Archive of SID

doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624

Jouranl of Water and Wastewater, Vol. 31, No.1, pp: 99-110

Investigating the Potential of Swimming Pools Sullage Reuse for Landscape Irrigation, Case Study: Tehran City

M. Izadpanah[1], M. H. Sarrafzadeh[2]

1. Former Graduate Student of Chemical Engineering, UNESCO Chair on Water Reuse, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Assoc. Prof., Chair-holder of UNESCO Chair on Water Reuse, School of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
(Corresponding Author) sarrafazdh@ut.ac.ir

(Received March 16, 2019 Accepted July 14, 2019)

To cite this article:
Izadpanah, M., Sarrafzadeh, M. H., 2020. "Investigating the potential of swimming pools sullage reuse for landscape irrigation case study: Tehran city" Journal of Water and Wastewater, 31(1), 99-110. Doi: 10.22093/wwj.2019.118532.2624 (In Persian)

Abstract

In recent years, excessive usage of surface and underground water resources has exerted great stress on Iran's water resources. A survey of water use trends in the past years and forecasts of water needs in the coming years, creates an undesirable perspective for the imbalance between water demand and resources in the near future. Planning for the exploration and use of unconventional water resources, such as gray water and sullage reuse, will greatly help in balancing water shortage. In this research, sewage of swimming pools has been investigated because it is a type of urban sewage that has high technical, economic and environmental potential for implementation of urban sullage recycling project. A case study was carried out on 10 public swimming pools in Tehran to determine the volume and 7 pools for qualitative investigation on sewage of different parts of swimming pools. The results indicate that pools have a high quality and high volume wastewater that cause conceivable potential for recycling. For example, the average COD of the tested samples was 153 ppm and the maximum was 246 ppm, which is equivalent to organic load of weak urban wastewater. This wastewater also meets the standards of landscape irrigation in most of the parameters, and in the other parameters such as organic load of some samples has a small variance from these standards, which could be met with a simple treatment unit like depth filtration and an activated carbon. In addition, an average of 120 cubic meters of sullage per day is generated in each aquatic center complex, which is more than the production of gray water in a 700 people capacity residential complex. Reuse of this sullage, in addition to reducing transportation costs and load of centralized treatment plants, will reduce the pressure on water resources of our country by supplying water for non-potable purposes such as irrigation of landscaping.

Keywords: Wastewater, Swimming Pool, Bath, Water Recycling, Jacuzzi, Shower, Landscape.

www.SID.ir

Archive of SID
doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۱، شماره ۱، صفحه: ۱۱۰-۹۹

بررسی پتانسیل استفاده مجدد از پساب استخرهای شنا برای آبیاری فضای سبز، مطالعه موردی شهر تهران

مریم ایزدپناه[۱]، محمدحسین صراف زاده[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشیار، رئیس کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) sarrafzdh@ut.ac.ir

(دریافت ۹۷/۱۲/۲۵ پذیرش ۹۸/٤/۲۳)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
ایزدپناه، م.، صراف‌زاده، م.، ح.، ۱۳۹۹، " بررسی پتانسیل استفاده مجدد از پساب استخرهای شنا برای آبیاری فضای سبز، مطالعه موردی شهر تهران" مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۱)، ۱۱۰-۹۹. Doi: 10.22093/wwj.2019.118532.2624

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی، تنش زیادی بر منابع آب ایران وارد کرده است. بررسی روند مصرف آب در سال‌های گذشته و پیش‌بینی‌های صورت گرفته از نیاز آبی در سال‌های آتی، چشم‌انداز نامطلوبی از عدم تناسب بین تقاضا و منابع آب کشور در آینده نزدیک ترسیم می‌کند. برنامه‌ریزی برای شناسایی و استفاده از منابع آبی نامتعارف، مانند استفاده مجدد از آب خاکستری و پساب، کمک شایانی به تعدیل کمبود آب خواهد نمود. در این پژوهش، فاضلاب تولیدی استخرهای شنا به‌عنوان یکی از انواع فاضلاب شهری که از نظر فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی از پتانسیل زیادی برای اجرای طرح استفاده مجدد پساب شهری برخوردار است، مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه موردی بر روی ۱۰ استخر شنای عمومی در شهر تهران برای تعیین حجم و ۷ استخر برای بررسی کیفی فاضلاب تولیدی در بخش‌های مختلف استخرهای شنا انجام شد. نتایج حاصل بیانگر آن است که آب دورریز در استخرها، فاضلابی با کیفیت و حجم زیاد است که پتانسیل خوبی برای استفاده مجدد دارد. به‌عنوان مثال میانگین COD نمونه‌های آزمایش شده ۱۵۳ ppm و بیشترین مقدار آن ۲۴۶ ppm بود که معادل بار آلی فاضلاب ضعیف شهری است. این پساب در بسیاری پارامترها منطبق بر استانداردهای آبیاری فضای سبز است و در برخی موارد مانند بار آلودگی آلی تعدادی از نمونه‌ها نیز اختلاف کمی با استانداردهای آبیاری فضای سبز دارد که با به‌کارگیری یک تصفیه ساده همچون فیلتراسیون عمقی و کربن فعال، این استانداردها را اقناع خواهد نمود. افزون بر این، به‌طور میانگین در هر مجموعه آبی روزانه ۱۲۰ مترمکعب پساب تولید می‌شود که این عدد بیش از آب خاکستری تولیدی در یک مجتمع مسکونی ۷۰۰ نفری است. استفاده مجدد از این پساب علاوه بر کاهش هزینه‌های انتقال و کاهش بار وارد بر تصفیه‌خانه‌های متمرکز، با تأمین آب مورد نیاز برای مصارف غیر شرب شهری مانند آبیاری فضای سبز منجر به کاهش فشار بر منابع آب کشور خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: پساب، استخر شنا، استحمام، بازیافت و بازچرخانی آب، جکوزی، دوش، فضای سبز

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر روش‌های سنتی مدیریت منابع آب که صرفاً متکی بر منابع متعارف هستند، به‌دلیل افزایش نیاز آبی و در نتیجه عدم کفایت منابع متعارف، ناکارآمد شده و موضوع منابع نامتعارف و مدیریت یکپارچه منابع به‌عنوان راهکاری بهینه، در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. از این رو نگرش به استفاده مجدد آب، به‌عنوان یک منبع آب نامتعارف مطمئن و نه یک پسماند، به منظور پاسخ‌گویی به دغدغه‌های آبی، هر روزه با استقبال بیشتری مواجه می‌شود (Rezaee and Sarrafzadeh, 2017).

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

کلان‌شهر تهران با داشتن ویژگی‌ها و پتانسیل‌های فراوان، طی دهه‌های اخیر شاهد رشد چشمگیر جمعیت بوده است که منجر به افزایش شدید مصرف آب و تنش آبی نگران کننده شده است. به همین دلیل توجه به منابع جایگزین برای شهر تهران به‌خصوص در فصول گرم سال که مصارف شهری اعم از شرب و غیرشرب افزایش می‌یابد، اهمیت زیادی دارد (Rezaee and Sarrafzadeh, 2017). در این راستا برنامه‌ریزی برای استفاده مجدد از پساب بخش‌های خدماتی شهری که تولید کننده حجم بالای پساب شهری هستند با لحاظ کردن جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی به عنوان راهکاری مناسب برای جبران بخشی از این کمبودها و همچنین کاهش آلودگی‌ها مورد توجه است (Ardakanian, 2005).

عوامل مختلفی از جمله افزایش روزافزون تقاضای آب و محدودیت منابع در کنار پیشرفت‌های فناوری تصفیه آب و افزایش پذیرش عمومی، موجب توسعه طرح‌های استفاده مجدد آب با در نظر گرفتن استانداردهای بهداشتی در جوامع مختلف شده است (Behzadian et al., 2014, Chung et al., 2008). از سوی دیگر انتقال پساب‌هایی با بارآلودگی کم به تأسیسات تصفیه فاضلاب، هزینه‌های زیادی در پی دارد و موجب افزایش مصرف آب خام و یا آب شرب می‌شود و در بسیاری از موارد، به‌کارگیری تصفیه‌خانه محلی برای استفاده مجدد، علاوه بر افزایش بهره‌وری، منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌های تخلیه و انتقال آب و پساب می‌شود (Hazell and Nimmo, 2006, Reißmann et al., 2005).

استخرهای عمومی شنا به‌عنوان یکی از بخش‌های خدماتی پر مصرف شهری شناخته می‌شوند. استخرهای شنا که از نظر ورزشی و تفریحی در سراسر جهان اهمیت زیادی دارند، به دلیل تعداد روزافزون شناگران و مصرف آب زیاد در بخش‌های مختلف توسط شناگران از نظر استفاده مجدد آب نیز می‌توانند نقش مهمی در مدیریت آب شهری ایفا نمایند (Glauner et al., 2005, Izadpanah and Sarrafzadeh, 2014).

فاضلاب تولیدی استخرها شامل بخش‌های مختلفی از جمله دور ریز کاسه استخر، آب تعویضی جکوزی، پساب دوش‌ها، پساب سونا و فاضلاب توالت است. آلودگی آب استخر و جکوزی از موادی شامل مو، مواد بهداشتی مراقبت از پوست و مو و سایر آلودگی‌های انسانی که ممکن است توسط شناگران به آب وارد شود و در بخش دوش‌ها علاوه بر این موارد، از مصرف شوینده‌ها و ورود آلاینده‌های شسته شده از بدن شناگران، ناشی می‌شود. بنابراین پساب بخش‌های مختلف استخر ممکن است به انواع مواد آلی و بیولوژیکی آلوده باشد (Barbot and Moulin, 2008).

در این پژوهش با صرف‌نظر از فاضلاب سیاه (فاضلاب توالت)، سایر بخش‌های پساب، جمع‌آوری شد و مورد بررسی قرار گرفت. سپس نتایج آنالیزهای کیفیت فاضلاب استخرهای شنا، نحوه نمونه‌گیری و کمّیت بخش‌های مختلف این فاضلاب ارائه شد. همچنین به‌منظور بررسی و پیشنهاد تصفیه مورد نیاز، مقایسه‌ای بین پساب استخر و آب خاکستری خانگی انجام شد و موارد پیشنهادی برای مدیریت استفاده مجدد از این فاضلاب ارائه شد.

۲- روش کار

یکی از ملزومات استفاده مجدد از پساب، پایش کیفی فاضلاب ورودی و آب تصفیه شده برای استفاده در مصارف مورد نظر است. همچنین به‌منظور طراحی سیستم تصفیه مورد نیاز و کاربردهای بالقوه استفاده مجدد از آب تصفیه شده، تعیین کیفیت فاضلاب ضروری است. از سوی دیگر به منظور طراحی تصفیه‌خانه مناسب و نیز برنامه‌ریزی برای استفاده مجدد از آب تصفیه شده اطلاعات کمّی پساب قابل جمع‌آوری مورد نیاز است. به‌همین دلیل در این پژوهش هر دو مسئله کمّیت و کیفیت پساب قابل استحصال از استخرهای شنا مورد توجه قرار گرفت.

۲-۱- بررسی منابع تولید پساب در استخرها

فاضلاب تولیدی استخرها از بخش‌های مختلفی ناشی می‌شوند. بر اساس بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، آب مصرفی استخرها شامل دو بخش اصلی است: بخش اول و عمده آب در بخش‌های جبرانی سرریز، امکانات جانبی نظیر سونا و جکوزی، دوش‌ها و سرویس‌های بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از طریق فاضلاب دفع می‌شود و بخش دوم که صرف جبران تبخیر، نشتی و سایر موارد اتلاف آب می‌شود. با توجه به این مسئله که فاضلاب سیاه، سهم کمی از آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد و در عین حال حاوی آلودگی بسیار زیادی است، در فرایند جمع‌آوری، از این بخش چشم‌پوشی شد. بنابراین در استخرهای شنای عمومی، پساب قابل استحصال شامل تمام فاضلاب تولیدی استخر به استثنای فاضلاب توالت‌ها است.

www.SID.ir

doi: 10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

در ورزش شنا به‌دلیل تماس مستقیم بدن انسان با آب استخر و نیز امکان بلعیده شدن آب توسط انسان، آب موجود در کاسه‌های استخر و جکوزی به‌طور مرتب ضدعفونی می‌شود و کیفیت آب کاسه استخرهای شنا به‌طور مرتب توسط مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت از نظر آلاینده‌های فیزیکی، میکربی و شیمیایی مورد بررسی و پایش قرار می‌گیرد. هر روزه بخشی از آب کاسه استخر که معادل حجم بدن شناگران است از سرریزهای استخر خارج می‌شود و معادل همین مقدار، آب تمیز به همراه مقدار کافی ماده ضد عفونی کننده، مانند مشتقات کلر، به استخر وارد می‌شود. آب سرریز کاسه استخر و امکانات جانبی که گندزدایی می‌شود و کیفیت بالایی دارد، بیش از نیمی از کل فاضلاب مجموعه‌های آبی و استخرها را تشکیل می‌دهد. بخش دیگر فاضلاب استخر که می‌توان از آن به عنوان آلوده‌ترین بخش فاضلاب استخر یاد کرد مربوط به فاضلاب دوش‌ها است. آلودگی این قسمت، بیشتر ناشی از شوینده‌های مورد استفاده در حمام است که موجب افزایش بار آلی، کدورت، فسفات و pH فاضلاب می‌شود. فاضلاب استخرهای شنا میانگین حجمی همه این موارد است.

۲-۲- تعیین حجم پساب تولیدی در بخش‌های مختلف

یکی از مهم‌ترین موارد در سنجش امکان و پتانسیل استفاده مجدد پساب یک منبع مشخص به لحاظ فنی و اقتصادی، حجم آب قابل استفاده مجدد در بازه زمانی مشخص است. از این‌رو در این پژوهش به‌منظور تعیین کمیّت فاضلاب تولیدی در بخش‌های مختلف استخرهای شنا، روش اندازه‌گیری مستقیم، مصاحبه با نیروهای متخصص استخرها، مصاحبه با کارمندان سازمان‌های متولی و بررسی منابع آب ورودی استخرها مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۱۰ استخر شنای عمومی شهر تهران برای مطالعه موردی در نظر گرفته شد.

در قسمت کاسه استخر به ازای ورود هر شناگر، حجم آبی معادل حجم بدن شناگر از استخر خارج می‌شود و از طریق اسکیمرهای کنار استخر، وارد فاضلاب و یا حوضچه‌های تعبیه شده در قسمت تأسیسات می‌شود. این مقدار آب مجدداً بعد از هر سانس جایگزین می‌شود. بنابراین پساب تولیدی این بخش به‌طور مستقیم از طریق اندازه‌گیری حجم آب سرریز ورودی به حوضچه‌های موجود در قسمت تأسیسات قابل اندازه‌گیری است.

تجهیزات جانبی استخرها شامل سونا و جکوزی، که در اکثر استخرها موجود است، نیز فاضلاب قابل توجهی تولید می‌کند. فاضلاب قسمت جکوزی به‌صورت ناپیوسته و با توجه به کیفیت آب، در بازه زمانی ۳ تا ۷ روزه، به‌صورت کامل تخلیه و تعویض می‌شود. همچنین ظرفیت آب در جکوزی با توجه به سایز آنها در واحدهای مختلف متفاوت، اما در هر استخر این حجم مشخص است و به‌طور متوسط در حدود ۳ مترمکعب ظرفیت دارد. با توجه به ظرفیت آب جکوزی و بازه زمانی تعویض آب در هر استخر، حجم پساب این بخش محاسبه شد.

فاضلاب تولید شده در سونا نیز آبی است که مراجعه کنندگان برای پایین آوردن دمای بدن خود استفاده می‌کنند. این بخش از نظر حجمی، سهم کوچکی از پساب تولیدی استخرها را به خود اختصاص می‌دهد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، فاضلاب تولیدی در این بخش به‌طور میانگین در حدود ۲ لیتر به ازای هر نفر برآورد شد.

در قسمت دوش‌ها نیز به‌دلیل ورود مستقیم فاضلاب، امکان محاسبه مستقیم فاضلاب تولیدی میسّر نبود. به‌همین دلیل، محاسبه فاضلاب تولیدی در این بخش، از طریق اندازه‌گیری حجم آب مصرفی محاسبه شد. حجم آب مصرفی در بخش دوش‌ها به‌صورت محاسبه زمان استفاده از دوش‌ها و اندازه‌گیری دبی آب هر یک از دوش‌ها در هر استخر محاسبه شد. برای افزایش دقت این فرایند، دبی آب تمام دوش‌ها در هر استخر اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل با سرانه آب مصرفی هر شناگر که توسط سازمان ورزش شهرداری تهران اندازه‌گیری شده است، مطابقت داشت.

۲-۳- نمونه‌گیری از منابع مختلف

در این پژوهش از میان ۱۰ استخر انتخاب شده برای بررسی کمّی فاضلاب، در ۷ مورد امکان نمونه‌برداری از فاضلاب تولیدی در بخش‌های مختلف میسّر شد. از فاضلاب سرریز استخرها در ابتدا و انتهای سانس در فاصله زمانی حدود ۱ ساعت نمونه‌برداری و نمونه‌ها با نسبت یکسان مخلوط شد. از فاضلاب دوش‌ها نیز با مسدود کردن نسبی راه خروجی فاضلاب در فاصله زمانی حدود ۱۵ دقیقه به‌صورت ممتد با ظرف ۵۰ میلی‌لیتری نمونه‌برداری انجام شد و نمونه‌ها مخلوط شدند. نمونه آب جکوزی به‌صورت مستقیم از آب موجود در فضای وان قبل از تخلیه برداشت شد. در سونا نیز شیوه نمونه‌گیری مشابه نمونه‌برداری از دوش‌ها بود. نمونه‌برداری از

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

بخش‌های مختلف استخر و انجام آزمایش‌ها بر اساس دستورالعمل روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت (APHA, 2005).

۲-۴- تهیه نمونه‌های مرکب

به‌دلیل وجود جریان‌های مختلف فاضلاب در استخرهای شنا، زیرزمینی بودن لوله‌کشی‌ها و ترکیب آب دوش با فاضلاب توالت در بعضی استخرها، امکان دسترسی به پساب مرکب از بخش‌های مختلف تولید کننده وجود نداشت. به‌همین دلیل برای تهیه نمونه پساب که شامل تمامی بخش‌ها با نسبت واقعی باشد، باید نمونه‌های مختلف جمع‌آوری شود و ترکیب حجمی آنها بر اساس نسبت پساب تولیدی در هر بخش تهیه شود. به‌همین دلیل نمونه‌گیری‌ها پس از مشخص شدن حجم پساب تولیدی در هر بخش انجام شد. در نتیجه نمونه‌های مرکب با نسبت حجمی پساب تولیدی از نمونه‌های برداشت شده از هر بخش، ترکیب و تهیه شد. نمونه‌ها به سرعت و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شد تا آنالیزهای مورد نیاز بر روی آنها انجام شود.

۲-۵- انجام آزمایش‌های تعیین کیفیت آب

پساب‌ها بر اساس کیفیت، طیف گسترده‌ای دارند. برای پساب‌هایی که قبلاً کیفیت آنها تعیین نشده است، انجام آنالیزهای کیفی آب شامل آنالیزهای فیزیکی، شیمیایی و میکربی ضروری است.

با انجام این آزمایش‌ها میزان آلودگی پساب مشخص می‌شود و پتانسیل آن برای مصارف مختلف به خوبی روشن می‌شود. از سوی دیگر با در دست داشتن نتایج کیفی و کمّی پساب امکان انتخاب سیستم تصفیه متناسب با مصارف مورد نظر وجود خواهد داشت.

در این پژوهش با در نظر گرفتن آبیاری فضای سبز به‌عنوان مصرف مورد نظر، برای پساب تصفیه شده آزمایش‌های فیزیکی نظیر pH، EC، TDS، TSS و کدورت، آزمایش‌های شیمیایی شامل بارآلاینده‌های آلی (COD و BOD_5) و مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفات و آزمایش میکربی کلیفرم گوارشی نمونه‌ها بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد.

در جدول ۱، روش‌های اندازه‌گیری و دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وضعیت کمّی فاضلاب استخرهای شنا

به‌منظور بررسی کمّی فاضلاب، با مراجعه به هریک از استخرهای مورد نظر میزان فاضلاب تولیدی در بخش‌های مختلف آنها در ماه‌های مختلف سال برآورد شد.

نتایج ارائه شده در جدول ۲ میانگین پساب قابل جمع‌آوری روزانه در بخش‌های مختلف در ۱۰ استخر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین در این جدول سهم تولید پساب در بخش‌های مختلف نیز نشان داده شده است. محاسبه مقدار تولید پساب، بر حسب آب خروجی جبران سرریز کاسه استخر، آب مصرفی دوش‌های استخر و نیز امکانات جانبی (سونا و جکوزی) انجام شد. سپس به منظور بررسی صحت نتایج حاصل، این اعداد با آب ورودی استخرها و نیز آب مصرفی به ازای هر شناگر که توسط سازمان ورزش شهرداری تهران محاسبه شده، مقایسه شد.

همان‌گونه که در جدول ۲ دیده می‌شود، سهم فاضلاب حاصل از دوش‌ها اندکی بیشتر از فاضلاب سرریز استخر است و در استخرهایی که مجهز به سونا و جکوزی هستند و امکانات جانبی کمترین سهم را در میان بخش‌های مختلف تولید کننده پساب استخر دارند.

مقایسه بین پساب تولید شده در یک مجموعه استخر شنا و آب خاکستری تولید شده یک مجتمع مسکونی می‌تواند کمک شایانی به روشن‌تر شدن مقدار پساب این مجموعه‌ها نماید. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲ به‌طور میانگین در هر مجموعه استخر، روزانه ۱۱۹/۴ مترمکعب پساب تولید می‌شود. با در نظر گرفتن آب مصرفی روزانه ۲۴۰ لیتر به ازای هر شهروند تهرانی و نیز در نظر گرفتن این نکته که تقریباً ۷۰ درصد آب مصرفی در بخش خانگی تبدیل به آب خاکستری می‌شود، آب خاکستری تولیدی به ازای هر شهروند تهرانی، روزانه در حدود ۱۶۸ لیتر است. به عبارتی دیگر در یک استخر شنای عمومی روزانه تقریباً معادل آب خاکستری یک مجتمع مسکونی ۷۰۰ نفری پساب تولید می‌شود. نکته دیگری که در بحث تصفیه و استفاده مجدد از آب بسیار حائز اهمیت است، مسئله هزینه‌های جمع‌آوری و انتقال به محل تصفیه‌خانه است. با توجه به مجتمع بودن پساب در این واحدها و تولید توسط چند منبع معدود و مشخص، هزینه جمع‌آوری این پساب نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- روش‌های اندازه‌گیری و دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

Table 1. Measurement methods and used devices in tests

Test name	Unit	Test method	Used devices	Device model and manufacturer country
EC	µs/cm	Device analysis	Multi-parameter	AQUA LYTIC, AL 15; Germany
TDS	ppm	Device analysis	Multi-parameter	AQUA LYTIC, AL 15; Germany
TSS	ppm	Gravimetric	Scale	ADAM, PW124; England
Turbidity	NTU	Device analysis	Turbidity meter	AQUA LYTIC, **AL250T-IR;** Germany
pH	-	Device analysis	Multi-parameter	AQUA LYTIC, AL 15; Germany
COD	ppm	Stnd 5220 D	UV-vis. Spectroscopy	OPTIZEN 2120 UV; Korea
BOD_5	ppm	Stnd 4500-O G	Hot & Cold Incubator & Multi-parameter	Shimaz; Iran AQUA LYTIC, AL 15; Germany
Nitrite	ppm	Stnd 4500-NO_2^- B	UV-vis. Spectroscopy	OPTIZEN 2120 UV; Korea
Nitrate	ppm N-NO_3	Stnd 4500-NO_3^- B	UV-vis. Spectroscopy	OPTIZEN 2120 UV; Korea
Ammonium	ppm	Stnd 4500-NH3 F	UV-vis. Spectroscopy	OPTIZEN 2120 UV; Korea
Phosphate	ppm PO_4	Stnd 4500-P D	UV-vis. Spectroscopy	OPTIZEN 2120 UV; Korea
Fecal coliform	No. of coliform per 100 ml	Multiple tube	Incubator & Autoclave	Fan Azma Gostar, KNC65: Iran Reyhan Teb; Iran

جدول ۲- حجم پساب تولیدی در بخش‌های مختلف استخرهای شنای عمومی

Table 2. Produced sullage volume in different sections of public swimming pools

Pool No.	Overflow wastewater		Shower wastewater		Amenities wastewater		Total wastewater volume
	Volume (m^3)	Percentage	Volume (m^3)	Percentage	Volume (m^3)	Percentage	
1	35	28.0	60	48.0	30	24.0	125
2	42	27.6	80	52.6	30	19.7	152
3	40	27.2	75	51.0	32	21.8	147
4	45	27.3	85	51.5	35	21.2	165
5	35	26.9	70	53.8	35	19.2	130
6	25	38.5	40	61.5	0	0	65
7	32	30.5	55	52.4	18	17.1	105
8	35	30.4	60	52.2	20	17.4	115
9	30	28.0	55	51.0	22	20.6	107
10	28	33.7	55	66.3	0	0	83
Average	34.7	29.8	63.5	54.0	21.2	16.1	119.4

جمع‌آوری پساب یک مجتمع مسکونی بسیار کمتر خواهد بود. اجتماع این دو نکته، یعنی حجم بالای پساب با کیفیت و نیز سهولت و هزینه کم جمع‌آوری و انتقال آن به محل تصفیه، موجب توجه به پتانسیل زیاد استفاده مجدد آب در مجموعه‌های ورزش آبی و استخرهای شنا در این پژوهش شده است و استخرهای شنا را به یکی از بهترین گزینه‌های پیشنهادی برای اجرای نخستین طرح‌های تصفیه محلی و استفاده مجدد آب در حوزه خدمات شهری تبدیل کرده است.

۳-۲- وضعیت کیفی فاضلاب استخرهای شنا

از بین استخرهای مورد بررسی در این پژوهش، در ۷ استخر امکان نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف تولید کننده پساب حاصل شد. در

www.SID.ir

این موارد از قسمت‌های مختلف استخر مطابق روش‌های ذکر شده در بخش‌های ۲-۳ و ۲-۴ نمونه‌برداری انجام شد. بر اساس سهم هر بخش از استخر در تشکیل پساب نهایی، یک نمونه مرکب برای هر استخر تهیه شد. سپس آنالیزهای شیمیایی و فیزیکی مورد نیاز بر روی آنها انجام شد. نتایج آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌های مرکب تهیه شده از پساب استخرهای شنای عمومی در جدول ۳ ارائه شده است.

با بررسی بر روی نتایج آزمایش‌های فیزیکی انجام شده بر روی نمونه‌های پساب استخر، مشاهده شد که این نوع فاضلاب از نظر ظاهری پسابی با آلودگی بسیار کم است. مقدار TSS و کدورت در این پساب به حدی کم است که این پساب به‌صورت آبی نسبتاً شفاف دیده می‌شود. همچنین مقدار TDS و EC دراین پساب که بیانگر یون‌های محلول موجود در آب است نیز کم است. این نتایج در شکل ۱ نشان داده شده است.

طی مراحل استفاده از آب در قسمت‌های مختلف استخر، در دو بخش اضافه نمودن مواد گندزدا به آب کاسه استخر و استفاده از شوینده‌ها در پساب دوش، بیشترین افزایش در مقدار TDS رخ می‌دهد. در مجموع، مقدار TDS طی این مراحل در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد. با این حال حداکثر TDS اندازه‌گیری شده در این پژوهش ۶۲۶ میلی‌گرم در لیتر بود که این مقدار در مقایسه با استانداردهای دفع پساب، بسیار مطلوب و مناسب است.

پارامتر pH به‌دلیل اهمیت زیادی که در مطلوبیت آب استخر دارد، در همه بخش‌های استخر شنا کنترل می‌شود. با توجه به اینکه pH پساب کاسه استخر، سونا و جکوزی باید در محدوده ۷/۲ تا

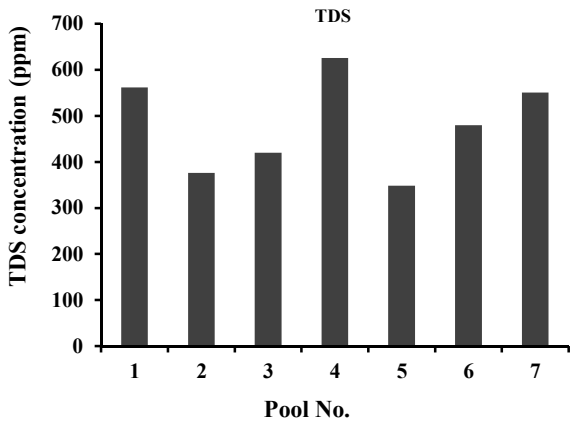

Fig. 1. TDS quantity in samples of investigated swimming pools sullage

شکل ۱- مقدار کل جامدات محلول در نمونه‌های پساب استخرهای شنای مورد بررسی

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و میکربی آب بر روی نمونه‌های مرکب (درصد حجمی)

Table 3. Results of physical, chemical and microbial tests on compound samples (volume composition)

Test type	Physical tests				Chemical tests							Microbial test
Pool No.	EC (µs/cm)	TDS (mg/L)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/L)	pH	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Phosphate (mg/L)	Fecal coliform (no. per 100ml)
1	847	562	20.4	9.72	7.71	58.43	15	0.016	64.92	0.20	0.29	3
2	564	376	22.3	16.8	7.68	170.06	75	0.017	62.80	0.17	0.30	<3
3	631	420	24.56	29.18	7.89	217.30	141	0.033	67.52	0.37	0.87	7.2
4	938	626	9.1	1.14	7.69	40.43	23	0.061	81.18	0.19	0.31	<3
5	519	348	29.3	18.37	7.91	245.94	112	0.051	35.61	0.40	2.17	6
6	720	480	9.46	3.16	7.78	114.27	61	0.036	40.39	0.54	2.83	3
7	824	551	13.65	36.32	7.18	224.66	139	0.035	28.32	0.75	0.96	16
Average	720.43	480.43	18.40	16.38	7.69	153.01	80.86	0.035	54.39	0.37	1.10	5.89
Standard deviation	156.59	104.02	7.80	13.02	0.24	82.89	51.77	0.016	19.58	0.21	1.01	4.78
Influent water (pool No. 7)	603	405	0.10	2.35	7.22	ND	ND	ND	27.04	0.28	0.29	0

www.SID.ir

doi: 10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

۷/۸ باشد، بنابراین تنها موردی که pH در آن کنترل نمی‌شود، پساب دوش‌هاست که به دلیل مصرف شوینده‌ها مقدار pH اندکی افزایش می‌یابد، اما در مجموع مقدار pH در پساب مرکب استخرهای مختلف تقریباً یکسان و در حدود ۷/۸ است.

ورود آلاینده‌های آلی به پساب در کاسه استخر، سونا و جکوزی ناشی از آلودگی‌های بدن شناگران، محصولات آرایشی و مراقبت از پوست است و در پساب دوش غالباً ناشی از همین مواد به علاوه مصرف شوینده‌ها است. از نظر وجود آلاینده‌های آلی، در حالت عادی آلوده‌ترین بخش استخر، پساب دوش‌ها است. با این حال با در نظر گرفتن این نکته که آب خاکستری دوش در رده آب‌های خاکستری روشن قرار می‌گیرد، واضح است که پساب استخرهای شنا، پسابی بسیار با کیفیت است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میانگین COD نمونه‌های پساب استخرهای مورد بررسی، ppm ۱۵۳ است. این عدد به خوبی بار آلی کم این پساب را نشان می‌دهد.

آزمایش‌های دیگری که در این پژوهش انجام شد، مربوط به مواد مغذی موجود در آب، یعنی نیتروژن و فسفر بود. منابع نیتروژنی موجود در آب شامل نیترات، نیتریت و آمونیاک و نیز فسفات اندازه‌گیری شد. شکل ۳ مقدار نیترات در نمونه‌های پساب استخرهای شنا را نشان می‌دهد. در بین منابع نیتروژن معدنی، مقدار نیتریت و آمونیاک با غلظت بسیار کم و نیترات با غلظت نسبتاً زیاد

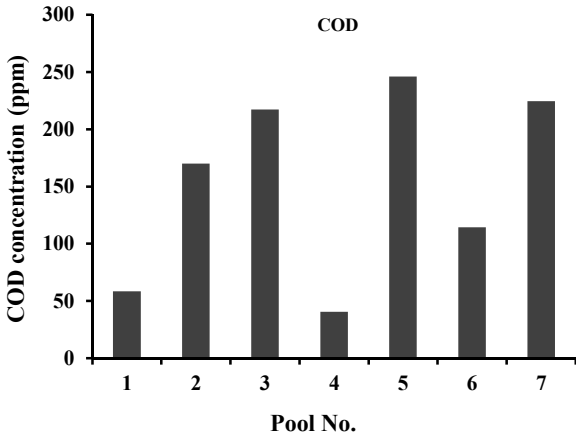

Fig. 2. COD quantity in samples of investigated swimming pools sullage

شکل ۲- مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در نمونه‌های پساب استخرهای شنای مورد بررسی

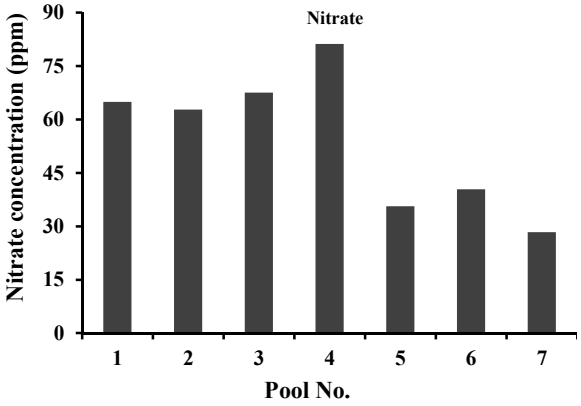

Fig. 3. Nitrate quantity in samples of investigated swimming pools sullage

شکل ۳- مقدار نیترات در نمونه‌های پساب استخرهای شنای مورد بررسی

در فاضلاب‌های مورد بررسی مشاهده شد. وجود نیتریت معمولاً ناشی از ورود آلودگی تازه به آب، و آمونیاک ناشی از تجزیه نیتروژن آلی مثل آلاینده‌های خروجی از بدن انسان است. در حالی که نیترات غالباً در اثر فعالیت‌هایی مانند استفاده از کودهای شیمیایی وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. تأمین آب مورد نیاز استخرها از منابع آب زیرزمینی و در مواردی چاه‌های خارج از شهر که دارای غلظت زیاد نیترات هستند، موجب زیاد بودن مقدار نیترات در این آب‌ها شده است. در هیچ یک از فعالیت‌های درون استخر تغییری در میزان نیترات آب ایجاد نمی‌شود. از این‌رو مقدار نیترات کاملاً وابسته به منبع تأمین آب استخر است. معمولاً آب‌های زیرزمینی به طرق مختلف از جمله چاه‌های محلی، قنات و آب چاه‌های خارج از شهر که به وسیله تانکر به استخرها انتقال داده می‌شود. در مواردی که آب از طریق چاه و قنات به دست می‌آید، منطقه استخر نیز بر میزان نیترات موجود در آب تأثیر بسزایی دارد. یکی از موارد مهم مورد بررسی در خصوص آب آبیاری فضای سبز، وجود آلودگی‌های میکربی است. در این پژوهش به‌دلیل آن‌که آلاینده‌های میکربی ناشی از بدن انسان مدنظر بود، کلیفرم گوارشی برای تشخیص وجود آلودگی میکربی انتخاب شد.

در نمودار شکل ۴، کلیفرم گوارشی نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نمونه‌های مورد بررسی دارای بار آلودگی میکربی بسیار کمی هستند. تمیز بودن ذاتی پساب به‌دلیل منشأ تولید و وجود مواد گندزدا در حدود نیمی از حجم

www.SID.ir

doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

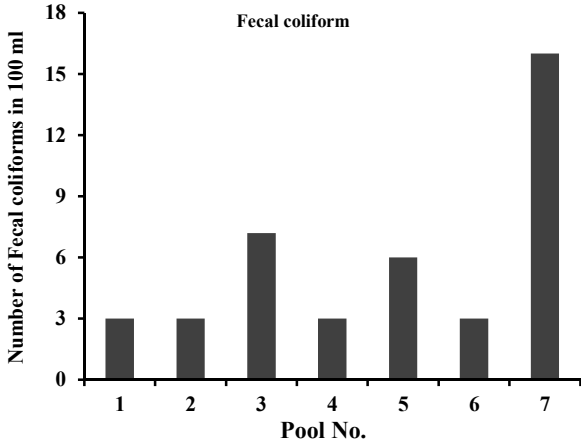

Fig. 4. Fecal coliform quantity in samples of investigated swimming pools sullage

شکل ۴- مقدار کلیفرم گوارشی در نمونه‌های پساب استخرهای شنای مورد بررسی

پساب شامل آب کاسه استخر و جکوزی، از جمله دلایلی است که برای این مسئله می‌توان مطرح کرد.

۳-۳- بررسی پتانسیل استفاده مجدد پساب استخر در آبیاری فضای سبز

آبیاری فضای سبز، عمده‌ترین کاربرد پساب‌های تصفیه شده در حوزه مصارف شهری است. فضاهای سبز شهری شامل پارک‌ها، زمین‌های ورزشی، پارک‌های جنگلی و بلوارها است. با توجه به قرارگیری تصفیه‌خانه‌ها در حومه شهرها، استفاده از پساب خروجی آنها نیازمند انتقال و توزیع مجدد در داخل شهر است که هزینه‌های گزافی به همراه دارد. بنابراین بهترین گزینه به‌منظور استفاده مجدد پساب برای آبیاری فضای سبز، تمرکززدایی از تصفیه‌خانه‌های بزرگ شهری و ایجاد تصفیه‌خانه‌های نیمه متمرکز در محل است.

بر اساس دستورالعمل ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی، آبیاری فضای سبز و گیاهانی که در تماس مستقیم با انسان هستند به‌عنوان گیاهان گروه A، نیازمند آب با بالاترین کیفیت از نظر میکربی می‌باشد و لازم است در صورت عدم تطابق بار میکربی فاضلاب با استانداردهای ارائه شده تمهیدات لازم برای گندزدایی پساب اندیشیده شود. همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری گیاهان تأثیرات مستقیمی بر روی کیفیت خاک و نیز رشد و بیماری‌های گیاه دارد. از این‌رو لازم است پساب مورد استفاده در آبیاری فضای سبز از کیفیت مطلوب و منطبق بر استانداردهای تدوین شده در این زمینه برخوردار باشد. به‌منظور بررسی پتانسیل استفاده مجدد پساب استخرهای شنا برای آبیاری فضای سبز شهری، کیفیت خروجی این پساب به‌صورت تصفیه نشده با استانداردهای بومی‌سازی شده بر اساس استانداردهای WHO مقایسه شد. این استانداردها در جدول ۴ نشان داده شده است.

مقایسه نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی پساب استخر با استانداردهای آبیاری بیانگر کیفیت بالای این پساب است. مشاهده شد که غلظت کلراید، مواد مغذی، جامدات معلق، جامدات محلول و شوری آب همگی در بازه مناسبی قرار گرفتند. از بین پارامترهای مورد بررسی فقط آلودگی آلی این پساب به میزان اندکی از حداکثر غلظت مجاز برای مصارف آبیاری تجاوز می‌کند.

غلظت سدیم یکی از ویژگی‌های بسیار مهم آب مورد استفاده در آبیاری است. افزایش غلظت سدیم در پساب استخرهای شنا طی دو مرحله اتفاق می‌افتد: اول در مرحله سختی‌گیری از آب خام ورودی کاسه استخر و امکانات جانبی و دوم در فرایند گندزدایی به وسیله مشتقات کلر (زمانی که از مولتی اکسیدان برای گندزدایی استفاده می‌شود).

منبع اصلی سدیم در این پساب، عبور آب از سختی‌گیر رزینی است که طی آن یون‌های کلسیم و منیزیم که موجب ایجاد سختی در آب می‌شود، با یون سدیم جایگزین می‌شود. این مرحله که ممکن است موجب افزایش نسبتاً زیاد محتوای سدیم آب شود کاملاً وابسته به آب خام مورد استفاده و در نتیجه منطقه و شهر مورد بررسی است. در شهر تهران بنابر گزارش‌های وزارت نیرو، TDS آب بین ۲۱۰ تا ۷۰۰ ppm متغیر است و کلسیم آب ۶۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده که معادل ۱/۵ me Ca/L است. با توجه به تبادل یونی در سختی‌گیر رزینی مقدار سدیم جایگزین شده معادل ۳ me Na/L است. البته باید توجه داشت که این افزایش محتوای سدیم تنها در بخش آب کاسه استخر و امکانات جانبی اتفاق می‌افتد که این دو بخش به‌طور میانگین در حدود نیمی از پساب استخر را شامل می‌شود. بنابراین در هنگام اختلاط پساب کلیه بخش‌ها، غلظت یون سدیم در آب تقریباً به نصف این مقدار یعنی ۱/۵ me Na/L می‌رسد. در مرحله گندزدایی نیز بر اساس ادعای شرکت‌های تولید کننده سامانه گندزدایی مورد استفاده در استخرهای شنا، حداکثر ۱ میلی‌گرم در لیتر سدیم وارد آب می‌شود، که در

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

جدول ۴- استانداردهای مورد نیاز برای کیفیت پساب برای آبیاری فضای سبز

Table 4. Standards for landscape irrigation water

Pollution parameter		Average concentration in pool water	Maximum allowed	Irrigation water quality guide		
EC (µs/cm)		720.43	-	<700	700-3000	>3000
TDS (mg/L)		480.43	-	<450	450-2000	>2000
Turbidity		18.40	50			
TSS (mg/L)		16.38	100			
COD (mg/L)		153.01	200			
BOD_5 (mg/L)		80.86	100			
pH		7.69	6 - 8.5	6.5 – 8.5		
Nitrogen-NO_3+ Nitrogen-NH_4 (mg/L)		13.21	-	<5	5-30	>30
Phosphate (mg/L)		1.10	-	<50		>50
Chloride	Surface irrigation	<2.5 (me/L)	600 (mg/L)	<4 (me/L)	4–10 (me/L)	>10(me/L)
	Sprinkler irrigation			<3 (me/L)		>3 (me/L)
Fecal coliform (no. per 100 mL)		186.33	400		<1000 [3]	

مقایسه با فرایند سختی‌گیری ناچیز است (Behin Ab Zendeh Rood Research and Consulting Engineers, 2014). این مقدار در مقایسه با استانداردهای آبیاری بارانی در محدوده مجاز قرار می‌گیرد. اما با توجه به اینکه شاخص نسبت جذب سدیم کاملاً به آب اولیه و در نتیجه شهر و حتی منطقه برداشت آب وابسته است. بنابراین لازم است در صورت تصمیم به اجرای طرح استفاده مجدد این آب، مقدار دقیق سدیم، منیزیم و کلسیم اندازه‌گیری شده و نسبت جذب سطحی سدیم برای هر مورد به‌طور دقیق محاسبه و در کنار خصوصیات خاک مورد آبیاری بررسی شود.

به‌طور کلی استفاده از پساب استخرها در آبیاری فضای سبز می‌تواند چرخه مواد در طبیعت را کامل نماید، نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش دهد و آب‌های زیرزمینی را از قرارگیری در معرض پساب‌های آلوده محافظت نماید. در واقع از آنجا که پساب استخر، حاوی مواد آلی تجزیه‌پذیر با منشأ انسانی یا حیوانی است، در صورت آبیاری با این آب، خاک همانند فیلتر عمل می‌کند و مواد آلی پساب را جذب کرده و موجب بهبود خواص خاک برای رشد گیاهان می‌شود (Rezaee and Sarrafzadeh, 2017). بسیاری از پژوهش‌های اخیر، بیانگر افزایش معنی‌دار مواد مغذی در خاک در اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده است. عناصر غذایی نظیر فسفر و نیتروژن جزء عوامل اصلاحی خاک است که موجب بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک می‌شود. این افزایش منجر به دسترسی بهتر گیاهان به مواد مغذی ماکرو و میکرو می‌شود و اغلب رشد بهتر گیاه را به همراه خواهد داشت. بنابراین استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری علاوه بر کاهش بار آلودگی منابع سطحی و زیرزمینی، می‌تواند کاهش هزینه مصرف کود شیمیایی را به همراه داشته باشد (Badalians Qoli Kendi G. et al., 2014, Rezaee and Sarrafzadeh, 2017). از سوی دیگر با توجه به افزایش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی، استفاده مجدد از پساب‌های حاوی نیترات و در نتیجه عدم مصرف کودهای نیتراته برای آبیاری از افزایش هرچه بیشتر غلظت این ماده در آب جلوگیری می‌نماید.

بنابراین با توجه به انحراف جزئی بار آلودگی آلی از استاندارد آبیاری و نیز غلظت مناسب مواد مغذی، این پساب از پتانسیل زیادی برای آبیاری برخوردار است. با توجه به انحراف جزئی بار آلی این پساب از استانداردهای آبیاری در برخی نمونه‌ها و نیز فواید مواد مغذی موجود در پساب برای خاک، بهتر است تصفیه

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2019.118532.2624
Archive of SID

پساب به گونه‌ای در نظر گرفته شود که فقط بار آلی آن کاهش یابد و مواد مغذی حذف نشود. بنابراین با در نظر گرفتن یک سیستم تصفیه ساده در محل، مانند یک سامانه دو بخشی شامل فیلتر عمقی و کربن فعال و نیز یک مرحله کلرزدایی، به راحتی می‌توان این پساب را به کیفیت مطلوب برای آبیاری رساند و در عین حال از مزیت وجود مواد مغذی نیتروژن و فسفر در راستای عدم استفاده از کودهای شیمیایی بهره جست.

در شهر تهران ۵۳ استخر تحت نظارت شهرداری در حال فعالیت است که اغلب از نظر ظرفیت پذیرش و حجم فاضلاب تولیدی در یک بازه قرار می‌گیرد. این درحالی است که بالغ بر ۲۵۰ استخر عمومی شامل استخرهای دانشگاه‌ها، مراکز دولتی، هتل‌ها و استخرهای با مدیریت خصوصی در شهر تهران به ثبت رسیده است. البته با توجه به عدم همکاری این نوع استخرها نمی‌توان به‌طور قطعی در مورد حجم پساب تولید شده در آنها اظهار نظر کرد. اما با تعمیم میانگین پساب برآورد شده در استخرهای مورد بررسی، این تعداد استخر سالانه بیش از ۱۰ میلیون مترمکعب پساب تولید می‌کنند. مجموع فضای سبز در مناطق ۲۲ گانه شهر تهران ۶۲۹۴ هکتار است و نیاز آبی سالانه آن ۵۶/۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است (Rezaee and Sarrafzadeh, 2017). به این ترتیب با استفاده از پساب استخرهای شنا می‌توان تقریباً ۱۸ درصد از آب مورد نیاز فضای سبز را از این طریق تأمین نمود.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، فاضلاب تولیدی در استخرهای شنای عمومی به‌دلیل حجم زیاد و متمرکز بودن یک گزینه بسیار مناسب برای اجرای طرح تصفیه و استفاده مجدد است. بررسی حجم فاضلاب تولیدی در هر استخر شنا و نیز کیفیت آن، تمرکز بالای پساب با کیفیت را در این مراکز نشان می‌دهد.

در یک استخر شنای عمومی به طور میانگین روزانه در حدود ۱۲۰ مترمکعب پساب تولید می‌شود که این مقدار تقریباً معادل آب خاکستری تولید شده در یک مجتمع مسکونی ۷۰۰ نفری می‌شود. تمرکز بخش‌های تولید کننده فاضلاب در یک استخر در قیاس با مجتمع‌های مسکونی و همچنین وجود فضا برای ایجاد تصفیه‌خانه محلی در بخش تأسیسات استخرها منجر به سهولت و کاهش هزینه جمع‌آوری و انتقال پساب به تصفیه‌خانه می‌شود.

طبق بررسی مقایسه‌ای انجام شده بین کیفیت پساب استخر و استانداردهای آبیاری با پساب، این پساب از پتانسیل زیادی برای استفاده مجدد با یک فرایند تصفیه ساده و گندزدایی برای آبیاری فضای سبز در تماس با انسان، برخوردار است. همچنین تامین آب استخرهای شنا از آب‌های زیرزمینی و در نتیجه غلظت نسبتاً زیاد نیترات در آن می‌تواند در بخش کشاورزی با تکمیل چرخه کربن در طبیعت منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی ازته شده و مناطق پایین‌دست را از قرارگیری در معرض پساب‌های آلوده محافظت نماید.

این پساب می‌تواند با احیا و یا گسترش فضای سبز شهری از مصرف بی‌رویه منابع آب شیرین بکاهد. البته شایان ذکر است که بهره‌مندی از مزایای آبیاری با پساب تصفیه شده در گرو پایش منظم کیفیت پساب، خاک و گیاهان آبیاری شده به این روش است تا در صورت وقوع آثار مخرب، در اسرع وقت مشکلات ایجاد شده شناسایی و مرتفع شود. اگرچه یکی از بهترین موارد استفاده از آب تصفیه شده شهری، آبیاری فضای سبز است، ولی مصارف دیگری مانند تأمین آب آتش‌نشانی، شستشوی معابر، تأمین آب کارهای ساختمانی، تخلیه به بستر خشک رودخانه و احیای آبهای زیرزمینی نیز برای استفاده مجدد از این پساب قابل برنامه‌ریزی است. اگرچه در این پژوهش امکان استفاده از پساب استخر به‌طور خاص برای آبیاری فضای سبز بررسی شد. طبق برآوردهایی که انجام شد، استفاده مجدد از پساب استخرهای شنا، قابلیت تأمین ۱۸ درصد از نیاز آبی فضای سبز شهر تهران را دارد.

شایان ذکر است که امکان‌سنجی دقیق آبیاری با این پساب نیازمند اجرای یک طرح پایلوت تصفیه پساب و استفاده مجدد در آبیاری است که در آن کیفیت خاک، گیاهان و نیز ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی مناطق مورد آبیاری از نظر تجمع احتمالی آلاینده‌های باقیمانده در پساب تصفیه شده به‌طور دقیق و به‌صورت طولانی مدت، بررسی شود. اجرای طرح پایلوت کمک خواهد کرد استفاده از منابع آب نامتعارف با اطمینان خاطر بیشتری انجام شود و اهداف استفاده مجدد آب با کمترین هزینه محیط زیستی تأمین شود.

www.SID.ir

۵- قدردانی

از مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهرداری تهران به‌دلیل حمایت مالی و از سازمان ورزش شهرداری تهران، مدیریت استخر دانشگاه تهران و مدیریت استخر دانشگاه صنعتی شریف که همکاری لازم را در امور نمونه‌برداری و اندازه‌گیری مقدار پساب تولیدی استخرهای تحت نظارت ایشان مبذول داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

APHA. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater. In: Environmental*, American Public Health Association, Washington, DC, USA.

Ardakanian, R. 2005. Overview of water management in Iran. *Proceeding of an Iranian American Workshop*, *Water Conservation, Reuse, and Recycling.* Washington, DC. 153-172.

Badalians Qoli Kendi, G., Jamshidi, S., Abrishami, A. 2014. The effect of irrigation with treated municipal wastewater on the growth and yield of sunflower and soil characteristics. *Water Recycling Journal,* 2 (1), 27-40. (In Persian)

Barbot, E. & Moulin, P. 2008. Swimming pool water treatment by ultrafiltration-adsorption process. *Journal of Membrane Science,* 314, 50-57.

Behzadian, K., Kapelan, Z., Venkatesh, G., Brattebø, H., Sægrov, S., Rozos, E., et al. 2014. Urban water system metabolism assessment using WaterMet2 model. *Procedia Engineering,* 70, 113-122.

Behin Ab Zendeh Rood Research and Consulting Engineers. 2014. *Baco Advanced Mixed Oxidants disinfection system*, Isfahan, Iran, 1-24. (In Persian)

Chung, G., Lansey, K., Blowers, P., Brooks, P., Ela, W., Stewart, S. et al. 2008. A general water supply planning model: evaluation of decentralized treatment. *Environmental Modelling and Software,* 23, 893-905.

Glauner, T., Waldmann, P., Frimmel, F. H. & Zwiener, C. 2005. Swimming pool water - fractionation and genotoxicological characterization of organic constituents. *Water Research,* 39, 4494-4502.

Hazell, F., Nimmo, L. & Leaversuch, P. 2006. *Best practice profile for public swimming pools maximising reclamation and reuse.* Report by the Royal Life Saving Society, Perth, Western Austalia.

Izadpanah, M. & Sarrafzadeh, M. H. 2014. A survay on swimming pool water reuse. *2nd National Confrence of Water Reuse*, Tehran, Iran. (In Persian)

Reißmann, F. G., Schulze, E. & Albrecht, V. 2005. Application of a combined UF/RO system for the reuse of filter backwash water from treated swimming pool water. *Desalination,* 178, 41-49.

Rezaee, M. & Sarrafzadeh, M. H. 2017. Challenges and opportunities for wastewater reuse in municipal consumptions: a case study in Tehran metropolis. *Iran-Water Resources Research,* 12, 36-39. (In Persian)