



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1108P-NWWCE

بررسی کارایی فیلتر شنی با جریان مداوم در تصفیه آب

راضیه شیخی^۱، امیرحسین محوی^۱، محمد صادق مقدسیان^۲، سید نجات موسوی پور^۱

۱- دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط

۲- شرکت مدیریت هیربدان

*sheikhi@tums.ac.ir

خلاصه

فیلتر شنی با جریان مداوم به دلیل عدم نیاز به شستشوی معکوس، بدون وقفه کار می کند و قادر به پذیرفتن میزان بالای جامدات معلق است. شن های آلوده به طور مداوم از بستر فیلتر حرکت می کنند، شسته می شوند و به پروسه فیلتراسیون برمی گردند. جریان آب از میان یک لوله وارد بازوهای پخش کننده می شود، آب آلوده از بستر شن می گذرد، در رأس فیلتر آب تمیز از یک سرریز به لوله تخلیه ریخته می شود. نتایج نشان داد که کدورت آب فیلتر شده ۹۵٫۵٪ کاهش پیدا کرده است. میزان کلیفرم ها و کلنی های میکروبی بعد از فیلتراسیون به ترتیب ۹۹٫۶۷٪ و ۹۸٫۹۹٪ کاهش نشان داده است. از طرف دیگر به وسیله کاربرد فیلتراسیون مستقیم در این فیلتر کدورت بیش از ۹۷٪ کاهش یافت. در فیلتراسیون مستقیم و در خط، آب آشامیدنی با کدورت کمتر از ۰٫۹ NTU بدست آمد. این فیلتر در مقایسه با فیلترهای نوع متعارف دارای برتری استحکام و صرفه جویی در انرژی و بهره برداری است.

کلمات کلیدی: فیلتر شنی با جریان مداوم، آب فیلتر شده، فیلتراسیون مستقیم، فیلتراسیون در خط، کاهش کدورت

۱. مقدمه

عمل شستشوی معکوس در صافی شنی متعارف بازدهی فیلتر شنی را کاهش می دهد اما فیلتر با جریان مداوم (CSF)^۱ یا فیلتر دیناسند^۲ با حذف شستشوی معکوس بر این مشکل غلبه کرده است. شن های آلوده به طور مداوم از بستر فیلتر حرکت می کنند، شسته می شوند و بدون وقفه به پروسه فیلتراسیون برمی گردند. بستر فیلتر در یک تانک استوانه ای با ته مخروطی شکل قرار می گیرد. در تصفیه خانه های بزرگ واحدهای CSF از سیلندرهایی بتونی ساخته می شوند (به عنوان مثال در بیشتر تصفیه خانه های آلمان) کف این استوانه به شکل هشت وجهی است. جریان آب از طریق لوله تغذیه کننده وارد شده در بستر فیلتر توزیع می شود. یک لوله مرکزی در طول فیلتر تعبیه شده است. جریان آب از میان یک لوله در بیرون مخزن وارد بازوهای پخش کننده جریان که به صورت شعاعی در اطراف این ستون قرار گرفته اند می شود. آب آلوده از بستر شن می گذرد در رأس فیلتر آب تمیز پدیدار می شود و سرانجام از یک سرریز به لوله تخلیه ریخته می شود. قسمت ابتکاری فیلتر CSF شامل یک پروسه مداوم شستشوی شن هاست. این کار از زیر بازوهای توزیع کننده جریان در کف شروع می شود. یک پمپ هوا^۳ به طور مستقیم در قسمت ته لوله مرکزی قرار دارد. توسط این پمپ هوا به شن ها دمیده می شود و به شن های جرم گرفته برخورد می کند. در لوله مرکزی به سمت رأس فیلتر شن ها تمیزتر می شوند. از اینجا پروسه شستشوی شن ها شروع می شود. تلاطم در اثر هوای فشرده باعث جداسازی شن ها از ذرات کثیف می شود. پمپ به طور مداوم در حال دمیدن به عمیق ترین دانه های شن بوده و آن ها را به سمت

^۱ Continuous Sand Filter (CSF)

^۲ Dynasand filter

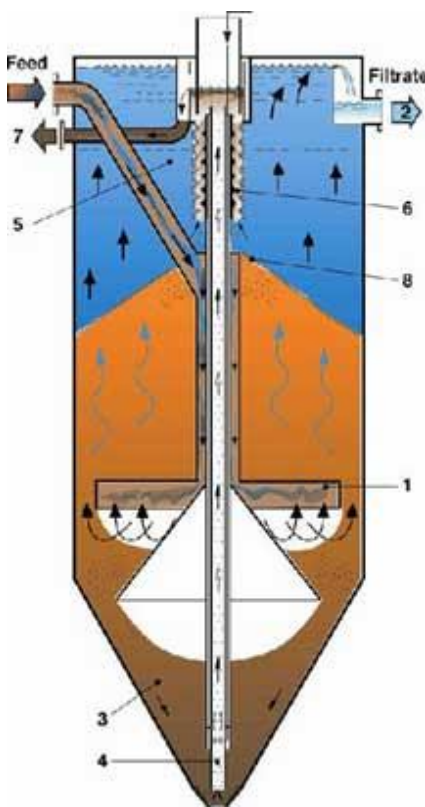
^۳ Air lift Pump

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

رأس تانک انتقال می‌دهد به همین دلیل بستر شنی به تدریج به سمت پمپ در کف تغییر مکان می‌دهد. در رأس لوله مرکزی یک واحد شستشوی شنی^۴ وجود دارد که شامل یک استوانه با دیواره‌های موج‌دار است که به سمت کف باز می‌شود. شن‌های نیمه آلوده از رأس ستون مرکزی به این استوانه می‌ریزد. نسبت کوچکی از آب تمیز بالا می‌رود و برای شستشوی شن‌ها مصرف می‌شود. اختلاف نیروهای فشاری آب تمیز را به بالای سیلندر می‌برد، در حالی که شن‌ها به پایین می‌ریزد. شن‌ها که سنگینتر از ذرات آلوده هستند به‌طور پی در پی به سمت پائین حرکت می‌کنند. آب شن‌ها را شستشو می‌دهد، جرم آنها همراه آب شستشو در رأس ستون مرکزی به لوله خروجی دیگری تخلیه می‌گردد. شن‌ها سپس تمیز شده و به بالای بستر شنی باز می‌گردند. با عبور از این مسیر فیلتر شنی به‌طور ثابت تمیز می‌شود، ضمن اینکه فیلتراسیون آب نیز انجام می‌شود. [1-6] این فیلتر به دلیل عدم نیاز به تجهیزات شستشوی معکوس از نظر اقتصادی به سایر فیلترها ارجحیت دارد. (شکل ۱) (جدول ۱) [7]



شکل ۱- فیلتر شنی CSF

۱-صفحات پخش‌کن ۲-آب فیلتر شده ۳-بستر شنی ۴-ورود هوا ۵-جریان آب ۶-شستشودهنده شن‌ها ۷-پساب شستشوی فیلتر ۸-شن‌های شسته شده

^۴ Sandwasher

جدول ۱- مقایسه فیلتر با جریان مداوم با فیلترهای شنی تند متعارف از نظر اقتصادی [2,8]

فیلترهای شنی تند متعارف	فیلتر با جریان مداوم
مصرف انرژی بالا:	مصرف انرژی کم:
توان مصرفی 0.085 kwhr/m^3	متوسط توان مصرفی 0.077 kwhr/m^3 و مینیمم آن 0.019 kwhr/m^3
تانک ذخیره نیاز دارد.	تانک ذخیره نیاز ندارد.
پانل کنترل شستشو نیاز دارد.	پانل کنترل شستشو نیاز ندارد.
شیرهای اتوماتیک نیاز دارد.	شیرهای اتوماتیک نیاز ندارد.
پمپهای دمنده قوی نیاز دارد.	پمپهای دمنده قوی نیاز ندارد.
بهای بهره‌برداری و نگهداری بالاست.	به دلیل کاهش تعداد تجهیزات، سادگی ساختمان و عدم وجود قسمت‌های متحرک بهای بهره‌برداری و نگهداری کمتر است.

موارد کاربرد فیلتر با جریان مداوم عبارتست از:

۱. به‌عنوان پیش تصفیه در شیرین سازی آب دریا: در تصفیه خانه برای شیرین سازی آب دریا به روش اسمز معکوس از فرآیند فیلتراسیون به‌عنوان پیش تصفیه استفاده می‌شود. پروسه فیلتراسیون شامل استفاده از فیلتر شنی تند متعارف است که کیفیت آب دریا را بهبود بخشیده و SDI^5 را کاهش می‌دهد. کاربرد این فیلتر به دلیل شستشوی معکوس مشکلاتی به‌همراه دارد. در مقابل، فیلتر با جریان مداوم نیاز به عمل شستشوی معکوس ندارد و طبیعتاً بهم خوردگی آبی کیفیت بعد از شستشوی معکوس در آن هرگز بوجود نمی‌آید. [1]

۲. فیلتراسیون مستقیم^۶ و فیلتراسیون در خط^۷: به‌طور عمده برای تولید آب آشامیدنی و آب فرآیند از منابع آب خام و فاضلاب استفاده می‌شود. در این نوع فیلتر امکان برخورد میکروفلوکها با یکدیگر زیاد است بنابراین دوز مواد شیمیایی مورد نیاز کاهش پیدا می‌کند و در بعضی مواقع این رقم به حدود 30% می‌رسد. به‌طور کلی زمان ماند برای لخته سازی در سیستم متداول 20-40 دقیقه است اما در یک بستر گرانولی این زمان 2-5 دقیقه برای لخته سازی و ته نشینی است. در این روش در مقایسه با تصفیه شیمیایی متعارف 85% در تعداد تجهیزات صرفه‌جویی به عمل خواهد آمد. [8,9]

۳. فیلتراسیون نهایی فاضلاب تصفیه شده به روش بیولوژیکی: یک کاربرد عمده فیلتر با جریان مداوم در تصفیه پیشرفته فاضلاب است. حاصل فیلتراسیون دارای بالاترین استانداردهای محیط فاضلاب شهری و پساب خروجی از کارخانجات صنایع غذایی، شیمیایی، کاغذ و چوب می‌باشد. کاربرد این فیلتر در تصفیه فاضلاب منجر به کاهش چشمگیر مقدار نیتروژن و فسفر به ترتیب $0.15, 2.2 \text{ mg/L}$ در پساب خروجی از تصفیه خانه شده است. [10]

۴. تصفیه پساب صنایع فلزی: شامل تنظیم PH و شرایط شیمیایی برای رسوب یونهای فلزی می‌باشد که بعد از مراحل فلوکولاسیون و ته نشینی، در مرحله فیلتراسیون به‌وسیله فیلتر با جریان مداوم امکان پذیر است. [5]

۵. تصفیه آبهای سطحی: فیلتر CSF در مطالعات انجام شده^۸ توانسته است کیفیت فیزیکی و شیمیایی و باکتریولوژیکی مورد نیاز را تامین کند بطوری که کدورت خروجی از این فیلتر به 0.3 NTU ، شدت رنگ به 5 gPt/m^3 و ترکیبات آهن 0.01 gFe/m^3 رسید. از طرفی بیش از 99% باکتریهای مدفوعی و گونه‌های کلستریدیوم پرفرنزنز حذف شدند. [11]

^۵ Silt Density Index

^۶ Direct Filtration

^۷ In Line Filtration



۲. نمونه گیری و روش بررسی

در این مطالعه، یک دستگاه فیلتر شنی با جریان مداوم طراحی و ساخته شد. (شکل ۱) هدف اصلی مطالعه کارایی این نوع فیلتر در تصفیه آب خام بود. علاوه بر آن، توانایی این فیلتر در گندزدایی آب نیز مطالعه شد. فیلتر از یک سیلندر به ارتفاع ۲ متر و ۰,۲۵ متر قطر ساخته شد. عمق بستر شن ۱/۱ متر تعیین شد. مشخصات پایلوت براساس تحقیقاتی که قبلا در این حوزه انجام شده بود تعیین گردید. [12] در بستر فیلتر از ماسه سیلیسی با اندازه موثر 0.4-0.7mm و ضریب یکنواختی ۱,۷۵ استفاده شد. پس از راه اندازی پایلوت، نمونه برداری در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول، هدف اندازه گیری کدورت آب خروجی از فیلتر بود که با دومتغیر بار سطحی و کدورت ورودی در دو حالت زیر نمونه برداری انجام شد.

۱-بارسطحی ثابت، کدورت ورودی متغیر

۲-بارسطحی متغیر، کدورت ورودی ثابت

نمونه برداری از سه نقطه یعنی آب خام ورودی، آب فیلتر شده خروجی و پساب شستشوی فیلتر انجام شد.

در مرحله دوم، هدف بررسی کارایی فیلتر از طریق انجام آزمایشات میکروبی و تعیین میزان کلیفرم در نمونه های خروجی از فیلتر بود. در این مرحله نیز با دو حالت ذکر شده در بالا نمونه برداری انجام شد. آزمایشات میکروبی شامل MPN احتمالی، MPN تائیدی و شمارش بشقابی کلنی ها بود.

هدف از مرحله سوم، تعیین کارایی فیلتر با جریان مداوم با استفاده از مواد منعقد کننده بود، برای انعقاد از دوماده منعقد کننده که در تصفیه خانه های ایران بیشتر کاربرد دارند یعنی کلرور فریک و سولفات آلومینیم استفاده شد. ابتدا در آزمایشگاه، آب با کدورت های مشخص و متفاوت ساخته شد. به وسیله جار تست دوز بهینه در انعقاد و لخته سازی به ازای هر کدورت مشخص گردید. سپس در پایلوت از این مقادیر بهینه استفاده شد. سیستم انعقاد و لخته سازی که در این مطالعه اعمال گردید به شکل فیلتراسیون مستقیم و فیلتراسیون در خط بود. لازم به توضیح است که همه آزمایشات بر اساس روش های ذکر شده در کتاب "استاندارد متد" انجام شد.

در این مطالعه، در تمام مدت کار با پایلوت افت فشار به ازای کدورت های مختلف و بارسطحی بهینه اندازه گیری شد. افت فشار به ازای کدورت های ورودی 20-60 NTU ثابت و حدود ۰,۷ متر آب بود. هنگامیکه کدورت به 70 NTU می رسید افت فشار کم کم تغییر کرده و بیشتر می شد و به ۱,۲ متر می رسید. نکته ای که در این جا مطرح است این است که به دلیل شستشوی بی وقفه فیلتر و ثبات وضعیت روزنه های بستر فیلتر، در یک کدورت مشخص افت فشار ثابت بود و تغییر چندانی نداشت. فیلتر با جریان مداوم افت فشار خیلی کمی را ایجاد می کند، در بعضی منابع افت فشار ۰,۵ متر بیان گردیده است. [4]

برای فیلتراسیون آب های سطحی با استفاده از فیلتر با جریان مداوم بارسطحی می تواند $6-15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ باشد. [2] برای کم کردن دبی جریان در این پژوهش بار سطحی $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ در نظر گرفته شد. گذر حجمی جریان در این فیلتر توسط مخزن مدرج و کرنومتر تعیین گردید. در هر ۵ دقیقه دبی آب اندازه گیری شد که در موارد مورد انتظار ثابت بود. میزان پساب شستشوی فیلتر در این گونه فیلترها 3-5% آب ورودی به فیلتر گزارش شده است. [4] در این مطالعه میزان پساب شستشو در دفعات زیاد و در کدورت های متفاوت اندازه گیری شد. با قراردادن ظروف مدرج در مسیر خروجی پساب شستشو میزان آن ۵ درصد جریان آب ورودی بود.

۳. یافته ها

براساس جدول ۲ بیشترین راندمان حذف کدورت ۹۵,۵٪ می باشد که در کدورت ورودی 20-40 NTU اتفاق افتاده است و کمترین راندمان حذف کدورت ۹۲,۷٪ است که مربوط به کدورت ورودی 140-160 NTU می باشد. در کدورت ۱۶۰ فیلتر تقریباً مسدود شد و عبور جریان خیلی کم و به سمت صفر نزدیک شد. راندمان حذف کدورت در شرایطی که کدورت ورودی ثابت و بار سطحی متغیر است نیز اندازه گیری شد و بار سطحی بهینه



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

برای کار با فیلتر بدست آمد. در بار سطحی 85 m/d راندمان حذف کدورت ۹۵٫۵ درصد است و کمترین راندمان حذف کدورت ۷۰٫۶ درصد است که مربوط به بار سطحی 160 m/d می باشد. (جدول ۳)

جدول ۲- کارایی فیلتر شنی با جریان مداوم در حذف کدورت در شرایط بار سطحی بهینه (85 m/d) و کدورت متغیر

حذف کدورت (%)	کدورت خروجی (NTU)	کدورت ورودی (NTU)
۹۵٫۵	1.35 ± 0.4	30 ± 7
۹۴٫۳	2.86 ± 0.6	50 ± 7
۹۳٫۴	4.58 ± 0.44	70 ± 7
۹۳٫۲	6.08 ± 0.49	90 ± 7
۹۳	7.66 ± 0.8	110 ± 7
۹۲٫۷	9.52 ± 0.35	130 ± 7
۹۲٫۷	$10/96 \pm 0/71$	150 ± 7
		> ۱۶۰**

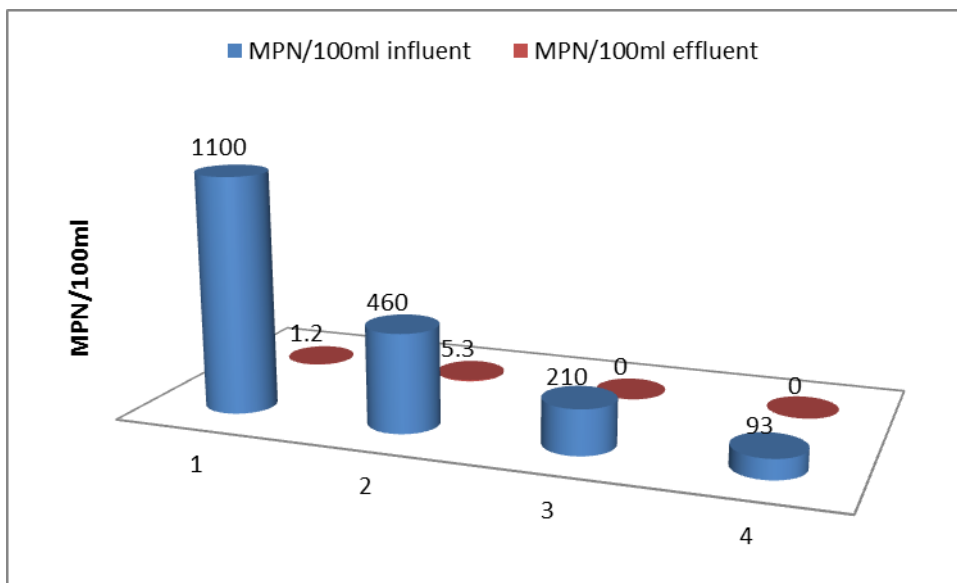
** در کدورت بالاتر از 160 NTU فیلتر کم کم مسدود می شود.

در این جدول میانگین و انحراف معیار است.

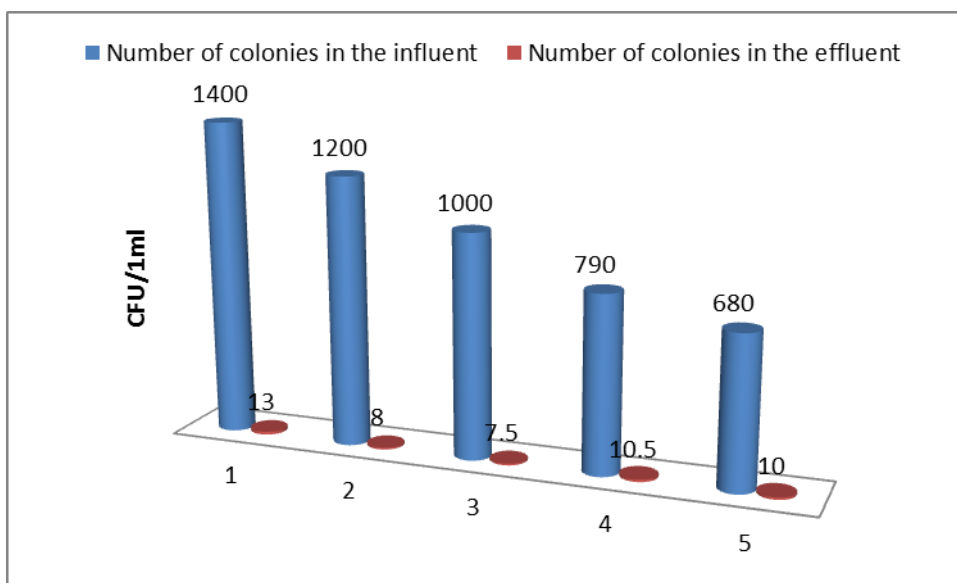
جدول ۳- کارایی فیلتر شنی با جریان مداوم در حذف کدورت در شرایط کدورت 30 NTU و بار سطحی متغیر

حذف کدورت (%)	کدورت خروجی (NTU)	بار سطحی (m/d)
۹۵٫۵	1.35 ± 0.4	۶۰
۹۵٫۵	1.35 ± 0.4	۸۵
۹۱٫۳	2.60 ± 0.4	۱۱۰
۸۴٫۳	4.70 ± 1.3	۱۳۵
۷۰٫۶	8.8 ± 1.4	۱۶۰

افزایش بار سطحی بیش از 160 m/d باعث حرکت ستون شن در جهت جریان و مختل شدن فرآیند فیلتراسیون شد. بنابراین شرایط بهینه برای این پیلوت کدورت ورودی 30 NTU و بار سطحی 85 m/d بود که در بخشهای بعد مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله دوم تعداد ۱۰۰ نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. میانگین حذف کلیفرمها و میکروبها نشان دهنده این است که در شرایط بهینه بار سطحی 85 m/d و کدورت 30 NTU بیشترین حذف میکروبی حدود ۹۹٪ صورت گرفته است. بیشترین میانگین حذف مربوط به کلیفرمها در شرایط بهینه از نظر کدورت و بار سطحی و کمترین آن مربوط به حذف کلیفرمها در شرایط کدورت بهینه و بار سطحی بالا 160 m/d بوده است. (شکل ۲ و ۳)



شکل ۲. مقایسه توئال کلیفرم‌ها در آب خام شده در فیلتر CSF در شرایط بار سطحی 85 m/d و کدورت 30 NTU



شکل ۳. مقایسه تعداد کلنی‌های میکروبی در آب خام و فیلتر شده در فیلتر CSF در شرایط بار سطحی 85 m/d و کدورت 30 NTU

در مرحله سوم کارایی فیلتر از طریق استفاده از مواد منعقد کننده بررسی شد که به شیوه فیلتراسیون مستقیم و در خط با کدورت های ورودی 20, 30, 50, 60 NTU آزمایشات انجام شد. در این روش کدورت آب فیلتر شده به کمتر از 0.9 NTU (بین 0.7- 0.9 NTU) رسید.



۴. نتیجه گیری

این فیلتر کارایی بالایی در حذف کدورت در تصفیه آب دارد. بطوریکه می تواند کدورت های حدود 100 NTU را بپذیرد و همزمان گندزدایی قابل قبولی را نیز انجام دهد. تعداد کلیفروها و کلنی های میکروبی در این فیلتر به ترتیب ۹۹٫۶۷٪ و ۹۸٫۹۹٪ کاهش پیدا کرد. در مطالعات انجام شده، توانسته است کیفیت فیزیکی و شیمیایی و باکتریولوژیکی مورد نیاز را تامین کند بطوری که کدورت خروجی از این فیلتر به ۰٫۳ NTU، شدت رنگ به 5 gPt/m^3 و ترکیبات آهن 0.01 gFe/m^3 رسید. از طرفی بیش از ۹۹٪ باکتریهای مدفوعی و گونه های کلوستریدیوم پرفرنزوز حذف شد. [۱۱]

در حالی که کدورت جریان ورودی به فیلتر 20-60 NTU بود افت فشار ثابت و فقط ۰٫۷ متر آب بود. در بعضی از رفرنس ها افت فشار ۰٫۵ متر بیان گردیده است. [4] اگر مواد منعقد کننده بصورت فیلتراسیون در خط یا مستقیم استفاده شود کدورت آب فیلتر شده کمتر از 0.9 NTU می شود. در مطالعه دیگری با این نوع فیلتر و به روش فیلتراسیون تماسی مقدار کدورت در آب فیلتر شده به کمتر از 0.5 NTU رسید. [8] ماکزیمم کدورت آب خام که برای این نوع فیلتر قابل تحمل است 160 NTU برآورد شد. باید اضافه کرد که افت فشار در این نوع فیلتر تقریباً ثابت بود و این به دلیل شستشوی بی وقفه فیلتر و ثبات وضعیت روزنه های بستر فیلتر بود. کاربرد فیلتر شنی مداوم (CSF) در مقیاس پایلوت نشان داد که این فیلتر در تصفیه آب از کارایی بالایی برخوردار می باشد. دلیل این امر خصوصیات یا مزایای این فیلتر است که از مجموع مطالعات انجام شده در مراحل مختلف این تحقیق بدست آمده است. این خصوصیات عبارتند از: فیلتراسیون ثابت و بی وقفه، صاف سازی موثر، طراحی فشرده، نگهداری ساده، توانایی پذیرش جامدات معلق بالا و بار سطحی زیاد، انعطاف پذیری یا داشتن ابعاد قابل تغییر برای شرایط مختلف، مصرف انرژی کم، عدم نیاز به تجهیزات شستشو و کاهش هزینه تصفیه خانه، امکان کاربرد مواد مقاوم به خوردگی در ساختمان آن، عدم نیاز به سیستم زهکشی بزرگ و کاهش افت فشار با تغییرات کمتر.

براساس نتایج حاصله از این پژوهش، کاربرد این نوع فیلتر در تصفیه خانه های آب و فاضلاب کشور و همچنین به عنوان پیش تصفیه در شیرین سازی آب های شور از جنبه اقتصادی و فنی حائز اهمیت است.

۵. قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از مدیریت و اعضای گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، به خصوص از جناب آقای دکتر علیرضا مصداقی نیا، سرکار خانم دکتر سیمین ناصری و جناب آقای دکتر کاظم ندافی که در انجام این پژوهش نهایت همکاری را مبذول داشتند، قدردانی می نماید.

۶. مراجع

1. Kwana, S., Yoshioka, T., Harashina, H., (1987) Seawater Pretreatment by continuous sand filter for seawater RO (Reverse Osmosis) desalination plant, *Journal of Desalination*, 3rd world congress on desalination and water reuse, 66, pp. 339-351.
2. Jensen, R., (1999) Backwash or continuous sand filter, *Texas water resources Institute*, May 5.
3. Kramer, J., Wouters, J., (1993) Dynasand filtration for drinking water Production. *Agua AQUAAA*, 42(2), pp. 97-104, April.
4. Anon., (1982) The continuous sand filter. *Finishing industries*, pp. 26-27, Feb.
5. Janerus, I., Shimokubo, R., (1981) Direct filtration of steel mill and metal finishing rinsewater with a continuous filter. *Industrial waste Conference proceedings*, 35, pp. 733 - 745.
6. Anon., (1990) Uninterrupted filtration for tertiary treatment. *Water services*, 94(1132).



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



7. Minett, S., (1999) Continuous sand filter save costs labor in Swedish drinking water plants. *Water conditioning and purification*, 41(11). <http://twri.tamu.edu/watertalk/archive/html>
8. Larsson. H., (1987) Continuous Contact Filtration. *Conference of Australian water and wastewater association, twelfth federal convention*, pp.23 – 27 Au.
9. sheikhi, R., (2002) *Study on the Efficiency of Continuous Sand Filter in the Water Treatment*. M.S. thesis in Environmental Health Eng, School of public Health, Tehran University of Medical Sciences.
10. Xu, HB., Scherrenberg, SM., van Lier, JB., (2012) Dissolved oxygen, COD, nitrogen and phosphorus profiles in a continuous sand filter used for WWTP effluent reclamation. *Water Science And Technology*, 66(7), pp. 1511 – 1518.
11. Bergel, T., Kudlik, K., (2011) Chemical and bacteriological efficiency of Dynasand filters in the water treatment plant supplying municipal water to Nowy Sacz, *Ochrona Srodowiska*, 33(4), pp.57-61.
12. Jonsson, L., Plasa, E., Hultman, B., (1997) Experiences of nitrogen and phosphorus removal in deep-bed Filters in the Stockholm area. *Division of water Resources engineering, Royal Institute of Technology*, 36(1), pp.183-190.