{10 \times T}{I}\right)^a \quad (۵-الف)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T}{5}\right)^{1.51} \quad (۵-ب)$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.492 \quad (۵-ج)$$

که ET_0 : برحسب mm/month I : نمایه حرارتی سال است که از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه در طی سال به دست می‌آید، a : ضریب وابسته به I ، T : متوسط دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$) در ماه موردنظر و در صورتی که متوسط دمای هوا در یک ماه صفر یا منفی باشد مقدار $\left(\frac{T}{5}\right)^{1.51}$ برای آن ماه صفر است و N_m : ضریب اصلاحی برای ماه‌های مختلف سال است. چون معادله ترنث‌وايت برای محاسبه تبخیر و تعرق در هریک از ماه‌ها بر این فرض استوار است که هر ماه ۳۰ روز و هر روز ۱۲ ساعت روشنایی داشته باشد. بنابراین اگر تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعات روشنایی در ماه‌های مختلف سال متفاوت باشد، لازم است مقدار ET_0 با استفاده از ضریب اصلاحی N_m که مقادیر آن در مراجع موجود است تصحیح شود.

۲-۲-۵- معادله اسکندل

$$ET_0 = 16 \frac{T}{RH} \quad (۶)$$

این معادله بسیار ساده است که فقط به متوسط درجه حرارت روزانه هوا وابسته است. در این معادله RH : درصد رطوبت نسبی هوا و T : متوسط درجه حرارت روزانه ($^{\circ}\text{C}$) هستند.

۲-۲-۶- روش فائو-۲۴ بلانی کريدل (Allen and Pruitt, 1986)

۲-۳-۳- معادله Valiantzas 2

$$ET_0 = 0.0393R_s \sqrt{T+9.5} - 0.19R_s^{0.6} \varphi^{0.15} + 0.078 \times (T+20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (13)$$

که φ : عرض جغرافیایی برحسب رادیان است.

۲-۳-۴- معادله Valiantzas 1

$$ET_0 = 0.0393R_s \sqrt{T+9.5} - 2.4 \left(\frac{R_s}{R_a}\right)^2 - 0.024 \times (T+20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) + W_{aero} \times 0.066(T+20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) u_2^{0.6}$$

$$W_{aero} = 0.78 \text{ when } RH > 65\%$$

$$W_{aero} = 1.067 \text{ when } RH \leq 65\%$$

در این دو معادله Kisi (2014) پیشنهاد کرده است که برای سهولت در محاسبات، برای مقادیر خیلی کوچک $T < -9.5^\circ C$ قدر مطلق ترم $T+9.5$ در نظر گرفته شود. ولی Valiantzas (2013) پیشنهاد کرده است که برای حالت $T < -9.5^\circ C$ ، $ET_0=0$ در نظر گرفته شود. در معادله Valiantzas 1، T : متوسط درجه حرارت روزانه هوا ($^\circ C$)، u_2 : متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($m s^{-1}$)، هستند.

۲-۳-۵- معادله ایرماک ۱

$$ET_0 = -0.611 + 0.149 \times R_s + 0.079T \quad (15)$$

۲-۳-۶- معادله ایرماک ۲

$$ET_0 = -0.642 + 0.174 \times R_s + 0.0353T \quad (16)$$

۲-۳-۷- معادله ایرماک ۳

$$ET_0 = -0.478 + 0.156R_s - 0.0112 \times T_{max} + 0.0733 \times T_{min} \quad (17)$$

۲-۳-۸- معادله (FAO24-Radiation)

$$ET_0 = a + b \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times R_s \right] \quad (18)$$

$$ET_0 = a + bP(0.46T + 8.13)(1 + 0.0001E) \quad (7)$$

که E : ارتفاع (m)، a ، b و P ضرایب تجربی همانند روش بلانی کریدل هستند.

۲-۷- معادله تراجکویک

$$ET_0 = 0.0023 \times R_a \times (T + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.424} \quad (8)$$

۲-۸- معادله راوازانی

$$ET_0 = (0.817 + 0.00022z)(0.0023) \times R_a \times (T + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad (9)$$

۲-۹- معادله هارگریورز-۴م

$$ET_0 = 0.408 \times 0.0023 \times (T + 17.8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.424} \times R_a \quad (10)$$

۲-۳- معادلات برپایه تشعشع

در این مطالعه از ۱۰ معادله اندازه گیری تبخیر و تعرق برپایه تشعشع استفاده شده است. این معادلات عبارتند از:

۲-۳-۱- معادله تورک

$$ET_0 = 0.013 \times \frac{T}{T+15} \times \frac{23.88R_s + 50}{\lambda}$$

For $RH \geq 50\%$

$$ET_0 = \left(1 + \frac{50 - RH}{70}\right) \times 0.013 \times \frac{T}{T+15} \times \frac{23.88R_s + 50}{\lambda}$$

For $RH < 50\%$ (11)

که λ : گرمای نهان تبخیر ($MJ kg^{-1}$) که در دمای $20^\circ C$ درجه سانتی گراد برابر با 2450 است، RH : رطوبت نسبی هوا (٪) و R_s : تشعشع خورشیدی رسیده به زمین (موج کوتاه) برحسب (مگاژول بر مترمربع بر روز) هستند.

۲-۳-۲- معادله ماکینک

$$ET_0 = 0.61 \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_s}{\lambda} - 0.12 \quad (12)$$

که Δ : شیب منحنی فشار بخار (برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد) است.

$$ET_0 = 0.543 \times u_2^{0.456} \times (e_s - e_a) \quad (25)$$

۲-۳-۹- معادله پریستلی-تیلور (PT)

۲-۴-۷- معادله ماهرینگر

$$ET_0 = 0.15072 \times \sqrt{(3.6 \times u_2)} \times (e_s - e_a) \quad (26)$$

۲-۵- آماره‌های خطا

مرشدی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود به مقایسه داده‌های لایسیمتری و برخی از معادلات تجربی برآورد تبخیر و تعرق در دشت شهرکرد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که دو مدل هاگریوز-سامانی و پنمن-مانتیت در مقایسه با داده لایسیمتری از دقت خوبی برخوردار است. پریسای و همکاران (۱۳۹۶) با ارزیابی معادله‌های مختلف تجربی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط وجود و عدم وجود برخی پارامترهای هواشناسی در دشت شهرکرد نشان دادند که در صورت عدم وجود داده‌های لایسیمتری، معادله پنمن-مانتیت از دقت خوبی برخوردار است. بر این اساس عملکرد و کارایی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با معادله پنمن-مانتیت مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور ارزیابی دقت روش‌های جایگزین معادله تبخیر و تعرق استاندارد و تجزیه و تحلیل نتایج از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و درصد خطای تخمین (PE) بهره گرفته شد. روابط RMSE، MAE و PE در ادامه ارائه شده‌اند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (27)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (28)$$

$$PE = \left| \frac{P_{av} - O_{av}}{O_{av}} \right| \times 100\% \quad (29)$$

که P_i : تبخیر و تعرق تخمین زده شده توسط معادلات مختلف، O_i : تبخیر و تعرق تخمین زده شده واقعی (معادله پنمن-مانتیت) P_{av} : میانگین تبخیر و تعرق تخمین زده شده، O_{av} : میانگین O_i و n : تعداد داده‌ها هستند.

۳- نتایج و بحث

مقادیر ET_0 میانگین ماهانه محاسبه شده از مدل FAO56-PM و روش‌های برپایه انتقال جرم، تشعشع و درجه حرارت برای بازه زمانی ۲۲ سال در شکل‌های ۲ تا ۴ آورده شده‌اند.

$$ET_0 = 1.26 \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda} \quad (19)$$

که R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$) است.

۲-۳-۱۰- معادله تورک اصلاح شده

$$ET_0 = c_u \times 0.013 \times (23.88 \times R_s + 50) \times T \times (T + 15)^{-1} \quad (20)$$

$$c_u = -0.0211 \times u_2^2 + 0.1109 \times u_2 + 0.9004$$

واحدهای ET_0 ، R_s و T همانند واحدهای معادله فائو-پنمن-مانتیت است.

۲-۴- معادلات براساس انتقال جرم

معادلات مبتنی بر انتقال جرم عموماً معادلات ساده‌ای هستند. این معادلات اساساً براساس قانون گاز دالتون هستند و تعدادی از معادلات انتقال جرم که در این مطالعه از آن‌ها استفاده شده است به شرح زیر ارائه شده‌اند:

۲-۴-۱- معادله میر

$$ET_0 = (0.375 + 0.05026u_2) \cdot (e_s - e_a) \quad (21)$$

که e_s و e_a : فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی (mmHg) هستند.

۲-۴-۲- معادله پنمن

$$ET_0 = 0.35 \times \left(1 + \frac{0.98}{100u_2}\right) \times (e_s - e_a) \quad (22)$$

که e_s و e_a برحسب mmHg، u برحسب mile/day و ET_0 برحسب $mm\ d^{-1}$ هستند.

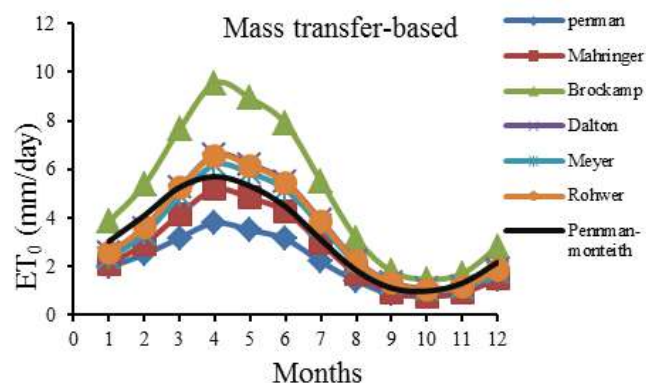
۲-۴-۳- معادله راهور

$$ET_0 = 0.44 \times (1 + 0.27u_2) (e_s - e_a) \quad (23)$$

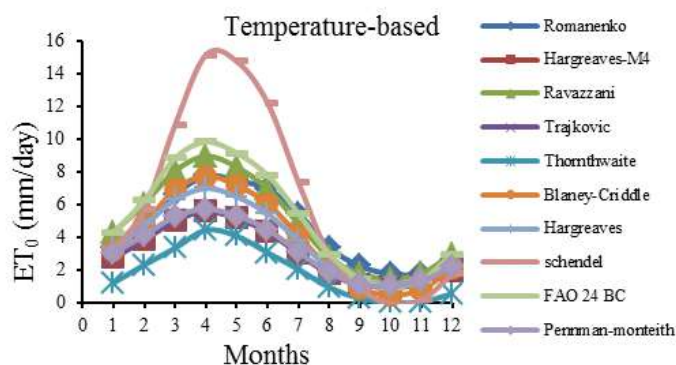
۲-۴-۵- معادله دالتون

$$ET_0 = (0.3648 + 0.07223u_2) \times (e_s - e_a) \quad (24)$$

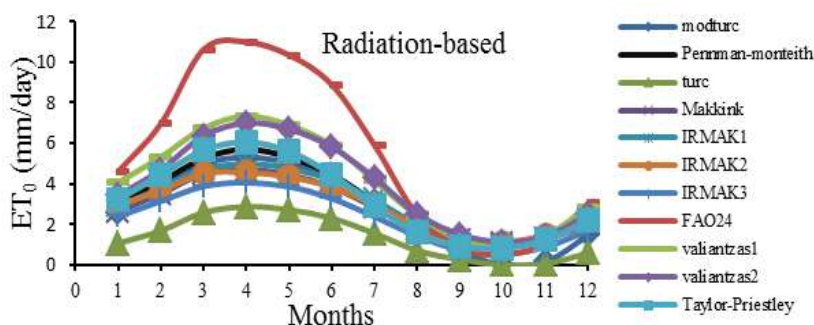
۲-۴-۶- معادله بروکمن و ورنر



شکل ۲- مقادیر متوسط تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شده با روش‌های مختلف براساس روش انتقال جرم و روش استاندارد در بازه زمانی ۲۲ سال



شکل ۳- مقادیر متوسط تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شده با روش‌های مختلف براساس درجه حرارت و روش استاندارد در بازه زمانی ۲۲ سال

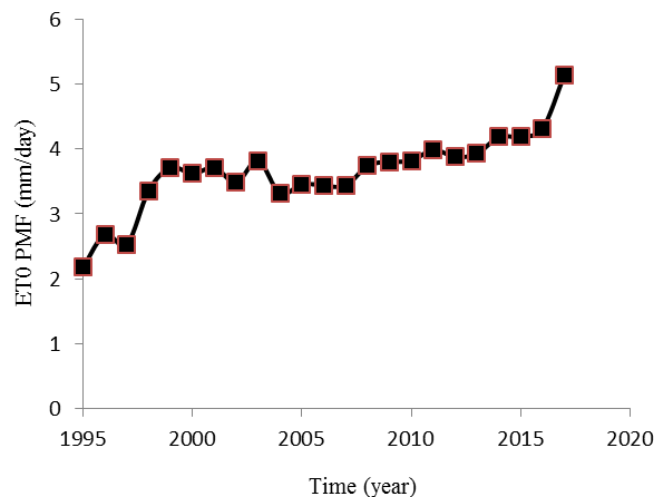


شکل ۴- مقادیر متوسط تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شده با روش‌های مختلف براساس تشعشع و روش استاندارد در بازه زمانی ۲۲ سال

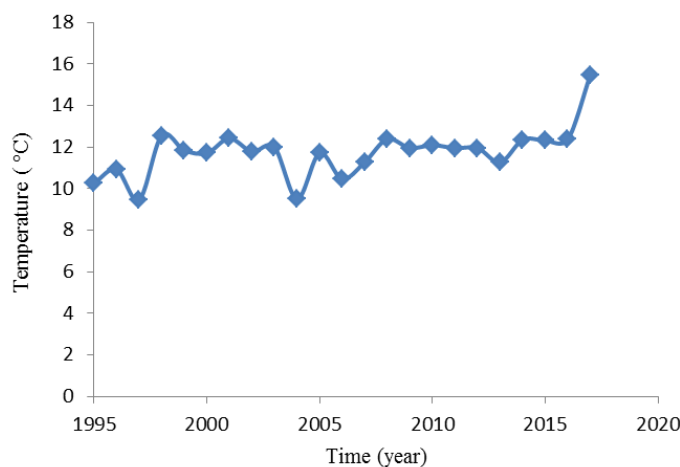
ساله را با زمان نشان می‌دهد (شکل ۵). نتایج هم‌چنین نشان داد که نرخ افزایش تبخیر و تعرق در این بازه زمانی ۲۲ ساله از مقدار ۲/۱۸ به مقدار ۵/۱۴ میلی‌متر بر روز رسیده است (در حدود ۲/۵ میلی‌متر بر روز). نرخ تغییرات درجه حرارت سالانه در بازه زمانی ۲۲ ساله در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که درجه حرارت در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و این افزایش دما منجر به افزایش نرخ تبخیر و تعرق در این سال‌ها شده است.

برطبق شکل‌های ۲ تا ۴ حداکثر مقدار تبخیر و تعرق مرجع در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مشاهده شده است. این امر می‌تواند به علت درجه حرارت بیشتر در این دو ماه نسبت به ماه‌های دیگر باشد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که تبخیر و تعرق در مقیاس زمانی ماهانه متفاوت از مقیاس زمانی فصلی و سالانه تغییر کند (Yihdego and Webb, 2018).

مقادیر داده‌های تبخیر و تعرق سالانه با استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شدند. در مقیاس زمانی سالانه، نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی تبخیر و تعرق در طی بازه زمانی ۲۲



شکل ۵- روند تغییرات تبخیر و تعرق در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۶



شکل ۶- روند تغییرات درجه حرارت در بازه زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۶

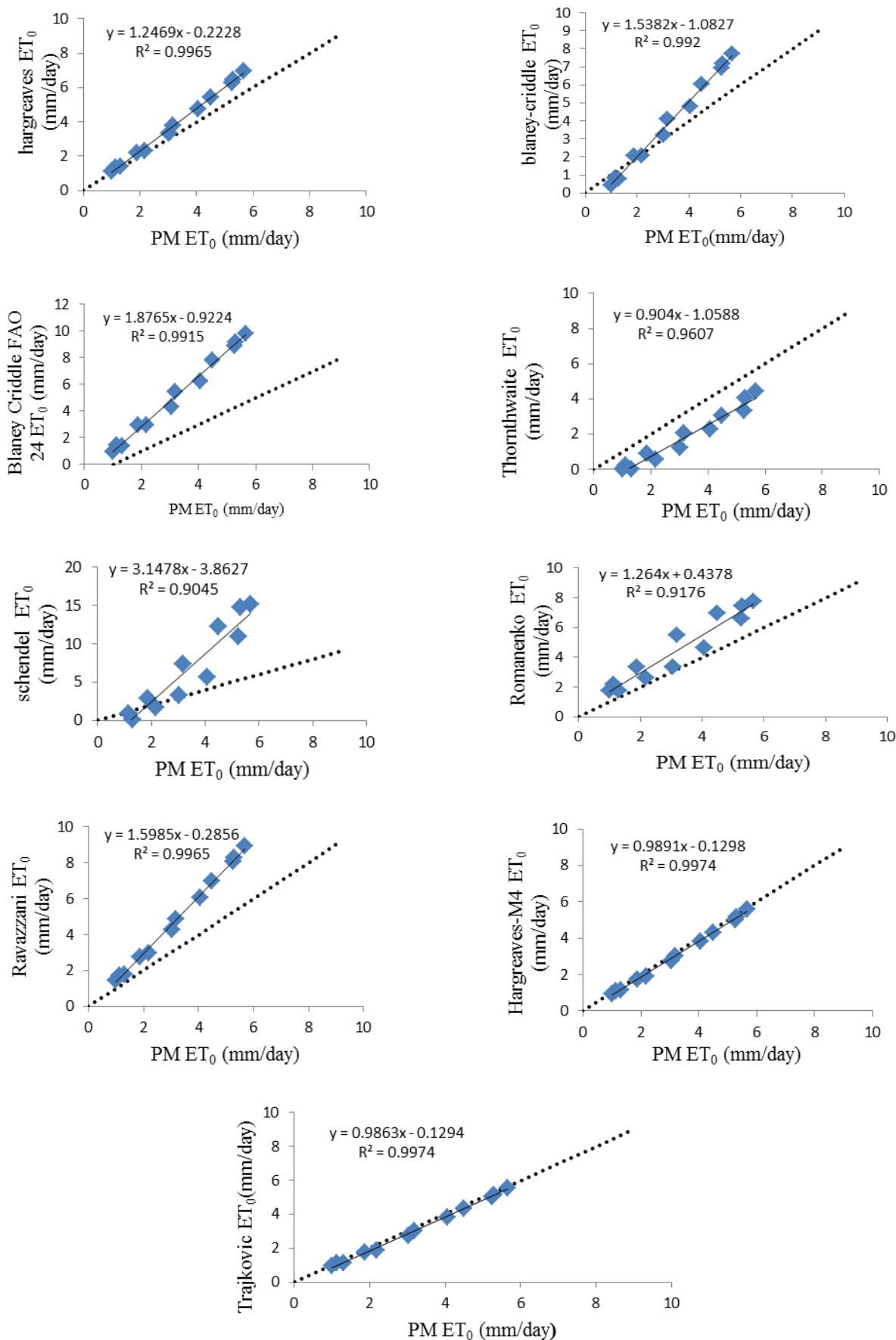
به‌دست آمده از روش FAO56-PM ترسیم شد (شکل ۷). تخمین تبخیر و تعرق توسط همه معادلات برپایه درجه حرارت همبستگی بالایی با معادله FAO56-PM داشته (۰/۹۹- R^2). نتایج به‌دست آمده از شکل ۷ نشان می‌دهد که بیشترین تفاوت با خط ۱:۱ مربوط به دو روش اسکندل و فائو-۲۴ بلانی‌کریدل به‌ترتیب با شیب‌های ۳/۱۴ و ۱/۸۷ و کمترین تفاوت با خط ۱:۱ مربوط به روش ترنت‌وایت با شیب ۰/۹ است. در بین معادلات برپایه درجه حرارت، ET_0 تخمین زده شده به‌وسیله معادلات تراچکویک و هارگریوز-۴م بهترین تطابق را با مقدار ET_0 به‌دست آمده با معادله FAO56-PM ($R^2=0/99$) داشتند. مقایسه معادلات برپایه انتقال جرم با معادله فائو-پنمن-مانتیت در مقیاس زمانی ماهانه در شکل ۸ نمایش داده شده است. مقایسه روش‌های مختلف برپایه انتقال جرم در مقیاس زمانی ماهانه نشان می‌دهد که روش میر بر خط ۱:۱ کاملاً منطبق بوده و مقدار بالای ضریب تبیین ۰/۹۳ حاکی از دقت بالای این مدل در میان روش‌های مورد بررسی است. سپس روش‌های راهور و دالتون با شیب‌های خط ۱/۱۳ و ۱/۱۴ کمترین اختلاف را با روش استاندارد دارند. روش‌های پنمن و ماهرینگر با شیب‌های خط

مقایسه روش‌های مختلف نشان می‌دهد که در بین معادلات برپایه درجه حرارت، تمامی روش‌ها به‌جز روش ترنت‌وایت منجر به برآورد بیشتر مقدار ET_0 در مقایسه با روش استاندارد پنمن-مانتیت شده‌اند. به‌نظر می‌رسد که در بین همه معادلات برپایه درجه حرارت، معادله هارگریوز-۴م عملکرد بهتری در مقایسه با معادله FAO56-PM دارد (شکل ۳). برخلاف هارگریوز-۴م، معادله هارگریوز مقدار ET_0 را نسبت به روش استاندارد بیشتر برآورد می‌کند. تخمین بیشتر مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از معادله هارگریوز و در اقلیم مرطوب نیز توسط پژوهشگران مختلفی تایید شده است (Yoder et al., Jensen et al., 1997; 2004; Landeras et al., 2008). در میان معادلات برپایه انتقال جرم و تشعشع، دو معادله بروکامپ و فائو-۲۴ نتایج ضعیف‌تری در مقایسه با FAO56-PM داشتند در حالی که معادلات پرستلی-تیلور و میر عملکرد بهتری در تخمین مقدار تبخیر و تعرق در مقایسه با FAO56-PM داشتند.

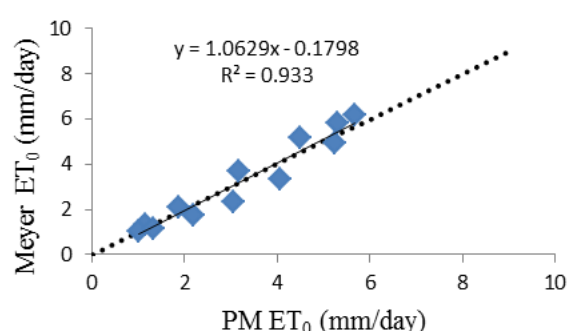
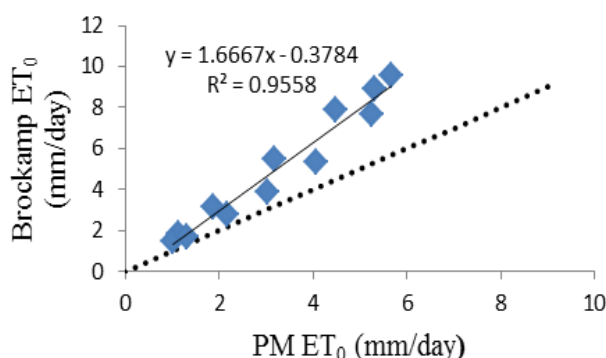
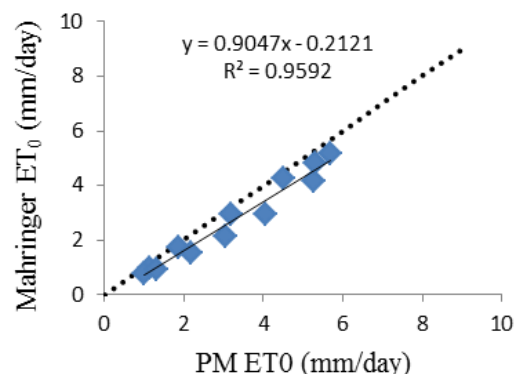
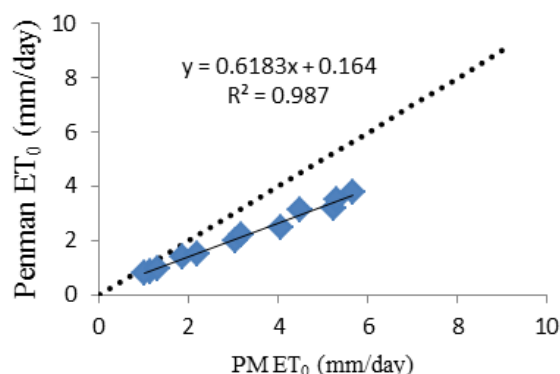
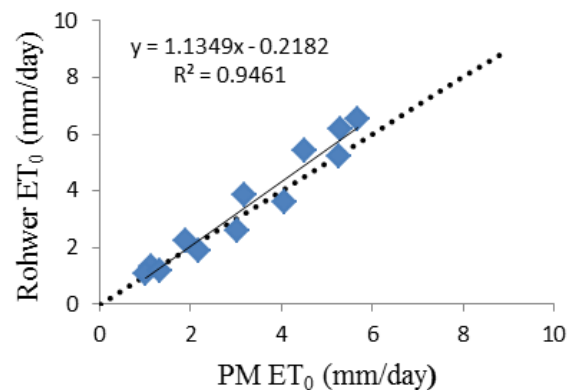
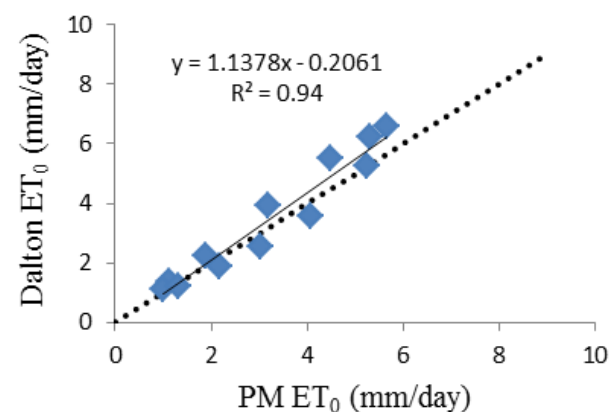
به‌منظور مقایسه مقادیر ماهانه ET_0 با استفاده از معادلات برپایه درجه حرارت، مقدار ET_0 به‌واسطه این معادلات محاسبه شد و سپس مقادیر متوسط ET_0 برای ۲۲ سال در مقابل مقادیر

شیب خط ۱/۶۶ بوده و این روش دارای عملکرد پایینی در تخمین تبخیر و تعرق است.

۰/۹ و ۰/۶۱ پایین‌تر از خط ۱:۱ قرار داشته و این روش‌ها منجر به برآورد کمتر مقدار تبخیر و تعرق در مقایسه با مقدار واقعی می‌شوند. بیشترین اختلاف با خط ۱:۱ مربوط به روش بروکامپ با



شکل ۷- رابطه بین تخمین مقادیر تبخیر و تعرق معادلات برپایه درجه حرارت در مقابل روش FAO56-PM در مقیاس زمانی ماهانه

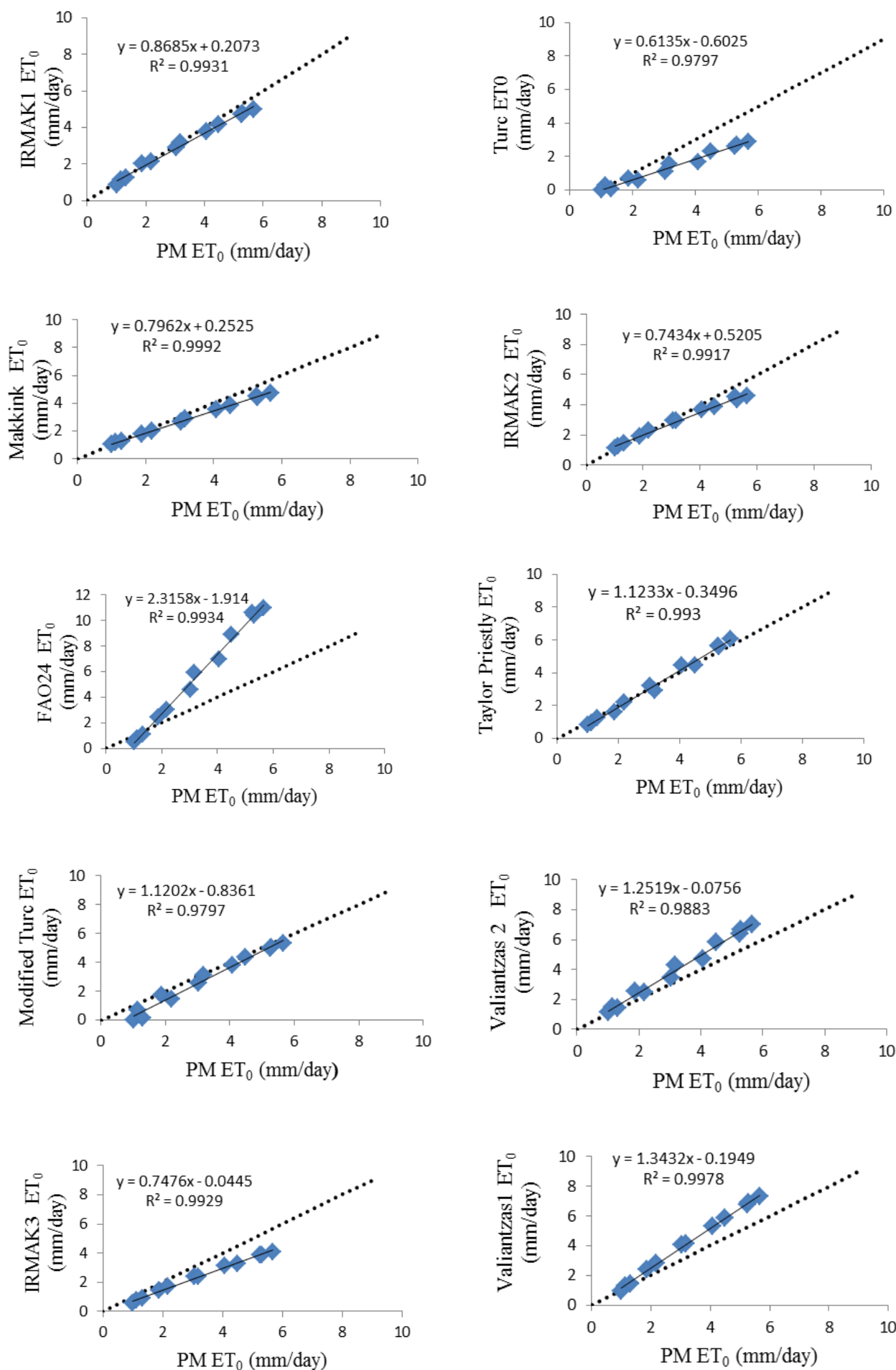


شکل ۸- رابطه بین روش‌های تخمین تبخیر و تعرق برپایه انتقال جرم در مقابل روش فائو-پنمن-مانتیت در مقیاس زمانی ماهانه

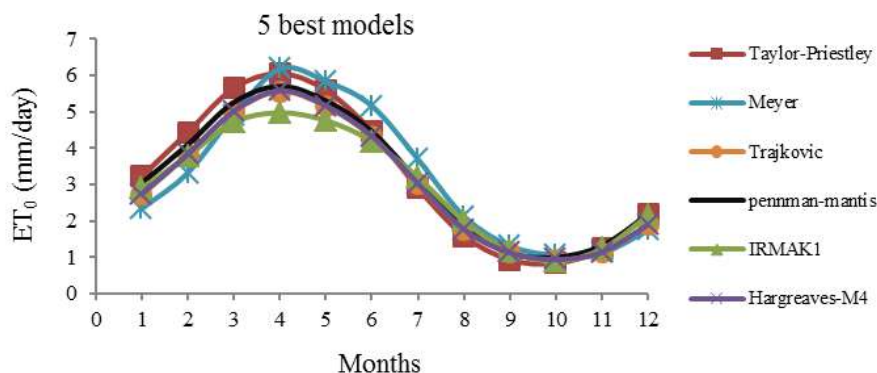
دارند و روش‌های برپایه انتقال جرم و درجه حرارت مناسب‌ترین روش‌ها برای تخمین تبخیر و تعرق در اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل سرد هستند. مقایسه تخمین مقادیر متوسط ماهانه ET_0 نشان داد که در روش‌های تخمین ET_0 برپایه انتقال جرم پارامترهای فشار بخار اشباع، فشار بخار واقعی و سرعت متوسط روزانه باد، پارامترهای اثرگذارتری در مقایسه با پارامترهای همچون تابش خالص خورشیدی و متوسط درجه حرارت روزانه هوا در روش‌های برپایه تشعشع در اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل سرد هستند. برطبق مقادیر RMSE و MAE، پنج مدل پریستلی-تیلور، میر، تراچکویک، پنمن-مانتیت، ایرماک ۱ و هاگریوز-ام ۴ در مقیاس زمانی ماهانه انتخاب شدند که در شکل ۱۰ نمایش داده شده‌اند.

مقایسه بین روش‌های مختلف تخمین ET_0 برپایه تشعشع در مقابل روش پنمن-مانتیت در مقیاس زمانی ماهانه در شکل ۹ ترسیم شده است. نتایج نشان داد که روش‌های ایرماک ۱، ۲، ۳ و تورک به ترتیب با شیب خط ۰/۸۶، ۰/۷۴، ۰/۷۵ و ۰/۶۱ منجر به برآورد کمتر مقدار تبخیر و تعرق در مقایسه با روش پنمن-مانتیت می‌شوند در حالی که روش‌های فائو ۲۴، والنتیز ۱ و ۲ به ترتیب با شیب خط ۲/۳۱ و ۱/۳۴ و ۱/۲۵ منجر به تخمین بیشتر تبخیر و تعرق نسبت به روش پنمن-مانتیت می‌شوند. مقایسه روش‌های مختلف بر پایه تشعشع حاکی از اختلاف حداکثری روش فائو ۲۴ (شیب خط ۲/۳۱) با مقادیر پنمن-مانتیت (خط ۱:۱) دارد.

به‌طور کلی، مقایسه نتایج نشان داد که معادلات برپایه تشعشع بدترین عملکرد را در بین روش‌های ارزیابی تخمین ET_0



شکل ۹- رابطه بین معادلات تخمین تبخیر و تعرق برپایه تشعشع در مقابل روش فائو-پنمن-مانتیت در مقیاس زمانی ماهانه



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر متوسط تبخیر و تعرق ماهانه ۲۲ ساله برای پنج مدل با عملکرد بالاتر از میان ۳۱ روش تخمین تبخیر و تعرق

تخمین (PE) به ترتیب با ۹۴/۴۵، ۵۸/۹۱، ۴۰/۰۴ و ۵۰/۹۵ درصد منجر به برآورد بیشتر تبخیر و تعرق در مقایسه با روش پنمن-مانتیت شده در حالی که معادله ترنثوايت با متوسط درصد خطای تخمین ۴۲/۵۸ منجر به برآورد کمتر مقدار تبخیر و تعرق می‌شود. وجود مقدار اختلاف ۱/۳۶- بین مقدار برآورد شده و مقدار واقعی (پنمن-مانتیت) نیز دلالت بر این امر دارد. معادلات فائو-۲۴ و تورک با متوسط درصد خطای ۷۱/۹۶ و ۵۷/۴۲ در بین روش‌های برپایه تشعشع عملکرد ضعیف‌تری در برآورد تبخیر و تعرق و در نواحی با اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد نشان دادند. Djaman et al., (2015) بیان کردند که معادلات راوازانی، هارگریوز، تراجکویک و هارگریوز اصلاح شده به‌طور سیستماتیک مقدار تبخیر و تعرق را بیشتر از مقدار روش فائو-پنمن-مانتیت برآورد نموده در حالی که دو معادله ماکینک و تورک منجر به برآورد کمتر مقدار تبخیر و تعرق می‌شوند.

به‌منظور بررسی عملکرد معادلات مختلف برآورد تبخیر و تعرق (روش‌های برپایه درجه حرارت، انتقال جرم و تشعشع) در مقیاس زمانی فصلی در مقایسه با روش پنمن-مانتیت، عملکرد آماری این معادلات در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین خطا در تخمین مقدار تبخیر و تعرق مرجع به ترتیب متعلق به دو فصل پاییز و بهار است. در فصل‌های زمستان و پاییز روش‌های تورک، تورک اصلاح شده و ترنثوايت مقدار تبخیر و تعرق را بیشتر از روش پنمن-مانتیت تقریب می‌زنند. در حالی که برای فصل‌های بهار و تابستان معادلات Ravazzani, Brockamp, Penman, FAO 24-Blaney-Criddle, FAO 24, IRMAK 3, Valiantzas 1, Schendel, Thornthwaite, Turc مقدار تبخیر و تعرق را بیشتر از روش پنمن-مانتیت تقریب زدند. نتایج به‌دست آمده توسط معادلات برپایه انتقال جرم در فصل زمستان مشابه روش پنمن-مانتیت بود. بیشترین مقدار تبخیر و تعرق به‌وسیله روش Schendel در فصل تابستان تخمین زده شد. براساس نتایج به‌دست آمده و پارامترهای مورد استفاده در معادلات مختلف، در فصل زمستان پارامترهای متوسط درجه حرارت روزانه و تابش خورشیدی (R_s) موثرترین پارامترها بر میزان تبخیر و تعرق هستند. اما در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز

جدول ۴ خلاصه نتایج عملکرد آماری روش‌های برپایه تشعشع، انتقال جرم و درجه حرارت در مقابل روش FAO56-PM را برای تخمین تبخیر و تعرق در مقیاس زمانی سالانه در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۵-۲۰۱۷) نشان می‌دهد. در میان روش‌های برپایه انتقال جرم، روش میر ($PE=0.68\%$ ، $MAE=0.44$ و $RMSE=0.49$)، در میان روش‌های برپایه درجه حرارت، هارگریوز-ام-۴ ($PE=0.13\%$ ، $MAE=0.16$ و $RMSE=0.18$)، تراجکویک ($PE=0.39\%$ ، $MAE=0.17$ و $RMSE=0.19$) و در میان روش‌های برپایه تشعشع پرستلی-تیلور ($PE=0.44\%$ ، $MAE=0.21$ و $RMSE=0.24$) بهترین عملکرد را در برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با روش پنمن-مانتیت داشتند. صرف‌نظر از تعداد پارامترهای ورودی هواشناسی به‌منظور تخمین تبخیر و تعرق و در مقیاس زمانی سالانه، روش‌های برپایه درجه حرارت خطای بیشتری ($RMSE$ بالاتری، $4/96 \text{ mm day}^{-1}$) در میان سه روش ذکر شده (یعنی روش‌های برپایه درجه حرارت، انتقال جرم و تشعشع) داشته و در این میان دو روش هارگریوز-ام-۴ و تراجکویک خطای کوچک‌تری نسبت به دیگر معادلات دارند (جدول ۴). بررسی پارامترهای ورودی مورد استفاده در این دو روش نشان می‌دهد که این دو روش دارای ۴ پارامتر ورودی برای تخمین تبخیر و تعرق هستند، ولی لزوماً تعداد کمتر پارامتر ورودی همیشه منجر به برآورد دقیق‌تر تبخیر و تعرق نمی‌شود (برای مثال روش Schendel). این نتیجه با نتایج به‌دست آمده توسط Antonopoulos and Antonopoulos (2017) مطابقت دارد.

نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ حاکی از اختلاف به ترتیب $1/05 \text{ mm d}^{-1}$ و $0/51 \text{ mm d}^{-1}$ روش‌های پنمن و ماهرینگر (معادلات برپایه انتقال جرم) با روش فائو-پنمن-مانتیت است. اما این اختلاف برای روش Brockamp بیشتر است ($1/77 \text{ mm d}^{-1}$). در بین معادلات برپایه انتقال جرم روش Meyer با $MAE=0.44$ در mm day^{-1} بهترین عملکرد را در تخمین تبخیر و تعرق دارد. در بین معادلات برپایه درجه حرارت، معادلات Schendel, FAO24-Blaney-Criddle, Romanenko و Ravazzani با درصد خطای

تابش برون‌زمینی (R_a) و حداکثر و حداقل درجه حرارت هوا پارامترهای اثرگذار بر برآورد و تعرق بودند. ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا برای هر ۳۱ روش محاسبه و مشخص شد که روش‌های که برای تخمین تبخیر و تعرق نیاز به پارامترهای بیشتری دارند، مقادیر RMSE و MAE کمتری دارند. در حالی که روش‌هایی که نیاز به پارامترهای کمتری در محاسبه ET_0 دارند مقادیر RMSE و MAE بیشتری دارند. این الگو در هر دو مقیاس زمانی فصلی و سالانه مشاهده شد. بنابراین روش‌های پریستلی-تیلور، میر و هارگریوز-ام ۴ خطای بسیار کمی را در

مقیاس زمانی سالانه و فصلی از خود نشان دادند. دو روش هارگریوز-ام ۴ و تراچکویک در مقیاس زمانی فصلی (همه فصل‌ها به جز فصل زمستان) تطابق خیلی خوبی با روش پنمن-مانتیت داشتند. پارامترهای مورد استفاده در روش‌های هارگریوز-ام ۴ و تراچکویک (روش‌های برپایه درجه حرارت) شامل حداکثر و حداقل دما، متوسط درجه حرارت روزانه و تابش خورشیدی (R_s) است که می‌تواند اثر بیشتری بر مقدار برآورد تبخیر و تعرق در این مقیاس زمانی داشته باشد.

جدول ۴- عملکرد آماری روش‌های برپایه تشعشع، درجه حرارت و انتقال جرم در مقابل فائو-پنمن-مانتیت جهت تخمین تبخیر و تعرق سالانه در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۵-۲۰۱۷)

نام روش	RMSE (mm day ⁻¹)	MAE (mm day ⁻¹)	PE (%)	Δ^*
بر اساس انتقال جرم				
ماهرینگر	۰/۶۳	۰/۵۱	۱۶/۱۳	-۰/۵۱
دالتون	۰/۵۸	۰/۴۸	۷/۳۶	۰/۲۴
روهو	۰/۵۵	۰/۴۵	۶/۶۹	۰/۲۳
پنمن	۱/۲۴	۱/۰۵	۳۳/۰۶	-۱/۰۵
بروکامپ	۲/۱۶	۱/۷۷	۵۴/۸۸	۱/۷۶
میر	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۰۳
بر اساس درجه حرارت				
هاگریوز-ام ۴	۰/۱۸	۰/۱۶	۵/۱۳	-۰/۱۶
راوازان	۱/۹۲	۱/۶۴	۵۰/۹۵	۱/۶۴
تراچکویک	۰/۱۹	۰/۱۷	۵/۳۹	-۰/۱۷
اسکندل	۴/۹۶	۳/۵۳	۹۴/۴۵	۳/۰۴
ترنت‌وايث	۱/۴۰	۱/۳۶	۴۲/۵۸	-۱/۳۶
رومنکو	۱/۵۱	۱/۲۹	۴۰/۰۴	۱/۲۹
بلانی کریدل	۱/۱۲	۰/۸۸	۲۰/۰۹	۰/۶۵
هاگریوز	۰/۷۱	۰/۵۷	۱۷/۷۵	۰/۵۸
فائو-۲۴-بلانی کریدل	۲/۳۹	۱/۹۱	۵۸/۹۱	۱/۹
بر اساس تشعشع				
پریستلی-تیلور	۰/۲۴	۰/۲۱	۱/۴۴	۰/۰۵
فائو-۲۴	۳/۱۸	۲/۴۸	۷۱/۹۶	۲/۳۲
ایرماک ۳	۰/۹۵	۰/۸۵	۲۶/۶۲	-۰/۸۴
ایرماک ۲	۰/۵۴	۰/۳۹	۹/۴۵	-۰/۲۹
ایرماک ۱	۰/۳۴	۰/۲۵	۶/۶۹	-۰/۲۱
والنتیز ۱	۱/۰۷	۰/۹۲	۲۸/۲۵	۰/۹۲
والنتیز ۲	۰/۸۸	۰/۷۴	۲۲/۸۴	۰/۷۴
ماکینگ	۰/۵۳	۰/۴۱	۱۲/۵۱	-۰/۳۹
تورک	۱/۹۵	۱/۸۳	۵۷/۴۲	-۱/۸۴
تورک اصلاح‌شده	۰/۵۶	۰/۴۴	۱۴/۰۲	-۰/۴۴

* Δ : تفاوت بین مقادیر تبخیر و تعرق سالانه برآورد شده از هر روش با روش پنمن-مانتیت

در مقیاس زمانی فصلی روش‌های بر پایه دما شامل هارگریوز-ام ۴ با مقدار خطای $RMSE=0.49 \text{ mm d}^{-1}$ و تراچکویک با مقدار خطای ($RMSE=0.18 \text{ mm d}^{-1}$) به ترتیب دارای عملکرد بالاتری در مقایسه با روش فائو-پنمن-مانتیت

هستند.

در میان روش‌های مختلف، روش هارگریوز-ام ۴ نتایج بهتری در هر دو مقیاس زمانی سالیانه و فصلی داشته است و بنابراین می‌تواند جایگزین مناسبی برای برآورد تبخیر و تعرق به‌ویژه

در داده‌های ورودی مورد نیاز با معادله هارگریوز-ام-۴ تعیین نمود. آن‌ها هم‌چنین نشان دادند که تفاوت مکانی قابل توجهی در عملکرد این معادله در دو اقلیم مرطوب و خشک وجود ندارد.

در صورت عدم اطلاعات کافی مورد نیاز در این دو مقیاس زمانی باشد. (Vicente-Serrano et al. (2014 بیان کردند که می‌توان مقدار ET_0 را در مناطقی با اقلیم مرطوب و در صورت محدودیت

جدول ۵- آماره‌های خطای فصلی روش‌های مختلف جهت تخمین تبخیر و تعرق در مقایسه با روش پنمن - مانیت

فصل					فصل				
روش	مقدار خطا	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	روش	مقدار خطا	بهار	تابستان
ماهرینگر	MAE	۱/۰۷	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۴۲	فانو ۲۴	MAE	۳/۲۶	۴/۹۲
	RMSE	۱/۰۸	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۴۵		RMSE	۳/۶۳	۰/۲۶
هارگریوز ام ۴	MAE	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۸	ایرماک ۳	MAE	۰/۹۹	۱/۴۳
	RMSE	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۹		RMSE	۱/۰۴	۱/۴۴
راوازانی	MAE	۱/۹۹	۲/۹۱	۱/۱	۰/۵۶	ایرماک ۲	MAE	۰/۴۲۸	۰/۹۱
	RMSE	۱/۶۳	۳/۶۳	۱/۶۳	۰/۵۱		RMSE	۰/۵۰۲	۰/۹۳
تراجکویک	MAE	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۱۸	ایرماک ۱	MAE	۰/۳۳۲	۰/۵۲
	RMSE	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۲		RMSE	۰/۳۷۱	۰/۵۵
بروکامپ	MAE	۱/۴۹	۳/۶۲	۱/۴۷	۰/۴۹	والنتیرز ۱	MAE	۱/۲۴۴	۱/۵۵
	RMSE	۲/۰۹	۲/۹۲	۱/۱۹	۰/۵۹		RMSE	۱/۲۵۸	۱/۵۵
ماد تورک	MAE	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۹۶	والنتیرز ۲	MAE	۰/۶۹۳	۱/۳۴
	RMSE	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۹۸		RMSE	۰/۷۵۵	۱/۳۴
دالتون	MAE	۰/۳۴	۰/۹۴	۰/۴۸	۰/۱۷	اسکندل	MAE	۲/۴۹	۸/۸۸
	RMSE	۰/۴۱	۰/۹۴	۰/۵۴	۰/۱۹		RMSE	۱/۸۵۹	۱/۳۱
روهوور	MAE	۰/۳۲	۰/۸۹	۰/۴۴	۰/۱۶	ماکینک	MAE	۰/۵۸	۰/۸۳
	RMSE	۰/۳۸	۰/۸۹	۰/۴۹	۰/۱۸		RMSE	۰/۵۹	۰/۸۵
پنمن	MAE	۱/۵۸	۱/۶۸	۰/۵۳	۰/۴۲	ترنت وایت	MAE	۱/۸۶	۱/۳۱
	RMSE	۱/۶۴	۱/۷	۰/۵۹	۰/۴۷		RMSE	۳/۳۷	۸/۹۲
میر	MAE	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۲۳	رومنکو	MAE	۰/۷۳	۲/۲۲
	RMSE	۰/۶۴	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۲۸		RMSE	۲/۳۷	۲/۵۴
بلانی کریدل فانو ۲۴	MAE	۲/۳۳	۳/۷۶	۱/۲۶	۰/۲۸	تورک	MAE	۲/۳۶	۲/۵۳
	RMSE	۲/۵۲	۳/۷۷	۱/۵	۰/۴۵		RMSE	۰/۸۴	۲/۲۳
پریستلی - تیلور	MAE	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۰۸	بلانی - کریدل	MAE	۰/۸۴	۱/۸۲
	RMSE	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۱۱		RMSE	۰/۷۱	۱/۱۴
هارگریوز	MAE	۰/۶۵	۱/۱۳	۰/۴۲	۰/۱۱				
	RMSE	۱/۰۵	۱/۸۳	۰/۶۲	۰/۴۴				

از مدل توانی و یا خطی) انجام شد:

$$ET_0 = 1.015 \times (0.408 \times 0.0023 \times (T + 17.8) \times (T_{\max} - T_{\min})^{0.424} \times R_a) + 0.112 \quad (30)$$

Hargreaves-M4 linear optimized equation

$$ET_0 = 1.118 \times (0.408 \times 0.0023 \times (T + 17.8) \times (T_{\max} - T_{\min})^{0.424} \times R_a)^{0.952} \quad (31)$$

Hargreaves-M4 power-optimized equation

$$ET_0 = 1.018 \times (0.0023 \times R_a \times (T + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.424}) + 0.112 \quad (32)$$

Trajkovic linear optimized equation

$$ET_0 = 1.121 \times (0.0023 \times R_a \times (T + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.424})^{0.952} \quad (33)$$

Trajkovic power optimized equation

نتایج نشان داد که معادلات توانی در مقایسه با معادلات خطی دارای عملکرد بالاتری هستند (جدول ۶). بنابراین معادله‌های بهینه شده زیر می‌توانند مقدار ET_0 را با دقت بالاتر در اقلیم‌های سرد، معتدل و نیمه مرطوب برآورد کنند.

ارزیابی مقادیر خطای آماری محاسبه شده برای فصل زمستان نشان می‌دهد که روش‌های برآورد تبخیر برپایه تشعشع عملکرد بالاتر و دقت بیشتری در مقایسه با روش‌های برپایه دما دارد. از میان این روش‌ها دو روش ایرماک و تیلور-پریستلی ۱ با مقدار خطای $MAE = 0.08 \text{ mm d}^{-1}$ برازش خوبی داشته و دقت بالایی در برآورد تبخیر و تعرق بعد از روش هارگریوز-ام-۴ (روش برپایه دما) دارند.

برپایه جدول ۴ بهترین روش‌ها برای برآورد مقدار ET_0 در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز روش‌های برپایه دما و بهترین روش برای برآورد مقدار ET_0 در فصل زمستان روش‌های برپایه تشعشع هستند. در این مطالعه به‌منظور کاهش مقدار خطای برآورد ET_0 و دستیابی به دقت بالاتر، دو معادله هارگریوز-ام-۴ و تراجکویک به‌علت عملکرد بالا انتخاب و بهینه شدند. این بهینه‌سازی تا رسیدن به حداقل میزان مجموع مربعات خطا و بیشترین ضریب تبیین بین داده‌های مقادیر موجود (داده‌های برآورد شده توسط این دو روش، معادله‌های (۸) و (۱۰)) و برآورد شده (با استفاده

جدول ۶- مقادیر آماره‌های خطای مربوط به دو معادله بهینه شده تبخیر و تعرق

نام	PE (%)	MAE	RMSE
Hargreaves-M4	۵/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۸
Trajkovic	۵/۳۹	۰/۱۶	۰/۱۹
Hargreaves-M4 linear optimized equation	۴/۹	۰/۰۸	۰/۰۹
Hargreaves-M4 power optimized equation	۴/۸	۰/۰۷	۰/۰۸
Trajkovic linear optimized equation	۵/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۹
Trajkovic power optimized equation	۵/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۸

که روش‌های برپایه تشعشع عملکرد و دقت بالاتری در مقایسه با روش‌های برپایه دما دارند.

- در بازه زمانی ماهانه، از میان روش‌های برپایه انتقال جرم سه روش دالتون، راهور و میر تطابق بیشتری با روش پنمن-مانتیت داشته است. در مقایسه با شیب خط ۱:۱، بیشترین تفاوت معنی‌دار آماری مربوط به روش بروکامپ با شیب خط ۱/۶۶ است. در حالی که شیب به‌دست آمده برای دو روش پنمن و ماهرینگر به‌ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۹ به‌دست آمده است که حاکی از عملکرد ضعیف روش بروکامپ در مقایسه با دو روش مذکور در برآورد ET_0 است.

- در میان روش‌های برپایه دما در مقیاس زمانی ماهانه، نتایج نشان داد که روش‌های هارگریوز-ام ۴ و تراجکویک تطابق بیشتری با روش پنمن-مانتیت داشته و دیگر روش‌ها مقدار تبخیر و تعرق را بیشتر از روش پنمن-مانتیت تخمین می‌زنند و تنها در میان این روش‌ها، روش ترنث‌وایت برآورد کمتری از میزان تبخیر و تعرق در مقایسه با روش استاندارد دارد.

- در مقیاس زمانی ماهانه، در میان روش‌های برپایه تشعشع، روش‌های فائو ۲۴ و تورک بدترین عملکرد و دو روش پریستلی-تیلور و ایرماک ۱ بیشترین تطابق را با روش پنمن-مانتیت داشتند. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان می‌دهد که استفاده از اغلب معادلات برپایه تشعشع منجر به برآورد کمتر مقدار تبخیر در مقایسه با روش استاندارد می‌شوند. برای مثال می‌توان به معادلات ماکینگ، تورک اصلاح شده و ایرماک ۳ با مقادیر شیب کمتر از یک اشاره نمود، اما روش‌های فائو-۲۴، Valiantzas 1 و Valiantzas 2 با شیب-های به‌ترتیب ۲/۳۱، ۱/۳۴ و ۱/۲۵ مقدار تبخیر و تعرق را نسبت به روش پنمن-مانتیت بیشتر برآورد کردند.

- در مقیاس زمانی ماهانه، مقادیر ET_0 نشان داد که فشار بخار اشباع، فشار بخار واقعی و متوسط سرعت روزانه باد پارامترهای موثرتری نسبت به پارامترهای هم‌چون (تابش خالص در سطح پوشش گیاهی: R_n) و متوسط درجه حرارت روزانه هوا هستند.

- در این مطالعه، روش‌های هارگریوز-ام ۴ و تراجکویک به‌صورت معادلات خطی و توانی برای اقلیم‌های نیمه مرطوب

از آن جایی که پارامترهای ورودی از قبیل دمای حداقل، دمای حداکثر و R_s بیشترین تأثیر را در برآورد مقدار ET_0 داشته‌اند. به‌منظور ساده‌سازی برآورد ET_0 در اقلیم‌های سرد، معتدل و نیمه مرطوب دو معادله خطی با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره و براساس پارامترهای ورودی ذکر شده ارائه شد:

$$ET_0 = 0.116 \times T_{\min} + 0.16 \times R_s + 0.01 \quad (34)$$

$$ET_0 = 0.04 \times T_{\min} + 0.05 \times T_{\max} + 0.22 \quad (35)$$

همان‌طور که در جدول ۷ نشان داده شده است، معادلات پیشنهادی (معادلات (۳۴) و (۳۵)) در مقایسه با دو معادله هارگریوز-ام ۴ و تراجکویک از دقت بالایی برخوردار بودند.

جدول ۷- مقادیر آماره‌های خطای دو معادله ارائه شده براساس رگرسیون خطی چند متغیره

نام	MAE	RMSE
معادله (۳۴)	۰/۱۵	۰/۱۲
معادله (۳۵)	۰/۰۹	۰/۱۱

۴- نتیجه‌گیری

- در مقیاس زمانی سالیانه روش‌های هارگریوز-ام ۴ و تراجکویک (دو معادله برپایه دما) دو معادله مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق هستند. پس از آن دو روش پریستلی-تیلور و ایرماک ۱ (برپایه تشعشع) مطابقت کمتری با معادله پنمن-مانتیت داشته و برای برآورد مقدار ET_0 در جایگاه پایین‌تری در مقایسه با دو روش قبلی قرار می‌گیرند.

- در مقیاس فصلی، مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر در فصل تابستان، بهار و پاییز نشان می‌دهد که مشابه با مقیاس سالیانه دو معادله هارگریوز-ام ۴ و تراجکویک دارای کمترین مقدار خطا (RMSE و MAE) و بالاترین ضریب تبیین هستند. نتایج هم‌چنین نشان داد که کمترین و بیشترین مقادیر خطای محاسبه شده در برآورد ET_0 به‌ترتیب مربوط به دو فصل پاییز و بهار است.

- ارزیابی آماره خطای محاسبه شده در فصل زمستان نشان داد

تبخیر فائو در حوضه آبریز شرق و جنوب شرق کشور"،
فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۸(۲۸)، ۱-۱۶.
 صمدی، ح.، و مجدزاده، ب.، (۱۳۸۳)، "مقایسه تبخیر و تعرق
 محاسبه شده با فرمول‌های تجربی و لایسیمتر در منطقه
 کرمان"، *مجموعه مقالات هشتمین سمینار سراسری آبیاری
 و کاهش تبخیر*، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۹-۲۲.
 مرشدی، م.، نادری، م.، طباطبایی، ح.، و محمدی، ج.، (۱۳۹۶)،
 "برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای به کمک
 داده‌های سنسور از دور در دشت شهرکرد (ب) مقایسه نتایج
 مدل‌های SEBAL و METRIC نسبت به برخی مدل‌های
 ریاضی تبخیر و تعرق"، *نشریه علوم آب و خاک*، ۲۱(۳)، ۱-۱۳.

Alexandris, S., Kerkides, P., and Liakatas, A., (2006),
 "Daily reference evapotranspiration estimates by the
 Copais approach", *Agricultural Water Management*,
 82(3), 371-386.
 Antonopoulos V.Z., and Antonopoulos, A.V., (2017),
 "Daily reference evapotranspiration estimates by
 artificial neural networks technique and empirical
 equations using limited input climate variables",
Journal of Computer and Electronics in Agriculture,
 132, 86-96.
 Djaman K., Balde A.B., Sow, A., Muller, B., Irmak, S.N.,
 Diaye, M.K., Manneh, B., Moukoubi, Y.D.,
 Futakuchi, K., and Saito, K., (2015), "Evaluation of
 sixteen reference evapotranspiration methods under
 sahelian conditions in the Senegal River Valley",
Journal of Hydrology: Regional Study, 3, 139-159.
 Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Gong, D., and Zhang, K.,
 (2017), "Spatiotemporal variation of reference
 evapotranspiration during 1954-2013 in Southwest
 China", *Quaternary International*, 441, 129-139.
 Fooladmand, H.R., Zandilak, H., and Ravanian, M.H.,
 (2008), "Comparison of different types of Hargreaves
 equation for estimating monthly evapotranspiration in
 the south of Iran", *Archives of Agronomy and Soil
 Science*, 54(3), 321-330.
 George, B.A., and Raghuwanshi, N.S., (2012), "Inter-
 comparison of reference evapotranspiration estimated
 using six methods with data from four climatological
 stations in India", *Journal of Indian Water Resource
 Society*, 32(34), 15-22.
 Gundekar, H.G., (2004), "Evapotranspiration estimation
 methods and development of crop coefficients for
 some crops in semi-arid region", An Unpublished
 M.Tech Dissertation Submitted to Marathwada
 Agricultural university Parbhani, Maharashtra, India.
 Hargreaves, G.H., and Allen, R.G., (2003), "History and
 evaluation of Hargreaves evapotranspiration
 equation", *Journal of Irrigation Drainage
 Engineering*, 129(1), 53-63.
 Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A., (1985), "Reference
 crop evapotranspiration from temperature", *Applied
 Engineering Agriculture*, 1(2), 96-99.
 Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G., and Jones, J.W., (2003),
 "Solar and net radiation-based equations to estimate
 reference evapotranspiration in humid climates",
Journal of Irrigation Drainage Engineering, 129(5),
 336-347.

معتدل سرد در مقایسه با معادله پنمن-مانتیت بهینه شدند.
 نتایج نشان داد که معادله توانی با $MAE=0.079$ و
 $RMSE=0.08$ عملکرد بهتری در مقایسه با معادله خطی
 دارد.

- براساس رگرسیون خطی چند متغیره، دو معادله با متغیرهای
 شامل T_{max} و T_{min} و R_n به منظور تخمین ساده‌تر تبخیر و
 تعرق در اقلیم‌های نیمه مرطوب معتدل سرد ایجاد شد. نتایج
 به‌دست آمده نشان داد که این دو معادله، به‌ویژه معادله (۳۴)
 دقت قابل‌قبول‌تری در مقایسه با دیگر معادلات بهینه شده
 دارد.
- نرخ افزایش تبخیر و تعرق در طی بازه زمانی ۲۲ سال در
 حدود ۲/۵ میلی‌متر بر روز و نرخ افزایش درجه حرارت در این
 مدت حدود ۵ °C بود که خود می‌تواند دلیلی بر افزایش نرخ
 تبخیر و تعرق در طی این بازه زمانی باشد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Turc
- 2- Mann-Kendall
- 3- Morlet Wavelet Analysis
- 4- Thornthwaite
- 5- Blanicridel
- 6- Hargreaves and Samani
- 7- Schendel
- 8- Hargreaves-M4
- 9- FAO24-Blaney-Criddle
- 10- Trajkovic
- 11- Ravazani
- 12- Penman
- 13- Mahringer
- 14- Brockamp and Wenner
- 15- Meyer
- 16- Rohwer
- 17- Dalton
- 18- FAO 24
- 19- Valiantzas 1,2
- 20- Modified Turc
- 21- Priestley-Taylor
- 22- Makkink
- 23- IRMAK 1,2,3
- 24- Romanenko

۶- مراجع

پریسای، ز.، عبدالمهی، خ.، و طهماسبی، ط.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی
 معادله‌های مختلف تجربی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع
 در شرایط وجود و عدم وجود برخی پارامترهای هواشناسی"،
 دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی/ایران، شهرکرد، ایران، ۱-۱۱.
 جواد، خ.، زارع ایبانه، ح.، و جوشنی، ع.، (۱۳۹۴)، "ارزیابی
 روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع با روش تشت

- Jensen, D.T., Hargreaves, G.H., Temesgen, B., and Allen, R.G., (1997), "Computation of ET_0 under nonideal conditions", *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 123(5), 394-400.
- Kaya, S., and Salih, E., (2012), "Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for Igdir region of Turkey", *Journal of Food Agriculture Environment*, 10(3), 987-991.
- Kisi, O., and Shiri, J., (2014), "Prediction of long-term monthly air temperature using geographical inputs", *International Journal of Climatology*, 34 (1), 179-186.
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., and López, J.J., (2008), "Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque country (Northern Spain)", *Agricultural Water Management*, 95(5), 553-565.
- Nandagiri, L., and Kovoov, G.M., (2006), "Performance evaluation of reference evapotranspiration equations across a range of Indian climates", *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 132(3), 238-249.
- Naseri, A.A., Mohseni Movehed, S.A., Kashkooli, H.A., Ehsani, M., and Zare Abyaneh, H., (2000), "Assessment of experimental methods for estimating potential evapotranspiration in Hamadan region", *Journal of Agriculture Research*, 1, 24-39.
- Sharifian, H., and Ghahreman, B., (2006), "Evaluation and comparison of estimated reference evapotranspiration from evaporation pan with ET_0 standard method in Gorgan", *Journal of Agriculture Science National Resources*, 13(5), 18-28.
- Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., López-Moreno, J.I., González-Hidalgo, J.C., Tejeda, E.M., and Espejo, F., (2014), "Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961–2011", *Global Planet Change*, 121, 26-40.
- Xing, Z., Chow, L., Meng, F., Rees, H.W., Monteith J., and Lionel, S., (2008), "Testing reference evapotranspiration estimation methods using evaporation pan and modeling in maritime region of Canada", *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 134(4), 417-424.
- Yihdego, Y., and Webb, J.A., (2018), "Comparison of evaporation rate on open water bodies: Energy balance estimate versus measured pan", *Journal of Water and Climate Change*, 9(1), 101-111.
- Yoder, R.E., Odhiambo, L.O., and Wright, W.C., (2005), "Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid southeast United States", *Applied Engineering Agriculture*, 21(2), 197-202.
- Zhendong, G., Junshi, H., Kebao, D., and Xiang, L., (2017), "Trends in reference evapotranspiration and their causative factors in the West Liao River basin, China", *Journal of Agriculture for Meteorology*, 232, 106-117.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Providing Hydraulic Model and Evaluating Reliability of Water Distribution Networks (Case Study: Oshnaviyeh City)

تهیه مدل هیدرولیکی و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب (مطالعه موردی: شهر اشنویه)

Akbar Shirzad^{1*}, Moharram Heidarzadeh² and Mirali Mohammadi³

1- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran.

2- Expert, West Azarbaijan Water and Wastewater Company, Urmia, Iran.

3- Associate Professor, School of Civil Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.

* Corresponding author, Email: a.shirzad@uut.ac.ir

اکبر شیرزاد^{۱*}، محرم حیدرزاده^۲ و میرعلی محمدی^۳

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- کارشناس دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد، شرکت آب و فاضلاب شهری استان آذربایجان غربی، ارومیه، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: a.shirzad@uut.ac.ir

Received: 15/09/2019

Revised: 25/01/2020

Accepted: 03/02/2020

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

Abstract

چکیده

Reliability is one of the important parameters in the process of design and operation of water distribution networks. Reliability index refers to the ability of the water distribution network to supply water with standard quality, sufficient quantity and within the appropriate pressure range for consumers under normal and abnormal operating conditions. Although many indicators have been provided by various researchers to evaluate the reliability of water distribution networks, so far this issue has not been taken into consideration by consulting engineers and water and wastewater companies in the design and operation of real water distribution networks. In this study, after preparing a calibrated hydraulic model for water distribution network of Oshnaviyeh city in West Azarbaijan province, the reliability of the mentioned network was evaluated. According to the results, the average reliability index of the water distribution network of Oshnaviyeh city during the day is 38.3, which means stressful operating condition. Examination of the reasons for the low reliability led to the identification of weaknesses of this network such as inappropriate diameter of some pipes, weakness in implementing pressure management program, inappropriate status of pipe loops and high amount of leakage (about 52 l/s). Improving the reliability of the studied water distribution network requires the implementation of rehabilitation and renovation programs based on the suggestions proposed in this paper. The results of this study showed that by evaluating the reliability of water distribution networks, existing weaknesses would be identified and their serviceability level would be improved and customer satisfaction would be increased.

قابلیت اطمینان یکی از پارامترهای مهم در فرایند طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب است. شاخص قابلیت اطمینان به توانایی شبکه توزیع آب در تأمین آب با کیفیت استاندارد، به مقدار کافی و در محدوده فشار مناسب برای مصرف‌کنندگان تحت شرایط بهره‌برداری نرمال و غیرنرمال اطلاق می‌شود. اگر چه شاخص‌های زیادی توسط محققین مختلف برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب ارائه شده است، اما تاکنون این موضوع در طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های واقعی توزیع آب توسط شرکت‌های مهندسی مشاور و شرکت‌های آب و فاضلاب مورد توجه قرار نگرفته است. در این پژوهش پس از تهیه مدل هیدرولیکی کالیبره شده برای شبکه توزیع آب شهر اشنویه واقع در استان آذربایجان غربی، اقدام به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه مذکور شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار متوسط شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه در طول شبانه‌روز برابر با ۳۸/۳ بود که به معنی وضعیت بهره‌برداری پرتنش است. بررسی دلایل پایین بودن قابلیت اطمینان منجر به شناسایی نقاط ضعف و نارسایی این شبکه شد که از جمله آن‌ها می‌توان به قطر نامناسب برخی لوله‌ها، ضعف و نارسایی در اجرای برنامه مدیریت فشار، وضعیت نامناسب بخش حلقوی شبکه و مقدار بالای نشت از شبکه (حدود ۵۲ لیتر در ثانیه) اشاره نمود. ارتقای قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب مورد مطالعه مستلزم اجرای برنامه‌های اصلاح و نوسازی شبکه بر اساس پیشنهادات ارائه شده در این مقاله خواهد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب می‌توان نقاط ضعف موجود را شناسایی نموده و نسبت به ارتقاء سطح سرویس‌دهی آن‌ها و افزایش رضایت‌مندی مشترکین اقدام نمود.

Keywords: Water distribution networks, Hydraulic model, Calibration, Reliability, WaterGEMS software.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع آب، مدل هیدرولیکی، کالیبراسیون، قابلیت اطمینان، نرم‌افزار WaterGEMS.

اصولاً مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌ها در مواقع عادی که لوله‌ها و اجزای شبکه سالم بوده و تقاضاها در حد نرمال هستند، چندان کار پیچیده‌ای نیست. هنر اصلی مدیریت وقتی نمود پیدا می‌کند که شرایط بحرانی نظیر شکست اجزاء و یا تغییرات ناگهانی مکانی و یا زمانی در تقاضا رخ داده باشد. ارزیابی دقیق و واقعی رفتار هیدرولیکی شبکه در این شرایط که تأمین نیازهای مصرف‌کنندگان با اختلال مواجه می‌شود، بسیار حائز اهمیت است. زیرا این اختلالات علاوه بر تحمیل خسارات اقتصادی هنگفت، حتی ممکن است تهدیدی برای سلامت جامعه باشد. لذا انجام پژوهش در زمینه قابلیت اطمینان سامانه‌های آبرسانی و تدوین چارچوب‌هایی برای ارزیابی قابلیت اطمینان این سامانه‌ها امری ضروری است (Shirzad and Tabesh, 2016).

قابلیت اطمینان یک مشخصه ذاتی از هر سامانه است و لذا یکی از پارامترهای طراحی و مدیریتی محسوب می‌شود که همواره باید در طی فرایند طراحی و بهره‌برداری به عنوان یکی از معیارهای مهم مورد توجه قرار گیرد. تعریف کلی قابلیت اطمینان عبارت است از احتمال اینکه یک سامانه در یک دوره زمانی معین و در محیطی مشخص، وظیفه‌اش را در محدوده‌ای خاص به خوبی انجام دهد (Bazovski, 1961). این یک تعریف کلی است که می‌توان آن را در سامانه‌های مختلف نظیر سامانه‌های برق، تلفن و غیره به کار برد. در شبکه‌های توزیع آب تعریف خاص‌تری از قابلیت اطمینان به کار می‌رود؛ بدین صورت که قابلیت اطمینان عبارت است از احتمال اینکه شبکه در شرایط مختلف شکست اجزای شبکه یا افزایش دبی‌ها، دبی‌های درخواستی را تأمین کند و فشارهای گرهی در محدوده مطلوب باشند (Tabesh, 1998). در واقع قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب به توانایی آن در تأمین آب با کیفیت استاندارد، به مقدار کافی و در محدوده فشار مناسب برای مصرف‌کنندگان تحت شرایط بهره‌برداری نرمال و غیرنرمال اطلاق می‌شود. (Goulter (1995 فاکتور قابلیت اطمینان را به عنوان شاخصی برای تعیین این که در حین وقوع شرایط بحرانی نظیر شکست لوله‌ها و ...، شبکه توزیع آب چه درصدی از وظایف (تأمین دبی مورد نیاز تحت فشار و کیفیت مناسب) خود را انجام می‌دهد، تعریف کرده است.

تاکنون معیارهای مختلفی به عنوان شاخص قابلیت اطمینان ارائه شده است. برای نمونه می‌توان به شاخص قابلیت کاربری^۱ (دسترسی) (Mays, 1989; Khomsi et al., 1996)، شاخص قابلیت اطمینان مکانیکی^۲ (Mays, 1989, 2002)، شاخص قابلیت اطمینان گرهی^۳ (Tanyimboh, 1993; Gupta and Bhav, 1996)، شاخص قابلیت اطمینان حجمی^۴ (Gupta and Bhav, 1996)، شاخص قابلیت اطمینان کل شبکه توزیع آب^۵

(Tabesh, 1998)، شاخص تاب خسارت^۶ (Tanyimboh and Templeman, 1995)، شاخص انرژی مازاد^۷ (Todini, 2000)، شاخص شکست^۸ (Todini, 2000)، شاخص افزونگی^۹ (Bhave, 1978)، شاخص آنتروپی^{۱۰} (Awumah et al., 1992)، شاخص قابلیت ارتجاع^{۱۱} (Todini, 2000; Prasad and Park, 2004)، شاخص قابلیت ارتجاع اصلاح شده^{۱۲} (Jayaram, 2006)، سلطانی، (۱۳۸۸)، شاخص اطمینان‌پذیری فازی^{۱۳} (قاجارنیا، ۱۳۸۸)، شاخص قابلیت اطمینان کل گرهی^{۱۴} (Shirzad and Tabesh, 2016)، شاخص قابلیت اطمینان کل لوله‌ای^{۱۵} (Shirzad and Tabesh, 2016)، شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب^{۱۶} (Shirzad and Tabesh, 2016)، شاخص قابلیت اعتماد (اطمینان) تلفیقی شبکه^{۱۷} (مهزاد و اصغری، ۱۳۹۷)، شاخص قابلیت اطمینان فشار گرهی^{۱۸} (دینی و تابش، ۱۳۹۷)، شاخص قابلیت اطمینان کیفی گرهی^{۱۹} (دینی و تابش، ۱۳۹۷)، شاخص قابلیت اطمینان سرعت جریان لوله‌ای^{۲۰} (دینی و تابش، ۱۳۹۷) و شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب^{۲۱} (دینی و تابش، ۱۳۹۷) اشاره نمود. اما استفاده از این شاخص‌ها برای ارزیابی شبکه‌های توزیع آب واقعی و بزرگ تا به امروز فراگیر نشده است.

در این پژوهش به ارزیابی قابلیت اطمینان یک شبکه واقعی توزیع آب پرداخته شده و سعی شده است گامی در جهت کاربردی نمودن شاخص‌های قابلیت اطمینان در سطح شرکت‌های آب و فاضلاب برداشته شود. در این راستا با توجه به عدم وجود مدل هیدرولیکی برای شبکه توزیع آب مورد نظر، ابتدا اقدام به تهیه مدل هیدرولیکی و کالیبراسیون آن شده و سپس فرایند مشخصی برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های واقعی توزیع آب تعریف شده است. پس از ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع، نقاط ضعف آن مشخص شده و پیشنهادهایی در جهت بهبود وضعیت موجود شبکه و ارتقاء قابلیت اطمینان آن ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

برای تهیه مدل هیدرولیکی سامانه آبرسانی از نرم‌افزار WaterGEMS V8i استفاده شد برای این منظور ابتدا نقشه‌های موجود سامانه آبرسانی در قالب اتوکد از امور آب و فاضلاب شهر اشنویه و معاونت بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب شهری استان آذربایجان غربی اخذ و به محیط نرم‌افزار WaterGEMS V8i منتقل شد. سپس طی چندین جلسه مشترک با مسئول محترم شبکه امور آب و فاضلاب شهر اشنویه، موارد مبهم و ایرادات نقشه سامانه آبرسانی رفع گردید. با ورود اطلاعات مربوط به گره‌ها (رقوم ارتفاعی و مصارف گرهی)، لوله‌ها (ضرایب زبری هیزن- ویلیامز و قطر)، مشخصات مخازن ذخیره، پمپ‌ها و ...، مدل هیدرولیکی اولیه سامانه آبرسانی شهر اشنویه آماده شروع فرایند کالیبراسیون

شد. لازم به ذکر است برای انتقال نقشه لوله‌ها از محیط نرم‌افزار اتوکد به محیط نرم‌افزار WaterGEMS V8i، از ابزار Model Builder این نرم‌افزار استفاده شد. برای برآورد تقاضای آب گرهی نیز از روش طول لوله استفاده شد؛ بدین صورت که کسری از متوسط مصرف آب شهر اشنویه در سال ۱۳۹۷ متناسب با نسبت (نصف مجموع طول لوله‌های متصل به هر گره به طول کل لوله‌های شبکه)، به عنوان تقاضای آن گره در نظر گرفته شد. از داده‌های تولید آب شهر اشنویه در سال ۱۳۹۷ (خروجی مخزن) نیز برای استخراج الگوی مصرف استفاده شد.

برای کالیبراسیون مدل هیدرولیکی، اقدام به جمع‌آوری داده‌های میدانی فشار و دبی با استفاده از ۱۲ دستگاه فشارسنج دیتالاگ‌دار RADCOM، مدل Lo-Log Flash و دو دستگاه فلومتر پرتابل (یک دستگاه فلومتر اولتراسونیک دیتالاگ‌دار SIEMENS، مدل FUP1010 و یک دستگاه فلومتر اولتراسونیک فاقد دیتالاگر، مدل MICRONICS LTD) شد. در این راستا در نقاط مختلف شبکه توزیع آب حوضچه‌هایی برای انجام اندازه‌گیری‌های فشار و دبی ساخته شد. برای تنظیم فشارسنج‌ها و دریافت داده‌های فشار ثبت شده از آن‌ها از نرم‌افزار Radwin Lite V4.5 استفاده شد. این نرم‌افزار توسط شرکت Radcom Technologies ارائه شده و بسیار کاربرپسند است. با استفاده از نرم‌افزار Radwin Lite می‌توان مواردی نظیر زمان‌بندی ثبت و ذخیره فشار، تعیین نوع فایل خروجی و ... را انجام داد. پس از کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس مدل هیدرولیکی، با استفاده از ابزار Darwin Calibrator نرم‌افزار WaterGEMS V8i کالیبراسیون ریزمقیاس نیز صورت گرفت. لازم به ذکر است در کالیبراسیون

بزرگ‌مقیاس، تفاوت‌های بزرگ بین نتایج مدل هیدرولیکی و مشاهدات میدانی شناسایی شده و با اعمال تغییراتی نظیر وضعیت شیرها از حالت بسته به باز و یا بالعکس، نسبت به تصحیح آن‌ها اقدام می‌شود. در کالیبراسیون ریزمقیاس نیز با تنظیم مقادیر ضریب زبری لوله‌ها و تخمین مقادیر تقاضای آب گرهی، تفاوت‌های کوچک بین نتایج مدل هیدرولیکی و مشاهدات میدانی به کمترین مقدار خود می‌رسد. ابزار Darwin Calibrator امکان کالیبراسیون ریزمقیاس مدل‌های هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب را بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک فراهم می‌نماید.

در ادامه با استفاده از شاخص ارائه شده توسط Shirzad and Tabesh (2016) (روابط (۱) تا (۵)) قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب ارزیابی شد. این شاخص امکان ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب را بر اساس دو مؤلفه فشار گرهی و گرادیان افت انرژی در لوله فراهم می‌نماید. طبق این شاخص قابلیت اطمینان، تنها کمبود فشار نشان‌دهنده پایین بودن قابلیت اطمینان نیست و اضافه فشار نیز با توجه به تأثیر آن در افزایش شکست لوله‌ها، نشأت از شبکه و همچنین افزایش ناخواسته مصرف، به نوعی باعث کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شود. اگر در شرایط عادی و نرمال بهره‌برداری از شبکه توزیع آب، فشارهای گرهی در محدوده مجاز باشد و مقدار افت در مسیر لوله‌ها زیاد نبوده و مقدار معقولی باشد، در صورت وقوع شکست لوله‌ها، شبکه به احتمال زیاد قادر خواهد بود بر افت‌های انرژی اضافی حادث شده غلبه نموده و دبی‌های مورد نیاز گرهی را تأمین نماید (Shirzad and Tabesh, 2016).

$$Re_N = \begin{cases} (TRe_{Node} \times TRe_{Pipe}) \left[1 + \sqrt{\frac{NJ_{35}}{2}} \left(\frac{1}{\sqrt{TRe_{Node} \times TRe_{Pipe}}} - 1 \right) \right] & \text{if } NJ_{35} < \frac{NJ}{2} \\ \sqrt{TRe_{Node} \times TRe_{Pipe}} & \text{if } NJ_{35} \geq \frac{NJ}{2} \end{cases} \quad (1)$$

$$TRe_{Node} = \frac{\sum_{j=1}^{NJ} (Re_{Nodej} \times Q_j^{req})}{\sum_{j=1}^{NJ} Q_j^{req}} \quad (2)$$

$$TRe_{Pipe} = \frac{\sum_{i=1}^{NL} (Re_{Pipei} \times L_i)}{\sum_{i=1}^{NL} L_i} \quad (3)$$

$$Re_{Node j} = \begin{cases} 0 & \text{if } P_j \leq 5 \\ \left(\frac{P_j - 5}{30} \right)^{0.51} & \text{if } 5 < P_j \leq 35 \\ 1 - \frac{P_j - 35}{30} & \text{if } 35 < P_j \leq 50 \\ 0.25 & \text{if } P_j > 50 \end{cases} \quad (4)$$

$$Re_{Pipe i} = \begin{cases} h_{f_i} & \text{if } h_{f_i} < 1 \\ 1 & \text{if } 1 \leq h_{f_i} \leq 5 \\ \left(\frac{30 - \frac{h_{f_i} \times L_i}{1000}}{30} \right)^{0.51} & \text{if } 5 < h_{f_i} \leq \frac{30000}{L_i} \\ 0 & \text{if } h_{f_i} > \frac{30000}{L_i} \end{cases} \quad (5)$$

خوب (قابلیت اطمینان برابر با ۷۵ درصد) و سرویس‌دهی مطلوب یا بهترین سرویس‌دهی (قابلیت اطمینان برابر با ۱۰۰ درصد). با توجه به این مقادیر آستانه‌ای برای قابلیت اطمینان، چهار وضعیت مختلف بهره‌برداری از شبکه توزیع آب تعریف شده است که عبارتند از: وضعیت بهره‌برداری بحرانی (قابلیت اطمینان بین صفر تا ۲۵ درصد)، وضعیت بهره‌برداری پرتنش (قابلیت اطمینان بین ۲۵ تا ۵۰ درصد)، وضعیت بهره‌برداری قابل قبول (قابلیت اطمینان بین ۵۰ تا ۷۵ درصد) و وضعیت بهره‌برداری مطلوب (قابلیت اطمینان بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد).

۳- مطالعه موردی

اشنویه از شهرهای مرزی استان آذربایجان غربی است که در قسمت غربی این استان در ارتفاع ۱۵۲۴ متر نسبت به سطح آب‌های آزاد در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۶۰ دقیقه و عرض ۳۷ درجه و ۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه واقع شده است. این شهر که مرکز شهرستان اشنویه است، از غرب با کشور عراق، از جنوب با پیرانشهر، از شرق با نقده و از شمال با ارومیه هم‌مرز است. جمعیت این شهر در پایان سال ۱۳۹۷ برابر با ۴۳۰۴۴ نفر گزارش شده است. سامانه آبرسانی شهر اشنویه شامل هشت حلقه چاه آب، دو

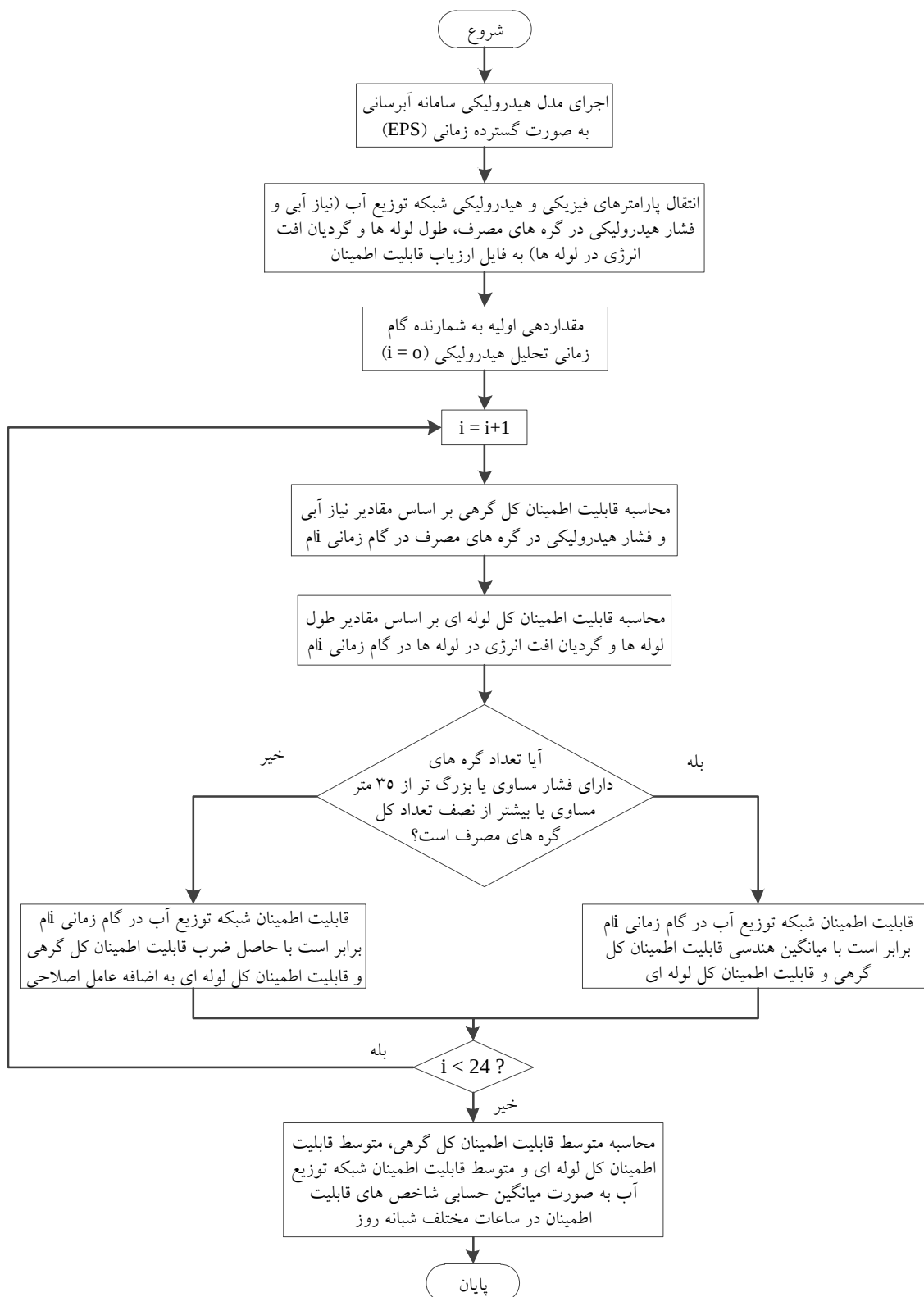
که Re_N : قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب، TRe_{Node} : قابلیت اطمینان کل گرهی، TRe_{Pipe} : قابلیت اطمینان کل لوله‌ای، NJ_{35} : تعداد گره‌های دارای فشار بزرگ‌تر یا مساوی ۳۵ متر، i و j : به ترتیب شمارنده لوله‌ها و گره‌ها، NL و NJ : به ترتیب تعداد کل لوله‌ها و گره‌ها، L_i : طول لوله i ام بر حسب متر، Re_{Pipe_i} : قابلیت اطمینان لوله i ام، Re_{Node_j} : قابلیت اطمینان گره j ام، P_j : فشار موجود در گره j ام و h_{f_i} : گرادیان افت انرژی در لوله i ام بر حسب متر بر کیلومتر است. اطلاعات بیشتر در خصوص این شاخص‌ها در مقاله ارائه شده توسط Shirzad and Tabesh (2016) موجود است.

در این پژوهش، روابط (۱) تا (۵) در یک فایل Excel پیاده شده است، به طوری که مطابق فلودیگرام ارائه شده در شکل ۱ با ورود اطلاعات مربوط به گره‌های مصرف (نیاز آبی و فشار) و لوله‌ها (طول و گرادیان افت انرژی) در ساعات مختلف شبانه‌روز، مقادیر قابلیت اطمینان محاسبه شده و نمایش داده می‌شود.

با الهام از ایده ارائه شده توسط Tabesh and Zia (2003)، پنج سطح مختلف سرویس‌دهی در نظر گرفته شده است که عبارتند از: عدم سرویس‌دهی (قابلیت اطمینان برابر با صفر)، سرویس‌دهی غیر قابل قبول (قابلیت اطمینان برابر با ۲۵ درصد)، سرویس‌دهی قابل قبول (قابلیت اطمینان برابر با ۵۰ درصد)، سرویس‌دهی

شیر فشارشکن و دو ایستگاه پمپاژ مجهز به بوسترپمپ (پمپاژ مستقیم به شبکه) است.

باب مخزن ذخیره آب، خط انتقال به طول چهار کیلومتر و شبکه توزیع آب به طول ۱۰۵ کیلومتر (با دو زون مجزا)، یک دستگاه



شکل ۱- فلودیگرام محاسبه قابلیت اطمینان

لوله های واقع در هر دسته می توانست در بازه ۰/۷ تا ۱/۳ برابر ضریب زبری هیزن-ویلیامز تعیین شده برای آن لوله ها در مرحله کالیبراسیون بزرگ مقیاس تغییر کند. با انجام تحلیل حساسیت، مقادیر پارامترهای الگوریتم بهینه سازی ژنتیک مشخص شد. برای نمونه مقدار جمعیت اولیه برابر با ۱۰۰، مقدار حداکثر نسل ها برابر

در فرایند کالیبراسیون ریزمقیاس مدل هیدرولیکی سامانه آبرسانی شهر اشنویه با استفاده از ابزار Darwin Calibrator، ۱۱ دسته تنظیم ضریب زبری هیزن-ویلیامز شامل لوله های مختلف با جنس ها و قطرهای متفاوت در نظر گرفته شد؛ به طوری که در فرایند بهینه سازی کالیبراسیون، مقدار ضریب زبری هیزن-ویلیامز

با ۱۵۰، احتمال جهش برابر با ۰/۵ و احتمال تزویج برابر با ۰/۹ انتخاب شد. با اجرای ابزار Darwin Calibrator، در حالت‌های مختلف، بهترین مقدار برای تابع هدف برابر با ۹۷/۳۶۳ به دست آمد. با اعمال مقادیر بهینه ضرایب زبری برای ۱۱ دسته لوله ذکر شده در مدل هیدرولیکی، کالیبراسیون ریزمقیاس صورت گرفت.

۴- نتایج و بحث

با اجرای مدل هیدرولیکی و انتقال نتایج تحلیل هیدرولیکی شامل اطلاعات مربوط به گرہ‌های مصرف و لوله‌ها به فایل Excel ارزیاب قابلیت اطمینان، مقادیر قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه به شرح جدول ۱ محاسبه شد. طبق جدول ۱ قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه در تمامی ساعات شبانه‌روز همواره کمتر از ۵۰ درصد است که به معنی وضعیت بهره‌برداری پرتنش می‌باشد. کمترین میزان قابلیت اطمینان شبکه مربوط به ساعت ۴ بامداد است که ناشی از مقادیر فشار گرہی بیش از حد مجاز و مقادیر پایین گرادیان افت انرژی در لوله‌هاست. در واقع در ساعت ۴ بامداد شرایط هیدرولیکی و سرویس‌دهی شبکه غیرقابل قبول بوده و به عبارتی وضعیت بهره‌برداری از شبکه در حالت بحرانی قرار دارد؛ چرا که فشار بالا منجر به افزایش نشت و افزایش

ترکیدگی لوله‌ها شده و گرادیان افت انرژی پایین باعث افت کیفیت آب می‌شود. بیشترین میزان قابلیت اطمینان شبکه توزیع نیز مربوط به ساعت ۱۱ صبح می‌باشد که ناشی از مقادیر نسبتاً مناسب فشار گرہی و گرادیان افت انرژی در این ساعت است. مقدار متوسط شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه در طول شبانه‌روز برابر با ۳۸/۳ می‌باشد که به معنی وضعیت بهره‌برداری پرتنش است.

به منظور بررسی عمیق‌تر دلایل پایین بودن قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه، جزئیات بیشتری از وضعیت هیدرولیکی شبکه مورد مطالعه قرار گرفت. طبق بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد: (۱) گرادیان افت انرژی در ۱۰ درصد طول کل لوله‌های شبکه (حدود ۱۰ کیلومتر) در زمان اوج مصرف به بیش از ۱۰ متر در هر کیلومتر افزایش می‌یابد. (۲) گرادیان افت انرژی در ۷۰ درصد طول کل لوله‌های شبکه (حدود ۷۴ کیلومتر) در زمان اوج مصرف کمتر از ۱ متر در هر کیلومتر است. (۳) فشار در ۸۰ درصد از گرہ‌های مصرف در ساعاتی از شبانه‌روز به بیش از ۵۰ متر (حداکثر تا ۸۴ متر) افزایش می‌یابد. (۴) فشار در ۱۲ درصد از گرہ‌های مصرف در ساعاتی از شبانه‌روز به کمتر از ۵ متر کاهش می‌یابد. (۵) نوسان فشار در طول شبانه‌روز در ۳۴ درصد گرہ‌های مصرف بیشتر از ۵۰ متر است.

جدول ۱- مقادیر قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه در طول شبانه‌روز

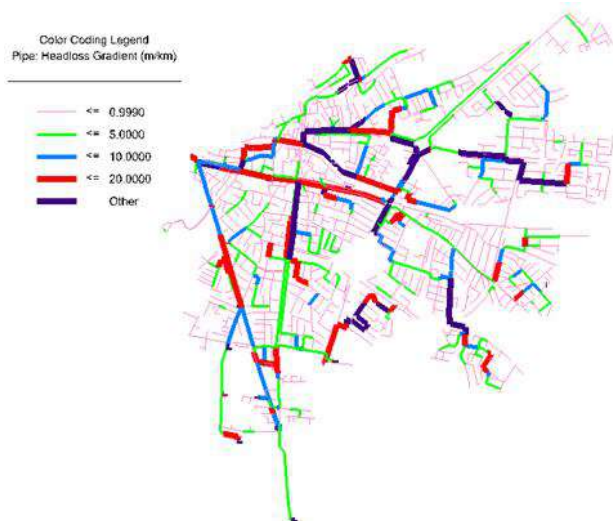
ساعات شبانه‌روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
قابلیت اطمینان کل گرہی (درصد)	۴۳/۸	۳۶/۳	۳۵/۶	۳۵/۳	۳۵/۲	۳۵/۰	۳۵/۲	۳۵/۸	۴۰/۶	۶۹/۰	۶۹/۰	۶۴/۱
قابلیت اطمینان کل لوله‌ای (درصد)	۲۶/۸	۱۸/۳	۱۰/۰	۵/۴	۸/۸	۱۰/۲	۱۳/۸	۱۹/۸	۲۷/۵	۳۳/۳	۳۵/۸	۳۷/۳
قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب (درصد)	۳۴/۳	۲۵/۸	۱۸/۹	۱۳/۹	۱۷/۶	۱۸/۹	۲۲/۰	۲۶/۶	۳۳/۴	۴۷/۹	۴۹/۷	۴۷/۱
وضعیت بهره‌برداری از شبکه توزیع آب	پرتنش	پرتنش	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش
ساعات شبانه‌روز	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
قابلیت اطمینان کل گرہی (درصد)	۶۱/۷	۶۱/۳	۷۰/۵	۶۹/۷	۷۱/۱	۷۱/۰	۶۹/۸	۷۰/۸	۷۱/۶	۶۷/۷	۵۸/۲	۵۴/۷
قابلیت اطمینان کل لوله‌ای (درصد)	۳۷/۷	۳۷/۵	۳۴/۸	۳۳/۱	۳۳/۹	۳۴/۶	۳۵/۴	۳۴/۸	۳۳/۵	۳۱/۹	۳۰/۰	۲۹/۱
قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب (درصد)	۴۵/۶	۴۵/۲	۴۹/۵	۴۸/۰	۴۹/۱	۴۹/۵	۴۹/۶	۴۹/۶	۴۹/۰	۴۶/۵	۴۱/۸	۳۹/۹
وضعیت بهره‌برداری از شبکه توزیع آب	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش	پرتنش

برای نمونه وضعیت فشارهای گرہی و گرادیان افت انرژی در لوله‌ها در ساعات حداقل و حداکثر مصرف در شکل ۲ نشان داده شده است. طبق شکل ۲-الف در زمان حداقل مصرف (ساعت ۰۴:۰۰) با کمینه شده دبی جریان در لوله‌ها، گرادیان افت انرژی فقط در تعداد محدودی از لوله‌ها در محدوده مناسب قرار دارد. البته مقادیر گرادیان افت انرژی کمتر از یک متر در هر کیلومتر در تعداد زیادی از لوله‌ها در ساعت ۴ بامداد به علت پایین بودن مصرف و در نتیجه پایین بودن دبی جریان در لوله‌ها می‌تواند موجه باشد. طبق شکل ۲-ب در ساعت اوج مصرف (۱۲:۴۵)، به دلیل بالا بودن دبی جریان در لوله‌ها، گرادیان افت انرژی در لوله‌ها به شدت زیاد بوده و به هیچ‌وجه قابل قبول نمی‌باشد. این شکل

به وضوح دلالت بر انتخاب مقادیر قطر نامناسب برای تعداد زیادی از لوله‌ها دارد، به طوری که لوله‌ها به علت سایز کوچک آن‌ها قادر به عبور آب با شرایط قابل قبول نبوده و لذا افت انرژی زیادی در مسیر لوله‌ها حادث می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۲-ج و ۲-د مشاهده می‌شود در زمان حداقل مصرف فشارهای گرہی به شدت افزایش یافته و حتی مقادیر فشار بالای ۸۰ متر نیز مشاهده می‌شود. بدیهی است که در ساعت حداکثر مصرف، فشارهای گرہی در نقاط زیادی از شبکه به دلیل بالا بودن افت انرژی در لوله‌ها کمتر از حداقل مقدار مجاز بوده و وضعیت قابل قبولی نداشته باشد.

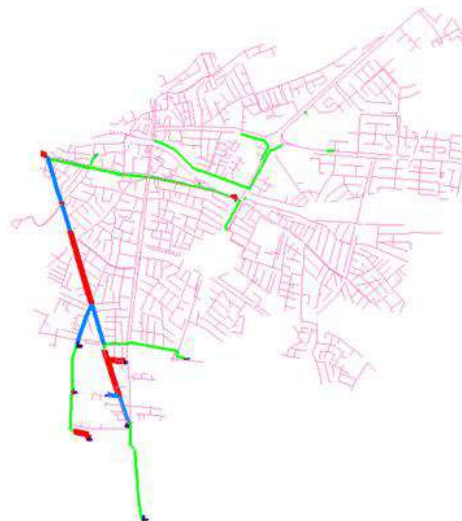
به منظور ارتقاء شاخص قابلیت اطمینان این شبکه باید عوامل

نمونه مطابق با شکل ۲-ب، لوله‌های مشخص شده با رنگ‌های آبی، قرمز و سرمه‌ای نامزد اصلاح شبکه خواهند بود، به طوری که لوله‌های سرمه‌ای در اولویت اول، لوله‌های قرمز در اولویت دوم و لوله‌های آبی در اولویت سوم قرار خواهد گرفت. وضعیت گره‌های مصرف نیز با انجام همین برنامه‌های اصلاح و همچنین اعمال مدیریت فشار قابل بهبود خواهد بود.

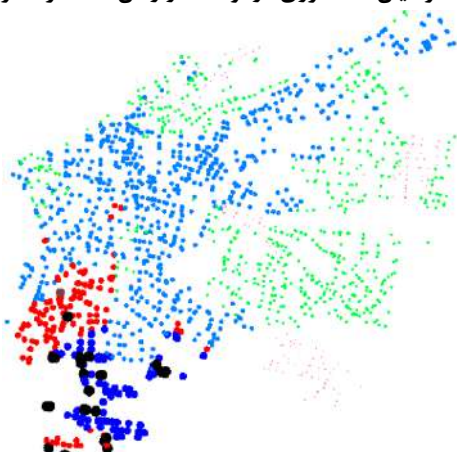


ب) گرادیان افت انرژی در لوله‌ها در زمان حداکثر مصرف

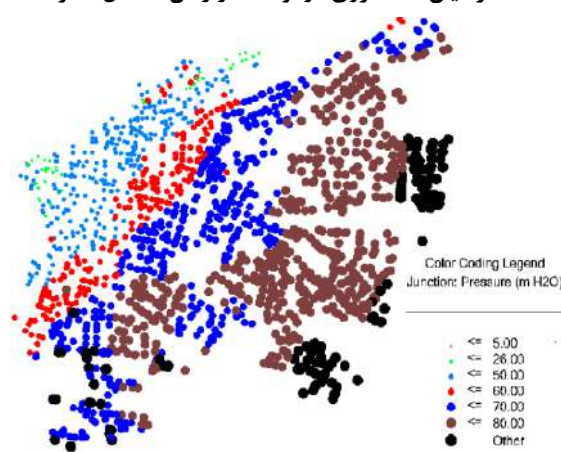
کاهنده آن اصلاح شوند. به عبارت دیگر لوله‌ها و گره‌هایی که قابلیت اطمینان پایینی دارند باید مد نظر قرار گیرند. در واقع لوله‌های دارای گرادیان افت انرژی بالاتر از ۵ متر در هر کیلومتر نامزدهای اصلاح شبکه خواهند بود، به طوری که هر چقدر مقدار این گرادیان برای لوله‌ای بیشتر باشد، آن لوله در برنامه اصلاح و نوسازی شبکه توزیع در اولویت بالاتری قرار خواهد گرفت. برای



الف) گرادیان افت انرژی در لوله‌ها در زمان حداقل مصرف



د) فشارهای گرهی در زمان حداکثر مصرف



ج) فشارهای گرهی در زمان حداقل مصرف

شکل ۲- وضعیت گرادیان افت انرژی در لوله‌ها و فشارهای گرهی در زمان‌های حداقل و حداکثر مصرف

۱۴۲۳ متر)، زون‌بندی فشاری فعلی شهر اشنویه کارایی لازم را نداشته و نیاز به بازنگری دارد. علاوه بر مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین فشار در نقاط مختلف شبکه توزیع آب اشنویه، نقطه ضعف دیگری که در این شبکه به چشم می‌خورد، نوسانات زیاد فشار در گره‌های مصرف است، به طوری که این نوسانات در برخی گره‌ها در طول شبانه‌روز بیش از ۷۰ متر است. یکی از دلایل شکستگی لوله‌ها و اتفاقات آب، نوسانات فشار در شبانه‌روز است. به عبارت دیگر نوسانات فشار می‌تواند باعث وقوع پدیده خستگی در لوله‌ها و در نهایت شکستگی آن‌ها شود.

- بخش حلقوی شبکه وضعیت مناسبی ندارد، به طوری که در برخی از حلقه‌ها لوله‌هایی با قطر کوچک‌تر از ۹۰ میلی‌متر

با بررسی و مطالعه وضعیت سامانه آبرسانی شهر اشنویه، نقاط ضعف دیگری به شرح ذیل مشاهده شد که ضروری است طی یک برنامه اصولی و منسجم نسبت به بهینه‌سازی و رفع این نقاط ضعف اقدام شود.

- ضعف و نارسایی در اجرای برنامه مدیریت فشار در سامانه آبرسانی شهر اشنویه مشهود است. برای نمونه شیر فشارشکن موجود در شبکه از مدار بهره‌برداری خارج شده است. این در حالی است که فشار در منطقه تحت پوشش شیر فشارشکن در ساعاتی از شبانه‌روز به بیش از حداکثر مجاز آن تجاوز کرده و تا ۸۴ متر افزایش می‌یابد. با توجه به اختلاف زیاد بین رقوم ارتفاعی مخازن (۱۵۱۰ و ۱۴۹۸ متر) و رقوم ارتفاعی گره‌های مصرف بحرانی که در پست‌ترین نقاط قرار گرفته‌اند (حدود

وجود دارد. از آنجایی که یکی از کارکردهای حلقه در شبکه‌های توزیع آب، ایجاد مسیر جایگزین برای عبور آب در شرایط شکستگی یکی از لوله‌های واقع بر آن حلقه است، لذا وجود لوله‌هایی با قطر کوچک‌تر از ۹۰ میلی‌متر در حلقه‌ها، کارکرد مذکور را مختل خواهد نمود، چرا که چنین لوله‌هایی ظرفیت عبور دبی‌های بالاتر را نداشته و باعث وقوع افت انرژی بیشتر و در نتیجه کمبود فشار در گره‌های مصرف خواهند شد.

- مقدار نشت از شبکه توزیع و انشعابات مشترکین بالاست. مطابق راهنمای شناخت و بررسی عوامل مؤثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن (نشریه ۵۵۶)، با در نظر گرفتن مصرف مجاز شبانه برابر با ۰/۶ لیتر بر نفر بر ساعت و با لحاظ جمعیت ۴۳۰۴۴ نفری شهر اشنویه، کل مصرف مجاز شبانه در شبکه توزیع آب این شهر برابر با ۷/۱۷۴ لیتر بر ثانیه بدست آمد. با کسر نمودن این مقدار از حداقل دبی جریان شبانه (۷۰/۸۴۹) به دست آمده از فلومتری خروجی مخزن ۵۰۰۰ مترمکعبی، مقدار حداکثر نشت برابر با ۶۳/۴۷۵ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. سپس با محاسبه ضریب فشار در زمان‌های مختلف شبانه‌روز و ضرب نمودن آن در مقدار حداکثر نشت، مقدار نشت در زمان‌های مختلف شبانه‌روز حاصل شد. در نهایت مقدار متوسط نشت از شبکه توزیع و انشعابات مشترکین حدود ۵۲ لیتر در ثانیه یا ۳۰ درصد به دست آمد. این در حالی است که در جدول بالانس شهر اشنویه برای سال ۱۳۹۷ مقدار نشت از شبکه توزیع و انشعابات مشترکین برابر با ۲۱ لیتر در ثانیه یا ۱۳/۲ درصد گزارش شده است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از ایجاد مدل اولیه سامانه آبرسانی شهر اشنویه در محیط نرم‌افزار WaterGEMS V8i، با انجام اندازه‌گیری‌های میدانی فشار و دبی و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، نسبت به کالیبراسیون بزرگ‌مقیاس و ریزمقیاس مدل هیدرولیکی اقدام شد که استفاده از آن، فرایند مدیریت و بهره‌برداری از شبکه را برای کارشناسان امور آب و فاضلاب آسان‌تر نموده و در نتیجه از اعمال تغییرات در شبکه توزیع آب بدون مطالعه تأثیر آن بر وضعیت هیدرولیکی شبکه جلوگیری به عمل خواهد آمد. سپس فرایندی برای محاسبه و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع آب تدوین شد. لازم به ذکر است این فرایند در مرحله طراحی شبکه‌های جدید آب نیز قابل استفاده است؛ به‌طوری که مد نظر قرار دادن شاخص قابلیت اطمینان و توجه به مقادیر آن منجر به طراحی شبکه‌ای خواهد شد که در

آن گرادیان افت انرژی در لوله‌ها تا حد امکان به محدوده ۱ تا ۵ متر در هر کیلومتر نزدیک‌تر بوده و از ایجاد فشارهای گرهی بالا جلوگیری به عمل آید.

نتایج به دست آمده از ارزیابی شبکه توزیع آب شهر اشنویه بیانگر قابلیت اطمینان پایین (با مقدار متوسط ۳۸/۳ در طول شبانه‌روز) و یا به عبارتی وضعیت سرویس‌دهی و بهره‌برداری پرتنش این شبکه بود. لذا به منظور ارتقاء قابلیت اطمینان و وضعیت سرویس‌دهی شبکه توزیع آب و همچنین بهبود وضعیت سایر اجزای سامانه آبرسانی شهر اشنویه، بایستی مجموعه اقدامات نظام‌مندی بر اساس یک برنامه عملیاتی صورت گیرد. در این راستا راه‌کارها و پیشنهادهای ذیل قابل ارائه است.

۱- در انجام عملیات اصلاح و نوسازی سامانه آبرسانی شهر اشنویه، نتایج به دست آمده از این پژوهش مد نظر قرار گیرد. به عبارت دیگر در عملیات اصلاح و بازسازی، اولویت با لوله‌هایی باشد که به علت داشتن قطر پایین، ظرفیت لازم برای عبور جریان آب را نداشته و باعث افت انرژی زیاد و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شوند.

۲- حلقه‌بندی شبکه توزیع آب مورد بازنگری قرار گرفته و قطر مناسبی برای لوله‌های واقع بر حلقه‌های اصلی شبکه در نظر گرفته شود.

۳- برنامه مدیریت فشار و نحوه زون‌بندی شبکه مورد بازنگری قرار گرفته و در صورت نیاز زون‌های فشاری جدید ایجاد شود. در این راستا شیر فشارشکن وارد مدار بهره‌برداری شده و بهینه‌یابی لازم در خصوص موقعیت آن به عمل آید. همچنین در صورت نیاز کنترلگر فشار بر روی شیر فشارشکن نصب شود تا متناسب با ساعات مختلف شبانه‌روز، فشار مناسب در پایین‌دست شیر تنظیم شده و در نتیجه با کاهش فشارهای بالای حداکثر مقدار مجاز، قابلیت اطمینان شبکه افزایش یابد.

۴- مؤلفه‌های آب بدون درآمد مورد بررسی قرار گرفته و اقداماتی نظیر عملیات نشت‌یابی انجام شود تا تلفات فیزیکی آب و در نتیجه آب بدون درآمد کاهش یابد. البته انجام پیشنهاد سوم نیز منجر به کاهش تلفات فیزیکی آب خواهد شد.

۶- تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل طرح پژوهشی انجام شده با حمایت مالی شرکت آب و فاضلاب شهری استان آذربایجان غربی است. در اینجا لازم است از مدیر عامل محترم، معاون محترم برنامه‌ریزی و منابع انسانی، مدیر و کارشناس محترم دفتر تحقیقات، معاون محترم بهره‌برداری، مدیر و کارشناس محترم دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد شرکت آب و فاضلاب شهری استان آذربایجان غربی و مدیر و کارشناس مسئول محترم شبکه امور آب

و فاضلاب اشنویه بابت مهیا نمودن شرایط برای انجام هر چه بهتر این پژوهش تقدیر و تشکر به عمل آید.

۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- Availability
- 2- Mechanical Reliability Factor
- 3- Nodal Reliability Factor
- 4- Volume Reliability Factor
- 5- Total System Reliability Factor
- 6- Damage Tolerance Index
- 7- Available Surplus of Head Index
- 8- Failure Index
- 9- Redundancy
- 10- Entropy
- 11- Resiliency
- 12- Modified Resilience Index
- 13- Fuzzy Reliability Index
- 14- Total Nodal Reliability Index
- 15- Total Pipe Reliability Index
- 16- Network Reliability Index
- 17- Network Integrated Reliability Index
- 18- Nodal Pressure Reliability Index
- 19- Nodal Chlorine Reliability Index
- 20- Pipe Velocity Reliability Index
- 21- Network Reliability Index

۸- مراجع

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، (۱۳۹۰)، "راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راه‌کارهای کاهش آن" نشریه شماره ۵۵۶، معاونت نظارت راهبردی (دفتر نظام فنی اجرایی) و وزارت نیرو (دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا)، تهران، ایران.

دینی، م. و تابش، م.، (۱۳۹۷)، "ارائه شاخص قابلیت اطمینان جدید برای ارزیابی عملکرد شبکه توزیع آب"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۹(۳)، ۱-۱۶.

سلطانی، ج.، (۱۳۸۸)، "تدوین و ارائه یک مدل برای بازسازی و نوسازی بهینه شبکه های توزیع آب با در نظر گرفتن تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار (HDSM) با قیود قابلیت اطمینان"، رساله دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.

قاجارنیا، ن.، (۱۳۸۸)، "طراحی و توسعه پویای چند معیاره شبکه های توزیع آب شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، بخش مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

مهزاد، ن. و اصغری، ک.، (۱۳۹۷)، "برآورد عملکرد شبکه توزیع آب شهری با تلفیق قابلیت اعتماد هیدرولیکی و مکانیکی"، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۹(۶)، ۲۷-۳۹.

- Awumah, K., Goulter, I.C., (1992). "Maximizing entropy-defined reliability of water distribution networks", *Journal of Engineering Optimization*, 20(1), 57-80.
- Bazovski, I., (1961). "Reliability theory and practice", Prentice Hall, Inc., Englewood, Cliffs, N. J.
- Bhave, P.R., (1978). "Noncomputer optimization of single source networks", *Journal of Environmental Engineering*, 104(EE4), 799-813.
- Gupta, R. and Bhave, P.R., (1996). "Comparison of method for predicting deficient network performance", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(3), 214-217.
- Goulter, I.C., (1995). "Analytical and simulation models for reliability analysis in water distribution systems", In: E. Cabrera and A. Vela, eds. *Improving Efficiency and Reliability in Water Distribution Systems*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 235-266.
- Jayaram, N., (2006). "Reliability based optimization of water distribution networks", MSc. thesis, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras.
- Khomsi, D., Walters, G.A., Thorley, A.R.D. and Ouazar, D. (1996). "Reliability tester for water distribution networks", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10(1), 10-19.
- Mays, L.W., (1989). "Reliability analysis of water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 108(WR3), 243-256.
- Mays, L.W., (2002). "Optimal maintenance, rehabilitation, replacement scheduling", *Urban Water Supply Handbook*, Chapter 13, Edited by Caty Wery.
- Prasad, T.D. and Park, N.S., (2004). "Multi objective genetic algorithm for design of water distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 73-82.
- Shirzad, A. and Tabesh, M., (2016). "New indices for reliability assessment of water distribution networks", *Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 65(5), 384-395.
- Tabesh, M., (1998). "Implications of the pressure dependency of outflows on data management, mathematical modeling and reliability assessment of water distribution systems", PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Liverpool, England.
- Tabesh, M. and Zia, A., (2003). "Dynamic management of water distribution networks based on hydraulic performance analysis of the system", *Water Science Technology: Water Supply*, 3(1-2), 95-102.
- Tanyimboh, T.T., (1993). "An entropy-based approach to the optimum design of reliable water distribution networks", PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Liverpool.
- Tanyimboh, T.T. and Templeman, A.B., (1995). "A new method for calculating the reliability of single-source networks", *Developments in Computational Techniques for Civil Engineering*, B.H.V. Topping (Editor), Civil-Comp Press, Edinburg, UK, 1-9.
- Todini, E., (2000). "Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic Approach", *Urban Water Journal*, 2(3), 115-122.

Research Paper

مقاله پژوهشی

**Cost Evaluation of Meta- Heuristic Design
Models for Urban Water Distribution
Network**

**ارزیابی هزینه‌ای مدل‌های فرا ابتکاری مورد استفاده
در طراحی شبکه توزیع آب شهری**

Mobin Eftekhari^{1*} and Mohammad Akbari²

1- M.Sc. in Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Young Researchers and Elite Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

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

* Corresponding author, Email:

mobineftekhari@yahoo.com

مبین افتخاری^{۱*} و محمد اکبری^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: mobineftekhari@yahoo.com

Received: 10/10/2019

Revised: 26/04/2020

Accepted: 29/04/2020

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰

Abstract

چکیده

Water distribution networks are amongst the most important infrastructures of water supply projects, which attracts notable financial credits from the governments. As optimal design can significantly reduce the costs of such large projects, designers always try to minimize the costs while applying all the constraints and technical specifications of the project. Genetic algorithm is one of the most popular approaches for optimizations in the design projects. This research aims at evaluating the meta-heuristic methods used in designing the urban water distribution networks and to assess the genetic algorithm as an optimization mean for such methods. Given the heavy costs associated with water distribution network projects, it is very important how a model perform the cost evaluation. For the current study, the modeling was first performed by WaterGEMS software and the total cost was calculated based on the price list. Then, according to the objective function and cost criterion and with respect to constraints of speed and pressure in the network, optimization was performed and the final cost was obtained. The results of the proposed method showed that by optimization, the investment cost would decrease by about 14% compared to the original plan. Comparison was also made to other meta-heuristic algorithms which confirmed better performance of the proposed algorithm with regards to costs.

شبکه‌های توزیع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های طرح‌های تأمین آب است که بخش مهمی از اعتبارات مالی کشور را به‌خود اختصاص داده است. از آن‌جا که طراحی بهینه دارای تأثیر به‌سزایی در کاهش هزینه چنین طرح‌های عظیمی است، طراحان همواره به‌دنبال یافتن روشی هستند که ضمن تأمین قیود و معیارهای فنی طرح، کمترین هزینه را داشته باشد. یکی از روش‌های بهینه‌سازی، روش الگوریتم ژنتیک است که از پرکاربردترین روش‌های بهینه‌سازی است. مسئله‌ای که مورد توجه این تحقیق است ارزیابی روش‌های فرا ابتکاری مورد استفاده در طراحی شبکه توزیع آب شهری است تا جایگاه الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی در این خصوص مشخص شود. با توجه به هزینه‌های سنگین مترتب بر پروژه‌های شبکه توزیع آب، ارزیابی هزینه‌ای مدل‌ها مسئله‌ای مهم و مورد نیاز است. در این تحقیق بخشی از شبکه توزیع آب شهر مشهد با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی شد. بدین‌منظور ابتدا مدل‌سازی توسط نرم‌افزار WaterGEMS انجام گرفت و هزینه کل براساس فهرست‌بها محاسبه شد. سپس با توجه به تابع هدف و معیار هزینه و با رعایت قیود سرعت و فشار مجاز شبکه، بهینه‌سازی انجام شد و هزینه نهایی به‌دست آمد. نتایج حاصل از روش ارائه شده نشان داد هزینه سرمایه‌گذاری پس از استفاده از رویکرد پیشنهادی بهینه‌سازی در حدود ۱۴ درصد نسبت به طرح اولیه کاهش خواهد یافت. هم‌چنین مقایسه هزینه روش پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری وضعیت مطلوب تری را ارائه کرد.

Keywords: Genetic Algorithm, Optimization, Water distribution network, WaterGEMS.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی، شبکه توزیع آب، WaterGEMS.

ژنتیک کاهش خواهد یافت. برزگری حاجی‌آبادی و قزل سوفلو (۱۳۹۴) با بهینه‌سازی شبکه توزیع آب گردکشانه با استفاده از الگوریتم ژنتیک به این نتیجه دست یافتند که هزینه‌های برآورد شده در مدل بهینه حدود ۳۲٪ نسبت به طرح اولیه شبکه توزیع شهرسلامی، کاهش یافته است. در پژوهشی (Sherri et al. (2018) به تحلیل شبکه آبرسانی غرب شهر تهران با استفاده از نرم‌افزارهای FMGA و WaterGEMS پرداختند. آن‌ها از طریق مدل‌های بهینه‌سازی به حداقل رساندن هزینه و حداکثر بهره‌مندی از فشار از توابع هدف توانستند هزینه را تا ۸۹٪ کاهش دهند که نتایج بهینه‌سازی و اصلاح شبکه با استفاده از داوری مهندسی و بهینه‌سازی هزینه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته و سطح فشار در همه گره‌ها به بالاتر از حد رسیده است. همچنین خلیفه و همکاران (۱۳۹۷) در یک پژوهش بهینه‌سازی براساس تابع هدف دومنظوره بخشی از شبکه توزیع آب هم‌اشهر واقع در استان کرمان را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور در این مطالعه شبکه توزیع توسط نرم‌افزار WaterGEMS تحلیل هیدرولیکی شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی انجام گرفته است. بعد از بهینه‌سازی، در حدود ۱٪ از هزینه کل پروژه صرفه‌جویی شد.

در راستای مطالعات مذکور هدف از انجام این تحقیق، بهینه‌سازی ساختار شبکه توزیع و قطر لوله‌های مورد استفاده و به تبع آن کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه شبکه توزیع آب است. در واقع استفاده از الگوریتم ژنتیک منجر به نتایج قابل‌قبولی در زمینه بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهری می‌شود. همچنین در این تحقیق تحلیل حساسیت پارامترهای الگوریتم ژنتیک بر روی جواب بهینه انجام و با توجه به بررسی پارامترها گزینه نهایی انتخاب شد.

۲- مواد و روش‌ها

منظور از طراحی بهینه یک سیستم توزیع و تأمین آب، تخمین بهترین ترکیب از اندازه و آرایش مؤلفه‌هایی مانند اندازه قطر لوله‌ها، انواع پمپ‌ها، محل قرارگیری و ماکزیمم توان آن‌ها، حجم مخزن ذخیره و ... است، به‌گونه‌ای که حداقل هزینه برای شبکه حاصل شود. الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جست‌وجو برای حل مسائل با استفاده از مدل ژنتیک است. این الگوریتم در زمره الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت قرار دارد که ایده اساسی خود را از نظریه تکامل می‌گیرد. این الگوریتم در هر تکرار، مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله را موردبررسی قرار می‌دهد. سازوکارها و مجموعه قوانین این الگوریتم برگرفته از مفاهیم علم ژنتیک است. در خصوص انتخاب روش الگوریتم ژنتیک می‌توان به نکات مثبت آن اشاره نمود. مهم‌ترین نقطه قوت الگوریتم ژنتیک موازی بودن

افزایش جمعیت، پیشرفت صنایع و توسعه بخش‌های کشاورزی تمام کشورهای جهان را با کمبود آب مواجه ساخته‌اند. این موضوع باعث به‌وجود آمدن مسائل و مشکلاتی مهم در سیستم آبرسانی شده است. در این راستا شبکه توزیع آب شهری که برای ارتباط بین مصرف‌کننده و منبع آب احداث می‌شود، طراحی و توسعه آن نیازمند تحلیل گسترده و صرف هزینه قابل‌توجه است. لذا طراحی بهینه شبکه توزیع آب شهری امری اجتناب‌ناپذیر بوده و یکی از اهداف جوامع بشری برای به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن هزینه بوده و دامنه بسیار وسیعی از تحقیقات اخیر مهندسی عمران را به‌خود اختصاص داده است. در دو دهه اخیر ابزار هوش مصنوعی در کنار سایر روش‌های کلاسیک، در زمینه بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی استفاده می‌شود و هدف مشترک آن‌ها یافتن بهترین جواب قابل‌قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسئله است که در این بین، تاکنون الگوریتم ژنتیک بیشترین کاربرد را دارا است. الگوریتم ژنتیک نوعی الگوریتم فرا ابتکاری برپایه جمعیت است که قادر به یافتن جواب بهینه در زمان کوتاه است.

(Dandy et al. (1996) در یک مقاله به بررسی الگوریتم ژنتیک پیشرفته برای بهینه‌سازی شبکه توزیع آب شهری پرداختند. نتایج مطالعه موردی حاکی از آن بود که الگوریتم ژنتیک پیشرفته بسیار بهتر از الگوریتم ژنتیک ساده عمل می‌کند و راه‌حلی برای مشکل تونل‌های نیویورک یافت که کم‌هزینه‌ترین راه ممکن بوده است. (Halhal et al. (1997) از الگوریتم ژنتیک در اصلاح و توسعه شبکه‌های آب با یک ساختار چند متغیره که بحث هزینه را نیز وارد مسئله کرده استفاده نمودند. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک یک ابزار مؤثر برای طراحی شبکه‌هایی است که با مشکل محدودیت هزینه روبرو هستند. Karaboga and Basturk (2007) در مقاله‌ای تحت‌عنوان الگوریتم قدرتمند کارآمد برای بهینه‌سازی عملکرد عددی، به مقایسه روش الگوریتم کلونی زنبورعسل با الگوریتم ژنتیک، الگوریتم الهم‌بخش ذرات پرداخته و از این الگوریتم برای بهینه‌سازی چند متغیره استفاده کردند. نتیجه این‌طور حاصل شد که عملکرد الگوریتم کلونی زنبورعسل بهتر از سایر الگوریتم‌های ذکرشده، است. نیکجوف و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله بهینه‌سازی دو معیاره شبکه‌های توزیع آب نشان دادند که با بهینه‌سازی شبکه توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک دو معیاره در حدود ۱۳٪ از هزینه کل پروژه کاهش یافت و با هزینه کمتر فشار در محل‌های مصرف بیشتر خواهد بود. امیررضایی و یکانی مطلق (۱۳۹۱) در طراحی و بهینه‌سازی شهر گردکشانه بعد از تحلیل شبکه توزیع آب نشان دادند که هزینه سرمایه‌گذاری پس از استفاده از بهینه‌سازی با روش الگوریتم

قید حداقل و حداکثر فشار به ازای هر گره در شبکه به صورت رابطه (۳) داده شده است:

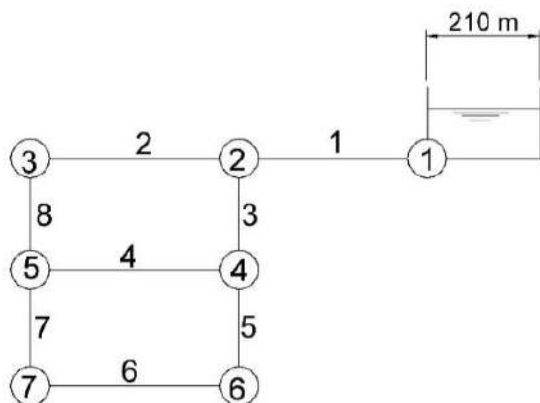
$$H_j^{\min} \leq H_j \leq H_j^{\max} \quad j = 1, 2, \dots, NN, H_j^{\min} = 20 \text{ m}, \quad H_j^{\max} = 50 \text{ m} \quad (3)$$

که NN : تعداد گره‌های مقید در سیستم است.

به منظور ارزیابی روش‌های بهینه‌سازی و طراحی شبکه‌های توزیع آب شهری از آن جایی که هزینه‌های سنگینی بر طراحی و اجرای این پروژه‌ها مترتب است، مقایسه و ارزیابی هزینه‌ای مبنای این تحقیق است. در خصوص بهینه‌سازی شبکه توزیع آب روش‌های تکاملی زیادی مورد استفاده قرار گرفته است، از جمله روش تبرید، ترکیبی قورباغه، هابیرید و جستجوی پراکنده. در این تحقیق از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

۳- مطالعه موردی

روش طراحی موردنظر در این تحقیق، توسط Alperovits and Shamir (1997) بر روی یک شبکه دو حلقه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. این شبکه از ۷ گره و ۸ لوله تشکیل شده است و از یک مخزن با هد ثابت ۲۱۰ متر تغذیه می‌کند. طول تمامی لوله‌ها ۱۰۰۰ متر و ضریب هیزن ویلیامز آن‌ها ۱۳۰ است. حداقل فشار مجاز در هر گره ۳۰ متر در نظر گرفته شده است. مصارف و ارتفاع گره‌ها در جدول ۱ و ۱۴ قطر تجاری به همراه هزینه در واحد طول آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۱- شبکه دو حلقه‌ای

جدول ۱- مشخصات گره‌ها در شبکه دو حلقه‌ای

شماره گره (ID)	ارتفاع (m)	مصرف (m ³ /h)
۲	۱۸۰	۱۰۰
۳	۱۹۰	۱۰۰
۴	۱۸۵	۱۲۰
۵	۱۸۰	۲۷۰
۶	۱۹۵	۳۳۰
۷	۱۹۰	۲۰۰
۱ (مخزن)	۲۱۰	-۱۱۲۰

آن است به طوری که برای حل مسئله چندین نقطه شروع وجود دارد و در یک لحظه می‌تواند فضای مسئله را از چند جهت مختلف جستجو کند. این مسئله کارایی الگوریتم ژنتیک در حل مسائل غیرخطی با فضای بزرگ را افزایش می‌دهد. با توجه به این که اغلب مسائل واقعی غیرخطی هستند، در مسائل خطی هر عنصر مستقل است و تغییر بر یک قسمت بر کل سیستم تاثیر مستقیم دارد. در مسائل غیرخطی تغییر در یک قسمت ممکن است تاثیری ناهماهنگ بر کل سیستم و یا تغییر در چند عنصر تاثیر فراوانی بر سیستم بگذارد. موازی بودن الگوریتم ژنتیک باعث حل این مسئله می‌شود (افتخاری و شبانی‌گیو، ۱۳۹۷). از محاسن دیگر الگوریتم ژنتیک خاصیت ساعت‌ساز نابینا بودن آن است. یعنی الگوریتم ژنتیک از مسائلی که حل می‌کند اطلاعی ندارد. الگوریتم برای حل مسئله تغییرات تصادفی را در راه‌حل‌های کاندید نشان می‌دهد و از تابع برازش برای سنجش این که تغییرات پیشرفتی ایجاد کرده‌اند یا نه استفاده می‌کند. این عمل به الگوریتم اجازه می‌دهد در یک فضای گسترده‌تر شروع به حل مسئله کند و از آن جایی که تصمیمات آن اساساً تصادفی است، همه راه‌حل‌های ممکن به روی مسئله باز است. ویژگی مثبت دیگر این روش می‌توان به جستجوی سراسری خوب، قابلیت پیاده‌سازی آسان، توانایی بهینه‌سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته و حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی غیرخطی تحت قیود غیرخطی از نوع برابری و نابرابری را نام برد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۶). بر این اساس در این تحقیق برای بهینه‌سازی از بستر نرم‌افزار Water GEMS استفاده شده است. زیرا برنامه Darwin Designer در این نرم‌افزار قابلیت استفاده از روش الگوریتم ژنتیک را دارد.

در بهینه‌سازی طراحی شبکه توزیع آب با رویکرد پیشنهادی تحقیق حاضر، قطر و طول لوله‌ها به عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شده و تابع هدف مسئله، به صورت زیر تعریف شد.

Objective Function = Minimize Capital Cost

$$F(x) = \text{Min}C = \sum_{i=1}^{NP} f(D_i, L_i) \quad (1)$$

که $f(D_i, L_i)$: هزینه لوله نام به قطر D_i و طول L_i و NP : تعداد لوله‌ها در شبکه هستند.

تابع فوق باید تحت محدودیت‌های زیر حداقل شود. قید حداقل و حداکثر سرعت در لوله‌ها به صورت رابطه (۲) ارائه شده است:

$$V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max} \quad k = 1, 2, \dots, NP, V_k^{\min} = 0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}, V_k^{\max} = 1.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2)$$

که NP : تعداد لوله‌های مقید در سیستم است.

جدول ۲- اندازه و هزینه لوله‌های قابل انتخاب برای شبکه دو حلقه‌ای

ردیف	قطر (mm)	هزینه (m/\$)	ردیف	قطر (mm)	هزینه (m/\$)
۱	۲۵/۴	۲	۸	۳۰۴/۸	۵۰
۲	۵۰/۸	۵	۹	۳۵۵/۶	۶۰
۳	۷۶/۲	۸	۱۰	۴۰۶/۴	۹۰
۴	۱۰۱/۶	۱۱	۱۱	۴۵۷/۲	۱۳۰
۵	۱۵۲/۴	۱۶	۱۲	۵۰۸	۱۷۰
۶	۲۰۳/۲	۲۳	۱۳	۵۸۸/۸	۳۰۰
۷	۲۵۴	۳۲	۱۴	۶۰۹/۶	۵۵۰

این مسئله در پژوهش‌های قبلی با الگوریتم‌های تکاملی متفاوت دیگری از قبیل الگوریتم تبرید (Cunha and Sousa, 1999)، الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه (Eusuff and Lansey, 2003)، الگوریتم هایبرید (Geem, 2006)، الگوریتم جستجوی پراکنده (Lin et al., 2007)، مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۳ نتایج سایر محققین در مسئله مشابه ارائه شده است.

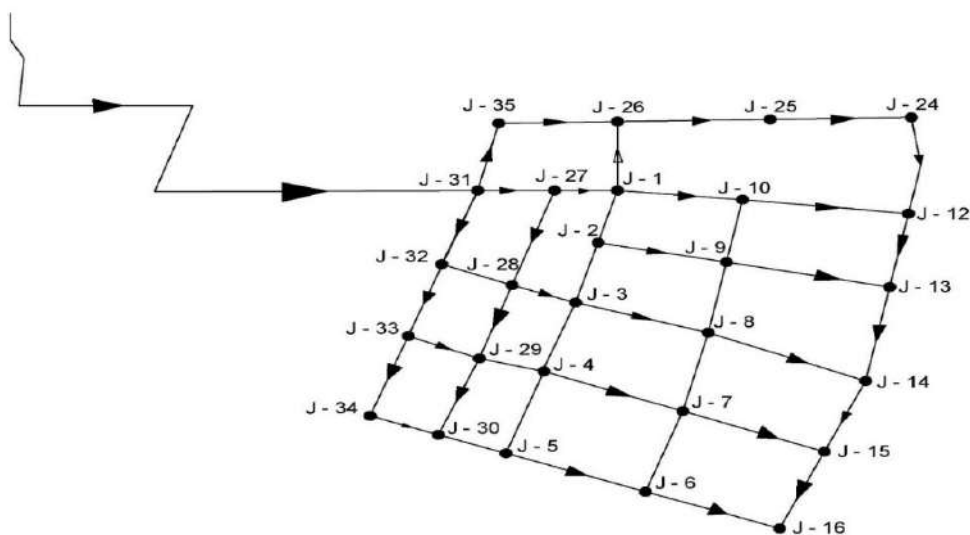
جدول ۳- نتایج حاصل از پژوهش‌های قبل

روش	هزینه نهایی (\$)
الگوریتم تبرید	۴۲۹۰۰۰
الگوریتم جهش ترکیبی قورباغه	۴۱۹۳۰۰
الگوریتم هایبرید	۴۱۹۶۰۰
الگوریتم جستجوی پراکنده	۴۱۹۸۰۰

در این تحقیق به منظور پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک و نمایش کارایی آن در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب، بخشی از شبکه توزیع آب شهر مشهد با استفاده از نرم‌افزار Water GEMS مدل‌سازی شده است. از این پس این شبکه با توجه به منطقه آن، منطقه ۱۱ نام‌گذاری می‌شود. شکل ۲، شبکه توزیع آب موردنظر را نشان می‌دهد. این شبکه از ۲۷ گره و ۴۳ لوله و یک مخزن به ارتفاع ۱۱۰۶ متر تشکیل شده است. مشخصات هیدرولیکی گره‌ها در جدول ۴ و مشخصات لوله‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. جنس تمامی لوله‌ها از چدن و ضریب هیزن ویلیامز ۱۳۰ است.

جدول ۴- مشخصات هیدرولیکی گره‌های شبکه توزیع آب منطقه ۱۱ مشهد

شماره گره	تقاضای گره‌ای (L/S)	فشار (m)	شماره گره	تقاضای گره‌ای (L/S)	فشار (m)
J-۱	۴	۳۶	J-۱۶	۸	۲۹
J-۲	۲۵	۳۲	J-۲۴	۱۲	۳۸
J-۳	۲۵	۳۲	J-۲۵	۱۴	۴۰
J-۴	۲۴	۲۹	J-۲۶	۴	۳۸
J-۵	۱۴	۲۸	J-۲۷	۱۰	۴۰
J-۶	۱۴	۳۴	J-۲۸	۲۵	۳۸
J-۷	۵۰	۳۴	J-۲۹	۲۵	۳۳
J-۸	۳۷	۳۵	J-۳۰	۱۰	۲۹
J-۹	۴۳	۳۸	J-۳۱	۷	۲۷
J-۱۰	۲۰	۳۹	J-۳۲	۱۰	۲۴
J-۱۲	۵	۳۷	J-۳۳	۱۵	۲۵
J-۱۳	۲۲	۳۶	J-۳۴	۵	۲۴
J-۱۴	۲۰	۳۵	J-۳۵	۳	۳۱
J-۱۵	۲۶	۳۳			



شکل ۲- شبکه توزیع آب منطقه ۱۱ مشهد

جدول ۵- مشخصات هیدرولیکی لوله‌های شبکه توزیع آب منطقه ۱۱ مشهد

شماره لوله	طول (متر)	قطر (میلی‌متر)	شماره لوله	طول (متر)	قطر (میلی‌متر)
P-۱	۳۴۱۶	۹۰۰	P-۲۳	۵۸۸	۲۵۰
P-۲	۴۱۲	۴۰۰	P-۲۴	۵۴۲	۲۵۰
P-۳	۵۷۸	۳۰۰	P-۲۵	۴۹۷	۱۵۰
P-۴	۵۴۵	۳۰۰	P-۲۶	۵۰۴	۱۵۰
P-۵	۷۶۴	۳۰۰	P-۲۷	۴۴۱	۸۰
P-۶	۵۸۱	۳۰۰	P-۲۸	۳۸۱	۲۰۰
P-۷	۴۴۵	۳۰۰	P-۲۹	۳۰۱	۲۵۰
P-۸	۵۵۷	۳۰۰	P-۳۰	۵۸۴	۴۰۰
P-۹	۴۷۳	۲۰۰	P-۳۱	۶۴۱	۲۰۰
P-۱۰	۴۸۳	۸۰	P-۳۲	۶۸۳	۲۰۰
P-۱۱	۶۸۹	۸۰	P-۳۳	۷۳۶	۸۰
P-۱۲	۶۷۷	۲۰۰	P-۳۴	۷۷۰	۸۰
P-۱۳	۲۲۳	۲۰۰	P-۳۵	۷۶۷	۸۰
P-۱۴	۴۲۴	۲۰۰	P-۳۶	۳۷۷	۲۰۰
P-۱۵	۴۹۳	۲۰۰	P-۳۷	۴۳۶	۸۰
P-۱۶	۴۵۷	۴۰۰	P-۳۸	۴۹۱	۱۰۰
P-۱۷	۴۷۳	۵۰۰	P-۳۹	۴۸۵	۱۰۰
P-۱۸	۳۵۰	۶۰۰	P-۴۰	۳۰۶	۴۰۰
P-۱۹	۲۹۶	۳۰۰	P-۴۱	۳۳۵	۴۰۰
P-۲۰	۵۶۰	۸۰	P-۴۲	۲۱۸	۳۰۰
P-۲۱	۷۶۹	۸۰	P-۴۳	۴۱۹	۳۰۰
P-۲۲	۴۴۳	۱۵۰			

۴- تحلیل اقتصادی طرح قبل از بهینه‌سازی

براساس فهرست‌بهای شبکه توزیع آب سال ۱۳۹۷ هزینه نهایی طرح اولیه، در جدول ۶ آورده شده است. ملاحظه می‌شود که هزینه نهایی احداث شبکه توزیع آب برابر با ۱۰۰۵۶۰ میلیون ریال محاسبه شده است.

جدول ۶- اندازه و هزینه لوله‌های قابل انتخاب در طرح اولیه شبکه توزیع آب منطقه ۱۱ مشهد

قطر (میلی‌متر)	طول (متر)	قیمت (میلیون ریال)
۸۰	۵۶۵۱	۴۸۰۳
۱۰۰	۹۷۶	۹۷۶
۱۵۰	۱۴۴۴	۱۹۶۳
۲۰۰	۴۳۷۲	۸۱۷۵
۲۵۰	۱۴۳۱	۳۵۶۳
۳۰۰	۴۴۰۳	۱۳۶۴۹
۴۰۰	۲۰۹۴	۹۴۲۳
۵۰۰	۴۷۳	۲۹۲۳
۶۰۰	۳۵۰	۲۸۲۱
۹۰۰	۳۴۱۶	۵۲۲۶۴
مجموع	۲۴۶۱۰	۱۰۰۵۶۰

۵- نتایج و بحث

۵-۱- بهینه‌سازی شبکه

در این تحقیق بعد از این که داده‌های موردنیاز وارد نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی شده و شبکه طراحی شد، با استفاده از زیربرنامه Darwin Designer در نرم‌افزار WaterGEMS، مسئله بهینه‌سازی شد. مطابق جدول ۷، طول و هزینه نهایی شبکه موجود بهینه‌سازی شده ۸۶۴۱۲ میلیون ریال برآورد شد، که نسبت به طراحی اولیه معادل ۱۳ درصد کل هزینه نهایی، صرفه‌جویی شده است.

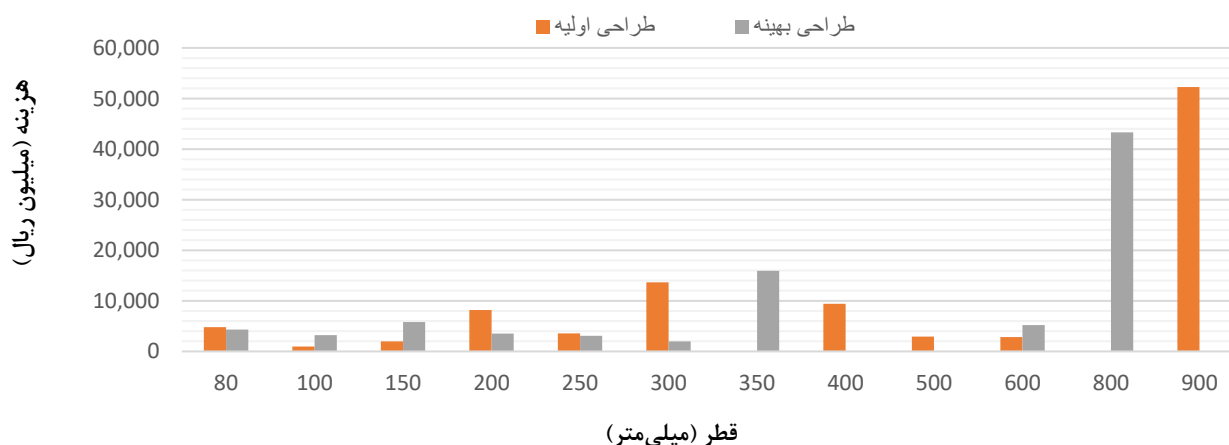
در ادامه این تحقیق، قطر لوله‌های به‌کاررفته در طرح اولیه و مدل بهینه مقایسه شده است. شکل ۳ مقایسه بین طول قطرهای مختلف لوله‌های به‌کار رفته در طرح اولیه و بهینه را نمایش می‌دهد. بررسی نشان می‌دهد که لوله‌های با قطر بزرگ به‌سمت لوله‌های با قطر کوچک‌تر سوق پیدا کرده است. به‌همین دلیل در مدل بهینه هزینه‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است که در شکل ۴ قابل‌مشاهده است.

جدول ۷- اندازه و هزینه نهایی در طرح بهینه شبکه توزیع آب منطقه ۱۱ مشهد

قطر (میلی متر)	طول (متر)	قیمت (میلیون ریال)
۸۰	۵۰۷۶	۴۳۱۳
۱۰۰	۳۲۲۵	۳۲۲۵
۱۵۰	۴۲۷۰	۵۸۰۸
۲۰۰	۱۸۸۴	۳۵۱۸
۲۵۰	۲۰۰۱	۳۰۹۷
۳۰۰	۶۴۱	۱۹۸۶
۳۵۰	۳۴۵۱	۱۵۹۴۰
۶۰۰	۶۴۶	۵۲۰۸
۸۰۰	۳۴۱۶	۴۳۳۱۶
مجموع	۲۴۶۱۰	۸۶۴۱۲



شکل ۳- مقایسه بین طول لوله‌های بکار رفته در طرح اولیه و طرح بهینه



شکل ۴- تغییرات هزینه در برابر تغییرات قطر لوله‌های بکار رفته در طرح اولیه و طرح بهینه

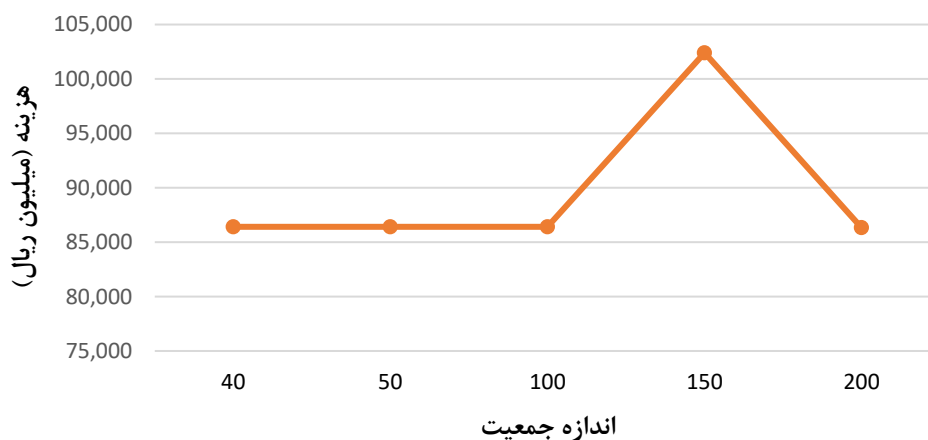
آن‌ها انجام گرفته است. مطابق شکل ۵-الف پارامتر اندازه جمعیت در این تحقیق در محدوده ۴۰ تا ۱۰۰ روند ثابتی را طی کرده و به جواب بهینه رسیده است. با توجه به بازه تعریف شده در نرم‌افزار مقدار مناسب ۱۵۰ است و طبق تغییرات حاصل شده جزء پارامترهای حساس است. پارامتر مهم و تأثیرگذار دیگر احتمال

۵-۲- تحلیل حساسیت پارامترهای الگوریتم ژنتیک

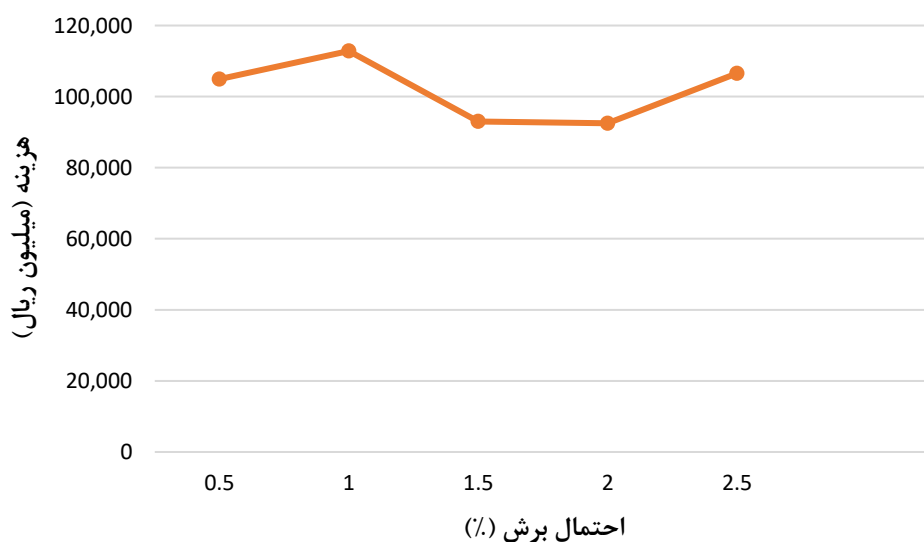
پارامترهای الگوریتم ژنتیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و نیاز به ارزیابی دارند. پارامترهای مختلفی از جمله اندازه جمعیت، احتمال برش، احتمال پیوند، احتمال جهش در الگوریتم ژنتیک مؤثر هستند که در این تحقیق تحلیل حساسیت بر روی

پارامتر احتمال جهش نیز، که در شکل ۵-ت نشان داده شده است، در محدوده ۰/۵ تا ۲ درصد مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مقدار مورد نظر در ۱/۵٪ به دست آمده است.

برش است که در بازه ۱/۵ تا ۲ درصد، هزینه کاهش یافته و در ۱/۷ جواب بهینه حاصل شده است. در شکل ۵-ب این بررسی نمایش داده شده است. همین طور برای پارامتر احتمال پیوند، در این تحقیق، شکل (۵-پ)، مقدار بهینه در ۶۰٪ حاصل شده است.



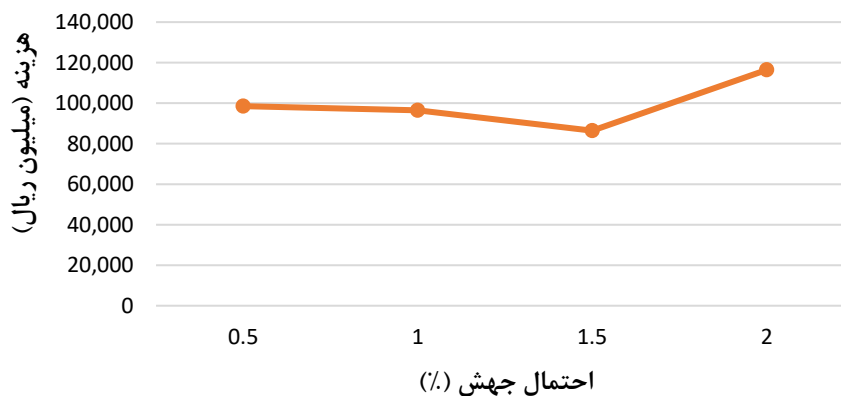
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۵- تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای GA در شبکه منطقه ۱۱ شهر مشهد: الف) اندازه جمعیت؛ ب) احتمال برش؛ پ) احتمال پیوند؛ ت) احتمال جهش

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق بخشی از شبکه توزیع آب شهر مشهد، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک بهینه سازی شد. در این مدل، برای انتخاب جواب بهینه نهایی، کاهش هزینه هدف بوده و سرعت و فشار مجاز به عنوان محدودیت های مسئله در نظر گرفته شدند. سپس به کمک نرم افزار WaterGEMS که دارای ابزار بهینه سازی است، طراحی لازم برای شبکه صورت گرفت. نتایج حاصل از تحلیل مطابق شکل ۴ پس از استفاده از روش بهینه سازی نشان داد در طرح بهینه قطر لوله ها به سمت قطرهای کوچک تر متمایل می شود. همچنین لوله ها با قطر کمتر با متراژ بالاتری استفاده شده است و کاهش هم زمان هزینه خرید و اجرای لوله گذاری تا ۱۴٪ و تأمین قیود سرعت و فشار مجاز، از نتایج استفاده از این مدل نسبت به طراحی متداول بود. لذا با توجه به کاهش هزینه ها می توان از این مدل، به عنوان یک روش بهینه سازی مناسب برای کاهش هزینه طراحی شبکه توزیع آب شهری استفاده نمود. همچنین هزینه به دست آمده با استفاده از برنامه Darwin Designer، ۴۱۹۰۰۰ دلار به دست آمد که با حداقل هزینه به دست آمده از سایر روش های بهینه سازی برابر است.

کارایی مدل الگوریتم ژنتیک نه تنها در زمینه بهینه سازی شبکه های انتقال آب قابل بیان است، بلکه از آن می توان در تشخیص نشت مبتنی بر کالیبراسیون در دو شبکه فرضی و آزمایشگاهی در نظر گرفت. روش پیشنهادی با یک کالیبراسیون معمولی برای یک شبکه مورد مطالعه آغاز می شود و با حذف گره های مشکوک در بین پارامترهای تنظیم شده، مجدداً کالیبره می شود. سرانجام این فرآیند تکرار می شود تا تعداد خواسته های ناشناخته برابر با اعداد مورد نظر یا مکان ها و مقادیر نشت دقیق مشخص شود. این توضیحات توانایی این روش را برای تشخیص محل و اندازه نشت ها نشان می دهد (Nasirian et al., 2013). استفاده از الگوریتم ژنتیک در طراحی بهینه سازی طراحی

شبکه های توزیع آب با کمترین هزینه در سایر پژوهش های دیگر نیز کارآمد بوده است. این امر نشان دهنده مناسب بودن این الگوریتم برای بهینه سازی شبکه آبرسانی آب شرب بیشتر مناطق دارد (Dragan et al., 1997؛ مقدم و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین استفاده از الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر مدل های بهینه سازی همانند الگوریتم های NSGA-II و SPEA-II که کارایی مناسبی در حل مسائل بهینه سازی مهندسی توزیع آب دارند دارای برتری است (یزدی، ۱۳۹۴). این موضوع نشان دهنده انتخاب درست روش این تحقیق است.

۷- مراجع

- افتخاری، م.، و شبانی گیو، ا.، (۱۳۹۷)، نگرشی بر مدل های عددی آب زیرزمینی، انتشارات متخصصان آینده، ۱۷۰ ص.
- امیررضایی، ع.، و یکانی مطلق، ی.، (۱۳۹۱)، "طراحی بهینه سازی شبکه های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: شهر گردکشانه)"، همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان.
- برزگری حاجی آبادی، م.، و قزل سوفلو، ع.، (۱۳۹۴)، "بهینه سازی شبکه توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی شهر سلامی)"، دهمین سمپوزیوم پیشرفت های علوم و تکنولوژی، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد.
- خلیفه، س.، اسماعیلی، ک.، و خلیفه، ح.، (۱۳۹۷)، "بهینه سازی شبکه توزیع آب با رویکرد بیشینه سازی سود (مطالعه موردی: همایش استان کرمان)"، نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳(۲)، ۳۵-۴۳.
- طباطبایی، س.م.، شهیدی، ع.، و هاشمی، س.ر.، (۱۳۹۶)،

"بررسی الگوریتم ژنتیک و کاربردهای آن در مهندسی و مدیریت منابع آب"، دو فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب، ۴(۲)، ۷۴-۸۸.

مقدم، ع.، علیزاده، ا.، ضیائی، ع.، حسینی، ف.، و فلاح هروی، د.، (۱۳۹۳)، "افزایش سرعت همگرایی در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک با آشفستگی سریع"، نشریه آب و خاک، ۲۸(۱)، ۲۲-۳۴.

یزدی، ج.، (۱۳۹۴)، "توسعه الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر تجزیه با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک به‌منظور طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب"، نشریه هیدرولیک، ۱۰(۳)، ۲۷-۴۰.

Alperovits, E., and Shamir, U., (1977), "Design of optimal water distribution systems", *Water Resources Research*, 13(6), 885-900.

Cunha, M., and Sousa, J., (1999), "Water distribution network design optimization: Simulated Annealing Approach", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(4), 215-221.

Dandy, G.C., Simpson, A.R., and Murphy, L.J., (1996), "An improved Genetic Algorithm for pipe network optimization", *Water Resources Research*, 32(1), 449-458.

Eusuff, M.M., and Lansey, E.K., (2003), "Optimization of water distribution network design using the shuffled Frog-leaping Algorithm", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3), 210-225.

Geem, Z.W., (2006), "Optimal cost design of water distribution networks using harmony search", *Optimization and Engineering*, 38(3), 259-280.

Halhal, D., Walters, G.A., Ouazar, D., and Savic, D.A., (1997), "Water network rehabilitation with Structured Messy Genetic Algorithm". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(3), 137-146.

Karaboga, D., and Basturk, B., (2007), "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm", *Journal of Global Optimization*, 39, 459-471.

Lin, M.D., Liu, Y.H., Liu, G.F., and Chu, C.W., (2007), "Scatter search heuristic for least-cost design of water distribution networks", *Engineering Optimization*, 39(7), 857.

Nasirian, A., Maghrebi, M., and Yazdani, S., (2013), "Leakage detection in water distribution network based on a New Heuristic Genetic Algorithm model", *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 294-303.

Savic, D.A. and Walters, G.A., (1997), "Genetic Algorithms for least-cost design of water distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 123(2), 67-77.

Sherri, F., Mahvi, A.H., Toloie Eshlaghy, A., and Hassani, A.H., (2018), "Increasing convergence rate in two-objective optimization of water distribution network with engineering judgment", *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 5(3), 143-151.

Research Paper

مقاله پژوهشی

Using Rice Bran Adsorbent for Furfural Removal from Contaminated Water Compared with Activated Carbon

به کارگیری جاذب سبوس برنج در حذف فورفورال از آب‌های آلوده در مقایسه با کربن فعال

Samira Soltani¹, Mehrdad Farhadian^{2*} and Nila Davari³

1- Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

* Corresponding author, Email: m.farhadian@eng.ui.ac.ir

Received: 05/11/2019

Revised: 04/06/2020

Accepted: 16/06/2020

Abstract

Furfural is a toxic and non-biodegradable substance that is found in wastewater of oil and petroleum refining and petrochemical industries. In this study, the function of rice bran adsorbent was evaluated for the removal of furfural from contaminated water. The effects of operational factors, including furfural concentration (100-900 mg/L), retention time (30-150 min), adsorbent concentration (5-30 g/L), and pH (2-10) were investigated via one-factor-at-a-time method. According to the results, pH had a significant effect on furfural adsorption while using rice bran adsorbent. The maximum adsorption capacity of furfural was obtained as about 10 mg/g at pH=8, while the furfural adsorption capacity dropped to 4.5 mg/g at pH=6. With an increase in retention time up to 80 min at pH=7, the adsorption equilibrium capacity of furfural was achieved at 7.5 mg/g, and this trend remained constant up to and after 24 hours. Furfural adsorption was 50% with rice bran adsorbent under optimal conditions as follows: adsorbent concentration=25 g/L, retention time=120 min, and pH=8. Langmuir isotherm model was obtained for the furfural removal using rice bran adsorbent.

Keywords: Adsorption, Furfural, Natural adsorbent, Oil refinery wastewater treatment, Rice bran.

سمیرا سلطانی^۱، مهرداد فرهادیان^{۲*} و نیلا داوری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران و پژوهشکده محیط زیست، گروه پژوهشی تصفیه آب و بازیافت پساب، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: m.farhadian@eng.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

چکیده

فورفورال ماده‌ای سمی و زیست تخریب ناپذیر است که در فاضلاب صنایع پالایشگاهی، روغن‌سازی و پتروشیمی یافت می‌شود. در این پژوهش، عملکرد جاذب سبوس برنج برای حذف فورفورال از آب‌های آلوده ارزیابی شد. اثر عوامل عملیاتی شامل غلظت فورفورال (۱۰۰-۹۰۰ mg/L)، زمان ماند (۳۰-۱۵۰ min)، غلظت جاذب (۵-۳۰ g/L) و pH محلول (۲-۱۰) با استفاده از طراحی آزمایش‌ها به روش یک عامل در یک زمان بررسی شد. مطابق با نتایج، pH عامل مهم و موثری در جذب فورفورال است. حداکثر ظرفیت جذب فورفورال بر سبوس برنج در pH=۸ در حدود ۱۰ mg/g به دست آمد. این درحالی است که در pH=۶ ظرفیت جذب فورفورال بر سبوس برنج برابر با ۴/۵ mg/g حاصل شد. با افزایش زمان ماند تا حدود ۸۰ min در pH=۷، ظرفیت جذب تعادلی فورفورال بر سبوس برنج به حدود ۷/۵ mg/g رسید و این روند تا بعد از زمان ماند ۲۴ ساعت نیز ثابت بود. مقادیر بهینه عوامل در جذب ۵۰ درصدی فورفورال با جاذب سبوس برنج در غلظت جاذب ۲۵ g/L، زمان ماند ۱۲۰ min و pH=۸ به دست آمد. مدل هم‌دمای لانگمیر برای حذف فورفورال با جاذب سبوس برنج نتیجه شد.

کلمات کلیدی: فورفورال، جاذب طبیعی، سبوس برنج، جذب سطحی، تصفیه فاضلاب پالایشگاهی.

GilPavas et al., 2019)، ولی به دلیل هزینه‌های بالای تهیه کربن فعال و احیای آن تلاش شده است که از جاذب‌های طبیعی به‌عنوان جایگزین کربن فعال برای حذف آلاینده‌ها استفاده شود (Momina et al., 2018). از جمله جاذب‌های طبیعی، سبوس برنج است که از زائدات کشاورزی است و به‌عنوان محصول جانبی صنایع آسیاب برنج به‌شمار می‌رود.

در این پژوهش فرآیند جذب سطحی با جاذب سبوس برنج برای حذف فورفورال از محلول‌های آبی بررسی شده است. هدف از انجام آزمایش‌ها بررسی اثر عوامل عملیاتی شامل pH، غلظت فورفورال، زمان ماند و غلظت جاذب بر حذف فورفورال از آب‌های آلوده به کمک جاذب طبیعی سبوس برنج است. هم‌چنین بررسی بازده حذف فورفورال در شرایط بهینه و تعیین مدل ایزوترم جذب با جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال از اهداف دیگر این پژوهش است.

۲- مواد و روش‌ها

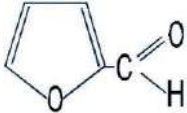
۲-۱- مواد شیمیایی

در این پژوهش از پودر کربن فعال (CAS#7440440) به‌عنوان جاذب مرجع و سبوس برنج از منطقه لنجان اصفهان به‌عنوان جاذب گیاهی استفاده شد. ماده شیمیایی اصلی مورد استفاده برای آماده‌سازی سبوس برنج، هیدروکلریک اسید (CAS#113136) بود. برای تنظیم pH محلول‌ها از سولفوریک اسید (CAS#7664939) و سدیم هیدروکسید (CAS#1310732) به‌ترتیب با خلوص ۹۷٪ و ۹۵٪ استفاده شد. فورفورال (CAS#98011) با خلوص ۹۸ درصد وزنی در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مواد شیمیایی مصرفی در این پژوهش از شرکت مرک خریداری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فورفورال در جدول ۱ ارائه شده است.

فورفورال یک حلال صنعتی است که به‌طور گسترده‌ای در صنایع کاغذ و مقوا سازی، نفت و پتروشیمی، داروسازی، مواد غذایی و تصفیه روغن‌ها استفاده می‌شود (Li et al., 2019). بنابراین فورفورال در پساب‌های این صنایع به مقدار زیادی یافت می‌شود. به‌عنوان مثال، غلظت فورفورال در فاضلاب پالایشگاه نفتی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ ppm گزارش شده است. هم‌چنین غلظت فورفورال در فاضلاب صنایع تولید فورفورال می‌تواند حداقل به ۶۰۰ mg/L برسد (Shokoohi et al., 2019). این ماده شیمیایی از طریق پوست و مجاری تنفسی وارد بدن شده و باعث سرطان کبد و پوست می‌شود (Piñeiro-García et al., 2020). اثرات نامطلوب فورفورال بر آبزیان نیز مشاهده شده است (Khudhair and Ismail, 2019). بنابراین به‌دلیل سمیت فورفورال و صرفه‌جویی در مصرف آن، پژوهش‌های قابل توجهی برای حذف بازیابی فورفورال از فاضلاب‌ها در حال انجام است (Babaei et al., 2019). تاکنون حذف فورفورال با روش‌های اکسیداسیون فتوکاتالیستی، فناوری‌های غشایی، تصفیه‌های زیستی و جذب سطحی بررسی شده است (Shabanloo et al., 2020).

فرآیند جذب سطحی در سال‌های اخیر به‌عنوان روشی کارآمد در تصفیه آب‌های آلوده مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بازدهی بالا و هزینه پایین از ویژگی‌های موثر فرآیند جذب سطحی است (Sophia A and Lima, 2018). انواع جاذب‌ها برای حذف آلاینده‌ها از منابع آبی عبارتند از: کربن فعال، اکسید گرافن، سیلیکا، زئولیت، خاک رس، نانولوله‌های کربنی، چارچوب‌های آل-فلزی و جاذب‌های کامپوزیت (Fernández-Reyes et al., 2020). تاکنون جاذب‌هایی شامل رزین، کربن فعال، زئولیت و محصولات جانبی و زائدات کشاورزی برای حذف فورفورال از محلول‌های آبی استفاده شده‌اند (Li et al., 2019). کربن فعال یکی از جاذب‌های سطحی متداول است (Regti et al., 2017).

جدول ۱- مشخصات فورفورال (Esmaili et al., 2017)

نام ماده شیمیایی	فرمول شیمیایی	ساختار شیمیایی	وزن مولکولی (g/mol)	حلالیت در آب (mg/L)	حداکثر غلظت مجاز در آب (mg/L)	طول موج حداکثر جذب (nm)
فورفورال	C ₅ H ₄ O ₂		۹۶/۰۸	۸۳۰۰۰	۲	۲۷۵

۲-۲- روش تهیه جاذب سبوس برنج

سپس ذرات جدا شده به‌وسیله هیدروکلریک اسید ۵ M /۰/۵ به‌مدت ۳ h به‌منظور باز شدن منافذ برای جذب بهتر شست و شو داده شدند. در آخرین مرحله، سبوس‌ها با آب مقطر شست و شو شدند (تا زمانی که pH به‌حدود ۵ برسد) و ذرات تا خشک‌شدن کامل دوباره در آون قرار داده شدند.

سبوس‌های برنج تهیه شده ابتدا با آب مقطر شست و شو داده شدند. سپس به‌مدت ۲ h در دمای ۱۰۰ °C به‌منظور خشک‌شدن در آون قرار گرفتند. در مرحله بعد سبوس‌های خشک‌شده آسیاب شده و ذرات با مش ۱۴ با غربال برای عمل جذب جدا شدند.

۲-۳- طراحی آزمایش‌ها به روش یک عامل در یک زمان
طراحی آزمایش‌ها برای حذف فورفورال به روش یک عامل در یک زمان بود. در این پژوهش مطابق با جدول ۲، عوامل عملیاتی

شامل غلظت فورفورال (۹۰۰-۱۰۰ mg/L)، غلظت جاذب (g/L) ۳۰-۵۰، زمان ماند (۱۵۰-۳۰ min) و pH اولیه محلول (۲-۱۰) مورد بررسی قرار گرفت. عامل دما ثابت فرض شد (۲۵±۱ °C).

جدول ۲- عوامل و سطوح انتخابی در طراحی آزمایش‌ها

سطوح									عوامل	آزمایش‌ها
۹۰۰	۸۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	غلظت فورفورال (mg/L)	سری اول
		۱۴۴۰	۷۲۰	۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰	۶۰	۳۰	زمان ماند (min)	سری دوم
			۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	غلظت جاذب (g/L)	سری سوم
				۱۰	۸	۷	۶	۲	pH	سری چهارم

۲-۴- روند انجام آزمایش‌های جذب

در این پژوهش، محلول‌های فورفورال با غلظت‌های معین ساخته شد و ۵ mL از آن به همراه مقدار معینی جاذب در pH های مختلف درون لوله‌های آزمایش دربار قرار داده شد. برای اندازه‌گیری pH محلول‌ها از دستگاه pH متر (مدل UB-10 ساخت شرکت دنور) استفاده شد. برای همگن شدن هرچه بهتر محلول‌ها، لوله‌های آزمایش در هم‌زن (مدل Rotator 2002 ساخت شرکت بهداد) با سرعت ۱۲۰ rpm قرار داده شد. غلظت نهایی فورفورال توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل V-570 ساخت شرکت جاسکو ژاپن) در طول موج جذب ۲۷۵ nm اندازه‌گیری شد. بازده حذف فورفورال برحسب درصد (E) از طریق معادله (۱) محاسبه شد:

$$E = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

که C_0 و C_t : به ترتیب، غلظت اولیه فورفورال (mg/L) و غلظت فورفورال در زمان t (mg/L) هستند.
ظرفیت جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج از معادله (۲) به‌دست آمد.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (2)$$

که q_t : ظرفیت فورفورال جذب شده در واحد جرم جاذب در زمان t (mg/g)، V : حجم محلول (L) و m : جرم جاذب (g) هستند.
ایزوترم‌های جذب، رابطه‌ی بین غلظت حل‌شونده در محلول و مقدار آن را در جاذب مشخص می‌کنند. متداول‌ترین ایزوترم‌های جذب، لانگمیر و فروندلیچ هستند که در جدول ۳ ارائه شده‌اند (Solaimany Nazar et al., 2018).

جدول ۳- ایزوترم‌های جذب

ایزوترم	مدل غیرخطی	مدل خطی
لانگمیر	$q_e = q_{max} \frac{b C_e}{1 + b C_e}$	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b q_{max} C_e} + \frac{1}{q_{max}}$
فروندلیچ	$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$	$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln K_F$

شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر دو هم‌دمای لانگمیر و فروندلیچ رسم شده برای جذب فورفورال بر جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال مناسب است. مقدار R^2 برای هم‌دمای لانگمیر با جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۹۹ است که چون به ۱ نزدیک‌تر است، می‌توان نتیجه گرفت که هم‌دمای لانگمیر مطابقت بیشتری با داده‌های تجربی دارد. مطابق با شکل ۱-الف، ثابت ایزوترم لانگمیر و حداکثر ظرفیت جذب ایزوترم لانگمیر برای جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج به ترتیب برابر با $b=0/00032$ و $q_{max}=67$ (mg/g) و $b=0/00057$ و $q_{max}=1666$ (mg/g) به‌دست آمد.

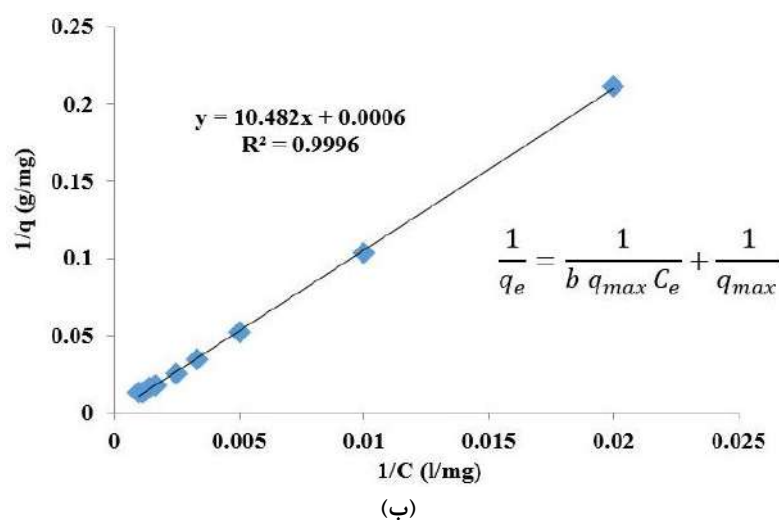
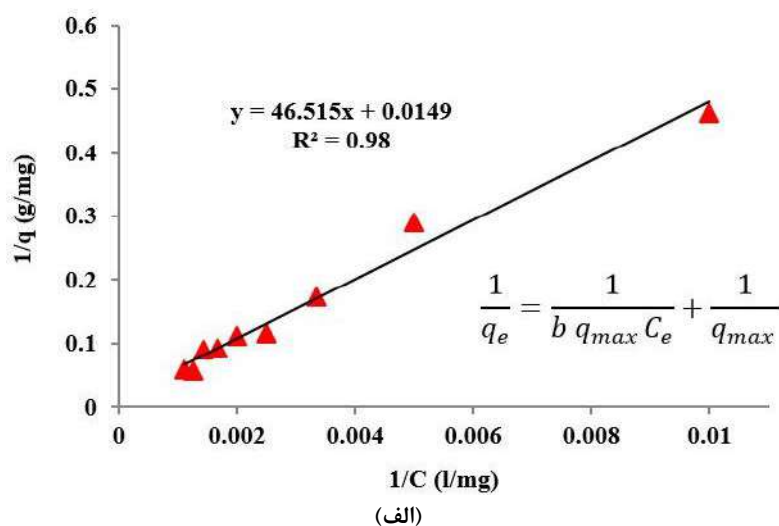
در جدول ۳، پارامترهای b ، C_e ، q_{max} ، q_e و K_F و n : به ترتیب بیانگر ثابت ایزوترم لانگمیر، غلظت تعادلی فورفورال (mg/L)، حداکثر ظرفیت جذب ایزوترم لانگمیر (mg/g)، ظرفیت فورفورال جذب شده در واحد جرم جاذب در حال تعادل (mg/g) و ثوابت ایزوترم فروندلیچ هستند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی هم‌دمای جذب فورفورال با جاذب‌های

سبوس برنج و کربن فعال

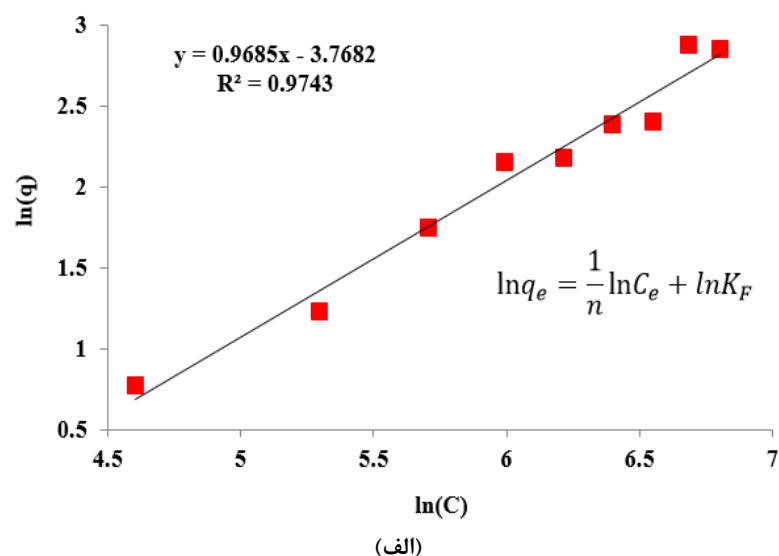
بررسی ایزوترم‌های جذب لانگمیر و فروندلیچ برای جذب فورفورال با جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال به ترتیب در

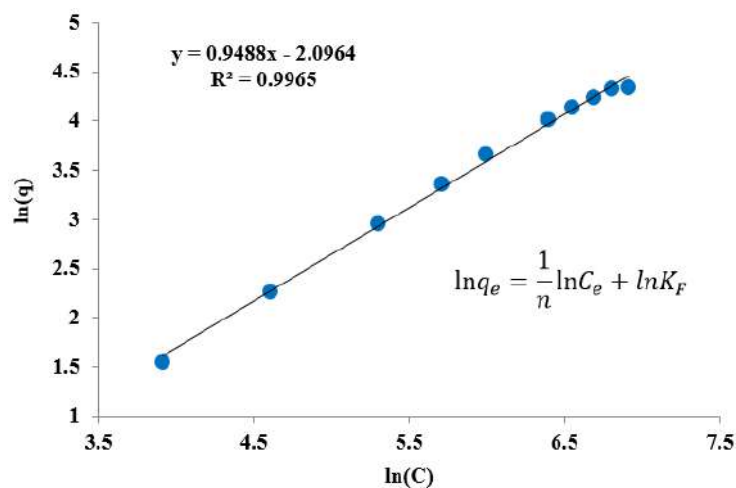


شکل ۱- هم‌دمای لانگمیر برای جذب فورفورال: الف) جذب سیبوس برنج در شرایط بهینه (زمان ماند ۱۲۰ min، غلظت جاذب ۲۵ g/L و pH=۸) و ب) جذب کربن فعال در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۱۰ g/L و زمان ماند ۳۳۰ min و pH=۷)

شکل ۲، مقدار $1/n$ کمتر از ۱ است که نشان می‌دهد فورفورال به‌طور مطلوب بر جاذب‌های سیبوس برنج و کربن فعال جذب شده است.

از شکل ۲-الف مشاهده می‌شود که ثوابت ایزوترم فروندلیچ برای جذب فورفورال با جاذب سیبوس برنج به‌ترتیب برابر با $n=1/0.32$ و $K_F=0.023$ به‌دست آمد و در شکل ۲-ب با جاذب کربن فعال، $n=1/0.54$ و $K_F=0.123$ حاصل شد. هم‌چنین در





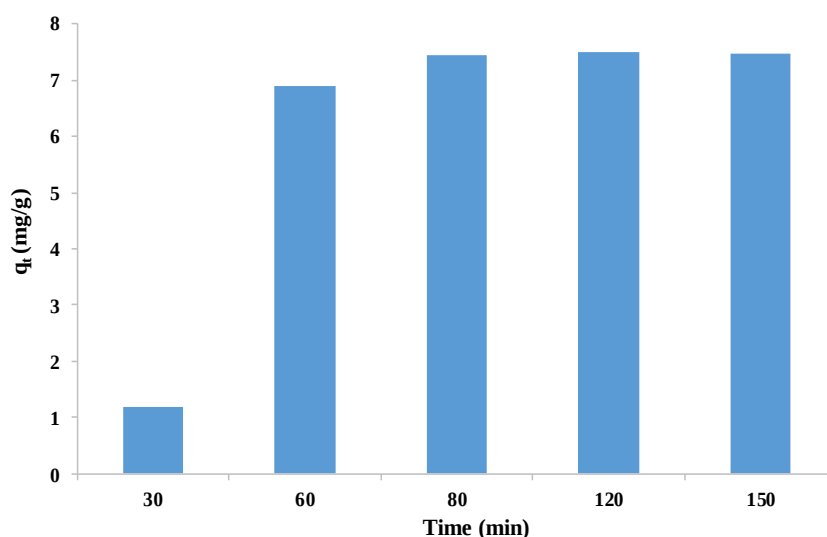
(ب)

شکل ۲- همدمای فروندلیچ برای جذب فورفورال: الف) جذب سبوس برنج در شرایط بهینه (زمان ماند ۱۲۰ min، غلظت جاذب ۲۵ g/L و pH=۸) و ب) جذب کربن فعال در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۱۰ g/L و زمان ماند ۳۳۰ min و pH=۷)

زمان ماند تا ۱۵۰ min، تغییری در ظرفیت فورفورال جذب شده مشاهده نمی‌شود و فورفورال به ظرفیت تعادلی حدود ۷/۵ mg/g می‌رسد. این رفتار می‌تواند به علت کاهش نفوذ در ساختار جاذب در اثر تجمع مولکول‌های فورفورال یا کاهش نیروی محرکه انتقال جرم در اثر به تعادل رسیدن فورفورال باشد. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های پیشین مطابقت دارد (Li et al., 2019; Fazlzadeh et al., 2018).

۲-۳- بررسی اثر زمان ماند بر جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج

اثر زمان ماند بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان ماند تا ۸۰ min در pH=۷، ظرفیت فورفورال جذب شده بیشتر می‌شود. زیرا با گذشت زمان، مولکول‌های فورفورال بیشتری جذب می‌شوند. سپس با افزایش

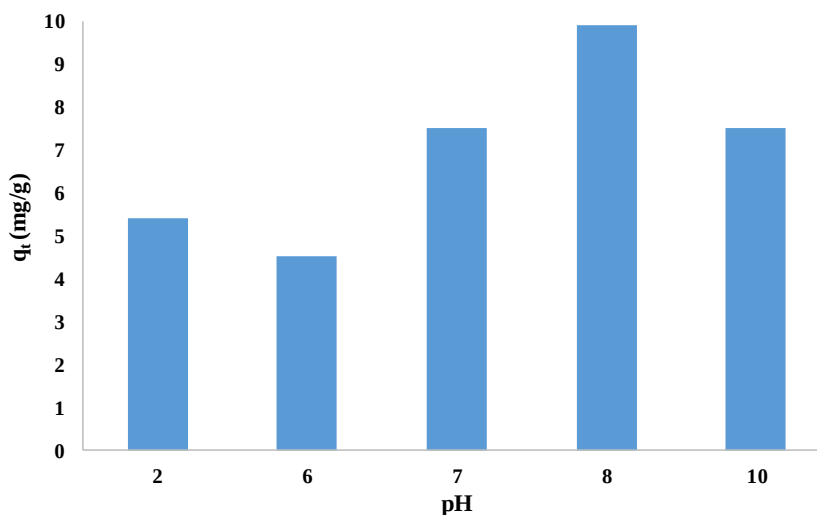


شکل ۳- اثر زمان ماند بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج (غلظت اولیه فورفورال ۳۰۰ mg/L و غلظت جاذب ۱۰ g/L)

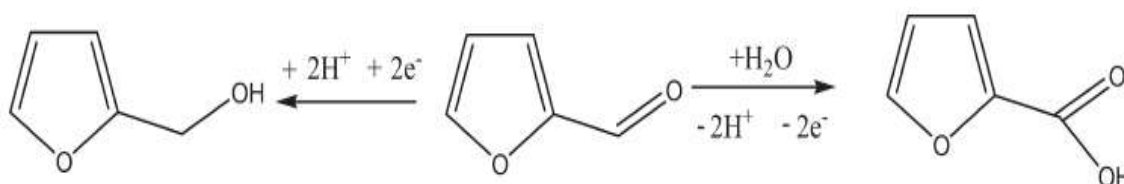
است. از شکل ۵ می‌توان دریافت که فورفورال حالت حد واسط اکسیداسیون اسید و الکل است که در pH های اسیدی و بازی به ترتیب تبدیل به الکل و اسید می‌شود و در pH های حدود خنثی، پایدار است (Kumar et al., 2013). در مطالعه جذب سطحی فورفورال با جاذب زیست‌توده، با افزایش pH، بازده جذب فورفورال ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت و حداکثر جذب در pH=۲ حاصل شد (Doddapaneni et al., 2018).

۳-۳- بررسی اثر pH بر جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج

اثر pH بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج در شکل ۴ مشاهده می‌شود. مطابق با شکل ۴، pH اثر قابل توجهی بر ظرفیت فورفورال جذب شده دارد. با افزایش pH، ابتدا ظرفیت جذب فورفورال کمی کاهش، سپس افزایش و در نهایت کاهش می‌یابد. حداکثر جذب فورفورال در pH=۸ در حدود ۱۰ mg/g



شکل ۴- اثر pH بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج (غلظت جاذب ۱۰ g/L و غلظت اولیه فورفورال ۳۰۰ mg/L)



شکل ۵- تبدیل فورفورال به الکل و اسید در pH اسیدی و بازی (Kumar et al., 2013)

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله با همکاری و حمایت پژوهشکده محیط زیست دانشگاه اصفهان اجرا شده است. نویسندگان این مقاله بدین وسیله مراتب تقدیر و سپاسگزاری خود را اعلام می نمایند.

۶- مراجع

- Babaei, A.A., Rahmani, A.R., Zamani, F., and Almasi, H., (2019), "Fe(III)-oxalate-mediated solar degradation of furfural in the presence of persulfate: Operational parameters and artificial neural network modeling", *Journal of the Iranian Chemical Society*, 16(2), 219-229.
- Cuevas, M., Quero, S.M., Hodaifa, G., Lopez, A.J.M., and Sanchez, S., (2014), "Furfural removal from liquid effluents by adsorption onto commercial activated carbon in a batch heterogeneous reactor", *Ecological Engineering*, 68, 241-250.
- Doddapaneni, T.R.K.C., Jain, R., Praveenkumar, R., Rintala, J., Romar, H., and Kontinen, J., (2018), "Adsorption of furfural from torrefaction condensate using torrefied biomass", *Chemical Engineering Journal*, 334, 558-568.
- Esmaili, Z., Solaimany Nazar, A.R., and Farhadian, M., (2017), "Degradation of furfural in contaminated water by titanium and iron oxide nanophotocatalysts based on the natural zeolite (clinoptilolite)", *Scientia Iranica*, 24(3), 1221-1229.
- Fazlzadeh, M., Ansarizadeh, M., and Leili, M., (2018), "Data of furfural adsorption on nano zero valent iron (NZVI) synthesized from Nettle extract", *Data in Brief*, 16, 341-345.
- Fernandez-Reyes, B., Ortiz-Martinez, K., Lasalde-

۳-۴- بررسی بازده حذف فورفورال با جاذب های سبوس

برنج و کربن فعال در شرایط بهینه

بازده متوسط حذف فورفورال با جاذب سبوس برنج در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۲۵ g/L، زمان ماند ۱۲۰ min و pH=۸) حدود ۵۰٪ است. حذف فورفورال با جاذب کربن فعال در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۱۰ g/L، زمان ماند ۳۳۰ min و pH=۷) حدود ۹۰٪ است. مطابق با نتایج این پژوهش، جاذب کربن فعال از بازده بیشتری درمقایسه با سبوس برنج برخوردار است، ولی به دلیل قیمت ارزان جاذب طبیعی سبوس برنج، استفاده از آن در فرآیندهای پیش تصفیه مقرون به صرفه است. ظرفیت فورفورال جذب شده در غلظت های بالای جاذب سبوس برنج افزایش می یابد. علت این رفتار این است که سطح و فضاهای بیشتری برای جذب فورفورال در دسترس قرار می گیرد که نتایج حاصل با پژوهش Cuevas et al. (2014) مطابقت دارد.

۴- نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که جاذب های سبوس برنج و کربن فعال می توانند به عنوان روشی کارآمد برای حذف فورفورال از فاضلاب های صنعتی مورد استفاده قرارگیرند. تحلیل نتایج با استفاده از روش یک عامل در یک زمان بیانگر این است که pH اثر موثری در حذف فورفورال دارد. با افزایش غلظت جاذب سبوس برنج و زمان ماند، بازده حذف فورفورال افزایش می یابد. همچنین در مطالعات هم دما برای جاذب های سبوس برنج، مدل لانگمیر تطابق بیشتری با داده های تجربی دارد.

- Ramirez, J.A. and Hernandez-Maldonado, A.J., (2020), "Chapter 1: Engineered adsorbents for the removal of contaminants of emerging concern from water", In: Hernandez-Maldonado, A.J., and Blaney, L. (eds.), *Contaminants of Emerging Concern in Water and Wastewater*, Butterworth-Heinemann, United Kingdom, pp. 3-45.
- Gilpavas, E., Dobrosz-Gomez, I., and Gomez-Garcia, M.-Á., (2019), "Optimization and toxicity assessment of a combined electrocoagulation, $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ and activated carbon adsorption for textile wastewater treatment", *Science of The Total Environment*, 651(1), 551-560.
- Khudhair, H.A., and Ismail, Z.Z., (2019), "New application of single and mixed immobilized cells for furfural biodegradation", *Bioremediation Journal*, 23(1), 32-41.
- Kumar, N.S., Srivastava, V.C., and Basu, S., (2013), "Optimization and kinetics of furfural oxidation to furoic acid over alum-impregnated activated alumina", *Indian Chemical Engineer*, 55(3), 153-164.
- Li, S., Yang, Y., Shan, H., Zhao, J., Wang, Z., Cai, D., Qin, P., Baeyens, J., and Tan, T., (2019), "Ultrafast and ultrahigh adsorption of furfural from aqueous solution via covalent organic framework-300", *Separation and Purification Technology*, 220, 283-292.
- Momina, Sh. M., and Isamil, S., (2018), "Regeneration performance of clay-based adsorbents for the removal of industrial dyes: A review", *RSC Advances*, 8(43), 24571-24587.
- Pineiro-Garcia, A., Gonzalez-Alatorre, G., Vega-Diaz, S. M., Perez-Perez, M. C. I., Tristan, F. and Patino-Herrera, R., (2020), "Reduced graphene oxide coating with high performance for the solid phase micro-extraction of furfural in espresso coffee", *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 314-321.
- Regti, A., Laamari, M.R., Stiriba, S.-E., and El haddad, M., (2017), "Use of response factorial design for process optimization of basic dye adsorption onto activated carbon derived from *Persea* species", *Microchemical Journal*, 130, 129-136.
- Shabanloo, A., Salari, M., Shabanloo, N., Dehghani, M.H., Pittman, C.U., and Mohan, D., (2020), "Heterogeneous persulfate activation by nano-sized Mn_3O_4 to degrade furfural from wastewater", *Journal of Molecular Liquids*, 298, 112088.
- Shokoohi, R., Bajalan, S., Salari, M., and Shabanloo, A., (2019), "Thermochemical degradation of furfural by sulfate radicals in aqueous solution: Optimization and synergistic effect studies", *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8914-8927.
- Solaimany Nazar, A.R., Jokar Baloochi, S., Farhadian, M., and Goshadrour, A., (2018), "2,4-dichlorophenoxyacetic acid adsorption from contaminated water through activated carbon reclaimed with zero-valent iron and titanium dioxide", *Scientia Iranica*, 25(3), 1395-1411.
- Sophia A.C. and Lima, E.C., (2018), "Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150, 1-17.



دکتر کامران داوری

استاد محترم دانشگاه فردوسی مشهد

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

من متولد ۱۳۳۸ هستم که از سال ۱۳۵۶ دوره کارشناسی خود را در دانشگاه شیراز آغاز کردم. در سال ۱۳۵۸ جزء مؤسسين جهاد سازندگی استان خراسان بوم و تا پایان سال ۱۳۶۷ همکاری با جهاد سازندگی (خراسان، فارس، دفتر مرکزی) را ادامه دادم. در سال ۱۳۶۸ با عنوان مربی در گروه آبیاری دانشگاه فردوسی مشهد مشغول به کار شدم. از آن سال تاکنون، در دانشگاه ۲ سال معاون آموزشی-دانشجویی دانشکده، ۶ سال مدیر گروه، ۴ سال معاون دانشجویی و فرهنگی دانشگاه بودم. اخیراً هم ۲ سال معاون اجتماعی-فرهنگی و دانشجویی دانشگاه، ۲ سال مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه و نیز از آغاز سال ۱۳۹۹ رئیس پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه هستم.

عمده فعالیت‌هایم در جهاد سازندگی، در کمیته امور آب این نهاد بود. سال ۱۳۶۸، هم‌زمان با آغاز همکاری با دانشگاه فردوسی مشهد، یک شرکت مهندسين مشاور بنام «آب پوی» تأسیس کردم و تا شهریور ۱۳۷۲ مدیرعامل آن بودم که به دلیل عزیمت برای ادامه تحصیل مجبور به ترک آن شدم. در سال ۱۳۸۲، مجدداً یک شرکت مهندسين مشاور دیگر بنام «هیدروتک توس» تأسیس کردم که تا سال ۱۳۹۰ مدیرعامل و یا مسئول اصلی آن بودم. این شرکت‌ها برای من و دانشجویان فرصت تجربه مسایل واقعی را فراهم می‌آوردند.

* لطفاً گزارشی از فعالیت‌های خود و فعالیت‌های پژوهشی و ترویجی را که در دانشگاه فردوسی مشهد در زمینه آب و فاضلاب انجام شده است را بیان فرمایید.

از حدود سال ۱۳۸۰، با چرخش به سمت مسایل مدیریتی آب، بر سه دامنه تمرکز نمودم: مباحث مرتبط با «تصميم‌گیری» (از سنجش و پایش، تا سامانه‌های تصمیم‌یار)، مباحث مرتبط با «مشارکت‌گروداران»، و مباحث مرتبط با «بیان و تخصیص منابع

آب» (شامل حسابداری آب). در واقع، تصورم این بود و هست که مشکلات آبی کشور ناشی از ضعف مدیریت آب است. لذا این مدیریت نیازمند تغییر رویکرد از رویه‌های موجود به مدیریتی جدید و مبتنی بر سه رکن «جامع‌نگری» در مطالعات، مدیریت «مشارکتی» و «یکپارچگی» در تخصیص است. بنابراین در این سه امتداد فعالیت‌هایم را به انجام رسانیده‌ام که می‌توانم آن‌ها را در موارد زیر خلاصه نمایم:

الف) بخش اول

۱- طراحی و توسعه «سامانه مدیریت آب کشاورزی» و پیاده‌سازی آن در خراسان شمالی (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲). این نرم‌افزار یک سامانه تصمیم‌یار Web-Based برای برآورد نیاز آبیاری در مقیاس‌های مزرعه تا هر محدوده هیدرولوژیکی یا تقسیمات کشوری است؛ که برای حل و فصل مسائل میان وزارتین نیرو و جهاد کشاورزی در تخصیص آب کشاورزی توسعه یافته است. این سامانه تاکنون در چند استان (از جمله در مرز حوضه رودخانه کارون در خوزستان) پیاده‌سازی شده است.

۲- توسعه یک سامانه تصمیم‌یار برای مدیریت منابع آب در مقیاس محدوده‌های مطالعاتی (یا حوضه) مبتنی بر توسعه مدل شبیه‌سازی حوضه آبریز (حاصل تلفیق دو مدل Modflow و SWAT با کالیبراسیون زوجی) (از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲). اولین پیاده‌سازی این سامانه در محدوده‌های مطالعاتی نیشابور و رخ، با وسعت حدود ۹ هزار کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۲ کامل شده است. سامانه مزبور تاکنون در دو محدوده مطالعاتی دیگر نیز پیاده‌سازی شده است.

۳- توسعه مدل بیلان؛ مبتنی بر مدل مفهومی برای مناطق خشک (مانند نیشابور و مشهد)، با توجه به عدم قطعیت پارامترها، و دارای موتور بهینه‌سازی ابتکاری و هوشمند (از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳). اخیراً بیلان حوضه آبریز قره‌قوم به شرکت هیدروتک توس واگذار شده تا با این نرم‌افزار به انجام رسد.

ب) بخش دوم

۴- انجام پروژه «مدیریت راهبردی منابع آب خراسان جنوبی» (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹)؛ که اولین بررسی عملی «الگوی مدیریت مشارکتی» در کشور است و با مشارکت حدود ۷۰ نماینده از اقشار مختلف گروداران آب استان صورت گرفت.

۵- برگزاری «شب‌های آب خراسان» (از ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ جمعا ۷ مورد)؛ به‌عنوان میدان گفتگو در مورد آب. تمرکز مباحث بر موضوعات مغفول در مدیریت آب بود. مخاطب این جلسات تصمیم‌سازان استان در حوزه آب بودند. جلسات معمولاً با

ایده‌پردازی و افزایش انگیزش ایشان ایجاد می‌نماید.

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

- پاسخ به این سؤال سهل و ممتنع است. در واقع اگر در نظام ارزیابی اعضای هیئت علمی برای ترفیع و ارتقا و در ارزیابی گروه‌ها/دانشکده‌ها/دانشگاه‌ها برای تأمین مالی این واحدها، عواملی مرتبط با حل مشکلات واقعی که جامعه/دولت/صنعت با آن روبرو است، گنجانده شود؛ رفتار اعضا و واحدها به تدریج تغییر خواهد کرد. این بخش سهل آن بود. بخش ممتنع آن چگونگی اجرای این نوع ارزیابی است. باید اذعان نمود که در بستر یک اقتصاد آزاد، شفاف و رقابتی (با حداقل دخالت دولت)، مشکل مورد پرسش به‌خودی خود رفع خواهد شد. یعنی اگر عضوی یا واحدی از دانشگاه محصولات نافع برای مشتریان تولید نکند، محروم از منابع مالی شده و به تدریج حذف خواهد شد.

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

- اول: از آن‌جا که بودجه پژوهش درصدی از درآمد است، بودجه پژوهشی در بخش آب ناچیز است. علت آن یارانه‌ای بودن این بخش است. به نظر می‌رسد مبالغ یارانه دولت به این بخش باید به‌عنوان درآمد تلقی شود (زیرا اگر نمی‌بود، باید نیاز مالی از محل درآمدها تأمین می‌شد).

- دوم: بودجه دولتی، رانت ایجاد می‌کند. در سایه این رانت، فرایند «تولید RFP، فراخوان، انتخاب پژوهشگر، و نهایتاً ارزیابی نتایج پژوهش» آغشته با اغراض و نفوذ است.

اصلاح این دو مورد آسان نیست. به‌طور موقت و برای کاهش مشکلات پیشنهاد می‌کنم: ارتباط مستقیم دستگاه‌های اجرایی با پژوهشگر در ابتدای کار قطع باشد؛ و نهاد ثالثی ارزیابی و واگذاری را انجام دهد. هم‌چنین بهتر است منابع مالی حاصل از سهم پژوهش، به صندوق مناسبی انتقال پیدا نماید؛ تا فقط صرف پژوهش شود. جزئیات بسیاری برای این کار باید تدوین و تعریف شود، اما کاملاً ممکن و شدنی است.

* لطفاً وضعیت آب و فاضلاب کشور در حال حاضر، چشم‌انداز آتی آن و مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در حوزه آب و فاضلاب در کشور را چه می‌دانید؟

- این سؤال بسیار گسترده است و پاسخ آن در این مجمل

حضور حدود ۶۰ تا ۹۰ نفر از ایشان برگزار می‌شد.

توجه: مدعوین شامل کارشناسان ارشد و مدیران دستگاه‌های دولتی ذیربط، کشاورزان شاخص، مدیران صنایع، دانشگاهیان، اصحاب مطبوعات، و نمایندگان از مشاورین بودند.

۶- تأسیس «جمعیت ناجیان آب» با شعار «آب برای همه، آب برای همیشه» در سال ۱۳۹۱ و فعالیت این جمعیت در قالب‌های گوناگون تاکنون. از آغاز تاکنون، من رئیس هیئت مدیره این جمعیت بوده‌ام.

۷- تأسیس و انتشار نشریه علمی-ترویجی «آب و توسعه پایدار» (از ۱۳۹۲ تاکنون) با هدف ایجاد محملی برای تبادل نظر و گفتگو میان دانشگاه و عرصه اجرا (بخش‌های دولتی، عمومی، و خصوصی).

۸- طراحی طرح «تدبیر آب مشهد» در سال ۱۳۹۲؛ و سپس پیاده‌سازی آن در سال ۱۳۹۳؛ با مشارکت نمایندگان ۳۶ نهاد دولتی/عمومی/خصوصی که منجر به تولید سندی با همین نام شد. سند مزبور چشم‌انداز وضعیت آبی مشهد را چنین تعریف نموده است: «در آفاق ۱۴۲۰، مشهد شهری است با تعادل در منابع و مصارف آب». با اجرای این طرح، گفتمان مدیریت یکپارچه آب در مشهد ریشه یافت. سند مزبور که مورد اجماع کلیه شرکت کنندگان قرار گرفته، شامل ۱۹ راهبرد و ذیل آن دارای ۶۳ سیاست کلان است. این طرح سپس در قالب شورای حوضه کشف رود عینیت یافت و اکنون نیز در قالب «طرح سازگاری با کم‌آبی» با نام «همیاران آب خراسان» به سطح استان تعمیم یافته و به آرامی در حال پیشرفت است. دبیرخانه دائمی «همیاران آب استان» در دانشگاه فردوسی مشهد قرار دارد و بنده مسئولیت آن را برعهده دارم.

(پ) بخش سوم:

۹- در شرایط افزایش جمعیت و رشد شهرها و صنایع و نیز تحت تأثیر گرمایش جهانی، تأمین پایدار و با ثبات آب برای نیازهای گوناگون روز به روز مشکل‌تر شده و می‌شود. در چنین شرایطی، باید بر نقش بسیار برجسته تکنولوژی در حفظ پایداری توسعه تأکید شود و توسعه فناوری‌های جدید در جهت کاهش نیازهای آبی و افزایش بهره‌وری شتاب گیرد. بدین منظور «جشنواره فناوری‌های نوین آب» در سال ۱۳۹۵ طراحی شد و پس از کسب موافقت ستاد «آب، خشک‌سالی، فرسایش و محیط‌زیست» در معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری؛ در دانشگاه فردوسی مشهد تاکنون در دو نوبت در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ و در سطح ملی برگزار شد. سال گذشته به دلیل همه‌گیری کرونا برگزاری آن لغو شد. امسال برای سومین نوبت برگزاری آن برنامه‌ریزی شده است. این جشنواره با جذب مبتکران و مخترعین؛ برگزاری فن‌بازار، رویدادهای استارت‌آپی، نمایشگاه و ... فضایی برای بسط

نمی‌گنجد. اما با فرض آن که سؤال صرفاً در مورد حکمرانی آب است، باید عرض کنم:

- علی‌رغم آغاز روندهای اصلاحی در وزارت نیرو (از قبیل توجه به مباحث اجتماعی)، چشم‌انداز خوبی پیش‌رو نداریم. دشت‌های بسیاری ممنوعه یا ممنوعه-بحرانی هستند و آب‌های زیرزمینی هم‌چنان در حال پایین‌رفتن و شورشدن هستند.

- در همین حال، روندهای اشتباه نیز در حال وقوع هستند. برای مثال حسب بخشنامه‌ای که مردادماه ۱۳۹۸ توسط شرکت مدیریت منابع آب کشور صادر شده، برای تأمین مالی ساخت تصفیه‌خانه‌ها اجازه می‌دهند درصد قابل‌توجهی از پساب تصفیه‌شده در اختیار سرمایه‌گذار قرار گیرد؛ تا او آن را به جبران سرمایه‌گذاری بفروشد. در حالی که در بخشنامه قبلی به‌صراحت در دشت‌های با بیلان منفی واگذاری پساب مجاز نبوده است. یعنی با این بخشنامه جدید، ما عزم کرده‌ایم به‌جای تعادل بخشی، بر شدت عدم تعادل بیفزاییم.

- قانون توزیع عادلانه آب هم بخش‌های متروک دارد (مانند ماده ۴۴) که باید احیا شوند و ملاک رفتار وزارت نیرو باشد؛ و هم نواقصی دارد که باید اصلاح شوند. صحیح آن بود که قانون صددرصدی اجرا و به‌صورت دوره‌ای (مثلاً هر پنج سال یک‌بار) اصلاحات لازم با توجه به شرایط زمانی در آن اعمال می‌شد.

- داده و اطلاعات منابع و مصارف آب وضع قابل‌قبولی ندارند. خیلی پیش از این باید برای بهبود سیستم سنجش و پایش اقدام می‌شد. علی‌رغم وجود قانون «انتشار و دسترسی آزاد به اطلاعات» (مصوب ۱۳۸۸)، متأسفانه هنوز شفافیت لازم و آسانی دسترسی همگان (به‌ویژه گروداران و پژوهشگران) به اطلاعات فراهم نیامده است. این امر خود ایجاد رانت، بدبینی و تعارض می‌کند؛ و مانعی در مسیر مشارکت گروداران در مدیریت آب است.

- هنوز در کشور آب تجدیدپذیر دارای تعریف استاندارد نشده است. به‌جای آن وزارت نیرو از عبارت آب قابل‌برنامه‌ریزی استفاده می‌کند. لاقلاً برای من دقیقاً مشخص نیست این کمیت چگونه محاسبه می‌شود؛ آن‌هم تا سال ۱۴۲۰ (که از نظر بنده، چنین پیش‌بینی محال است).

- به جوامع محلی نه اجازه رشد (ظرفیت‌سازی) داده می‌شود و نه اختیار و مسئولیت واگذار می‌شود. تهران برای کل کشور تصمیم می‌گیرد. تنها نور امید شورای حوضه بود که آن‌هم، هرگز به‌درستی پیاده‌سازی نشد. اکنون طرح سازگاری با کم‌آبی نور امیدی دیگر است ولی همان‌گونه که عرض شد به‌جای تعریف معیار و شاخص، و رشد جوامع محلی، هم‌چنان به دنبال رفتاری دستوری از بالا به پایین است.

- در آبفاها، قیمت آب برای مدت‌ها ثابت نگاهداشته شده و این شرکت‌ها که باید به شهرداری وابسته باشند (حسب تعریف اولیه در قانون توزیع عادلانه آب)، متأسفانه وبال دولت شده‌اند. در

دشت‌های ممنوعه، به‌جای آن که نیاز آبی شهر (اعم از نیاز شبکه توزیع آب و نیاز فضای سبز) با خریداری چاه از کشاورزان تأمین شود، متأسفانه سال‌ها با حفر چاه‌های جدید تأمین شده است.

- اصلاحات بسیار گسترده‌ای مورد نیاز است که نمی‌توان به‌سرعت انجام داد؛ زیرا بستر این اصلاحات نیازمند ظرفیت‌سازی (مهارتی، فرهنگی، اجتماعی، و نیز ساختار و قوانین و ضوابط جدید) است. مایوس نیستیم؛ اما واقع‌بین هستیم. پیاده‌سازی این اصلاحات و دستیابی به تعادل در دشتی مانند مشهد از نظر بنده بین ۲۰ تا ۵۰ سال زمان می‌برد. متأسفانه حدود ۱۵ سال قبل هم همین را عرض می‌کردم، اما تاکنون بعد از ۱۵ سال، هنوز هیچ اتفاقی نیفتاده است. انشاء... که دیگر زمان‌سوزی نشود.

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

- انجمن‌های علمی محافل ارزنده‌ای هستند که کشور باید از آن‌ها حمایت کند و بهره‌برد. برای مثال نظام فنی-اجرایی کشور، می‌تواند از ظرفیت علمی این انجمن‌ها در تدوین و تصویب ضوابط و نیز در ارزیابی نتایج و پیامدهای طرح‌ها و پروژه‌ها بهره‌وافر جوید. مجلس نیز چنین فرصتی را تاکنون از دست داده است. منظورم آن است که به‌صورت روتین در قانون باید برای انجمن‌های علمی در فرآیندهای تصمیم‌سازی کشور، نقشی در خور (ارزیابی و اظهارنظر، ارائه راه‌کار، ...) دیده می‌شد. هم‌چنین وزارت عتف، در تراز شایسته از قابلیت انجمن‌های علمی بهره‌نبرده و نمی‌برد.

انجمن آب و فاضلاب ایران، یکی از منسجم‌ترین و فعال‌ترین انجمن‌های علمی کشور و مایه مباحثات اساتید و دانشجویان در رشته‌های مرتبط است. اکنون نقش این انجمن در توسعه و رشد علوم و صنعت آب و فاضلاب کشور، نقشی داوطلبانه است و مبتنی بر شبکه ارتباطات فردی. این وضعیت البته از انگیزه‌های اعضای محترم انجمن نمی‌کاهد؛ اما تحت تأثیر آن، از ثمربخشی فعالیت ایشان، کاسته می‌شود. در حال حاضر، موضع‌گیری علمی و متین انجمن‌های علمی در مقابل خلاف‌کاری یا تصمیمات اشتباه مسئولین در حوزه مسائل مرتبط با انجمن، حداقل کاری است که از انجمن‌های علمی انتظار می‌رود.

ابتکارهای انجمن، مانند برگزاری المپیاد علمی، پایان‌نامه برتر، و یا ایده‌های کاربردی، موجب تشویق دانشجویان و اهل علم می‌شوند و لذا قابل تقدیرند. برگزاری کنفرانس سالانه به ایجاد ارتباطات بیشتر درون جامعه علمی و هم‌افزایی می‌انجامد. انشاء... این ظرفیت عالی، با تعریف جایگاهش در قانون، بتواند با قدرت بیشتر خدمات خود را به میهن و مردم ارائه کند.

*** نقش موسسات خصوصی غیر انتفاعی و سمن‌ها را برای گسترش توجه به مسائل مربوط به آب و فاضلاب و تجربیات خود در شهر مشهد و استان خراسان در این زمینه را بیان فرمایید.**

از دید بنده، سمن‌های محیط‌زیستی، بار دفاع از طبیعت بی‌زبان، نسل‌های غایب (آینده)، و جامعه کم اطلاع (و از این بابت مستضعف) را بر دوش دارند. سازوکارهای کنشگری سمن‌ها در فضای سیاست‌گذاری ایران هنوز مبتدی است و تا بلوغ فاصله بسیار دارد. سمن‌ها می‌توانند فرمایشی باشند و یا مورد سوء استفاده قرار گیرند. اما جامعه مدنی به تدریج در حال بسط خویش است؛ و قطعاً برای هر مشکلی راه‌حل مناسب را ابتکار یا اقتباس (از الگوهای سایر کشورها) می‌کند.

در خراسان رضوی، در حال حاضر سمن‌های متعدد محیط‌زیستی وجود دارند که اکثر آن‌ها فعال و بسیار فعال هستند. این سمن‌ها در «شبکه سازمان‌های مردم‌نهاد محیط‌زیستی استان خراسان رضوی» سازماندهی شده‌اند. روابط بسیار خوبی میان معاون پیشگیری از جرم دادستانی با بسیاری از سمن‌ها برقرار است. معمولاً دادستانی در پاسخ به اعتراض سمن‌ها، سریعاً موضوع و موضع را بررسی می‌کند و در این مسیر از سمن‌ها کسب اطلاعات و دانش تخصصی می‌نماید.

جمعیت ناجیان آب یکی از این سمن‌ها است که به‌طور تخصصی به مباحث آب و فاضلاب می‌پردازد. این سمن، نسبت به مباحث آب زیرزمینی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌شدت حساس است. متأسفانه معضل کسری مخزن آب زیرزمینی، مشکلی بسیار گسترده و تا حدودی پیچیده است که به آسانی قابل حل و فصل نیست؛ اما به تدریج تلاش می‌شود تا درک و فهم لازم در اқشار مختلف گروداران و مسئولین دستگاه‌های نظارتی فراهم آید.

در ارتباط با فاضلاب برخی شهرک‌های صنعتی (مانند چرم‌شهر) سابقه بسیار طولانی اعتراض وجود دارد ولی به دلایل متعدد هنوز دادستانی موفق به حل مشکل نشده است؛ گرچه برای اولین بار در آغاز سال جاری برخی واحدها تهدید به پلمپ شدند و یک واحد نیز پلمپ شد.

فاضلاب شهری جمع‌آوری شده معضل دیگری است که عدم تناسب آن با ظرفیت تصفیه‌خانه موجب رهاسازی فاضلاب خام به بستر کشف‌رود، و نهایتاً سبزی‌کاری در پایین‌دست شده است. پس از اعتراضات بسیار، پاییز سال گذشته آب منطقه‌ای نسبت به ساماندهی بستر کشف‌رود و جلوگیری از برداشت آب اقدام کرد؛ اما متأسفانه سبزی‌کاری به مکانی دورتر در پایین‌دست منتقل شده و ادامه دارد. در حقیقت، آنان که با ندانم‌کاری موجب فزونی فاضلاب جمع‌آوری شده از ظرفیت تصفیه شده‌اند مسئول هستند و باید پاسخگوی این وضعیت غیربهداشتی (برخلاف وظیفه آبفا:

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

انتشار مطالب ترویجی و یا برگزاری کلاس‌های آگاهی‌بخش برای اعضای سمن‌ها و حتی شهروندان، می‌تواند فعالیت جدیدی باشد که در راستای مسئولیت اجتماعی دانشگاه‌ها نیز هست. پیشنهاد می‌کنم به نیابت از انجمن‌های علمی (حسب تخصص)، مطالبه جایگاه قانونی در فرآیند بررسی لوایح و طرح‌های مجلس و نیز مطالبه جایگاه قانونی در فرآیندهای نظام فنی-اجرایی به‌طور جدی پیگیری شود.

*** اگر مورد ناگفته‌ای مانده است لطفاً بیان فرمایید.**

از این‌که این فرصت در اختیار بنده قرار داده شد، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌نمایم.



نشست تخصصی چالش‌های تعیین الگوی مصرف (دومین همایش ملی مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش هدررفت و بازیافت، آذر ۱۳۹۸، دانشگاه تهران)



اعضای نشست:

دکتر تابش: استاد دانشگاه تهران و مدیر جلسه

مهندس سیدزاده: مدیر دفتر مدیریت مصرف و کاهش هدررفت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکتر جلیلی قاضی‌زاده: دانشیار دانشگاه شهید بهشتی

دکتر سجادی فر: مدیر دفتر پژوهش، بهبود و بهره‌وری شرکت آب و فاضلاب منطقه ۲ استان تهران

دکتر ضرغامی: استاد دانشگاه تبریز و مشاور معاونت آب و آبفای وزارت نیرو

خودش متأثر از یک سری پارامترها و عواملی هست که دست در دست هم می‌دهند و مقدار مصرف را شکل می‌دهند. در نشریه ۱۱۷-۳ اگر دوستان التفات داشته باشند، جدولی داده شده که براساس تعداد جمعیت شهرها، عددی را برای مقدار مصرف مشخص کرده است. بنابراین دوستانی که طراحی انجام می‌دهند و دوستانی که در شرکت‌های آب و فاضلاب کار بهره‌برداري انجام می‌دهند، بر مبنای اعداد آن جدول که بین ۷۵ تا ۱۵۰ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه روز هست، برنامه‌ریزی‌های خود را انجام می‌دهند. اما نکته‌ای که وجود دارد این است که غیر از جمعیت، عوامل موثر دیگری هم دخیل هستند مثل وضعیت آب و هوا، وضعیت قیمت آب، وضعیت درآمد ساکنین، بحث‌های فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی، بحث کیفیت آب، بحث آلودگی هوا و غیره. اخیراً سازمان برنامه و بودجه یک قراردادی را منعقد کرده است که این قسمت دارد تدقیق می‌شود. یعنی آن جدولی که فقط براساس جمعیت بود، به‌صورت یک فرمولی قرار است ارائه شود که پارامترهای موثر در آن فرمول خودشان را نشان دهند. مثلاً اقلیم، بعد خانوار، دما، بارش، رطوبت، هزینه‌ها و غیره.

نکته‌ای که پیش می‌آید این است که این عدد که به‌دست آمد، نشان می‌دهد که مصرف در آن شرایط جغرافیایی و اجتماعی و فرهنگی به چه مقدار خواهد بود. نکته بعد این است که آیا به‌آن مقدار آب وجود دارد و یا آیا ما می‌توانیم اجازه دهیم به‌همان



دکتر تابش:

بسم الله الرحمن الرحيم. اولین نشست تخصصی همایش امسال ما، به یکی از موضوعات بسیار چالش‌برانگیز و مبتلا به که وزارت نیرو و شرکت مهندسی آب و فاضلاب با آن روبه‌رو هستند، اختصاص دارد و انشاءالله امیدواریم با بحثی که امروز صورت می‌گیرد در این میزگرد که خدمت سروران و اساتید معزز دانشگاه و صنعت هستیم، بتوانیم سرفصل‌هایی را که می‌تواند برای تصمیم‌گیری در این خصوص مدنظر قرارگیرد، در یک بحث جمعی مطرح کنیم و انشاءالله یک کمک فکری بدهیم به دوستانی که در این زمینه تصمیم‌گیری خواهند کرد.

بحث الگوی مصرف یکی از نکات مهمی هست که قبل از آن به تعیین مقدار مصرف باید پرداخته شود و این مقدار مصرف هم

مقداری که آن مصرف در آن فرمول‌ها محاسبه شده آب مصرف بشود یا نه. که این‌جا بحث الگوی مصرف شکل خواهد گرفت و تعیین الگو از آن به‌دست می‌آید. منتها این دو تا با هم فاصله دارند. یعنی این‌که ما یک مصرف موجود داریم و یک الگویی به‌عنوان مطلوب در ذهنمان است. حالا چه راه‌کارهایی را باید پیاده کنیم که از این وضع موجود به وضع مطلوب برسیم. ما انشالله سعی می‌کنیم که امروز این بحث را با توجه به تخصصی که دوستان دارند و من خدمتتان معرفی می‌کنم انجام دهیم و هر کدام از دوستان بنابر تخصص و حوزه مسئولیت‌شان یک بخشی از این مباحث را به‌عهده بگیرند و انشالله بتوانیم بعد از آن هم با پرسش و پاسخی که صورت می‌گیرد و مشارکت حضار محترم به یک جمع‌بندی مناسبی برسیم.

آقای مهندس سیدزاده، که معرف حضور هستند، مدیر دفتر مدیریت مصرف شرکت مهندسی آب و فاضلاب که سالیان متمادی هست که مدیریت را به‌عهده دارند و تجربه‌های بسیار خوبی در بعد عملی دارند. آقای دکتر سجادی‌فر مدیر امور پژوهش و بهره‌وری آب و فاضلاب منطقه ۲ تهران که قبلاً هم در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور خدمت می‌کردند. ایشان عمدتاً در مباحث اقتصادی صاحب‌نظر هستند و در بحث تابع تقاضا و تأثیر عوامل قیمت و مسائل اقتصادی، مسائل مهمی را کار کرده‌اند که خدمتتان ارائه می‌کنند. آقای دکتر جلیلی قاضی‌زاده عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی، پردیس شهید عباس‌پور در خدمتشان هستیم که سالیان متمادی در حوزه مدیریت مصرف کار کرده‌اند و آقای دکتر ضرغامی استاد محترم دانشگاه تبریز و مشاور علمی معاونت آب و آبفای وزارت نیرو که ایشان هم سالیان متمادی در حوزه امور مدیریت مصرف در بخش‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی تحقیقات و تجربیات اجرایی فراوانی داشته‌اند.

بنابراین طبق آن الگویی که خدمتتان گفتم، در ابتدا از آقای مهندس سیدزاده خواهش می‌کنیم که در رابطه با مصرف موجود، یعنی وضع موجودی که در کشور وجود دارد، یک سری اطلاعات را به ما بدهند و در ادامه، دوستان این بحث را تکمیل خواهند کرد.



مهندس سیدزاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و ادب و احترام دارم خدمت کلیه حضار گرامی که در جلسه امروز شرف حضور دارند. تقدیر و تشکر می‌کنم از برگزارکنندگان این همایش ملی

علی‌الخصوص جناب آقای دکتر تابش و همکاران محترم ایشان. در نشست تخصصی امروز بحث‌های مختلفی مطرح خواهد شد. من مستقیم بروم سر آن موضوعی که به من محول شده: وضعیت مصرف در حال حاضر در بخش آب و فاضلاب در بخش شهری.

اول ببینیم که ترکیب مصرف چگونه هست. طبقات مصرف مختلفی که ما در تقسیم‌بندی‌هایمان داریم، از ۰ تا ۵ مترمکعب، ۵ تا ۱۰ متر مکعب، ۱۰ تا ۱۵ و تا ۵۰ این طبقه‌بندی در شرکت آب و فاضلاب در حوزه مصرف انجام می‌شود. ما مصرف را به دو بخش خانگی و غیرخانگی تقسیم کردیم. مجموع این‌ها در سال، رقمی در حدود ۴ میلیارد و ۵۰۰ میلیون مترمکعب میزان مصرف در بخش شهری است. از حدوداً ۶ میلیارد و ۱۰۰ میلیون مترمکعب تولید یا آبی که وارد شبکه توزیع شده، ۴ میلیارد و ۵۰۰ میلیون متر مکعب به مصرف می‌رسد. از این ۴ میلیارد و ۵۰۰ میلیون مترمکعب حدود ۳ میلیارد و ۵۰۰ میلیون مترمکعب مربوط به بخش خانگی و ۱ میلیارد مترمکعب مربوط به بخش‌های مختلف غیرخانگی از جمله تجاری، صنعت، عمومی، دولتی، آموزشی و دیگر موارد مختلف.

ملاحظه می‌فرمایید که در بخش خانگی کدام طبقه بیشترین مصرف را به خودش اختصاص داده است. طبقه‌ای که در تقسیم‌بندی ما بین ۱۰ تا ۱۵ مترمکعب و ۱۵ تا ۲۰ مترمکعب در ماه مصرف می‌کنند (یعنی بین ۱۰ تا ۲۰ مترمکعب)، بیشترین مصرف را در بین مشترکین به خودشان اختصاص داده‌اند و ملاحظه می‌فرمایید که هرچه میزان مصرف در آن طبقات بالا می‌رود، حجم مصرف پایین می‌آید. در مصارف ۰ تا ۵ و ۵ تا ۱۰ هم یک رقمی را به خودشان اختصاص داده‌اند. در بخش غیرخانگی بیشترین میزان مصرف مربوط به مصارف فضای سبز است با عددی حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال. اگرچه رقم، رقم پایینی است ولی به دلیل این‌که از شبکه آب شرب، از آب تصفیه شده، استفاده می‌کند، قابل توجه است که باید سیاست‌های جداسازی مصرف فضای سبز از آب شرب را در دستور کار حتماً داشته باشیم. در قسمت بعد به نوعی با درصد، آمار را خدمت عزیزان ارائه می‌کنم. ملاحظه می‌فرمایید ۷۷/۱ درصد مصرف خانگی و ۲۲/۹ درصد مصرف غیرخانگی، که در بخش خانگی طبقه ۱۵ تا ۲۰ مترمکعب با ۱۹/۳ درصد بیشترین حجم را به‌خود اختصاص داده است. من لازم دانستم که جدول بالانس آب کشور را در بخش شهری خدمت عزیزان ارائه کنم که با بعضی از اصطلاحات آشنا بشوید. قطعاً آشنایی دارید حالا تأکید بیشتر می‌شود. این آمار که جدول بالانس آب هست و استاندارد IWA دارد نشان می‌دهد که از میزان حدوداً ۶ میلیارد آب تولیدی یا ورودی به شبکه‌های توزیع که روی این اجزا تقسیم‌بندی شده وضعیت چگونه است. ۷۶/۸ درصد حدوداً میزان مصارف مجاز هست که به دو قسمت با درآمد و بدون درآمد تقسیم می‌شود. با

درآمد که همان ۴ میلیارد و ۵۰۰ میلیون مترمکعب بود را من در قبلاً گفتیم. ۱/۶ درصد مصارف مجاز بدون درآمد، ۱۱/۴ درصد هدررفت ظاهری و حدوداً ۱۱/۸ درصد هدررفت واقعی. که مجموع این‌ها در کل کشور ۲۴/۸ درصد یعنی ۱ میلیارد و ۵۰۰ میلیون مترمکعب، آبی هست که درآمدی برای شرکت آب و فاضلاب ندارد. بخشی از آن به‌صورت واقعی هدر می‌رود و بخشی از آن به‌دست مصرف‌کننده می‌رسد، اما درآمدی ندارد.

حال ما یک مقایسه‌ای خواهیم داشت روی بحث سرانه‌ها، که موضوع بحث امروز هست. ببینید وضعیت سرانه‌ها در کشور ایران چگونه است. حدوداً ۱۵۰ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز میانگین کشور است. شرکت‌های آب و فاضلاب، چون تقسیم‌بندی این‌ها دست شرکت‌های آب و فاضلاب هست، بنده بر همان اساس این‌ها را نشان می‌دهم. شرکت آب و فاضلاب البرز با رقم ۱۷۶ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز بیشترین رقم را به‌خود اختصاص داده است. بعد تهران و گیلان هست. ملاحظه می‌فرمایید که تقریباً در شرکت آب و فاضلاب یزد این رقم پایین‌تر از میانگین کشوری است. این الان بدون احتساب هدررفت ظاهری است، یعنی آن بخشی که واقعا به فروش رسیده و از قبوض محاسبه کردیم. یک مقدار این تغییر خواهد کرد. در بخش بعدی ما اگر خواسته باشیم هدررفت ظاهری را هم به‌این اضافه کنیم، یعنی بخشی که مربوط به خطای کنتورها، انشعابات غیرمجاز هست که ما به‌آن هدررفت ظاهری اتلاق می‌کنیم، این سرانه‌ها مقداری بالاتر می‌رود. در حقیقت سرانه واقعی این هست: ۲۷۲ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز سهمیه آب اهواز، خراسان جنوبی در حدود ۲۵۰، خوزستان در حدود ۲۰۶ لیتر و میانگین کشور اینجا بالا رفته و می‌بینید کدام‌یک از شرکت‌ها پایین‌تر از میانگین کشور هستند که استان کهگیلویه و بویر احمد با ۱۲۰ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه روز، با احتساب هدررفت ظاهری یعنی حجم هدررفت ظاهری را ما به فروش اضافه کردیم، کمترین میزان سرانه را در کشور دارد. خراسان رضوی، هرمزگان، مرکزی، مشهد جزو شرکت‌هایی هستند که کمترین میزان سرانه آب را به‌خودشان اختصاص داده‌اند. در حقیقت این را که من بیان کردم همان جدولی هست که به‌صورت نموداری‌اش را ارائه کردم.

خیلی مختصر لازم دانستم ببینیم وضعیت دنیا چگونه است. البته این موضوع سرانه یک موضوع بسیار پرچالش و پربحثی است و نمی‌شود خیلی مقایسه کرد. ولی از لحاظی که ببینیم وضعیت ما این بود، وضعیت دنیا چگونه است. در بعضی از شهرهای آمریکا ملاحظه می‌فرمایید که در آن‌جا شیوه‌های مصرف متفاوت است. مثلاً در نیویورک این رقم که رقم خانگی هم است ۲۹۵ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه روز است. چند وقت پیش در جلسه به آقای دکتر جلیلی این تذکر را دادم که باید حواستان باشد این اعداد و ارقامی که از رسانه اعلام می‌شود یا از سایت‌های مختلف

می‌گیریم باید دقت کنیم آیا کل هست؟ آیا خانگی هست؟ عمومی و تجاری داخل آن هست یا نیست؟ عددی که گفتیم، دقیقاً خانگی است. ما سرانه خانگی را با شهرهای کشورهای دیگر مقایسه می‌کنیم. مثلاً شهر لاس وگاس این عدد ۴۱۶ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز است. ببینیم در اروپا وضعیت چگونه هست. در اروپا این رقم پایین‌تر است. یعنی در حقیقت میانگین این سرانه خانگی ۱۲۸ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز است که باز، توزیع مختلفش را که هر کدام از این اعداد مختص کدام‌یک از این کشورها هست. ملاحظه می‌فرمایید که تا ۲۲۰ لیتر این عدد رفته اما میانگین ۱۲۸ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز کشورهایی مثل هلند، آلمان در حدود ۱۲۰ به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز هستند. در بین کشورهای اروپایی، ایتالیا بیشترین سرانه را به‌خود اختصاص داده با ۲۴۳ لیتر به‌ازای هر نفر در شبانه‌روز. به‌غیر از ایتالیا بقیه کشورهای اروپایی در حدود ۱۲۰-۱۳۰ حداکثر ۱۵۰ لیتر را به‌خودشان اختصاص داده‌اند.

من عذرخواهی می‌کنم خیلی سریع و مختصر سعی کردم این وضعیت سرانه در کشور ایران و مقایسه با تعدادی از کشورهای دنیا را یادآوری کنم. قطعاً می‌دانم سوالات متعددی خواهد بود. انشالله من در خدمت عزیزان در بخش پرسش و پاسخ خواهم بود.

دکتر تابش:

خیلی ممنون از جناب آقای مهندس سیدزاده. در قسمت بعد از آقای دکتر جلیلی خواهش می‌کنیم که با توجه به اعداد مصرفی که ارائه شد به‌عنوان وضع موجود، مباحث فنی شبکه‌ها و تعریفی از الگوی مصرف را ارائه کنند تا بتوانیم تلفیقی بین وضع موجود و وضع مطلوب داشته باشیم.



دکتر جلیلی قاضی‌زاده:

بسم الله الرحمن الرحيم. خدمت دوستان و حضار محترم سلام عرض می‌کنم. بحثی که مطرح شده، چالش‌های تعیین الگوی مصرف آب هست. همان‌طور که آقای دکتر تابش فرمودند در واقع سازمان برنامه بودجه یک پروژه‌ای را درخواست کرده که در آن نشریه ۳-۱۱۷ به‌روز شود و هم‌چنین الگوی مصرف مشخص شود. فرض کنید اگر این پروژه را به شما داده بودند چه کار می‌کردید؟ این بحثی است که من می‌خواهم راجع به آن صحبت کنم. قطعاً در حد زمانی که داریم صحبت می‌کنیم.

من قرار شد تعاریف را ارائه کنم و چالش‌هایی که در این‌جا وجود دارد. الگوی مصرف آب می‌تواند خیلی ساده تعریف شود به دو قسمت. یک، مبحث مقدار متوسط سرانه مصرف و مقدار نوسانات مصرف. چون ما از نظر تامین آب باید مقدار متوسط را تامین کنیم اما از نظر توزیع آب باید پیک مصارف را تامین کنیم. لذا اگر ما مقدار متوسط و نوسان را بتوانیم تعریف کنیم الگو را می‌توانیم تعریف کنیم.

همان‌طور که صحبت شد مصرف آب چند جزء دارد که مصرف خانگی، مصرف عمومی، مصارف تجاری و صنعتی مصارف فضای سبزی که از آب شرب استفاده می‌کنند و بحث حق قبض‌ها و تلفات هست. لذا وقتی ما راجع به الگوی مصرف صحبت می‌کنیم، باید بگوییم که آیا مصرف خانگی را داریم صحبت می‌کنیم؟ چون خیلی وقت‌ها دوستان وقتی که آمار را مقایسه می‌کنند مصرف خانگی مد نظرشان هست، گاهی این ۴ مصرف را مطرح می‌کنند. یعنی وقتی می‌گویند مصرف سرانه در یک شهر چه قدر است این ۴ مصرف ارائه می‌شود و گاهی این هدررفت‌ها هم شامل می‌شود و این می‌شود مقدار تولید سرانه آب. پس دو نکته‌ای که این‌جا وجود دارد این است که یک: وقتی که آمار را مقایسه می‌کنیم باید دقیق مقایسه کنیم. متناظر باشد مقایسه‌ها و دوم این‌که اگر مصرف سرانه یک شهر یا تولید سرانه‌ای بالا هست لزوماً به این معنی نیست که همه مردم آن‌جا زیاد آب مصرف می‌کنند. می‌تواند به این معنی باشد که آن‌جا صنعتش بیشتر است، تجاریش بیشتر است، فضای سبز بیشتر است. شما یک شهری مقایسه می‌کنید در شهرستان‌هایی که زمین‌ها بزرگتر است و خانه‌ها ویلایی است تا تهرانی که ما فضای سبز خانگی کمتری داریم. لذا در تعاریف این‌ها باید اول شفاف شود.

عوامل موثر در مصرف آب را دیگر همه دوستان می‌دانند چه عواملی است. عوامل متفاوت و پیچیده‌ای است که در مقدار مصرف تأثیر می‌گذارد. اگر ما بخواهیم الگوی مصرف را اصلاح کنیم، بعضی از این عوامل قابل اصلاح هستند. فرض کنید داریم درباره فشار آب صحبت می‌کنیم. در یک شهر فشار زیاد است در یک شهر فشار کم. این در حدی قابل اصلاح هست. اما بعضی از عوامل مثل شرایط اقلیمی قابل اصلاح نیست، به این معنا که ما بخواهیم اصلاح کنیم. لذا بر اثر عواملی که بین شهرها متفاوت هستند باید این اصلاح الگوی مصرف تعریف شود. اگر کشور را به پهنه‌های مختلفی تقسیم کنیم و برای هر روستا یا هر پهنه، هر خوشه‌ای تعیین کنیم الگوی مصرف آب تعیین شود.

من یک آماری داشتم که سال ۱۳۹۶ از مهندس سیدزاده گرفتم که ایشان هم آمار جدید را ارائه کردند. این‌ها کمی قدیمی‌تر هستند. این آمار ۴ مصرف و ترتیب آن‌ها را در شرکت‌های آبفا نشان می‌دهد. اینجا هدررفت وجود ندارد لذا ما بحث هدررفت را اینجا مطرح نمی‌کنیم. این ۴ مصرفی که وجود

دارد می‌بینیم که بعضی از شهرها خیلی مصارفشان کمتر است، بعضی‌ها بیشتر است. این تفاوت اقلیمی و... هم که وجود دارد. من می‌خواستم این‌ها را بررسی کنم. آمدم فکر کردم که در یک شهری که مصرف آب زیاد است، هوا گرم است و مصرف آب زیادتر هست. حالا چرا وقتی هوا گرم است مصرف زیاد است؟ یک دلیلش خنک‌کننده‌ها و کولرها است که باعث می‌شوند مصرف آب زیاد شود. دلیل دوم این است که شهرهایی که هوا گرم است شست و شوها و بحث استحمام بیشتر است. اگر ما به تفکیک این‌ها را مشخص کنیم می‌توانیم یک شهری که مثلاً کولر دارد یا ندارد سهم کولر را به آن اضافه کنیم. من به دنبال این بودم که ببینم کولرهای آبی چه قدر آب مصرف می‌کند. واقعیت قضیه این است که متأسفانه علی‌رغم این‌که ما در دانشگاه و شرکت‌ها و ... کار می‌کنیم، اگر دنبال این آمار باشید به سختی می‌توانید پیدا کنید که یک کولر آبی چه قدر آب مصرف می‌کند و تأثیرش روی سرانه مصرف به صورت روزانه در طول سال چقدر است. در هر صورت یک سری مقالاتی بود مثلاً این مقاله می‌گفت ۲۷ لیتر ولی من خودم تحلیل کردم. بعد این مقاله می‌گفت در قم ۷ لیتر مصرف کولر هست. بعضی منابع خارجی به ۱۸ لیتر اشاره می‌کردند و باز برای آمریکا و استرالیا ۱۸ تا ۳۱ لیتر. چیزی که من مطرح می‌کنم راجع به اعداد، زیاد حساس نیستیم. بیشتر می‌خواهم روششان را توضیح دهم. من این‌جا سرانه مصرف کولر را ۲۰ لیتر به ازای هر نفر در روز فرض کردم. بعد بحث آب استحمام هست که ما آمار بسیار متفاوتی داشتیم راجع به استحمام. که این‌جا می‌بینید مقالاتی را که اشاره می‌کردند به استحمام. در مقاله‌ای فرض کنید که گفته‌اند ۵۴ لیتر در صورتی که آمریکا از این عدد کمتر است. لذا ما باید روی این قسمت‌ها بیشتر کار کنیم علی‌رغم این‌که صحبت می‌کنیم. ولی کاری که ما بیاوریم این‌ها را گزارش کنیم و واقعاً اندازه‌گیری کنیم با دقت‌های بالا و روش‌های علمی واقعاً کم است. طبق آمار قبل من سه شهر پرمصرف را با سه شهر کم مصرف مقایسه کردم که طبق آمار سال ۹۵ کرمان و مشهد و شیراز مصارفشان کمتر بوده و بوشهر و خوزستان و اهواز بیشتر بوده. این‌ها فقط مثال هست، ما خیلی راجع به خود شهرها بحثی نداریم. در هر صورت این سه شهر متوسطش ۲۳۳ لیتر است، و این سه تا شهر ۱۵۶ لیتر. این‌جا هوا گرم است. من فرض کردم که مثلاً مردم در این شهرها دو برابر این شهرها دوش می‌گیرند. خیلی راجع به این عدد ۲ حساس نیستیم. اگر فرض کنیم سرانه مصرف استحمام ۴۳ لیتر است، از این کم کنیم چون این‌جا استحمام زیاد بوده به عدد ۱۹۰ می‌رسیم. یک بحثی که داریم این است که در این شهرها ما کولر گازی داریم چون کولر آبی در شهرهای جنوب به‌خاطر رطوبت هوا اصلاً جوابگو نیست. البته برای شست و شوی کولر گازی هم آب مصرف می‌شود اما این شهرها به‌خاطر هوای خشکی که دارند کولر آبی استفاده می‌کنند. لذا اگر

ما مقدار سرانه کولر آبی را از این کم کنیم، به این عدد می‌رسیم. حالا یک سوال مطرح می‌شود که ما الگوی مصرف را از کجا بیاوریم؟ پیشنهاد من این است که ما بیاوریم شهرهایی که با این دید که می‌خواهیم مصرف آب را کم کنیم واقعا شهرهایی که مصرفشان کم شده و با این مصرف دارند کار می‌کنند می‌توانند الگو باشند. ممکن است شما بگویید نه ما یک شهری از خارج از کشور بیاوریم که مصرفش خیلی هم کمتر است. آنجا یک سری بحث‌های دیگر پیش می‌آید از نظر فرهنگی و بحث‌های دیگر که متفاوت است. اما شهرهای خودمان می‌تواند الگو باشد برای کشور خودمان. در نتیجه وقتی این دو تا را با هم مقایسه کنیم می‌بینیم که بله مصارف این شهرها علی‌رغم مصرف استحمام حالا مصارف دیگری هستند مثل مصرف آب شرب در شهرهایی که گرم است بیشتر است، منتها آب شرب خیلی عدد کمی است مصرفش. می‌بینیم که در هر صورت اینجا مصرف بیشتر است. پس ما می‌توانیم این را الگو بگذاریم. و پارامترها را که این در واقع هسته مصرف آب هست بدون کولر، بدون استحمام اضافی، بدون فضای سبز، در هر صورت این نشان می‌دهد شهرهای ما قابل اصلاح هستند. یعنی لزوماً دلیلی که مصرف در این شهرها بالا است گرمای هوا لزوماً نیست. ممکن است از نظر فرهنگی هم مصرفشان بالا باشد.

یک آمار دیگری که ۲ روز پیش مهندس سیدزاده لطف کردند به من دادند را ببینیم. ۵ شهر پرمصرف و ۵ شهر کم مصرف ایران. این‌ها شهرهای کوچکتری هستند. به خاطر این که حساسیتی ایجاد نشود من اسم این شهرها را اینجا نیاورده‌ام. ما شهری داریم که حدود ۵۰۰ لیتر ۸۰۰ لیتر مصرف سرانه‌اش هست. شهری با ۱۰۰ لیتر هم داریم. نمی‌توانیم بگوییم آن شهری که مصرفش ۵۰۰ است چون هوا گرم است مصرفش این‌طوری است. چون سهم گرما آن قدر زیاد نبود. پس این عدد قابل کار و قابل اصلاح است.

بحثی داریم به اسم نوسانات. ممکن است ما آب کافی داشته باشیم ولی نتوانیم پیک مصرف را تامین کنیم. بعضی از شهرها به خاطر این موضوع، جیره‌بندی آب را انجام می‌دهند. چون اگر بخواهند پیک مصرف آب را تامین کنند قسمت‌هایی از شهر بی‌آب می‌شوند. نوسانات شامل نوسانات روزانه و نوسانات ساعتی است. اگر در ورودی شهر یک دبی سنج بگذاریم و الگو را بگیریم می‌توانیم ضریب پیک را به دست بیاوریم. چند چالش در نشریه ۱۱۷ داریم. یکی این که بحث ضریب نوسان هست. ما وقتی ۵ تا مصرف را جمع می‌کنیم، آیا باید در ضریب نوسان روزانه و ساعتی ضرب کنیم؟ آیا باید ۴ تا مصرف را جمع کنیم و در ضریب ضرب کنیم و به اضافه مصرف پنجم کنیم؟ در هر صورت بستگی دارد که شما این ضرایب حداکثر را از کجا آوردید. اگر ضریب حداکثر را از این کنتورها خواندید باید ۵ تا مصرف را ضرب کنید. اما اگر

ضرایب پیک را به صورت جداگانه به دست آوردید که معمولاً ما این کار را نمی‌کنیم و هیچ جا هم این کار را انجام نمی‌دهند، باید ۴ تا مصرف را ضرب کنید. پس این‌ها در محاسبه مهندسی مشاور خیلی مهم هست.

نکته آخر این که ما می‌آییم ۴ تا مصرف را جمع می‌کنیم. وقتی چهار تا مصرف خانگی، عمومی، تجاری و صنعتی را جمع کردیم، بعد می‌آییم با آب بدون درآمد جمع می‌کنیم یا با آب به حساب نیامده. این جا یک مطلبی هست: بحث تلفات ظاهری و مصارف غیرمجاز. دقت کنید، مثال می‌زنیم، یک مشاور آمده شهری را حساب کرده مثال افرات آمیز، گفته این شهر ۱۰۰ هزار جمعیت دارد مصرف سرانه را در آن ضرب می‌کند، بعد می‌آید آب به حساب نیامده را هم اضافه می‌کند. فرض کنید ۲۰ درصد مثلاً آب‌دزدی داشته باشیم، دقت کنید این تلفات ظاهری دو بار حساب شده. یک‌بار ما آن را در ۱۰۰ هزار نفر حساب کردیم، بعداً آمدیم ۲۰ درصد هم اضافه کردیم بابت آب به حساب نیامده بخش تلفات ظاهری و بخش مصارف غیرمجاز. می‌بینیم اینجا دو برابر حساب شده با این روش. لذا این نکات را هم ما داریم که باید تدقیق بشود انشاءالله در نسخه جدید. در هر صورت یک چالشی هم این جا همیشه مطرح است که شما دوستان عزیز بهتر می‌دانید ما از این طرف می‌گوییم مصارف باید کم شود، از آن طرف درآمد شرکت‌ها کاهش پیدا می‌کند، یعنی ما به شرکت‌هایی که درآمدشان وابسته به مصرف آب است از آن‌ها می‌خواهیم که مصرف آب را کنترل کنند. این هم یک در واقع چالش و تضادی است که باید روی آن فکر کنیم. در هر صورت همکاری‌های عزیزمان در میزگرد روی بحث روش اصلاح الگوی مصرف و مباحث اقتصادی، اجتماعی و بحث‌های قانون‌گذاری انشاءالله صحبت خواهند کرد. من عرض تمام است.

دکتر تابش:

خیلی متشکر. با توجه به مواردی که آقای دکتر فرمودند از آقای دکتر سجادی‌فر خواهش می‌کنیم نقش مباحث اقتصادی به خصوص تعرفه‌گذاری را در این که ما چه قدر می‌توانیم مصرف را به الگو نزدیکتر کنیم انشاءالله در عرض کمتر از ۱۰ دقیقه برای ما بیان کنند.



دکتر سجادی‌فر:

بسم الله الرحمن الرحيم. عرض سلام و ادب دارم خدمت

متخصصین صنعت آب و فاضلاب. من می‌خواهم بحث‌های خودم را با بحث اقتصاد رفتاری شروع کنم که ببینیم اقتصاد رفتاری چه‌گونه می‌تواند روی الگوی مصرف برای مدیریت تقاضا تأثیر بگذارد.

اولین نکته‌ای که می‌خواهم اشاره کنم که دکتر جلیلی هم اشاره کردند یک تضادی وجود دارد بین درآمد و کاهش مصرف. این یک نکته اساسی است. من اگر بخواهم به این اشاره کنم اگر ما دیدگاه کوتاه‌مدت شرکتی داشته باشیم، بله باید به افزایش درآمد فکر کنیم. اما اگر یک دیدگاه بلندمدت بهینه اجتماعی داشته باشیم، باید به مدیریت تقاضا و کاهش مصرف فکر کنیم. اما متأسفانه از آن جایی که جامعه ما یک جامعه کوتاه‌مدت است، به‌خاطر همین است که گزینه اول بیشتر رویش تأیید می‌شود. اما مطمئن باشید بحث‌های تامین و عرضه‌ای هیچ‌گونه دیگر نمی‌تواند جواب دهد. چراکه ما اگر عرضه آب را زیاد کنیم قطعاً تقاضا با آن، افزایش پیدا می‌کند. این یک نکته هست. الگوی مصرف هم می‌تواند دو تا جنبه داشته باشد که بحث می‌تواند عنوان راه‌کار افزایش درآمد باشد و یا مدیریت تقاضا. سؤالی که من می‌خواهم این‌جا مطرح کنم این است که صنعت آب و فاضلاب چه‌گونه می‌تواند سیاست‌های مدیریت تقاضای خودش را اجرایی کند.

من اول این‌جا خیلی خوشحالم که دیدم در صحبت‌ها بحث اقتصادی هم وارد الگوی مصرف شده. شما بحث قیمت را می‌کنید، بحث درآمدی خانوار را می‌کنید، این‌ها خیلی نکته خوبی است. یعنی این که ما توانستیم یک گام روبه‌جلو برداریم و بحث اقتصادی را هم وارد کنیم. همان‌طور که آقای دکتر تابش هم اشاره کردند بحث‌های اقتصادی زیادی مثل قیمت، درآمد خانوار و عوامل دیگری که روی الگوی مصرف تأثیر می‌گذارند. اما چیزی که من می‌خواهم امروز به آن بپردازم بحث اقتصاد رفتاری است، که خیلی توانسته در دنیا در الگوی مصرف کاربردی شود. اگر وقت کنیم می‌خواهم بحث تجربه موفق شهر کیپ‌تاون آفریقای جنوبی را اینجا ارائه کنم. منتها قبل از آن باید یک مقداری پایه را من بچینم و پایه‌ریزی کنم. اقتصاد رفتاری یک بحث تقریباً جدیدی هست که جایزه نوبلی که آقای ریچارد تیلر گرفتند در این زمینه گرفتند. ترکیب اقتصاد با دانش روان‌شناختی است که خیلی چشم‌گیر بوده و بسیار هم کاربردی استفاده شده است. ولی من یک مقدمه اگر بخواهم بگویم، هر انسانی دو تا سیستم دارد: سیستم یک و سیستم دو. سیستم یک خودکار است، سیستم دو بازتابی است. سیستم یک کنترل نشده است بدون سعی و تلاش است، تداعی‌گر است، سریع است، ناخودآگاه است و تجربه‌گر است. اما سیستم بازتابی کنترل شده است، با سعی و کوشش است، تابع قوانین و مقررات است. من یک مثال می‌زنم. اگر شما در خیابان دارید می‌روید و یک ماشین بوق بزند سریع شما می‌ایستید و یک

رفلکس نشان می‌دهید. این سیستم ۱ شما است. ولی اگر من از شما بپرسم 4831×6251000 چه قدر می‌شود، شما باید یک ماشین حساب بردارید و یک ضرب را انجام دهید تا بتوانید به این جواب برسید. چیزی که مهم است سیستم خودکار ما دچار اشتباه زیاد می‌شود و در خیلی از مسائل هم صورت مسئله را تغییر می‌دهیم. اما مسئله این است که ما می‌خواهیم ببینیم آیا با مداخله، ما حق داریم روی رفتارهای انسانی تأثیر بگذاریم؟ آیا ما می‌توانیم که کاری کنیم که مدیریت تقاضا را کاهش بدهیم؟ بله. اما این‌جا ممکن است کسی از من ایراد بگیرد که با آزادی‌های انسانی این تداخل دارد. ما این را از آقای ریچارد تیلر وام گرفتیم و اسمش را گذاشتیم قیّم‌مآبی آزادی‌خواهانه. یعنی چی؟ یعنی این که ما می‌توانیم با دخالت‌هایمان زندگی طولانی‌تر، سالم‌تر و بهتر برای افراد داشته باشیم. یک نکته‌ای که وجود دارد: انسانی اقتصادی که در اقتصاد کلاسیک به آن پرداخته می‌شد، این بود که یک انسان اقتصادی، منطقی است. یعنی تمام تصمیماتی که می‌گیرد در راستای حداکثر کردن مطلوبیتش است.

یک انسان اقتصادی مانند انیشتین حافظه‌اش قوی است. به‌اندازه همه کامپیوترها ظرفیت ذخیره‌سازی اطلاعات را دارد. مثل آقای گاندی عقل دارد. اما می‌دانیم که همه ما به‌عنوان یک انسان عادی این‌جوری نیستیم. ما خیلی مواقع تولد خانمان را فراموش می‌کنیم. حتی در جمع و ضرب معمولی ممکن است نیاز به ماشین حساب داشته باشیم. ما یک انسان‌های عادی هستیم. شما می‌دانید که ۶۰٪ آمریکایی‌ها اضافه وزن دارند، اضافه وزن روی سلامتی‌شان تأثیر می‌گذارد، ولی خیلی‌ها سیگار می‌کشند، قلیان می‌کشند. آیا این انسان عادی باید این کارها را انجام دهد؟ قطعاً نه!! اما می‌بینیم که خیلی‌ها دارند این کار را انجام می‌دهند. مصرف آب خیلی جاها بالا است. ما چه‌گونه می‌توانیم مصرف آب را کاهش دهیم؟ ذهن انسان یک پردازنده با موجودیت محدود است. یک مثالی برای شما عرض کنم. در یک آزمایش از یک سری افراد خواسته شد که تعداد پاس‌هایی که در یک تیم بسکتبال به‌هم داده می‌شود را بشمارند. در آن وسط یک گوریلی که لباس گورخری داشت می‌آمد و رد می‌شد. جالب است که چون همه توجه کرده بودند که پاس‌ها را بشمارند، تقریباً بالای ۶۰٪ این گوریل را ندیدند و خیلی‌ها هم بعد از این که برایشان بازپخش کردند گفتند این فیلم آن فیلم نیست. پس معلوم است که ما ذهنیتان به اصطلاح اگر روی یک مسئله تمرکز کنیم سایر جنبه‌ها را نمی‌بینیم. ذهنیت روی رفتار تأثیر می‌گذارد. رفتار روی ذهنیت تأثیر می‌گذارد. خیلی جالب است که برای شما در یک داستانی که بحث لنگرهای ذهنی وجود دارد مثالی بزنم. قاضی‌ها که آدم‌های بسیار باسوادی هستند، چون رشته‌شان تخصصی هست، یک آزمایش روی آن‌ها انجام دادند و یک تاس را که دستکاری شده بود عدد ۳ رویش بود و عدد ۹، که جالب است به

کسانی که برایشان عدد ۹ آمده بود یک مورد مطالعاتی دادند و گفتند روی یک پرونده جنایی کار کنید. کسانی که در تاس عدد ۹ را دیده بودند برای همان پرونده ۸ ماه زندانی بریدند و کسانی که عدد ۳ را دیده بودند به طور متوسط ۵ ماه زندانی بریدند. یعنی این که حتی رفتارهای تصادفی هم ذهنیت ما را تغییر می دهد. حالا برگردیم، این خلاصه ای بود که ببینیم در اقتصاد رفتاری و کاهش حجم مصرف آب و مدیریت تقاضا چه کار می توانیم بکنیم؟ عناصر رفتاری را ما این جا به سه قسمت تقسیم کردیم: اهمیت، هنجارهای اجتماعی، الگوبرداری و اطلاعات. خود هنجارهای اجتماعی گروه های مرجع را مطرح می کند. فاصله های اجتماعی، غفلت های جمعی و پتانسیل ها را. در این جا برجسته سازی خیلی مهم است. یعنی این که نشان داده در کشورهای توسعه یافته کسانی که قبض آبشان را به صورت اتوماتیک از حساب بانکی شان برمی دارند، یا کسانی که مراجعه به بانک و پرداخت می کنند، کسانی که به بانک مراجعه می کنند ۵٪ مصرف آبشان نسبت به کسانی که قبضشان اتوماتیک برداشته می شود کمتر است. این خیلی مهم است، حتی در ارزش افزوده هم همین جور است. بین کسی که اگر ارزش افزوده اش را برود بانک و با فیش پرداخت کند یا اتوماتیک بردارد خیلی تفاوت است. اثر بار اطلاعاتی هست که من از آن می گذرم.

هنجارهای اجتماعی خیلی روی مصرف آب مهم است. شما دقت کنید ما آدم هایی هستیم که دوست داریم به جمع گرایش داشته باشیم، کارهایی که جمع می کند ما هم انجام می دهیم. این خیلی مهم است. به عنوان یک مثال، شما دنبال یک آهنگی هستید در اینترنت که اگر ببینید یک میلیون بار دانلود شده و یک آهنگ دیگر که ۲۰۰۰ بار دانلود شده باشد، قطعاً شما اتوماتیک خودتان می روید دنبال آن آهنگی که یک میلیون بار دانلود شده است. حتی مطالعات نشان داده اگر ۵۰ نفر همین جور بیخودی آسمان را نگاه کنند و ۴ نفر دیگر آن طرف آسمان را نگاه کنند، همه می رویم پیش ۵۰ نفر می ایستیم و آسمان را نگاه می کنیم. پس ما آدم های منطقی نیستیم. تفاوت ها و هم گروهی بودن خیلی مهم است حالا بعداً من ارتباطش می دهم به مدیریت مصرف، کمی به من اجازه بدهید. کسانی که هم دانشگاهی هستند اگر هم اتاقی هایشان درس خوان باشند بچه ها درس خوان می شوند و اگر هم اتاقی شان ضعیف باشد معدلشان پایین است.

هنجار غفلت اجتماعی را بگویم که خیلی مهم است. وضعیتی که اکثریت اعضای گروه به طور خصوصی یک هنجار را رد می کنند، اما به دلایل خاصی فرض می کنند که اکثریت دیگر آن را قبول دارند. یعنی ما در ذات خودمان وقتی تنها هستیم می گوئیم این رفتارها چیست؟ ولی وقتی در جمع می آییم متفاوت است. این در ایران خیلی صادق است. مثلاً در مطالعات در آمریکا نشان داده شده که کسانی که به آن ها آگاهی رسانی کردند، ممکن است

کسانی گفتند مشروبات الکلی بد است ولی میانگین مشروبات الکلی در بین دانشجویان مثلاً فلان درصد است. کسانی که کم مصرف می کردند، خودشان را مقایسه کردند و مصرفشان را بالا بردند و آن هایی که بالا مصرف می کردند، مصرفشان را کم کردند و به میانگین رساندند.

آخرین بحثی که می خواستم اشاره کنم چون وقت تمام شد برمی گردد به کاربرد اقتصاد رفتاری در مدیریت تقاضای آب در شهر کیپ تاون و نتایج قابل توجهی که حاصل شده است را تشریح می کند. متشکرم.

دکتر تابش:

متشکر. البته ما سؤالی که از آقای دکتر کردیم جوابش را نگرفتیم. ما بحثمان این بود که یکی از عوامل مؤثر در کاهش مصرف و نزدیک شدن مصرف موجود به مصرف مطلوب استفاده از بحث تعرفه ها است که در دل آن تعرفه ها، تأثیر قیمت گذاری، درآمد خانوار و بحث اقتصادی بود. حالا امیدواریم که در قسمت دومی که آقای دکتر فرصت می کنند، این نکته اصلی که مدنظر ما در این نشست است را دقیق تر توضیح دهند.

خوب مورد بعدی این هست که، یکی از راه کارها بحث های سیاست گذاری و قانون گذاری ها هست که می تواند در بحث مدیریت مصرف مؤثر باشد. ما این جا در یک قسمت وزارت نیرو مرتب داریم روی مدیریت مصرف، سازگاری با کم آبی و غیره صحبت می کنیم ولی در قسمت دیگر از وزارت نیرو و یا شاید همان افراد روی بحث های جدید دوباره، انتقال آب بین حوضه ای، استفاده از آب دریا و مسائل مختلف دیگری که در حقیقت همان بحث عرضه و تأمین آب است، کماکان به روال سابق دارند کار می کنند. این دو تا تضادی به وجود می آورد که آن کسی که قرار است مصرفش کم شود احساس می کند که بالاخره آبی هم هست. یا دولت خودش را موظف می داند، با هر پولی یا با هر ضرب و زوری که شده، آب را برای مردم فراهم کند و مردم معترض نشوند. بنابراین آن سیاست های مدیریت تقاضا و مصرف، نمی تواند به آن اهداف خودش دست پیدا کند.

از آقای دکتر ضرغامی خواهش می کنیم که با توجه به نقشی هم که در وزارت نیرو دارند این مطلب را برای ما بشکافند که سیاست گذاری که الان در داخل وزارت نیرو می شود چه قدر می تواند کمک کند که این مدیریت مصرف در اصل شکل بگیرد و آن الگوهایی که برای مصرف سرانه داریم به اصطلاح بتوانیم به آن دست پیدا کنیم.



دکتر ضرغامی:

بسم الله الرحمن الرحيم و سلام و تشکر از دعوت بنده، خیلی ممنون از تاثیرگزاری جناب آقای دکتر تابش. آقای سجادی فر کار من را آسان کردند بخشی از مباحثی که بنده می‌خواستم عرض کنم و عمده‌اش روی این است که ما در هر تصمیمی باید از تفکر خطی آگاهانه به سمت تفکر سیستمی برویم و آن این است که بازخورد رفتارها و تصمیم‌هایمان را باید در نظر بگیریم. اگر ما این را در نظر نگیریم اتفاقی که در طرح احیا و لایروبی بخش آب زیرزمینی اتفاق افتاده در ۵ سال اخیر، رخ می‌دهد. این طرح علی‌رغم زحمات فراوان، تأثیر آن‌چنانی در تعادل بخشی در آب‌های زیرزمینی نداشت. چون ما تراز آب زیرزمینی دشت غربی را نگاه کنیم تقریباً با همان شیب، دارد پایین می‌رود. یا باز تصمیم دیگری که به‌نوعی بالا و پایین هست، طرح مطلوبیت کشت برنج خارج از دو استان گیلان و مازندران است. فقط در استان خوزستان در سال آبی گذشته ۱۷۰ هزار هکتار برنج کاشته شده است، درحالی‌که کل شالیزارهای گیلان فقط ۲۰۰ هزار هکتار است.

لذا باید ببینیم اشکال کار کجا است. یعنی ما در اصلاح الگوی مصرفی که در مسئله آب داریم باید حتماً تفکر سیستمی و این بازخورد را ببینیم. راه‌کاری که پیشنهاد می‌شود یکی در اقتصاد رفتاری است. شما موزه آب سنگاپور تشریف ببرید، یک حوضچه‌ای به‌اندازه‌ی ۱۵۰ لیتر درست کرده‌اند و روی آن یک علامت با ماژیک کشیدند که ما باید به ۱۴۰ بیاییم، بچه‌ها و دانش‌آموزهایی که برای بازدید می‌آیند ببینند، ۱۵۰ لیتر چه قدر است و این چه قدر باید در روز پایین بیاید و باید همکاری کنند. ما این را در دانشگاه تبریز آزمایش کردیم و به کمک خود دانشجویها که بعضی‌هایشان آن‌جا حضور دارند و با نصب علائم و تابلوها و نصب پوسترهایی که قابل طرح برای دانشجویها است، یعنی در روحیات آن‌هاست، منظورم شعارهای کلی نیست، بلکه تصاویری که آن‌ها خوششان می‌آید، درک می‌کنند، این کارها را انجام دادیم. هم‌چنین در مورد بخش بعد چون بنده مدیر سبز دانشگاه بوده و هستم، در بخش برق، خود دانشجویها با هم صحبت کردند و ارزش‌هایشان را با هم به اشتراک گذاشتند. یکی از دانشجویها چنین جمله‌ای گفته بود که من در طول دو سالی که در این خوابگاه هستم، هیچ کلیدی را خاموش یا روشن نکرده‌ام. یعنی فقط آمدم و رفتم. چون تمام حمام‌ها، تمام سرویس‌ها

همیشه چراغ‌هایشان روشن است، یعنی می‌گفت اصلاً این که شما به من می‌گویید اولین بار است که من متوجه می‌شوم که چنین چیزی هم مهم است که من خاموش کنم.

مطلب بسیار مهم در مورد قانون‌گذاری، تنظیم‌گری است. تنظیم‌گری را این‌جوری عرض کنم که عزیزان اشاره کردند که شرکت آب و فاضلاب به‌عنوان دوستدار درآمدزایی که به‌نوعی در واقع بخش خصوصی هستند خیلی تمایل ندارند که مصرف، نه مصرف پایه بلکه مصرف بخش جریمه کم شود، چون درآمد خیلی بیشتری دارد. در این‌جا چند تا مطلب سیاستی پیش می‌آید. یکی این که چه رابطه‌ای بین شرکت آب و فاضلاب با شورای شهر و مجلس شورای اسلامی وجود دارد؟ این‌ها باید تنظیم بشود. از آن جالب‌تر در تلفیق بین آب و فاضلاب شهری و آب و فاضلاب روستایی که موضوع داغ وزارت نیرو است، این مطلب پیش می‌آید که چگونه یک بخش دولتی با یک بخش خصوصی تلفیق می‌شود و تنظیم‌گری بین آن‌ها باید چگونه باشد؟ داخل در پراتز، ما چون در دانشگاه تهران و در دانشکده وزین فنی هستیم، درخواست ما از علمای بزرگوار، از اساتید و دانشجویان این است که پایان‌نامه‌شان را به‌سمت این‌جور سوالات بیاورند. من فقط دو تا موضوع پایان‌نامه را از دانشگاه‌های ایران، جدید عرض کنم به شما، که در دانشکده محیط‌زیست یکی از دانشگاه‌ها موضوع پایان‌نامه این بوده است که آلودگی هوای شهر یکی از ایالت‌های اوهایو آمریکا چی بوده است؟ من به این‌ها عرض کردم که لااقل شما این را انگلیسی می‌نوشتید که در آمریکا به‌درد بخورد. شما در این‌جا این‌را به فارسی نوشتید به‌چه درد می‌خورد؟ فقط تنها دلیلش این بود که این دانشجو راحت این سیر زمانی را از آن سایت دانلود کند و کار پایان‌نامه را انجام بدهد. لذا ما موضوعات بسیار جدی در تنظیم‌گری بخش آب و فاضلاب داریم. در عواملی که خود الگوی مصرف در واقع در رفتار شرکت آب تأثیر دارند و بسیار پیچیده و مهم و یک موضوع بسیار سنگین روی دوش وزارت نیرو است، مطالبات انباشته بسیار سنگین آب منطقه‌ای‌ها از شرکت آب و فاضلاب است و هم‌چنین مطالبات بین شرکت‌های آب منطقه‌ای و برق منطقه‌ای. این سه تا به‌شدت درهم تنیده است و به‌صورت تجمعی این مطالبات بالا می‌رود و روی تصمیمات رفتاری این نهادها تأثیر می‌گذارد.

موضوع بعدی و آخرین عرضم در این بخش از صحبت‌ها بحث انتقال بین حوضه‌ای آب است. دیدگاه سنتی حاکم بر انتقال بین حوضه‌ای آب، دیدگاه درستی است و آن این است که طبق قانون توزیع عادلانه آب، وزارت نیرو مکلف است که برای هر ایرانی در هر کجا که هست آب شرب تامین کند. دیدگاه مقدسی است. در عین حال، تامین این آب، به‌هر قیمتی و از هر جایی، از دید سیستمی یک اشکالی که ایجاد می‌کند این است که منی که در یزد هستیم، منی که در خراسان جنوبی هستیم و یا شاید در

که باید ما در مسئولیت مصرف داشته باشیم تضاد دارد. در حقیقت ما هرچه بحث‌های الگوهای رفتاری را داریم ترویج می‌کنیم، عملاً داریم در دو تا نهاد مهم یکی مساجد و یکی مدارس، ما نهاد راه می‌اندازیم، در مدارس کارت می‌دهیم، بچه‌ها را تشویق می‌کنیم که مصرف را کاهش بدهند، بعد می‌بینیم که در مدارس در همان محلی که داریم آموزش می‌دهیم، عکسش را انجام می‌دهیم. من خواهم این است که حداقل این سیاست‌گذاری را در سال‌های آتی در بحث مدیریت مصرف مصارف معاف از قیمت، مدنظر داشته باشند. متشکرم.



دکتر طالب بیدختی:

استفاده بردیم. دستتان درد نکند. خیلی ممنون. حالا چند نکته هست. دو تا شهر است یکی شهر درسدن آلمان هست که تقریباً قبل از این که آلمان غربی و شرقی با هم متحد بشوند، وضعیتی مثل ما داشت. یعنی مصرف آبش بسیار بالا بود و با اقداماتی که انجام دادند، مصرفشان را به نزدیک ۹۰ لیتر برای هر نفر در روز رساندند و این اقداماتی که انجام دادند بخشی از آن بحث آموزش بود که حالا دکتر و دوستان مطرح کردند که بسیار حائز اهمیت است. به علاوه مشوق‌هایی که در این زمینه گذاشتند، آن مشوق‌ها بسیار با اهمیت است و نهایتاً رفتند روی قیمت واقعی آب. یعنی قبلاً مثلاً چیزی در حد همین قیمتی که ما الان می‌گیریم و الان آب و فاضلابی که دارد مصرف می‌شود، مترمکعبی حدود ۴/۵ یورو خواهد بود. در کالیفرنیا دوباره تجربه‌ای که انجام دادند بعد از این ۵ سال خشکسالی که داشتند، این بود که شما هر جایی می‌رفتی، در پارک، در خیابان، در ادارات دولتی، می‌دید که بحران آب هست، بحران جدی هست، همه باید بدانند و در کنار بحث مشوقاتی که بوده، بحث تنبیه‌های اساسی هم وجود داشت. نکته بعدی که حالا بحثش خیلی شاید مطرح نشد، این روزها بحث شهر هوشمند خیلی مطرح است. شهر هوشمند یکی از بخش‌های مهمش بحث شبکه آب و فاضلاب است که این شبکه هم باید هوشمند شود با استفاده از تکنولوژی فناوری ارتباطات اطلاعاتی و اینترنت اشیا. این هم از آن چیزهایی هست که به‌نظر می‌آید باید دیده شود. مسئولین باید ببینند و

شهرهای دیگر، اگر من مصرف عادی داشته باشم و هر جور دوست داشته باشم آب مصرف کنم، دولت قادر است که برود حتی از دریای عمان برای من آب بیاورد یا از خرس چال آب بیاورد، با تونل‌هایی که ۷۰ کیلومتر طول دارد و این باعث می‌شود که هیچ تلنگری در رفتار من ایجاد نشود. ما اگر می‌خواهیم به یک شهری آب بیاوریم، چه‌گونه می‌توانیم شهر مبدا و مقصد را در تبعات آن شریک و سهیم کنیم؟ شهر مبدا را در منافعش و شهر مقصد را در هزینه‌های آن. آن وقت تصمیم‌ها خیلی بهینه و عاقلانه‌تر خواهد بود.

مطلبی در همین بحث تنظیم‌گری در ادامه کار، پیشنهادی که من جمع‌بندی بکنم در عریضم این است که در قبوضی که صادر می‌شود توسط شرکت آب و فاضلاب کشوری و هم‌چنین در قبوض دیگر، ما می‌توانیم هزینه‌های واقعی آب را در آنجا بیاوریم. نه از مردم نمی‌گیریم الان. درسته، شرایط را من درک می‌کنم. ولی انعکاس بدهیم که این آب با انتقال بین حوضه‌ای به‌دست آمده‌است، در شهر تبریز از زرینه‌رود آمده‌است، در مشهد از سد دوستی آمده، از جای دیگر، این هزینه‌اش به قیمت امروز این‌قدر است. این کمک می‌کند که در واقع ما بتوانیم مردم را هم حداقل از لحاظ روانی درگیر در این کار بکنیم.

مهندس انتظام:

خیلی متشکر از رعایت وقت. ما چون در حقیقت یک جدول زمان‌بندی داریم، تعدادی از دوستان می‌توانند در این حوزه مباحثشان را مطرح بکنند و سوالاتشان را از شرکت کنندگان محترم با توجه به حوزه‌ای که روی آن بحث کردند و مباحثی را که مطرح کردند، آن سوالات را اگر مشخصاً از فرد خاصی هم هست، بفرمایند.

سوال:

بسم الله الرحمن الرحيم. ضمن عرض سلام و خسته نباشید به همکاران و دست اندرکاران این همایش. سیاستی که الان وزارت نیرو دنبال می‌کند و یکی از سیاست‌هایی که الان مجلس هم تصویب کرده، بحث معافیت‌های مصارف کاربری‌هایی مثل مساجد و مدارس است. ما از یک‌طرف می‌آییم کلی هزینه برای روابط عمومی‌هایمان می‌کنیم. می‌آییم همایش‌های مدیریت مصرف برگزار می‌کنیم و از طرف دیگر می‌آییم این کاربری‌ها را معاف می‌کنیم. در حقیقت همان الگوهای رفتاری را خودمان داریم نقض می‌کنیم. از یک طرف می‌گوییم مساجد آبشان رایگان باشد، بعد در مساجد که یک محل فرهنگی هست، در کنارشان رستوران می‌زنند و آب را به مقدار مختلف مصرف می‌کنند و در حقیقت یک الگوی مصرف‌گرایی را عملاً داریم آموزش می‌دهیم. در حقیقت سیاستی که وزارت نیرو دارد دنبال می‌کند با سیاستی

تشکر می‌کنم من از جنابعالی. راجع به کولر: یک بحث چندوجهی هست. کلاً در حوزه مصرف صرفاً وزارت نیرو و شرکت آب و فاضلاب پاسخگو نیستند. بلکه ما کارهایی هم کردیم. زمینه کولر مطالعاتی شده، میزان مصرف شناسایی شده است. یکی از راه‌کارها و اقداماتی که شده استفاده از سایبان کولر بوده که می‌تواند تا ۲۰ درصد در مصرف کولر صرفه‌جویی کند. تدوین استاندارد یا به‌نوعی برچسب آب برای کولرهای آبی در دستور کار وزارت نیرو قرار گرفته‌است و جلسات متعددی برگزار کردیم، ان‌شاءالله آن‌هم منتشر خواهد شد. منتها موضوع اصلی که هست ورود به مقوله داخل املاک است. ما می‌توانیم توصیه بکنیم، می‌توانیم از مسیر قانون‌گذاری ورود پیدا بکنیم، ولی ما نمی‌توانیم ورود پیدا کنیم به وسیله‌ای که آن فرد برای خودش انتخاب کرده و در رفتار آن فرد تاثیرگذار است. حتماً همراهی وزارت صنعت، معدن، تجارت را می‌طلبد. وزارت صنایع باید ورود جدی کند بر کنترل تولیدکنندگان کولر. این‌ها بعد از این‌که ما برچسب آب را تدوین کردیم هیچ ضمانت اجرایی ندارند. ما، برچسب آب را تدوین کردیم ولی اصلاً در تولید رعایت نشده است. این‌ها را باید کنترل بکند. همکاران ما شاید الان حضور داشته‌باشند، حتی تست کردند که کولرهای آبی را، رنگ آبی را عوض کردند و رنگ سفید زدند و بسیار در عدم جذب حرارت خورشید موثر بود. راهکارهای متعددی هست. بخشی از آن، در حوزه وزارت نیرو مصداق پیدا می‌کند که ما پیگیرش هستیم.

دکتر سجادی‌فر:

خدمت شما عرض شود که خیلی سوال خوبی بود. آقای دکتر طالب بیدختی نکته‌ای را اشاره کردند و آن دوستان هم اشاره کردند. بلکه، این معافیت‌های مدارس و مساجد کاملاً اشتباه است. اگر می‌خواستند بدهند، باید حداقل یک مکانیزم دیگری می‌گذاشتند. وقتی شما یک چیزی را معاف می‌کنید، دیگر به مصرف‌کننده سیگنال نمی‌دهد، درست است. بحثی که دوستان اشاره کردند در مورد کولرها من کلی می‌خواهم بگویم نه روی بحث کولر. بلکه روی بحث لوازم کاهنده مصرف هم هست. چون قیمت آب در ایران پایین است هیچ‌کدام از این طرح‌ها اقتصادی نیست و تا زمانی که طرحی اقتصادی نباشد، هیچ پیشرفتی هم حاصل نمی‌شود. یک ایرادی که ما داریم، همه چیز را ما از دولت می‌خواهیم. یک دولتی داریم که در همه چیز دخالت می‌کند. این‌جوری نیست. دولت اگر کارا بود در کشورهای سوسیالیستی و کمونیستی، الان باید بهترین می‌بودند. ولی هر کجا که دولت دامنه نفوذش بالاتر بوده، وضع مردم هم بدتر بوده است. این ایراد اساسی‌اش روی این است که قیمت آب پایین است.

این‌را مورد کمک قرار بدهند. حالا من خیلی نمی‌خواهم وقت بگیرم. جزئیات این‌هم هست. یعنی به‌نوعی با استفاده از تکنولوژی فناوری ارتباطات شما می‌توانید یک پایش دقیق داشته باشید و بتوانیم کاهش‌های جدی داشته باشیم. یک بحثی باز در ایران در برخی مناطق بسیار مهم است که بحث استفاده از سیستم‌های سنتی استحصال آب است که در طولانی‌مدت وجود داشته است. مثلاً در مناطق جنوبی فارس و بندرعباس و آن مناطق، آب انبارها که در مواقع اضطراری می‌شود استفاده کرد. این‌ها را باید دید. به‌علاوه آن بحثی که وجود دارد در رابطه با سیستم برداشت آب باران در منازل شهرها. آن‌هم یک چیزی هست که واقعاً می‌تواند در این زمینه به ما کمک کند. نکته دیگری بگویم بیشتر از این وقتتان را نمی‌گیرم. سیاست‌ها و برنامه‌هایی که دولت دارد، بازنگری در این زمینه بسیار مهم است. به‌علاوه بحث قوانین و مقررات و آخرین نکته‌ای که باز امروز کمتر صحبت شد، که آقای دکتر یک اشاره‌ای داشتند به آن، در ارتباط با بودجه‌هایی که باید گذاشته شود برای تحقیقات و این‌هم از آن چیزهایی است که بسیار مهم است و ما فقط نمی‌توانیم بگوییم که واقعاً آب و فاضلاب یا وزارت نیرو نیازی ندارد که دانشگاه‌ها در این زمینه تحقیقاتی انجام بدهند و تحقیقاتی هم که انجام می‌شود همه‌اش می‌آید و در کتابخانه‌ها قرار می‌گیرد. خیلی ممنون.

مهندس تقی‌پور، دانشجوی ارشد محیط‌زیست در پژوهشکده فناوری ریاست جمهوری

بسم الله الرحمن الرحيم. ضمن عرض سلام. من یک نکته‌ای را می‌خواهم عرض بکنم که سوالم مشخصاً از اطلاعات آقایان مهندس سیدزاده و دکتر جلیلی است. من یک خواهشی که دارم این است که خانم دکتر زهرایی تاکید کردند الان، که در این جمع بین مصرف و برداشت تفاوت قائل نشویم. من خواهم این است که وقتی می‌گوییم ۴ میلیارد مترمکعب آب مصرف، این برداشت است و بحثی که آقای دکتر جلیلی می‌فرمایند ۴۳ لیتر حمام، این برداشت است، ولی ۲۰ لیتر کولر مصرف است. من می‌خواهم این را بگویم که آقای مهندس سیدزاده یک برنامه مشخصی برای کولر ندارند؟ چون که کولر مشخصاً اگر تخصصی حرف بزنیم ردپای آبی دارد، ولی استحمام و مصارف خانگی، بیشتر ردپای آب خاکستری دارند و این است که کولر را اگر ما بیشتر تمرکز بکنیم، محاسبه‌ای که ما داشتیم این است که حدوداً ۳۲۰ میلیون لیتر مصرف می‌کند، به معنای واقعی کلمه مصرف. آن آب می‌رود، تبخیر می‌شود، ولی دیگر بخش آب خاکستری را نداریم. خواستم ببینم برنامه‌ای برای این‌که حالا تغییر بدهند، وای بدهند، یک یارانه‌ای باشد که این تبدیل بشود به کولرهای گازی و این‌ها؟ خیلی متشکر.



مهندس اعلائی (شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان):

بسم الله الرحمن الرحيم. با عرض سلام و خسته نباشید. یک موردی که به نظر من شاید مغفول واقع شده، بحث واقعی سازی و شفاف سازی منابع تولید هست. معمولاً ما در فروش، با توجه به این که فروش حساس هست و عملاً بحث های مالی ما را به دنبال دارد. به جز کنتور خراب و مواردی که انشعابات غیرمجاز است، بقیه موارد در ایران شفاف است. اما منابع تولید با توجه به این که گستردگی بیش از حدی دارد و در نقاطی واقع شده که شاید قابل ایجاد زیرساخت نباشد، ما مشکلاتی را در این باره داریم. مهم تر از آن بحث منابع مالی برای تامین کنتورهای هوشمند است. پیشنهاد این است که اگر آقای مهندس سیدزاده نسبت به این موضوع عنایت ویژه داشته باشند که از منابع عمرانی فارغ از منابع داخلی استان ها این تامین شود و الزام بشود به این که از بستر اینترنت استفاده بشود و در جاهایی که اینترنت نیست حالا به هر صورت، از پیامک استفاده بشود و نظارت مستقیم آبفای کشور بتواند این موضوع را واقعی بکند. الان آماری که ما اینجا مشاهده می کنیم، واقعیت امر این است که شاید در برخی موارد انحراف داشته باشد. امیدواریم که راجع به این موضوع تصمیم اساسی گرفته بشود و این شفاف سازی بشود. ممنونم.

مهندس سیدزاده:

یکی از سیاست های شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، کنتوردار کردن منابع تامین یا شبکه توزیع است که این در دستور کار تمام شرکت ها قرار دارد. سعی کردیم بخشی از این منابع طرح های ملی را به این سمت هدایت بکنیم. به عنوان مثال اعتباراتی که برای طرح ملی هدررفت در هر سال تخصیص داده می شود، اولویت را در گام اول با کنتوردار کردن منابع گذاشتیم. مستحضر هستید که ما چیزی در حدود ۷۵ درصد منابع تامین مان کنتور دارند و حدوداً ۲۵ تا ۲۸ درصد بدون کنتور هستند. برآورد اولیه ای که کردیم بالغ بر سه هزار میلیارد تومان اعتبار بابت کنتوردار کردن تمام این منابع تامین، نیاز هست. قطعاً باید سیاست های دولت به این سمت برود که کمک بکند، ولی در سیاست های شرکت آب و فاضلاب هست. اندازه گیری مهم ترین گام در تمام این محاسبات هست. ان شاء الله که اگر اعتبار بیشتری تخصیص داده بشود این موضوع در اولویت در بحث های آب بدون درآمد، فروش و تولید هست.

بسم الله الرحمن الرحيم. سلام عرض می کنم خدمت شما و حضار محترم. از سوال های شما این جوری برداشت کردم که شما به عنوان پروژه قرار است کار آماری انجام بدهید و زیاد به دنبال اندازه گیری میدانی نخواهید بود. اگر برداشتم درست است می خواهم بگویم که ما یک مطالعه ای انجام دادیم چند سال پیش، در قالب یک پایان نامه کارشناسی ارشد انجام شد. مسئول شبکه آب یکی از شهرهای استان بود. یک سری امکانات فراهم شد که بتوانیم اندازه گیری هایی انجام بدهیم، ما دو سه تا خانه را حساب کردیم روی قسمت های مختلف لوله آمدم کنتور نصب کردیم، تا ببینیم اجزای آب خانگی شرایطش چه گونه است. یک کمی مشکل داشت چون صاحب خانه ها می گفتند بیا این ها را جمع کنید ببرید، ما اذیت می شویم. این اندازه گیری هایی که ما کردیم، انطباق زیادی با آن مقادیری که قبلاً به دست آوردیم نداشت. به نظر من شما در پروژه تان اگر واقعا قرار است یک کار خوب انجام شود، حتماً باید اندازه گیری های میدانی در شهرهای مختلف با همکاری شرکت های آب و فاضلاب انجام شود. چون اجزای آب خانگی چیزی نیست که در نشریه ۳-۱۱۷ است و خیلی متفاوت است.

دکتر جلیلی قاضی زاده:

خیلی ممنون آقای دکتر شیرزاد. دقیقاً فرمایش شما صحیح است. یعنی ما باید اندازه گیری میدانی انجام بدهیم. من هم آن داده هایی که در آورده بودم از اندازه گیری های میدانی بود. من بیشتر آن روش را می خواستم بگویم که چون شهرها اقلیم های مختلف دارند، بعضی ها کولر دارند، بعضی ها ندارند، بعضی ها کولر گازی دارند، بعضی ها ندارند، بعضی ها ویلایی هستند، بعضی ها آپارتمانی اند، ما باید یک پایه مصرف تعریف کنیم. بعد اگر شهری فرض کنید این ضرایب را دارد، اضافه کنیم و قطعاً این کار از داده های میدانی است و همان طوری که باز آقای دکتر و همکاران فرمودند، خیلی تحقیقات در این زمینه کم است. اصلاً بحث یکی، دو تا، پنج تا، کافی نیست. چون این قدر شرایط متفاوت است، ما این همه در دانشگاه کار انجام می دهیم ولی پایان نامه هایی که واقعا این مشکل را حل کند، از تعداد انگشتان یک دست بیشتر نبوده اند.

دکتر ضرغامی:

به مطلبی اشاره شد که این معافیت را مجلس تحمیل کرده است. یعنی وزارت نیرو خودش دنبال این کار نرفته بلکه مجلس خواسته است. مثل این قضیه در حذف حق النظاره آب های زیرزمینی هم هست و این باز از بعد حکمرانی، داشتن مجلس چیز خوبی است و در عین حال، این ایراد هم در این قضیه وجود دارد که مجلس می تواند تنظیمات و تغییرات تعرفه ها را تحمیل کند و یک بازنگری در این ایجاد فشار و زور مجلس به دولت نیاز هست. مسائل مبتلا به دیگری هست و اگر وزیر این را قبول نکند تا حد استیضاح کار جلو می رود.

آب در کشور ایران در سال ۱۳۸۳ در حدود ۳۳ درصد بوده و الان رسیده به ۲۴/۸ و روند، کاهشی بوده است. میانگین کشورهای درحال توسعه ۳۵ درصد است، ما خیلی بهتر هستیم. توسعه یافته ۱۵ درصد است. هدف ما رسیدن به آن توسعه یافته است، ولی زیرساخت لازم دارد. ولی روند کاهشی بوده است. بله همان جوری که فرمودید اهواز و خوزستان در آن آماری که بدون احتساب آن بخش هدر رفت ظاهری بود، به عنوان مثال خوزستان بود ۱۳۷ لیتر به ازای هر نفر در شبانه روز، هدر رفت ظاهری که اضافه شد ۲۰۶ شد. اهواز بود ۱۶۰ با هدر رفت ظاهری فقط ۲۷۲. بله در خوزستان و اهواز میزان هدررفت بالا هست و بحثی در آن نیست. باید اقداماتی بکنیم ان شاء الله کاهش پیدا کند.

دکتر تابش:

با توجه به این که فرصت ما تمام شده، من فقط از دوستان عضو میزگرد خواهش می کنم ظرف دو دقیقه هر کدام با توجه به مسائلی که مطرح شد و مباحثی که در قسمت قبلی، خودشان مطرح کردند، یک جمع بندی روی آن موضوعی که صحبت کردند بفرمایند.

دکتر جلیلی قاضی زاده:

من فقط یک نکته ای را بگویم. فردا اینجا میزگردی هست راجع به آب خاکستری و خیلی فکر کنم بحث جالبی باشد. چون موافقان و مخالفان زیادی دارد. جمع بندی اگر بخواهیم بکنیم: بحث تعاریف و شفاف سازی بسیار مهم هست که اشاره شد. موضوع شفاف سازی داده ها باز بسیار مهم است. همان طور که دوستان گفتند گاهی ما روی منابع تولید، کنترل نداریم. گاهی داده هایمان، شفاف و دقیق نیست، چون اگر داده، دقیق نباشد کار روی داده های غیردقیق خیلی مشکل است. اشاره شد به تحقیقاتی که ما نیاز داریم در زمینه مدیریت مصرف داشته باشیم که بیشتر کار کنیم و آن موضوعی که آقای دکتر طالب بیدختی فرمودند بحث شبکه های هوشمند بحث مهمی هست. فقط من عرض کنم که ما در واقع بعد از این که به الگوی مصرف رسیدیم چه گونه به آن عدد برسیم، رویکردهای مختلفی هست. رویکردهای فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و بحث قانون گذاری که اشاره شد.

دکتر سجادی فر:

خیلی ممنون. من عاقدانه بحث را جای دیگر بردم. چون دقیقاً همین سوال را در دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب که در اصفهان برگزار شد، من توضیح دادم. من زیاد در مورد قیمت گذاری کارآمد نوشته ام. می خواستم یک بحث جدیدتری را باز بکنم که بگویم همایش اقتصاد نیست. همین طوری که خانم مهندس هم اشاره کردند بحث قیمت گذاری آب در ایران درست نمی شود و به همین منوال ادامه خواهد داشت. به خاطر همین است که من هم رویکردم را عوض کردم. هر چند که شرط لازم برای بهینه سازی مصرف آب، اصلاح قیمت ها است. حالا من نمی گویم کم و زیادش و

با تشکر از مطالبی که ارائه شد. نموداری که در سخنرانی اول، آقای دکتر نشان دادند، یک نموداری بود که اکثر مصارف را نشان می داد. مصارف خانگی و مصارف غیرخانگی. آن بخشی که مصارف غیرخانگی بود بالاترین مصرف غیرخانگی فضای سبز بود. من تا آن جایی که یادم هست از ۱۰-۱۵ سال پیش، یکی از سیاست های وزارت نیرو این بوده که از آب شرب و تصفیه شده که وارد شبکه می شود، برای فضای سبز استفاده نشود. واقعاً جای تاسف است که بعد از این همه سال، ما می بینیم که این امر اجرا نشده و هنوز بالاترین رقم را در مصارف غیرخانگی، یکی فضای سبز تشکیل می دهد و یکی هم تلفات آب. یعنی همین نشان می دهد اگر ما تلفات آب و همان فضای سبز را کاهش دهیم. حداقل کاری که می توانیم انجام بدهیم، چه قدر می توانیم در کاهش مصرف دخالت داشته باشیم؟ در بخش دیگری یک نمودار دیگری باز نشان داده شد که تهران و البرز بالاترین مصرف را داشت و اتفاقاً خوزستان و به خصوص اهواز کمترین مصرف را داشت و بعد در سخنرانی بعد خوزستان بالاترین مصرف را داشت. این نشان می دهد که چه قدر میزان تلفات در خوزستان و اهواز زیاد باید باشد که این قدر اختلاف داشته باشد. در نمودار اول که مصارف را بدون تلفات نشان دادند، تعجب آور بود که چه طور اهواز که هوا گرم است جزو پایین ترین مصارف قرار گرفته ولی در نمودار بعد که تلفات را حساب کردند، دیدیم که اهواز و خوزستان در رتبه های اول قرار داشتند. این نشان می دهد که نقش سیاست گذاری در کاهش تلفات چه قدر می تواند موثر باشد. بعد یک پیشنهاد دیگر هم در رابطه با بخش خانگی استفاده از آب های خاکستری، یعنی آبی که برای شستشو هست. اگر این بتواند در سیستم های ساختمان به فلاش تانک ها برگشت داده بشود، یک مقدار زیادی این می تواند موثر باشد، چون لزومی ندارد که فلاش تانک ها از آب تصفیه شده پر شده باشند. این می تواند حداقل در ساختمان های بزرگ و جاهایی که مصارفش بالا هست به کار برده بشود.

مهندس سیدزاده:

من یکی یکی پاسخ بدهم. برای فضای سبز یکی از برنامه های ما جداسازی آبیاری فضای سبز از آب شرب است. تفاهم نامه ای با وزارت کشور سالیان گذشته مبادله شده و در این تفاهم نامه مقرر شده در صورت وجود منابع آبی غیرقابل شرب این را وزارت نیرو در اختیار بگذارد و آن ها جدا کنند. کارهای زیادی شد در شهرهایی که منابع آبی غیرقابل شرب وجود داشت. منتها فضای سبز یک موضوعی است که دوستان ما در محیط زیست و در سازمان شهرداری می گویند موضوع هوا مهم تر از آب هست و برای تنفس لازم است و برای آلودگی شهرها نمی شود فضای سبز را خشک کرد ولی باید دنبال راه کارهای جایگزین، استفاده از پساب و استفاده از چاه های غیرقابل شرب در مناطقی که این امکانات وجود دارد، انجام و تسهیل شود. موضوع بعدی که فرمودید تلفات آب، من لازم است ذکر کنم تلفات

ساختارش چه گونه باشد. ولی من امیدوار نیستم که این قیمت گذاری درست بشود. به خاطر همین است که رویکردهایمان را در کشورهای در حال توسعه باید از سمت قیمت گذاری به جاهایی که ممکن است، تغییر بدهیم.

یکی از این ها اقتصاد رفتاری است. من خدمت شما عرض کردم که در شهر کیپ تاون، آن ها هم در گزارششان اشاره کردند که بانک جهانی برایشان انجام داده است. یک پروژه تقریباً صدوپنجاه هزار دلاری بوده. آن جا هم گفتند که چون ما اگر بخواهیم قیمت را زیاد بکنیم ممکن است تنش های اجتماعی ایجاد بکند و برای این تنش های اجتماعی باید راه کار پیدا کنیم. یکی از این راه کارها اقتصاد رفتاری هست. سیاست هایی که در آن شهر پیاده کردند، این است که میانگین مصرف خانوار برای ماه گذشته شان را در قبض هایشان ارائه دادند. باز در قبض ها میانگین مصرف خانواده را با میانگین منطقه شان مقایسه کردند. میانگین مصرف خانواده را با کارآمدترین نوع مصرف در منطقه شان، مقایسه کردند. یعنی کسی که هم تعداد اعضای خانوارش عین من است ولی مصرفش از من کمتر است. این ها را به علاوه نکات صرفه جویی و روش های کاهش مصرف ضمیمه قبض هایشان کردند. یکبار ماهانه و یکبار سالانه انجام دادند. نتایج پژوهش واقعاً جالب توجه بود. نشان داده است که اقتصاد رفتاری بدون هیچ گونه فشار سیاسی و تنش سیاسی و اضافه کردن هزینه ها به مردم در شهر کیپ تاون، ۴ لیتر در شبانه روز به ازای هر مشترک از کل حجم مصرفی آب کم شده است. نشان دادند که صرفه جویی حاصل از اعمال عناصر رفتاری نیم درصد مجموع کل مصرف در آن شهر بوده است. شهر کیپ تاون سه میلیون و نهصد هزار نفر جمعیت دارد. یک میلیون خانوار دارد و مصرف، سیصد میلیون مترمکعب در سال است. شما همین صرفه جویی نیم درصدی را که نگاه بکنید، یک میلیون و پانصد هزار مترمکعب توانسته اند مصرف آب را کاهش بدهند. خیلی مهم است چون این شهر میانگین مصرفش هم خیلی پایین است، چون شهر مشکل داری است. به طور کلی چون آب قابل عرضه ندارد، پس میانگینش هم قطعاً کم است. من یک حساب سرانگشتی کردم اگر این کار را می خواستیم در ایران انجام دهیم یعنی نیم درصد مصرف را کاهش بدهیم، چیزی حدود ۱۶ تا ۲۵ درصد باید قیمت آب را اضافه می کردیم با شرط این که همه عوامل ثابت باشند. یعنی درآمد خانوار تغییر نکند، دما تغییر نکند. به خاطر همین، من خواهش می کنم از آقای مهندس سیدزاده که در بحث مدیریت مصرف، به عناصر رفتاری توجه ویژه ای بکنند. هرچند که ممکن است که شرکت های آب و فاضلاب با این ها موافق نباشند، چون ممکن است درآمدهایشان را کاهش بدهد. ولی این نگاه کوتاه مدت است. ما اگر می خواهیم یک نگاه بلندمدت اجتماعی داشته باشیم، چاره ای نداریم جز این که میزان مصرف آب را کاهش بدهیم و از آن طرف هم به بحث قیمت ها باید اشاره کنم. آب یک کالای کم کشش است. این هم از نظر تئوری و هم از نظر عملی نشان داده شده است. یعنی شما اگر ۱۰ درصد قیمت آب را زیاد کنید، به احتمال بسیار زیاد مصرفتان کمتر از ۱۰ درصد کاهش پیدا

می کند. مثلاً ما نشان دادیم در ایران در جاهای مختلف تقریباً بین ۰/۴ تا حداکثر ۰/۴ هم داشتیم. یعنی در بهترین شرایط شما اگر ۱۰ درصد قیمت آب را زیاد کنید و همه چیز ثابت باشد، ۴ درصد می توانید مصرف آب را کاهش بدهید و این نکته ای است که واقعاً باید به اقتصاد رفتاری نگاه کنیم. نگویید این ها کارهای لوکسی هستند یا دانشگاهی هستند. دنیا دارد از آن ها در مدیریت مصرف انرژی و مدیریت مصرف آب استفاده می کند.

دکتر ضرغامی:

من از بعد علاقه مندی به این بحث، عبارتی که استفاده کردم اسمش تغییر پرستیژ مدیریتی هست. چه طور ما برای طرح انتقال آب حاضریم بیست هزار میلیارد تومان تا صد هزار میلیارد تومان خرج کنیم، ولی برای کل تعویض کنتورهای فرسوده که حدود تقریباً سه هزار میلیارد تومان می شود، حاضر نیستیم خرج کنیم. علت این قضیه به طور کلی مربوط به دولت نیست و مربوط به پرستیژ مدیریتی افتتاح طرح های بزرگ است. چه گونه قابل حل است؟ در صورتی که تحت مطالبه مردم باشد. مردم بخواهند. رسانه ها و دانشگاه هایی ها بگویند این مهم است نه آن. لذا ما در تغییر الگوی مصرف با توجه به این که حسابداری آب به خصوص در مصرف شهری و خانگی را نداریم تا کنتورها عوض بشود، لازم داریم که مطالباتمان عوض بشود. دوم در این پنج شش سال اخیر کلی شرکت های دانش بنیان جوان نوپا با کمک علم اطلاعات در زمینه آب بالا آمدند و شرکت زدند و باید حمایت بشوند. این ها الان استحضار دارید که فقط در سال گذشته آمازون، ۱۶۵ میلیارد دلار درآمدش، نه فروشش، بوده است. این عدد بالا را این ها از همین علم اطلاعات به دست آوردند. مثلاً شرکت اسنپ شبانه روز چقدر اطلاعات به اپلیکیشن هایشان وصل می شود. ما خیلی از این اطلاعاتی که صحبت شد را لازم نیست برویم داخل خانه مردم کنتور بگذاریم. بلکه روش دیگری هست که این ها را می توانند از آن طریق تخمین زده و برآورد کنند. من خواهم این است که از این ها کمک گرفته بشود و توجه کنیم. مطلب سوم و آخر، بحث نظام مهندسی ساختمان است و آن، این است که در نظام مهندسی ساختمان، می دانید به نوعی این ها نهادهای مردمی هستند، نه نهادهای دولتی. تجمع نخبگان مهندسی شهری اند. با قدرت تمام، آن ها توجه دارند که بتن چه ترکیبی داشته باشد، اتصال فولاد در تیر و ستون چه باشد. ولی واقعیت، توجه خیلی کمی به معماری داخل ساختمان به خصوص از بُعد مصرف حامل های انرژی در این نظام مهندسی هست. ما باید از طیف دانشجویانی که می روند به نظام مهندسی، بخواهیم که به این مسئله توجه کنند. من بخواهم مثال عرض بکنم این است که پکیج در یک آپارتمان کجا باشد، کلی تأثیر در مصرف آب دارد. خیلی ساده است، تا این آب را باز کنید تا گرم شود در همه خانه ها ۲۰-۳۰ لیتر آب همین جوری هدر می رود. با یک طرح مهندسی و توجه به این مسئله می شود این ها را اصلاح کرد.

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



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی عمران

عنوان: انتخاب گزینه برتر بازیافت پساب با استفاده از تحلیل پایداری چرخه عمر

نگارش: علی آخوندی

استاد راهنما: دکتر سارا نظیف

تاریخ: دی ماه ۱۳۹۴

چکیده

تخصیص پساب اولویت‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از روش‌هایی نظیر ارزیابی چرخه عمر، ارزیابی هزینه‌های چرخه عمر و همین‌طور ارزیابی‌های فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی، سیستم برتر تصفیه پساب را براساس اصول توسعه پایدار از میان سیستم‌هایی که توانایی تصفیه و تولید پساب با سطح کیفی مشخص شده توسط استانداردهای بازیافت پساب را دارند، تعیین می‌شود. در پایان به‌عنوان مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران مورد تحلیل قرار می‌گیرد. بر این اساس تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی به‌عنوان اولویت اول اختصاص پساب شناخته شد و پس از آن به‌ترتیب پالایشگاه نفت، شهرک صنعتی شمس‌آباد و شهرک صنعتی پرند دارای اولویت‌های بعدی اختصاص پساب هستند. میزان پساب باقی‌مانده پس از اختصاص به این موارد نیز باید به کشاورزی اختصاص یابد. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که در تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، صنعت (بخش آب خنک‌کننده و آب سایر صنایع)، صنعت (بخش آب جبرانی بویلر) و کشاورزی به‌ترتیب سیستم‌های راکتور زیستی غشایی + اشعه فرابنفش، الترافیلتراسیون + اسمز معکوس + اشعه فرابنفش، انعقاد و لخته‌سازی + فیلتر عمقی + الترافیلتراسیون + اسمز معکوس + اشعه فرابنفش و تالاب مصنوعی + اشعه فرابنفش سیستم‌های برتر تصفیه هستند.

کلمات کلیدی: تصفیه‌خانه فاضلاب، بازیافت آب، ارزیابی چرخه عمر، ارزیابی هزینه‌های چرخه عمر، استدلال شهودی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، پایداری

یکی از راه‌کارهای غلبه بر مشکل کمبود منابع آب در کشور و دسترسی به منابع جدید آب، استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یا بازیافت آب است. برای این که بتوان از پساب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی استفاده نمود، نیاز است تا با استفاده از روش‌های مختلف تصفیه، سطح کیفی آن را افزایش داد. برای انتخاب گزینه برتر تصفیه و استفاده مجدد از پساب مطابق با توسعه پایدار باید معیارهای زیست‌محیطی، فنی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی در رابطه با گزینه‌های مورد بررسی، در نظر گرفته شوند تا گزینه انتخاب شده به‌عنوان گزینه برتر بتواند مورد استفاده مدیران و تصمیم‌گیرندگان حوزه آب و فاضلاب کشور قرار گیرد. برای رسیدن به این هدف از چارچوب تحلیل پایداری چرخه عمر استفاده می‌شود. تحلیل پایداری چرخه عمر یک چهارچوب تصمیم‌گیری است که امتیازدهی به گزینه‌ها در آن با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره استدلال شهودی که قابلیت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در فرایند تصمیم‌گیری و همین‌طور تجمیع ارزیابی‌های کمی و کیفی را دارد، انجام می‌شود. وزن‌دهی به معیارها نیز توسط فرایند تحلیل سلسله مراتبی صورت می‌پذیرد. در تحلیل پایداری چرخه عمر در ابتدا گزینه‌های بالقوه استفاده مجدد از پساب با توجه به اصول توسعه پایدار و معیارهایی نظیر ارزش افزوده ایجاد شده، میزان اشتغال‌زایی، هزینه اجرا، میزان بهبود شرایط اجتماعی و زیست‌محیطی، پذیرش شرعی، قانونی و عمومی، کیفیت محصول تولیدی نسبت به نمونه خارجی و امنیت غذایی ایجاد شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند و برای

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



دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان: طراحی و بهره‌برداری بهینه شبکه آبرسانی شهری با هدف مدیریت انرژی و نشت

نگارش: حامد منصف خوش حساب

استاد راهنما: دکتر محمد نقاش زادگان

استادان مشاور: دکتر راضیه فرمانی و دکتر علی جمالی

تاریخ: زمستان ۱۳۹۷

چکیده

هیدرولیکی و درصد واماندگی مکانیکی، توانایی پاسخ‌های به‌دست آمده در پروسه بهینه‌سازی با استفاده از شاخص‌های متفاوت قابلیت اطمینان در مواجهه با شرایط غیرطبیعی (مانند تغییرات تقاضا یا شکست لوله) مقایسه شد.

در گام بعدی چالشی در خصوص نامناسب بودن شاخص‌های قابلیت اطمینان موجود برای استفاده به‌عنوان تابع هدف در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب مطرح شد. نشان داده شد شبکه‌هایی وجود دارند که با وجود بزرگ‌تر بودن مقدار شاخص قابلیت اطمینان، توانایی کمتری در مواجهه با شرایط غیرطبیعی مانند تغییرات تقاضا یا شکست لوله دارند. لذا در این رساله یک روش جدید برای تعیین بهترین شاخص قابلیت اطمینان برای استفاده در طراحی بهینه یک شبکه توزیع آب شهری ارائه شد.

در بخش دوم این رساله، با توجه به رفتار پویای شبکه و متغیر بودن فشار براساس تغییرات تقاضا، چارچوبی برای کنترل لحظه‌ای شبکه و مدیریت فشار آن در هنگام بهره‌برداری با هدف کاهش هدررفت و کاهش مصرف انرژی ارائه شد. در ادامه تخمین میزان تقاضای لحظه‌ای در نقاط مختلف شبکه براساس اطلاعات حسگرهای نصب‌شده در سطح شبکه (مانند فشارسنج‌ها و دبی‌سنج‌ها) به‌عنوان یکی از پیش‌نیازهای مدیریت فشار شبکه مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد که به‌دلیل یک به یک

کاهش منابع آبی در دسترس و نیاز به خدمت‌رسانی مطمئن و مستمر در شبکه‌های توزیع آب شهری، از اصلی‌ترین دلایل انجام مطالعات متعدد برای افزایش کیفیت طراحی و همچنین استفاده صحیح و بهینه از این شبکه‌ها است. عدم طراحی بهینه شبکه‌های آبرسانی در گذشته، به اتمام رسیدن دوره طراحی آن‌ها و همچنین افزایش تقاضا به‌واسطه توسعه مناطق شهری یا افزایش جمعیت، نیاز به اصلاح شبکه‌های آب موجود را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

بدین منظور در ادامه مطالعات صورت گرفته توسط سایر محققین، در بخش اول این رساله ضمن ارتقای الگوریتم بهینه‌سازی تکامل تفاضلی به یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه براساس مفهوم مرتب‌سازی نامغلوب، عملکرد الگوریتم ارائه شده در طراحی شبکه‌های توزیع آب، مورد بررسی قرار گرفته و ضمن مقایسه آن با دو الگوریتم بهینه‌سازی متداول دیگر، نشان داده شد که الگوریتم ارائه شده در این رساله از دقت و سرعت قابل‌قبولی برای استفاده در طراحی شبکه‌های آبرسانی برخوردار است.

در گام بعدی ضمن بررسی توابع هدف متداول در بهینه‌سازی چندهدفه شبکه‌های توزیع آب و تمرکز بر روی قابلیت اطمینان این شبکه‌ها، شاخص‌های اندازه‌گیری قابلیت اطمینان بررسی شدند. در ادامه ضمن تعریف دو شاخص درصد واماندگی

نبودن تابع فشار برحسب میزان تقاضای آب، امکان دستیابی به پاسخ یکتا در تخمین تقاضای لحظه‌ای تک تک نقاط شبکه وجود ندارد. لذا برای رفع این مشکل ضمن یکسان فرض کردن میزان تقاضای لحظه‌ای نقاط مختلف شبکه در هر بازه زمانی، نسبت به تخمین ضریب تقاضای شبکه (نسبت تقاضای لحظه‌ای به تقاضای متوسط) براساس اطلاعات مخابره شده توسط فشارسنج‌های موجود در شبکه اقدام شد و نتایج قابل قبولی به دست آمد.

در گام بعدی از این بخش، مکان‌یابی بهینه شیرهای کاهنده فشار به عنوان یکی دیگر از پیش‌نیازهای مدیریت فشار شبکه مورد بررسی قرار گرفت و ضمن ارائه یک الگوریتم بهینه‌سازی تلفیقی از الگوریتم‌های ژنتیک و تکامل تفاضلی، نسبت به انتخاب بهترین محل برای نصب شیرهای کاهنده فشار با هدف ایجاد بیشترین کاهش در میزان نشت شبکه اقدام شد. در ادامه به منظور کاهش فشار مازاد موجود در نقاط شبکه و به دنبال آن کاهش نشت و مصرف انرژی در شبکه‌های توزیع آب، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی تکامل تفاضلی، یک کد بهینه‌سازی تهیه شد تا تنظیمات بهینه تجهیزات کنترلی شبکه (مانند فشار خروجی شیرهای کاهنده فشار یا دور پمپ‌های دور متغیر) را پس از دریافت اطلاعات فشارسنج‌های نصب شده در شبکه و تخمین تقاضا، محاسبه کرده و ارائه دهد.

در پایان ضمن استفاده از کد فوق برای مدیریت فشار با سه رویکرد متفاوت (مدیریت فشار با استفاده از کنترل شیرهای کاهنده فشار، مدیریت فشار با استفاده از کنترل دور پمپ‌های دور متغیر و مدیریت فشار با استفاده هم‌زمان از شیرهای کاهنده فشار و پمپ‌های دور متغیر)، میزان کاهش نشت و مصرف انرژی در هر رویکرد برای یک شبکه نمونه محاسبه و مقایسه شد. نتایج نشان دادند که استفاده هم‌زمان از شیرهای کاهنده فشار و پمپ‌های دور متغیر بهترین نتیجه را در کاهش هم‌زمان نشت و مصرف انرژی دارد. همچنین استفاده از پمپ‌های دور متغیر علاوه بر کاهش نشت، تاثیر به‌سزایی در کاهش مصرف انرژی دارد، در صورتی‌که استفاده تنها از شیرهای کاهنده فشار اگر چه کاهش بیشتری را در میزان نشت نشان می‌دهد، اما هیچ نقشی در کاهش مصرف انرژی بازی نمی‌کند. لذا استفاده از شیرهای کاهنده فشار در مدیریت فشار شبکه‌های فاقد ایستگاه پمپاژ با شبکه‌های با اختلاف رقوم ارتفاعی زیاد نتیجه بهتری خواهد داشت.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع آب شهری، بهینه‌سازی طراحی، قابلیت اطمینان، کنترل برخط، الگوریتم تکامل تفاضلی، تخمین میزان تقاضای لحظه‌ای، مدیریت هم‌زمان نشت و انرژی

رتبه دوم مسابقه ایده‌های برتر استفاده از آب خاکستری در محیط شهری (۱۳۹۸)
(برگزار شده توسط کمیته تخصصی بازیافت آب، انجمن آب و فاضلاب ایران)

عنوان: استفاده از آب خاکستری در شست‌وشو، اختلاط و عمل‌آوری بتن

نگارندگان: محمدعلی معلمی و نوید یزدیان

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ: مرداد ۱۳۹۸

چکیده

مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مصالح به‌منظور احداث سازه‌های زیربنایی در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، بتن است. بعد از آب، بتن پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی به‌شمار می‌رود. گسترش شهرها، کشاورزی و صنعت از یک طرف و افزایش آلودگی آب‌ها از طرف دیگر، استفاده از پساب‌ها (منابع آب غیرکارآمد) را در بتن مورد توجه قرار داده است. یکی از این منابع آب نامتعارف، آب خاکستری است که می‌توان از آن به‌عنوان یک منبع جایگزین آب شیرین در صنعت بتن بهره برد. آب خاکستری، آب خروجی از آشپزخانه، ظرف‌شویی، روشویی، حمام و ماشین لباسشویی است که به‌طور کلی غلظت آلاینده‌های بیولوژیکی و پاتوژن‌ها در آن قابل توجه نیست؛ هم‌چنین آب خاکستری به‌عنوان یک شکل رقیق از فاضلاب، به‌طور متوسط ۶۷ درصد فاضلاب خانگی را شامل می‌شود.

تبیین ایده پیشنهادی

برای تولید بتن در کشور ایران به‌طور متوسط در حدود ۱۲۵ میلیون لیتر آب در روز مصرف می‌شود. از طرف دیگر، اکثر استانداردهای جهان، مشخصات آب اختلاط را محدود کرده‌اند که باید عاری از هرگونه ماده زیان‌آوری باشد. استفاده فعلی از آب شرب برای تهیه بتن با توجه به تقاضای بالای آب و کمبود منابع آن باعث تحمیل تنش بیش‌ازحد به منابع آب و محیط‌زیست می‌شود. ایده پیشنهادی این مطالعه استفاده از آب خاکستری به‌صورت تصفیه‌شده یا نشده به‌عنوان جایگزین آب شرب در صنعت تولید بتن است. فاصله محل منبع آب خاکستری تا محل استفاده از آن، باید حداقل فاصله ممکن باشد تا اهداف فنی و اقتصادی طرح برآورده شود. براساس استاندارد ASTM-C109 اگر مقاومت فشاری نمونه ۷ روزه بتن با آب غیرشرب یا غیرمتعارف

مساوی و یا بیشتر از ۹۰ درصد مقاومت نمونه شاهد با آب شرب باشد، آب مورد استفاده در نمونه می‌تواند به‌عنوان جایگزین آب شرب در بتن مورد استفاده قرار گیرد. مطابق استاندارد ASTM-C94 نیز گیرش اولیه و گیرش نهایی (نسبت به حالتی که از آب شرب استفاده شود) به‌ترتیب نباید کمتر از ۶۰ دقیقه و بیشتر از ۹۰ دقیقه باشد. در انتها توصیه EPA برای کیفیت آب بتن و حدود کیفیت ذکر شده آب خاکستری در مراجع مختلف نیز در جدول ۱ آمده است.

واژه‌های کلیدی

بتن، منابع آب نامتعارف، آب خاکستری، محیط‌زیست

جدول ۱- کیفیت آب خاکستری

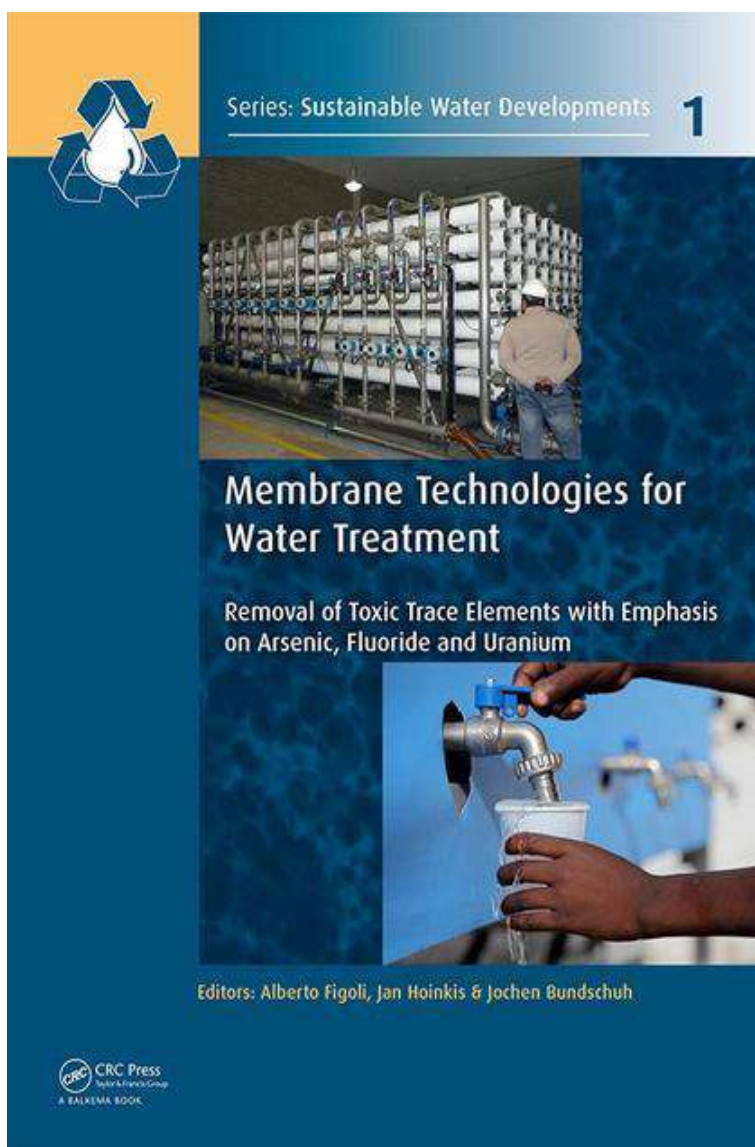
متغیر کیفی	واحد	توصیه EPA (صنعت بتن)	مراجع مختلف
pH	-	۶-۸	۶/۷-۸
SO ₄	mg/L	۲۰۰۰	۱۰-۲۰۰
Cl	mg/L	۵۰۰	۲۵۰~
COD	mg/L	۵۰۰	۱۸۰-۵۲۰
TDS	mg/L	۲۰۰۰	۱۰۰۰~
TSS	mg/L	۲۰۰۰	۲۲-۷۶۰
E. coli	MPN/100 ml	۲۰۰<	۲۰۰۰۰۰~

عنوان: تکنولوژی‌های غشایی برای تصفیه آب

پدیدآورنده: Alberto Figoli, Jan Hoinkis and Jochen Bundschuh

سال انتشار: 2016

ناشر: CRC Press, Taylor & Francis Group



این کتاب تمرکز خود را بر استفاده از فناوری غشایی (Membrane Technology) در حذف فلزات سمی از آب می‌گذارد. از جمله این فلزات سمی می‌توان به آرسنیک، اورانیوم و فلوراید اشاره کرد. این ترکیبات به‌طور متوسط در پوسته زمین در سطوح بین دو تا پنج هزار میکروگرم در کیلوگرم (قطعات در میلیون) وجود دارند و می‌توان این ترکیبات را برای انسان‌ها که در درجه اول از طریق هوا، غذا و آب در معرض آن‌ها قرار دارند، بسیار سمی در نظر گرفت. به‌منظور انطباق با حداکثر سطح جدید آلاینده‌ها، مطالعات زیادی برای بهبود تصفیه‌های انجام شده یا توسعه فناوری‌های پالایش جدید برای حذف فلزات سمی از آب‌های سطحی و زیرزمینی آلوده انجام شده است.

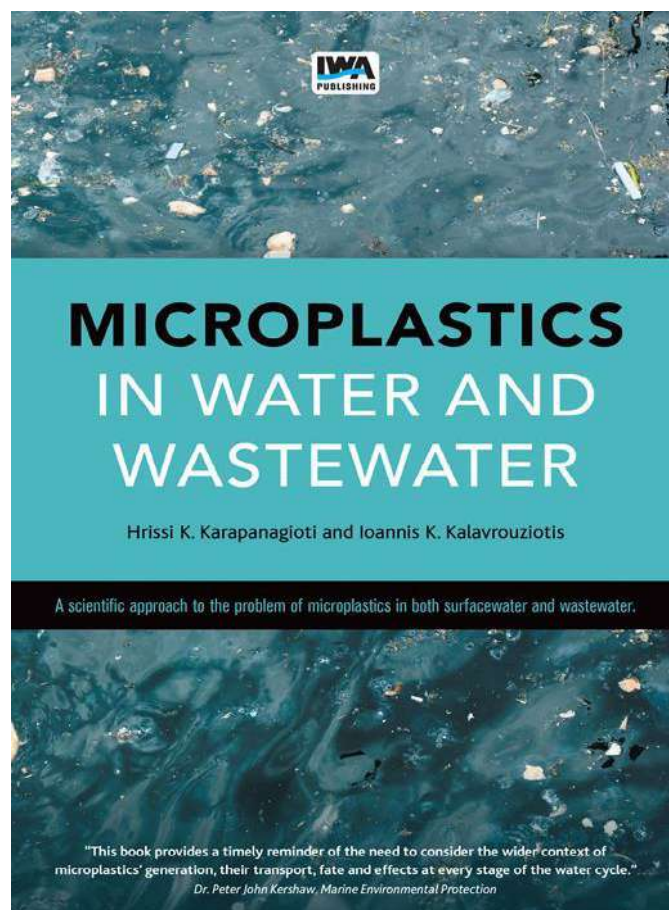
در میان فناوری‌های موجود قابل استفاده برای تصفیه آب، فناوری غشایی به‌عنوان یک فناوری امیدوار کننده برای حذف چنین فلزات سمی از آب شناخته شده است. این کتاب هم فشار محوری، مانند فرآیندهای سنتی، نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس، اولترافیلتراسیون و هم فرآیندهای غشایی پیشرفته‌تر مانند اسمز رو به جلو، تقطیر غشا و راکتورهای زیستی غشایی را به‌همراه شرایط کاربرد و میزان اثرگذاری هر کدام، توصیف می‌کند. جنبه اصلی این کتاب ارائه اطلاعات هم در زمینه اصول فناوری غشاء و هم در مورد نتایج، بسته به نوع فناوری به کار رفته است.

عنوان: میکرو پلاستیک‌ها در صنعت آب و فاضلاب

پدید آورنده: Hrissi K. Karapanagioti and Ioannis K. Kalavrouziotis

سال انتشار: 2019

ناشر: IWA Publishing



این کتاب موضوعات مربوط به میکروپلاستیک‌ها در آب و فاضلاب را پوشش می‌دهد. کتاب در ابتدا با مباحث مقدماتی مربوط به افزایش علاقه جامعه علمی در مورد میکروپلاستیک و چرخه آب انسان شروع می‌شود و به مکانی که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند با آب تعامل داشته باشند اشاره دارد. در فصل‌های بعدی شواهد وجود میکروپلاستیک در آب‌های شیرین، مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و همچنین مواد شیمیایی خطرناک مرتبط با میکروپلاستیک در چنین سیستم‌هایی بررسی می‌شود.

مجموعه‌ای دیگر از فصل‌ها در مورد وجود میکروپلاستیک در فاضلاب بحث می‌کند که عبارتند از:

منابع آن‌ها، انتقال آن‌ها از طریق تصفیه‌خانه فاضلاب، غلظت میکروپلاستیک در پساب در سراسر جهان، بیومدیای پلاستیکی مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و تأثیر آن بر محیط اطراف لوله‌های فاضلاب پساب. در این فصل‌ها همچنین در مورد روش‌های نمونه‌گیری، روش‌های نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل نمونه‌ای که تاکنون برای میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب استفاده شده، بحث شده است. سرانجام، یک فصل خلاصه تمام مقررات و ابتکارات مربوطه است که به ضرورت یک دستورالعمل جهانی برای حفاظت از محیط‌زیست در برابر آلودگی‌های پلاستیکی و میکروپلاستیک‌ها اشاره دارد.

مبحث میکروپلاستیک در سیستم‌های آب شیرین و در فاضلاب به‌ندرت مورد مطالعه قرار گرفته است و نیاز به توجه بیشتری دارد. کتاب مذکور با هدف جلب توجه این یافته‌های اولیه به مخاطبان گسترده‌تر و به‌ویژه به بهره‌برداران و مدیران سیستم‌های آب شیرین و فاضلاب تالیف شده است. همچنین برای افرادی که از مشکل زباله‌های دریایی مطلع هستند، درک منابع میکروپلاستیک در اقیانوس‌ها، سیستم‌های آب شیرین و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مفید خواهد بود.

به‌طور کلی این کتاب برای محققان و سیاستگذاران در زمینه شیمی محیط، مهندسی عمران، برنامه‌ریزی شهری، مدیریت پسماند و سم‌شناسی توصیه می‌شود. علاوه بر این، برای کسانی که نگران تأثیرات پلاستیک ریز روی محیط‌زیست و انسان هستند نیز ارزشمند است.

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

- انتشار اولین شماره از سال پنجم نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
- برگزاری جلسه پانزدهم کمیته تخصصی تلفات آب انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۴/۰۱)
- برگزاری جلسه کمیته تخصصی بازیافت انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۴/۰۲)
- اخذ مجوز فعالیت های پژوهشی توسط انجمن آب و فاضلاب ایران از معاونت پژوهش و فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (۹۹/۰۴/۰۷)
- راه اندازی صفحه اینستاگرام انجمن به آدرس @irwwa.ir
- شرکت در نهمین جلسه هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۴/۱۱)
- برگزاری جلسه اول شورای دبیران سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۴/۱۵)
- برگزاری پنجمین جلسه کمیته تخصصی کیفیت آب انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۴/۱۷)
- برگزاری جلسه سی و نهم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۴/۲۵)
- برگزاری مجمع عمومی عادی سالانه (نوبت اول) اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۴/۲۶)
- انتشار پنجاه و دومین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (تیرماه ۱۳۹۹)
- برگزاری جلسه دهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۵/۰۱)
- برگزاری جلسه یازدهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۵/۰۴)
- برگزاری جلسه دوازدهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۵/۱۰)
- برگزاری جلسه سیزدهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۵/۱۳)
- برگزاری جلسه چهاردهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۵/۱۴)
- برگزاری جلسه پانزدهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۵/۲۰)
- برگزاری جلسه چهارم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۵/۲۸)
- برگزاری جلسه نمایندگان هیئت مدیره انجمن و موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو (۹۹/۰۵/۲۷)
- برگزاری جلسه دوم شورای دبیران سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۹۹/۰۵/۲۱)
- انتشار پنجاه و سومین خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران (مرداد ماه ۱۳۹۹)
- برگزاری جلسه سوم شورای دبیران کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب (۹۹/۰۶/۲۲)
- کسب رتبه "ب" توسط نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب در ارزیابی سال ۱۳۹۸ نشریات علمی از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
- برگزاری جلسه شانزدهم هیئت مدیره اتحادیه انجمن های علوم آب (۹۹/۰۶/۲۶)
- برگزاری جلسه چهل و یکم هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران (۹۹/۰۶/۲۶)
- اعلام فراخوان دومین دوره ایده های کاربردی در علوم و مهندسی آب و فاضلاب
- اعلام فراخوان اولین المپیاد علمی آب و فاضلاب



انجمن آب و فاضلاب ایران
IWVA
Iran Water & Wastewater Association

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWVA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال پنجم - شماره پنجاه و سوم - مرداد ماه ۱۳۹۶

http://www.iwva.ir

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- تکنولوژی در صنعت
- معرفی دوره آنلاین
- معرفی نوب افراز

اطلاعات تماس:

info@iwva.ir
+91-11-88791900

نشانی پستی:

بهران، خنایان
طالقانی، بین خنایان
قدس و وصال پلاک
۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷

نشانی اینترنتی:

http://www.iwva.ir
www.facebook.com/iwva.ir
www.linkedin.com/company/iwva-iran
www.youtube.com/user/iwva-iran

نشانی لینکدین:

http://www.linkedin.com/company/iwva-iran



همکاران خبرنامه:

دکتر سارا نذاریک
دکتر مسعود تابش
مهندس سید احمدرضا شاهنیکان
پروفسور سلیسکی

سخن اول:

حدود ۳۰ سال دیگر نوسیم کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران از سوی انجمن آب و فاضلاب ایران با همکاری دانشگاه شیراز و حمایت شرکتهای آبى فارس و شیراز و شرکت آب منطقه‌ای فارس در دانشگاه شیراز برگزار می‌شود. کنگره‌های آبى و دیم نیز در سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ در دانشگاههای تهران و صنعتی امپدیان برگزار شد. این کنگره بزرگترین گردهمایی معقولین و صنعتگران داخلی در حوزه آب و فاضلاب است که با مشارکت فعال خود مسئولان‌های پاورهی و تجربی خود را در قالب مقالات، گزارش‌ها و نشستهای تخصصی ارائه می‌کنند. کلیه مقالات، سمینارهای علمی و بازدید از سایت‌ها و تشریفات پذیرش در این کنگره از پیشگويان بهتر، مقالات بهتر و پایان نامه‌های برتر قهرمانی می‌شود. با توجه به شرایط خاصی کشور در رابطه با شیوع ویروس کرونا با احتمال قوی جده برنامه‌های کنگره بصورت مجازی برگزار خواهد شد. منتظر ارسال مقالات، کلیه عزیزان ۵۰۰ مجریده هستید. همچنین متقاضین برگزاری اثر کرد نیز می‌توانند پیرویز خود را از طریق سایت کنگره (www.con.ir) ارسال کنند.

شماره ۴۷

شماره

به نظر شما ارائه آموزش در خصوص مدیریت مصرف به خانواده به چه ترتیب بهتر خواهد بود؟

۱- آموزش کودکان و نوجوانان در مدارس

۲- آموزش در رسانه های عمومی

۳- آموزش در مراکز فرهنگی و مذهبی در قالب گروه ها و بازآموز



استاداعظم خود را به آدرس ایمیل lxcomp.iwva@gmail.com شهرتون ارسال فرموده بر حسب موضوع لطفاً عنوان مسئله را وارد کنید. به قصد فرستادن هدیه ای به یکی از پوسلان مشترکات کنید. هدیه ای انت می شود

۵۲

انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iran Water & Wastewater Association

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال پنجم - شماره پنجاه و دوم - بهمنماه ۱۳۹۹

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- تکنولوژی و صنعت
- معرفی دوره آنلاین
- معرفی دوره کارگاه



مهمکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف
دکتر محمود تابش
مهندس سید احمدرضا
پوریابلیعی

نشانی ایمیل:
info@iwwa.ir
۰۲۱-۸۸۲۹۱۹۵۰

نشانی وبسایت:
www.iwwa.ir
www.1390iwwa.com

نشانی تلگرام:
https://t.me/iwwa1390

نشانی لینکدین:
https://ir.linkedin.com/in/iwwa1390

۵۳

انجمن آب و فاضلاب ایران
IWWA
Iran Water & Wastewater Association

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA Newsletter

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال پنجم - شماره پنجاه و دوم - بهمنماه ۱۳۹۹

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- تکنولوژی و صنعت
- معرفی دوره آنلاین
- معرفی دوره کارگاه



مهمکاران خبرنامه:

دکتر سارا نظیف
دکتر محمود تابش
مهندس سید احمدرضا
پوریابلیعی

نشانی ایمیل:
info@iwwa.ir
۰۲۱-۸۸۲۹۱۹۵۰

نشانی وبسایت:
www.iwwa.ir
www.1390iwwa.com

نشانی تلگرام:
https://t.me/iwwa1390

نشانی لینکدین:
https://ir.linkedin.com/in/iwwa1390



انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA

Iran Water & Wastewater Association

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

۵۴

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران

IWWA Newsletter

http://iwwa.ir

خبرنامه انجمن آب و فاضلاب ایران سال شانزدهم - شماره پنجاه و چهارم - شهریور ماه ۱۳۹۹

اطلاعات تماس:

info@iwwa.ir

+۹۸-۰۸۸۳۹۱۳۹۰

تلفنی بیسی:

تهران، خیابان

طالبانی، بین خیابان،

قدس و وصال، پلاک

۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷

نشانی اینترنتی:

http://www.iwwa.ir

www.iwwa.ir

www.iwwa.ir

نشانی تلگرام:

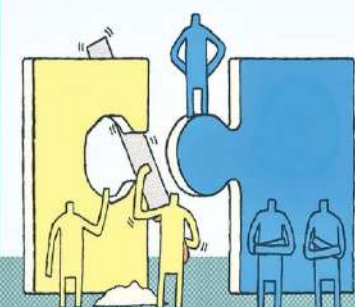
https://t.me/iwwa394

نشانی لینکدین:

https://tr.linkedin.com/in/

مطالب این شماره:

- اخبار انجمن
- اخبار صنعت
- تکنولوژی در صنعت
- معرفی دوره آنلاین
- معرفی کتاب



همکاران خبرنامه:

دکتر سارا ظریف

دکتر سمود تارشی

مهندس سید احمدرضا

شاهنایان

پوریا سلیمانی

مباحثه شماره ۳۸

با یکی از مباحث مهم در ساختار مدیریت آب و فاضلاب کشور، ادغام شرکت های آب و فاضلاب شهری و روستایی است. به نظر شما چقدر این تغییر در راستای اهداف ساختار مدیریت آب کشور خواهد بود؟

الف: تأییدی ندارد

ب: اقربا منفی آن بیش از اثرات مثبت است

ج: اثرات مثبت قبل از بومی دارد

افشای نظرات خود را به آدرس ایمیل comp.iwwa@gmail.com یا به آدرس subject@iwwa.ir ارسال فرمایید. در قسمت subject، عنوان مسأله را وارد کنید. به غیر از فرد هدایت به پاسی از دوماست شرکت کننده تهیه ای اطلاق می شود.

سخن اول:

این روزها شاهد تغییراتی در ساختار مدیریت آب کشور در وزارت نیرو هستیم. تغییراتی که مدنظر ما سخن از آن موهبت های آفاضی در خصوص آن صورت نمیگرفت. پیش از این هم اقدام شرکت های آب و فاضلاب شهری و روستایی صورت گرفت. سوالی که این تغییرات ساختار و سازمانی در ایجاد حاکمیتی آب در ذهن ایجاد می کند این است که این تغییرات چه اهدافی را دنبال می کنند؟ چه بهبودی در روند مدیریت آب کشور ایجاد خواهد شد و این دست تغییرات را چه حد باید پایدار و ماند خواهد بود؟ آیا پیش از این تغییرات نظارت گروه های مختلف می نتوانستند فرار گرفته است؟ آیا مناسبات به آنها تغییرات فرایندی و دستورالعمل های مدنظر فرار گرفته است؟ آیا کارکنان بخش های مختلف در این خصوص ترجیه شده اند؟ و هزاران سوال دیگر که شاید هیچگاه نتوان پاسخی برای آنها یافت. تغییراتی که ممکن است نه تنها بهبودی ایجاد نکنند که بر پهنچیدگی، آلودگی و سرگردانی در ساختار موجود بیفزایند. چه خوب بود اگر می توانستیم سیستم های پایدار را عرضه کنیم و در طول زمان بر روی بهبود آنها سرمایه گذاری کنیم.

علی عباسی، نماینده انجمن در دانشگاه فردوسی مشهد علی عباسی، دکترای مدیریت منابع آب و استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، متولد آذرماه ۱۳۵۹ در شهر بیرجند است. زمینه تخصصی کاری ایشان مدیریت منابع آب به خصوص کاهش تلفات از سیستم‌های آب‌های سطحی، استفاده از روش‌های داده محور و نیز توسعه شبکه‌های پایش سیستم‌های منابع آب مبتنی بر اینترنت اشیاء از علاقمندی‌های کاری و تحقیقاتی ایشان است. توسعه و استفاده از روش‌های نوین و درعین حال کارآمد در شرایط کشور در راستای اهداف ذکر شده، دغدغه اصلی وی است.	
علی حقیقی، نماینده انجمن در دانشگاه شهید چمران اهواز علی حقیقی، دکترای عمران-هیدرولیک، هم‌اکنون دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز، معاون پژوهش و فناوری دانشگاه و سردبیر مجله علمی-پژوهشی Hydraulic Structure است. در مجلات داخلی و خارجی زیادی داوری و چاپ مقاله داشته‌اند. دارای اختراعاتی از جمله: فارغ‌التحصیل ممتاز کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه شهید چمران، فارغ‌التحصیل ممتاز دکترای مهندسی عمران هیدرولیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، پژوهشگر برتر دانشگاه شهید چمران اهواز در سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶، پژوهشگر برتر استان خوزستان در محور فنی و مهندسی در سال ۱۳۹۵ و استاد نمونه آموزشی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۹۴ بوده‌اند. هم‌چنین طرح‌های پژوهشی بسیاری را در طول زمان فعالیت علمی و اجرایی خود انجام داده‌اند.	
آسیه سادات ملاباشی، نماینده انجمن در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان آسیه سادات ملاباشی لیسانس خود را از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در رشته مهندسی عمران- آب در سال ۱۳۷۶ اخذ نمود، در سال ۱۳۸۰ از پایان نامه کارشناسی ارشد خود با موضوع تحلیل ضربه قوچ به‌روشنی اجزای محدود در دانشگاه صنعتی اصفهان دفاع کرد. مهندس ملاباشی از سال ۱۳۷۸ در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان به‌عنوان کارشناس فنی مشغول به‌کار شدند. ایشان از سال ۱۳۸۶ به‌عنوان مدیر نظارت بر بهره‌برداری شبکه توزیع آب و از سال ۱۳۹۰ به‌عنوان کارشناس شبکه و تحلیل هیدرولیکی در شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان خدمت نموده و از سال ۱۳۹۵ به‌عنوان مدیر دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد به خدمت خود ادامه داد. ترجمه کتاب راهنمای عملی ضدغفونی لوله‌ها و مخازن ذخیره آب را به سفارش شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان در سال ۱۳۹۲ به چاپ رساند. ارائه مقالات متعدد در زمینه‌های مختلف تحلیل شبکه آبرسانی، تحلیل خطای کنتور، تحلیل حوادث، لوازم کاهنده مصرف آب، آب خاکستری و ... از سوابق پژوهشی ایشان است. حضور در نشست‌های تخصصی و مباحث علمی، ارائه کارگاه‌های آموزشی و هم‌چنین ارتباط‌دهنده سازمان نظام مهندسی ساختمان استان اصفهان با شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان از دیگر فعالیت‌های او است. ایشان هم‌چنین به‌عنوان مشاور مدیرعامل در حوزه بانوان و خانواده نیز فعالیت می‌کند.	

کنفرانس‌های داخلی

عنوان کنفرانس	برگزارکننده	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت یکپارچه منابع آب در گذر زمان	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	ساری - دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری	۲۳ و ۲۴ مهر ۱۳۹۹	http://iwrmt2020.sanru.ac.ir/fa/
پانزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری - انجمن آبخیزداری ایران	ساری - دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری	۶ و ۷ آبان ۱۳۹۹	http://wms99.sanru.ac.ir/fa/
سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران	انجمن آب و فاضلاب ایران - دانشگاه شیراز	شیراز - دانشگاه شیراز	۴ تا ۶ آذر ۱۳۹۹	http://iwwa-conf.ir
نوزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران	انجمن هیدرولیک ایران - دانشگاه فردوسی مشهد	مشهد - دانشگاه فردوسی مشهد	۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه ۱۳۹۹	https://nwlsn.ir/
هشتمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران	انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران - دانشگاه فردوسی مشهد	مشهد - دانشگاه فردوسی مشهد	۲۷ و ۲۸ بهمن‌ماه ۱۳۹۹	https://nwlsn.ir/

کنفرانس‌های خارجی

عنوان کنفرانس	محل برگزاری	تاریخ برگزاری	سایت کنفرانس
Latin American Meetings on Anaerobic Digestion (Virtual Conference)	Online Event	22 October – 12 November	http://www.daal.online/meetings2020.html
2nd Latin American and Caribbean Young Water Professional Conferences: Towards Sustainable Development (Virtual Conference)	Manizales, Colombia	8 – 12 November 2020	http://www.ucm.edu.co/iwa2020/
IWA Biofilms Virtual Conference – Emerging Trends and Developments in Biofilm Processes	Notre Dame, USA	7 – 12 December 2020	https://biofilms2020conference.nd.edu/
1st Trans-Asia IWA Young Water Professionals Conference on Smart Technologies for Water and Wastewater Treatment	Vellore, India	16 – 19 December 2020	https://iwa-ts2020.org/
12th Eastern European Young Water Professionals Conference: Water Research and Innovations in a Digital Era	Riga, Latvia	31 March – 2 April 2021	http://iwa-ywp.eu/
11th IWA Efficient Urban Water Management Conference	Bordeaux, France	7 – 9 April 2021	https://www.efficient2021.org/
IWA World Water Congress & Exhibition 2021	Copenhagen, Denmark	9 – 14 May 2021	http://www.worldwatercongress.org/
Wastewater, Water and Resource Recovery Conference	Poznan, Poland	16 – 19 May 2021	http://www.put.poznan.pl/
12th Micropol and Ecohazard Conference	Santiago de Compostela, Spain	6 – 10 June 2021	https://micropol2021.org/
Singapore International Water Week – Water Convention 2020	Singapore, Singapore	20 – 24 June 2021	https://www.siww.com.sg/events/details/water-convention-2020
5th International Conference on Ecotechnologies for Wastewater Treatment (ecoSTP2020) “Impacting the environment with innovation in wastewater treatment”	Milano, Italy	21 – 25 June 2021	http://www.ecostp2020.polimi.it/
The 10th International Water Association (IWA) Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment and Reuse	St. Louis, Missouri, USA	1 – 4 August 2021	https://mtc2021.wustl.edu/



انجمن آب و فاضلاب ایران

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

3rd IRAN WATER & Wastewater Science Engineering Congress

24-26 November 2020

Shiraz- Iran



محورهای کنگره:

محور ویژه: تاب آوری سامانه های آب و فاضلاب

دانشگاه شیراز

۴ الی ۶ آذرماه ۱۳۹۹



مهلت ارسال مقاله کامل: ۵ مهرماه ۱۳۹۹
۲۵ مهرماه ۱۳۹۹

www.iwwa-conf.ir

info@iwwa-conf.ir

[telegram.me/iwwsec](https://t.me/iwwsec)

[instagram.com/iwwsec](https://www.instagram.com/iwwsec)

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



آدرس دبیرخانه:

شیراز- میدان نمازی- دانشگاه شیراز-
دانشکده مهندسی شماره یک- بخش مهندسی
راه، ساختمان و محیط زیست- دبیرخانه سومین
کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
کد پستی ۷۱۳۴۸۵۱۱۵۶
تلفن: ۰۹۳۳۱۴۶۳۱۹۲
فکس: ۰۷۱۳۶۴۷۲۰۲۷



فراخوان پنجمین دوره انتخاب پایان نامه برتر

۵

ویژه دانش آموختگان سال های ۱۳۹۵ به بعد



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

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

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



irwwa.ir
info@irwwa.ir

۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰

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

مهلت ارسال ایده
۳۰ دی ماه ۱۳۹۹



"فراخوان دومین دوره ایده‌های کاربردی در علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران"

انجمن آب و فاضلاب ایران با مشارکت کمیته‌های تخصصی خود از ایده‌های برتر در محورهای زیر با **اعطای جوایز نفیس** و **چاپ در مجله علمی "علوم و مهندسی آب و فاضلاب"** حمایت مادی و معنوی می‌نماید.

محور ۳: "کیفیت آب"



تکنولوژی‌های ارزان
قیمت حذف فلزات
سنگین و سموم



محور ۲: "بازیافت آب"



تصفیه‌خانه آب خانه
خود را بسازیم



محور ۱: "تلفات آب"



روش‌های خلاقانه پیدا
کردن محل نشت



علاقه‌مندان می‌توانند ایده‌های خود را در فرمت اعلام شده با ذکر جزئیات تشریح و از طریق ایمیل ارسال کنند.

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌تواند به **وبسایت انجمن آب و فاضلاب ایران** مراجعه کنید و یا با **دفتر انجمن** تماس حاصل فرمایید.



irwwa.ir
info@irwwa.ir



۰۲۱-۸۸۳۹۱۳۹۰



اولین المپیاد علمی آب و فاضلاب ایران



زمان و نحوه برگزاری آزمون:

مرحله اول: نیمه اول بهمن ۱۳۹۹ به صورت تستی (آنلاین)

مرحله دوم: نیمه دوم بهمن ۱۳۹۹ به صورت تشریحی (براساس مصوبات وقت ستاد ملی کرونا)

به نفرات اول تا سوم لوح تقدیر و جوایز
نقدی اهدا خواهد شد.



مواد آزمون:

داوطلبان می‌توانند در یکی از بخش‌های زیر به
انتخاب خود شرکت کنند

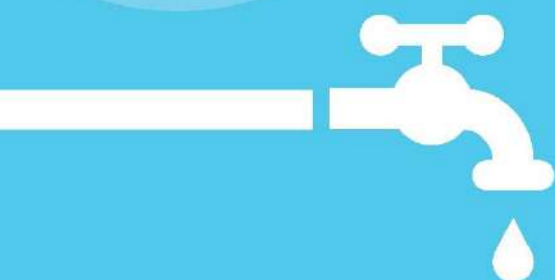
-گزینه ۱: طراحی و بهره‌برداری
شبکه‌های آب، فاضلاب و آب
سطحی

-گزینه ۲: فرآیندهای تصفیه،
طراحی و بهره‌برداری
تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

هزینه ثبت نام:

اعضای انجمن: ۵۰ هزار تومان

سایرین: ۸۰ هزار تومان



آدرس: تهران، خیابان طالقانی، پلاک ۴۲۹، طبقه ۴، واحد ۷، کد پستی: ۱۴۱۷۷-۱۳۷۶۵

تلفن: ۸۸۳۹۱۳۹۰ | ایمیل: info@irwwa.ir | وبسایت: irwwa.ir | تلگرام: https://telegram.me/irwwa94

 شرکت مهندسی مشاور آبخوان کامشانیان	 سیال کنترل FLUID CONTROL ما راهی را پیدا می‌کنیم	 مهندسی مشاور آبخوان منابع آب - تأسیسات شهری - سدسازی - کناورزی، منابع طبیعی و دامپروری - حفاظت و مهندسی رودخانه - محیط زیست
 معین زیست آریا	 پادیاب تجهیز	 PERSIA ARAS JONUB Co.
 سنجش افزار آسیا (با مسئولیت محدود)	 سید یاس فراز (سهامی خاص)	 Haidar Group Haidar Computer
 شرکت فناوری زیست محیط ساک سینا تأسیسات، ۱۵۲۲	 ماشین سازی اراک	 مهاب غودس شرکت مهندسی مشاور MAHAB GHODSS CONSULTING ENGINEERING CO.
 مهندسی مشاور آببران	 SafBon	 تالیه همایش تالیه TALAYEH INDUSTRIAL COMPLEX تاسیس ۱۳۵۱
 تشریفات اتماتیک بندای BOLANDA www.bolanda-co.com @bolandafacets	 مهندس مشاور آب رسته کارهای آبی - معماری و ژئوتکنیک	 آبساران مهندسی مشاور Absaran Consulting Engineers www.absaran-co.ir
 شرکت فرایند ارقام پرداز	 کوه سینا شرکت مهندسی و ساخت بوئیر و تجهیزات مپنا	توسعه انهار آریانا
 شرکت مهندسی سپهر کوثر فرداد FARDAD	 DESIGN & BUILD CONSORTIUM مهندسین ایرانی شرکت ملی طرح خشت	 مهندسی مشاور داهه
 مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب فاضلاب	 هپیکو شرکت توسعه خط لوله هامون Hamoon Pipe Line Development Company Hapico	
 NiKA International Inspection Services	 چنوب مهندسان مشاور آب، فاضلاب و محیط زیست	

شرکت سپهر کویر فرداد	
تصفیه آب و فاضلاب و راه‌اندازی سیستم‌های تصفیه و تامین آب همواره یکی از دغدغه‌های جوامع امروزی به‌شمار می‌رود. فرایند تصفیه آب و فاضلاب بسته به نوع مصرف و کیفیت آب خام می‌تواند از روش‌های مختلف انجام گیرد. تامین آب آشامیدنی و آب مورد استفاده در بخش صنعت و کشاورزی و همچنین تصفیه فاضلاب‌های بهداشتی و صنعتی شامل روش‌های پیش‌تصفیه، تصفیه و تصفیه نهایی است. شرکت سپهر کویر فرداد با بهره‌گیری از تکنولوژی روز سعی در پیشبرد اهداف سازمانی خود در صنعت تصفیه آب و فاضلاب و کمک به حفظ محیط زیست دارد. پرداختن به طیف گسترده‌ای از روش‌های نوین برای تصفیه و استحصال آب از جمله منابع ورودی به دیگ‌های بخار و برج‌های خنک‌کن، شیرین‌سازی آب‌های شور، تولید آب آشامیدنی و استفاده مجدد از پساب راه‌حل‌های این شرکت است.	

شرکت مهندسين مشاور داهه	
شرکت مهندسين مشاور داهه (سهامي خاص) در سال ۱۳۶۰ براساس بخشنامه‌های جديد سازمان مدیریت و برنامه‌ريزی کشور تاسیس و صلاحیت آن در رشته‌های معماری و سازه و تاسیسات تایید شده است. این شرکت با توجه به تجربیات گذشته در طراحی و نظارت بر اجرای پروژه‌های مختلف موفق به کسب گواهینامه صلاحیت از سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور در گرایش‌های زیر شده است: ۱. رتبه ۱ تخصص سازه ۲. رتبه ۱ تخصص ساختمانهای مسکونی، تجاری، اداری، صنعتی و نظامی ۳. رتبه ۳ تخصص ساختمان های آموزشی، ورزشی، بهداشتی و درمانی ۴. رتبه ۳ تاسیسات آب و فاضلاب حاصل عملکرد ۳۲ ساله این مهندسين مشاور از بدو تاسیس انعقاد بیش از ۶۰ قرارداد با ارگان‌های دولتی و بخش خصوصی بوده است.	

شرکت فناوری زیست محیط پاک صبا	
شرکت فناوری زیست محیط پاک صبا در راستای حفظ و ارتقای بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست کوشا بوده و مطابق با قوانین و استانداردهای ملی و بین‌المللی در جهت دستیابی به اهداف خود در حوزه مدیریت پسماند و پساب‌های شهری، صنعتی و بیمارستانی اقدام نموده و انجام کار ایمن، همراه با حفاظت از محیط‌زیست، را سرلوحه فعالیت‌های خویش قرار داده است. در این راستا این شرکت به‌منظور تحقق اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران به‌منظور حفاظت از محیط‌زیست و تضمین بهره‌مندی صحیح و مستمر از محیط زیست به‌نحوی که ضمن حفظ تعادل مناسبات زیستی موجبات توسعه پایدار و بهبود، رشد و اعتلای کیفی انسان‌ها فراهم آید، فعالیت می‌کند.	

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

حق عضویت اعضای حقیقی

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

حق عضویت اعضای حقوقی

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

هزینه چاپ آگهی در نشریات انجمن

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

* شامل یک‌سال عضویت حقوقی انجمن

شماره حساب: ۱۳۵۷۲۰۶۲۳

شماره شبا: IR9301800000000000135720623

شماره کارت مجازی: ۵۸۵۹-۸۳۷۰-۰۰۱۲-۶۲۵۶

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

مزایای عضویت در انجمن آب و فاضلاب ایران

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

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

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

- فایل مشخصات نویسندگان.

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

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

❖ **نرم‌افزار حروف‌چینی:** نرم‌افزار Microsoft Word 2013

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

❖ **نام نویسنده(گان):**

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

❖ **نام مؤسسه:**

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

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 (پژوهشی، مروری، یادداشت فنی (ترویجی) و یادداشت کوتاه) در بالای آن درج خواهد شد.

❖ **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

❖ **چکیده انگلیسی:** باید دقیقاً معادل چکیده فارسی باشد.

❖ **واژه‌های کلیدی فارسی و انگلیسی:**

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

❖ **متن مقاله:**

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

متن مقاله شامل بخش‌های چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها (روش تحقیق)، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری و مراجع و همچنین شکل‌ها و جدول‌ها است. در صورت لزوم، بخش قدردانی در انتهای مقاله و قبل از بخش مراجع نوشته می‌شود. بخش‌های مختلف متن و همه صفحات و همچنین 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 زیرنویس در صفحه مربوط درج می‌شوند. زیرنویس‌ها در هر صفحه با گذاردن شماره فارسی در گوشه بالای آخرین حرف از کلمه، در متن مشخص می‌شود.

❖ **جدول‌ها و شکل‌ها:**

در صفحات جداگانه در انتهای فایل word مقاله با کیفیت مناسب چاپ ارائه می‌شوند. همه جدول‌ها و شکل‌ها شماره‌گذاری شده و عنوان جدول در بالای آن و عنوان شکل در زیر آن نوشته می‌شود. در عنوان جداول و نمودارها باید سه ویژگی «چه، کجا و کی» برای محتوای آن مشخص شود. مثلاً نوشته شود: نوسان‌های دبی آب خام در 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 بر حسب واحد بین‌المللی (SI) و معادلات به ترتیب شماره‌گذاری می‌شوند.

❖ **مراجع:**

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

❖ **مقاله فارسی:**

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

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

❖ **مقاله غیر فارسی:**

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

❖ **مقاله منتشر نشده:**

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

❖ **کتاب:**

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

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

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Vol. 5, No. 2, Summer 2020

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

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

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

Editorial Board:

Ghanadi, M. (M.Sc.): Advisor of Deputy of Engineering and Development, Iran National Water and Wastewater Engineering Company
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
Tabesh, M. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Takdastan, A. (Ph.D.): Associate Professor, Ahwaz Jundishapur University of Medical Science
Talebbeydokhti, N. (Ph.D.): Professor, Shiraz University
Torabian, A. (Ph.D.): Professor, University of Tehran
Vosoghi, M. (Ph.D.): Professor, Sharif University of Technology



Industrial Water and Wastewater Policy Council:

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

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

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



ISSN 2588-3941

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering

Volume 5, No. 2, Summer 2020

Preface	2
<u>Papers</u>	
An Overview on Research and Innovation in Water Sector of Iran: the Necessity of Paradigm Shifts Mojtaba Shafiei, Maysam Majidi Khalilabad, Mohammad Gharesifard, Samaneh Tavakoli Aminian and Fariba Ghanbari	4
Investigation of the Absorption of Metallic and Non-Metallic Constituents from Water Used in Jajarm Alumina Factory Using Two Types of Nano Alumina Emad Garmeh, Misagh Ghamari and Avazverdy Gooklani	14
Evaluation of Different Evapotranspiration Methods, Optimizing the Best Model Based on Multivariate Linear Regression in Cold Moderate and Semi-Humid Climates Ahmadreza Karimipour and Golnoosh Banitalebi	21
Providing Hydraulic Model and Evaluating Reliability of Water Distribution Networks (Case Study: Oshnaviyeh City) Akbar Shirzad, Moharram Heidarzadeh and Mirali Mohammadi	39
Cost Evaluation of Meta- Heuristic Design Models for Urban Water Distribution Network Mobin Eftekhari and Mohammad Akbari	48
Using Rice Bran Adsorbent for Furfural Removal from Contaminated Water Compared with Activated Carbon Samira Soltani, Mehrdad Farhadian and Nila Davari	57
<u>General Section</u>	
Interview	64
Round-Table	68
Best Thesis	81
Best Idea	84
Book Presentation	85
IWWA News	87