نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد 11، خرداد - تیر 1396، ص. 309-299

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 11, Jun.-Jul. 2017, p. 299-309

ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی صافی درشت‌دانه با جریان افقی(HRF) در کاهش میزان کدورت و ذرات معلق جریان خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب برای استفاده در کشاورزی

مجید دایی[1]، امین علیزاده[2*]، علیرضا فریدحسینی[3]، عبدالله رشیدی مهرآبادی[4]

تاریخ دریافت: 1395/4/30 تاریخ پذیرش: 1395/6/28

چکیده

صافی درشت‌دانه با جریان افقی می‌تواند یکی از فرآیندهای موثر در حذف ذارت جامد معلق و کدورت فاضلاب باشد. کاهش منابع آبی، لزوم استفاده حداکثری از فاضلاب تصفیه شده را به عنوان یکی از راهکارهای برون رفت از این معضل مطرح کرده است؛ بنابراین استفاده از روش‌های با هزینه پایین و طبیعی محور جهت بهبود کیفیت آب‌های نامتعارف مدنظر است. در این پژوهش، عملکرد صافی درشت‌دانه با جریان افقی در مقیاس پایلوتی با چهار محفظه در اندازه سنگ¬دانه‌های متفاوت و در سه نرخ فیلتراسیون (0/5، 1 و 1/5 مترمکعب بر مترمربع در ساعت) ارزیابی شد. عملکرد صافی تحت تاثیر فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب که در آن غلظت مواد معلق و کدورت بالاتر از حدود مجاز استاندارد محیط زیست (حتی برای استفاده در کشاورزی که دارای استاندارد سهل‌تری نسبت به تخلیه در آب‌های سطحی است) می‌باشد، طی مدت عملکرد پایلوت پایش گردید. مقایسه سه نرخ فیلتراسیون حاکی از آن بود که بالاترین راندمان حذف جامدات معلق که معادل 72 درصد بوده، در نرخ فیلتراسیون 0/5 متر در ساعت حاصل شد. تجزیه و تحلیل نمونه‌ها در نرخ 0/5 متر در ساعت نشان داد که با افزایش زمان کارکرد صافی (T)، به ترتیب درصد حذف ذرات جامد ($TSS_{removal}$) و کدورت ($TUR_{removal}$) تا ماه سوم راهبری سیستم به ترتیب ابتدا تا 72 و 54 درصد افزایش و بعد از آن تا پایان مدت زمان راهبری سیستم به 39 و 33/5 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 تحقیقات پیشین، بهبود بخشید. بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست، کل مواد جامد معلق خروجی از صافی چهار قسمته (40 میلی‌گرم در لیتر)، در محدوده مجاز استاندارد برای تخلیه به آب‌های سطحی و استفاده در آبیاری و کشاورزی بود.

واژه‌های کلیدی: صافی درشت دانه با جریان افقی، مواد جامد معلق، استفاده مجدد، پساب کدورت

مقدمه

به دلایل بسیار از جمله رشد روز افزون جوامع و از سوی دیگر گسترش شهرها و به تبع آن افزایش مصرف آب و نیز تغییر اقلیم و دوره‌های خشک‌سالی و کمبود آب، عدم دسترسی مناسب به منابع آبی و هزینه زیاد سرمایه‌گذاری انتقال آب بین حوزه‌ای، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده (بازچرخانی) طی دهه‌های اخیر مورد توجه بیش از پیش قرار گرفته است که با تشدید بحران آب در ایران و توسعه شبکه‌های جمع‌آوری و احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سال‌های اخیر نیز توسعه قابل توجهی داشته است. از طرفی روش‌های مختلفی برای پالایش و رفع آلودگی‌های جریان فاضلاب خام وجود دارد؛ که به علت هزینه‌های بالا در احداث تصفیه‌خان‌های پیشرفته فاضلاب، بکارگیری روش‌های طبیعی، کم هزینه و آسان از جمله برکه‌های تثبیت فاضلاب که بر مبنای فرایندهای طبیعی طراحی و اجرا شده اند مدنظر قرار گرفته است و نیز می‌دانیم بطور معمول اساس تصفیه در زدایش آلاینده‌های آلی در چنین تصفیه‌خانه‌هایی، بر مبنای فرایندهای طبیعی و همزیستی جلبک و باکتری استوار می‌باشد بنابرلین جلبک در پساب خروجی به عنوان یکی از محصولات فرعی[5]، تولید می‌گردد وجود این جلبک‌ها که غالبا همراه با جریان پساب خروجی از تصفیه‌خانه خارج و به محیط وارد می‌گردد، نگرانی‌هایی را در پی داشته است چرا که این محصولات فرعی سرشار از ترکیبات آلی بوده و در صورت تخلیه به محیط بیش از ظرفیت خودپالایی، منجر به بروز مشکلاتی در عناصر مختلف محیط زیست خواهند شد.

همچنین با توجه به اینکه در اغلب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای

1- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی پردیس بین الملل، دانشگاه فردوسی مشهد
2- استاد گروه زیست محیطی خاوران، مشهد
3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
4- استادیار دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی
(* - نویسنده مسئول: E-mail: alizadeh@um.ac.ir)

5- By products

گندزدایی پساب خروجی از ترکیبات کلر استفاده می‌گردد. بنابراین هزینه‌های مصرف کلر در این‌گونه تصفیه‌خانه‌ها (برکه تثبیت که دارای فرایندهای طبیعی است) برای حصول اطمینان از استاندارد کیفیت بیولوژیکی در پساب خروجی بیش‌تر خواهد بود، و نیز در صورت تاکیید بر کلرزنی، هزینه‌های گزافی را به سرمایه‌گذاران احداث تصفیه‌خانه‌ها به منظور حذف تولیدات جانبی حاصل از گندزدایی پساب خروجی تحمیل می‌نماید. بنابراین کاهش جلبک موجود در پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌روش‌های طبیعی و ارتقا راندمان کیفی آن‌ها یکی از چالش‌های مهم در موضوع استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده بوده است و از طرفی استفاده از روش‌های گران قیمت برای افزایش راندمان کیفی، فلسفه احداث چنین تصفیه-خانه‌های فاضلابی را که پایین بودن هزینه تمام شده فاضلاب تصفیه شده بوده را زیر سوال خواهد برد، استفاده از روش‌های ساده و ارزان قیمت با راه‌بری آسان به منظور کاهش جلبک و مواد معلق موجود در پساب خروجی از این‌گونه تصفیه‌خانه‌ها را مدنظر قرار خواهد داد. در این بین، استفاده از صافی‌های شنی درشت‌دانه با جریان افقی (HRF) می‌تواند گزینه مطلوبی باشد. اگر جریان فاضلاب از یک محفظه متخلخل عبور نماید و در این فرآیند از مواد شیمیایی جهت پالایش آلودگی‌ها استفاده نگردد؛ سیستم مورد نظر صافی نامیده می‌شود. به طور کلی می‌توان صافی را به دو دسته درشت‌دانه و ماسه‌ای تقسیم-بندی نمود. زمان‌یکه شاخص‌هایی نظیر کدورت و ذرات معلق در خروجی از صافی پایین باشد؛ عملکرد آن‌ها قابل اطمینان و مطلوب ارزیابی می‌گردد، (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 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 (فاضلی، 1381و 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 به عنوان بستر متخلخل صافی بکار می-رود از جمله سنگ‌دانه‌های مقاوم شنی و کوارتز می‌باشد (Graham., 1988). یک صافی درشت‌دانه با جریان افقی دارای ساختمانی چند محفظه‌ای است که به صورت سری، افقی و به ترتیب در جهت جریان از دانه‌های درشت‌تر تا ریزتر پر شده‌اند (خزایی، 1388). طول این صافی‌ها محدودیتی ندارد اما در حالت کلی و در اغلب موارد ابعاد آن‌ها برای استفاده عملیاتی در حدود 5 تا 9 متر طول ساخته می‌شوند (Wegelin.,1996 ; Wegelin., 1987). و هر چه طول صافی بزرگ‌تر باشد؛ راندمان حذف ذرات بالاتر خواهد بود (Nkwonta et al., 2010). اصلی‌ترین فرآیند حذف در صافی‌های درشت دانه با جریان افقی فرآیند ته‌نشینی است (فاضلی، 1381). در طول بهره-برداری، ذرات در فیلتر تحت تاثیر نیروی ثقل در جهت جریان به سمت پایین منحرف می‌شوند (Wegelin., 1996). کارایی این صافی‌ها به میزان 70 تا 90 درصد حذف کدورت و مواد جامد معلق گزارش شده است (Wegelin.,1996). راندمان صافی‌ها و بهبود شاخص‌های کیفی پساب از جمله COD در روزهای ابتدایی بهره‌برداری پایین بوده و به مرور زمان بهبود می‌یابد و پس از مدتی تثبیت می‌شود (احتشامی، 1390). راندمان این صافی‌ها با افزایش نرخ بارگذاری کاهش می‌یابد و بهترین راندمان را در نرخ‌های کم‌تر از 1/5 متر بر ساعت بروز می‌دهند (Wegelin., 1996 و احتشامی، 1390). مطالعات وجیلین[1] نشان داد که تخلخل و زبری ذارت بر راندمان صافی‌های درشت دانه در مقابل اندازه و شکل منافذ میکروسکوپی، از تاثیر بیش‌تری برخوردار است (Wegelin., 1986). هر چه اندازه سنگ‌دانه ریزتر باشد صافی از تمرکز بیش‌تری برخوردار است؛ بنابراین کارایی صافی بهبود می‌یابد (Nival and Nival., 1976). پایین بودن نرخ فیلتراسیون راندمان فرآیند را افزایش می‌دهد (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 گردند. اندازه متوسط نرخ فیلتراسیون توسط هندریک از 0/3 تا 1/5 متر در ساعت گزارش شده است (Hendricks., 1991). صافی‌ها از منظر تغییرات سنگ‌دانه‌ها به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند. در اکثر تحقیقات پیشین از صافی‌هایی استفاده شده است که از سه بخش با اندازه سنگ‌دانه متفاوت تشکیل شده‌اند و به طور معمول در محل ورود جریان از سنگ‌دانه‌ها با اندازه درشت-تر و در انتهای صافی که محل خروج جریان است به تدریج اندازه سنگ‌دانه‌ها ریزتر می‌شود. تحقیقات نوونتا و سایر محقیق نشان می-دهد که تغییرات طول هر بخش از طبقه‌بندی صافی نیز بر راندمان سیستم موثر خواهد بود، (Nkwonta et al., 2010 and Mahvi et al., 2004 ارزیابی این تغییرات نیازمند آزمایشات متعدد است و تعیین بهینه‌ترین نوع از ترکیب تعداد و طول کلاس‌های طبقه‌بندی سنگ-دانه‌ها راندمان صافی را بهبود می‌بخشد.

مواد و روش‌ها

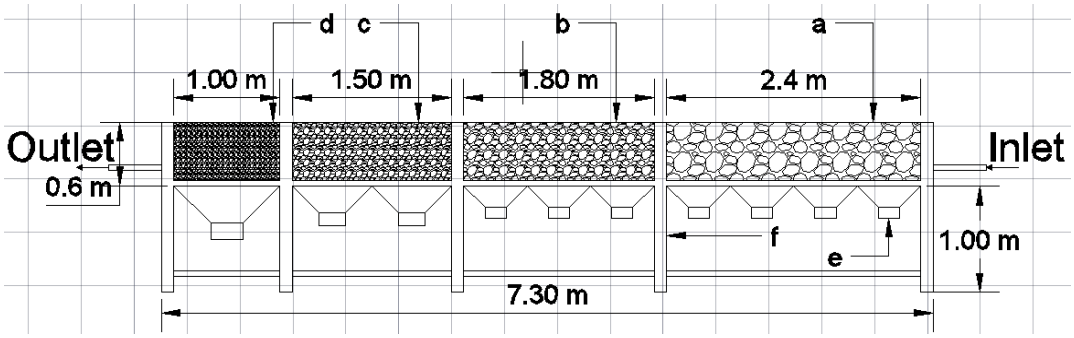
این مطالعه با هدف کلی بررسی ارتقا عملکرد صافی شنی درشت‌دانه با جریان افقی به عنوان یک روش ساده و ارزان قیمت که با حداقل دانش فنی قابل بهره برداری است، به منظور کاهش مواد جامد معلق و کدورت فاضلاب از جریان خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب برکه تثبیت و با هدف اختصاصی، امکان‌سنجی حصول استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران در استفاده مجدد از فاضلاب

1 Wegelin

تصفیه شده برای تخلیه در محیط زیست از مرداد ماه سال 1393 تا مرداد 1395 انجام شده است. در تحقیقات پیشین عموما از سه دانه-بندی سنگ‌دانه‌ها در صافی استفاده شده است (اعلمی و همکاران، 1388 و Nkwonta et al., 2010)، تفاوت عمده این تحقیق با مطالعات پیشین، بکارگیری پایلوت با چهار دانه‌بندی سنگ¬دانه بوده است، در این پژوهش فرض بر آن بوده است که صافی چهار قسمته می‌تواند به بهبود راندمان حذف کمک نماید بنابراین با انجام بررسی‌ها و مطالعه سوابق تحقیقاتی متنوع در زمینه صافی‌های شنی درشت‌دانه با جریان افقی و نشست‌های کارشناسی درخصوص نحوه ساخت و اجرای پایلوت، در نهایت پایلوت در مقیاس مدنظر (شکل 1) مبتنی بر رهنمودهای ویجیلین طراحی و ساخته شد (Wegelin., 1996).

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 10 میلی‌متر بوده، با چهار دانه‌بندی سنگ‌دانه با ارتفاع و طول کل 1/6 و 7/3 متر با ابعاد 0/4 ، 0/6 ، 0/5 و 1 متر به ترتیب عرض، ارتفاع، ارتفاع بستر و ارتفاع پایه‌ها (f) ساخته و در محل خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد 2 مشهد (سیستم برکه تثبیت) مستقر شد، بخش‌های a، b، c و d چهار دانه‌بندی سنگ‌دانه در طول صافی بوده که به ترتیب دارای سنگ‌دانه‌هایی به قطر80~50 (درشت‌ترین)، 50~30، 30~20 و 10~5 میلی‌متر (ریزترین) بوده است. جنس سنگ‌دانه‌ها شن و ماسه و جریان، از سمت درشت دانه وارد (Inlet) و از سمت ریزدانه (Outlet) خارج شده است. شیرهایی جهت برداشت نمونه در ورودی و خروجی هر قسمت در جدار صافی تعبیه شده، همچنین در زیر هر قسمت محل‌هایی قیفی شکل (e) به منظور زهکشی و جمع‌آوری مواد جامد ته نشین شده (رسوبات) جهت احیا سیستم در انتهای هر دوره زمانی وجود دارد.

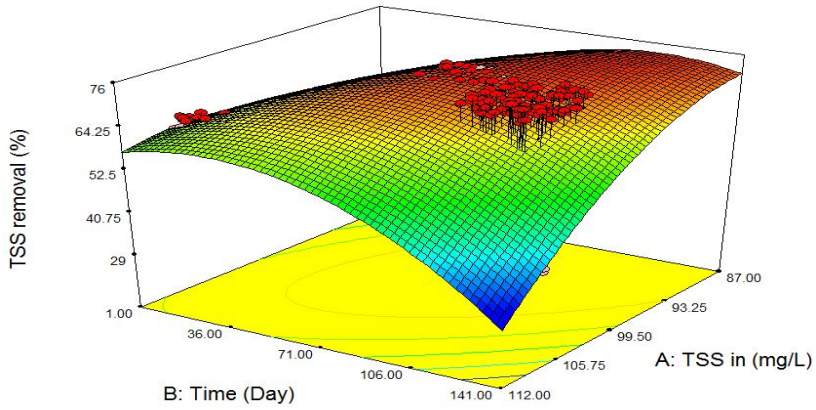
فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه با بکارگیری یک دستگاه پمپ تک فاز مستغرق با توان کاری 0/37 کیلووات و حداکثر دبی 130 لیتر در دقیقه به ورودی پایلوت مورد نظر منتقل و بصورت پیوسته در سه نرخ فیلتراسیون 0/5، 1 و 1/5 مترمکعب بر مترمربع در ساعت در سه دوره زمانی مجزا (مجموعا به مدت حدود یکسال) از طول صافی عبور داده شد. با توجه به نتایج پیش آزمون حاصل از بررسی نتایج کیفی سالیانه، تغییرات معنی‌داری در نتایج خروجی تصفیه خانه (ورودی پایلوت) مشاهده نشد، بنابراین جامعه آماری بصورت همگن فرض شده و نمونه‌برداری از ورودی و خروجی هر قسمت هم‌زمان بصورت نمونه ساده تصادفی و روزانه مبتنی بر روش‌های مندرج در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب برداشت شده است. داده‌های جمع آوری شده آنالیز و شاخص‌های پراکندگی شامل میانگین، دامنه و انحراف از معیار توسط برنامه اکسل 2010 محاسبه گردید. در طول دوره عملکرد صافی حدود 1400 عدد نمونه برای هر نرخ فیلتراسیون برداشت و مورد آنالیز قرار گرفت. در این مطالعه، مولفه‌هایی نظیر اندازه ذارت و نرخ فیلتراسیون در طی مدت آزمایش از اعداد معینی برخوردار بود؛ این در حالی است که متغیرهایی مانند زمان کارکرد صافی (T)، کل جامدات معلق (TSS_{in}) و کدورت (TURin) ورودی در طی سه دوره زمانی با نرخ فیلتراسیون متفاوت، متغیر است و به جریان ورودی به صافی بستگی دارند. از این جهت در خصوص ارایه نتایج، راندمان صافی مبتنی بر دو شاخص اساسی عملکرد صافی‌های شنی، درصد حذف کل جامدات معلق ($TSS_{removal}$) و کدورت ($TUR_{removal}$) در خروجی از صافی بنا نهاده شده است.



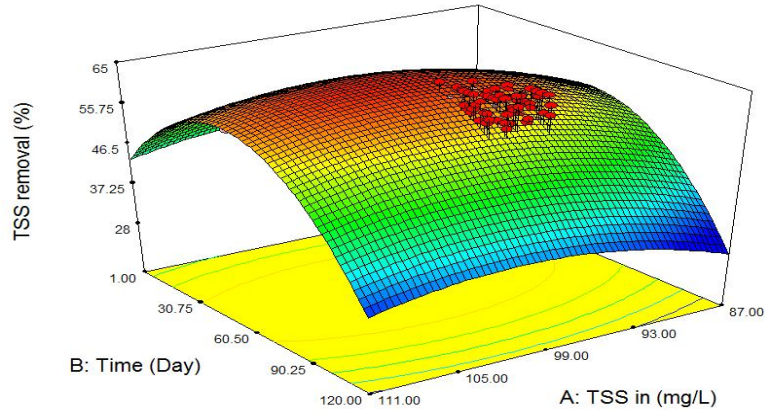
شکل 1- طرح شماتیک پایلوت صافی درشت‌دانه افقی بکار رفته در این تحقیق

نتایج و بحث

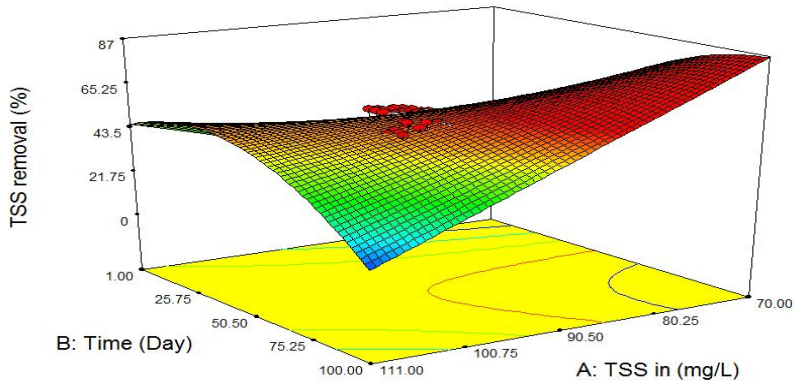
نمودارهای 1، 2 و 3 میزان حذف مواد جامد معلق ($TSS_{removal}$) و نمودارهای 4، 5 و6 میزان حذف کدورت ($TUR_{removal}$) را در طی زمان کارکرد صافی (T) و به ترتیب در برابر مواد جامد معلق ورودی (TSS_{in}) و کدورت ورودی (TUR_{in}) در سه نرخ فیلتراسیون نمایش می‌دهند.



نمودار 1- میزان حذف ذرات جامد معلق در طول زمان عملکرد به ازای غلظت ورودی (نرخ فیلتراسیون($m^3/(m^2.hr)$ 0/5)



نمودار 2- میزان حذف ذرات معلق در طول زمان عملکرد به ازای غلظت ورودی (نرخ فیلتراسیون($m^3/(m^2.hr)$ 1)



نمودار 3- میزان حذف ذرات جامد معلق در طول زمان عملکرد به ازای غلظت ورودی (نرخ فیلتراسیون($m^3/(m^2.hr)$ 1/5)

بر اساس نمودار 1 در نرخ فیلتراسیون 0/5 مترمکعب بر مترمربع در ساعت، با افزایش زمان کارکرد صافی درصد حذف ذرات جامد معلق ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به طوری‌که نقطه اوج راندمان صافی در ماه چهارم در حدود 72 درصد و به عکس در انتهای دوره کاری (اواخر ماه پنجم)، راندمان حذف ذرات جامد معلق 39 درصد بوده است. رابطه 1 حاصل از داده‌ها در این نرخ فیلتراسیون با ضریب همبستگی 0/85 است.

(1)

$$TSS_{removal} = -6 + (0.02T) + (0.1TSS_{in}) - (1.7 \times 10^{-4} T \times TSS_{in}) - (6 \times 10^{-4} \times TSS_{in}^{2}) - (3 \times 10^{-5} T^{2})$$

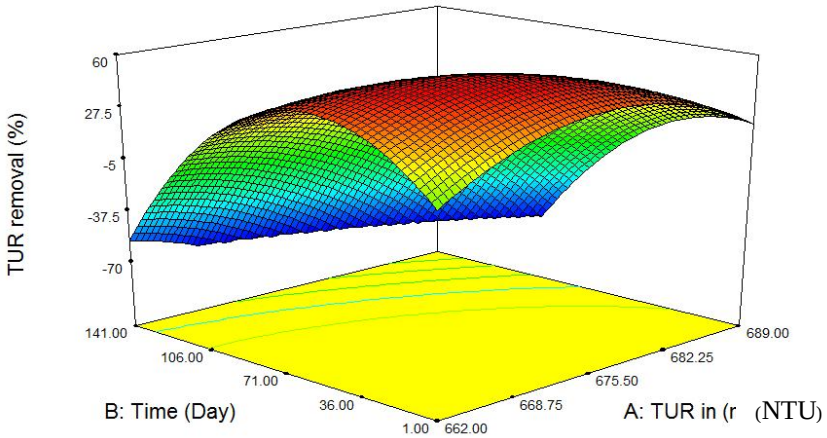
$TSS_{removal}$: میزان حذف مواد جامد معلق، T: زمان کارکرد صافی و TSS_{in} : میزان مواد جامد معلق ورودی.

بر اساس نمودار 2، با افزایش زمان کارکرد صافی، راندمان حذف در طول ماه سوم به اوج رسیده و به حدود 61 درصد افزایش یافت و سپس در ماه چهارم به 37 درصد رسید. رابطه 2 از داده‌های مربوط به نرخ فیلتراسیون با ضریب همبستگی 0/71 حاصل شده است:

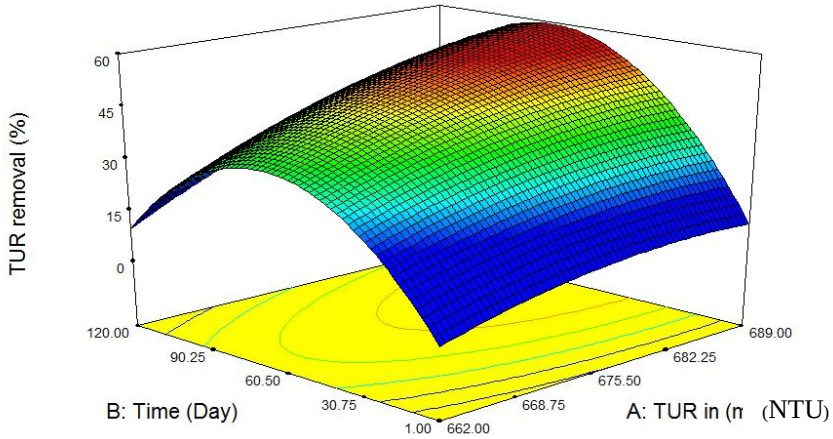
$$TSS_{removal} = -4 + (7 \times 10^{-3}T) + (0.09TSS_{in}) - (4 \times 10^{-4}TSS_{in}^{\ 2}) - (6 \times 10^{-5}T^2) \quad (2)$$

مطابق نمودار 3، میزان درصد حذف مواد جامد معلق با گذشت زمان کارکرد متغیر است؛ به طوری‌که در ماه سوم بیش‌ترین مقدار حذف با 56 درصد حاصل شده است. بررسی رفتار سیستم در ماه پنجم نشان می‌دهد که راندمان به طور میانگین در حدود 21 درصد بوده است. رابطه 3 از داده‌های حاصل از این نرخ فیلتراسیون با ضریب همبستگی 0/60 بدست می‌آید:

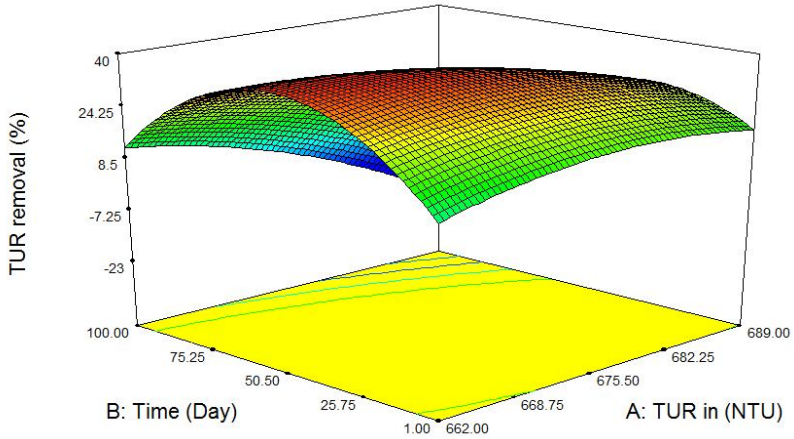
$$TSS_{removal} = -0.9 + (0.4T) + (0.01TSS_{in}) - (3 \times 10^{-4}T \times TSS_{in}) - (9 \times 10^{-5}T^2) \quad (3)$$



نمودار 4- میزان حذف کدورت در طول زمان عملکرد به ازای غلظت کدورت ورودی(نرخ فیلتراسیون($m^3/(m^2.hr)$ 0/5)



نمودار 5- میزان حذف کدورت در طول زمان عملکرد به ازای غلظت کدورت ورودی (نرخ فیلتراسیون($m^3/(m^2.hr)$ 1)



نمودار 6- میزان حذف کدورت در طول زمان عملکرد به ازای غلظت کدورت ورودی (نرخ فیلتراسیون (1/5 $m^3/(m^2.hr)$

بر اساس نمودار 4، با افزایش زمان کارکرد صافی، راندمان حذف کدورت تا ماه سوم با میزان 54 درصد، روندی افزایشی دارد و از آن‌جا به بعد راندمان حذف طی ماه چهارم کاهش، و در ماه پنجم منفی شده است(میزان خروجی از ورودی بیشتر شده)؛ در واقع، به علت

$$TUR_{removal} = -770 - (0.3T) + (2TUR_{in}) - (5 \times 10^{-4}T \times TUR_{in}) - (2 \times 10^{-3}TUR_{in}^{2}) - (T^{2}) \quad (4)$$

بر اساس نمودار 5، راندمان حذف کدورت ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بالاترین راندمان حذف کدورت معادل 54 درصد طی ماه سوم راهبری سیستم رخ داده است. راندمان حذف کدورت صافی

$$TUR_{removal} = -108 - (0.03T) + (0.3TUR_{in}) + (7 \times 10^{-5}T \times TUR_{in}) - (2 \times 10^{-4}TUR_{in}^{2}) - (8 \times 10^{-5}T^{2}) \quad (5)$$

بر اساس نمودار 6 میزان حذف کدورت در ماه دوم راهبری صافی به بیش‌ترین مقدار معادل با 38 درصد رسید و از آن‌جا به بعد راندمان حذف کدورت طی ماه سوم کاهش یافته و با ادامه زمان کارکرد، این راندمان در ماه اخر منفی شده است (میزان خروجی از ورودی بیشتر

$$TUR_{removal} = -141 + (0.1T) + (0.4TUR_{in}) - (1.5 \times 10^{-4}T \times TUR_{in}) - (3 \times 10^{-4}TUR_{in}^{2}) - (1 \times 10^{-4}T^{2}) \quad (6)$$

همان‌گونه که ملاحظه شد، عملکرد صافی در حذف ذرات جامد معلق و کدورت، تحت تاثیر سه نرخ فیلتراسیون با افزایش زمان کارکرد، ابتدا روندی افزایشی و از آن‌جا به بعد با سیر نزولی کاهش یافته است و در برخی موارد حتی به زیر صفر رسید.

اصلی ترین فرایند حذف مواد معلق در فیلترهای درشت‌دانه با جریان افقی فرایند ته‌نشینی از نوع اول می‌باشد، همچنین نرخ ته-نشینی تابعی از قطر مواد معلق و عدد رینولدز جریان از لابه‌لای مواد سنگ‌دانه می‌باشد. و عدد فرود[1] در فیلترهای درشت‌دانه با جریان افقی بزرگ‌تر از حوض‌های ته‌نشینی ساده بوده و نوع جریان به جریان نهر گونه[2] نزدیک و عدد پراکندگی[3] در آن‌ها بسیار کوچک می‌باشد (فاضلی، 1381). از سوی دیگر هر چه عدد رینولدز و عدد گرفتگی منافذ صافی درشت‌دانه، با عبور جریان از صافی میزان کدورت خروجی افزایش یافته است. بررسی این رفتار نشان می‌دهد که صافی نیازمند احیا مجدد است. رابطه 4 با ضریب همبستگی 0/85 در این نرخ فیلتراسیون حاصل گشته است:

در ماه پنجم، 20 درصد نشان می‌دهد. رابطه 5 حاصل از داده‌ها در این نرخ فیلتراسیون با ضریب همبستگی 0/72 بدست می‌آید:

شده است) و به زیر صفر رسید. رابطه 6 در نرخ فیلتراسیون 1/5 مترمکعب بر مترمربع در ساعت با ضریب همبستگی 0/82 حاصل شده است:

پراکندگی کوچک‌تر و عدد فرود بزرگ‌تر شود راندمان ته‌نشینی و در نتیجه راندمان صافی افزایش می‌یابد

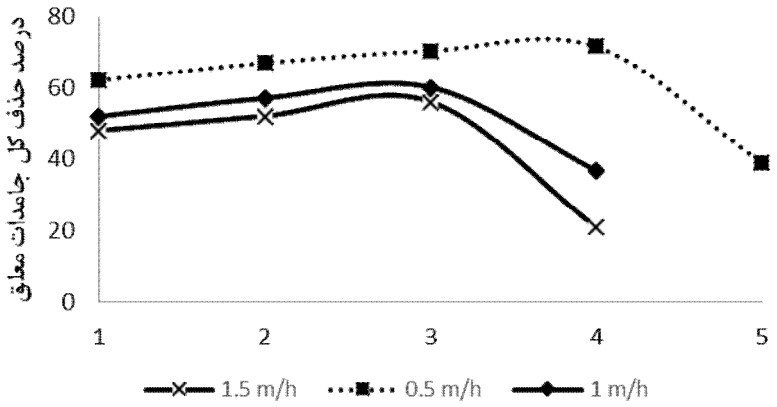
در طول بهره‌برداری، ذرات در فیلتر تحت تاثیر نیروی ثقل در بین خلل و فرج ته‌نشین می‌شوند، با این رخداد سطح مقطع مجاری دربین سنگ‌دانه‌ها با افزایش زمان کارکرد کاهش یافته که به تبع آن افزایش سرعت و عدد رینولدز را به دنبال دارد، که خود باعث برهم خوردن تعادل ته‌نشینی و افزایش ذرات معلق در پساب خروجی از صافی شده است.

نمودار 7 و 8 تغییرات درصد حذف ذرات جامد معلق و کدورت را در سه نرخ فیلتراسیون در طول دوره راهبری سیستم را ارایه می‌دهد.

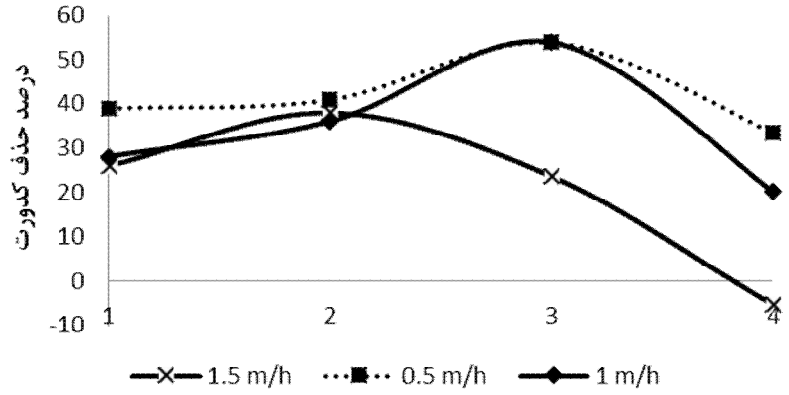
در نرخ فیلتراسیون پایین، مدت زمان بیش‌تری برای ذرات معلق فراهم می‌آید تا با نیروی گرانش ته‌نشین گردند، بر این اساس نمودار 7 و 8، نشان داد بیش‌ترین راندمان حذف مواد معلق جامد و کدورت در نرخ فیلتراسیون 0/5 مترمکعب بر مترمربع در ساعت حاصل شده

1- Froude Number
2- Plug Flow
3- Dispersion Number

است. بر این اساس با افزایش نرخ فیلتراسیون راندمان حذف کاهش یافت. مطابق نمودار 7، در طول دوره عملکرد صافی غلظت مواد جامد معلق خروجی از ورودی کم‌تر بود و عملکرد صافی در کاهش مواد جامد معلق روند مثبتی داشته است؛ اما نمودار 8 حاکی از آن است که عملکرد صافی در کاهش کدورت ورودی در ابتدا روندی مثبت داشته، و از آن‌جا به بعد با سیر نزولی کاهش یافته است به طوری‌که در نرخ فیلتراسیون 1/5 متر در ساعت در انتهای دوره کاری صافی به حدود منفی 5 درصد می‌رسد. بر این اساس می‌توان زمان کارکرد صافی درشت دانه با جریان افقی را به چهار دوره متفاوت دسته‌بندی نمود؛ این مراحل شامل دوره راه‌اندازی، دوره بلوغ (نیاز به مدت زمان مشخصی است که تا به دوره بعدی برسد)، دوره همراه با افزایش راندمان تا نقطه شکست و در نهایت دوره کاهش راندمان تا جایی که می‌تواند خروجی از سیستم بیش‌تر از ورودی گردد.



نمودار7- میزان تغییرات درصد حذف کل مواد جامد معلق در طی مدت عملکرد صافی در سه نرخ فیلتراسیون ($m^3/(m^2.hr)$ 0/5، 1 و 1/5



نمودار 8- میزان تغییرات درصد حذف کدورت در طی مدت عملکرد صافی در سه نرخ فیلتراسیون ($m^3/(m^2.hr)$ 0/5، 1 و 1/5

ارزیابی عملکرد

صافی درشت‌دانه سه قسمته با صافی درشت‌دانه چهار قسمته (به‌کار رفته در این پژوهش) به منظور ارزیابی عملکرد مقایسه گردید. جدول 1 مقایسه راندمان صافی‌های درشت‌دانه در سه دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها در تحقیقات پیشین با صافی درشت‌دانه دارای چهار دانه-بندی سنگ‌دانه‌ها به‌کار رفته در این پژوهش را ارایه می‌دهد.

طبق جدول 1 مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن دوره مطالعه، راندمان حذف مواد معلق در مطالعه حاضر بالاتر از راندمان حاصل از سایر مطالعات بدست آمده است؛ این درحالی است که در نگاه اول این مقدار کم‌تر از راندمان بدست آمده از مطالعه گالویس (Galvis., 1993) می‌باشد. اما با توجه به طولانی‌تر بودن دوره کارکرد مطالعه حاضر (حدودا 4 برابر) و به تبع آن حجم جریان و بار مواد جامد عبوری، بیش‌تر از طول صافی، مبین این موضوع است که مطالعه حاضر در مجموع در کاهش غلظت مواد جامد معلق برتری دارد.

جدول 1- راندمان صافی‌های درشت‌دانه سه قسمته در تحقیقات پیشین و چهار قسمته در مطالعه حاضر

مرجع	دوره مطالعه (روز)	نرخ فیلتراسیون (m/h)	TSS_{in} (mg/L)	$TSS_{removal}$ (%)
(Galvis et al., 1993)	38	1	200	95
(Collins., 1994)	28	0/5	1000	68
(Khazaei et al., 2010)	130	1/5-0/5	125-70	70
(2016)مطالعه حاضر	141	0/5	109-91	72

بر اساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان گفت بـه منظـور حـذف مواد جامد معلق و کدورت فاضـلاب از جریـان خروجـی تصـفیه‌خانـه فاضلاب برکه تثبیت استفاده از صافی چهار قسمته توصیه مـی‌گـردد. جدول 2 غلظت مواد جامـد معلـق و کـدورت را در ورودی و خروجـی قسمت‌های مختلف صافی در سه نـرخ فیلتراسـیون بـرای مـاه سـوم راهبری سیستم که نقطه اوج راندمان صافی است به تفکیک نمـایش می‌دهد. به اختصار راندمان حذف (درصد)، غلظت مواد معلق(میلی‌گرم در لیتر) ،کدورت ورودی و خروجی (NTU) و نرخ فیلتراسیون (متر در ساعت) با علامتهای E، C_{in}، C_{out} و R ارایه شده است.

جدول 2- غلظت آلودگی‌های ورودی، خروجی و راندمان صافی در چهار کلاس مختلف صافی در نرخ فیلتراسیون متغیر برای ماه سوم راهبری

شاخص آلودگی	R	بخش‌های مختلف در طول صافی (پایلوت)											
		mm) (50-80A			mm) (30-50B			mm) (20-30C			mm) (5-10D		
		C_{in}	C_{out}	E	C_{in}	C_{out}	E	C_{in}	C_{out}	E	C_{in}	C_{out}	E
TSS	0/5	97	37	62	37	38	-2/8	38	37	3/4	37	29	22/7
	1	97	44	54	44	46	-2/8	46	43	5/8	43	38	12
	1/5	97	48	51	48	50	-4/5	50	48	3/4	48	42	12/2
TUR	0/5	674	573	15	573	680	-18/6	680	679	0/1	679	310	54/3
	1	675	580	14	580	494	14/8	494	419	15/2	419	310	26
	1/5	674	651	3/4	651	679	-4/3	679	678	0/2	678	515	24

بر اساس جدول 2، در تمامی حالات بیش‌ترین کارایی و رانـدمان حذف مواد جامد معلق در قسمت اول (a) و کدورت در قسمت چهـارم (d) صافی رخ داده که این ناشی از مکانیسم ته‌نشینی محـیط متخلـل برای مواد جامد معلق و فیلتراسیون برای کدورت می‌باشد و به عکـس کم‌ترین راندمان در بخش دوم (b) حاصل شده اسـت. بـه طـور کلـی بخش اول و آخر سهم اساسی در حذف مـواد معلـق جامـد و کـدورت جریان داشته است. نتایج نشان داد که سنگ‌دانه‌های با انـدازه 30 تـا 50 میلی‌متر اثر مثبتی بر راندمان حذف ندارد.

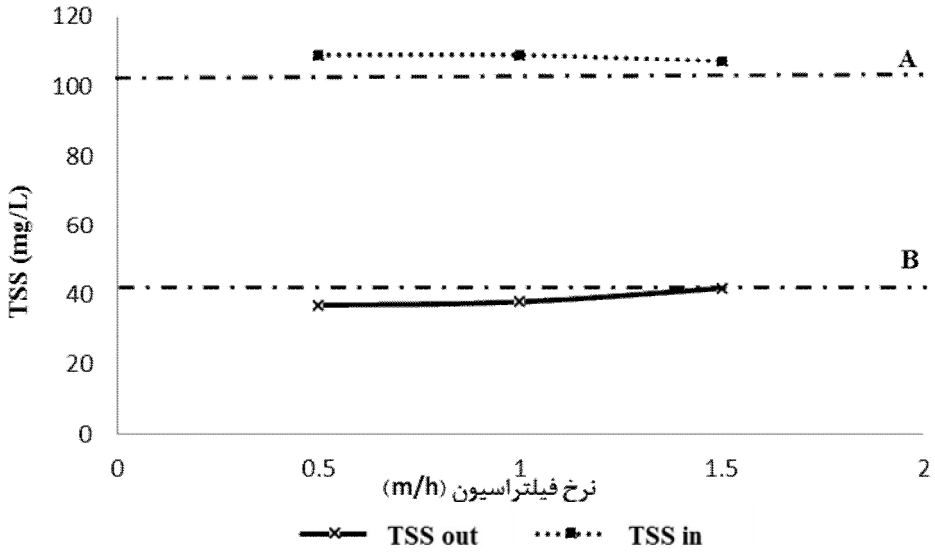
امکان استفاده مجدد از پساب

یکی از اهداف پژوهش حاضر امکان‌سنجی حصول اسـتانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای استفاده مجـدد از فاضـلاب تصفیه شده برای تخلیه در محیط زیست با استفاده از صافی درشـت-دانه با جریان افقی بوده است. نمودار 9 میـانگین غلظـت مـواد جامـد معلق ورودی و خروجی از صافی را در سـه نـرخ فیلتراسـیون نمـایش می‌دهد. بر اساس نمودار 9 میانگین مواد معلق جامد ورودی به صافی (خروجی تصفیه خانه) حدود 105 و در خروجی صافی به کـم‌تـر از 40 میلی‌گرم در لیتر رسیده است. با توجه بـه سـطوح اسـتاندارد سـازمان حفاظت محیط زیست ایران برای استفاده مجدد از فاضلاب در آبیاری کشاورزی (100 میلی‌گرم در لیتر) و تخلیه بـه آب‌هـای سـطحی (40 میلی‌گرم در لیتر) به کارگیری صافی درشت‌دانه بـا جریـان افقـی بـه عنوان یک فرآیند طبیعت محور، توانست کیفیت مناسـبی از آب را در این بخش ایجاد نماید.

نتیجه‌گیری

عملکرد صافی شنی درشت‌دانه چهار قسمته تحـت جریـان افقـی فاضلاب به مدت 12 ماه تحت سه نرخ مورد ارزیابی قـرار گرفـت. بـا توجه به اهداف کلی و اختصاصی در این پژوهش بررسی‌ها نشـان داد که در نرخ فیلتراسیون 0,5 متر در سـاعت بـا افـزایش زمـان کـارکرد صافی درشت دانه افقی (T)، درصد حـذف ذرات جامـد ($TSS_{removal}$)

ابتدا افزایش یافته و با گذشت زمان به علت گرفتگی منافذ صافی درشت دانه، راندمان سیستم کاهش یافت. نرخ فیلتراسیون 0/5 متر در ساعت در مقایسه با سایر نرخ‌های فیلتراسیون تاثیری بالاتری در راندمان حذف داشت. مقایسه راندمان حذف مواد معلق در تحقیقات پیشین و مطالعه حاضر نشان داد که صافی درشت‌دانه افقی با چهار کلاس طبقه‌بندی دانه‌ها از عملکرد مطلوب‌تری نسبت به صافی‌های سه قسمته برخوردار است. مقایسه راندمان حذف قسمت‌های مختلف صافی نشان داد که بیش‌ترین کارایی و راندمان در قسمت اول (a) با قطر ذرات 50 الی80 میلی‌متر و کم‌ترین راندمان در بخش دوم (b) با قطر ذرات 30 الی50 میلی‌متر حاصل شده است. علاوه بر این خروجی سیستم با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست کشور قابل استفاده در تخلیه به آب‌های سطحی است. بنابراین در خاتمه پیشنهاد می‌شود مطالعات گسترده‌تری به منظور امکان عملیاتی نمودن طرح در ابعاد اجرایی و نیز امکان سنجی کاهش بار آلی فاضلاب در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه با استفاده از صافی‌های شنی درشت‌دانه با جریان افقی با چهار محفظه در اندازه سنگ‌دانه-های متفاوت مورد بررسی قرار گیرد.



نمودار 9- میانگین مواد جامد معلق ورودی و خروجی از صافی را در برابر نرخ فیلتراسیون ($m^3/(m^2.hr)$ 0/5، 1 و 1/5

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان این مقاله برخود لازم می‌دانند که به سبب همکاری صمیمانه از آقایان و خانم‌ها مهندس طباطبایی رئیس هیئت 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 نماید.

منابع

احتشامی،م.، تکدستان،ا.، علوی بختیاروند،س ن.، جعفرزاده حقیقی فرد،ن.، احمدی مقدم،م.، خزایی،م.، و صالحی،ع. 1390. کارایی صافی درشت‌دانه افقی در کاهش اکسیژن‌خواهی شیمیایی از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر یاسوج . مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی یاسوج. 16. 4: 391-399.

اعلمی، م.، رشیدی مهرآبادی، ع. و فاضلی، م. 1388. ارزیابی کارایی صافی‌های شنی درشت‌دانه افقی در ارتقاء راندمان تصفیه بروش لجن فعال. سومین همایش تخصصی محیط زیست تهران .

خزایی،م. 1388. بررسی کارآیی فیلترهای درشت‌دانه افقی و ترکیب پراکسیدهیدروژن و یون های نقره بر کاهش جمعیت باکتریایی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قم. پایان‌نامه دکتری رشته مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

خزایی،م.، نبی زاده نودهی،ر.، ندافی،ک.، نوریه،ن.، و امیدی اسکویی،ع.1389. حذف جامدات معلق از پساب لاگون هوادهی با استفاده از صافی درشت‌دانه دارای جریان افقی. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم. 4. 1: 42-47.

فاضلی، م.1382. تدقیق مبانی طراحی و توسعه فیلترهای درشت‌دانه با جریان افقی. رساله دکتری. دانشگاه تهران.

فاضلی،م و ترابیان،ع. 1381. توسعه روش‌های شستشو در فیلترهای

درشت‌دانه با جریان افقی مستقیم، مجله محیط شناسی.

سازمان حفاظت محیط زیست کشور. 1373. استانداردهای خروجی فاضلاب، ماده 5 آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب.

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition, Washington DC 2012.

Collins,M.R. 1994. Evaleation of Roughing Filteration Design Variables.. 30.6:173-179.

Galvis,G., Fernandez,J., Visscher,J.T. 1993. Comparative Study of Different Pre-Treatment Alternatives. 42:337-346.

Graham,N.J.D. 1988. Slow sand filtration: recent developments in water treatment technology. John Wiley and Sons.

Hendricks,D.W. 1991. Manual of design for slow sand filtration. American water works association research foundation Denver. CO.

Mahvi,A.H., Moghaddam,M.A., Nasseri,S and Naddafi,K. 2004. Performance of a direct horizontal roughing filtration (DHRF) system in treatment of highly turbid water. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 1.1: 1-4.

Mukhopadhay,B., Majumder,M., Barman,R.N., Roy,P.K and 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 and 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.

Wegelin,M. 1996. Surface water treatment by roughing filters: a design, construction and operation manual (Vol. 2). SANDEC.

Wegelin,M and Roland,S.1987. Horizontal-flow roughing filtration for turbidity reduction. Waterlines 24-28.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 11, Jun.-Jul. 2017, p. 299-309

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد 11، خرداد - تیر 1396، ص. 309-299

Evaluation of Performance and Optimization of Horizontal Roughing Filter (HRF) to Reduce Turbidity and Suspended Solids from the Wastewater Treatment Plant Outflow for Agriculture Use

M. Daee[1], A. Alizadeh[2*], A. Farid Hosseini[3], A. Rashidi Mehr Abadi[4]
Recived: Jul.20, 2016 Accepted: Sep.18, 2016

Abstract

One of the influential processes on Total Suspended Solids (TSS) and Turbidity (TUR) removal can be horizontal roughing filter (HRF). Lack of water resources has addressed using of treated wastewater as one of the approaches to solve the problem. Therefore, low cost and natural methods are considered to improve polluted water quality. In this paper, HRF performance was evaluated in pilot scale with four compartments of difference size of sand and also in three filtration rates of 0.5, 1 and 1.5 meter per hour. The performance of constructed HRF was monitored throughout the pilot operation period under the effect of effluent from a wastewater treatment plant which contains TSS and TUR exceeding the Iranian Environment Protection Organization limits(even for agricultural use which its permissive standard is more than the allowable one for discharging surface water). Comparing the three filtration rates indicated that maximum efficiency, which is equal to 72 percent, has occurred in 0.5 meter per hour. Analyzing of samples in the rate of 0.5 meter per hour showed that as filter operation time (T) increases, at first, TSS and TUR removal rise to 72 and 54 percent until the third month of T and then falls to 39 and 33.5 percent to the end of T, respectively. It was demonstrated that the four compartments HRF, in comparison with three compartments in previous studies improve system efficiency. Moreover, according to Iranian Environment Protection Organization standards, outlet TSS from the HRF with four compartments (40 mg/L) was within the allowable limits to discharge surface water and suitable for use in agriculture and irrigation.

Keywords: HRF, Reuse, Treated Wastewater, TSS, Turbidity

1- PhD Student, Department of Irrigation and Drainage, International Campus of Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Khavaran Environmental Research Department. Mashhad. Iran
3- Associate Professor, Water Engineering Department of Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad
4- Assistant Professor, Water and Environment Engineering Faculty of Shahid Beheshti University
(*-Corresponding Author Email: alizadeh@um.ac.ir)