ابعاد آمایش آب‌های خاکستری به سبب مبارزه با بحران آب

پیمان غضنفری[۱]، آزاده آرزه[۲]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت استراتژیک ، دانشگاه صنایع و معادن ایران

۲- کارشناسی ارشد معماری، مربی، موسسه آموزش عالی صنعتی مازندران بابل.

pamdesigners@gmail.com

چکیده

با توجه به موقعیت جغرافیایی کشورمان و قرارگیری بخش عظیمی از زمین‌ها در مناطق کویری، به جرات می‌توان گفت که بحران آب از مهم‌ترین مشکلات کشور است. یکی از راهکارها برای مقابله و کنترل بحران آب، استفاده مجدد از منابع آبی نامتعارف است، از جمله این منابع آب‌های خاکستری هستند. این پژوهش با هدف آمایش آب‌های خاکستری به سبب مبارزه با بحران آب انجام شده است که این امر منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و در نهایت کاهش تقاضای آب می‌شود. برای این هدف نتایج و مطالعات شماری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است و جزء مطالعات توصیفی به حساب می‌آید و نتایج از طرق میدانی حاصل گشته است.نتایج حاکی از آن است که با توجه به محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی برای تامین آب مورد نیاز، علاوه بر ایجاد روش‌هایی به منظور حفظ آب‌های موجود، ظرفیت‌سازی منابع آبی باید شکل گیرد که یکی از این ظرفیت‌ها پساب آب‌های مصرفی به جز آب توالت و سینک آشپزخانه است. از طرفی تصفیه و استفاده از آب‌های خاکستری در محل ساختمان‌ها انجام می‌شود که امکان جداسازی آب خاکستری از آب سیاه که میزان بار آلودگی بیشتری نسبت به آب خاکستری دارد را تسهیل می‌نماید.

واژگان کلیدی: آب‌های خاکستری، بحران آب، استفاده مجدد.

۱- مقدمه

رشد جمعیت همراه با افزایش شهرنشینی و در بسیاری از موارد افزایش موازی در تقاضای آب، منجر به رشد مداوم تقاضای آب شهری در بسیاری از نقاط جهان می‌شود. امروزه بسیاری از مناطق بزرگ شهری، حتی در مناطقی که از گذشته به عنوان مناطق پرآب (ژاپن، اروپا) شناخته می‌شوند، از کمبود آب رنج می‌برند. این امر به توسعه منابع بیشتر نیاز دارد. از جمله بهره‌برداری از منابع در فواصل زیاد (آب‌های سطحی) و عمیق (منابع آب زیرزمینی)، احداث سدها و سیستم‌های حمل‌ونقل طولانی و آب شیرین دریا. استفاده از این منابع جدید معمولاً مستلزم هزینه‌های مستقیم (ساخت، بهره‌برداری و نگهداری) است و احتمالا منجر به هزینه‌های (خارجی) غیرمستقیم و (افزایش اثرات منفی محیطی) می‌شود. بنابراین، به تازگی کاهش تقاضای کلی آب شهری به یک مسئله مهم برای آب و برق سازمان‌های نظارتی بدل گشته است. این امر می‌تواند با اقدامات مختلفی مانند افزایش بهره‌وری سیستم‌های تامین آب (کاهش تلفات واقعی)، نصب تجهیزات آبرسانی، افزایش آگاهی عمومی در صرفه‌جویی آب و استفاده مجدد از آب به عنوان یک منبع جایگزین "جدید" به دست آید. با توجه به استفاده مجدد از آب شهری، استفاده مجدد از آب‌های خاکستری در محل می‌تواند نقش مهمی را ایفا کند.

فعالیت‌های انسان نقش مهمی در کمبود شدید آب و توزیع ناهمگن منابع آبی در سرتاسر جهان دارد. فدراسیون جهانی اقتصادی، بحران آب را به عنوان مهم‌ترین بحران ویرانی معرفی کرده‌است. در سال ۲۰۱۵، ششصدوشصت‌وسه میلیون نفر (تقریباً یک‌دهم جمعیت جهان) به آب سالم دسترسی نداشتند و ۲/۴ میلیارد نفر از امکانات بهداشتی بهره‌مند نمی‌شدند. در مناطق جنوب صحرای آفریقا و جنوب آسیا، اکثریت قریب به اتفاق مردم از آب آشامیدنی غیراستاندارد و امکانات بهداشتی ضعیف استفاده می‌کردند که نشان از توزیع نامتعادل منابع آبی است. در کشورهای در حال توسعه، رشد جمعیت شهرنشینی به عنوان عامل اصلی افزایش

تقاضای آب به شمار می‌روند، زیرا فعالیت شدید توسعه شهری اغلب همراه با افزایش تقاضای مصرف کنندگان و بهبود استانداردهای زندگی است. منابع آب آشامیدنی در اکثر کشورهای توسعه یافته دردسترس هستند، به همین دلیل در چنین مناطقی منابع آبی در معرض خطر نیستند اما با این حال مدیریت پایدار منابع آبی برای جلوگیری از استفاده نادرست و اجتناب‌ناپذیر از منابع آبی و در نظر گرفتن کیفیت و کمیّت عرضه آب بسیار ضروری است(الجایوسی، ۲۰۰۳: ۱۸۸).

۲- بیان مسئله

آب و انرژی هر دو منابع ارزشمندی برای حفظ رفاه انسان‌ها و همچنین توسعه اجتماعی و اقتصادی جامعه هستند. با توجه به اینکه حفاظت و مدیریت پایدار هر دو منبع آب و انرژی از سوی مردم، سیاست‌گذاران و محققان بیشتر مورد توجه قرار گرفته، در سال‌های اخیر چشم‌انداز جدیدی از "پیوند آب-انرژی" ارائه شده که نشان‌دهنده وابستگی زیاد این دو منبع است. ارتباط بین منابع می‌تواند در واقعیت انعکاس یابد. به این صورت که انتقال و مصرف انرژی به آب نیاز دارد و برای دریافت، انتقال و تصفیه آب به انرژی نیاز است، از این رو استفاده مجدد از آب‌های خاکستری نیاز به آب و منابع اصلی انرژی آب را کمتر می‌کند. بازیافت آب‌های خاکستری و استفاده مجدد از آن دارای پتانسیل قابل توجهی برای کاهش تصفیه بار فاضلاب و هزینه عرضه آب و همچنین کاهش میزان عرضه و تقاضای آب شرب است. به همین دلیل بازیافت و استفاده مجدد از آب‌های خاکستری تبدیل به یکی از مولفه‌های اصلی مدیریت آب آشامیدنی شده است(الجایوسی، ۲۰۰۳: ۱۹۱).

برعکس آب سیاه، که فاضلاب جمع‌آوری شده از توالت و سینک آشپزخانه است، آب‌های خاکستری شامل آب هدررفت دوش ، سینک‌ها (به غیر از سینک آشپزخانه)، حمام و لباسشویی و ۵۰-۸۰٪ از کل آب مصرفی است(قایتیداک و یاداو، ۲۰۱۳: ۲۷۹ ° ۸۰۹). آب‌های خاکستری به عنوان منابع پایدار و ارزشمند آب و انرژی در نظر گرفته می‌شود که با بازیافت آب برای استفاده غیرشرب مانند فلاش‌تانک توالت‌ها، آبیاری فضای سبز و شستن ماشین موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. براساس نظریه حلقه بسته، که بیانگر آن است که مصرف آب در راستای چرخه‌های به خصوصی مثل طبیعت است، چارچوب مفهومی استفاده مجدد از آب‌های خاکستری برای فلاش‌تانک توالت‌ها و آبیاری مناظر پیشنهاد شده است(الجایوسی، ۲۰۰۳: ۱۸۳). آب خاکستری تصفیه‌شده را می‌توان برای تمیزکاری‌های خانگی، شستن ماشین و بعضی اوقات برای آبیاری باغچه و برای آبکشی لباس قبل از شست‌وشو استفاده کرد. بنابراین، اگر آب‌های خاکستری در وسعت زیادی مورد استفاده مجدد قرار گیرد، پتانسیل تئوری زیادی برای افزایش دسترسی منابع آبی وجود خواهد داشت. آب‌های خاکستری محلی، توزیع نیازهای شبکه را کاهش می‌دهد و هزینه‌های ساخت و ساز را کم می‌کند.

در این پژوهش با نگاهی اجمالی به شرایط بحران آب که در جامعه مدرن انسان با آن دست و پنجه نرم می‌کند، پس از تفکر و اقدام به عمل شناسایی و تفکیک فاضلاب و شناسایی روند تصفیه انواع فاضلاب‌ها، ابعاد امکان سنجی، اقتصادی، راه‌حل‌ها و امکانات جایگزینی برای منبع تامین آب مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

هدف از این پژوهش ارائه روش‌هایی برای برآورده کردن شرایط و امکانات تخصصی جمع‌آوری، شناسایی، تصفیه و توزیع آب غیرشرب به منظور استفاده در ساختمان‌های مسکونی یا غیرمسکونی است. برای این منظور ابتدا مطالعات انجام شده در این زمینه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

در مطالعات قبلی برای ارزیابی عملکرد سیستم استفاده مجدد از آب‌های خاکستری تلاش‌های قابل‌توجهی انجام شده‌است، با این حال با هدف مطلع کردن تصمیم‌گیرندگان و عموم مردم در مورد انتخاب سیستم‌های تامین آب پایدار، کاستی‌هایی در چارچوب ارزیابی وجود دارد. این کاستی‌ها ناشی از عدم آگاهی از روند جمع‌آوری، برخورد و توزیع آب غیر شرب و مصارف آن است.

۴- اهداف تحقیق

در جوامع شهری که دارای کمبود منابع آب هستند، پساب حاصل از تصفیه فاضلاب می‌تواند به عنوان منبعی قابل اطمینان و جایگزین محسوب شود. هدف اصلی این تحقیق معرفی و بررسی جمع‌آوری، انتقال و تصفیه فاضلاب، حفاظت از محیط زیست در برابر گسترش آلودگی‌ها و استفاده مجدد از آب بازیافتی است.

۵- روش تحقیق

در این تحقیق، ابتدا چالش‌های مختلف مدیریت آب به صورت کتابخانه‌ای استخراج گردید. پس از شناسایی مسائل اصلی و بحران آب به تفسیر و بررسی آب‌های خاکستری و تهیه اطلاعاتی از طریق کتابخانه‌ای پرداخته شد. با توجه به شرایط بحرانی اتمام منابع آبی، با مطالعه و بررسی تحقیقات اخیر در رابطه با جمع‌آوری و تصفیه منابع آبی نامتعارف مانند آب‌های خاکستری می‌توان روش‌هایی نوینی در عرضه آب در نظر گرفت.

۶- سوابق تحقیق

شیا و ژانگ (۲۰۱۷)، در مقاله‌ای تحت عنوان " مدیریت بهینه انرژی آب در ساختمان‌های مسکونی شهری از طریق بازیافت آب‌های خاکستری"، به بررسی سیستم‌های غیرمتمرکز به عنوان جایگزینی برای تامین منابع آبی در آفریقای جنوبی که یک کشور در حال توسعه نیمه‌خشک است، می‌پردازند. سیستم‌های غیرمتمرکز بررسی شده در این مطالعه عبارتند از جمع‌آوری آب باران و بازیافت آب‌های خاکستری تولیدی از ساختمان‌ها و چالش‌های تکنولوژیکی برای بهینه‌سازی این سیستم‌ها. بدین‌منظور دو استراتژی کنترل معرفی می‌شود. این استراتژی‌ها شامل استراتژی کنترل بهینه حلقه باز و مدل حلقه بسته با هدف کارایی ایمن و قابل اطمینان از بازیافت آب‌های خاکستری و سیستم جمع‌آوری آب باران هستند. با توجه به مطالعه موردی، سیستم پیشنهادی این مقاله با هر یک از استراتژی‌های کنترل می‌تواند در هزینه‌های آب و فاضلاب به ترتیب به میزان ۳۲/۳٪ و ۲۹/۵٪ صرفه‌جویی کند و تخلیه پساب آن را به میزان ۲۵/۱٪ از طریق تغییر بار مصرفی کاهش دهد و در نتیجه منجر به ذخیره هزینه انرژی به میزان ۳۵/۷٪ شود که به میزان ۳۱/۵٪ در هزینه کل موثر در یک ماه صرفه‌جویی شود.

شمس آبادی و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله‌ای با عنوان "بررسی و طراحی سیستم‌های تصفیه آب خاکستری در دانشگاه حضرت معصومه قم، ایران"، به بررسی سیستم تصفیه فاضلاب به منظور کاهش بحران آب در کشور ایران پرداخته‌اند. بدین منظور، دانشگاه حضرت معصومه قم، در تحقیقات برای بررسی استفاده مجدد از آب‌های خاکستری تولید شده به عنوان پیشرو انتخاب شده است. در این تحقیق، ابتدا کیفیت فاضلاب تولید شده در واحدهای مختلف دانشگاه، شامل واحدهای اداری و آموزشی، خوابگاه‌ها و آشپزخانه تعیین شد. سپس سیستمی برای تصفیه آب‌های خاکستری جمع‌آوری شده از این واحدها، براساس مطالعه تقاضایی که ممکن است در بخش‌های مختلف دانشگاه وجود داشته باشد، طراحی شد؛ که این بخش‌ها شامل فضاهای سبز مخزن‌های دفع توالت‌های ساختمان اداری و خوابگاه‌ها می‌شود.

لام و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان " تجزیه و تحلیل اقتصادی بهره‌وری از آب غیرشرب در ساختمان‌های بومی"، تجزیه‌وتحلیل بهره‌وری اقتصادی (EEA[1]) با ادغام ارزیابی چرخه عمر (LCA[2]) و تجزیه‌وتحلیل اقتصادی برای ارزیابی سیستم‌های مختلف آب را ارائه داده‌اند. چهار برنامه مدیریت آب که شامل: ۱) سیستم آبرسانی شرب، ۲) سیستم آبرسانی آب دریا، ۳) سیستم آبرسانی آب‌های خاکستری با استفاده از بیوراکتور غشایی هوازی (MBR) و ۴) سیستم آبرسانی آب‌های خاکستری تطابق یافته با AFMBR[3]، است، در نمونه موردی در هنگ‌کنگ بررسی شده است. نتایج به دست آمده از EEA نشان می دهد که برنامه استفاده مجدد از آب، بهترین برنامه از نظر بهره‌وری اقتصادی برای بازیافت انرژی، بازیافت منابع آبی و کاهش بار تصفیه فاضلاب است. این

1 Eco-efficiency analysis

2 Life-cycle assessment

3 Anaerobic fluidized bed membrane bioreactor

مطالعه نشان داده است که چارچوب EEA برای راهنمایی مدیریت آب به سمت پایداری ابزار بسیار موثری است و پایه‌ای برای تحقیقات آینده در مورد کاربرد سیستم بازیافت آب‌های خاکستری در مقیاس بزرگ است. نتایج EEA نشان می‌دهد که استفاده مجدد از آب خاکستری بی‌هوازی بیشترین کارایی اقتصادی را دارد.

فردلر و هاداری (۲۰۰۵) در مقاله‌ای با عنوان " امکان‌سنجی اقتصادی استفاده مجدد از آب‌های خاکستری در محل واقع در ساختمان‌های چند طبقه"، توجیه اقتصادی استفاده مجدد از آب‌های خاکستری در بخش شهری را بررسی می‌کند. بدین منظور سیستم‌های مبتنی بر RBC و MBR به عنوان سیستم‌های مدل تحلیل اقتصادی انتخاب شدند. با توجه به قیمت آب که ۱/۱۶ دلار آمریکا بر مترمکعب است و هزینه فاضلاب ۰/۳ دلار آمریکا بر متر مکعب است، سیستم استفاده مجدد از سیستم مبتنی بر RBC زمانی که تعداد ساختمان‌ها به هفت طبقه (بیست و هشت آپارتمان) رسید، از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است، در حالی‌که سیستم مبتنی بر MBR در محل ثابت کرده است که از لحاظ اقتصادی غیر واقعی است و تنها زمانی توجیه اقتصادی دارد که تعداد ساختمان سی و هفت طبقه باشد. با این وجود، گروه سیستم مبتنی بر MBR که شامل چندین ساختمان با هم می‌شود، زمانی که تعداد گروه ساختمان‌ها شامل چهار ساختمان باشد(هر طبقه بالا) امکان‌پذیر است.

رازقی و منصوری (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان "برنامه‌ریزی درازمدت استفاده دوباره از آب"، شرایط فعلی و آینده را بررسی می‌کنند و تسهیلات و امکانات استفاده مجدد از آب را مورد بررسی قرار می‌دهند. با توجه به این مقاله افزایش جمعیت در کشور و به فرض نائل‌شدن به آن و براساس جمعیت صد و پنجاه و پنج میلیون نفر در ده سال آینده، می‌توان تحلیل کرد برای توسعه همه‌جانبه براساس اطلاعات و داده‌های در دسترس سالیانه به سرانه آب حدود دو هزار مترمکعب نیاز است که برای جمعیت مورد اشاره حدود دویست میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود. اما درحال حاضر میزان آب تجدیدپذیر در کشور حدود صدوبیست میلیارد مترمکعب است که نشانگر کمبود آبی حدود هشتاد میلیارد متر مکعب برای توسعه کشور است. با فرض جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌های اجتماعات شهری، سالیانه حدود شش میلیارد متر مکعب آب نامتعارف وجود خواهد داشت که حدود ۷-۸ درصد کمبود پیشگفته است. اما این میزان آب نامتعارف تأمین کننده حدود ۷۰٪ از نیاز اجتماعات شهری خواهد بود. پس درصورت تصفیه فاضلاب شهری و استفاده دوباره از آن در جوامع، ممکن است مشکل کمبود آب کمرنگ شود.

عاطفه جعفر قلی بیک و علیرضا جعفر قلی بیک (۱۳۹۱) در مقاله با عنوان "آبهای خاکستری و معماری پایدار"، با استفاده از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی به چگونگی بازیافت و استفاده بهینه از آب‌های خاکستری و ارائه الگوی مناسب در این زمینه می پردازد. به این دلیل که از دیر باز از جمله مسائل در خور توجه مردم در شهرها و روستاهای ایران بوده و بکارگیری روش‌های مناسب جهت شناخت مفاهیم پایداری و استفاده آن در معماری و از طریق روش‌های نوین، صرفه جویی بهینه از طبیعت و انرژی‌های نهفته در آن حائز اهمیت است چرا که یکی از مهم‌ترین اهداف توسعه پایدار، حفظ طبیعت و اصلاح نگاه به آن است و تجلی توسعه پایدار در حوزه محیط ساخته شده، معماری پایدار نامیده می‌شود. در نهایت نتایج حاکی از آن است که طرح اصطلاح معماری پایدار در مسیر نیل به محیط در اواخر دهه پانزده میلادی بازگو کننده نگره‌ای در طراحی و ساخت فضاهای انسانی است که برخورداری از "حساس و پاسخگو" معماری حساسیت‌های بوم شناختی را برای برقراری فضاهای زیستی سالمِ باکیفیت و بر خوردار از معانی و مفاهیم ارزشی فرهنگی تواما با حفظ تعادل ° زیستی محیط فراگیر ضروری می‌داند و از این رو بکارگیری مزایای استفاده مجدد از آب بازیافتی شامل: استفاده کمتر از انرژی و مواد شیمیایی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، رشد گیاهان، احیاء دوباره مواد مغذی هدررفته، افزایش آگاهی و حساسیت نسبت به چرخه طبیعی، کاهش فشار به سیستم‌های تصفیه، استفاده مجدد در چرخه بهداشتی منازل (سیفون ماشین لباسشویی) از آنجا که استفاده از آب‌های خاکستری به خصوص در داخل‌کشور، باعث کاهش تقاضا در منابع آب معمولی و فشار بر روی سیستم های تصفیه فاضلاب می‌شود، استفاده از آن بسیار سودمند است. همچنین در زمان خشکسالی، به ویژه در مناطق شهری، استفاده از آب‌های خاکستری در باغ‌ها و یا سیستم‌های توالت، کمک می‌کند برای رسیدن به برخی از اهداف توسعه محیط زیست پایدار.

سارکار و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله‌ای با عنوان " تولید انرژی از آب‌های خاکستری در ساختمان‌های بلند مرتبه: نمونه موردی هندوستان"، امکان تهیه انرژی از آب خاکستری، زمانی که از ساختمان‌های بلندمرتبه به پایین می‌ریزند را بررسی می‌کنند. این

مقاله استفاده از یک توربین گازی میکرو یا پیکو که در طبقه پایین یک ساختمان با ارتفاع زیاد نصب شده است را پیشنهاد می‌کند که از انرژی ریختن آب‌های خاکستری از طبقات بالا برای تولید برق استفاده می‌شود. انرژی الکتریکی تولید شده از توربین می‌تواند بعدتر به روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار بگیرد. نمونه مقیاس شده همین سیستم، توسعه‌یافته و آزمایش شده‌است. همچنین طرح پیشنهادی سیستم فاضلاب گرانشی در ساختمان‌های بلندمرتبه برای تولید برق از آب به منظور امکان‌سنجی در بازارهای هند بررسی می‌شود. محاسبه‌ها نشان می‌دهند که سیستم پیشنهادی برای بسیاری از شهرهای اصلی هند امری ضروری است. همچنین در این مطالعه در مورد تجزیه و تحلیل مزایای هزینه سیستم پیشنهادی برای حمایت از ادعاهای خود برای تجاری‌سازی احتمالی این تکنولوژی بحث می‌شود. این روش یک روش تولید انرژی دوست‌دار محیط‌زیست، تجدیدپذیر و پاک است. اجرای مناسب این سیستم پیشنهادی می‌تواند نقش مهمی در حل مشکل برق در زندگی شهری ایفا کند.

۷- ادبیات پژوهش

بحران آب

رشد شتابان توسعه و نیازهای روزافزون بشر به منابع طبیعی از جمله منابع آب باعث عدم تعادل بین عرضه و تقاضا شده و در نهایت ناپایداری‌هایی را در اغلب مناطق دنیا به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر کشور ما ایجاد نموده است. این ناپایداری‌ها به ویژه در شرایط نوسانات اقلیمی نظیر کاهش بارندگی و افزایش دما به شدت نمایان‌تر شده و باعث ایجاد نابسامانی در زندگی و حتی ایجاد تنش‌های اجتماعی شده است. شاید تا چند دهه گذشته مهم‌ترین دغدغه مدیران منابع آب تامین و عرضه آب از مناطق مختلف دوردست یا اعماق بیشتر بود، ولی امروزه مدیریت مصرف نیز در اولویت برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب قرار دارد(اردکانیان، ۱۳۸۴). امروزه دیگر آب به عنوان یک موهبت مطرح نبوده بلکه به عنوان یک کالای اقتصادی کمیاب و در برخی مناطق نایاب در چرخه منابع طبیعی وارد شده و نیاز است که یک بازبینی اساسی در مدیریت آن صورت گیرد. لذا سازگاری با کم‌آبی و نیز مدیریت یکپارچه و یا جامع منابع آبی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد تا بتوان توسعه متوازن و پایدار را طی نمود. جهت رسیدن به مدیریتی یکپارچه در زمینه منابع آب، سیستم نیازمند برنامه‌ریزی استراتژیک است تا فرآیند مدیریتی در راستای هماهنگی قابلیت‌های سیستم با فرصت‌های موجود شکل گیرد(همدی و لیوزی، ۲۰۰۴).

چالش‌ها

در تهیه برنامه‌های توسعه منابع آب کشور باید چالش‌های پیش رو را شناخت که اهم آن‌ها عبارت است از:

- فاصله زیاد بین منابع آب کشور چه تجدیدپذیر و چه آب‌های شور و اجتماعات بزرگ شهری و صنایع و در نتیجه نیاز به سرمایه‌گذاری برای تاسیسات انتقال آب.
- کمبود آب برای توسعه در حوزه‌های پراهمیت مرکزی کشور و ضرورت انتقال آب از یک حوزه به حوزه دیگر که دارای پیامدهای محیط زیستی و اجتماعی است.
- ضرورت ایجاد سدها برای ذخیره آب در دریاچه‌های پشت سد و پیامدهای نامطلوب تبخیر آب و رشد جلبک‌ها و ایجاد رنگ و طعم در آب و پیامدهای دیگر.
- رشد فزاینده آلودگی منابع آب به‌ویژه آب‌های سطحی به فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی که باعث افزایش هزینه‌های تصفیه آب برای مصرف‌های شرب و بهداشتی می‌شود و پیامدهای محیط زیستی دیگری به همراه دارد.
- کاهش نفوذپذیری لایه‌های سطح زمین نسبت به بارش‌ها به علت جنگل‌زدایی، تخریب مراتع و توسعه شهری. در توسعه شهری، باغ‌ها و فضای سبز اطراف شهرها تبدیل به خانه و گذرگاه‌ها می‌شود. به همین علت با تغییر بافت لایه‌های سطحی میزان تغذیه آب منابع زیرزمینی کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند و به همین دلیل میزان و دفعات بروز سیلاب‌ها افزایش می‌یابد زیرا آبی که باید منابع زیرزمینی را تغذیه کند، به صورت رواناب و سیلاب جاری می‌شود.
- افزایش آبگیری از منابع زیرزمینی برای کشاورزی، توسعه فضای سبز و مصرف‌های شهری و کاهش میزان تغذیه و جایگزینی و در نتیجه پایین رفتن آب و بروز نشست زمین که همراه است با تخریب مخازن زیرزمینی منابع آب.

فرصت‌ها

با توجه به نیاز آب برای توسعه و چالش‌های پیش رو که چکیده آن مطرح شد، لازم است در برنامه‌ریزی کلان، به استراتژی‌های زیر توجه داشت:

- صرفه‌جویی در مصرف و جلوگیری از هدررفت آب چه در بخش کشاورزی و چه در بخش شهری و در نتیجه کاهش رقم دو هزار متر مکعب.
- جلوگیری از آلودگی منابع آب بر اثر فاضلاب‌ها و نبود ضرورت جدا کردن آب شرب از آب مصرف‌های بهداشتی که پیامدهای اقتصادی و اجتماعی در پی دارد.
- جلوگیری از فرآیند جنگل‌زدایی و تخریب مراتع و ایجاد سیلاب‌های مخرب.
- مدیریت رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری و برون‌شهری و اجرای طرح‌های تغذیه منابع آب زیرزمینی و کاهش تبخیر در فاصله بارش و نفوذ به لایه‌های سطحی.
- تنظیم برنامه‌های آبگیری و تغذیه منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از تخریب مخازن زیرزمینی و نشست زمین. توجه شود که نشست زمین و تخریب مخازن زیرزمینی فرآیند برگشت‌ناپذیر محیط زیستی است.
- استفاده از اب خاکستری و بارش بام در ساختمان‌های بلندمرتبه و چند منظوره تجاری-اداری و حل مشکل فاضلاب آن‌ها در محدوده ساختمان. در بسیاری از شرایط مشکل شهر همین ساختمان‌های چند منظوره و یا مجتمع‌های مسکونی است که لازم است سرمایه‌گذاران مشکل تصفیه و دفع فاضلاب‌های خود را حل کنند. در بسیاری از شرایط ساختمان‌های حتی تا چهار طبقه هم با تمهیداتی نیاز به شبکه عمومی جمع‌آوری فاضلاب پیدا نمی‌کند.
- استفاده از فاضلاب‌های شهری و بازچرخانی و یا استفاده دوباره.
- نمک‌زدایی از آب‌های لب‌شور منابع داخل کشور یکی از گزینه‌ها و نمک‌زدایی از آب‌های شور دریاها گزینه دیگری است(رازقی، منصوری و روحانی، ۱۳۹۲).

۸- یافته‌های تحقیق

۸-۱- بازیافت پساب

۸-۱-۱- ابعاد تکنیکی

انتخاب فنّاوری‌های تصفیه فاضلاب مناسب که امکان توسعه پایدار را فراهم می‌سازند، یک چالش سیاسی برای سیاست‌سازان محلی، منطقه‌ای و ملی محسوب می‌شود. در کشورهای در حال توسعه وجود یک ابزار حمایتی تصمیم‌گیری برای انتخاب فنّاوری تصفیه فاضلاب شدیداً مورد نیاز است. چالشی که در زمینه مدیریت فاضلاب وجود دارد، انتخاب بهترین فنّاوری موجود برای هدف خاص تصفیه فاضلاب در یک مکان مشخص شده است، فاکتورهای زیادی از قبیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری هزینه‌های عملیاتی و نگه‌داری و مسئله مربوط به زمین مورد نیاز در فرآیند تصمیم‌گیری دخالت دارند(لی، ویچمن و اوترپل، ۲۰۰۹: 3449-3439).

۸-۱-۲- ابعاد اقتصادی

یکی از مهم‌ترین پارامترها در اولویت‌بندی مصارف پساب، جوانب اقتصادی و یا مقدار سود و هزینه‌ای است که در گزینه‌های مختلف در بر خواهد داشت. همانند هر طرح اقتصادی دیگر، در هنگام پیشنهاد یک طرح جدید بازیافت پساب، آن طرح باید از نظر اقتصادی در مقایسه با گزینه‌های دیگر، مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد. استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمنظوره در تحلیل‌های اقتصادی پروژه‌های تخصیص پساب می‌تواند بسیار مفید باشد. مورد مهم دیگری که در تحلیل‌های اقتصادی باید مشخص گردد منابع تامین هزینه‌های طرح است، همچنین مقادیر سود حاصله از فروش پساب به مصارف مختلف و یا میزان افزایش سود ناشی از رشد فروش محصولات تولیدی با پساب در هر بخش، نیز باید در این آنالیزها دخالت داده شود. یکی از عمده‌ترین بخش‌های هزینه‌های مصارف پساب، هزینه‌های مربوط به انتقال پساب به محل مصرف می‌باشد. اهمیت این هزینه به اندازه‌ای است که حتی گاهی جانمایی طرح‌های تصفیه پساب با توجه به حداقل فاصله از محل مصرف‌کنندگان تعیین می‌شود. برای تصفیه‌خانه‌های مصرف‌کنندگان بزرگ که در نزدیکی آن‌ها قرار دارند، ایده‌آل‌ترین مصرف‌کنندگان از نظر اقتصادی خواهند بود. همچنین

مصرف‌کنندگانی که در امتداد خطوط انتقال و توزیع پساب قرار دارند نیز از نظر اقتصادی در اولویت تخصیص قرار خواهند داشت(یوسفی و مهدیان، ۱۳۹۳: ۷-۱).

۸-۱-۳- ابعاد زیست محیطی

اثرات استفاده از پساب‌ها بر روی محیط‌زیست کاملا وابسته به نوع پساب و مورد استفاده آن یکسان نخواهد بود. به عنوان نمونه در برخی از موارد استفاده از پساب‌ها در بخش کشاورزی می‌تواند چرخه مواد در طبیعت را کامل نماید، نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش دهد و مناطق پایین‌دست را از قرارگیری در معرض پساب‌های آلوده (که بر اثر رهاسازی آنها در آب‌های سطحی ممکن است اتفاق بیفتد) محافظت نماید(قنبری، عابدی کوپایی و طارمی سمیرمی، ۱۳۹۵: ۷۵-۵۹). بسیاری از مطالعات اخیر بیانگر افزایش معنی‌دار مواد مغذی در خاک در اثر آبیاری با پساب تصفیه شده می‌باشد. عناصر غذایی نظیر فسفر، نیتروژن و پتاسیم جز عوامل اصلاحی خاک می‌باشند، که موجب بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک می‌گردد. این افزایش منجر به دسترسی بهتر گیاهان به عناصر مغذی ماکرو و میکرو می‌گردد و غالباً رشد بهتر گیاه را به همراه خواهد داشت. استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری علاوه بر کاهش بار آلودگی منابع آبی سطحی و زیرزمینی، می‌تواند کاهش هزینه مصرف کود شیمیایی را هم به همراه داشته باشد(بدالیانس و همکاران ۱۳۹۴: ۴۰-۲۷).

۸-۱-۴- ابعاد اجتماعی و فرهنگی

یکی از عوامل مهم اجتماعی در طرح‌های استفاده از پساب های بازیافتی، رویکرد اجتماعی نسبت به آب‌های بازیافتی و میزان اقبال و پذیرش عمومی در استفاده از آنها است. بدون این اقبال عمومی، طرح‌های بازیافت پساب‌ها حتی اگر از نظر فنی و بهداشتی در بهترین شرایط نیز طراحی و اجرا شوند، ممکن است با شکست مواجه گردند. پذیرش عمومی آب بازیافتی هم‌اکنون مهمترین عامل موفقیت برای هر پروژه بازیافت آب خواهد بود. درواقع پروژه‌های بازیافت آب معمولاً نیازمند همکاری مشترک مهندسان و جامعه شناسان می‌باشد، تا در حین بررسی پارامترهای فنی و تکنیکی، جنبه‌های اجتماعی و احتمالاً موانع فرهنگی اجرای پروژه نیز مورد واکاوی قرار گرفته و راه‌حل‌های پیشنهادی ارائه گردد. هارتلی با بررسی موانع فرهنگی و اجتماعی موجود بازیافت آب، پنج راهبرد مهم را برای افزایش اعتماد و مشارکت عمومی پیشنهاد داد: ۱) مدیریت اطلاعات برای ذینفعان، ۲) حفظ انگیزه‌های فردی و اظهار تعهدات سازمانی، ۳) ارتقای ارتباطات و گفتگوهای عمومی، ۴) تضمین فرآیند و خروجی منصفانه و مناسب در تصمیم‌سازی‌ها، ۵) ایجاد و حفظ اعتماد(هارتلی، ۲۰۰۶: ۱۲۶-۱۱۵).

۸-۱-۵- وضعیت جهانی بازیافت آب

استفاده از آب بازچرخانی در سطح جهان به شدت در حال گسترش است. طبق گزارش GWI[1] در سال ۲۰۰۹، سرمایه گذاری در بخش بازیابی آب بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ به طور متوسط ۱۹/۵٪ در سال رشد پیدا خواهد کرد. مهم‌ترین دلایل ذکر شده برای این رشد عبارت است از:

- فشار بر منابع آب به علت گرمایش زمین و رشد جمعیت
- رشد شهرها و افزایش فشار بر سیستم‌های بهداشتی
- نگرانی‌های زیست‌محیطی باعث نگاه به روش‌های جایگزین برای تامین آب شده است.
- تکنولوژی‌های جدید و تایید شده امکان تصفیه فاضلاب با کیفیت مناسب را فراهم آورده است.

۸-۱-۶- روش‌های تصفیه

روش‌هایی که می‌توان برای جمع‌آوری و دفع فاضلاب مورد استفاده قرار داد، عمدتاً شامل دو روش کلی جمع‌آوری و تصفیه متمرکز می‌باشد. سیستم‌های متمرکز دارای یک شبکه به هم‌پیوسته در کل اجتماع می‌باشد که نهایتاً توسط یک یا چند خط انتقال به سمت یک تصفیه‌خانه هدایت می‌شود و پس از تصفیه، کل پساب به استفاده خاص می‌رسد. تصفیه متمرکز دارای محاسنی نظیر

[1] Global Water Intelligence

کاهش هزینه‌های اجرایی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و استفاده از نیروهای متخصص کمتر می‌باشد. این در حالی است که طولانی شدن طرح‌ها و همچنین عدم بهره‌برداری از تاسیسات اجرا شده، مشارکت نکردن مردم به علت عدم رضایت از طرح‌های در دست اجرا و افزایش ریسک مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی به علت وقوع حوادث غیرمترقبه از جمله محدودیت‌های سیستم‌های تصفیه متمرکز می‌باشد(لیبرالاتو و همکاران، ۹۱: ۶۸-۶۱؛ اوکلی و همکاران ۲۰۱۰: ۱۵۳۱-۱۵۲۰).

در مقابل سیستم‌های غیر متمرکز دارای یک شبکه ناپیوسته و محلی است. مزیت عمده آن‌ها کنترل بهتر و موثرتر بر عملکرد به دلیل ظرفیت پایین و حجم پایین‌تر ورودی است؛ از طرف دیگر در یک منطقه مشخص واقع شده و در نتیجه مدیریت سیستم، هم می‌تواند بر شبکه نظارت داشته باشد و هم بر فرآیند تصفیه ولی در تصفیه‌خانه‌های متمرکز کنترل فرآیند بسیار مشکل است. در مجموع بازیافت غیرمتمرکز فاضلاب نسبت به جمع‌آوری و تصفیه یک‌جای فاضلاب (انواع فاضلاب) دارای مزایایی نظیر: کاهش ریسک مخاطرات بهاشتی و زیست‌محیطی به علت حوادث غیرمترقبه، عدم نیاز به کارکنان با تخصص بالا، پایین بودن هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به لحاظ کوچک بودن طرح‌ها و مشارکت بیشتر مردم به علت بهره‌برداری سریع طرح می‌باشد. در مقابل این نوع سیستم‌های تصفیه نیازمند پرسنل بیشتر می‌باشند و از طرف دیگر در محیط‌های شهری به دلیل فرآیند مانند حمل و دفن لجن ممکن است کانون آلودگی در منطقه گردند(برادبارت، ۲۰۰۶).

سیستم‌های تصفیه غیرمتمرکز دارای طیف وسیعی از کاربرد بوده به طوریکه از تصفیه فاضلاب یک خانه مجزا و یا یک مجتمع مسکونی گرفته تا تصفیه فاضلاب موسسات تجاری و صنعتی را پوشش می‌دهد و در سال‌های اخیر با نوآوری‌های ایجاد شده در فنّاوری‌های بازچرخانی که موجب افزایش کیفیت و کارایی آن شده؛ بسیار مورد استقبال قرار گرفته است(فردلر و همکاران، ۲۰۰۵).

۸-۲- آب‌های خاکستری و آب‌های سیاه

در رویکرد بازیافت محلی و نیمه‌متمرکز اغلب تفکیک فاضلاب به دو دسته آب سیاه و آب خاکستری مورد توجه قرار می‌گیرد. آب خاکستری معمولا به فاضلاب تولیدی از روشویی، حمام، ماشین لباسشویی و آشپزخانه ها اطلاق می‌گردد که در مبدا از فاضلاب دستشویی و توالت تفکیک شده باشد؛ هرچند در بعضی از مطالعات پساب تولیدی آشپزخانه‌ها به واسطه بار آلی بالا در دسته‌بندی آب خاکستری قرار نگرفته است(الجایوسی، ۲۰۰۳: ۱۸۵). آب خاکستری بر اساس نوع استفاده در کشورهای گوناگون ۳۰٪ تا ۸۰٪ فاضلاب تولیدی را شامل می‌شود. امروزه به واسطه بار میکروبی پایین آب خاکستری، تصفیه و بازیافت آن در جهان مخصوصاً در کشورهایی که با بحران آب روبه‌رو می‌باشند، مورد توجه جدی قرار گرفته است(بویجو و همکاران، ۲۰۱۳). بازیافت آب خاکستری علاوه بر ایجاد یک منبع جایگزین برای مصارفی نظیر فلاش‌تانک ها و آبیاری موجب کاهش بار ورودی به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و کاهش هزینه های انتقال می‌گردد. ویژگی‌های کیفی و کمی آب خاکستری کاملا وابسته به پارامترهای متعددی نظیر سبک زندگی، رفتارهای فرهنگی-اجتماعی، الگوی مصرف آب و منبع تولید آن (روشویی، حمام، آشپزخانه و ...) می‌باشد(قایتیداک و یاداو، ۲۰۱۳: ۸۰۹). در هر صورت معمولاً آب خاکستری دارای بار آلودگی کمتری در مقایسه با فاضلاب توالت‌ها (آب سیاه) است، لذا تفکیک آن جهت بازیافت امری منطقی خواهد بود (فردلر و هاداری، ۲۰۰۶).

۸-۳- فاضلاب خانگی

با فرض جمعیت صد میلیون نفر برای کشور و مصرف متوسط سرانه آب ۰/۲ متر مکعب در روز و تولید فاضلاب حدود ۸۰٪ از آب مصرفی، میزان تولید فاضلاب حدود شش میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود که حدود ۳٪ نیاز آب کشور است. این میزان فاضلاب اگر تصفیه نشود محیط زیست کشور را آلوده و تخریب خواهد کرد. بنابراین، برای حفظ محیط‌زیست باید تصفیه شود و با توجه به محیط مورد تخلیه پساب، خروجی تصفیه خانه فاضلاب تصفیه تکمیلی و پیشرفته شود. حال این آب غیرمتعارف تولید شده پتانسیل استفاده دارد و با نام عمومی "استفاده مجدد" شناخته می شود(رازقی و منصوری، ۱۳۹۴).

۸-۴- آب‌های خاکستری

آب‌های خاکستری، از فاضلاب تولید شده از مصارفی همچون شستشو، استحمام و غیره تولید می‌شود و نسبت به آب سیاه که شامل فاضلاب‌های مدفوعی و غیره است، کیفیت بهتری دارد و می‌توان با یک دیدگاه مدیریتی به راحتی آن را به چرخه مصرف بازگرداند و از آن به عنوان جایگزین مناسبی به جای آب تصفیه شده قابل شرب و با کیفیت بسیار بالا استفاده کرد. لذا استفاده از

آب خاکستری از همان ابتدا باعث کاهش مصرف آب و همچنین کاهش هزینه‌های بالای تصفیه آب و از طرفی کاهش فاضلاب‌های خروجی از منازل و کاهش هزینه‌های انتقال و تصفیه فاضلاب می‌شود(WHO, 2010).

۸-۴-۱- کیفیت عمومی آب خاکستری

کیفیت عمومی آب خاکستری بین خانواده‌ها بر اساس فعالیت روزانه آن‌ها متغیر است. از بیشترین مواد آلاینده آب خاکستری می‌توان به مواردی همچو شامپو، صابون، خمیر دندان، کرم اصلاح صورت، مواد پاک‌کننده، روغن، چربی، گریس، مو و پرز بدن و از طرفی عوامل بیماری‌زا، باکتری‌ها، انگل‌ها و ویروس‌های حاصل از شست‌وشو لباس‌ها اشاره کرد. در جدول شماره (۱) آلاینده‌های قابل دسترس در آب خاکستری با توجه به منابع تولید آن‌ها ذکر شده است.

جدول شماره (۱): ترکیبات احتمالی موجود از منابع مختلف در آب خاکستری (Emmerson, 2003)

منابع آب خاکستری	محتویات
ماشین لباسشویی	مواد جامد معلق (گردوغبار و مو)، مواد آلی، گریس و چربی، سدیم، نیترات، فسفات(مواد شوینده)، شوری و pH بالا، سفید کننده‌ها
ماشین ظرفشویی	مواد آلی و مواد جامد معلق (موجود در مواد غذایی)، باکتری‌ها، شوری و pH بالا، روغن و چربی، مواد شوینده
سرویس بهداشتی	باکتری، مواد آلی و مواد جامد معلق (مربوط به پوست انسان)، روغن و چربی، صابون و بقایای مواد شوینده
سینک ظرفشویی آشپزخانه	باکتری، مواد آلی و مواد جامد معلق (قطعات غذایی)، چربی و بقایای مواد شوینده

در جدول شماره (۲) مشخصات آب خاکستری با فاضلاب شهری مقایسه شده است. بسیاری از این مشخصات به فرهنگ مصرف آب، عادات فردی، میزان مواد شوینده مصرفی مانند صابون، شامپو و دترجنت‌ها[1] و عوامل دیگر بستگی دارد.

جدول شماره (۲): مقایسه ویژگی‌های آب خاکستری و فاضلاب شهری (رئیس برنامه‌ریزی استراتژیک و سیستم فنی و مدیریت ۲۰۰۸؛ چپرسن و سولی، ۲۰۰۴)

پارامترها	واحد	محدودیت	میانگین	آب هدر رفت شهری
ذرات معلق	mg/L	45-330	115	
غلظت	NTU	22-200	100	NA
BOD_5	mg/L	90-290	160	
نیترات	mg/L	0/1-0/08	0/3	
آمونیاک	mg/L	1-254	5/3	
نیتروژن	mg/L	2/1-31/5	12	
فسفر	mg/L	0/6-27/3	8	
سولفات	mg/L	7/9-110	35	
pH	---	6/6-8/7	7/5	
خاصیت قلیایی و هدایت	mS/cm	325-1140	600	
سختی	mg/L	15-155	40	
سدیم	mg/L	29-230	70	

[1] Detergent (شوینده مصنوعی)

۸-۴-۲- موارد استفاده از آب‌های خاکستری

در جوامع شهری که دارای کمبود منابع آب هستند، پساب حاصل از تصفیه فاضلاب می‌تواند به عنوان منبعی قابل اطمینان و جایگزین محسوب شود، این منابع آب می‌توانند در قسمت‌های مختلف مانند فلاش‌تانک سرویس‌های بهداشتی و آبیاری مزارع استفاده شود. همچنین این آب می‌تواند در صنایع مختلفی مانند نساجی، شیمی، پلاستیک و ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. در این میان مصارف شرب و پخت‌وپز که میزان ناچیزی از مصرف کل را شامل می‌شود، نیاز به کیفیت مناسب مطابق با استانداردهای آب شرب دارند و سایر مصارف می‌توانند توسط منابع آب غیرشرب تامین شوند(روحانی فرهمند و تیزقدم غازانی، ۱۳۹۴).

میزان آب مورد نیاز با کیفیت بالا و قابل شرب در حدود ۱۰٪ کل مصارف خانگی را شامل می‌شود(یونسلو، ۱۳۸۷). که این مقدار در مقایسه با سایر مصارف میزان کم و ناچیزی است. جدول شماره (۱) میزان تقریبی مصارف مختلف مسکونی را در هر بخش نشان می‌دهد.

جدول شماره (۳): مصارف خانگی بدون در نظر گرفتن فضای سبز(منبع: معاونت برنامه ریزی و استراتژی ۱۳۷۱)

مصارف	مقدار (لیتر/یک نفر/روز)
نوشیدن	۵-۲
آشپزی	۱۰-۵
سرویس بهداشتی	۵۰-۲۵
لباس شویی	۲۰-۱۰
ظرفشویی	۱۵-۵
بهداشتی	۳۰-۲۰
تمیزکاری خانه	۱۰-۳
سرمایش و تهویه هوا	۵-۲
متفرقه	۵-۳
کل	۱۵۰-۷۵

به عنوان مثال آب ناشی از شست‌وشوی لباس و ظروف و حتی استحمام، مثال‌های خوبی از آب خاکستری است. به طور کلی در ایران، آب خاکستری به صورت سنّتی با آب سیاه، شامل فاضلاب‌های مدفوعی و غیره مخلوط شده و از طریق چاه‌های جذبی دفع می‌شود.

آب خاکستری به لحاظ کیفی دارای درجه‌بندی‌های متفاوتی است. به عنوان مثال آب خاکستری تولید شده از شست‌وشو را نمی‌توان به صورت مستقیم برای آبیاری گیاهان یا درختان مورد استفاده قرار داد. این آب حاوی مقادیر زیادی مواد شیمیایی شوینده است که باعث خشک شدن گیاهان می‌شود(روحانی فرهمند و تیز قدم غازانی، ۹۴).

مهم‌ترین مصرف‌های آب خاکستری در شهرها عبارتند از:

- آبیاری پارک‌ها، فضای سبز حاشیه و جزایر بزرگراه‌ها و توسعه فضای سبز حاشیه شهرها که تمام آنها در جلوگیری از بروز روانابها و تغذیه منابع آب زیرزمینی موثرند.
- مصرف‌های صنعتی و تاسیسات شست‌وشوی اتومبیل، تولید بتن، کنترل گرد و غبار.
- آتش‌نشانی و فلاشینگ توالت‌های عمومی.
- شست‌وشوی گذرگاه‌ها و شبکه جمع‌آوری فاضلاب.
- ایجاد و توسعه چشم‌اندازهای محیط زیستی مانند دریاچه‌ها و آبشارهای انسان‌ساخت-که می‌تواند مانند قایقرانی و ماهیگیری چندمنظوره هم باشد(EPA)

۸-۴-۳- نحوه استفاده اجزای سیستم تصفیه و استفاده مجدد از آب‌های خاکستری در محل

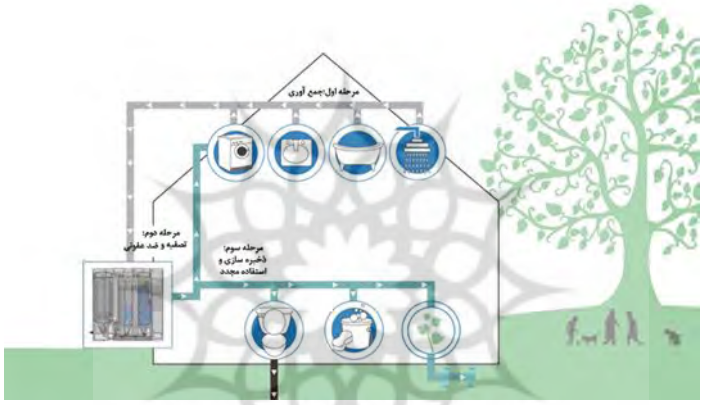
آب بازیافت‌شده به خاطر مواد جامد آلی در آن هرگز جنبه آشامیدنی ندارد، اما پس از انجام مراحل تصفیه و هضم میکروبی برای تامین آب جهت شست‌وشو یا سیفون توالت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. برخی از آب‌های خاکستری ممکن است به طور

مستقیم از نزول باران و یا برف به باغ و یا ظرف ذخیره انتقال یابد، که در این حالت دریافت تصفیه بیشتر، از طریق خاک و ریشه گیاهان انجام می‌پذیرد.

با توجه به اینکه آب خاکستری ممکن است حاوی مواد مغذی و پاتوژن باشد، بسیار مهم است که آن را برای مقاصد آبیاری فضای سبز استفاده کنیم. مگر آنکه آن را به درستی تصفیه کنیم. معمولا تصفیه آب خاکستری از آب سیاه ساده‌تر است. اگر برای آب خاکستری سیستم لوله‌کشی جداگانه‌ای از آب سیاه در نظر گرفته شود، می‌توان بلافاصله در خانه، باغ یا شرکت آن را بازیافت و ذخیره کرد که در این حالت آب خاکستری بازیافت شده باید در مدت زمان کوتاهی مصرف شود.

برای رسیدن به پاسخی مناسب ابتدا باید چرخه سیستم مورد نظر را بررسی نمود که به شرح زیر می‌باشند:

۱. آب تصفیه شده برای مصرف مجدد خانگی
۲. صفحه کلید
۳. تخلیه سرریز مخزن به فاضلاب
۴. تخلیه پسماند توالت به فاضلاب
۵. آب خاکستری حمام و ماشین لباسشویی



تصویر شماره (۱): طرح شماتیک منشا تولید و مصرف آب‌های خاکستری

برای فیلتر کردن آب آشامیدنی به منظور تبدیل یا نزدیک شدن به آب قابل شرب، سیستم‌های متعددی وجود دارد. این سیستم‌ها عبارتند از:

- سیستم‌های مکانیکی (فیلتر شن و ماسه، سیستم‌های مبتنی بر اشعه یو وی)
- سیستم‌های بیولوژیکی (سیستم‌های گیاه به عنوان حوضچه تصفیه، تالاب ساخته شده) و راکتورهای زیستی و یا سیستم‌های کوچک به عنوان سیستم لجن فعال[1]، هوازی و بی‌هوازی[2]، فیلترهای هوادهی مستغرق[3]، عمل می‌نمایند. برخی از سیستم‌های فاضلاب شهری با استفاده از آب سیاه و استاندارد بالایی از درمان، بازیافت مقدار مشخصی از رنگ خاکستری را در جهت فراهم کردن آب اصلاح شده برای آبیاری و دیگر مصارف انجام می‌دهند(جعفرقلی‌بیک و جعفرقلی‌بیک، ۱۳۹۱).

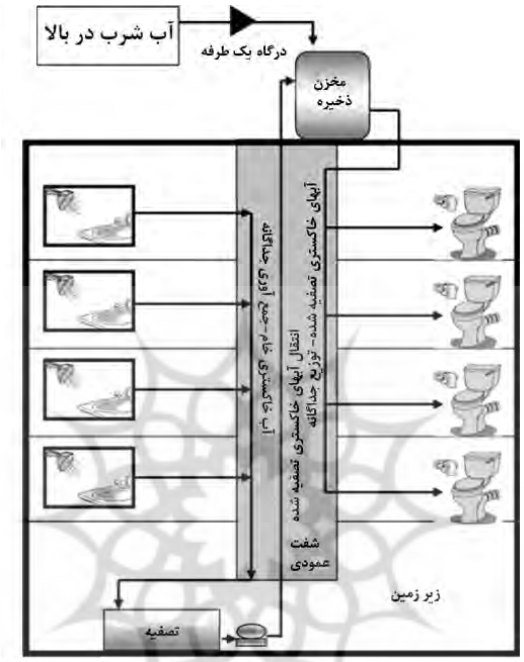
ممکن ا ست در مواردی آب‌های خاک ستری آلودگی شدید دا شته با شند. بنابراین سلامتی و زیبایی شنا سی را تهدید می‌کند(به عنوان مثال بو و رنگ شدید) و ممکن ا ست تاثیرات زیست‌محیطی دا شته با شند. در نتیجه نیاز به سیستم انتقال، ذخیره سازی و ت صفیه کارامد و ایمن دارد. در ادبیات پژوهش مختلف سی ستم‌های مختلف ت صفیه در پیچیدگی و درجه ت صفیه متفاوت گزارش شده ا ست. فردلر ن شان داده‌ا ست که زمانی که تولید آب‌های خاک ستری بومی بی شتر از م صرف آن ا ست(ا ستفاده مجدد برای فلاش‌تانک توالت‌ها)، ترجیح بر آن اســت که تنها از آب‌های خاکســتری ســبک (به عنوان مثال جریان آب خاکســتری با آلودگی

[1] Activated sludge system
[2] Aerobic and anaerobic
[3] Submerged Aerated Filters

کمتر تولیدی از حمام‌ها، دوش‌ها) ا ستفاده شود و به این ترتیب هزینه‌های ت صفیه و اثرات جانبی کاهش می‌یابد(فردلر و هاداری، ۲۰۰۵).

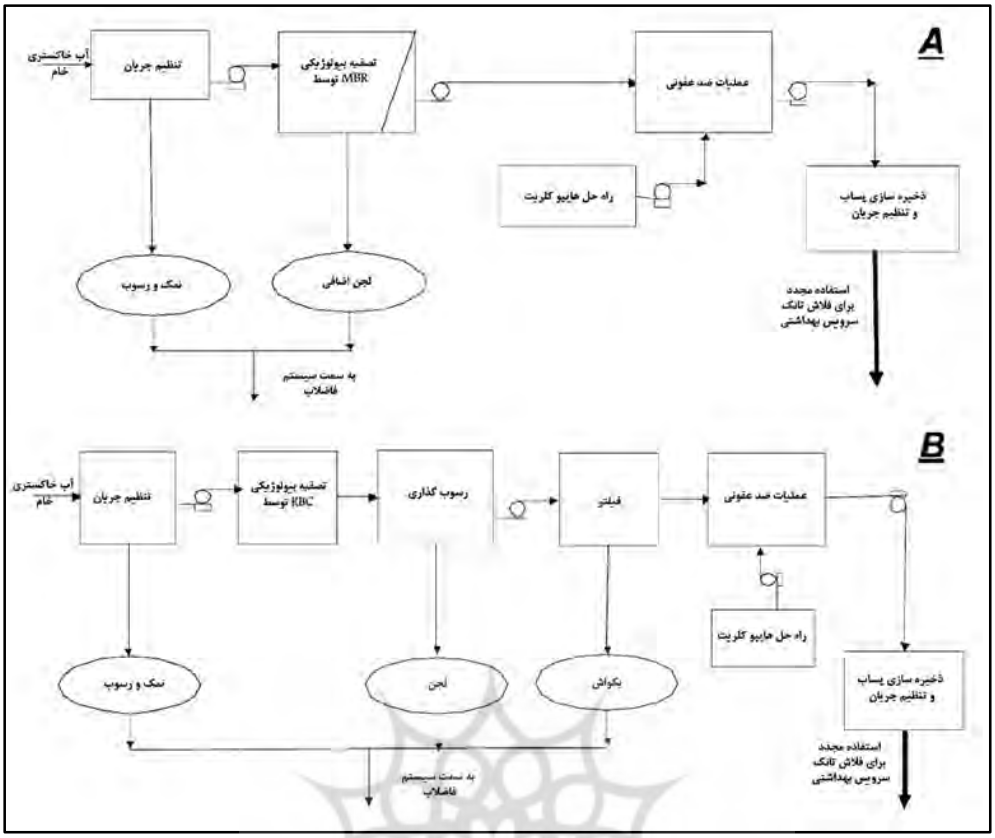
۸-۵- سیستم های حمل و نقل

سیستم های حمل و نقل شامل سه جزء اصلی است(شکل شماره (۱)): جمع آوری آب‌های خاکستری خام از هر طبقه، حمل آب‌های خاکستری تصفیه شده به مخزن ذخیره‌سازی (واقع بر روی سقف)، و توزیع آب‌های خاکستری از مخزن ذخیره سرویس بهداشتی هر طبقه.



تصویر شماره (۲): طرح شماتیک جمع آوری و توزیع آب خاکستری

لوله‌های افقی، آب‌های خاکستری سبک را از منبعش جمع‌آوری کرده و به لوله جمع‌آوری‌کننده عمودی انتقال می‌دهند(حمام، دوش و ماشین لباس‌شویی). از آنجائیکه بسیاری از استانداردهای ساختمان به دسته‌های جداگانه برای جمع‌آوری آب خاکستری و آب سیاه نیاز دارند، هزینه‌های اضافی مربوط به این لوله‌های افقی کم است. علاوه بر این، در بسیاری از ساختمان‌های چند طبقه، حمام‌ها و سرویس‌های بهداشتی در نزدیکی شفت‌های عمودی ساختمان قرار دارند تا هزینه‌ها کاهش یابد. در یک ساختمان معمولی "غیر بازیافتی"، جمع‌کننده آب‌های خاکستری و آب‌های سیاه در یک کانال در شفت ادغام می‌شوند. در یک ساختمان "استفاده مجدد از آب‌های خاکستری"، یک لوله جداگانه باید در شفت به صورت عمودی نصب شود تا آب خاکستری خام را به زیر زمین (یا به طبقه مرکزی) که در آن واحد تصفیه قرار دارد، انتقال دهد. سپس آب خاکستری تصفیه شده به بالای ساختمان جایی که مخزن ذخیره قرار دارد پمپ می‌شود و از آنجا به صورت گرانشی از طریق یک لوله مجزا در شفت عمودی به مخزن‌های سرویس بهداشتی در هر طبقه انتقال یابد. هرگونه کمبود آب خاکستری تصفیه شده در مخزن ذخیره توسط آب شیرین و از طریق شیر یک طرفه پر شده است و هر آب اضافی از طریق جمع‌آوری کننده آب سیاه ساختمان تخلیه می‌شود.



تصویر شماره (۳): نمودار بلاک های سیستم های تصفیه آب خاکستری: A، سیستم مبتنی بر MBR؛ B، سیستم مبتنی بر RBC.

۸-۵-۱- واحدهای تصفیه

دو فناوری تصفیه برای شبیه‌سازی مدل به منظور تجزیه و تحلیل اقتصادی انتخاب شد(شکل شماره (۳)): سیستم بیولوژیکی غشایی (MBR)، که آخرین نسل از تکنولوژی فشرده فاضلاب را نشان می‌دهد؛ و سیستم یکپارچه‌سازی محیطی (RBC)، که نشان‌دهنده تکنولوژی پیشرفته و به اثبات رسیده است، مخصوصاً برای کارگاه‌های کوچک مناسب است. واحد MBR شامل یک حوضچه برابر (تنظیم جریان، کیفیت و دمای آب‌های خاکستری خام)، بیوراکتور غشایی و یک واحد ضد عفونی کننده (کلر زنی) است. واحد RBC شامل یک حوضچه تخلیه، RBC و یک حوضچه رسوب و سپس یک واحد ضد عفونی کننده (کلر زنی) می‌باشد. در مناطق شهری، لجن اضافی، لای و رسوب به سیستم فاضلاب شهری تخلیه می‌شود.

نولد اظهار داشته است که پس از ده سال تجربه، سیستم‌های استفاده مجدد از آب‌های خاکستری مبتنی بر روش RBC ثابت کرده که بسیار قابل اعتماد بوده و پساب با کیفیت تولید می‌کند. نولد اضافه می‌کند که سیستم های مبتنی بر MBR شروع به راه اندازی سیستم خود در زمینه سیستم های آبرسانی و استفاده مجدد از آب می‌کنند. همچنین فریدلر و همکاران گزارش می‌دهند که سیستم‌های تصفیه آب خاکستری (مقیاس آزمایشی) بسیار قابل اطمینان و به طور مداوم خروجی عالی و با کیفیت بالا تولید می‌کنند.

۸-۶- هزینه‌های سرمایه

هزینه‌های سرمایه تمام اجزای سیستم از تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان پیشرو (که به صورت ناشناس درخواست شده است) دریافت شد. این هزینه‌ها شامل هزینه اجزای نصب‌های اضافی است. در صورت امکان، تجزیه و تحلیل رگرسیون بر روی داده‌های به دست آمده از منابع مختلف انجام شد تا تابع هزینه را برای هر جزء به دست آید(جدول شماره (۲)). برای مخازن ذخیره سازی،

RBC و پمپ، بهترین رگرسیون با استفاده از معادله توان (۰/۹۷۸ ، ۰/۹۴ =R^2) به‌دست آمده است، درحالیکه برای واحد MBR بهترین رگرسیون با استفاده از معادله لگاریتمی (۰/۸۸ R^2)، نشان می‌دهد که حساسیت بالایی از هزینه به اندازه در محدوده کم است. اجزای سیستم زیر مستلزم توجه بیشتری هستند:

سیستم حمل و نقل: بر اساس بحث فوق، برآورد شده است که در هر طبقه ۵ متر لوله اضافی برای داخل (جمع آوری و توزیع)، و ۹ متر برای هر طبقه نیاز است(۳*۳ متر: جمع آوری، حمل به مخزن بالای سقف، توزیع به طبقات).

مخازن ذخیره سازی: فیوکس و فریس نشان دادند که یک مخزن ذخیره سازی با اندازه یک مترمکعب باید برای تنظیم مقادیر زیادی از تولیدات خالص آب خاکستری و مصرف آب خاکستری تصفیه‌شده برای فلاش‌تانک سرویس‌بهداشتی برای طیف گسترده‌ای از اندازه ساختمان‌ها باشد. دیکسون و همکاران نشان دادند که ذخیره‌سازی به اندازه ۰/۱۵ -۰/۲ متر مکعب کافی است. در سیستم بررسی شده، دو مخزن ذخیره‌سازی که اندازه هر کدام یک مترمکعب ، صرف‌نظر از اندازه ساختمان، یکی از آنها در نزدیکی واحد تصفیه برای ذخیره سازی آب‌های خالص خاکستری و دیگری بر روی پشت بام برای ذخیره‌سازی آب‌های خاکستری ذخیره شده برای استفاده مجدد انتخاب شدند(شکل شماره (۲)).

واحدهای کلرزنی: اطلاعات جمع‌آوری شده از توزیع‌کنندگان تجهیزات کلرزنی نشان می‌دهد که برای استفاده مجدد از آب‌های خاکستری در محل، واحدهای کلرزنی کوچک مناسب هستند. هزینه این واحدها بسیار زیاد است و تنوع ظرفیت ندارد. عملیات ضدعفونی با اشعه فرابنفش باید ارزان‌تر باشد. با این وجود، برای مواد ضدعفونی کننده باقی‌مانده اجازه نمی‌دهد و بنابراین نیازمند بررسی بیشتر است.

هزینه اضافی: اقلامی مثل لوله‌ها، دستگاه‌های کوچک، دریچه‌ها، اتصالات و غیره. این موارد عمدتاً در واحد تصفیه مورد نیاز هستند و در حدود ۱۵٪ از کل هزینه را به خود اختصاص می‌دهند.

۸-۶-۱- هزینه عملیات و نگهداری (O & M)

هزینه‌های O&M شامل هزینه‌های انرژی مورد نیاز برای تصفیه و حمل و نقل، هزینه کار (پرسنل تعمیر و نپه داری)، هزینه ضدعفونی‌کننده (کلر)، هزینه تصفیه پیشگیرانه غشاهای MBR و هزینه قطعات یدکی و تعمیرات با جزئیات زیر است:

کار: بر اساس تجربه از تاسیسات تصفیه فاضلاب، با نرخ بیست دلار آمریکا، یک ساعت در هفته نگهداری نیاز است.

ضدعفونی‌کننده: ضد عفونی کننده کلر مایع (۱۱٪) با قیمت ۰/۲۶ دلار آمریکا در هر لیتر استفاده می‌شود.

۹- نتیجه گیری

آب، یکی از منابع طبیعی مهم در ایران و جهان است ولی در حال حاضر به دلیل رشد جمعیت و اقتصاد و همچنین افزایش جمعیت شهرنشینی و تولید آلودگی‌های انسانی و صنعتی شدیداً تحت تاثیر قرار گرفته است و بخش عظیمی از کشور دچار محدودیت در تامین آب‌های شیرین شده است و استفاده نادرست از منابع محدود آب و ایجاد آلودگی در این منابع منجر به بروز بحران‌ها و فاجعه‌های زیست‌محیطی در آینده‌ای نه چندان دور خواهد شد. با توجه به مسیر ورود به مرحله بحران آبی در کشور و جهت‌گیری مدیریتی، جایگزینی منابع آبی جدید یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی است که تا به امروز مورد توجه مدیران و مسئولین قرار نگرفته است. بدینصورت می‌توان اظهار داشت که تصفیه فاضلاب می‌تواند یک منبع قابل اطمینان برای برخی از مصارف غیرشرب باشد. بدین‌منظور باید ابعاد تکنیکی، زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی آن مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که آب خاکستری، فاضلاب تولید شده از مصارفی همچون شست‌وشو، استحمام و ... تولید می‌شود و نسبت به آب سیاه که شامل فاضلاب مدفوعی و ... است دارای کیفیتی به مراتب بالاتر می‌باشد، می‌توان با یک دیدگاه مدیریتی به راحتی آن را به چرخه مصرف بازگرداند و از آن به عنوان جایگزین مناسبی به جای آب تصفیه شده قابل شرب (آب با کیفیت بسیار بالا) قرار داد. لذا استفاده از آب خاکستری از همان ابتدا باعث کاهش مصرف آب و همچنین کاهش هزینه‌های بالای تصفیه آب و از طرفی باعث کاهش فاضلاب‌های خروجی از منازل و کاهش هزینه‌های انتقال و تصفیه فاضلاب را به دنبال خواهد داشت.

آب خاکستری بازیافت شده به دلیل وجود مواد جامد آلی در آن هرگز جنبه آشامیدنی ندارد، اما پس از انجام مراحل تصفیه و هضم میکروبی برای تامین آب جهت شست‌وشو یا سیفون توالت و یا آبیاری فضای سبز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به‌کارگیری مزایای استفاده مجدد از آب بازیافتی شامل: استفاده کمتر از انرژی و مواد شیمیایی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، رشد گیاهان، احیاء دوباره مواد مغذی هدررفته، افزایش آگاهی و حساسیت نسبت به چرخه طبیعی، کاهش فشار به سیستم‌های تصفیه است.

بنابراین برای عبور از بحران آب در سال‌های آتی باید روش‌هایی را به عنوان روش جایگزین منابع آبی در نظر داشت. با مطالعه همه جانبه منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر آبی، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده مجدد از آب‌های خاکستری به منظور استفاده در مصارف خانگی غیر شرب، روشی بهینه در صرفه‌جویی مصرف آب و انرژی می‌باشد. بدین منظور پیشنهاد می‌شود که با ارائه یارانه‌ها و تسهیلات فنی توسط دولت این مهم امکان‌پذیر گردد.

مراجع

۱- اردکانیان، رضا. (۱۳۸۴). بررسی اجمالی بر مدیریت آب در ایران، حفاظت از آب، استفاده مجدد و بازیافت: مقالات کارگاه آموزشی ایرانی-آمریکایی، آکادمی ملی، واشنگتن دی سی، ایالات متحده آمریکا.

۲- بدلیانس قلی کندی، گاگیک. جمشیدی، شروین. ابریشمی، علی. (۱۳۹۴). بررسی اثر آبیاری آفتابگردان روغنی با پساب تصفیه شده شهری بر رشد و عملکرد گیاه و کیفیت خاک، مجله بازیافت آب، دوره ۲، شماره ۱.

۳- جعفر قلی بیک، عاطفه. جعفر قلی بیک، علی رضا. (۱۳۹۱). آبهای خاکستری و معماری پایدار، اولین همایش ملی اندیشه ها و فناوری های نو در معماری، تبریز °تهران.

۴- رازقی، ناصر. منصوری، رویا. (۱۳۹۴). برنامه ریزی دراز مدت استفاده دوباره از آب، مجله بازیافت آب، دوره ۲، شماره ۱.

۵- رازقی، ناصر. منصوری، رویا. روحانی، پیمان. (۱۳۹۲). "استفاده دوباره آب (طرح و برنامه)"، شرکت نارون‌آرا.

۶- روحامی فرهمند، اشکان. تیزقدم غازانی، مصطفی. (۱۳۹۴). بررسی فنی و اقتصادی هزینه‌های استفاده از آب خاکستری در ساختمان‌های بلند مرتبه ایران، مجله بررسی فنی و اقتصادی هزینه های استفاده از منابع.

۷- شمس آبادی، نرگس. بختیاری، حسن. کوچکیان، نفیسه. فراهانی، محمود. (۲۰۱۵). بررسی و طراحی سیستم های تصفیه آب خاکستری در دانشگاه حضرت معصومه قم، ایران، International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.780.

۸- قنبری، احمد. عابدی کوپایی، جهانگیر. طایی سمیرمی، جواد. (۱۳۸۵). اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه سیستان، نشریه علوم آب و خاک(علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۴.

۹- معاونت برنامه ریزی و استراتژی. (۱۳۷۱). اصول و معیار طراحی پروژه های آبرسانی شهری، انتشارات ۳-۱۱۷، تهران.

۱۰- یوسفی, علی. مهدیان، شکیبا. (۱۳۹۳). ارزیابی ضرورت اقتصادی و اجتماعی بازیافت پساب در کشور، مجله بازیافت آب، دوره ۱، شماره۱. اصفهان.

۱۱- یونسلو، صادق. (۱۳۸۷). اصلاح الگوی استفاده مجدد از آب، انتشارات پژواک فرهنگ، تهران.

12- Al- Jayyousi O R. (2003) Greywater reuse: towards sustainable water management Desalination 156(1):181-192.

13- Boyjoo Y, Pareek V K, Ang M. (2013) A review of greywater characteristics and treatment process. Water science & Technology 67(7):1403-1424.

14- Braadbaart O. (2006) An assessment of centralized and decentralized wastewater reclamation system in Beijing.

15- Dixon A, Butler D and Fewks A, Water Sci. Technol., 39(5)(1999)25-32.

16- Emmerson, G. (2003) Greywater reuse in other countries and its applicability to Jordan, Center for the Study of the Built Environment (CSBE).

17- Fewkes A, Ferris A.A, Build. Env 17(3)(1982)209-216.

18- Friedler E, Hadari M. (2005) Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings, Desalination https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007.

19- Friedler E, Kovalio R, Galil, N I. (2005) One-site greywater treatment and reuse in multi-storey building. Water science and Technology 51(10):187-194.
20- Ghaitidak DM, Yadav KD. (2013) Characteristics and treatment of greywaterˇ a review. Environ Sci Pollut Res 2013;20(5):279˚809. http://dx.doi.org/ 10.1007/s11356-013-1533-0.
21- Hamdy A, Trisorio-Liuzzi G. (2004) water management strategies to combat drought in the semiarid regions, Whater Management for Drought Mitigation in the Mediterranean at the Regional Conference on Arab Water, Cairo, Egypt.
22- Hartley T W (2006). Public perseption and participation in water reuse. Desalination 187(1):115-126
23- Jeppersen, B. & Solley, D. (2004) Model guidelines for domestic greywater reuse for Australia, Research Report No. 107. Urban Research Association of Australia, Brisbane City Council.
24- Lam C, Leng L, Chen P, Lee P, Hsu S. (2017) Eco-efficiency analysis of non-potable water systems in domestic Buildings, Applied Energy, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017. 05.095.
25- Libralato G, Ghiradini A V, Avezzu F. (2012) To centralise or to decentralize: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management Journal of Environment Management 94(1):61-68.
26- Li F, Wichmann, K, Otterpohl R. (2009) Review of the technological approaches for grey water treatment and reuse. Science of the Total Environment 407(11): 3439-3449.
27- Oakley S M, Gold A J, Oczkowski A J. (2010) Nitrogen control through decentralized wastewater treatment: Process performance and alternative management strategies. Ecological Enfineering 36(11):1520-1531.
28- Sarkar P, Sharma B, Malik U. (2014) Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India, Renewable Energy, http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.046.
29- U.S. EPA. (2012) Guidelines for Water Reuse , EPA/600/R-12/618, U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, Washington, DC.
30- Wanjiru E, Xia X. (2017) Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling, Journal of Cleaner Production (2017), doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.212.
31- WHO, UNICEF. (2015) Progress on drinking water and sanitation, 2015 update and MDG assessment. World Health Organization and UNICEF Joint Monitoring Programme(JMP); Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/ 10665/177752/1/9789241509145_eng.pdf?ua=1.
32- WWAP. (2014) The united nations world water development report 2014: water and energy. Paris: UNESCO.
33- World Health Organization. (2010) Regional office for the eastern Mediterranean (WHO-ROEM) Ǫverview of greywater management: Health consideration., USA.
34- Zeinal Z. (2015) Basil leaf plant response to absorb cadmium and lead through different concentrations of sewage sludge irrigation in greenhouses around Tehran. Journal of Food and Agriculture 13(133):31-28.