dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

بررسی فنی و اقتصادی هزینه‌های استفاده از آب خاکستری در ساختمان‌های بلند مرتبه ایران

اشکان روحانی فرحمند[1]، مصطفی تیزقدم غازانی[2]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب و فاضلاب، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور و عضو انجمن مخترعین ایران
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۲۶۴۷۰۶۵۵ a.r.farahmand@live.com
۱- استادیار، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، گروه مهندسی آب و فاضلاب

(دریافت ۹۴/۹/۱۸ پذیرش ۹۴/۱۱/۱۴)

چکیده

ایران به‌دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان با محدودیت منابع آب مواجه است. در جوامع شهری که کمبود منابع آب دارند، پساب حاصل از تصفیه فاضلاب می‌تواند به‌عنوان منبعی قابل اطمینان و جایگزین به‌ویژه برای آبیاری فضای سبز محسوب شود. این منابع آب می‌تواند در قسمت‌های مختلف مانند فلاش تانک سرویس‌های بهداشتی، آبیاری مزارع و غیره استفاده شود. همچنین این آب می‌تواند در صنایع مختلفی مانند نساجی، شیمی، پلاستیک و ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. در این میان مصارف شرب و پخت‌وپز که میزان ناچیزی از مصرف کل را شامل می‌شود، نیاز به کیفیت مناسب مطابق با استانداردهای آب شرب دارند و سایر مصارف می‌توانند توسط منابع آب غیر شرب تأمین شوند. این تحقیق با هدف کمک به استفاده مجدد از آب خاکستری در ساختمان‌های بلند مرتبه توسط طرح‌های انگیزشی و فرهنگ‌سازی برای تشویق سازندگان جهت اجرای این ایده در پروژه‌های خود انجام شده است. در این تحقیق به تأثیر سپتیک تانک دو مخزنه در کاهش پارامترهای TSS، P، N، COD و BOD پرداخته شد. متأسفانه تعرفه‌های موجود خرید انشعاب آب از شرکت‌های آب و فاضلاب تابعی از عرصه و اعیان ساختمان بوده و پارامترهای حجمی در آن ملاحظه نشده است. لذا نیاز به اصلاح شیوه تعرفه‌گذاری برای انشعابات آب و فاضلاب می‌باشد. با توجه به هزینه‌های مازاد ایجاد انشعابات جداسازی آب خاکستری از آب سیاه و هزینه‌های تصفیه به‌همراه بازچرخانی در همان ساختمان، با ارائه طرح‌های تشویقی و پیشنهادی به سازندگان و بخش صنعت، این طرح قابلیت اجرایی و توجیه اقتصادی پیدا خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: آب خاکستری، ساختمان‌های بلند مرتبه، راهکارهای اقتصادی

۱- مقدمه

افزایش جمعیت و افزایش سطح دانش، آگاهی و فرهنگ مردم و همچنین توسعه شهرنشینی، تقاضا برای آب قابل شرب و تصفیه شده را افزایش داده است. از طرفی در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش ذخایر آب شیرین، در بسیاری از نقاط جهان مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک ضرورت وجود و استفاده از منابع تجدید شونده اجتناب‌ناپذیر است. استفاده مجدد از پساب فاضلاب تصفیه شده، می‌تواند جایگزین مناسبی برای مقابله با کمبودها و بحران‌های احتمالی باشد (DE Chattel et al. 2014).

از طرف دیگر بخش عظیمی از مناطق کشور، با محدودیت منابع آب روبروست و استفاده نادرست از منابع محدود آب و ایجاد آلودگی در این منابع منجر به بروز بحران‌ها و فاجعه‌های زیست محیطی در آینده نه‌چندان دور خواهد شد. روند روبه رشد توسعه کشور، گسترش مراکز صنعتی، استفاده بیش از حد از کود و سموم در کشاورزی، تخلیه پساب‌ها به منابع آبی پذیرنده، زهاب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های بیمارستانی و خانگی، کمیت و کیفیت منابع آبی محدود و ارزشمند کشور را به شدت تهدید می‌کند.

گسترش روز افزون نیاز و تقاضا در جامعه برای دسترسی به منابع آب با کیفیت مناسب، افزایش چشمگیر هزینه‌های تأمین آب جدید و ضرورت کنترل آلودگی منابع آب با در نظر گرفتن محدودیت منابع آبی کشور، مدیریت منابع آب را از جنبه‌های مختلف با چالش‌های جدی روبرو ساخته است. لذا تأمین برنامه‌های لازم به‌منظور حصول توسعه پایدار و حفظ محیط زیست و کیفیت منابع آب کشور ضروری است.

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

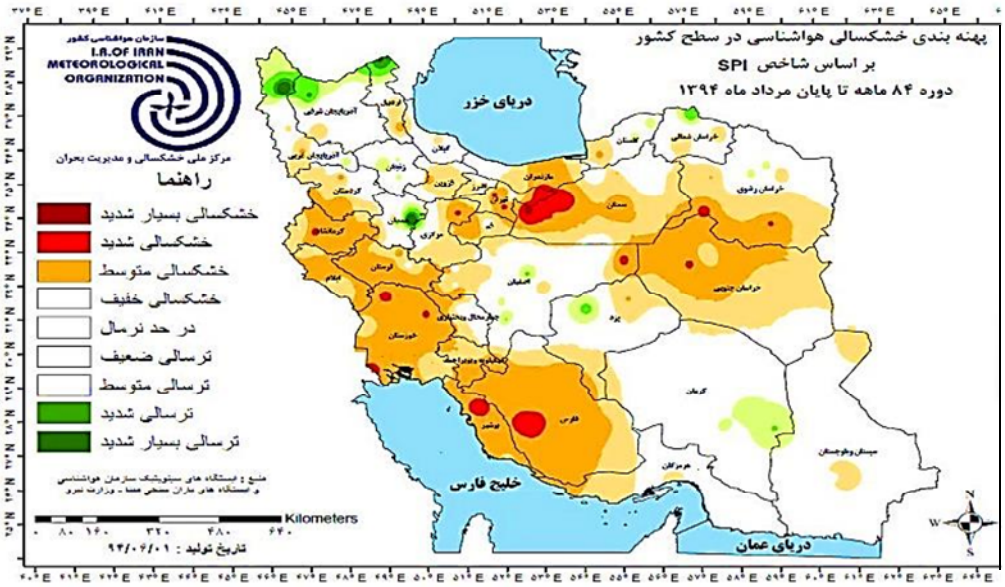

Fig. 1. Meteorological drought zoning of Iran (ndwmc 2015)
شکل ۱- پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در سطح کشور (ndwmc 2015)

۲- وضعیت منابع آبی در ایران

منابع آبی تجدیدشونده کشور، با توجه به وضعیت بارندگی، پوشش گیاهی و سایر عوامل تأثیرگذار در حجم نزولات جوی، حدود ۱۳۰ تا ۱۳۹ میلیارد متر مکعب در سال است که حجم قابل استحصال با در نظرگیری آب‌های برگشتی است. حدود ۱۰۵ میلیارد مترمکعب را جریان‌های سطحی و ۲۵ میلیارد مترمکعب را جریان‌های نفوذی به منابع زیرزمینی تشکیل می‌دهند (Jamab Consulting Engineers, 2004).

ایران به‌دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان با محدودیت منابع آب روبرو است. شکل ۱ پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی در سطح کشور را نشان می‌دهد. از طرفی برای تأمین آب مورد نیاز برخی فعالیت‌ها و صنایع در صورت امکان می‌توان از منابع آبی جایگزین به‌جای آب شرب استفاده کرد. در جوامع شهری که دارای کمبود منابع آب هستند، پساب حاصل از تصفیه فاضلاب می‌تواند به‌عنوان منبعی قابل اطمینان و جایگزین محسوب شود. این منابع آب می‌تواند در قسمت‌های مختلف مانند فلاش تانک سرویس‌های بهداشتی، آبیاری مزارع و غیره استفاده شود. همچنین این آب می‌تواند در صنایع مختلفی مانند نساجی، شیمی، پلاستیک و ساختمان استفاده شود. در این میان مصارف شرب و پخت و پز که میزان ناچیزی از مصرف کل را شامل می‌شود، نیاز به کیفیت مناسب مطابق با استانداردهای آب شرب دارند و سایر مصارف می‌توانند توسط منابع آب غیر شرب تأمین شوند.

سرانه آب تجدیدپذیر کشور در سال ۱۳۴۰ حدود ۵۵۰۰ مترمکعب بوده و در سال ۱۳۵۷ به ۳۴۰۰ مترمکعب و در سال ۱۳۶۷ به ۲۵۰۰ مترمکعب و در سال ۱۳۷۶ به زیر ۲۰۰۰ مترمکعب کاهش یافته است. این میزان با توجه به روند افزایش جمعیت کشور در سال ۱۳۸۵ به حدود ۱۷۵۰ تنزل یافته و در افق سال ۱۴۰۰ به زیر ۸۰۰ مترمکعب خواهد رسید (ndwmc 2015).

ارقام متوسط سرانه آب کشور در سال‌های آینده به مفهوم ورود ایران به مرحله تنش آبی و کم آبی خواهد بود. در کنار کاهش کمیت منابع آب، انتشار پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری نیز دیگر عوامل تهدید کننده منابع آب کشور محسوب می‌شوند.

با افزایش شکاف میان تقاضا و عرضه آب، به تدریج توسعه شهرها با محدودیت روبرو شده و بخشی از رشد برنامه‌ریزی شده بخش‌های کشاورزی و صنعت به‌دلیل کمبود آب مطمئن با چالش جدی روبرو خواهد شد. کاهش سرانه منابع آب تجدید شونده و ورود کشور به مرحله تنش آبی، گسترش آلودگی منابع آب، اضافه برداشت آب از ذخایر زیرزمینی و تشدید بحران کمبود آب در دشت‌ها و تشدید بحران‌های اجتماعی و منازعات بر سر آب، نمادهایی از چالش‌های جدی و خطیر فرا روی مدیریت منابع آب

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

در کشور می‌باشند (President of strategic planning & technical & administrative office system 2008).

۳- اهمیت استفاده از آب خاکستری

یکی از راه‌های تأمین آب مورد نیاز، استفاده از آب خاکستری به‌عنوان آب جایگزین در برخی از مصارف است. میزان آب مورد نیاز برای بخش‌های شرب، پخت و پز و استحمام مقدار ناچیزی از مصرف کل خانگی و شهری را شامل می‌شود. این در حالی است که سایر مصارف غیرشرب که بخش عمده از مصارف خانگی را در بر می‌گیرد، می‌تواند از آب با کیفیت پایین‌تری برای مشترکان تأمین شود.

آب خاکستری، از فاضلاب تولید شده از مصارفی همچون شستشو، استحمام و غیره تولید می‌شود و نسبت به آب سیاه که شامل فاضلاب‌های مدفوعی و غیره است، کیفیت بهتری دارد و می‌توان با یک دیدگاه مدیریتی به راحتی آن را به چرخه مصرف بازگرداند و از آن به‌عنوان جایگزین مناسبی به جای آب تصفیه شده قابل شرب و با کیفیت بسیار بالا استفاده کرد. لذا استفاده از آب خاکستری از همان ابتدا باعث کاهش مصرف آب و همچنین کاهش هزینه‌های بالای تصفیه آب و از طرفی کاهش فاضلاب‌های خروجی از منازل و کاهش هزینه‌های انتقال و تصفیه فاضلاب می‌شود (WHO 2010).

هدف اصلی جمع‌آوری انتقال و تصفیه فاضلاب، حفاظت از محیط زیست در برابر گسترش آلودگی‌ها و استفاده مجدد از آب بازیافتی است. حدود ۸۰ درصد آب مصرفی منازل و درصدهای بالاتری در صنایع، به فاضلاب تبدیل می‌شوند و استفاده مجدد از آن‌ها به‌عنوان منابع آبی تجدید شونده محسوب می‌شود (President of strategic planning & technical & administrative office system 2008).

در جوامع شهری که دارای کمبود منابع آب هستند، پساب حاصل از تصفیه فاضلاب می‌تواند به‌عنوان منبعی قابل اطمینان و جایگزین محسوب شود. این منابع آب می‌توانند در قسمت‌های مختلف مانند فلاش تانک سرویس‌ها بهداشتی و آبیاری مزارع استفاده شود. همچنین این آب می‌تواند در صنایع مختلفی مانند نساجی، شیمی، پلاستیک و ساختمان استفاده شود. در این میان مصارف شرب و پخت و پز که میزان ناچیزی از مصرف کل را شامل می‌شود، نیاز به کیفیت مناسب مطابق با استانداردهای آب شرب دارند و سایر مصارف می‌توانند توسط منابع آب غیر شرب تأمین شوند.

میزان آب مورد نیاز با کیفیت بالا و قابل شرب در حدود ۱۰ درصد مصرف کل خانگی را شامل می‌شود (Yuneslu 2008). که این مقدار در مقایسه با سایر مصارف میزان کم و ناچیزی است. جدول ۱ میزان تقریبی مصارف مختلف مسکونی را در هر بخش نشان می‌دهد.

جدول ۱- مصرف سرانه خانگی بدون در نظرگیری فضای سبز (Deputy of planning and strategy1992)

Table 1. Domestic per capita water consumption excluding landscape water demand (Deputy of planning and strategy1992)

Consumption	Quantity (liter/person/day)
Drinking	2 to 5
Cooking	5 to 10
Bathing	25 to 50
Clothes wash	10 to 20
Dish washing	5 to 15
Sanitation	20 to 30
Home cleaning	3 to 10
Cooling and air conditioning	2 to 5
Miscellaneous	3 to 5
Total	75 to 150

به‌عنوان مثال آب ناشی از شستشوی لباس و ظروف و حتی استحمام مثال‌های خوبی از آب خاکستری است. به‌صورت کلی در ایران، آب خاکستری به‌صورت سنتی با آب سیاه شامل فاضلاب‌های مدفوعی و غیره مخلوط شده و از طریق چاه‌های جذبی دفع می‌شود.

آب خاکستری به لحاظ کیفی دارای درجه‌بندی‌های متفاوتی است. به‌عنوان مثال آب خاکستری تولید شده از شستشو را نمی‌توان به‌صورت مستقیم برای آبیاری گیاهان یا درختان مورد استفاده قرار داد. این آب حاوی مقادیر زیادی مواد شیمیایی شوینده است که باعث خشک شدن گیاهان می‌شود (www.fix .com 2015).

آب خاکستری می‌تواند دارای کیفیت بالایی باشد و در بسیاری موارد می‌توان آن را به‌صورت مستقیم برای آبیاری گیاهان مورد استفاده قرار داد. آب باران یکی از با کیفیت‌ترین انواع آب خاکستری است که باید تدابیر صحیحی برای جمع‌آوری آن اتخاذ شود. پیاده‌سازی این طرح در مناطقی که بارندگی زیادی دارند از

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است (www.greywater action. org. 2015).

یکی دیگر از ویژگی‌های آب خاکستری تصفیه ساده و بسیار کم‌هزینه آن در محل است. آب خاکستری را به راحتی می‌توان در محل جمع‌آوری و پس از آن بازیافت و تصفیه نمود. این ایده به‌خصوص در کارخانه‌هایی که مصارف آبی بالایی دارند، می‌تواند انجام شود. با توجه به هزینه‌های بسیار پایین و روش‌های ساده تصفیه و بازیافت آب خاکستری، بهترین راه، جمع‌آوری آن به‌صورت مجزا بدون مخلوط شدن با آب سیاه است (WHO 2010)

مزایای جایگزینی آب خاکستری با آب تصفیه شده به شرح زیر است :

کاهش تقاضا برای تأمین آب شرب، ذخیره منابع آب، کاهش هزینه و نیروی انسانی و زمان، کاهش مصرف انرژی، میزان آلودگی کربن فاضلاب و هزینه‌های تصفیه آن و کاهش هزینه‌های شبکه انتقال آب و جمع‌آوری فاضلاب.

۴- کیفیت عمومی آب خاکستری

کیفیت عمومی آب خاکستری بین خانواده‌ها بر اساس فعالیت روزانه آن‌ها متغیر است. از بیشترین مواد آلاینده آب خاکستری می‌توان به مواردی همچون شامپو، صابون، خمیر دندان، کرم اصلاح صورت، مواد پاک کننده، روغن، چربی، گریس، مو و پرز بدن و از طرفی عوامل بیماری‌زا، باکتری‌ها، انگل‌ها و ویروس‌های حاصل از شستشو لباس‌ها اشاره کرد. در جدول ۲ آلاینده‌های قابل دسترس در آب خاکستری با توجه به منابع تولید آن‌ها ذکر شده است.

در جدول ۳ مشخصات آب خاکستری با فاضلاب شهری مقایسه شده است. بسیاری از این مشخصات به فرهنگ مصرف آب، عادات فردی، میزان مواد شوینده مصرفی مانند صابون، شامپو و دترجنت‌ها و عوامل دیگر بستگی دارد.

۵- بررسی هزینه‌های جداسازی آب خاکستری از آب سیاه در برج تایمز

برج تایمز در منطقه یک شهرداری استان تهران در خیابان سوهانک احداث شده است. جمع کل متراژ پروژه ۲۹۴۸۶/۵ متر مربع است که شامل ۱۱۳ واحد مسکونی و ۱۹۷ عدد پارکینگ است.

جدول ۲- ترکیبات احتمالی موجود از منابع مختلف در آب خاکستری (Emmerson 2003)

Table 2. Likely compounds present in grey water from different sources (Emmerson 2003)

Content	Grey water source
Suspended solids (dust and hair), organic matter, grease and fat, sodium, nitrate, phosphate (detergents), salinity and high pH, bleachers	Washing machines
Organic matter and suspended soilds (in foodstuff), bacteria, salinity and high pH, grease and fat, detergents	Dishwasher
Bacteria, hair, organic matter and suspended solids (skin), grease and fat, soap, and detegernt residues	Bath tub and bathroom
Bacteria, organic matter and suspended sopilds (food pieces), grease and fat, and detergent residues	Dishwasher and kitchen

جدول ۳- مقایسه مشخصات فاضلاب خاکستری با فاضلاب شهری (President of Strategic planning and Technical and Adminestrative Office System 2008; Jeppersen & Solley 2004)

Table 3. Comparison of grey water and urban sewage characteristics (President of Strategic planning and Technical and Adminestrative Office System2008; Jeppersen & Solley 2004)

Parameter	Unit	Grey water		Urban wastewater
		Limits	Average	
Suspended Soilds	mg/L	45 – 330	115	
Turbidity	NTU	22 – 200	100	NA
BOD_5	mg/L	90 – 290	160	
Nitrate	mg/L	0.1 – 0.08	0.3	
Ammonia	mg/L	1 – 254	5.3	
Nitrogen	mg/L	2.1 – 31.5	12	
Phosporus	mg/L	0.6 – 27.3	8	
Sulphate	mg/L	7.9 – 110	35	
pH	----	6.6 – 8.7	7.5	
Alkaline conductivity	mS/cm	325 – 1140	600	
Hardness	mg/L	15 – 155	40	
Sodium	mg/L	29 – 230	70	

یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد این برج، جداسازی آب خاکستری تولیدی در بخش آشپزخانه‌ها با بخش فاضلاب تولیدی سرویس‌ها و حمام است. در این برج، آب باران از قسمت بام و تمامی تراس‌های واحدها به همراه آب خاکستری خروجی آشپزخانه‌ها که شامل بخش‌هایی نظیر ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، سینک به همراه کفشور آشپزخانه مخلوط شده و از طریق رایزر اصلی به طبقه ۶ جهت ورود به چاه جذبی هدایت می‌شود. همچنین فاضلاب خروجی سرویس‌ها و حمام‌ها از طریق

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

خط لوله مجزای دیگری به طبقه ۱ منتقل شده و از طریق یک مجرای اصلی به سیستم فاضلاب شهری متصل می‌شود.

بیشترین طول لوله‌های فاضلاب، انشعاباتی است که به‌صورت عمودی تا زیر سقف کاذب باید کشیده شود و از طریق زانوها و اتصالات پس از عبور از زیر سقف کاذب به رایزر اصلی متصل شده و به طبقات پایین منتقل شود، که این امر باعث افزایش طول لوله‌ها و افزایش تعداد اتصالات مصرفی می‌شود. این پروژه با توجه به جداسازی آب خاکستری از آب سیاه به‌صورت دو شبکه انتقال مجزا از هم، افزایش ۴۰ درصدی هزینه‌های مصالح و اجرای انشعابات فاضلاب را در برداشته است.

در جدول ۴ کلیه هزینه‌های بخش انشعاب فاضلاب مشخص شده است، با یک تقسیم ساده بر کل متراژ این پروژه، میزان هزینه مصالح و اجرای انشعاب فاضلاب بر اساس متر مربع به‌دست می‌آید

۲۴۹۵۶۷۳۳۹۳/۲۹۴۸۶/۵ = ۸۴۶۳۷/۸ ریال ≈ ۸۵۰۰۰ ریال

با توجه به مطالب گفته شده و افزایش ۴۰ درصدی هزینه‌های جداسازی آب خاکستری از آب سیاه برای یک ساختمان با کیفیت، افزایش هزینه به‌صورت زیر ایجاد می‌شود

۸۵۰۰۰ × ٪۴۰ = ۳۴۰۰۰ ریال

در صورت تغییر مصالح از پوش‌فیت به پلیکا، این عدد با حدود ۳۰ درصد کاهش برای هر مترمربع ۲۴۰۰۰ ریال خواهد شد که در مقابل هزینه‌های بسیار بالای فینیشینگ و نازک‌کاری، عدد ناچیزی است.

۶- طراحی سپتیک تانک به‌منظور تصفیه آب خاکستری برج تایمز

با توجه به میزان تولید آب خاکستری روزانه به میزان ۳۲ مترمکعب در برج تایمز، تصفیه بر اساس روش مدرن برزیلی، که روش منطقی‌تری نسبت به سایر روش‌هاست، انجام می‌شود. در این روش هر مخزن دارای چهار ناحیه، به شرح زیر است:

ناحیه ذخیره کفاب، ناحیه ته‌نشینی، ناحیه هضم لجن و ناحیه ذخیره لجن ته‌نشینی.

بر اساس طراحی صورت گرفته به ۶ مخزن به‌طول ۴ متر و عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۲/۲ متر شامل ۱/۸ متر به‌منظور ارتفاع

جدول ۴- کل هزینه‌های مصالح و اجرای بخش تأسیسات فاضلاب پروژه تایمز

Table 4. Total material and construction costs of the sewage facilities of the Times project

Description	Cost (Rials)
Total construction cost	1,001,478,500
Total materials cost	1,494,194,893
Grand total	2,495,673,393

فاضلاب و ۰/۴ متر برای تأمین فاصله با سقف منبع، نیاز است. در طراحی این مخازن نسبت طول به عرض ۲/۷ است که از جریان میانبر جلوگیری می‌کند. با توجه به مطالب گفته شده و شکل ۲، به‌منظور افزایش کیفیت تصفیه در این پروژه برای مصارفی از قبیل شستشوی پارکینگ‌ها و فضای سبز، استفاده از مخازن سپتیک تانک بخش‌بندی شده به‌صورت دو مخزن متصل به هم پیشنهاد می‌شود که در این حالت به ۱۲ مخزن نیاز است.

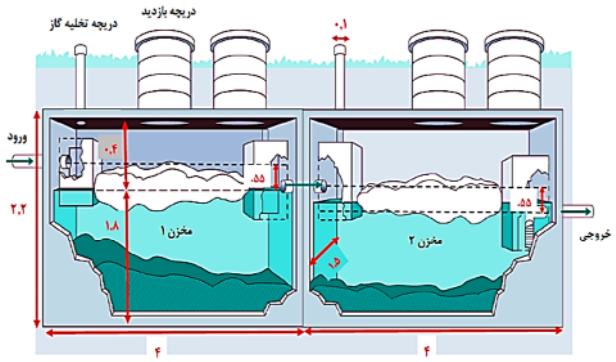

Fig. 2. Dimensions (in m) of the septic tank used in the Times project

شکل ۲- ابعاد مخزن سپتیک تانک پروژه تایمز (ابعاد بر حسب متر می‌باشند)

۷- پایلوت مورد مطالعه

پایلوت مورد مطالعه شامل دو مخزن سپتیک تانک بود که در آن نکات زیر مورد توجه قرار گرفت :

۱- کافی بودن حجم قسمت مایع برای نگهداری یک جریان ۲۴ ساعته برای انباشت لجن و کفاب ماکسیمم ؛

۲- تجهیزات ورودی و خروجی برای جلوگیری از ورود و خروج لجن و کفاب؛

۳- فضای ذخیره کافی برای لجن و کفاب؛

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

۴- قرار دادن خروجی برای خروج متان و سولفید هیدروژن انباشته شده.

شکل ۳ شماتیک پایلوت مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

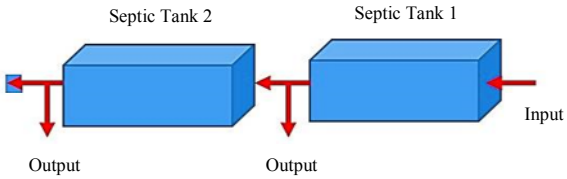

Fig. 3. Schematic of the pilot case study

شکل ۳- تصویر شماتیک پایلوت مورد مطالعه

فاکتور کلیدی دیگر در طراحی و اجرای سپتیک تانک رفتار بین مساحت سطح، نوسان شدید سیستم ذخیره، سرعت تخلیه و سرعت خروج است. این پارامترها در راندمان هیدرولیکی و ظرفیت نگهداری لجن تأثیر دارند.

تانک‌ها با سطح مقطع بزرگ‌تر و عرض کمتر ترجیح داده می‌شود. برای اینکه افزایش سطح مقطع قسمت مایع، افزایش ظرفیت نوسان سیستم را در پی دارد. حجم ورودی داده شده، بالا آمدن کمتر عمق آب و سرعت تخلیه کمتر را منجر می‌شود. این نوسانات جریان تانک، افزایش سطح مقطع را تعدیل می‌کند که اجازه می‌دهد مدت طولانی‌تری برای جداسازی لجن و کفاب که هنگام توربولانس در موقع نوسانات جریان ایجاد می‌شود، به‌وجود آید.

۸- نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت

با توجه به مطالعات انجام شده بر روی سپتیک‌های دو مخزنه و افزایش راندمان حذف در مخزن دوم نسبت به مخزن اول به‌علت افزایش اتاقک‌ها و متعادل شدن جریان هیدرولیکی ورودی و در نتیجه افزایش میزان تماس بین باکتری و سوبسترہ، کلیه نمونه‌های خروجی از مخزن دوم تهیه شد.

BOD_5 -۱-۸

میزان BOD توسط دستگاه OXIDIRECT بر اساس میزان تغییرات DO روز اول و روز پنجم صورت گرفت. شکل ۴ میزان BOD را

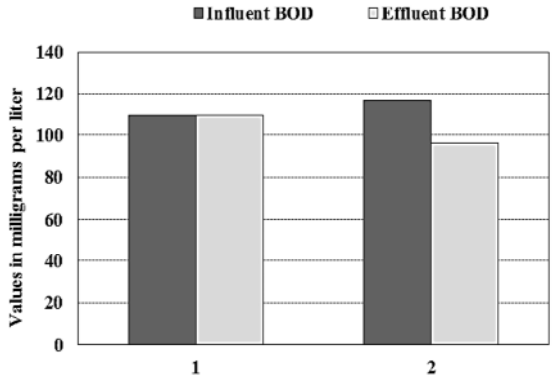

Fig. 4. Diagram of BOD variations

شکل ۴- نمودار تغییرات BOD

در طول مدت بهره‌برداری نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، راندمان مصرف BOD خروجی سپتیک تانک شماره ۲ به‌صورت میانگین در حدود ۱۸ درصد است. فاضلاب در مجموع از تجمع مواد آلی و غیر آلی تشکیل شده است که مواد آلی شامل مولکول‌هایی بر پایه کربن هستند. از طرفی با توجه به این که بخش عمده آب خاکستری شامل پاک کننده‌ها، صابون‌ها، چربی‌ها و ذرات مواد غذایی است، محیطی غنی از مواد آلی برای میکروارگانیسم‌ها مهیا می‌شود. این مولکول‌های بزرگ توسط باکتری‌های بی‌هوازی موجود در سپتیک تانک تجزیه می‌شوند. از طرفی کاهش BOD، فعالیت و تجزیه اکسیژن محلول موجود در آب خاکستری توسط میکروارگانیسم‌ها برای اکسایش بیوشیمیایی مواد آلی را نشان می‌دهد.

COD -۲-۸

شکل ۵ میزان COD کل را بدون گذر از صافی یا فیلتر، در طول مدت بهره‌برداری نشان می‌دهد که همانطور که مشاهده می‌شود راندمان مصرف COD خروجی سپتیک تانک شماره ۲ به‌صورت میانگین در حدود ۲۵ درصد است که نشان‌دهنده فعالیت حداکثری مصرف آلاینده‌های اکسید شونده در سپتیک تانک‌ها است.

این تغییرات نشان می‌دهد، انطباق میکروارگانیسم‌ها در مدت زمان کوتاهی صورت گرفته و درصد حذف COD که در روزهای اول بهره‌برداری در مقطع زمانی کوتاهی به مقدار جزئی کاهش یافته بود، پس از طی ۱۰ روز در زمان انطباق میکروارگانیسم‌ها افزایش یافت و در نهایت این تغییرات پس از رسیدن به دوران سازگاری

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

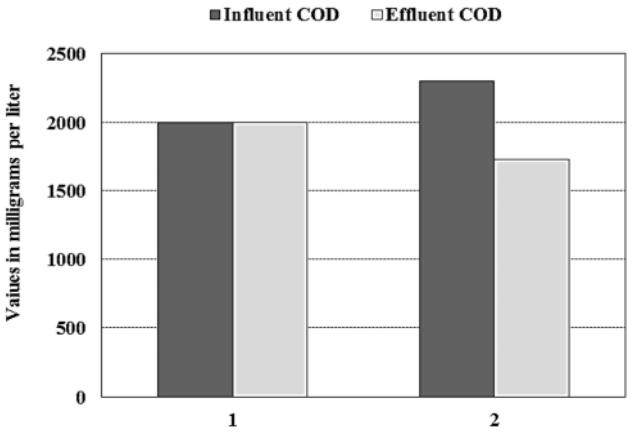

Fig. 5. Diagram of COD variations

شکل ۵- نمودار تغییرات COD

پایلوت به حداکثر میزان کاهش خود رسید و ثابت باقی ماند. با گذشت زمان به‌علت سازگاری میکروارگانیسم‌ها با شرایط موجود و از طرفی به‌علت توسعه مداوم و افزایش بیومس، این روند باعث افزایش بازده حذف COD شد.

۸-۳- نیتریت

شکل ۶ میزان نیتریت را در طول مدت بهره‌برداری نشان می‌دهد. راندمان حذف نیتریت خروجی سپتیک تانک شماره ۲ به‌صورت میانگین در حدود ۲۵ درصد است.

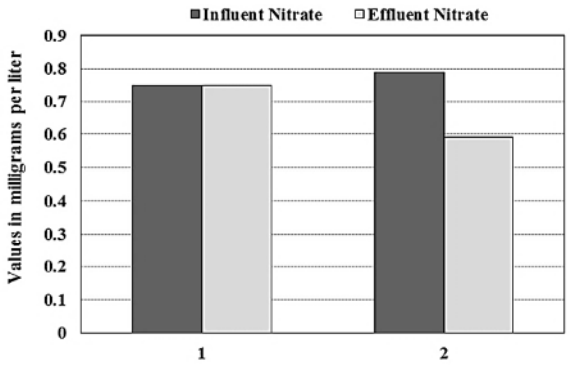

Fig. 6. Diagram of nitrite variations

شکل ۶- نمودار تغییرات نیتریت

۸-۴- فسفر

شکل ۷ میزان فسفر در طول مدت بهره‌برداری را نشان می‌دهد که همانطور که ملاحظه می‌شود راندمان حذف فسفر خروجی سپتیک تانک شماره ۲ به صورت میانگین در حدود ۲۵ درصد است.

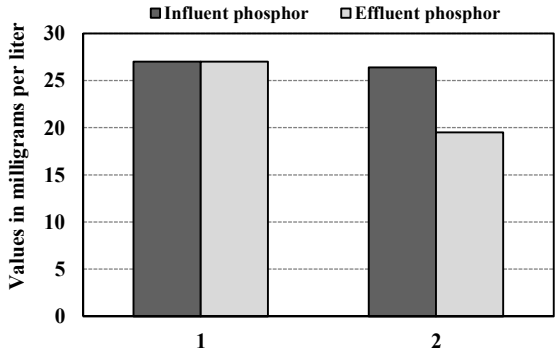

Fig. 7. Diagram of Phosphorus variations

شکل ۷- نمودار تغییرات فسفر

۸-۵- TSS

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین راندمان حذف در

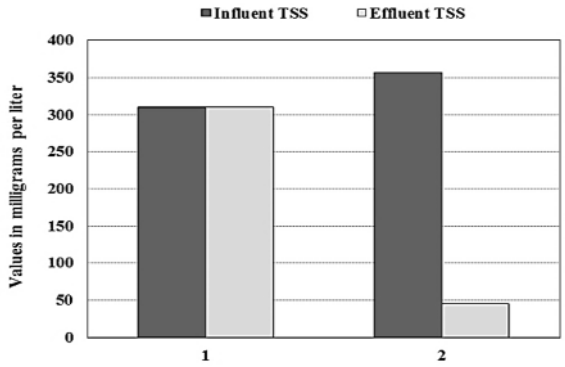

Fig. 8. Diagram of TSS variations

شکل ۸- نمودار تغییرات TSS

این پایلوت مربوط به میزان جامدات معلق است که خروجی سپتیک تانک شماره ۲ در حدود ۸۷ درصد راندمان حذف را به خود اختصاص داده است.

۹- بررسی هزینه‌های اجرای مخازن سپتیک تانک داخل کارگاه

هزینه‌های اجرای مخازن سپتیک تانک در جدول ۵ آورده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید بر اساس فهرست بهای سال ۹۴ و استعلام‌های صورت گرفته، ساخت و اجرای هر مخزن داخل خود کارگاه طبق طراحی صورت گرفته در حدود ۴۸،۰۰۰،۰۰۰ ریال هزینه در بر دارد که با توجه به نیاز ۱۲ مخزن طبق طرح، مبلغ کل مخازن ۵۷۶،۰۰۰،۰۰۰ ریال می‌باشد. با توجه به متراژ ۲۹۴۸۶/۵

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

پروژه تایمز، برای هر مترمربع ۱۹۶۰۰ ریال به هزینه‌های ساخت پروژه افزوده می‌شود.

جدول ۵- کلیه هزینه‌های ساخت و اجرای یک مخزن بتنی در کارگاه

Table 5. An overview of the total materials and construction costs of a concrete tank at a treatment site

Description	Cost (Rials)
Earthwork	5,607,000
Tank bed concrete work cost	6,167,700
Tank bed concretework labor cost	168,210
One-sided mold work cost	14,520,000
Tank wall concrete casting cost	16,189,800
Lbor cost for tank wall concrete casting	1,030,260
Total	**43,682,970**
10% overhead costs + connections costs	4,368,297
Grand total	**48,051,267**

در مجموع هزینه‌های جداسازی و تصفیه آب خاکستری در ساختمان‌ها با توجه به استفاده از بهترین و با دوام‌ترین مصالح، برای هر متر مربعی ۵۳۶۰۰ ریال به هزینه‌های ساخت می‌افزاید که با در نظر گرفتن هزینه‌های بسیار بالای ساخت، این عدد برای سازندگان بسیار ناچیز است. برای مقایسه و درک بهتر این هزینه ناچیز به‌عنوان مثال ارزان‌ترین سنگ برای کف واحدها سنگ دهبید است که هزینه خرید این سنگ ۳۵۰،۰۰۰ ریال برای هر مترمربع است. با احتساب دستمزد و ملات مصرفی اجرای ارزان‌ترین سنگ موجود در بازار متر مربعی ۶۰۰،۰۰۰ ریال هر مترمربع برای سازنده هزینه در بر دارد که اجرای چنین طرحی کمتر از ۹ درصد از هزینه سنگ کف را به خود اختصاص می‌دهد.

با در نظرگیری هزینه‌های خرید زمین، جواز و ساخت برای ساختمان‌هایی با متریال و مصالح متوسط که در مناطق متوسط روبه بالای شهر تهران ساخته می‌شود، ۳۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال در هرمترمربع برای سازندگان هزینه در بر خواهد داشت که هزینه جداسازی و تصفیه آب خاکستری در حدود ۰/۲ درصد این هزینه را در بر می‌گیرد.

با توجه به محاسبات میزان آب خاکستری تولیدی این پروژه با توجه به حذف بخش آب باران، روزانه در حدود ۳۰ مترمکعب و ماهانه حدود ۹۰۰۰ مترمکعب می‌باشد. با در نظرگیری تعرفه‌های متوسط نیم سال دوم سال ۹۴ به ازای هر مترمکعب آب تصفیه شده که ۳۵۰۰ ریال است، در صورت عدم اجرای طرح‌های تشویقی پیشنهادی و عدم افزایش قیمت آب بها در سال‌های آتی، هزینه‌های صرف شده در این طرح، پس از گذشت چهار سال برای سازنده برگشت پذیر خواهد بود.

طرح‌های تشویقی پیشنهادی به شرح زیر است:

۱- عدم پرداخت حق انشعاب آب شرب

با توجه به این مسئله که میزان حق انشعاب پرداختی پروژه تایمز برای واحدهای مسکونی در حدود ۱،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰ریال بوده که این هزینه بر اساس عرصه و اعیان محاسبه شده است، هزینه اجرای این طرح توسط سپتیک تانک با توجه به برآوردهای بخش‌های آن، با این رقم برابری می‌کند. بدیهی است در صورت پرداخت هزینه‌های حق انشعاب آب، سازندگان تمایلی به اجرای این طرح نخواهند داشت، بنابراین به‌نظر می‌رسد در راستای رفع این مانع، برای تشویق سازندگان به اجرای این طرح در ساختمان، هزینه‌های فروش حق انشعاب آب به‌صورت رایگان یا با تخفیف‌های ویژه ارائه شود.

۲- عدم پرداخت حق انشعاب فاضلاب

۳- افزایش درصد اشغال زمین برای ساخت یا افزایش تراکم به صورت طبقات تشویقی

با توجه به این مسئله، به راحتی با افزایش سطح اشغال از ۶۰ درصد +۲ به درصدهایی بالاتر، سازندگان به راحتی و با اندک هزینه به‌صورت داوطلبانه به اجرای این طرح می‌پردازند زیرا هزینه‌های فروش افزایش متراژ آپارتمان‌ها برای آنها بازگشت مالی بسیار زیادی را به دنبال خواهد داشت. همچنین می‌توان طرح‌های تشویقی نظیر افزایش تراکم و یا طبقات تشویقی را برای ایجاد انگیزش پیاده‌سازی این طرح بین سازندگان رواج داد.

۴- تخفیف در هزینه‌های جواز

با توجه به هزینه‌های بسیار بالای جواز دریافتی از شهرداری در ابتدای شروع پروژه‌های ساختمانی، به راحتی با تخفیف‌های ویژه به‌منظور صدور جواز یا تقسیط طولانی مدت پرداخت در صورت پیاده‌سازی این طرح در پروژه‌های خود به‌صورت طرح‌های تشویقی، سازندگان بدون شک این سیستم را در ساختمان‌های خود پیاده‌سازی می‌کنند تا بتوانند از خدمات شهرداری بهره ببرند.

۵- معافیت‌های مالیاتی برای سازندگان و بخش صنعت

dx.doi.org/10.22093/wwj.2016.40790

می‌توان طرح‌های تشویقی معافیت مالیاتی برای سازندگان و تولیدکنندگانی که این طرح‌ها را در پروژه‌ها یا کارخانجات خود پیاده‌سازی کنند، قرار داد تا از این مزایا بهره‌مند شوند.

۶- معافیت‌های گمرکی برای کارخانه‌جات مونتاژ کار

در صورت پیاده‌سازی این طرح در کارخانجات مونتاژ کار که بخش زیادی از قطعات و مواد اولیه خود را وارد می‌کنند، می‌توان به‌عنوان طرح‌های تشویقی آن‌ها را از معافیت‌های گمرکی بهره‌مند کرد.

ضرورت اجرای جداسازی آب خاکستری از آب سیاه در کشورمان در زیر به‌طور خلاصه اشاره شده است:

محدودیت منابع آب شیرین از یک سو و افزایش تقاضای آب با توجه به افزایش جمعیت و بالا رفتن سطح آگاهی مردم در زمینه‌های رعایت بهداشت و مواردی از این دست، باعث پررنگ شدن اهمیت منابع آب از جمله منابع آب شیرین و همچنین تأمین آب شرب و با کیفیت مناسب می‌شود.

توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی از سوی دیگر باعث بروز مشکلاتی، در تأمین آب شرب با کیفیت و کمیت مناسب با توجه به مصرف بیش از اندازه بخش کشاورزی با درنظر گیری سیستم سنتی کشاورزی در کشور باعث هدر رفت بخش زیادی آب شیرین در این بخش شده است.

با توجه به ورود به مرحله بحران آبی در کشور و جهت‌گیری مدیریتی برای جایگزینی منابع آبی جدید، یکی از بهترین بخش‌هایی که تا به امروز مورد توجه مدیران و مسئولان قرار نگرفته است، استفاده مجدد از آب خاکستری است که چه از لحاظ هزینه و چه از لحاظ اجرا بسیار مقرون به‌صرفه است.

با توجه به قیمت بسیار پایین حق آب در کشور این طرح زمانی مورد استقبال سازندگان قرار می‌گیرد که یکی از طرح‌های تشویقی اجرایی شود، در غیر این صورت چنین طرحی هیچ‌گونه بازدهی اقتصادی برای آنان به دنبال نخواهد داشت.

۱۰- نتیجه‌گیری

نتایج جداسازی آب خاکستری از آب سیاه به شرح زیر است:

۱- کاهش در مصرف منابع آب شیرین و با کیفیت

به این معنی که به جای استفاده از منابع محدود آب شیرین برای بعضی از مصارف از آب غیرشرب استفاده می‌شود. کاهش در برداشت بی‌رویه و بیش از حد از منابع آب شیرین موجود موجب حفظ و پایداری این منابع محدود می‌شود. آب خاکستری تا حدود ۵۰ درصد میزان نیاز آبی یک ساختمان را می‌تواند برطرف نماید.

۲- افزایش کیفیت آب تصفیه شده

با توجه به کاهش تقاضا برای آب شرب و از طرفی کاهش حجم تصفیه آب شرب می‌توان تصفیه کامل‌تری را در راستای افزایش کیفیت آب انجام داد و در نتیجه کیفیت آب شرب مصرفی افزایش می‌یابد.

۳- کاهش هزینه‌های تصفیه آب

با توجه به کاهش مصارف آب شرب، این طرح کاهش هزینه‌های تصفیه و از طرفی کاهش هزینه‌های طرح‌های توسعه تصفیه‌خانه‌ها را به دنبال خواهد داشت که این امر باعث صرفه‌جویی اقتصادی خواهد بود. از سوی دیگر کاهش ظرفیت تصفیه‌خانه آب، استفاده کمتر از مواد شیمیایی را در پی دارد که باعث کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود و این امر موجب افزایش کیفیت آب مناطق شهری خواهد شد.

۴- کاهش هزینه‌های انتقال و تصفیه فاضلاب

کاهش مصرف آب شرب و همچنین استفاده آب خاکستری در محل باعث کاهش هزینه‌های انتقال در شبکه و از طرفی کاهش هزینه‌های تصفیه‌خانه خواهد شد. پس می‌توان به این نکته اشاره کرد که جداسازی و تفکیک آب خاکستری از آب سیاه از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است.

۵- حفظ منابع آب برای نسل‌های آینده

مهم‌ترین ویژگی استفاده از آب خاکستری، حفظ و ذخیره آب شیرین برای نسل‌های آینده و خروج از مرحله بحران آبی است که همین ویژگی باعث منحصر به فرد گرایی این طرح می‌شود و می‌تواند مشکل محدودیت منابع آبی را حل کرده و به‌عنوان منبع جدید آبی شناخته و استفاده شود.

References

<http://greywateraction.org/contentabout-rainwater-harvesting/> (Nov. 2015)

<http://ndwmc.irimo.ir/far/> (2015, 2016)

<http://www.fix.com/blog/making-use-of-gray-water/> (Nov. 2015)

DE Chatel, F., Holst-Warhaft, G. & Steenhuis, T., 2014, *Water scarcity, security and democracy: A mediterranean Mosaic*, Cornell University, Atkinson Center for a Sustainable Future and GWP-MED.

Deputy of Planing and Strategy, 1992, *Principele and criteria for designing urban water supply projects*, Pub. No. 3-117, Tehran. (In Persian)

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

Jamab Consulting Engineers, 2004, *Arid and semiarid layout compatible application studies*, Tehran, Iran. (In Persian)

Jeppersen, B. & Solley, D., 2004, *Model guidelines for domestic greywater reuse for Australia*, Research Report No. 107. Urban Research Association of Australia, Brisbane City Council.

President of Strategic planning and Technical and Adminestrative Office System, 2008, *Environmental regulations guid water Reuse and recycle waste*, Pub. No. 535, Tehran, Iran. (In Persian)

World Health Organization, 2010, *Guidline for the safe use of wastewater*, USA.

World Health Organization., 2010, "Regional office for the eastern Mediterranean (WHO-ROEM)", *Overview of greywater management: Health considerations*. , USA.

Yuneslu, S., 2008, *Modify of water reuse pattern*, Pezhvak Farhang Publisher, Tehran. (In Persian)