



Short Paper

Evaluation of Greywater Treatment System by Aerobic Method in Planning Urban Ecology and Green Space Development

Ahmad Reza Zare Ghanat Novi¹, Fardin Boustani² and Seyed Amir Shamsnia^{2*}

¹M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

²Assist. Professor, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Article information

Received: June 23, 2021

Revised: August 15, 2021

Accepted: August 23, 2021

Keywords:

Environment

Pollution

Sewage

Wastewater

*Corresponding author:

shamsnia@iaushiraz.ac.ir



Abstract

In this paper, a greywater treatment system in a Shiraz residential building using the aerobic method was evaluated. 10 intake and exhaust samples were acquired under normal lab conditions. Sampling was done in an approximately four-month period in 5-day intervals. The results revealed that output values for pH, Turbidity, COD, BOD₅, Nitrate, Total Coliform, and Fecal Coliform were 6.88, 26.5, 111.6, 29.7, 5.65, 184.9 and 670.2 respectively. All the amounts are within the legal limits of Ministry of Health and Medical Education's Article 5 of Code of Water Pollution. This technology is able to purify turbidity up to 99.11%, COD up to 93.92 percent, BOD₅ up to 96.23% and nitrate up to 99.96%. Therefore, scientific and principled treatment of greywater can reduce more than 90% of pollutants in wastewater and set the level of pollution to the standard of use in agriculture and irrigation. The use of this valuable water source can be useful in the development of urban green space and the promotion of the urban ecosystem.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

The use of treated wastewater has been common in various countries around the world for a long time. In developed countries, treated wastewater is used in compliance with environmental regulations. As science advances, the well-being of the population gains more importance. Contamination in sewage systems and dumping them in the environment are among the biggest concerns for the World Community for which some solutions have been proposed. Greywater

management includes its collection, treatment, and reuse. Proper management of grey water not only improves human health and reduces environmental pollution, but also its main advantage is the reuse of the resulting effluent. As one of the Middle Eastern countries, Iran is facing a decrease in renewable water resources and at present in the country, especially in the outskirts of large cities and provincial capitals, large areas are irrigated with effluents and return water. In most cases, this use is unprincipled and has been used for the cultivation of vegetables



and summer crops and has caused environmental pollution, accumulation of pollution in the soil, and its transfer to products.

In recent decades, for various reasons, much attention has been paid to the separation of gray water from wastewater, treatment, and reuse, especially in the agricultural sector. In this regard, research is needed to evaluate the use of this valuable resource to be done so that the results recommended its use in agriculture and green space irrigation. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the use of aerobically treated gray water for urban ecosystem planning and green space development, a case study of Shiraz.

Materials and Methods

The project under study was a 22-unit residential complex located in Shiraz, where the gray water recycling system was designed and implemented. Due to the fact that the lines of heavy sewage and gray water (bath only) have been designed and implemented separately.

In this paper, a greywater treatment system in a Shiraz residential building using the aerobic method was evaluated and 10 intake and exhaust samples were acquired under normal lab conditions. Sampling was done in an approximately four-month period in 5-day intervals. Fig. 1 shows the greywater treatment system designed for the residential complex.

The purpose of this project is to use grey effluent in irrigating and washing. The infrastructure of the roof garden is about 400 m² and due to the fact that each m² of green space needs about 6 l/day of water, as a result, the volume of water required for a green roof will be 2400 l/day. The installed package has a treatment capacity of 4000 l/day and according to the grey wastewater production of each unit which is 320 l/day, considering the 22 residential units located in the 7000 l/day complexes of gray wastewater per day, of which 4000 l are treated and the rest enters the municipal sewage network.

Results

The values of 10 input samples and 10 output samples were sampled according to laboratory standards. In the input samples, the minimum pH value is 10 and the maximum value is 13. The minimum turbidity value is 2805 and the maximum value is 3153 and the average turbidity of the samples is 295.6 NTU. The lowest and highest COD values of the input samples were

1439 and 1676 mg/l, respectively. The lowest and highest values of BOD₅ as one of the important biological indicators were 724 and 826 mg/l and the average BOD₅ of the samples was 786 mg/l. The average amount of nitrate in the input samples was 15395 mg/l and the mean values of total coliform and thermoformed coliform were 1734 and 799 MPN/100 ml, respectively.



Fig. 1 Components of greywater treatment system: a) inlet pipe, b) inlet tank, and c) outlet tank (Zare Ghanat Novi 2018)

In the output samples that were tested after the purification operation, the minimum pH value was 5 and the maximum value was 9. The minimum turbidity was 12 NTU and the maximum was 47 NTU and the average turbidity of the samples was 26.5. The minimum and maximum COD values of the output samples are 7 and 182 mg/l. The minimum and maximum

values of BOD₅ are 4 and 71 mg/l and the average BOD₅ of the samples is 29.7 mg/l. The mean amount of nitrate in the output samples was 5.88 mg/l and the mean values of total coliform and thermoformed coliform were equal to 185 and 670 MPN/100 ml, respectively (Table 1).

Table 1 Comparison of the average output samples with the output standard of the water pollution prevention regulations

Parameter	Average output samples	Standard for agricultural and irrigation uses
pH	6.88	6-8.5
Turbidity	26.5	<50
COD	111.6	<200
BOD ₅	29.7	<100
NO ₃	5.65	-
Total Coliform	184.9	<400
Fecal Coliform	670.2	<1000

The results revealed that output values for pH, Turbidity, COD, BOD₅, Nitrate, Total Coliform, and Fecal Coliform were 6.88, 26.5, 111.6, 29.7, 5.65, 184.9, and 670.2 respectively; all the amounts are within the legal limits of Ministry of Health and Medical Education's Article 5 of Code of Water Pollution. This technology is able to purify turbidity up to 99.11%, COD up to 93.92%, BOD₅ up to 96.23%, and nitrate up to 99.96% (Table 2).

Table 2 Percentage of pollutants treatment

Parameter	Unit	Efficiency (%)
pH	-	39.37
Turbidity	NTU	99.11
COD	mg/l	93.92
BOD ₅	mg/l	96.23
NO ₃	mg/l	99.96
Total Coliform	MPN/100 ml	88.95
Fecal Coliform	MPN/100 ml	16.14

1

Conclusion

Scientific and principled treatment of greywater can reduce more than 90% of pollutants in wastewater and set the level of pollution to the standard of use in agriculture and irrigation. The use of this valuable water source can be useful in the development of urban green space and the promotion of the urban ecosystem.

It is suggested that the Building Engineering System Organization provide the conditions for its use by compiling instructions for the use of gray water in buildings and observing the necessary standards and criteria such as the issues of national building regulations. It can also expand the use of gray water by holding training courses. One of the main issues in the use of collecting gray water is that water and sewage companies can store this water by building reservoirs in cities, and in the same place it can be treated and provided to the municipality and other consumers of gray water. The Water and Sewerage Company should also use educational programs to acquaint citizens with gray water and teach citizens how to use it. The municipality can expand the green space of the city per capita by using gray water in urban development and creating green space and irrigating it with gray water, and also for buildings that want to use green roof and green space. The municipality can make their license conditional on the use of a gray water treatment system.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله کوتاه

ارزیابی سیستم تصفیه آب خاکستری با روش هوازی در برنامه ریزی زیست بوم شهری و توسعه فضای سبز

احمدرضا زارع قنات نوی^۱، فردین بوستانی^۲ و سید امیر شمس نیا^{۳*}

^۱دانش آموخته ی کارشناسی ارشد مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
^۲استادیار گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۴/۰۲]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۵/۲۴]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۱۲/۰۹]

واژه های کلیدی

آلودگی
پساب
فاضلاب
محیط زیست

*نویسنده مسئول

shamsnia@iaushiraz.ac.ir



چکیده

در این پژوهش تحلیل و ارزیابی سیستم تصفیه آب خاکستری با روش هوازی در یک مجتمع مسکونی در شهر شیراز مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ده نمونه ورودی و خروجی از سیستم تصفیه تحت شرایط و استانداردهای آزمایشگاه، نمونه برداری شد. نمونه برداری در حدود ۴ mon به صورت ۵ d انجام گرفت. نتایج نشان داد میانگین مقادیر خروجی pH، کدورت، BOD_5 ، COD، نیترات، کلی فرم کل و کلی فرم گرماپای به ترتیب برابر با ۶/۸۸، ۶/۸۸، ۲۶/۵۰، ۱۱۱/۶۰، ۲۹/۷۰، ۵/۶۵ mg/l، ۱۸۵ MPN/100 ml و ۱۸۵ MPN/100 ml بود. تمامی این مقادیر در محدوده مجاز استاندارد خروجی فاضلاب ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی قرار دارد. همچنین این فناوری قادر بود آلاینده کدورت را ۹۹/۱۱٪، COD را به میزان ۹۳/۹۲٪، BOD_5 را ۹۶/۲۳٪ و نیترات را ۹۹/۹۶٪ تصفیه نماید. لذا تصفیه علمی و اصولی آب خاکستری می تواند بیش از ۹۰٪ آلاینده های موجود در پساب را کاهش دهد و میزان آلودگی را در حد استاندارد استفاده در کشاورزی و آبیاری قرار دهد. استفاده از این منبع آب ارزشمند می تواند در توسعه سرانه فضای سبز شهری و ارتقای زیست بوم شهری مفید باشد.

۱- مقدمه

کمبودها مورد توجه قرار داده اند. در سطح خانگی، بازیافت و استفاده مجدد غیرشرب از بخشی از فاضلاب های خانگی و همچنین جمع آوری آب باران از روی بام خانه ها مسئله مهمی است که در توسعه پایدار شهری و بخصوص در مورد ساختمان های سبز برای کاهش مصرف آب تصفیه شده خانگی مورد توجه قرار گرفته است (Zamani et al. 2006). جمع بندی تجربیات جهانی استفاده از پساب ها و آب های

با توجه به میزان استقبال و همچنین نیاز به استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در کشاورزی، در حال حاضر بیشتر تصفیه خانه های فاضلاب در سطح کشور با هدف استفاده مجدد از پساب حاصل از کشاورزی، طراحی و اجرا می گردند. در این راستا متولیان امر، پالایش و استفاده مجدد از پساب های شهری و صنعتی و همچنین آب های برگشتی را به عنوان منابعی جدید برای جبران بخشی از این



پیش‌تصفیه فیزیکی و ضد عفونی به‌عنوان اقتصادی‌ترین راه برای تصفیه آب خاکستری با بار آلودگی بالا توصیه می‌گردد. Safari et al. (2020) توصیه نمودند آب خاکستری تصفیه‌شده را می‌توان برای بسیاری از مصارف نظیر فلاش تانک سرویس بهداشتی، آبیاری باغ، شستن ماشین و پاک‌کردن پیاده‌رو استفاده کرد. بازچرخانی آب مسئله مهمی است که امروزه با عنایت به کاهش کمی و کیفی آب‌های مطلوب اهمیت بیش‌تری یافته است. در پژوهشی که در خصوص کاربردها، طراحی هیدرولیکی و مزایای محیط‌زیستی آب خاکستری و استفاده از این منبع آب در خصوص بام‌ها و دیوارهای سبز و مزایای محیط‌زیستی آن مورد بررسی قرار گرفت، پارامترها و طراحی هیدرولیکی نیز مورد مطالعه قرار گرفت و پیشنهادهایی در این خصوص ارائه گردید (Boano et al. 2020). Boano et al. (2021) در ارزیابی عملکرد سیستم‌های تصفیه در دیوار سبز فضای باز با آب خاکستری پیشنهاد نمودند که دیوارهای سبز به دلیل نیاز به انرژی کم و مزایای محیط‌زیستی و اجتماعی زیاد، به‌عنوان نمونه‌ای از راه‌حل‌های طبیعی برای استفاده از آب خاکستری هستند.

در دهه‌های اخیر به‌دلایل مختلف، توجه زیادی به جداسازی آب خاکستری از فاضلاب، تصفیه و استفاده مجدد از آن به‌خصوص در بخش کشاورزی شده است و لازم در این خصوص پژوهش‌هایی در راستای ارزیابی استفاده از این منبع ارزشمند انجام گیرد تا بتوان براساس نتایج حاصله استفاده از آن را در مصارف کشاورزی و آبیاری فضای سبز توصیه نمود. لذا هدف از پژوهش حاضر ارزیابی استفاده از آب خاکستری تصفیه‌شده به روش هوازی در راستای برنامه‌ریزی زیست‌بوم شهری و توسعه فضای سبز، مطالعه موردی شهر شیراز بود.

۲- مواد و روش کار

۲-۱- پروژه مورد مطالعه

پروژه مورد مطالعه یک مجتمع مسکونی ۲۲ واحدی واقع در شهر شیراز است که در آن سیستم بازچرخانی آب خاکستری طراحی و اجرا گردیده است. با توجه به اینکه خطوط فاضلاب سنگین و آب خاکستری (فقط حمام) جدا از هم طراحی و اجرا شده است، در نهایت این خطوط در زیر سقف طبقه همکف جمع‌آوری و در یک اتاقکی به ابعاد ۲×۴ m هدایت می‌گردد که در شکل (۱ الف تا ج) جزئیات این سیستم نشان داده شده است. در شکل (۱-الف) سیستم تصفیه آب خاکستری نصب شده در ساختمان و اجزای آن شامل خط

برگشتی نشان می‌دهد که با توجه به کمبود آب، استفاده از این منابع به‌عنوان یک منبع ارزشمند آب مطرح بوده و با گذشت زمان اهمیت آن بیش‌تر نیز خواهد شد. در راستای استفاده صحیح و پایدار از این منابع تدوین استانداردها و ضوابط مناسب و الزام در رعایت قوانین مربوطه ضروری بوده و توجه به این دو اصل می‌تواند متضمن اثرات سودمندی همچون حفاظت کمی و کیفی منابع آب و کاهش آلودگی محیط‌زیست گردد (Zare Ghanat Novi 2018).

در پژوهشی با مطالعه نمونه فاضلاب تولیدی به‌صورت نمونه‌برداری مرکب از یک واحد لباسشویی بدون پیش‌تصفیه با غشاء نانوفیلتر در دماهای ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ °C و فشارهای مختلف ۱۵، ۲۵، و ۳۵ bar تصفیه پارامترهای دما، کدورت، pH، EC، TDS، COD، کلیات کل، سختی کل، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن، منگنز، کلراید، سولفات، نیتریت، نیترات، فسفات، فلوراید، و MPN مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تصفیه فاضلاب به این روش می‌تواند استانداردهای کشور آلمان در خصوص آب مورد استفاده در لباسشویی‌ها را اقماع نماید (Hejranfar et al. 2013). Esmaeli et al. (2015) به معرفی اصول و کلیات روش‌های هوازی و بی‌هوازی پرداخته و مزیت‌های هر روش نسبت به دیگر روش‌ها و همچنین معایب آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. Fakhri et al. (2016) پژوهشی با موضوع کاربرد آب خاکستری در راستای کاهش مصرف آب شرب در منازل مسکونی انجام دادند و طبق نتایج آن برآورد حجم آب خاکستری برای جمعیت ۱۰۰ نفر و مقدار استحصال پساب تصفیه‌شده از سیستم‌های مختلف تصفیه آب خاکستری مورد بررسی قرار گرفت. در پژوهشی که برای طراحی سیستم تصفیه آب خاکستری انجام گرفت، نتایج نشان داد سیستم طراحی‌شده قادر به تصفیه ۸۸٪ از مواد جامد معلق و ۶۶٪ COD می‌باشد (Teh et al. 2015). مطالعه دیگری که اثر نرخ بار آلی و هوادهی بر روی کارایی یک سیستم رشد چسبنده‌ی معلق، در تصفیه فاضلاب شهری مصنوعی را مورد مطالعه قرار داد، نشان داده راندمان حذف COD تا ۷۰٪ امکان‌پذیر است (Khoshfetrat et al. 2011). Rezaeei and Sarrafzadeh (2019) در بررسی ویژگی‌های آب خاکستری و روش‌های بازیابی آن نشان دادند کیفیت آب خاکستری تولیدی بسیار متغیر و کاملاً وابسته به منبع تولید می‌باشد و ترکیب فرایندهای زیستی هوازی و

از آنجا برای استفاده برای آبیاری بام سبز و همچنین شستشوی حیاط و ماشین پمپاژ می‌شود. از ۲۵۰۰ تا ۴۰۰۰ لیتر پساب تصفیه‌شده به مصرف آبیاری بام سبز و مابقی برای سایر مصارف استفاده می‌شود. مصرف برق این پکیج معادل یک لامپ کم مصرف ۱۵ W بود و هیچ‌گونه بو و آلودگی در محیط منتشر نمی‌شد. زمان مورد نیاز جهت نصب پکیج نیز در حدود یک هفته برآورد می‌شود. پیش‌نیازهای آن شامل جداسازی خطوط اولیه و هدایت به محل تصفیه می‌باشد. پالایه‌های این پکیج هر ۱۰ سال یکبار می‌بایست تعویض گردد که هزینه آن معادل ۳٪ قیمت پکیج می‌باشد. محل مخزن خروجی سیستم تصفیه آب خاکستری نیز در شکل (۱-ج) نشان داده شده است.

زیربنای بام سبز در حدود 400 m^2 می‌باشد و با توجه به این که هر m^2 فضای سبز در حدود 1 l/day به آب نیاز دارد در نتیجه حجم آب مورد نیاز بام سبز 2400 l/day.m^2 خواهد بود. پکیج نصب‌شده ظرفیت تصفیه 4000 l/day را دارا می‌باشد و با توجه به تولید فاضلاب خاکستری هر واحد که 320 l/day می‌باشد، با توجه به در نظر گرفتن ۲۲ واحد مسکونی واقع در مجتمع 7000 l/day فاضلاب خاکستری در شبانه‌روز تولید می‌شود. از این میزان 4000 l تصفیه و بقیه وارد شبکه فاضلاب شهری می‌گردد. با توجه به موضوع این پژوهش و منطقه مورد مطالعه، تعداد ده نمونه از ورودی و خروجی این دستگاه در یک دوره چهارماهه برداشت شد.

۲-۳- معرفی پکیج تصفیه آب خاکستری

این پکیج که بر پایه عملکرد غشاها و هوادهای مجزا طراحی و تولید می‌گردد، با افزایش تعداد غشاها، به صورت مدولار، افزایش ظرفیت داده و از حجم 300 الی 1800 l/d را پوشش می‌دهد. بر مبنای کیفیت فاضلاب ورودی به پکیج و به صورت کاملاً محاسبه‌شده، تعداد المان‌های مورد نیاز و حجم پساب خروجی متغیر خواهد بود، به‌گونه‌ای که با افزایش BOD فاضلاب ورودی، حجم پساب خروجی از هر غشا تغییر محسوس خواهد داشت.

۲-۳-۱- شاسی اصلی و پالایه اولیه

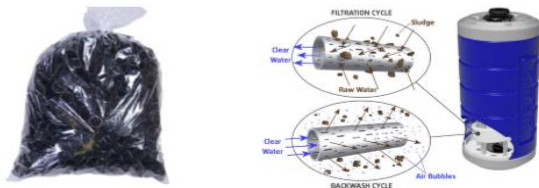
شاسی اصلی، نگه‌دارنده قطعات سیستم در مخزن تصفیه می‌باشد. به‌گونه‌ای که علاوه بر تمامی غشاها، پمپ‌های انتقال پساب و شستشو غشا، مخزن ذخیره آب برای شستشوی معکوس نیز روی این شاسی سوار می‌شود. همچنین شلنگ هوای تولیدی توسط کمپرسور نیز به این

ورودی به دستگاه، مخزن سیستم تصفیه و پمپ هوادهای نشان داده شده است. شکل (۱-ب) که بخش مخزن ورودی سیستم تصفیه می‌باشد نشان می‌دهد آب خاکستری وارد یک پکیج می‌شود که مخزن آن تقریباً معادل 4000 l گنجایش دارد و درون این مخزن که از جنس فلزی با روکش اپوکسی است، یک دستگاه فیلتراسیون غشایی وجود دارد که این غشا توانایی حذف ویروس و باکتری را تا حد بالای $99/98\%$ دارد و پس از آن پساب تصفیه‌شده وارد یک مخزن از جنس پلی پروپیلن در زیرزمین می‌شود.



شکل ۱- اجزای آن سیستم بازچرخانی آب خاکستری: الف) خط ورودی، ب) مخزن ورودی، و ج) مخزن خروجی (Zare Ghanat Novi 2018).

Fig. 1 Components of greywater treatment system: a) inlet line, b) inlet tank, and c) outlet tank (Zare Ghanat Novi 2018)



شکل ۳- غشا و مدیا (Zare Ghanat Novi 2018).

Fig. 3 Membranes and media (Zare Ghanat Novi 2018)

۳-۳-۲- کنترل سیستم و کمپرسور هوادهی

تمامی عملکردهای سیستم تصفیه فاضلاب توسط برد کنترلی انجام می‌شود که به واسطه برنامه‌ریزی براساس زمان-بندی انجام می‌شود. وجود این سامانه کنترلی باعث می‌گردد عملکردهای سیستم بدون نیاز به اپراتور انجام گیرد. مصرف برق بسیار ناچیز این سیستم از نکات حائز اهمیت این مجموعه می‌باشد. برای هوادهی، مخزن پمپ هوا، هوای موردنیاز را فراهم می‌نماید. مصرف برق بسیار پائین، انرژی (۱۳۰W)، وزن کم، بی‌صدا بودن از جمله نکات موردتوجه این سیستم می‌باشد.

۲-۴- روش کار

مقادیر ده نمونه ورودی و ده نمونه خروجی از پارامترهای pH، کدورت، COD، BOD₅، نیترات، کلی فرم کل و کلی فرم گرماپای به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی براساس استانداردهای آزمایشگاهی نمونه‌برداری شد. براساس میزان تصفیه‌ای که انجام گرفته و استانداردهای موجود برای استفاده در مصارف موردنظر، امکان استفاده از آن در آبیاری و توسعه فضای سبز شهری موردبررسی قرار گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

مقادیر ۱۰ نمونه ورودی و ۱۰ نمونه خروجی براساس استانداردهای آزمایشگاهی نمونه‌برداری شده است که به ترتیب در جدول (۱) نشان داده شده است. در نمونه‌های ورودی کم‌ترین مقدار pH، ۱۰ و بیش‌ترین مقدار ۱۳ می‌باشد. کم‌ترین مقدار کدورت ۲۸۰۵ و بیش‌ترین مقدار برابر با ۳۱۵۳ و میانگین کدورت نمونه‌ها برابر با ۲۹۸۹/۶ NTU است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار COD نمونه‌های ورودی ۱۴۳۹ و ۱۶۷۶ mg/l بود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار BOD₅ به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم زیستی برابر با ۷۲۴ و ۸۲۶ mg/l و میانگین BOD₅ نمونه‌ها برابر با ۷۸۶ mg/l بود. میانگین مقدار نیترات در نمونه‌های ورودی برابر با

شاسی متصل می‌گردد. شاسی این پکیج قادر است تا شش غشا را روی خود جای دهد. لوله ورودی فاضلاب به پالایه اولیه که به این قطعه متصل است وصل می‌گردد. در داخل این قطعه آشغال‌گیر کوچکی تعبیه شده که مانع از ورود مو یا آشغال به داخل مخزن تصفیه می‌گردد. در صورتی که مخزن گنجایش کافی در دریافت فاضلاب را نداشته باشد، فاضلاب اضافی از انتهای این قطعه به‌صورت ثقلی خارج و به چاه جذب یا سایر منابع پذیرنده وارد می‌شود. در شکل (۲) سمت راست پالایه اولیه و سمت چپ شاسی اصلی را نشان داده شده است.



شکل ۲- پالایه اولیه و شاسی اصلی دستگاه (Zare Ghanat Novi 2018).

Fig. 2 Primary filter and main chassis of the device

۲-۳-۲- غشاها و مدیا

غشاها حاوی الیافی هستند که به‌طور فشرده به‌منظور محافظت در برابر ضربات مکانیکی و یا آسیب‌های احتمالی در یک کارتریج پلاستیکی قرار گرفته است. این الیاف‌ها قادرند ۹۹/۹۹٪ از باکتری‌ها و ۹۹/۷٪ از ویروس‌ها و حتی ذرات با اندازه $0.2 \mu\text{m}$ را از آب ورودی حذف کنند. هیچ‌گونه عملیات ضدعفونی توسط غشا صورت نمی‌گیرد، بلکه جداسازی فیزیکی مواد زائد موجود در پساب انجام می‌شود. مدیاها که قطعات پلاستیکی کوچکی هستند جهت فرآیند رشد چسبیده استفاده می‌شود. در این فرآیند از یک محیط واسط جامد که همان مدیا باشد استفاده می‌شود. به‌صورتی که میکروارگانیسم‌ها بر روی این محیط چسبیده و رشد می‌کنند و با عبور جریان حاوی مواد آلاینده از این بستر جذب و تجزیه می‌شوند. یعنی با عبور فاضلاب از کنار محیط‌های واسط یا همان مدیاها لایه‌های بیولوژیکی تشکیل شده و مواد آلی میکروارگانیسم‌ها جذب و ثبت می‌گردد. به ازای هر غشا یک پک ۳۰ عددی از این بسترها استفاده می‌شود. در شکل (۳) در سمت راست غشا و در سمت چپ مدیا نشان داده شده است.

۱۵۳۹۵ mg/l و میانگین مقدار کلی فرم کل و کلی فرم گرماپای به ترتیب برابر با ۱۷۳۴ و ۷۹۹ MPN/100 ml بود.

جدول ۱- مشخصات نتایج ۱۰ نمونه ورودی و خروجی

Table 1 Specifications of 10 input and output samples results

Qualitative index	Unit	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	
		Input Samples										
pH	-	11	11	12	13	10	11	12	10	12	12	
Turbidity	NTU	3106	2844	2967	3086	2840	3065	2805	3045	3153	2985	
COD	mg/l	1543	1574	1613	1625	1548	1658	1664	1676	1439	1443	
BOD ₅	mg/l	730	814	826	802	724	760	826	832	787	760	
NO ₃	mg/l	14615	15428	15040	15043	14522	15333	16095	16457	15840	15578	
Total Coliform	MPN/100 ml	1775	1697	1823	1843	1620	1893	1602	1696	1785	1605	
Fecal Coliform	MPN/100ml	828	834	813	773	783	748	741	823	870	779	
Output Samples												
pH	-		7.71	7.13	9	9	8	5	5	6	7	5
Turbidity	NTU		14	30	21	24	42	12	30	12	47	33
COD	mg/l		58	7	133	115	97	126	182	123	112	163
BOD ₅	mg/l		31	4	18	71	24	30	18	65	14	22
NO ₃	mg/l		7.98	1.57	2	3	6	7	6	8	8	7
Total Coliform	MPN/100 ml		93	120	197	129	180	251	232	104	263	280
Fecal Coliform	MPN/100 ml		670	735	723	627	642	792	604	538	640	731

۹۳/۹۲٪، میزان نیترات ۹۹/۹۶٪ و همچنین آلاینده کدورت در این روش ۹۹/۱۱٪ تصفیه شده است.

جدول ۲- درصد تصفیه آلاینده‌ها

Table 2 Percentage of pollutants treatment

Parameter	Unit	Efficiency (%)
pH	-	39.37
Turbidity	NTU	99.11
COD	mg/l	93.92
BOD ₅	mg/l	96.23
NO ₃	mg/l	99.96
Total Coliform	MPN/100 ml	88.95
Fecal Coliform	MPN/100 ml	16.14

براساس استاندارد خروجی فاضلاب ماده ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی آلاینده‌های خروجی این پروژه با استاندارد مذکور مقایسه شد. این استاندارد به استناد ماده ۵ آیین‌نامه

در نمونه‌های خروجی که پس از عملیات تصفیه مورد آزمایش قرار گرفت، کمترین مقدار pH، ۵ و بیشترین مقدار ۹ اندازه‌گیری گردید. کمترین مقدار کدورت ۱۲ NTU و بیشترین مقدار برابر با ۴۷ NTU و میانگین کدورت نمونه‌ها برابر با ۲۶/۵ اندازه‌گیری شد. کمترین و بیشترین مقدار COD نمونه‌های خروجی ۷ mg/l و ۱۸۲ است. کمترین و بیشترین مقدار BOD₅ نیز برابر با ۴ mg/l و ۷۱ و میانگین BOD₅ نمونه‌ها برابر ۲۹/۷ mg/l است. میانگین مقدار نیترات در نمونه‌های خروجی برابر با ۵/۸۸ mg/l و میانگین مقدار کلی فرم کل و کلی فرم گرماپای به ترتیب برابر با ۱۸۵ و ۶۷۰ MPN/100 ml اندازه‌گیری شد.

در جدول (۲) میزان درصد تصفیه هر آلاینده مشخص شده است. به این صورت که آلاینده BOD₅ به میزان ۹۶/۲۳٪ تصفیه شده است، از طرفی دیگر آلاینده COD به میزان

و درصد تصفیه بالای آلاینده‌ها همخوانی دارد (Boustani Teh et al. 2015; 2016). در پژوهش (Teh et al. 2015) که برای طراحی سیستم تصفیه آب خاکستری انجام گرفت، نتایج نشان داد سیستم طراحی شده قادر به تصفیه ۸۸٪ از مواد جامد معلق و ۶۶٪ COD می‌باشد. در مطالعه (Khoshfetrat et al. 2011) که اثر نرخ بار آلی و هوادهی بر روی کارایی یک سیستم رشد چسبنده‌ی معلق، در تصفیه فاضلاب شهری را مورد مطالعه قرار داد، نتایج نشان داد راندمان حذف COD تا ۷۰٪ امکان پذیر است. در پژوهش (Safari et al. 2020) نیز نشان داده شد خروجی آب تصفیه شده بر طبق استانداردهای موجود مناسب بوده و قابل استفاده برای آبیاری فضای سبز است. لذا تصفیه اصولی آب خاکستری می‌تواند بیش از ۹۰٪ آلاینده‌های موجود در پساب را کاهش دهد و میزان آلاینده‌ی را در حد استاندارد استفاده در کشاورزی و آبیاری قرار دهد استفاده از این منبع آب ارزشمند می‌تواند در توسعه سرانه فضای سبز شهری و ارتقای زیست‌بوم شهری مفید باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش امکان استفاده از سیستم تصفیه آب خاکستری با روش هوازی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد:

۱- میانگین مقادیر خروجی pH، کدورت، COD، BOD₅، نیترات، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم گرماپای به ترتیب برابر با ۶/۸۸، ۲۶/۵۰ NTU، ۱۱۱/۶۰ mg/l، ۲۹/۷۰ mg/l، ۵/۶۵ MPN/100 ml و ۱۸۵ MPN/100 ml بود. تمامی این مقادیر در محدوده مجاز استاندارد مصارف کشاورزی و آبیاری قرار دارد.

۲- سیستم طراحی شده پیشنهادی قادر است آلاینده کدورت را ۹۹/۱۱٪، COD را به میزان ۹۳/۹۲٪، BOD₅ را به میزان ۹۶/۲۳٪ و نیترات را به میزان ۹۹/۹۶٪ تصفیه نماید.

پیشنهاد می‌شود سازمان نظام‌مهندسی ساختمان با تدوین دستورالعمل استفاده از آب‌های خاکستری در ساختمان‌ها و رعایت استانداردها و معیارهای لازم همانند مباحث مقررات ملی ساختمان شرایط استفاده از آن را فراهم نماید. همچنین می‌تواند با برگزاری دوره‌های آموزشی نحوه استفاده از آب خاکستری را گسترش دهد. یکی از بحث‌های عمده استفاده از آب‌های خاکستری جمع‌آوری آن است که شرکت‌های آب

جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده ۳ همین آیین‌نامه و با همکاری وزارتخانه بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع، معدن و فلزات، کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست تهیه و تدوین گردیده است. این استاندارد در سه محور الف - تخلیه به آب‌های سطحی، ب- تخلیه به چاه جاذب و ج- مصارف کشاورزی و آبیاری تدوین شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین نمونه‌های خروجی با استاندارد خروجی ماده ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب

Table 3 Comparison of the average output samples with the output standard of the water pollution prevention regulations

Number	Qualitative index	Average output samples	Standard for agricultural and irrigation uses
1	Ph	6.88	6-8.5
2	Turbidity	26.5	<50
3	COD	111.6	<200
4	BOD ₅	29.7	<100
5	NO ₃	5.65	-
6	Total Coliform	184.9	<400
7	Fecal Coliform	670.2	<1000

با توجه به هدف این پژوهش میانگین نمونه‌های پژوهش با استاندارد بخشنامه مذکور در قسمت مصارف کشاورزی و آبیاری در جدول (۳) با آلاینده‌های موجود مقایسه شد. آلاینده‌های pH، کدورت، COD، BOD₅، نیترات، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم گرماپای در محدوده استاندارد مصارف کشاورزی و آبیاری بخشنامه مذکور قرار داشته، لذا استفاده از خروجی سیستم برای مصارف فضای سبز بلامانع می‌باشد. میانگین مقادیر خروجی pH، کدورت، COD، BOD₅، نیترات، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم گرماپای به ترتیب برابر با ۶/۸۸، ۲۶/۵۰ NTU، ۱۱۱/۶۰ mg/l، ۲۹/۷۰ mg/l، ۵/۶۵ MPN/100 ml و ۱۸۴/۹ MPN/100 ml می‌باشد. تمامی مقادیر در محدوده مجاز استاندارد مصارف کشاورزی و آبیاری قرار دارد و این فناوری و روش قادر است آلاینده کدورت را ۹۹/۱۱٪، COD را به میزان ۹۳/۹۲٪، BOD₅ را به میزان ۹۶/۲۳٪ و نیترات را به میزان ۹۹/۹۶٪ تصفیه نماید (جدول ۳).

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش سایر محققین در زمینه استفاده از سیستم تصفیه آب خاکستری و کاهش آلاینده‌ی

سیاسگزاری

نویسندگان از حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز تقدیر و تشکر می‌نمایند.

دسترسی به داده‌ها

بیش‌تر داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است. در صورت نیاز، از طریق ایمیل نویسنده مسئول ارسال خواهد شد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

و فاضلاب می‌توانند با ساخت مخازنی در شهرها این آب‌ها را ذخیره و در همان مکان نیز می‌تواند تصفیه انجام شود و در اختیار شهرداری و یا دیگر مصرف‌کنندگان آب خاکستری قرار گیرد. همچنین شرکت آب و فاضلاب باید با استفاده از برنامه‌های آموزشی شهروندان را با آب خاکستری آشنا و نحوه استفاده از آن را به شهروندان آموزش دهد. شهرداری می‌تواند با استفاده از آب خاکستری در توسعه شهری و ایجاد فضای سبز و آبیاری آن با آب‌های خاکستری، سرانه فضای سبز شهر را گسترش داده و همچنین در خصوص ساختمان‌هایی که می‌خواهند از بام سبز و فضای سبز استفاده کنند، شهرداری می‌تواند مجوز آن‌ها را منوط به استفاده از سیستم تصفیه آب خاکستری نماید.

References

- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, I., Fiore, S., Demichelis, F., Galvao, A., PISOEIRO, J., Rizzo, A. and Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Sci. Total Environ.*, 1(711), 134731.
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Fiore, S., Demichelis, F., Galvao, A., PISOEIRO, J., Rizzo, A. and Masi, F. (2021). Assessment of the Treatment Performance of an Open-Air Green Wall Fed with Graywater under Winter Conditions. *ACS EST Water*. 1(711), 134731. 1(3), 595-602.
- Boustani, F. (2016). Save drinking water by using greywater. *The First Conference on Shiraz Ecosystem Resilience Focusing on Water Resources Management* [In Persian].
- Esmaeli, H., Raouf, F., Esavandi, Z. and Esmaeli, T. (2015). Types of wastewater and study of biological wastewater treatment methods. *Int. Conf. Environment and Natural Resources* [In Persian].
- Fakhri, S. A., Nasri, M. and Nasri, A. (2016). Application of greywater in reducing drinking water consumption in residential houses. *Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress, University of Tehran* [In Persian].
- Hejranfar, A., Mohammadi Hariri, S. and Alijani, M. H. (2013). Investigation of the feasibility of greywater treatment by nanofiltration, disinfection and recycling methods. *National Conference on Water Recycling, A principled strategy for water crisis management. University of Tehran* [In Persian].
- Khoshfetrat, A. B., Nikakhtari, H., Sadeghifar, M. and Shakerkhatibi, M. (2011). Influence of organic loading and aeration rates on performance of a lab-scale upflow aerated submerged fixed-film bioreactor. *Process Safet. Environ. Protect.*, 89(3), 193-197.
- Rezaeei, M. and Sarafzadeh, M. H. (2019). A review of greywater characteristics and treatment methods. *J. Environ. Sci. Technol.*, 21(12), 89-108 [In Persian].
- Safari, S., Zarghami, M., Yegani, R. and Mosaferi, M. (2020). Designing a suitable gray water treatment system for irrigating green space (Case study of Tabriz University). *9th National Conference on Rainwater Catchment Systems. Tabriz University* [In Persian].
- Teh, X., Poh, P., Gouwanda, D. and Chong, M. (2015). Decentralized light greywater treatment using aerobic digestion and hydrogen peroxide disinfection for non-potable reuse. *J. Clean. Product.*, 9, 305-311.
- Zamani, S., Taebi, A. and Tababaeian, M. (2006). Characterization of quantity and quality of greywater and construction of its treatment system for reuse in green buildings. *2nd Water Resources Management*

- Conference, Isfahan University of Technology [In Persian].
- Zare Ghanat Novi, A. R. (2018). Analysis and evaluation of greywater treatment systems with aerobic and anaerobic methods in Shiraz. Master Dissertation, Shiraz Branch, Islamic Azad Univeraity, Shiraz, Iran [In Persian].

How to cite this paper:

Zare Ghanat Novi, A. R., Boustani, F. and Shamsnia, S. A. (2022). Evaluation of greywater treatment system by aerobic method in planning urban ecology and green space development. *Environ. Water Eng.*, 8(2), 468-480. DOI: 10.22034/JEWE.2021.291804.1592
