Improvement of Stabilization Pond Effluent by Horizontal Roughing Filter (HRF)

M. Daee[1], A. Alizadeh[2], A. Farid Hosseini[3], A. Rashidi Mehrabadi[4]

1. PhD Student of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Prof. of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding Author) alizadeh@um.ac.ir
3. Assist. Prof. of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4. Assist. Prof., Faculty of Water and Enviromnemt Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received Dec. 27, 2016 Accepted Feb. 20, 2017)

To cite this article :
Daee, M., Alizadeh, A., Farid Hosseini, A., Rashidi Mehrabadi, A., 2018, "Improvement of stabilization pond effluent by horizontal roughing filter (HRF)." Journal of Water and Wastewater, 29(3), 88-98
Doi: 10.22093/wwj. 2017. 71248.2314 (In Persian)

Archive of SID

Abstract

User-friendly and low-cost wastewater treatment plants are good options for treating wastewater of small communities. The effluent of these treatment plants can be improved by various methods including using a horizontal rouphing filter (HRF). In this paper, HRF performance was evaluat by passing the Parkandabad wastewater treatment plant effluent through pilot scale constructed HRF. The HRF was constudted with four-compartments of different sand sizes and was operated under three filtration rates of 0.5, 1 and 1.5 $m^3/m^2.h$. The results obtained from this study showed that the HFR performed the best at filtration rate of 0.5m/h when the removal efficiency for BOD_5 and COD was 61 and 63 %, respectively. Optimum removal efficieny of BOD_5 and COD up to 65% could be achieved with an extended filtration run length. However, longer duration of filter operation after 4 months, reduced the filter performance for BOD_5 and COD removal efficiency to 56.8 and 61.5%, respectivel. In conclusion, by using 4-compartment HRFs, compared with the conventional 3-compartment filtration, it may be possible to produce effluent quality for BOD_5 and COD that is permissible for agricultural irrigation purposes.

Keywords: HRF, COD, BOD_5, Filtration Rate, Removal Efficiency.

www.SID.ir

کارایی صافی درشت‌دانه با جریان افقی در ارتقای کیفیت پساب خروجی و احتمال بازیافت آن برای کشاورزی

مجید دایی[۱]، امین علیزاده[۲]، علیرضا فرید حسینی[۳]، عبدا... رشیدی مهرآبادی[۴]

۱- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(نویسنده مسئول) alizadeh@um.ac.ir
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استادیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت ۹۵/۱۰/۷ پذیرش ۹۵/۱۲/۲)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
دایی، م.، علیزاده، ا.، فرید حسینی، ع.ر.، رشیدی مهرآبادی، ع.، ۱۳۹۷، "کارایی صافی درشت‌دانه با جریان افقی در ارتقای کیفیت پساب خروجی و احتمال بازیافت آن برای کشاورزی" مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۳)، ۹۸-۸۸. **Doi: 10.22093/wwj.2017.71248.2314**

چکیده

ارتقا و بهبود فرایندهای تصفیه فاضلاب و همچنین بهبود وضعیت کیفی جریان خروجی از تصفیه‌خانه‌های ثانویه راه کار مفیدی برای بازیافت آب است. از این‌رو استفاده از روش‌های طبیعت محور که دارای هزینه اولیه نسبتاً پایین و کاربری آسان هستند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش از سیستم صافی درشت‌دانه با جریان افقی استفاده شد. برای تحقق بخشیدن این پژوهش، خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد مشهد طی مدت عملکرد پایلوت ارزیابی شد. عملکرد صافی درشت‌دانه با جریان افقی در مقیاس پایلوت با چهار محفظه در اندازه سنگدانه‌های متفاوت و در سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱ و ۱/۵ مترمکعب بر متر مربع در ساعت مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، عملکرد صافی تحت تأثیر فاضلاب ارزیابی شد. مقایسه سه نرخ فیلتراسیون نشان داد که بالاترین راندمان در حذف BOD_5 و COD که معادل ۶۱ و ۶۳ درصد بوده، در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت حاصل شد. تجزیه و تحلیل نمونه‌ها در نرخ ۰/۵ متر در ساعت نشان داد که با افزایش زمان کارکرد صافی (T)، درصد حذف BOD_5 و COD تا ماه چهارم راهبری سیستم، ابتدا تا ۶۵ درصد افزایش داشت و بعد از آن تا پایان مدت زمان راهبری سیستم این میزان به‌ترتیب به ۵۶/۸ و ۶۱/۵ درصد کاهش یافت. همچنین نشان داده شد که استفاده از صافی چهار قسمته، راندمان سیستم را در مقایسه با صافی‌های سه قسمته به‌کار برده شده در پژوهش‌های پیشین، بهبود بخشیده است. با استفاده از صافی درشت‌دانه افقی چهار قسمته احتمال اینکه بتوان آبی با کیفیت قابل قبول در ارتباط با حدود مجاز در مورد شاخص‌های BOD_5 و COD برای امور آبیاری و کشاورزی تولید کرد، قابل دسترس است.

واژه‌های کلیدی: صافی درشت‌دانه افقی، BOD_5، COD، نرخ فیلتراسیون، راندمان حذف

۱- مقدمه

افزایش دمای کره زمین، انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش منابع آبی در دسترس و علاوه بر آن گسترش صنعت و توسعه شهرنشینی همراه با افزایش جمعیت و افزایش نیاز آبی، ارتقاء سطح بهداشت جامعه و به تبع آن افزایش سرانه مصرف آب، تغییر اقلیم، تناوب و گستردگی دوره‌های خشکسالی، کمبود آب و هزینه بالای سرمایه‌گذاری انتقال آب بین حوزه‌ای و تأثیرات زیست محیطی ناشی از این اقدام، سبب شده است که استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده (بازچرخانی) در دهه‌های اخیر بیش از قبل مورد توجه قرار گیرد(Graham 1988). تشدید بحران آب در ایران و توسعه شبکه‌های جمع‌آوری و احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سال‌های اخیر نیز توسعه قابل توجهی داشته است. روزانه حجم بالایی از فاضلاب تولیدی جوامع وارد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌شود که در برخی موارد به‌دلیل کمبود ظرفیت‌های موجود تصفیه،

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.71248.2314

پاسخگویی به این حجم بالای جریان ممکن نیست. روش‌های مختلفی برای پالایش و رفع آلودگی‌های جریان فاضلاب خام وجود دارد. در برخی از مناطق، به‌علت کمبود نقدینگی و هزینه‌های بالا در احداث تصفیه‌خانه‌های پیشرفته فاضلاب، به‌کارگیری روش‌های طبیعی، کم هزینه و آسان مانند برکه‌های تثبیت فاضلاب مد نظر قرار گرفته است. با توجه به فرایند تصفیه در این‌گونه تصفیه‌خانه‌ها، کیفیت پساب خروجی از آنها در بیشتر موارد، تمامی شاخص‌های کیفی استاندارد را تأمین نمی‌کند و لذا انجام اقدامات اصلاحی و ارتقای کیفیت خروجی آنها همیشه به‌عنوان یک نگرانی ملموس مدنظر بوده است. از این‌رو، به‌کارگیری روش‌هایی که بتواند راندمان کیفیت پساب را ارتقای دهد با اهمیت است. در این بین، روش‌های طبیعت محور از جمله فرایند فیلتراسیون با استفاده از صافی‌های درشت دانه با جریان افقی می‌تواند راهگشای برخی از این مشکلات در صنعت آب و فاضلاب شود.

همچنین با توجه به این که در اغلب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای گندزدایی پساب خروجی از ترکیبات کلر استفاده می‌شود، هزینه‌های مصرف کلر برای حصول اطمینان از استاندارد کیفیت بیولوژیکی در پساب خروجی، بیشتر خواهد بود. لذا کاهش جلبک موجود در پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش‌های طبیعی و ارتقای راندمان کیفی آنها یکی از چالش‌های مهم در موضوع استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده است. در همین راستا استفاده از روش‌های ساده و ارزان قیمت با راهبری آسان به‌منظور کاهش جلبک و مواد معلق موجود در پساب خروجی از این‌گونه تصفیه‌خانه‌ها مورد توجه قرار گرفت. در این بین، استفاده از صافی‌های شنی درشت‌دانه با جریان افقی (HRF) می‌تواند گزینه مطلوبی باشد (Graham, 1988). زمانی که شاخص‌هایی نظیر کدورت و ذرات معلق در خروجی از صافی پایین باشد، عملکرد آنها قابل اطمینان و مطلوب ارزیابی می‌شود (Graham, 1988). این نوع از صافی به‌علت ماهیت متخلخلی که دارد، قادر است ذرات معلق موجود در جریان فاضلاب نظیر جلبک‌ها را جدا نموده و میزان کدورت را کاهش دهد.

صافی‌های درشت‌دانه افقی از دهه‌های نیمه دوم قرن بیستم برای بهبود کیفیت منابع آب سطحی و حذف کدورت و مواد جامد معلق مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Mukhopadhay, 2009). صافی‌های درشت‌دانه با جریان افقی شامل سه بخش طول صافی، اندازه ذرات قرار گرفته در هر بخش از دانه‌بندی و نرخ فیلتراسیون می‌باشد. سنگدانه‌هایی که به‌عنوان بستر متخلخل صافی به‌کار می‌رود از جمله سنگدانه‌های مقاوم شنی و کوارتز می‌باشد (Graham, 1988). یک صافی درشت‌دانه با جریان افقی دارای ساختمانی چند محفظه‌ای است که به‌صورت سری، افقی و به‌ترتیب در جهت جریان از دانه‌های درشت‌تر تا ریزتر پر شده‌اند. طول این صافی‌ها محدودیتی ندارد اما در حالت کلی و در اغلب موارد ابعاد آن‌ها برای استفاده عملیاتی در حدود ۵ تا ۹ متر ساخته می‌شوند (Wegelin et al., 1987; 1961) و هر چه طول صافی بزرگ‌تر باشد، راندمان حذف ذرات بالاتر خواهد بود (Nkwonta, 2010). اصلی‌ترین فرایند حذف در صافی‌های درشت‌دانه با جریان افقی فرایند ته‌نشینی است (Nkwonta, 2010). در مدت زمان بهره‌برداری، ذرات در فیلتر تحت تأثیر نیروی ثقل در جهت جریان به سمت پائین منحرف می‌شوند (Wegelin et al., 1996). کارایی این صافی‌ها به‌میزان ۷۰ تا ۹۰ درصد حذف کدورت و مواد جامد معلق گزارش شده است (Wegelin et al., 1996). راندمان صافی‌ها و بهبود شاخص‌های کیفی پساب از جمله COD در روزهای ابتدایی بهره‌برداری پایین است و به مرور زمان بهبود می‌یابد و پس از مدتی تثبیت می‌شود. راندمان این صافی‌ها با افزایش نرخ بارگذاری کاهش می‌یابد و بهترین راندمان آن‌ها در نرخ‌های کمتر از ۱/۵ متر بر ساعت بر روز است (Wegelin et al., 1996). پژوهش‌ها نشان داده که تخلخل و زبری ذارت بر راندمان صافی‌های درشت‌دانه در مقابل اندازه و شکل منافذ میکروسکوپی، از تأثیر بیشتری برخوردار است (Wegelin et al., 1987). هر چه اندازه سنگدانه ریزتر باشد، صافی از تمرکز بیشتری برخوردار است؛ بنابراین کارایی صافی بهبود می‌یابد (Nival and Nival, 1976).

علی‌رغم، مزیت‌های بسیار صافی‌های درشت‌دانه افقی، این صافی‌ها به‌علت وجود منافذ فیلتری در طی مدت زمان مشخصی دچار گرفتگی خواهند شد که نیاز به احیای مجدد دارند (Wegelin et al., 1987). علاوه بر این، صافی‌ها در نرخ‌های جریان بسیار بالا راندمان مناسبی در فرایندهای بیولوژیکی ندارند و همین امر سبب شده است که عمده کاربرد این صافی‌ها در نرخ جریان پایین و برای حذف کدورت و مواد معلق موجود در جریان متمرکز شود (Wegelin et al., 1987).

پایین بودن نرخ فیلتراسیون راندمان فرایند را افزایش می‌دهد

Archive of SID

www.SID.ir

(Boller, 1993). علت این امر این است که با نرخ فیلتراسیون پایین، مدت زمان بیشتری برای ذرات معلق فراهم می‌آید تا با نیروی گرانش ته‌نشین شوند. اندازه متوسط نرخ فیلتراسیون توسط هندریک از ۰/۳ تا ۱/۵ متر در ساعت گزارش شده است (Hendricks, 1991). صافی‌ها از نظر تغییرات سنگدانه‌ها به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند. در پژوهش‌های پیشین، بیشتر از صافی‌هایی استفاده شده است که از سه بخش با اندازه سنگدانه متفاوت تشکیل شده‌اند که به‌طور معمول در محل ورود جریان، سنگدانه‌ها درشت‌تر و در انتهای صافی که محل خروج جریان است، به تدریج اندازه سنگدانه‌ها ریزتر می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغییرات طول هر بخش از طبقه‌بندی صافی نیز بر راندمان سیستم مؤثر است (Nkwonta, 2010, Hendricks, 1991).

ارزیابی این تغییرات نیازمند آزمایش‌های متعدد است. تعیین بهینه‌ترین نوع از ترکیب تعداد و طول کلاس‌های طبقه‌بندی سنگدانه‌ها، راندمان صافی را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این چندین پژوهش در مورد عملکرد صافی درشت‌دانه در فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش میزان BOD_5 و COD صورت گرفته است (Khazaei et al., 2010, Mahvi et al., 2004). خزایی و همکاران در بررسی عملکرد صافی درشت‌دانه از نوع سه قسمته، از سه نرخ فیلتراسیون استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از صافی درشت‌دانه با جریان افقی می‌تواند تا ۶۱ درصد میزان COD را کاهش دهد. در پژوهش دیگری، صافی درشت‌دانه افقی در نرخ ۰/۳ متر در ساعت علاوه بر نرخ ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر در ساعت آزمایش شد. خروجی‌ها نشان داد که راندمان سیستم با کاهش نرخ راهبری افزایش می‌یابد اما برای رسیدن به وضعیت مطلوب در استفاده از این سیستم، نیازمند سرعت بالاتری در فیلتراسیون و کاهش آلودگی‌ها است. در پژوهش دیگری عملکرد صافی درشت‌دانه افقی در مورد حذف COD بررسی شده است (Sphesihle, 2016).

با توجه به خصوصیات مثبت و منفی صافی‌های درشت‌دانه، هزینه احداث اولیه کم و عدم نیاز به تخصص ویژه برای راهبری و اجرا، استفاده از آن‌ها در این پژوهش مدنظر قرار گرفت. در این پژوهش تلاش شد با تغییر ساختار صافی درشت‌دانه از سه به چهار قسمته، میزان راندمان سیستم افزایش یافته و راندمان بالاتری نسبت به سایر سیستم‌های متداول صافی درشت‌دانه حاصل شود.

این پژوهش با هدف کلی ذکر شده به‌منظور کاهش مواد جامد معلق و کدورت فاضلاب از جریان خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب برکه تثبیت و با هدف اختصاصی، امکان سنجی حصول استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران در استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده برای تخلیه در محیط زیست از مرداد ماه سال ۱۳۹۳ تا مرداد ۱۳۹۵ انجام شد.

۲- مواد و روشها

پایلوت صافی مدنظر در انتهای فرایندهای برکه تثبیت و در محل خروجی تصفیه‌خانه قرار گرفت. در پژوهش‌های پیشین عموماً از سه دانه‌بندی سنگدانه‌ها در صافی استفاده شده است (Nkwonta, 2010). تفاوت عمده این پژوهش با پژوهش‌های پیشین، به‌کارگیری پایلوت با چهار دانه‌بندی سنگدانه بود. در این پژوهش فرض بر آن بود که صافی چهار قسمته می‌تواند به بهبود راندمان حذف کمک نماید لذا با انجام بررسی‌ها و مطالعه سوابق پژوهش متنوع در زمینه صافی‌های شنی درشت‌دانه با جریان افقی و نشست‌های کارشناسی در مورد نحوه ساخت و اجرای پایلوت، نهایتاً پایلوت در مقیاس مدنظر مبتنی بر رهنمودهای ویجیلین طراحی و ساخته شد (Wegilin, 1996). شکل ۱ پایلوت استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

پایلوت مورد نظر از جنس ورق و پروفیل آهن گالوانیزه با اتصال جوش که دیواره جلویی به‌منظور امکان رویت از جنس شیشه به ضخامت ۱۰ میلی‌متر بوده، با چهار دانه‌بندی سنگدانه با ارتفاع و طول کل ۱/۶ و ۷/۳ متر با ابعاد ۰/۴، ۰/۶، ۰/۵ و ۱ متر به‌ترتیب عرض، ارتفاع، ارتفاع بستر و ارتفاع پایه‌ها (f) ساخته و در محل خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب پرکند آباد ۲ مشهد با سیستم برکه تثبیت مستقر شد. بخش‌های a، b، c و d، چهاردانه بندی سنگدانه در طول صافی بود که به‌ترتیب دارای سنگدانه‌هایی به قطر ۸۰~۵۰ میلی‌متر درشت‌ترین، ۵۰~۳۰، ۳۰~۲۰ و ۱۰~۵ میلی‌متر ریزترین بوده است. جنس سنگدانه‌ها شن و ماسه بود و جریان، از سمت درشت دانه وارد و از سمت ریزدانه خارج می‌شد. شیرهایی برای برداشت نمونه در ورودی و خروجی هر قسمت در جدار صافی تعبیه شد. همچنین در زیر هر قسمت محل‌هایی قیفی شکل (e) به‌منظور زهکشی و جمع‌آوری مواد جامد ته‌نشین شده

Archive of SID

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.71248.2314

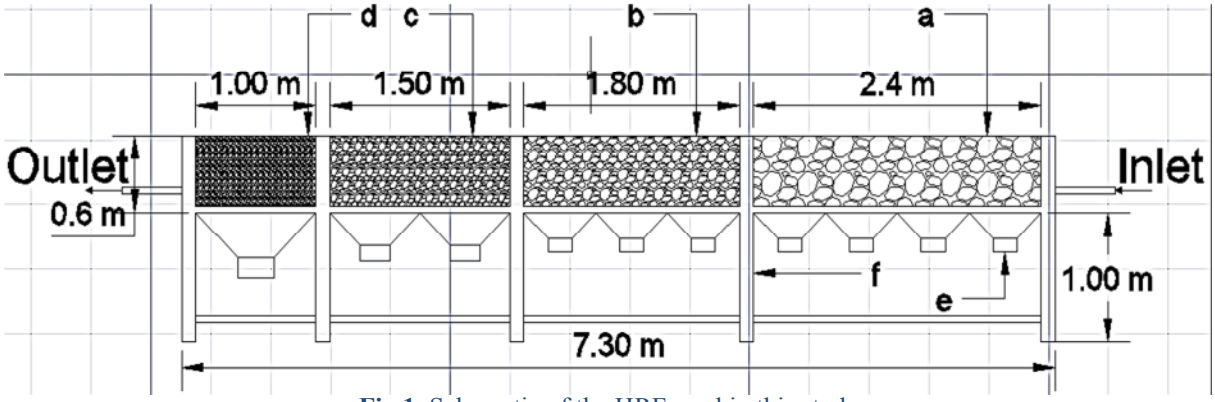

Fig.1. Schematic of the HRF used in this study

شکل ۱- طرح شماتیک پایلوت صافی درشت دانه افقی به‌کار رفته در این پژوهش

(رسوبات) برای احیای سیستم در انتهای هر دوره زمانی وجود داشت.

فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه با به‌کارگیری یک دستگاه پمپ تکفاز مستغرق با توان کاری ۰/۳۷ کیلووات و حداکثر دبی ۱۳۰ لیتر در دقیقه به ورودی پایلوت مورد نظر منتقل و به‌صورت پیوسته در سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱ و ۱/۵ مترمکعب بر متر مربع در ساعت در سه دوره زمانی مجزا و مجموعاً به‌مدت حدود یکسال از طول صافی عبور داده شد. با توجه به نتایج پیش آزمون حاصل از بررسی نتایج کیفی سالانه، تغییرات معنی‌داری در نتایج خروجی تصفیه‌خانه (ورودی پایلوت) مشاهده نشد. لذا جامعه آماری به‌صورت همگن فرض شد و نمونه‌برداری از ورودی و خروجی هر قسمت همزمان به‌صورت نمونه ساده تصادفی و روزانه مبتنی بر دستورالعمل مندرج در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب برداشت شد. داده‌های جمع‌آوری شده آنالیز و شاخص‌های پراکندگی شامل میانگین، دامنه و انحراف از معیار توسط نرم‌افزار طرح آزمایش و برنامه اکسل ۲۰۱۰ محاسبه شد. همچنین تحلیل‌های آماری شامل نرمال بودن داده‌ها، تحلیل باقیمانده‌ها[1]، تحلیل نقاط پرت و حذف آنها و علاوه بر این نمودار باکس-کاکس[2] بررسی شد. در طول دوره عملکرد صافی حدود ۱۴۰۰ نمونه برای هر نرخ فیلتراسیون برداشت شد و مورد آنالیز قرار گرفت. در این پژوهش، مؤلفه‌هایی نظیر اندازه ذارت و نرخ فیلتراسیون در مدت زمان آزمایش از اعداد معینی برخوردار بوده است. در مورد ارائه نتایج، راندمان صافی مبتنی بر دو شاخص اساسی عملکرد صافی‌های شنی، درصد حذف کل BOD_5 و COD در خروجی از صافی بنا نهاده شد.

جدول ۱ بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌هایی نظیر TSS، کدورت جریان (TUR)، BOD_5، COD، مقدار کلروفیل a ورودی به صافی درشت‌دانه چهار محفظه در اندازه سنگدانه‌های متفاوت و همچنین زمان راهبری سیستم و تعداد نمونه‌برداری‌ها را برای سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر در ساعت ارائه می‌دهد.

تعداد کل نمونه‌ها در هر نرخ فیلتراسیون قابل ملاحظه بود و انحراف استاندارد حاصل در بازه تغییرات بیشینه و کمینه ثبت شده قابل قبول بود. علاوه بر این، شاخص پیشنهادی در تحلیل آماری نرم افزار طرح آزمایش، prob>F حاصله کمتر از ۰/۰۵ در تمامی مقادیر ورودی بود که نشان دهنده مؤثر بودن سه فاکتور زمان راهبری سیستم، کیفیت شاخص ورودی به صافی و خروجی از آن در تحلیل رفتار صافی است. از ارائه نتایج تحلیل آماری داده‌های ورودی به سیستم خودداری می‌شود و تنها به این موضوع بسنده می‌شود که داده‌های ورودی نسبت به هم همگن بوده و میزان نرمال بودن آنها قابل قبول بود.

۳- نتایج و بحث

طی مطالعات پایلوتی این پژوهش بر روی صافی درشت‌دانه افقی چهار قسمته، دو شاخص BOD_5 و COD که تغییرات محسوسی داشتند، مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۲ تغییرات BOD_5 را در

[1] Residuals
[2] Box-Cox Plot

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- داده‌های خام ورودی به پایلوت صافی چهار محفظه و شرایط ارزیابی‌های آزمایشگاهی

Table 1. Raw inflow to four-compartment HRF and experimental assessment conditions

Filtration rate (m/h)	Filter run length (Day)	Parameter	Unit	Min	Max	Mean	±Standard deviation
0.5	141	TSS	(mg/L)	87	112	100.6	6.73
		TUR	(NTU)	662	689	675.4	4.86
		BOD5	(mg/L)	100	113	105.3	3
		COD		217	233	222.8	3.58
		Chlorophyll a	(µg/L)	705	745	721.2	12
1	120	TSS	(mg/L)	87	111	96.77	6.27
		TUR	(NTU)	662	689	674.66	5.77
		BOD	(mg/L)	105	116	111.3	2.81
		COD		220	231	226	2.06
		Chlorophyll a)	(µg/L)	705	745	724.6	6.23
1.5	100	TSS	(mg/L)	64	111	97.25	6.56
		TUR)	(NTU)	662	689	675.62	5.62
		BOD	(mg/L)	104	113	108.4	2.39
		COD		215	223	219	2.07
		Chlorophyll a	(µg/L)	705	732.5	717.8	6.89

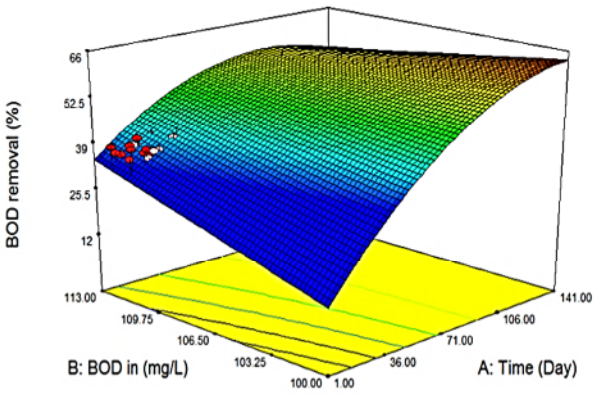

Fig. 2. BOD_5 removal rate during operation per inflow filtration rate ($0.5\ m^3/m^2.hr$)

شکل ۲- میزان حذف BOD_5 در طول زمان عملکرد به ازای غلظت ورودی (نرخ فیلتراسیون $0/5\ m^3/(m^2.hr)$)

برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD_5 ورودی به صافی درشت‌دانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش زمان کارکرد صافی، راندمان حذف BOD_5 به تدریج گسترش یافته است به‌طوری که در ماه‌های ابتدایی شیب نمودار تند بوده و از ماه سوم تا پایان دوره عملکرد صافی، تغییرات شیب نمودار کاهشی است. همچنین در بررسی میزان غلظت BOD_5 بر راندمان سیستم مشاهده می‌شود که با افزایش میزان BOD_5 ورودی، راندمان سیستم در مقدار کاهش میزان BOD_5 کمتر می‌شود. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد، بیشترین میزان راندمان سیستم به مقدار ۶۱/۵ درصد در طی ماه چهارم رخ داده و بعد از آن به‌علت گرفتگی منافذ صافی، به تدریج کاهش یافته است. حداقل راندمان حذف در سیستم مورد نظر ۳۷/۳ درصد می‌باشد. بررسی رفتار BOD_5 حاکی از آن است که در طول فرایند ورود و خروج جریان از صافی درشت‌دانه، واکنش‌های بیولوژیکی در ماه‌های ابتدایی فعالیت کمتری داشته است. با گذشت زمان به‌علت ایجاد بستر معلق بر روی مواد فیلتری، زیستگاه رشد میکروارگانیسم‌ها تشکیل شده است و بعد از آن سرعت تجزیه بیولوژیکی شدت بیشتری یافته است. شکل ۳ تغییرات BOD_5 را در برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD_5 ورودی به صافی درشت‌دانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۱ متر در ساعت نمایش می‌دهد.

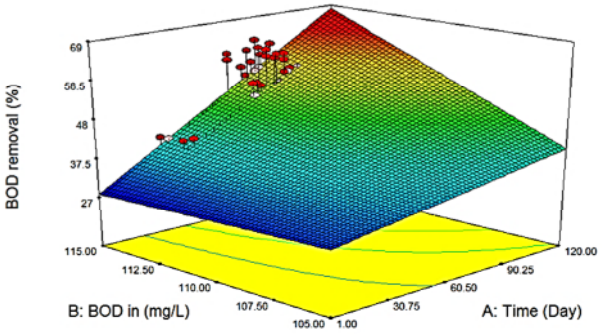

Fig. 3. BOD_5 removal rate during operation per inflow filtration rate ($1\ m^3/m^2.hr$)

شکل ۳- میزان حذف BOD_5 در طول زمان عملکرد به ازای غلظت ورودی (نرخ فیلتراسیون $1\ m^3/(m^2.hr)$)

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.71248.2314

تغییرات BOD_5 در نرخ فیلتراسیون ۱ بیانگر راندمان حذف تا ۵۵ درصد در ماه سوم راهبری پایلوت است. حداقل میزان BOD_5 در طی مدت زمان عملکرد صافی ۳۳ درصد برای نرخ ۱ متر در ساعت بود. مطابق شکل ۳ ملاحظه می‌شود که تغییرات BOD_5 در این نرخ با زمان عملکرد صافی دارای شیب ملایم است و علاوه بر آن راندمان حذف سیستم با تغییر BOD_5 ورودی تغییر معنی‌داری ندارد. از آنجا که نرخ جریان ورودی به سیستم در این حالت بالاتر رفته و زمان اجرای واکنش‌های بیولوژیکی تقلیل یافته است؛ میزان BOD_5 ورودی به سیستم زمان کافی را برای انجام این فرایندها نداشته و تأثیری بر راندمان حذف نداشت. در این شرایط، از آنجا که نرخ جریان ورودی به صافی بالاتر رفته است، زمان ماند هیدورلیکی کاهش می‌یابد. به‌منظور شروع واکنش‌های بیولوژیک و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، مواد آلی در دسترس است اما زمان کافی برای تغذیه فراهم نیست. این عامل سبب می‌شود که غلظت BOD_5 ورودی چندان در خروجی تأثیرگذار نباشد و عمده راندمان حذف حاصله بر پایه فعالیت‌های فیلتری محیط متخلخل و منافذ صافی باشد. شکل ۴ تغییرات BOD_5 را در برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD_5 ورودی به صافی درشت‌دانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۱/۵ متر در ساعت نمایش می‌دهد.

مطابق شکل ۴، BOD_5 ورودی بر راندمان حذف تأثیرگذار نبوده است، زیرا غلظت BOD_5 ورودی به سیستم به‌علت افزایش سرعت جریان زمان کافی را برای اجرای واکنش‌های بیولوژیکی نداشته است. علاوه بر این ملاحظه می‌شود که حداکثر راندمان

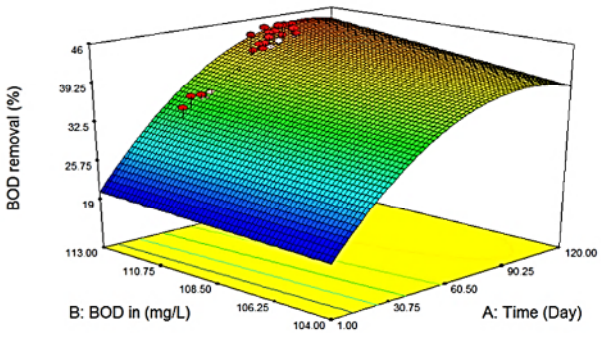

Fig. 4. BOD_5 removal rate during operation per inflow filtration rate (1.5 $m^3/m^2.hr$)

شکل ۴- میزان حذف BOD در طول زمان عملکرد به ازای نرخ فیلتراسیون (۱/۵ $m^3/(m^2.hr)$)

سیستم در ماه سوم راهبری برابر با ۴۲/۵ درصد به ثبت رسیده است که نشان دهنده کاهش راندمان سیستم با افزایش نرخ فیلتراسیون از ۰/۵ به ۱/۵ متر در ساعت است. در این نرخ رفتار صافی درشت‌دانه نشان می‌دهد که عامل اصلی در کاهش غلظت BOD_5، زمان کارکرد صافی است زیرا در طول چهار ماه راهبری سیستم، فازهای تأخیری، رشد و ثبات فعالیت‌های بیولوژیکی برقرار شده و در ماه پایانی، به‌علت نارسایی در تغذیه میکروارگانیسم‌ها با مواد آلی و گرفتگی منافذ صافی، تغییرات حاصله به حداقل مقدار خود رسیده است. تغییرات راندمان حذف BOD_5 در سه نرخ فیلتراسیون در برابر زمان در شکل ۵ نمایش داده شده است.

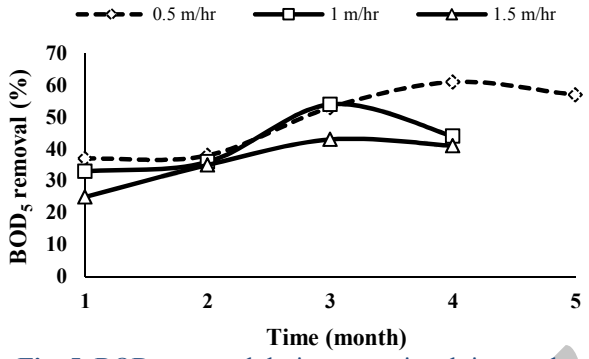

Fig. 5. BOD_5 removal during operational time under three filtration rates

شکل ۵- میزان حذف BOD_5 در طول زمان عملکرد پایلوت در سه نرخ فیلتراسیون

مطابق شکل ۵ ملاحظه می‌شود که بیشترین میزان راندمان در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت رخ داده و بعد از آن در نرخ‌های ۱ و ۱/۵ راندمان سیستم کاهش یافته است. این رفتار تنها در ماه سوم راهبری سیستم متفاوت است به‌طوری که راندمان در نرخ فیلتراسیون ۱ کمی بیشتر از ۰/۵ واقع شده و در سایر ماه‌ها این رفتار وجود ندارد. همچنین نقطه کاهش راندمان (نقطه شکست یا احیاء مجدد) در نرخ‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ساعت به‌ترتیب در ماهای پنجم و چهارم حاصل شده است که نشانگر افزایش عمر صافی درشت‌دانه افقی چهار قسمته در نرخ ۰/۵ متر بر ساعت می‌باشد. این موضوع بیانگر آن است که در صورت کاهش سرعت عبور جریان از سیستم و ایجاد زمان ماند، میزان BOD_5 کاهش می‌یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

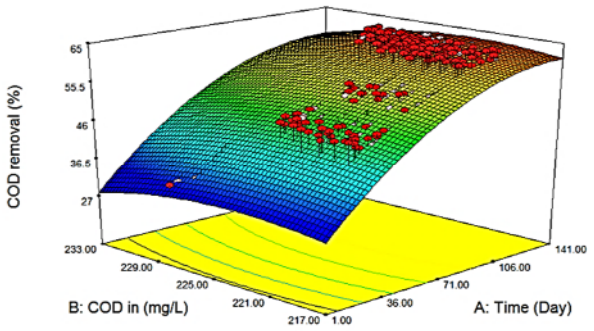

Fig. 6. COD removal rate during operation per inflow filtration rate (0.5 $m^3/m^2.hr$)

شکل ۶- میزان حذف COD در مدت زمان عملکرد به ازای نرخ فیلتراسیون (۰/۵ $m^3/(m^2.hr)$)

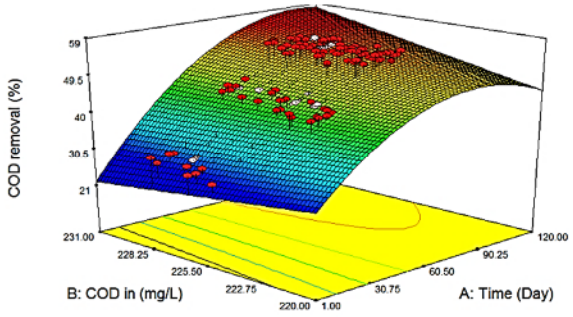

Fig. 7. COD removal rate during operation per inflow filtration rate (1 $m^3/m^2.hr$)

شکل ۷- میزان حذف COD در طول زمان عملکرد به ازای نرخ فیلتراسیون (۱ $m^3/(m^2.hr)$)

پژوهش حاضر تغییر COD با عبور از صافی درشت‌دانه افقی را نشان می‌دهد. شکل ۶ تغییرات COD در برابر مدت راهبری سیستم و میزان COD ورودی به صافی درشت‌دانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت را نمایش می‌دهد. تغییرات COD بیانگر تغییر آن با زمان است در حالی که میزان COD ورودی به پایلوت تأثیر چندانی بر راندمان حذف COD ندارد. حداکثر میزان راندمان حذف COD در نرخ ۰/۵ متر در ساعت در طی ماه چهارم حاصل شده که به طور متوسط ۶۳/۱ درصد است. در مورد میزان مواد معدنی و ماهیت آنها به لحاظ محلول یا نامحلول بودن، رفتار فرایند صاف‌سازی در مواجهه با این آلودگی‌ها نشان می‌دهد که ته‌نشینی از نوع اول سبب حذف مواد غیر آلی همراه با مواد معلق و درشت‌دانه بوده است. به‌طوری که بر روی سطوح مواد فیلتری، بستر تجمع یافته دارای بارهای مؤثری برای جذب انواع مواد معدنی از نوع محلول و یا نامحلول است. همچنین مشاهده شد که در گذر زمان، نرخ حذف مواد آلی و غیر آلی همواره افزایشی است و تنها در ماه پایانی، کمی دچار افت شده است و با توجه به ماهیتی که شاخص COD دارد، افت آن بیشتر وابسته به کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی در حذف مواد آلی می‌باشد. بر این اساس صافی درشت‌دانه افقی برای حذف ذرات معدنی مؤثر است. شکل ۷ تغییرات COD را در مدت زمان راهبری سیستم و میزان COD ورودی به صافی درشت‌دانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۱ متر در ساعت نمایش می‌دهد.

تغییرات نرخ فیلتراسیون ۱ متر در ساعت مشابه با نرخ ۰/۵ متر در ساعت است، با این تفاوت که بیشینه مقدار راندمان پایلوت در ماه

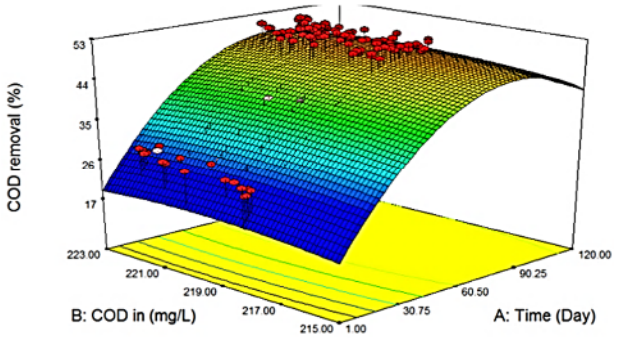

Fig. 8. COD removal rate during operation per inflow filtration rate (1.5 $m^3/m^2.hr$)

شکل ۸- میزان حذف COD در طول زمان عملکرد به ازای نرخ فیلتراسیون (۱/۵ $m^3/(m^2.hr)$)

سوم به ۵۴/۳ درصد افزایش یافته است. این رفتار نشانگر آن است که با افزایش نرخ جریان، زمان ماند دسترسی برای ته‌نشینی از نوع اول برای مواد غیرآلی تقلیل یافت و همین امر سبب شد که راندمان حذف حاصله عمدتاً بر اساس گرفتگی منافذ صافی حاصل شود. شکل ۸ تغییرات COD در مدت زمان راهبری سیستم و میزان COD ورودی به صافی درشت‌دانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۱/۵ متر در ساعت را نمایش می‌دهد. مطابق شکل ۸، بیشترین راندمان حذف COD برای نرخ فیلتراسیون ۱/۵ متر در ساعت معادل ۵۰/۴ درصد در طی ماه سوم به‌وجود آمده که کمترین میزان نسبت به دو نرخ فیلتراسیون ۰/۵ و ۱ متر در ساعت است. میزان COD ورودی نیز چندان بر عملکرد پایلوت در کاهش COD تأثیر ندارد. تغییرات راندمان حذف COD در سه نرخ فیلتراسیون با زمان راهبری پایلوت در شکل ۹ نمایش داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.71248.2314

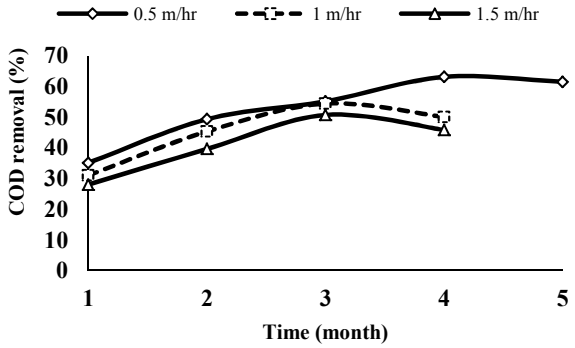

Fig. 9. COD removal during pilot operational time under three filtration rates

شکل ۹- میزان حذف COD در طول زمان عملکرد پایلوت در سه نرخ فیلتراسیون

بر اساس شکل ۹، بیشترین راندمان در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت حاصل شده و بعد از آن، هر چه میزان نرخ فیلتراسیون و به تبع آن سرعت جریان افزوده می‌شود، راندمان سیستم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، راهبری سیستم در نرخ ۰/۵متر در ساعت، سبب شده است که نقطه شکست یا کاهش راندمان در ماه پنجم در مدت زمان عملکرد پایلوت نسبت به نرخ‌های ۱ و ۱/۵ متر در ساعت، یک ماه افزایش یابد و بر این اساس، در بهره‌برداری صافی‌های درشت‌دانه با جریان افقی در شرایطی که سرعت عبور جریان از سیستم حداقل باشد، زمان احیا مجدد بیشتر می‌شود. با توجه به آنچه که در تحلیل راندمان سیستم در حذف مواد معلق جامد گفته شد که حداکثر راندمان سیستم در نرخ ۰/۵ متر در ساعت در ماه سوم پدیدار می‌شود و بر پایه مشاهدات میدانی میزان COD نیز با گرفتگی منافذ صافی در ماه سوم تا چهارم به نقطه شکست رسیده و از انجا به بعد صافی درشت‌دانه نیازمند احیای مجدد است و بنابراین، عامل اصلی حذف آلودگی‌ها ته‌نشینی نوع اول در محیط متخلخل است.

۳-۱- ارزیابی عملکرد

در این بخش به منظور سنجش و ارزیابی عملکرد صافی درشت دانه افقی در مورد نرخ فعالیت‌های بیولوژیکی و تأثیر مستقیم آن در حذف COD، عملکرد صافی درشت‌دانه افقی در این پژوهش با نتایج حاصل از سایر مطالعات مقایسه می‌شود. شکل ۱۰ راندمان حذف COD را در برابر نرخ فیلتراسیون در مقایسه با نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نمایش می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که راندمان خروجی حاصل از صافی چهار قسمته بالاتر از پژوهش‌های محوی و خزایی بوده است (Khazaei et al., 2010; Mahvi et al., 2004). این در حالی است که نتایج حاصله از مطالعات خزری در نرخ ۱ و ۱/۵ بالاتر از صافی چهار قسمته این پژوهش بوده است (Khezri et al., 2015). از آنجا که در بخش قبل نرخ بهینه برای راهبری صافی درشت‌دانه ۰/۵ متر در ساعت حاصل شده است، مقایسه راندمان صافی موجود در این پژوهش و سایر پژوهش‌ها در این نرخ نشان می‌دهد که راندمان حاصل بالاتر از تمامی نتایج و مطالعات مشابه است. همچنین شایان ذکر است که نتایج حاصل از پژوهش خزری بر اساس حداکثر میزان راندمان حاصل به‌صورت روزانه گزارش شده است اما در این پژوهش راندمان گزارش شده بر اساس میانگین راندمان حاصله در ماه چهارم راهبری اعلام شد. بالاترین راندمان به صورت روزانه در در روز ۱۰۹معادل ۶۵ درصد حاصل شده است و بر این اساس، صافی درشت دانه افقی چهار قسمته در پژوهش حاضر به مقدار ۴ درصد راندمان بالاتری نسبت به صافی‌های سه قسمته در پژوهش‌های قبلی دارد.

۳-۲- امکان استفاده مجدد از پساب

یکی از اهداف پژوهش حاضر استفاده از صافی درشت‌دانه با جریان افقی برای بهبود کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به‌منظور بهره‌برداری در امور آبیاری و کشاورزی، به روش‌های بارانی و قطره‌ای و یا تغذیه مصنوعی سفره آبهای

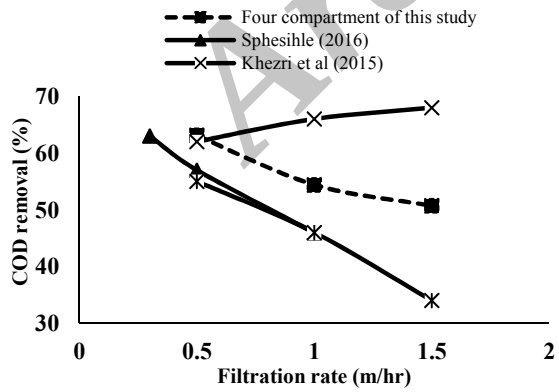

Fig. 10. Variation of COD removal efficiency against filtration rates in this study compared with previous studies

شکل ۱۰- تغییرات راندمان حذف COD در برابر نرخ فیلتراسیون در مقایسه با نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- مقایسه کیفیت خروجی از صافی درشت‌دانه با جریان افقی چهار محفظه‌ای در اندازه سنگدانه‌های متفاوت در مقابل استاندارد خروجی فاضلاب سازمان حفاظت از محیط زیست ایران (Khezri et al. 2015)

Table 2. Comparison of BOD and COD concentration produced from 4-compartment HRF relative to the standard effluent quality specified by the environmental protection organization of Iran (Khezri et al. 2015)

Quality index	Outflow values			Outflow standard		
	Inflow	Outflow	Removal efficiency (%)	Discharge into absorption well	Discharge into surface water	Irrigation & agriculture
COD (mg/L)	222	82	63.1	60	60	200
BOD (mg/L)	104	40	61.3	30	30	100

زیرزمینی و دفع در محیط زیست بود. از این‌رو رعایت استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست در مورد حداکثر مقدار مجاز شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش ضروری است. جدول ۲ کیفیت خروجی از صافی درشت‌دانه با جریان افقی چهار محفظه در اندازه سنگدانه‌های متفاوت را در برابر استانداردهای کیفیت خروجی پساب سازمان حفاظت محیط زیست ایران ارائه می‌دهد. خاطر نشان می‌شود که اعداد خروجی ارائه شده در جدول بر پایه حداکثر راندمان خروجی از پایلوت مورد بررسی است.

ملاحظه می‌شود که مقادیر ورودی به صافی‌ها (خروجی از تصفیه‌خانه مورد مطالعه) بیش از حداکثر مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست برای تخلیه به محیط زیست حتی برای استفاده به‌منظور امور آبیاری و کشاورزی است. با گذر جریان از صافی چهار قسمته، شاخص‌های کیفی BOD_5 و COD برای تخلیه به چاه جاذب و آبهای سطحی دارای محدودیت است. اما در مورد امور آبیاری و کشاورزی با عبور و کاهش میزان آلودگی‌ها، دیگر محدودیت مدنظر وجود ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

عملکرد صافی شنی درشت‌دانه چهار قسمته تحت جریان افقی فاضلاب به‌مدت ۱۲ ماه تحت سه نرخ مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اهداف کلی و اختصاصی در این پژوهش، بررسی‌ها نشان داد که در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت با افزایش زمان کارکرد صافی درشت دانه افقی (T)، درصد حذف BOD_5 ابتدا افزایش یافت. با گذشت زمان از ماه اول تا چهارم راهبری سیستم به‌علت ایجاد بستر معلق بر روی مواد فیلتری صافی درشت دانه، راندمان سیستم افزایش بود و بعد از آن در ماه پنجم کاهش یافت. نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت در مقایسه با سایر نرخ‌های فیلتراسیون تأثیر بالاتری در راندمان حذف داشت. مقایسه راندمان حذف BOD_5 در پژوهش‌های پیشین و پژوهش حاضر نشان داد که صافی درشت‌دانه افقی با چهار کلاس طبقه‌بندی دانه‌ها از عملکرد مطلوبتری نسبت به صافی‌های سه قسمته برخوردار است. علاوه بر این خروجی سیستم با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست کشور قابل استفاده در امور آبیاری و کشاورزی است.

۵- قدردانی

نویسندگان مقاله از همکاری صمیمانه آقایان و خانم‌ها مهندس طباطبایی رئیس هئیت مدیره و مدیر عامل، جوانشیر شادمهری معاون بهره‌برداری ، مجید فروزش معاون مالی و پشتیبانی، شهناز نیشابوری معاون برنامه ریزی و بهبود مدیریت و ثمانه توکلی کارشناس مسئول تحقیقات شرکت آ ب و فاضلاب مشهد تقدیر و تشکر می‌نمایند.

References

Boller, M. 1993. Filter mechanism in roughing filters. *Journal of Water Supply Research Technology*, 42(3), 174.

Graham,N.J.D. 1988. *Slow sand filtration: Recent developments in water treatment technology*, New York: John Wiley and Sons, Inc.

Archive of SID

www.SID.ir

Hendricks, D.W. 1991. *Manual of design for slow sand filtration*, Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation.

Khazaei, M., Nabizadeh, R., Nadafi, K., Nourieh, N. & Omidi Oskouei, A. 2010. Elimination of suspended solids from aerated lagoon effluent by horizontal roughing filter. *Journal of Qom University of Medical Sciences*, 4(1)**,** 42-47. (In Persian)

Khezri, S. M., Gharibi, M., Jafari Mansoorian, H., Ansari, M., Atabi, F., Tohid Moghaddam, T. et al. 2015. Efficiency of horizontal roughing filter in removing nitrate, phosphate and chemical oxygen demand from effluent of waste stabilization pond. *Environmental Health Engineering and Management Journal,* 2(2)**,** 87-92.

Mahvi, A.H., Moghaddam, M.A., Nasseri, S. & Naddafi, K. 2004. Performance of a direct horizontal roughing filtration (DHRF) system in treatment of highly turbid water. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 1(1)**,** 1-4.

Mukhopadhay, B., Majumder, M., Barman, R.N., Roy, P.K. & Mazumder, A. 2009. Verification of filter efficiency of horizontal roughing filter by Weglin's design criteria and artificial neural network. *Drinking Water Engineering and Science*, 2(1)**,** 21-27.

Nival, P. & Nival, S. 1976. Particle retention efficiencies of an herbivorous copepod, Acartia clausi (adult and copepodite stages): Effects on grazing. *Limnol. Oceanogr*, 21(1)**,** 24-38.

Nkwonta, O. 2010. A comparison of horizontal roughing filters and vertical roughing filters in wastewater treatment using gravel as a filter media. *International Journal of Physical Sciences*, 5(8)**,** 1240-1247.

Sphesihle, M. 2016. Performance of a horizontal roughing filtration system for the pretreatment of greywater. Thesis, Department of Chemical Engineering, Dur ban University of Technology, Kwazulu-Natal, South Africa.

Wegelin, M. & Roland S. 1987. Horizontal-flow roughing filtration for turbidity reduction. *Waterlines*, 5(4)**,** 24-28.

Wegelin, M. 1996. *Surface water treatment by roughing filters: A design, construction and operation manual*, Swiss: SKAT Pub.

Archive of SID

www.SID.ir