

Removing Nutrients and Organic Compounds in Gray Water Using Multi-layer Sand Filter

Fatemeh Babaei¹,
Mohammad Hassan Ehrampoush²,
Mohammad Taghi Ghaneian³,
Hossein Fallahzadeh⁴,
Parvaneh Talebi⁵,
Aliasghar Ebrahimi⁶

¹ MSc Student in Environmental Health, Environmental Science and Technology Research Center, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

² Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³ Associate Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

⁴ Professor, Prevention and Epidemiology of Non-Communicable Disease Research Center, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

⁵ BSc in Environmental Health, Environmental Science and Technology Research Center, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

⁶ Assistant Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

(Received August 22, 2017 Accepted September 25, 2017)

Abstract

Background and purpose: Today, due to the reduction of water resources, separation of gray water from domestic wastewater and its reuse has gained more interest. The aim of this study was to apply multi-layer filtration (MLF) for removal of nutrients from gray water.

Materials and methods: This laboratory-scale study was carried out in 2.3-19.2 gr. COD / L. d organic loading rates (OLR) over a period of 157 days. In this study, synthetic gray water was used as input to the multi-layer filter. The MLF system included three layers: sand, silica, and granular activated carbon. Furthermore, the scanning electron microscopy (SEM) images were used to determine the biofilm formation on the media surface.

Results: The best removal efficiencies of COD, BOD₅, TKN, and TP were 98.87, 99.84, 99.5, and 98% achieved in OLR 19.2, 12.8, (13.2, 4.6) gCOD/l.d, SOR 5.76, 2.88, and 5.77 m/hr, respectively. The study on the effect of loading rate revealed that by increase in OLR, the system efficiency to remove BOD₅ and COD increased. Nevertheless, for TKN and TP, the efficiency decreased with increase in OLR. Also, according to SEM images, biofilm had grown well in the media, which can be effective in removing pollutants from gray water.

Conclusion: Using multilayer filtration could be an appropriate option in removing nutrients from gray water in different loadings.

Keywords: nutrients, organic loading rate, gray water, multi-layer filtration

بررسی راندمان حذف مواد مغذی و ترکیبات آلی موجود در آب خاکستری توسط فیلتر شنی چند لایه

فاطمه بابایی^۱محمد حسن احرامپوش^۲محمد تقی قانعیان^۳حسین فلاح زاده^۴پروانه طالبی^۵علی اصغر ابراهیمی^۶

چکیده

سابقه و هدف: امروزه با توجه به کاهش منابع آب در دسترس، جداسازی آب خاکستری از فاضلاب خانگی و استفاده مجدد از آن در اکثر نقاط دنیا مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه کاربرد فیلتراسیون چند لایه در حذف نوترینت‌ها از آب خاکستری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی است که در بار گذاری‌های آلی 2/3 - 2/19 (gCOD/l.d) در طول مدت ۱۵۷ روز مورد بهره برداری قرار گرفت. در این مطالعه از آب خاکستری دست ساز، به عنوان ورودی به فیلتر شنی چند لایه استفاده گردید. فیلتر شنی چند لایه حاوی شن، سیلیس و گرانول کربن فعال بود. هم‌چنین به منظور بررسی تشکیل بیوفیلم در سطح مدیا از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی بهره گرفته شد.

یافته‌ها: بهترین راندمان حذف BOD₅، COD، نیترژن کل کج‌جلدال و فسفر کل به ترتیب ۹۹/۵، ۹۹/۸۴، ۹۸/۸۷ و ۹۸ درصد بوده است. و در بار گذاری آلی ۱۹/۲، ۱۲/۸، (gCOD/l.d 6/4 - 2/3) و بار گذاری سطحی ۵/۷۶، ۲/۸۸، (m/hr 77/5 - 88/2) به دست آمد. بررسی تاثیر میزان بار گذاری نشان داد که با افزایش OLR کارایی سیستم به منظور حذف BOD₅ و COD افزایش یافته است. اما در زمینه TKN و TP با افزایش بار گذاری، راندمان کاهش یافت. هم‌چنین تصاویر SEM نشان می‌دهد که بیوفیلم به خوبی در سطح مدیا رشد نموده است که می‌تواند در حذف آلاینده‌ها از آب خاکستری، موثر باشد.

استنتاج: می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فیلتراسیون چند لایه در حذف نوترینت‌ها از آب خاکستری در بار گذاری‌های مختلف می‌تواند گزینه مناسبی باشد.

واژه های کلیدی: نوترینت‌ها، بار گذاری آلی، آب خاکستری، فیلتراسیون چند لایه

مقدمه

فزاینده‌ای تحت فشار قرار گرفته است (۱). مدیریت و توسعه منابع آب در کشوری مانند ایران به علت کمبود آب، تغییر میزان بارندگی و افزایش آلودگی آب، به

امروزه به علت کاهش مداوم منابع آب در دسترس و رشد جمعیت، فعالیت‌های اقتصادی و افزایش رقابت بر سر آب در بین مصرف کنندگان، منابع آبی به طور

Email: ebrahimi20007@ssu.ac.ir

مؤلف مسئول: علی اصغر ابراهیمی - یزد، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۲. استاد، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۳. دانشیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۴. استاد، مرکز تحقیقات پیشگیری و اپیدمیولوژی بیماری های غیر واگیر، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۵. کارشناس مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

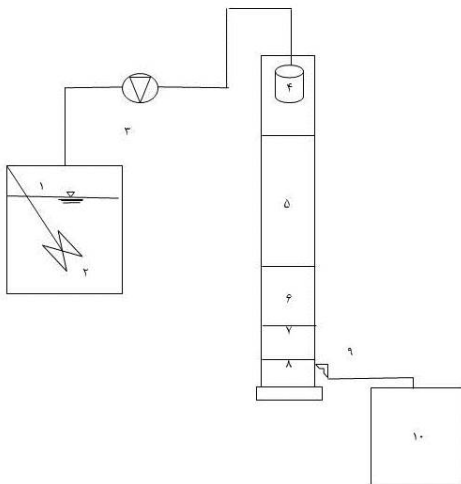
۶. استادیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۳۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۶/۶/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۳

شده در زمینه حذف نوترینت‌ها با استفاده از روش‌های پیچیده و پرهزینه انجام شده است. در عین حال روش‌های ساده تر و کارآمدتری نیز برای حذف هم‌زمان مواد مغذی و مواد آلی از فاضلاب وجود دارد. تاکنون مطالعات متعددی در خصوص روش‌های گوناگون تصفیه آب خاکستری شامل: روش‌های فیزیکی (فیلترهای شنی، فیلترهای غشایی و ...)، روش‌های شیمیایی (انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون فتوکاتالیستی و ...) و روش‌های بیولوژیکی (بیوراکتور غشایی، راکتور بیولوژیکی چرخان و ...) انجام شده است (۹). فیلتر شنی یکی از قدیمی‌ترین تکنولوژی‌های تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد (۱۰). و به عنوان معمول ترین فیلتر به منظور تصفیه آب خاکستری محسوب می‌شود (۱۱). و اگر به درستی طراحی، ساخته، بهره برداری و نگهداری شود، پساب با کیفیت بسیار بالایی تولید می‌کند. فیلتر شنی به سه طریق فیزیکی، شیمیایی و فرایند جذب باعث تصفیه آب و فاضلاب می‌گردد. و به عنوان یک روش ساده، ارزان، کارآمد و قابل اعتماد برای تصفیه محسوب می‌شود. که این ویژگی‌ها باعث افزایش تقاضا برای استفاده از فیلترهای شنی گردیده است (۱۰). هم‌چنین علاوه بر موارد فوق، گسترش بیوفیلیم در منافذ سطحی فیلتر باعث معدنی سازی مواد آلی موجود در فاضلاب می‌گردد (۱۲). اما بروز مشکلاتی از قبیل ایجاد گرفتگی در فیلتر، نیاز به فضای بالا و غیره باعث بروز نگرانی می‌گردد (۱۳). در این مطالعه به علت طراحی منحصر به فرد پایلوت، امکان دسترسی به لایه‌های زیرین فیلتر نیز امکان‌پذیر شده است، تا مشکل گرفتگی مرتفع گردد. طی مطالعه Friedler و همکاران در سال ۲۰۰۵، آب خاکستری با تلفیق فرایند RBC، فیلتر شنی و کلر زنی مورد تصفیه قرار گرفت. که بر اساس این مطالعه TKN به میزان ۸۷ درصد حذف گردید. Sahar SDalahmeh و همکاران در سال ۲۰۱۲، کارایی فیلتر حاوی چند مدیا و جاذب گوناگون (فوم، پوست درخت، زغال فعال و شن) را به منظور حذف TP

عنوان یک موضوع مهم مطرح است، که لازم است علاوه بر روش‌های سنتی در برنامه‌ریزی و مدیریت، روش‌های غیر متعارف استفاده از آب مانند تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب نیز در نظر گرفته شود. که این کار باعث کاهش میزان تقاضای آب از منابع موجود می‌گردد (۲). طی چند سال گذشته، تصفیه آب خاکستری به عنوان یک منبع با ارزش باز چرخش و استفاده مجدد از فاضلاب در دنیا مورد توجه قرار گرفته است (۳). آب خاکستری در منازل از منابعی مانند سینک ظرفشویی، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، روشویی و حمام تولید می‌گردد، که به صورت جداگانه از آب سیاه (توالت) جمع آوری می‌شود (۴،۵). در مناطق شهری چیزی حدود ۹۰-۶۵ درصد فاضلاب تولیدی در منازل را به خود اختصاص داده است. و با توجه به این که بار آلودگی آن در مقایسه با آب سیاه بسیار کم تر است، به عنوان یک منبع مناسب باز یافت در نظر گرفته شده است (۶). که بعد از تصفیه، می‌توان از آن در فلش تانک‌ها، شستشوی وسایل نقلیه، آبیاری فضای سبز و ... استفاده نمود. که در نتیجه آن تا ۴۵ درصد در مصرف آب خانگی صرفه جویی می‌گردد (۷). آب خاکستری عمدتاً از کربوهیدرات (ناشی از غذا)، پروتئین، چربی و روغن (شامل اسیدهای چرب)، نوترینت‌ها، گلیسیرید، سورفکتانت‌ها (آنیونیک، کاتیونیک و آمفوتریک، ناشی از مصرف شامپو، دترجنت)، ترکیبات صابون و ... تشکیل شده است (۸). مواد مغذی و مواد آلی یکی از چالش برانگیزترین منابع آلودگی در فاضلاب‌های تمام جهان هستند، که در آب خاکستری نیز موجود می‌باشند. از همین رو حذف این مواد برای استفاده مجدد از فاضلاب یک اصل اساسی است. از جنبه‌ای دیگر نیز حذف مواد مغذی مهم است، زیرا حذف آن‌ها اغلب به صورت تجمع در لجن است. و این لجن را می‌توان با پردازش و آماده‌سازی به عنوان کودی بسیار با ارزش به زمین‌های کشاورزی برای افزایش محصول اضافه کرد. اغلب پژوهش‌های انجام

آزاد)، قطر درونی ۱۰ سانتیمتر که معیارهای طراحی آن بر گرفته از کتاب انجمن متخصصین آب آمریکا^۱ و مقالات مشابه بود و در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل شماره ۱: شماتیک پایلوت فیلتر شنی چند لایه (۱): مخزن تغذیه، ۲: میکسر، ۳: پمپ تغذیه، ۴: ورودی، ۵: لایه حاوی شن، ۶: لایه حاوی سیلیس، ۷: گرانول کربن فعال، ۸: زهکش، ۹: شیر برداشت نمونه، ۱۰: مخزن ذخیره پساب)

در این مطالعه از ۳ مدیا استفاده گردید که ویژگی آن با مشخصات قید شده در جدول شماره ۲، نشان داده شده است.

جدول شماره ۲: ویژگی مدیاهای مورد استفاده در بستر فیلتر

نوع مدیا	اندازه موثر (میلی متر)	ضرب بکنواختی	ارتفاع هر لایه (cm)
گرانول کربن	۰/۵	۰/۷۸	۱۰
سیلیس	۰/۷ - ۱	۱/۱	۲۰
شن	۲ - ۲/۵	۳/۴۵	۷۰

راهبری سیستم

در ابتدا به منظور تشکیل جرم بیولوژیکی و افزایش کارایی سیستم از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد

مورد بررسی قرار دادند. که شن، ۸۷ درصد TP را از آب خاکستری حذف نمود (۱۴). در نهایت با توجه به ضرورت جداسازی و تصفیه آب خاکستری و حذف آلاینده‌ها و اهمیت انتخاب روش مناسب برای تصفیه، این مطالعه با هدف حذف و تجزیه بیولوژیکی نوترینت‌ها به وسیله فیلتر شنی چند لایه و تأثیر میزان بارگذاری‌های مختلف مواد آلی بر روی کارایی این سیستم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق که یک مطالعه تجربی آزمایشگاهی بود از یک فیلتر شنی چند لایه به منظور حذف دترجنت از آب خاکستری استفاده گردید.

ترکیبات آب خاکستری

به منظور تغذیه سیستم از آب خاکستری سنتتیک، طبق جدول شماره ۱ استفاده گردید.

جدول شماره ۱: فرمول تهیه ی آب خاکستری دست ساز

(۱۵)

ترکیبات شیمیایی آب خاکستری	مقدار به ازای یک لیتر	ترکیبات تجاری	مقدار به ازای یک لیتر
پساب ثانویه	۲۰ میلی لیتر	دودورانت	۱۰ میلی گرم
H ₃ BO ₃	۱/۴ میلی گرم	شامپو	۷۲۰ میلی گرم
C ₆ H ₁₂ O ₆	۲۸ میلی گرم	پساب لباسویی	۱۵۰ میلی لیتر
Na ₂ PO ₄	۳۹ میلی گرم	کرم ضد آفتاب	۱۰-۱۵ میلی گرم
Na ₂ SO ₄	۳۵ میلی گرم	خمیر دندان	۳۲/۵ میلی گرم
NaHCO ₃	۲۵ میلی گرم	روغن گیاهی	۷ میلی گرم
خاک رس	۵۰ میلی گرم	-	-

ساخت پایلوت

ویژگی‌های فیلتر شنی

یک پایلوت با مقطع مکعبی از جنس پلکسی گلس با ارتفاع ۱/۵ متر (۱ متر ارتفاع مدیا، ۴۰ سانتی متر سطح

¹ American Water Works Association

است که پارامترهای TP، BOD5، TKN به صورت هفتگی، ۲۰ نمونه برای هر پارامتر pH، EC و COD روزانه و ۱۳۴ نمونه برای هر پارامتر اندازه گیری گردید. کلیه آزمایشات بر اساس استاندارد متود انجام گرفت. هم چنین جهت تهیه تصویر بیوفیلم، از دستگاه SEM (Scanning Electron Microscopy) مدل TESCAN VEGA3 ساخت کشور Czech Republic استفاده گردید.

در این تحقیق برای آنالیز داده‌ها، از شاخص‌های میانگین، انحراف معیار و آزمون آماری ANOVA جهت مقایسه میانگین راندمان‌های حذف BOD5، TKN، COD و TP در بارگذاری‌های مختلف استفاده گردید.

یافته‌ها

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای TP، BOD5، COD و TKN طی ۱۵۷ روز آزمایش و نمونه برداری از ورودی فیلتر شنی، در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌گردد میزان بارگذاری از $2/3 \text{ COD/L d}$ به $2/19 \text{ COD/L d}$ رسیده است. کم‌ترین میزان $\text{COD} = 197 \text{ mg/L}$ و بیشترین میزان آن 601 mg/L ، در حالی که دامنه غلظت $\text{BOD}_5 = 73 - 293 \text{ mg/L}$ بوده است، هم چنین در شکل شماره ۲ میزان EC و pH در هر بارگذاری مشخص گردیده است. لازم به ذکر است دما و میزان اکسیژن محلول نیز طی این مدت مورد سنجش قرار گرفت، که مقدار هر کدام به ترتیب $32 \pm 0.4^\circ\text{C}$ و 4 ± 0.8 بوده است.

استفاده شد. مشخصات پساب مورد استفاده 27 mg/L TSS ، 30 mg/L BOD_5 ، $2/7 \text{ mg/L TKN}$ ، $57 = \text{COD}$ بود. این پساب به مدت ۱ ماه توسط پمپ پرستالتیک با دبی ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه به سیستم تزریق شد تا فیلم بیولوژیکی شکل گیرد. بعد از تشکیل جرم بیولوژیکی به منظور تثبیت بهتر میکروارگانیسم‌ها، در ابتدا آب خاکستری با COD به ترتیب برابر با ۲۰ میلی گرم بر لیتر و سپس با COD برابر با ۲۰۰، ۶۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر به صورت یکنواخت بر سطح مدیا توزیع گردید. در هر بارگذاری نمونه برداری در ورودی و خروجی فیلتر شنی تا پایدار شدن شرایط ادامه یافت. سپس پارامترهای TP، pH، EC، TKN، COD و BOD5 مورد سنجش قرار گرفت. در جدول شماره ۳ شرایط بهره برداری از فیلتر شنی ارائه شده است.

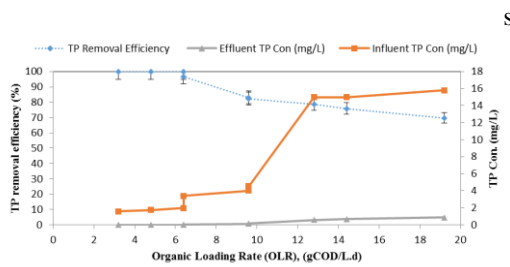
جدول شماره ۳: شرایط بهره برداری از فیلتر شنی

COD (gr/m ³)	Q (mL/min)	SOR (m/hr)	OLR (gr COD/L.d)	EBCT (min)
۲۰۰	۲۰	۲/۸۸	۳/۲	۱۰۰
۲۰۰	۳۰	۴/۳۲	۴/۸	۶۶/۶۶
۲۰۰	۴۰	۵/۷۶	۶/۴	۵۰
۴۰۰	۲۰	۲/۸۸	۶/۴	۱۰۰
۴۰۰	۳۰	۴/۳۲	۹/۶	۶۶/۶۶
۴۰۰	۴۰	۵/۷۶	۹/۶	۵۰
۶۰۰	۲۰	۲/۸۸	۱۲/۸	۱۰۰
۶۰۰	۳۰	۴/۳۲	۱۶/۴	۶۶/۶۶
۶۰۰	۴۰	۵/۷۶	۱۹/۲	۵۰

آنالیز شیمیایی

این مطالعه که با هدف بررسی کارایی فیلتراسیون چند لایه در حذف TP، COD، BOD5، TKN از آب خاکستری بوده است، به مدت ۱۵۷ روز به طول انجامید. نمونه برداری به طور پیوسته از ورودی و خروجی سیستم انجام شد. و در هر بارگذاری پارامترها تا پایدار شدن شرایط مورد سنجش قرار گرفتند. لازم به ذکر

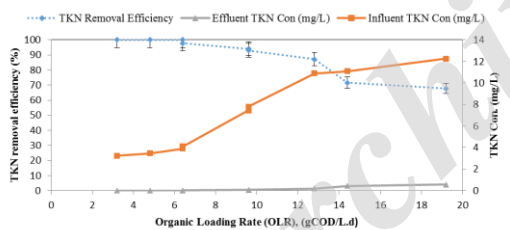
بر اساس نتایج بیشترین کارایی سیستم ۹۸ درصد می باشد، که در ۳ بارگذاری اول به دست آمده است.



شکل شماره ۳: میانگین غلظت ورودی و خروجی و راندمان حذف TP در بارگذاری های مختلف

کارایی سیستم در حذف^۲ TKN

میانگین غلظت ورودی و خروجی TKN به فیلتر شنی و راندمان حذف آن در بارگذاری های مختلف در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. طبق نمودار با افزایش بارگذاری راندمان سیستم به منظور حذف TKN کاهش یافته است. هم چنین بالا ترین راندمان سیستم ۹۹/۵ درصد می باشد، که در ۳ بارگذاری اول حاصل شد.



شکل شماره ۴: میانگین غلظت ورودی و خروجی و راندمان حذف TKN در بارگذاری های مختلف

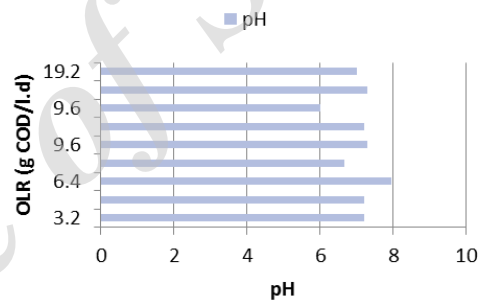
کارایی سیستم در حذف COD

در شکل شماره ۵ میانگین غلظت ورودی و خروجی و راندمان حذف COD در بارگذاری های گوناگون نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد، میانگین غلظت COD خروجی در محدوده ۹۵/۶۳ - ۱۳/۸۹ mg/L بوده است. و بیشترین راندمان

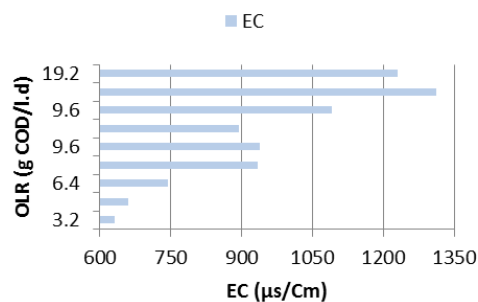
جدول شماره ۴: شرایط بهره برداری از سیستم در ابتدای هر

بار گذاری

Operation time (day)	OLR (g COD/L.d)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	TP(mg/L)
۲۳-۲۵	۳,۲	۱۳۶,۰±۱,۶	۱۹۷±۱,۵	۳,۷۵±۰,۸	۱,۵۷±۰,۳
۳۶-۵۰	۶,۸	۱۳۸,۵±۱,۱	۲۰۰±۱,۹	۳,۴۶±۰,۹	۱,۷۳±۰,۴۱
۵۱-۶۹	۶,۴	۱۴۰,۳±۱,۸	۲۰۳±۴,۴	۳,۸±۰,۸	۱,۹۶±۰,۴
۷۰-۸۱	۶,۴	۱۵۷,۲±۱,۷	۴۰۰±۲,۷	۴,۱±۱,۹	۳,۳±۰,۴
۸۲-۹۴	۹,۶	۲۶۱,۰±۰,۸	۴۰۲,۲±۲,۷	۷,۴۵±۰,۹	۴±۰,۴
۹۵-۱۱۰	۹,۶	۲۶۱,۳±۱,۶	۴۰۳±۲,۱	۷,۸±۱,۵	۴,۵۳±۰,۳
۱۱۱-۱۲۳	۱۲,۸	۳۷۸,۹±۰,۳	۵۵۷±۰,۳	۱۰,۹±۱,۶	۱۵±۰,۵
۱۲۴-۱۳۷	۲۴,۴	۳۸۱,۴±۰,۳۱	۶۰۰±۴,۸	۱۱,۱±۱,۲	۱۵±۰,۴
۱۳۸-۱۵۷	۱۹,۲	۳۸۷,۵±۲,۹	۶۰۱±۱,۶	۱۲,۲±۱,۳۱	۱۵,۵±۰,۲



۲-۱



۲-۲

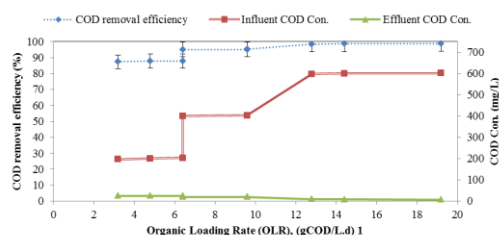
شکل شماره ۴: میزان pH و EC در بارگذاری های مختلف

کارایی سیستم در حذف TP

در شکل شماره ۳ میانگین مقادیر ورودی و خروجی TP به سیستم فیلتر شنی و راندمان حذف آن طی بارگذاری های مختلف نشان داده شده است.

^۲ Total Kjeldahl nitrogen

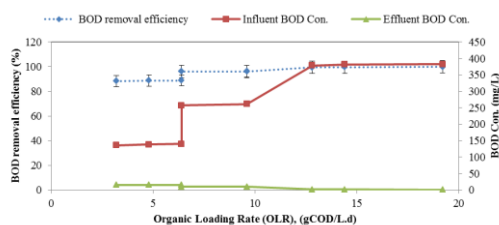
حذف COD برابر ۹۸/۸۷ درصد می‌باشد، که در g حذف COD/L.d 8/12 OLR به دست آمده است.



شکل شماره ۵: میانگین غلظت ورودی و خروجی و راندمان حذف COD در بارگذاری های مختلف

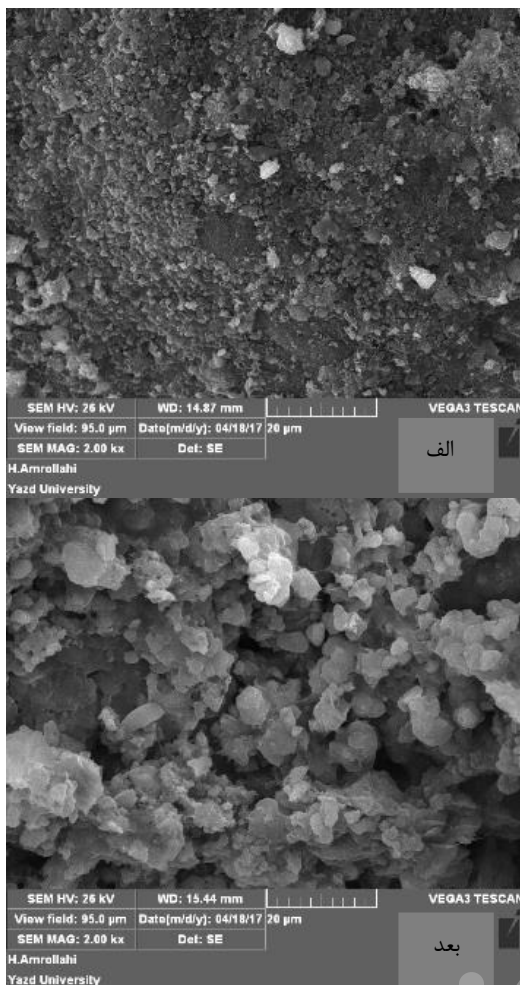
کارایی سیستم در حذف BOD5

باتوجه به شکل شماره ۶ میانگین مقادیر BOD5 خروجی ۹۸/۱۵ - ۵۹/۰ mg/L بوده است. و بیشترین راندمان حذف ۹۹/۸۴ درصد می‌باشد، که در $2/19 = \text{OLR}$ g COD/L.d به دست آمده است. هم‌چنین با افزایش بارگذاری راندمان سیستم، به منظور حذف BOD5 افزایش پیدا کرد. با توجه به آزمون آماری ANOVA این تغییرات معنادار نبوده است ($p = 0.065$)



شکل شماره ۶: میانگین غلظت ورودی و خروجی و راندمان حذف BOD5 در بارگذاری های مختلف

در شکل شماره ۷ تصاویر SEM از بیوفیلم تشکیل شده بر سطح شن در داخل فیلتر نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است بیوفیلم تشکیل شده دارای ضخامت قابل قبولی بوده، که باعث بهبود رشد میکرو ارگانیسم‌های تجزیه کننده مواد آلی و ارتقاء عملکرد سیستم خواهد شد. هم‌چنین این تصاویر در بارگذاری حداکثر تهیه گردیده است.



شکل شماره ۷: تصویر SEM از بیوفیلم تشکیل شده روی سطح مدیای فیلتر شنی (الف: قبل، ب: بعد)

بحث

کارایی سیستم در حذف COD، در مطالعه حاضر با افزایش نرخ بارگذاری راندمان حذف COD افزایش یافت. که می‌تواند به دلیل رشد جرم بیولوژیکی در سطح فیلتر و حذف بهتر مواد آلی از آب خاکستری باشد. هم‌چنین افزایش میزان OLR می‌تواند باعث تسریع نرخ رشد باکتری‌های اکسید کننده‌ی COD در جرم بیولوژیکی و در نتیجه افزایش درصد حذف گردد (۲۰). که طی این تحقیق رابطه تغییرات راندمان بر اساس آزمون ANOVA از لحاظ آماری معنی دار نبوده است ($p = 0.43$). در مطالعه Katukiza و همکاران در سال ۲۰۱۴، کارایی فیلتر شنی دو مرحله‌ای در تصفیه

باعث حذف بهتر مواد آلی می‌گردد. هم‌چنین در مواردی راندمان فیلتر شنی چند لایه کاهش یافت که می‌تواند به دلیل تفاوت سطح تجزیه پذیری بیولوژیکی آب خاکستری مورد استفاده باشد. در مطالعه‌ی Cornelia Merz و همکاران در سال ۲۰۰۷، از روش MBR به منظور حذف BOD5 استفاده گردید. این مطالعه به طور متوسط در بارگذاری آلی $16/0 \text{ Kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ مورد بهره برداری قرار گرفت. و میانگین BOD5 ورودی در این مطالعه $13 \pm 59 \text{ mg/L}$ بوده است. که راندمان حذف این سیستم ۹۴ درصد گزارش گردید (۲۱). Ali Bendida و همکاران در سال ۲۰۱۳، فاضلاب خانگی را با استفاده از فیلتر شنی مورد تصفیه قرار دادند. در این پژوهش میزان BOD5 فاضلاب 150 mg/L برآورد گردید. که نتایج به دست آمده در زمان‌های متفاوت بهره برداری، بیانگر بهبود کارایی سیستم با افزایش زمان تماس و حذف $93/33$ درصد BOD5 بوده است (۱۰). در مطالعه‌ی انجام شده توسط Sahar S Dalahmeh و همکاران در سال ۲۰۱۴، کارایی فیلترهای حاوی فوم، پوست درخت، زغال فعال و شن به عنوان مدیا، به منظور تصفیه آب خاکستری، مقایسه گردید. این مطالعه در بارگذاری آلی $014/0 \text{ Kg BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ صورت گرفت. هم‌چنین میزان BOD5 ورودی به سیستم 1407 mg بوده است. و بررسی‌ها نشان داد که فیلتر حاوی شن تنها به میزان ۶۲ درصد BOD5 را کاهش می‌دهد (۲۰). نتایج مطالعه حاضر با تحقیق Sahar S Dalahmeh مغایرت داشت. که می‌تواند بدلیل تفاوت اندازه موثر مدیای مورد استفاده در مطالعات باشد، هم‌چنین با توجه به این که مطالعه حاضر در رنج وسیعی از بارگذاری آلی انجام گرفته است، می‌توان این گونه نتیجه گرفت که افزایش میزان بارگذاری باعث بالا بردن میزان مواد آلی در دسترس میکرو ارگانیسم‌ها می‌گردد. در نتیجه فرایند اکسیداسیون بیولوژیکی و به دنبال آن فرایند تصفیه بهبود یافته است Janice Wilson. در سال ۲۰۱۱، طی

آب خاکستری در بارگذاری آلی $\text{Kg BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 115-41، مورد مطالعه قرار گرفت. و میانگین غلظت COD در پساب حاصله $42 \pm 256 \text{ mg/L}$ و درصد حذف آن، ۸۵/۹ درصد گزارش گردید. هم‌چنین طی این مطالعه با افزایش بارگذاری کیفیت پساب خروجی کاهش یافت (۱۶). مطالعه Sostar-Turk و همکاران در سال ۲۰۰۵ در زمینه تصفیه آب خاکستری با فرایند ترکیبی انعقاد، فیلتر شنی و گرانول کربن فعال نشان داد که میزان حذف COD برابر ۹۲ درصد می‌باشد (۱۷). Itayama و همکاران در سال ۲۰۰۶، در مطالعه‌ای کارایی خاک به عنوان فیلتر در تصفیه آب خاکستری را مورد سنجش قرار دادند. در این تحقیق میانگین غلظت COD ورودی به سیستم $3/23 \text{ mg/L}$ بوده است. که پس از طی شدن مراحل تصفیه راندمان حذف COD برابر ۸۵ درصد گزارش شد (۱۸). در مطالعه Mariah Siebert و همکاران در سال ۲۰۱۶ بر روی تصفیه آب خاکستری با استفاده از فیلتر شنی و گرانول کربن فعال، میزان COD در آب خاکستری ورودی به سیستم $1/79 \pm 8/145 \text{ mg/L}$ بوده است. که پس از طی شدن مراحل تصفیه راندمان حذف COD برابر ۵۶ درصد ذکر گردید. هم‌چنین زمانی که از خرده سنگ به عنوان مدیا و گرانول کربن فعال استفاده شد، درصد حذف به ۶۰ درصد افزایش یافت (۱۹). که نتایج با مطالعه حاضر مغایرت داشت. و می‌توان افزایش راندمان در مطالعه حاضر را بدلیل تشکیل بیوفیلم بر روی سطح مدیا که عامل اصلی تصفیه محسوب می‌شود، دانست.

کارایی سیستم در حذف BOD5، مقایسه نتایج این مطالعه با سایر مطالعات در این زمینه نشان می‌دهد که با افزایش بارگذاری، راندمان افزایش یافته که می‌تواند به علت تغذیه بهتر میکرو ارگانیسم‌های موجود در بیوفیلم باشد (۲۰). زیرا فیلتر شنی از دو طریق فیلتراسیون و معدنی سازی مواد آلی در بیوفیلم باعث حذف این مواد می‌گردد (۲۲، ۲۳). هم‌چنین با افزایش OLR و رشد بیوفیلم منافذ موجود در سطح فیلتر کوچک‌تر شده که

مطالعه ای تاثیر نرخ بارگذاری هیدرولیکی را در فیلتر شنی به منظور تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرار دادند. میانگین غلظت BOD5 موجود در فاضلاب mg/L 7/168 بوده است. و کارایی سیستم در حذف BOD5 ، 7/96 درصد گزارش گردید (۲۲). Katukiza و همکاران در سال ۲۰۱۴، طی مطالعه ای به بررسی کارایی فیلتر شنی در تصفیه آب خاکستری و بهینه سازی شرایط فیلتراسیون پرداختند. که نتایج بیان گر حذف ۶۷ درصد BOD5 در ارتفاع ۱۵ سانتیمتری بالای فیلتر بوده است (۱۶).

کارایی سیستم در حذف TKN ، براساس مطالعات صورت گرفته مهم ترین فرایند به منظور حذف TKN نیتریفیکاسیون می باشد. که به دو عامل محدود کننده غلظت TKN ورودی و غلظت اکسیژن محلول در سیستم بستگی دارد (۲۷). همان طور که قبلا ذکر گردید در این مطالعه در ۳ بارگذاری اول بر روی فیلتر شنی، سیستم دارای بالاترین راندمان بوده است. اما با گذشت زمان راندمان فیلتر شنی تنزل یافت. که می تواند به علت کاهش میزان TKN موجود در سیستم باشد. زیرا با افزایش بارگذاری، میزان مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی ورودی به سیستم نیز افزایش یافته است. که باعث افزایش نسبت BOD5/TKN می گردد. و چون نیتریفایرها به منبع کربن معدنی نیاز دارند، وجود میزان بالای کربن آلی باعث کاهش جمعیت نیتریفایرها در بیوفیلم، در نتیجه پایین آمدن راندمان حذف می گردد (۲۸). هم چنین با افزایش OLR ورودی به سیستم میزان اکسیژن محلول کاسته خواهد شد، در نتیجه راندمان کاهش می یابد. طبق این مطالعه مقدار حذف TKN 99 درصد بوده است، که مهم ترین عامل در دستیابی به این نتیجه نیتریفیکاسیون هم چنین جذب نترات در سلول های باکتریایی می باشد (۲۹). هم چنین می توان نتیجه گرفت که این فیلتر تاثیر به سزایی در حذف یون ها از جمله نترات دارد (۳۰). هم چنین بر اساس آزمون آماری ANOVA این اختلاف بین

راندمان های حذف در بارگذاری های مختلف از لحاظ آماری معنی دار بوده است) $p = 0/05$. طی مطالعه Friedler و همکاران در سال ۲۰۰۶، آب خاکستری با تلفیق فرایند RBC ، فیلتر شنی و کلر زنی مورد تصفیه قرار گرفت. که براساس این مطالعه TKN به میزان ۸۷ درصد حذف گردید (۱۱). Janice Wilson و همکاران در سال ۲۰۱۱، نقش میزان بارگذاری را بر عملکرد فیلتر شنی در تصفیه فاضلاب مورد مطالعه قرار دادند، که میزان TKN ورودی به سیستم mg/L 2/32 بوده است. و نتایج نشان داد که طی این مطالعه TKN به میزان ۹۳/۴ درصد قابل حذف می باشد (۲۲). Cornelia Merz و همکاران در سال ۲۰۰۷، آب خاکستری را با استفاده از ممبران بیوراكتور مورد تصفیه قرار دادند، که نتایج بیان گر حذف ۶۳ درصد TKN بود. هم چنین میانگین TKN در پساب mg/17/5 برآورد گردید (۲۱). در مطالعه A.Y. Katukiza و همکاران در سال ۲۰۱۴، آب خاکستری با استفاده از فیلتر شنی دو مرحله ای مورد تصفیه قرار گرفت. کارایی این فیلتر در حذف TKN ، 69 درصد گزارش شد (۱۶). Amr M در سال ۲۰۱۳، طی تحقیقی کارایی RBC را به منظور تصفیه آب خاکستری مورد مطالعه قرار داد، نتایج نشان داد در این روش TKN به میزان ۵۷ درصد قابل حذف می باشد (۲۴). طبق مطالعه ای دیگر توسط A.Y. Katukiza و همکاران در سال ۲۰۱۴، آب خاکستری به روش فیلتراسیون مورد تصفیه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در نرخ بارگذاری هیدرولیکی 20 cm/day و 40 cm/day ، درصد حذف TKN به ترتیب ۶۹/۱ و ۶۵ درصد می باشد (۲۵). M. Achak و همکاران در سال ۲۰۰۹، حذف نوترینت ها را توسط فیلتر شنی از فاضلاب مورد مطالعه قرار دادند. که نتایج بیان گر حذف ۹۱ درصد TKN بوده است (۲۶).

کارایی سیستم در حذف TP ، در این مطالعه با افزایش مقادیر OLR راندمان حذف TP کاهش یافت.

میزان بارگذاری‌های مختلف بر کارایی سیستم در طول ۱۵۷ روز مورد بررسی قرار گرفت. بهترین راندمان حذف برای TP، COD، BOD5 و TKN به ترتیب ۹۹، ۹۸/۸۷، ۹۹/۸۴ و ۹۹/۵ درصد بود. بررسی تاثیر بارگذاری بیان‌گر این است که با افزایش OLR راندمان حذف COD و BOD5 افزایش یافته و براساس آزمون آماری ANOVA اختلاف بین راندمان‌های حذف در بارگذاری‌های مختلف معنادار نبوده است ($p = 0/43$)، اما در رابطه با TP و TKN با افزایش OLR راندمان حذف کاهش پیدا کرده است. که طبق آزمون آماری ANOVA ارتباط بین تغییرات TKN و TP معنادار بوده است ($p = 0/05$)، $p = 0/009$). هم‌چنین تصاویر SEM نشان داد که بیوفیلم تشکیل شده بر روی مدیا در افزایش راندمان حذف COD و BOD5 تاثیر بسزایی داشته است.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر نتیجه پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت با کد اخلاق (IR.SSU.SPH.REC.1395.25) می‌باشد. بدین وسیله از تمامی نویسندگان این مقاله و همکاران مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط زیست سپاسگزاری می‌گردد.

References

- Sanchez M, Rivero M, Ortiz I. Photocatalytic oxidation of grey water over titanium dioxide suspensions. *Desalination*. 2010;262(1):141-146.
- Eriksson E, Auffarth K, Henze M, Ledin A. Characteristics of grey wastewater. *Urban water*. 2002;4(1):85-104.
- Bani-Melhem K, Al-Qodah Z, Al-Shannag M, Qasimeh A, Qtaishat MR, Alkasrawi M. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *J Membrane Sci*. 2015;476:40-49.
- Hernández Leal L, Soeter AM, Kools SA, Kraak MH, Parsons JR, Temmink H, et al. Ecotoxicological assessment of grey water treatment systems with *Daphnia magna* and *Chironomus*

که با توجه به آزمون آماری ANOVA این اختلاف بین راندمان‌های حذف در بارگذاری‌های مختلف از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است) ($p = 0/009$). هم‌چنین مناسب بودن راندمان حذف فسفر توسط فیلتر شنی چند لایه در این مطالعه می‌تواند مربوط به باکتری‌های موجود در بیوفیلم تشکیل شده روی مدیا باشد، که برای رشد خود نیاز به مصرف فسفر داشته‌اند و یا مربوط به میکروارگانیسم‌های ذخیره‌کننده فسفر (Phosphorus Accumulating Organisms) (PAOs) باشد (۳۳، ۳۴). Achak و همکاران در سال ۲۰۰۹، میزان حذف نوترینت‌ها از فاضلاب را توسط فیلتر شنی مورد مطالعه قرار دادند، که درصد حذف TP توسط این فیلتر ۹۹ درصد گزارش گردید (۲۶). طی مطالعه Sahar S. Dalahmeh و همکاران در سال ۲۰۱۴، آب خاکستری به وسیله فیلتر شنی مورد تصفیه قرار گرفت. میانگین غلظت TP ورودی به این سیستم $mg/l 94/2$ برآورد گردید. هم‌چنین نتایج نشان داد که TP با این روش به میزان ۷۸ درصد قابل حذف می‌باشد (۲۰). Jianjun Chen و همکاران در سال ۲۰۱۷، آب خاکستری را با استفاده از یک فیلتر زیستی مورد تصفیه قرار دادند. براساس این مطالعه TP به میزان ۴۳ درصد حذف گردید. و میانگین غلظت TP در پساب خروجی $mg/l 92/0$ بوده است (۳۱). در این مطالعه کارایی فیلتر شنی چند لایه در حذف TP، COD، BOD5 و TKN از آب خاکستری و تاثیر

- riparius. *Water Res.* 2012;46(4):1038-1044.
5. Ottoson J, Stenström TA. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Res.* 2003;37(3):645-655.
 6. Leal H, Temmink H, Zeeman G, Buisman C. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. *Desalination.* 2011;270 (1-3):111-115.
 7. Jefferson B, Burgess JE, Pichon A, Harkness J, Judd SJ. Nutrient addition to enhance biological treatment of greywater. *Water Res.* 2001;35(11):2702-2710.
 8. Misra RK, Sivongxay A. Reuse of laundry greywater as affected by its interaction with saturated soil. *Journal Hydrol.* 2009;366(1):55-61.
 9. Hernández Leal L, Temmink H, Zeeman G, Buisman CJ. Comparison of three systems for biological greywater treatment. *Water.* 2010;2(2):155-169.
 10. Bendida A, Tidjani AE-B, Badri A, Kendouci MA, Nabou M. Treatment of domestic wastewater from the town of Bechar by a sand filter (sand of Beni Abbes Bechar Algeria). *Energy Procedia.* 2013;36:825-833.
 11. Friedler E, Hadari M. Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination.* 2006;190(1-3):221-234.
 12. Rodgers M, Healy M, Mulqueen J. Organic carbon removal and nitrification of high strength wastewaters using stratified sand filters. *Water Res.* 2005;39(14):3279-3286.
 13. Sychala M, Blazejewski R. Sand filter clogging by septic tank effluent. *Water Sci Technol.* 2004;48(11-12):153-159.
 14. Dalahmeh SS, Pell M, Vinnerås B, Hylander LD, Öborn I, Jönsson H. Efficiency of bark, activated charcoal, foam and sand filters in reducing pollutants from greywater. *Water Air Soil Poll.* 2012;223(7):3657-3671.
 15. Eslami H, Ehrampoush MH, Ghaneian MT, Mokhtari M, Ebrahimi A. Effect of Organic Loading Rates on biodegradation of linear alkyl benzene sulfonate, oil and grease in greywater by Integrated Fixed-film Activated Sludge (IFAS). *J Environ Manage.* 2017;193:312-317.
 16. Katukiza AY, Ronteltap M, Niwagaba CB, Kansiime F, Lens PN. A two-step crushed lava rock filter unit for grey water treatment at household level in an urban slum. *J Environ Manage.* 2014;133:258-267.
 17. Šostar-Turk S, Petrinić I, Simonič M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resour Conservation Recy.* 2005;44(2):185-196.
 18. Itayama T, Kiji M, Suetsugu A, Tanaka N, Saito T, Iwami N, et al. On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water. *Water Sci Technol.* 2006;53(9):193-201.
 19. Zipf MS, Pinheiro IG, Conegero MG. Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated

- carbon. *J Environ Manage.* 2016;176:119-127.
20. Dalahmeh SS, Pell M, Hylander LD, Lalander C, Vinnerås B, Jönsson H. Effects of changing hydraulic and organic loading rates on pollutant reduction in bark, charcoal and sand filters treating greywater. *J Environ Manage.* 2014;132:338-345.
 21. Merz C, Scheumann R, El Hamouri B, Kraume M. Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. *Desalination.* 2007;215(1-3):37-43
 22. Wilson J, Boutilier L, Jamieson R, Havard P, Lake C. Effects of hydraulic loading rate and filter length on the performance of lateral flow sand filters for on-site wastewater treatment. *Journal of Hydrologic Engineering.* 2011;16(8):639-649.
 23. Wijeyekoon S, Mino T, Satoh H, Matsuo T. Effects of substrate loading rate on biofilm structure. *Water Res.* 2004;38(10):2479-2488.
 24. Abdel-Kader AM. Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences.* 2013;25(2):89-95.
 25. Katukiza AY, Ronteltap M, Niwagaba CB, Kansime F, Lens PNL. Grey water treatment in urban slums by a filtration system: Optimisation of the filtration medium. *J Environ Manage.* 2014;146:131-41.
 26. Achak M, Mandi L, Ouazzani N. Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter. *J Environ Manage.* 2009;90(8):2771-2779.
 27. kermani M, Bina B, Movahedian H, Amin M, Nikaeen M. Performance and Modeling of Moving Bed Biofilm Process for Nutrient Removal from Wastewater. *Water and Wastewater.* 2010;21(3)(75):9-19.(persian)
 28. Pirsahab M, Moradi M, Sharafi K. Evaluation of Activated Sludge with a Submerged Fixed Bed in the Removal of Phosphorus and Nitrogen Compounds from Hospital Wastewater. *Water and Wastewater.* 2015;26(97):28-36.(persian)
 29. Healy MG, Rodgers M, Mulqueen J. Performance of a stratified sand filter in removal of chemical oxygen demand, total suspended solids and ammonia nitrogen from high-strength wastewaters. *J Environ Manage.* 2007;83(4):409-415.
 30. Nakhla G, Farooq S. Simultaneous nitrification–denitrification in slow sand filters. *J Hazard Mater.* 2003;96(2):291-303.
 31. Chen J, Liao Z, Lu S, Hu G, Liu Y, Tang C. Study on a stepped eco-filter for treating greywater from single farm household. *Applied Water Science.* 2017:1-9.
 32. Wang B, Wang W, Han H, Hu H, Zhuang H. Nitrogen removal and simultaneous nitrification and denitrification in a fluidized bed step-feed process. *J Environ Sci.* 2012;24(2):303-308.
 33. Ramprasad C, Philip L. Surfactants and personal care products removal in pilot

scale horizontal and vertical flow constructed wetlands while treating greywater. Chem Eng J. 2016;284:458-468.

34. Carosia MF, Okada DY, Sakamoto IK, Silva EL, Varesche MB. Microbial

characterization and degradation of linear alkylbenzene sulfonate in an anaerobic reactor treating wastewater containing soap powder. Bioresour Technol. 2014;167:316-323.

Archive of SID