نوع مقاله: کاربردی

فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده
www.jvfc.ir
دوره سوم، شماره اول، پیاپی (۹)، بهار ۱۴۰۱
صص ۵۶-۴۳

فصلنامه چشم انداز شهرهای آینده
Future Cities Vision

تحلیل چرخه پایدار آب در ساختمان به منظور تجلی ساختمان‌های آب صفر خالص

مهدی یزدیان، استادیار، گروه عمران، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران
مهجبین ردایی، دکترا و مدرس گروه عمران، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران[۱]
هانیه السادات حسینی، دانشجوی کارشناسی، گروه عمران، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

چکیده

دسترسی به کیفیت و کمیت مناسب آب در طول چرخه حیات ساختمان و در طی مراحل مختلف ساخت و بهره‌برداری بسیار مهم است. اهمیت بنیادین آب از این واقعیت مشهود است که دو هدف از اهداف هفده گانه توسعه پایدار سازمان ملل متحد مستقیماً به آب می‌پردازند. شرایط اقلیمی گرم و خشک، بارندگی کم و تبخیر زیاد، استفاده نادرست از منابع محدود آب و ایجاد آلودگی بحران کمی و کیفی آب در ایران را در مقیاس‌های مختلف رقم زده است. بخش عظیمی از اتلاف آب در مقیاس ساختمان (مسکونی، تجاری و اداری) صورت می‌گیرد. از این‌رو در بسیاری از نقاط کشور مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک ضرورت اتخاذ راهکارهایی در جهت استفاده بهینه از منابع آب در بخش ساختمان اجتناب ناپذیر است. در مطالعه حاضر با تمرکز بر روش‌های کاهش مصرف آب در مقیاس ساختمان، کاربست منابع آب جایگزین، روش‌های بازیابی منابع آب به منظور دستیابی به ساختمان‌های آب صفر خالص مورد واکاوی قرار می‌گیرد. یافته‌ها حاکی از آن است که ایجاد چرخه پایدار آب در ساختمان از طریق سیستم‌های استحصال آب باران، سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه آب خاکستری به عنوان منابع آب جایگزین، جمع‌آوری و تصفیه آب‌های سیاه در محدوده ساختمان و بهره‌گیری از آن در جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و یا ورود به منابع تأمین آب می‌تواند بستری برای تحقق ساختمان‌های آب صفر خالص فراهم آورد.

واژگان کلیدی: پایداری، آب خاکستری، چرخه آب، ساختمان آب صفر خالص

۱. نویسنده مسئول: **m.radaei@ut.ac.ir**

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

مقدمه

محیط مصنوع توسط منابع تأمین شده از محیط طبیعی از نظر مواد اولیه، انرژی و آب پشتیبانی می‌شود. از این‌رو ساخت و بهره‌برداری از محیط‌های مصنوع به طور قابل توجهی بر کیفیت سیستم‌های اجتماعی به عنوان کاربران محیط‌های مصنوع و سیستم‌های طبیعی به عنوان حامیان محیط مصنوع، تأثیر می‌گذارد. میزان تأثیر محیط مصنوع توسط بخش قابل توجهی از مصرف برق و انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از مواد، خروجی زباله و مصرف آب مشهود است. امروزه، با روند فزاینده صنعتی شدن و شهرنشینی، استفاده از منابع آب بسیار بیشتر از قبل شده است که می‌تواند به عنوان یک مانع جدی برای توسعه پایدار شناخته شود(Shamabadi et al., 2015; da Silva et al., 2019). این روند باعث افزایش شکاف بین عرضه و تقاضا در استفاده از منابع آب شده است، به طوری که از هر شش نفر در جهان یکی از آنها به آب آشامیدنی دسترسی ندارد (Ghaitidak & Yadav, 2013; da Silva et al., 2019). بخش عمده ای از عدم تعادل در منابع و مصارف آب، ناشی از محدودیت‌های ذاتی منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک کره زمین و وقوع تنش‌های آبی و خشکسالی‌های پیاپی است، و بخش دیگر متأثر از اقدامات و فعالیت‌های انسانی است که کمیت و کیفیت آب را متأثر می‌کند. بررسی آمار و ارقام حاکی از آن است که بالغ بر ۲/۵ میلیارد نفر از جمعیت جهان از دسترسی به آب سالم و بهداشتی و حدود ۱/۲ میلیارد نفر از دسترسی به آب کافی محروم هستند، و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ با ادامه روند موجود، دوم سوم مردم جهان با بحران کم آبی مواجهه خواهند شد. ز این‌رو در بسیاری از نقاط جهان مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک ضرورت اتخاذ راهکارهایی در جهت کاهش بحران منابع آب اجتناب ناپذیر است.

ارتقاء مصرف پایدار آب و تضمین کمیت و کیفیت آن با کاهش تقاضای آب و افزایش بهره‌وری از آب امکان‌پذیر می‌باشد. دستیابی به اهداف توسعه پایدار در مدیریت توامان عرضه و تقاضای آب، حفاظت از منابع ارزشمند آبی، بهره برداری بهینه و پایدار از منابع آب نیازمند بسیج منابع و امکانات در کلیه عرصه‌های برنامه‌ریزی، قانون‌گذاری، اجرا، مدیریت به منظور اجرای کارامد سیاست‌ها، تخصیص اعتبارات لازم، همکاری موثر سازمان‌ها و نهادها، ارتقاء تجهیزات به روز صنعت آب و فاضلاب، تجهیزات، تأسیسات و زیرساخت‌های جمع‌آوری، تصفیه و استفاده مجدد از پساب‌ها، تجهیزات تفکیک آب‌های خاکستری و سیاه، تصفیه غیرمتمرکز آب‌های خاکستری در ساختمان و... است. سرمایه‌گذاری در زمینه اجرایی نمودن این راهکارها (استفاده از آب سیاه، خاکستری و سیستم‌های استحصال آب باران) (EEA, 2012) درمقیاس‌های مختلف نظیر مقیاس ساختمان (مسکونی، تجاری، اداری و...)، مقیاس محلی، شهری و فراشهری در راستای کاهش مصرف آب و مدیریت بهینه منابع آبی، در مواجهه با بحران آب از اهمیت قابل توجهی برخودار است (DEChattel et al., 2014).

این مسئله در ایران با شرایط اقلیمی گرم و خشک، میزان بارندگی کم و تبخیر زیاد، خشکسالی‌های پیاپی، توزیع غیریکنواخت آب در سطح کشور، عدم انطباق الگوی شهرنشینی و مراکز سکونتگاهی با طرح آمایش سرزمین و منابع آب، عدم رعایت الگوی کشت بهینه از منظر سازگاری با اقلیم، آلودگی منابع آب ناشی از ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی، بیمارستانی تصفیه نشده و زه‌آب‌های کشاورزی، کیفیت آب را به شدت مورد تهدید قرار داده و تأمین آب مورد نیاز را در بسیاری از مناطق کشور مشکل ساخته است. همچنین استفاده از آب آشامیدنی برای همه مصارف خانگی بر خلاف برخی از دیگر کشورها، بحران آب را تشدید نموده است (Alfiya et al., 2013; Al-Hamaiedeh & Bino, 2010). به عبارت دیگر استفاده نادرست از منابع محدود آب و آلودگی منابع آب منجر به بروز بحران و فاجعه‌های محیط زیستی روزافزون شده است.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

در مواجهه با چنین بحرانی یکی از راهبردهای مطرح شده، راهبردهای صفر خالص[1] است که مدیریت چرخه آب در ساختمان را ارتقاء می بخشد (Joustra & Yeh, 2015). این راهبردها به دو روش ممکن از منابع محافظت می کنند که شامل ۱- کاهش نیاز به جریان ورودی منابع از طریق کاهش تقاضا و مدیریت مصرف در محل (Boland, 1997; Hoekstra, 2008) مانند اجرای شیوه‌های حفاظتی و بازیافت منابع در محل به منظور کاهش تقاضای کلی یا تولید منابع تجدیدپذیر برای استفاده در محل (Atasoy et al., 2007; Boehler et al., 2007; Chang et al., 2011; Cheng, 2003; Clerico, 2007; Ghisi & Ferreira, 2007)، ۲- استفاده از منابع جایگزین به منظور حفظ تعادل چرخه و حفظ کمیت و کیفیت منابع ارزشمند (Hoekstra, 2008) است. در چنین شرایطی ساختمان‌ها با شبکه زیرساخت‌های شهری در ارتباط بوده و امکان تبادل و جایگزینی منابع را فراهم می‌آورد (Voss et al., 2010). از این‌رو ضمانتی بر بهبود عملکرد ساختمان، تأمین آب و ارتقاء امنیت آبی خواهد بود (Joustra& Yeh, 2015). مطالعاتی در ایران توسط محققانی نظیر شادرخ سیگاری و حاج میرصادقی (۱۴۰۰)، ملاباشی و همکاران (۱۳۹۸)، امینی و بهمنی چاهستانی (۱۳۹۸)، ابراهیم پناه (۱۳۹۷)، روز افزای (۱۳۹۷)، نبی زاده و ابدی (۱۳۹۷)، زارع مهرجردی (۱۳۹۶)، رضایی و صراف‌زاده (۱۳۹۶) در زمینه نقش آب خاکستری در پایداری ساختمان‌های مسکونی، استفاده از آب خاکستری و آب‌های سطحی در دستیابی به ساختمان‌های سبز و پایدار، چالش های اجرای بازچرخانی آب خاکستری در ساختمان‌ها و ارائه راهکار در قالب برنامه اجرائی، طراحی تصفیه غیرمتمرکز برای استفاده مجدد از آب خاکستری در ساختمان‌های مسکونی انجام شده است، اما کمتر مطالعه‌ای به اهمیت مدیریت یکپارچه آب در ساختمان به منظور دستیابی به ساختمان‌های آب صفر و آب صفر خالص پرداخته است بدین روی هدف پژوهش تبیین مفاهیم ساختمان‌های آب صفر، آب صفر خالص و اهمیت طراحی سیستم‌های مدیریت یکپارچه منابع آب در ساختمان به منظور دستیابی به چرخه‌های پایدار آب است.

مبانی نظری

چرخه آب در مقیاس‌ها و مرزهای مطالعاتی متنوع قابل بررسی می باشد. در گذشته چرخه آب در مرز سیستم جهانی مورد بررسی را می‌گرفت. در حالی که در مطالعات امروز چرخه آب با رویکرد سیستمی، در قالب سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، لذا به منظور بررسی چرخه آب در ساختمان، مرز سیستم در اطراف محل ساختمان کشیده می‌شود. مسیرهای موجود در چرخه آب طبیعی بر خلاف مسیرهای انتقال و مصرف فیزیکی موجود در سیستم ساختمان بر اساس فرایندهای محیط زیستی شکل می‌گیرد. با این حال، تفاوت اصلی بین چرخه‌های آب این است که چرخه جهانی یک سیستم بسته است و چرخه ساختمان یک سیستم باز است. در چرخه طبیعی، آب در مرز سیستم جهانی قرار دارد و تجلی برایند صفر خالص است. به عبارتی بازچرخانی در چرخه طبیعی این اطمینان را ایجاد می‌کند که مصرف آب با تولید آب مطابقت دارد.

با طراحی متداول ساختمان، جریان آب آشامیدنی از منابع محیطی برای مصرف در داخل ساختمان وارد می‌شود. پس از استفاده، آب به عنوان فاضلاب برچسب گذاری شده و از محل ساختمان تخلیه می‌شود. از این‌رو مدیریت آب با استفاده از فرآیندهای خطی منجر به اثرات منفی محیط زیستی و کاهش منابع طبیعی خواهد شد. در حالی‌که در طرح‌های ساختمان سبز و پایدار اقدامات حفاظتی به منظور کاهش مصرف کلی آب و تشویق به بازچرخانی آب صورت می‌پذیرد. تکنیک‌های استفاده مجدد و بازیافت آب که از فرآیندهای طبیعی تقلید می‌کند و نیاز به منابع آب را بیشتر کاهش می‌دهد. بر این اساس برای دستیابی به ساختمان با برایند مصرف صفر آب همانند چرخه طبیعی، هم حفاظت و هم ایجاد چرخه‌های بازخورد آب ضروری است (Joustra & Yeh, 2015).

1 Net-zero Strategies

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

چرخه آب با تقاضای آب در ساختمان در بخش‌های مختلف ایجاد می‌شود که توسط منابع آب موجود تأمین می‌شود. فرصت‌های افزایش بهره‌وری آب با ایجاد چرخه‌های بسته به منظور دستیابی به موفقیت در برایند مصرف آب صفر به اجزای موجود در چرخه آب ساختمان مانند سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، منابع آب موجود، الگوهای رفتاری کاربران ساختمان، سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های خاکستری، سیستم‌های بازیابی آب و... بستگی دارد. منابع آب بالقوه در ساختمان شامل آب‌های شرب (آب حاصل از تصفیه متمرکز آب زیرزمینی، آب‌های سطحی یا آب شیرین‌کن)، آب بازیابی شده (فاضلاب تصفیه شده از تأسیسات تصفیه فاضلاب متمرکز)، آب باران و روان آب (نزولات آسمانی و...)، آب‌های خاکستری (آب حاصل از دوش حمام و...) آب سیاه (فاضلاب سرویس بهداشتی، ...) است. اساس مطالعات کینکده لاواریوس[1] به طور کلی می توان آبها را به صورت زیر طبقه بندی نمود:

۱. آب جوی[2]: مانند نزولات آسمانی، مه و...
۲. آب آبی[3]: آب دریاچه ها، رودخانه‌ها
۳. آب سبز[4]: رطوبت خاک
۴- آب طوفان[5]: آب بارانی که به زمین برخورد کرده است
۵. آب خاکستری[6]: پساب های لباسشویی، وان، دوش، و...
۶. آب جایگزین[7]: آبی که قبلاً استفاده شده است
۷. آب سیاه[8]: فاضلاب سرویس‌های بهداشتی
۸- آب بازیابی شده[9]: آبی که مراحل تصفیه فاضلاب را طی کرده و برای استفاده مجدد پردازش شده است.

با توجه به طبقه‌بندی مذکور آب‌های موجود در مقیاس ساختمان نظیر ساختمان‌های مسکونی، تجاری، اداری و... که قابلیت بازیابی دارند را می‌توان به آب‌های ناشی از بارش و فاضلاب (آب سیاه و خاکستری) طبقه‌بندی نمود.

آب خاکستری شامل فاضلاب دوش، حمام، روشویی، لباسشویی و آب سیاه شامل فاضلاب توالت‌ها و... است (Al-Hamaiedeh & Bino, 2012; Leal et al., 2012; Abdel-Kader, 2013; Jabornig & Favero, 2013; Boddu et al., 2016). به عبارتی آب خاکستری، آبی است که جدا از جریان فاضلاب جمع آوری می‌شود و از ماشین‌های لباسشویی، وان‌ها، دوش‌ها و روشویی‌ها سرچشمه می‌گیرد. اما شامل فاضلاب ظرفشویی‌ها، ماشین‌های ظرفشویی و ... نیست. آب خاکستری قسمت عمده و تقریباً ۶۰-۷۰٪ فاضلاب خانگی را تشکیل می‌دهد. در حالی‌که با مدیریت صحیح می‌تواند در شارژ آب‌های زیرزمینی، آبیاری فضاهای سبز و محوطه‌های طبیعی یا ورود به سیما و منظر شهری کاربرد داشته باشد. کاهش مصرف آب ساختمان و بازنگری در استراتژی فاضلاب استفاده شده برای محیط ساخته شده، می‌تواند به طور چشمگیری تأمین آب موجود را بهبود بخشد، سلامت انسان را ارتقاء دهد و تهدیدات سیستم‌های محیط زیستی را کاهش دهد. اگرچه آلودگی آب خاکستری به مراتب کمتر از آب سیاه است، اما استفاده از آن بدون تصفیه دارای خطرات زیادی است در حالی‌که در صورت تصفیه استاندارد، استفاده از آن در طرح‌هایی مانند فلاش تانک، کارواش، آبیاری، اطفاء حریق و مصارف غیر انسانی بدون خطر است (Jabornig & Favero, 2013; Abdel-Kader, 2013; Bani-Melhem et al., 2015; Oh et al., 2018). استفاده از آب خاکستری تصفیه شده نه تنها باعث کاهش مصرف منابع آب شیرین می‌شود بلکه میزان آلودگی ورودی به دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی را نیز کاهش می‌دهد (Abdel-Kader, 2013)

1 Kinkade-Levarios
2 Atmospheric water
3 Blue water
4 Green water
5 Storm-water
6 Grey water
7 Black water
8 Black water
9 Reclaim water

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

استفاده از آب خاکستری تصفیه شده و استحصال آب باران بخصوص در مناطق پر باران حجم آب مصرفی در ساختمان را کاهش می‌دهد و به عنوان یک منبع جایگزین پایدار معتبر شناخته شده است (Zita et al., 2015) که منجر به کاهش تقاضا برای تأمین آب شرب، ذخیره منابع آب، کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های شبکه انتقال آب و جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه آن می‌شود.

آب خاکستری ۴۰٪ تا ۹۱٪ از فاضلاب را در کشورهای مختلف تشکیل می‌دهد (Krozer et al., 2010; Al-Hamaiedeh & Bino, 2010). در بسیاری از کشورها، استفاده مجدد از آب خاکستری عمدتاً در مقیاس کوچک و اغلب با مراحل تصفیه محدود انجام می‌شود (Halalsheh et al., 2008; Ronen et al., 2010; Hernandez-Soriano and Jimenez-Lopez, 2012). در حالی‌که تأسیسات بازیافت آب خاکستری در مقیاس وسیع برای مناطق تجاری، مجتمع‌های مسکونی، مراکز اموزشی، فرهنگی، سیستم تصفیه مناسب بر اساس شرایط محیطی و استانداردهای بهداشتی ضروری است (Eriksson et al., 2009; Ghunmi et al., 2011). سیستم‌های آب خاکستری از نظر پیچیدگی و اندازه به شکل قابل توجهی متفاوت هستند و می‌توان آنها را بر اساس نوع فیلتراسیون یا روش تصفیه‌ای که استفاده می‌کنند، دسته بندی کرد. بسیاری از کشورها برای کاهش استفاده از آب شیرین، فن‌آوری‌ها و سیاست‌های تصفیه آب خاکستری را به شدت در ساختمان‌های مسکونی و تجاری توسعه داده‌اند. به عنوان مثال، ۱۳٪ تا ۶۵٪ آب خاکستری تصفیه شده در لس آنجلس مجدداً برای آبیاری استفاده می‌شود و ۲۹٪ تا ۳۵٪ آب خاکستری تصفیه شده در برزیل برای شستشوی محوطه‌های ساختمان و.. استفاده می‌شود (Ghisi and Ferreira, 2007). در مالزی ۶۷٪ آب در مصارف خانگی به عنوان آب خاکستری محسوب می‌شود و تقاضای آب برای فلاش تانک‌ها را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Li et al., 2009; Krozer etal., 2010).

سیستم استحصال آب باران (RWHS[1]) یکی دیگر از روش‌های تأمین آب جایگزین در ساختمان است و در کاهش حجم روان‌آب کارا است (Torres et al., 2020) و طی ۲۰ سال گذشته به طور فزاینده‌ای در کشورهای مختلف مورد توجه قرار گرفته است. طبق آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (USEPA[2])، سیستم استحصال آب باران به عنوان "سیستم جمع آوری آب باران از سطوح غیر قابل نفوذ و ذخیره آن برای استفاده‌های بعدی" تعریف شده است که عملکرد سیستم صرفاً جمع آوری و ذخیره آب باران از پشت بام ها، سطح زمین، سطح جاده‌ها یا حوضه‌های آبریز است (Abdulla & Al-Shareef, 2009). این سیستم بر اساس نوع اساس از آب بر پایه تکنیک ساده (به منظور مصارف غیر شرب)، یا تکنیک پیچیده (تصفیه مطابق با استاندارد برای مصارف شرب) اجرا می‌شود. علاوه بر تقاضای آب خانگی که توسط سیستم استحصال از سقف (RHS[3]) در مقیاس کوچک تأمین می‌شود، تقاضای آب آبیاری یا تغذیه آب زیرزمینی نیز می‌تواند با استفاده از سیستم استحصال حوضچه‌ای (PHS[4])، که در مقیاس بزرگتری همچون مقیاس شهری و فراشهری کارا است، برآورده شود. علی‌رغم کاربرد موفقیت‌آمیز سیستم استحصال آب باران در کشورهایی که میزان بارندگی سالانه آنها نسبتاً کم است، این روش در کشورهای پر باران به دلیل دسترسی به منابع منابع آب فراوان در کشورشان، کمتر اجرا شده است (Suhaila et al., 2010). به طور کلی سیستم استحصال آب باران از سه بخش اساسی تشکیل شده است: سطوح آبگیر، سیستم انتقال و سیستم ذخیره‌سازی. سیستم استحصال از سقف امکان جمع‌آوری اب باران از سطح غیرقابل نفوذ پشت بام را فراهم می‌آورد. سطوح صاف، تمیز و غیرقابل نفوذ برای پشت بام بر میزان کارایی این سطوح می‌افزاید (Li et al., 2010). عملکرد سیستم انتقال، هدایت آب باران از سطوح استحصال آب از پشت بام به مخزن ذخیره است که به طور معمول شامل ناودان‌ها و لوله‌های عمودی و افقی در سقف و دیوار است که از جنس‌های

1 Rainwater Harvesting System
2 United State Environmental Protection Agency
3 Roof Harvesting System
4 Pond Harvesting System

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

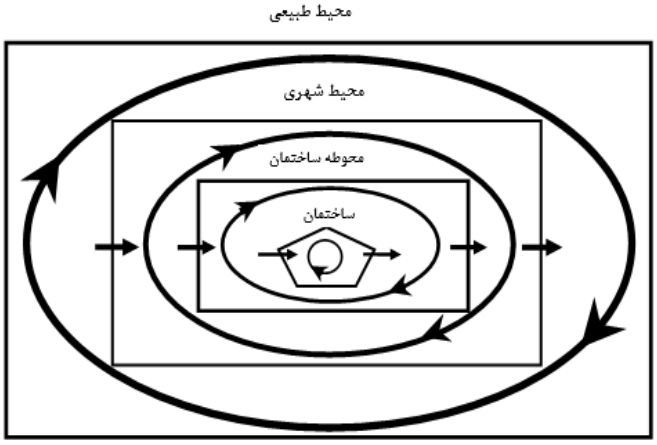
مختلف پلاستیک، یا فلزی طراحی می‌شود. سیستم ذخیره‌سازی برای ذخیره آب باران جمع‌آوری شده استفاده می‌شود. این مخازن در اندازه‌ها و اشکال مختلف با مصالح مختلف نظیر پلاستیک یا بتن در اردن (Awawdeh et al., 2012) و یا آجر و سیمان و فلز در کشور ایرلند ساخته می‌شود (Li et al., 2010).

به طور کلی به فاضلابی که در نتیجه استفاده انسان از آب برای مصارف بهداشتی تولید می‌شود، فاضلاب بهداشتی می‌گویند. از آنجا که این فاضلاب در اثر فعالیت‌های انسانی تولید می‌گردد، گاهی به آن فاضلاب انسانی نیز گفته می‌شود. سرویس‌های بهداشتی، استحمام، شستشوی ظروف، شستشوی سطوح و لباس‌شویی عمده‌ترین فعالیت‌هایی هستند که به تولید فاضلاب بهداشتی–انسانی منجر می‌شوند. اگرچه ساختمان‌های اداری، مجتمع های مسکونی معمولاً در محدوده شهری قراردارند و امکان تخلیه فاضلاب آنها به شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری فراهم است، اما به دلایلی نظیر، وجود ساختمان در خارج از محدوده خدمات شهری، عدم احداث شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، مقررات و ضوابط محیط زیستی شهرداری یا دیگر سازمان‌های خدمات شهری، محدودیت منابع آب و لزوم استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری فضای سبز در ساختمان، تزریق به آب‌های زیرزمینی، تصفیه در محل صورت می‌پذیرد. بهترین گزینه برای تصفیه این فاضلاب‌ها استفاده از پکیج‌های فلزی تصفیه فاضلاب بهداشتی–انسانی می‌باشد. فرآیند مورد استفاده در این پکیج‌ها با استفاده از لجن فعال با هوادهی گسترده و یا دیسک‌های بیولوژیکی گردان و یا سایر روش‌های تصفیه فاضلاب به منظور حذف حداکثر آلودگی انجام می‌گیرد.

مرور بر ادبیات موضوع و انواع منابع آبی در مرزهای مطالعاتی حاکی از آن است که آب صفر مترادف با آب صفر خالص در محل است. برای انطباق آب صفر، ساختمان باید تمام نیازهای آبی را با منابع آبی که در محدوده سایت ساختمان سرچشمه می‌گیرند، مانند بارندگی، برآورده کند. منابع شهری که توسط زیرساخت‌های شهری تأمین می‌شوند، مانند آب آشامیدنی متمرکز یا آب بازیافتی، نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مرز ارزیابی کمی در اطراف محل ساختمان ترسیم می شود، اما اثرات پایین دست نیز باید در نظر گرفته شود. اتکا به منابع آب بارشی طبیعی نیاز به ذخیره سازی دارد تا از رویدادهای بارندگی دوره‌ای برای برآوردن نیاز آب در طول سال استفاده شود. همچنین بازیافت فاضلاب به منظور تداوم ماندگاری آب در سیستم ساختمان ضروری است و در نتیجه مقدار منابع آب خارجی مورد نیاز را محدود می‌کند (Joustra & Yeh, 2014). در حالی‌که آب صفر خالص مرز را به زیرساخت‌های شهری گسترش می‌دهد. در این مرزمطالعاتی مقدار خالص مصرف آب با تولید آب جبران شود (Olmos & Loge, 2013). بارش در محدوده پروژه و بازگشت به حوضه آبخیز محلی، آب تولید شده در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، نزولات جوی، آب مصرفی از منابع شرب شهری را جبران می‌کند. با این حال، تعادل واقعی مستلزم آن است که هر دو محل مبدأ و مقصد آب در یک حوزه آبخیز باشند. علاوه بر این، تلفات ناشی از شبکه‌های توزیع نیز باید در معادله تراز صفر خالص در نظر گرفته شود (Joustra & Yeh, 2014) . بر این اساس طراحی سیستم‌های مدیریت یکپارچه آب ساختمان (IBWM[1]) که به طور پایدار به تمام ورودی‌ها و خروجی‌های آب ساختمان برای تعادل مستمر رسیدگی کند، از الزامات قابل توجه است. مشابه با تطبیق بار انرژی، مدیریت یکپارچه آب ساختمان (IBWM) نیازهای آبی (بارها) را با منابع موجود بر اساس چارچوب "مناسب برای هدف[2]" تطبیق می‌دهد (Voss et al., 2010). از این‌رو مدیریت یکپارچه آب در ساختمان و تدوین استراتژی در جهت تعادل بین عرضه و تقاضای آب در مرزهای مطالعاتی متنوع نظیر ساختمان، سایت ساختمان، محیط شهری و محیط طبیعی می‌تواند چرخه‌ای پایدار از منابع آب را ایجاد نماید (شکل ۱)

1 Integrated Building Water Management
2 Fit-for-purpose

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]



شکل ۱. چارچوب نظری پژوهش

روش تحقیق

روش پژوهش، توصیفی-تحلیلی با مطالعه کیفی است. ابزار جمع‌آوری اطلاعات بررسی منابع مکتوب، اسناد، مدارک و مطالعات پیشین است و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها، تحلیل محتوا است. در تحلیل محتوا، پژوهشگر پیام‌های تولید شده را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد و به دنبال یافتن پاسخی برای پرسش‌های تحقیق خود است. در راستای هدف پژوهش گام‌های زیر انجام می‌پذیرد:

۱- مروری بر منابع تأمین آب

۲- تشریح سیستم‌های استحصال آب باران، جمع‌آوری و بازیابی آب خاکستری و آب سیاه در ساختمان

۳- تبیین چرخه آب در ساختمان

۴- تبیین اهمیت چرخه پایدار آب در ساختمان در راستای دستیابی به ساختمان‌های خودکفا از منظر آب

۵- استخراج فرایندهای چرخه آب در ساختمان‌های آب صفر خالص

یافته‌های تحقیق

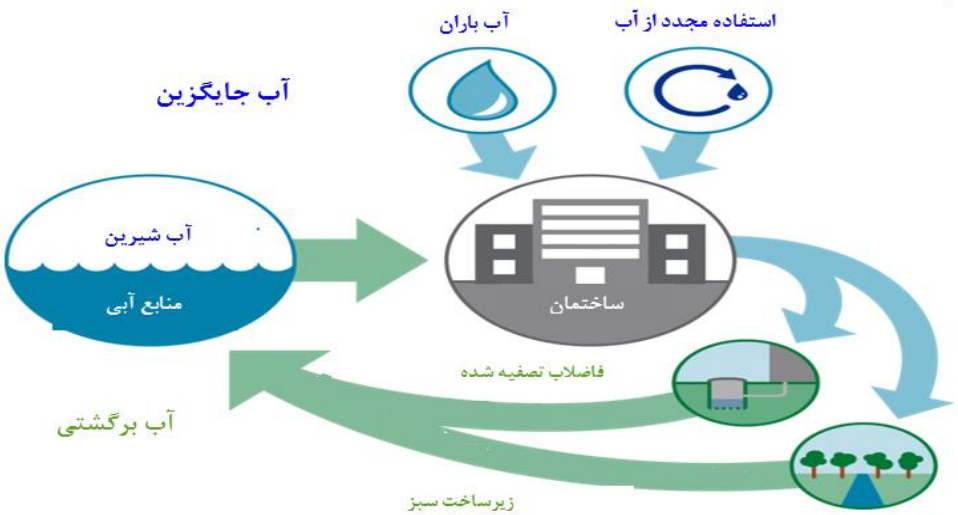
محیط مصنوع توسط منابع تأمین شده از محیط طبیعی از نظر مواد اولیه، انرژی و آب پشتیبانی می‌شود. در نتیجه، ساخت و بهره‌برداری از محیط‌های مصنوع به طور عام و ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری و ... به طور خاص، به طور قابل توجهی بر کیفیت سیستم انسانی که در آن زندگی می‌کنند و همچنین سیستم‌های طبیعی که به آنها متصل هستند، تأثیر می‌گذارد. میزان تأثیر محیط مصنوع توسط بخش قابل توجهی از مصرف انرژی، آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از مواد، خروجی پسماند و پساب مشهود است (Kibert, 2008; USEPA, 2013). بر این اساس ارتش آمریکا ساختمان‌های آب صفر خالص[1] را به عنوان ساختمان‌های مجهز به تأسیساتی معرفی می‌کند که ضمن کاهش مصرف آب در ساختمان، به هدایت آب در حوضه آبریزی که ساختمان در آن واقع شده می‌پردازد و بدین صورت، کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی را حفظ می‌کند (US Army, 2014). نظر به اینکه اصطلاح صفر خالص بر تعادل تأکید دارد، در چنین ساختمان‌هایی مجموع کل ورودی‌های آب به ساختمان با خروجی‌ها جبران می‌شود. در نتیجه تثبیت مصرف و تولید منابع آبی، زمینه‌ساز تحقق مفهوم اصلی پایداری می‌شود (World Commission on Environment and Development, 1987).

1 Net-zero water buildings

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

تحقق ساختمان‌های آب صفر خالص مستلزم آن است که چرخه آب ساختمان به طور مستقل از سیستم‌های آب و فاضلاب شهری عمل کند. ساختمان آب صفر خالص، ساختمانی خنثی است که در آن مقدار آب جایگزین مصرف و آب برگشتی به منبع اصلی آب برابر با کل آب مصرفی ساختمان است. در چنین ساختمان‌هایی سعی بر آن است که مصرف کل آب به حداقل کاهش یابد، منابع جایگزین آب به حداکثر افزایش یابد، ضمن کاهش تخلیه فاضلاب از ساختمان، آب به منبع اصلی تأمین آب بازگشت یابد. ساختمان‌های آب صفر خالص، ساختمان‌هایی هستند که مجموع آب جایگزین و آب برگشتی برابر با میزان کل مصرف آب ساختمان باشد (شکل ۲).

- مصرف کل آب برابر با مقدارآب مصرفی در محدوده ساختمان از همه منابع (آب آشامیدنی و غیر شرب از جمله آب شیرین و آب جایگزین) درطول یک سال است.
- آب جایگزین میزان آب مصرفی در مرزهای یک ساختمان از منابع آب پایدار است که درطول یک سال از منابع آب شیرین مشتق نشده است مانند آب باران
- آب برگشتی به مقدارآب جمع‌آوری شده از سیستم‌های ساختمان (زیرساخت‌های سبز و فاضلاب تصفیه شده درمحل) گفته می‌شود و در طی یک سال به منبع اصلی آب برگردانده می‌شود.



شکل ۲. گرافی از چرخه آب در ساختمان آب صفر خالص

استراتژی‌های صفر خالص از دو طریق به محافظت از منابع می‌پردازند. ۱- ورودی منابع از طریق مدیریت تقاضا در محل کاهش می یابد یا از بین می‌رود (اجرای روش‌های حفاظتی، بازیافت آب در محل به منظور کاهش تقاضای کلی) در نتیجه باعث کاهش نیاز به منبع تأمین می‌شود (Atasoy et al., 2007; Boehler et al., 2007; Chang et al., 2011; Cheng, 2003; Clerico, 2007; Ghisi and Ferreira, 2007). اگرچه شناسایی میزان تقاضا و منابع تأمین موجود در چرخه آب ساختمان امکان تطبیق عرضه و تقاضا را برای تحقق عملکردهای آب ساختمان فراهم می‌کند. با این حال، عدم قطعیت در تقاضا و تأمین، تنوع را در عملکرد واقعی چرخه آب ساختمان ایجاد می‌کند و می‌تواند موفقیت در دستیابی به ساختمان آب صفر خالص را با اختلال مواجه نماید. ۲- استفاده از منابع جایگزین با ارزش و کیفیت مشابه. اگرچه صفر خالص دلالت بر تعادل کمی دارد اما باید اثرات متعادل کیفی را نیز در نظر بگیرد. به عنوان مثال، ساختمانی که فاضلاب را با کیفیت پایین به محیط طبیعی تخلیه می کند، ممکن است تعادل کمی آب را حفظ کند، اما سلامت محیط تخلیه را کاهش می دهد. لذا حفظ عدم تعادل در کیفیت و کمیت آب، تغییر محل مبدأ و تخلیه آب و حتی تأخیرهای زمانی در برداشت و تخلیه مستلزم مدیریت صحیح آب از نظر کمی، کیفی، مکانی و زمانی است. تنوع گسترده در آب و هوا تا حد

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

زیادی بر پتانسیل استفاده از آب جایگزین، مانند استحصال آب باران تأثیر می‌گذارد، بنابراین گزینه‌های موجود برای جبران آب آشامیدنی کاهش می‌یابد. توجه به عناصر کلیدی در طراحی ساختمان‌های آب صفر خالص، بر کارایی عملکرد این ساختمان‌ها می‌افزاید. این عناصر کلیدی عبارتند از:

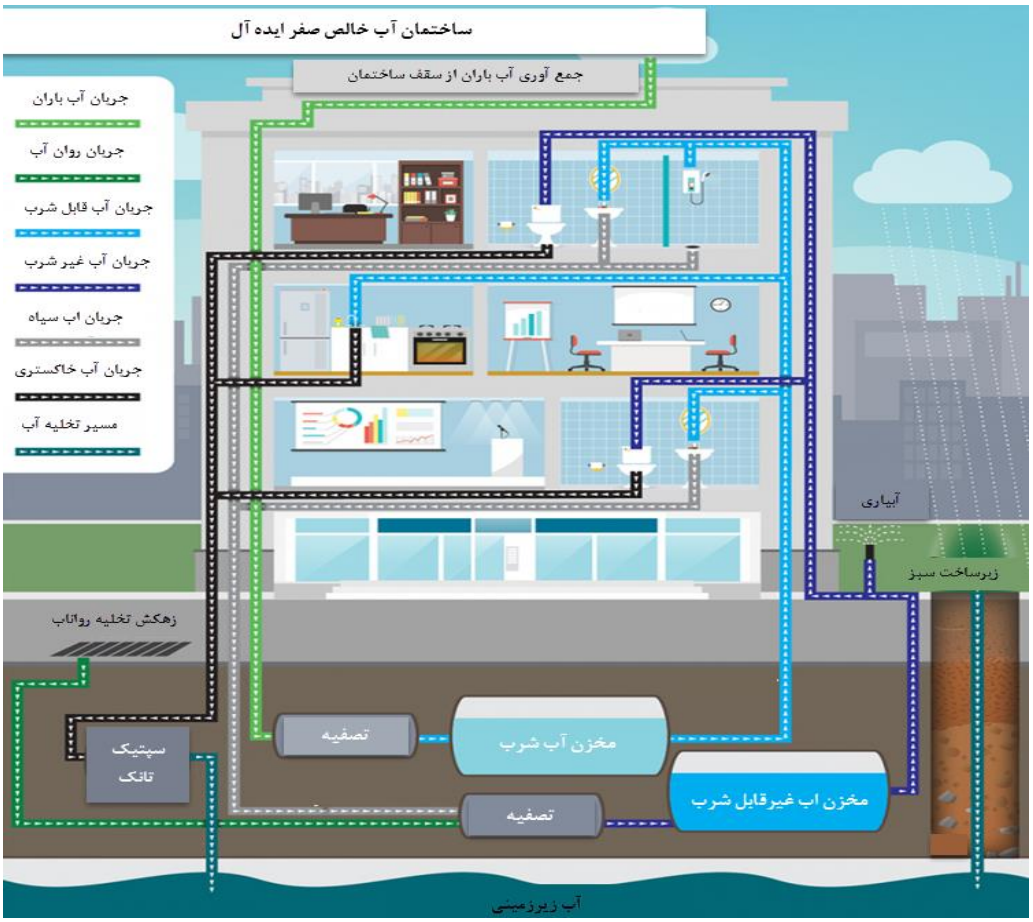
- کاهش تقاضا با استفاده از فناوری های نوآورانه که مصرف آب کمتری دارند
- تولید منابع جایگزین آب برای جبران آب شیرین خریداری شده
- تصفیه فاضلاب در محل و استفاده مجدد یا تزریق فاضلاب تصفیه شده در منبع اصلی آب
- اجرای زیرساخت های سبز با نفوذ در آب های سطحی حاصل از بارندگی به منبع اصلی تأمین آب

گسترش تنوع آب و هوایی، تغییرات شرایط اقلیمی، الگوهای رفتاری متغیر کاربران، فاکتورهای اقتصادی-اجتماعی، دسترسی به تکنولوژی و فناوری، کارایی شبکه زیرساختی سبز، ضوابط و مقررات مرتبط و... پیش‌بینی الگوهای مناسب را بر اساس سوابق تاریخی دشوار می‌کند. علاوه بر این، خرابی‌های پیش‌بینی نشده در سیستم از جمله شکستگی لوله، اختلال در عملکرد، قطع برق و کمبود تصفیه، منبع مرتبط را از چرخه آب ساختمان برای مدت زمان خرابی حذف می‌کند. تصویر شماره ۳ الگوی طراحی ساختمان آب صفر خالص ایده‌آل را به تصویر می‌کشد. در چنین الگویی

- از منابع جایگزین آب در محل برای تأمین تمام نیازهای آب ساختمان استفاده می‌شود.
- تمام فاضلاب تخلیه شده از ساختمان در محل تصفیه می‌شود و به منبع اصلی آب بر می‌گردد.
- آب قابل شرب از محل آب باران برداشت شده در محل تأمین و تصفیه می‌شود.
- آب غیرقابل شرب جایگزین از روان آب سطحی برداشت شده و آب خاکستری حاصله پس از تصفیه در فلاش تانک‌ها یا آبیاری فضاهای سبز محوطه استفاده می‌شود.
- آب سطحی حاصل از بارندگی از طریق زیرساخت سبز در محوطه، فضای باز و سبز ساختمان جهت شارژ آبخوان استفاده می‌شود.

زیرساخت‌های سبز به عنوان بخشی از این سیستم، اشاره به فضاهای طبیعی و باز مانند محوطه سبز، دیوار سبز، بام سبز در ساختمان دارد، که به‌عنوان منابع استراتژیک برای حفاظت از آب، شناخته می‌شوند. اگر این محیط‌های طبیعی تخریب و یا به بخش‌های توده ساختمانی تبدیل شوند، کمبود آب و آلودگی در منابع آبی روی می‌دهد. زیرساخت‌های طبیعی موجود در ساختمان می‌تواند به حفاظت و تکمیل سیستم‌های چرخه سنتی آب در ساختمان کمک کند. به این صورت که با اجتناب از آلودگی، جمع‌آوری رواناب و تزریق به شبکه آب‌های زیرزمینی دیگر نیازی به ساخت کارخانه تصفیه آب و هزینه اضافی نخواهد بود. سپتیک تانک یک محفظه زیرزمینی است که از بتن، فایبرگلاس یا پلی‌اتیلن ساخته شده و به وسیله آن فاضلاب به صورت اولیه تصفیه می‌گردد. فرآیندهای ته‌نشینی و بی‌هوازی، مواد جامد و مواد آلی را کاهش می‌دهد، اما بازده تصفیه به طور متوسط می‌باشد (که به آن تصفیه اولیه گفته می‌شود). سیستم‌های مخازن سپتیک تانک نوعی تأسیسات فاضلاب ساده در محل محسوب می‌شود که می‌توان از آن‌ها در مناطق روستایی و شهری که به سیستم فاضلاب متصل نبوده و سیستم فاضلاب یکپارچه ندارند، استفاده کرد. پساب مایع تصفیه شده معمولاً در یک میدان تخلیه سپتیک دفع می‌شود، که این امر تصفیه بیشتری را فراهم می‌کند.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]



شکل ۲. سیستم‌های یکپارچه در فرایند چرخه پایدار آب در ساختمان آب صفر خالص

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، در ساختمان‌های بزرگ، یک منبع برای مواجهه با نیاز آبی به تنهایی کافی نیست، و سیستم‌های یکپارچه عملی‌تر و امکان‌پذیرتر می‌باشند. این سیستم‌ها بسته به کیفیت آب مورد نیاز نیاز به تصفیه دارند. با این وجود، تصفیه آب باید قبل از یکپارچه‌سازی و به‌طور جداگانه انجام شود، چرا که آب خاکستری به‌طور معمول نیاز به تصفیه پیچیده‌تری نسبت به آب باران دارد. سرریز چنین سیستمی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی و یا ورود به منابع اصلی تأمین آب استفاده می‌شود. چنین سیستم یکپارچه‌ای نیاز به یک مطالعه دقیق برای ارزیابی امکان‌پذیری آنها، به ویژه در مجتمع‌های مسکونی و تجاری دارند، چرا که این سیستم‌ها اغلب هزینه‌های سرمایه‌گذاری قابل توجهی دربرداشته و در برخی موارد، دوره‌های بازپرداخت طولانی دارند. تجزیه و تحلیل و طراحی مناسب پیش از اجرای این سیستم‌ها، مزایا و کارایی مخازن ذخیره‌سازی و تصفیه را در جهت چرخه بهینه آب در ساختمان افزایش می‌دهد. سایت‌های متصل به شبکه زیرساختی سبز که هم به سایت ساختمان خدمات می‌دهد و هم منابع تولید شده توسط سایت را برای تخصیص به خارج از سایت می‌پذیرد، می‌تواند در نهایت فرصت جبران را فراهم آورد. به طور کلی مزایای استفاده از سیستم‌های یکپارچه در جهت حصول چرخه پایدار آب در ساختمان عبارتند از:

- کاهش میزان برداشت آب از رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی
- کاهش نیاز به استفاده از تصفیه خانه‌ها و سپتیک تانک‌ها
- کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های شیمیایی ناشی از فرآیند تصفیه
- کاهش حجم فاضلاب‌های ورودی به جریان‌های آب مانند رودخانه‌ها
- تغذیه آب‌های زیرزمینی

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

– حفظ منابع طبیعی و محیط زیست
– حصول اهداف توسعه پایدار
– کاهش بار اضافی به شبکه‌های تأمین آب شهری در مواقع بروز تنش‌های آبی و خشکسالی
– تصفیه ساده و بسیار کم هزینه آب خاکستری و آب بارش در محل
– کاهش هزینه‌های شبکه انتقال آب و جمع آوری فاضلاب.
– کاهش هزینه‌های تصفیه فاضلاب
– استفاده از آب‌های خاکستری تصفیه شده در سیستم‌های گرمایش، سرمایش، دیوار سبز، بام سبز، سیستم‌های اطفاء حریق، تلطیف هوا و...
– ارتقاء کیفیت زیرساخت‌های سبز و حفظ اکوسیستم‌های آبی

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

اهمیت بنیادین آب از این واقعیت مشهود است که دو هدف از اهداف هفده گانه توسعه پایدار سازمان ملل متحد مستقیماً به آب می‌پردازند. در مطالعه انجام شده، یافته ها حاکی از آن است که ایجاد چرخه پایدار آب در ساختمان از طریق سیستم‌های استحصال آب باران، سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه آب خاکستری به عنوان منابع آب جایگزین، جمع‌آوری و تصفیه آب‌های سیاه در محدوده ساختمان و بهره‌گیری از آن در جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و یا ورود به منابع تأمین آب می‌تواند بستری برای تحقق ساختمان‌های آب صفر خالص باشد. لازم به ذکر است تنوع گسترده شرایط آب و هوایی، تغییرات شرایط اقلیمی، گرمایش جهانی و... تا حد زیادی بر پتانسیل استفاده از آب جایگزین، مانند برداشت آب باران و تولید میعانات، تأثیر گذاشته و گزینه‌های موجود برای جبران آب آشامیدنی را کاهش می‌دهد. به عبارتی عدم قطعیت در منابع تأمین آب در شرایط پویا و متغیر محیط طبیعی همراه با عوامل اقتصادی، اجتماعی، دسترسی به فناوری و تکنولوژی‌های مرتبط، زیرساخت‌های مناسب، پشتوانه‌های قانونی و اجرایی و... بر تحقق ساختمان‌های آب صفر خالص تأثیرگذار است. بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی جهت طراحی سیستم‌های یکپارچه چرخه آب در ساختمان با توجه به شرایط اقلیمی، الگوهای رفتاری کاربران، امکانات و خدمات موجود، دسترسی به تکنولوژی و زیرساخت به منظور مدیریت بهینه آب در ساختمان، تدوین راهبرد و اثربخشی راهبردهای اتخاذی از اهمیت بسزایی برخوردار است. بدین روی اجرای طرح‌ها و برنامه‌های ذیل به منظور تأمین چرخه پایدار آب و دستیابی به ساختمان‌های آب صفر خالص پیشنهاد می‌شود.

–تدوین ضوابط طراحی سامانه‌های جمع‌آوری، تفکیک، تصفیه و استفاده مجدد آب در ساختمان
– تدوین برنامه‌های تشویقی برای اجرای سیستم‌های مدیریت یکپارچه آب در ساختمان با مشوق‌هایی مانند کاهش مالیات و حمایت در زمینه هزینه‌ها
– وضع قوانین و مقررات برای اطمینان از طراحی و اجرای صحیح فرایند تصفیه و استفاده از آب تصفیه شده
– ارتقاء کمپین‌های آموزشی برای بالابردن سطح دانش، آگاهی و اطلاعات اجتماعی در مورد سیستم‌های مدیریت یکپارچه آب
– طرح‌های دانش بنیان در زمینه ارزیابی علل و میزان آلودگی منابع آبی، ارتقاء کارایی تأسیسات و شبکه‌های آبرسانی، انتقال و جمع‌آوری فاضلاب، تصفیه آب، ارتقاء کیفیت آب، نوسازی شبکه و سیستم‌های موجود، کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های انتقال آب، حفاظت از تأسیسات و ...
– طرح‌های توسعه زیرساخت‌های سبز و آبی به منظور افزایش فرایند استحصال آب و ذخیره‌سازی، و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و..

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

- طرح‌های مطالعاتی امکان‌پذیری محیطی، امکان‌سنجی فنی، تجزیه و تحلیل حساسیت، تجزیه و تحلیل هزینه، بازگشت سرمایه در اجرای ساختمان‌های آب صفر خالص و چرخه‌های پایدار آب

منابع

Abdel-Kader, A. M. (2013). Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 25(2), 89–95.

Abdulla, F.A., & Al-Shareef, A. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243, 195–207.

Alfiya, Y., Gross, A., Sklarz, M., & Friedler, E. (2013). Reliability of on-site greywater treatment systems in Mediterranean and arid environments – a case study. *Water Science and Technology*, 67(6), 1389–1395.

Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256(1–3), 115–119.

Al-Jayyousi O.R. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156, 18l–l92. https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0

Atasoy, E., Murat, S., Baban, A., & Tiris, M. (2007). Membrane bioreactor (MBR) treatment of segregated household wastewater for reuse. *CLEAN – Soil, Air Water*, 35(5), 465-472.

Awawdeh, M., Al-Shraideh, S., Al-Qudah, K., & Jaradat, R. (2012). Rainwater harvesting assessment for a small size urban area in Jordan. *Int. J. Water Resour. Environ. Eng*, 4, 415–422.

Bani-Melhem, K., Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M., Qasaimeh, A., Qtaishat, M. R., & Alkasrawi, M. (2015). On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *Journal of Membrane Science*, 476, 40–49.

Boddu, V. M., Paul, T., Page, M. A., Byl, C., Ward, L., & Ruan, J. (2016). Gray water recycle: effect of pretreatment technologies on low pressure reverse osmosis treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4435–4443.

Boehler, M., Joss, A., Buetzer, S., Holzapel, M., Mooser, H., & Siengrist, H. (2007). Treatment of toilet wastewater for reuse in a membrane bioreactor. *Water Science and Technology*, 56(5), 63-70

Chang, N. B., Rivera, B. J., & Wanielista, M. P. (2011). Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1180-1188. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.02.008.

Cheng, C. L. (2003). Evaluating water conservation measures for green building in Tawain. *Building and Environment*, 38(2), 369-379. doi: 10.1016/S0360-1323(02)00062-8.

Clerico, E. (2007). *The future of water reuse in NYC*. Retrieved from http://allianceenvironmentalllc.com/pdfs/AE_NYC_ Incentives_White_Paper_final.pdf

Da Silva, L. C. C., Oliveira Filho, D., Silva, I. R., e Pinto, A. C. V., & Vaz, P. N. (2019). Water sustainability potential in a university building, case study. *Sustainable Cities and Society*, 47: 101489.

Eriksson, E., Andersen, H.R., Madsen, T.S., & Ledin, A. (2009). Grey-water pollution variability and loadings. *Ecol. Eng*, 35, 661–669.

Ghaitidak, D. M., & Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater, a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795–2809.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

Ghisi, E., & Ferreira, D. F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(7), 2512-2522.

Ghunmi, L.A., Zeeman, G., Fayyad, M., & van Lier, J.B. (2011). Greywater treatment systems: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol*, 41, 657–698.

Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., & Safi, M. (2008). Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresour. Technol*, 99, 6635–6641.

Hernandez-Soriano, M.C., & Jimenez-Lopez, J.C. (2012). Effects of soil water content and organic matter addition on the speciation and bioavailability of heavy metals. *Sci. Total Environ*, 423, 55–61.

Hoekstra, A. Y. (2008). Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints. *Value of Water Research Report Series*, 28.

Imteaz, M.A., Shanableh, A., Rahman, A., & Ahsan, A. (2011). Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 1022-1029.

International Living Future Institute. (2012). Living Building Challenge 2.1. Accessed May 10. http://living-future.org/sites/default/files/LBC/LBC _Documents/LBC%202_ 1%2012-0501.pdf

Jabornig, S., & Favero, E. 2013. Single household grey-water treatment with a moving bed bio film membrane reactor (MBBMR). *Journal of Membrane Science*, 446, 277–285.

Joustra, C. M., & Yeh, D. H. 2015. Framework for net-zero and net-positive building water cycle management. *Building Research & Information*, 43(1), 121-132.

Joustra, C. M., & Yeh, D. H. (2015). *Decision support systems for water reuse in smart building water cycle management*. In F. A. Memon, and S. Ward (Eds.), Alternative Water Supply Systems (pp. 393-419). London: IWA Publishing.

Joustra, C., & Yeh, D. (2014). *Decision support modeling for net-zero water buildings.* Paper presented at the Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014.

Kibert, C. J., & Fard, M. M. (2012). Differentiating among low-energy, low-carbon and net zero energy building strategies for policy formulation. *Building Research & Information*, 40(5), 625-637. doi:10.1080/09613218.2012.703489.

Krozer, Y., Hophmayer-Tokich, S., van Meerendonk, H., Tijsma, S., & Vos, E. (2010). Innovations in the water chain–experiences in The Netherlands. *J. Clean. Prod*, 18, 439–446.

Leal, L.H., Soeter, A., Kools, S., Kraak, M., Parsons, J., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. (2012). Ecotoxicological assessment of grey water treatment systems with Daphnia magna and Chironomus riparius. *Water Research*, 46(4), 1038–1044.

Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Sci. Total Environ*, 407, 3439–3449.

Li, Z., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260, 1–8.

New Buildings Institute. (2014). *Getting to Zero Status Update: A Look at the Projects, Policies and Programs Driving Net Zero Energy Performance in Commercial Buildings*. Accessed May 10. http://newbuildings.org/sites/default/files/2014_Getting_ to_Zero_Update.pdf

Olmos, K. C., & F. J. Loge. (2013). Offsetting Water Conservation Costs to Achieve Net-Zero Water Use. *American Water Works Association Journal*, 105(2):41-42.

Ronen, Z., Guerrero, A., & Gross, A. (2010). Greywater disinfection with the environmentally friendly Hydrogen Peroxide Plus (HPP). *Chemosphere*, 78, 61–65.

Santos, C., & Matos, C. A. (2013). chapter: *Challenges and potentials of reusing greywater to reduce potable water demand, Water Conservation: Practices, Challenges and Future Implications*, Nova Science Publishers, Inc, ISBN: 978-1-62808-993-6.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]

Shamabadi, N., Bakhtiari, H., Kochakian, N., & Farahani, M. (2015). The investigation and designing of an onsite grey water treatment systems at Hazrat-e-Masoumeh University, Qom, Iran. *Energy Procedia*, 74, 1337–1346.

Suhaila, J., Deni, S.M., Zin, W.Z.W., & Jemain, A.A. (2010). Trends in peninsular Malaysia rainfall data during the southwest monsoon and northeast monsoon seasons: 1975–2004. *Sains Malays*, 39, 533–542.

Torres, M.N., Fontecha, J.E., Zhu, Z., Walteros, J.L., & Rodríguez, J.P. A. (2020). participatory approach based on stochastic optimization for the spatial allocation of Sustainable Urban Drainage Systems for rainwater harvesting. *Environ. Model. Softw*, 123, 104532.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2013). *Water sense: Outdoor water use in the United States*. http://www.epa.gov/WaterSense/pubs/outdoor.html (accessed 31 May 2013)

Voss, K., Sartori, I., Napolitano, A., Geier, S., Gonçalves, H., Hall, M., ... & Torcellini, P. (2010). *Load matching and grid interaction of net zero energy buildings*. In Proceedings of the EUROSUN 2010 International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Report of the world commission on environment and development: Our Common Future*. Retrieved from http://www.undocuments. net/our-common-future.pdf

Zita, L., Bill, B. R., Stenstrom, M. K., & Cohen, Y. (2015). Feasibility of a semi-batch vertical-flow wetland for onsite residential graywater treatment. *Ecological Engineering*, 82, 311–322.

[Downloaded from jvfc.ir on 2026-09-12]