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

M. Daee¹, A. Alizadeh², A. Farid Hosseini³, A. Rashidi Mehrabadi⁴

 PhD Student of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 Prof. of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding Author) alizadeh@um.ac.ir
 Assist. Prof. of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 Assist. Prof., Faculty of Water and Environment 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)

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 m³/m².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 BOD₅ and COD was 61 and 63 %, respectively. Optimum removal efficiency of BOD₅ 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 BOD₅ 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 BOD₅ and COD that is permissible for agricultural irrigation purposes.

Keywords: HRF, COD, BOD₅, Filtration Rate, Removal Efficiency.



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

مجید دایی'، امین علیزاده'، علیرضا فرید حسینی"، عبدا... رشیدی مهر آبادی *

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 و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران ۴ - استادیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت ۹٥/۱۰/۷ پذیرش ۹۵/۱۲/۲)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

دایی، م.، علیزاده، ا.، فرید حسینی، ع.ر.، رشیدی مهر آبادی، ع.، ۱۳۹۷، ″کارایی صافی درشتدانه با جریان افقی در ار تقای کیفیت پساب خروجی و احتمال بازیافت آن برای کشاورزی ″ مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۳)، ۹۸–۸۸. Doi: 10.22093/wwj.2017.71248.2314

چکيده

ار تقا و بهبود فرایندهای تصفیه فاضلاب و همچنین بهبود وضعیت کیفی جریان خروجی از تصفیهخانههای ثانویـه راه کار مفیـدی برای بازیافت آب است. از اینرو استفاده از روش های 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. بـرای تحقـق بخشـیدن ایـن پژوهش، خروجی از تصفیهخانه فاضلاب پرکندآباد مشهد طی مدت عملکرد پایلوت ارزیابی شد. عملکـرد صافی درشتدانه با جریان افقی در مقیاس پایلوت با چهار محفظه در اندازه سنگدانههای متفاوت و در سه نرخ فیلتراسـیون ٥/٠، ۱ و ٥/١ مترمکعـب بر متر مربع در ساعت مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، عملکرد صافی تحت تأثیر فاضلاب ارزیابی شد. مقایسه سـه نـرخ فیلتراسیون نشان داد که بالاترین راندمان در حذف ₅ODG و COD که معادل ٦١ و ٣٢ درصد بوده، در نرخ فیلتراسـیون ٥/٠، ۱ و در ساعت حاصل شد. تجزیه و تحلیل نمونهها در نرخ ٥/٠ متر در ساعت نشان داد که با افزایش زمان کارکرد صافی (۲)، درصـد مدف ₅ODG و COD تا ماه چهارم راهبری سیستم، ابتدا تا ٥٦ درصد افزایش داشت و بعد از آن تا پایـان مـدت زمـان راهبـری سیستم این میزان بهترتیب به ٥/٦، ۹ و ٥/١ درصـد کاهش یافت. همچنین نشان داده که با افزایش زمان کارکرد صافی (۲)، درصـ مدف رانماده این میزان به ترتیب به ٥/٦، ۱ دو مان در مایه در در ساعت نشان داد که با افزایش زمان کارکرد صافی (۲)، درصـ مدف رانماد و COD تا ماه چهارم راهبری سیستم، ابتدا تا ٦٥ درصد افزایش داشت و بعد از آن تا پایـان مـدت زمـان راهبـری سیستم این میزان بهترتیب به ٥/٦، دو مار٦ درصد کاهش یافت. همچنین نشان داده شد که اسـتفاده از صافی چهـار وسـمته، و اندمان سیستم را در مقایسه با صافیهای سه قسمته، بنوان آبی با کیفیت قابل قبول در ارتباط با حدود مجـاز در مورد شـاخصههای راندمان

واژههای کلیدی: صافی در شتدانه افقی، COD ،BOD ، نرخ فیلتر اسیون، *ز*اندمان 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 دوره های 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 جمع آوری و احداث تصفیه خانههای فاضلاب در سال های اخیر نیز توسعه قابل توجهی داشته است. روزانه حجم بالایی از فاضلاب تولیدی جوامع وارد تصفیه خانههای موجود تصفیه، میشود که در برخی موارد به دلیل کمبود ظرفیتهای موجود تصفیه،

Journal of Water and Wastewater

اندازه ذرات قرار گرفته در هر بخش از دانهبندی و نرخ فیلتراسیون

پاسخگویی به این حجم بالای جریان ممکن نیست. روش های مختلفی برای پالایش و رفع آلودگی های جریان فاضلاب خام وجود دارد. در برخی از مناطق، به علت کمبود نقدینگی و هزینه های بالا در احداث تصفیه خانه های پیشرفته فاضلاب، به کارگیری روش های طبیعی، کم هزینه و آسان مانند بر که های تثبیت فاضلاب مد نظر قرار گرفته است. با توجه به فرایند تصفیه در این گونه تصفیه خانه ها، کیفیت پساب خروجی از آنها در بیشتر موارد، تمامی شاخص های کیفی استاندارد را تأمین نمی کند و لذا انجام اقدامات اصلاحی و ارتقای کیفیت خروجی آنها همیشه به عنوان یک نگرانی ملموس مدنظر بوده است. از این رو، به کارگیری روش هایی که بتواند راندمان کیفیت پساب را ارتقای دهد با اهمیت است. در این بین، موش های طبیعت محور از جمله فرایند فیلتراسیون با استفاده از روش های درشت دانه با جریان افقی می تواند راه گشای برخی از این مشکلات در صنعت آب و فاضلاب شود.

همچنین با توجه به این که در اغلب تصفیه خانه های فاضلاب برای گندزدایی پساب خروجی از ترکیبات کلر استفاده میشود. هزینه های مصرف کلر برای حصول اطمینان از استاندارد کیفیت بيولوژيکي در يساب خروجي، بيشتر خواهد بود. لذا کاهش جلبک موجود در پساب خروجی از تصفیهخانههای فاضلاب به روشهای طبيعي و ارتقاي راندمان كيفي آنها يكي از چالش هاي مهم در موضوع استفاده مجدد از فاضلاب تصفيه شده است. در همين راستا استفاده از روش های 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 صافی های شنی در شتدانه با جریان افقی (HRF) می تواند گزینه مطلوبی باشد (Graham, 1988). زمانی که شاخص هایی نظیر کدورت و ذرات معلق در خروجی از صافی پایین باشد، عملکرد آنها قابل اطمينان و مطلوب ارزيابي مي،شود (Graham, 1988). این نوع از صافی به علت ماهیت متخلخلی که دارد، قادر است ذرات معلق موجود در جریان فاضلاب نظیر جلبکها را جدا نموده و ميزان كدورت را كاهش 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،

مىباشد. سنگدانەھايى كـە بـەعنـوان بسـتر متخلخـل صـافى بـەكـار می رود از جمله سنگدانه های مقاوم شنی و کوار تز می باشد (Graham, 1988). یک صافی درشتدانه با جریان افقی دارای ساختمانی چند محفظهای است که بهصورت سری، افقی و بهترتیب در جهت جریان از دانههای درشت تر تا ریز تر پر شدهاند. طول این صافی ها محدودیتی ندارد اما در حالت کلی و در اغلب موارد ابعاد آنها برای استفاده عملیاتی در حدود ۵ تا ۹ متر ساخته می شوند (Wegelin et al., 1987; 1961) و هر چه طول صافي بزرگ تر باشد، راندمان حذف ذرات بالاتر خواهد بود (Nkwonta, 2010). اصلی ترین فرایند حذف در صافیهای درشتدانه با جریان افقی فراینـد تـهنشـینی اسـت (Nkwonta, 2010). در مـدت زمـان بهر،برداری، ذرات در فیلتر تحت تأثیر نیروی ثقل در جهت جریان به سمت پائين منحرف ميشوند (Wegelin et al., 1996). كارايي این صافی ها به میزان 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 بهرهبرداري پايين است و به مرور زمان بهبود مي يابد و پس از مدتي تثبیت می شود. راندمان این صافی ها با افزایش نرخ بارگذاری کاهش می یابد و بهترین راندمان آنها در نرخهای کمتر از ۱/۵ متـر بر ساعت بر روز است (Wegelin et al., 1996). پژوهش ها نشان داده که تخلخل و زبری ذارت بر راندمان صافی های در شتدانه 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 مى يابد (Nival and Nival, 1976). على رغم، مزيت هاى بسيار صافى هاى در شتدانه افقى، اين

علی رعم، مریک های بسیار علاقی می در طلی مدت زمان مشخصی صافی ها به علت وجود منافذ فیلتری در طلی مدت زمان مشخصی دچار گرفتگی خواهند شد که نیاز به احیای مجدد دارند (Wegelin et al., 1987). علاوه بر این، صافی ها در نرخ های جریان بسیار بالا راندمان مناسبی در فرایندهای بیولوژیکی ندارند و همین امر سبب شده است که عمده کاربرد این صافی ها در نرخ جریان پایین و برای حذف کدورت و مواد معلق موجود در جریان متمرکز شود (Wegelin et al., 1987).

پايين بودن نرخ فيلتراسيون راندمان فرايند را افزايش مىدھـد

(Boller, 1993). علت این امر این است که با نرخ فیلتراسیون پایین، مدت زمان بیشتری برای ذرات معلق فراهم می آید تا با نیروی گرانش تهنشین شوند. اندازه متوسط نرخ فیلتراسیون توسط هندریک از ۲۰/۳ تا ۱/۵ متر در ساعت گزارش شده است (Hendricks, 1991). صافیها از نظر تغییرات سنگدانهها به انواع مختلفی تقسیم بندی می شوند. در پژوهش های پیشین، بیشتر از صافیهایی استفاده شده است که از سه بخش با اندازه سنگدانه متفاوت تشکیل شده اند که به طور معمول در محل ورود جریان، سنگدانهها درشت تر و در انتهای صافی که محل خروج جریان است، به تدریج اندازه سنگدانهها ریزتر می شود. پژوهش ها نشان می دهد که تغییرات طول هر بخش از طبقه بندی صافی نیز بر راندمان سیستم مؤثر است (Nkwonta, 2010, Hendricks, 1991).

ارزیابی این تغییرات نیازمند آزمایش های متعدد است. تعیین بهینه ترین نوع از ترکیب تعداد و طول کالاس های طبقه بندی سنگدانهها، راندمان صافی را بهبود میبخشد. علاوه بر این چندین یژوهش در مورد عملکرد صافی درشت دانه در فعالیت های بیولوژیکی و کاهش میزان BOD₅ 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 می تواند تا ۶۱ درصد میزان COD را کاهش دهد. در پژوهش دیگری، صافی درشتدانه افقی در نرخ ۰/۳ متر در ساعت علاوه بر نرخ ۱٬۰/۵ و ۱/۵ متر در ساعت آزمایش شد. خروجیها نشان داد که راندمان سیستم با کاهش نرخ راهبري افزايش مي يابد اما براي رسيدن به وضعيت مطلوب در استفاده از این سیستم، نیازمند سرعت بالاتری در فیلتراسیون و كاهش آلودكيها است. در پژوهش ديگري عملكرد صافي 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 تصفیه خانه 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 تصفیه خانه قرار گرفت. در پژوهش های پیشین عموماً از سه دانه بندی سنگدانه ها در صافی استفاده شده است (Nkwonta, 2010). تفاوت عمده این پژوهش با پژوهش های پیشین، به کارگیری پایلوت با چهار دانه بندی سنگدانه بود. در این پژوهش فرض بر آن بود که صافی چهار قسمته می تواند به بهبود راندمان حذف کمک نماید لذا با انجام بررسی ها و مطالعه سوابق پژوهش متنوع در زمینه صافی های شنی در شتدانه با جریان افقی و نشست های کار شناسی در مورد نحوه ساخت و اجرای پایلوت، نهایتاً پایلوت در مقیاس مدنظر مبتنی بر رهنمودهای و یجیلین طراحی و ساخته شد (Wegilin, 1996). شکل ۱ پایلوت استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد.

پایلوت مورد نظر از جنس ورق و پروفیل آهن گالوانیزه با اتصال جوش که دیواره جلویی به منظور امکان رویت از جنس شیشه به ضخامت ۱۰ میلی متر بوده، با چهار دانه بندی سنگدانه با ارتفاع و طول کل ۱/۶ و ۷/۷ متر با ابعاد ۲/۰، ۹/۰، ۵/۰ و ۱ متر به ترتیب عرض، ارتفاع ، ارتفاع بستر و ارتفاع پایه ها (f) ساخته و در محل خروجی تصفیه خانه فاضلاب پرکند آباد ۲ مشهد با سیستم برکه تثبیت مستقر شد. بخش های ۵ ه (c م م و b ، چهاردانه بندی سنگدانه در طول صافی بود که به ترتیب دارای سنگدانه هایی به قطر ۸۰ م ۵۰ میلی متر درشت ترین، ۵۰ م ۳۰، ۲۰ م و ۱۰ م میلی متر ریز ترین بوده است. جنس سنگدانه ها شن و ماسه بود و جریان، از سمت درشت دانه وارد و از سمت ریزدانه خارج می شد. شیرهایی برای برداشت نمونه در ورودی و خروجی هر قسمت در جدار صافی تعبیه شد. همچنین در زیر هر قسمت محل هایی قیفی شکل (c) به منظور زهکشی و جمع آوری مواد جامد ته نشین شده

Journal of Water and Wastewater



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 تصفیه خانه با بهکارگیری یک دستگاه پمپ تکفاز مستغرق با توان کاری ۰/۳۷ کیلووات و حداکثر دبی ۱۳۰ ليتر در دقيقه به ورودي يايلوت مورد نظر منتقل و بهصورت ييوسته در سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵، ۱ و ۱/۵ مترمکعب بـر متـر مربع در ساعت در سه دوره زمانی مجزا و مجموعاً بهمدت حدود یکسال از طول صافى عبور داده شد. با توجه به نتايج پيش آزمون حاصل از بررسی نتایج کیفی سالانه، تغییرات معنیداری در نتایج خروجی 🔰 ساعت ارائه میدهد. تصفیه خانه (ورودی پایلوت) مشاهده نشد. لذا جامعه آماری بهصورت همگن فرض شد و نمونهبرداری از ورودی و خروجی هـر قسمت همزمان بهصورت نمونه ساده تصادفي و روزانـه مبتنـي بـر دستورالعمل مندرج در کتاب روش های استاندارد برای آزمایشهای آب و فاضلاب برداشت شد. دادههای جمع آوری شده آنالیز و شاخصهای پراکندگی شامل میانگین، دامنه و انحراف از معیار توسط نرمافزار طرح آزمایش و برنامه اکسل ۲۰۱۰ محاسبه شد. همچنین تحلیل های آماری شامل نرمال بودن داده ها، تحلیل باقيماندها'، تحليل نقاط يرت و حذف آنها و علاوه بر ايس نمودار باکس-کاکس ابررسی شد. در طول دور، عملکرد صافی حدود ۱۴۰۰ نمونه برای هر نرخ فیلتراسیون برداشت شد و مورد آنالیز قرار گرفت. در این پژوهش، مؤلفه هایی نظیر اندازه ذارت و نرخ فیلتراسیون در مدت زمان آزمایش از اعداد معینی برخوردار بوده



است. در مورد ارائه نتایج، راندمان صافی مبتنبی بر دو شاخص اساسی عملکرد صافی های شنی، درصد حذف کل BOD₅ و COD در خروجی از صافی بنا نهاده شد.

جـدول ۱ بیشـینه، کمینـه، میانگین و انحـراف اسـتاندارد شاخص هایی نظیر TSS، کدورت جریان (TUR)، COD، BOD₅، مقدار کلروفیل a ورودی به صافی درشتدانه چهار محفظه در اندازه سنگدانه های متفاوت و همچنین زمان راهبری سیستم و تعداد نمونهبرداریها را برای سه نرخ فیلتراسیون ۰/۵ و ۱/۵ متر در

تعداد كل نمونهها در هر نرخ فيلتراسيون قابل ملاحظه بود و انحراف استاندارد حاصل در بازه تغييرات بيشينه و كمينه ثبت شده قابل قبول بود. علاوه بر اين، شاخص پيشنهادي در تحليل آماري نرم افزار طرح آزمایش، F<prob حاصله کمتـر از ۰۵/۰۵ در تمـامی 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 می شود که داده ای 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 درشتدانـه افقـی چهار قسمته، دو شاخص BOD₅ و COD که تغییرات محسوسی داشتند، مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۲ تغییرات BOD₅ را در

¹ Residuals

² Box-Cox Plot

Table 1. Raw inflow to four-compartment HRF and experimental assessment conditions							
Filtration rate (m/h)Filter run length		Parameter	Unit	Min	Max	Mean	±Standard deviation
	(Day)						
	141	TSS	(mg/L)	87	112	100.6	6.73
		TUR	(NTU)	662	689	675.4	4.86
0.5		BOD5	(ma/I)	100	113	105.3	3
		COD	(mg/L)	217	233	222.8	3.58
		Chlorophyll a	$(\mu g/L)$	705	745	721.2	12
	120	TSS	(mg/L)	87	111	96.77	6.27
		TUR	(NTU)	662	689	674.66	5.77
1		BOD	(mg/L)	105	116	111.3	2.81
		COD		220	231	226	2.06
		Chlorophyll a)	$(\mu g/L)$	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	(ma/I)	104	113	108.4	2.39
		COD	(ing/L)	215	223	219	2.07
		Chlorophyll a	$(\mu g/L)$	705	732.5	717.8	6.89

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



برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD₅ ورودی به صافی درشتدانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۵/۰ متر در ساعت نمایش میدهد. ملاحظه میشود که با افزایش زمان کارکرد صافی، راندمان حذف BOD₅ به تدریج گسترش یافته است به طوری 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 BOD₅ بر راندمان سیستم مشاهده می شود که با افزایش میزان BOD₅ کمتر می شود. بررسیهای آماری نشان می دهد. بیشترین میزان راندمان سیستم به مقدار کاهش

چهارم رخ داده و بعد از آن به علت گرفتگی منافذ صافی، به تدریج کاهش یافته است. حداقل راندمان حذف در سیستم مورد نظر کاهش یافته است. حداقل راندمان حذف در سیستم مورد نظر ۳۷/۳ درصد میباشد. بررسی رفتار BOD حاکی از آن است که در بیولوژیکی در ماههای ابتدایی فعالیت کمتری داشته است. با گذشت نمان به علت 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 را در برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD ورودی به صافی در برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD ورودی به صافی در شتدانه با جریان افقی در نرخ فیلتراسیون ۱ متر در ساعت نمایش میدهد.



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 BOD₃، 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 BOD₅ در سه نرخ فیلتراسیون در برابر زمان در شکل ۵ نمایش داده شده است.



مطابق شکل ۵ ملاحظه می شود که بیشترین میزان راندمان در نرخ فیلتراسیون ۵/۰ 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 به طوری که راندمان در نرخ فیلتراسیون ۱ کمی بیشتر از ۵/۰ واقع شده و در سایر ماهها این رفتار وجود ندارد. همچنین نقطه کاهش راندمان (نقطه شکست یا احیاء مجدد) در نرخهای ۱۰/۰ و ۱/۵ متر بر ساعت به ترتیب در ماهای پنجم و چهار محاصل شده است که نشانگر افزایش عمر صافی درشتدانه افقی چهار قسمته در نرخ ۵/۰ متر بر ساعت میباشد. این موضوع بیانگر آن است که در صورت کاهش سرعت میور جریان از سیستم و ایجاد زمان ماند، میزان 5005 کاهش می یابد. تغییرات BOD₅ در نرخ فیلتراسیون ۱ بیانگر راندمان حذف تا ۵۵ درصد در ماه سوم راهبری پایلوت است. حداقل میزان BOD₅ در طی مدت زمان عملکرد صافی ۳۳ درصد برای نرخ ۱ متر در ساعت بود. مطابق شکل ۳ ملاحظه می شود که تغییرات BOD₅ در این نرخ با زمان عملکرد صافی دارای شیب ملایم است و علاوه بر آن راندمان حذف سیستم با تغییر BOD₅ ورودی تغییر معنیداری ندارد. از آنجا که نرخ جریان ورودی به سیستم در این حالت بالاتر رفته و زمان اجراي واكنش هاي بيولوژيكي تقليل يافته است؛ ميـزان BOD₅ ورودی به سیستم زمان کافی را برای انجام این فرایندها نداشته و تأثیری بر راندمان حذف نداشت. در ایـن شـرایط، از آنجـا که نرخ جریان ورودی به صافی بالاتر رفته است، زمان ماند هیدورلیکی کاهش می یابد. 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 BOD₅ ورودی چندان در خروجی تأثیرگذار نباشد و عمده راندمان حذف حاصله بر پایه فعالیتهای فیلتری محیط متخلخل و منافذ صافی باشد. شکل ۴ تغییرات BOD₅ را در برابر زمان راهبری سیستم و میزان BOD₅ ورودی به صافی درشتدانه با جریان افقی در نرخ فيلتراسيون ١/۵ متر در ساعت نمايش ميدهد.

مطابق شکل ۴، BOD₅ ورودی بر راندمان حذف تأثیرگذار نبوده است، زیرا غلظت BOD₅ ورودی به سیستم بهعلت افزایش سرعت جریان زمان کافی را برای اجرای واکنش های بیولوژیکی نداشته است. علاوه بر این ملاحظه می شود که حداکثر راندمان





Fig. 7. COD removal rate during operation per inflow filtration rate (1 m³/m².hr)





Fig. 8. COD removal rate during operation per inflow filtration rate $(1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hr})$ شکل ۸-میزان حذف COD در طول زمان عملکرد به ازای نرخ فیلتراسیون (۱/۵ m³/(m².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 غیر آلی 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 فیلتراسیون ۱/۵ متر در ساعت را نمایش میدهد. مطابق شکل ۸ فیلتراسیون ۱/۵ متر در ساعت را نمایش میدهد. مطابق شکل ۸ ساعت معادل ۶/۰۴ درصد در طی ماه سوم به وجود آمده که کمترین میزان نسبت به دو نرخ فیلتراسیون ۵/۰ و ۱ متر در ساعت است. میزان نسبت به دو نرخ فیلتراسیون ۵/۰ و ۱ متر در ساعت است. میزان نسبت راندمان حذف COD در سه نرخ فیلتراسیون ۱/۵ متر در با زمان راهبری پایلوت در شکل ۹ نمایش داده شده است.

Vol. 29, No. 3, 2018

$$figure{2}{0}$$
 ($figure{2}{0}$) ($figu$

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 ۵/۰ 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 مىدهد كه تەنشينى از نوع اول سبب حذف مواد غير آلى 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 شـد 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 ۵/۰ متر در ساعت است، با این تفاوت که بیشینه مقدار راندمان پایلوت در ماه







بر اساس شکل ۹، بیشترین راندمان در نرخ فیلتراسیون ۰/۵ متر در ساعت حاصل شده و بعد از آن، هر چه میران نرخ فيلتراسيون و به تبع آن سرعت جريان افزوده مى شود، راندمان سیستم کاهش می یابد. از سوی دیگر، راهبری سیستم در نرخ ۵/ متر 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 بهر،برداری صافی های درشت دانه 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 ۵/۰ متر در ساعت در ماه سوم پدیدار می شود 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 فعالیت های بیولوژیکی و تأثیر مستقیم آن در حذف COD، عملکرد صافی درشت دانه افقی در این پژوهش با نتایج حاصل از سایر مطالعات مقایسه می شود. شکل ۱۰ راندمان حذف COD را در برابر نرخ فیلتر اسیون در مقایسه با نتایج حاصل از پژوهش های پیشین نمایش می دهد.

ملاحظه می شود که راندمان خروجی حاصل از صافی چهار قسمته بالاتر از پژوهش های محوی و خزایمی 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 صافي چهار قسمته اين پژوهش بوده است (Khezri et al., 2015). از آنجا که در بخش قبل نرخ بهینه برای راهبری صافی در شتدانه 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 تمامي نتايج و مطالعات مشابه است. همچنین شایان ذکر است که نتایج حاصل از پژوهش خزری بر اساس حداکثر میزان راندمان حاصل بهصورت روزانیه 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 صافی های سه قسمته در پژوهش های قبلی دارد.

۲-۳ امکان استفاده مجدد از پساب

یکی از اهداف پژوهش حاضر استفاده از صافی درشتدانه با جریان افقی برای بهبود کیفیت پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهری به منظور بهره برداری در امور آبیاری و کشاورزی، به روش های بارانی و قطره ای و یا تغذیه مصنوعی سفره آبهای



جدول ۲ – مقایسه کیفیت خروجی از صافی درشتدانه با جریان افقی چهار محفظهای در اندازه سنگدانههای متفاوت در مقابل استاندارد خروجی

(Khezri et al. 2015)	زیست ایران ۱	حفاظت از محيط	فاضلاب سازمان
----------------------	--------------	---------------	---------------

 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)

 Durflow values
 Outflow standard

Ouality		Outflow values		Outflow standard			
index	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	

داد که در نرخ فیلتراسیون ۵/۰ متر در ساعت با افزایش زمان کارکرد صافی درشت دانه افقی (T)، درصد حذف BOD 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 ۵/۰ متر در ساعت در مقایسه با سایر نرخهای فیلتراسیون تأثیر بالاتری در راندمان حذف داشت. مقایسه راندمان حذف BOD در پژوهشهای پیشین و پژوهش حاضر نشان داد که صافی درشت دانه افقی با چهار کلاس طبقهبندی دانهها از عملکرد مطلوبتری نسبت به صافیهای سه قسمته برخوردار است. علاوه بر این خروجی سیستم با توجه به استاندارهای 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 آب و فاضلاب مشهد تقدیر و تشکر مینمایند. زیرزمینی و دفع در محیط زیست بود. از ایسنرو 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 سنگدانه های متفاوت را در برابر استانداردهای کیفیت خروجی پساب سازمان حفاظت محیط زیست ایران ارائه میدهد. خاطر نشان می شود که اعداد خروجی ارائه شده در جدول بر پایه حداکثر راندمان خروجی از پایلوت مورد بررسی است.

ملاحظه می شود که مقادیر ورودی به صافی ها (خروجی از تصفیه خانه مورد مطالعه) بیش از حداکثر مجاز استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست برای تخلیه به محیط زیست حتی برای استفاده به منظور امور آبیاری و کشاورزی است. با گذر جریان از صافی چهار قسمته، شاخصهای کیفی BOD⁵ 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 آلودگی ها، 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

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.

Journal of Water and Wastewater

Vol. 29, No. 3, 2018



- 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.

