نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هشتم، شماره ۴، صفحات ۱۱-۲۱، زمستان ۱۴۰۲

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 8, No. 4, PP. 11-21, Winter 2024
DOI: 10.22112/JWWSE.2023.386768.1353

مقاله پژوهشی

برآورد کمی و کیفی پساب خاکستری (مطالعه موردی: مجموعه خوابگاهی دانشگاه اصفهان)

شروین جمشیدی[۱] و علی دهنوی[۱*]

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: a.dehnavi@eng.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در این پژوهش، وضعیت کمی و کیفی پساب خاکستری در خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان با هدف استفاده مجدد از آن مورد بررسی قرارگرفت. بدین منظور، مصرف آب غیرشرب (استحمام و شستشوی لباس) به تفکیک خوابگاه برادران و خواهران، طی روزهای هفته و کیفیت پساب در طول ترم تحصیلی (مهر-آبان و اردیبهشت-خرداد) با نمونه‌برداری از منهول خروجی حمام‌ها پایش شد. نتایج نشان داد که سرانه متوسط مصرف آب غیرشرب و تولید پساب خاکستری دانشجویان ۱۱۱ لیتر به ازای هر نفر در روز است که با احتساب ۴۴۰۰ نفر ساکن در خوابگاه‌ها، پساب تولیدی می‌تواند حداقل ۱۰٪ نیاز آبی فضای سبز دانشگاه را تامین کند. هم‌چنین مشخص شد سرانه تولید پساب خاکستری دختران ۲۰٪ بیشتر از پسران بوده و این اختلاف قابل‌ملاحظه است. به‌علاوه، سرانه تولید پساب خاکستری در آخر هفته (پنجشنبه و جمعه) به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای (۱۶٪) بیشتر از سایر روزها است. بر این اساس، ضرایب حداکثر روزانه و ساعتی تولید پساب خاکستری به‌ترتیب ۱/۱۶ و ۱/۲۵ برآورد شد. آنالیز کیفی پساب خاکستری نیز نشان داد که غلظت متوسط آلاینده‌های BOD، COD و TSS در این پساب به‌ترتیب برابر ۶۵، ۱۴۲ و ۵۲ میلی‌گرم بر لیتر است که میزان تجزیه‌پذیری بیولوژیکی و ذرات معلق نسبتاً کمی دارد.

کلمات کلیدی: پساب خاکستری، مصرف آب، تصفیه و بازیافت فاضلاب، دانشگاه سبز، پایداری.

Research Paper

Grey Water Quantity and Quality Assessment (Case Study: Isfahan University Dormitories)

Shervin Jamshidi[1] and Ali Dehnavi[1*]

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

* Corresponding Author, Email: a.dehnavi@eng.ui.ac.ir

Received: 24/02/2023
Revised: 28/04/2023
Accepted: 10/05/2023
© IWWA

Abstract

In this study, the quantity and quality of Grey Water (GW) were surveyed in the dormitories of Isfahan University by the aim of its reuse. For this purpose, the non-potable water consumption (bathing and washing clothes) was monitored in both boys and girls dormitories, where its variations were evaluated daily in the academic semesters (October-November and May-June) alongside its quality. Results showed that the average daily GW production of students is 111 liters per capita per day, in which by considering 4400 residents in the dormitories, this wastewater can supply at least 10% of the water required for the irrigation of campus green areas. It was also indicated that the daily average grey water production of girls' dormitories per capita was significantly higher about 20% than boys'. In addition, the daily grey water production per capita of students on weekends was significantly higher than the other days about 16%. Based on these data, the daily and hourly peak coefficients of grey water production were about 1.16 and 1.25, respectively. The quality analysis of discharged grey water showed that the average concentrations of BOD, COD and TSS were 65, 142 and 52 mg/L, respectively, which has a relatively low biodegradability and suspended solids.

Keywords: Green University, Grey Water, Sustainability, Wastewater Treatment and Reuse, Water Consumption.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، بازیافت پساب‌های تولیدی با توجه به مصرف بی‌رویه آب در بخش‌های مختلف شهری و روستایی، صنعت و نیز کشاورزی، علاوه‌بر این‌که در کانون توجه تحقیقات مربوطه قرارگرفته، به امری ضروری نیز تبدیل شده است. پساب خاکستری یکی از پساب‌هایی است که به‌علت حجم قابل‌توجه و نیز آلودگی میکروبی کمتر نسبت به فاضلاب خانگی، مورد توجه محققین مختلف برای بازیافت قرار گرفته است.

تاکنون تعاریف متفاوتی از پساب خاکستری و این‌که شامل چه فاضلاب‌هایی می‌شود، ارائه شده است. در برخی موارد، پساب خاکستری معادل فاضلاب بخش‌های مختلف ساختمان به‌جز ۱) توالت، ۲) سینک آشپزخانه حاوی باقی‌مانده غذایی خرد شده، ۳) ماشین ظرفشویی و ۴) با مواد مغذی زیاد درنظر گرفته‌شده است (Al-Jayyousi, 2003). اما به‌طور کلی و در اکثر مطالعات، پساب خاکستری شامل فاضلاب تولیدی از فعالیت‌های استحمام (دوش، وان، جکوزی، روشویی) تحت‌عنوان پساب خاکستری روشن[1]، به‌همراه شستشوی لباس (دستی یا ماشین لباسشویی) و سینک آشپزخانه تحت عنوان پساب خاکستری تیره[2] است (Ghaitidak and Yadav, 2013). فاضلاب استحمام شامل شوینده‌ها (صابون و شامپو)، اوره، مو، پوست و چربی بدن، روغن مو، ترکیبات شن و ماسه است، اما فاضلاب آشپزخانه شامل دترجنت‌ها، چربی و روغن، بقایای غذا، آب گوشت، پوست میوه و سبزی، ذرات چای و قهوه و ترکیبات نگهدارنده مواد خوراکی است. فاضلاب شستشوی لباس نیز شامل دترجنت‌ها، روغن، حلال‌ها، رنگ، الیاف سلولزی و پارچه‌ای است (Elhegazy and Eid, 2020).

به‌طور معمول و در مقایسه با پساب سیاه (فاضلاب توالت) تصور می‌شود که پساب خاکستری، عاری از آلاینده‌های میکروبی است اما باید توجه نمود برخی از محققان نشان دادند که در پساب خاکستری، انواع باکتری‌ها و پاتوژن‌ها وجود دارد که ممکن است در آنالیز متعارف پاتوژن‌ها، که با آزمایش کلیفرم مدفوعی انجام می‌شود، دیده نشوند و لذا لایه‌های بیوفیلمی جداره لوله‌ها، فیلترها و مخازن می‌تواند محلی برای تجمع آن‌ها باشد (Nagarkar et al., 2021). در دانشگاه ایالتی اوهایو طی دوره شیوع ویروس کرونا مشخص شد که این ویروس در پساب خاکستری خوابگاه‌های دانشگاه وجود دارد و میزان حضور ژن‌های فعال آن با غلظت TSS ارتباط مستقیمی دارد (Lu et al., 2022). بنابراین، مطابق رویکردهای بین‌المللی، کاربرد بازچرخانی پساب خاکستری در بخش غیرشرب و غذایی است و شامل انوع خدمات شهری مانند شستشوی خیابان، کارواش، آبیاری فضای سبز، آتش‌نشانی، سرویس‌های بهداشتی عمومی و سایر موارد از جمله، استفاده در فلاش‌تانک‌ها، کشت محصولات غیرخوراکی (مانند پرورش گل و چوب) است (Ghaitidak and Yadav, 2013; Al-Husseini et al., 2021).

تاکید شده است که در استفاده از این پساب برای آبیاری مزارع کشاورزی (غرقابی یا بارانی)، ساخت و ساز (مانند تولید بتن) و کارواش، به‌دلیل تماس با افراد و کارگران، ضروری است میزان BOD و COD، تخم انگل و کلیفرم پساب پس از استفاده از فرآیندهای تصفیه مناسب، اندازه‌گیری شود و به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار نگیرد (Elhegazy and Eid, 2020). در جدول ۱، مقادیر نمونه مهم‌ترین شاخص‌های کیفی پساب خاکستری مطابق مراجع آمده است. می‌توان مشاهده کرد که کیفیت پساب خاکستری تابع منبع تولید (استحمام، آشپزخانه یا لباس‌شویی) است که می‌تواند متاثر از مصرف شوینده‌ها و میزان مصرف آب باشد. به‌علاوه مولفه‌هایی مانند موقعیت جغرافیایی، سطح بهداشت، فرهنگ و رفاه اقتصادی نیز می‌تواند بر کیفیت پساب خاکستری موثر باشد (Al-Jayyousi, 2003; Albalawneh and Chang, 2015).

با توجه به میزان آلودگی پساب خاکستری مطابق جدول ۱، در تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط، روش‌های مختلفی برای تصفیه پساب خاکستری پیشنهاد شده است. از آن‌جایی‌که یکی از مشکلات بازچرخانی پساب خاکستری جداسازی آن از سایر فاضلاب‌ها در محل تولید و نیاز به احداث شبکه مجزا برای انتقال و تصفیه است، پیشنهاد شده است که تصفیه به‌صورت درجا و بازچرخانی پساب خاکستری به‌صورت غیرمتمرکز انجام شود. با توجه به قابلیت تصفیه و بازچرخانی درجای پساب خاکستری، استفاده از آن در منازل و شهرک‌های مسکونی، ادارات، رستوران‌ها، مجتمع‌های تفریحی و اقامتی (هتل‌ها و شهرهای بازی) برای افزایش پایداری در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است. به‌عنوان نمونه، برای تصفیه پساب خاکستری ادارات و منازل مسکونی در اسرائیل از روش‌های فیزیکوشیمیایی شناورسازی، ته‌نشینی و فیلترشنی استفاده شده و حذف آلاینده‌های TSS، BOD و COD به‌ترتیب ۹۲٪، ۶۵٪ و ۹۴٪ به‌دست آمده است (Friedler and Alfiya, 2010).

در اردن، سیستم متوالی بی‌هوازی–هوازی برای تصفیه پساب خاکستری استفاده شد که عملکرد بی‌هوازی در حذف COD ۴۰٪ و هوازی ۶۰٪ بوده است (Abu Ghunmi et al., 2011). هم‌چنین با روش RBC، غلظت BOD و TSS در پساب خاکستری به‌ترتیب

بین ۹۳-۹۶٪ و ۸۴-۹۵٪ کاهش یافته است (Abdel-Kader, 2013). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که برای تصفیه پساب خاکستری، انواع روش‌های کارآمد در دو دسته فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی وجود دارد. به‌طور کلی پیشنهاد شده است که برای کاهش آلودگی پساب خاکستری با ترکیبات متعارف از فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی (مانند انعقاد و فیلتراسیون) استفاده شده و درصورت وجود سورفاکتانت‌ها و ترکیبات آلی از فرآیندهای بیولوژیکی و حتی روش‌های اکسیداسیون پیشرفته استفاده شود (Kurniawan et al., 2021). در قالب بررسی‌های فنی-اقتصادی، هم‌چنین پیشنهاد شده است که از سیستم RBC برای تصفیه پساب خاکستری مجتمع‌های مسکونی کمتر از ۳۰ واحد (۷ طبقه) استفاده شود، در حالی‌که استفاده از MBR برای مجتمع‌های مسکونی بزرگتر (بیشتر از ۳۵ طبقه) توجیه اقتصادی خواهد داشت (Anuja et al., 2021).

جدول ۱- مقادیر نمونه کیفیت پساب خاکستری به تفکیک منبع تولیدی

ردیف	پارامتر کیفی	غلظت آلاینده‌ها به تفکیک منبع پساب خاکستری			مرجع
		شستشوی لباس	استحمام	آشپزخانه	
۱	TSS (mg/L)	۱۸۸-۳۱۵	۵۸-۷۸	۱۳۴-۶۲۵	Ghaitidak and Yadav (2013)
		۹۱	۷۴	۵۹	Kurniawan et al. (2021)
		۱۲۲	۷۰	۸۹	(Shamabadi et al. (2015)
۲	BOD_5 (mg/L)	۴۴-۴۶۲	۱۲۹-۱۷۳	۴۱-۸۹۰	Ghaitidak and Yadav (2013)
		۸۳۱	۲۶۳	۱۳۶۳	Kurniawan et al. (2021)
		۱۱۵	۱۲۹	۱۳۰	Shamabadi et al. (2015)
		۴۰۵	۲۷۳	۶۷۹	Delhiraja and Philip (2020)
۳	COD (mg/L)	۵۸-۱۳۳۹	۲۳۰-۳۶۷	۵۸-۱۳۴۰	Ghaitidak and Yadav (2013)
		۱۱۱۹	۳۹۰	۲۰۷۲	Kurniawan et al. (2021)
		۸۰۳	۵۴۴	۱۵۰۷	(Delhiraja and Philip (2020)
		۳۰۵	۲۹۱	۳۰۰	Shamabadi et al. (2015)

مجتمع‌های دانشگاهی و خوابگاه‌های دانشجویی یکی از مناطقی است که پتانسیل تصفیه درجا و بازچرخانی پساب خاکستری را دارد. در دانشگاه شارجه امارات و به‌منظور ارتقای پایداری، اقداماتی از جمله تفکیک پساب خاکستری مجتمع خوابگاه‌های دانشگاه و تصفیه آن به‌روش فیلتراسیون برای آبیاری فضای سبز انجام شده است (Siddique et al., 2021). این درحالی است که این دانشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب مجزا برای تصفیه پساب سیاه به‌روش بیولوژیکی نیز دارد. انعقاد و فیلتراسیون پساب خاکستری استحمام دانش‌آموزان در کشور غنا توانسته است غلظت TSS را تا۹۰٪ کاهش دهد (Kwabena Ntibrey et al., 2020).

در مقیاس آزمایشگاهی، فیلتر شنی و کربن فعال تا ۶۵٪ غلظت COD پساب خاکستری خوابگاهی در اتیوپی را کاهش داده (Tusiime et al., 2022) و در کشور مصر، سیستم بیوراکتور غشایی (MBR) آلاینده‌های TSS، COD و سورفاکتانت‌ها در پساب خاکستری مجموعه خوابگاه‌های دانشجویی را به‌ترتیب ۹۰٪، ۹۵٪ و ۸۰٪ حذف کرده است (Smith and Bani-Melhem, 2012). در ایران نیز با هدف بازچرخانی پساب خاکستری خوابگاه دانشجویی در آبادان، از روش انعقاد الکتریکی استفاده شد که غلظت COD طی یک دوره یک ساعته، تا ۸۵٪ کاهش یافت که این عملکرد با استفاده از روش تکمیلی اوزن‌زنی و اشعه فرابنفش به ۹۵٪ افزایش یافت (Barzegar et al., 2019).

مطالعات فوق نشان می‌دهد که مطالعات متعددی برای شناسایی عملکرد فناوری‌های مختلف تصفیه درجا پساب خاکستری، حتی در خوابگاه‌های دانشجویی، انجام شده است. در اکثر این پژوهش‌ها، حذف آلاینده‌ها بدون احتساب نوسانات کمی و کیفی پساب خاکستری و با متوسط‌گیری و بعضاً در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. یک نیاز اساسی بهره‌برداری مناسب از سیستم‌های تصفیه درجا و غیرمتمرکز، ضرورت سازگاری با نوسانات احتمالی کمی و کیفی پساب ورودی و منطبق با خصوصیات پساب خاکستری همان منطقه است. به‌عنوان نمونه، انتظار می‌رود خوابگاه‌های دانشجویی به‌عنوان محل زندگی موقت دانشجویان با فرهنگ‌های مختلف، سطح بهداشت نسبتاً بالا و قشر جوان و با توان مالی ناچیز، از پساب خاکستری با کمیت و کیفیت متفاوت از پساب خاکستری شهری برخوردار باشند. از آن‌جایی که پیش نیاز طراحی فرآیندی برای تصفیه پساب خاکستری، چگونگی استفاده از آن و غیره، مستلزم اطلاع کافی از کمیت و کیفیت آن است، لذا یکی از هدف‌گذاری‌ها در پژوهش‌های مرتبط

و خصوصا کشورهای کمتر توسعه‌یافته، می‌تواند بررسی کمی و کیفی پساب خاکستری باشد.

هدف این پژوهش بررسی کمی و کیفی پساب خاکستری تولیدی خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه اصفهان با جمعیتی در حدود ۴۴۰۰ نفر است. در این خصوص، ضمن بررسی مصرف آب غیر شرب، دبی پساب خاکستری تولیدی و نیز کیفیت آن ارزیابی شده و با مراجع معتبر و مرتبط، مورد مقایسه قرارگرفته است. آنالیز کمی به تفکیک محل استقرار دانشجویان آقا و خانم و طی روزهای هفته اطلاعات ارزشمندی از ویژگی‌های پساب خوابگاهی ارائه نموده که در ادامه به روش آنالیزها و نتایج حاصل اشاره شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی مطالعه موردی

مطالعه حاضر متمرکز بر آنالیز کمی و کیفی پساب خاکستری تولیدی خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه اصفهان است. در این تحقیق و با توجه به زیاد بودن تعداد خوابگاه‌ها و عدم امکان بررسی همه آن‌ها، یکی از خوابگاه‌های خواهران (نیک‌نژادی) و نیز یکی از خوابگاه‌های برادران (شهید رجائی) انتخاب و مورد بررسی قرارگرفت و سپس، نتایج برای سایر خوابگاه‌های دانشگاه تعمیم داده شد. خوابگاه شهید رجایی با ظرفیت ۳۸۰ نفر در دو فاصله زمانی (مهر و اردیبهشت) و نیز خوابگاه شهید نیک‌نژادی با ظرفیت ۲۰۰ نفر در دو فاصله‌ی زمانی (اردیبهشت و خرداد) از نظر کمی، میزان مصرف آب و تولید پساب خاکستری مورد ارزیابی قرارگرفتند. اطلاعات خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه اصفهان بعنوان محدوده‌ی مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است.

شایان ذکر است که در دانشگاه اصفهان، در حدود ۱۰۰ هکتار فضای سبز شامل درختان غیرمثمر و مثمر از جمله زیتون، توت، انجیر، انار، گردو، آلودچه و بادام وجود داشته که بخش مثمر، ۳۴٪ مساحت فضای سبز دانشگاه و ۲۱٪ نیاز آبی سالانه را در بر می‌گیرد. از طرفی، درختان سرو و کاج، درختچه‌های زینتی (مانند شمشاد)، چمن و گل نیز مابقی فضای سبز را شامل می‌شود. در این‌جا بیشترین میزان نیاز آبی سالانه متعلق به چمن است که ۷۲٪ نیاز آبی سالانه را شامل می‌شود.

جدول ۲- آمار ظرفیت خوابگاه‌های خواهران و برادران دانشگاه اصفهان به تفکیک

نام خوابگاه (خواهران)	تعداد دانشجو	نام خوابگاه (برادران)	تعداد دانشجو
نور	۲۸۸	شهید فهمیده	۳۸۴
کوثر	۶۸۲	سلیمان خاطر	۱۶۰
شهید علم‌الهدی	۹۶۰	شهید مفتح	۳۸۰
شهید نیک‌نژادی	۲۰۰	شهید رجایی	۳۸۰
همدانیان	۲۰۴	شهید تندگویان	۳۸۰
-	-	شهید باهنر	۳۸۴
جمع کل	۲۳۳۴	جمع کل	۱۶۸۴

۲-۲- روش و پارامترهای مورد مطالعه

برای بررسی میزان کمی آب مصرفی، کنتور ۱/۲ اینچ مدل SIMW در خطوط آب غیرشرب خوابگاه‌های پایلوت نصب شد و مقادیر مصرف آب غیرشرب و معادل آن یعنی تولید پساب خاکستری در بازه زمانی ۴ ساعته در هر شبانه‌روز در طول دوره مورد بررسی، برحسب لیتر ثبت شد. قابل ذکر این‌که دوره‌های زمانی موردنظر به‌نحوی انتخاب شد که روزهای تعطیل و غیرتعطیل در طول نیمسال‌های تحصیلی را شامل شود تا تغییرات مصرف آب و تولید پساب خاکستری تحت این شرایط قابل برآورد باشد. هم‌چنین، پایش مصرف و نمونه‌برداری طی دو هفته در مهرماه و آبان‌ماه سال ۱۳۹۳ و دو هفته در اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۴ انجام شد تا اثر نیمسال‌های اول و دوم و نیز شرایط فصلی در تحلیل لحاظ شده باشد.

در خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان، دو نوع لوله‌کشی شامل آب شرب و آب غیرشرب (بهداشتی) وجود دارد که نوع دوم برای مصارفی از جمله استحمام است که مستقیماً پساب خاکستری تولید می‌کند. در تحقیق حاضر، بررسی‌ها بر آب غیرشرب و پساب خاکستری تولیدی از آن متمرکز بوده است. شایان ذکر است، از آن‌جایی‌که پخت غذا در سلف مرکزی دانشگاه صورت می‌پذیرد، پخت و پز و در نتیجه پساب خاکستری تولیدی در آشپزخانه در خوابگاه‌های مورد بررسی به‌مقدار قابل‌توجه وجود ندارد. بنابراین، بیشترین میزان پساب خاکستری تولیدی در حمام تولید می‌شود که محلی برای شستشوی لباس نیز هست و برای آن، محلی جداگانه وجود ندارد. بنابراین، پساب خاکستری تولیدی از حمام‌ها

شامل دو بخش استحمام و شستشوی لباس است و در نتیجه پساب خاکستری مورد بررسی شامل فعالیت استحمام و شستشو لباس است و سایر موارد به علت ناچیز بودن یا عدم امکان جداسازی، مورد بررسی قرار نگرفته است.

شاخص‌های کیفی پساب خاکستری تولیدی نیز شامل COD محلول، BOD و TSS بوده که مطابق روش استاندارد نمونه‌برداری شده و در آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان مورد آزمون قرار گرفت (APHA, 2017). برای اندازه‌گیری پارامتر BOD از دستگاه انکوباتور (دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد) مطابق روش استاندارد 5210B، برای اندازه‌گیری TSS به‌روش استاندارد 2540D از ترازو (دقت یک میکروگرم) و آون استفاده شد. هم‌چنین برای اندازه‌گیری COD به‌صورت محلول، پس از عبور نمونه از کاغذ صافی مطابق روش استاندارد 5220D، از دستگاه CODmeter (با دقت ۱۰ میکروگرم) استفاده شد. برای نمونه‌برداری پساب خاکستری نیز از منهول خروجی مجموعه حمام‌های خوابگاه‌های شهید رجایی و نیک‌نژادی به‌صورت هفتگی از دو نقطه نمونه‌ها برداشت شد (در مجموع ۸ نمونه). به این منظور، حجم مناسب آزمایش در هر دوره زمانی برداشت و در دمای زیر ۴ درجه سلسیوس نگهداری می‌شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه مورد نظر منتقل شد.

۲-۳- روش تحلیل و مقایسه داده‌ها

در این پژوهش و برای محاسبه سرانه مصرف آب غیرشرب و تولید پساب خاکستری (GW) برحسب لیتر به ازای هر نفر در روز (LPCD) از رابطه (۱) استفاده شده است. در این رابطه، میزان آب مصرفی غیرشرب قرائت شده با کنتورها (Q) برحسب لیتر در روز به تعداد دانشجویان حاضر در خوابگاه طی همان روز (P) تقسیم شده است. بدین منظور، تعداد دانشجویان ساکن خوابگاه دختران براساس آمار ورود و خروج روزانه و پسران براساس برآورد مسئولین مربوطه در همان روز لحاظ شده است. در جدول ۳، تعداد دانشجویان دو خوابگاه نیک‌نژادی و رجائی برای دوره مطالعه نشان داده شده است. بنابراین، در محاسبه سرانه تولید پساب خاکستری و برخلاف مطالعات گذشته که از کل ظرفیت خوابگاه استفاده می‌شده، از تعداد افراد حاضر در خوابگاه استفاده شده تا برآورد دقیق‌تری از سرانه مصرف در اختیار قرار دهد. براساس ظرفیت‌ها و ارقام جدول ۳ و مقایسه با ارقام مشابه جدول ۲، می‌توان مشاهده کرد که ۴۵٪ ظرفیت خوابگاه دختران و ۷۴٪ ظرفیت خوابگاه پسران در دوره مطالعه تکمیل بوده است.

$$GW = \frac{Q}{P} \qquad (۱)$$

جدول ۳- متوسط دانشجویان ساکن در خوابگاه (نفر) در دوره نمونه‌برداری به تفکیک روزهای هفته

روز هفته	خوابگاه نیک‌نژادی (خواهران)	خوابگاه رجائی (برادران)
شنبه	۹۸	۲۷۰
یک‌شنبه	۱۰۶	۲۷۴
دوشنبه	۱۰۷	۲۷۹
سه شنبه	۹۰	۲۷۰
چهارشنبه	۷۸	۲۹۷
پنج شنبه	۷۳	۲۸۸
جمعه	۸۲	۳۰۱

برای محاسبه ضریب حداکثر روزانه و ساعتی تولید پساب خاکستری، به‌ترتیب از روابط (۲) و (۳) استفاده شده است. در این روابط، ضریب پیک روزانه (C_p) براساس حداکثر مصرف روزانه در طول هفته به ازای متوسط مصرف هفتگی (q) برآورد شده است. در این رابطه، i: معرف در هفته (شنبه تا جمعه) است. هم‌چنین ضریب پیک ساعتی (C_h) براساس حداکثر مصرف ساعتی در طول یک شبانه‌روز به ازای متوسط مصرف روزانه (q') برآورد شده است. در رابطه (۳)، j: معرف بازه‌های زمانی ۴ ساعته در طول شبانه‌روز است.

$$C_P = \frac{Max(Q_i)}{q} \qquad (۲)$$

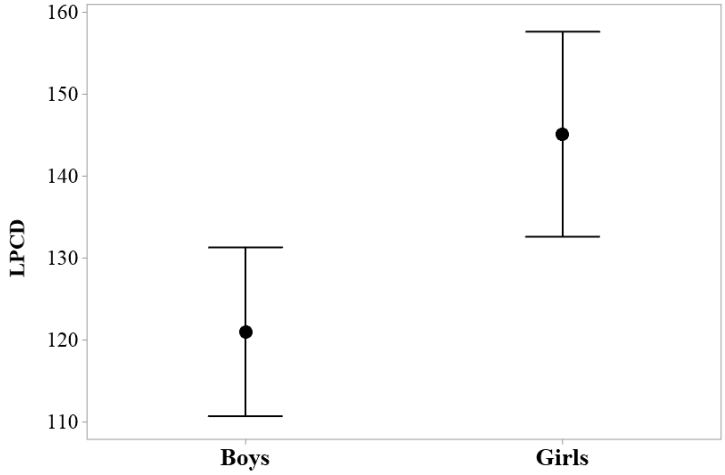
$$C_h = \frac{Max(Q_j)}{q'} \qquad (۳)$$

به‌منظور مقایسه آماری داده‌های گردآوری شده، از روش آنالیز مقایسه واریانس تک‌مسیره با استفاده از نرم‌افزار Minitab19 استفاده شد. مطابق تعریف، سطح ۹۵٪ معنی‌داری در شرایطی صدق می‌کند که شاخص P کمتر از ۰/۰۵ باشد.

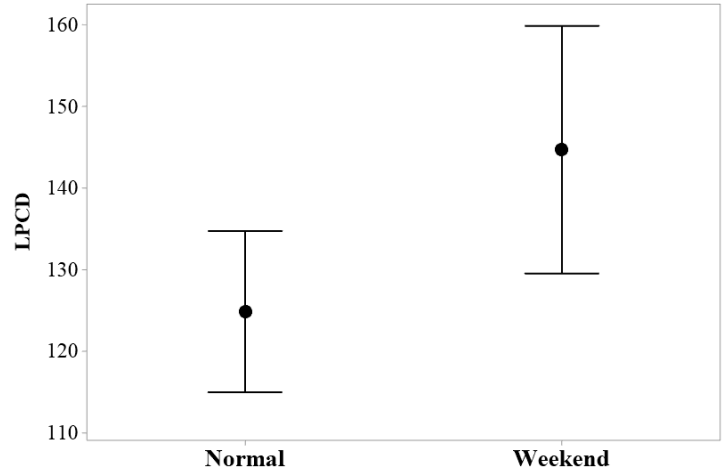
۳- نتایج

بررسی داده‌های برداشت شده کمی به تفکیک خوابگاه‌های دختران و پسران نشان می‌دهد که متوسط سرانه مصرف آب غیرشرب و تولید پساب خاکستری در خوابگاه‌های دختران برابر ۱۴۵ لیتر به ازای هرنفر در روز و خوابگاه پسران ۱۲۱ لیتر به ازای هر نفر در روز است. مطابق نتایج آنالیز مقایسه آماری تک مسیره مندرج در شکل ۱، می‌توان مشاهده نمود که اختلاف این مقادیر نیز در سطح ۹۵٪، معنی‌دار است ($P = 0.004$). به‌عبارتی، متوسط سرانه مصرف روزانه دختران در حدود ۲۰٪ بیشتر از پسران است.

مقایسه داده‌های مصرف آب و تولید پساب خاکستری به تفکیک روزهای هفته نشان می‌دهد که مصرف آب در روزهای آخر هفته (پنجشنبه و جمعه) به نسبت روزهای متعارف هفته (شنبه تا چهارشنبه)، به‌صورت قابل ملاحظه بیشتر است (P = 0.032). براساس بررسی‌های انجام شده، متوسط سرانه مصرف روزانه در روزهای تعطیل آخر هفته، ۱۴۵ لیتر به ازای هر نفر در روز و برای روزهای غیرتعطیل، ۱۲۵ لیتر به ازای هر نفر در روز بوده است. به‌عبارتی، مصرف آب طی آخر هفته در مجتمع‌های خوابگاهی دانشگاه، شامل خوابگاه دختران و پسران، به ازای هر نفر، ۱۶٪ بیشتر از روزهای عادی در طی هفته بوده است (شکل ۲).



شکل ۱- مقایسه سرانه تولید پساب خاکستری (لیتر به ازای هر نفر در روز) به تفکیک خوابگاه دختران و پسران

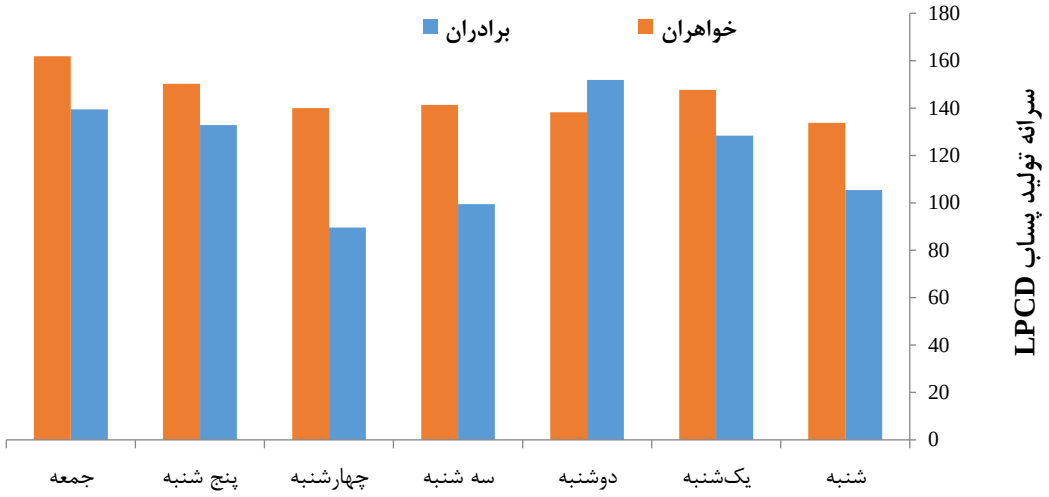


شکل ۲- مقایسه سرانه تولید پساب خاکستری (لیتر به ازای هر نفر در روز) در روزهای عادی و آخر هفته

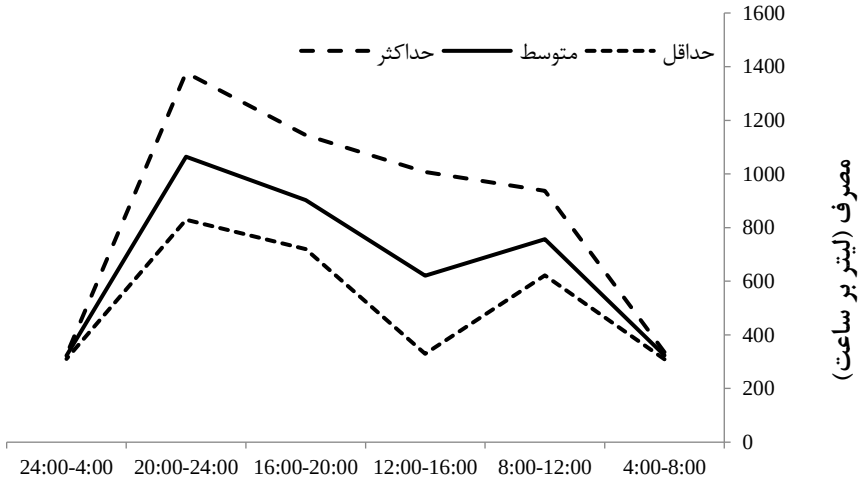
به‌منظور بررسی رفتار دانشجویان در استفاده از آب و در نتیجه تولید پساب خاکستری، متوسط سرانه مصرف روزانه به تفکیک روزهای هفته و به تفکیک خوابگاه پسران و دختران نیز مورد مقایسه قرارگرفت. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، رفتار مصرفی در خوابگاه دختران طی روزهای هفته نسبتاً ثابت و با انحراف معیار ۹ واحد است که در آخر هفته افزایش محسوسی پیدا می‌کند. به‌عبارتی، به‌نظر می‌رسد که دختران تقریباً روزانه استحمام می‌کنند و مصرف آب در آخر هفته به‌دلیل شستشوی لباس کمی افزایش می‌یابد، اما مصرف آب و تولید پساب خاکستری در خوابگاه پسران در روزهای دوشنبه و جمعه افزایش قابل‌ملاحظه‌ای دارد، به‌طوری‌که انحراف معیار داده‌ها در طول هفته به ۲۸ واحد می‌رسد. به‌عبارتی، می‌توان نتیجه گرفت که دانشجویان پسر به‌طور متوسط هفته‌ای دو بار استحمام می‌کنند و روزهای آخر هفته مجدد به‌دلیل شستشوی لباس (پنجشنبه و

جمعه) که ممکن است در طول هفته جمع شده باشد، افزایش محسوسی دارد. این رفتار بر ضرایب پیک روزانه مصرف آب و تولید پساب خاکستری موثر است. بر این اساس، به‌طور متوسط، ضریب پیک روزانه تولید پساب خاکستری در مجتمع خوابگاهی دانشگاه اصفهان ۱/۱۶ برآورد شده است که برای خوابگاه دختران ۱/۱ و برای پسران ۱/۳است.

در شکل ۴ و براساس داده‌های ساعتی قرائت شده از مصرف آب غیرشرب (دوره‌های ۴ ساعته) برای روزهای تعطیل و غیرتعطیل، می‌توان مشاهده کرد که حداکثر مصرف آب غیرشرب خوابگاه و تولید پساب خاکستری در بین ساعات ۸ تا ۱۲ شب اتفاق می‌افتد و مصرف در ساعات اولیه صبح به حداقل خودش می‌رسد. براین اساس، ضریب پیک ساعتی طی یک شبانه‌روز ۱/۲۵ برآورد شد.



شکل ۳- متوسط سرانه تولید پساب خاکستری طی روزهای هفته به تفکیک خوابگاه پسران و دختران

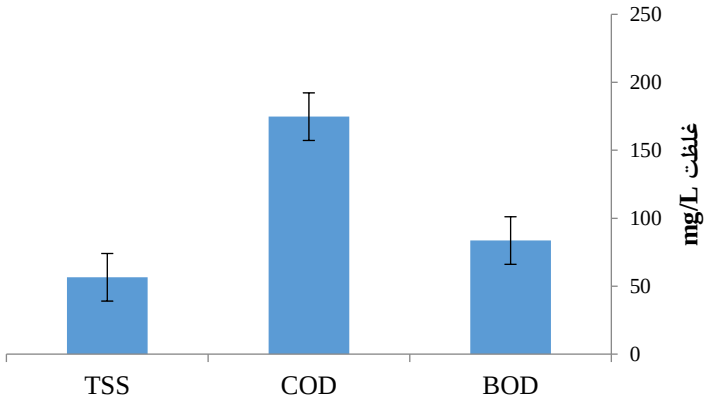


شکل ۴- نوسانات مصرف آب غیرشرب در خوابگاه طی یک شبانه‌روز

بنابراین، براساس جمیع داده‌های کمی، سرانه متوسط مصرف آب غیرشرب (استحمام و شستشوی لباس) و تولید پساب خاکستری در خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان ۱۳۷ لیتر به ازای هر نفر در روز در طول ترم تحصیلی برآورد شد. در صورتی‌که ۱۰ هفته تعطیلی خوابگاه (تابستان، بین ترم و ایام عید)، با ضریب اصلاحی ۰/۸۳ مدنظر قرار گیرد؛ متوسط سرانه تولید پساب خاکستری دانشجویان خوابگاه در طول سال، ۱۱۱ لیتر به ازای هرنفر در روز است. با احتساب ۴۴۰۰ نفر ظرفیت کل دانشجویان ساکن خوابگاه‌ها، سالانه حداکثر در حدود ۱۷۸ هزار مترمکعب پساب خاکستری در خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان تولید می‌شود

که می‌تواند برای تامین ۱۰ تا ۱۵٪ نیاز آبی سالانه فضای سبز دانشگاه مورد استفاده قرارگیرد. باید توجه داشت که رقم محاسباتی فوق صرفاً براساس ظرفیت کل (و نه ساکن) از مجتمع خوابگاهی دانشگاه بوده و سایر مراکز اداری و آموزشی و رستوران‌ها را هم شامل نمی‌شود.

در این پژوهش هم‌چنین کیفیت پساب خاکستری تولیدی در خوابگاه‌های دانشجویی مورد بررسی قرارگرفت. با توجه به نوسانات روزانه، متوسط غلظت BOD، COD و TSS پساب تولیدی برای دوره مطالعاتی به‌ترتیب ۶۵، ۱۴۲ و ۵۲ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شده است (شکل ۵). نسبت ۴۶٪ غلظت BOD به COD پساب خاکستری خام نشان از مقادیر کم ترکیبات آلی زود تجزیه‌پذیر در پساب خاکستری و به نسبت مقادیر بیشتر ترکیبات شیمیایی (مانند شوینده‌ها) آن است. بنابراین، استفاده از روش‌های تصفیه بیولوژیکی با زمان ماند کم (مانند لجن فعال متعارف) برای تصفیه درجای این پساب پیشنهاد نمی‌شود.



شکل ۵- متوسط غلظت آلاینده‌های پساب خاکستری در خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان

۴- بحث

میزان پساب خاکستری تولیدی ارتباط مستقیمی با شیوه زندگی، رفتار اجتماعی و فرهنگی و میزان آب در دسترس دارد. بطور کلی و مطابق تحقیقات گذشته بین ۱۸ کشور، سهم پساب خاکستری از کل فاضلاب تولیدی بین ۲۳٪ تا ۸۷٪ (به‌طور متوسط ۶۴٪) برآورد شده و سرانه تولید پساب خاکستری به ازای هر نفر بین ۳۵ تا ۱۱۷ لیتر در روز (به‌طور متوسط ۷۲ لیتر در روز) است. هم‌چنین، ضریب تبدیل آب مصرفی به پساب خاکستری نیز بین ۳۱٪ تا ۸۷٪ (متوسط ۶۰٪) تخمین زده شده است (Ghaitidak and Yadav, 2013). سرانه تولید پساب خاکستری برای کشورهای در حال توسعه، مانند یمن، اردن، سنگال به‌ترتیب ۳۵، ۵۹، ۶۰ لیتر به ازای هر نفر در روز، برای کشورهای هندوستان و آفریقای جنوبی ۷۹ و ۸۰ لیتر، برای انگلستان و اسرائیل ۹۶ و ۹۸ لیتر، برای استرالیا ۱۱۷ لیتر و برای کشورهای آمریکای شمالی (ایالات متحده و کانادا) تا ۱۹۶ لیتر در روز می‌رسد (Ghaitidak and Yadav, 2013). بنابراین، افزایش سطح رفاه جامعه، سطح اقتصادی و دسترسی به آب، عواملی است که می‌تواند باعث افزایش سرانه تولید پساب خاکستری شود که از دفعات استحمام، استفاده از وان و جکوزی، شستشوی بیشتر لباس، دفعات صرف غذا و انواع میان‌وعده و شستشوی ظروف ناشی می‌شود. در این خصوص، سهم استحمام ۴۷٪، شستشوی لباس ۲۶٪ و آشپزخانه ۲۷٪ از کل پساب خاکستری تولیدی است (Ghaitidak and Yadav, 2013). از طرفی، نمونه کشور یمن نشان می‌دهد که پساب خاکستری برای مناطق با کمبود آب و سطح بهداشت پایین می‌تواند تا ۲۰ تا ۳۰ لیتر در شبانه روز به ازای هر نفر نیز کاهش یابد که احتمالاً می‌تواند به‌عنوان حداقل سرانه تولید پساب خاکستری فرض شود (Albalawneh and Chang, 2015). به‌طور مشابه، در بررسی کمی و کیفی پساب خاکستری تولید شده از منازل مسکونی در کشور هند مشخص شد که میزان مصرف آب و تولید پساب به سطح رفاه و درآمد اقتصادی وابسته است. بر این اساس، سرانه مصرف آب بین ۷۷ تا ۱۴۹ لیتر به ازای هر نفر در روز و سرانه تولید پساب خاکستری (شامل مصارف شستشو لباس، استحمام و آشپزخانه) بین ۳۸ تا ۹۰ لیتر به ازای هر نفر در روز متغیر بوده است. لذا، ضریب تبدیل آب مصرفی به تولید پساب خاکستری در این کشور حدوداً بین ۵۰-۶۰٪ (متوسط ۵۴٪) است که ۳۶٪ به استحمام، ۱۲٪ به شستشوی لباس و ۶٪ به آشپزخانه اختصاص دارد (Delhiraja and Philip, 2020; Rakesh *et al.*, 2020).

سهم ۵۰٪ پساب خاکستری از آب مصرفی به‌طور مشابه در

اسرائیل نیز برآورد شده است (Anuja et al., 2021). بر این اساس، سرانه تولید پساب خاکستری خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان با رقم متوسط ۱۱۱ لیتر به ازای هر نفر در روز، علیرغم نبود هرگونه استخر و وان و جکوزی یا عدم لحاظ مصرف آب آشپزخانه، در محدوده نسبتاً مرفه قرار می‌گیرد که می‌تواند ناشی رفتار دانشجویان به‌دلیل اسکان موقت و عدم مالکیت آن‌ها باشد، زیرا دانشجویان مسئول پرداخت آب‌بها نیستند. در بررسی کمی میزان پساب خاکستری تولیدی از خوابگاه‌های دانشجویی در کشور لیتوانی، مشخص شد که فقط متوسط سرانه استحمام بین ۴۰ تا ۴۸ لیتر به ازای هر نفر در روز بوده است (Valentukeviciene and Rynkun, 2016). درصورتی‌که سرانه مربوط به شستشوی لباس هم به این سرانه اضافه شود آنگاه ممکن است ارقام به سرانه تولید پساب خاکستری در دانشگاه اصفهان نزدیک شود. به‌نظر می‌رسد که تولید پساب خاکستری دانشگاه بالا است و باید به‌روش‌های فنی و غیرفنی (مانند آموزش و فرهنگی) کاهش یابد. هم‌چنین، مشابه آن‌چه در پژوهش حاضر نتیجه شد، سرانه مصرف آب در روزهای هفته در دانشگاه لیتوانی متفاوت است، به‌طوری‌که بیشترین مصرف در روز دوشنبه (اول هفته) در حدود ۱۴۰ لیتر به ازای هر نفر در روز و کمترین آن روزهای چهارشنبه و پنجشنبه (وسط هفته) در حدود ۶۰ لیتر به ازای هر نفر در روز است و جمعه مصرف به ۱۲۰ لیتر به ازای هر نفر در روز می‌رسد (Valentukeviciene and Rynkun, 2016). درحالی‌که در دانشگاه اصفهان، متوسط مصرف آب غیرشرب و تولید پساب خاکستری در روز چهارشنبه حداقل ۹۰ لیتر به ازای هر نفر در روز و در جمعه به حداکثر خود (۱۲۰ لیتر بازای هر نفر در روز) می‌رسد. بنابراین، در قالب همین مقایسه می‌توان به‌طور ضمنی نتیجه گرفت تولید پساب خاکستری به‌صورت روزانه در خوابگاه دختران تا حدودی عامل اختلاف قابل ملاحظه پساب خاکستری تولیدی دو دانشگاه است.

هم‌چنین غلظت BOD و COD پساب خاکستری در دانشگاه ویلنیوس لیتوانی به‌ترتیب ۱۱۳ و ۱۸۴ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد (Valentukeviciene and Rynkun, 2016). نسبت این دو پارامتر (برابر ۶۱٪) در مقایسه با کیفیت پساب خاکستری تولیدی در دانشگاه اصفهان (نسبت ۴۶٪) حاکی از تجزیه‌پذیری بیولوژیکی بالاتر پساب دانشگاه لیتوانی است. این اختلاف به‌دلیل لحاظ پساب آشپزخانه در دانشگاه لیتوانی و عدم لحاظ آن در دانشگاه اصفهان است. در جدول ۴، غلظت‌های آنالیز شده پساب خاکستری دانشگاه اصفهان (پژوهش حاضر) با سایر دانشگاه‌ها و مجتمع‌های خوابگاهی در ایران و خارج کشور مقایسه شده است.

جدول ۴- غلظت آلاینده‌ها در پساب خاکستری مجتمع‌های دانشگاهی و خوابگاه‌ها

ردیف	محل دانشگاه	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	مرجع
۱	اردن	۹۶	۱۶۸	-	Al-Jayyousi (2003)
۲	ایالتی اوهایو آمریکا	-	-	۲۷۰۰-۵۰	Lu et al. (2022)
۳	لیتوانی	۱۱۳	۱۸۴	-	Valentukeviciene and Rynkun (2016)
۴	ترکیه	۶۷	۱۹۸	۱۳۹	Giresunlu and Beler Baykal (2016)
۵	چین	-	۲۹-۱۷	-	Diao (2020)
۶	اندونزی	۶۸-۳۷	۱۲۶-۸۶	-	Yulistyorini et al. (2019)
۷	نیشابور	۳۱۱	۴۶۷	۴۶۶	Gholipour and Stefanakis (2021)
۸	بیرجند	۲۱۰-۳۴	۵۲۹-۸۳	۶۸-۳۴	Kabiri, Akbarpour and Akbari (2021)
۹	دانشگاه اصفهان	۶۵	۱۴۲	۵۲	پژوهش حاضر

به‌طور مقایسه‌ای، میزان BOD و COD پساب خوابگاه‌های دانشگاه اصفهان در بازه نمونه‌های مشابه در ترکیه، اندونزی و اردن (کشورهای مسلمان) است. حتی در ترکیه پیشنهاد شده است تا ضمن جداسازی پساب خاکستری از فاضلاب خانگی، پساب زرد نیز که حاوی ترکیبات اوره است، جدا جمع‌آوری شود تا قابلیت استفاده به‌عنوان ماده مغذی خاک داشته باشد (Baykal, 2019). مقادیر بالاتر دانشگاه‌های نیشابور و بیرجند در مقایسه با مطالعه حاضر یا مطالعات مشابه در کشورهای مسلمان، می‌تواند به‌دلیل اختلاط پساب سیاه و فاضلاب رستوران‌های دانشگاه با پساب خاکستری خوابگاه‌ها باشد که باعث شده مقادیر آلاینده‌ها تا نمونه فاضلاب‌های شهری افزایش یابد. زیرا مطابق پژوهش Delhiraja and Philip (2020) متوسط BOD و COD پساب خاکستری برای شستشوی لباس ۴۰۵ و ۸۰۳ میلی‌گرم بر لیتر، برای استحمام ۲۷۳ و ۵۴۴ میلی‌گرم بر لیتر و برای آشپزخانه، ۶۷۹ و ۱۵۰۷ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شده است. بنابراین، استفاده از پساب خاکستری بدون تصفیه می‌تواند برای

فضای سبز غیرمثمر دانشگاه مطابق استانداردهای موجود مورد استفاده قرارگیرد، اما درصورت تصفیه و بهره‌برداری مناسب، برای آبیاری درختان مثمر نیز قابل استفاده خواهد بود.

در مطالعه جامع ارزیابی رفتار محیط‌زیستی دانشجویان ساکن مجتمع‌های خوابگاهی، مشخص شد قصد و نیت دانشجویان، معادل مفهوم نگرش محیط‌زیستی (Jamshidi and Dehghani, 2021)، تعیین‌کننده رفتار محیط‌زیستی دانشجویان خواهد بود (Du and Pan, 2021). بنابراین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور ارتقای سطح پایداری در مجتمع‌های دانشگاهی و خوابگاهی، علاوه‌بر اقدامات فنی مانند بازچرخانی پساب خاکستری، فعالیت‌های فرهنگی-آموزشی نیز برای ارتقای سطح سواد محیط‌زیستی دانشجویان صورت پذیرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان مصرف آب غیرشرب و تولید پساب خاکستری براساس مصارف استحمام و شستشوی لباس در خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه اصفهان مورد بررسی قرارگرفت. براساس نتایج این بررسی‌ها، این امکان فراهم شد تا سرانه تولید پساب خاکستری هر دانشجو به تفکیک جنسیت مشخص شده و تغییرات تولید پساب در طول شبانه‌روز و طی روزهای هفته (ایام تعطیل و غیرتعطیل) تعیین شود. بر این اساس، اولاً مشخص شد که سرانه تولید پساب خاکستری دانشجویان دختر نسبت به پسر بیشتر است و سرانه تولید این پساب نیز در ایام آخر بیشتر از ایام غیرتعطیل است. هم‌چنین، متوسط سرانه تولید پساب خاکستری دانشجویان در محدوده مورد مطالعه به نسبت سرانه تولید پساب خاکستری در شهرهای دیگر کشورها نسبتاً بالا است و تقریباً معادل کشورهای مرفه است که می‌تواند به‌دلیل عدم تملک یا پرداخت آب‌بها توسط دانشجویان باشد. با این وجود، بازچرخانی پساب خاکستری پس از یک تصفیه مناسب می‌تواند بخشی از نیاز آبی فضای سبز دانشگاه را تامین نماید. به‌علاوه، آنالیز کیفی پساب خاکستری نشان‌داد که این پساب نسبتاً آلودگی زود تجزیه‌پذیر و ذرات معلق کمی در مقایسه با نمونه‌های مشابه دارد که می‌تواند به‌دلیل منشا تولید این پساب، رقیق‌بودن آلاینده‌ها در مقایسه با حجم پساب تولیدی و استفاده از انواع شوینده‌ها و عدم اختلاط با پساب آشپزخانه باشد. بنابراین، تصفیه پساب صرفاً مبتنی بر فرآیندهای بیولوژیکی با زمان ماند کم نمی‌تواند ترکیبات دیرتجزیه‌پذیر محلول را به‌خوبی تصفیه نماید. لذا، برای کنترل نوسانات جریان ورودی و کاهش آلودگی، استفاده از سیستم‌های متعادل‌سازی و شناورسازی، انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون پیشرفته به‌همراه تصفیه بیولوژیکی مبتنی بر رشد چسبیده پیشنهاد می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Light grey
2- Dark grey

۷- مراجع

Abdel-Kader, A.M., (2013), "Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system", *Journal of King Saud University, Engineering Sciences*, 25(2), 89-95, https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.05.003.

Abu Ghunmi, L., Zeeman, G., Fayyad, M., and van Lier, J.B., (2011), "Grey water biodegradability", *Biodegradation*, 22(1), 163–174, https://doi.org/10.1007/s10532-010-9385-5.

Al-Husseini, T.H., Al-Anbari, R.H., and Al-Obaidy, A.H.M.J., (2021), "Greywater environmental management: A review", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1), 1-11, https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012100.

Al-Jayyousi, O.R., (2003), "Greywater reuse: Towards sustainable water management", *Desalination*, 156(1-3), 181-192, https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0.

Albalawneh, A., and Chang, T.-K., (2015), "Review of the greywater and proposed greywater recycling scheme for agricultural irrigation reuses", *International Journal of Research, GRANTHAALAYAH*, 3(12), 6-35, https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v3.i12.2015.2882.

Anuja, J., Darshan, B., Saraswathi, G., and Meyyappan, N., (2021), "Study on reuse of grey water, A review", *Journal of Physics: Conference Series*, 1979(1), 1-7, https://doi.org/10.1088/1742-6596/1979/1/012004.

APHA, (2017), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 23rd Edition, Washington D.C., U.S.A: Water Environment Federation (WEF), American Public Health Association (APHA), American Water Work Association (AWWA).

Barzegar, G., Wu, J., and Ghanbari, F., (2019), "Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of process parameters", *Process Safety and Environmental Protection*, 121(January), 125-132, https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.10.013.

Baykal, B.B., (2019), "Recycling/reusing grey water and yellow water (Human urine): Motivations, perspectives and reflections into the future", *Desalination and Water Treatment*, 172(October

senior high schools in Ghana", *Heliyon*, 6(8), e04627, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627.

Lu, E., Ai, Y., Davis, A., Straathof, J., Halloran, K., Hull, N., Winston, R., Weir, M.H., Soller, J., Bohrerova, Z., Oglesbee, M., and Lee, J., (2022), "Wastewater surveillance of SARS-CoV-2 in dormitories as a part of comprehensive university campus COVID-19 monitoring", *Environmental Research*, 212(PE), 113580, https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113580.

Nagarkar, M., Keely, S.P., Brinkman, N.E., and Garland, J.L., (2021), "Human- and infrastructure-associated bacteria in greywater", *Journal of Applied Microbiology*, 131(5), 2178-2192, https://doi.org/10.1111/jam.15118.

Rakesh, S., Ramesh, D.P., Murugaragavan, D.R., Avudainayagam, D.S., and Karthikeyan, D.S., (2020), "Characterization and treatment of grey water: A review", *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 34-40, https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1a.8316.

Shamabadi, N., Bakhtiari, H., Kochakian, N., and Farahani, M., (2015), "The investigation and designing of an onsite grey water treatment systems at Hazrat-e-Masoumeh university, Qom, Iran", *Energy Procedia*, 74(August), 1337-1346, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.780.

Siddique, M., Semerjian, L., Bettayeb, M.A., Al-Sadoon, Z., Al Jaberi, B.H., Eltarabishi, F., and AlSane, S.I., (2021), "Water conservation and management practices at the university of Sharjah to achieve sustainability excellence", *Journal of Sustainability Perspectives*, 1(2), 86-93, https://doi.org/10.14710/jsp.2021.11746.

Smith, E., and Bani-Melhem, K., (2012), "Grey water characterization and treatment for reuse in an arid environment", *Water Science and Technology*, 66(1), 72-78, https://doi.org/10.2166/wst.2012.167.

Tusiime, A., Solihu, H., Sekasi, J., and Mutanda, H.E., (2022), "Performance of lab-scale filtration system for grey water treatment and reuse", *Environmental Challenges*, 9(August), 100641, https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100641.

Valentukeviciene, M., and Rynkun, G., (2016), "Water reuse possibilities at students dormitories", *Annual Set The Environment Protection*, *18*(August), 920-929.

Yulistyorini, A., Puspasari, A.K., Mujiyono, and Sari, A.A., (2019), "Removal of BOD and TSS of student dormitory greywater using vertical sub-surface flow constructed wetland of ipomoea aquatica', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 515(1), 1-6, https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012056.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

2018), 212-223, https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24667.

Delhiraja, K., and Philip, L., (2020), "Characterization of segregated greywater from Indian households: Part A: Physico-chemical and microbial parameters", *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(7), 428, https://doi.org/10.1007/s10661-020-08369-0.

Diao, L., (2020), "Application of MBR technology in schoolyard Ddomestic sewage treatment', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 526(1), 1-7, https://doi.org/10.1088/1755-1315/526/1/012002.

Du, J., and Pan, W., (2021), "Examining energy saving behaviors in student dormitories using an expanded theory of planned behavior", *Habitat International*, 107(September 2020), 102308, https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102308.

Elhegazy, H., and Eid, M.M.M., (2020), "A state-of-the-art-review on grey water management: A survey from 2000 to 2020s", *Water Science and Technology*, 82(12), 2786-2797, https://doi.org/10.2166/wst.2020.549.

Friedler, E., and Alfiya, Y., (2010), "Physicochemical treatment of office and public buildings greywater", *Water Science and Technology*, 62(10), 2357-2363, https://doi.org/10.2166/wst.2010.499.

Ghaitidak, D.M., and Yadav, K.D., (2013), "Characteristics and treatment of greywater-a review", *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795-2809, https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0.

Gholipour, A., and Stefanakis, A.I., (2021), "A full-scale anaerobic baffled reactor and hybrid constructed wetland for university dormitory wastewater treatment and reuse in an arid and warm climate", *Ecological Engineering*, 170(July), 106360, https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106360.

Giresunlu, E., and Beler Baykal, B., (2016), "A case study of the conversion of grey water to a flush water source in a Turkish student residence hall", *Water Supply*, 16(6), 1659-1667, https://doi.org/10.2166/ws.2016.078.

Jamshidi, S., and Dehghani, H., (2021), "Water literacy evaluation in urban society (Case study: Isfahan City)", *Journal of Environmental Studies*, 46(4), 684-702.

Kabiri, M., Akbarpour, A., and Akbari, M., (2021), "Evaluation of the efficiency of a gray water treatment system based on aeration and filtration", *Water Reuse*, 11(3), 361-372, https://doi.org/10.2166/wrd.2021.084.

Kurniawan, S., Yuliwati, E., Ariyanto, E., Morsin, M., Sanudin, R., and Nafisah, S., (2021), "Greywater treatment technologies for aquaculture safety: Review', *Journal of King Saud University, Engineering Sciences*, 35(5), 327-334, https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.03.014.

Kwabena Ntibrey, R.A., Kuranchie, F.A., and Gyasi, S.F., (2020), "Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public