علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره دوازدهم، اسفند ماه ۹۸

بررسی ویژگی‌های آب خاکستری و روش‌های بازیابی آن

مسعود رضائی[1*]

masrezaee@ut.ac.ir

محمدحسین صراف‌زاده[2]

تاریخ دریافت:۹۴/۱۱/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۰۳**

چکیده

زمینه و هدف: آب خاکستری به فاضلاب تولیدی خانگی از روشویی، حمام، ماشین لباس‌شویی و آشپزخانه‌ها اطلاق می‌گردد که در مبدأ از فاضلاب دست‌شویی و توالت تفکیک شده باشد. در یک طبقه‌بندی می‌توان فاضلاب ناشی از حمام و روشویی‌ها را آب خاکستری روشن و فاضلاب ناشی از آشپزخانه و ماشین لباسشویی‌ها را آب خاکستری تیره نام نهاد. طی سالیان اخیر مطالعات گسترده‌ای بر روی سیستم‌های تصفیه آب خاکستری صورت پذیرفته است.

روش بررسی: در این مطالعه سعی گردیده با استفاده از مطالعات قبلی، کیفیت آب خاکستری مورد بررسی قرار گیرد، سپس نگاهی به استانداردهای بازگردانی آب جهت مصارف مختلف شده است و در پایان مروری بر فرآیندهای نوین تصفیه آب خاکستری و مزایا و محدودیت-هایشان گردیده است.

یافته‌ها و نتایج: براساس این بررسی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کیفیت آب خاکستری تولیدی بسیار متغیر و کاملاً وابسته به منبع تولید می‌باشد. تصفیه‌های فیزیکی، راندمان حذف محدودی بر روی آب خاکستری دارند، لذا غالباً برای آب خاکستری روشن توصیه می‌شوند. روش-های تصفیه شیمیایی، توانایی حذف مواد جامد معلق، پاتوژن‌ها و سورفکتانت‌ها را دارند، لکن در حذف کامل BOD ناتوان هستند. تصفیه‌های زیستی راندمان مطلوبی برای تصفیه آب خاکستری دارند، اما عدم تعادل مواد مغذی به عنوان یک عامل محدودکننده در این سیستم‌ها وجود خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع ترکیب فرایندهای زیستی هوازی و پیش‌تصفیه فیزیکی و ضدعفونی به عنوان اقتصادی‌ترین راه جهت تصفیه آب خاکستری با بار آلودگی بالا توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آب خاکستری، استاندارد، بازیافت آب، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ویژگی‌های میکروبیولوژی

۱-دانش‌جوی دکتری مهندسی محیط زیست، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشگاه تهران. (مسئول مکاتبات)

۲-رئیس کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.12, February, 2020

A Review of Greywater Characteristics and Treatment Methods

Masood Rezaee[1]*

masrezaee@ut.ac.ir

Mohammad Hossein Sarrafzadeh[2]

Accepted: 2016.05.23 Received: 2016.01.14

Abstract

Introduction: Greywater (GW) is defined as wastewater from kitchen, bath and laundry excluding streams from toilets. GW can be classified as either low-load GW (excluding kitchen and laundry) or high-load GW (including kitchen and/or laundry). In recent years many studies have been carried out on GW treatment.

Method: This review provides information on the GW characteristics, existing guidelines for wastewater reuse and the present state of art in GW treatment as well as their advantages and limitations.

Result: This article revealed that GW quality is highly variable and dependent on the source of production. Physical processes have been shown to achieve only a limited treatment of the GW, therefore the use of these methods alone is recommended in the low strength GW. The chemical treatments were reported to provide good removal of the suspended solids, pathogens and surfactants in the low strength grey water but could not efficiently remove the BOD. Biological processes achieved good general treatment of GW, but the nutrient imbalance of GW limits the performance of these systems.

Conclusion: However, the combination of aerobic biological process with physical pretreatment and disinfection is recommended in the high strength GW as the most economical solution.

Keywords: Grey water, Microbiological Characteristics, Physicochemical Characteristics, Standard, Water Reuse

مقدمه

آب خاکستری معمولاً به فاضلاب تولیدی از روشویی، حمام، ماشین لباس‌شویی و آشپزخانه‌ها اطلاق می‌گردد که در مبدأ از فاضلاب دست‌شویی و توالت تفکیک شده‌باشد، هرچند در بعضی از مطالعات پساب تولیدی آشپزخانه‌ها به‌واسطه بار آلی بالا در دسته‌بندی آب خاکستری قرار نگرفته است. آب خاکستری براساس نوع استفاده در کشورهای گوناگون ۳۰٪ تا ۸۰٪ فاضلاب تولیدی را شامل می‌شود. امروزه به واسطه بارمیکروبی پایین آب خاکستری، تصفیه و بازیافت آن در جهان مخصوصاً در کشورهایی که با بحران آبی روبه‌رو می‌باشند، مورد توجه جدی قرار گرفته است. بازیافت آب خاکستری علاوه بر ایجاد یک منبع جایگزین برای مصارفی نظیر فلاش‌تانک‌ها و آبیاری موجب کاهش بار ورودی به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و کاهش هزینه‌های انتقال می‌گردد. تا سال ۲۰۰۵ بیش از ۳۰۰۰ پروژه بازیافت آب در جهان در حال بررسی بود که اکثر این پروژه‌ها در ژاپن (۱۸۰۰ پروژه)، آمریکا (۴۵۰ پروژه) و استرالیا (۳۰۰) صورت پذیرفت. طی یک بررسی نشان داده شد، در صورت اجرای طرح‌های بازگردانی آب بین ۱ تا ۱۷٪ در مصرف آب تازه در کشورهای عضو اتحادیه اروپا صرفه‌جویی رخ خواهد داد[۱]. جدول (۱) کاربردهای مختلف آب بازگردانی‌شده را براساس دسته‌بندی‌های مختلف نشان داده‌است.

جدول ۱- کاربردهای مختلف آب بازیافتی در جهان [۱]

Table 1- Different applications of recycled water in the world

کاربرد	موارد استفاده
شهری	شست‌وشوی معابر، آبیاری پارک‌ها، شست‌وشوی ماشین‌ها، آبیاری باغچه‌های منازل، شیرهای آتش‌نشانی، فلاش تانک‌ها، تهویه هوا
کشاورزی	محصولات غذایی، تولید علوفه، گل‌خانه‌ها، آب‌زی پروری
صنعتی	برج‌های خنک کننده، تولید بتن، متراکم نمودن خاک، کنترل گرد و غبار
تفریحی	آبیاری زمین گلف، آبگیر تفریحی با یا بدون دسترسی مردم (ماهیگیری، قایقسواری، . . .)
محیط زیستی	تغذیه آب‌خوان، زیست‌گاه های حیات وحش، جنگل‌کاری
شرب	تصفیه برای شرب، تغذیه آب‌خوان برای شرب

ویژگی‌های کیفی آب خاکستری

ویژگی‌های کیفی آب خاکستری کاملاً وابسته به پارامترهای متعددی نظیر تعداد ساکنین، توزیع سنی ساکنین، سبک زندگی، رفتارهای فرهنگی-اجتماعی، الگوی مصرف آب، نوع و مقدار مصرف مواد شیمیایی (نظیر شامپو، خمیردندان و . . .) می‌باشد. قیتیداک و یاداف (۲۰۱۳) با بررسی آب خاکستری در کشورهای مختلف نتیجه‌گیری نمودند که کشورهای کم‌درآمد درمقایسه با کشورهای با درآمد بالا دارای آب خاکستری با بار آلودگی بالاتری هستند[۲]، به‌گونه‌ای که متوسط COD در زاغه‌های شهرها بیش

از g/l ۲ خواهد بود که می‌توان آن را به تولید حجم کم‌تر آب خاکستری دراین مناطق مرتبط دانست[۳]. پساب حمام حاوی شامپو، صابون و چربی‌های پوست و مو می‌باشد، پساب ماشین لباس‌شویی دارای قلیاییت، کدورت و دمای بالا و حاوی غلظت بالای مواد شیمیایی (مانند سدیم، فسفر، نیتروژن و سورفکتانت-ها)، فیبرهای غیرتجزیه‌پذیر پوشاک، حلال‌ها، سفیدکننده‌ها و مواد روغنی است. هم‌چنین پساب سینک آشپزخانه و ماشین‌های ظرف‌شویی غالباً دارای بارآلی بالا و حاوی ذرات مواد غذایی، مواد روغنی، چربی و دترجنت‌هاست[۲]. از طرفی مطالعات نشان می-دهد حتی در یک منبع مشخص (مانند حمام) نیز ویژگی‌های کیفی نظیر BOD در نمونه‌های متعدد، تغییرات وسیعی را مشخص می‌کند. این تغییرات تا حدی است که دربرخی نمونه‌ها BOD آب خاکستری خروجی کاملاً مشابه یک فاضلاب شهری بسیار آلوده و در برخی نمونه‌های دیگر شبیه خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشد[۴]. در یک طبقه‌بندی فاضلاب ناشی از حمام و روشویی‌ها آب خاکستری روشن و فاضلاب ناشی از آشپزخانه و ماشین لباسشویی‌ها آب خاکستری تیره نام گرفته است[۵]. معمولاً آب خاکستری تیره به واسطه وجود دترجنت‌ها دارای قلیاییت بالاتری در مقایسه با آب خاکستری روشن می‌باشد. آب خاکستری تولیدی در سینک آشپزخانه معمولاً دارای مواد آلی تجزیه‌پذیر بالایی است، لذا BOD را بالا خواهد برد. این درحالیست که معمولاً COD بالا به وجود دترجنت‌ها در آب خاکستری ماشین‌لباسشویی‌ها نسبت داده می‌شود. مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) در آب خاکستری روشن در مقایسه با فاضلاب توالت‌ها بسیار کم‌تر است، لکن در آب خاکستری ماشین لباس-شوییها به علت وجود دترجنت‌ها مواد مغذی (فسفر) بیش‌تری وجود دارد[۶]. جدول (۲) خواص فیزیکوشیمیایی آب خاکستری براساس منبع تولید را نشان می‌دهد. آلودگی میکروبی آب خاکستری امری متداول است، لذا احتمال انتقال پاتوژن‌ها به آب خاکستری وجود دارد، تغییرات ویژگی‌های میکروبی در آب خاکستری بسیار وسیع است، این مقدار بین صفر تا ۸ log10 CFU/100 ml در نمونه‌های مختلف متغیر می‌باشد (جدول ۳).

استاندارد بازیافت آب خاکستری

یکی از محدودیت‌های اصلی بازیافت آب خاکستری، نبود استاندارد مشخص بین المللی در این زمینه است. در واقع میزان تماس انسان و ارتباط آن با آب بازیافتی تعیین کننده استانداردهای لازم خواهد بود. این تماس می‌تواند به طور تماس مستقیم یا از طریق مصرف میوه‌ها و سبزیجات آبیاری شده با آب خاکستری باشد. جدول (۴) استاندارد بازیافت آب خاکستری را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد، همان‌طور که در جدول نشان داده شده‌است، آب بازیافتی می‌تواند در مصارف گوناگون (فلاش تانک، آبیاری و . . .) به کار رود و لذا نیازمند استانداردهای مجزا در هرنوع مصرف می‌باشد. استانداردها و راهنماهای محدودی جهت آب بازیافتی در کشورهای مختلف ارایه شده است، که بعضاً دارای تفاوت‌های زیادی هستند؛ هم‌چنین قوانین کمی در این زمینه وجود دارد. سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال ۲۰۰۶ راهنمای بازگردانی آب خاکستری جهت استفاده در آبیاری کشاورزی در دو نوع بدون دسترسی انسانی و با دسترسی انسانی را ارایه نمود. این راهنما صرفاً به پارامترهای میکروبی توجه نموده بود و الزام خاص فیزیکوشیمیایی را در نظر نگرفته بود. این راهنما برای آبیاری بدون دسترسی انسانی تخم کرم روده‌ای را در هر لیتر کمتر از یک عدد و برای اشرشیاکلی[1] تعداد 10^5 در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر را الزام نموده بود. هم‌چنین جهت آبیاری با دسترسی انسانی برای اشرشیاکلی تعداد 10^3 در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر را الزام نموده بود [۷].

1- Escherichia coli

جدول۲- خواص فیزیکوشیمیایی آب خاکستری در منابع تولید مختلف [۲]

Table 2- Physicochemical characteristics of grey water at different sources

پارامتر	روشویی	دوش حمام	ماشین لباس‌شویی	سینک آشپزخانه	ماشین ظرفشویی
pH	۷/۳ – ۷	۷/۶ – ۷/۱	۹/۳ – ۸/۳	۷/۷ – ۶/۵	۸/۳ – ۸/۲
Conductivity (µs/cm)	–	۱/۴-۸۹	۹۷ - ۱/۴	۹۰/۶۱	–
Turbidity (NTU)	۱۶۴	۸۵-۳۷۵	۴۴۴-۳۲۸	۲۱۱-۱۳۳	–
BOD (mg/l)	۲۰۵-۱۵۵	۱۷۳-۱۲۹	۴۶۲-۴۴/۳	۸۹۰-۴۰/۸	۴۴۵۰-۴۷۰
COD (mg/l)	۵۸۷-۳۸۶	۳۶۷-۲۳۰	۵۸-۱۳۳۹	۵۸-۱۳۴۰	۱۲۹۶
TSS (mg/l)	۱۵۳-۲۵۹	۸۹-۳۵۳	۱۸۸-۳۱۵	۱۳۴-۶۲۵	۵۲۵
TDS (mg/l)	–	۲۷۹-۵۶۵	۲۱۴۰-۲۴۴۴	۳۱۲-۹۰۳	–
O&G (mg/l)	۱۳۵	۷۷	۱۸۱	۲۳۲	۳۲۸
Mg (mg/l)	–	۲۳-۵۶/۱	۱۵/۱-۶۰/۸	۱۶/۶-۲۱	–
Ni (mg/l)	–	۰/۰۳۵	۰/۳۵۲-۰/۱۲	۰/۳۵۲-۰/۰۴	–
Pb (mg/l)	–	۰/۱۰۳۶	۰/۰۸۲۹	۰/۰۶۲۲	–
Na (mg/l)	۱۳۱	۱۰۹-۱۸۴	۳۰۲-۶۶۷	۷۰-۱۴۸/۹	۶۴۱
Zn (mg/l)	–	۲/۴	۰/۱۴	۰/۰۴	–
TN (mg/l)	۱۰/۴	۸/۷-۱۰/۹۲	۱۴/۲۸	۶/۴۴	۰/۰۰۷-۵/۹۴
TP (mg/l)	–	۱/۱۲	۵۱/۵۸	۰/۶۹	–
(mg/l) B	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۴	۰/۰۲	۳/۸
As (mg/l)	–	۰/۰۳	–	۰/۰۱۵	–
Cu (mg/l)	–	۰/۰۱-۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۶۴-۰/۰۱	–	–
MBAS[۲] (mg/l)	۳/۳	۱۴/۹-۶۱	۴۲-۱۱۸/۳	۴۱/۹-۵۹	۱۱/۱
Chlorides (mg/l)	۲۳۷	۱۴۷-۲۸۴	۲۰۵-۴۵۰	۱۵۸-۲۲۳	۷۱۶

2- Methylene blue active substance

جدول ۳- خواص میکروبیولوژیکی آب خاکستری

Table 3- Microbiological characteristics of grey water

منبع تولید کننده	TC (log_{10}/100 ml)	FC (log_{10}/100 ml)	Enterococc (log_{10}/100 ml)	E. coli (log_{10}/100 ml)	مرجع
ماشین لباس‌شویی	۳/۴ – ۵/۵	-	۱/۴ – ۳/۴	-	[۸]
سینک آشپزخانه			۷/۷	۷/۴	[۹]
آب خاکستری	۷/۹		۲/۴	-	[۱۰]
آب خاکستری	۳/۴ – ۶/۴	۰ - ۶/۴	۴/۳	-	[۱۱]
حمام	۳/۸ – ۵/۵	-	-	۲ - ۳/۵	[۱۲]
آب خاکستری	۵/۵	-	۲/۸	۲/۸	[۱۳]

سیستم‌های تصفیه

سیستم‌های تصفیه براساس روش حذف آلودگی به شیوه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی تقسیم می‌گردد. معمولاً این روش‌ها با یک فرآیند پیش‌تصفیه برای جداسازی جامدات از محلول و یک فرآیند نهایی ضدعفونی همراه خواهند بود. برای کاهش انسداد در تصفیه (مخصوصاً تصفیه همراه با فیلتراسیون) پیش‌تصفیه‌هایی مانند سپتیک تانک‌ها، کیسه‌های فیلتر یا سرندها به‌کار می‌روند. انسداد در فرآیندهای فیلتراسیون معمولاً ناشی از مواد جامد معلق، مواد نفتی و روغنی و رشد بیوفیلم‌هاست.

بازیافت بدون تصفیه

بازیافت آب خاکستری بدون تصفیه یک روش معمول می‌باشد، آب حمام قرن‌ها برای آبیاری به کار می‌رفته است. تنوع و مقدار مواد مغذی موجود در آب خاکستری بسته به نوع گیاه می‌تواند مناسب یا نامناسب باشد. استفاده از آب خاکستری اثری منفی بر گوجه وچمن شهری ندارد و حتی به علت مواد مغذی بالا می‌تواند موجب سرعت رشد هویج و چغندر گردد. لکن مطالعات طولانی-مدت و اثرات برسلامت انسان بررسی نگردیده‌است[۱۴]. به هرصورت تصفیه آب خاکستری معمولاً پیش از استفاده توصیه می‌گردد. درواقع وجود پاتوژن‌ها در آب خاکستری تبخیر و رهاسازی آن‌ها به محیط حین آبیاری یا در فلاش تانک‌ها را به همراه خواهد داشت. از طرفی آبیاری طولانی مدت با آب خاکستری تصفیه نشده موجب افزایش شوری خاک و آلودگی خاک و آب زیرزمینی به مواد روغنی، بور و سورفکتانت‌ها می-گردد[۶]. پژوهش‌های قبلی روش‌های متعددی را جهت تصفیه و بازیافت آب خاکستری ارایه نموده اند که از حیث کارایی و پیچیدگی دارای تفاوت‌هایی می‌باشد.

ذخیره سازی

نگه‌داری آب خاکستری از لحاظ بهداشتی و زیبایی نامطلوب است. درواقع باذخیره آب خاکستری، مواد آلی درون آب وارد فاز تخریب بی‌هوازی می‌گردند و مواد ته‌نشین شده نیز COD محلول خود را رها می‌کنند که موجب تولید بوی نامطبوع می‌گردد. هم‌چنین این تانک‌ها محیط مناسبی برای رشد مگس‌ها می‌گردند. نگه‌داری آب به مدت ۴۸ ساعت موجب افزایش شدید کلی‌فرم‌های مدفوعی و کاهش چشم‌گیر اکسیژن محلول می‌گردد، این در حالیست که نگه‌داری آب خاکستری برای ۲۴ ساعت به خاطر ته‌نشینی مواد آلی موجب بهبود کیفیت آب می‌گردد، لکن تأثیر به خصوصی بر تعداد کلی‌فرم‌ها نخواهد داشت[۱۵].

کنترل در مبدأ

روش کنترل آلودگی در مبدأ یکی از بهترین روش‌ها جهت کاهش بار آلودگی آب خاکستری از منظر محیط زیستی و اقتصادی است. این روش نیازمند همکاری فعالانه مصرف‌کنندگان (خانوارها) می‌باشد. در این‌راستا اقدامات زیر باید صورت بگیرد:

- مصرف بهینه آب
- مصرف بهینه مواد شوینده
- جلوگیری از تخلیه مواد مشکل ساز مانند حلال‌ها، چربی‌ها و روغن‌ها

بیش‌تر صابون‌ها و پودرهای ماشین‌لباس‌شویی حاوی مقدار بالایی سدیم هستند که می‌توانند باعث شوری خاک گردند و در نتیجه اثر منفی بر گیاهان خواهند داشت. لذا در مواقعی که از آب خاکستری برای آبیاری استفاده می‌گردد، باید از صابون‌ها و مواد شوینده با مبنای پتاسیم استفاده نمود، چرا که پتاسیم می‌تواند به عنوان کود عمل نماید و جذب آب گیاه را تسهیل نماید.

فرآیندهای فیزیکی و فیلتراسیون

روش‌های تصفیه فیزیکی شامل فیلتراسیون ماسه‌ای و فیلتراسیون غشایی است که معمولاً با فرآیند ضدعفونی همراه می‌شود. سیستم‌های دومرحله‌ای ساده‌ای در انگلیس جهت بازیافت آب خاکستری کاربرد دارد که شامل یک فرآیند فیلتراسیون درشت‌دانه و ضدعفونی است. معمولاً سیستم‌های تصفیه فوق توانایی حذف کامل مواد آلی، مواد مغذی و سورفکتانت‌ها را از آب خاکستری ندارند که موجب می‌گردد فرآیند ضدعفونی به طور کامل صورت نپذیرد و محصولات جانبی مضری هم تولید گردند[۱۶]. لذا مخصوصاً زمانی که ذخیره‌سازی طولانی‌مدت مدنظر باشد، این روش‌ها توصیه نمی‌گردند.

روشهای فیلتراسیون کاملاً وابستگی به بار آلودگی ورودی و اندازه تخلخل فیلتر دارد. به طور طبیعی تخلخل ریزتر راندمان بالاتری را به همراه خواهد داشت. همان‌طور که در جدول (۵) نیز نشان داده شده، روش الترافیلراسیون در مقایسه با میکروفیلتراسیون راندمان بهتری را نشان داده است. روش‌های میکروفیلتراسیون و الترافیلتراسیون هرچند بازده بالایی جهت حذف مواد جامد معلق، کدورت و پاتوژن‌ها دارند، لکن توانایی لازم را جهت حذف بار آلی (BOD) آب خاکستری ندارند[۱۷]. این موادآلی از طرفی می‌توانند موجب رشد دوباره بیولوژیکی گردند و از طرفی فرآیند ضدعفونی را مختل نمایند. رامون و همکاران (۲۰۰۴) با مقایسه روش الترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون به این نتیجه رسیدند که روش نانوفیلتر راندمان حذف بالاتری دارد[۱۸]. هم‌چنین روش اسمز معکوس راندمان بسیار بالایی جهت حذف میکروارگانیزم‌ها و مواد آلی داراست.

از طرفی معمولاً روش‌های فیلتراسیون با یک ماکروفیلتر به عنوان پیش‌تصفیه همراه می‌باشد. یکی از معضلات ماکروفیلترهایی نظیر فیلترهای ماسه‌ای، تولید حجمی از لجن است که نیازمند پاک‌سازی می‌باشد. لذا معمولاً ماکروفیلتر با تخلخل پایین‌تر و زمان ماند کم‌تر لجن، کیفیت بهتر خروجی را به همراه خواهد داشت. هرچند تخلخل ریزتر انسداد بیش‌تری را موجب می‌گردد. استفاده از سیستم‌های تانک‌های ته‌نشینی گرفتگی در فیلترهای ماسه‌ای را کاهش خواهد داد. این سیستم‌ها در صورت بهینه‌سازی زمان ماند هیدرولیکی و استفاده از مواد منعقد کننده، راندمان بهتر خروجی را هم به همراه خواهد داشت[۱۹].

جدول ۴- استانداردها و معیارهای ارایه‌شده جهت بازیافت آب

Table 4- Water reuse standards and criteria

کاربرد	فلاش تانک	فلاش تانک	آبیاری	آبگیرهای محصور شده	آبگیرهای محصور نشده	فلاش تانک	آبیاری فضای سبز	آبیاری باغچه	بازچرخانی شهری محصور نشده	ساخت و ساز (متراکم نمودن خاک، تولید بتن)	آبگیرهای محصور نشده	آبگیرهای محصور شده	آبیاری محصورنشده (مصرف محصول به صورت خام)	آبیاری محصورشده
TC (CFU/100 ml)	≤۱۰۰	-	-			≤۱۰۰۰	≤۵۰	≤۱۰۰	-	-	-	-	-	-
FC (CFU/100 ml)	≤۱۰	≤۳	≤۳	۱۰۰۰۰	۵۰۰	-	-	≤۴	Feb-۲	۱۴	صفر	۲۰۰	صفر	۲۰۰
TOC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
فسفر کل	-	-	-	May-00	May-00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
نیتروژن کل	-	-	-	۱۵	۱۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH4-N (mg/l)	-	≤۱۰	≤۲۰	۵	۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
اکسیژن محلول (mg/l)	≥٪۵۰	-	>۱	-۱ May	۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-

پارامتر	pH	کدورت (NTU)	TDS (mg/l)	TSS (mg/l)	BOD5 (mg/l)	COD (mg/l)	درجه‌ت آمونیوی (mg/l)	کلر باقی‌مانده
آلمان[۲۳]	-	-	-	-	۵ ($BOD_{۷}$)	-	-	-
	Sep-۶	<۵	<۱۵۰۰	-	<۱۰	-	۱	۱ پس از ۳۰ دقیقه و ۰/۲ در نقطه مصرف
	Sep-۶	<۲۰	<۱۰۰۰	-	<۲۰	-	۱	۱ پس از ۳۰ دقیقه و ۰/۲ در نقطه مصرف
چین [۲۴]	Sep-۶	-	-	-	<۶	-	May-00	-
	Sep-۶	<۵	-	-	<۶	-	May-00	-
ژاپن [۲۵]	۵/۸-۸/۶	ناخوشایند نیست	-	-	<۲۰	-	-	-
	۵/۸-۸/۶	ناخوشایند نیست	-	-	<۲۰	-	-	-
استرالیا[۲۶]	-	<۲	۳۰	۳۰	۲۰	-	-	-
کانادا [۲۷]	-	۲	-	۵	۱۰	-	-	-
آمریکا[۲۸]	Jun-۹	-	-	۳۰	۳۰	-	-	-
	Jun-۹	۲	-	-	۱۰	-	-	-
	Jun-۹	۲	-	-	۱۰	-	-	-
	Jun-۹	-	-	۳۰	۳۰	-	-	-
	Jun-۹	۲	-	-	۱۰	-	-	-
	Jun-۹	-	-	۳۰	۳۰	-	-	-

جدول ۵- عمل‌کرد تکنولوژی‌های مختلف جهت تصفیه آب خاکستری

Table 5- Performance data of different technologies for grey water treatment

فرآیند	TSS (mg/l)		کدورت (NTU)		TDS (mg/l)		COD (mg/l)		FC (CFU/100 ml)		TC (CFU/100 ml)		Anionic surfactants (mg/L)		مرجع
	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	
ته نشینی+ RBC[1]	۷۹	۱۱	۱۰۳	۶	-	-	۲۱۴	۳۳	-	-	$>۱۰^{۶}$	$۱۰^{۴}$ ×۶	-	-	[۲۸]
SBR[2], SRT[3]=378 d HRT=5.9 h	-	-	-	-	-	-	۸۲۷	۱۰۰	-	-	-	-	-	-	[۲۹]
SBR	-	-	-	-	-	-	۸۳۳	۸۲(٪)	-	-	-	-	۴۳/۵	۱/۳	[۳۰]
UASB[4]	-	-	-	-	-	-	۸۳۳	۳۹(٪)	-	-	-	-	۴۳/۵	۳۵/۹	[۳۰]
UASB + SBR	-	-	-	-	-	-	۸۳۳	۸۹(٪)	-	-	-	-	۴۳/۵	۱/۳	[۳۱]
SMBR[5]	۷۸	ND	۹۶±۸۷	۵±۳/۱	±۱۱۱ ۲۸۶	±۹۰ ۲۹۷	±۳۱۶ ۳۳۹	±۴۵ ۵۰	-	-	-	-	۰/۴۸	±۶/۸ ۹/۵	[۳۱]
SMBR	±۳۱۶ ۳۳۹	ND	۳۷-۱۷۳	۳	۲۸۰-۳۵۰	۲۹۸	۹۲-۶۶۸	۴۵	$۳×۱۰^{۵}$	۲۶	$۴/۴×۱۰^{۵}$	۲۹	۳۰-۷۵	۱۵	[۳۲]
Electrocoagulation + SMBR	-۱۶۹ ۱۸	ND	۲۶-۳۱۸	۴±۲	۱۸۰-۶۵۰	±۹۸ ۲۷۶	۴۰-۱۲۷۰	۴۹-۵۱	$۲۶×۱۰^{۴}$	۳۶±۲۸	$۴۳×۱۰^{۴}$	۴۹	۱۴/۸۸ -۱/۵۱	۰/۱۴ ±/۲۶ ۰	[۳۳]
MBR	-	-	۲۹	۰/۵	-	-	۱۰۹	۱۵	$۱۰^{۵}$	۶۸	-	-	-	-	[۳۴]
Screening + MBR	-	-	۵۰-۱۵۸	-	-	-	-	-	$۳/۳×۱۰^{۴}$ E. coli	<۵ E. coli	-	-	-۲۰ ۰/۱	-۰/۶ ۰/۰۶	[۳۵]
Crushed lava rock filter	۹۹۶	۸۵(٪)	-	-	-	-	۲۸۶۱	۷۰(٪)	$۴/۲×۱۰^{۶}$ E. coli	$۱/۲×۱۰^{۴}$ E. coli	$۷×۱۰^{۷}$	$۱۰^{۶}$	-	-	[۳۶]
Crushed lava rock + sand filter	۹۹۶	۸۶(٪)	-	-	-	-	۲۸۶۱	۷۰(٪)	$۴/۲×۱۰^{۶}$ E. coli	$۲/۸×۱۰^{۴}$ E. coli	$۷×۱۰^{۷}$		-	-	[۳۶]

1- Rotating biological contactor
2 -Sequencing batch reactor
3- Solids Retention Time
4- Upflow anaerobic sludge blanket
5- Submerged membrane bioreactor

فیلتراسیون ماسه ای	۹۲	۳۲	۶۵	۳۵	-	-	۲۱۱	۱۳۰	$۳/۴\times۱۰^{۵}$	$۱/۳\times۱۰^{۵}$	-	-	-	-	[۳۷]
میکروفیلتراسیون	-۳۴۵ ۸۴	۱۶-۲۹	۱۱۵ -۸۹	۰/۵۰۷ - ۰/۳۳۹	-۶۸۷۴ ۳۰۳۰	-۶۰۱۱ ۳۰۰۰	-۲۹۶۰ ۹۲۰	-۵۲۵ ۴۰۳	-	-	-	-	-	-	[۱۶]
الترافیلتراسیون	-۳۴۵ ۸۴	ND	-۱۱۵ ۸۹	۰/۰۹۸ - ۰/۲۲۷	-۶۸۷۴ ۳۰۳۰	-۱۴۳۲ ۱۳۷۷	-۲۹۶۰ ۹۲۰	-۲۹۱ ۲۵۰	-	-	-	-	-	-	[۱۶]
میکروفیلتراسیون + الترافیلتراسیون	-۳۴۵ ۸۴	ND	-۱۱۵ ۸۹	-۰/۰۹ ۰/۱۲	-۶۸۷۴ ۳۰۳۰	-۱۲۴۵ ۱۲۴۰	-۲۹۶۰ ۹۲۰	-۱۷۲ ۱۵۱	-	-	-	-	-	-	[۱۶]
نانوفیلتراسیون	۲۸	۰	۳۰	۱	-	-	۲۲۶	۱۵	-	-	-	-	-	-	[۳۸]
اسمز معکوس	۱۸	۰	-	-	-	-	۱۳۰	۳	-	-	-	-	-	-	[۳۸]
فیلتر ماسه‌ای کشویی	۲۹۸	۵۵	-	-	-	-	۳۶۴۶	۲۴۲	$۲/۳\times۱۰^{۶}$ E. coli	۸۲ E. coli	-	-	-	-	[۳۹]
وتلند	۱۵۸	۳	-	-	-	-	۸۳۹	۱۵۷	۵×۱۰^{۷}	۲×۱۰^{۵}	-	-	-	-	[۴۰]
وتلند زمان ماند هیدرولیکی= ۲ روز	۸۷	۱۹	۶۳	۲۶	-	-	۴۵۲	۱۳۹	۶×۱۰^{۷}	۲×۱۰^{۶}	-	-	-	-	[۴۱]
فوتوکاتالیست به همراه لخته‌سازی با کیتوزان	-	-	۲۶۸	۱۲	-	-	۴۳۳	۴۰	-	-	-	-	-	-	[۴۲]
انعقاد + فیلتر ماسه + کربن فعال گراوله (GAC)	۳۵	<۵	-	-	-	-	۲۸۰	۲۰	-	-	-	-	-	-	[۳۸]
اکسیداسیون فوتوکاتالیستی	-	-	-	-	-	-	۱۳۹	۲۶	$۱۰^{۶}$	صفر	-	-	-	-	[۴۳]
انعقاد الکتریکی + ضدعفونی	۲۹	۹	۴۳	۴	-	-	۵۲	۲۲	۵۳۰۰ E. coli	صفر E. coli	-	-	-	-	[۴۴]
انعقاد (آلوم)	-	-	۴۶/۶	۴/۲	-	-	۷۹۱	۲۸۷	-	<۱	-	-	-	-	[۴۵]

جدول ۶- مزایا و محدودیت‌های تکنولوژی‌های مختلف تصفیه آب خاکستری

Table 6- Advantages and disadvantages of different technologies for grey water treatment

روش تصفیه	مزیت	محدودیت	مرجع
SBR	- حذف قابل قبول کلی‌فرمهای مدفوعی - حذف کامل آمونیوم - کیفیت ظاهری خوب و عدم بو در خروجی - مقاوم در برابر کیفیت و کمیت متغیر ورودی - لجن با ته نشینی بالا - مناسب آب خاکستری با بار آلودگی بالا	- نیازمند متخصص ماهر - نیازمند منبع تغذیه مداوم جهت تأمین غلظت اکسیژن محلول - عدم حذف نیتروژن (البته جهت استفاده در کشاورزی مناسب است) - هزینه بالا - عدم پایداری مواد جامد معلق خروجی (نیازمند فیلتراسیون ثانویه) - عدم تعادل مواد مغذی	[۴۶] [۴۷] [۵۳] [۵۴]
UASB	- تولید لجن کم‌تر و پایدارتر - سادگی در راهبری - ارزان بودن - عدم نیاز به انرژی - متان تولیدی به عنوان منبع انرژی - بیش‌تر آلودگی‌ها (تا ۷۵٪) قابل تخریب بی‌هوازی هستند	- ناتوان در کاهش E. coli - تصفیه ناکافی نیتروژن و فسفر - وابستگی زیاد به دمای محیط (باکتری‌های بی‌هوازی نیازمند دمای ۳۰ می‌باشند که در بسیاری مناطق قابل تأمین نیست.) - نیازمند عایق‌سازی - حذف کم برخی از سورفکتانت‌ها - جلوگیری سورفکتانت‌ها از تولید متان - حذف ناکافی COD (عدم توانایی حذف بخش کلوئیدی COD) و سورفکتانت‌ها	[۲۹] [۳۹] [۴۸] [۴۹] [۳۰] [۵۲]
MBR	- توانایی حذف بالای کدورت و پارامترهای میکروبی - راندمان حذف بالای ۹۵٪ COD - عدم تأثیرپذیری عمل‌کرد از دما و کیفیت آب خاکستری ورودی - تنها روشی که قابلیت تأمین استانداردهای بازگردانی بدون نیاز به فرآیندهای پیش تصفیه و پس تصفیه را داراست - از جنبه اقتصادی مناسب مجتمع‌های مسکونی بزرگ (بیش از ۵۰۰ نفر ساکن) - نیازمند فضای کم	- هزینه اولیه و تأمین و نگه‌داری بالا - نیازمند راهبری تخصصی (لذا در مناطق محلی مناسب نخواهد بود) - رسوب‌گذاری غشا (نیازمند تمیزسازی مستمر) - - عدم تعادل مواد مغذی - مصرف بالای انرژی - زمان ماند هیدرولیکی پایین	[۳۳] [۳۸] [۵۰]
انعقاد و لخته سازی	- حذف بالای کدورت - حذف مناسب کلی‌فرم مدفوعی	- حذف ناکافی بار آلی - نیازمند فرآیندهای تکمیلی تصفیه (فیلتر ماسه‌ای، کربن فعال یا . . .)	[۴۵]
فیلتر زغال چوب فعال	- حذف بالای COD و فسفر و نیتروژن - ارزان و دردسترس بودن	- نامشخص بودن عمل‌کرد در بار بالا - ابهام در پایداری طولانی‌مدت فیلتر	[۵۱]

فیلتر پوست درخت	- حذف بالای BOD و فسفر - ارزان و دردسترس بودن	- نامشخص بودن عمل‌کرد در بار آلودگی بالا - ابهام در پایداری طولانی‌مدت فیلتر - حذف پایین نیتروژن (البته می‌تواند برای مصرف آبیاری مناسب باشد)	[۵۱]
فیلتر سنگ گدازه	- تکنولوژی مناسب در مناطق کم درآمد - سادگی و کم هزینه‌بودن - راهبری تکنیکی ساده	-تأثیرپذیری کیفیت خروجی از بارآلی آب خاکستری ورودی - نیازمند فرآیند ضدعفونی به علت حذف ناقص کلی‌فرم‌ها (۳ واحد لگاریتم) - نیازمند پیش‌تصفیه (مواد جامد معلق و روغنی) جهت افزایش عمل‌کرد فیلتر در طولانی‌مدت	[۳۶] [۵۵]
Electrocoagulation + SMBR	- کاهش ۱۳٪ رسوب‌گذاری غشا در مقایسه با فرآیند SMBR - حذف بهتر COD در مقایسه با فرآیند SMBR - افزایش ۴۰٪ حذف فسفات - ۴ واحد لگاریتم حذف کلی‌فرم مدفوعی - حذف کامل مواد جامد معلق	- رسوب‌گذاری غشا (نیازمند تمیزسازی مستمر) - کاهش حذف نیتروژن آمونیاکی در مقایسه با فرآیند SMBR - مصرف الکتریسیته	[۳۲]
فیلتر ماسه‌ای کشویی	- کاهش انسداد و بوی بد در مقایسه با سیستم‌های فیلتراسیون ماسه‌ای سنتی - نیازمند فضای کم - دسترسی بالا به اکسیژن - نگه‌داری ساده	- وقوع انسداد در کشوها (هر ۳ تا ۶ ماه برحسب بار آلی و هیدرولیکی) - بوی بد ناشی از انسداد (هر ۳ تا ۶ ماه برحسب بار آلی و هیدرولیکی) - بسته شدن حفره زه‌کش کشوها (هر ۳ تا ۶ ماه برحسب بار آلی و هیدرولیکی) - عدم اطمینان کامل از حذف کلی‌فرم‌های مدفوعی	[۳۸] [۵۶]
الترافیلتراسیون	- حذف بالای کدورت - حذف بالای مواد جامد معلق - - حذف بالای کلیفرم مدفوعی - مشخصات ظاهری مطلوب	-حذف ناکافی COD و BOD - رسوب‌گذاری غشا - عدم حذف مواد مغذی - مصرف بالای انرژی	[۳۷]
اسمز معکوس	- حذف بالای کلی‌فرم مدفوعی - حذف بالای COD	- رسوب‌گذاری غشا - تولید شورابه بالا - تخریب غشا - مصرف بالای انرژی	[۳۷]
وتلند	- بهترین روش دوست‌دار محیط زیست - ایجاد فضا و منظر زیبا - توانایی بالا در حذف مواد جامد معلق و کدورت	- استفاده بالا از زمین - تولید بوی بد (در عمق تالاب به علت ایجاد محیط بی‌هوازی) - نامناسب برای مناطق شهری - هدر رفت زیاد آب به علت نفوذ و تبخیر - عدم توانایی در حذف کامل فسفر کل و نیتروژن کل	[۳۸] [۵۷] [۵۸]

تصفیه شیمیایی

در مطالعات قبلی فرایندهای شیمیایی محدودی جهت تصفیه آب خاکستری به کار گرفته شده است. تکنولوژی‌های به‌کاررفته در این زمینه شامل انعقاد، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته نظیر ازن‌دهی و فوتوکاتالیستی، رزین تبادل یونی، انعقاد الکتریکی و جذب با استفاده از کربن فعال گراوله (GAC) یا زئولیت طبیعی می‌باشد. پیدو و همکاران (۲۰۰۸) فرایند انعقاد و لخته‌سازی را برای آب خاکستری دوش حمام با استفاده از دو ماده آلوم و سولفات فریک صورت دادند. این روش توانایی حذف کافی مواد آلی و میکروبی را دارا بود، لیکن در حذف نیتروژن ناکارآمد ظاهر شد. از طرفی زمان ماند هیدرولیکی ۸ ساعت برای فرآیند لخته-سازی در مورد آب خاکستری عملاً قابل اجرا نیست و باید با استفاده از مواد منعقدکننده و بهینه‌سازی سیستم این زمان را به دو تا سه ساعت کاهش داد[۲۰]. تصفیه شیمیایی برای آب خاکستری روشن کارایی خوبی خواهد داشت، لیکن برای آب خاکستری تیره معمولاً با یک فرایند تصفیه زیستی همراه می-گردد و نیازمند پس‌تصفیه جهت ضدعفونی خواهد بود. به جز در روش فوتوکاتالیستی که به علت استفاده از اشعه نیازمند ضدعفونی نخواهد بود. هر دوروش ازن دهی و جذب با استفاده از کربن فعال گراوله (GAC) فرآیند مناسب برای حذف آلاینده-های مقاوم پس از فرآیندهای بیولوژیک هستند[۲۱]. هم‌چنین روش فوتوکاتالیستی با تیتانیوم دیوکسید به عنوان فرآیند پس-تصفیه برای تصفیه زیستی به کار می‌رود که کیفیت خروجی را بسیار بالا خواهد برد[۲۲]. روش فوتوکاتالیستی شامل یک کاتالیست، اشعه فرابنفش و یک ماده اکسیدکننده جهت حذف آلاینده‌های آلی درون آب است.

تصفیه زیستی

یکی از نکات مهم در خواص آب خاکستری عدم تعادل مواد مغذی است، به‌گونه ای که متوسط نسبت COD:N:P در حمام و روشویی‌ها به ترتیب ۰/۰۶ : ۲/۲۵ : ۱۰۰ و ۰/۰۶ : ۱/۷۷ : ۱۰۰ می‌باشد. این نسبت در مقایسه با متون علمی که ۱ : ۲۰ : ۱۰۰ را برای رشد بیولوژیکی پیشنهاد می‌دهند، به معنای کمبود مواد مغذی در آب خاکستری است. درواقع منبع اصلی نیتروژن در فاضلاب ناشی از فاضلاب توالت‌هاست و تنها منبع فسفر نیز دترجنت‌های موجود در پساب ماشین‌لباسشویی‌هاست[۴] [۵۹]. در مطالعات جزیی‌تر این عدم تعادل و کمبود در مورد فلزاتی نظیر آهن، منگنز، روی و آلومینیوم نیز مشاهده می‌گردد(جدول ۱). این مسأله از آن جهت اهمیت می‌یابد که عدم تعادل می‌تواند میزان بارگذاری فرآیندهای زیستی را تا نصف کاهش دهد. از آن جهت که پساب آشپزخانه حاوی مواد مغذی و مواد آلی تجزیه-پذیر است، به‌منظور افزایش مواد مغذی و بهبود نسبت COD:N:P می‌تواند به آب خاکستری اضافه گردد[۶۰]. به هرصورت معمولاً به خاطر نسبت بالای BOD/COD در غالب نمونه‌های آب خاکستری، روش‌های زیستی گزینه مناسبی برای تصفیه خواهند بود. جهت تصفیه زیستی می‌توان به تکنولوژی‌های گوناگونی نظیر تماس دهنده گردان بیولوژیکیRBC ، راکتور ناپیوسته متوالی SBR، بیوراکتور غشایی MBR، وتلند مصنوعی و تصفیه بی‌هوازی UASB اشاره داشت.

معمولاً به جز روش بیوراکتور غشایی بقیه روش‌های تصفیه زیستی با فرآیندهای پیش‌تصفیه‌ی ته نشینی نظیر سپتیک تانک-ها و فرآیندهای پس‌تصفیه‌ی فیلتراسیون جهت حذف لجن‌ها و ضدعفونی جهت حذف میکروارگانیزم‌ها همراه است. درواقع روش بیوراکتور غشایی تنها روشی است که بدون نیاز به فرآیندهای پیش‌تصفیه و پس‌تصفیه قابلیت حذف سورفکتانت‌ها، مواد آلی و میکرواورگانیزم‌ها را تا حصول استانداردهای مورد نظر داراست. درواقع این روش به‌نوعی جداسازی فیزیکی مواد کلوییدی و پاتوژن‌ها را با فرآیند تصفیه هوازی زیستی ترکیب نموده‌است. به هرصورت این روش هم‌چنان با محدودیت‌هایی نظیر پدیده انسداد غشایی روبه‌رو هست، هرچند تاکنون برای رفع این محدودیت اقداماتی نظیر تمیزنمودن غشا با آب برگشتی یا اصلاح نمودن لجن فعال با افزودن مواد شیمیایی منعقد کننده (مانند آلوم) یا

افزودن مواد جاذب (مانند زئولیت) صورت گرفته‌است[۶۱]. روش-های تصفیه زیستی بی‌هوازی مانند UASB معمولاً توان حذف کامل مواد آلی را ندارند و در مقابل حضور سورفکتانت‌ها نیز حساس می‌باشند. هرچند این روش با زمان ماند هیدرولیکی حداکثر ۲۰ ساعت در مقایسه با سپتیک تانک‌ها با زمان ماند ۲ تا ۳ روز، توانایی حذف به مراتب بالاتری را برای مواد آلی (۳۰٪ تا ۶۵٪) خواهد داشت [۵۲]، لذا معمولاً تصفیه زیستی بی‌هوازی با تصفیه هوازی تکمیلی مانند راکتور ناپیوسته متوالی ترکیب می-گردد[۳۰]. جدول (۵) عمل‌کرد فرآیندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی را جهت تصفیه آب خاکستری بیان نموده است. هم‌چنین با توجه به مطالعات قبلی در جدول ۶ مزایا و محدودیت‌های تکنولوژی‌های مختلف تصفیه اشاره گردیده است.

نتیجه گیری

در این مطالعه سعی گردید با استفاده از مطالعات قبلی به ویژگی-های آب خاکستری و روش‌های بازیابی آن پرداخته شود که در مجموع دربرگیرنده نتایج زیر می‌باشد:

- ویژگی‌های کیفی و کمی آب خاکستری کاملاً وابسته به پارامترهای متعددی نظیر سبک زندگی، رفتارهای فرهنگی-اجتماعی، الگوی مصرف آب و منبع تولید آن (روشویی، حمام، آشپزخانه یا . . .) می‌باشد. در هرصورت معمولاً آب خاکستری دارای بار آلودگی کم‌تری در مقایسه با فاضلاب توالت‌ها (آب سیاه) است، لذا تفکیک آن جهت بازیافت امری منطقی خواهد بود.
- آب خاکستری پس از تصفیه می‌تواند جهت کاربردهای مختلفی نظیر فلاش‌تانک دستشویی‌ها، آبیاری گیاهان، برج‌های خنک-کننده و . . . به کار رود، لذا تدوین استانداردهای مختلف بازیافت با توجه به نحوه مصرف ضروری است.
- روش‌های تصفیه فیزیکی (به جز در نمونه‌های آب خاکستری با بار آلودگی بسیار کم) معمولاً به تنهایی قابلیت تأمین استانداردهای بازگردانی را جهت حذف بار آلی، مواد مغذی و سورفکتانت‌ها ندارند.
- روش‌های شیمیایی نظیر انعقاد و لخته‌سازی توانایی حذف BOD را ندارند، لیکن قابلیت حذف پاتوژن‌ها را دارند. هم‌چنین این سیستم‌ها به همراه فیلتراسیون غشایی در آب خاکستری با بار آلودگی پایین توانایی تأمین نمودن استانداردهای بازگردانی را دارا هستند.
- نسبت بالای BOD/COD در بیش‌تر نمونه‌های آب خاکستری بیانگر مناسب بودن به‌کارگیری روش‌های زیستی جهت تصفیه است. هرچند باید توجه نمود که بار آلی در پساب ماشین لباسشویی‌ها معمولاً دارای تجزیه‌پذیری پایینی است.
- درصورت به‌کارگیری روش‌های تصفیه زیستی به علت کمبود مواد مغذی در آب خاکستری تولیدی از روشویی‌ها و حمام، توصیه می‌گردد پساب تولیدی در سینک آشپزخانه‌ها و ماشین‌لباسشویی اضافه شود، هرچند آب خاکستری تولیدی ماشین‌لباسشویی‌ها در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم‌تر هستند.
- به غیر از تکنولوژی MBR، بقیه تکنولوژی،های تصفیه آب خاکستری نیازمند فرآیندهای پیش تصفیه خواهند بود. لذا فرایندهای پیش‌تصفیه‌ای نظیر تانک‌های ته‌نشینی و سپتیک تانک‌ها یا ماکروفیلترها برای افزایش راندمان و بهبود راهبری سیستم توصیه می‌گردد. این تانک‌ها موجب متعادل نمودن کیفیت آب خاکستری و حذف ذرات بزرگ و مواد روغنی می-گردد، لکن نباید زمان ماند آن از ۲۴ ساعت تجاوز نماید.
- تکنولوژی MBR تنها روشی است که قابلیت تأمین استانداردهای بازگردانی بدون نیاز به فرآیندهای پیش تصفیه و پس تصفیه را داراست. این روش معمولاً گران بوده، لکن از جنبه اقتصادی مناسب مجتمع‌های مسکونی بزرگ (بیش از ۵۰۰ نفر ساکن) خواهد بود.
- روش‌های تصفیه زیستی نظیر RBC و SBR در صورت همراهی روش‌های فیزیکی جهت پیش‌تصفیه و ضدعفونی برای آب خاکستری با بار آلی متوسط به بالا اقتصادی خواهند بود.

- روش‌های تصفیه بی‌هوازی توانایی کافی جهت حذف مواد مغذی، موادآلی و سورفکتانت‌ها را دارا نیستند، لذا تنها درصورتی می-توانند به‌کار روند که با روش‌های هوازی نظیر (SBR) و ضدعفونی همراه گردند. مزیت این سیستم‌های ترکیبی کاهش انرژی مصرفی و تولید بیوگاز خواهد بود.

منابع

1. Raso, J. (2013). Updated Report on Wastewater Reuse in *the European Union. European Commission: Brussels, Belgium.*
2. Ghaitidak, D. M., & Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater—A review. Environmental Science and Pollution Research, 20(5), 2795-2809.
3. Kulabako, N. R., Ssonko, N. K. M., & Kinobe, J. (2011). Greywater Characteristics and Reuse in Tower Gardens in Peri-Urban Areas-Experiences of Kawaala, Kampala, Uganda. *Open Environmental Engineering Journal*, *4*, 147-154.
4. Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. Water Science & Technology, 50(2), 157-164.
5. Li, F., Behrendt, J., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2008). Resources and nutrients oriented greywater treatment for non-potable reuses. Water Science and Technology, 57(12), 1901-1908.
6. Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, *407*(11), 3439-3449.
7. Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Ang, M. (2013). A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science & Technology*, *67*(7), 1403-1424.
8. World Health Organization. (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Policy and regulatory aspects* (Vol. 1). World Health Organization.
9. Christova-Boal, D., Eden, R. E., & McFarlane, S. (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, *106*(1), 391-397.
10. Naturvårdsverket. (1995). Vad innehåller avlopp från hushåll? Näring och metaller i urin och fekalier samt i disk-, tvätt-, bad- & duschvatten. (What does household wastewater contain? Nutrients and metals in urine, faeces and dish-, laundry and showerwater). Naturvårdsverket (Swedish EPA). Rapport 4425.
11. Casanova, L. M., Gerba, C. P. & Karpiscak, M. (2001). Chemical and microbial characterization of graywater. J Environ Sci Health, A36(4), 395-401. Christova-Boal, D., Eden, R. E. & McFarlane, S. (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. Desal, 106(1-3), 391-7.
12. Birks, R., Colbourne, J., Hills, S., & Hobson, R. (2004). Microbiological water quality in a large in-building,

water recycling facility. Water Science & Technology, 50(2), 165-172.

13. 12-Eriksson, E., Auffarth, K., Eilersen, A. M., Henze, M., & Ledin, A. (2003). Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. *Water sa*, *29*(2), 135-146.
14. Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., & Jefferson, B. (2008). A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. Ecological engineering, 32(2), 187-197.
15. Misra, R. K., Patel, J. H. & Baxi, V. R 2010 Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. Journal of Hydrology 386 (1^), 95-102.
16. Dixon, A, Butler, D., Fewkes, A. & Robinson, M. 2000 Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. Urban Water 1 (4), 293-306.
17. Al-Jayyousi OR. Greywater reuse: towards sustainable water management. Desalination
18. 2003;156(1-3):181–92.
19. Bhattacharya, P., Sarkar, S., Ghosh, S., Majumdar, S., Mukhopadhyay, A., & Bandyopadhyay, S. (2013). Potential of ceramic microfiltration and ultrafiltration membranes for the treatment of gray water for an effective reuse. Desalination and water treatment, 51(22-24), 4323-4332.
20. Ramona, G., Green, M., Semiat, R., & Dosoretz, C. (2004). Low strength graywater characterization and treatmentby direct membrane filtration.Desalination, 170(3), 241-250.
21. Ghunmi, L. A., Zeeman, G., Fayyad, M., & van Lier, J. B. (2011). Grey water treatment systems: A review. Critical reviews in environmental science and technology, 41(7), 657-698.
22. Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S. A., Liu, S., ... & Jefferson, B. (2008). Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*,*71*(1), 147-155.
23. Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2011). Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. *Water Research*, *45*(9), 2887-2896.
24. Gulyas, H., Choromanski, P., Furmanska, M., Muelling, N., & Otterpohl, R. (2007, November). Photocatalytic oxidation of biologically treated greywater in the presence of powdered activated carbon. In *International Conference on Sustainable Sanitation, Food and Water Security for Latin America, Fortaleza, Brazil*.
25. Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings–over ten years experience in Berlin. *Urban water*, *1*(4), 275-284.
26. Ernst, M., Sperlich, A., Zheng, X., Gan, Y., Hu, J., Zhao, X., ... & Jekel, M. (2007). An integrated wastewater treatment and reuse concept for the Olympic Park 2008, Beijing. *Desalination*, *202*(1), 293-301.

27. Maeda M, Nakada K, Kawamoto K, Ikeda M. Area-wide use of reclaimed water in Tokyo,
28. Japan. Water Sci Technol 1996;33(10-11):51–7.
29. Moslemi Zadeh, S. (2013). Sustainability evaluation of shared greywater recycling in urban mixed-use regeneration areas (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
30. U.S. Environmental Protection Agency. (2004). Guidelines for water reuse. U.S. Environmental Protection Agency Report No. EPA/625/R-04/108/September- 2004.
31. Baban, A., Hocaoglu, S. M., Atasoy, E. A., Gunes, K., Ayaz, S., & Regelsberger, M. (2010). Grey water treatment and reuse by using RBC: A kinetic approach. Desalination and water treatment, 23(1-3), 89-94.
32. Hernandez, L., Zeeman, G., Temmink, H., Marques, A., & Buisman, C. (2008). Comparison of three systems for biological grey water treatment. In *Proc. IWA conference on Sanitation challenges, Wageningen, Netherlands, May* (pp. 19-22).
33. Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. (2010). Comparison of three systems for biological greywater treatment. *Water*, *2*(2), 155-169.
34. Smith, E., & Bani-Melhem, K. (2012). Grey water characterization and treatment for reuse in an arid environment. Water Science and Technology,66(1), 72.
35. Bani-Melhem, K., Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M., Qasaimeh, A., Qtaishat, M. R., & Alkasrawi, M. (2015). On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. Journal of Membrane Science,476, 40-49.
36. Bani-Melhem, K., & Smith, E. (2012). Grey water treatment by a continuous process of an electrocoagulation unit and a submerged membrane bioreactor system. Chemical Engineering Journal, 198, 201-210.
37. Merz C, Scheumann R, Hamouri BE, Kraume M. Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. Desalination 2007;215 (1-3):37–43.
38. Santasmasas, C., Rovira, M., Clarens, F., & Valderrama, C. (2013). Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. Resources, Conservation and Recycling, 72, 102-107.
39. Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C. B., Kansiime, F., & Lens, P. N. L. (2014). Grey water treatment in urban slums by a filtration system: Optimisation of the filtration medium. Journal of environmental management, 146, 131-141.
40. Friedler, E., Kovalio, R., & Ben-Zvi, A. (2006). Comparative study of the microbial quality of greywater treated by three on-site treatment systems.Environmental technology, 27(6), 653-663.
41. Sostar-Turk S, Petrinic I, Simonic M. Laundry wastewater treatment using coagulation
42. and membrane filatration. Resour Conserv Recycl 2005;44(2):185–96.

43. Assayed, A., Chenoweth, J., & Pedley, S. (2015). Assessing the efficiency of an innovative method for onsite greywater treatment: Drawer compacted sand filter–A case study in Jordan. Ecological Engineering, 81, 525-533.
44. Gross A, Shmueli O, Ronen Z, Raveh E. Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) — a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities. Chemosphere 2007;66(5):916–23.
45. Frazer-Williams, R., Avery, L., Winward, G., Jeffrey, P., Shirley-Smith, C., Liu, S., ... & Jefferson, B. (2008). Constructed wetlands for urban grey water recycling. International Journal of Environment and Pollution, 33(1), 93-109.
46. Grčić, I., Vrsaljko, D., Katančić, Z., & Papić, S. (2015). Purification of household greywater loaded with hair colorants by solar photocatalysis using TiO 2-coated textile fibers coupled flocculation with chitosan. Journal of Water Process Engineering, 5, 15-27.
47. Parsons, S. A., Bedel, C., & Jefferson, B. (2000). Chemical vs. biological treatment of domestic greywater. In Proceedings of the 9th International Gothenburg Symposium on Chemical Treatment, Istanbul.
48. Lin C-J, Lo S-L, Kuo C-Y, Wu C-H. Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminium electrodes for on-site domestic greywater reuse. J Environ Eng 2005:491–5 March.
49. 45-Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S. A., Liu, S., ... & Jefferson, B. (2008). Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere,71*(1), 147-155.
50. Dalahmeh, S. S., Assayed, M., & Suleiman, W. T. (2009). Themes of stakeholder participation in greywater management in rural communities in Jordan. Desalination, 243(1), 159-169.
51. Gabarró, J., Batchellí, L., Balaguer, M. D., Puig, S., & Colprim, J. (2013). Grey water treatment at a sports centre for reuse in irrigation: A case study.Environmental technology, 34(11), 1385-1392.
52. Elmitwalli, T. A., & Otterpohl, R. (2007). Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor.Water Research, 41(6), 1379-1387.
53. Zeeman, G., Kujawa, K., Mes, T. D., Hernandez, L., Graaff, M. D., Abu-Ghunmi, L., ... & Lettinga, G. (2008). Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source-separated domestic waste (water). *Water Science and Technology*, *57*(8), 1207-1212.
54. Lazarova V, Hills S, Birks R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing.Water Sci TechnolWater supply 2003;3 (4):69–77.
55. Dalahmeh, S. S., Pell, M., Vinnerås, B., Hylander, L. D., Öborn, I., & Jönsson, H. (2012). Efficiency of bark, activated charcoal, foam and sand filters in reducing pollutants from greywater. Water, Air, & Soil Pollution, 223(7), 3657-3671.

56. Elmitwalli, T. A., Shalabi, M., Wendland, C., & Otterpohl, R. (2007). Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature. *Water science and technology*, *55*(7), 173-180.
57. Lamine, M., Bousselmi, L., & Ghrabi, A. (2007). Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination*, *215*(1), 127-132.
58. Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Ahmed, M., Prathapar, S., Al-Harrasi, A., & Al-Abri, A. (2008). Biological treatment of greywater using sequencing batch reactor technology. *International Journal of Environmental Studies*, *65*(1), 71-85.
59. Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C. B., Kansiime, F., & Lens, P. N. L. (2014). A two-step crushed lava rock filter unit for grey water treatment at household level in an urban slum. *Journal of environmental management*,*133*, 258-267.
60. Assayed, A., Chenoweth, J., & Pedley, S. (2014). Drawer compacted sand filter: a new and innovative method for on-site grey water treatment.*Environmental technology*, *35*(19), 2435-2446.
61. Laaffat, J., Ouazzani, N., & Mandi, L. (2015). The evaluation of potential purification of a horizontal subsurface flow constructed wetland treating greywater in semi-arid environment. *Process Safety and Environmental Protection*, *95*, 86-92.
62. Avery, L. M., Frazer-Williams, R. A., Winward, G., Shirley-Smith, C., Liu, S., Memon, F. A., & Jefferson, B. (2007). Constructed wetlands for grey water treatment. *Ecohydrology & Hydrobiology*, *7*(3), 191-200.
63. Li, F., Behrendt, J., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2008). Resources and nutrients oriented greywater treatment for non-potable reuses. Water Science and Technology, 57(12), 1901-1908.
64. Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, *407*(11), 3439-3449.
65. J.C. Lee,J. S.Kim,I .J.Kang,M.H.Cho, P.K.Park,C.H.Lee,Potentialand limitations of alum or zeolite addition to improve the performance of a submerged membrane bioreactor ,Water Sci. Technol. 43 (2001) 59–66.