مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و ششم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۳ (۴۵-۲۷)

سیستم های مناسب بازیافت آب جهت استفاده در معماری مسکونی ایران[۱]

سحرالسادات لوح موسوی [۲]

هوتن ایروانی [۳*]

hu_iravani@yahoo.com

محمد کوشافر [۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱**

چکیده

زمینه و هدف : در این پژوهش به تفسیر و بررسی آب های خاکستری و تهیه اطلاعات از طریق کتابخانه ای پرداخته ایم. با توجه به شرایط بحرانی منابع آبی با مطالعه و بررسی انواع سیستم های تصفیه آب خاکستری با چهار متغیر: عوامل (اقتصادی،محیط زیست،کاربری مسکونی و میزان فضای مورد استفاده) با روش آنتروپی و تاپسیس مورد سنجش قرار می گیرد.

روش بررسی : روش تحقیق در این پژوهش از نوع پیمایشی بوده، داده ها از طریق کتابخانه ای ومیدانی جمع آوری شده باتحلیل آماری این نتیجه حاصل شد که بر اساس اولویت تصفیه اولیه فیزیکی با عدد ۰/۸۸۱رتبه اول،تصفیه بیولوژیک باعدد ۰/۴۸۳رتبه دوم و تصفیه ساده با عدد ۰/۳۰۵رتبه سوم راکسب کرده‌اند.

یافته ها : برای تصفیه پساب خاکستری سه روش فیزیکی،شیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته که از این میان حدود ۶۲ درصدآن مربوط به پساب خاکستری خانگی می باشد. در این پژوهش تصفیه پساب خاکستری مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با مطالعه مقایسه ای و تطبیق پذیری با معماری مسکونی در ایران بهترین گزینه کاربردی تعیین می گردد.

بحث و نتیجه گیری : در این پژوهش با توجه به تحقیقات صورت گرفته و جمع آوری مطالب در خصوص تصفیه آب و بررسی انواع سیستم های تصفیه آب خاکستری با روش تحلیل آماری آنتروپی و تاپسیس نتایج حاصل گردید.

واژه های کلیدی: سیستم های بازیافت آب، صرفه جویی در مصرف، معماری مسکونی، ایران.

۱- این مقاله بر گرفته شده از رساله دکتری با عنوان بررسی و ارائه الگوهای ایستا(بازیافت آب های خاکستری)وکاربردی آب در معماری پایدار مسکونی ایران در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان در حال انجام می باشد.

۲ - دانشجوی دکتری رشته معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.

۳ - استادیار گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۴- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات مطالعات آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان(خوراسگان)، اصفهان، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 1, April, 2024

Appropriate water recycling systems for use in residential architecture in Iran[1]

Saharossadat Loh moosavi [2]
Hutan Iravani [3 *]
hu_iravani@yahoo.com
Mohammad Kooshafar [4]

Admission Date: October 23, 2022 Date Received:April 14, 2022

Abstract

Background and Objective: In this research, we have interpreted and investigated gray water and provided information through a library. Considering the critical conditions of water resources, it is measured by studying and investigating all types of gray water treatment systems with four variables: factors (economic, environmental, residential use and the amount of space used) with entropy and TOPSIS methods.

Material and Methodology: The research method in this research is a survey type, the data was collected through a library and field with statistical analysis, the result was obtained that based on the priority of primary physical treatment with a number of 0.881, biological treatment with a number of 0.483, and simple treatment. With a score of 0.305, they have won the third rank.

Findings: Three physical, chemical and biological methods have been investigated for the treatment of gray wastewater, of which 62 percent are related to domestic gray wastewater. In this research, gray wastewater treatment is investigated and finally, the best practical option is determined by comparative study and compatibility with residential architecture in Iran.

Discussion and Conclusion: In this research, according to the research and collection of materials related to water treatment and examination of gray water treatment systems, the results were obtained using entropy and TOPSIS statistical analysis methods.

Keywords: Water recycling systems, consumption savings, residential architecture, Iran.

1- This article is taken from a doctoral dissertation entitled "Study and presentation of static patterns (gray water recycling) and water application in sustainable residential architecture of Iran in the Islamic Azad University of Ardestan".

2- PhD student in Architecture, Ardestan Branch, Islamic Azad University, Ardestan, Iran

3- Assistant Professor, Faculty of Architecture, Islamic Azad University, Ardestan Branch, Ardestan, Iran. *(*Corresponding Author*)

3- Faculty member of Water Studies Research Center of Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran

مقدمه

شاید بتوان گفت آب پس از هوا حیاتی‌ترین ماده برای ادامه‌ی زندگی بشر است. مشکل کمبود آب در ایران در سال های اخیر به خوبی قابل مشاهده است. سرانه متوسط آب تجدید پذیر ایران در سال ۲۰۰۶ کمتر از ۱۷۰۰متر مکعب گزارش شده بود و انتظار می رود این مقدار تا سال ۲۰۲۰ به ۱۱۰۰ متر مکعب کاهش یابد(۱).امروزه به دلیل کمبود آب،منابع جایگزین آب تازه اهمیت خاصی پیدا می کنند.استفاده ی مجدد از آب در مباحث مدیریت پایدار منابع آب،اقتصاد سبز و برنامه ریزی شهری جایگاه ویژه ای یافته است.وقتی سرانه مقدار آب در دسترس به این سطوح برسد،کشور یا منطقه مربوطه دچار تنش،یا فقر آب می شود(۲).بر این اساس در حال حاضر ایران دچار تنش آبی است و در آینده نزدیک در سطح کم آبی قرار خواهد گرفت. استفاده دوباره از آب بازیافتی بخشی از راه حل های اساسی برای بسیاری از مشکلات زیست محیطی است و احتمالا راه حلی اساسی و بدون تغییر در آینده ای نزدیک باقی می ماند. بازیافت آب اصلا ارتباطی با خشکسالی و بحران آب ندارد، بلکه دلیل اصلی بازیافت آب،جلوگیری از بین رفتن منابع آبی است (۳).بازیافت آب برخی صنایع به ویژه در مناطق خشک و کم آب، پیشگام استفاده از روش های کار آمد و کم هزینه برای بازیافت، تصفیه و استفاده دوباره از آب بوده اند. بد نیست بدانید در ژاپن که کشوری پر آب به حساب می آید،آب را در حدود ۱۰ مرتبه بازیافت می کنند(۴).

بیان مسئله

در حال حاضر، به دلیل کمبود آب و نبود دسترسی به منابع آب سطحی کافی در شهرهای بزرگ، جوامع انسانی برای تامین آب مورد نیاز به برداشت آب های زیرزمینی اتکا می کنند. به همین دلیل در ۵۰ سال گذشته ، ایران حدود ۷۰ درصد منابع آب زیر زمینی را که ذخیره آن میلیون ها سال طول کشیده است، در این مدت کوتاه به صورت بی رویه استفاده کرده است. اگر این اقدام بی رویه مصرف آب کنترل نشود ، عدم تناسب بین تغذیه منابع آب زیر زمینی و برداشت از آن در آینده بیشتر نیز خواهد شد. رعایت نکردن این تناسب، عامل اصلی نشست زمین، پیشروی آب های شور به آب های زیر زمینی و افت هر چه بیشتر سطح ایستابی در سراسر ایران شده است. آب بازیافت شده با تصفیه پیشرفته را می توان به منبع آب زیرزمینی که رو به اتمام است هدایت کرد و نهایتا برای استفاده مجدد از آن برای مصارف خانگی و غیر خانگی استفاده نمود. در گذشته، آب بازیافت شده فقط برای مصارف غیر خانگی در نواحی شهری مورد استفاده قرار می گرفت. ولی به کمک فناوری های پیشرفته و به کارگیری تاسیسات غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب، اکنون این امکان فراهم آمده است که از آب بازیافتی برای مصارف خانگی هم استفاده شود(۵). امروزه با پیشرفت زندگی صنعتی مصرف آب رو به فزونی است. هم چنین فعالیت های صنعتی منجر به ایجاد پساب می شوند که مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود می آورد. مشکلات جدی ناشی از پساب ها شامل آلودگی آب و خاک، کاهش منابع آب، آلودگی منابع و ... می‌باشد(۶). به منظور تصفیه پساب، شناسایی نوع پساب و آلاینده ی موجود در آن ضروری می باشد(۶). پساب های خانگی به دو دسته تقسیم میشوند: دسته اول‌جریان پساب ناشی از آشپزخانه، لباسشویی، حمام و دستشویی می‌باشد که در مجموع آنها را را پساب خاکستری می نامند دسته دوم جریان پساب ناشی از از توالت ها است که پساب سیاه نامیده می‌شود. میزان مواد آلی موجود در پساب خاکستری بسیار کمتر از پساب سیاه می باشد. میزان COD در پساب سیاه ۱،۵ برابر بیشتر از پساب خاکستری می باشد(۷).

در این تحقیق با هدف شناسایی سیستم های مناسب تصفیه آب خانگی برای کاربری های مسکونی و شناسایی و انتخاب بهترین سیستم برای ساختمان های مسکونی در ایران و فرضیات اینکه برای ساختمان های مسکونی معماری از معدود روش هایی می توان استفاده کرد، که به دنبال جوابگویی به این سوالات هستیم.

۱) چه سیستم های تصفیه آب برای معماری مسکونی در ایران قابل استفاده است؟

۲) کدام یک از سیستم ها برای معماری مسکونی در ایران مناسب تر است؟

مفهوم آب خاکستری

آب خاکستری یا پساب خاکستری به فاضلاب ایجاد شده توسط افراد در خانه ها یا ساختمان های اداری اطلاق می شود که دربرگیرنده ی تمام جریان ها به استثنای فاضلاب خروجی از سرویس های بهداشتی(پساب سیاه) است. منابع تولید کننده آن عبارتند از سینک ها، دوش ها، حمام ها، ماشین های لباسشویی و ماشین های ظرفشویی. از آنجا که این آب ها نسبت به فاضلاب خانگی دارای پاتوژن های کمتری است، تصفیه و استفاده مجدد از آن در محل برای مصارفی مانند فلاش تانک های توالت، آبیاری، استفاده در آب نماها و هر نوع مصرف دیگری ساده تر و مطمئن خواهد بود.

شکل ۱- میزان درصد تولید آب خاکستری(Avisatasfieh 2020) ۸

Figure 1. Percentage of gray water production (Avisatasfieh 2020)

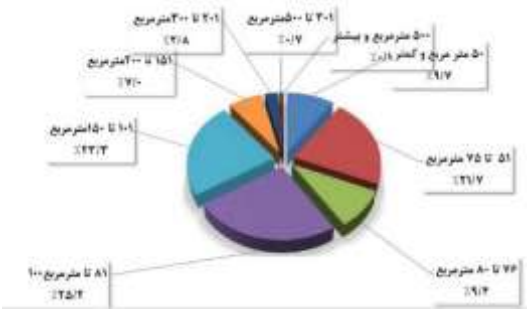
برای تصفیه‌ی پساب خاکستری تاکنون سه روش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته اند. با توجه به خواص پساب خاکستری، استفاده از از یک روش به تنهایی برای تطبیق با استانداردهای محیط زیستی موجود کافی نیست. جهت دست‌یابی به بالاترین راندمان، عموما در ابتدا از یک مرحله تصفیه ی فیزیکی به عنوان پیش تصفیه استفاده می‌شود. در مرحله پیش تصفیه بیشتر رسوبات موجود، جامدات معلق و سایر موادی که به راحتی از محیط جدا می‌شوند به کمک فیلتر یا غشاء از پساب جدا می‌شوند.پس از انجام مرحله ی پیش تصفیه،با استفاده از مراحل مکمل،فرآیند تصفیه تکمیل می شود.

شکل ۲ -تولید آب خاکستری(Pooyeshnabz 2020) (۹)

Figure 2. Gray water production (Pooyeshnabz 2020)

گونه شناسی و مساحت زیر بنای واحد های معماری مسکونی در ایران

در زبان فارسی واژه گونه یا تیپ را می توان به گروه خاصی با یک ویژگی یا علامت مشخص نسبت داد.شناخت و کاربرد فراوان گونه شناسی در شاخه های مختلف علوم از دیر باز تاکنون ، بیانگر اهمیت به سزای آن است.از اواسط قرن هجدهم در معماری و باستان شناسی از گونه شناسی به عنوان ابزاری برای شناخت و دسته بندی بهره گرفته شد(۱۰). مطابق آمار سال 1395 فراوانی واحدهای مسکونی در محدوده بین ۵۰ تا ۱۵۰ مترمربع بیشینه بوده و در این پژوهش این گونه معماری مورد نظر قرار گرفته است.



شکل ۳- واحدهای مسکونی ایران برحسب مساحت زیربنا در سال 1395 منبع مرکز آمار ایران[11]

Figure 3. Iran residential units in terms of infrastructure area in 2016 Source of Statistics Center of Iran

۲-سابقه تحقیق

در مقاله ای با عنوان«تجزیه و تحلیل اقتصادی بهره وری از آب غیر شرب در ساختمان های بومی»،تجزیه و تحلیل بهره وری اقتصادی EEA با ادغام ارزیابی چرخه عمر LCA و تجزیه و تحلیل اقتصادی برای ارزیابی سیستم های مختلف آب را ارائه داده اند.چهار برنامه مدیریت آب که شامل: ۱)سیستم آبرسانی شرب،۲)سیستم آبرسانی آب دریا،۳)سیستم آبرسانی آب های خاکستری با استفاده از بیوراکتور غشایی هوازی MBR و ۴)سیستم آبرسانی آب های خاکستری تطابق یافته با AFMBR، است،در نمونه موردی در هنگ کنگ بررسی شده است.نتایج به دست آمده از EEA نشان می دهد که برنامه استفاده مجدد از آب،بهترین برنامه از نظر بهره وری اقتصادی برای بازیافت انرژی،بازیافت منابع آبی و کاهش بار تصفیه فاضلاب است.این مطالعه نشان داده است که چارچوب EEA برای راهنمایی مدیریت آب به سمت پایداری ابزار بسیار موثری است و پایه ای برای تحقیقات آینده در مورد کاربرد سیستم بازیافت آب های خاکستری در مقیاس بزرگ است.نتایج EEA نشان می دهد که استفاده مجدد از آب خاکستری بی هوازی بیشترین کارایی اقتصادی را دارد(۱۲). در مقاله ای با عنوان«امکان سنجی اقتصادی استفاده مجدد از آب های خاکستری در محل واقع در ساختمان های چند طبقه» توجیه اقتصادی استفاده مجدد از آب های خاکستری در بخش شهری را بررسی می کند.بدین منظور سیستم های مبتنی برRBC وMBR به عنوان سیستم های مدل تحلیل اقتصادی انتخاب شدند.با توجه به قیمت آب که ۱/۱۶ دلار آمریکا بر متر مکعب است و هزینه فاضلاب ۰/۳ دلار آمریکا بر متر مکعب است،سیستم استفاده مجدد از سیستم مبتنی بر RBC زمانی که تعداد ساختمان ها به هفت طبقه(بیست و هشت آپارتمان)رسید،از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر است،در حال که سیستم مبتنی بر MBR در محل ثابت کرده است که از لحاظ اقتصادی غیر واقعی است و تنها زمانی توجیه اقتصادی دارد که تعداد ساختمان سی و هفت طبقه باشد.با این وجود،گروه سیستم مبتنی بر MBR که شامل چندین ساختمان با هم می شود،زمانی که تعداد گروه ساختمان ها شامل چهار ساختمان باشد(هر طبقه بالا)امکان پذیر است(۱۳). در مقاله ای با عنوان«برنامه ریزی دراز مدت استفاده دوباره از آب» شرایط فعلی و آینده را بررسی می کنند و تسهیلات و امکانات استفاده مجدد از آب را مورد بررسی قرار می دهند.با توجه به این مقاله افزایش جمعیت در کشور و به فرض نائل شدن به آن و بر اساس جمعیت صد و پنجاه و پنج میلیون نفر در ده سال آینده،می توان تحلیل کرد برای توسعه همه جانبه بر اساس اطلاعات و داده های در دسترس سالیانه به سرانه آب حدود دو هزار متر مکعب نیاز است که برای جمعیت مورد اشاره حدود دویست میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود.اما در حال حاضر میزان آب تجدیدپذیر در کشور حدود صد و بیست میلیارد متر مکعب است که نشانگر کمبود آبی حدود هشتاد میلیارد متر مکعب برای توسعه کشور است.با فرض جمع آوری و تصفیه فاضلاب های اجتماعات شهری،سالیانه حدود شش میلیارد متر مکعب آب نامتعارف و جود خواهد داشت که حدود ۷-۸ درصد کمبود پیش گفته است.اما میزان آب نامتعارف تأمین کننده

حدود ۷۰٪ از نیاز اجتماعات شهری خواهد بود.پس در صورت تصفیه فاضلاب شهری و استفاده دوباره از آن در جوامع،ممکن است مشکل کمبود آب کمرنگ شود(۱۴). در مقاله ای با عنوان«تولید انرژی از آب های خاکستری در ساختمان های بلند مرتبه : نمونه موردی هندوستان»،امکان تهیه انرژی از آب خاکستری،زمانی که از ساختمان های بلند مرتبه به پایین می-ریزند را بررسی می کنند. این مقاله استفاده از یک توربین گازی میکررو یا پیکو که در طبقه پایین یک ساختمان با ارتفاع زیاد نصب شده است را پیشنهاد می کند که از انرژی ریختن آب های خاکستری از طبقات بالا برای تولید برق استفاده می شود.انرژی الکتریکی تولید شده از توربین می تواند بعدتر به روش های مختلفی مورد استفاده قرار بگیرد.نمونه مقیاس شده همین سیستم، توسعه یافته و آزمایش شده است. همچنین طرح پیشنهادی سیستم فاضلاب گرانشی در ساختمان های بلند مرتبه برای تولید برق از آب به منظور امکان سنجی در بازارهای هند بررسی می شود. محاسبه ها نشان می دهند که سیستم پیشنهادی برای بسیاری از شهرهای اصلی هند امری ضروری است. همچنین در این مطالعه در مورد تجزیه و تحلیل مزایای هزینه سیستم پیشنهادی برای حمایت از ادعاهای خود برای تجاری سازی احتمالی این تکنولوژی بحث می شود.این روش یک روش تولید انرژی دوست دار محیط زیست،تجدیدپذیر و پاک است.اجرای مناسب این سیستم پیشنهادی می تواند نقش مهمی در حل مشکل برق در زندگی شهری ایفا کند(۱۵).

1- معرفی عوامل پژوهش

در این پژوهش هدف رتبه‌بندی ۶ روش تصفیه براساس ۴ معیار می‌باشد که معیارها و گزینه‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- معرفی عوامل پژوهش

Table 2. Introduction of research factors

ردیف	نام معیار	نام گزینه
۱	اقتصادی	تصفیه ساده
۲	محیط زیست	تصفیه فیزیکی
۳	کاربری مسکونی	تصفیه اولیه فیزیکی
۴	میزان فضای مورد استفاده	تصفیه نهایی فیزیکی
۵		تصفیه شیمیایی
۶		تصفیه بیولوژیکی

نتایج روش Entropy

در این بخش برای محاسبه وزن ۴ معیار از روش آنتروپی شانون استفاده می‌شود.

تشکیل ماتریس تصمیم

اولین گام در روش آنتروپی تشکیل ماتریس تصمیم است ماتریس تصمیم این روش شامل معیارها و گزینه‌های پژوهش است یعنی ماتریسی که ستون‌های آن را ۶ گزینه و سطرهای آن را ۴ معیار تشکیل می‌دهند. و هر سلول ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است که بر اساس طیف ۱ تا ۵ توسط ۱۰ خبره تکمیل شده است. سپس داده‌ها با روش میانگین حسابی ادغام شده‌اند و تحت عنوان ماتریس تصمیم در جدول ۳ آورده شده است.

جدول۳ - ماتریس تصمیم آنتروپی شانون

Table 3. Shannon's entropy decision matrix

	اقتصادی	محیط زیست	کاربری مسکونی	میزان فضای مورد استفاده
تصفیه ساده	۲	۳/۴	۴/۴	۳/۷
تصفیه فیزیکی	۱/۴	۳/۴	۳/۲	۳
تصفیه اولیه فیزیکی	۴/۴	۳/۴	۳/۳	۳
تصفیه نهایی فیزیکی	۱/۴	۲/۳	۱/۷	۱/۹
تصفیه شیمیایی	۱/۶	۴/۱	۴/۴	۳/۷
تصفیه بیولوژیکی	۲/۷	۳	۴/۶	۳/۶

نرمال سازی ماتریس تصمیم

برای نرمال سازی بر اساس رابطه ۱، کافیست عدد هر ستون را تقسیم بر مجموع آن ستون کرد. نتایج در جدول ۴ آورده شده است. به عنوان مثال برای سلول a11 که تقاطع معیار "اقتصادی" و گزینه "تصفیه ساده" است محاسبات به صورت زیر می‌باشد.

$$C_{11}^{normal} = \frac{2}{2 + 1/4 + 4/4 + 1/4 + 1/6 + 2/7} = 0/148$$

جدول ۴ - ماتریس نرمال آنتروپی شانون

Table 4. Shannon normal entropy matrix

	اقتصادی	محیط زیست	کاربری مسکونی	میزان فضای مورد استفاده
تصفیه ساده	۰/۱۴۸	۰/۱۷۳	۰/۲۰۴	۰/۱۹۶
تصفیه فیزیکی	۰/۱۰۴	۰/۱۷۳	۰/۱۴۸	۰/۱۵۹
تصفیه اولیه فیزیکی	۰/۳۲۶	۰/۱۷۳	۰/۱۵۳	۰/۱۵۹
تصفیه نهایی فیزیکی	۰/۱۰۴	۰/۱۱۷	۰/۰۷۹	۰/۱۰۱
تصفیه شیمیایی	۰/۱۱۹	۰/۲۰۹	۰/۲۰۴	۰/۱۹۶
تصفیه بیولوژیکی	۰/۲۰۰	۰/۱۵۳	۰/۲۱۳	۰/۱۹۰

محاسبه آنتروپی و وزن هر شاخص

در این گام ابتدا بر اساس رابطه ۲، آنتروپی هر شاخص را محاسبه می‌کنیم. سپس بر اساس رابطه ۳ میزان انحراف هر شاخص محاسبه شده و سپس توسط رابطه ۴ وزن نهایی (W) معیارها محاسبه می‌شود.

به عنوان مثال E1 به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E_1 = -\frac{1}{\ln(6)}\sum_{i=1}^{6}[0.148 \times \ln(0.148) + 0.173 \times \ln(0.173) + 0.204 \times \ln(0.204) + 0.196 \times \ln(0.1965)] = 0.945$$

آنتروپی هر شاخص (d) برای معیار اول به صورت زیر محاسبه می‌شود:

d1=1-0.945=0.055

مقدار وزن معیارها (w) نیز به طریق زیر محاسبه می‌شود به بیان دیگر وزن هر معیار از تقسیم d آن معیار بر مجموع کل dها بدست می‌آید

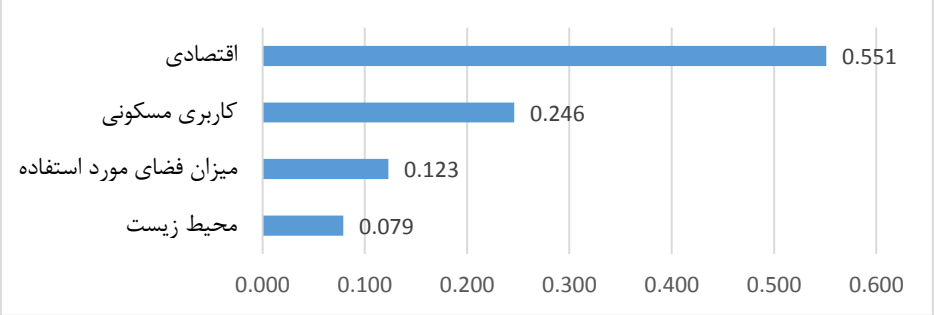
$$W_1 = \frac{0.055}{0.055 + 0.008 + 0.025 + 0.012} = 0.551$$

جدول ۵- وزن نهایی معیارها

Table 5. Final weight of criteria

	اقتصادی	محیط زیست	کاربری مسکونی	میزان فضای مورد استفاده
آنتروپی شاخص (Ej)	۰/۹۴۵	۰/۹۹۲	۰/۹۷۵	۰/۹۸۸
انحراف هر شاخص(dj)	۰/۰۵۵	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵	۰/۰۱۲
وزن معیار (Wj)	۰/۵۵۱	۰/۰۷۹	۰/۲۴۶	۰/۱۲۳

با توجه به نتایج روش آنتروپی شانون، وزن معیارها محاسبه شد که در شکل ۴ آورده شده است. بر این اساس معیار اقتصادی با وزن ۰/۵۵۱رتبه اول را کسب کرده است. کاربری مسکونی با وزن ۰/۲۴۶ رتبه دوم، میزان فضای مورد استفاده با وزن ۰/۱۲۳رتبه سوم و محیط زیست با وزن ۰/۰۷۹رتبه چهارم را کسب کرده است.



شکل ۴- وزن معیارها

Figure 4. Weight criteria

نتایج روش Tapsis

در این بخش از روش تاپسیس برای رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش که در اینجا ۶ گزینه می‌باشد استفاده می‌گردد مراحل روش تاپسیس در ادامه آورده شده است.

تشکیل ماتریس تصمیم

اولین گام در روش تاپسیس تشکیل ماتریس تصمیم می‌باشد ماتریس تصمیم این روش همان ماتریس تصمیم روش آنتروپی می‌باشد که در جدول ۵ آورده شده است.

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

در این گام با استفاده از رابطه ۵ ماتریس تصمیم را نرمال می‌کنیم. به بیان دیگر برای نرمال‌سازی کافیست هر درایه ماتریس تصمیم اولیه را بر جذر مربعات درایه‌های ستونش تقسیم کرد. که در جدول ۶ آورده شده است به عنوان مثال برای سلول a11 که تقاطع معیار "اقتصادی" و گزینه "تصفیه ساده" است محاسبات به صورت زیر می‌باشد.

$$a_{11} = \frac{2}{\sqrt{2^2 + 1.4^2 + 4.4^2 + 1.4^2 + 1.6^2 + 2.7^2}} = 0.328$$

جدول ۶- ماتریس تصمیم نرمال تاپسیس

Table 6 . Normal TOPSIS decision matrix

	اقتصادی	محیط زیست	کاربری مسکونی	میزان فضای مورد استفاده
تصفیه ساده	۰/۳۲۸	۰/۴۱۹	۰/۴۸۰	۰/۴۷۰
تصفیه فیزیکی	۰/۲۳۰	۰/۴۱۹	۰/۳۴۹	۰/۳۸۱
تصفیه اولیه فیزیکی	۰/۷۲۲	۰/۴۱۹	۰/۳۶۰	۰/۳۸۱
تصفیه نهایی فیزیکی	۰/۲۳۰	۰/۲۸۴	۰/۱۸۶	۰/۲۴۱
تصفیه شیمیایی	۰/۲۶۳	۰/۵۰۶	۰/۴۸۰	۰/۴۷۰
تصفیه بیولوژیکی	۰/۴۴۳	۰/۳۷۰	۰/۵۰۲	۰/۴۵۷

وزن دار کردن ماتریس نرمال

در این گام باید وزن ۴ معیار پژوهش که در شکل ۱ آورده شده است را در ماتریس نرمال ضرب کنیم. ماتریس نرمال وزن‌دار در جدول ۷ آورده شده است:

جدول ۷- ماتریس نرمال وزن‌دار تاپسیس

Table 7. Topsis weighted normal matrix

	اقتصادی	محیط زیست	کاربری مسکونی	میزان فضای مورد استفاده
تصفیه ساده	۰/۱۸۱	۰/۰۳۳	۰/۱۱۸	۰/۰۵۸
تصفیه فیزیکی	۰/۱۲۷	۰/۰۳۳	۰/۰۸۶	۰/۰۴۷
تصفیه اولیه فیزیکی	۰/۳۹۸	۰/۰۳۳	۰/۰۸۹	۰/۰۴۷
تصفیه نهایی فیزیکی	۰/۱۲۷	۰/۰۲۲	۰/۰۴۶	۰/۰۳۰
تصفیه شیمیایی	۰/۱۴۵	۰/۰۴۰	۰/۱۱۸	۰/۰۵۸
تصفیه بیولوژیکی	۰/۲۴۴	۰/۰۲۹	۰/۱۲۴	۰/۰۵۶

تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی

در این گام باید برای هر معیار ایده‌آل‌های مثبت (A+) و منفی (A-) را تعیین نمود. ایده‌آل مثبت برابر با بزرگترین درایه ستون معیار و ایده‌آل منفی برابر با کوچکترین درایه ستون معیار است. ایده آل‌های مثبت و منفی در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸ - ایده‌آل‌های مثبت و منفی

Table 8. Positive and Negative Ideals

	اقتصادی	محیط زیست	کاربری مسکونی	میزان فضای مورد استفاده
ایده آل مثبت	۰/۳۹۸	۰/۰۴۰	۰/۱۲۴	۰/۰۵۸
ایده آل منفی	۰/۱۲۷	۰/۰۲۲	۰/۰۴۶	۰/۰۳۰

تعیین فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل‌ها

در این گام باید فاصله هر گزینه از ایده آل مثبت (+D) و ایده آل منفی (-D) را با استفاده از رابطه ۶ و ۷ محاسبه کرد. نتایج در جدول ۸ ستون دوم و سوم آورده شده است. به عنوان مثال برای گزینه اول محاسبات +D و -D به صورت زیر می‌باشد:

$$D_{A1}^{+} = \sqrt{(0.181-0.398)^2+(0.033-0.040)^2+(0.118-0.124)^2+(0.058-0.058)^2} = 0.217$$

$$D_{A1}^{-} = \sqrt{(0.181-0.127)^2+(0.033-0.022)^2+(0.118-0.046)^2+(0.058-0.030)^2} == 0.096$$

محاسبه شاخص شباهت و رتبه بندی گزینه ها

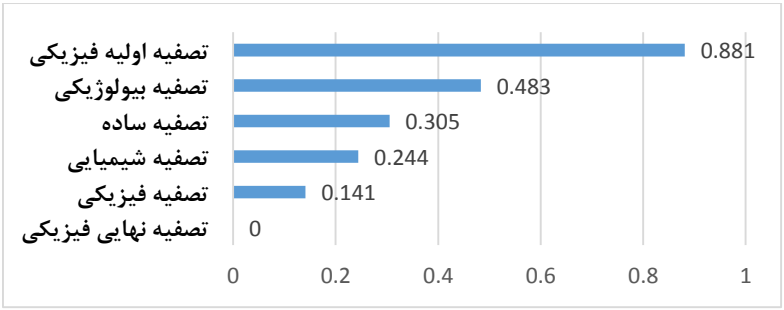
در این گام با استفاده از رابطه ۸شاخص شباهت (Cl) را محاسبه می‌نماییم و بر اساس آن گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کنیم. هر چقدر شاخص شباهت یک گزینه بزرگتر باشد نشان دهنده رتبه بهتر آن گزینه است. شاخص شباهت (امتیاز نهایی) در جدول ۹ ستون سوم آورده شده است. همچنین در این جدول رتبه گزینه‌ها آورده شده است. به عنوان مثال برای گزینه ۱ محاسبات CL به صورت زیر می‌باشد:

$$CL_{\text{شعبه}1} = \frac{D_{A1}^{-}}{D_{A1}^{+}+D_{A1}^{-}} = \frac{0.096}{0.217+0.096} = 0.305$$

جدول ۹- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

Table 9. Final ranking of options

	فاصله تا ایده‌آل مثبت (+D)	فاصله تا ایده‌آل منفی (-D)	امتیاز نهایی (CL)	رتبه
تصفیه ساده	۰/۲۱۷	۰/۰۹۶	۰/۳۰۵	۳
تصفیه فیزیکی	۰/۲۷۴	۰/۰۴۵	۰/۱۴۱	۵
تصفیه اولیه فیزیکی	۰/۰۳۷	۰/۲۷۶	۰/۸۸۱	۱
تصفیه نهایی فیزیکی	۰/۲۸۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۶
تصفیه شیمیایی	۰/۲۵۳	۰/۰۸۲	۰/۲۴۴	۴
تصفیه بیولوژیکی	۰/۱۵۴	۰/۱۴۴	۰/۴۸۳	۲



شکل ۵- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

Figure 5. Final ranking of options

با توجه به نتایج، تصفیه اولیه فیزیکی رتبه اول را کسب کرده است. تصفیه بیولوژیکی رتبه دوم و تصفیه ساده رتبه سوم را کسب کرده است.

۳-سیستم های تصفیه آب خاکستری

۱- سیستم تصفیه ساده شامل فیلتراسیون درشت دانه و گندزدایی

۲- سیستم تصفیه فیزیکی شامل فیلتراسیون، رسوب-گیری و ته نشینی

۳- سیستم تصفیه شیمیایی شامل فوتوکاتالیست، الکتروکوگولاسیون، انعقاد

۴- سیستم تصفیه بیولوژیکی شامل فیلترهای بیولوژیکی، هوادهی، کنتاکتورهای بیولوژی و بیوراکتورهای غشائی

شکل ۶ - دیاگرام کلی سیستم تصفیه آب خاکستری (پروژه پژوهشی راهنمای استفاده از آب خاکستری،صادق یونسلو(۱۳۹۶))

Figure 6. General diagram of the gray water treatment system
Gray Water Use Guide Research Project, Sadegh Younesloo (2017)

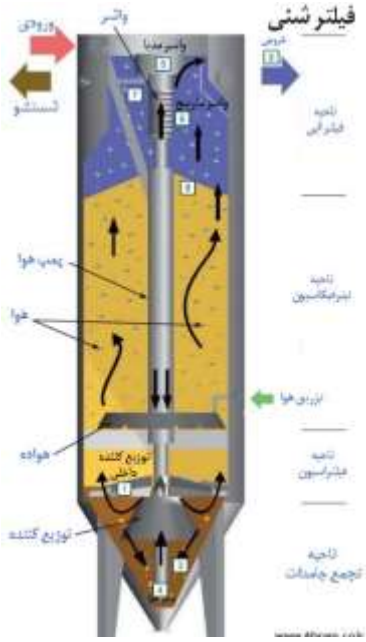
۱-۳سیستم تصفیه ساده

این فن آوری ساده که برای کاربرد مجدد آب خاکستری مورد استفاده قرار می گیرد،معمولا سیستم دو مرحله ای غیر متمرکز بر اساس فیلترهای درشت یا رسوب گیری(ته نشینی)می باشد که به حذف مواد جامد به علاوه ضد عفونی می پردازد.معمولا فیلترهای درشت حاوی یک صافی فلزی هستند.قوانین و استانداردها اجازه استفاده مجدد از آب را برای آبیاری سطحی می دهد.در نتیجه این سیستم ها در سطح هائی با مقیاس کوچک مثلا ساختمان های تک واحده مورد استفاده قرار می گیرد علاوه بر این سیستم تصفیه ساده معمولا برای تصفیه آب خاکستری حمام و روشوئی مورد استفاده قرار می گیرد و به دلیل تصفیه محدود،در بخش فلاش تانک سرویس های بهداشتی و آبیاری باغ‌ها کاربرد دارند.دوره برگشت سرمایه این سیستم ها با قیمت سال ۱۳۹۵ بالای ۱۵ سال می باشد.بر اساس مطالعات انجام شده در دنیا میانگین حذف COD، مواد جامد معلق و کدورت در این سیستم ها به ترتیب برابر با ۴۹،۵۶،۷۰ درصد می باشد(۱۶).

۲-۳سیستم تصفیه فیزیکی

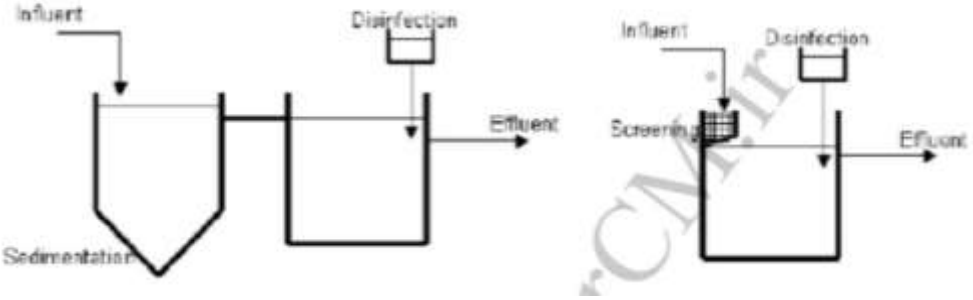
تصفیه فیزیکی شامل فیلتراسیون،رسوب گیری و ته نشینی است که برای تصفیه پساب خانگی کاربرد دارد.تصفیه فیزیکی حاوی بخش اولیه و ثانویه است و به اندازه نفوذ آنها بستگی دارد.

فیلتراسیون معمولا به عنوان روش پیش تصفیه مورد استفاده قرار می گیرد. اگر فیلتر شنی و ماسه ای به عنوان تنها مرحله تصفیه استفاده شود، فیلترهای درشت آب خاکستری همانند تصفیه ساده عمل می کنند.سیستم های فیزیکی به دو زیر مجموعه فیلترهای شن و ماسه و غشائی تقسیم می شوند.با توجه به این که فیلترهای غشائی بسیار گران هستند از شن و ماسه به عنوان فیلتراسیون استفاده می شود و در فرآیند های تصفیه فیزیکی به خاطر اندازه های نقوذی موثر هستند.بر اساس بررسی های انجام شده،بهره وری فیلتراسیون، بستگی به توزیع ذرات، مواد آلاینده آب خاکستری و نفوذ پذیری فیلترها دارد.به طور کلی هر چقدر که نفوذ پذیری فیلترها کمتر باشد،کیفیت پساب آب خاکستری بهتر خواهد بود و پس مانده های مواد جامد و مواد ارگانیک را قبل از ضدعفونی بهتر حذف می کنند(۱۶).



شکل ۷ - دستگاه تصفیه با فیلتر شنی(abram 2020) ۱۷

Figure 7. Sand filter purifier (abram 2020)



شکل ۸- دیاگرام سیستم تصفیه فیزیکی آب خاکستری اجرا شده در دنیا (پژوهشی راهنمای استفاده از آب خاکستری،صادق یونسلو(۱۳۹۶))

Figure 8. Diagram of the physical gray water treatment system implemented in the world

۳-۲-۱ تصفیه اولیه

اولین گام برای تصفیه فیزیکی آب خاکستری، حذف مواد شناور ته نشینی مواد جامد معلق در آن است.این سیستم ها معمولاً شامل یک یا چند مخزن رسوب گیر است که یک صافی، مواد جامد و روغنی را حذف کرده و آب خاکستری را برای مراحل بعدی آماده می کند .در این سیستم، به دلیل تصفیه سبک و ملاحظات زیست محیطی از سیستم آبیاری زیر سطحی استفاده میشود.درسیستم آبیاری زیرسطحی شبکه آبیاری به صورت مدفون و در عمق حداقل ۱۰ سانتی متری از سطح خاک یا مالچ صورت می‌پذیرد .درتصفیه اولیه ۳۰ درصد از اکسیژن بیو شیمیایی کربن دار از پساب حذف می شود. این سیستم‌ها پساب دوش یا وان حمام را گرفته و تصفیه اولیه ای انجام می دهند. بدین صورت که کف ها و مواد معلق روی سطح آب را زدوده و به ذرات ریز اجازه ته نشین شدن درتانکر را می دهند(۱۶).

۳-۲-۲ تصفیه ثانویه

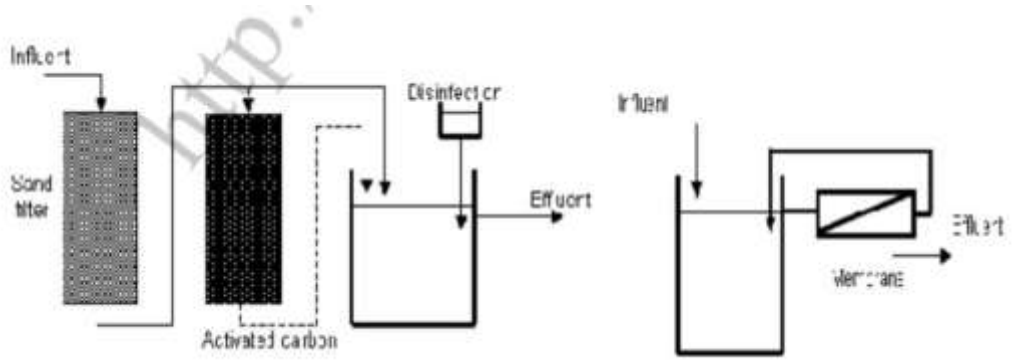
سیستم‌های تصفیه ثانویه نسبت به سیستم تصفیه اولیه، روغن، چربی و ذرات جامد بیشتری را حذف می‌کنند در این مرحله باکتری ها از مواد ارگانیک استفاده می‌کنند و باعث گرد هم آوری باکتری و اکسیژن می‌شود .ازا ین پساب می توان برای آبیاری زیر سطحی و فلاش تانک استفاده کرد .در این روش می‌توان از سیستم آبیاری زیرسطحی و سیستم آبیاری سطحی(حتی بدون لوله) استفاده کرد.این سیستم به دلیل تصفیه پیشرفته،بسیار گران بوده و در ضمن هزینه های نگهداری بیشتری نسبت به سیستم تصفیه اولیه دارد .با این حال مزایای این سیستم، آبیاری سطحی و آسان، فراهم کردن آب آبیاری در زمان کمبود یا نبود آب خاکستری لازم،برگشت خودکار آب خاکستری به سیستم فاضلاب در مواقع ضروری و کاهش خطرات زیست محیطی و... می باشد.این سیستم تصفیه، مواد جامد شناور و ته نشین شده و حدود ۹۰ درصد اکسیژن مصرفی و مواد جامد معلق را از بین می برد. در برخی سیستم ها از یک فیلتر برای حذف باقی مانده پساب خانگی قبل از ذخیر سازی استفاده شده و سپس مواد ضد عفونی کننده برای جلوگیری از رشد باکتری درطول ذخیره سازی به آب اضافه می شود.

به صورت کلی روشهای متنوعی برای تصفیه ی پساب خاکستری ابداع شده است اما به سختی می توان به یک روش فیزیکی به تنهایی به عنوان گزینه ی اصلی تصفیه پساب خاکستری برای تصفیه و استفاده مجدد از آن تکیه نمود.از روشهای فیزیکی بیشتر به عنوان مرحله ی تصفیه ی ابتدایی و فراهم نمودن شرایط برای تصفیه ی نهایی استفاده می شود(۱۶).

۳-۳سیستم تصفیه شیمیایی

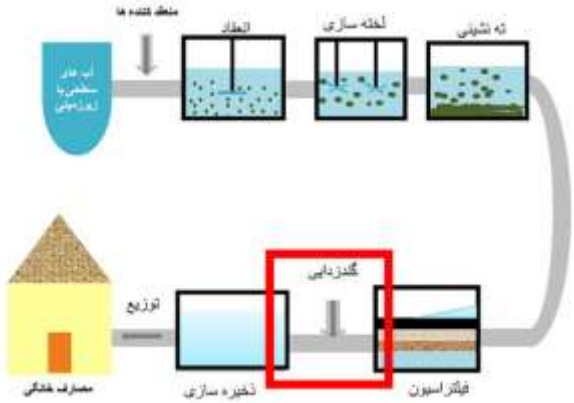
سیستم های تصفیه شیمیایی آب خاکستری شامل فیلتراسیون (حذف مواد جامد معلق و آلودگی های میکروبی) وفولوکولاسیون می باشد که به منظور حذف بیشتر آلاینده ها وتخریب مواد و اورگانیسم های پاتوژنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد اما مواد جامد را حذف نمی‌کند .حذف پاتوژن‌های موجود درآب مهم‌ترین دغدغه بهداشت عمومی تصفیه آب است. سیستم‌های تصفیه شیمیایی برای ساختما های تک واحده با مقیاس کوچک بسیار مناسب می‌باشد.

مزایای تصفیه شیمیائی این است که درفضای داخلی مجزا به سیستم های تهویه متصل می شوند وکمترین اثر را روی محیط زیست دارند. تصفیه شیمیایی کدورت آب، مواد آلی و آلودگی میکروبی را از بین می برد.معایب این نوع تصفیه این است که مواد جامد را از بین نمی‌برد و معمولاً هزینه آن بالا می‌باشد (۱۶).



شکل ۹- دیاگرام سیستم تصفیه شیمیایی آب خاکستری (پژوهشی راهنمای استفاده از آب خاکستری،صادق یونسلو(۱۳۹۶))

Figure 9 . Diagram of gray water chemical treatment system

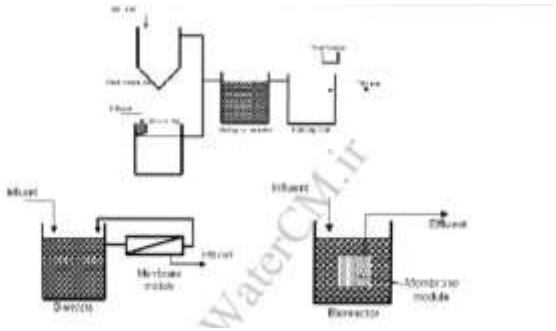


شکل ۱۰ - تصفیه شیمیایی

Figure 10 Chemical treatment (farab-zixt.com 2020)(18)

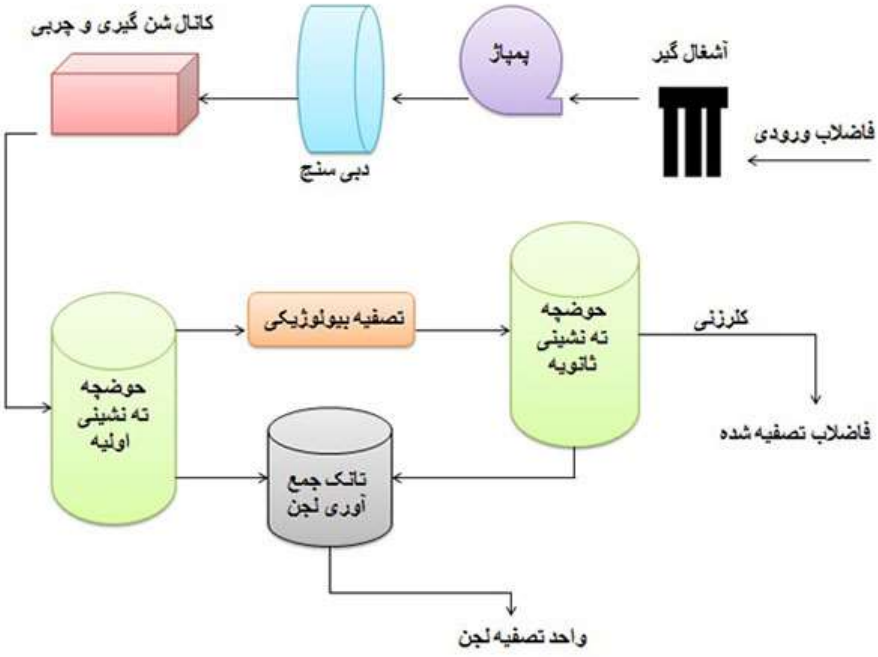
۳-۴-سیستم تصفیه بیولوژیکی

این سیستم عمدتا به حذف مواد محلول و مواد ارگانیک کلوئیدی از آب می پردازد تا میزان مواد مغذی و مواد ارگانیک را کاهش دهد.تصفیه بیولوژیکی به تنهائی برای تولید پساب خانگی برای استفاده مجدد کافی نیست. تصفیه بیولوژیکی باید با فرآیندهای فیزیکی به منظور نگهداری از زیست توده های فعال همراه باشد و از نفوذ مواد جامد به پساب خانگی جلوگیری کند. فرآیند تصفیه بیولوژیکی مقدم بر تصفیه فیزیکی نظیر رسوب‌گیری، ضدعفونی می باشد.تصفیه بیولوژیکی آب خاکستری همراه با یک ضد عفونی کننده خوب و مطمئن می‌تواند استفاده موثر از آب خاکستری را تضمین کند و هیچ گونه خطری برای مصرف کننده نداشته باشد .طرح های بیولوژیکی سیستم های متحرکی هستند که در ساختمان‌های چند طبقه و مجتمع‌ها و استادیوم های ورزشی مورد استفاده قرار می گیرند. مدت زمان تصفیه بیولوژیکی بین ۸ ساعت تا ۲ روز می تواند متغیر باشد(۱۶).



شکل ۱۱- دیاگرام سیستم تصفیه بیولوژیکی آب خاکستری پژوهشی راهنمای استفاده از آب خاکستری،صادق یونسلو(۱۳۹۶)

Figure 11. Gray of biological water treatment system



شکل ۱۲ - تصفیه بیولوژیکی

Figure 12. Biological treatment (18) (farab-zist.com 2020)

۴- در جدول زیر تنوع سیستم تصفیه آب خاکستری همراه با معایب،محاسن و استفاده از اجزای آن به صورت منظم دسته بندی شده است.

جدول ۱۰- مزایا و معایب انواع سیستم های تصفیه آب خاکستری (منبع نگارندگان)

Table 10. Advantages and Disadvantages of Gray Water Treatment Systems (Author Source)

انواع سیستم	سیستم تصفیه	مزایا	معایب
تصفیه ساده	۱)فیلتراسیون درشت دانه ۲)گندزدایی	حذف مواد جامد و ضد عفونی کننده-آبیاری زیر سطحی-ساختمان های تک واحده با مقیاس کوچک	مواد جامد را حذف نمی کند-هزینه آن بالا است
تصفیه فیزیکی	۱)فیلتراسیون ۲)رسوب گیری ۳)ته نشینی	در پساب خانگی کاربرد دارد-این سیستم به ۲ زیر مجموعه فیلترهای شن و ماسه و غشایی تقسیم می شوند-نفوذ پذیری فیلترها کمتر باشد کیفیت پساب بهتر است و پس مانده های مواد جامد و ارگانیک را قبل از ضدعفونی بهتر حذف می کند	به اندازه نفوذ بستگی دارد-فیلتراسیون به عنوان روش پیش تصفیه قرار می گیرد-فیلتر غشایی گران تر از شن و ماسه می باشد
تصفیه اولیه فیزیکی	۱)حذف مواد شناور و ته نشینی مواد جامد معلق در آن ۲)مخزن رسوب گیر ۳)صافی ها	به دلیل تصفیه سبک و ملاحضات زیست محیطی از آبیاری زیر سطحی استفاده می شود-پساب دوش یا وان حمام را گرفته و تصفیه اولیه انجام می دهد بدین صورت کف ها و مواد معلق روی سطح آب را زدوده و به ذرات اجازه ته نشین شدن در تانکر می دهد-افزایش کیفیت آب و جلوگیری از بو گرفتن-این سیستم هزینه خرید و اجرای آن نسبتا ارزان بوده و از ساده ترین پساب می باشد-خطر گرفتگی تجهیزات کاهش یافته و از هزینه بالای تعمیرات می توان جلوگیری کرد	اگر آب طی زمان مشخص استفاده نشود آب ذخیره شده هدر رفته و اتلاف سیستم بالاتر از خطوط اصلی آب قرار می گیرد
	۱)روغن،چربی و ذرات جامد بیشتری را حذف میکند	این سیستم نسبت به سیستم اولیه روغن،چربی و ذرات جامد بیشتری را حذف میکند-سیستم آبیاری بدون لوله-آبیاری سطحی و آسان و	از این پساب برای آبیاری زیر سطحی و فلاش تانگ استفاده

تصفیه ثانویه فیزیکی	۲)یک فیلتر برای حذف باقی مانده پساب خانگی ۳)مواد ضد عفونی کننده برای جلوگیری از رشد باکتری در طول ذخیره سازی آب اضافه می شود	فراهم کردن آب آبیاری در زمان کمبود یا نبود آب خاکستری لازم برگشت خودکار آب خاکستری به سیستم فاضلاب در مواقع ضروری و کاهش خطرات زیست محیطی می باشد-این سیستم مواد جامد شناور و ته نشین شده و حدود ۹۰ درصد اکسیژن مصرفی و مواد جامد معلق را از بین میبرد	کرد-این سیستم بدلیل تصفیه پیشرفته بسیار گران بوده و در ضمن هزینه نگهداری بیشتری نسبت به سیستم اولیه دارد
تصفیه شیمیایی	۱)فوتوکاتالیست ۲)الکتروکرگولاسیون ۳)انعقاد	برای ساختمان های تک واحده با مقیاس بسیار کوچک مناسب است-در فضای داخلی مجزا به سیستم های تهویه متصل می شوند و کمترین اثر را روی محیط زیست دارند-این سیستم کدورت آب،مواد آلی و آلودگی میکروبی را از بین می برد	مواد جامد را حذف نمی کند-هزینه آن بالا است
تصفیه بیولوژیکی	۱)فیلترهای بیولوژیکی ۲)هوادهی ۳)کنتاکتورهای بیولوژی ۴)بیوراکتورهای غشایی	فرآیند تصفیه بیولوژیکی مقدم بر فیزیکی نظیر رسوب گیری،ضد عفونی می باشد-این سیستم با یک ضدعفونی کننده خوب و مطمئن می تواند استفاده موثر از آب خاکستری را تضمین کند و هیچ گونه خطری برای مصرف کننده نداشته باشد-طرح های بیولوژیکی سیستم های متحرکی هستند که در ساختمان های چند طبقه و استادیوم های ورزشی مورد استفاده قرار می گیرند	به حذف مواد محلول و مواد ارگانیک کلوئیدی می پردازد تا میزان مواد مغذی و مواد ارگانیک را کاهش دهد-این سیستم به تنهایی برای تولید پساب خانگی کافی نیست-این سیستم باید با فرآیند های فیزیکی به منظور نگهداری از زیست توده های فعال همراه باشد و از نفوذ جامد به پساب خانگی جلوگیری کند-مدت زمان این تصفیه بین ۸ ساعت تا ۲ روز می تواند متغیر باشد

نتیجه گیری

در معماری وطراحی فضاها می توان کاربردهایی را درنظرگرفت که موثر در صرفه جویی و بازیافت انرژی درساختمان ها خواهد بود. رشد جمعیت و فعالیت های صنعتی میزان مصرف آب را افزایش داده و منجر به مشکلات زیست محیطی وتغییرات

اقلیمی و کمبود آب گردیده و متاسفانه کشور ما نیز درگیر این بحران شده است،که با مدیریت صحیح چرخه ی آب در معماری و شهرسازی می توان ضرورت این امر را بررسی نمود.اکنون در این پژوهش با توجه به تحقیقات صورت گرفته و جمع آوری مطالب و بررسی انواع سیستم های تصفیه آب خاکستری نتایج زیر حاصل گردیده است. با محاسبه وزن معیارها که در شکل ۳ نشان داده شده است، معیار اقتصادی با وزن ۰/۵۵۱ رتبه اول است،کاربری مسکونی معماری با وزن ۰/۲۴۶ رتبه دوم،میزان فضای مورد استفاده با وزن ۰/۱۲۳ رتبه سوم و محیطزیست با وزن ۰/۰۷۹ رتبه چهارم را کسب نموده اند.بر اساس محتوای شکل ۴ رتبه نهایی سیستم های تصفیه آب های خاکستری به این نتیجه می‌رسیم که تصفیه اولیه فیزیکی با عدد ۰/۸۸۱ رتبه اول ، تصفیه بیولوژیک با عدد ۰/۴۸۳ رتبه دوم و تصفیه ساده با عدد ۰/۳۰۵ رتبه سوم را کسب کرده‌اند.

References

1. Kayhanian, M., Chubanoglas, J. (1397). "The potential of water reuse for domestic use Part I - Introduction to water reuse for domestic use" Journal of Water and Wastewater, 29 (4), 22-3. Doi:10.22093/wwj.2018.101905.980. (In Persian)
2. Damkjaer, S. & Taylor, R. 2017. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. Ambio, 15,1-9.
3. Mozaffari (1387). "Economic Evaluation of Wastewater Consumption in Agriculture", 3rd International Conference on Water Resources Management of Iran, Tabriz. (In Persian)
4. Darvishi, Gholamreza et al.(1392). "Study of the need for water recycling and reuse of unconventional water in order to manage water resources", National Conference on Water Recycling, Tehran, 6 and 7 February. (In Persian)
5. Kayhanian, M., Chubanoglas, J. (1397). "The Potential of Water Reuse for Home Use Part III - Opportunities and Challenges" Journal of Water and Wastewater, 29 (4), 74-61. Doi:10.22093/wwj.2018.101905.982. (In Persian)
6. Aghaei, Farrokh, Riahi Samani, Majid, Amin, Mohammad Mehdi (1397). "Gray wastewater treatment, innovative technology in water consumption management, National Conference on Rainwater catchment systems, Tehran, March 1 and 2. (In Persian)
7. Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S.2004. “Greywater characterization and its impact on the selection and operation of urban reuse”,school of water siences, cranfield university, Bedfordshire, uk,Vol 50, No 2,pp 157-164.
8. Avisatasfieh. 2020. 12 4. https://www.avisatasfie.com/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AA/%D8%A2%D8%A8-%D8%AE%D8%A7%DA%A9%D8%B3%D8%AA%D8%B1%DB%8C/.
9. Pooyeshnabz. 2020. 12 4. http://water.wikipg.com/%D8%AA%D8%B5%D9%81%DB%8C%D9%87-%D8%A2%D8%A8-%D8%AE%D8%A7%DA%A9%D8%B3%D8%AA%D8%B1%DB%8C-%D8%B1%D9%88%D8%B4%DB%8C-%D8%A8%D8%B1%D8%A7%DB%8C-%D8%A8%D8%A7%D8%B2%DA%86%D8%B1%D8%AE%D8%A7%D9%86%DB%8C-%D8%A2/.

10. Memarian, Gholam Hossein, Tabarsar, Mohammad Ali(1392). "Architecture species and typology", in the scientific and research journal of the Iranian Scientific Association of Architecture and Urban Planning, autumn and winter, No. 6. (In Persian)
11. Statistics Center of Iran (Selected source statistics of the 1390 census results). (In Persian)
12. Lam C, Leng L, Chen P, Lee P, Hsu S. (2017) Eco-efficiency analysis of non-potable water systems in domestic Buildings, Applied Energy, http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017. 05.095.
13. Friedler E, Hadari M. (2005) Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings, Desalination https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007.
14. [14] Razeghi, Nasser, Mansouri, Roya (1394). " Long-term planning of water reuse, Journal of Water Recycling", Volume 2, Number 1. (In Persian)
15. Sarkar P, Sharma B, Malik U. (2014) Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India, Renewable Energy, http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.046.
16. Youneslu, Sadegh (1396). Research project guide to the use of gray water for non-drinking purposes. (In Persian)
17. abram.2020.11 5. https://www.abram-co.ir/%D9%81%DB%8C%D9%84%D8%AA%D8%B1-%D8%B4%D9%86%DB%8C-%D8%AA%D8%B5%D9%81%DB%8C%D9%87-%D8%A2%D8%A8/.2020. 11 13.
18. farab-zist.com2020.