اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۷۸۲-۷۷۱

مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از ارائهٔ طرح بازچرخانی رواناب شهری با هدف آبیاری فضای سبز (مطالعهٔ موردی کانال الهیه منطقهٔ ۳ تهران)

سمیه السادات تارا[۱]، سیده مهسا موسوی رینه[۲]، حسین یوسفی[۳*]

۱. رئیس ادارهٔ محیط زیست و توسعهٔ پایدار شهرداری منطقهٔ ۳ تهران

۲. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳. دانشیار دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۷/۲۸؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۸/۲۸؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۹/۲۸)

چکیده

تخریب اکوسیستم‌های آبی، افت کیفیت آب شهری و کمبود آب موجب شد تا کشورها به استفاده از منابع آبی نامتعارف روی آوردند. در حال حاضر، منابع آب شهرهای پرجمعیت مانند تهران بر اثر مصرف و برداشت بیش از حد با کاهش شدید مواجه شده است. در این تحقیق، کانال آب الهیه منطقهٔ ۳ تهران به عنوان مطالعهٔ موردی برای بررسی طرح بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب کانال انتخاب شد. تحقیق حاضر به بررسی فرایند برداشت، تصفیه و سپس استفادهٔ مجدد آب کانال شهری با هدف آبیاری بخشی از فضای سبز منطقهٔ ۳ تهران پرداخته است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به روش مشاهدهٔ میدانی برداشت شده و تجزیه‌وتحلیل‌ها در یکی از آزمایشگاه‌های معتمد محیط زیست انجام شده است. برخی از مهم‌ترین نتایج کیفیت آب به صورت زیر است: بیشترین احتمال آماری کلی‌فرم گوارشی ۱۱۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر بوده، این مقدار نشان‌دهندهٔ آلودگی میکروبی است. وجود نمک‌های سدیمی موجب کاهش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود و عامل بازدانده رشد گیاهان است، میانگین میزان سدیم آب این کانال، ۳٤ میلی‌گرم بر لیتر بوده که از حد آستانه تجاوز کرده است. میانگین مقدار BOD_5 و COD به‌ترتیب ۳۸ و ۷۲ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که از نظر استاندارد EPA این مقادیر بیشتر از حد مجاز است. همچنین، نتایج آزمایش فلزات سنگین نشان داد بور با میانگین ۵۲ ppb از حد آستانه تجاوز کرده است و محدودیت شدید در آبیاری ایجاد می‌کند. در نهایت، نتایج آزمایش نمونه‌های آب کانال، نشان داد با انجام مراحل مختلف تصفیه از جمله تصفیهٔ فیزیکی، پیشرفته و گندزدایی، این آب جهت استفادهٔ مجدد آماده‌سازی می‌شود. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از آب کانال الهیه برای آبیاری فضای سبز موجب کاهش فشار بر سفرهٔ آب زیرزمینی می‌شود، چرا که در حال حاضر ٥٦۰ مترمکعب در روز از چاه فخار برداشت می‌شود که در صورت جایگزین کردن آب کانال الهیه این مقدار در سفرهٔ آب زیرزمینی به صورت ذخیره باقی خواهد ماند.

کلمات کلیدی: بازچرخانی آب، استفادهٔ مجدد، پساب، آب نامتعارف، مدیریت پایدار آب، تأمین آب آبیاری.

* نویسنده مسئول

Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir

مقدمه

عدم تطابق نیازهای انسان امروزی با امکانات و منابع زمین، چالش بزرگی است که نگرانی‌های بسیاری را برانگیخته است. منابع این کرهٔ خاکی محدود هستند، در حالی که رشد افسارگسیختهٔ شهری و تمرکز جمعیت در مناطق خاص، منجر به مصرف بیش از حد منابع در آن مناطق خواهد شد، درنتیجه کمبود منابع با سرعت بیشتری خود را نشان می‌دهد. این همان واقعیتی است که در مورد منابع آب کلان‌شهرها به‌خصوص در مناطق گرم و خشک در حال وقوع است. کمبود منابع آبی یک ریسک سیستماتیک جهانی به حساب می‌آید. آثار این ریسک عواقب اجتماعی اقتصادی و چالش‌های محیط زیستی فراوانی به دنبال دارد و زندگی و رفاه انسان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. برای دهه‌های زیادی بشر غیرمسئولانه از محیط زیست بهره برده و بیش از نیاز، منابع را مورد استفاده قرار داده و در راستای تخریب و کاهش کیفیت منابع آب گام برداشته است. فعالیت‌های مخرب و استفادهٔ ناکارآمد منابع آب و در کنار آن افزایش روزافزون جمعیت و افزایش تقاضای آب، منابع آب را در چند دههٔ اخیر به‌شدت محدود کرده و کمبود آب بیش از پیش خودنمایی می‌کند. در این میان، برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی، کاهش بارش نزولات جوی و بروز خشک‌سالی در بیشتر نقاط جهان، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، همگی ارمغان تکنولوژی و دنیای صنعتی برای بشر است [۲ و ۳]. مادامی که مشکل کمبود آب در مناطق خشک و پرجمعیت به قوت خود باقی‌است، نیاز روزافزون جست‌وجو برای منابع آب متعارف و راحت‌الوصول مانند برف، باران، رواناب و آب زیرزمینی و در آینده‌ای نزدیک جست‌وجو برای یافتن و بهره‌برداری از منابع آب نامتعارف[1] (UWR) نیز پابرجاست، چرا که نیاز آب برای تهیهٔ غذا، زندگی روزمره، اکوسیستم طبیعی و رشد صنعت غیر قابل چشم‌پوشی است. بنابراین، امنیت آبی نیازمند تکنولوژی و نوآوری در بهره‌برداری از انواع منابع آبی است [۱]. توسعهٔ شهری منجر به افزایش مناطق نفوذناپذیر می‌شود که بر هیدرولوژی حوضه‌های شهری تأثیر می‌گذارد. نفوذ و تبخیر تعرق کاهش می‌یابد و رواناب سطحی افزایش می‌یابد [۴]. به دنبال آن خطر سیلاب و حجم رواناب منتقل می‌شود به آب‌های دریافت‌کنندهٔ سطحی نیز افزایش می‌یابد [۵]. این در حالی است که زمان تمرکز و تغذیهٔ آب زیرزمینی [۶ و ۷] کاهش می‌یابد و در پی آن آلودگی و افت کیفیت آب رخ می‌دهد [۸]. این اثرات با توجه به پیش‌بینی‌های تغییر آب و هوا در آینده افزایش خواهند یافت [۹]. بی‌توجهی به اصول و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های متعارف و برداشت بیش از حد مجاز، باعث به خطر انداختن این منابع و تنزل کیفیت آب مصرفی خواهد شد. به وجود آمدن بحران کمبود آب (بالا بودن تقاضا نسبت به عرضه) معلول دو واقعیت انکارناپذیر است: ۱. محدودیت منابع آبی، ۲. تأثیرگذاری اقدامات و فعالیت‌های بشر. از این‌رو، چالش ناشی از رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و غذا از یک سو و خشکسالی‌ها و تغییر اقلیم از سوی دیگر، نظر برنامه‌ریزان و متخصصان علوم آب را به استفاده از آب‌های نامتعارف معطوف کرده است [۱۰]. با پیش‌بینی کمبود شدید آب جهانی، توجه به منابعی معطوف شده است که غیر متعارف در نظر گرفته می‌شوند و از این‌رو، منابع آب غیر متعارف نامیده می‌شوند. این منابع به عنوان منابع آبی تکمیلی در نظر گرفته می‌شوند [۱۱]. در کشور ایران فاصلهٔ منابع متعارف از شهرها بسیار زیاد است و در مواردی نیاز به چند مرحله پمپاژ نیز دارد. آمارها نشان می‌دهد قیمت تمام‌شده آب منتقل‌شده از راه‌های تصفیه، هزینهٔ تمام شده‌ای بیش از هزینه استفاده از منابع غیر متعارف نزدیک به محل مصرف دارد. بنابراین در زمینهٔ توسعهٔ منابع آب کشور باید به سمت رویکردهای نوین حرکت کرد [۱۲]. امروزه کاربرد آب نامتعارف تصفیه شده برای کشاورزی و آبیاری در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایالات متحده آمریکا، کانادا، فرانسه، آلمان، مکزیک، چین، برزیل، مصر، مراکش، اردن، عربستان سعودی، قطر و هند رایج است [۱۳]. در کشور ایران نیز در سال‌های اخیر، به دلیل محدودیت‌ها، کاربرد آن در اراضی کشاورزی اهمیت یافته و در اولویت‌های برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب قرار گرفته است.

منابع آبی نامتعارف به آن دسته از آب‌هایی گفته می‌شود که از آن‌ها به صورت معمول نمی‌توان استفاده کرد و برای به‌کارگیری آن‌ها نیاز به اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه است. در بیشتر کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان مثل ایران منابع آبی روزبه‌روز کمیاب‌تر می‌شود، بنابراین استفاده از آب‌های نامتعارف

1. Unconventional Water Resources

ضروری به نظر می‌رسد [۱۴] نمونه‌هایی از منابع آبی نامتعارف عبارت‌اند از: ۱) بهره‌برداری از آب باران در مقیاس حوضه‌های کوچک، در مناطقی که بارندگی محدود است به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک، بیشتر آب بارانی که می‌بارد از طریق رواناب سطحی و تبخیر از دسترس خارج می‌شود. این عوامل انگیزهٔ قوی برای استراتژی‌هایی فراهم می‌کند که حتی از مقادیر کم بارندگی و رواناب سطحی از طریق سیستم‌های جمع‌آوری آب برای تولید محصول، آبیاری و نیازهای محلی جوامع بهترین استفاده را می‌کنند [۱۵ و ۱۶]. ۲) بهره‌برداری از آب موجود در مه: در برخی مناطق رویدادهای مه مکرر هستند و غلظت مه زیاد است. جمع‌آوری آب مه یک گزینهٔ غیرفعال، عملی و پایدار است که می‌تواند آب آشامیدنی تازه را برای جوامعی که رویدادهای مه در آن‌ها رایج است، تأمین کند [۱۶]. جمع‌آوری مه با برخورد قطرات معلق روی یک شبکهٔ عمودی به دست می‌آید، جایی که قطرات به هم می‌پیوندند و پس از آن جمع‌آوری می‌شود و به مخزن یا سیستم توزیع می‌رود. میزان آب به‌دست‌آمده به شدت مه، طول مدت زمان این پدیده و تناوب رخداد این پدیده وابسته است [۱۷]. ۳) باروری ابرها: جو زمین حاوی حدود ۱۳ میلیون کیلومتر مربع آب در فاز بخار است که منبع آن تبخیر از سطح اقیانوس‌ها، دریاها و رطوبت خاک و تعرق گیاهان است. این ذخایر بخار آب به دلیل گردش تبخیر- تراکم و بارندگی به طور مداوم به‌روز می‌شوند و سالانه ۸-۹ بار چرخهٔ هیدرولوژیکی ایجاد می‌کنند که هر یک حدود ۴۰-۴۵ روز طول می‌کشد. بنابراین، مقدار بخار آب موجود در جو یک منبع آب شیرین و فرصتی برای افزایش بارندگی است [۱۸]. ۴) کوه‌های یخ: یدک کشیدن کوه یخ از یکی از کلاهک‌های یخی قطبی به کشوری با کمبود آب ممکن است راه حل عملی برای کمبود آب به نظر نرسد، اما دانشمندان، محققان و سیاستمداران از دههٔ ۱۹۵۰ برداشت کوه یخ را به عنوان یک منبع آب شیرین بالقوه قابل دوام در نظر گرفته‌اند [۱۹]. ۵) زه‌آب کشاورزی: در کشورهای واقع در مناطق خشک استفادهٔ مجدد از آب زهکشی کشاورزی به منبع مهم آبیاری تبدیل شده است [۳۸ و ۳۹]. ۶) آب‌های زیرزمینی شیرین و لب شور عمیق خشکی و فراساحل: منابع آب زیرزمینی کم‌عمق با نرخی بیش از نرخ تغذیه، مورد بهره برداری قرار می‌گیرند [۲۰]. در مناطق شهری و مناطق کشاورزی، پمپاژ بیش از حد منجر به کاهش ده‌ها متری سطح آب، فرونشست زمین و شور شدن آب شده است [۲۱]. ۷) فاضلاب شهری: فاضلاب شهری به صورت ترکیب احتمالی (۱) پساب خانگی متشکل از فاضلاب سرویس بهداشتی، آب خاکستری از آشپزخانه و حمام و سایر مصارف خانگی (۲) شیرابهٔ پسماندهای مؤسسه‌ها و ساختمان‌های تجاری؛ (۳) پساب صنعتی که به سیستم‌های فاضلاب شهری تخلیه می‌شود و (۴) توفان و سایر رواناب‌های شهری که به سیستم‌های فاضلاب شهری ختم می‌شوند، وجود دارد. جمع‌آوری، تصفیه و استفادهٔ مناسب از فاضلاب مزایای متعددی به همراه دارد [۱]. ۸) نمک‌زدایی آب‌های شور (آب دریاها و آب‌های زیرزمینی شور): آب شیرین‌شده صرف نظر از مشکلات محیط زیستی، می‌تواند منابع آب شیرین را فراتر از آنچه در چرخهٔ هیدرولوژیکی در دسترس است، افزایش دهد و منبعی مستقل و پایدار از آب با کیفیت بالا فراهم کند [۱].

آب‌های سطحی جاری از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، فضای سبز، صنعت، شرب و تولید برق دارند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوهٔ منابع آب سطحی است. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعهٔ منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها است، چراکه امکان ورود فاضلاب‌های تصفیه‌نشده به آب‌های سطحی وجود دارد. در بسیاری از کشورها پایش کیفیت منابع آب یکی از برنامه‌های اصلی سازمان‌های مرتبط با آب است. بیشتر این کشورها دستورالعمل‌هایی برای پایش تهیه کرده‌اند یا با استفاده از دستورالعمل‌های منتشرشده توسط سازمان‌های بین‌المللی پایش کیفیت منابع آب را انجام می‌دهند. در کشور ایران نیز دستورالعملی مبنی بر ضوابط زیست‌محیطی استفادهٔ مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها توسط معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور تدوین شده است. در این دستورالعمل حدود مجاز مؤلفه‌های کیفیت آب جهت بازمصرفی در مصارف مختلف آورده شده است. پایش کیفیت منابع آب مسائل مختلفی مانند عوامل مورد سنجش، مکان اندازه‌گیری،

دورهٔ زمانی و تواتر اندازه‌گیری، تجهیزات اندازه‌گیری، چگونگی اندازه‌گیری و همچنین، روش ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات را دربرمی‌گیرد. با توجه به پایین بودن میانگین بارش در تهران که حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سطح دنیاست و با توجه به اینکه نقش فضای سبز در کیفیت زندگی شهری انکارناپذیر و میزان آب مورد نیاز برای آبیاری قابل توجه است، بنابراین انجام مطالعاتی مربوط به تأمین آب آبیاری فضای سبز ضروری و الزامی به نظر می‌رسد [۳۳]. هدف از این تحقیق، تأمین، برداشت و تصفیهٔ آب سطحی کانال الهیه به منظور استفاده برای آبیاری فضای سبز شهری منطقهٔ ۳ تهران است. برای دستیابی به این هدف یک طرح بازچرخانی آب برای مدیریت پایدار آب در یک مطالعهٔ موردی ارائه شده است.

پیشینهٔ تحقیق

مطالعات گسترده‌ای در رابطه با استفاده از منابع نامتعارف آب با هدف آبیاری فضای سبز و کشاورزی صورت گرفته است. در ایالات متحده استفادهٔ مجدد از آب شهری در سال ۲۰۰۰ به میزان ۱/۵ درصد از میزان کل آب مصرفی را تشکیل می‌داد [۲۲]. عمدهٔ مطالعاتی که در این زمینه انجام گرفته است، حول محور تصفیهٔ فاضلاب شهری جهت آبیاری فضای سبز و یا کشت محصولات خوراکی بوده است. در زمینهٔ بازچرخانی آب در راستای پایداری تجربیات موفقی در دنیا وجود داشته است و به دلیل پیشرفت فناوری‌های تصفیهٔ پساب جای نگرانی از جهت تولید پساب با کیفیت مناسب جهت آبیاری و کشاورزی و یا سایر مصارف وجود ندارد [۲۳]. استفاده از پساب برای آبیاری امری جدید نیست و در ایران نیز از دورهٔ صفویه از فاضلاب برای غنی‌سازی خاک کشاورزی در اصفهان استفاده می‌شد و بسیاری از فاضلاب خانگی به نهرهایی تخلیه می‌شده که برای آبیاری زمین‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما امروزه با توجه به لزوم رعایت استانداردهای جهانی و استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست تخلیه بدون تصفیهٔ پساب‌ها به پهنه‌های آب و رواناب‌ها ممنوع است و با توجه به اینکه پساب مورد نظر قرار است در چه زمینه‌ای مورد استفادهٔ مجدد واقع شود (مصارف تفرجی، آبیاری فضای سبز، محصولات کشاورزی خوراکی و غیر خوراکی و غیره) درجه‌بندی‌هایی از تصفیه از حداقلی تا پیشرفته مورد نیاز است [۲۴]. پالس و همکاران (۲۰۰۹) آبیاری باغ‌های زیتون در جنوب ایتالیا با فاضلاب شهری تصفیه شده را مطالعه کردند. آن‌ها همچنین اثرات این آبیاری را بر کیفیت میکروبیولوژیک خاک و میوه‌ها بررسی کردند. تجزیه‌وتحلیل‌ها بر دو مزرعهٔ دیم و آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌شده انجام شد و نتایج نشان داد هیچ آلودگی میکروبی قابل توجهی در میوه‌های برداشت‌شده به طور مستقیم از تاج درختان آبیاری‌شده با فاضلاب ثبت نشد. آلودگی‌های میوه‌های نمونه‌برداری‌شده از زمین در قطعهٔ آبیاری با فاضلاب مشابه یا کمتر از آلودگی‌های مشاهده‌شده در میوه‌های جمع‌آوری‌شده از قطعهٔ دیم بود. این تحقیق تأیید می‌کند که در شرایط مناسب، فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند به عنوان منبع آبی اضافی برای آبیاری زیتون در محیط‌های مدیترانه‌ای کم‌آب مفید باشد [۲۵]. قنادزاده و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی منابع آب و پساب جهت آبیاری فضای سبز مشهد پرداختند. در این تحقیق علاوه بر تجزیه‌وتحلیل مشخصات و کیفیت پساب، به منظور حفظ بهداشت و سلامت عمومی استانداردهای سختگیرانه‌تری نسبت به استانداردهای سایر کشورها و سازمان محیط زیست ایران توصیه شد [۲۶]. زوبلزو و همکاران (۲۰۱۹) به تخمین مقدار آب سطحی شهری جهت استفادهٔ مجدد از آن در مدیریت پایدار منابع آب شهری پرداختند. در این تحقیق نه تنها به شبیه‌سازی رفتار متغیرهای هیدرولوژیکی بیلان آب، بلکه به تخمین مقدار بهینهٔ آب برای مدیریت محلی نیز پرداخته شد. با توجه به مطالعهٔ حوضه‌های مختلف شهری، حوضه‌هایی که رواناب را به مسیل‌های شهری منتقل می‌کنند و از آب ذخیره‌شده آن برای آبیاری استفاده می‌کنند، در واقع همان راه حل بهینه را ارائه می‌دهند. این طراحی حداقل هزینه و کارآمدترین روش مدیریت منابع را دنبال می‌کند [۲۷]. فلچر و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند با استفاده از رواناب سطحی می‌توان ۱۰۰ درصد نیاز شرب و آبیاری منطقه‌ای در استرالیا را تأمین کرد [۲۸]. غفوری و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی استفادهٔ مجدد از پساب منطقه‌ای شهر جدید پردیس و ابعاد اقتصادی آن پرداختند. در این تحقیق استفاده از تصفیه‌خانهٔ منطقه‌ای به جای تصفیه‌خانهٔ اصلی مرکزی پیشنهاد شد. اولویت‌بندی استفادهٔ غیرمتمرکز از پساب برای مناطق

شهری نشان داد این طرح برای بخش قابل توجهی از مناطق مسکونی (ضمن کاهش مصرف آب در کنار صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش درآمد منطقه‌ای) دارای اولویت گروه اول است. آن‌ها همچنین این طرح را راهکاری پایدار در تصمیم‌گیری منابع آبی و معضلات آبی شهر پردیس دانستند [۲۹]. ایزدپناه و صراف‌زاده (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به پتانسیل استفادهٔ مجدد از پساب استخرهای شنا برای آبیاری فضای سبز در شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد پساب خروجی از استخرها دارای کیفیت نسبتاً خوبی است و بسیاری از پارامترها منطبق با استانداردهای آبیاری فضای سبز است. در برخی پارامترها مانند بار آلودگی آلی اختلاف کمی با استانداردها وجود دارد که با به‌کارگیری یک تصفیهٔ ساده همچون فیلتراسیون عمقی و کربن فعال مرتفع می‌شود [۳۰]. چاآخوری و همکاران (۱۴۰۰) به تحلیل راهبردهای مدیریت منابع آبی به روش تاپسیس پرداختند. آن‌ها در جهت کمبود آب در مدیریت ریسک و مدیریت بحران و برای جلوگیری از نقصان در کمبود کمیت و کیفیت آب آبیاری کشاورزی، بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب با تأکید بر جایگزینی پساب برای مصارف کشاورزی و فضای سبز با به‌کارگیری روش‌های نوین استحصال آب به عنوان راهبردهای با اهمیت و تأثیرگذار در اولویت قرار گرفت [۴۰].

مواد و روش‌ها

با توجه به شرایط آب‌وهوایی و جغرافیایی کشور و در نتیجه کمبود منابع آب، استفادهٔ بهینه از منابع آب تجدیدپذیر، بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب در سال‌های اخیر به عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی- سیاسی دولت جمهوری اسلامی ایران مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، وزارت نیرو به استناد مادهٔ (۱) قانون توزیع عادلانهٔ آب و با توجه به اصل مدیریت یکپارچهٔ منابع آب،کلیهٔ سازمان‌های آب منطقه‌ای را موظف کرده است تا در چارچوب نظام جامع تخصیص آب و سایر مقررات ذی‌ربط، نسبت به تهیه و تدوین برنامه‌های مناسب بهره‌برداری از فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهری، روستایی، صنعتی و همچنین آب‌های برگشتی از مصارف کشاورزی، اقدام و برای استفادهٔ مجدد از منابع آب بازیافتی تمهیدات لازم را در نظر گیرند [۳۱].

منطقهٔ مورد مطالعه

شهر تهران با قرار گرفتن در ارتفاع بین ۹۵۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا دارای شرایطی است که ویژگی‌های اقلیمی آن با ارتفاع تغییر می‌کند. میانگین بارش سالانهٔ تهران ۲۴ میلی‌متر است [۳۲]. محدودهٔ این تحقیق منطقهٔ ۳ شهرداری تهران است. مستند به پرتال شهرداری تهران، منطقه ۳ با مساحت ۲۹۵۴ هکتار، در پهنهٔ شمال شهر تهران واقع شده و یکی از مناطق بزرگ شهری تهران است. منطقهٔ ۳ از شمال با منطقهٔ ۱، از شرق با منطقهٔ ۴، از غرب با منطقهٔ ۲ و از جنوب با مناطق ۶ و ۷ هم‌مرز و همجوار است و این منطقه در وضع موجود ۶ ناحیه دارد. پس از بررسی‌هایی که از سال ۱۳۹۷ بر کانال مجتبایی، مسیل غیاثوند، مسیل مدرس و زرگنده انجام شد، کانال مجتبایی به دلایل فنی و اتکای بیش از حد به آب قنوات منطقه، مسیل غیاثوند به دلیل هزینه‌های زیاد تصفیهٔ آب با آلودگی بالا و سیل‌خیز بودن محل مسیل و نبود محل مناسب برای ساخت تأسیسات مورد نیاز تصفیه در محل، مسیل مدرس به دلیل عدم رعایت تشریفات قانونی انعقاد قرارداد رد شدند. در نهایت، در سال ۱۴۰۰ کانال الهیه با هدف تأمین آب آبیاری فضای سبز از آب‌های سطحی انتخاب شد. شکل ۱ محدودهٔ جغرافیایی منطقهٔ ۳ شهر تهران و کانال الهیه را نشان می‌دهد. علاوه بر اینکه کانال الهیه مشکلاتی مشابه با مشکلات سایر کانال‌های منطقه را ندارد، وجود زمین کافی بلامعارض در محل برای ساخت مخزن و تصفیه‌خانه نکتهٔ مهمی در مورد انتخاب آن به شمار می‌رود.

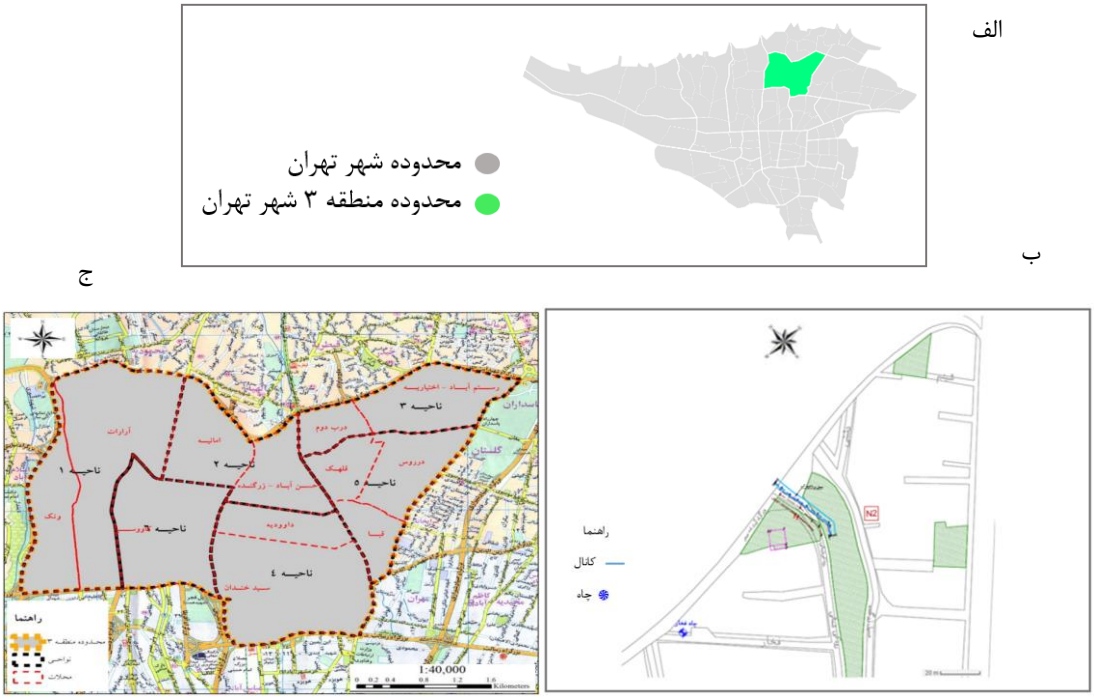
روش کار

به روش پیمایش میدانی وضعیت کمی و کیفی کانال الهیه مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه از آب کانال الهیه در چهار فصل مختلف نمونه‌برداری شد و در یکی از آزمایشگاه‌های معتمد محیط زیست مشخصات فیزیکوشیمیایی، آزمون فلزات سنگین و آزمون میکروبی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر نتایج آزمون بر اساس استانداردهای مرجع از جمله EPA[1]، ASTM[2] و شیوه‌های استاندارد برای آزمایش آب و فاضلاب [۳۴ و ۳۵] و استاندارد سازمان محیط زیست ایران بررسی شد. پساب تصفیه‌شده برای آبیاری محصولات خوراکی که به شکل خام مصرف می‌شوند و

1. Environmental Protection Agency
2. American Society for Testing and Materials

همچنین، برای آبیاری فضای سبز به حداقل تصفیهٔ ثانویه، فیلتراسیون و گندزدایی نیاز دارد و کیفیت پساب تصفیه‌شده باید pH=6-8.5، BOD<10 mg، کدورت کمتر از 2 NTU کلر باقی‌مانده کمتر از 1mg/l و کلی‌فرم گوارشی در حد صفر برای محصولات خوراکی و کمتر از ۲۰۰ عدد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر برای فضای سبز باشد [۳۶].

جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات نمونه‌ها را نشان می‌دهد. از نظر کیفی عامل مهم محدودیت‌زا در استفاده از فاضلاب‌های تصفیه‌شده برای مصارف آبیاری فضای سبز، استاندارد بهداشتی آن است که نیاز به کیفیت بالایی از لحاظ کل کلی‌فرم و فوکال کلی‌فرم (کلی‌فرم گوارشی) دارد.



شکل ۱. الف) محدودهٔ شهر تهران، ب) منطقهٔ ۳ تهران به همراه نواحی و محلات، ج) محل جغرافیایی کانال الهیه

جدول ۱. اطلاعاتی از محل نمونه‌برداری و شرایط محیطی کانال الهیه

	محل نمونه‌برداری (طول و عرض جغرافیایی)	زمان نمونه‌برداری	شرایط محیطی، دما (^{0}C)	شرایط محیطی، رطوبت (درصد)	مرجع آزمون‌ها
۱		پاییز	۲۵,۱	۴۱	EPA
۲	۳۵,۷۸۱۵ ^{0}N	زمستان	۶	۶۵	ASTM
۳	۵۱,۴۳۴۳ ^{0}E	بهار	۱۷,۳	۴۱	Standard Method for Examination of Water and Wastewater
۴		تابستان	۳۵	۲۴	

نیاز آبی گیاهان در آزمایشگاه‌ها و مطالعات مزرعه‌ای از طریق روش‌های مستقیم (لایسیمتر و بیلان آبی) و روش‌های غیر مستقیم (بلانی کریدل، فائو- پنمن- مانتیث، جنسن- هیز) برآورد می‌شود. مجموع کل تلفات آب طی یک دورهٔ زمانی معین، تخمینی از مقدار نیاز آبی است که باید به وسیلهٔ آبیاری جایگزین شود. از آنجا که پرورش‌دهندگان و مدیران فضای سبز مجهز به ابزاری برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در مزرعه نیستند، برای این منظور فرمولی ابداع شده است که می‌توان توسط آن تبخیر و تعرق را برآورد کرد. این فرمول (که فرمول ET_c نامیده می‌شود) به صورت رابطهٔ ۱ بیان می‌شود:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \qquad (۱)$$

که در آن ET_c تبخیر و تعرق گیاه، K_c ضریب گیاهی و ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل است. ضریب گیاهی به

مواردی از جمله گونهٔ گیاهی، تراکم و ریزاقلیم وابسته است [۳۳].

در حال حاضر، نیاز آبی جهت آبیاری بوستان زرگنده و الهیه از طریق چاه فخار (شکل ۱ج) انجام می‌شود. بنابراین، مقدار آب مورد نیاز و برداشت‌شده با هدف آبیاری را می‌توان از آمار و اطلاعات ثبت‌شدهٔ چاه برداشت کرد. به منظور کاهش فشار بر سفرهٔ آب زیرزمینی استفاده از آب کانال الهیه جهت تأمین آب آبیاری پیشنهاد شده است.

روش‌های آبگیری از مسیل‌ها و کانال‌ها به این صورت دسته‌بندی می‌شوند: احداث حوضچهٔ پمپاژ در کف کانال، احداث حوضچهٔ آبگیری در کنار کانال، احداث چاهک پمپاژ در کنار کانال.

به منظور انتخاب محل پمپاژ و آبگیری باید به نکات زیر در مورد محل آبگیری توجه کرد [۳۶].

- محل پمپاژ، شرایط و امکانات مورد نیاز برای ساخت، بهره‌برداری و دسترسی راحت را داشته باشد.
- شرایط هیدرولیکی رودخانه در محل مورد نظر برای آبگیری به نحوی باشد که در صورت امکان بیشترین آب ورودی و کمترین رسوب ورودی به سامانهٔ پمپاژ وجود داشته باشد و اثرات نامناسبی بر رفتار طبیعی مسیل نداشته باشد.
- محل انحراف به گونه‌ای باشد که نوسان‌های تراز آب روی پمپاژها را به حداقل برساند.
- به منظور محافظت در برابر سیلاب، دیوارهای ایستگاه پمپاژ باید حداقل ۱/۲ متر بالاتر از تراز سیل با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله باشد.
- عواملی مانند آب‌وهوای منطقه، تأسیسات جانبی، پایش و رفتارسنجی سامانهٔ آبی برای مشخص کردن عملکرد آن هنگام انجام کار و نگهداری و تعمیرات در انتخاب محل پمپاژ تأثیرگذار است.
- باید توجه داشت که اگر مسیل و یا رودخانه دارای ماهی و آبزی باشد، برای جلوگیری از ورود آن‌ها به محل آبگیری یک صفحهٔ مسطح منفذدار نصب می‌شود و اندازهٔ منافذ آن با توجه به نوع آبزیان منطقه تعیین می‌شود.

به دلیل محدودیت‌هایی از جمله انباشت رسوب و زباله در حوضچه و چاله پمپاژ در کف کانال، گزینهٔ احداث حوضچه رد می‌شود. احداث حوضچهٔ آبگیری در کنار کانال و قرار دادن پمپ و شیرآلات مربوطه در آن، به علت هزینه‌های زیاد و مشکلات زیاد عملیات اجرایی آن در محدودهٔ کانال و داخل شهر مورد تأیید نیست. بنابراین، احداث چاهک پمپاژ در کنار کانال با هزینهٔ اجرایی مناسب گزینهٔ مد نظر است.

روش و مراحل تصفیهٔ آب کانال را می‌توان به سه مرحلهٔ کلی تصفیهٔ فیزیکی، بیولوژیکی (حذف مواد آلی محلول و غیرمحلول) و پیشرفته تقسیم کرد. شکل ۲ مراحل مورد نیاز برای تصفیهٔ آب کانال را با هدف آبیاری فضای سبز نشان می‌دهد.

شکل ۲. مراحل انجام عملیات تصفیهٔ آب کانال شهری

در گام دوم از چارت بالا، آب ورودی در یک مخزن ۱۵ متر مکعبی برای متعادل‌سازی به صورت موقت ذخیره می‌شود و برای سایر مراحل آماده‌سازی می‌شود. در نهایت، آب تصفیه‌شده در مخزن یک هزار متر مکعبی با هدف آبیاری فضای سبز ذخیره می‌شود.

یافته‌های تحقیق

مطابق با رابطهٔ ۲ حجم آب مورد نیاز روزانه در ماه پیک، برای مناطق تحت آبیاری بوستان زرگنده و الهیه حدود ۵۶۰ مترمکعب در روز (دبی ۱۶ ساعته برداشت‌شده از چاه) است. هم‌اکنون ۱۰۰ درصد این مقدار که معادل با ۹/۷ لیتر بر ثانیه است، از چاه فخار (شکل ۱ج) تأمین می‌شود. بنابراین، به منظور کاهش فشار بر سفرهٔ آب زیرزمینی بخشی از آب مورد نیاز از کانال الهیه جهت تأمین آب آبیاری پیشنهاد شده است، با احداث سیستم تصفیه‌ای نیز کیفیت آب افزایش خواهد یافت. میزان آب مورد نیاز روزانه بر اساس نیاز آبی فضای سبز خیابان‌های تحت پوشش مخزن به دست آمده است. ساعت کارکرد پمپ از چاه فخار ۱۶ ساعت در روز است.

$$560\frac{m^3}{day}\times\frac{1\ day}{16\ hour}\times\frac{1\ hour}{3600\ s}\times\frac{1000\ lit}{1\ m^3}=9.7\frac{lit}{s} \qquad (۲)$$

از لحاظ کیفی نمونه‌های برداشت‌شده از کانال الهیه در آزمایشگاه آنالیز شد و نتایج آن به صورت جدول ۲ است.

با توجه به مشاهدات میدانی رنگ، دما و بوی آب در حد مناسبی است. کدورت آب برای آبیاری تحت فشار اهمیت ویژه‌ای دارد. مهم‌تر از آن دانه‌بندی کدورت است، زیرا وجود دانه‌های درشت موجب گرفتگی تأسیسات آبیاری تحت فشار می‌شود. برای جلوگیری از ورود کدورت و ذرات جامد به سیستم، هنگام سیلابی شدن، بارندگی و گل‌آلود بودن آب کانال سیستم برداشت و تصفیهٔ آب خاموش می‌شود. همچنین، به لحاظ شیمیایی نمک‌های موجود ارزیابی شدند، چرا که وجود نمک‌های سدیمی موجب کاهش نفوذپذیری آب در خاک و وجود نمک‌های کلسیم موجب افزایش مرغوبیت خاک می‌شود. افزایش یون کلرید در آب آبیاری فضای سبز سبب کند شدن یا جلوگیری از رشد گیاهان می‌شود. به طور کلی، تجمع بیش از حد نمک‌ها در خاک عامل بازدانندهٔ رشد گیاهان است. آبی که غلظت نمک‌ها در آن از حد آستانه کمتر باشد، برای رشد گیاهان مناسب است و اگر غلظت، بیش از حد آستانه و در حدی باشد که به غلظت محدودکننده موسوم است، از رشد گیاهان به‌شدت جلوگیری می‌کند. با توجه به نتایج آزمون‌های میکروبی، قابل ملاحظه است که کیفیت آب کانال از لحاظ باکتریولوژی و میکروبی تا حدی آلوده است. به همین دلیل، قرار دادن یک واحد گندزدایی برای حذف آلودگی‌های میکروبی ضروری است. درخور یادآوری است که جهت گندزدایی آب مورد نیاز آبیاری از کلرزنی نمی‌توان استفاده کرد، زیرا مطابق جدول ۲ کلراید برای مصارف آبیاری و کشاورزی مضر است. از نظر آلاینده‌های آلی BOD_5 و COD آب کانال الهیه اگرچه به حد آستانه نمی‌رسد، اما حاوی آلودگی است (میانگین مقدار BOD_5 و COD به‌ترتیب ۳۸ و ۷۲ mg/lit). از نظر استاندارد سازمان محیط زیست ایران این مقادیر جهت آبیاری فضای سبز قابل قبول است، اما از نظر استاندارد EPA این مقادیر کمی بیشتر از استاندارد است. بنابراین، با مد نظر قرار دادن استاندارد سخت‌گیرانه‌تر EPA و هدف‌گذاری BOD_5 و COD به‌ترتیب ۱۰ و ۱۵ mg/lit سیستم تصفیهٔ پساب مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری

با توجه به محدود بودن منابع آبی و رشد روزافزون جمعیت و تقاضای آب، اغلب کشورها سعی بر بهره‌مندی از منابع آبی نامتعارف دارند، این در حالی است که بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان در مناطق شهری ساکن‌اند و در مناطق شهری تقاضا آب از عرضهٔ موجود فراتر است. یکی از منابع آبی نامتعارف که در این تحقیق مد نظر است، بازچرخانی آب سطحی و استفادهٔ مجدد از آب کانال‌ها و مسیل‌های شهری است. بسیاری از کشورها بر این باورند که استفادهٔ مجدد از آب‌های سطحی و نیز فاضلاب شهری تصفیه‌شده می‌تواند راه حلی واقع‌بینانه برای کاهش کمبود آب باشد. در این تحقیق کانال الهیه واقع در منطقهٔ ۳ شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. در حال حاضر، آبیاری فضای سبز دو بوستان زرگنده و الهیه با استفاده از چاه فخار انجام می‌گیرد. استفاده از آب تصفیه‌شدهٔ کانال الهیه باعث می‌شود تا برداشت از چاه کاهش یابد و در نتیجه، فشار بر سفرهٔ آب زیرزمینی کاسته می‌شود. آب کانال به لحاظ کیفی نیز تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج نشان داد با توجه به استانداردهای موجود و کیفیت آب خام کانال، این آب برای مصرف آبیاری فضای سبز مناسب نیست و باید عمل

تصفیه انجام شود. تأسیسات مورد نیاز تصفیهٔ این آب، یک تله زباله‌گیر یا صافی در ابتدای دهانهٔ ورودی آب کانال، یک سبد یا توری زباله‌گیر برای پمپ مستغرق، یک سیستم فیلتراسیون جهت حذف یون‌های مضر، کدورت احتمالی، آلاینده‌های آلی و یک سیستم گندزدایی ازن جهت حذف آلودگی‌های میکروبی است. نتایج سایر مطالعات نظیر [۲۶، ۲۸، ۲۹، ۳۰ و ۴۰] نشان دادند استفاده از آب‌های نامتعارف و بازچرخانی آن می‌تواند منبع تأمین آب مناسبی برای مصارف مختلف از جمله آبیاری فضای سبز باشد.

جدول ۲. نتایج آزمایش‌های کانال الهیه در فصل‌های مختلف

	عنوان آزمایش	نماد	واحد	متد انجام آزمایش	پاییز ۱۳۹۹	زمستان ۱۳۹۹	بهار ۱۴۰۰	تابستان ۱۴۰۰	استاندارد غلظت آلاینده‌های پساب جهت آبیاری (سازمان حفاظت محیط زیست،EPA، ASTM)
	نتایج آزمون فیزیکوشیمیایی								
۱	اسیدیته	pH	-	Electrometric	۸,۰۹	۷,۹۱	۷,۹۹	۸,۱۵	۶-۸,۵
۲	کل مواد معلق	TSS	mg/lit	Gravimetric	۱۴۲	۱۹۰	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۰
۳	کل جامدات محلول	TDS	mg/lit	Gravimetric	۳۶۴	۲۴۴	۴۴۶	۴۴۴	۴۵۰> محدودیت صفر ۴۵۰-۲۰۰۰ محدودیت متوسط ۲۰۰۰< محدودیت شدید
۴	کلسیم	Ca^{2+}	mg/lit	EDTA Titrimetric	۱۷۷	۱۳۳	۲۱۷	۲۰۶	-
۵	منیزیم	Mg^{2+}	mg/lit	EDTA Titrimetric	۴۲	۲۸	۵۹	۶۰	۱۰۰
۶	نیترات	NO_3^-	mg/lit	BRUCINE	۳۱,۵	۱۱,۴	۱۰	۱۵,۲	-
۷	کلراید	Cl^-	mg/lit	Argentometric	۴۱	۲۷	۵۸	۵۹	۰ حد غلظت آستانه ۳۵۰ غلظت محدودکننده
	سدیم	Na^+	mg/lit	Direct AirAcetylene Flame Atomic Emission Spectrometric	۳۴	۲۴	۳۹	۴۰	۳> محدودیت صفر ۳< محدودیت متوسط
۸	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی	BOD_5	mg/lit	Respirometric	۳۵	۴۹	۳۳	۳۵	۱۰۰
۹	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	COD	mg/lit	Closed reflux-Titrimetric	۶۹	۹۵	۶۲	۶۴	۲۰۰
۱۰	دترجنت	MBAS	mg/lit	Colorimetric	<۰,۱	<۰,۱	<۰,۱	<۰,۱	۰,۵
۱۱	هدایت الکتریکی	Ec	µs/cm	Platinum Electrode	۴۸۴	۳۷۹	۶۹۱	۶۹۷	۷۵۰ حد غلظت آستانه ۱۵۰۰ غلظت محدودکننده
	نتایج آزمون فلزات سنگین								
۱	آهن	Fe	ppb	GF Atomic Absorption Spectrometric	<۵۰	<۵۰	۶۳	<۵۰	۳
۲	منگنز	Mn	ppb	GF Atomic Absorption Spectrometric	<۳۰	<۳۰	<۳۰	<۳۰	۱
۳	آرسنیک	As	ppb	Hybrid Generation Absorption Spectrometric	<۵	<۵	<۵	<۵	۰,۱
۴	کادمیم	Cd	ppb	GF Atomic Absorption Spectrometric	<۳۰	<۳۰	<۱	<۳۰	۰,۰۵
۵	کروم	Cr	ppb	GF Atomic Absorption Spectrometric	<۵۰	<۵۰	<۳۰	<۳۰	۲
۶	بور	B	ppb	Inductively Coupled Plasma	۵۳	۵۰	۵۰	۵۸	۰,۷> محدودیت صفر ۰,۷-۳ محدودیت متوسط ۳> محدودیت شدید
	نتایج آزمون میکروبی								
۱	کلی‌فرم گوارشی	FC	MPN/100cc[1]	Multiple Tube Technique	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	۲۰۰
۲	کل کلی‌فرم	TC	MPN/100cc	Multiple Tube Technique	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	>۱۱۰۰	۱۰۰۰

1. Most Probable Number (بیشترین احتمال آماری کلی‌فرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)

بازچرخانی آب در حوزه‌های مختلف شهری به‌خصوص مسیل‌ها و کانال‌های شهری می‌تواند گزینهٔ مناسبی برای تأمین آب آبیاری فضای سبز و زمین‌های کشاورزی باشد. امید است که این تحقیق در جهت پیشرفت پروژه‌های بازچرخانی آب در سایر مناطق شهر تهران و نیز سایر استان‌ها مورد استفاده قرار گیرد و با استفاده از آب‌های نامتعارف و رواناب‌های جاری بخشی از معضلات تأمین آب شهری جبران شود. در حال حاضر، همهٔ آب‌های توزیع‌شده در سیستم‌های شبکهٔ توزیع شهری دارای کیفیت مطلوب آشامیدنی است، در حالی که برای مصارف غیر شرب در شهرها شامل: آبیاری فضای سبز و زمین‌های ورزشی، فلاش تانک سرویس‌های بهداشتی، آب شست‌وشوی معابر، ساختمان‌سازی و اطفای حریق، مصارف تفریحی و حتی مصارف صنعتی و غیره نیاز به آب دست اول با کیفیت آب شرب نیست و با استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده شهری علاوه بر حفظ منابع آبی موجود تا حد زیادی از آلودگی محیط زیست جلوگیری می‌شود و به عنوان منبع آب نامتعارف برای مصارف شهری و صنعتی و کشاورزی به کار می‌رود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از شرکت مهندسان مشاور کمندآب به دلیل حمایت‌های لازم در انجام این پژوهش و در اختیار قرار دادن نتایج آزمایش‌های کیفیت آب تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

[1]. Qadir M, Smakhtin V, Koo-Oshima S, Guenther E. The Future of Unconventional Water Resources. InUnconventional Water Resources. 2022; 299-309. Springer, Cham.

[2]. Kummu M, Ward PJ, de Moel H, Varis O. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. Environmental Research Letters. 2010 Aug 16;5(3):034006.

[3]. Sarafzade M H. Hashemi Garmdare A. Recycling methods of urban sewage and waste water and investigating the possibility of using them as unconventional water sources in the green space of Tehran. TEHRAN URBAN RESEARCH AND PLANNING CENTER: TEHRAN MUNICIPALITY. 2015. [In Persian]

[4]. Rodríguez-Sinobas L, Zubelzu S, Perales-Momparler S, Canogar S. Techniques and criteria for sustainable urban stormwater management. The case study of Valdebebas (Madrid, Spain). Journal of Cleaner Production. 2018 Jan 20;172:402-16.

[5]. Ahiablame L, Shakya R. Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. Journal of environmental management. 2016 Apr 15;171:81-91.

[6]. Ogden FL, Raj Pradhan N, Downer CW, Zahner JA. Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment. Water resources research. 2011 Dec;47(12).

[7]. Ursino N. Risk analysis of sustainable urban drainage and irrigation. Advances in water resources. 2015 Sep 1;83:277-84.

[8]. Morales-Torres A, Escuder-Bueno I, Andrés-Doménech I, Perales-Momparler S. Decision Support Tool for energy-efficient, sustainable and integrated urban stormwater management. Environmental Modelling & Software. 2016 Oct 1;84:518-28.

[9]. Pyke C, Warren MP, Johnson T, LaGro Jr J, Scharfenberg J, Groth P, Freed R, Schroeer W, Main E. Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change. Landscape and Urban Planning. 2011 Nov 30;103(2):166-73.

[10]. Majed V, Golzari S. Economic and Environmental Analysis of Wastewater Collecting and Treatment. Journal of water and sustainable development; 3(1): 83-92. [In Persian]

[11]. Yazdandoost F, Noruzi MM, Yazdani SA. Sustainability assessment approaches based on water-energy Nexus: Fictions and nonfictions about non-conventional water resources. Science of The Total Environment. 2021 Mar 1;758:143703.

[12]. Razeghi R. Mansouri R. Rohani P. Water reuse (plan and program). Agricultural research, education and promotion organization. 2013. [In Persian]

[13]. Abedi Koopai J. The necessity of targeted planning for the use of treated wastewater as a source of growing water in the artificial feeding of the country's underground water resources. The second national seminar on the role of recycled water and wastewater in water resources management. 2010.. [In Persian]

[14]. Mousavi S A. Nouri Emamzadei S M. Samadi Boroujeni H. Challenges of using non-conventional water in agriculture. Irrigation and Drainage Association of Iran. National survey of challenges of water resources and agriculture.2013. [In Persian]

[15]. Oweis TY. Rainwater harvesting for restoring degraded dry agro-pastoral ecosystems: a conceptual review of opportunities and constraints in a changing climate. Environmental Reviews. 2017;25(2):135-49.

[16]. Qadir M, Jiménez GC, Farnum RL, Dodson LL, Smakhtin V. Fog water collection: challenges beyond technology. Water. 2018 Mar 24;10(4):372.

[17]. Correggiari M, Castelli G, Bresci E, Salbitano F. Fog collection and participatory approach for water management and local development: practical reflections from case studies in the Atacama drylands. InWater and Land Security in Drylands 2017 (pp. 141-158). Springer, Cham.

[18]. Healy RW, Winter TC, LaBaugh JW, Franke OL. Water budgets: foundations for effective water-resources and environmental management. Reston, Virginia: US Geological Survey; 2007.

[19]. Lewis, C. (2015). Iceberg harvesting: suggesting a federal regulatory regime for a new freshwater source. BC Envtl. Aff. L. Rev., 42, 439.

[20]. Aeschbach-Hertig W, Gleeson T. Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion. Nature Geoscience. 2012 Dec;5(12):853-61.

[21]. Ferguson G, McIntosh JC, Perrone D, Jasechko S. Competition for shrinking window of low salinity groundwater. Environmental Research Letters. 2018 Nov 14;13(11):114013.

[22]. Zimmo OR, Imseih N. Overview of wastewater management practices in the Mediterranean region. Waste Water Treatment and Reuse in the Mediterranean Region. 2010:155-81.

[23]. Anderson J. The environmental benefits of water recycling and reuse. Water Science and Technology: Water Supply. 2003 Aug;3(4):1-0.

[24]. Hussain , I. Raschid , L. Hanjra, M.A. Marikar, F. and W. van der Hoek. Wastewater use inagriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2002.

[25]. Palese AM, Pasquale V, Celano G, Figliuolo G, Masi S, Xiloyannis C. Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: effects on microbiological quality of soil and fruits. Agriculture, ecosystems & environment. 2009 Jan 1;129(1-3):43-51.

[26]. Qanadzade M. Water, Irrigation and Productivity: Evaluation of Water and Wastewater Supply Sources for Irrigation (Mashhad Green Space Case Study). National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. 2015. [In Persian]

[27]. Zubelzu S, Rodríguez-Sinobas L, Andrés-Domenech I, Castillo-Rodríguez JT, Perales-Momparler S. Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. Science of The Total Environment. 2019 May 1;663:133-43.

[28]. Fletcher TD, Deletic A, Mitchell VG, Hatt BE. Reuse of urban runoff in Australia: a review of recent advances and remaining challenges. Journal of environmental quality. 2008 Sep;37(S5):S-116.

[29]. Qafori S. Hsasanpour H. Mohamadvali S. Sustainable Management of Water Resources Reusing Municipal Wastewater in the Toll Land Approach. Journal of water and wastewater. 32(4); 122-135. 2021. [In Persian].

[30]. Izadpanah M, Sarafzade M. Investigating the Potential of Swimming Pools Sullage Reuse for Landscape Irrigation, Case Study: Tehran city. Journal of water and wastewater.2020; 31(1): 99-110. [In Persian]

[31]. Majlis Research Center. Law on fair distribution of water, Islamic Council. Terms and Conditions. 1982. https://rc.majlis.ir/fa/law/show/90679 [In Persian]

[32]. Rahimi J. Bazrafshan J. Rahimi A. Study of the Variations of Precipitation's Days under Urban Microclimate in City of Tehran. Physical Geography Research. 2011; 34(77): 93-108. [In Persian].

[33]. Qoujqar M. Babaian E. Pourqolam M. Parsi A. Calculating the water requirement of urban greenery using the California method. Journal of Nivar; 44(20): 131-145. [In Persian].

[34]. Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS. Standard methods for the examination of water and wastewater. Rice EW, editor. Washington, DC: American public health association; 2012 Feb.

[35]. EPA.United States. Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Management. Municipal Support Division, National Risk Management Research Laboratory (US). Technology Transfer, & Support Division. Guidelines for water reuse. US Environmental Protection Agency. 2004.

[36]. Ministry of Power, Environmental criteria for reuse of return water and waste water. Country Management and Planning Organization, Center for Scientific Documents and Publications of the Budget Program Organization. 2015. [In Persian].

[37]. Angelakis AN, Do Monte MM, Bontoux L, Asano T. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. Water research. 1999 Jul 1;33(10):2201-17.

[38]. Linneman C, Falaschi A, Oster JD, Kaffka K, Benes S. Drainage reuse by grassland area farmers: The road to zero discharge. Groundwater issues and water management–strategies addressing the challenges of sustainability. 2014 Mar 4:4-7.

[39]. Lim HS, Lu XX. Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. Journal of Hydrology. 2016 Jul 1;538:842-62.

[40]. Chaakhori M, Zohrabi N, Fathian H. Analysis of water resources management strategies by TOPSIS method based on water footprint of agricultural products in Dez basin, Journal of ecohydrology. 2021; 8(3): 841-854. [In Persian].