

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان

کمیته تحقیقات

(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش (پایان کار)

امکان‌سنجی استفاده مجدد و بازچرخانی آب در استان گیلان

سازمان مجری: دانشگاه گیلان – معاونت پژوهش و فناوری

پژوهشگران: دکتر سید علی موسوی و دکتر نادر پیرمردیان

مهر ۱۴۰۲



فصل اول : مقدمه.....	۷
۱- ۱- مقدمه.....	۸
فصل دوم : کلیات و بررسی منابع.....	۱۱
۱-۲- کمبود آب.....	۱۲
۱-۲-۱- روند کمبود آب.....	۱۸
۱-۲-۲- رسیدگی به کمبود آب با بهره‌گیری از منابع آب نامتعارف.....	۲۰
۲-۲- مفاهیم و مبانی استفاده مجدد از آب.....	۲۲
۲-۳- شناخت و تحلیل موضوع بازچرخانی و استفاده مجدد از آب.....	۲۴
۲-۳-۱- تعاریف و اصطلاحات فنی و حقوقی.....	۲۵
۲-۴- آشنایی با مفاهیم اولیه فاضلاب.....	۲۹
فاضلاب شهری.....	۳۰
فاضلاب صنعتی.....	۳۰
فاضلاب کشاورزی.....	۳۰
۲-۴-۱- تصفیه فاضلاب.....	۳۱
۲-۵- منابع آبی شناسایی شده برای استفاده مجدد از آب.....	۳۶
۲-۵-۱- فاضلاب شهری.....	۳۶
۲-۵-۱- زه‌آب کشاورزی.....	۴۰
۲-۶- کاربردهای استفاده مجدد از آب.....	۴۳
۲-۵-۱- استفاده مجدد از آب برای کشاورزی.....	۴۴
۲-۵-۲- استفاده مجدد از آب در شهرها.....	۴۶
۲-۵-۳- استفاده مجدد آب در صنعت.....	۴۸

۷-۲	چالش‌های استفاده مجدد از آب.....	۴۹
۸-۲	تبیین و تشریح وضع موجود بازچرخانی و استفاده مجدد در سطح جهان.....	۵۵
۱-۸-۲	پیشرفت‌های جهانی در استفاده مجدد از آب.....	۵۶
۲-۸-۲	تجربیات جهانی بازچرخانی و استفاده مجدد از آب.....	۵۸
	فصل سوم : مواد و روش‌ها.....	۷۶
۱-۳	منطقه مورد مطالعه.....	۷۷
۲-۳	داده‌های مورد استفاده.....	۸۱
۱-۲-۳	داده‌های بارندگی.....	۸۱
۲-۲-۳	داده‌های مربوط به ضریب رواناب.....	۸۳
۳-۲-۳	مساحت شهر رشت.....	۸۳
۴-۲-۳	جمعیت شهر رشت.....	۸۴
۵-۲-۳	مصارف شهری آب در شهر رشت.....	۸۵
۶-۲-۳	حجم آب مورد تقاضا برای مصارف خانگی به تفکیک کاربرد.....	۸۵
۶-۲-۳	ضرایب تبدیل آب شهری به فاضلاب.....	۸۶
۷-۲-۳	ظرفیت منابع آبی داخلی رشت.....	۸۷
۸-۲-۳	ظرفیت تامین آب سد سفیدرود.....	۸۸
۹-۲-۳	راندمان آبیاری.....	۸۸
	فصل چهارم : بحث و نتایج.....	۹۰
۱-۴	حجم آب قابل بازیابی در مناطق شهری برای مصارف شهری.....	۹۱
۲-۴	حجم آب قابل بازیابی برای مصارف کشاورزی.....	۹۳
۳-۴	حجم آب قابل بازیابی برای مصارف صنعتی.....	۹۴
	مراجع.....	۹۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- نقشه جهانی کمبود فیزیکی و اقتصادی آب..... ۱۵
- شکل ۲-۲- نقشه جهانی شاخص تنش آبی..... ۱۶
- شکل ۳-۲- نقشه جهانی میانگین فصلی کمبود آب آبی با وضوح 30×30 دقیقه جغرافیایی..... ۱۷
- شکل ۴-۲- تغییرات سرانه سالانه منابع آب تجدیدپذیر (ARWR)..... ۱۹
- شکل ۵-۲- پوشش منطق‌های آب آشامیدنی خانگی، فاضلاب، و بهداشت در سال ۲۰۱۷..... ۳۹
- شکل ۶-۲- نمونه‌هایی از پروژه‌های موفق استفاده مجدد از آب برای آبیاری کشاورزی در جهان..... ۴۵
- شکل ۷-۲- نمونه‌هایی از پروژه‌های موفق استفاده مجدد از آب در شهرها در نقاط مختلف جهان..... ۴۷
- شکل ۸-۲- روند جهانی استفاده مجدد از آب در جهان..... ۵۷
- شکل ۹-۲- کشورهای در حال اجرای طرح‌های استفاده مجدد از آب..... ۵۷
- شکل ۱-۳- موقعیت مکانی استان گیلان در نقشه ایران..... ۷۷
- شکل ۲-۳- نقشه استان گیلان به تفکیک شهرستان و شهر..... ۷۸
- شکل ۴-۳- بارندگی سالانه دوره ۳۵ ساله شهر رشت (از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ سال میلادی)..... ۸۱
- شکل ۵-۳- بارندگی ماهانه شهر رشت در سال ۱۴۰۰..... ۸۲
- شکل ۶-۳- حداکثر بارندگی روزانه در ماه‌های مختلف در شهر رشت در سال ۱۴۰۰..... ۸۲
- جدول ۲-۳- سرانه مصرف آب خانگی..... ۸۶
- شکل ۸-۳- مقادیر آب تحویلی به شبکه آبیاری گیلان در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰..... ۸۸
- شکل ۱-۴- نمودار تجمعی مصارف غیربهداشتی خانگی و فاضلاب بازیافتی..... ۹۲
- شکل ۲-۴- نمودار تجمعی مصارف غیرشرب خانگی و مجموع فاضلاب و رواناب قابل بازیابی در شهرستان رشت در سال ۱۴۰۰..... ۹۳
- شکل ۳-۴- نمودار تجمعی مصرف آب در بخش کشاورزی و آب‌های قابل بازیابی برای مصرف کشاورزی در شهرستان رشت در ۶ ماه اول سال ۱۴۰۰..... ۹۴
- شکل ۴-۴- نمودار تجمعی مصرف آب در بخش صنعتی و آب‌های قابل بازیابی برای مصرف صنعتی در شهرستان رشت در سال ۱۴۰۰..... ۹۵

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲- تعریف استاندارد، معیار، دستورالعمل و مقررات..... ۲۶
- جدول ۲-۲- واژه‌شناسی استفاده مجدد از آب..... ۲۷
- جدول ۳-۲- فناوری های تصفیه فاضلاب..... ۳۵
- ادامه جدول ۳-۲- فناوری های تصفیه فاضلاب..... ۳۶
- جدول ۴-۲- موانع و راهبردهای عبور از مانع برای استفاده از فاضلاب برای آبیاری پایدار کشاورزی..... ۵۳
- جدول ۱-۳- اطلاعات مربوط به مصرف آب شهری در رشت برای کاربری‌های مختلف در سال ۱۴۰۰..... ۸۵
- جدول ۳-۳- حجم آب قابل انتظار از منابع مختلف (رودخانه‌ها، چاه‌ها، آب‌بندان‌ها، زهکش‌ها و تالاب‌ها و بارندگی) در شرایط نرمال در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در بخش مرکزی (گزارش شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی گیلان (۱۳۹۶-۱۳۹۷))..... ۸۷
- جدول ۴-۳- راندمان‌های آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی گیلان در بخش مرکزی..... ۸۹
- جدول ۱-۴- برآورد حجم آب مورد نیاز برای مصارف مختلف و حجم آب قابل بازیابی در هر بخش در سال ۱۴۰۰ در شهرستان رشت..... ۹۱

فصل اول : مقدمه

آب بر رفاه انسان، کیفیت زندگی و توسعه اجتماعی-اقتصادی و همچنین سلامت زیست کره و اکوسیستم تاثیر به سزایی دارد. از زمان تولد بشریت، تمام تمدنهای بزرگ آب را نمادی از زندگی و به عبارتی منبع حیات می دانستند. در شرایطی که تغییرات آب و هوایی، گرم شدن کره زمین، بحران انرژی و افزایش بیش از حد جمعیت به طور گسترده مورد بحث قرار می گیرند، به نظر می رسد میزان کمبود آب در سراسر جهان به اندازه کافی درک نشده است و در برنامه ریزی منابع آب پایدار در نظر گرفته نشده است. کمبود آب مترادف فقدان آب نیست، اگرچه (فقدان آب) یکی از مؤلفه های کلیدی آن است اما کمبود آب شامل بسیاری از مؤلفه های مهم دیگر مانند کاهش کیفیت آب، عدم توازن بین در دسترس بودن و تقاضای آب، رقابت بین بخش ها و حتی بین کشورها نیز می شود. کاهش کیفیت آب اغلب علت اصلی کمبود آب و از بین رفتن تنوع زیستی است، اما تاثیر آن در مقیاس جهانی هنوز به خوبی مورد ارزیابی قرار نگرفته است. منابع آب شیرین ظرفیت محدودی برای پذیرش بارهای آلاینده روزافزون ناشی از افزایش مصارف شهری، صنعتی و کشاورزی دارند. کمبود آب در حال حاضر همه قاره ها را تحت تاثیر قرار داده است. نرخ مصرف آب بیش از دو برابر از رشد جمعیت در قرن گذشته بوده است. مناطق زیادی در جهان شدیداً با مشکل کمبود آب مواجه هستند. این وضعیت در آینده تشدید خواهد شد زیرا گسترش مناطق شهری و افزایش جمعیت فشار مضاعفی را بر منابع آبی محدود موجود تحمیل می کند.

کمبود آب شیرین یک خطر اجتناب ناپذیر جهانی است و پیامدهای آن بسیار فراتر از چالش های اجتماعی-اقتصادی و محیط زیستی بوده و بر معیشت و رفاه جوامع بشری تأثیری شگرف گذاشته است. از آنجایی که کمبود آب در مناطق خشک و پرجمعیت عمیق تر خواهد بود، نیاز به بررسی منابعی فراتر از منابع متعارفی چون برف و باران، دریاچه ها، رودخانه ها، و آب های زیرزمینی، که به راحتی قابل دسترس هستند، خواهد بود، زیرا اغلب این منابع متعارف نیازهای رو به رشد آب را برآورده نمی کنند. به علاوه کشورهای کم آب نیاز به بازاندیشی اساسی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب دارند و در میان گزینه های مختلف، توجه به منابع آب نامتعارف برای تولید غذا، ارتقای معیشت و تامین نیاز اکوسیستم ها الزامی جدی و راهبردی برای توسعه پایدار تلقی می شود. چنین منابع آبی از بستر دریا تا جو فوقانی آن وجود دارد. دسترسی ایمن به آن ها نیازمند فناوری ها و نوآوری های خاصی است. یکی از منابع نامتعارف، آب های برگشتی حاصل از مصارف مختلف است که در بخش کشاورزی به عنوان زهاب و در بخش شهری و صنعتی به عنوان فاضلاب و پساب از آن ها نام برده می شود.

عامل اصلی استفاده مجدد از آب، افزایش تقاضای آب است که عمدتاً به دلیل رشد سریع جمعیت و مصرف بی‌رویه ناشی از بهبود کیفیت زندگی و افزایش درآمد سرانه است. با توجه به افزایش تقاضای آب به دلیل افزایش مداوم جمعیت جهان، که اولین پیامد آن افزایش تولید زهاب‌های کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی است؛ می‌توان امیدوار بود، اگر این آب‌های برگشتی بازیافت شود، به یک منبع مهم آب تبدیل شود که بتواند کمبود آب شیرین را پوشش دهد. از سوی دیگر انتظار می‌رود شرایط تنش آبی در بسیاری از مناطق جهان در اثر تغییرات آب‌وهوایی تشدید شود. در نتیجه، تغییرات آب‌وهوایی و افزایش تنوع آب‌وهوایی دومین عامل اصلی برای استفاده مجدد از آب است. مهم‌ترین تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب به شرح زیر است (WWAP, 2012):

- فصول خشک طولانی‌تر و شدیدتر
- تغییرات گسترده در توزیع نزولات جوی با وقوع خشک‌سالی و سیل مکرر
- افزایش مصرف آب برای آبیاری
- بدتر شدن کیفیت آبهای شیرین در اثر افزایش دما و کاهش جریان

در سراسر جهان، رایج‌ترین کاربرد برای بازیافت فاضلاب، استفاده از آن در آبیاری کشاورزی است. با این حال، گزینه‌های دیگری مانند استفاده مجدد صنعتی، تفریحی، زیست‌محیطی و شهری نیز مورد توجه قرار گرفته است. منابع شناسایی شده برای استفاده مجدد شهری عبارتند از فاضلاب، آب خاکستری و آب باران. آب خاکستری به صورت فاضلاب خانگی به استثنای خروجی توالت تعریف می‌شود. در برخی موارد، برای آب مخلوط باران و آب خاکستری از عنوان «آب خاکستری روشن» نیز استفاده شده است.

ایران با مساحتی در حدود ۱/۶۵ میلیون کیلومتر مربع، روی کمر بند خشک جهانی واقع شده است و دارای اقلیمی متنوع و عمدتاً خشک و نیمه‌خشک است. کشور ایران یکی از کشورهایی است که بواسطه تغییرات اقلیمی و بروز پدیده خشک‌سالی همواره با مشکلات کم آبی مواجه بوده و افزایش جمعیت و تقاضای آب موجب تشدید آن مشکلات شده است. یکی از راهکارهایی که می‌تواند در تعدیل مشکلات کم آبی راه‌گشا باشد، استفاده مجدد از فاضلاب شهری، پساب‌های صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی است. رشد سریع جمعیت در کشور ایران مهم‌ترین عامل کاهش سرانه‌ی آب تجدیدشونده کشور در طول هشتاد سال گذشته شناخته می‌شود. بر مبنای پیش‌بینی سازمان ملل تا سال ۲۰۵۰ ایران یکی از ۱۰ کشور اول پرجمعیت جهان خواهد بود. از طرفی، بیش از ۸۵ درصد مساحت ایران در مناطق خشک، نیمه‌خشک و فراخشک واقع شده و میزان بارندگی در ایران حدود یک‌چهارم متوسط بارندگی جهانی است. بنابراین، ایران یکی از فقیرترین کشورها از نظر سرانه منابع آبی در جهان است. از راه‌های کاهش استفاده از آب شیرین در

مصارف کشاورزی، می‌توان به استفاده تلفیقی از زه‌آب و آب آبیاری اشاره کرد. استفاده مجدد از زه‌آب یکی از گزینه‌های مورد توجه جهت افزایش آب قابل دسترس برای مصارف کشاورزی است. نکته مهم در استفاده مجدد از زه‌آب کشاورزی توجه به کیفیت زه‌آب و نیز میزان مناسب نسبت اختلاط زه‌آب کشاورزی با آب آبیاری است. با توجه به اینکه در کشور ایران استان‌های شمالی به‌ویژه استان گیلان دارای بارندگی نسبتاً خوب و بیش‌تر از میانگین بارندگی سالانه جهانی است بنابراین ظرفیت بسیار مناسبی برای سرمایه‌گذاری بر روی طرح‌های استفاده مجدد از آب برای اهداف مختلف مصرف دارد.

شهر رشت با میانگین بارندگی سالانه تقریبی ۱۳۰۰ میلی‌متر در مقایسه با سایر مناطق دنیا که در حال تحقیق، اجرا و یا توسعه و ترویج این سیستم‌ها برای تامین نیازهای آبی خانگی (هم‌چون آبیاری فضای سبز، سرویس بهداشتی، ماشین لباسشویی و شست‌وشو)، صنعتی و کشاورزی هستند ظرفیت بسیار مناسبی دارد. از سوی دیگر یکی از مهم‌ترین مشکلات شهر رشت سیلاب شهری و آبگرفتگی معابر می‌باشد و با توجه به هزینه‌های سنگین و مشکلات ناشی از اجرای پروژه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های استفاده مجدد از آب، نقش موثری را در کنترل سیلاب شهری ایفا خواهد نمود. بنابراین بررسی این سیستم‌ها از زوایای گوناگون و بومی‌سازی آن‌ها برای شرایط اقلیمی استان گیلان و به‌ویژه شهر رشت از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی توسعه منابع آب گذشته و چشم‌انداز اجتناب‌ناپذیر کمبود آب، ضرورت تغییر به سمت یک دیدگاه جدید در مدیریت منابع آب را نشان داده است. رویکردهای جدید متکی بر اصول توسعه پایدار، اخلاق محیط‌زیست و مشارکت عمومی در توسعه هستند. بازچرخانی و استفاده مجدد از آب به عنوان رویکردی مبتنی بر اصول توسعه پایدار و راهکاری برای کاهش پیامدهای کم آبی و حفاظت از محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است. این گزارش مروری بر تجربیات عملی، رویکردها و پیامدها، چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی، مقررات، نظام‌ها و ضرورت‌های استفاده مجدد و بازچرخانی آب در کشورهای مختلف برای دستیابی به دانش فنی مرتبط با این موضوع است. در طول سه دهه گذشته، چندین هزار پروژه موفقیت‌آمیز استفاده مجدد از آب با کاربردهای متنوع در سراسر جهان نشان داده‌اند که بازیافت آب یک راه‌حل اثبات شده برای کمبود آب است که ابزاری ضروری برای کاهش اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر کاهش آب شیرین موجود است.

فصل دوم : کلیات و بررسی منابع

۲-۱- کمبود آب

اختلاف فزاینده‌ای بین منابع آب در دسترس و جمعیت انسانی وجود دارد زیرا منابع آب شیرین و جمعیت به‌طور نابرابر در سراسر جهان توزیع شده‌اند. رقابت فزاینده بین بخش‌های کشاورزی، خانگی، صنعتی و انرژی باعث می‌شود که کمبود آب در مناطقی که تحت تنش آبی هستند یا انتظار می‌رود در آینده به آن مبتلا شوند، برجسته باشد. بنابراین درک میزان کمبود آب و پیامدهای آن برای تدوین سیاست‌ها و اقدامات پاسخگو در مقیاس‌های مختلف ضروری است [Qadir et al., 2022].

تکامل مفهوم کمبود آب در دهه ۱۹۸۰ با معرفی یک شاخص کمبود آب مبتنی بر جمعیت آغاز شد و در ارزیابی‌هایی ظاهر شد که شامل کیفیت آب و تخصیص آب برای غذا و کشاورزی و اکوسیستم می‌شد. متون منتشر شده در مورد جنبه‌های مختلف کمبود آب به تدریج افزایش یافته است، اما انتشار آن از آغاز قرن بیست و یکم، زمانی که کمبود آب تشدید شد و شروع به تأثیر قابل توجه بر معیشت و رفاه مردم، به ویژه در مناطق کم آب کرد، بیش‌تر شد [Qadir et al., 2022]. کمی‌سازی رسمی سرانه منابع آب یا وضعیت کمبود آب در سطح ملی با توسعه شاخص تنش آبی^۱ (WSI) توسط فالکنمارک مبتنی بر پیوند امنیت غذایی و دسترسی به آب شیرین آغاز شد [Falkenmark, 1986]، که به شاخص فالکنمارک معروف است. شاخص WSI در ابتدا بر حسب تعداد افرادی که برای یک واحد آب رقابت می‌کنند [Falkenmark et al., 1989] و به صورت دسترس بودن آب مبتنی بر جمعیت که به عنوان منابع آب تجدیدپذیر سالانه^۲ (ARWR) توصیف می‌شد، تعریف شد. فالکنمارک و همکاران [Falkenmark et al., 1989] بر اساس برآورد آب مورد نیاز آب در بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعتی و انرژی مقدار ۱۷۰۰ مترمکعب سرانه ARWR را به عنوان آستانه‌ای که کم‌تر از آن کم‌آبی شروع به خودنمایی می‌کند، توصیه کردند. کشورهایی با سرانه ARWR بیش از ۱۷۰۰ مترمکعب آب بدون کمبود، و کشورهایی که ARWR کم‌تر از ۱۷۰۰ مترمکعب داشتند تحت تنش آبی در نظر گرفته شدند. کشورهایی که سرانه ARWR کم‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب دارند، به عنوان کشورهایی که به شدت کم آب هستند، و کشورهایی که سرانه ARWR کم‌تر از ۵۰۰ مترمکعب دارند، در معرض کمبود مطلق آب معرفی شدند.

به دلیل سادگی، شاخص فالکنمارک در بسیاری از مباحث و مقالات مرتبط با کمبود آب رایج شد. مزیت استفاده از WSI این است که داده‌های برآورد ARWR، که فقط مستلزم دانستن میانگین سالانه کل منابع آب تجدیدپذیر و جمعیت یک سال خاص در

^۱Water stress index

^۲Annual renewable water resources

یک کشور است، به راحتی در دسترس هستند. علیرغم چنین مزیتی، WSI تنها تخمین‌های کلی ارائه می‌کند و با این شاخص تغییرپذیری کمبود آب در مقیاس‌های دقیق‌تر پنهان خواهد بود. با این شاخص در حالی که یک کشور در دسته‌ای خاص قرار گرفته، مناطق مختلف آن ممکن است در دسته‌های متفاوت WSI از کم‌آب تا کم‌آبی مطلق قرار گیرند.

در حالی که WSI مبتنی بر تامین آب تعریف شد، مطالعات دیگر مرتبط با کمبود آب بر تقاضای آب متمرکز شدند. شیکلومانوف [Shiklomanov, 1991] در دسترس بودن سالانه آب در سراسر یک کشور را با تقاضای آب ملی در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی مقایسه کرد. راسکین و همکاران [Raskin et al., 1997] با استفاده از داده‌های شیکلومانوف برداشت سالانه آب از رودخانه‌ها، نهرها و آب‌های زیرزمینی را به عنوان درصدی از کل منابع آبی موجود در نظر گرفتند و با آن شاخص بهره‌برداری آب^۱ (WEI) را معرفی کردند. در شاخص WEI، کشوری که برداشت‌های سالانه آب آن در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد از کل منابع آبی موجودش باشد «کم‌آب» است و اگر برداشت بیش از ۴۰ درصد باشد «به شدت کم‌آب» است [Raskin et al., 1997; Agency, 2005].

در اواخر دهه ۱۹۹۰، مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) مفهوم متفاوتی را برای ارزیابی کمبود آب بر اساس دسترسی و توسعه زیرساخت‌های آب ایجاد کرد [IWMI, 2013]. رویکرد IWMI مناطق کم‌آب را به چهار دسته تقسیم می‌کند:

- ۱- بدون کمبود آب - وجود منابع آب فراوان نسبت به استفاده، با کم‌تر از ۲۵ درصد برداشت از آب رودخانه‌ها برای اهداف انسانی
- ۲- کمبود آب فیزیکی - توسعه منابع آب در حال نزدیک شدن به حد پایدار یا از حد پایدار فراتر رفته است و بیش از ۷۵ درصد از جریان رودخانه برای کشاورزی، صنعت و اهداف خانگی استفاده می‌شود.
- ۳- نزدیک به کمبود آب فیزیکی - بیش از ۶۰ درصد از جریان رودخانه‌ها برداشته شده و به زودی با کمبود فیزیکی آب مواجه خواهند شد.

^۱Water Exploitation Index

۴- کمبود آب اقتصادی - دسترسی به آب به وسیله محدودیت‌های سرمایه انسانی، نهادی و مالی، حتی اگر آب موجود در طبیعت به صورت محلی برای رفع نیازهای انسان در دسترس باشد، محدود شده است. منابع آب نسبت به مصرف آب فراوان است، کم‌تر از ۲۵ درصد از آب رودخانه‌ها برای اهداف انسانی برداشت می‌شود، اما سوء تغذیه وجود دارد. بر مبنای رویکرد IWMI مناطق مختلف جهان مطابق شکل (۱-۲) دسته‌بندی شدند [IWMI, 2013] که ایران در دسته نزدیک به کمبود آب فیزیکی قرار گرفته است.

سالیوان و همکاران [Sullivan et al., 2003] برای ارزیابی تامین آب در سطح خانوار و جامعه شاخص فقر آب^۱ (WPI) را بر اساس پنج معیار:

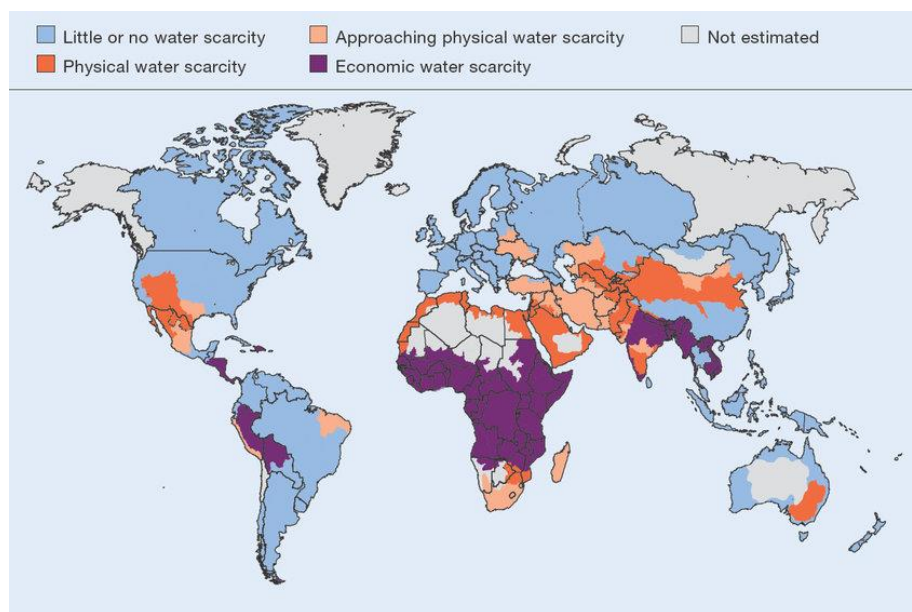
- ۱- منابع آب با مقدار کل آب‌های سطحی و زیرزمینی
 - ۲- دسترسی به آب برای بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی
 - ۳- میزان استفاده از آب توسط بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی
 - ۴- اثربخشی توانایی مردم در مدیریت آب
 - ۵- جنبه‌های محیط‌زیستی مرتبط با آب
- توسعه دادند. آن‌ها از میانگین وزنی این مؤلفه‌ها استفاده کردند و ابتدا هر مؤلفه را استاندارد کردند تا در محدوده صفر تا ۱۰۰ قرار گیرد. بالاترین مقدار WPI برابر ۱۰۰ خواهد بود که نشان دهنده وضعیت عالی (یا پایین‌ترین سطح فقر آب) است، در حالی که صفر بدترین مقدار WPI است [Sullivan et al., 2003].

اسماختین و همکاران [Smakhtin et al., 2004] شاخص تنش آبی (WSI) را بازتعریف کرده و جریان مورد نیاز محیط‌زیست^۲ (EFR) را در آن لحاظ کردند. این بار شاخص WSI به صورت نسبت کل برداشت آب به "آب قابل استفاده" تعریف شد. آب قابل استفاده نیز به صورت میانگین تفاوت بین کل آب موجود و جریان مورد نیاز محیط‌زیست، که برای حفاظت از اکوسیستم‌های آب شیرین باید «کنار گذاشته شود»، تعریف شد. مقدار EFR مورد نیاز برای حفظ اکوسیستم‌های وابسته به آب شیرین در شرایط عادلانه باید بین ۲۰ تا ۵۰ درصد میانگین جریان سالانه رودخانه باشد. بر مبنای تعریف جدید شاخص WSI برخی از حوضه‌ها یا

^۱Water Poverty Index

^۲Environmental flow requirements

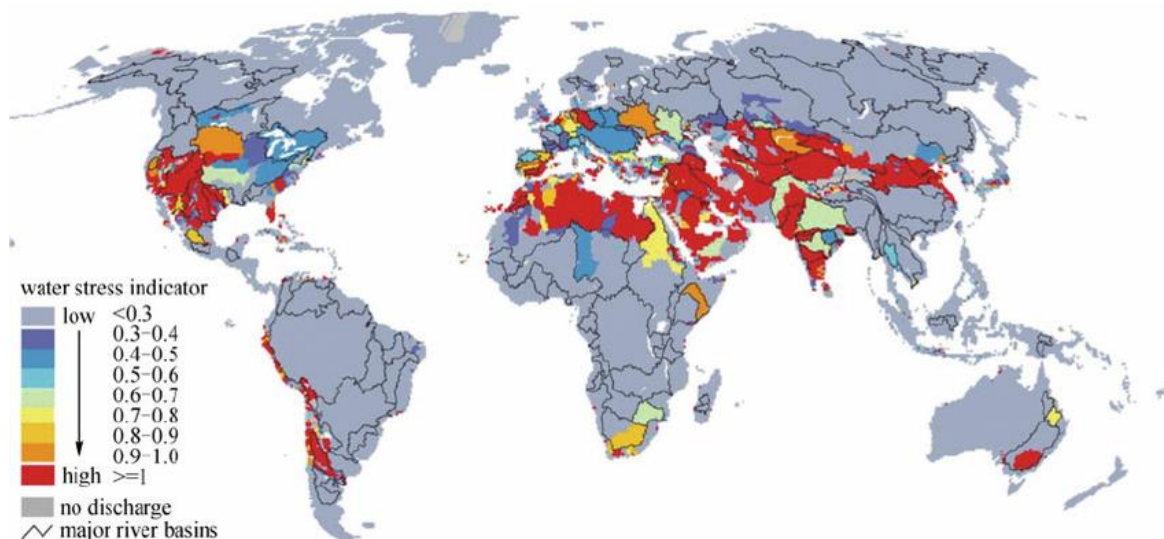
بخش‌هایی از آن نزدیک یا حتی بیش‌تر از مقدار یک برآورد شد که نشان می‌داد از سهم جریان ERF برداشت شده است (شکل ۲-۲). [Qadir et al., 2022]



شکل ۲-۱- نقشه جهانی کمبود فیزیکی و اقتصادی آب [IWMI, 2013].

با در نظر گرفتن تغییرات زمانی در کمبود آب، هاناساکی و همکاران [Hanasaki et al., 2008] شاخص برداشت تجمعی به تقاضا^۱ (CAD) را به صورت نسبت برداشت تجمعی آب شیرین روزانه از یک منبع آب به تقاضای پتانسیل روزانه آب برای مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی معرفی کردند. فرض بر این است که اگر CAD به مقدار کم‌تر از واحد برسد، کمبود آب می‌تواند رخ دهد. شاخص CAD منعکس‌کننده افزایش شرایط کم آب در طول ماه‌های خشک است. با این حال این داده فشرده است و تا کنون مشخص شده است که استفاده محدودی دارد [Qadir et al., 2022].

^۱Cumulative Abstraction to Demand

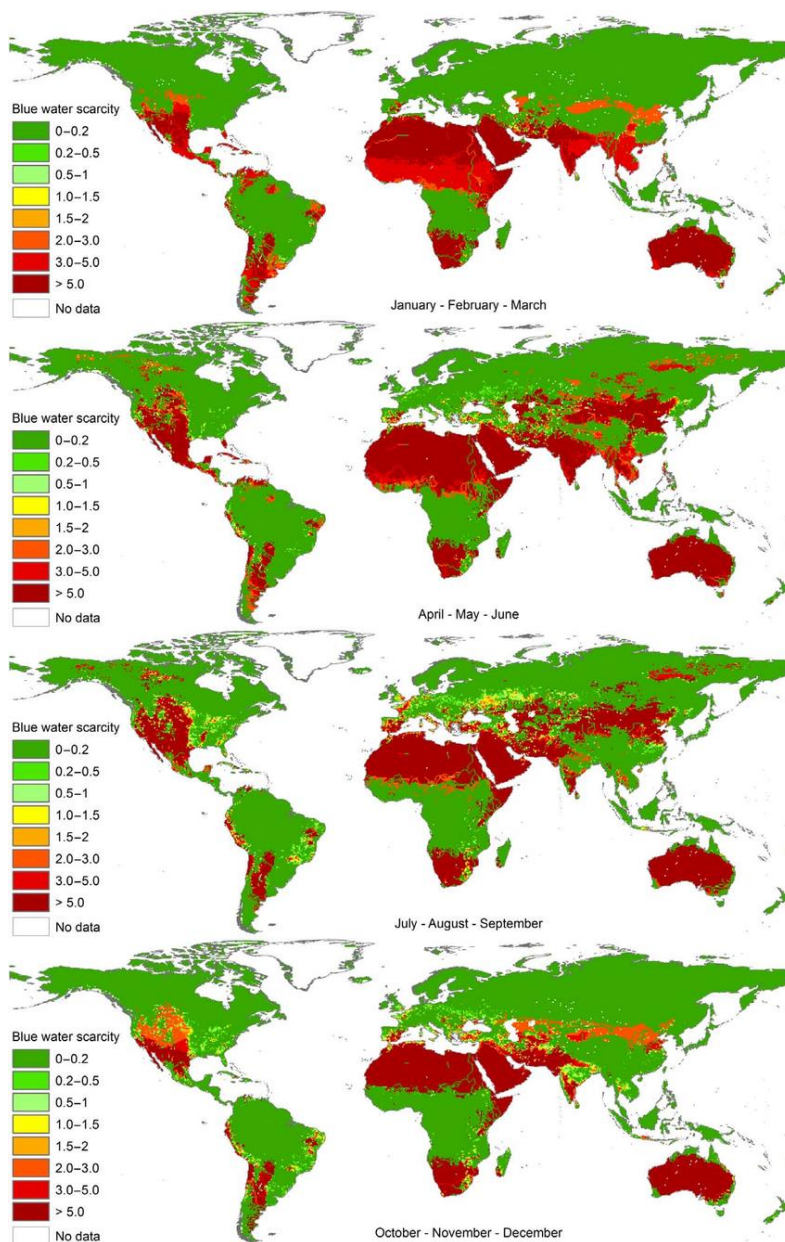


شکل ۲-۲- نقشه جهانی شاخص تنش آبی [Smakhtin et al., 2004]

مکونن و هوکسترا [Mekonnen and Hoekstra, 2016] "کمبود آب آبی" را در فواصل زمانی ماهانه با وضوح مکانی 30×30 دقیقه جغرافیایی ارزیابی کردند (شکل ۲-۳). این شاخص به صورت نسبت مصرف آب آبی (برداشت خالص آب) به کل آب در دسترس یک سلول شبکه تعریف شد. آب آبی به صورت مجموع رواناب تولید شده در یک سلول به اضافه رواناب تولید شده در تمام سلول‌های شبکه بالادست منهای مصرف EFR و آب آبی سلول‌های بالادست، محاسبه می‌شود. این رویکرد دارای پتانسیل خوبی است، با این حال، یک فرض نسبتاً ساده از EFR بسیار بالا (۸۰ درصد از کل منابع آب) در سراسر حوضه رودخانه، ممکن است به برآورد کمبود آب متورم منجر شود [Qadir et al., 2022]. در حالی که بیش‌تر شاخص‌های کمبود آب بر روی کمیت آب متمرکز شده‌اند، شاخص کمبود آب آبی کیفیت آب و تخصیص آب برای EFR را در نظر می‌گیرد.

زنگ و همکاران [Zeng et al., 2013] یک شاخص یکپارچه "QQE" را بر اساس کمیت آب، کیفیت آب و EFR توسعه دادند و آن را به صورت مجموع یک شاخص مبتنی بر کمیت و یک شاخص مبتنی بر کیفیت محاسبه کردند. ون و همکاران [van Vliet et al., 2021] با در نظر گرفتن منابع آب جدید مانند آب شیرین شده و فاضلاب تصفیه شده شاخص QQE را محاسبه و با کم کردن این منابع آب از تقاضای آب دریافتند که سطح کمبود آب و درصد افرادی که تحت تأثیر کمبود شدید آب قرار گرفته‌اند،

زمانی که هم کمیت و هم کیفیت آب را در نظر گرفته شود (به‌طور متوسط ۴۰ درصد) به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از زمانی است که تنها کمیت آب (به‌طور متوسط ۳۰ درصد) مدنظر قرار گیرد.

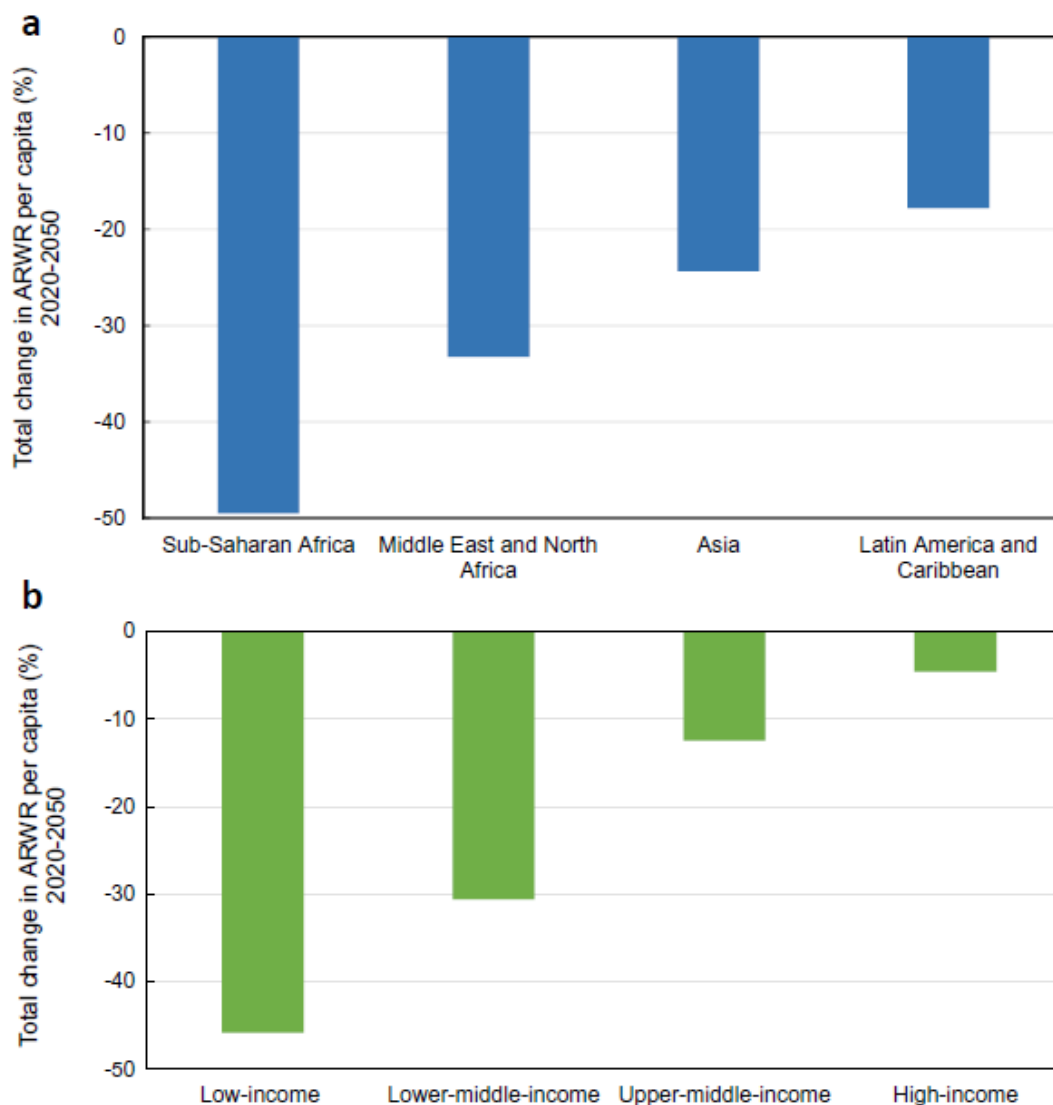


شکل ۲-۳- نقشه جهانی میانگین فصلی کمبود آب آبی با وضوح 30×30 دقیقه جغرافیایی [Mekonnen and Hoekstra, 2016]

۲-۱-۱- روند کمبود آب

از آنجایی که منابع آب شیرین و تراکم جمعیت به‌طور نابرابر در سراسر جهان توزیع شده است، دامنه تغییرات قابل توجهی در سرانه ARWR، از بیش از ۳۰۰۰۰ مترمکعب در کشورهایمانند بوتان، گویان و ایسلند تا کم‌تر از ۱۰۰ مترمکعب در کشورهایمانند یمن، الجزایر و عربستان سعودی، قابل مشاهده است. بر اساس آخرین ارزیابی‌ها از کمبود آب ناشی از رشد جمعیت در مناطق و کشورهای مختلف، به‌طور تقریبی نیمی از کشورها (۸۷ کشور از ۱۸۰ کشور) تا سال ۲۰۵۰، با کمبود آب مواجه خواهند شد؛ یعنی سرانه ARWR آن‌ها به زیر ۱۷۰۰ مترمکعب خواهد رسید [Baggio et al., 2021]. پیش‌بینی می‌شود تعداد کشورهایمانند کمبود مطلق آب مواجه هستند از ۲۵ کشور در سال ۲۰۱۵ به ۴۵ کشور تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد [Baggio et al., 2021]. روند کاهش کیفیت آب ممکن است منجر به نامناسب شدن بخشی از آب‌های موجود شود و در نتیجه سطوح کمبود آب را تشدید کند [van Vliet et al., 2021] و ممکن است تشدید کم‌آبی کانون‌های کم آب جهان را به دنبال داشته باشد [Zeng et al., 2013]. پیش‌بینی می‌شود پس از منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا، جنوب آفریقا به کانون بعدی کمبود آب تبدیل شود [Baggio et al., 2021]. بالاترین میانگین کاهش سرانه ARWR (۲,۴ درصد) در کشورهای جنوب صحرای آفریقا، پس از آن خاورمیانه و شمال آفریقا (۱,۱ درصد)، آسیا (۰,۸ درصد)، و آمریکای لاتین و کارائیب (۰,۵ درصد) پیش‌بینی شده است. اروپا تنها منطقه جهان است که به دلیل کاهش مورد انتظار جمعیت آن ممکن است میانگین نرخ تغییر در سرانه ARWR آن در ۳۰ سال آینده مثبت باشد. با توجه به تغییرات در ARWR برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰، انتظار می‌رود که تخصیص سرانه منابع آب در کشورهای جنوب صحرای آفریقا در مقایسه با سطوح فعلی به نصف کاهش یابد. در مجموع کاهش ARWR در خاورمیانه و شمال آفریقا، ۳۳,۲ درصد و به دنبال آن در آسیا ۲۴,۳ درصد و در آمریکای لاتین و کارائیب ۱۷,۸ درصد خواهد بود (شکل ۲-۴a) [Qadir et al., 2022].

بر اساس گزارش بانک جهانی [Bank, 2018] کمبود آب یک چالش مزمن و یک مسئله فراگیر در دهه‌های اخیر در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا بوده است. این منطقه دارای تنها ۱ درصد از منابع آب شیرین جهان با ۶ درصد از جمعیت جهان است [Bank, 2018]. با این حال، انتظار می‌رود کشورهای منطقه بیش‌تر به کمبود مطلق آب نزدیک شوند. هم‌چنین تشدید کمبود آب در این منطقه نشان می‌دهد که کشورهایمانند چین برای چندین دهه با منابع کمیاب آب شیرین دست و پنجه نرم می‌کنند، با چالش‌های بیش‌تری مواجه خواهند شد. در آسیا، افغانستان، تاجیکستان، تیمور شرقی، و پاکستان با کاهش سرانه سالانه ARWR ۱,۹ تا ۲,۵ درصد، چهار کشور بزرگی هستند که با این چالش مواجه هستند. کاهش کل ARWR سرانه در این کشورها تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۴۸-۲۶ درصد و ۵۹-۴۸ درصد خواهد بود [Baggio et al., 2021].



شکل ۲-۴- تغییرات سرانه سالانه منابع آب تجدیدپذیر (ARWR) (a) در بین کشورهای مناطق مختلف جهان و (b) در کشورهای گروه بندی شده به اقتصادهای کم درآمد، با درآمد کم تا متوسط، با درآمد متوسط تا زیاد و اقتصادهای با درآمد زیاد، طی سال های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ [Qadir et al., 2022]

۱۵ کشور جهان با بالاترین نرخ کاهش سرانه ARWR در ۳۰ سال آینده در جنوب صحرای آفریقا قرار دارند. به عنوان مثال در کشورهای کم آب مانند نیجر، آنگولا، سومالی، اوگاندا، چاد، بوروندی، تانزانیا و بورکینافاسو، پیش بینی می شود که با کمبود آب تشدید شده مواجه شوند و بسیاری از آن ها به کمبود مطلق آب برسند. کشورهای پرآب امروز مانند جمهوری دموکراتیک کنگو، مالی، موزامبیک، زامبیا و گامبیا تا سال ۲۰۵۰ سرانه کم تر از ۱۷۰۰ مترمکعب خواهند داشت، اگرچه پیش بینی می شود گینه استوایی و گینه تا سال ۲۰۵۰ پرآب باقی بمانند. آن ها کاهش قابل توجهی در سرانه ARWR را تجربه خواهند کرد [Baggio et

al., 2021]. انتظار می‌رود رشد جمعیت منجر به کاهش بی‌سابقه منابع آب در کشورهایی با منابع مالی ناکافی شود (شکل 2-4b)، پیش‌بینی می‌شود که کشورهای کم‌درآمد به‌طور متوسط ۴۵٫۸ درصد کاهش در سرانه ARWR داشته باشند و به دنبال آن کشورهای با درآمد کم تا متوسط (۳۰٫۶ درصد)، کشورهای با درآمد متوسط تا زیاد (۱۲٫۴ درصد) و کشورهای با درآمد زیاد (۴٫۶ درصد) کاهش در سرانه ARWR داشته باشند. چنین روندهایی به وضوح نشان می‌دهد که رشد سریع جمعیت در کشورهای با درآمد کم و درآمد کم تا متوسط، رسیدگی به مشکلات آب را پیچیده تر می‌کند و ممکن است مانع از تلاش برای کاهش کمبود آب شود [Baggio et al., 2021]. علاوه بر این، کمبود آب همراه با کاهش کیفیت آب در کشورهای با درآمد کم و با درآمد کم تا متوسط ممکن است راه حل های ممکن را محدود کند زیرا برای بهبود کیفیت منابع آب کمیاب در چنین کشورهایی سرمایه‌گذاری‌های بیش‌تری مورد نیاز خواهد بود [Liu et al., 2017]. ارزیابی‌های اخیر از کیفیت آب آبیاری نشان می‌دهد که استفاده از آب با کیفیت کم برای کشاورزی افزایش خواهد یافت و پایداری کشاورزی آبی به موضوع چالش‌برانگیزتری تبدیل می‌شود [Qadir et al., 2021].

ارزیابی روندهای کمبود آب هم‌راستا با دستور کار ۲۰۳۰ توسعه پایدار^۱ است زیرا یک هدف اختصاصی مرتبط با آب در آن وجود دارد که با عنوان هدف شش توسعه پایدار^۲ (SDG 6) در "تضمین آب و بهداشت برای همه" از آن یاد می‌شود. سازمان ملل متحد از طریق "ابتکار نظارت یکپارچه برای SDG 6"^۳ (IMI-SDG 6) به دنبال حمایت از کشورها در نظارت بر مسائل مربوط به آب و بهداشت و جمع‌آوری داده‌های ملی برای گزارش پیشرفت جهانی به سمت SDG 6 است [UN-Water, 2021].

۲-۱-۲- رسیدگی به کمبود آب با بهره‌گیری از منابع آب نامتعارف

از آنجایی که انتظار می‌رود کمبود آب در مناطق خشک و پرجمعیت ادامه یافته و تشدید شود، استفاده از هر گزینه مدیریت منابع آب موجود که بتواند به کاهش کمبود آب و پیامدهای آن کمک کند، ضروری است. گزینه‌های پاسخ متفاوت است و به طیف وسیعی از شرایط حاکم، مانند میزان کمبود آب، در دسترس بودن منابع مالی، ظرفیت فنی و سازمانی برای مدیریت موثر آب، شرایط آب‌وهوایی و موارد دیگر بستگی دارد. کشورهای کم‌آب باید افزایش پایدار منابع آب را بر اساس یک یا چند منبع

^۱2030 Agenda for Sustainable Development

^۲Sustainable Development Goal (SDG) 6

^۳ Integrated Monitoring Initiative for SDG 6

آب نامتعارف ترویج کنند، که این منابع نامتعارف ممکن است نیازمند تصفیه پیش از مصرف یا مدیریت مناسب در مزرعه در هنگام استفاده برای آبیاری باشد [Qadir et al., 2022].

با توجه به اطلاعات و داده‌های تلفیقی محدود، نمی‌توان مشخص کرد که منابع آب نامتعارف تا چه حد می‌تواند شکاف تقاضا و عرضه آب را در مقیاس‌های مختلف پر کند. با این حال، مطالعات اخیر پتانسیل منابع آبی نامتعارف خاص، مانند آب‌های شیرین شده [Jones et al., 2019] و فاضلاب شهری [Qadir et al., 2020; Jones et al., 2021] را معرفی کرده است. اگرچه پتانسیل بیش‌تر منابع آب نامتعارف هنوز به دست نیامده است، ولی طی سال‌های اخیر شاهد نمونه‌های نوظهور استفاده موثر از منابع آب نامتعارف در سراسر جهان هستیم [UN-Water, 2020]. این روند باید ادامه یابد و تشدید شود زیرا:

- نگرانی‌های کمبود آب همان‌طور که توسط SDG 6 و اهداف مرتبط با آب در سایر اهداف توسعه توسعه پایدار منعکس شده است، در دستور کار سیاسی جهانی قرار گرفته است.
- توسعه اقتصادی، بهبود استانداردهای زندگی و رشد جمعیت منجر به افزایش تقاضا برای آب و فشار قابل ملاحظه بیش‌تر بر تامین آب می‌شود.
- کاهش کیفیت آب در سطح جهانی در حال افزایش است، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تخریب محیط‌زیست بحران آب را تشدید می‌کند. کیفیت آب کم‌تر از استانداردهای مورد نیاز برای استفاده در یک بخش خاص، ارزش مالی و اکولوژیکی محدودی دارد.
- افزایش عرضه و بهره‌وری منابع آب متعارف دارای محدودیت‌هایی است زیرا در بیش‌تر مناطق کم آب جهان هیچ منبع متعارف دیگری برای توسعه وجود ندارد.

منابع آب نامتعارف در ساختن آینده آبی در مناطق خشک، که آب به عنوان یک منبع گرانبها و سنگ بنای اقتصاد شناخته می‌شود، ضروری است. چنین منابع آبی از بستر دریا تا اتمسفر فوقانی آن وجود دارد. با این حال، ایمن کردن دسترسی آن‌ها به اشکال قابل استفاده نیاز به فناوری‌ها و نوآوری‌های متمایز و خاص دارد. برداشت آب از اتمسفر شامل افزایش بارندگی از طریق باروری ابرها و جمع‌آوری آب از مه است، در حالی که استحصال آب باران در سطح زمین به جمع‌آوری آب باران در مقیاس کوچک می‌پردازد که این روش‌ها برای رسیدگی به کمبود آب محلی مناسب هستند. فرصت‌هایی برای افزایش آب زیرزمینی وجود دارد، جایی که بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی فراساحلی و آب‌های ژرف خشکی و گسترش استخراج پایدار از آب‌های زیرزمینی توسعه نیافته گزینه‌های ضروری در مناطق کم‌آب با پتانسیل توسعه منابع آب زیرزمینی است. بازیافت و

استفاده مجدد از آب کلید افزایش حفاظت از آب است که منجر به استفاده مناسب از فاضلاب شهری تصفیه شده و آب زهکشی کشاورزی می‌شود. فرصت‌های دیگر برای توسعه منابع آبی به شکل آب شیرین شده دریاها و اقیانوس‌ها وجود دارد [UN-Water, 2020].

۲-۲- مفاهیم و مبانی استفاده مجدد از آب

بازچرخانی و استفاده مجدد از آب مجموعه فرآیندهایی است که منجر به تصفیه و بازیافت آب از مصارف مختلف شده و استفاده مجدد آب را در پی دارد. آب حاصل از این فرآیند را می‌توان برای اهداف سودمندی مانند آبیاری محصولات کشاورزی، تامین آب آشامیدنی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، فرآیندهای صنعتی و احیای محیط‌زیست، استفاده کرد.

منابع آبی که می‌توانند در بازچرخانی مورد استفاده قرار گیرند شامل فاضلاب شهری، پساب‌های صنعتی، سیلاب و رواناب و زهاب‌های کشاورزی هستند. این منابع آب به اندازه کافی تصفیه می‌شوند تا "مشخصات مناسب برای هدف" را برای استفاده بعدی خود برآورده کنند. "مشخصات مناسب برای هدف" الزامات تصفیه برای رساندن آب از یک منبع خاص به کیفیت مورد نیاز، برای اطمینان از سلامت عمومی، حفاظت از محیط‌زیست، یا نیازهای خاص کاربر است. به‌طور مثال، آب بازیافتی برای آبیاری محصولات باید از کیفیت کافی برای جلوگیری از آسیب به گیاهان و خاک، حفظ ایمنی مواد غذایی و حفاظت از سلامت کارگران مزرعه برخوردار باشد. در مصارفی که به‌طور مستقیم با انسان سر و کار دارد، آب ممکن است به تصفیه بیش‌تری نیاز داشته باشد. استاندارد مورد نیاز جهت استفاده مجدد از آب در هر کشور توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ارائه می‌شود. در ایران نیز سازمان حفاظت محیط‌زیست استانداردهایی جهت استفاده مجدد از آب برای مصارف مختلف ارائه کرده است.

استفاده مجدد از آب را می‌توان به صورت برنامه‌ریزی شده یا برنامه‌ریزی نشده دسته‌بندی کرد. بازچرخانی برنامه‌ریزی نشده به موقعیت‌هایی گفته می‌شود که در آن منبع آب به‌طور عمده از آب استفاده شده قبلی تشکیل شده است. نمونه رایج بازچرخانی بدون برنامه، زمانی اتفاق می‌افتد که یک منطقه، منابع آب خود را از رودخانه‌هایی تامین می‌کند که منطقه بالادست آن، فاضلاب تصفیه‌شده خود را در آن رودخانه تخلیه کرده است. بازچرخانی برنامه‌ریزی شده به سامانه‌هایی اشاره دارد که با هدف استفاده مجدد سودمند از منابع آب بازیافتی طراحی شده‌اند. نمونه‌هایی از بازچرخانی برنامه‌ریزی شده شامل آبیاری محصولات کشاورزی، آبیاری فضای سبز شهری، تامین آب مورد نیاز صنایع، منابع آب آشامیدنی و مدیریت تغذیه آب زیرزمینی است. از دیگر کاربردهای بازگردانی و احیای

آب می‌توان به کنترل گرد و غبار یا پاکسازی سطح جاده‌ها، محل‌های ساخت و ساز و سایر مناطق پرتردد، اختلاط بتن و سایر فرآیندهای ساخت و ساز، ایجاد دریاچه‌های مصنوعی، تغذیه سفره‌های زیرزمینی ساحلی و احیای محیط‌زیست نام برد.

آبیاری محصولات کشاورزی قدیمی‌ترین روش استفاده مجدد از آب است. بسته به نوع محصول، آب بازیافتی به سطوح مختلفی از تصفیه نیاز دارد. طی سال‌ها آزمایش و تجزیه و تحلیل، ایمنی آب بازیافتی برای استفاده در کشاورزی قابل مقایسه با سایر منابع آب بوده و برای انسان و محیط‌زیست بی‌خطر است. آب بازیافتی مطابق با استانداردهای مبتنی بر استفاده نهایی تصفیه می‌شود و کیفیت آن حتی می‌تواند بالاتر از منابع سنتی مانند آب‌های سطحی که در معرض انواع منابع آلاینده قرار دارند، باشد.

یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده مجدد از آب، ارزش ایجاد شده توسط گنجاندن استفاده مجدد از آب در برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب و سایر جنبه‌های سیاست آب و اجرای پروژه‌های آبی است که منجر به پایداری طولانی مدت منابع آب خواهد شد. این مفاهیم یکپارچه، که شامل همگرایی حوزه‌های متنوعی مانند حکمرانی، خطرات بهداشتی، مقررات و ادراک عمومی است، چالش مهمی را برای استفاده مجدد از آب ایجاد می‌کند. این ارتباطات پیچیده می‌توانند اثرات جدی بر مزایا و چالش‌های مرتبط با استفاده مجدد از آب داشته باشند. در پرداختن به این مسائل پیچیده یکپارچه، موانعی جدی در راه اجرای گسترده پروژه‌های استفاده مجدد از آب بوجود می‌آیند. نمونه‌های متعددی از موانعی که پروژه‌های استفاده مجدد از آب فعلی در سراسر جهان تجربه می‌کنند، وجود دارد، از جمله: نیاز به فن‌آوری‌های نوآورانه، انتقال فناوری‌ها و راهبردهای جدید، نیاز به آموزش عمومی و افزایش پذیرش عمومی، مستندسازی مزایای استفاده مجدد از آب، کمبود بودجه در دسترس، نحوه ارتباط با رسانه‌ها، و نیاز به حمایت مدیران و سیاستمداران. مفاهیم یکپارچه همچنین می‌تواند عاملی برای گسترش گرایش به استفاده مجدد از آب در سطح جهانی باشد. برخی شواهد مانند رسیدگی به وضعیت آلاینده‌های نگران‌کننده نوظهور، استفاده از روش‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب مثل استفاده از غشاها، رشد درک عمومی و اقتصادی استفاده مجدد از آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و ذخیره و بازیابی آبخوان‌ها، افزایش استفاده از منابع جایگزین، احیای سامانه‌های طبیعی محیط‌زیست، بهره‌گیری‌های نوآورانه از آب‌های غیرقابل شرب، و سامانه‌های غیرمتمرکز و کوچک مقیاس بازچرخانی آب، همگی نشان دهنده گرایش به استفاده مجدد از آب در سطح جهانی در شرایط کنونی است. این گرایش‌های در حال پیشرفت نشان می‌دهد برای درک بهتر مسائل، توسعه فناوری‌های نوآورانه، توسعه ابزارها و کمک به اتحادیه‌ها و آژانس‌های آب برای اجرای پروژه‌های بازیافت و استفاده مجدد آب موفق، پژوهش لازم و ضروری است [Wade Miller, 2006].

۲-۳- شناخت و تحلیل موضوع بازچرخانی و استفاده مجدد از آب

چند سالی است که آب با توجه به تأثیراتش به‌طور مداوم در بین پنج خطر بزرگ جهانی قرار گرفته است، زیرا در قلب تعداد فزاینده‌ای از چالش‌های پیچیده و به هم پیوسته قرار دارد که کل جهان با آن مواجه است [WEF, 2020]. بحران آب که در رده ریسک تجدیدنظر شده، «بحران منابع طبیعی» در گزارش جهانی خطرات ۲۰۲۱ گنجانده شده است، در بین پنج خطر اصلی باقی مانده است. با وجود اینکه بیماری‌های عفونی در سال ۲۰۲۱ به عنوان یک خطر جهانی در جایگاه اول قرار گرفتند [WEF, 2021]. ولی بحران آب همچنان به عنوان یک علت بالقوه ناآرامی اجتماعی و درگیری در داخل و بین کشورها شناخته می‌شود [UN-Water, 2020].

با نزدیک شدن بسیاری از جوامع به محدودیت منابع آب موجودشان، بازیافت و استفاده مجدد از آب به گزینه‌ای جذاب برای حفظ و گسترش منابع آب در دسترس، تبدیل شده است، که مزایایی چون: (۱) جایگزینی آب بازیافتی برای کاربردهایی که به آب با کیفیت بالا نیاز ندارند، (۲) افزایش منابع آب و ارائه منبع جایگزین برای تامین نیازهای آبی فعلی و آینده، (۳) حفاظت از اکوسیستم‌های آبی با کاهش برداشت از منابع آب شیرین، (۴) کاهش مقدار مواد مغذی و سایر آلاینده‌های سمی ورودی به منابع آب، (۵) کاهش نیاز به سازه‌های کنترل آب مانند سدها و مخازن و (۶) رعایت مقررات محیط‌زیستی با مدیریت بهتر مصرف آب و تخلیه فاضلاب، را در بردارد [Asano et al., 2007].

در سال‌های اخیر، کشورهای زیادی آبیاری با استفاده از آب بازیافتی را به عنوان فرصتی برای تضمین و افزایش تولیدات کشاورزی مدنظر قرار داده‌اند. با وجود مزایای استفاده مجدد از آب، جوامع علمی چندین نگرانی و چالش را برای سلامت انسان و محیط‌زیست از جمله خطرات شیمیایی را مطرح کرده‌اند. پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری معمولاً حاوی طیف وسیعی از مواد شیمیایی آلی هستند. باقی ماندن چنین مواد شیمیایی در آب پس از فرآیند تصفیه ممکن است خطراتی برای سلامت انسان ایجاد کند، خاک و منابع آب اطراف را آلوده کند و حتی منابع آب آشامیدنی را به خطر بیندازد. هنگامی که محصولات کشاورزی در معرض مواد شیمیایی آب بازیافتی قرار می‌گیرند، جابجایی و تجمع این مواد در قسمت‌های خوراکی میوه‌ها و سبزیجات باید کنترل شود تا ورود آن‌ها به زنجیره غذایی رد شود. به علاوه در سال‌های اخیر مشکلات مربوط به انتشار آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط‌زیست از

طریق آب‌های بازیافتی جلب توجه کرده است. به این دلایل، آبیاری کشاورزی باید با الزامات کیفی سختگیرانه‌تری مواجه شود تا خطرات شیمیایی به حداقل برسد.

ترکیبی از اقدامات کاهش مواد شیمیایی در مبدأ، فرآورده‌های فنی و طبیعی تصفیه آب به ویژه برای حذف مواد شیمیایی با خواص تجمع‌پذیر زیستی و سمی ماندگار^۱ (PBT) یا با خواص متحرک و سمی ماندگار^۲ (PMT)، شیوه‌های کشاورزی متناسب با آب بازیافتی، و اقدامات پیشگیرانه تکمیلی (مانند انتقال دانش به دینفعان درگیر) برای ایجاد و اطمینان از آبیاری ایمن در آینده ضروری خواهد بود. در حالی که در سطح بین‌المللی بسیاری از مقررات و دستورالعمل‌ها برای استفاده مجدد از آب با موفقیت اجرا شده‌اند، این سؤال باقی می‌ماند که آیا دانش فعلی در مورد خطرات شیمیایی به اندازه کافی در زمینه نظارتی در نظر گرفته شده است یا خیر. معرفی مقررات جدید برای استفاده مجدد از آب، همانطور که در اتحادیه اروپا انجام شده است، فرصت خوبی برای در نظر گرفتن بهتر خطرات مواد شیمیایی ایجاد خواهد کرد [Helmecke et al., 2020]

در مورد پساب‌های کشاورزی یا همان زهاب، کیفیت آب زهکشی است که مشخص می‌کند چه محصولاتی را می‌توان با آن آبیاری کرد. به عنوان مثال، از زه‌آب‌های به شدت شور تنها برای آبیاری محصولات و درختان مقاوم در برابر شوری می‌توان استفاده کرد. از طرفی، احتیاط‌های محیط‌زیستی لازم بایستی مد نظر قرار گیرد تا کیفیت زه‌آب منجر به تهدید بقای جانداران موجود در زیست‌بوم نشود. در چارچوب استانداردها و موازین علمی، استفاده مجدد از زه‌آب‌های کشاورزی علاوه بر ایجاد یک منبع آبی جدید، می‌تواند مشکلات رهاسازی حجم عظیمی از زه‌آب‌ها به محیط‌زیست را نیز کاهش داده و آسیب‌های محیط‌زیستی ناشی از آن را به حداقل برساند.

۲-۳-۱ تعاریف و اصطلاحات فنی و حقوقی

موفقیت و پذیرش عمومی استفاده مجدد از آب تا حد زیادی تحت تأثیر اصطلاحات مورد استفاده برای اطلاع رسانی به ذی‌نفعان درگیر در فرآیند برنامه‌ریزی جامع آب است. به همین دلیل، بسیار مهم است که مفاهیم بازیافت آب به زبان ساده و قابل‌فهم بیان شود. به‌طور کلی، اصطلاح "استفاده مجدد از آب" مترادف با اصطلاحات "بازیافت آب" و "احیای آب" استفاده می‌شود. عموم مردم

^۱Persistent, bioaccumulative and toxic

^۲Persistent, mobile and toxic

به‌طور گسترده‌ای درگیر بازیافت کاغذ، شیشه، فلزات، پلاستیک و سایر ضایعات هستند و به وضوح معنی کلمه "بازیافت" را درک می‌کنند. به همین دلیل، چندین مقررات استفاده مجدد از آب، مانند معیارهای بازیافت آب کالیفرنیا (۲۰۰۰) برای مثال، "بازیافت آب" را به عنوان مناسب‌ترین اصطلاح که به آسانی توسط عموم پذیرفته می‌شود، پذیرفته‌اند. هنگامی که یک پروژه استفاده مجدد از آب برای بررسی و تایید به تصمیم‌گیرندگان و ذی‌نفعان ارائه می‌شود، استفاده از مناسب‌ترین اصطلاحات که به آن‌ها کمک می‌کند درک کنند که آب بازیافتی در واقع به قرار دادن پساب در یک فرآیند بازیافت برای تبدیل مجدد آن به آبی که قابل استفاده باشد، گفته می‌شود. یک مفهوم جدید مهم در استفاده مجدد از آب، رویکرد "مناسب برای هدف" است که مستلزم تولید آب بازیافتی با کیفیت است که نیازهای مصرف‌کنندگان نهایی را برآورده می‌کند. پیشرفت تکنولوژی تصفیه فاضلاب امکان تولید آب بازیافتی با کیفیت بالا و یا حتی کیفیت بهتر از آب آشامیدنی را فراهم می‌کند. به همین دلیل و به منظور تسهیل پذیرش عمومی، بسیاری از پروژه‌های جدید استفاده مجدد از آب، اصطلاحات جدیدی را برای توصیف آب بازیافتی مانند «آب تصفیه شده»، «آب جدید»، «آب زیست‌محیطی» و غیره اتخاذ کرده‌اند. بنابراین استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای اهداف سودمند به‌طور عمومی استفاده مجدد از آب نامیده می‌شود [Metcalf et al., 2007]. مشابه اصطلاحات علمی و فنی، اصطلاحات حقوقی مختلفی برای مقررات استفاده مجدد از آب استفاده شده است. توضیح اصطلاحات قانونی که معمولاً در اسناد مرجع استفاده می‌شود، در جدول‌های (۱-۲) و (۲-۲) آمده است.

جدول ۱-۲- تعریف استاندارد، معیار، دستورالعمل و مقررات [Metcalf et al., 2007]

واژه	تعریف	ملاحظات
استاندارد	یک قاعده یا اصل که توسط یک مرجع مسئول تعیین شده است.	استانداردها معمولاً صلب و سخت، رسمی یا شبه قانونی هستند. از آنجایی که استانداردها ممکن است بر مبنای فاکتورهای ایمنی نوشته شوند، می‌توانند به‌طور بالقوه ناعادلانه و یا با نادیده گرفتن مبانی علمی باشند. استانداردها معمولاً شامل محدودیت‌های عددی برای پارامترهای کیفی هستند.
معیار	به عنوان مبنای استانداردها، معیارها بر اساس داده‌های موجود و نظرات علمی تدوین می‌شوند. به‌طور معمول، امکان‌سنجی فنی و اقتصادی در فرآیند تدوین معیارها در نظر گرفته نمی‌شود.	معیارهای مؤثر دارای پتانسیل ارزیابی کمی از طریق روش‌های تحلیلی مناسب هستند. معیارها شامل محدودیت‌های کیفی هستند (این محدودیت‌ها می‌توانند به صورت حدود عددی و گزاره‌های روایی باشند).
دستورالعمل	بهترین شیوه‌هایی که قبل از تدوین استانداردها یا مقررات استفاده می‌شود.	معمولاً دستورالعمل‌ها داوطلبانه، مشاوره‌ای و غیر الزامی برای اجرا هستند. این دستورالعمل‌ها را می‌توان در مجوزهای استفاده مجدد از آب استفاده کرد تا به الزامات قابل اجرا تبدیل شود.
مقررات	توسط یک نهاد رسمی قانونگذار یا یک آژانس کنترل آلودگی آب تدوین و یا تصویب و ارائه می‌شود.	قابل اجرا و اجباری توسط سازمان‌های دولتی، مقررات استفاده مجدد از آب شامل الزامات تصفیه، کنترل‌های اتصال متقابل، علائم و فواصل عقب نشینی است.

جدول ۲-۲- واژه‌شناسی استفاده مجدد از آب

واژه	اصطلاح انگلیسی	تعریف
استفاده مفید	Beneficial Use	استفاده مستقیم مردم از آب برای منافع اقتصادی، اجتماعی یا زیست‌محیطی آن‌ها.
شاخص	Criteria	قوانین استاندارد یا آزمون‌هایی که می‌توان بر اساس آن تصمیم‌گیری کرد.
استفاده مجدد مستقیم	Direct Reuse	استفاده مستقیم از آب بازیافتی برای استفاده مجدد سودمند از جمله در سامانه تامین آب.
بافر زیست‌محیطی	Environmental Buffer	آب یا آب‌خوانی که بین تخلیه آب بازیافتی و آب ورودی یا چاه استخراج قرار دارد.
آب خاکستری	Greywater	فاضلاب حاصل از حمام و شست‌وشو (به استثنای توالت)
راهنماها	Guidelines	استانداردها، معیارها، قواعد یا رویه‌های توصیه یا پیشنهادشده که مشاوره‌ای، داوطلبانه و غیرقابل الزام هستند.
استفاده مجدد غیرمستقیم	Indirect Reuse	استفاده از آب بازیافتی تحویلی به رودخانه، مخزن یا سفره آب زیرزمینی
استفاده غیرقابل شرب	Non-Potable Use	استفاده از آب برای مقاصدی که نیازی به کیفیت آب آشامیدنی ندارد.
استفاده قابل شرب	Potable Use	استفاده از آب برای مقاصدی که نیاز به کیفیت آب آشامیدنی دارند.
آب بازیافتی	Recycled Water	آب بازیابی شده از تصفیه فاضلاب، آب خاکستری یا رواناب با کیفیت مناسب برای استفاده مفید.
آیین‌نامه‌ها	Regulations	استانداردها، معیارها، قواعد یا الزاماتی که به‌طور قانونی تصویب شده و توسط سازمان‌های دولتی قابل اجرا هستند.
جریان برگشتی	Return Flow	بازگشت آب بازیافتی به رودخانه‌های که منبع آب از آن کشیده شده است باز می‌گردد.
استاندارد	Standard	یک قانون، اصل یا اقدام قابل اجرا که توسط یک مرجع تنظیم کننده برای مثال محدودیت‌های عددی کیفیت آب.
فاضلاب	Wastewater	آب مصرفی تخلیه شده از منازل، مشاغل، صنعت یا کشاورزی.
احیای آب	Water Reclamation	فرآیند تصفیه فاضلاب و بازیافت آب بازیافتی با کیفیتی که برای استفاده مفید مناسب است.
بازیافت آب	Water Recycling	استفاده از آب بازیافتی برای اهداف مفید.
استفاده مجدد از آب	Water Reuse	استفاده از آب بازیافتی؛ استفاده چندین باره از آب برای اهداف مفید.

در حالی که آبیاری با آب بازیافتی به عنوان یک منبع جایگزین برای کاهش فشار بر منابع آب شیرین شناخته می‌شود، هدف نهایی اجرای ایمن شیوه‌های استفاده مجدد از آب است [Eslamian, 2015]. از نیازهای اساسی برای استفاده ایمن از آب بازیافتی، اطمینان از کیفیت مطلوب آن و عدم آسیب به سلامت انسان و محیط‌زیست است [Khan, 2018]. همزمان با آغاز فعالیت‌ها در ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۱۸ برخی کشورهای جهان در کنار سازمان‌های بین‌المللی (به عنوان مثال، سازمان بهداشت جهانی (WHO) و (FAO) اقدام به ایجاد مقررات و دستورالعمل‌ها ی استفاده مجدد از آب برای اطمینان از شیوه‌های ایمن استفاده مجدد

از آب کردند [Angelakis et al., 2018]. به‌طور کلی، رویکردهای متفاوتی در کشورها و سازمان‌ها برای وضع مقررات و دستورالعمل‌ها وجود دارد [Brissaud, 2008]. به عنوان مثال، در برخی کشورها مانند کانادا، استرالیا و بسیاری از ایالت‌های آمریکا مقررات محدود کننده‌تری نسبت به دیگر کشورها صادر شده است. نکته قابل توجه این است که هیچ مقررات فدرال یا دستورالعمل سراسری برای استفاده مجدد از آب در ایالات متحده وجود ندارد و تدوین و وضع مقررات و دستورالعمل‌ها بر عهده ایالت‌هاست [USEPA, 2012].

بررسی‌های بیش‌تر نشان می‌دهد که مقررات و دستورالعمل‌های موجود استفاده مجدد از آب کشاورزی به‌میزان قابل توجهی با یکدیگر متفاوت هستند [Eslamian, 2015]. به عنوان مثال، در مواردی، مقررات و دستورالعمل‌ها برخی از پارامترهای کیفی بیولوژیکی و میکروبی را در نظر نمی‌گیرند. این در حالی است که در مواردی دیگر، برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این، حتی در مقررات و دستورالعمل‌هایی که پارامترهای یکسانی در نظر گرفته شده است، مقادیر آستانه برای آن پارامترها به میزان قابل توجهی با یکدیگر متفاوت است.

از آنجایی که استفاده مجدد از آب در کشاورزی به عنوان یک رویکرد سودمند برای جبران کمبود آب رایج شده است، نابرابری در مقررات و دستورالعمل‌ها ممکن است به منبع چالش در سطوح منطقه‌ای و جهانی تبدیل شود [Brissaud, 2008]. در سطح منطقه‌ای، فقدان مقررات و دستورالعمل‌های یکسان یا حداقل قابل قیاس استفاده مجدد از آب ممکن است منجر به بروز عدم اطمینان در بین ذینفعان (به عنوان مثال، کشاورزان، مصرف‌کنندگان و سیاست‌گذاران) و در نتیجه باعث کاهش سرعت ترویج استفاده مجدد از آب در کشاورزی شود.

ایالات متحده در این زمینه نمونه خوبی است. در ایالات متحده ۴۲ ایالت وجود دارند که مقررات یا دستورالعملی برای آبیاری محصولات غیرغذایی یا محصولات غذایی فرآوری شده و ۲۸ ایالت مقررات آبیاری محصولات غذایی دارند. هشت ایالت هیچ نوع مقررات یا دستورالعملی برای استفاده مجدد از آب در کشاورزی ندارند [USEPA, 2012]. بررسی جزئیات نشان از وجود تفاوت در پارامترهای کیفیت آب و سطوح آستانه در آن مقررات و دستورالعمل‌هاست. این امر نه تنها ممکن است باعث ایجاد عدم اطمینان در بین ذینفعان شود، بلکه ممکن است خطرپذیرش عمومی را افزایش داده و در نتیجه روند اجرای استفاده مجدد از آب کشاورزی را کندتر کند [Eslamian, 2015]. علاوه بر این، کشاورزی دارای بازار جهانی است و واردات و صادرات کالاهای کشاورزی در سراسر جهان انجام می‌شود. بنابراین، تفاوت در مقررات و دستورالعمل‌ها بین کشورهای تولیدکننده یا مبدا و کشورهای مصرف‌کننده نهایی ممکن است موانع عمده‌ای در ایمنی مواد غذایی، مقبولیت بازار و تجارت جهانی ایجاد کند.

بنابراین به‌طور کلی اساس استفاده مجدد از آب بر سه اصل بنا شده است :

- تصفیه مطمئن فاضلاب برای برآورده کردن الزامات دقیق کیفیت آب برای کاربرد مجدد مورد نظر
- حفاظت از سلامت عمومی
- کسب مقبولیت عمومی

اینکه آیا استفاده مجدد از آب برای یک برنامه و پروژه خاص مناسب است یا خیر، بستگی به ملاحظات اقتصادی دقیق، کاربردهای آب بازیافتی و الزامات و امکانات تخلیه فاضلاب دارد. با برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب، استفاده از آب بازیافتی ممکن است انعطاف‌پذیری موردنیاز برای پاسخ‌گویی به نیازهای کوتاه‌مدت را افزایش دهد و همچنین قابلیت اطمینان منابع آب را بهبود ببخشد. در برنامه‌ریزی و اجرای استفاده مجدد از آب، کاربردهای موردنظر استفاده مجدد از آب، قابلیت اطمینان فرآیندها و عملیات تصفیه فاضلاب نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند. در اصل، فاضلاب یا هر آب با هر کیفیتی را می‌توان برای هر منظوری مورد استفاده قرار داد تا زمانی که تصفیه کافی برای برآورده کردن الزامات کیفی آب برای استفاده مورد نظر انجام شود.

۲-۴- آشنایی با مفاهیم اولیه فاضلاب

آشنایی با مفاهیم فاضلاب و تصفیه آب برای تصمیم‌گیری درباره استفاده مجدد از آب بسیار مهم است. به زبان ساده می‌توان گفت که فاضلاب چیزی نیست جز همان آب یا مایعات مصرفی که در اثر فعالیت‌های گوناگون جامعه تولید می‌شود و آلودگی‌ها در آن بیش‌تر از حدود مجاز قانونی است. از لحاظ فنی، فاضلاب هر مایع یا آبی است که شامل آلودگی‌ها یا آلاینده‌ها به صورت جامد، مایع و گاز یا ترکیبی از آن‌ها است که برای دفع به محیط‌زیست خطرناک باشد.

- آلودگی‌ها عمدتاً به صورت جامد در فاضلاب حضور دارند. مواد جامد از نوع آلی یا معدنی به صورت مواد معلق^۱، کلوئیدی، محلول یا ترکیب‌های گوناگون از آن‌ها در فاضلاب حضور دارند.
- محدودیت‌های مقرر شده و حدود مجاز غلظت آلاینده‌ها توسط مراجع قانونی وضع می‌شود.

^۱Suspended Solids

➤ دفع نهایی فاضلاب معمولاً به آب یا زمین صورت می‌گیرد. آبی که فاضلاب‌ها به آن دفع می‌شود به شکل رودخانه‌ها، کانال‌ها، خورها، دریاچه‌ها و دریاها و غیره است.

فاضلابی که به زمین دفع می‌شود نهایتاً توسط نفوذ و تراوش به سفره‌های آب زیرزمینی می‌رسد. بنابراین دفع نهایی فاضلاب (البته به جز تصعید آلودگی‌های پایدار) در آب‌های سطحی یا زیرزمینی است. فاضلاب‌ها با توجه به منبع تولیدشان به فاضلاب شهری، صنعتی و کشاورزی تقسیم‌بندی می‌شوند (حقیقی اصل و احمدپور، ۱۳۹۷)

فاضلاب شهری

فاضلاب شهری فاضلابی است که در محدوده شهرها (شهرها و حومه شهرها) تولید می‌شود و شامل آب برگشتی مصارف شهری جاری در شبکه زهکشی فاضلاب مجزا و مرکب (شبکه تلفیقی فاضلاب و رواناب سطحی) است که ممکن است تصفیه شده باشد. از این رو، کمیت و کیفیت آن به وسعت، تراکم، جمعیت و میزان توسعه و صنعتی شدن شهر بستگی دارد. فاضلاب شهری مخزن و منبع هزاران ماده فیزیکی (مواد معلق و آلی)، شیمیایی (مواد مغذی، نمک‌ها، فلزات سنگین و ترکیبات آلی، اعم از پایدار و نوظهور) و بیولوژیکی (پاتوژن‌های با اندازه و درجه بیماری‌زایی مختلف) است. اجزای این ترکیب، که به شدت بر کیفیت و فرآیند تصفیه آن برای استفاده مجدد اثرگذار است، نسبت به زمان و مکان و تحت شرایط حاکم بر جمع‌آوری در نقطه تولید تا نقطه تصفیه و استفاده مجدد متفاوت است.

فاضلاب صنعتی

معمولاً فاضلابی که توسط صنایع متوسط و بزرگ تولید می‌شود، فاضلاب صنعتی نامیده می‌شود. این فاضلاب‌ها از لحاظ کیفیت و کمیت در صنایع مختلف و حتی در یک صنعت خاص در فرآیندهای مختلف متفاوت‌اند. غالباً بیش‌تر صنایع، فاضلابی با حجم و آلودگی زیاد تولید می‌کنند.

فاضلاب کشاورزی

فاضلاب کشاورزی به‌طور معمول شامل سموم و آفت‌کش‌ها است. همچنین به دلیل تماس آب با کودهای شیمیایی عموماً این پساب‌ها آلوده به مواد شیمیایی نیز هستند. منشأ تولید فاضلاب کشاورزی این زمین‌های کشاورزی، مزارع و باغات است.

۲-۴-۱- تصفیه فاضلاب

عموماً تصفیه فاضلاب به معنای کاهش مقداری از آلودگی‌ها یا حذف کامل آلودگی اضافه موجود در آب است. آلودگی اضافی وقتی عنوان می‌شود که غلظت مواد تشکیل دهنده و موجود در آب، بیش‌تر از حدود مجاز برای دفع نهایی به محیط‌زیست یا استفاده مجدد فاضلاب تصفیه شده باشد. کاهش یا حذف کامل آلودگی، بستگی به شدت سطح تصفیه دارد. در صورتی که هدف ما از تصفیه فقط دفع فاضلاب تصفیه شده خروجی به آب‌های سطحی یا زمین باشد، باید غلظت مواد تشکیل دهنده خاص به حدود مجاز تعیین شده از سوی سازمان‌های کنترل آلودگی کاهش یابد. از طرف دیگر، برای استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در برخی از صنایع، غلظت مواد تشکیل دهنده خاص فاضلاب به یک سطح مشخص کاهش می‌یابد یا کاملاً با توجه به نیاز حذف می‌شود. تصفیه فاضلاب غالباً به معنای حذف یا کاهش مواد جامد از فاضلاب است. برای مدیریت ایمن فاضلاب، باید زیرساخت‌هایی برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، انتقال، تصفیه و بازیابی منابع و استفاده مجدد از آن وجود داشته باشد [Andersson et al., 2020]. سامانه‌های مدیریت فاضلاب می‌توانند متمرکز یا غیرمتمرکز باشند:

- سامانه‌های متمرکز، که می‌توانند به صورت مرکب (ترکیب فاضلاب و رواناب سطحی) یا مجزا (فاضلاب مجزا و رواناب سطحی مجزا)،
- سامانه‌های ترکیبی متمرکز و غیرمتمرکز، از جمله سپتیک تانک‌ها و تصفیه‌خانه‌های خارج از محل،
- سامانه‌های نیمه متمرکز، از جمله بسیاری از سامانه‌هایی که یک سامانه را تغذیه می‌کنند، و
- سامانه‌های غیرمتمرکز در محل که مستقر در خانه‌ها هستند.

یک شهر یا شهرک می‌تواند ترکیبی از سامانه‌های متمرکز، غیرمتمرکز و در محل با مدیریت لجن مدفوع داشته باشد تا نیازهای بهداشتی کلی شهر را برآورده کند. سامانه‌های متمرکز حجم زیادی از فاضلاب را برای جوامع بزرگ‌تر یا کل شهرک‌ها و شهرها جمع‌آوری و تصفیه می‌کنند. در مقابل، سامانه‌های مدیریت فاضلاب غیرمتمرکز، از خانه‌های منفرد گرفته تا جوامع کوچک نزدیک به منبع تولید فاضلاب را تحت پوشش قرار می‌دهند. مشخصه سامانه‌های غیرمتمرکز، توزیع مکانی پراکنده امکانات تصفیه و برنامه‌های بازیابی منابع در یک مرز جغرافیایی مشخص است. مطالعات علمی نشان داده که استفاده از سامانه فاضلاب غیرمتمرکز از لحاظ اقتصادی و به دلیل سادگی اجرا می‌تواند بسیار مفید واقع شود. از عمده دلایلی که باعث شده نتایج مطالعات به سمت سامانه فاضلاب

غیرمتمرکز گرایش پیدا کند، عدم نیاز به شبکه گسترده فاضلاب، پمپاژ و سرمایه اولیه بالا برای اجرای این نوع سامانه‌های تصفیه‌ای است. طبق گزارش آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده، سامانه‌های غیرمتمرکز برای جوامع جمعیتی کم‌تراکم و با شرایط محیطی گوناگون نسبت به سامانه‌های متمرکز مناسب‌تر بوده و از نظر اقتصادی باصرفه‌تر هستند. به‌طور کلی می‌توان به مزایای سامانه تصفیه غیرمتمرکز به شرح زیر اشاره کرد :

- تصفیه غیرمتمرکز قابلیت تطبیق پذیری بهتر نسبت به افزایش جمعیت روستایی، تجاری و صنعتی دارد
 - احتمال کاهش کیفیت آب‌های سطحی در اثر تخلیه تصفیه‌خانه‌های غیرمتمرکز کم‌تر است
 - تصفیه غیرمتمرکز در شهرهای بزرگ می‌تواند با ترکیب با تصفیه متمرکز افت کیفیت پساب ناشی از افزایش جمعیت را جبران کند.
 - برای جوامع کوچک‌تر این روش می‌تواند به توسعه شهری کمک کند.
 - شبکه جمع‌آوری و سامانه لوله کشی به مراتب با قطر کم‌تر و کم‌هزینه‌تر در مقایسه با تصفیه متمرکز استفاده می‌شود.
 - هزینه‌های مربوط به تکنولوژی مورد استفاده در تصفیه غیرمتمرکز در حال رقابتی‌تر شدن در مقایسه با سامانه متمرکز است.
 - تصفیه‌خانه‌های کوچک قابلیت تضمین پایداری زیست‌محیطی بیش‌تری را با در نظر گرفتن توانایی استفاده مجدد و بازیابی مواد مغذی به صورت محلی دارند
 - تصفیه غیرمتمرکز توانایی بالاتری را در زمینه جلوگیری از نشت سیلاب بارانی به شبکه جمع‌آوری دارد.
 - تصفیه غیرمتمرکز قابلیت جداسازی فاضلاب در محل را دارد که باعث کاهش هزینه‌های تصفیه و مصرف انرژی می‌شود.
 - تصفیه غیرمتمرکز برای مراکز کم‌جمعیت و پراکنده مناسب است.
- با در نظر گرفتن تمام این مزیت‌ها می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تصفیه غیرمتمرکز برای این جوامع می‌تواند افزایش کارایی آب، کیفیت بهداشتی و استفاده مجدد را در پی داشته باشد (حقیقی اصل و احمدپور، ۱۳۹۷).

پس از جمع‌آوری فاضلاب، فناوری‌ها و رویکردهای مختلفی وجود دارد که می‌توان برای تصفیه آن به کار برد، از جمله پیش‌تصفیه (تصفیه مقدماتی)^۱، تصفیه اولیه^۲، تصفیه ثانویه^۳ و تصفیه تکمیلی^۴.

تصفیه مقدماتی: این تصفیه شامل آشغالگیری دستی یا مکانیکی برای برداشتن مواد بزرگ مانند پارچه، پلاستیک و سایر اجسام خارجی است که ممکن است با تجهیزات تصفیه تداخل یا به آن‌ها آسیب برسانند [WRC, 2015].

تصفیه اولیه: این تصفیه شامل آرام و یکنواخت کردن جریان فاضلاب است که در آن از حوضچه‌های مختلف استفاده می‌شود [Goel et al., 2005]. حوضچه‌های مختلفی از جمله حوضچه‌های بی‌هوازی، حوضچه‌های معمولی، حوضچه‌های با کارایی بالا و حوضچه‌های مجهز به فناوری‌های پیشرفته وجود دارد. همچنین تالاب‌ها^۵ (اعم از طبیعی و مصنوعی) می‌توانند در مرحله تصفیه اولیه به عنوان فیلتر رسوبات و مواد مغذی مورد استفاده قرار گیرند [Mahmood et al., 2013]. رسوب‌گذاری اولیه در مرحله تصفیه اولیه به جداسازی جامدات از فاضلاب کمک می‌کند، که در ادامه فرایند شناورسازی، توده‌های حجیم‌تر و سنگین‌تر حباب جامد شناور را تولید می‌کند که با ته‌نشینی حذف می‌شوند [Zaharia, 2017].

تصفیه ثانویه: در این مرحله از فناوری‌های کشت مانند کنتاکتورهای بیولوژیکی دوار و فیلترهای چکنده استفاده می‌شود [WRC, 2015]. فناوری‌های تصفیه ثانویه همچنین شامل فرایندهای لجن فعال حذف مواد مغذی^۶ است. سایر فرایندهای تصفیه ثانویه عبارتند از: تصفیه بیولوژیکی جداسازی غشایی، سامانه‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز، حوضچه‌های با تصفیه و بهره‌برداری ارتقا یافته^۷، پکیج‌های تصفیه^۸، از جمله پکیج‌های لجن فعال با هوادهی گسترده و بیوراکتورهای غشایی [WRC, 2015].

تصفیه تکمیلی: تالاب‌های مصنوعی را می‌توان در تصفیه تکمیلی پس‌اب به عنوان یک فناوری مبتنی بر اکوسیستم استفاده کرد [Almuktar et al. 2018]. ضدعفونی در تصفیه تکمیلی انجام می‌شود و شامل ضدعفونی شیمیایی از طریق کلرزنی و ازن‌زنی و

^۱Preliminary treatment

^۲Primary treatment

^۳Secondary treatment

^۴Tertiary treatment

^۵Wetlands

^۶Membrane separation biological treatment

^۷Pond enhanced treatment and operation

^۸Packaged plants

اشعه UV است. حوضچه‌های بالغ^۱ پساب‌ها را قبل از تخلیه به محیط زیست، جلا می‌دهند [Maniccam and Muralikrishna, 2017]

جابجایی لجن: فرآیندها و فناوری‌های ذکر شده قبلی فاز مایع فاضلاب را تصفیه می‌کنند. فاز جامد به تصفیه مختلفی نیاز دارد که شامل ضخیم کردن، تثبیت و آگیری است [WRC, 2015].

انتخاب بهینه فرایند تصفیه فاضلاب شهری به استفاده نهایی مورد نظر از آب بازیافتی وابسته است. تصفیه مناسب برای مصارف فاضلاب در واقع به استفاده نهایی مورد نظر، دوام اقتصادی و پایداری محیط زیستی فعالیت‌های استفاده مجدد از آب بستگی دارد (جدول ۲-۳). در زمینه تصفیه فاضلاب مناسب، فناوری‌ها عمدتاً از نظر کارایی تصفیه، هزینه، مصرف انرژی و انتشار کربن با هم متفاوت هستند [Chhipi-Shrestha et al., 2017]. ایجاد کارآمدترین و مناسب‌ترین نوع سامانه تصفیه فاضلاب، بستگی به موقعیت پروژه دارد و به این ترتیب، نیازمند ظرفیت‌سازی برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین فناوری‌های تصفیه است [UN- and WHO Habitat 2018]. به علاوه، پیشرفت‌های فناوری به طور فزاینده‌ای باعث افزایش بازیافت فاضلاب شهری و تبدیل آن به منبع جدید آب می‌شود [IWA, 2020].

¹Maturation ponds

جدول ۲-۳- فناوری های تصفیه فاضلاب

نوع تصفیه	تصفیه مقدماتی	تصفیه اولیه	تصفیه ثانویه	تصفیه تکمیلی یا پیشرفته
فرایند تصفیه	▪ آشغال گیری	▪ اکسیداسیون بیولوژیکی و حذف نیتروژن	▪ انعقاد شیمیایی، حذف بیولوژیکی یا شیمیایی مواد مغذی، فیلتراسیون و ضد عفونی	کربن فعال، اسمز معکوس، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، ضد عفونی، ضد عفونی UV-C، ضد عفونی شیمیایی، حذف محصولات جانبی ضد عفونی کننده، فیلتراسیون بیولوژیکی، فیلتراسیون عمقی، جذب کربن فعال گرانولی
فناوری تصفیه	▪ رسوب گیری	▪ سامانه های حوضچه، از جمله حوضچه های بی- هوازی، حوضچه های معمولی، حوضچه های کارایی بالا و حوضچه های مجهز به فناوری های پیشرفته	▪ فرآیندهای لجن فعال، یعنی لجن فعال لودزاکاتینگر اصلاح شده و لجن فعال گودال اکسیداسیون با بخش های متناوب هوازی و بی هوازی	▪ تالاب های مصنوعی
استفاده نهایی از خروجی	▪ توصیه نمی شود	▪ آبیاری سطحی باغات میوه و باغات پرورش گل و محصولات غیر خوراکی	▪ آبیاری فضای سبز، زمین های ورزشی و محصولات غذایی	▪ استفاده مجدد غیر مستقیم شرب، از طریق تغذیه آب های زیرزمینی تانین کننده آب آشامیدنی
		▪ تغذیه سفره های آب غیر شرب	▪ شستشوی توالت ها	▪ افزایش مخزن آب سطحی و استفاده مجدد برای آب آشامیدنی
		▪ نگهداری و افزایش جریان تالاب ها و دیگر زیستگاه های حیات وحش	▪ ماشین شویی	▪ استفاده برای آبیاری یا صنعت
مزایا	▪ محافظت از تجهیزات در مراحل بعدی تصفیه	▪ خنک کننده ها (صنعتی) ▪ استخرها خطر گرفتگی ندارند	▪ عملکرد خوب لجن فعال در حذف BOD	▪ حوضچه های بالغ به سطح خوبی از حذف باکتری ها منجر می شوند
		▪ استخرها میزان حذف مواد مغذی بالایی دارند.	▪ توان حذف P و N	▪ بیوگاز را می توان به عنوان منبع انرژی از حوضچه های بالغ بازیافت کرد.
			▪ تصفیه سریع و نسبتاً بدون بو	
				▪ تالاب های مصنوعی نیاز به انرژی پایینی دارند؛ هزینه نگهداری پایینی دارند؛ ارزش زیبایی شناختی، تجاری و زیستگاهی دارند؛ ضد عفونی موثر برای باکتری ها، تک یاخته ها و برخی ویروس ها دارند

معایب	▪ باقی ماندن آلاینده های بیولوژیکی و شیمیایی	▪ عدم کارآیی حوضچه ها در مناطق بسیار بادخیز	▪ تصفیه بی اثر در آب های عمیق و در شرایط آب و هوایی یخبندان	▪ تالاب های مصنوعی به زمین های وسیعی نیاز دارند؛
	▪ حذف کم آلودگی های باکتریایی و تولید لجن زیاد	▪ اگر استانداردهای ملی سخت گیرانه باشد، اشعه ماوراء بنفش ممکن است برای حذف همه باکتری ها کافی نباشد، در حالی که نمی توان از برخی مواد ضد عفونی کننده مانند کلر استفاده کرد.		

۲-۵- منابع آبی شناسایی شده برای استفاده مجدد از آب

از فاضلاب شهری، زه آب کشاورزی و پساب های صنعتی در مناطق مختلف جهان می توان برای استفاده مجدد از آب استفاده کرد. با توجه به این که فاضلاب شهری و زه آب کشاورزی حجم قابل توجهی را به خود اختصاص داده اند در ادامه به تشریح آن ها پرداخته شد.

۱-۵-۲- فاضلاب شهری

استفاده مجدد از فاضلاب از سال ۲۰۰۰ شاهد ترویج و اجرای رویکردها و مفاهیم جدید بوده است. ایجاد دستورالعمل ها و مقررات به علاوه تغییر دیدگاه رخ داده است، که باعث پذیرش استفاده مجدد از آب در شرایط حاکم به ویژه در صورت وجود محدودیت های اقلیمی شده است. این امر مستلزم توجه به خطرات روز افزون بهداشتی و محیط زیستی و ایجاد تعادل بین این خطرات با پیشرفت فناوری است. فاضلاب شهری یک منبع تامین آب پایدار و قابل اعتماد برای تکمیل منابع محدود آب شیرین در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است [WWAP, 2017]. از آنجایی که تقاضای کلی آب برای فعالیت های انسانی و اقتصادی به طور مداوم در حال افزایش است و در نتیجه منابع آب شیرین را تحت فشار قرار می دهد، استفاده از پساب می تواند منابع آب را انعطاف پذیرتر کند و اثرات برداشت بیش از حد، آلودگی و تغییرات آب و هوایی را کاهش دهد [WWAP, 2017]. استفاده از فاضلاب شهری تصفیه شده در فعالیت های تولیدی، پتانسیل گسترده ای برای معکوس کردن پیش بینی های نگران کننده مبنی بر این که،

نزدیک به شش میلیارد نفر از کمبود آب پاک تا سال ۲۰۵۰ رنج خواهند برد، دارد [Boretti and Rosa, 2019]. استفاده از فاضلاب می تواند منبع جایگزین مهمی برای آب شیرین باشد، با این حال پتانسیل فاضلاب شهری به عنوان یک منبع مهم هنوز مورد توجه قرار نگرفته است. از آنجایی که فاضلاب تصفیه نشده و فاضلاب شهری با تصفیه ناکافی به کاهش کیفیت آب منجر می شود، این «منبع» باید نه به عنوان یک مشکل، بلکه به عنوان یک راه حل هوشمندانه در چارچوب اقتصاد چرخشی ترمیمی و احیاکننده مورد بررسی قرار گیرد.

استفاده از فاضلاب شهری برای حفاظت از منابع ارزشمند آب و استفاده از مواد مغذی موجود در فاضلاب برای تولید محصولات کشاورزی رایج است [WWAP, 2017]. این موضوع به ویژه در مناطق شهری و حومه شهری با حجم قابل توجه تولید فاضلاب که منابع به راحتی در دسترس است و بازاری برای محصولات کشاورزی وجود دارد رواج دارد.

داده های جهانی نشان می دهد که شکاف بزرگی بین ظرفیت های تصفیه فاضلاب کشورهای پردرآمد و کم درآمد وجود دارد. امروزه حدود ۷۰ درصد از فاضلاب شهری تولید شده در کشورهای با درآمد بالا تصفیه می شود، اما نسبت تصفیه آب در کشورهای با درآمد متوسط به بالا به ۳۸ درصد، در کشورهای با درآمد متوسط به کم به ۲۸ درصد و در کشورهای کم درآمد به ۸ درصد کاهش می یابد [WWAP, 2017]. هدف اصلی کشورهای با درآمد بالا در استفاده مجدد از آب، حفظ کیفیت محیطی و کاهش اثرات کمبود آب است [WWAP, 2017]. از سوی دیگر، در کشورهای کم درآمد، چالش اصلی برای استفاده مجدد از فاضلاب شهری کمبود زیرساخت ها و ظرفیت فنی و سازمانی و همچنین منابع مالی ناکافی است [Cossio et al., 2020].

اگرچه تصفیه فاضلاب شهری به کاهش خطرات بهداشتی کمک می کند، بهبود ظرفیت بهداشتی را نمی توان با بهبود مدیریت فاضلاب مقایسه کرد [WWAP, 2017]. حتی در کشورهای با درآمد بالا، وجود سامانه های تصفیه فاضلاب، دفع بدون آلودگی را تضمین نمی کند [UN-Water, 2015]. این یک چالش به ویژه در مناطق شهری است؛ زیرا داده ها نشان می دهند که در سطح جهان تنها ۲۶ درصد از خدمات فاضلاب شهری و ۳۴ درصد از خدمات فاضلاب روستایی به وضعیت «بهداشت با مدیریت ایمن» دست یافته اند [Guy and Mili, 2016]. اجرای راه حل های کم هزینه و گزینه های استفاده مجدد از آب سالم در کشورهای کم درآمد و با درآمد متوسط به کم یک فوریت فزاینده است، زیرا سطح تصفیه فاضلاب در آنجا بسیار پایین است.

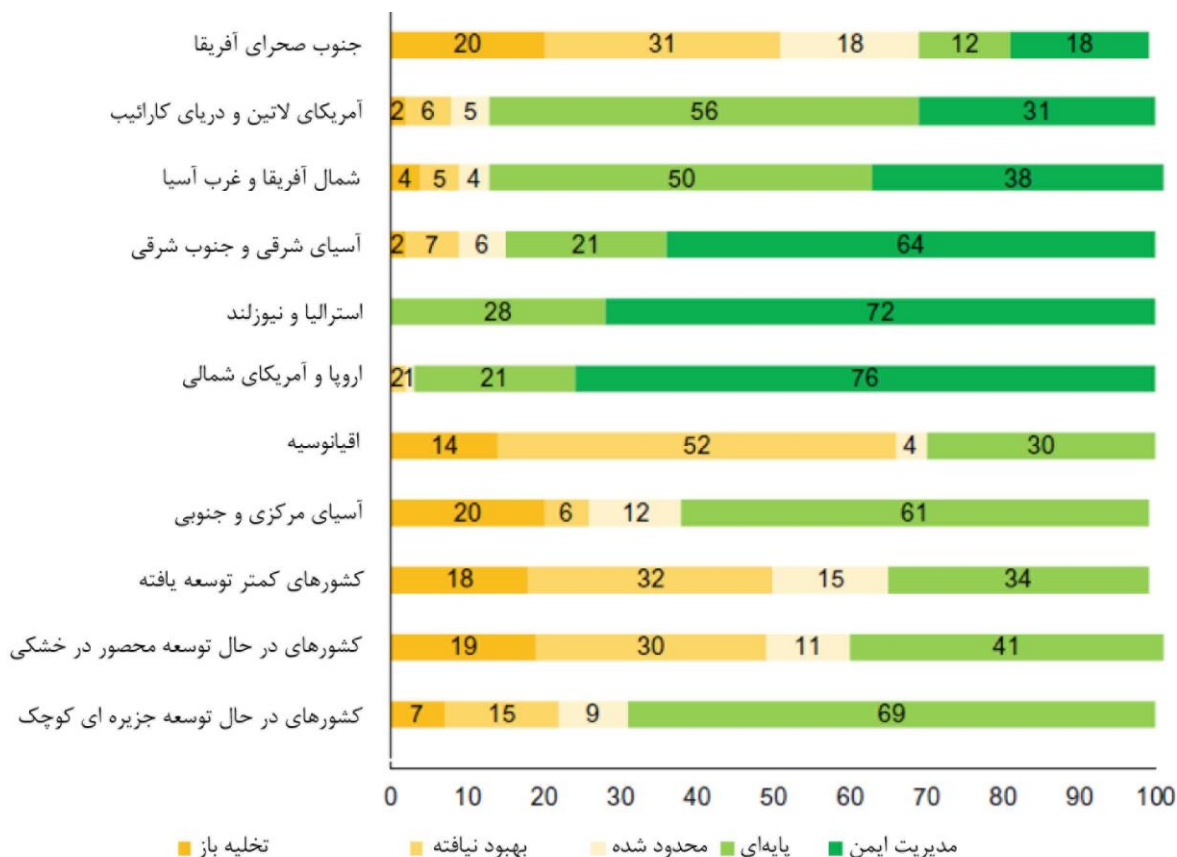
ارقام مربوط به وضعیت جهانی "بهداشتی با مدیریت ایمن" (شکل ۲-۵) نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۷، در اکثر کشورهای جنوب صحرای آفریقا و آمریکای لاتین و دریای کارائیب، کم‌تر از ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه شده است [WHO, 2019]. فاضلاب به طور فزاینده‌ای برای برآوردن تقاضای بخش‌های مختلف از جمله صنعت و کشاورزی تصفیه شده است، اما همچنان حجم زیادی از فاضلاب روزانه به آبراه‌ها تخلیه می‌شود، جایی که فشار قابل توجهی بر محیط‌های آبی ایجاد می‌کند و خطرات بهداشتی، محیط زیستی و آب‌وهوایی را به همراه دارد [IWA, 2020].

بهبود در سامانه‌های فاضلاب و تصفیه فاضلاب در سراسر جهان با تغییر دیدگاه ناشی از نیاز به اقتصاد پایدارتر و استفاده چرخشی از منابع دنبال شده است. آب و فاضلاب اجزای کلیدی توسعه پایدار هستند و نقش مهمی در گذار به یک اقتصاد چرخشی در رابطه با انرژی مصرفی و تولیدی و مواد مورد بهره‌برداری دارند. مزیت مهم دیگر ادغام مدیریت فاضلاب در مدل‌های اقتصاد چرخشی مربوط به بازیابی منابع و استفاده مجدد است که می‌تواند تصفیه و بهداشت فاضلاب را از یک سرویس پرهزینه به یک فعالیت خودپایدار تبدیل کند که به ارزش افزوده اقتصادی منجر می‌شود [Rodriguez et al., 2020]. در پاسخ به اشکالات مدل مرسوم رشد «بگیر، بساز، مصرف کن و دفع کن»، استفاده مجدد از فاضلاب شهری و بازیابی منابع به طور فزاینده‌ای به عنوان یک فرصت کلیدی برای استفاده توسط جامعه و کسب‌وکارها دیده می‌شود.

استفاده مجدد از فاضلاب شهری و بازیافت محصولات جانبی نیز پتانسیل ایجاد فرصت‌های تجاری جدید با بازیابی انرژی، مواد مغذی، فلزات و سایر محصولات جانبی را دارد [UN-Habitat, 2018 ; WHO, 2019; WWAP, 2017]. به این ترتیب فاضلاب، به عنوان منبعی که به طور گسترده در دسترس و ارزشمند است، در صورت مدیریت پایدار، به یکی از عناصر اصلی در تحول به سمت اقتصاد چرخشی تبدیل می‌شود. با این حال، گنجاندن فاضلاب در چارچوب اقتصاد چرخشی نیاز به تاکید قوی نه تنها بر جنبه‌های فناورانه، بلکه بر جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی درک فاضلاب شهری به عنوان یک منبع دارد. اهمیت در نظر گرفتن فاضلاب به عنوان یک منبع به خوبی شناخته شده، و پیشرفت‌های فناورانه عمده‌ای به دست آمده است، به ویژه با توجه به تغییرات اخیر در ترکیب فاضلاب شهری که در آن افزایش آلاینده‌های نوظهور مستلزم توسعه گزینه‌های تصفیه پیشرفته است [Rizzo et al., 2020].

با وجود توسعه مناسب فناوری‌های بازیابی منابع، یک مانع بزرگ برای اجرای مقرون به صرفه‌ترین و پایدارترین راه حل‌ها در زمینه اقتصاد چرخشی، فقدان برنامه‌ریزی و طراحی سیستماتیک است. یک فضای فعالیت مناسب برای ترویج بازیافت ایمن و استفاده

مجدد از فاضلاب، مستلزم حکمرانی هماهنگ و عمل‌گرا همراه با تلاش‌های بخش‌های مختلف، مانند صنعت، آب و برق، بهداشت، کشاورزی و محیط‌زیست است [WWAP, 2017].



شکل ۲-۵- پوشش منطقه‌ای آب آشامیدنی خانگی، فاضلاب، و بهداشت در سال ۲۰۱۷ [UNICEF and WHO 2019]

معمولاً نظارت کیفی بر فاضلاب در طول کار - از ورودی تا پساب نهایی - و در هر مرحله از فرآیند تصفیه انجام می‌شود. در بسیاری از شهرها، به دلیل کمبود ظرفیت (مشارکت مالی، فنی، نهادی، نظارتی، اجرایی و ذینفعان) سامانه نظارت در زمان‌های بحرانی به اندازه زمان‌های عادی بهینه نیست. و نظارت در طول همه‌گیری‌ها و بلایا تحت فشار شدید قرار می‌گیرد، زمانی که تمرکز دولت به ارائه خدمات بهداشتی بدون توجه به ادغام آن‌ها با بخش‌های مهم، مانند فاضلاب که ممکن است یک چرخه معیوب ایجاد کند و بر سلامت عمومی و محیط زیست تأثیر بگذارد، تغییر می‌کند.

نظارت کیفی فاضلاب می‌تواند زمان‌بر باشد و به فناوری‌های قابل اعتماد و نیروی انسانی ماهر نیاز دارد. تکامل از فناوری‌های سنتی به مدرن برای پایش کیفیت فاضلاب می‌تواند باعث صرفه‌جویی در زمان و تسریع مداخلات شود، که در کشورهای کمتر

توسعه یافته صادق نیست. تشخیص همزمان آلاینده های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می تواند بسیار مهم باشد و ممکن است شامل حسگرهای خاص، ابزار دقیق و پردازش سیگنال برای افزایش تشخیص عناصر کمیاب باشد. فاضلاب مخلوط پیچیده ای از ترکیبات مختلف است و نظارت کیفی می تواند مبتنی بر اولویت بندی آلاینده ها و تعیین غلظت آستانه برابر مقررات تدوین شده باشد [Korostynska et al., 2013]. استفاده مجدد از آب می تواند به طور قابل توجهی توسط فناوری های نظارت بر خط تسهیل شود. با این حال، مورد دوم باید توسط مقررات ملی به رسمیت شناخته شود تا اعتماد مصرف کنندگان نهایی به کارایی فرآیند تصفیه بهبود یابد. مثال های خوب استفاده از فاضلاب نشان می دهد که فاضلاب شهری می تواند منبع امنی برای اهداف متعدد باشد. در حال حاضر در شهر ویندهوک در نامیبیا فاضلاب مطابق با استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی تصفیه می شود و با این روش ۲۵ درصد از آب آشامیدنی شهر از فاضلاب [WWAP, 2017]. تامین می شود. نمونه موفق دیگر در چنای هند است، جایی که ۱۵ درصد از نیاز آب شهر از تصفیه ۴۰ درصد از فاضلاب شهری برآورده می شود. مونتری کالیفرنیا در ایالات متحده، یک منطقه کم آب است که آب مورد نیاز کشاورزی این منطقه بزرگ از ۸۰۰۰۰ مترمکعب در روز فاضلاب شهری تصفیه شده تامین می شود. [Kehrein et al., 2020]. تنش آبی یک محرک مهم برای مشارکت در فعالیتهای استفاده مجدد از آب است و در سطح ملی، اسرائیل و سنگاپور از این روند بهره گیری کرده اند. در اسرائیل، فاضلاب تصفیه شده تقریباً یک چهارم تقاضای آب کشاورزی را تامین می کند، در حالی که در سنگاپور این نسبت با تصفیه خانه نیوواتر برای استفاده مجدد غیرمستقیم قابل شرب به ۴۰ درصد می رسد [Kehrein et al. 2020 and WWAP, 2017]

۱-۵-۲-زه آب کشاورزی

کشاورزی آبی تقریباً ۴۰ درصد از عرضه جهانی غذا را تأمین می کند، اما تنها ۲۰ درصد از کل زمین های زیر کشت در سراسر جهان را تشکیل می دهد. افزایش سطح زیر کشت زمین های زراعی آبی از ۱۴۰ میلیون هکتار در سال ۱۹۶۰ به ۲۷۵ میلیون هکتار در سال ۲۰۲۰، باعث افزایش عملکرد و تولید مواد غذایی شده که نیازهای جمعیت رو به افزایش را برآورده کرده است. با انجام این کار، آب مورد استفاده در کشاورزی آبی به ۷۰ درصد مصرف کل آب شیرین رسیده است [Tanji and Kielen, 2002]. گسترش بیش تر کشاورزی آبی مبتنی بر منابع آب شیرین با توجه به افزایش نیاز به آب در بخش های شرب و صنعت و از طرفی هزینه های بالای توسعه منابع جدید آب شیرین، همراه با محدودیت است. بنابراین و با توجه به محدودیت توسعه منابع آبی جدید، افزایش تولید محصولات کشاورزی آبی با تکیه بر منابع آب موجود باید صورت گیرد. به عبارتی، با وجود نیاز روزافزون به تولید غذا، نیاز جدید باید با همان مقدار آب و از طریق حفظ منابع آب شیرین و نیز استفاده مجدد موثر از آب زهکشی کشاورزی تامین شود. استفاده مجدد

از آب آبیاری به عنوان یک منبع آب نامتعارف می‌تواند به کاهش شکاف در عرضه و تقاضای آب کمک کند. عملیات آبیاری به‌طور معمول همراه با تولید دو نوع آب زهکشی شامل رواناب سطحی و نفوذ عمقی است. در صورتی که میزان نفوذ عمقی خارج از ظرفیت زهکشی طبیعی باشد، می‌تواند منجر به زهکشی زیرسطحی شود. هم‌چنین، رواناب سطحی که در طول آبیاری یک مزرعه رخ می‌دهد، می‌تواند جمع‌آوری شده و برای آبیاری همان مزرعه یا مزارع پایین دست استفاده شود.

برای تامین هدف آبیاری، آب باید بتواند پس از عبور از ناحیه فعالیت ریشه گیاه، به زیر آن نفوذ کند. در غیر این صورت، خاک غرقاب شده و با افزایش سطح ایستایی، شوری خاک افزایش می‌یابد که می‌تواند به آستانه سمیت برای رشد گیاه برسد [Hilgard 1886; Oster and Wichelns 2014]. خاک‌های ماندابی سهم ۲۰ درصدی از زمین‌های آبی را دارند که متأثر از شوری هستند [Ghassemi et al., 1995]. در مواردی که شرایط ماندابی رخ می‌دهد، برای رفع مشکل، عملیات معمول نصب سامانه‌های زهکشی مصنوعی است که می‌تواند شامل احداث کانال‌های عمیق زهکشی با فواصل یک کیلومتر یا بیش‌تر برای جمع‌آوری آب زهکشی شده به‌وسیله لوله‌های پلاستیکی سوراخ‌دار نصب شده در اعماق ۱٫۵ تا ۲ متر با فواصل ۴۰ تا ۱۰۰ متر باشد. این نوع زهکشی معمولاً به عنوان زهکشی زیرسطحی یا زیرزمینی شناخته می‌شود. آب خروجی از زهکش‌ها دارای سطوح شوری بیش‌تر نسبت به آب آبیاری است که در ابتدای مزرعه استفاده شده است. زیرا ریشه‌های گیاه آب تقریباً خالص را جذب می‌کنند. بنابراین غلظت نمک در آب باقی‌مانده افزایش می‌یابد. از طرفی، با عبور آب از نیم‌رخ خاک، آب زهکشی زیرسطحی حاوی نمک‌های موجود در خاک نیز خواهد بود.

استفاده مجدد از آب زهکشی زیرسطحی می‌تواند به‌میزان قابل توجهی به تامین پایدار آب آبیاری و در نتیجه تا حدی به جبران کمبود آب شیرین کمک کند [Rhoades et al. 1992; Minhas et al. 2020; Qadir et al. 2007]. استفاده مجدد می‌تواند منافع اقتصادی حاصل از تولید محصول اضافی را افزایش و در عین حال مشکلات دفع را کاهش دهد [Rhoades 1999; Tanji and Kielen 2002]. برای موفقیت آمیز بودن استفاده مجدد، سطوح شوری خاک و در صورت وجود بور، نباید به میزان سطوح سمی برای رشد محصول انباشته شوند. علاوه بر آن، حفظ شرایط مناسب فیزیکی خاک برای نفوذ آب نیاز است و تجمع عناصر کمیاب در گیاهان زراعی و علوفه‌ای باید به اندازه‌ای باشد که سلامت انسان یا دام را تهدید نکند [Grattan et al., 2014]. با آغاز استفاده مجدد، پایش شوری خاک در منطقه فعالیت ریشه و زیر آن و نظارت بر عملکرد محصول بسیار مهم است زیرا این اطلاعات کلید پایداری آبیاری است.

استفاده مجدد و مدیریت آب زهکشی کشاورزی مستلزم اجرای اقدامات کنترلی ویژه‌ای برای حفظ تعادل نمک در منطقه فعالیت ریشه گیاه است. علاوه بر آن، در انتخاب گیاهان زراعی و تناوب کشت مناسب باید دقت شود. در مورد خاک نیز باید از بدتر شدن شرایط فیزیکی آن جلوگیری کرده و میزان برخی عناصر کمیاب مانند بور (B)، سلنیوم (Se) و مولیبدن (Mo)، باید کنترل شود [Grattan et al., 2014]. سلنیوم و مولیبدن بر عملکرد محصول بی‌اثر بوده اما می‌توانند امکان تخلیه آب زهکش به رودخانه‌ها و نهرها را محدود کنند. دستیابی به اهداف ذکر شده ممکن است مستلزم تغییر و بهبود مدیریت فعلی آب و خاک یک مزرعه و در برخی موارد، پذیرش فن‌آوری‌های پیشرفته باشد.

شوری به نمک‌های موجود، نه تنها سدیم و کلر، بلکه به یون‌های دیگری نیز چون کلسیم، منیزیم، نیتрат‌ها، سولفات‌ها، کربنات‌ها، و عناصر کمیاب، مانند بور و سلنیوم، که در شوری کل سهمیم هستند، اشاره دارد. آب‌شویی کلید کنترل شوری است. آب حاصل از آبیاری یا بارندگی باید حجم ورودی بیش‌تری نسبت به جریان خروجی به شکل تعرق از گیاه و تبخیر از سطح خاک، که به عنوان تبخیر-تعرق (ET) مورد نیاز است، فراهم کند. این حجم بیش‌تر باید در طول زمان تداوم داشته و آب اضافی از ناحیه فعالیت ریشه عبور کند. کسر آب اضافی عبور کرده از خاک به عنوان کسر آب‌شویی (LF) شناخته می‌شود. آب مازاد بر نیاز تبخیر-تعرق گیاه، موازنه نمک در ناحیه فعالیت ریشه را برقرار می‌کند. اگر مقدار آب اضافی کافی نباشد، سطح شوری خاک افزایش یافته و پس از گذشت چند سال می‌تواند به سطوح سمی برای رشد گیاه برسد. آب‌شویی که یک ضرورت برای آبیاری پایدار است. از آنجا که آب‌شویی تعادل نمک را در ناحیه ریشه حفظ می‌کند، آب تخلیه شده از زهکش همیشه شورتر از آب آبیاری اعمال شده است. با اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی (EC) که برحسب دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) بیان می‌شود، شوری آب اندازه‌گیری می‌شود. این یک روش ساده برای اندازه‌گیری سریع میزان نمک موجود در آب است. استفاده از آن برای تخمین نمک‌های محلول در آب و نیز عصاره خاک، به قرن ۱۹ برمی‌گردد [Whitney and Means 1897]. رابطه نزدیک آن با پتانسیل اسمزی آب، دلیل پذیرش طولانی مدت و استفاده از EC برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری است.

دامنه وسیعی از تحمل به شوری در بین گیاهان زراعی رایج وجود دارد. به عنوان مثال، در گیاهان حساس به شوری مانند لوبیا، هویج و خربزه، میانگین سطح شوری (ECe) بیش از یک دسی‌زیمنس بر متر در ناحیه ریشه می‌تواند باعث کاهش عملکرد شود. در مقابل، در گیاهان متحمل به شوری مانند جو، گندم و پنبه، کاهش عملکرد در مقادیر شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر یا بیش‌تر رخ می‌دهد. گیاهان از نظر تحمل به شوری متفاوت هستند. سطوح بالای نمک می‌تواند گیاهان زراعی را از جذب آب بازدارد و حتی در شرایط وجود آب کافی، منجر به پژمردگی گیاه شود. تحمل به شوری برای یک گیاه با میانگین ECe خاک اطراف ریشه‌ها اندازه‌گیری

می‌شود. بیش‌تر گیاهان می‌توانند میانگین EC_e ، $1/4$ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل کنند، اما تنها تعداد کمی از آن‌ها توان تحمل میانگین EC_e ، 10 دسی‌زیمنس بر متر را دارند. دلیل این که شوری بر رشد گیاه تأثیر نامطلوب می‌گذارد ناشی از انرژی است که گیاهان در طول جذب آب باید برای ساختن املاح آلی در سلول‌های ریشه صرف کنند تا در مقابل نمک‌های موجود در خاک، امکان جذب آب فراهم شود. املاح آلی ساخته شده با اثرات نمک‌ها که اغلب به عنوان اثر اسمزی نمک‌ها روی گیاهان شناخته می‌شود، مقابله می‌کنند. سنتز آن‌ها همراه با رشد و تولید عملکرد محصول انجام می‌شود. تفاوت در تحمل شوری در بین گیاهان زراعی ناشی از تفاوت در قابلیت‌های سنتز املاح آلی برای تطبیق با اثرات اسمزی نمک‌ها یا کمبود آب در خاک اطراف ریشه‌ها است. به طور کلی، گیاهان زراعی در مراحل اولیه رشد خود بیش‌ترین حساسیت را به شوری دارند. آبیاری گیاهان حساس و نسبتاً حساس در مواردی که $ECiw > 2$ دسی‌زیمنس بر متر است توصیه نمی‌شود مگر این که کاهش قابل توجه عملکرد قابل قبول باشد. در نتیجه، گیاهانی که نسبتاً متحمل یا متحمل به شوری هستند، مناسب‌ترین گزینه برای آبیاری با آب زهکشی شور ($ECiw$ بین 3 تا 10 دسی‌زیمنس بر متر) هستند.

۲-۶- کاربردهای استفاده مجدد از آب

کاربردهای اصلی برای استفاده از آب بازیافتی عبارت است از: آبیاری کشاورزی، آبیاری فضای سبز و مناظر طبیعی، استفاده‌های صنعتی و تغذیه آب‌های زیرزمینی. در میان آن‌ها، آبیاری کشاورزی و مناظر به‌طور گسترده در سراسر جهان با دستورالعمل‌های حفاظت از سلامت و شیوه‌های زراعی تثبیت شده انجام می‌شود [Asano et al., 2007 ; Lazaroova and Bahri, 2005].

آبیاری کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب بازیافتی با فواید و نقش اساسی در امنیت غذایی بوده و خواهد بود. آبیاری مناظر طبیعی نقش مهمی برای پایداری شهرها در آینده ایفا خواهد کرد. سایر کاربردهای مرتبط و مقرون به صرفه نیز مانند بهبود محیط‌زیست، بازیافت در ساختمان‌ها و استفاده‌های صنعتی از فاضلاب شهری بازیافت شده در حال ظهور هستند.

استفاده مجدد غیرمستقیم از آب، به ویژه تغذیه آب زیرزمینی (آب‌خوان)، پس از ذخیره آب بازیافتی در یک بافر محیطی، در بسیاری از کشورها به عنوان پاسخی کارآمد به افزایش تقاضای آب اجرا شده است. استفاده مجدد مستقیم از آب، که بیش از 40 سال در نامیبیا انجام می‌شود، به عنوان راه‌حلی برای چالش‌هایی که برخی از کشورها در 20 سال آینده با آن مواجه خواهند شد، در حال ترویج و توسعه است [Leverenz et al., 2011; Tchobanoglous et al., 2011].

۲-۵-۱- استفاده مجدد از آب برای کشاورزی

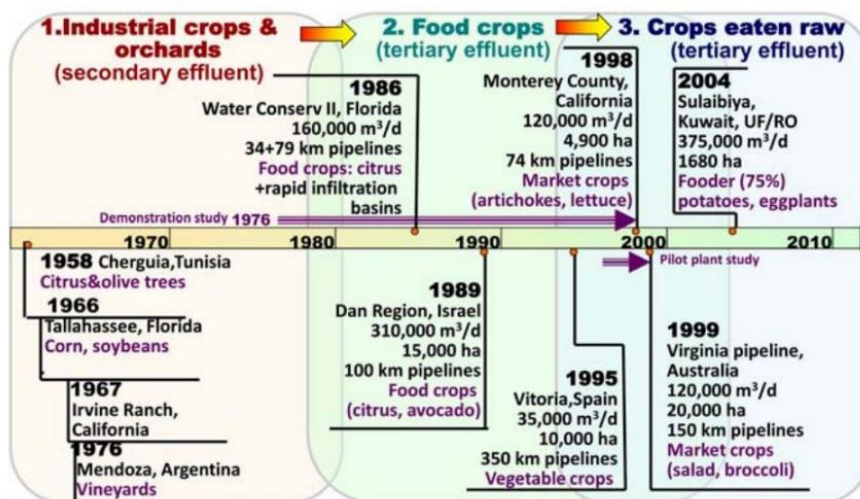
اکثر پروژه‌های استفاده مجدد از آب در سراسر جهان برای آبیاری کشاورزی اجرا می‌شوند و با روند صعودی کمبود آب و افزایش تقاضای آب کشاورزی در حال رشد هستند. نیاز به منابع آبی جایگزین طی چندسال گذشته به دلیل بدترین خشک‌سالی‌ها که نه تنها در مناطق خشک سنتی در ایالات متحده، منطقه مدیترانه، خاورمیانه و جنوب آسیا، بلکه در تعدادی از مناطق معتدل هم‌چون ایالات و کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی نیز رخ می‌دهند، تسریع یافته است. برای مثال بر اساس یک مطالعه فائو [FAO, 1999]. خشک‌سالی سال ۱۹۹۹ در خاور نزدیک منجر به کاهش نسبی تولید مواد غذایی به میزان ۵۱ درصد شد و بر اساس مطالعه دیگری اثرات اقتصادی خشک‌سالی سال ۲۰۰۳ در اروپا از ۱۳ میلیارد یورو فراتر رفت. بنابراین، استفاده مجدد از آب ارزش بیشتری پیدا می‌کند و برخی کشورها در حال حاضر از بخش بزرگی از فاضلاب تصفیه شده خود برای آبیاری استفاده می‌کنند که می‌توان به کشورهای آرژانتین، چین، قبرس، مصر، اسرائیل، اردن، کویت، لیبی، مکزیک، عربستان سعودی، اسپانیا، سوریه، تونس و امارات متحده عربی اشاره کرد.

شایان ذکر است که استفاده از آب بازیافتی برای آبیاری بسته به سطح تصفیه، شرایط محلی و شیوه‌های آبیاری ممکن است اثرات نامطلوبی بر سلامت عمومی و محیط‌زیست داشته باشد. در تمامی موارد می‌توان از دانش علمی و تجربه عملی موجود برای کاهش خطرات ناشی از استفاده مجدد از آب با اجرای برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت شیوه‌های آبیاری با آب بازیافتی استفاده کرد.

نمونه‌هایی از پروژه‌های موفق استفاده مجدد از آب برای آبیاری کشاورزی در جهان در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است از آب بازیافتی برای آبیاری سه نوع محصول کشاورزی استفاده شده است که جزییات آن به شرح زیر است :

- آبیاری محصولات صنعتی، علوفه و بذر، باغات، جنگل‌ها و غیره که با پساب ثانویه آبیاری می‌شوند مانند اجرای پروژه‌های بزرگ در ایالات متحده و تونس در دهه ۱۹۶۰، در آرژانتین در دهه ۱۹۷۰ و در فرانسه و اسپانیا در دهه ۱۹۸۰.
- آبیاری محصولات غذایی (که به صورت پخته یا فرآوری شده مصرف می‌شوند) با پساب‌های درجه سوم مانند دو پروژه بزرگ در فلوریدا (به عنوان مثال Conserv Water II) و در اسرائیل (منطقه دان).
- آبیاری نامحدود محصولات خام با آب بازیافتی که به خوبی تصفیه و ضدعفونی شده است (پساب‌های تصفیه شده و ضد عفونی شده درجه سوم یا پساب‌های ثانویه تصفیه شده با اولترافیلتراسیون) مانند تحقیقات گسترده طولانی مدت که به

عنوان بخشی از اجرای پروژه‌های استفاده مجدد از آب در کالیفرنیا (مونتری) و استرالیا (خط لوله ویرجینیا) انجام شده است.



شکل ۲-۶- نمونه‌هایی از پروژه‌های موفق استفاده مجدد از آب برای آبیاری کشاورزی در جهان [Lazarova, 2011]

بسیاری از پروژه‌های موفقیت‌آمیز استفاده مجدد از آب برای آبیاری کشاورزی در سراسر جهان توسعه یافته‌اند. با این حال، پروژه‌های ارائه شده در شکل (۲-۶) برای موفقیت بازیافت آب بسیار مهم هستند، زیرا از آن‌ها به عنوان نمونه‌های شاخص استفاده می‌شوند.

مدیریت خطرات سلامت و بهداشت در استفاده مجدد از آب برای کشاورزی شامل انواع مختلفی از اقدامات است که می‌توان آن‌ها را در سه گروه اصلی طبقه‌بندی کرد :

- سیاست، مقررات و ابتکارات سازمانی، از جمله تنظیم معیارهای کیفیت آب و اجرای آن‌ها، محدودیت محصولات کشاورزی، کنترل و ایمن‌سازی انسان‌های در معرض خطر و کارگران مزرعه
- اقدامات مهندسی مانند تصفیه و ذخیره‌سازی فاضلاب، بهره‌برداری بهینه و نظارت بر کیفیت آب، کنترل کاربرد آب بازیافتی و به‌ویژه انتخاب روش و فناوری آبیاری.
- اقدامات زراعی شامل انتخاب محصول، کنترل زمان و دفعات آبیاری، شست‌وشو و زهکشی، اقدامات برداشت محصول و غیره.

اصلی‌ترین یافته‌ها و نکات آموزشی پروژه‌های استفاده مجدد از آب برای آبیاری کشاورزی عبارت‌اند از :

- ✓ کلید موفقیت: یارانه، درمان و تصفیه کارآمد و قابل اعتماد، تحقیقات گسترده و آموزش.
- ✓ چالش‌های عمده : امنیت غذایی و جلب نظر مثبت کشاورزان.
- ✓ نوآوری : روش‌های نوین آبیاری قطره ای و زیرسطحی با راندمان بالا و سامانه‌های کنترل متمرکز، توسعه محصولات مقاوم و محصولاتتی که آب کم‌تری مصرف می‌کنند.

۲-۵-۲- استفاده مجدد از آب در شهرها

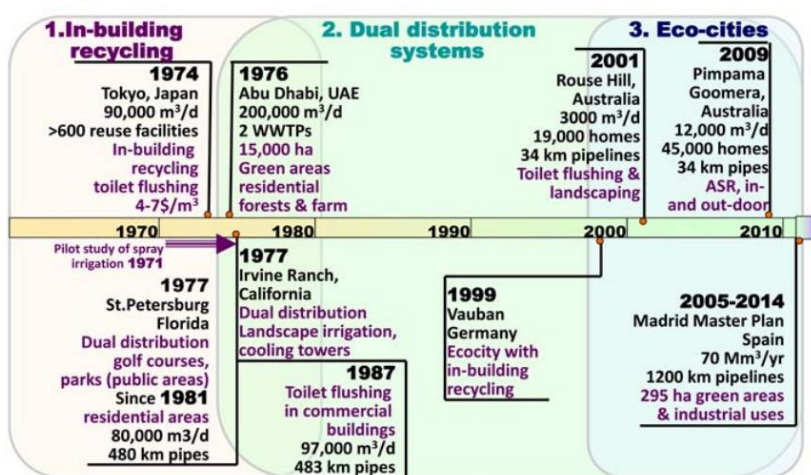
استفاده مجدد از آب در مناطق شهری شامل طیف گسترده‌ای از کاربردها و طرح‌ها با یک ویژگی مشترک است که همه این اهداف نیاز به کیفیت آب شرب ندارند. دسته‌بندی اصلی استفاده مجدد از آب در شهرها به شرح زیر است [Valentina Lazarova et al., 2013]:

- آبیاری فضای سبز و مناظر طبیعی شامل آبیاری پارک‌های عمومی، زمین‌های ورزشی، کمربندسبز، زمین‌های گلف و همچنین مناطق مسکونی و باغ‌های شخصی.
- سایر مصارف شهری غیرآبیاری مانند نظافت خیابان، شست‌وشوی خودرو، آتش‌نشانی، تهویه مطبوع، شست‌وشوی توالت و برخی کاربردهای تجاری
- بازیافت داخل ساختمان که بیش‌تر به بازیافت آب درساختمان‌های بزرگ از جمله ساختمان‌های اداری، مراکز تجاری و ساختمان‌های مسکونی شخصی اشاره دارد.
- بهبود محیط‌زیست و استفاده‌های تفریحی برای دوباره پر کردن پهنه‌های آبی، دریاچه‌ها و نهرهای شهری که برای شنا (با یا بدون تماس با بدن)، اوقات فراغت یا ماهی‌گیری استفاده می‌شود.

شکل (۲-۷) نمونه‌هایی از پروژه‌های موفق استفاده مجدد از آب در شهرها در نقاط مختلف جهان را نشان می‌دهد. به عنوان یک قاعده، استفاده مجدد از آب شهری به یک زیرساخت کافی، و به ویژه توزیع دوگانه (یا شبکه) و سامانه‌های لوله‌کشی دوگانه نیاز دارد. سامانه‌های توزیع و لوله‌کشی دوگانه در مناطق شهری یا ساختمان‌های جدید با هزینه اولیه نسبتاً پایین، نصب نسبتاً آسانی دارند. به دلیل خطر بالای تماس مستقیم با آب بازیافتی، الزامات استفاده مجدد از آب (ضد عفونی کامل و کنترل آنلاین)، و همچنین قوانین کنترل اتصال متقابل باید بسیار سخت‌گیرانه باشد است [Valentina Lazarova et al., 2013].

همانند آبیاری کشاورزی با آب بازیافتی، آبیاری فضای سبز و مناظر طبیعی نیز به حساسیت محصول بستگی دارد. آبیاری گیاهان زینتی نیاز به تجزیه و تحلیل دقیق پارامترهای کیفی آب آبیاری دارد، در حالی که چمنزارها تا حد زیادی نسبت به شوری و سدیم مقاوم هستند. اجزای این نوع استفاده مجدد از آب برای آبیاری فضای سبز و مناظر طبیعی معمولاً پیچیده‌تر از آبیاری کشاورزی است، زیرا در این نوع آبیاری از روش‌های آبیاری بهینه (آپاش، میکروبارانی و آبیاری قطره‌ای) استفاده می‌شود.

از سوی دیگر بازیافت آب در مناطق شهری از جمله شستشوی توالت در حال تبدیل شدن به یک عمل قابل قبول، با تجربه اجرایی تایید شده و منافع اقتصادی شناخته شده است.



شکل ۲-۷- نمونه‌هایی از پروژه‌های موفق استفاده مجدد از آب در شهرها در نقاط مختلف جهان [Lazarova, 2011]

اصلی‌ترین یافته‌ها و نکات آموزشی پروژه‌های استفاده مجدد از آب در شهرها عبارت‌اند از :

- ✓ کلید موفقیت: مشوق‌های دولتی و منطقه‌ای، کیفیت آب و قابلیت اطمینان، عرضه پایدار، آموزش جامعه، ارتباطات و ارزیابی بازار
- ✓ چالش‌های عمده : کیفیت آب، قابلیت اطمینان سامانه، هزینه
- ✓ نوآوری : سامانه‌های متمرکز و نیمه متمرکز، کنترل کیفیت آنلاین، خوانش خودکار کنتورها

۲-۵-۳- استفاده مجدد آب در صنعت

یکی از بزرگ‌ترین پتانسیل‌ها برای استفاده مجدد از آب، تکمیل یا جایگزینی نیازهای آبی صنایع است که دومین بازار بزرگ تامین آب پس از کشاورزی با حدود ۲۵ درصد تقاضای جهانی است. از جمله عوامل عمده‌ای که بر پتانسیل استفاده مجدد از آب در صنعت اثرگذار است می‌توان به در دسترس بودن آب، نیازهای تخلیه صنعت، کیفیت آب، حجم، اقتصاد و قابلیت اطمینان اشاره نمود. از جمله مصارف آب بازیافتی در صنعت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

➤ سامانه‌های خنک کننده

➤ تغذیه دیگ بخار

➤ آب فرایندها

➤ آب شست‌وشو

➤ مصارف متفرقه شامل شست‌وشوی محل، حفاظت در برابر آتش و غیره.

الزامات کیفیت آب و زمینه‌های کاربرد بازیافت آب در صنعت بر اساس نوع صنعت، فرآیند صنعتی خاص و هم‌جنین عملکرد و هدف آن‌ها متفاوت است. به همین دلیل، تعمیم الزامات کیفیت آب برای آب فرایندهای صنعتی امکان‌پذیر نیست. بزرگ‌ترین نگرانی استفاده از آب بازیافتی در برج‌های خنک کننده خطر ناشی از استنشاق پاتوژن‌های موجود در ذرات معلق در هوا است. علاوه بر این، مشکلات خوردگی، پوسته پوسته شدن و رسوب تجهیزات و سامانه‌های توزیع یک مسئله رایج است. به عنوان یک قاعده، برای اینکه آب برای استفاده به عنوان آب تغذیه برای دیگ بخار یا ژنراتورهای جریان مناسب باشد، باید از کیفیت بالاتری نسبت به آبی که برای اهداف خنک کننده استفاده می‌شود، باشد [Asano et al., 2007; Crook, 2010; Kazner et al., 2012]. الزامات کیفیت با افزایش فشار و دما افزایش می‌یابد. کنترل یا حذف سختی مورد نیاز است. نمک‌های نامحلول کلسیم و منیزیم عوامل اصلی تشکیل رسوب در دیگ‌ها هستند و با فرایندهایی مانند تبادل یونی و اسمز معکوس حذف می‌شوند. روش‌های موفقیت‌آمیز استفاده مجدد از آب در صنعت نفت، پالایشگاه‌های نفت، نیروگاه‌های تولید برق ترموالکتریک، تأسیسات خمیر و کاغذ، صنایع نساجی و حتی ریزپردازنده‌ها، صنایع الکترونیک و صنایع غذایی اجرا می‌شوند است [Valentina Lazarova et al., 2013].

اصلی‌ترین یافته‌ها و نکات آموزشی پروژه‌های استفاده مجدد از آب در صنعت عبارت‌اند از :

- ✓ کلید موفقیت: کیفیت آب (کنترل موثر و قابل اطمینان کیفیت آب)، اجرای فناوری‌های پیشرفته اثبات شده (به ویژه بیوراکتورهای غشایی، فیلتراسیون غشایی (میکرو و اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس)، ازن‌زنی)، در دسترس بودن منابع مالی، موفقیت اقتصادی مشتریان و سرمایه‌گذاران، بهره‌وری هزینه و بازیابی گرما، انرژی و منابع، در دسترس بودن یک نیروگاه فاضلاب شهری مجاور برای جلوگیری از شبکه توزیع آب بازیافتی گسترده و گران قیمت.
- ✓ چالش‌های عمده: نوسانات کیفیت و کمیت آب خام، کنترل کیفیت آب به ویژه شوری، سیلیس و سختی و غیره.
- ✓ نوآوری: فناوری‌های جدید تصفیه مانند اکسیداسیون پیشرفته، سامانه‌های غشایی کارآمدتر، کنترل کیفیت آب آنلاین و کنترل فرآیند تصفیه.

۲-۷- چالش‌های استفاده مجدد از آب

موانع گسترش استفاده مجدد از فاضلاب شهری عواملی هستند که مانع، به تأخیر انداختن یا مسدود کردن کامل این فرآیند نوآورانه می‌شوند [Hueske et al., 2015]. تنها در صورتی که تصمیم‌گیران هنگام اجرای فرآیندهای جدید از مشکلات احتمالی آگاه باشند، می‌توان به طور فعال بر موانع غلبه کرد [D'Este et al., 2012]. این موانع چندین بعد پیچیده و چندگانه را در بر می‌گیرد که به شدت به هم مرتبط هستند، به عنوان مثال می‌توان به موانع فناوری، مقررات، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، محیطی و بهداشتی، آموزشی، دانش و ظرفیت‌ها اشاره نمود [Perraton et al., 2014; UN-Water, 2020; Ventura et al., 2019]. موانع مرتبط با نوآوری شامل چالش‌هایی در سیاست، حکمرانی، فناوری، سازمانی، منابع انسانی و مالی، و منافع فردی، دولتی، اجتماعی و خصوصی است [Hueske et al., 2015]. دوام و علاقه به طرح‌های استفاده مجدد به نقش طرف‌های متعدد، سطوح مورد نیاز تصفیه، توانایی تأمین سرمایه و سرمایه‌گذاری عملیاتی و این که غیرانتفاعی یا تجاری اجرا شود، بستگی دارد [Perraton et al., 2014].

موانع فناوری: انواع استفاده مجدد از فاضلاب شهری به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از: استفاده مستقیم آشامیدنی؛ استفاده غیر مستقیم آشامیدنی؛ استفاده غیر آشامیدنی؛ و استفاده صنعتی [Capodaglio 2020]. چالش‌های فناوری به شدت به هدف برنامه‌های استفاده مجدد و ظرفیت‌های محلی برای برآوردن آنچه این اهداف لازم دارند، بستگی دارد. بیش‌تر سامانه‌های آب شهری به استفاده از فناوری‌های چند دهه گذشته ادامه می‌دهند، در حالی که نیازهای رو به رشد از دیدگاه بهداشت و محیط زیست، نوآوری‌های بیش‌تری را می‌طلبد [Kiparsky et al., 2016]. هنوز محدودیت‌هایی در کارایی فناوری‌های فعلی و فرآیندهای

تصفیه برای حذف مواد شیمیایی، به‌ویژه آلاینده‌های نوظهور وجود دارد [UN-Water, 2020]. مقررات مربوطه می‌تواند چالش‌ها را برای یافتن و تهیه فناوری‌های مناسب افزایش دهد. تقاضای انرژی برخی از فناوری‌های تصفیه یک چالش بزرگ است و فرآیندها می‌توانند منبع قابل توجهی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای باشند. تأسیسات تصفیه فاضلاب از مصرف‌کنندگان عمده انرژی شهری در سراسر جهان هستند که حدود ۱ تا ۳ درصد از کل انرژی تولیدی یک کشور را مصرف می‌کنند [Capodaglio and Olsson, 2020]. همچنین محدودیت‌های فناوری متعددی در برخی زمینه‌ها برای اندازه‌گیری آلاینده‌ها در آب‌ها وجود دارد که باعث افزایش ترس در میان مصرف‌کنندگان نهایی در ارتباط با اطمینان به سامانه‌های پایش کیفیت آب می‌شود. یکی دیگر از محدودیت‌ها، فاصله زمانی و مکانی بین محل تصفیه فاضلاب و محل استفاده مجدد است [UN-Water, 2020]. محدودیت‌های فناوری در ارتباط با انتقال فاضلاب تصفیه‌شده به محل استفاده مجدد در زمان مناسب و همچنین ذخیره‌سازی آن وجود دارد. به طور کلی، نیاز مستمر به توسعه و ابداع فناوری‌های جدید در پاسخ به الزامات جدید امنیت و پایداری مرتبط با استفاده مجدد از آب وجود دارد.

موانع نظارتی: استفاده از فاضلاب شهری توسط کشاورزان شهری کم درآمد با محدودیت‌هایی مرتبط با دسترسی ایمن و سودمند به زمین [Perraton et al., 2014; UN-Water 2020]، ناشی از مقررات ناکافی مالکیتی و برنامه‌ریزی‌های نامناسب نهادی و حاکمیتی در خصوص قوانین حفاظت از محیط زیست و استانداردهای کیفیت آب، روبرو است. بنابراین، عوامل سازمانی تعیین‌کننده‌های حیاتی در مسیر طرح‌های پایدار استفاده مجدد از آب در سامانه‌های آبی هستند [Kiparsky et al., 2016].

موانع اقتصادی: در حالی که اجرای پروژه استفاده مجدد از آب از نظر اهداف به طور کامل قابل توجیه است، اما همیشه نمی‌توان کل هزینه‌ها را با اعمال تعرفه تامین کرد. علاوه بر این، چه کسی باید هزینه پروژه‌های استفاده مجدد از آب را پرداخت کند؟ آیا فقط مصرف‌کنندگان آب باید پرداخت کنند یا همه ذینفعان باید در هزینه‌ها سهیم باشند؟ اقتصاد پروژه‌های استفاده مجدد از آب به طور قابل توجهی با سایر پروژه‌های منابع آب متفاوت است زیرا سامانه‌های استفاده مجدد از آب به طور کلی به طور موقت در راستای ویژگی‌های کاربران خصوصی طراحی می‌شوند. با در نظر گرفتن هزینه‌های احیای آب و تعرفه‌های پرداخت شده توسط مصرف‌کنندگان آب، در بیش‌تر موارد برای بازیابی کامل هزینه‌ها، مقداری یارانه مورد نیاز است. اولین گام برای بهبود کاربرد این اصل اقتصادی، شناسایی موانعی است که سیاست‌گذاران را از ایجاد تعرفه‌های بالاتر استفاده مجدد از آب باز می‌دارد. بازیافت آب نه تنها دسترسی به منابع آبی را افزایش می‌دهد، بلکه مزایای محیط‌زیستی قابل توجهی را ایجاد می‌کند. با این حال، ارزش این مزایا اغلب محاسبه نمی‌شود، زیرا آن‌ها توسط بازار تعیین نمی‌شوند. مزایای استفاده مجدد از آب باید تخمین زده شود و گزینه استفاده مجدد از آب باید با سایر جایگزین‌ها مقایسه شود. در اغلب موارد، جایگزین توسعه یک پروژه استفاده مجدد از آب، وضعیت موجود است، یعنی

عدم اجرای هیچ جایگزینی. بنابراین هزینه‌های عدم اقدام باید مشخص شود. از منظر مدیریت یکپارچه منابع آب، تحلیل اقتصادی پروژه‌های استفاده مجدد از آب باید هزینه آب احیا شده (و منافع) و همچنین هزینه‌های گزینه‌های تامین آب جایگزین، مانند آب آشامیدنی و آب شیرین شده را در نظر بگیرد. از این رو، می‌توان رتبه‌بندی راه حل‌های مقرون به صرفه برای تضمین تقاضای آب را تعیین کرد [Qadir, 2022].

موانع اجتماعی و فرهنگی: حوزه چالش برانگیز اصلی، پذیرش استفاده مجدد از آب توسط مردم و سیاست‌گذاران است [UN-Water, 2020]. این پذیرش به جنبه‌های زیادی از جمله: فقدان قانون و ناکافی بودن فعالیت‌های رسانه‌ای در مورد تبیین مزایا مرتبط، پیشرفت در عملکردهای فناوری، ایمنی محیط زیست و سلامت انسان و محیط زیست ندارد و یا خطر مجدد از آب به طور کلی در صنایع به خوبی پذیرفته شده است زیرا یا خطری برای سلامت انسان و محیط زیست ندارد و یا خطر کمی دارد [Capodaglio 2020]. استفاده از فاضلاب به عنوان راه حلی برای کمبود آب ترویج می‌شود. با این حال، اگر پذیرش اجتماعی در نظر گرفته نشود، احتمال شکست بسیار زیاد است. رایج‌ترین عواملی که باید در نظر گرفته شوند، ارتباط نزدیکی با توسعه اجتماعی دارند. درگیر کردن گروه‌های هدف یک مزیت است و می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر ایجاد اعتماد در موفقیت برنامه‌های استفاده مجدد تأثیر بگذارد [Drechsel et al., 2015].

موانع محیط زیست و سلامت: بازیابی سودمندترین ترکیبات مانند مواد مغذی و انرژی اساس رویکرد سیستمی اقتصاد چرخشی است که در زمینه استفاده مجدد از آب به طور گسترده در سال‌های اخیر ترویج شده است [Voulvoulis, 2018]. با این حال، خطرات احتمالی سلامت کاربران (پساب‌های آبیاری) و مصرف‌کنندگان (محصولات آبی) در ارتباط با انتقال یا تجمع عناصر سمی و پاتوژن‌های عفونی در زنجیره غذایی، در میان جوامع کم‌تر توسعه‌یافته نگران‌کننده است. ریسک محیط‌زیستی نیز باید ارزیابی و مدیریت شود [Weber et al., 2006]. انتظار می‌رود رویکردهای ارزیابی ریسک که تاکنون ایجاد شده است، مبنایی برای مقررات باشد. تدوین استانداردها و قرار دادن مقادیر آستانه به منظور حفظ سلامت محیط زیست و انسان است. در نتیجه، کیفیت فاضلاب تصفیه شده باید مستقیماً از طریق پارامترها یا شاخص‌های خاص یا با استفاده از پارامترهای جهانی کنترل شود.

در طول دو دهه گذشته، وجود آلاینده‌های نوظهور، مانند مواد شوینده، ترکیبات دارویی، ضد عفونی‌کننده‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در آب بازیافتی، به دلیل کمبود اطلاعات در مورد تأثیر درازمدت آن‌ها بر انسان و سامانه‌های بهداشتی و اکولوژیکی با وجود شواهد فزاینده ارائه شده توسط جوامع علمی در مورد انتقال برخی از ترکیبات مقاوم به محصولات خوراکی و مصرف‌کنندگان، نگرانی‌هایی

در بسیاری از کشورها ایجاد کرده است [Schapira et al., 2020]. باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک که در فاضلاب و در مجاورت نقاط تخلیه یافت می‌شوند، به عوامل متعددی از جمله استفاده نادرست و بیش از حد از آنتی‌بیوتیک‌ها در انسان و صنایع مربوط می‌شود. استفاده مجدد از فاضلاب در بخش کشاورزی برای کاهش فشار اقتصادی بر منابع طبیعی ممکن است منجر به آلودگی خاک، محصولات کشاورزی و آب شود و متعاقباً در صورت عدم مدیریت پایدار، مقاومت ضد میکروبی را گسترش دهد. با این حال، تأثیر بر روی موجودات خاک‌زی ناچیز تلقی می‌شود [Negreanu et al., 2012].

اخیراً، فاضلاب به عنوان شاخص شیوع کووید ۱۹ ناشی از ویروس SARS-CoV2 شناخته شده است. زمینه‌ای به نسبت جدید تحت عنوان اپیدمیولوژی فاضلاب (اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب) ایجاد شده که می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی چنین همه‌گیری‌هایی داشته باشد [Daughton, 2020]. در واقع، از بین بردن آلودگی ویروسی از فاضلاب همچنان چالش برانگیز است [Aghalari et al., 2020]. این نوع خطر اضطراری ممکن است موانع استفاده مجدد از فاضلاب را افزایش دهد. هنوز مشخص نیست که آیا SARS-CoV-2 در فاضلاب دوام دارد یا خیر و چه شرایط محیطی می‌تواند انتقال مدفوع-دهانی را تسهیل کند، اما برخی موارد گزارش شده وجود دارد که پتانسیل آلودگی توسط این مسیر را نشان می‌دهد.

در نهایت، آموزش و ظرفیت‌سازی، کلیدی برای غلبه بر هر مانعی در استفاده از فاضلاب شهری خواهد بود. این موضوع مستلزم تولید و به اشتراک‌گذاری دانش، بهترین شیوه‌ها، و داستان‌های موفقیت است که باعث تغییر مورد انتظار می‌شود. همچنین برای ارتقای برنامه‌های درسی و آموزش مرتبط با مدیریت فاضلاب، ایجاد شبکه‌ای از متخصصان واجد شرایط و همچنین سرمایه‌گذاری در جمع‌آوری، کنترل کیفیت و تجزیه و تحلیل داده‌ها مهم است.

استفاده مجدد از فاضلاب شهری برای آبیاری کشاورزی به دلیل مشکل فزاینده کمبود آب در سراسر جهان برای کاهش فشار اقتصادی بر منابع طبیعی ترویج شده است. با این حال، اگر به درستی مدیریت نشود، خطرات شیمیایی و بیماری‌زایی که اثرات مضر بر سلامت انسان و سامانه‌های محیطی داشته باشد، ممکن است رخ دهد [Caucci et al., 2016]. با توجه به چالش‌ها و موانع متعددی که مانع استفاده موثر از فاضلاب شهری می‌شود، نیاز به ایجاد یک پاسخ قوی و جامع برای تبدیل فاضلاب به منبعی ارزشمند وجود دارد (جدول ۲-۴). در حال حاضر، سه سازمان بزرگ، شامل سازمان جهانی بهداشت (WHO)، سازمان خواربار و

کشاورزی (FAO) و سازمان جهانی بهداشت دام (OIE) توافق‌نامه سه جانبه را در همکاری‌های مشترک تحت رویکرد واحد سلامت ایجاد کرده‌اند و در حال آماده‌سازی پلتفرم همکاری بین رشته‌ای بین علوم مرتبط با سلامت انسان، دام و محیط برای حفظ سلامت همگان هستند [Roberts, 2017].

جدول ۲-۴- موانع و راهبردهای عبور از موانع برای استفاده از فاضلاب برای آبیاری پایدار کشاورزی

موانع	راهبردهای عبور
موانع فناوری	• تهیه دستورالعمل‌ها، برنامه‌های آموزشی حرفه‌ای و ابزارهای مورد نیاز؛ استفاده متناسب باهدف؛ همکاری ملی و بین‌المللی
موانع نظارتی	• مقررات جدید ترویج اقتصاد چرخشی • سیاست اتخاذی برای استفاده مجدد • استانداردسازی برای آلاینده‌های نوظهور نگران‌کننده
موانع اقتصادی	• مشوق‌ها؛ تقسیم هزینه‌ها؛ تعرفه‌های مناسب؛
موانع اجتماعی و فرهنگی	• حساس شدن؛ افزایش آگاهی؛ مشارکت جامعه؛ ایجاد اعتماد و پذیرش؛ به اشتراک گذاری اطلاعات
موانع محیط زیست و سلامت	• ارزیابی اقتصادی فاضلاب: هزینه اقدام در مقابل هزینه عدم اقدام؛ ارزیابی پایداری؛ برنامه‌ریزی ایمنی بهداشتی • برجسته کردن مواد مغذی به عنوان یک منبع • خدمات محیط زیستی؛ راه حل‌های مبتنی بر طبیعت

راهبردهای آموزشی - دانشی - ظرفیتی

• به اشتراک گذاری دانش

• ترویج برنامه های درسی مرتبط با مدیریت فاضلاب و آموزش برای ایجاد شبکه‌ای از متخصصان واجد شرایط

• سرمایه گذاری در جمع‌آوری، کنترل کیفیت و تجزیه و تحلیل داده ها

تفکر پیوندی در جهت تقویت چارچوب رویکرد واحد سلامت می‌تواند به ارزیابی وضعیت موجود منابع و تغییر نگرش به سمت تعادل نیازهای انسان‌ها با سامانه‌های اکولوژیکی به شکلی که حفظ سلامت اکوسیستم‌های طبیعی را اساس هر گونه فعالیت اقتصادی قرار می‌دهد، کمک کند [Avellán, 2017]. همچنین رویکرد پیوندی می‌تواند با ارتقای نقش فاضلاب شهری به عنوان منبعی که با کاهش اثرات کمبود آب و کاهش هزینه انرژی و مصرف کودهای کشاورزی، فعالیت‌های اقتصادی را افزایش می‌دهد، توسعه پایدار را

تقویت کند. با این حال، هدف نه تنها به حداکثر رساندن سود اقتصادی یا اجتناب از انحرافات بازار از طریق افزایش تولید و بهره‌وری، بلکه در نظر گرفتن رفاه اکوسیستم و جلوگیری از خطرات بالقوه محیط‌زیستی، بهداشتی و تغذیه است [Caucci and Hettiarachchi 2017].

به‌عنوان یک رویکرد عملی و سیاست‌محور، استفاده از رویکرد پیوندی در استفاده از فاضلاب شهری می‌تواند هم‌افزایی را تقویت کرده و سهم مهمی در رفع موانع فنی، نهادی و سیاستی برای استفاده ایمن از فاضلاب شهری داشته باشد. در همین راستا، اتخاذ رویکرد اقتصاد چرخشی که عادت برداشت-مصرف-دور ریختن و تکیه بر تولید ثروت از زباله را از بین می‌برد، یک راه حل کلیدی برای استفاده ایمن از فاضلاب شهری است.

افزایش استفاده از آب بازیافتی منجر به پیشرفت فناوری‌های تصفیه فاضلاب شده است که نه تنها برای تصفیه، بلکه برای بازیابی محصولات جانبی ارزشمند نیز کارآمدتر و نوآورانه‌تر شده‌اند. فاضلاب شهری اکنون یک منبع آبی جدید است که انتظار می‌رود در حفاظت از آب شیرین با کیفیت بالا، کاهش آلودگی محیط زیست، کاهش کمبود مواد غذایی و کاهش شکاف بین عرضه و تقاضا در آینده کمک کند.

یک تغییر نگرش مهم در سطوح مختلف برای پیش‌برد استفاده مجدد از فاضلاب شهری به سمت یک اقتصاد چرخشی رخ داده است که در آن فاضلاب به جای یک بار، منبعی ارزشمند در نظر گرفته می‌شود. ادغام تولید انرژی و بازیابی منابع از طریق فاضلاب شهری یکی از محرک‌های اصلی اقتصاد چرخشی و فرصتی برای اطمینان از اینکه شهرهای رو به رشد و توسعه شهری تلاش‌های توسعه پایدار را به خطر نمی‌اندازند، می‌باشد.

برنامه‌ریزی و مدیریت سیستماتیک و یکپارچه فاضلاب باید از نظر اقتصادی و محیط زیستی پایدار باشد و در عین حال به جلوگیری از اثرات منفی بهداشتی و افزایش مزایای سلامتی کمک کند. دیدگاه پیوندی از رویکرد بین‌رشته‌ای "رویکرد واحد سلامت" پشتیبانی کرده و هم‌افزایی قابل توجهی برای پذیرش گسترده استفاده از فاضلاب شهری، که از سلامت انسان، حیوانات و محیط زیست در مقیاس جهانی محافظت کرده و با پرداختن به پیوندهای متقابل بین سامانه، به تقویت یکپارچگی و همپوشانی بین اجزای منفرد می‌انجامد، ایجاد می‌کند.

هنوز موانع متعددی وجود دارد - فناوری، نظارتی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، و همچنین محیطی و بهداشتی - که باید بر آن غلبه کرد. چشم‌انداز اقتصاد چرخشی گسترده این پتانسیل را دارد که بر برخی از موانع اصلی استفاده مجدد از آب غلبه کند و امکان

سرمایه‌گذاری در تصفیه و استفاده مجدد فاضلاب شهری را افزایش دهد. غلبه بر موانع اجرای استفاده مجدد از آب شهری برای تغییر به سمت یک جامعه جهانی پایدار همراه با پرکردن شکاف‌های بین کشورهای کم‌درآمد و پردرآمد لازم است.

تصفیه مناسب فاضلاب و استفاده از آن یک پیش نیاز برای هدف SDG 6.3 است. عدم دستیابی به این هدف، دسترسی به آب برای همه مردم و برای همه مصارف را محدود خواهد کرد. اتخاذ اصول اقتصاد چرخشی با توجه به پتانسیل فاضلاب شهری به عنوان یک منبع و فرصت‌ها و محدودیت‌های آن، این پتانسیل را دارد که در کاهش شدت بحران آب و تحقق اهداف توسعه پایدار نقش داشته باشد.

➤ اگر جریان‌های فاضلاب مختلف در محل کاربری‌های (خانگی، صنعتی، کشاورزی، پزشکی) جداسازی شود، تصفیه آن بسیار ارزان‌تر است زیرا این امر استفاده از روش‌های خاص تصفیه را تسهیل می‌کند و در نهایت، خروجی نهایی یکنواخت تولید می‌کند.

➤ برنامه‌ریزی شهرهای جدید باید شامل طراحی مدیریت هوشمند آب و مدیریت یکپارچه آبراهه‌های آن باشد. در این زمینه، یک سامانه فاضلاب که بتواند فاضلاب خانگی و آب خاکستری و آب صنعتی را جدا کند، می‌تواند اولین گام در جهت استفاده چرخشی از منابع شهری و حاشیه شهری باشد.

➤ پایش فاضلاب باید از محل تولید، جمع‌آوری و تصفیه آن تا نقطه تخلیه یا استفاده مجدد انجام شود. باید کل سامانه را از نظر کمیت و کیفیت، از جمله تفکیک منبع برای درک بار اضافی (حجم و آلاینده‌گی) بررسی کرد. نظارت بر پیشرفت‌های حاصل شده در استفاده مجدد از آب بر اساس اهداف تعیین شده در استراتژی‌های اقتصاد چرخشی اتخاذ شده توسط دولت‌ها نیز مهم است.

➤ اجرای موفقیت آمیز راه‌حل‌های پایدار استفاده مجدد از فاضلاب مستلزم افزایش آگاهی در مورد استفاده ایمن از آن و فراگیری راه‌حل انتخابی است. زمانی که گزینه‌های مدیریت یکپارچه در مقیاس‌های مختلف محلی، منطقه‌ای و ملی اعمال می‌شود، رویکردهای مشارکتی یک مسیر اساسی است که باید دنبال شود.

۲-۸- تبیین و تشریح وضع موجود بازچرخانی و استفاده مجدد در سطح جهان

به‌طور کلی، آب بازیافتی را می‌توان در موارد استفاده‌های مجدد شهری، کشاورزی، زیست‌محیطی، صنعتی، تغذیه آب‌های زیرزمینی به کار برد. نکته قابل توجه این است که نوع استفاده از آب بازیافتی در کشورهای مختلف متفاوت بوده و به عواملی

چون سطح تصفیه، شرایط منابع آب، وضعیت زیست‌محیطی و پذیرش عمومی بستگی دارد [USEPA, 2012]. استفاده مجدد از آب در کشاورزی، غالب‌ترین کاربرد استفاده مجدد از آب در جهان است [Eslamian, 2015]. در مجموع، ۹۱ درصد از آب بازیافتی این بخش برای آبیاری محصولات کشاورزی و مراتع اختصاص می‌یابد.

بر مبنای گزارش فائو (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد)، حدود $10^{12} \times 3,928$ مترمکعب آب شیرین در سال ۲۰۱۰ از منابع آب موجود در جهان برداشت شده است. در مجموع، ۱۱ درصد از کل آب برداشت شده در جهان مربوط به آب مورد نیاز شهری بوده که ۳ درصد آن مصرف و ۸ درصد به عنوان فاضلاب شهری تخلیه می‌شود. از کل اراضی فاریاب (حدود ۲۷۵ میلیون هکتار) در سراسر جهان حدود ۱۵ درصد (۴۰ میلیون هکتار) را می‌توان با استفاده از فاضلاب شهری آبیاری کرد. علاوه بر این، ۳۲ درصد از آب برداشت شده کشاورزی در سراسر جهان به شکل پساب در زهکش‌ها تخلیه می‌شود. سهم بیش‌تری از آب بازیافتی مورد استفاده در کشاورزی حاصل از پساب‌های شهری است. این در حالی است که نتایج پژوهش‌ها در این حوزه بر نیاز به تغییر تمرکز سیاست‌ها و برنامه‌های استفاده مجدد از آب از مدیریت فاضلاب شهری به مدیریت پایدار فاضلاب شهری و کشاورزی (آب زهکشی و جریان برگشتی) تاکید دارد. علاوه بر این، حدود ۵ تا ۲۰ میلیون هکتار از زمین‌های تحت آبیاری با استفاده از فاضلاب خام و رقیق شده آبیاری می‌شود که بیش‌ترین بخش آن در کشور چین است [WWAP, 2017]. این مقدار فقط ۲ تا ۷ درصد از کل سطح اراضی آبی را شامل می‌شود. بنابراین، پتانسیل بالایی برای اجرای استفاده مجدد برنامه‌ریزی شده و سالم از آب بازیافتی در کشاورزی وجود دارد.

۲-۸-۱- پیشرفت‌های جهانی در استفاده مجدد از آب

همان‌گونه که در شکل (۲-۸) نشان داده شده است اکثر پیشرفت‌های قابل توجه در استفاده مجدد از آب در مناطق خشک جهان (از جمله استرالیا، چین، کشورهای مدیترانه، خاورمیانه و ایالات متحده) رخ داده است. برای کشورهایی که ذخایر آب شیرین فعلی در آینده نزدیک به اتمام خواهد رسید و یا نزدیک به اتمام است، آب بازیافتی تنها منبع جایگزین قابل توجه و کم هزینه برای تامین آب غیرشرب کشاورزی، صنعتی و شهری خواهد بود. در مناطق معتدل نیز استفاده از آب بازیافتی برای اهداف شهری، صنعتی و بهبود محیط‌زیست در حال توسعه است.



شکل ۲-۸- روند جهانی استفاده مجدد از آب در جهان [Lazarova et al., 2001; Jimenez and Asano, 2008].

اگر کشورهایی که در حال اجرای طرح‌های استفاده مجدد از آب هستند در یک نقشه هم‌چون شکل (۲-۹) نشان داده شوند، این نکته روشن می‌شود که احیای آب یک روند جهانی در حال توسعه است.



شکل ۲-۹- کشورهای در حال اجرای طرح‌های استفاده مجدد از آب

در تعدادی از طرح‌ها، آب بازیافتی به گونه‌ای تصفیه شده است که با سایر منابع آب آشامیدنی ترکیب شده است. در کالیفرنیا، سامانه‌های تغذیه آب زیرزمینی (GWRS) در اورنج کانتی، پیش‌گام در تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از آب بازیافتی است. جنبه‌های ایمنی، بهداشتی و امکان‌سنجی اقتصادی تغذیه آبخوان با آب بازیافتی نیز در اروپا توسط پروژه، Torreele بلژیک نشان

داده شده است. اداره خدمات در ویرجینیای ایالات متحده، پیش‌گام در استفاده مجدد غیرمستقیم از آب شرب برای پر کردن مخازن سطحی است. تجربه عملیاتی طولانی مدت آن‌ها به وضوح نشان داده است که کیفیت آب را می‌توان با بازیافت آب بهبود بخشید. در ویند هوک نامیبیا، به دلیل شرایط خشک‌سالی شدید، استفاده مجدد مستقیم در سال ۱۹۶۸ اجرا شد و بدون هیچ‌گونه اثرات نامطلوب بر سلامتی، همان‌طور که توسط مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده شده است، با موفقیت مورد بهره‌برداری و توسعه قرار گرفت. اخیراً در تأسیسات استفاده مجدد از آب در کریدور غربی سنگاپور و استرالیا، آب بازیافتی به عنوان منبع آب خام برای تکمیل سدها و سایر منابع تأمین آب برای صنایع استفاده شده است. مطالعات موردی در چین و ژاپن نشان می‌دهد که استفاده مجدد از آب نقش مهمی در مدیریت چرخه آب شهری ایفا می‌کند، حتی جزایر بهشتی (به عنوان مثال بورابورا و هونولولو) و مناطق توریستی (مثلاً کاستابراوا، اسپانیا) برای حفظ اکوسیستم سالم و اقتصاد توریستی خود، نیاز به استفاده مجدد از آب دارند. در بسیاری از شهرهای آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین، سامانه‌های مهندسی جمع‌آوری فاضلاب و تاسیسات تصفیه فاضلاب وجود ندارند یا کافی نیستند. بنابراین بررسی اثرات گسترش شهرنشینی بر زیرساخت‌ها در کشورهای در حال توسعه نیز بسیار مهم است.

توسعه اقتصادی پایدار در شرایط کم‌آبی با استفاده از آب بازیافتی، هم برای تولید کشاورزی (مثلاً در استرالیا، فرانسه، ایتالیا و مکزیک) و هم برای صنعت (مثلاً در آلمان، هند، مکزیک، اسپانیا، ایالات متحده آمریکا) امکان‌پذیر می‌شود. در بسیاری از شهرها (به عنوان مثال پکن، مادرید، تیانجین، توکیو) و کشورها (به عنوان مثال استرالیا، قبرس، ژاپن، سنگاپور، اسپانیا، ایالات متحده)، آب بازیافتی در حال حاضر جزء مهمی از مدیریت یکپارچه منابع آب در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در کالیفرنیا، قانون آب ایالتی به صراحت بیان می‌کند که قصد قانون‌گذار این است که ایالت تمام اقدامات ممکن را برای تشویق توسعه تأسیسات بازیافت آب انجام دهد تا آب بازیافتی برای کمک به برآوردن نیازهای رو به رشد آب در دسترس باشد. در نتیجه، استفاده مجدد از آب که به‌طور قانونی "بازیافت آب" نامیده می‌شود در کالیفرنیا از دهه ۱۹۷۰ تا به امروز همواره به‌طور پیوسته در حال رشد بوده است. ضمن این‌که در مسیر رشد استفاده از آب بازیافتی، فناوری‌های پیشرفته مانند بیوراکتورهای غشایی، فیلتراسیون غشایی، اکسیداسیون پیشرفته و گندزدایی با اشعه ماوراءبنفش برای تولید مطمئن آب بازیافتی با کیفیت بالا از اهمیت کلیدی برخوردار هستند [Valentina Lazarova et al., 2013].

۲-۸-۲- تجربیات جهانی بازچرخانی و استفاده مجدد از آب

تغییرات اقلیمی، صنعتی شدن، نرخ بالای شهرنشینی و رشد جمعیت از جمله دلایلی هستند که بسیاری از کشورها را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دچار بحران آب کرده است [Eslamian, 2015]. به عنوان مثال، کمبود آب در استرالیا باعث کاهش

جمعیت در مناطق روستایی شمال شرقی، جنوب شرقی و غربی شده است. مردم مناطق مذکور با کاهش آب آبیاری، بیکاری بیشتر و عدم موفقیت در مشاغل محلی را تجربه کرده‌اند [Hogan and Young, 2013]. کشورهای خاورمیانه، آسیای مرکزی و برخی از بخش‌های آسیای جنوب شرقی بر سر مسائل مربوط به آب درگیر بوده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که این مناقشات ممکن است منجر به درگیری بر سر منابع آبی مشترک در این مناطق شود [IISS, 1999]. با توجه به پیامدهای نامطلوب بحران آب، کشورهای جهان با اجرای برنامه‌های مدیریت پایدار منابع آب و جستجوی منابع تامین آب جایگزین، به‌طور فزاینده‌ای سعی در مقابله با این معضل داشته‌اند. صرفه‌جویی در مصرف آب، استفاده مجدد از آب، نمک‌زدایی آب دریا و آب‌های زیرزمینی لب‌شور از جمله راه‌کارهایی است که برای رفع بحران آب توصیه شده است [Eslamian, 2015].

در سال‌های اخیر، کشورهای پیش‌تری به استفاده مجدد از آب به‌عنوان منبع آب جایگزین برای جبران کمبود منابع آب شیرین روی آورده‌اند [Lazarova and Bahri, 2005; Metcalf et al., 2007; Eslamian, 2015]. استفاده مجدد از آب می‌تواند فشار وارده بر منابع آب شیرین را کاهش داده و نیز موجب کاهش تخلیه آلودگی‌ها به پهنه‌های آبی شود. از این‌رو می‌تواند منبع قابل اعتمادی در مقایسه با سایر منابع آبی باشد که به‌طور مستقیم به بارندگی وابسته هستند [Eslamian, 2015]. با توجه به مزایای ذکر شده و نظر به پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های تصفیه فاضلاب، دانشمندان گزارش دادند که حجم جهانی آب بازیافتی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ از ۳۳/۷ میلیون مترمکعب در روز به ۵۴/۵ میلیون مترمکعب در روز افزایش یافته است [Pearce, 2008].

استفاده مجدد از آب توسط انسان‌ها دارای سابقه طولانی است. تمدن‌های باستانی در دوران پیش از میلاد، از فاضلاب خانگی برای آبیاری محصولات خود استفاده می‌کردند [Angelakis et al., 2018]. یونانی‌ها و رومی‌ها از فاضلاب در آبیاری مزارع و نیز تهیه کود برای محصولات زراعی و باغی استفاده می‌کردند [Tzanakakis et al., 2007]. سابقه استفاده مستقیم از فاضلاب در کشاورزی در آلمان، اسکاتلند و انگلستان طی سال‌های ۱۵۵۰ تا ۱۷۰۰ ثبت شده است. با آغاز قرن نوزدهم، آبیاری با فاضلاب در برخی از شهرهای اروپایی و آمریکایی مانند پاریس، لندن و بوستون رواج بیشتری یافت [Jaramillo and Restrepo, 2017]. در همان دوران، نخستین بار از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی در استرالیا استفاده شد [Tzanakakis et al., 2007]. از طرف دیگر، انتقال و تخلیه فاضلاب تصفیه نشده در مزارع موجب شیوع بیماری‌هایی چون وبا و حصبه شد. استفاده نالایمن از پساب در مناطق شهری و روستایی منجر به ایجاد شرایط ناسالم برای جوامع در قرن نوزدهم شد. از این‌رو و با هدف ایمن‌سازی استفاده از فاضلاب، تلاش‌هایی در بخش‌های مختلف از جمله برگزاری کنفرانس‌های بسیاری در مورد بهداشت و جمعیت‌شناسی، تدوین قانون

بهداشت عمومی، تدوین اساسنامه دفتر بین‌المللی بهداشت عمومی و ساخت سامانه‌های فاضلاب زیرزمینی انجام شد [Jaramillo and Restrepo, 2017].

استفاده مجدد از آب کشاورزی دارای مزایای متعددی مانند کاهش فشار بر منابع آب شیرین [Rahman et al., 2016; Jaramillo and Restrepo, 2017]، مدیریت و بازیابی مواد مغذی [Hanjra et al., 2015; Miller-Robbie et al., 2017] و قابلیت اطمینان بالاتر [Chen et al., 2012; Rahman et al., 2016] است. با این حال، فاضلاب باید به اندازه کافی تصفیه شود تا امکان استفاده برای آبیاری محصولات کشاورزی، به‌ویژه برای آبیاری محصولات غذایی به‌دلیل خطرات بالقوه سلامت، فراهم شود [Khan, 2018]. سایر عوامل عمده محدود کننده در استفاده مجدد از آب کشاورزی عبارتند از امکان‌سنجی فنی، عوامل اقتصادی، عوامل اجتماعی و ملاحظات نظارتی (مانند عدم وجود مقررات یا دستورالعمل‌ها) [Bixio et al., 2008; Urkiaga et al., 2008]. نکته قابل توجه این که، همزمان با تمرکز بر استفاده مجدد از آب کشاورزی، مطالعه دیگر چالش‌ها مانند توسعه روش‌های تلفیق تصفیه فاضلاب با تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا، توسعه روش‌های کارآمد ارزیابی ریسک برای شیوه‌های استفاده مجدد از آب، ایجاد مقررات و دستورالعمل‌هایی که ترویج و تنظیم شیوه‌های استفاده مجدد از آب را تضمین کند در آینده ضروری است [Angelakis et al., 2018]. لازم به ذکر است که برای هر پروژه استفاده مجدد از آب، ممکن است بروز فوری تمام مزایا و همچنین مواجهه با همه چالش‌ها به‌طور همزمان رخ ندهد [Lazarova and Bahri, 2005].

کالیفرنیا و فلوریدا بیش از ۴۰ سال است که از آب بازیافتی در کشاورزی استفاده می‌کنند و بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آب بازیافتی در ایالات متحده هستند. اسپانیا، حدود ۲۰ درصد از آب خود را مجدداً استفاده می‌کند و نزدیک به ۷۱ درصد آن را در کشاورزی مصرف می‌کند. استرالیا، چین، یونان، ایتالیا، کویت، مکزیک، سنگاپور، چندین کشور آفریقایی و سایر کشورها به‌طور ایمن و موثر از آب بازیافتی به عنوان یک استراتژی مدیریت آب در کشاورزی و مصارف آشامیدنی استفاده می‌کنند.

اگرچه بازیافت و استفاده مجدد از آب در بسیاری از کشورهای جهان انجام می‌شود، سطح فعلی استفاده مجدد بخش کوچکی از حجم کل پساب شهری و صنعتی تولید شده را تشکیل می‌دهد. امروزه جوامع برای تامین نیازهای روزافزون تامین آب خود، سایر منابع آب نامتعارف مانند جریان‌های برگشتی کشاورزی، پساب‌ها و فاضلاب‌ها، آب تولیدی مشترک حاصل از صنایع انرژی و معدنی و همچنین آب حاصل از نمک زدایی آب دریا و آب‌های زیرزمینی شور را در نظر می‌گیرند. استفاده مجدد از آب طیف گسترده‌ای از مزایا را برای جوامع فراهم کرده است، که ارزش بسیار زیادی برای مردم و محیط‌زیست داشته است. با این حال، ارزیابی مزایای استفاده مجدد از آب دشوار و اغلب ناشناخته مانده است.

استفاده مجدد از فاضلاب پتانسیلی برای افزایش چشم‌گیر کل منابع آب موجود است. بر اساس گزارش منتشر شده آکادمی ملی علوم ایالات متحده در سال ۲۰۱۲ [Council, 2012]، حدود ۴۵ میلیون مترمکعب از ۱۲۱ میلیون مترمکعب پساب فاضلاب شهری تخلیه شده در روز، در سراسر این کشور، هر روز به اقیانوس‌ها و مصب‌ها تخلیه می‌شود. در این گزارش آمده است که استفاده مجدد از این پساب‌ها، می‌تواند منابع آب موجود را به میزان ۶ درصد از کل منابع آب یا ۲۷ درصد منابع عمومی این کشور، افزایش دهد. در گزارش مذکور تاکید شده است که، استفاده مجدد گسترده ممکن است بر تامین آب آب‌بران پایین دست، اکوسیستم‌ها و محیط‌های محدود اثر بگذارد. همچنین اذعان شده است که استفاده مجدد از آب به تنهایی نمی‌تواند تمام چالش‌های تامین آب ایالات متحده را برطرف کند و ضمن آن که سهم استفاده مجدد از آب در هر منطقه متفاوت خواهد بود. با این حال، استفاده مجدد از آب به عنوان یک منبع آب دست نخورده قابل توجه به ویژه برای مناطق ساحلی ایالات متحده که با کمبود آب مواجه هستند، معرفی شده است.

بر مبنای تجربیات جهانی، اطلاعات عمومی و مشارکت عمومی از مولفه‌های ضروری مدیریت منابع آب و به‌ویژه مدیریت آب بازیافتی هستند، که در این راه باید رسانه‌های عمومی و وسایل ارتباط جمعی به عنوان شرکای موثر درگیر شوند. در چند دهه گذشته توسعه چشم‌گیر گزینه‌های بازیافت آب و استفاده مجدد در مقایسه با فرایندهای مرسوم موجود قبل از دهه ۱۹۹۰ مشاهده شده است. فرایندهای بازیافت در ارتباط نزدیک با فرایندهای تصفیه آب آشامیدنی، به دلیل شباهت اهداف نهایی آن‌ها یعنی کیفیت آب بالا، قابلیت اطمینان بالا و بهره‌وری بالای منابع و انرژی، توسعه یافته‌اند.

امروزه، پروژه‌های بازیافت آب طیف گسترده‌ای از راه‌کارها و فرایندها از: تجهیزات درجا و متمرکز تا تجهیزات سنجش از دور؛ از فرایندهای طبیعی تا فرایندهای انرژی‌بر؛ از اصول بهداشت اولیه تا اصول کیفیت آب آشامیدنی؛ از مصارف سنتی (آبیاری) تا مصارفی نوآورانه مانند بازچرخانی غیرمستقیم و مستقیم آب آشامیدنی را دربر گرفته‌اند. گذر زمان همچنین منجر به در نظر گرفتن معیارهای نوظهوری، مانند سازگاری، قابلیت اطمینان، بهره‌وری انرژی، خودکفایی، نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای پایین و به‌طور خلاصه افزایش پایداری شده است.

استرالیا کشوری بزرگ با مساحت ۷/۷ میلیون کیلومتر مربع است و میانگین بارندگی سی ساله در این کشور ۴۶۵/۲ میلی‌متر است، بنابر این وضعیت این کشور از نظر منابع آبی برای کشاورزی، نامساعد است. جمعیت فعلی این کشور در سال ۲۰۲۰، ۲۵/۴ میلیون نفر بوده است. این کشور به یک کشور متراکم در مناطق شهری تبدیل شده است و دو سوم جمعیت آن در پنج ایالت بریزین، آدلاید، ملبورن، سیدنی و برث و البته پایتخت این کشور، یعنی کانبرا زندگی می‌کنند. نرخ رشد این کشور ۱/۵ درصد است که نرخ

رشد نسبتاً بالایی محسوب می‌شود. نخستین مطالعات مربوط به استفاده مجدد از آب در استرالیا در سال ۱۹۷۷ انجام شد و پس از آن به‌طور پیوسته این مطالعات تکمیل و بروز رسانی شد [Radcliffe and Page, 2020].

سیدنی بزرگ‌ترین شهر کشور استرالیا و قاره اقیانوسیه و نیز مرکز ایالت نیو ساوت ولز می‌باشد. این شهر با جمعیتی بیش از ۵ میلیون نفر، بر کرانه‌های شرقی استرالیا و در سواحل اقیانوس آرام قرار دارد. این شهر که در جنوب‌شرقی استرالیا واقع شده است آب‌وهوای سیدنی در مناطق مختلف متفاوت است اگرچه در بیش‌تر مواقع آب‌وهوای آن معتدل است. در سیدنی میزان بارش باران نسبت به مراکز ایالت‌های دیگر بیش‌تر است. مهم‌ترین رودخانه این شهر رودخانه نیپان است که از شهر روبرستون که در ۱۰۰ کیلومتری سیدنی قرار دارد سرچشمه می‌گیرد. پس از خشک‌سالی بزرگی که در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ رخ داد، مسئولان این شهر تصمیم به بازاندیشی درباره تامین نیازهای آبی فعلی و آینده این شهر گرفتند. بنابراین کمیته‌ای متشکل از سازمان تامین آب سیدنی، اداره حوضه آبریز سیدنی، خزانه‌داری نیو ساوت ولز و مدیریت منابع آب و محیط‌زیست سیدنی در سال ۲۰۰۵ تشکیل شد. خروجی این کمیته، تدوین طرح آب شهری سیدنی بود که در سال ۲۰۰۶ منتشر شد و بروزرسانی این طرح هر ۴ سال یک‌بار برای پیش‌برد اهداف طرح انجام شد. این طرح شامل مجموعه‌ای از اقدامات است که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده مجدد از آب اشاره نمود. آمار و ارقام نشان می‌دهد که با اجرای این طرح در سال ۲۰۱۵ میزان صرفه‌جویی در مصرف آب ۱۴۵ میلیون مترمکعب بوده است و حجم کل فاضلاب تصفیه شده ۵۱۰ میلیون مترمکعب و حجم کل آب بازیافتی ۷۰ میلیون مترمکعب بوده است. از آب بازیافتی برای تامین آب آبیاری باغ‌های مسکونی، شست‌وشوی توالت و مصارف زیست‌محیطی استفاده شد [Valentina Lazarova et al., 2013].

کانادا غنی از منابع آب از جمله دریاچه‌های بزرگ و رودخانه‌هایی است که از یخچال‌های طبیعی، برف و باران سرچشمه می‌گیرند. با این حال، کانادا کشوری وسیع با مناطق خشک است. تغییرات اقلیمی سبب کاهش اندازه یخچال‌های طبیعی و تهدید منابع آب به‌ویژه در استان‌های غربی است. کانادا برای رفع این مشکل، استفاده مجدد از آب را در دستور کار خود قرار داد. از دهه ۱۹۸۰ در مناطق خشک این کشور استفاده مجدد از آب برای آبیاری کشاورزی رواج داشته است. دستورالعمل‌هایی در سراسر کشور تدوین شده است. این دستورالعمل‌ها در استان‌های مختلف متفاوت است. دستورالعمل‌های کانادا توسط دولت فدرال و دولت‌های استانی تهیه می‌شود. دولت فدرال در سال ۲۰۱۰ دستورالعمل‌هایی را برای استفاده مجدد از آب برای مصرف شست‌وشوی توالت منتشر کرد. بریتیش کلمبیا دارای مقررات فاضلا شهری (۲۰۱۸) و دستورالعمل احیای (۲۰۱۳) آب است. آلبرتا دستورالعمل‌هایی برای سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در مناطق مسکونی (۲۰۱۰) و سامانه‌های کوچک استفاده مجدد از آب (۲۰۱۷) تدوین کرده است. استان آتلانتیک و سازمان محیط‌زیست کانادا، دستورالعمل‌هایی برای جمع‌آوری،

تصفیه و دفع فاضلاب آتلانتیک کانادا در سال ۲۰۰۶ منتشر کرد. تجربیات استفاده مجدد از آب در کانادا می‌تواند برای سایر کشورها و مناطق به‌ویژه مناطق خشک مفید باشد [Van Rossum, 2020].

استفاده مجدد از آب یک روش معمول در ایالات متحده است. رویکردهای متعددی در این کشور برای استفاده مجدد از پساب و فاضلاب در تامین آب صنایع، آبیاری اراضی کشاورزی و تامین آب آشامیدنی، در میان کاربردهای دیگر، در دسترس است. تخمین‌های محدودی در مورد استفاده مجدد از آب نشان می‌دهد که بخش کوچکی (کم‌تر از ۱ درصد) از مصرف آب ایالات متحده را تشکیل می‌دهد. در این کشور بازیافت آب برای کاربردهای غیرشرب، با طراحی سامانه‌ها و فناوری‌های تصفیه که بیش‌تر آن‌ها توسط جوامع بهداشتی و مقامات نظارتی پذیرفته شده، رسمیت یافته است. استفاده از آب بازیافتی برای آب آشامیدنی پتانسیل قابل توجهی برای کمک به رفع نیازهای آبی ایالات متحده دارد، اما در حال حاضر استفاده مجدد از آب برای مصارف آشامیدنی به صورت برنامه‌ریزی شده تنها بخش کوچکی از حجم آبی را که استفاده مجدد می‌شود، تشکیل می‌دهد. با این حال، استفاده مجدد برای مصارف آب آشامیدنی به صورت برنامه‌ریزی نشده در سید فعلی تامین آب ایالات متحده اهمیت بیش‌تری دارد، به این شکل که برخی از تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی از آب‌هایی استفاده می‌کنند که بخش بزرگی از آن پساب و فاضلاب جوامع بالادست است. نمونه رایج استفاده مجدد برنامه‌ریزی نشده از آب، آبیگری از رودخانه‌هایی مانند کلرادو و می‌سی‌سی‌پی است که بخشی از جریان خود را از فاضلاب تصفیه شده جوامع بالادست دریافت می‌کنند [Council, 2012].

کالیفرنیا، ایالتی در غرب آمریکا بر کرانه اقیانوس آرام و پرجمعیت‌ترین ایالت آمریکا است. مرکز آن ساکرامنتو و شهرهای مهم آن لس‌آنجلس، سن‌دیگو، سن‌خوزه و سان‌فرانسیسکو هستند. کالیفرنیا پس از آلاسکا و تگزاس، سومین ایالت بزرگ آمریکاست. لس‌آنجلس پرجمعیت‌ترین شهر کالیفرنیا و بزرگ‌ترین شهر آمریکا پس از شهر نیویورک است. کالیفرنیا از شمال با اورگان، از شرق با نوادا و آریزونا و از جنوب با باخا کالیفرنیا و مکزیک مرز مشترک دارد. جغرافیای متنوع این ایالت از ساحل اقیانوس آرام در غرب تا رشته‌کوه سیرا نوادا در شرق، از جنگل‌های سرخ و درختان صنوبر داگلاس در شمال غربی تا صحرای موهاوی در جنوب شرقی گسترش دارد. دره مرکزی که یک منطقه مهم کشاورزی است، در مرکز این ایالت قرار دارد. گرچه کالیفرنیا به‌دلیل آب‌وهوای گرم مدیترانه‌ای و موسمی خود بسیار مشهور است؛ اما با توجه به‌وسعت این ایالت، آب‌وهوای آن در چشم‌اندازهایی هم‌چون جنگل‌های معتدل بارانی در شمال، صحرای خشک داخلی در مرکز و کوه‌های برفی در مناطق کوهستانی متفاوت است. همه این عوامل منجر به تقاضای زیاد آب در این منطقه شده است. کالیفرنیا بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در آمریکای شمالی است. با گذشت زمان، خشک‌سالی و آتش‌سوزی در این ایالت بیش‌تر شده است.

وقوع خشک‌سالی در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ در کالیفرنیا ساکنان محلی را وادار کرد تا به دنبال روش‌های نوآورانه برای رساندن آب به این منطقه خشک باشند. بازیافت آب در منطقه حوضه غرب انجام شد و این نوآوری تا امروز همچنان ادامه دارد. مرکز بازیافت فاضلاب در این ایالت تنها مرکز بازیافت فاضلاب در جهان است که پنج نوع مختلف آب "بازیافتی" شامل آبیاری، آب برج‌های خنک‌کننده، آب تغذیه دیگ بخار، آب تغذیه آب‌های زیرزمینی و غیره را تولید می‌کند. متوسط ظرفیت تصفیه روزانه در این مرکز ۱۳۲۵۰۰ مترمکعب است [Valentina Lazarova et al., 2013]. شکل (۲-۱۰) نمایی از تاسیسات آب کالیفرنیا را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۰- تاسیسات آب کالیفرنیا [Valentina Lazarova et al., 2013]

در مصر بررسی اثرات استفاده مجدد از آب زهکشی کشاورزی نشان داد که استفاده مجدد از آب می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین و افزایش درآمد کشاورز شود [Saad et al., 2015]. اندازه‌گیری و مقایسه چهار پارامتر (EC, DO, pH و دما) با استانداردها در سامانه زهکشی حوضه آبریز کانال میت یزید^۱ در بخش مرکزی دلتای نیل نشان داد که آب زهکش‌های اصلی استانداردهای استفاده مجدد در کشاورزی را برآورده نمی‌کند [El-Agha et al., 2020]. همچنین با استفاده از ابزارهای ارزیابی آماری و بر اساس مجموعه داده‌ها از سال ۱۹۸۴ در دلتای نیل، بررسی تغییرپذیری روند استفاده مجدد از آب زهکشی از نظر دبی و

^۱Meet Yazid

شوری انجام شد [Shaban, 2020]. نتایج نشان از روند افزایشی هر دو پارامتر به جز برای منطقه دلتای نیل غربی داشت. پیش‌بینی شرایط آینده بر مبنای ابزار آماری، حاکی از افزایش پتانسیل میانگین دبی استفاده مجدد از آب برای این منطقه بود. در پژوهشی، از مدل DUFLOW برای ارزیابی استفاده مجدد از آب زهکشی در دلتای نیل استفاده شد [El-Gammal et al., 2009]. بر اساس پارامترهای کیفیت آب ثبت شده، گزارش شد که آب زهکشی برای آبیاری مستقیم مناسب نیست. سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شد و نتایج نشان داد که تصفیه اولیه و ثانویه بخشی از پساب که شامل حدود ۲۵ درصد از تخلیه زهکشی می‌شود، توانست کیفیت آب زهکشی را تا حد زیادی بهبود بخشد.

استفاده مجدد از آب یک اولویت در برنامه‌های اتحادیه اروپا است و حداکثرسازی آن یک هدف ویژه است که در "طرح اولیه حفاظت از منابع آبی اروپا" به آن پرداخته شده است. پروژه‌های استفاده مجدد از آب برای آبیاری، مصارف صنعتی و تغذیه آب‌خوان در کشورهای جنوب هم‌چون اسپانیا، ایتالیا، یونان، مالت، قبرس و کشورهای شمال اروپا مثل بلژیک و آلمان که تحت شرایط آب‌وهوایی مختلف هستند آغاز شده و یا در حال بهره‌برداری است. امروزه حدود ۱ میلیارد مترمکعب پساب تصفیه شده شهری در اتحادیه اروپا مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. این مقدار کم‌تر از ۰/۵ درصد برداشت آب شیرین است. با این حال، پتانسیل استفاده مجدد در این قاره، بسیار بالاتر است، و معادل ۶/۷ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود. علاوه بر این، هزینه برداشت آب شیرین به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند معمولاً بالاتر از پساب تصفیه شده شهری است. منطقه تسالی در یونان که به دلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، منطقه‌ای با بیلان آبی منفی است، مثال خوبی برای این مسئله است. بیش از ۴۹۲ تصفیه‌خانه فاضلاب در یونان، پساب‌هایی با کیفیت بسیار خوب در سراسر این کشور تولید می‌کنند. با این حال در حال حاضر بخش عمده‌ای از این فاضلاب تصفیه شده به دریا تخلیه می‌شود. در این شرایط استفاده مجدد از آب برای آبیاری و استفاده شهری یک راه‌حل پایدار اقتصادی و زیست محیطی است [Angelakis et al., 2023].

کاستا براوا که به «ساحل خشن» معروف است، منطقه‌ای ساحلی در شمال اسپانیا است. این سواحل شنی نرم و دریای آبی گرم علاقه‌مندان به تفریحات آبی و ساحلی را از سراسر اروپا جذب می‌کند و یکی از جاذبه‌های گردشگری اسپانیا به حساب می‌آید. کاسترا براوا در ۶۰ کیلومتری (۳۷ مایلی) شهر بلانس در شمال شرقی بارسلونا به سمت مرز فرانسه قرار دارد. در دهه ۱۹۵۰، دولت اسپانیا کارآفرینان محلی را برای توسعه قابل توجه منطقه به عنوان مقصد مناسب تعطیلات مسافران، عمدتاً از فرانسه و اروپای شمالی، ترغیب کرد. ترکیبی از آب‌وهوای تابستانی بسیار خوب، طبیعت زیبا، سواحل عالی و نرخ مطلوب ارز، کاسترا براوا را به مقصد گردشگری نسبتاً ارزان قیمت تبدیل کرده‌است. در اوایل قرن بیست‌ویکم، منطقه کاستا براوا از ۲۲ شهرداری ساحلی، از پوربو در

شمال، در مرز با فرانسه، تا بلانس در جنوب، در مرز با استان بارسلونا تشکیل شده است. آمارهای اخیر حاکی از آن است که جمعیت ساکن در ۲۵ سال گذشته حدود ۲۵۰۰۰۰ نفر افزایش یافته است و اوج افزایش جمعیت به صورت فصلی و در تابستان است که بیش از ۱۰۰۰۰۰۰ نفر برآورد می‌شود. این افزایش ناگهانی جمعیت برای فعالیت اقتصادی منطقه مفید بوده است، اما مستلزم انطباق سریع خدمات شهری نیز بوده است. در دهه‌های اخیر، هم تامین آب آشامیدنی و هم تصفیه فاضلاب نیازمند سرمایه گذاری‌های گسترده‌ای بوده است. مطالعات نشان داد که منابع آب محلی برای تامین نیاز رو به رشد آب کافی نیست و منجر به مشکلاتی مانند کاهش سطح آب زیرزمینی می‌شود. مشکلات مربوط به مدیریت چرخه آب باعث شد تا در سال ۱۹۷۱ یک سازمان فراشهری برای مدیریت منابع آب تشکیل شود. اقدامات این سازمان در سطوح مختلف مدیریتی، ایجاد امکانات مورد نیاز در زمینه آب آشامیدنی، واردات آب از مناطق غنی‌تر و نزدیک‌تر و نیز در زمینه فاضلاب بود. با گذشت زمان، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آب به عنوان یک راه مقابله با مشکل کم‌آبی مطرح شد. پیش از توسعه فعالیت‌های گردشگری، شهرداری‌ها برای تامین آب آشامیدنی کاستا براوا بیش‌تر به چاه‌هایی متکی بودند که از سفره‌های آبی کوچک ساحلی استخراج می‌شدند و هیچ مشکل و یا تهدیدی وجود نداشت. اما افزایش جمعیت این منابع را ناکافی کرد، بنابراین برای رفع نیاز جدید، به‌ویژه در فصل تابستان، باید آب از منابع خارجی وارد می‌شد. اولین تصفیه‌خانه بیولوژیکی فاضلاب در منطقه کاستا براوا در سال ۱۹۷۲ ساخته شد. تصفیه‌خانه‌های لجن فعال معمولی در دهه ۸۰ و تصفیه‌خانه‌های هوادهی توسعه‌یافته از دهه ۹۰ به بعد ساخته شدند. تمام تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با محدودیت‌های اعمال شده توسط دستورالعمل تصفیه فاضلاب شهری اروپا مطابقت دارند. تفاوت‌های تکنولوژیکی این تصفیه‌خانه‌ها به کیفیت آب تولیدی منجر می‌شود.

توسعه تدریجی استفاده مجدد از آب در کاستا براوا منجر به استفاده مفید از آب بازیافتی برای مصارف مختلف شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به آبیاری کشاورزی و مناظر، مصارف محیط‌زیستی، تغذیه آبخوان و مصارف شهری غیرقابل شرب اشاره کرد. حجم فاضلاب تصفیه شده سالانه در سال ۲۰۱۰، ۳۰ تا ۳۵ میلیون مترمکعب و حجم آب بازیافتی ۶/۴ میلیون مترمکعب در سال بوده است. هم‌چنین ذکر این نکته ضروری است که اخیراً آژانس آب کاتالونیا مالیات جدیدی را تصویب کرده است که برای استفاده از آب آشامیدنی اعمال می‌شود که تا پیش از این زمان وجود نداشت. از آنجایی که این مالیات برای آب بازیافتی اعمال نمی‌شود، توانسته انگیزه بیش‌تری برای شهرداری‌ها ایجاد کند تا منابع محلی قابل استفاده مانند آب بازیافتی را توسعه دهند [Valentina Lazarova et al., 2013].

منطقه بارسلون در کشور اسپانیا، منطقه‌ای با آب‌وهوای مدیترانه‌ای است که به صورت دوره‌ای از کمبود آب و مشکلات ناشی از خشک‌سالی رنج می‌برد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۷۳۷ میلی‌متر است. حوضه آبریز رودخانه لوبرگات که در این منطقه واقع شده است ۴۹۴۸/۳ کیلومترمربع است و یکی از صنعتی‌ترین و پرجمعیت‌ترین مناطق اروپا محسوب می‌شود. دبی آب این رودخانه به‌طور متوسط ۲۲ مترمکعب است که حدود ۱۵ درصد آن از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری که در بالادست رودخانه واقع شده است تامین می‌شود. از آب این رودخانه برای تامین نیازهای آبی جمعیتی بالغ بر ۲ میلیون نفر که در پایین دست رودخانه ساکن هستند استفاده می‌شود [Munne et al., 2023].

قبرس، کشوری جزیره‌ای در خاورمیانه و در شرق دریای مدیترانه است. پایتخت و بزرگ‌ترین شهر این کشور، نیکوزیا است. قبرس در جنوب ترکیه، غرب سوریه، جنوب شرقی یونان، شمال مصر و شمال غربی اسرائیل، لبنان و غزه قرار دارد. این کشور سومین جزیره پرجمعیت، در دریای مدیترانه است. جمعیت قبرس حدود ۱۱۷۰۰۰۰ نفر است. منابع مختلف، قبرس را از دید جغرافیایی، گاه جزئی از اروپا، گاه بخشی از غرب آسیا و گاه در خاورمیانه به‌شمار آورده‌اند. این دشت توسط رودخانه پدیه‌ئوس آبیاری می‌شود که طولانی‌ترین رود جزیره نیز هست. قبرس دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل است. حدود ۱۲ درصد زمین‌های آن زیر کشت بوده و در آن مرکبات، سیب‌زمینی، گندم، زیتون و جو به عمل می‌آید.

در منطقه مدیترانه، منابع آبی محدود است و حوادث خشک‌سالی مکرر رخ می‌دهد. در حالی که تقاضای آب در نتیجه رشد جمعیت، توسعه گردشگری و افزایش استانداردهای زندگی در حال افزایش است این امر منجر به نیاز به استفاده کامل از منابع آبی شد. قبرس به‌طور رسمی -توسط اتحادیه اروپا - عنوان "کشوری با منابع آب کمیاب" را به خود اختصاص داده است. دوره‌های خشک‌سالی طولانی همراه با افزایش تقاضا، بر نیاز به بهبود کارایی مصرف آب، اجرای شیوه‌های مدیریت تقاضای آب و تقویت منابع آب موجود با جایگزین‌های پایدارتر تاکید دارد. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در قبرس به‌طور پیوسته در حال رشد بوده و در حال حاضر به‌طور گسترده انجام می‌شود. چندین طرح استفاده مجدد عملیاتی هستند و بسیاری دیگر در دست مطالعه یا ساخت هستند. احیا و استفاده مجدد از آب به دلایل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی اهمیت قابل توجهی یافته است و کاربرد آن می‌تواند به عنوان نمونه‌ای از توسعه پایدار در نظر گرفته شود. توسعه سریع جزیره، تغییر در شیوه‌های سنتی کشاورزی و کاربری زمین، برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در ترکیب با تغییرات اقلیمی، منجر به تعادل منفی عرضه و تقاضا شده است.

پس از وقایع سال ۱۹۷۴، هجوم گسترده پناهندگان و چرخش به سمت صنعت گردشگری شاهد سطوح بی‌سابقه‌ای از تخریب آب‌های زیرزمینی و دریایی بود. پس از آن بود که ساخت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و استفاده پایدار از پساب آن‌ها در دستور کار

مقامات قبرس قرار گرفت. بهره‌برداری از شبکه‌های فاضلاب از اوایل سال ۱۹۸۰ آغاز شد. وقوع مکرر خشک‌سالی، کاهش دسترسی به منابع و افزایش همزمان رقابت بر سر آب در میان بخش‌های اقتصادی، منجر به افزایش استفاده از پساب تصفیه شده شد. تخصیص پساب تصفیه شده به کشاورزان، آبیاری مناظر طبیعی و تغذیه آب‌های زیرزمینی گامی اساسی به سوی حکمرانی درست آب بوده است. این رویکرد شامل دستورالعمل‌هایی در مورد اقدامات حفاظتی و روش‌های کاربرد پساب تصفیه شده بود. یک سیاست قیمت‌گذاری توسط مقامات برای حمایت از استفاده از آب بازیافتی تعیین شد. در حال حاضر، حدود ۱۵ میلیون مترمکعب آب بازیافتی در حال توزیع است. با این حال انتظار می‌رود که این مقدار در آینده نزدیک چند برابر شود. انتظار می‌رود حجم کلی آبی که برای اهداف مفید بازیافت می‌شود تا سال ۲۰۲۵ به ۸۵ میلیون مترمکعب برسد. بخش عمده‌ای از آب بازیافتی برای اهداف آبیاری استفاده می‌شود.

پذیرش استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در جزیره، به ویژه برای کشاورزان به عنوان مصرف کنندگان نهایی، در ابتدا کند بود. کشاورزان در مورد خطرات بهداشت عمومی استفاده مجدد از آب، مفاهیم کنترل کیفیت و اثرات کاربرد آن بر کشت‌ها مردد بودند. با این حال، سپس از گذشت حدود ۱۵ سال از اولین کاربرد آن، همه چیز تغییر کرد. عوامل موثر در این تغییر، اجرای موفقیت‌آمیز طرح‌های استفاده مجدد از آب، دوره‌های خشک‌سالی اخیر و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود و همچنین کاهش عرضه آب آبیاری بود. سیاست قیمت‌گذاری اعمال شده نیز بر پذیرش منبع تأثیر گذاشت. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در قبرس با افزایش تقاضا و آشکار شدن اثرات مفید آن، موفقیت‌آمیز بوده است. انتظار می‌رود که با اتصال کامل شبکه فاضلاب، مقدار فاضلاب تولید شده و تخصیص یافته برای استفاده مجدد به‌طور پیوسته افزایش یابد.

شهر کنیتلینگن در ایالت بادن-وورتمبرگ که مرکز آن شهر اشتوتگارت است در کشور آلمان واقع شده است. در شهر کنیتلینگن برای حل مشکل کمبود آب، یک پروژه با شبکه فاضلاب نیمه‌متمرکز مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که گفته شد بیش‌ترین مقدار مصرف آب در سراسر جهان مربوط به بخش کشاورزی است. در سال ۲۰۰۰ حدود ۷۰ درصد (و در برخی مناطق ۸۰ درصد) از منابع آبی برای آبیاری کشاورزی استفاده شد از طرفی به دلایل مختلفی از جمله افزایش جمعیت، تغییر رژیم غذایی در اثر بالارفتن سطح رفاه زندگی و تولید محصولات جدید، انتظار می‌رود که تقاضا در بخش کشاورزی افزایش یابد. از طرفی بیش‌ترین تقاضای آب برای محصولات کشاورزی نزدیک به سکونت‌گاه‌های شهری است که بیش‌ترین مقدار فاضلاب نیز در همان‌جا تولید می‌شود.

ساخت‌وسازهای مربوط به این پروژه تحقیقاتی در سال ۲۰۰۴ آغاز شد و یک منطقه با ۱۰۵۰۰۰ نفر برای این بررسی انتخاب شد. در سال ۲۰۰۵ یک ساختمان تاسیسات احیای آب در منطقه ساخته شد و در دسامبر ۲۰۰۵ اولین ساکنان به منطقه مذکور نقل

مکان کردند و سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب شروع به کار کردند. اولین تصفیه‌خانه در سال ۲۰۰۶ ساخته شد. لازم به ذکر است که خانه‌های مسکونی به صورت هم‌زمان ساخته نشدند و جمعیت منطقه اندک اندک افزایش یافت. اولین تصفیه‌خانه فاضلاب در سال ۲۰۰۹ شروع به کار کرد و بیوراکتور آن برای یک جمعیت ۱۷۵ نفره طراحی شد. فاضلاب خانگی، آب باران پشت‌بام‌ها و آب باران خیابان‌ها برای تصفیه در مخازن زیرزمینی جمع‌آوری شد. از فاضلاب تصفیه شده برای شست‌وشوی توالت، حمام، ظرف‌شویی و لباس‌شویی استفاده شد. البته برای آبیاری محصولات کشاورزی نیز می‌توان از آن استفاده نمود. هزینه نیروی کار در این سامانه‌ها پایین است، زیرا این تصفیه‌خانه‌ها کاملاً خودکار هستند و می‌توان آن‌ها را از راه دور و به صورت آنلاین کنترل نمود. از طرفی از آن جایی که آب یک نیاز اساسی است در اکثر موارد به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم برای آن یارانه پرداخت می‌شود. در صورتی که از آب بازیافتی در کشاورزی استفاده شود قیمت باید با امکانات تطبیق داده شود. زیرا در این صورت قیمت نه تنها شامل آب بلکه شامل مواد مغذی محلول در آب که سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی می‌شوند نیز می‌شود. بنابراین به‌طور کل مزایای چنین سامانه‌ای بسیار زیاد است. این سامانه‌ها منجر به ایجاد اقتصادهای محلی کوچک مقیاس می‌شوند. البته پیش شرط ضروری برای تحقق موفقیت‌آمیز طرح استفاده مجدد از آب، مشارکت ذی‌نفعان شامل ساکنان، مقامات محلی و منطقه‌ای، برنامه‌ریزان زیرساخت‌ها شهری، شرکت‌های ساختمانی، مالکان زمین و استفاده کنندگان آینده آب بازیافتی است [Valentina Lazarova et al., 2013].

میلان دومین شهر پرجمعیت ایتالیا و مرکز ناحیه لومباردی در شمال این کشور می‌باشد. میلان دارای مساحتی بالغ بر ۱۸۳/۷۷ کیلومتر مربع است. میلان جز آن دسته از شهرهای اروپایی است که دارای آب‌وهوایی گرم و شرجی است. میلان یکی از غنی‌ترین مناطق در کل ایتالیا از نظر منابع آبی محسوب می‌شود. این شهر در میان سه رودخانه اصلی ایتالیا یعنی رودهای تیچینو، آدا و پو قرار دارد. چندین پروژه مهم در میلان در دهه ۱۹۹۰ برای استفاده مجدد از آب برای اهداف آبیاری توسعه یافت. در قرن بیستم میلان نیروی محرکه اصلی اقتصاد اروپا بود و این موضوع باعث افزایش شدید جمعیت در این منطقه شد و در اثر این اتفاق مقدار فاضلاب در این شهر نیز به شدت افزایش یافت. زمین‌های کشاورزی منطقه تحت تاثیر حجم زیاد فاضلاب در حال از دست دادن نفوذپذیری و افزایش آلودگی بودند. علاوه بر این میلان مسئول ۳۰ درصد از آلودگی در بخش شمالی دریای آدریاتیک در جنوب ونیز بود. در اواخر دهه ۱۹۸۰ ساحل دریا با یک پدیده ویران‌گر اتروفیکاسیون و رشد غیرعادی جلبک‌ها مواجه شد و این مسئله منجر به شکایت مقامات محلی در سراسر ساحل آدریاتیک علیه میلان به عنوان آلاینده اصلی شد.

بنابراین قانون الزام ساخت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سال ۱۹۷۶ در ایتالیا تصویب شد. شهر میلان پروژه جدیدی را برای تصفیه کامل فاضلاب در سه مکان مختلف آغاز کرد که از جمله آن‌ها می‌توان به تصفیه‌خانه بزرگ نوسدو و تصفیه‌خانه سان روکو و

همچنین یک مرکز احیای آب اشاره نمود. ساخت این دو تصفیه‌خانه از جهت این که در یک منطقه کشاورزی واقع شده‌اند اقدام موفقیت‌آمیزی بود. تمام آب تصفیه شده در این تاسیسات از طریق شبکه‌ای از کانال‌ها برای آبیاری کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله مزایای این طرح می‌توان به قابلیت اطمینان در تامین آب کافی، کمک به توسعه کشاورزی، تنوع بخشی به محصولات زراعی با اجرای کشاورزی و باغبانی ارگانیک، افزایش اشتغال، بهبود نفوذپذیری خاک و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی اشاره نمود [Valentina Lazarova et al., 2013].

وارد و همکاران [Ward et al., 2012] عملکرد یک سامانه جمع‌آوری آب باران در یک ساختمان اداری در شهر اکستر انگلستان با میانگین بارندگی سالیانه ۸۰۷ میلی‌متر را مورد ارزیابی قرار دادند. مخزن موردنظر برای بامی با مساحت ۱۵۰۰ مترمربع تعبیه شده بود و آب موجود در مخزن برای مصرف سرویس بهداشتی مورد استفاده قرار گرفت. میانگین صرفه‌جویی در مصرف آب پس از نصب این سامانه در طول یک دوره ۸ ماهه ۸۷ درصد بود که صرفه‌جویی قابل توجهی محسوب می‌شود.

فلاندر منطقه زندگی مردم فلاندری است، که به منطقه بزرگی از فرانسه و بلژیک و جنوب هلند گفته می‌شد، اما اکنون معمولاً فقط به منطقه فلمیش، یکی از دو ناحیه خودمختار بلژیک، گفته می‌شود که خود بزرگ‌ترین سرزمین فلاندرها است و بیش‌ترین جمعیت فلاندر در آن زندگی می‌کنند. بروکسل، پایتخت بلژیک، در ناحیه فلاندر جای گرفته است. آب‌وهوای بلژیک معتدل بوده که این نوع آب‌وهوا اغلب شباهت بسیاری به آب‌وهوای جنوب کشور انگلیس دارد. تأثیرات دریای شمال و همچنین اقیانوس اطلس در آب‌وهوای بلژیک بسیار پررنگ است. بلژیک دارای آب‌وهوای معتدل دریایی است که در اغلب فصول سال بیش‌تر شهرهای آن بارندگی قابل توجهی دارند. این کشور در کنار بارش‌های فراوانی که در اغلب فصول سال در شهرهای مختلف خود دارد، دارای تابستانی گرم است که البته این گرما زمان زیادی طول نمی‌کشد و با اولین وزش باد در فصل زمستان از سمت قطب شمال درجه هوا به اندازه پنج درجه زیر صفر کاهش می‌یابد. سرمای هوا در بلژیک کوتاه و زودگذر است. از دهه ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ مقدار نیاز به آب در ناحیه غربی سواحل فلاندری بلژیک ۸/۵ برابر شد و علی‌رغم خرید آب شرب از مناطق مجاور به‌ویژه از دهه ۱۹۷۰ در فصل تابستان کمبود آب در این منطق یک مشکل اساسی بود. از دهه ۱۹۹۰ تلاش برای یافتن یک منبع آب پایدار در این منطقه آغاز شد و در نهایت تصفیه فاضلاب و پساب به عنوان یک منبع آب برای نفوذ در سطح زمین و تغذیه آب زیرزمینی برای مصارف شرب انتخاب شد. پیش از شروع پروژه تقریباً ۱۰ سال پژوهش پیرامون این مسئله انجام شد و در نهایت طرح تغذیه آبخوان برای دسترسی به آب شرب در این کشور انجام شد. برای تصفیه آب از فناوری تصفیه غشایی و اسمز معکوس استفاده شد [Valentina Lazarova et al., 2013].

برای مواجهه با مشکلات کمبود آب در پرتغال، قانونی برای تولید آب بازیافتی از منابع آب شهری، خانگی، صنعتی و رواناب شهری برای مصارفی هم‌چون آبیاری کشاورزی و فضای سبز شهری، سرویس بهداشتی و سامانه‌های اطفای حریق تصویب شد. این قانون هم‌سو با سیاست‌های بین‌المللی است تا خطرات مربوط به سلامتی و محیط‌زیست به حداقل میزان ممکن برسد [Rebello et al., 2020].

سنگاپور دولت‌شهری در مجمع‌الجزایر مالایی به پایتختی شهر سنگاپور است. این کشور در جنوب شبه‌جزیره مالایا واقع شده و کوچک‌ترین کشور جنوب شرقی آسیا است. سنگاپور در شمال خط استوا قرار دارد. موقعیت مکانی این کشور در شکل ۲۰ نشان داده شده است. سنگاپور با مساحت ۷۲۲ کیلومتر مربع کمی کوچک‌تر از شهر تهران و کشور بحرین است. سنگاپور یکی از ۳ دولت‌شهر مستقل کنونی در جهان است. سنگاپور از لحاظ ذخایر معدنی کشور فقیری است اما اقتصاد آن که متکی بر بخش خدمات و صنعت است، رشد فراوانی داشته به نحوی که هم‌اکنون چهارمین مرکز اقتصادی بزرگ دنیا و سومین مرکز بزرگ پالایش نفت در دنیا به‌شمار می‌آید. آب‌وهوای سنگاپور گرم و مرطوب است و میانگین بارش سالانه در آن به بیش از ۲۳۴۰ میلی‌متر می‌رسد. سنگاپور از نظر منابع آب شیرین کشوری باتنش آبی است. اگرچه بارندگی فراوانی دارد و دو سوم کشور در حال حاضر حوضه آب است، مساحت زمین محدود آن برای جمع‌آوری آب شیرین کافی برای تامین نیازهای خانگی، تجاری و صنعتی بسیار کوچک است. این کشور با نوآوری و استفاده از فناوری‌های پیشرفته، پساب فاضلاب را به منبعی استراتژیک برای دستیابی به یک منبع پایدار تامین آب تبدیل کرده است. پساب فاضلاب برای مصارف مستقیم غیرشرب و مصارف غیرمستقیم شرب با کیفیت بالا تصفیه می‌شود. این برنامه استفاده مجدد از آب در مقیاس شهری، منبع آب اضافی قابل توجهی با تأثیر چندبرابری فراهم کرده است که مستقل از تغییر اقلیم و شرایط آب‌وهوایی شدید مانند خشک‌سالی است. آب بازیافتی در حال حاضر ۳۰ درصد از کل نیاز آب سنگاپور را تامین می‌کند. از این آب در اماکن تجاری برای خنک‌کننده‌های تهویه مطبوع، در صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی برای خنک‌سازی فرآیندها، بویلرها و شست‌وشوی عمومی و هم‌چنین به عنوان آب فوق‌العاده تمیز برای صنایع نیمه‌رسانا و الکترونیک استفاده می‌شود. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که آب بازیافتی بتواند ۵۰ درصد از کل نیاز آب سنگاپور در سال ۲۰۶۰ را برآورده کند. ظرفیت تصفیه روزانه ۵۳۱۰۰۰ مترمکعب در روز است و حجم کل فاضلاب تصفیه شده ۵۱۱ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. حجم کل آب بازیافتی ۱۹۴ میلیون مترمکعب در سال است و تعرفه آب بازیافتی ۱/۲۲ دلار سنگاپور در مترمکعب است [Valentina Lazarova et al., 2013].

در ژاپن استفاده مجدد از آب از دهه ۱۹۸۰ در چندین شهر، عمدتاً برای کاربردهایی هم‌چون سرویس بهداشتی، بهبود جریان رودخانه‌های شهری و آبیاری فضای سبز اجرا شده است. ژاپن آب‌وهوای مرطوب و معتدلی دارد و میانگین بارندگی سالانه آن ۱۷۱۸

میلی‌متر است که تقریباً دو برابر میانگین بارندگی جهانی است. بنابراین شاید از منظر عموم این‌گونه برداشت شود که ژاپن کشوری با تنش آبی کم است و استفاده مجدد از آب در این کشور ضرورتی ندارد، اما این‌گونه نیست و ژاپن به علت اینکه مساحت خشکی کمی دارد، حجم عظیمی از این بارندگی‌ها از طریق رودخانه‌ها به اقیانوس سرازیر می‌شود. از طرفی خشک‌سالی‌های دهه ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۷۰ نیز ضرورت ایجاد منابع آب جایگزین در این کشور را افزایش داد. از دیگر دلایل ژاپن برای استفاده مجدد از آب می‌توان به حفاظت از محیط‌زیست اشاره نمود. برای غلبه بر این مشکلات، احیا و استفاده مجدد از آب در مناطق شهری آغاز شد. این سامانه‌ها هم به‌صورت متمرکز و هم به‌صورت غیرمتمرکز در این کشور اجرا شدند [Takeuchi and Tanaka, 2020]. توکیو پایتخت کشور ژاپن است. توکیو در شرق جزیره هونشوی ژاپن واقع شده است و یکی از استان‌های ۴۷ گانه ژاپن به‌شمار می‌آید. توکیو پس از نیویورک و لندن عنوان بزرگ‌ترین پایتخت‌های صنعتی جهان را به دست آورده‌است. هم‌چنین توکیو عنوان بزرگ‌ترین اقتصاد شهری جهان را دارا است. توکیو هم‌چنین از نظر داشتن فضای سبز بسیار غنی است. پارک‌های طبیعی ۳۶/۳ درصد مساحت کل توکیو را تشکیل می‌دهند و از نظر وسعت پارک‌های طبیعی، توکیو پس از استان شیگا جایگاه دوم را در ژاپن به خود اختصاص داده‌است. دو دریاچه مصنوعی به نام‌های دریاچه اوکوتاما و دریاچه تاما دریاچه‌های توکیو هستند. دریاچه اوکوتاما که در منطقه اوکوتامای توکیو و روستای تابایاما در استان یاماناشی واقع شده است در حال حاضر بزرگ‌ترین مخزن آب آشامیدنی در ژاپن به‌شمار می‌آید. دریاچه تاما در هیگاشی‌یاماتو واقع شده و بزرگ‌ترین دریاچه درونی توکیو است. آب شهر توکیو از دریاچه‌های سدهای ساخته شده در سه حوضه آبخیز رودخانه‌های، تونه آرا و راما تامین می‌شود و تمام فاضلاب خانگی این منطقه از طریق رودخانه‌ها به خلیج توکیو و اقیانوس آرام تخلیه می‌شود. استفاده مجدد از آب در توکیو سابقه طولانی دارد و از سال ۱۹۵۵ آغاز شده است. در دهه‌ی ۱۹۷۰ ژاپن خشک‌سالی شدیدی را در مناطق وسیعی از کشور تجربه کرد. این تجربه خشک‌سالی باعث شد مردم به آب بازیافتی به عنوان یک منبع آب جایگزین توجه کنند. در دهه ۱۹۸۰ شروع به برنامه‌ریزی برای استفاده مجدد از آب کردند و دولت با ارائه یارانه از این پروژه‌ها حمایت کرد. در سال ۱۹۸۴ تصفیه‌خانه اوچای در منطقه شینجوکو برای استفاده از آب بازیافتی برای شست‌وشوی توالت ساخته شد. این پروژه اولین نقطه عطف در استفاده مجدد از آب شهری در مناطق شهری ژاپن بود. امروز در توکیو ۷ منطقه وجود دارد که از آب بازیافتی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای شست‌وشوی توالت استفاده می‌کنند. از آن‌جایی که سامانه لوله‌کشی دوگانه برای استفاده مجدد از آب ضروری است، اداره فاضلاب توکیو برای ترویج این سامانه‌ها از صاحبان ساختمان‌ها درخواست نمود که در مرحله طراحی اولیه ساختمان‌ها، این نوع سامانه را در ساختمان‌ها نصب کنند. در ابتدا از آب بازیافتی برای شست‌وشوی توالت در ۹ ساختمان بزرگ استفاده شد و امروز تعداد این ساختمان‌ها به ۳۰ ساختمان رسیده است. مرکز بازیافت آب در زیر زمین این ساختمان‌ها قرار دارد و آب با استفاده از سامانه پمپاژ در ساختمان‌ها توزیع می‌شود. از آن‌جایی که در این نوع سامانه‌های غیرمتمرکز

فاصله‌ی انتقال آب کم است، هزینه سرمایه اولیه هم نسبتاً کم است و این یک مزیت آب بازیافتی نسبت به آب شرب شهری است. یکی از عوامل کلیدی موفقیت این پروژه این است که استفاده مجدد از آب در این منطقه بر اساس رابطه برد-برد بین مالکان ساختمان در منطقه و دولت شهر توکیو است. ساختمان‌ها می‌توانند منبع آب پایدار و ارزان‌تر برای شست‌وشوی توالت دریافت کنند و از طرف دولت توکیو می‌تواند منطقه شینجوکو را با ساختمان‌هایی با تراکم بسیار بالا و بدون نیاز به افزایش ظرفیت سامانه تامین آب شهری توسعه دهد [Valentina Lazarova et al., 2013]. از دیگر کاربردهای استفاده مجدد آب در ژاپن می‌توان به آبیاری کشاورزی، بهبود جریان رودخانه‌ها و آبیاری فضای سبز شهری اشاره نمود. از دیگر عوامل گسترش و ترویج استفاده مجدد از آب در ژاپن می‌توان به بلایای طبیعی اشاره نمود. هنگامی که زلزله ژاپن در سال ۲۰۱۱ رخ داد، بسیاری از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به شدت آسیب دیدند و دسترسی به منابع آبی سخت شد. در چنین شرایطی سامانه‌ها غیرمتمرکز استفاده مجدد از آب، می‌تواند راه‌حل بسیار مناسبی برای شرایط اضطراری باشد. همچنین دولت ژاپن در حال برنامه‌ریزی برای استفاده از سامانه‌های استفاده مجدد از آب برای تامین آب صنعتی در شهرهایی هم‌چون اوکیناوا است [Takeuchi and Tanaka, 2020].

تیانجین کلان‌شهری ساحلی در شمال چین بوده و یکی از ۴ شهر ملی مرکزی جمهوری خلق چین می‌باشد. امروزه تیانجین تبدیل به شهری دو هسته‌ای شده است که این دو هسته عبارت‌اند از: منطقه شهری اصلی (شامل شهر قدیمی) واقع در رودخانه "های" که از طریق کانال Grand به رودخانه‌های زرد و یانگتزه متصل می‌شود و منطقه شهری جدید به نام Binhai واقع در شرق شهر قدیمی و بر روی ساحل Bohai Gulf. تا انتهای سال ۲۰۱۰، حدود ۲۸۵ تا ۵۰۰ کمپانی، مراکز خود را در Binhai احداث کرده‌اند و این منطقه، به یکی از قطب‌های نوظهور صنایع پیشرفته و اقتصادی چین تبدیل شده است. تیانجین از نظر جمعیت شهری در کشور چین، در رتبه چهارم قرار می‌گیرد و شانگ‌های، پکن و گوانگجو به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار می‌گیرند. تیانجین رشدی سریع در دهه‌های گذشته داشته و مطابق پیش‌بینی‌ها، رشد آن مدت‌ها ثابت باقی خواهند ماند. در سال ۲۰۲۱، جمعیت شهری آن حدود ۱۴ میلیون نفر بوده است. آب‌وهوای آن، آب‌وهوای معمول یک منطقه در آسیای شرقی می‌باشد؛ یعنی زمستان‌های آن به دلیل تأثیرات پرفشار سیبری، سرد، بادخیز و بسیار خشک و تابستان‌های آن به دلیل وزش بادهای موسمی گرم و شرجی می‌باشند. میانگین دمای سالانه آن ۱۲/۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با گذشت زمان به دلیل افزایش جمعیت، گسترش شهر و بهره‌برداری از منابع آب بالادست، تیانجین تقریباً به شهری فاقد منابع آبی تبدیل شد. این کمبود آب عامل مهمی در محدودیت اقتصاد و توسعه پایدار تیانجین بود زیرا این شهر یکی از مهم‌ترین شهرهای صنعتی چین است که توسعه آن به آب وابسته است و ۸۰ درصد کل مصرف آب در تیانجین مصرف آب صنعتی است. به‌منظور حل مشکل کمبود آب، انتقال آب از جنوب چین، نمک‌زدایی و احیای آب به رویکردهای اصلی در زمینه مدیریت آب تبدیل شدند. احیای فاضلاب در مقایسه با نمک‌زدایی و انتقال آب دارای

مزایای متعددی در سرمایه‌گذاری‌ها و هزینه‌های پروژه بود. بنابراین تیانجین احیای فاضلاب را به عنوان رویکرد اصلی خود برای حل مشکل کمبود آب خود برگزید. از دهه ۱۹۸۰ تحقیق در مورد احیای فاضلاب آغاز شد. برنامه‌ریزی برای احیای فاضلاب در سال ۲۰۰۰ آغاز شد. در سال ۲۰۰۴، " طرح احیای آب در تیانجین " تدوین شد. در پایان سال ۲۰۰۲ ساخت تاسیسات احیای فاضلاب جی‌ژوانگزی به پایان رسید. شهر تیانجین دارای ۴ تاسیسات احیای آب است. مجموعه‌ای از مقررات و سیاست‌های احیای آب از جمله قانون صرفه‌جویی در مصرف آب، قانون مدیریت و کاربرد آب احیا شده و زهکشی شهر، قانون ساخت و مدیریت سامانه تامین آب مسکن و ساختمان‌های عمومی، قانون برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آب بازیافتی و قانون ساخت شبکه آب بازیافتی در تیانجین تدوین شد. از آب بازیافتی برای مصارف متفرقه شهری شامل شست‌وشوی توال، آبیاری فضای سبز و شست‌وشوی معابر و هم‌چنین در نیروگاه‌ها و خنک‌کننده‌های صنعتی استفاده می‌شود. دولت تیانجین در تلاش است که هزینه آب بازیافتی را با تبلیغات و معافیت‌های مالیاتی، سیاست‌های یارانه‌ای و افزایش قیمت آب شرب (که از منابع سنتی تامین می‌شود) کاهش دهد. نرخ آب بازیافتی در این شهر بسته به هدف استفاده از آن که ممکن است مسکونی، نیروگاهی، صنعتی، اداری و تجاری باشد، متفاوت است [Valentina Lazarova et al., 2013].

نمونه‌های متعددی از طرح‌های اجرای موفق استفاده مجدد از آب در نقاط مختلف دنیا به اختصار توضیح داده شد. لازم به ذکر است که برای برآورد ظرفیت واقعی این سامانه‌ها، شرایط آب‌وهوای محلی، جمعیت و میزان مصارف هر بخش برای کاربری‌های مختلف باید در نظر گرفته شود. بنابراین اگرچه تاکنون مطالعات پراکنده‌ای در مورد ارزیابی‌های کمی و کیفی استفاده مجدد از آب در مناطق مختلف جهان و کشور ایران انجام شده است اما ذکر این نکته ضروری است که این ارزیابی‌ها تا حد بسیاری به شرایط هر منطقه بستگی دارد. از این‌رو پژوهش حاضر به منظور انعکاس تأثیرات شرایط محلی استان گیلان به‌ویژه شهر رشت در تعیین ترویج و گسترش این سامانه‌ها دارد. شهر رشت دارای میانگین بارندگی سالانه تقریبی ۱۳۰۰ میلی‌متر است و بیش‌ترین مقدار بارش باران در این شهر در شش ماهه دوم سال اتفاق می‌افتد و گاهی این بارش‌ها در حدی شدید هستند که منجر به بروز سیلاب شهری می‌شوند و آب باران که به صورت رایگان در اختیار قرار می‌گیرد به آسانی از دسترس خارج می‌شود. در صورت ترویج این سامانه‌ها در شهر رشت می‌توان از آب‌های برگشتی برای تامین نیازهای آبی خانگی هم‌چون آبیاری فضای سبز، سرویس بهداشتی، ماشین لباسشویی و شست‌وشو، نیازهای کشاورزی و نیازهای صنعتی استفاده نمود. این امر از یک‌سو منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب شهری و کاهش هزینه‌های مربوط به تصفیه آب شهری می‌شود و از طرفی خطر بروز سیلاب در مناطق شهری را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر در قالب طرح فاضلاب شهر رشت ۴۵۰ کیلومتر لوله‌گذاری شبکه فاضلاب اجرا شده است و تا پایان سال ۱۴۰۰ تعداد انشعاب‌های فاضلاب در مناطق شهری و روستایی شهر رشت به ترتیب ۱۳۶۶۸۷ و ۵۶۲ فقره می‌باشد. مدول اول تصفیه‌خانه فاضلاب

شهر رشت با ظرفیت ۶۳ هزار مترمکعب در شبانه‌روز جهت تصفیه فاضلاب ۱۵۰ تا ۲۵۰ هزار نفر هم اکنون در مدار بهره‌برداری است که ظرفیت این تصفیه‌خانه به ۹۰ هزار مترمکعب افزایش خواهد یافت. نوع فرآیند تصفیه در این تصفیه‌خانه روش لجن فعال می‌باشد. ساخت تصفیه‌خانه جنوب شهر رشت (مسکن مهر) پیشرفت ۸۵ درصدی داشته است و ظرفیت این تصفیه‌خانه ۱۲ هزار مترمکعب در شبانه روز است که فاضلاب مناطق جنوبی شهر را تصفیه خواهد کرد. بنابراین پتانسیل‌های نسبتاً بالایی برای استفاده مجدد از آب در استان گیلان و به‌ویژه شهر رشت وجود دارد که مستلزم تغییر نگرش مدیران و افزایش آگاهی مردم در این زمینه است.

فصل سوم : مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

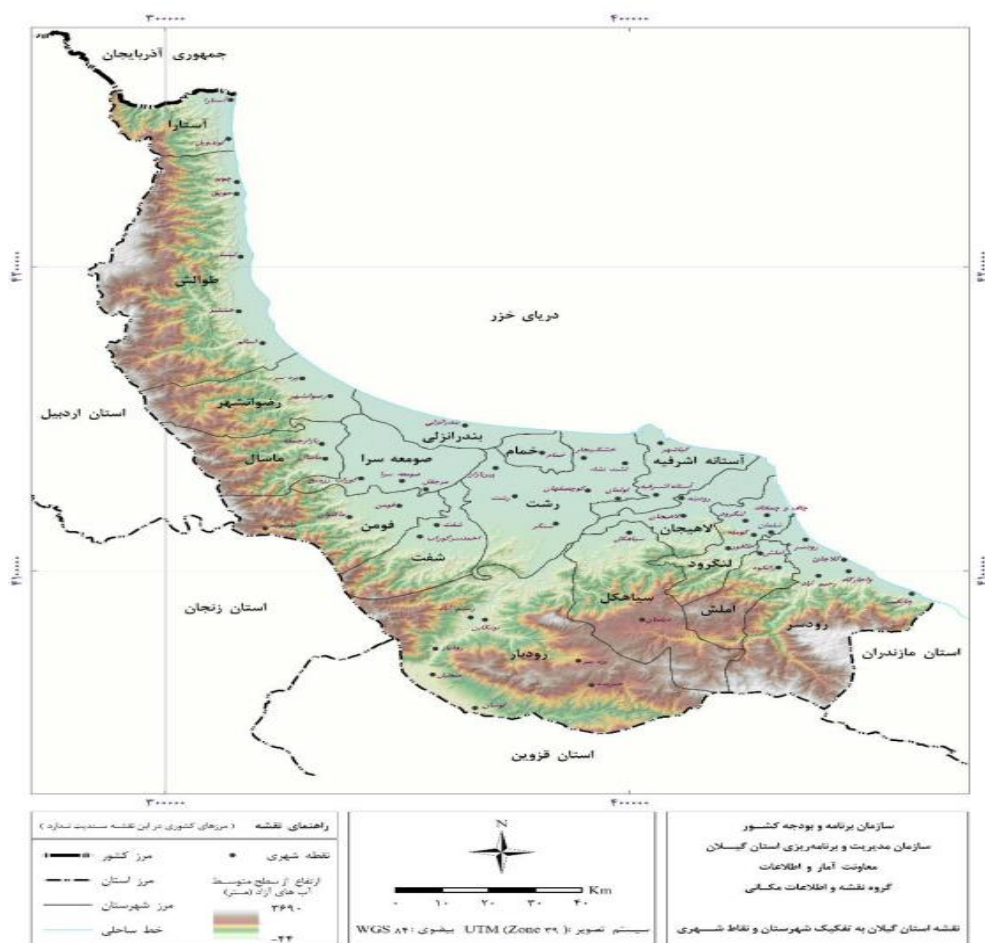
استان گیلان یکی از استان‌های شمالی کشور بالغ بر ۱۴ هزار کیلومترمربع مساحت دارد و بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ماه ۱۳۹۵ جمعیت استان برابر با ۲۵۳۰۶۹۶ نفر بوده است. این استان در ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار قرار گرفته است. موقعیت مکانی این استان در نقشه استان‌های کشور در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- موقعیت مکانی استان گیلان در نقشه ایران

درازای آن از شمال باختری به جنوب خاوری، ۲۳۵ کیلومتر و پهنای آن، از ۲۵ تا ۱۰۵ کیلومتر تغییر می‌کند. رشته کوه‌های البرز با ارتفاع متوسط ۳۰۰۰ متر، همانند دیواری در باختر و جنوب گیلان کشیده شده است. این استان، از شمال به دریای خزر و کشور آذربایجان، از غرب به استان اردبیل، از جنوب به استان زنجان و قزوین و از شرق به استان مازندران محدود می‌شود. بر اساس

تقسیمات کشوری استان گیلان در سال ۱۴۰۰ دارای ۵۳ شهر، ۴۶ بخش، ۱۱۳ دهستان، ۲۹۱۰ آبادی است. شهرستان‌های این استان عبارتند از: آستارا، آستانه اشرفیه، املش، بندر انزلی، تالش، خمام، رشت، رضوانشهر، رودبار، رودسر، سپاهکل، شفت، صومعه‌سرا، فومن، لاهیجان، لنگرود و ماسال که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



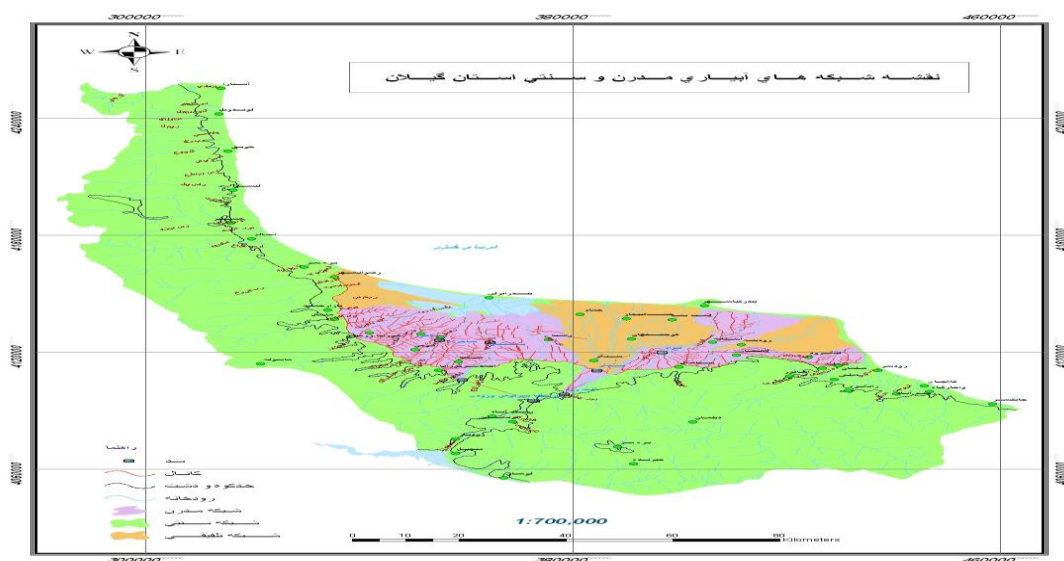
شکل ۲-۳- نقشه استان گیلان به تفکیک شهرستان و شهر

سه رشته کوه تالش، طارم و خلخال و دیلمان گیلان را در بر گرفته‌اند. کوه‌های تالش که به موازات ساحل دریای خزر امتداد یافته و میان اردبیل و دریای خزر واقع است. کوه‌های طارم و خلخال که رودخانه سفیدرود از میان دره‌های باریک آن می‌گذرد و آن را از دره‌های دیلمان جدا می‌سازد و کوه‌های دیلمان که دنباله رشته‌کوه البرز بوده و مرتفع‌ترین قله آن در گیلان، درفک است. وجود کوه‌های بلند و نزدیکی آن‌ها به دریا، به گیلان آب‌وهوایی متنوع داده و موجب جریان‌های هوایی متغیر در این منطقه شده است.

بیش از ۴۰ رودخانه در استان گیلان جریان دارد. مهم‌ترین رودخانه گیلان، سفیدرود است که از کوه‌های چهل چشمه کردستان سرچشمه می‌گیرد. پلرود، کرگانرود، شفارود، دیناچال، ناورود، شمرود و شلمان‌رود از دیگر رودهای مهم جلگه گیلان می‌باشند.

آب‌وهوای استان گیلان معتدل می‌باشد که ناشی از تاثیر آب‌وهوای کوهستانی البرز و دریای خزر است. این استان به دلیل هم‌جواری با دریای خزر منطقه‌ای با رطوبت زیاد بوده که رطوبت نسبی آن بین ۴۰ تا ۱۰۰ درصد است. فصل خشکی در طول سال مدت زیادی دوام ندارد و در غالب اوقات باران می‌بارد. بارندگی در تمام نواحی استان به یک میزان صورت نمی‌گیرد. بیش‌ترین بارش در سطح دشت، مربوط به شهر بندر انزلی می‌باشد و حداقل بارندگی در حوالی رودبار، لوشان و منجیل صورت می‌پذیرد. روزهای یخبندان کوتاه و پراکنده بوده و سرما به ندرت از ۱- درجه تجاوز می‌کند. در استان گیلان ۱۲ ایستگاه هواشناسی هم‌دیدنی وجود دارد. در سال ۱۴۰۰ بالاترین و و پایین‌ترین میانگین دما به ترتیب مربوط به شهر منجیل با ۲۹/۲ درجه سلسیوس و شهر جیرنده با ۲/۹ درجه سلسیوس بوده است. بندر انزلی با ۱۶۱۶/۲ میلی‌متر بیش‌ترین و منجیل با ۱۰۸/۴ کم‌ترین میزان بارندگی سالانه را بین نقاط دارای ایستگاه دارا بوده‌اند.

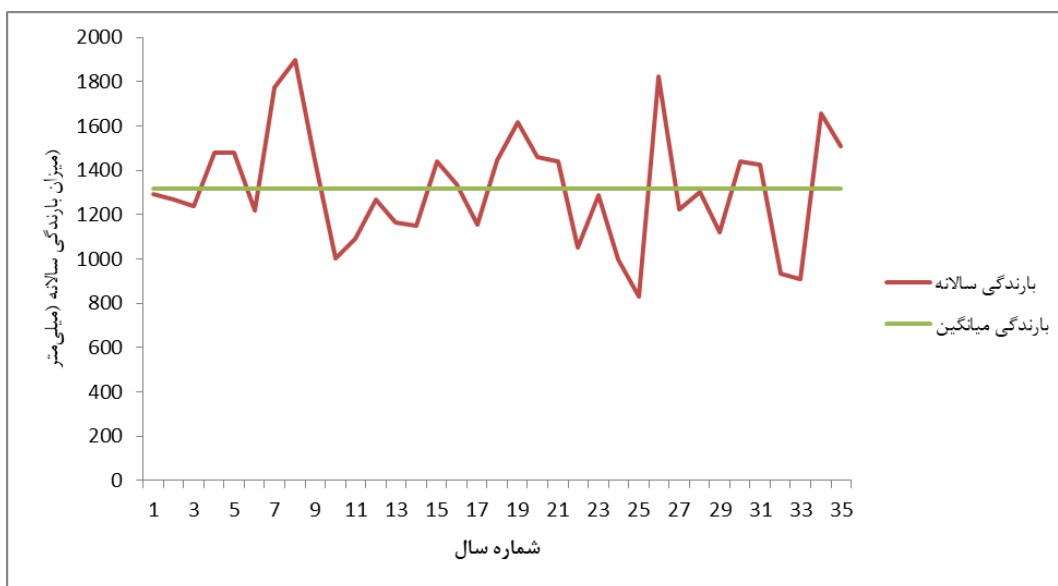
کشت اصلی دشت گیلان برنج می‌باشد که بیش از ۹۵ درصد سطح کشت سالانه را به خود اختصاص می‌دهد. بر اساس صورت‌جلسه مشترک مورخه ۹۱/۷/۲۵ سازمان جهاد کشاورزی، شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری و زهکشی گیلان و موسسه تحقیقات برنج، وسعت شالیزارهای گیلان ۲۳۸۰۴۰ هکتار (سنتی و تحت پوشش شبکه) و تعداد شاربین دارای پیمان آب زراعی ۳۴۹۵۷۱ نفر می‌باشد. سد سفیدرود به عنوان سد مخزنی که تامین کننده آب اراضی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود و همراه با شش سد انحرافی (تاریک، سنگر، شاخرز، پسیخان، گله رود، قوام) و شبکه های آبیاری موجود اعم از مدرن و تلفیقی، سطحی خالص معادل ۱۷۱۱۳۷ هکتار اراضی شالی را تحت پوشش دارد. اراضی خارج از حوضه شبکه آبیاری سفیدرود اصطلاحات اراضی سنتی نامیده می‌شوند که عمدتاً از رودخانه های حوضه داخلی شبکه آبیاری می‌گردند و وسعت آن بالغ بر ۶۶۹۰۳ هکتار می‌باشد. نقشه شبکه‌های آبیاری استان گیلان در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- نقشه شبکه های مدرن و آبیاری استان گیلان

تا پایان سال ۱۴۰۰، ۳۶ شهر از ۵۳ شهر استان تحت پوشش خدمات جمع آوری و دفع بهداشتی فاضلاب بوده است. در این سال ۲۹۹۳۰۷ مشترک فاضلاب شهری در استان بوده که از این تعداد حدود ۸۲/۴ مشترک خانگی بوده است. همچنین متوسط حجم فاضلاب جمع آوری شده در روز حدود ۲۱۸ هزار مترمکعب بوده است که نسبت به سال قبل ۰/۲ درصد افزایش یافته است.

در این پژوهش شهر رشت به عنوان منطقه مورد مطالعه برای بررسی دقیق تر پتانسیل های موجود در استان گیلان در زمینه استفاده مجدد و بازچرخانی آب انتخاب شد. همانطور که در نمودار شکل (۳-۴) نشان داده شده است شهر رشت با میانگین بارندگی سالانه تقریبی ۱۳۰۰ میلی متر در مقایسه با سایر مناطق دنیا که در حال پژوهش و گسترش سامانه های استفاده مجدد از آب هستند ظرفیت بسیار مناسبی برای ترویج این سامانه ها برای تامین نیازهای آبی خانگی هم چون آبیاری فضای سبز، سرویس بهداشتی، ماشین لباسشویی و شست و شو، نیاز آبیاری کشاورزی و مصارف صنعتی دارد.



شکل ۳-۴- بارندگی سالانه دوره ۳۵ ساله شهر رشت (از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ سال میلادی)

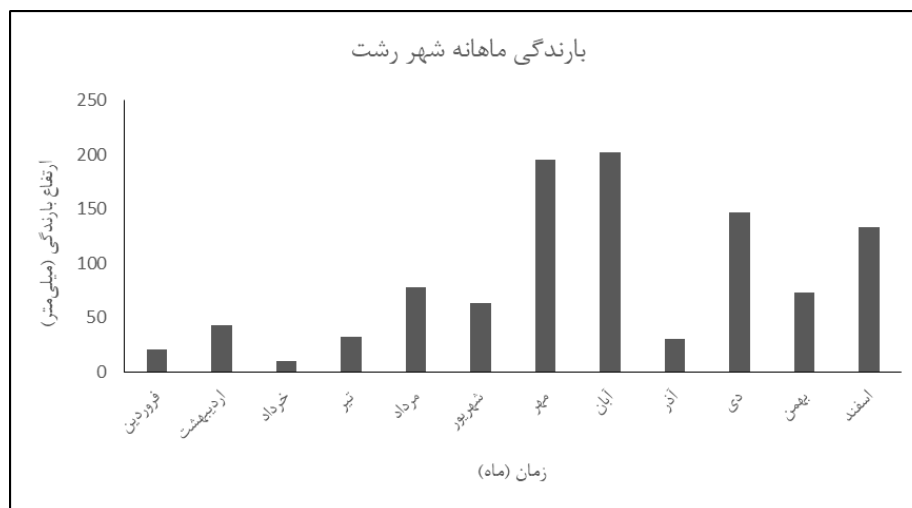
۳-۲- داده‌های مورد استفاده

امکان‌سنجی استفاده مجدد و بازچرخانی آب در شهر رشت تحت تاثیر عوامل مختلفی شامل مشخصات بارندگی، شرایط آب‌وهوایی، مشخصات و مصالح ساختمانی، آمارهای جمعیت، میزان مصرف آب، ظرفیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و غیره می‌باشد. بنابراین اطلاعات مربوط به هر یک از این عوامل از منابع مختلفی هم‌چون مرکز آمار ایران، سازمان هواشناسی استان گیلان، سازمان آب و فاضلاب استان گیلان و سازمان آب منطقه‌ای گیلان جمع‌آوری گردید. از سوی دیگر هدف از استفاده مجدد از آب، تامین آب موردنیاز برای مصارف غیربهداشتی خانگی هم‌چون سرویس بهداشتی، ماشین لباسشویی و شست‌وشو، مصارف غیرشرب، مصارف کشاورزی و مصارف صنعتی می‌باشد. اطلاعات مربوط به این مصارف نیز جمع‌آوری شد. به منظور بررسی‌های دقیق امکان‌سنجی استفاده مجدد و بازچرخانی آب در شهر رشت سال ۱۴۰۰ شمسی مبنای ارزیابی قرار گرفت.

۳-۲-۱- داده‌های بارندگی

اطلاعات مربوط به بارندگی شهر رشت در سال ۱۴۰۰ در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است بیش‌ترین میزان بارندگی در سال ۱۴۰۰ در ماه آبان و برابر با ۲۰۲ میلی‌متر و کم‌ترین میزان بارندگی در ماه خرداد و برابر با

۹/۵ میلی‌متر می‌باشد و مجموع بارندگی سالانه برابر با ۱۰۲۶/۳ میلی‌متر (کم‌تر از میانگین بارش دوره ۳۵ ساله شهر رشت) است. هم‌چنین همان‌طور که در شکل (۳-۶) مشخص است حداکثر بارندگی روزانه در سال ۱۴۰۰ در فصل تابستان و ماه مرداد اتفاق افتاده است.



شکل ۳-۵- بارندگی ماهانه شهر رشت در سال ۱۴۰۰



شکل ۳-۶- حداکثر بارندگی روزانه در ماه‌های مختلف در شهر رشت در سال ۱۴۰۰

۲-۲-۳- داده‌های مربوط به ضریب رواناب

ضریب رواناب یک پارامتر بدون بعد است که بخشی از بارندگی که به رواناب تبدیل می‌شود را برآورد می‌نماید. این ضریب تحت تاثیر عوامل اقلیمی و عوامل معماری می‌باشد. برای محاسبه ضریب رواناب از رابطه (۱-۳) استفاده می‌شود [Farreny et al., 2011].

$$RC = \frac{P \times A}{V} \quad (3-1)$$

که در آن RC ضریب رواناب، V حجم رواناب جمع‌آوری شده بر حسب مترمکعب، A مساحت بام بر حسب مترمربع و P ارتفاع بارندگی بر حسب متر است.

فارنی و همکاران [Farreny et al., 2011] مقدار ضریب رواناب را برای چهار بام با جنس‌های مختلف و شیب‌های متفاوت در یکی از مناطق اسپانیا با میانگین بارندگی سالیانه ۵۶۸ میلی‌متر اندازه‌گیری نمودند و از یک مدل رگرسیون خطی برای تحلیل نتایج استفاده کردند. این بام‌ها از جنس آجرهای رسی (سفال)، ورق‌های فلزی، پلی‌کربنات و از نوع شیب‌دار و با شیب نزدیک به ۳۰ درجه و بام‌های شنی از نوع تخت بودند. مشاهدات آن‌ها نشان داد که در بام‌های از جنس ورق‌های فلزی و پلی‌کربنات که شیب‌دار و با سطح صاف هستند پتانسیل استحصال آب باران حدود ۵۰ درصد بیش‌تر از بام‌های زیر است و مقدار ضریب رواناب برای این بام‌ها بیش از ۰/۹ و در بام‌های شنی تخت این مقدار حدود ۰/۶۲ به‌دست آمد. سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود با عنوان امکان سنجی استحصال آب باران بام‌ها برای مصارف غیرشرب در شهر رشت ضریب رواناب بام برای جهت قرارگیری شیب جنوبی و شمالی را به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۸۱ به‌دست آوردند. به‌منظور کاهش خطاهای محاسباتی در این پژوهش ضریب رواناب ۰/۷ مبنای محاسبات قرار گرفته است.

۳-۲-۳- مساحت شهر رشت

بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران مساحت شهرستان رشت برابر با ۱۰۶۰ کیلومتر مربع است و دارای ۵ بخش، ۷ شهر و ۱۵ دهستان است. مساحت شهری بخش مرکزی شهرستان رشت با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث به‌طور تقریبی ۷۶ کیلومتر مربع به‌دست آمد. مساحت شهری سایر بخش‌های شهرستان رشت نیز ۱۲ کیلومتر مربع به دست آمد. به‌منظور تفکیک مساحت ساختمان‌ها و معابر بخش مرکزی شهرستان رشت، بخشی از محله‌های تقریباً قدیمی شهر شامل محدوده خیابان معلم، خیابان طالقانی، بلوار

شمسی پور و بلوار رشتیان مطابق شکل (۷-۳) انتخاب شد. مساحت هر بخش محاسبه شد و نتایج نشان داد که حدود ۸۰ درصد از این بخش شامل ساختمان‌های مسکونی و ۲۰ درصد شامل معابر بود. این نسبت برای کل شهر رشت و بخش‌های آن مبنای محاسبات قرار گرفت و بر این اساس مجموع مساحت ساختمان‌ها در شهر رشت برابر با ۶۰ کیلومتر مربع به دست آمد. به منظور تفکیک مساحت ساختمان‌ها و معابر سایر بخش‌های شهرستان رشت به دلیل تراکم کم‌تر در بخش‌های مسکونی، ضریب ۶۰ درصد (با توجه به مشاهدات و تجربه کارشناسی) استفاده شد و بنابراین مجموع مساحت ساختمان‌ها در این بخش‌ها ۷/۲ کیلومتر مربع به دست آمد. بنابراین مجموع مساحت ساختمان‌ها در شهرستان رشت ۶۷/۲ کیلومتر مربع محاسب شد.



شکل ۷-۳- بخشی از شهر رشت شامل محدوده خیابان معلم، خیابان طالقانی، بلوار شمسی پور و بلوار رشتیان

۴-۲-۳- جمعیت شهر رشت

بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران، شهر رشت دارای ۳۰۲۷۵۵ خانوار در نقاط شهری و روستایی است و جمعیت آن در آخرین سرشماری نفوس و مسکن که در سال ۱۳۹۵ انجام شد، ۹۰۲۱۱۱ نفر است.

۵-۲-۳- مصارف شهری آب در شهر رشت

اطلاعات مربوط به مصرف آب ساکنان شهر رشت در سال ۱۴۰۰ در جدول (۳-۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، بیش‌ترین مصرف آب در شهر رشت به ترتیب مربوط به کاربری خانگی شهری، مصارف روستایی و صنعتی است و به ترتیب حدود ۷۷ درصد، ۱۳ درصد و ۳ درصد مصارف شهر رشت را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳-۱- اطلاعات مربوط به مصرف آب شهری در رشت برای کاربری‌های مختلف در سال ۱۴۰۰

کاربری مصرف آب	تعداد انشعاب (فقره)	حجم فروش (مترمکعب)
خانگی	۱۲۶۶۵۷	۴۶۰۳۴۷۷۸
آموزش و اماکن مذهبی	۱۱۳۶	۱۴۱۵۱۰۱
آزاد و بنائی	۸۲۹	۱۴۰۱۷۴
صنعتی	۶۳	۱۸۳۴۴۱۱
عمومی و دولتی	۴۴۲	۴۹۱۳۲۶
تجاری	۱۹۷۰۶	۱۴۶۸۴۸۰
سایر	۷۱۳	۵۳۶۵۲۵
مصارف روستایی	۴۲۳۰۰	۷۷۰۶۰۰۰
مجموع مصارف شهری	۱۴۹۵۴۶	۵۱۹۲۰۷۹۵
مجموع مصارف شهری و روستایی	۱۹۱۸۴۶	۵۹۶۲۶۷۹۵

۶-۲-۳- حجم آب مورد تقاضا برای مصارف خانگی به تفکیک کاربرد

مصارف خانگی آب شهری شامل آشامیدن، پخت‌وپز، شست‌وشوها، مصارف بهداشتی و وسایل تهویه، فضای سبز خانگی و از این قبیل می‌باشد. مجموع سرانه مصرف آب خانگی برای هر فرد ۷۵ تا ۱۵۰ لیتر در شبانه‌روز می‌باشد (نشریه ۱۱۷-۳). در این

پژوهش هدف از استفاده مجدد از آب در بخش خانگی، استفاده از آن برای مصارف بهداشتی، شست‌وشوها و ماشین لباسشویی می‌باشد. در جدول (۳-۲) سرانه مصرف هر یک از موارد فوق را به ازای هر فرد نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- سرانه مصرف آب خانگی

نوع مصرف	حداقل (لیتر در شبانه‌روز)	حداکثر (لیتر در شبانه‌روز)	میانگین (لیتر در شبانه‌روز)
دست شویی و توالت	۲۰	۳۰	۲۵
ماشین لباسشویی	۱۰	۲۰	۱۵
شست‌وشوی خانه	۳	۱۰	۶/۵
آشامیدن	۲	۵	۳/۵
پخت و پز	۵	۱۰	۷/۵
استحمام	۲۵	۵۰	۳۷/۵
کولر و تهویه مطبوع	۲	۵	۳/۵
متفرقه	۳	۵	۵
مجموع	۷۵	۱۵۰	۱۱۲/۵

۳-۲-۶- ضرایب تبدیل آب شهری به فاضلاب

مقدار فاضلاب خام تولیدی بر اساس مقدار آب مصرفی و با توجه به ضریب تبدیل آب به فاضلاب پس از کسر سهم آب‌هایی که به سامانه فاضلاب وارد نمی‌شوند از جمله مصارف فضای سبز (خانگی و عمومی) و تلفات فیزیکی آب از شبکه توزیع آب شهر باید تعیین گردد. ضریب تبدیل آب مصرفی به فاضلاب در دامنه ۷۵ تا ۸۵ درصد و با توجه به اقلیم منطقه، فرهنگ مصرف و سطح زندگی مردم آن منطقه تعیین می‌شود (نشریه ۳-۱۱۸). در این پژوهش مقدار این ضریب ۷۵ درصد فرض شده است.

همان‌طور که در فصل ۲ بیان شد آب خاکستری معمولاً به فاضلاب تولیدی از روشویی، حمام ماشین لباس‌شویی و آشپزخانه‌ها اطلاق می‌گردد. آب خاکستری قسمت عمده و تقریباً ۶۰ تا ۷۰ درصد فاضلاب خانگی را تشکیل می‌دهد (یزدیان و همکاران، ۱۴۰۱). در این پژوهش مقدار آب خاکستری ۶۰ درصد فاضلاب خانگی در نظر گرفته شده است.

۷-۲-۳- ظرفیت منابع آبی داخلی رشت

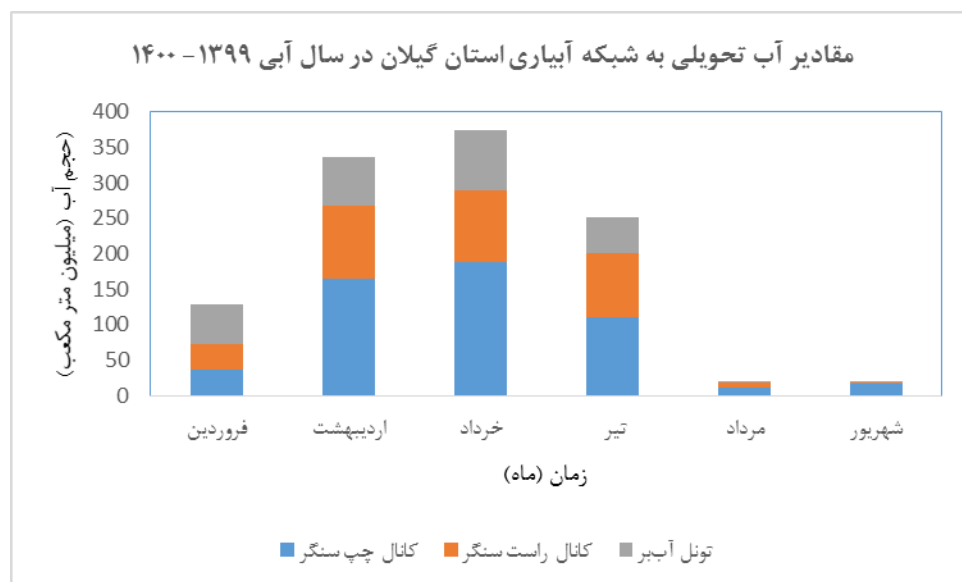
فعالیت‌های کشاورزی شهر رشت شامل فعالیت‌هایی هم‌چون زراعت، باغداری، کشت گلخانه‌ای، پرورش دام و طیور، پرورش زنبور عسل، پرورش کرم ابریشم و پرورش ماهی می‌باشد. سطح زیر کشت برنج در شهر رشت ۶۲۳۳۶ هکتار است. آب مورد نیاز از منابع آب داخلی در ناحیه مرکزی شبکه آبیاری و زهکشی گیلان در شرایط نرمال در جدول (۳-۳) نشان داده شده است. سطح زیر کشت در ناحیه مرکزی ۶۸۳۵۸ هکتار برآورد شده است. لازم به ذکر است که مجموع متوسط بارندگی در ۵ ماه اول سال در شرایط نرمال (شرایطی که میزان بارندگی سالانه نزدیک به مقدار میانگین سالانه دوره ۳۵ ساله است) ملاک ارزیابی قرار گرفته است. هم‌چنین با فرض توزیع یکنواخت بارندگی‌ها در طول دوره آبیاری، ۷۵٪ مقدار آن به عنوان بارندگی موثر در نظر گرفته شده و بقیه بارش از دسترس خارج می‌شود. همان‌گونه که مشخص است حداکثر آب قابل تامین از منابع آب داخلی ۱۹۰/۰۶ میلیون مترمکعب می‌باشد.

جدول ۳-۳- حجم آب قابل انتظار از منابع مختلف (رودخانه‌ها، چاه‌ها، آب بندان‌ها، زهکش‌ها و تالاب‌ها و بارندگی) در شرایط نرمال در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود در بخش مرکزی (گزارش شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی گیلان (۱۳۹۶-۱۳۹۷))

منبع تامین آب	حجم آب مورد انتظار (میلیون مترمکعب)
زهکش‌ها، تالاب‌ها و رودخانه‌ها (پمپاژ)	۳۰/۷۶
چاه‌ها	۱۰/۹
رودخانه‌ها (ثقلی)	۱۳
آب بندان‌ها	۱۷/۵
بارندگی	۱۱۷/۹
مجموع	۱۹۰/۰۶

۸-۲-۳- ظرفیت تامین آب سد سفیدرود

عمده آب موردنیاز برای آبیاری کشاورزی در استان گیلان از رودخانه سفیدرود تامین و از طریق کانال راست سنگر، کانال چپ سنگر و کانال آب‌بر انتقال داده می‌شود. مقدار آب تحویلی به شبکه آبیاری گیلان در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در شکل (۸-۳) نشان داده شده است. مجموع آب تحویلی به شبکه آبیاری گیلان ۱۱۳۱ میلیون متر مکعب بوده است، و بر اساس آمار از این میزان حدود ۵۴ درصد از حجم آب به اراضی زیر کشت شهر رشت تخصیص داده می‌شود. بنابراین مجموع آب تحویلی به شبکه آبیاری گیلان در بخش مرکزی ۶۱۰/۷۴ میلیون مترمکعب بود.



شکل ۸-۳- مقادیر آب تحویلی به شبکه آبیاری گیلان در سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰

۹-۲-۳- راندمان آبیاری

برای ارزیابی راندمان هر شبکه آبیاری نیازمند اندازه‌گیری راندمان در بخش‌های مختلف شبکه اعم از انتقال و توزیع و راندمان کاربرد در مزرعه است. مقادیر هر یک از این راندمان‌ها برای شبکه آبیاری و زهکشی گیلان توسط شرکت مهندسی مشاور پندام محاسبه شده و نتایج آن در جدول (۴-۳) نشان داده شده است.

جدول ۳-۴- راندمان‌های آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی گیلان در بخش مرکزی

پارامتر	راندمان انتقال	راندمان توزیع	راندمان کاربرد آب در مزرعه	راندمان کل
مقدار درصد)	۹۶	۹۲	۶۲	۵۵

با توجه به آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده و محاسبات انجام شده حجم آب موردنیاز برای هر یک از بخش‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی و همچنین مقادیر آب قابل بازیابی در هر بخش محاسبه شد و نتایج این محاسبات و ارزیابی‌ها در فصل ۴ این پژوهش قابل مشاهده است.

فصل چهارم : بحث و نتایج

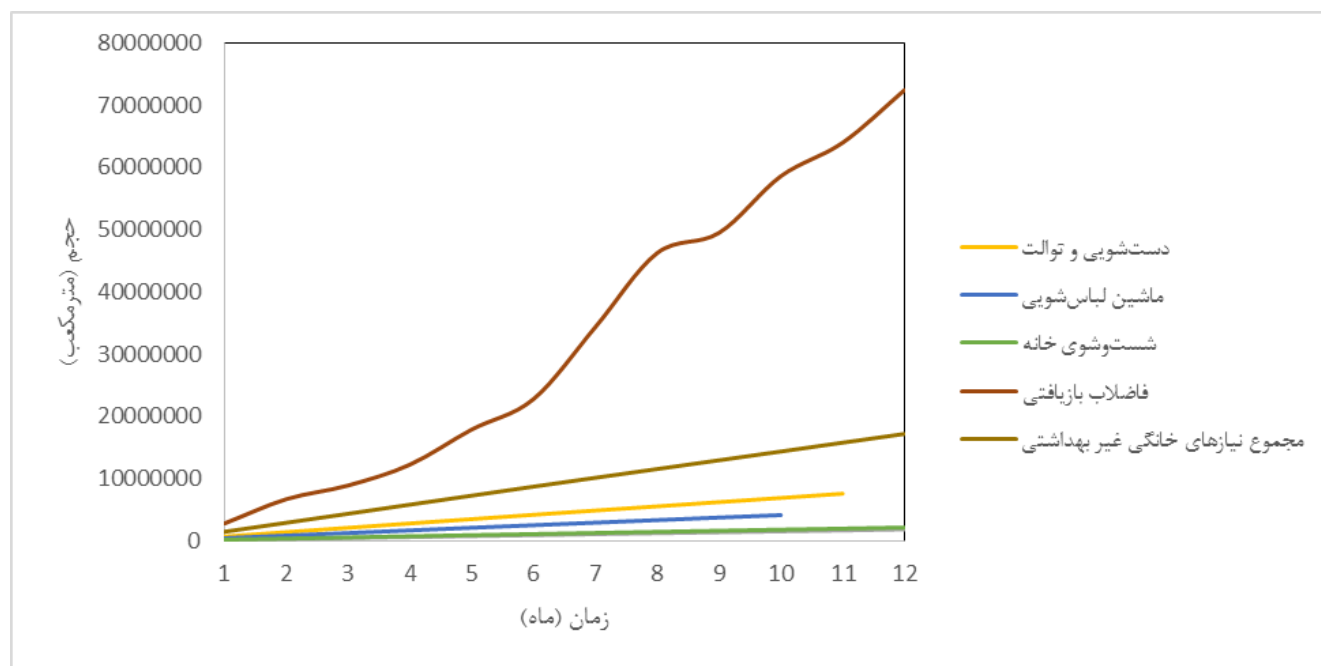
نتایج مربوط به برآورد حجم آب مورد نیاز برای مصارف مختلف و همچنین حجم آب قابل بازیابی در هر بخش به اختصار در جدول (۱-۴) نشان داده شده است.

جدول ۱-۴ - برآورد حجم آب مورد نیاز برای مصارف مختلف و همچنین حجم آب قابل بازیابی در هر بخش در سال ۱۴۰۰ در شهرستان رشت

کاربرد	حجم آب مورد نیاز (میلیون مترمکعب)	حجم آب قابل بازیابی (میلیون مترمکعب)
خانگی	۴۶/۰۳۴	۳۴/۵۳
رواناب بام	-----	۵۱/۷۳
کشاورزی	۴۴۰/۴۴	۳۶۰/۳۶
صنعتی	۱/۸۳	-----

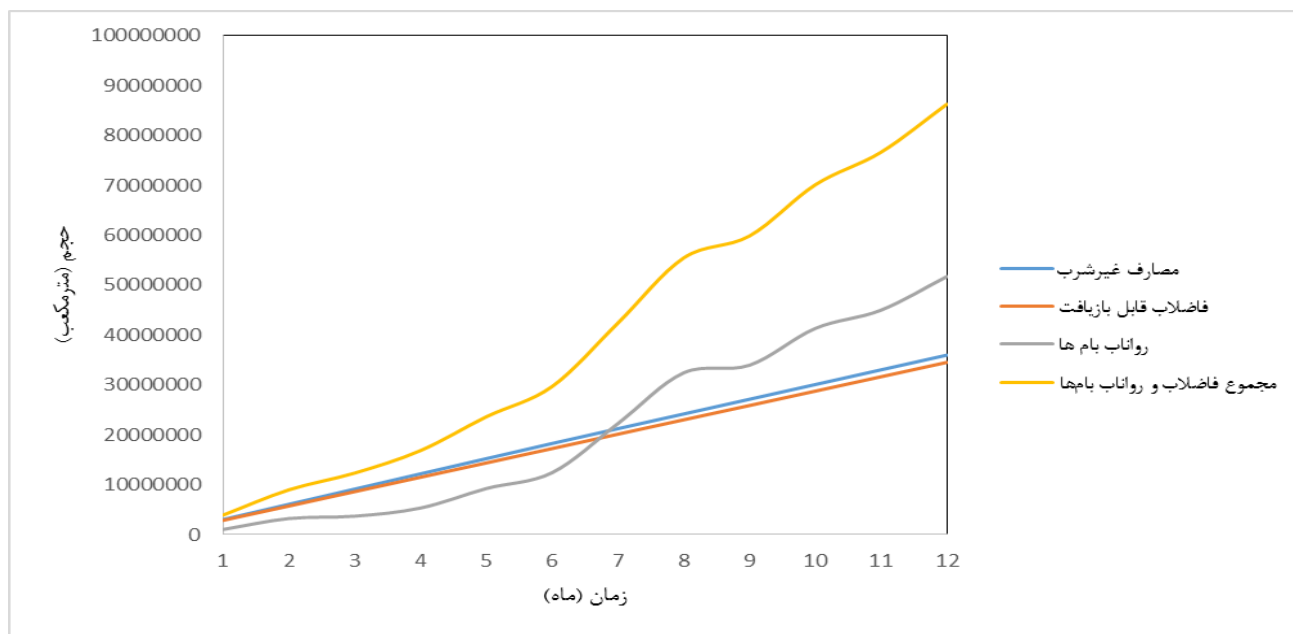
۱-۴- حجم آب قابل بازیابی در مناطق شهری برای مصارف شهری

با اعمال ضریب تبدیل آب به فاضلاب حجم فاضلاب خانگی رشت ۳۴۵۲۶۰۸۳/۵ مترمکعب محاسبه شد. همان طور که گفته شد حدود ۶۰ درصد از فاضلاب، آب خاکستری است. بنابراین کل حجم آب خاکستری در مناطق شهری شهرستان رشت ۲۰۷۱۵۶۵۰/۱ مترمکعب به دست آمد. همان گونه که در نمودار شکل (۱-۴) نشان داده شده است با در نظر گرفتن یک سامانه غیرمتمرکز از آب خاکستری برای مناطق مسکونی، این سامانه ۱۰۰ درصد نیاز مصارف غیربهداشتی بخش خانگی (دستشویی و توالت، ماشین لباسشویی و شست و شو خانه) را تامین می کند و این مسئله منجر به صرفه جویی ۴۱/۳۳ درصدی در مصرف آب شهری می شود.



شکل ۴-۱- نمودار تجمعی مصارف غیربهداشتی خانگی و فاضلاب بازیافتی

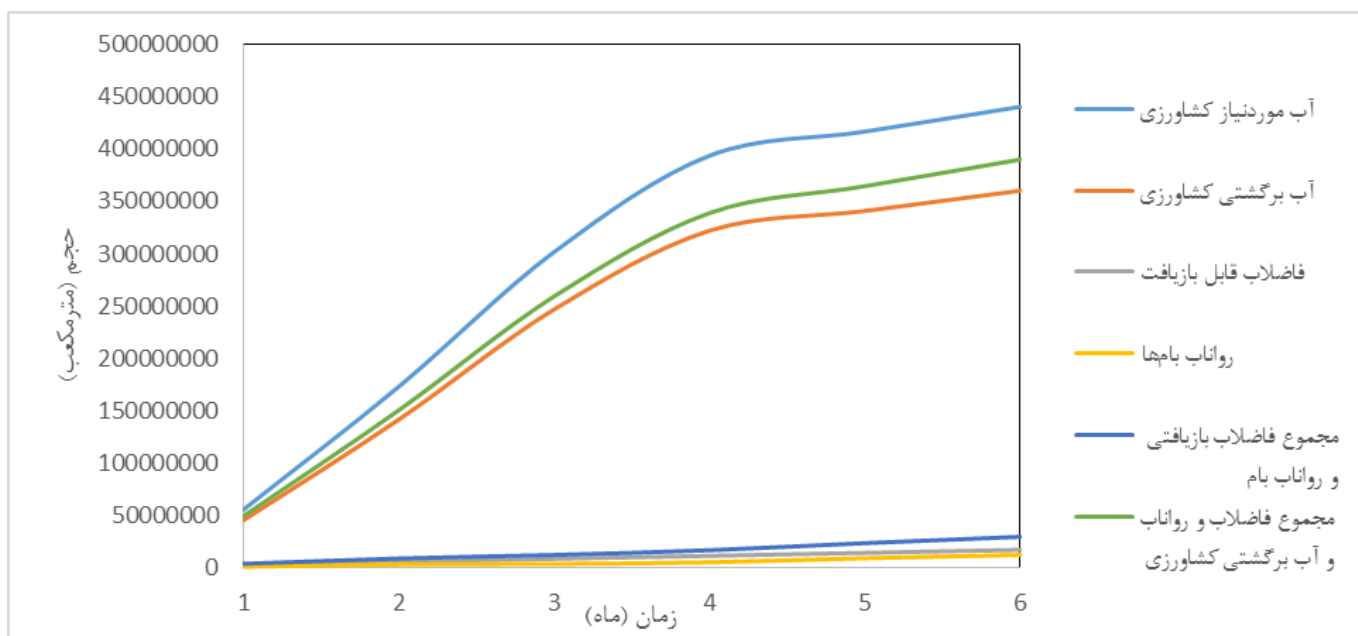
همان‌گونه که در نمودار شکل (۴-۲) نشان داده شده است. با در نظر گرفتن یک سامانه متمرکز از فاضلاب و رواناب بام‌ها برای مناطق مسکونی و تصفیه آب تا حد تصفیه ثانویه، این سامانه ۱۰۰ درصد نیاز مصارف غیرشرب (دستشویی و توالت، ماشین لباسشویی و شست‌و شو خانه، پخت‌وپز، استحمام، ظرفشویی و مصارف متفرقه) را تامین می‌کند. در صورتی که فقط از فاضلاب خانگی برای مصارف غیرشرب استفاده شود، این سامانه تقریباً ۹۶ درصد نیاز مصارف غیرشرب را تامین می‌کند. همچنین اگر فقط از رواناب بام‌ها برای مصارف غیرشرب استفاده شود، این سامانه طی ماه‌های فروردین تا شهریور تقریباً ۶۷ درصد نیاز مصارف غیرشرب را تامین می‌کند ولی طی ماه‌های مهر تا اسفند ۱۰۰ درصد نیاز مصارف غیرشرب را تامین می‌کند.



شکل ۴-۲- نمودار تجمعی مصارف غیرشرب خانگی و مجموع فاضلاب و رواناب قابل بازیابی در شهرستان رشت در سال ۱۴۰۰

۴-۲- حجم آب قابل بازیابی برای مصارف کشاورزی

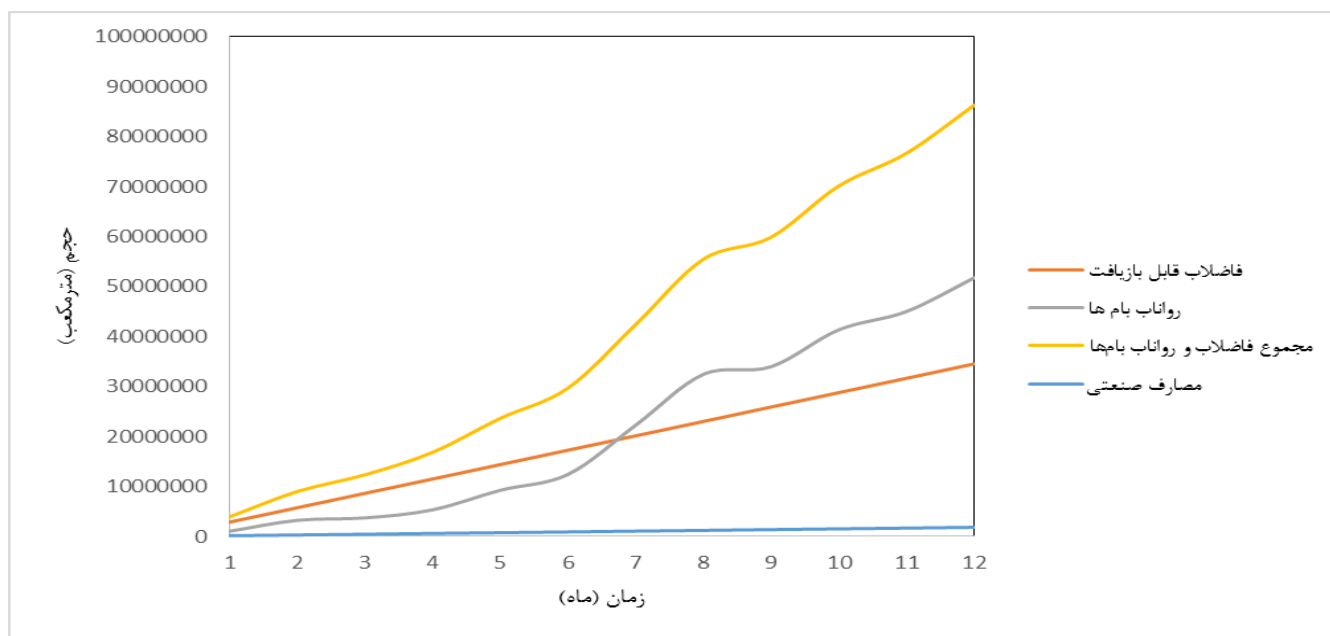
مجموع آب مصرفی در بخش کشاورزی در سال ۱۴۰۰ برابر با ۸۰۰/۸ میلیون مترمکعب است و با توجه به این که راندمان آبیاری ۵۵ درصد در نظر گرفته شد بنابراین ۴۵ درصد از مصارف بخش کشاورزی به آبهای برگشتی تبدیل می شود که برابر با ۳۶۰/۳۶ میلیون مترمکعب است. همان گونه که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است با در نظر گرفتن یک سامانه متمرکز از فاضلاب و رواناب بامها و آبهای برگشتی کشاورزی برای مصارف کشاورزی و تصفیه آب تا حد موردنیاز برای آبیاری کشاورزی، این سامانه حدود ۸۸ درصد نیاز آب در بخش کشاورزی را تامین می کند.



شکل ۳-۴- نمودار تجمعی مصرف آب در بخش کشاورزی و آب‌های قابل بازیابی برای مصرف کشاورزی در شهرستان رشت در ۶ ماه اول سال ۱۴۰۰

۳-۴- حجم آب قابل بازیابی برای مصارف صنعتی

مجموع آب مصرفی در بخش صنعتی در سال ۱۴۰۰ برابر با $1/83$ میلیون مترمکعب است همان‌گونه که در شکل (۴-۴) نشان داده شده است با در نظر گرفتن یک سامانه متمرکز از فاضلاب و رواناب بام‌ها برای مصارف صنعتی و تصفیه آب تا حد موردنیاز برای آبیاری کشاورزی، این سامانه ۱۰۰ درصد نیاز آب در بخش صنعتی را تامین می‌کند.



شکل ۴-۴- نمودار تجمعی مصرف آب در بخش صنعتی و آب‌های قابل بازیابی برای مصرف صنعتی در شهرستان رشت در سال ۱۴۰۰

هدف اصلی این گزارش ارائه آگاهی در مورد چالش‌های عظیم مرتبط با شیوه‌های استفاده مجدد از آب برای تامین آب قابل اطمینان و حفاظت از محیط‌زیست در آینده در سراسر جهان و ایران و به‌ویژه استان گیلان و شهرستان رشت و همچنین ارائه یک نمای کلی از راه حل‌ها و مزایای طراحی خوب، یکپارچه و "مناسب با هدف" و همچنین ارزیابی وضع موجود و ظرفیت‌ها بوده است. نتایج نشان می‌دهد که استان گیلان به‌ویژه شهر رشت ظرفیت‌های بسیار مناسبی برای ساخت، ترویج و گسترش سامانه‌های استفاده مجدد از آب دارد. البته طراحی و ساخت این سامانه‌ها مستلزم شناخت و بررسی عوامل موثر بر ساخت این آن‌ها است. بنابراین جهت ترویج این سامانه‌ها نیاز به پژوهش‌های گسترده‌تری در این زمینه است.

مراجع

- (۱) حقیقی اصل، ع و ا. احمدپور (۱۳۹۷)، تصفیه فاضلاب مفاهیم و رویکردهای طراحی، انتشارات دانشگاه سمنان.
- (۲) سازمان برنامه و بودجه کشور (۱۳۹۵)، "مبانی و ضوابط شبکه‌های فاضلاب و آب‌های سطحی".
- (۳) سلطانی، ف (۱۴۰۱)، "امکان‌سنجی استحصال آب باران بام‌ها برای مصارف غیر شرب (مطالعه موردی: شهر رشت)"، کارشناسی ارشد مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان.
- (۴) شرکت بهره‌بردار از شبکه‌های آبیاری و زهکشی گیلان (۱۳۹۷)، "مدیریت منابع و مصارف آب (برنامه تامین و توزیع آب کشاورزی) در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود".
- (۵) معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. (۱۳۸۴). "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی (نشریه شماره ۱۱۷-۳)".
- (۶) مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۳)، "مطالعات به‌سازی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان (جلد ۲۶)".
- (۷) یزدیان، م. م. ردایی و ه. حسینی (۱۴۰۱)، "تحلیل پایداری آب در ساختمان به‌منظور تجلی ساختمان‌های آب صفر خالص"، فصل‌نامه چشم‌انداز شهرهای آینده، ۱ (۹): صص ۴۳-۵۶.
- 8) Agency, E.E., 2005. The European Environment. State and Outlook 2005. Copenhagen.
- 9) Aghalari Z, Dahms H, Sillanpää M, Sosa-Hernandez JE, Parra-Saldívar R (2020) Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review. J Global Health 16:13.
- 10) Almuktar SAAAN, Abed SN, Scholz M (2018) Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. Environ Sci Pollut Res 25(24):23595–23623
- 11) Andersson K, Rosemarin A, Lamizana B, Kvarnström E, McConville J, Seidu R, Dickin S, Trimmer C (2020) Sanitation, wastewater management and sustainability: from waste disposal to resource recovery. 2nd edition. Nairobi and Stock
- 12) Angelakis, A.N., T. Asano, A. Bahri, B.E. Jimenez and G. Tchobanoglous. 2018. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. 6: 2018-May-11
- 13) Angelakis, A.N., V.A. Tzanakakis, A.G. Capodaglio and N. Dercas. 2023. A Critical Review of Water Reuse: Lessons from Prehistoric Greece for Present and Future Challenges. Water 15(13).
- 14) Asano, T., F. Burton and H. Leverenz. 2007. Water reuse: issues, technologies, and applications. McGraw-Hill Education pp .
- 15) Avellán T, Roidt M, Emmer A, Koerber JV, Schneider P, Raber W (2017) Making the Water–soil–waste nexus work: framing the boundaries of resource flows. J Multidiscip Digital Publish Inst Sustain 9(10):1–17.
- 16) Baggio, G., M. Qadir and V. Smakhtin. 2021. Population-driven water scarcity trends across countries and national income levels: Challenges and response options. Science of the Total Environment 792: 148230 .
- 17) Bank, W. 2018. Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa. The World Bank pp .

- 18) Bixio, D., C. Thoeye, T. Wintgens, A. Ravazzini, V. Miska, M. Muston, H. Chikurel, A. Aharoni, D. Joksimovic and T. Melin. 2008. Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination* 218(1): 13-23. 2008/01/05/
- 19) Brissaud, F. 2008. Criteria for water recycling and reuse in the Mediterranean countries. *Desalination* 218(1): 24/05/01/2008. 33-
- 20) Capodaglio A, Olsson G (2020) energy issues in sustainable urban wastewater management: demand reduction and recovery in the urban water cycle. *J Multidiscip Digital Publish Inst Sustain* 12(1):266.
- 21) Caucci S, Hettiarachchi H (Ed) (2017) The nexus approach and safe use of wastewater in agriculture: a workshop on policy and implementation for Tunisia. (Presented at Dresden, Tunisia, United Nations University Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources (UNU-FLORES))
- 22) Caucci S, Karkman A, Cacace D, Rybicki M, Timpel P, Voolaid V, Gurke R,... Berendonk TU (2016) Seasonality of antibiotic prescriptions for outpatients and resistance genes in sewers and wastewater treatment plant outflow. *J FEMS Microbial Ecology* 95(5).
- 23) Chen, Z., H.H. Ngo and W. Guo. 2012. A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. *Science of The Total Environment* 426: 13-31.
- 24) Chhipi-Shrestha G, Hewage G, Sadiq R (2017) Fit-for-purpose wastewater treatment: conceptualization to development of decision support tool (I). *J Sci Total Environ* 607–608, 600–612
- 25) Cossio C, Norrman J, McConville J, Mercado A, Rauch S (2020) Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries. *Environ Sustain Indicators* 6:100028.
- 26) Council, N.R. 2012. Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater. National Academies Press, Washington, D.C., pp .
- 27) Daughton C (2020) The international imperative to rapidly and inexpensively monitor communitywide Covid-19 infection status and trends. *J Sci Total Environ* 726:138–149
- 28) D'Este P, Iammarino S, Savona M, von Tunzelmann N (2012) What hampers innovation? Revealed barriers versus deterring barriers. *Res Policy* 41(2):482–488
- 29) Drechsel P, Mahjoub O, Keraita B (2015) Social and cultural dimensions in wastewater use. In Drechsel P, Qadir M, Wichelns D (Eds), *wastewater: economic asset in an urbanizing world. geographical focus: low- and middle-income countries* (pp 75–92). Dordrecht: Springer.
- 30) El-Agha, D.E., F. Molle, E. Rap, M. El Bialy and W.A. El-Hassan. 2020. Drainage water salinity and quality across nested scales in the Nile Delta of Egypt. *Environmental Science and Pollution Research* 27(26): 32239-32250. 2020/09/01
- 31) El-Gammal, H., A. Hatem and A. EL-Bahrawy, 2009. Assessment of water reuse as a non-conventional water resource in Egypt case study: Gharbia drain, Nile delta. 13th International Water Technology Conference, IWTC13, Hurgada, Egypt.
- 32) Eslamian, S. 2015. *Urban Water Reuse Handbook*. CRC Press, Boca Raton, 1177 pp .
- 33) Falkenmark, M. 1986. Fresh Water: Time for a Modified Approach. *Ambio* 15(4): 192-200 .
- 34) Falkenmark, M., J. Lundqvist and C. Widstrand. 1989. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. *Natural Resources Forum* 13(4): 258-267 .

- 35)Farreny, R., T. Morales-Pinzon, A. Guisasola, C. Taya, J. Rieradevall and X. Gabarrell. 2011. Roof selection for rainwater harvesting :quantity and quality assessments in Spain. *Water Res* 45(10): 3245-3254. May
- 36)Ghassemi F, Jakeman AJ, Nix HA (1995) Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management & case studies. CABI Publishing, Wallingford, UK, p 540
- 37)Goel RK, Flora JRV, Chen JP (2005) Flow equalization and neutralization. In Wang LK, Hung YT, Shammass NK (Eds), *Physicochemical treatment processes* (pp 21–45). Totowa, NJ: Humana Press
- 38)Grattan SR, Oster JD, Letey J, Kaffka SR (2014) Drainage water reuse: concepts, practices and potential crops. In: Chang AC, Brawer Silva D (eds) *Salinity and drainage in San Joaquin Valley, California: Science, technology, and policy*. Springer, Dordrecht, pp 277–302
- 39)Guy H, Mili V (2016) The costs of meeting the 2030 sustainable development goal targets on drinking water, Sanitation, and Hygiene. *J Open Knowl Repository- World Bank*
- 40)Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen and K. Tanaka. 2008. An integrated model for the assessment of global water resources – Part 2: Applications and assessments. *Hydrology and Earth System Sciences* 12(4): 1027-1037 .
- 41)Hanjra, M.A., P. Drechsel, D. Wichelns and M. Qadir. 2015. Transforming Urban Wastewater into an Economic Asset: Opportunities and Challenges. In: Drechsel, P., Qadir, M. & Wichelns, D. (Eds.), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 271-278.
- 42)Helmecke, M., E. Fries and C. Schulte. 2020. Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. *Environmental Sciences Europe* 32(4): 1-10 .
- 43)Hilgard EW (1886) *Irrigation and alkali in India*. College of Agriculture, University of California Press, Berkeley, Bulletin 86, 34 pp
- 44)Hogan, A. and M. Young. 2013. Visioning a future for rural and regional Australia. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 6(2): 319-330
- 45)Hueske AK, Endrikat J, Guenther E (2015) External environment, the innovating organization, and its individuals: a multilevel model for identifying innovation barriers accounting for social uncertainties. *J Eng Technol Manag* 35:45–70 .
- 46)IISS. 1999. Global water shortages. *Strategic Comments* 5: 1 .۲-
- 47)IWA (International Water Association). (2020). *Urban Sanitation and Wastewater*.
- 48)IWMI. 2013. *Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. International Water Management Institutepp .
- 49)Jaramillo, M.F. and I. Restrepo. 2017. Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about Its Limitations and Benefits. *9(10): 1734 .*
- 50)Jones, E., M. Qadir, M.T.H. van Vliet, V. Smakhtin and S.-m. Kang. 2019. The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment* 657: 1343-1356. 2019/03/20/
- 51)Jones, E.R., M.T.H. van Vliet, M. Qadir and M.F.P. Bierkens. 2021. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth Syst. Sci. Data* 13(2): 237-254 .
- 52)Khan, N. 2018. *Natural Ecological Remediation and Reuse of Sewage Water in Agriculture and Its Effects on Plant Health*. pp. 1-16.

- 53)Kehrein P, Loosdrecht MV, Osseweijer P, Garfí M, Dewulf J, Posada J (2020) A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants—market supply potentials, technologies, and bottlenecks. *J Environ Sci: Water Res Technol* 6(4):877–910.
- 54)Kiparsky M, Thompson Jr BH, Binz C, Sedalk DL, Tummers L, Truffer B (2016) Barriers to Innovation in Urban Wastewater Utilities: Attitudes of Managers in California. *J Environ Manag* 57:1204–1216.
- 55)Korostynska O, Mason A, Al-Shamma'a AI (2013) monitoring pollutants in wastewater: traditional lab based versus modern real-time approaches. In Mukhopadhyay SC, Mason A (Eds), *Smart sensors for real-time water quality monitoring*, 4, 1–24.
- 56)Lazarova, V. and A. Bahri. 2005. *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*. pp .
- 57)Liu, J., H. Yang, S.N. Gosling, M. Kumm, M. Florke, S. Pfister, N. Hanasaki, Y. Wada, X. Zhang, C.
- 58)Lee, M.-Y. and J.A.M. Mendoza. 2022. Evaluation and diagnosis for policy of water reuse in the Republic of Korea. *Water Cycle* 3: 171-179.
- 59)Mahmood Q, Pervez A, Zeb BS, Zaffar H, Yaqoob H, Waseem M, ... Afsheen S (2013) Natural treatment systems as sustainable ecotechnologies for the developing countries. *BioMed Research International*, 2013
- 60)Markman DW, Antolin MF, Bowen RA, Wheat WH, Woods M, Gonzalez-Juarrero M, Jackson M (2018) *Yersinia pestis* survival and replication in potential ameba reservoir, *Emerging Infectious Diseases*, 24(2): 294–302
- 61)Mekonnen, M.M. and A.Y. Hoekstra. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 2(2): e150032 .³
- 62)Metcalf, I. Eddy, T. Asano, F. Burton, H. Leverenz, R. Tsuchihashi and G. Tchobanoglous. 2007. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. pp .
- 63)Miller-Robbie, L., A. Ramaswami and P. Amerasinghe. 2017. Wastewater treatment and reuse in urban agriculture: exploring the food, energy, water, and health nexus in Hyderabad, India. *Environmental Research Letters* 12(7): 075005. 2017/07/04
- 64)Minhas PS, Ramos TB, Ben-Gal A, Pereira LS (2020) Coping with salinity in irrigated agriculture: crop evapotranspiration and water management issues. *Agric Water Manag* 227:105832
- 65)Munne, A., C. Sola, E. Ejarque, J. Sanchis, P. Serra, I. Corbella, M. Aceves, B. Galofre, M.R. Boleda, M. Paraira and J. Molist. 2023. Indirect potable water reuse to face drought events in Barcelona city. Setting a monitoring procedure to protect aquatic ecosystems and to ensure a safe drinking water supply. *Sci Total Environ* 866: 161339. Mar 25
- 66)Muralikrishna IV, Manickam V (2017) Wastewater treatment technologies. In *Environmental management* (pp 249–293). Elsevier
- 67)Negreanu Y, Pasternak Z, Jurkevitch E, Cytryn E (2012) Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in agricultural soils. *J Environ Sci Technol* 46(9):4800–4808.
- 68)Olivieri, A.W., B. Pecson, J. Crook and R. Hultquist. 2020. California water reuse—Past, present and future perspectives. *Wastewater treatment and Reuse – Present and future perspectives in technological developments and management issues*, pp. 65-111.

- 69)Oster JD, Wichelns D (2014) E.W. Hilgard and the history of irrigation in the San Joaquin Valley: stunning productivity, slowly undone by inadequate drainage. In: Chang AC, Brawer Silva D (eds) Salinity and drainage in San Joaquin Valley, California: Science, technology, and policy. Springer, Dordrecht, pp 7–46
- 70)Pearce, G.K. 2008. UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications: a comparison of energy costs. *Desalination* 222(1): 66-73. 2008/03/01/
- 71)Perraton SC, Blackwell BD, Fischer A, Gaston TF, Meyers GD (2014) Systemic barriers to wastewater reuse in Australia: some jurisdictional examples. *Australasian J Environ Manag* 22(3):355–372.
- 72)Qadir M, Sharma BR, Bruggeman A, Choukr-Allah R, Karajeh F (2007) Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agric Water Manag* 87(1):2–22
- 73)Qadir, M., P. Drechsel, B. Jiménez Cisneros, Y. Kim, A. Pramanik, P. Mehta and O. Olaniyan. 2020. Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum* .٥١-٤٠ : (١)٤٤
- 74)Qadir, M., V. Smakhtin, S. Koo-Oshima and E. Guenther. 2022. The Future of Unconventional Water Resources. In: Qadir, M., Smakhtin, V., Koo-Oshima, S. & Guenther, E. (Eds.), *Unconventional Water Resources*. Springer, Cham, pp. 299-309.
- 75)Qadir, M., G. Sposito, C.J. Smith and J.D. Oster. 2021. Reassessing irrigation water quality guidelines for sodicity hazard. *Agricultural Water Management* 255: 107054. 2021/09/01/
- 76)Radcliffe, J.C. and D. Page. 2020. Water reuse and recycling in Australia — history, current situation and future perspectives. *Water Cycle* 1: 19-40.
- 77)Rahman, M., D. Hagare and B. Maheshwari. 2016. Use of Recycled Water for Irrigation of Open Spaces: Benefits and Risks. pp. 261-288.
- 78)Raskin, P., P. Gleick, P. Kirshen, G. Pontius and K. Strzepek. 1997. Water futures: assessment of long-range patterns and problems. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. SEIpp .
- 79)Rebelo, A., M. Quadrado, A. Franco, N. Lacasta and P. Machado. 2020. Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle* 1: 41-53.
- 80)Rhoades JD, Kandiah A, Mashali AM (1992) The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 48*. FAO, Rome
- 81)Rhoades JD (1999) Use of saline drainage water for irrigation. In: Skaggs RW, van Schilfgaarde J (eds) *Agricultural drainage*. Agronomy Monographs No. 38, vol 38. American Society of Agronomy (ASA), Madison, WI, pp 615–657
- 82)Rizzo L, Gernjak W, Krzeminski P, Malato S, McArdell CS, Perez JA, Schaar H, Fatta-Kassinos D (2020) Best available technologies and treatment trains to address current challenges in urban wastewater reuse for irrigation of crops in EU countries. *Sci Total Environ* 710. 136312.
- 83)Roberts MC (2017) One health. the role wastewater treatment plants as reservoirs, amplifiers, and transmitters of antibiotic resistance genes and antibiotic resistant bacteria. In Keen PL, Fugère R (Eds), *Antimicrobial resistance in wastewater treatment processes* 35–53. Wiley

- 84)Rodriguez DJ, Serrano HA, Delgado A, Nolasco D, Saltiel G (2020) From Waste to resource: shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean
- 85)Saad, M., M. Mohamed, M.A. Bayoumi, M.G. Zoghdan and R.A. El-Dissoky. 2015. Sustainable safe reuse of drainage water in agriculture at north delta soils, Egypt. 7: 1033-1043. 01/01
- 86)Schapira M, Manor O, Golan N, Kalo D, Mordehay V, Kirshenbaum N, Goldsmith R,... Paltiel O (2020) Involuntary human exposure to carbamazepine: a cross-sectional study of correlates across the lifespan and dietary spectrum. J Environ Int 143:105951.
- 87)Shaban, M. 2020. Drainage water reuse in the Nile Delta of Egypt: Fitting density functions and assessing temporal trends*. 69(4): 788-805 .
- 88)Shiklomanov, I.A. 1991. The world's water resources. Proceedings of the international symposium to commemorate 25 Years of the IHP. Paris, France, pp. 93-126.
- 89)Smakhtin, V., C. Revenga and P. Döll, 2004. Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments. Comprehensive Assessment Research Report 2. IWMI, Colombo, Sri Lanka.
- 90)Sullivan, C.A., J.R. Meigh and A.M. Giacomello. 2003. The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. Natural Resources Forum 27(3): 189-199 .
- 91)Takeuchi, H. and H. Tanaka. 2020. Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. Water Cycle 1: 1-12.
- 92)Tanji KK, Kielen NC (2002) Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas: Issue 61 of FAO Irrigation and Drainage Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy
- 93)Tzanakakis, V.E., N.V. Paranychanaki and A.N. Angelakis. 2007. Soil as a wastewater treatment system: historical development. Water Supply 7(1): 6 .
- 94)UNICEF (United Nations Children's Fund) and WHO (World Health Organization) (2019) Progress on household drinking water, sanitation, and hygiene 2000–2017: Special focus on inequalities. New York: UNICEF and WHO 138.
- 95)UN-Water (2015) UN-Water Analytical Brief on Wastewater Management. UN-Water. Geneva, Switzerland: UN
- 96)UN-Water, 2020. UN-Water Analytical Brief on Unconventional Water Resources.
- 97)UN-Water, 2021. UN-Water Integrated Monitoring Initiative for SDG 6 (IMI-SDG6.(
- 98)Urkiaga, A., L. de las Fuentes, B. Bis, E. Chiru, B. Balasz and F. Hernández. 2008. Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse. Desalination 218(1): 81-91. 2008/01/05/
- 99)USEPA. 2012. Guidelines for Water Reuse. US Environmental Protection Agency, Anchorage, AK, USApp .
- 100)Valentina Lazarova, Takashi Asano, Akiça Bahri and J. Anderson. 2013. Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories. IWA Publishing, London, pp .
- 101)Van Rossum, T. 2020. Water reuse and recycling in Canada — history, current situation and future perspectives. Water Cycle 1: 98-103.
- 102)van Vliet, M.T.H., E.R. Jones, M. Flörke, W.H.P. Franssen, N. Hanasaki, Y. Wada and J.R. Yearsley. 2021. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. Environmental Research Letters 16(2): 024020 .

- 103)Ventura D, Consoli S, Barbagallo S, Marzo A, Vanella D, Licciardello F, Cirelli GL (2019) How to overcome barriers for wastewater agricultural reuse in sicily (Italy)? J Multidiscip Publishing Inst Water 11(2):335.
- 104)Voulvoulis N (2018) Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. J Curr Opin Environ Sci Health 2:32–45.
- 105)Wade Miller, G. 2006. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. Desalination 187(1-3): 65-75 .
- 106)Ward, S., F.A. Memon and D. Butler. 2012. Performance of a large building rainwater harvesting system. Water Res 46(16): 5127-5134 .Oct 15
- 107)Weber S, Khan S, Hollender J (2006) Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation. J Desalination 187(1–3):53–64
- 108)WEF. 2020. The Global Risk Report 2020. World Economic Forum, pp.
- 109)WEF. 2021. The Global Risks Report 2021 World Economic Forum pp
- 110)Whitney M, Means TH (1897) An electrical method of determining the soluble salt content of soils. (USDA Soils Division Bulletin 8). US Government Printing Office, Washington, DC, 30 pp
- 111)WHO (World Health Organization)& UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme) (2018) Progress on Safe Treatment and Use of Wastewater: Piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.1.40. Geneva: WHO and UN-Habitat
- 112)WHO (World Health Organization)& UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme) (2018) Progress on Safe Treatment and Use of Wastewater: Piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.1.40. Geneva: WHO and UN-Habitat.
- 113)WHO (World Health Organization) (2019) Critically important antimicrobials for human medicine 6th revision. J World Health Organ 6:45.
- 114)WRC (Water Research Commission). (2015). Wastewater Treatment Technologies—A Basic Guide
- 115)WWAP, 2017. The United Nations World Water Development Report. Paris, France.
- 116) www.amar.org.ir
- 117)Zahari, C (2017). Comparative overview of primary sedimentation-based mechanical stage in some Romanian wastewater treatment systems. IOP conference series: materials science and engineering, 227, 012138.
- 118)Zeng, Z., J. Liu and H.H.G. Savenije. 2013. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. Ecological Indicators 34: 441-449 .
- 119)Zheng, J. Alcamo and T. Oki. 2017. Water scarcity assessments in the past, present and future. Earth's Future 5(6): 545-559. Jun