Potential Application of Reclaimed Water for Potable Reuse: Part I- Introduction to Potable Reuse

M. Kayhanian[1], G. Tchobanoglous[2]

1. Prof., Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA 95616
(Corresponding Author) mdkayhanian@ucdavis.edu,
2. Prof., Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA 95616 gtchobanglous@ucdavis.edu

(Received Apr. 11, 2018 Accepted June 7, 2018)

To cite this article :
Kayhanian, M. and Tchobanoglous, G., 2018, "Potential application of reclaimed water for potable reuse: part I: introduction to potable reuse" Journal of Water and Wastewater, 29 (4), 3-22.
Doi: 10.22093/wwj.2018.101905.980. (In Persian)

Archive of SID

Abstract

As Iran moves forward with the development of a sustainable integrated water management plan, water reuse, including the potable reuse, can play an important role in the overall success and implementation of the plan. As part of this effort, the Iranian journal of water and wastewater requested papers on the subject of water reuse. In response to that request, this paper, to be published in three parts, deals specifically with the subject of water reuse and the potential application of potable reuse in Iran. The principal focus of this paper (Part I) is on the background information that is necessary to understand and assess the potential application of potable reuse in Iran. Topics addressed in this paper include: 1) consideration for why potable water reuse in Iran, 2) background information on potable water reuse, 3) a comparative assessment of potable water reuse with alternative sources of water supplies. The information presented in this paper is needed to understand the issues and challenges presented in the subsequent papers. Technical and regulatory issues related to potable reuse are considered in Part II. The path forward and implementation challenges, including public outreach, are addressed in Part III.

Keywords: Water Reuse, Potable Reuse (PR), Indirect Potable Reuse, Direct Potable Reuse, Comparative Energy/Carbon Footprints, Comparative Costs Issues.

www.SID.ir

پتانسیل استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی
بخش اول - مقدمه‌ای بر استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی

مسعود کیهانیان[۱]، جورج چوبانوگلوس[۲]

۱- استاد، بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، کالیفرنیا، آمریکا
(نویسنده مسئول) mdkayhanian@ucdavis.edu
۲- استاد، بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، کالیفرنیا، آمریکا
gtchobanglous@ucdavis.edu

(دریافت ۹۷/۱/۲۲ پذیرش ۹۷/۳/۱۷)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
کیهانیان، م.، چوبانوگلاس، ج.، ۱۳۹۷، " پتانسیل استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی بخش اول - مقدمه‌ای بر استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی" مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۴)، ۲۲-۳. Doi: 10.22093/wwj.2018.101905.980

چکیده

همان‌طور که ایران در زمینه برنامه‌ریزی منابع آب با هدف توسعه پایدار به پیش می‌رود، استفاده مجدد از آب، از جمله برای مصارف خانگی، در میزان موفقیت و به‌کارگیری برنامه‌های کلی مدیریت منابع آب نقش مهمی ایفا می‌کند. به‌عنوان بخشی از این تلاش، مجله آب و فاضلاب ایران درخواست و اقدام به چاپ مقالاتی در زمینه استفاده مجدد از آب نمود. این مقاله در پاسخ به این درخواست تهیه شده و در سه بخش ارائه می‌شود و به طور ویژه به موضوع استفاده مجدد از آب و کاربردهای بالقوه آن برای مصارف خانگی در ایران می‌پردازد. در بخش اول این مقاله، اطلاعات لازم برای درک و ارزیابی پتانسیل به‌کارگیری استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در ایران ارائه می‌شود. عناوین مورد بحث در این مقاله شامل موارد زیر است: ۱) ملاحظاتی در رابطه با دلایل استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی در ایران، ۲) اطلاعات زمینه‌ای در مورد استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی، و ۳) ارزیابی آب بازیافت‌شده برای مصارف خانگی در مقایسه با دیگر منابع آبی. اطلاعات ارائه‌شده در این مقاله برای فهم مسائل و چالش‌های ارائه شده در مقالات بعدی ضروری است. مسائل فنی و مقررات مربوط به سلامتی عمومی و محیط‌زیستی در ارتباط با استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی در بخش دوم ارائه می‌شود. در مورد راه‌های پیشبرد این اهداف و مقابله با چالش‌ها، از جمله ارتباطات و تبلیغات عمومی در ارتقای دانش مردم، در بخش سوم بحث می‌شود.

واژه‌های کلیدی: استفاده مجدد آب، استفاده مجدد برای مصارف خانگی، استفاده مجدد غیر مستقیم، استفاده مجدد مستقیم، مقایسه ردپای انرژی / کربن، مقایسه هزینه

۱- مقدمه

مشکل کمبود آب در ایران در سال‌های اخیر به‌خوبی قابل مشاهده است. قبل از این که مسئله از کنترل خارج شود، باید در این مورد اقدامی اساسی صورت گیرد. در پژوهش‌های قبلی نویسندگان اشاره شده است که مشکل کمبود آب در ایران به چند عامل از جمله کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی مربوط می‌شود.

سرانه متوسط آب تجدید پذیر ایران در سال ۲۰۰۶ کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب گزارش شده بود و انتظار می‌رود این مقدار تا سال ۲۰۲۰ به ۱۱۰۰ مترمکعب کاهش یابد (Kayhanian and Tchobanoglos, 2016).

وقتی سرانه مقدار آب در دسترس به این سطوح برسد، کشور یا منطقه مربوطه دچار تنش، یا فقر آب می‌شود (Damkjaer and Taylor, 2017).

بر این اساس در حال حاضر ایران دچار تنش آبی است و در آینده نزدیک در سطح کم‌آبی قرار خواهد گرفت. برای جلوگیری از

Archive of SID
www.SID.ir

رسیدن به سطح کم‌آبی، ایران باید طرح جامعِ پایدار منابع آبی را در صدر برنامه مدیریتی خود قرار دهد که شامل برنامه کارآمدی برای استفاده مجدد از آب هم باشد (Kayhanian and Tchobanoglous, 2016). به‌کارگیری طرح جامع پایدار مدیریت آب همراه با برنامه استفاده مجدد از آب، با توجه به موارد زیر، ایران را قادر می‌سازد تا به صورت بالقوّه منابع آب تجدید پذیر را گسترش دهد:

• جایگزین کردن فاضلاب تصفیه شده برای فعالیت‌هایی که شامل استفاده انسانی نمی‌شوند (مثلاً استفاده مجدد به‌عنوان آب غیرشرب و یا مصارف خانگی)؛

• تقویت کردن منابع آب موجود و فراهم کردن منابع دیگری برای آب شرب و مصارف خانگی، به‌منظور کمک به نیاز حال حاضر و آینده؛

• حفاظت از آب رودخانه‌ها و آبراهه‌ها درحد مورد نیاز برای احتیاجات مختلف و همچنین کاهش دادن کمیت مواد مغذی و دیگر آلاینده‌های ورودی به آبراهه‌ها؛

• کاهش نیاز به سازه‌های گران قیمت کنترل آب؛

• مدیریت بهینه خروجی‌های فاضلاب به محیط زیست و پیروی از مقررات محیط‌زیستی.

۱-۱- پیش‌زمینه

در حال حاضر، استفاده مجدد از آب در ایران در مراحل اولیه توسعه است و بخش عمده‌ای از آب تصفیه شده برای مصارف غیر خانگی به ویژه در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (Eslamian and Tarkesh 2011, Razaghi et al. 2013, Tajrishy et al., 2014).

محدود بودن سیستم جمع‌آوری فاضلاب و زیرساخت‌های تصفیه فاضلاب برنامه‌های توسعه بازیافت آب در ایران را محدود می‌کند. البته وضعیت زیرساخت‌های بهداشتی محیط‌های شهری و اجرای بیشتر شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در ایران در سال‌های اخیر رو به بهبود و گسترش بوده است. یک مثال واضح در مورد این پیشرفت، ساخت یک تصفیه‌خانه بزرگ در جنوب تهران با ظرفیت عملیاتی حدوداً یک میلیون متر مکعب در روز است. تصفیه‌خانه‌های متعدد دیگری نیز در تهران و سایر شهرهای ایران برنامه‌ریزی شده و یا در حال ساخت است. در واقع، ایران برنامه دارد در سال‌های آینده درصد بیشتری از فاضلاب سراسر کشور را جمع‌آوری و تصفیه کند. همانطور که در کشورهای دیگر بهره‌برداری شده است، پساب تصفیه‌شده این تصفیه‌خانه‌ها در بهترین حالت برای استفاده‌های مجدد از جمله مصارف خانگی و غیر خانگی مناسب خواهد بود تا از این طریق از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مقابل برداشت بیش از حد محافظت شود.

توسعه برنامه استفاده مجدد از آب به نحوی که در آن آب بازیافت شده برای طیف وسیعی از کاربردهای خانگی و غیرخانگی مورد استفاده قرار گیرد، بخش مهمی از برنامه جامع مدیریت منابع آب را پوشش خواهد داد.

به عنوان بخشی از این تلاش، هیئت تحریریه مجله آب و فاضلاب اقدام به فراخوان و چاپ مقالاتی در ارتباط با استفاده مجدد از آب نمود. این مقاله، که قرار است در سه بخش منتشر شود، در پاسخ به این فراخوان تهیه و تنظیم شده است.

تمرکز کلی این مقالات سه‌بخشی بر کاربرد بالقوه استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در ایران است. موضوعاتی که در بخش اول مقالات (همین مقاله) مورد بحث قرار گرفته‌اند عبارتند از:

۱- مقدمه‌ای در مورد این که چرا استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در ایران باید مد نظر قرار بگیرد.

۲- مقدمه‌ای بر استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی[1].

۳- هزینه‌ها و نیاز انرژی و رد پای کربن.

۴- مقایسه‌ای بین منبع آب بازیافت شده و منابع دیگر تأمین آب برای مصارف خانگی.

بر اساس اطلاعات زمینه‌ای ارائه شده در مقاله اول، مسائل فنی و مقررات محیط زیستی در مقاله دوم بررسی می‌شوند. در مقاله سوم در مورد راه‌های پیشبرد و چالش‌های به‌کارگیری، از جمله نقش تبلیغات عمومی در ارتقای دانش مردم، بحث می‌شود.

۲- چرا استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی در ایران مورد توجه است؟

پاسخ به این سؤال که چرا استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی

[1] Potable Reuse (PR)

Archive of SID
www.SID.ir

در ایران مورد توجه و اهمیت است، با در نظر گرفتن چگونگی تبدیل شهرهای آینده به شهرهای پایدار پاسخ داده می‌شود. یکی از اجزای اصلی شهرهای پایدار در سراسر جهان از جمله در ایران داشتن منبع آب پایدار و قابل اطمینان است. در حال حاضر، به دلیل کمبود آب و نبود دسترسی به منابع آب سطحی کافی در شهرهای بزرگ، جوامع انسانی برای تأمین آب مورد نیاز به برداشت آب‌های زیرزمینی اتکا می‌کنند. به همین دلیل در ۵۰ سال گذشته، ایران حدود ۷۰ درصد منابع آب زیرزمینی را که ذخیره آن میلیون‌ها سال طول کشیده است، در این مدت کوتاه به صورت بی‌رویه استفاده کرده است. اگر این اقدام بی‌رویه مصرف آب کنترل نشود، عدم تناسب بین تغذیه منابع آب زیرزمینی و برداشت از آن در آینده بیشتر نیز خواهد شد. رعایت نکردن این تناسب، عامل اصلی نشست زمین، پیشروی آبهای شور به آب‌های زیرزمینی و افت هر چه بیشتر سطح ایستابی در سراسر ایران شده است.

آب بازیافت شده با تصفیه پیشرفته را می‌توان به منبع آب زیرزمینی که رو به اتمام است هدایت کرد و نهایتاً برای استفاده مجدد از آن برای مصارف خانگی و غیر خانگی استفاده نمود.

در گذشته، آب بازیافت شده فقط برای مصارف غیرخانگی در نواحی شهری مورد استفاده قرار می‌گرفت. ولی به کمک فناوری‌های پیشرفته و به کارگیری تأسیسات غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب، اکنون این امکان فراهم آمده است که از آب بازیافتی برای مصارف خانگی هم استفاده شود. همانطور که در آینده در این مقاله بحث خواهد شد، در نواحی شهری استفاده آب بازیافتی از طریق تصفیه پیشرفته برای مصارف خانگی در مقایسه با آب تولید شده از طریق نمک‌زدایی آب شور و تبدیل آن به آب شیرین گزینه بهتری است. استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی نسبت به واردات آب نیز گزینه بهتری است، زیرا که به انرژی کمتری نیاز دارد و ردپای کربن کمتری بر جای می‌گذارد.

به علاوه، استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی در مناطق شهری برای درازمدت پایدارتر است و نهایتاً، استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی از بار برداشت آب از منابع آبی سطحی و زیرزمینی می‌کاهد.

۳- سیستم استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی

استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی شامل استفاده از فاضلاب شهری، بعد از تصفیه پیشرفته کامل، به‌عنوان منبع آب حتی برای آشامیدن است.

از این منظر، فاضلاب شهری دیگر یک منبع زائد که باید دفع شود، نیست، بلکه به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر و برگشت‌پذیر آب شرب، و منبع انرژی به‌حساب می‌آید (Tchobanoglous, 2012). برخی از جنبه‌های استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در مقاله مقدماتی نویسندگان آورده شده است (Kayhanian and Tchobanoglous, 2016).

انواع استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی، عناصر کلیدی آن و مثال‌های برجسته از پروژه‌های استفاده مجدد آب در مصارف خانگی در این بخش از مقاله بررسی می‌شوند.

۳-۱- انواع استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی

اصلی‌ترین انواع استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی که در حال حاضر در دنیا مطرح هستند، شامل استفاده مجدد "برنامه‌ریزی نشده" و " استفاده مجدد برنامه‌ریزی شده" هستند.

استفاده مجدد برنامه‌ریزی نشده" برای مصارف خانگی که آن را اغلب استفاده بالفعل نیز می‌نامند، زمانی رخ می‌دهد که آب‌های سطحی پایین دست، که در معرض رهاسازی فاضلاب در بالادست است، به‌عنوان منبع آب شرب و مصارف خانگی استفاده می‌شوند. استفاده مجدد بالفعل، به‌ویژه در مورد رودخانه‌ها، در بسیاری از منابع آب سطحی در جهان پدیده‌ای رایج است (NRC, 2012) و حداقل ۱۰۰ سال است که با وجود مشکلات و چالش‌ها، پدیده پذیرفته شده‌ای است (Hazen, 1914). متأسفانه استفاده بالفعل رسماً به‌عنوان استفاده مجدد از آب شناخته نمی‌شود (USEPA, 2012) و هر زمان که در ادبیات مروری راجع به استفاده مجدد از آب برای مصرف خانگی بحث می‌شود، بحث معمولاً فقط به استفاده مجدد برنامه‌ریزی شده مربوط است.

از طرفی دو نوع استفاده مجدد برای مصرف خانگی برنامه‌ریزی شده وجود دارد:

۱) استفاده مجدد از آب برای مصرف خانگی به‌طور غیر مستقیم[1]

۲) استفاده مجدد از آب برای مصرف خانگی به‌طور مستقیم[2].

[1] Indirect Potable Reuse (IPR)
[2] Direct Potable Reuse (DPR)

Archive of SID
www.SID.ir

این دو نوع مختلف PR در شکل ۱ به نمایش در آمده‌اند و در جدول ۱ توصیف شده‌اند.

تفاوت اصلی بین دو نوع PR این است که در IPR، فاضلابی که تصفیه پیشرفته شده است به یک محیط حائل آب طبیعی مثلاً سفره آب زیرزمینی یا مخزنی از آب سطحی اضافه می‌شود تا با دادن زمان نگهداری کافی به آب، قبل از برداشت برای استفاده آشامیدنی و یا خانگی با آب‌های طبیعی دیگر مخلوط شده و به این وسیله از سلامت آن اطمینان حاصل شود. استفاده محیط‌های حائل طبیعی برای IPR در قسمت دوم این سری مقالات بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در DPR، فاضلابی که تصفیه پیشرفته شده است، از طریق مخلوط شدن با آب منابع طبیعی دیگر، قبل از اینکه جریان مخلوط شده در تصفیه‌خانه آب آشامیدنی تصفیه شود، منبع آب خام را تقویت می‌کند.

اگر تصفیه‌خانه پیشرفته به‌عنوان تصفیه‌خانه آب شرب هم کاربرد داشته باشد، آب نهایی به صورت بالقوّه می‌تواند مستقیماً به سیستم توزیع آب شرب تزریق شود (شکل ۱-b). در هر دو نوع کاربرد DPR، امکان استفاده از حائل آب ذخیره شده مهندسی[1] وجود دارد. هدف از حائل آب ذخیره شده مهندسی عبارت است از: ۱) فراهم آوردن تأسیساتی با حجم کافی برای نگهداری آبی که به‌صورت پیشرفته تصفیه شده[2] تا در صورت اختلال در تصفیه‌خانه پیشرفته آب، زمان کافی برای ایجاد اصلاحات در دست باشد؛ ۲) از مخلوط شدن ATW که استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی را ندارد با سایر منابع آب جلوگیری کند؛ و ۳) از تزریق ATW نهایی که استانداردهای کیفی لازم را ندارد به سیستم آب شرب ممانعت نماید (Tchobanoglous et al., 2012).

بنا به دلایل و مسائل ناشناخته زیاد و نگرانی از سلامت عمومی، در حال حاضر سیستم‌های DPR که مستقیماً ATW نهایی را به شبکه توزیع آب خانگی وارد می‌کند، مورد استفاده عملی چندانی ندارد.

همچنین سیستم‌های DPR برای ایران هم توصیه نمی‌شود و از این رو در این مقاله هم مورد بحث قرار نگرفته‌اند. در آینده و زمانی که اطلاعات بیشتری در این باره در دسترس باشد و تجارب بیشتری از به‌کارگیری سیستم‌های DPR به‌دست بیاید، امکان تزریق مستقیم ATW به سیستم توزیع آب اشامیدنی مقدور خواهد بود.

همچنین، همان‌طور که در جدول ۱ نیز گزارش شده است، ایالت کالیفرنیا در ماه اکتبر ۲۰۱۷ تعاریف و اختصارات جدیدی (AB 574) را برای استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی به کار گرفت. گرچه اختصارات به کار گرفته شده توسط ایالت کالیفرنیا متفاوت از ادبیات متداول است، ولی مفهوم آن‌ها با تعاریف مرسوم چندان فرقی ندارد. لازم است در آینده تعاریف و اختصارات مورد استفاده در PR استانداردسازی شود.

۳-۲- عناصر اصلی سیستم استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی

عناصر اصلی برای به‌کارگیری موفقیت‌آمیز یک سیستم PR پایدار عبارت اند از: ۱) ملاحظات مربوط به مقررات سلامتی عموم و محیط زیست، ۲) مسائل فنی مربوط به استحصال آب آشامیدنی سالم، و ۳) تبلیغات عمومی در ارتقای دانش مردم. این سه عنصر کلیدی، به نحوی که در شکل ۲ به نمایش در آمده است، با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. در این بخش مختصراً در مورد موفقیت یک برنامه PR در ارتباط با هر کدام از این عناصر کلیدی بحث می‌شود. برای اطّلاعات بیشتر راجع به به‌کارگیری این سه عنصر در استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی به منبع (Tchobanoglous et al., 2015) رجوع شود.

۳-۲-۱- عنصر مقررات سلامت عموم و محیط زیست

اولین عنصر در به‌کارگیری برنامه PR مسئله مطابقت با مقررات محیط زیستی و حفظ سلامت جامعه است. در حال حاضر، هیچ قوانین و مقررات استاندارد خاصی برای PR در ایالات متحده به‌کار گرفته نشده است. البته، کیفیت آب تولید شده برای استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی باید با استانداردهای محیط زیستی و سلامت انسان بر اساس لایحه آب پاک[3] و لایحه آب شرب سالم[4] مطابقت داشته باشد. در ایالات متحده، هر ایالت ملزم است تا در به کارگیری پروژه‌های برنامه‌ریزی شده استفاده مجدد از آب، حداقل تمامی مقررات و الزامات معین شده در

[1] Engineerd Storage Buffer (ESB)
[2] Advanced Treated Water (ATW)

[3] Clean Water Act (CWA)
[4] Safe Drinking Water Act (SDWA)

Archive of SID
www.SID.ir

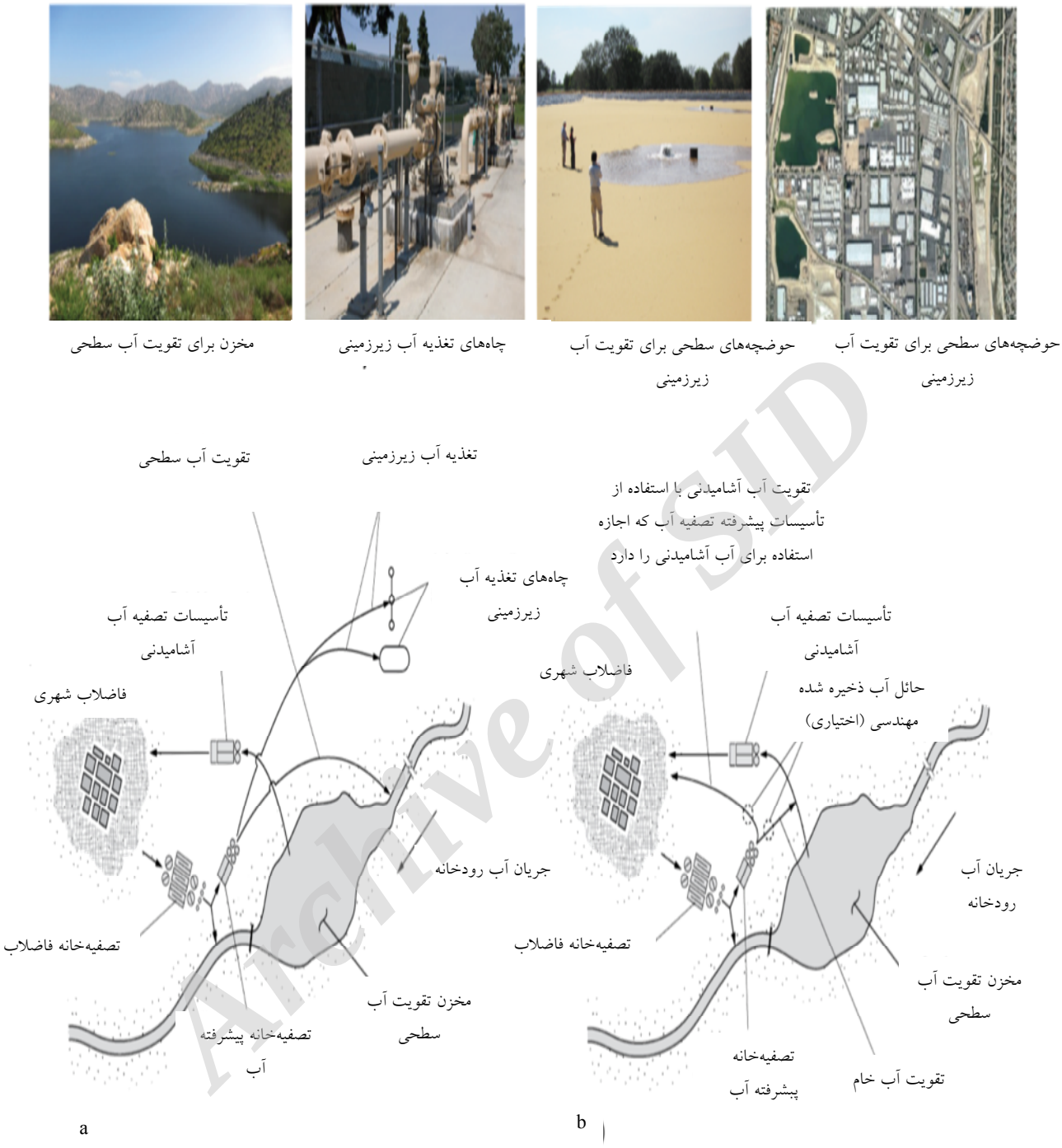

Fig. 1. Pictorial view of two different types of potable reuse: (a) IPR through groundwater and surface water augmentation and (b) DPR through raw and drinking water augmentation

شکل ۱- نمایی شماتیک از دو نوع مختلف استفاده مجدد از آب: (a) IPR از طریق تقویت منابع آب سطحی و زیرزمینی و (b) DPR از طریق اضافه کردن آب بازیافتی پیشرفته به آب خام قبل از تصفیه آب اشامیدنی ونیز به آب شرب تصفیه شده

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- تعاریفی که برای توصیف انواع مختلف استفاده مجدد آب برای مصارف خانگی (PR) به کار گرفته می‌شود

Table 1. Terminology used to describe the different type of potable reuse (PR)

نوع استفاده مجدد برای مصارف خانگی	تعریف
تعاریف استفاده مجدد از آب که معمولاً در ادبیات استفاده می‌شود:	
استفاده مجدد بالفعل	استفاده از آب سطحی در پایین‌دست به عنوان منبع آب آشامیدنی که در معرض رهاسازی فاضلاب در بالادست بوده است (برای مثال، همچنین به آن استفاده مجدد برنامه‌ریزی‌نشده یا استفاده مجدد غیرمستقیم نیز می‌گویند). گرچه در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایالات متحده معمول است، استفاده مجدد بالفعل توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده به رسمیت شناخته نمی‌شود.
استفاده مجدد غیر مستقیم (IPR)	افزودن آب تصفیه پیشرفته شده به یک محیط حائل طبیعی آب مانند سفره آب زیرزمینی یا مخزن آب سطحی، قبل از آنکه برای مصارف خانگی برداشت شود (استفاده مجدد بالفعل را نیز ببینید). IPR با پخش فاضلاب تصفیه ثانویه پیشرفته شده برای بهره‌گیری از تصفیه خاک سفره آب نیز می‌تواند حاصل شود.
استفاده مجدد مستقیم (DPR)	دو نوع DPR وجود دارد. در نوع اول، آب تصفیه شده پیشرفته (ATW) به منبع آب خام در بالادست تأسیسات تصفیه خانه آب آشامیدنی اضافه می‌شود. در نوع دوم، آب تهیه شده نهایی از طریق تأسیسات تصفیه پیشرفته آب (AWTF) که اجازه مصرف شرب را دارد، مستقیماً به سیستم توزیع آب شرب اضافه می‌شود. در هر دو نوع DPR، امکان استفاده از حائل مخزن آب مهندسی‌شده وجود دارد ولی اختیاری است.
تعاریف استفاده مجدد از آب که در اکتبر ۲۰۱۷ توسط ایالت کالیفرنیا به کار گرفته شد (AB 574):	
استفاده مجدد مستقیم (DPR)	اضافه کردن برنامه‌ریزی شده آب بازیافتی با تصفیه پیشرفته، مستقیماً به سیستم آب عمومی یا به منبع آب طبیعی خامی که بلافاصله در بالادست تصفیه‌خانه آب قرار دارد.
تقویت آب خام[a] (RWR)	افزودن برنامه‌ریزی‌شده آب بازیافتی به یک سیستم لوله‌کشی یا یک سیستم انتقال آب که آب طبیعی خام را به تأسیسات تصفیه‌ای آب آشامیدنی منتقل می‌کند و آب سیستم عمومی را فراهم می‌آورد.
تقویت آب شرب تصفیه شده[b] (TWDA)	افزودن برنامه‌ریزی‌شده آب بازیافتی به شبکه توزیع عمومی آب، به نحوی که در بخش مقررات ۱۱۶۲۷۵ قانون ایمنی و سلامت ذکر شده است.
IPR برای تقویت منابع آب زیرزمینی[c] (IPRGR)	استفاده برنامه‌ریزی‌شده از آب بازیافتی برای تقویت سفره آب زیرزمینی یا آبخوانی که به عنوان منبع آب مناسب برای مصارف عمومی در نظر گرفته شده است.
تقویت آب مخزن[d] (ReWA)	افزودن برنامه‌ریزی‌شده آب بازیافتی به یک مخزن آب خام سطحی که به‌عنوان منبع آب شرب برای سیستم عمومی آب عمل می‌کند، و یا همان‌طور که در بخش مقررات ۱۱۶۲۷۵ قانون ایمنی و سلامت تعریف شده، افزودن آب باز یافتی به مخزن آب مهندسی شده.

[a] Raw Water Augmentation (RWA)
[b] Treated Drinking Water Augmentation (TWDA)
[c] IPR for Groundwater Recharge (IPRGR)
[d] Reservoir Water Augmentatoin (ReWA)

Archive of SID
www.SID.ir

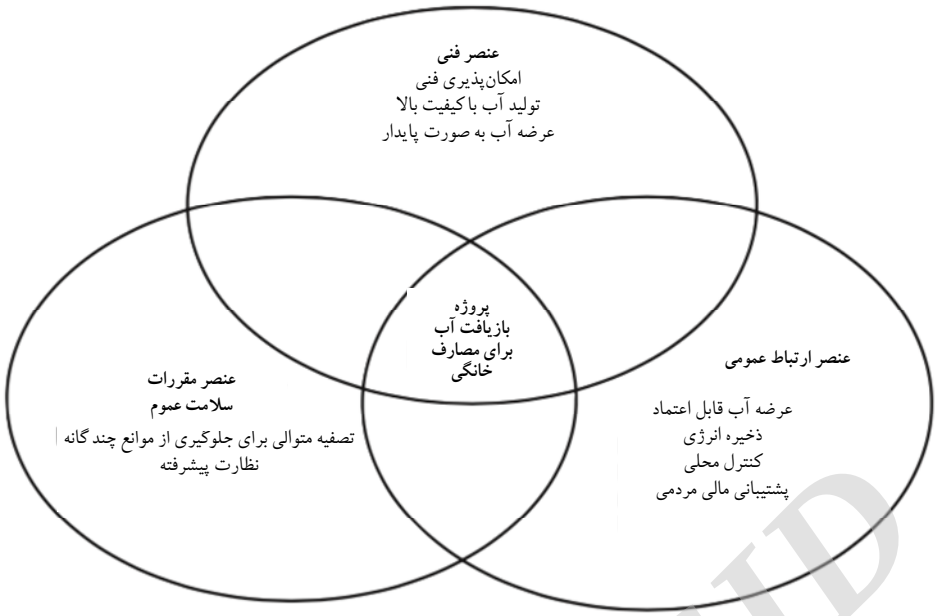

Fig. 2. Interrelationship of the key elements of a potable reuse (Tchobanoglous et al., 2015)

شکل ۲- روابط بین عناصر کلیدی سیستم استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی (Tchobanoglous et al., 2015)

SDWA و CWA را رعایت کند. از آنجایی که اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[1] قوانین استاندارد شده‌ای ارائه نداده است، بعضی ایالت‌ها برای به‌کارگیری پروژه‌های IPR و DPR قواعد، مقررات و راهنماهای مخصوص خود تنظیم کرده‌اند.

با استناد به اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، در حال حاضر چهارده ایالت آریزونا، کالیفرنیا، فلوریدا، هاوایی، آیداهو، ماساچوست، نوادا، کارولینای شمالی، اوکلاهوما، اورگان، پنسیلوانیا، تگزاس، ویرجینیا و واشنگتن برای پروژه‌های IPR، مقررات مخصوص به‌خود را دارند و سه ایالت کالیفرنیا، تگزاس و کلرادو نیز برای پروژه‌های DPR، مقررات مخصوص خود را تهیه کرده‌اند (USEPA, 2017).

لازم به ذکر است که با توجه به استقبال بیش از پیش از پروژه‌های DPR در حال حاضر انتظار می‌رود که در آینده ایالت‌های بیشتری مقرراتDPR مخصوص خود را تنظیم نمایند.

از نقطه نظر سلامت عمومی، مقررات سلامتی و محیط زیستی مربوط به DPR شبیه به مقرراتIPR می‌باشند؛ هرچند، ممکن است شامل الزامات مضاعفی برای DPR موجود باشند. دلیل وجود این الزامات مضاعف عموماً برای پایش بیشتر و برآورده کردن نیازمندی‌های عملیاتی برای جبران فقدان محیط حائل طبیعی و نبود زمان مکفی برای حل مشکلات احتمالی در آب تصفیه شده است. بر اساس اطلاعات نویسندگان، در شرایط فعلی هیچ استاندارد خاصی برای کیفیت آب PR در ایران تنظیم نشده است.

حتی با وجود فقدان مقررات PR در ایران، این تصور باید وجود داشته باشد که آب تصفیه شده برای مصارف خانگی باید با قوانین، معیارها و مقررات آب شرب سالم ایران مطابقت داشته باشد.

در ابتدا تا زمانی که مسئولان آب ایران بتوانند قوانین و مقررات خود را تهیه کنند، قوانین موجود در ایالت‌های مختلف آمریکا در ارتباط با IPR و DPR برای برنامه ریزی اولیه PR در ایران می‌تواند مورد الگو برداری و استفاده قرار گیرند.

۳-۲-۲- عنصر فنی

دومین عنصر اصلی یک برنامه موفق و پایدار PR مربوط به مسائل فنی است. اجزای اصلی عنصر فنی در یک سیستم PR شامل بررسی موارد زیر است (Tchobanoglous et al., 2015)

- سرچشمه منبع آب مثلاً آب سطحی و یا آب زیرزمینی؛
- برنامه کنترل سرچشمه؛

[1] US Environmental Protection Agency (USEPA)

Archive of SID
www.SID.ir

- تصفیه فاضلاب؛
- تصفیه پیشرفته آب؛
- در صورت نیاز، به‌کارگیری حائل ذخیره آبی مهندسی‌شده (ESB)؛
- حائل‌های آب طبیعی؛
- تصفیه آب شرب؛
- زیرساخت‌های لوله‌کشی و پمپاژ مربوطه - شامل شبکه توزیع آب، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، و شبکه انتقال آبی که تصفیه پیشرفته شده، در محلی که قرار است به تأسیسات تصفیه آب شرب یا شبکه توزیع متصل شود.

ارائه اطلاعات کلی در مورد هرکدام از موارد فوق خارج از اهداف این مقاله است. البته، اکثر مسائل مربوط به عناصر بالا در جدول ۲ به‌طور خلاصه توضیح داده شده‌اند.

جزئیات بیشتر مربوط به اهمیت کنترل آلاینده‌ها در فاضلاب، به‌روز رسانی تصفیه ثانویه فاضلاب، تصفیه پیشرفته آب و حائل‌های آب طبیعی و آب ذخیره شده مهندسی مربوط به پروژه‌های PR در مقاله دوم از این سری مقالات ارائه می‌شود.

۳-۲-۳- عنصر ارتباطات عمومی در ارتقای دانش مردم

سومین و آخرین عنصر مربوط به پروژه PR، داشتن یک برنامه کامل ارتباط جمعی در ارتقای دانش مردم است. برنامه تبلیغات و ارتباط جمعی برای ارتقای دانش مردم و کسب اعتماد جامعه و حمایت از استفاده از آب بازیافت شده در تأسیسات تصفیه آب پیشرفته[1] به‌عنوان منبع آب شرب و خانگی ضروری است.

برنامه تبلیغات و ارتباط جمعی در ارتقای دانش مردم در بهترین حالت باید از مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه PR شروع شود و در تمام طول عمر پروژه ادامه یابد.

در کنار موضوع پذیرش استفاده از آب بازیافت شده به‌عنوان منبع آب شرب، تبلیغات و ارتباط جمعی در ارتقای دانش مردم می‌تواند بر اهمیت وجود یک منبع آب محلی قابل اطمینان و صرفه‌جویی در انرژی که غالباً جزئی از PR است نیز تأکید کند. به علاوه، وقتی بررسی پروژه‌های PR مطرح می‌شود، بحث هزینه‌ها باید با مردم در میان گذاشته شود. اطلاعات تکمیلی در مورد چالش فائق آمدن بر مانع ذهنیت منفی عمومی و استقبال مثبت عمومی در ایران، در سومین مقاله از این سری مقالات مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۳- مثال‌های برجسته از پروژه‌های استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی

مثال‌هایی برجسته از پروژه‌های موفق PR در جدول ۳ ارائه شده‌اند. در شرایط فعلی، با استناد به اداره حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، در آمریکا شانزده پروژه با مجموع ظرفیت ۰/۷۴ میلیون متر مکعب در روز در حال بهره برداری می‌باشند.

علاوه بر آمریکا، هشت پروژه PR نیز با مجموع ظرفیت ۰/۹ میلیون مترمکعب در روز در کشورهای دیگر در حال بهره‌برداری می‌باشند.

در ایالات متحده و سایر کشورها، چندین پروژه PR دیگر نیز در مرحله مطالعه، احداث و برنامه‌ریزی قرار دارند. برای اطلاعات بیشتر از تمامی پروژه‌های PR در حال کار، تحت احداث یا برنامه‌ریزی شده در ایالات متحده و دیگر کشورها، خوانندگان این مقاله می‌توانند به گزارش اداره حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده مراجعه نمایند (USEPA, 2017).

۴- استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در مقایسه با سایر منابع جایگزین آب

هنگام تصمیم‌گیری در مورد استفاده کردن یا استفاده نکردن از تصفیه پیشرفته در پروژه‌های PR، تحلیل و مقایسه آن با سایر منابع آب جایگزین، مفید است. موضوعات مهمی که می‌توان از آن‌ها برای تحلیل‌های مقایسه‌ای استفاده کرد عبارت اند از: ۱) مسائل مربوط به توسعه و به‌کارگیری منابع دیگر آب، در مقایسه با مسائل مربوط به PR، ۲) مقایسه انرژی و ردپای کربن مربوطه، و ۳) مقایسه هزینه‌ها.

۴-۱- مقایسه با سایر منابع آب

از آنجا که ایران منبع آب دیگری ندارد، گزینه موجود برای جبران کمبود آب محدود است. در حال حاضر دو گزینه در دسترس است که عبارت اند از: ۱) واردات آب از کشورهای همسایه و ۲) نمک‌زدایی از آب‌های دریای خزر در شمال و خلیج فارس در

[1] Advanced Water Treatment Facilities (AWTF)

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2018.101905.980

جدول ۲- مسائل مهم در ارتباط با عناصر بخش فنی سیستم استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی (برگرفته از Tchobanoglous et al., 2015)

Table 2. Important issues related to the technical component elements of a potable reuse program (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

عناوین اصلی عنصر فنی	مسائل / توضیحات
منابع تأمین آب	• ارزیابی این که بر اساس کیفیت ATW و منابع مختلف آب، چه حدی از اختلاط مورد نیاز است، و این که اصلاً نیاز به اختلاط هست یا نه. • توسعه برنامه عملیاتی برای اختلاط ATW با منابع دیگر آب طبیعی. • اگر نیاز باشد، تغییر دادن سیستم فعلی تا زمانی که اجازه اختلاط و پایدارسازی ATW را بدهد. • بررسی نسبت‌های مختلف اختلاط و برآورد در مورد دامنه نرخ اختلاط مورد هدف.
برنامه کنترل منشأ آلاینده‌ها قبل از انتقال آنها به شبکه فاضلاب شهری	• شناسایی منشأ آلاینده‌های شیمیایی در فاضلاب که ممکن است حذف آن‌ها دشوار باشد یا مستعد تولید فراورده‌های جانبی مسموم کننده باشند (بنا به تکنولوژی تصفیه مورد استفاده). • جمع‌آوری اطلاعات در مورد منشأ و غلظت آلاینده‌های خاص در فاضلاب. • شامل کردن اجزای تجاری و صنعتی در برنامه کنترل منشأ آلاینده‌ها. • توسعه برنامه‌ای برای آگاه‌سازی مصرف‌کنندگان از بهترین روش‌های دفع زائدات خانگی.
تصفیه فاضلاب	• شناسایی تکنولوژی‌های جایگزین که می‌توانند عملکرد تصفیه‌خانه‌های موجود یا جدیدالتأسیس را بهبود بخشند. • تعیین بهینه مکان، اندازه، نوع یکسان‌سازی جریان ورودی فاضلاب (در خط یا خارج از خط) و کمی‌سازی مزایای آن بر عملکرد و قابلیت اطمینان فرایند تصفیه بیولوژیکی و سایر فرایندهای تصفیه فاضلاب ثانویه. • ارزیابی بهینه‌سازی فرایندهای مرسوم (یعنی تصفیه اولیه، ثانویه و ثانویه پیشرفته) برای بهبود تصفیه کلی و قابلیت اطمینان کل سیستم. • به‌کارگیری طرح پایدار برای اطمینان از عملکرد تصفیه‌ای هر واحد و صحت‌سنجی کیفیت آب خروجی در انتهای فرایند.
تصفیه پیشرفته آب	• ارزیابی طرح‌های دیگر تصفیه که با و یا بدون نمک‌زدایی، می‌توانند برای تصفیه آب مورد استفاده قرار گیرند. • تعریف نیازمندی‌های فنی و عملیاتی برای یک سیستم قابل اطمینان. • توسعه یک طرح پایدار برای حصول اطمینان از فرایند هر واحد و صحت‌سنجی کیفیت آب خروجی در انتهای فرایند. • انتخاب اجزا و پارامترهایی برای پایش در فرایندهای تصفیه پیشرفته آب، از جمله روش‌های تحلیلی، حدود شناسایی و زمان تکرار. • فراهم کردن سیستم‌های پشتیبان برق، در صورت قطعی برق یا دیگر موارد غیر منتظره. • شناسایی افزونگی فرآیند ها برای حفظ عملکرد تصفیه در هنگام نگهداری و تعمیرکه از مدار خارج می‌شوند. • فراهم کردن تأسیساتی برای رهاسازی آب بدون ویژگی مورد نظر، در شرایطی که آب و اجزای آن، نیازمندی‌های کیفیت ارائه‌شده برای تأسیسات DWTF[a] را نداشته باشد. مثال‌هایی از مکان‌های رهاسازی عبارت اند از WWTP[b]، نقطه‌ای در AWTF[c] یا به منابع مجاز محیط زیستی.
حائل ذخیره‌ای مهندسی‌شده	• ارزیابی نیاز به ESB و نوع آن. • تعریف اثر زمان پاسخ برای پایش، و همچنین توانایی‌های تحلیلی، شناسایی و پایشی، برای ارزیابی پیکربندی، اندازه و ویژگی‌های ESB.
حائل ذخیره‌ای طبیعی	• شناسایی حائل‌های ذخیره‌ای طبیعی بالقوه برای مثال، حوضه‌های آب زیرزمینی، مخازن آب سطحی و دریاچه‌های طبیعی. • تعیین ظرفیت حائل‌های طبیعی برای دریافت آب تصفیه پیشرفته شده. • تخمین زمان ماند برای آب ترکیب‌شده در نقاط مختلف محل تزریق.
تصفیه آب شرب	• اختلاط آب منبع طبیعی و ATW نباید بر فرآیند تصفیه آب اثر بگذارد یا بر کیفیت آب نهایی اثر منفی داشته باشد. • ممکن است به تصفیه مضاعف، پایش و آزمایش نیاز باشد.
زیرساخت مهندسی (لوله‌کشی و پمپاژ)	• بررسی اثرات بالقوه ATW بر شبکه توزیع آب آشامیدنی (برای مثال، مسائل خوردگی لوله های شبکه)

[a] Drinking Water Treatment Facilites (DWTF)
[b] Wastewater Treatment Plant (WWTP)
[c] Advanced Wastewater Treatment Facilities (AWTF)

Archive of SID
www.SID.ir

جنوب. مسائل چالشی در دو مورد ذکر شده در ارتباط با واردات آب و نمک‌زدایی از آب شور در جدول ۴ خلاصه شده‌اند.

۴-۲- مقایسه نیازمندی‌های انرژی و ردپای کربن

انرژی مورد نیاز و ردپای کربن برای تأسیسات تصفیه پیشرفته (AWTF) مورد استفاده در پروژه‌های PR در مقایسه با پروژه‌های واردات آب و پروژه‌های نمک‌زدایی آب در جدول ۵ ذکر شده‌اند. داده‌های ارائه شده در جدول ۵ مربوط به ایالات متحده می‌باشند و از این رو لازم است که نه فقط به‌صورت کمّی بلکه به صورت کیفی نیز بررسی شوند. همان‌طور که نشان داده شده است، انرژی مصرفی

جدول ۳- مثال‌هایی از پروژه‌های استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی (PR) که با موفقیت مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گرفته‌اند (برگرفته از USEPA, 2017)

Table 3. Representative examples of successfully operated potable reuse (PR) project (Adapted from USEPA, 2017)

پروژه PR مورد بهره برداری	نوع PR	سال نصب	حجم روزانه تصفیه (MCM/d)	تصفیه‌های به کار گرفته شده
سیستم تقویت آب زیرزمینی ناحیه آبی اورنج کانتی (OCWDGWRS)، کالیفرنیا	IPR: تغذیه آب زیرزمینی از طریق پخش در حوضچه‌های سطحی و تزریق مستقیم (IPRGR)[a]	۲۰۰۸ توسعه یافته در ۲۰۱۶	۰/۳۸	WWTP-> UF-> RO -> UV/AOPترکیب با آب زیرزمینی -> تصفیه متداول آب آشامیدنی ->
شرکت فاضلاب آککوان شمالی، ویرجینیا	IPR: تقویت آب سطحی (RWA)[b]	۱۹۷۸	۰/۲	WWTP -> LC -> فیلتراسیون دانه‌ای -> GAC -> IX -> Cl -> ترکیب با آب سطحی -> تصفیه متداول آب آشامیدنی
ناحیه آبی بیگ‌اسپرینگ رودخانه کلرادو، تگزاس	DPR: ترکیب، قبل از تصفیه آب (TDWA)[c]	۲۰۱۳	۰/۰۰۷	WWTP -> MF -> RO -> UV/AOPترکیب با آب سطحی -> تصفیه شده -> تصفیه متداول آب آشامیدنی
شهر ویندهوک[1]، نامیبیا	DPR: ترکیب قبل از تصفیه آب (TDWA)	۱۹۶۹ توسعه یافته در ۲۰۰۲	۰/۰۲	WWTP -> PAC -> O_3 -> زلال‌سازی DAF -> -> فیلتر شنی -> O_3/AOP -> BAC/GAC -> UF -> Cl ->ترکیب با آب سطحی تصفیه شده -> تصفیه متداول آب آشامیدنی
NEWater، نقاط مختلفی از سنگاپور	IPR: تغذیه آب سطحی (ReWA)	دو تصفیه‌خانه در ۲۰۰۳؛ تصفیه‌خانه جدید در ۲۰۱۰	۰/۶	WWTP -> UF -> RO -> UV -> ترکیب با مخزن آب سطحی -> تصفیه متداول آب آشامیدنی

[a] IPR for Groundwater Recharge Occoquan (IPRGR)
[b] Reservoir Water Augmentation (RWA)
[c] Treated Drinking Water Augmentation (TDWA)

[1] Windhoek

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴- مسائل آب بازیافتی برای استفاده مجدد در مصارف خانگی درمقایسه با دیگر منابع جایگزین آب اشامیدنی (برگرفته از Kayhanian and Tchobanoglous, 2016)

Table 4. Comparative issues with alternative sources of water supply to potable reuse (Adapted from Kayhanian and Tchobanoglous, 2016)

منبع جایگزین برای آب اشامیدنی	مقایسه مسائل
واردات آب طبیعی	• با توجه به کمبود آب سطحی در اکثر نقاط ایران، واردات آب سطحی از یک نقطه به نقطه دیگر در داخل کشور غیر ممکن است. واردات آب از کشورهای همسایه اگرچه ناممکن نیست ، ولی آسان نخواهد بود؛ به‌ویژه با در نظر گرفتن مسائل بلندمدت مربوط به ایمنی، امنیت و قابلیت اطمینان. • برداشت آب از مناطق داخل مرزی، انتقال آن به مراکز جمعیتی، تصفیه و یک بار استفاده از آن و رهاسازی آن به آب‌های ساحلی، در بلندمدت به نسبت سایر گزینه‌ها کمترین پایداری را دارد. • منابع واردات آب: ۱) پتانسیل بیشتری برای تغییرات اختلالات طبیعی و ساختاری سالانه دارند؛ ۲) ممکن است دارای کیفیت متغیر باشند (مثلاً حاوی مقدار زیاد نمک)؛ ۳) حمل و نقل آن‌ها اغلب نیاز به انرژی زیادی دارد؛ ۴) بعد از استخراج بیش از حد آب محلی، باعث آثار زیان‌بار شدید به محیط‌زیست می‌شوند؛ و ۵) نسبتاً گران هستند و قیمتشان در آینده نیز بالاتر خواهد رفت. • واردات آب همچنین در معرض عوامل طبیعی و اجتماعی است که کنترلشان دشوار است، از جمله: ۱) افزایش تقاضا بر اثر رشد جمعیت؛ ۲) خشکسالی؛ ۳) تغییرات در انباشت برف، بارندگی، یا سایر منابع طبیعی تغذیه منابع آب؛ ۴) وقایع لرزه‌ای؛ و ۵) قوانین محیط‌زیستی آینده، تعیین حقوق آبی و چالش‌های سیاسی و قانونی مربوط. • در بسیاری از نقاط، واردات آب مقدار نمک را افزایش می‌دهد. • برای منابع واردات با کیفیت پایین، به تصفیه گسترده فوق پیشرفته نیاز است.
نمک‌زدایی	• نمک‌زدایی آب خلیج فارس و دریای خزر از نظر فنی گزینه‌ای مقدور است که می‌تواند بعد از ترکیب یا اضافه شدن با املاح مورد نیاز آب آشامیدنی، منبع آب شرب با کیفیتی را مهیا کند، ولی چند نقص دارد، از جمله: ۱) اثرات بالقوه محیط‌زیستی مربوط به برداشت آب اقیانوس، دفع و رهاسازی آب شور، و احداث تأسیسات در مناطق حساس ساحلی یا نزدیک به مناطق ساحلی؛ ۲) نیاز نسبتاً زیاد به انرژی برای تصفیه و به‌ویژه برای پمپاژ به مناطق شهری پر جمعیت؛ ۳) بجا گذاشتن ردپای زیاد کربن؛ ۴) کیفیت آب ورودی که بر اثر جلبک سمی و سایر تغییرات کیفیت آب اقیانوس در معرض آسیب‌پذیری است؛ ۵) تأسیسات ساحلی که ممکن است به دلیل بالا رفتن سطح آب و امواج طوفانی آسیب‌پذیر باشند؛ و ۶) خطرات مربوط به عوامل فاجعه‌بار امنیتی. • نمک‌زدایی آب دریای خزر یا آب شور داخل مرزی به‌دلیل مقدار کمتر نمک، کم‌هزینه‌تر از شیرین کردن آب خلیج‌فارس است؛ ولی با چالش‌های جدی‌تری در ارتباط با مدیریت پسماند نمک با غلظت بالا مواجه است. • نمک‌زدایی آب اقیانوس اغلب با نسبت ۲:۱ به ازای هر ۳،۷۸ لیتر (یک گالن)، گران‌تر از استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی است. • وقتی فاضلابی که منبع آن آب شیرین است بازیافت می‌شود، مقدار آب موجود در دسترس را برای استفاده بهینه محلی افزایش می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵- نیازمندی‌های انرژی و ردپای کربن AWTF در مقایسه با منابع مختلف آب سطحی (برگرفته از Tchobanoglous et al., 2015)

Table 5. Comparative energy requirements and carbon footprint for different alternative sources of surface water (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

تکنولوژی / منبع آب	انرژی مورد نیاز		ردپای کربن
	بازه (kWh/m^3)	مقدار معمول (kWh/m^3)	($kg\ CO_2/m^3$)
AWTF	۱/۰۶-۰/۸۶	۰/۲۵	۰/۴۸
شیرین کردن آب لب شور	۱/۶۴-۰/۸۲	۰/۴۱	۰/۷۷
شیرین کردن آب شوراقیانوس	۳/۸۹-۲/۵۱	۰/۸۴	۱/۵۸
انتقال بین حوضه‌ای آب (ایالت کالیفرنیا، امریکا)	۲/۶۲-۲/۰۹	۰/۶۴	۱/۲۱
انتقال بین حوضه‌ای آب، رودخانه کلرادو، ایالات متحده	۱/۹۵-۱/۶۲	۰/۴۳	۰/۸۱

جدول ۶- مقایسه هزینه واحد آب با تصفیه پیشرفته و سایر گزینه‌های تأمین آب (برگرفته از Tchobanoglous et al., 2015)

Table 6. Comparative unit costs of advanced treated water with other water supply option (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

گزینه تأمین آب	هزینه مربوط (دلار بر مترمکعب)			
	تصفیه	مدیریت زائدات باقیمانده	مدیریت مواد تغلیظ شده	شبکه انتقال و تأسیسات ترکیب آب
AWTF با RO	۰/۷۲-۰/۵۵	۰/۰۴-۰/۰۰۸	۰/۶۳-۰/۰۵	۰/۸۱-۰/۰۸۱
AWTF بدون RO	۰/۵۷-۰/۳۲	۰/۰۴-۰/۰۰۸	مربوط نمی‌شود	۰/۸۱-۰/۰۸
نمک‌زدایی آب زیرزمینی لب‌شور (درون مرزی)	۰/۶۷-۰/۳۳	۰/۰۲-۰/۰۰۵	۰/۶۳-۰/۰۶	۰/۸۱-۰/۰۸
نمک‌زدایی آب شور دریا و اقیانوس	۲/۸۳-۱/۵۸	۰/۰۸-۰/۰۲	۰/۱۶-۰/۰۶	۲/۴۳-۰/۳۲
فروش آب سطحی تصفیه‌شده وارداتی	۱/۰۵-۰/۳۲		مربوط نمی‌شود	۰/۴۹-۰/۰۸

و ردپای کربن تولید شده در پروژه مربوط به استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در مقایسه با دو گزینه دیگر کمتر است.

۴-۳- مقایسه هزینه‌ها

هزینه‌های تصفیه، مدیریت پسماند، مدیریت متمرکز تصفیه، و تأسیسات انتقال برای AWTF در مقایسه با سایر گزینه‌های منابع تأمین آب در جدول ۶ ارائه شده است. تأکید می‌شود که داده‌های ارائه شده در جدول ۶ مربوط به ایالات متحده است و باید برای شرایط خاص هر منطقه نیز بررسی شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به طور کلی هزینه متوسط مربوط به بازیافت آب برای مصارف خانگی از طریق AWTF با و یا بدون اسمز معکوس کمتر از هزینه متوسط تولید آب از گزینه‌های دیگر است. در دوره‌های خشکسالی، همان‌طور که در حال حاضر در ایران مشاهده می‌شود، اهمیت داده‌های ذکر شده در ارتباط با هزینه‌ها حتی خیلی مهم‌تر جلوه خواهد نمود.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله اولین بخش از یک سری مقالات سه‌بخشی با موضوع استفاده مجدد از آب و کاربردهای بالقوه آن برای مصارف خانگی است. اطلاعات مقدماتی و زمینه‌ای مربوط به استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در این مقاله ارائه شده است. استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی عموماً به دو گروه استفاده برنامه‌ریزی شده به‌طور مستقیم و استفاده برنامه‌ریزی شده به‌طور غیرمستقیم تقسیم می‌شود. معمولاً آب تولید شده از تأسیسات تصفیه آب پیشرفته

Archive of SID
www.SID.ir

نسبت به آب شور شیرین‌شده از کیفیت بالاتری برخوردار است. در مقایسه با آب شور شیرین شده و آب وارداتی، آب تصفیه شده از تأسیسات تصفیه پیشرفته برای مصارف خانگی انرژی کمتری مصرف می‌کند، ردپای کربن کمتر، و هزینه کمتری دارد. با در نظر گرفتن محدودیت مقادیر آب از منابع سطحی و زیرزمینی، افزایش جمعیت، تغییر اقلیمی، و با دارا بودن محدودیت‌های دیگر در کنار گزینه واردات آب از کشورهای همسایه، در نظر گرفتن آب احیا شده (آب بازیافت شده) برای استفاده مجدد در مصارف خانگی در ایران منطقی و قابل توجیه است. برای به‌کار بستن استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در ایران، باید ملاحظات خاصی در مورد سه عنصر اصلی برنامه عمومی و استفاده مجدد از آب شامل ملاحظات فنی، مقررات مربوط به سلامت و وسایل ارتباط جمعی در ارتقای دانش مردم به‌کار گرفته شود. مسائل فنی و مقررات مربوط به سلامت عمومی در ارتباط با استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در مقاله دوم بررسی می‌شود. پیشبرد اهداف در راه پیش‌رو و مقابله با چالش‌ها، از جمله ارتباط عمومی در ارتقای دانش مردم، در مقاله سوم بررسی می‌شود.

۶- قدردانی

این مقاله، بخشی از سری مقالاتی با موضوع کاربرد بالقوه استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در ایران است که برای اولین بار در مجله آب و فاضلاب (WWJ) چاپ می‌شود. نویسندگان از زحمات و همکاری آقای مهندس فربد خاتمی در تهیه این مقاله کمال تشکر را دارند. نویسندگان از هیئت تحریریه مجله آب و فاضلاب ایران به‌ویژه آقای دکتر احمد ابریشم چی و دکتر عباس افشار به پاس بررسی مقاله، راهنمایی و هدایت‌شان تشکر می‌کنند. از مدیر اجرایی مجله سرکار خانم موسوی و همکاران به پاس زحمات و کمک‌های بی‌دریغشان در مقدور ساختن چاپ این مقالات کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید. برای کامل بودن و ارائه زمینه لازم برای فهم نقش استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی در برنامه جامع مدیریت منابع آب، قسمت‌هایی از بحث توصیفی استفاده مجدد از آب برای مصارف خانگی از مقاله‌ای که قبلاً در نشریه ساینتیا ایرانیکا چاپ شده بود، استفاده شد.

References

Damkjaer, S. & Taylor, R. 2017. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 15, 1-9.

Eslamian, S.A. & Tarkesh Esfahani, S. 2011. *Water reuse (application of municipal wastewater effluent)*, Isfahan: Akane Danesh Publisher, Iran. (In Persian)

Hazen, A. 1914. *Clean water and how to get it*, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons.

Kayhanian M. & Tchobanoglous, G. 2016. Water reuse in Iran with emphasis on potable reuse. *Scientia Iranica*, 23(4), 1594-1617.

NRC. 2012. *Water reuse: Potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater*, National Research Council, National Academies Press, Washington, DC.

Razaghi, N., Mansouri, R. & Rouhani, P. 2013. *Water reuse (planning and programming)*, Tehran: NarvanArra LTD., Iran. (In Persian)

Tajrishy, M., Abdolghafoorian, A. & Abrishamchi, A. 2014. "Water reuse and wastewater recycling: Solutions to Tehran's growing water crisis", In: Quentin Grafton, R., Wyrwoll, P., White C. & Allendes D. (Eds). *Global water: Issues and insights*, the Australian National University. Canberra, Australia, ANU press.

Tchobanoglous, G. 2012. New directions for wastewater treatment in the 21st century. *Proceedings of 6th International Conference on Flotation for Water and Wastewater Systems*, International Water Association, New York.

Tchobanoglous, G., Cotruvo, J., Crook, E., McDonald, A., Olivieri, A., Salveson, R.S. & Trusselll, R. R. 2015. *Framework for direct potable reuse*, Alexandria, WateReuse Research Foundation, VA.

USEPA. 2017. *Potable reuse compendium*, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.

Archive of SID
www.SID.ir

Appendix

پیوست

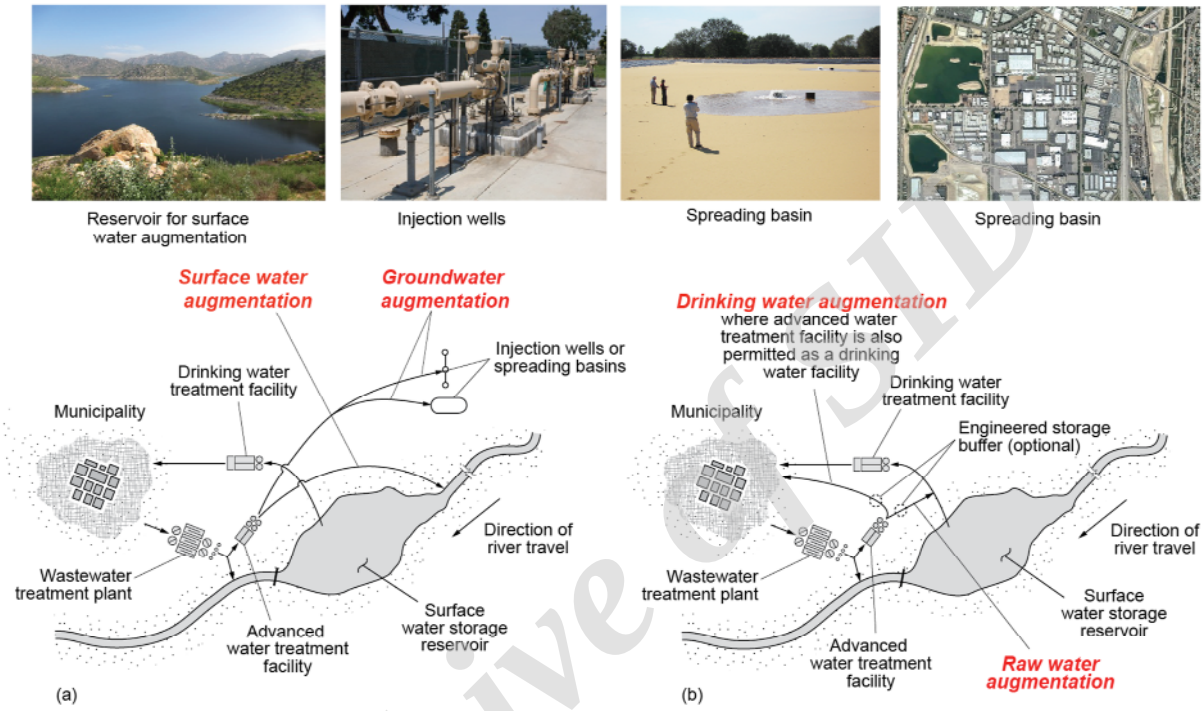

Fig. 1. Pictorial view of two different types of potable reuse (a) IPR through groundwater and surface water augmentation and (b) DPR through raw and drinking water augmentation

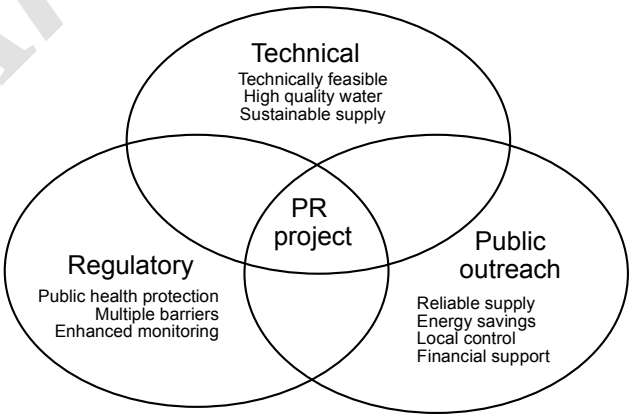

Fig. 2. Interrelationship of the key elements of a potable reuse system (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

Archive of SID

www.SID.ir

Table 1. Terminology used to describe the different type of potable reuse (PR)

PR type	Definition
Water reuse terminology commonly used in the literature:	
De facto PR	The downstream use of surface water as source of drinking water that is subject to upstream wastewater discharges (e.g., also referred to as unplanned PR or indirect PR). Although common practice in many parts of the world including the United States, *de facto* PR is not officially recognized by the U.S. EPA.
Indirect PR (IPR)	The introduction of advanced treated water into an environmental buffer such as a groundwater aquifer or a water body before being withdraw for potable purposes (see also *de facto* PR). IPR can also be accomplished with tertiary effluent when applied by spreading to take advantage of soil aquifer treatment.
Direct PR (DPR)	There are two forms of DPR. In the first form, advanced treated water (ATW) is introduced into the raw water supply upstream of drinking water treatment facility. In the second form, finished drinking water from a AWTF permitted as a drinking water treatment facility is introduced directly into a potable water supply distribution system. In both forms of DPR, use of an engineered storage buffer is optional.
Water reuse terminology adapted in California on October 2017 (AB 574):	
Direct PR (DPR)	The planned introduction of recycled water directly into a public water system or into a raw water supply immediately upstream of a water treatment plant.
Raw water augmentation (RWR)	The planned placement of recycled water into a system of pipeline or aqueducts that deliver raw water to a drinking water treatment plant that provides water to a public water system.
Treated drinking water augmentation (TDWA)	The planned placement of recycled water into the water distribution system of a public water system, as defined in Section 116275 of the Health and Safety Code.
IPR for groundwater recharge (IPRGR)	The planned use of recycled water for replenishment of a groundwater basin or an aquifer that has been designed as a source of water supply for a public water system.
Reservoir water augmentation (ReWA)	The planned placement of recycled water into a raw surface water reservoir used as a source of domestic drinking water supply for a public water system, as defined in Section 116275 of the Health and Safety Code, or into a constructed system conveying water to such a reservoir.

Archive of SID

www.SID.ir

Table 2. Important issues related to the technical component elements of a potable reuse program (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

Technical element	Issues/comments
Water supply sources	Assess what level of blending, if any, is needed based on quality of ATW and different water sources. Develop an operation plan for blending ATW with alternative water sources. If needed, modify existing system to allow for blending and stabilizing the ATW. Investigate various blend ratios and rationales for target blend rate range.
Source control program for community or service area	Identify constituents in wastewater that may be difficult to remove or are precursors to disinfection byproduct formation (depending on treatment technologies used). Information is needed on sources and concentrations of selected constituents. Include commercial and industrial entities in source control program. Develop a program to inform consumers of best practices for home waste disposal.
Wastewater treatment	Identify alternative technologies that can enhance performance of existing and new treatment plants. Determine optimum location, size, type of flow equalization (inline or offline), and quantify its benefits on performance and reliability of biological and other treatment processes. Quantify benefits of complete nitrification or nitrification and denitrification on performance of membrane treatment processes used for PR. Evaluate optimization of conventional processes (i.e., primary, secondary, and tertiary) to improve overall treatment and reliability of entire system. Implement a monitoring scheme to ensure treatment performance for each unit process and end-of-process validation of water quality.
Advanced water treatment	Evaluate alternative treatment schemes with and without demineralization that can be used to treat water. Define technical and operational requirements for a reliable system. Develop a monitoring scheme to ensure treatment performance for each unit process and end-of-process validation of water quality. Select constituents and parameters for monitoring in advanced water treatment processes, including analytical methods, detection limits, and frequency. Provide standby power systems in the event of power loss or another type of emergency. Identify process redundancy so treatment trains can be taken offline for maintenance. Provide facilities for discharge of off-spec water in the event that water does not meet established quality requirements for influent to DWTF. Example discharge locations include the WWTP, a point in the AWTF, or into the environment.
Engineered storage buffer	Evaluate need for and type of ESB. Define impact of existing monitoring response times, as well as analytical, detection, and monitoring capabilities, to assess configuration, size, and features of an ESB.
Environmental buffer	Identify potential environmental buffers (e.g., groundwater basins, surface water reservoirs, natural lakes) Determine capacity of environmental buffers to receive advanced treated water. Estimate the retention time for blended water at different points of injection
Drinking water treatment	Mix of source water and ATW should not impact water treatment process or adversely impact finished water quality. Additional treatment, monitoring, and testing may be required.
Engineering infrastructure (piping and pumping)	Investigate potential impacts of ATW on drinking water distribution system (e.g., corrosion issues).

Notes: ATW = advanced treated water; AWTF = advanced water treatment facility; DWTF = drinking water treatment facility; DPR = direct potable reuse; ESB = engineered storage buffer; WWTP = wastewater treatment plant.

Archive of SID
www.SID.ir

Table 3. Representative examples of successfully operated potable reuse (PR) project (Adapted from USEPA, 2017)

PR project name and location	PR type	Installation year	Plant size (MMC/d)	Overview of treatment trains employed
Orange County Water District Groundwater Replenishment System (OCWD GWRS), California	IPR: Groundwater recharge via surface spreading and direct injection (IPRGR)	2008 expanded in 2016	0.38	WWTP → UF → RO → UV/AOP → blending with groundwater → conventional water treatment
Upper Occoquan Sewage Authority, Virginia	IPR: Surface water augmentation (ReWA)	1978	0.20	WWTP → LC → media filtration → GAC → IX → Cl → blending with surface water body → conventional water treatment
Big Spring Colorado River Municipal Water District, Texas	DPR: blending prior to water treatment (TDWA)	2013	0.007	WWTP → MF → RO → UV/AOP → blended with treated surface water body → conventional water treatment
City of Windhoek, Namibia	DPR: blending prior to water treatment (TDWA)	1969; expanded in 2002	0.02	WWTP → PAC → O_3 → Clarification → DAF → sand filtration → O_3/AOP → BAC/GAC → UF → Cl → blended with treated surface water → conventional water treatment
NEWater, multiple locations in Singapore	IPR: Surface water augmentation (ReWA)	Two plants in 2003; new plant in 2010	0.60[a]	WWTP → UF → RO → UV → blending with surface water body → conventional water treatment

[a] Combined size for three plants

Archive of SID

www.SID.ir

Table 4. Comparative issues with alternative sources of water supply to potable reuse (Adapted from Kayhanian and Tchobanoglous, 2016)

Alternative water supply source	Comparative issues
Imported Water	With low availability of water, importing water within the country is not possible. Importing water from neighboring countries will be difficult, if not impossible, to develop; particularly considering the long-terms issues related to safety, security and reliability. Withdrawing water from inland areas, transporting it to population centers, treating and using it once, and discharging it to coastal waters is, in the long term, less sustainable than other options. Imported water sources: (1) are subject to natural and institutional disruptions and limitations, resulting in potentially large inter annual variability; (2) can be of variable quality (e.g., high salt load); (3) often require significant amounts of energy for transport; (4) can impose significant adverse environmental consequences when local water is extracted; (5) reduce potential environmental impacts of wastewater discharges to surface waters; and (6) are relatively expensive, the cost of which will continue to escalate in the future. Imported water is also subject to natural and societal forces that are difficult to control, including: (1) increased demands from population growth; (2) drought; (3) changes in snowpack, rainfall, or other natural sources of replenishment; (4) seismic events; and (5) future environmental regulations, water rights determinations, and associated political and legal challenges. In many locations, imported water increases local salt loading. Extensive treatment may be required for low-quality imported water sources.
Desalination	Desalination of water from Persian Gulf and Caspian Sea is a technically feasible option that can provide a high-quality, potable supply after blending or chemical addition, but with a number of drawbacks, including: (1) potential environmental impacts associated with ocean feedwater intakes, brine disposal and discharges, and construction of facilities at sensitive shoreline or near-shore locations; (2) relatively high energy demands for treatment and especially for pumping to populated areas; (3) large carbon footprint; (4) feedwater quality that is vulnerable to red tides and other ocean water quality challenges; (5) coastal facilities that may be vulnerable to sea level rise and storm surges; and (6) security threats based catastrophic failure. Desalination of water from Caspian Sea or inland brackish water is less costly than the Persian Gulf water desalination because of much lower salt content; but has significant brine management challenges. Ocean desalination is more expensive than potable reuse, often by a factor of 2:1 per 3.78 L (1 gallon). When desalinated source water is recycled, it increases the amount of water available for local beneficial use.

Archive of SID

www.SID.ir

Table 5. Comparative energy requirements and carbon footprint for different alternative sources of surface water (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

Technology/water source	Energy required		Carbon footprint (kg CO_2/m^3)
	Range (kWh/ m^3)	Typical (kWh/ m^3)	
AWTF	0.86–1.06	0.25	0.48
Backwash water desalination	0.82–1.64	0.41	0.77
Ocean desalination	2.51–3.89	0.84	1.58
Interbasin transfer of water, California, U.S.A.	2.09–2.62	0.64	1.21
Interbasin transfer of water, Colorado River, U.S.A.	1.62–1.95	0.43	0.81

Table 6. Comparative unit costs of advanced treated water with other water supply options (Adapted from Tchobanoglous et al., 2015)

Water Supply Option	Cost ($/$m^3$)			
	Treatment	Residuals management	Concentrate management	Conveyance and blending facilities
AWTF with RO	0.55–0.72	0.008–0.04	0.06–0.63	0.08–0.81
AWTF without RO	032 [a] –0.57	0.008–0.04	Not applicable	0.08–0.81
Brackish groundwater desalination (inland)	0.33–0.67	0.005–0.02	0.06–0.63	0.08–0.81
Seawater desalination	1.58–2.83	0.02–0.08	0.06–0.16	0.32–2.43
Retail cost of treated imported surface water	0.32–1.05		Not applicable	0.08-0.49

Archive of SID

www.SID.ir