عملکرد فرایندهای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون در استفاده مجدد از آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی تصفیه‌خانه‌های آب شهری

ندا شیرزادی[1] امیرحسام حسنی[2] علی ترابیان[3] امیرحسین جاوید[2]

(دریافت ۹۲/۷/۲۱ پذیرش ۹۲/۱۱/۱۰)

چکیده

هدف از این پژوهش، به‌کارگیری فرایندهای غشایی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون به‌منظور بهبود کیفیت فیزیکی و میکربی و استفاده مجدد از پساب شستشوی فیلترهای شنی تصفیه‌خانه‌های آب بود. پساب شستشوی معکوس فیلترها ۳ تا ۵ درصد کل آب تصفیه شده را تشکیل می‌دهدکه در اکثر تصفیه‌خانه‌ها این پساب دفع می‌شود. اما با توجه به بحران آب ،تصفیه و برگشت آن به ابتدای تصفیه‌خانه از نظر فنی و اقتصادی مناسب‌تر است. در این پژوهش در مقیاس پایلوت از مدول‌های غشایی میکروفیلتر و اولترافیلتر استفاده شد. پس از نمونه‌برداری از پساب، بر اساس دستورالعمل‌های کتاب روش‌های استاندارد، درصد حذف پارامترهای مورد نظر نسبت به زمان، در سه فرایند میکرو فیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و فرایند ترکیبی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون بررسی شد. نتایج نشان داد که ترکیب میکروفیلتر و اولترافیلتراسیون قادر است پارامترهای کدورت، MPN، COD، TSS و آهن را به‌ترتیب برابر ۹۹/۹، ۱۰۰، ۶۱/۵، ۹۹/۹ و ۹۸/۸ درصد کاهش دهد. در مجموع قابلیت‌های فنی این روش برای بازیابی پساب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی تصفیه‌خانه‌های آب شهری تأیید شد.

واژه‌های کلیدی: فرایند غشایی، میکروفیلتر و اولترافیلتر، آب شستشوی معکوس فیلتر شنی، استفاده مجدد

Evaluation of the MF/UF Performance for the Reuse of Sand Filter Backwash Water from Drinking Water Treatment Plants

N. Shirzadi[1] A.H. Hassani[2] A. Torabian[3] A. H. Javid[2]

(Received Oct. 13, 2014 Accepted Jun. 30, 2014)

Abstract

The aim of this study was to investigate the application of micro-filtration and ultra-filtration membrane systems in order to improve the physical and microbial quality and the reuse of backwash water from the sand filter units in water treatment plants. The backwash water from filters makes up for 3 to 5 percent of the total water treated, which is disposed in most WTPs. However, the treatment and reuse of the backwash water is more admissible from technical and economic viewpoints, especially in view of the present water scarcity. For the purposes of this study, use was made of membrane modules of micro- and ultra-filters on a pilot scale. The micro-filter employed consisted of a polypropylene membrane module with a porosity of 1 micron in size and a fiberglass module with a porosity of 5 microns. The ultra-filter was made of PVC hollow fiber with a molecular weight of 100,000 Dalton. In order to feed the two pilots, backwash water from a sand filter was collected from one of the WTPs in Tehran. After samples were taken from the backwash water, the physical and microbial removal efficiency was periodically evaluated based on the standard method and the micro-filtration, ultra-filtration, and combined MF/UF processes were compared with respect to their performance. The results indicate that the combined MF/UF process is able to decrease turbidity, MPN, COD, TSS, and Fe with efficiency values of 99.9, 100, 61.5, 99.9 and 98.8 percent, respectively. Overall, the findings confirmed the technical capabilities of this method for the recovery and reuse of the effluent produced in the backwashing mechanism of sand filters in WTPs.

Keywords: Membrane Process, MF/UF, Backwash Water, Sand Filter, Reuse.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران (نویسنده مسئول) ۲۲۰۳۵۸۵۲ (۰۲۱)
ndshirzadi@yahoo.com
۲- دانشیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
۳- استاد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

1. MSc Student of Environmental Engineering, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran (Corresponding Author)
(+98 21) 22035852 ndshirzadi@yahoo.com
2. Assoc. Prof., Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran
3. Prof., Faculty of Environment, Tehran University, Tehran

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

متداول‌ترین روش مورد استفاده برای حذف بیشتر ذرات کلوییدی، صاف‌سازی است. صاف‌سازی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تصفیه آب است و به‌عنوان مرحله نهایی در تصفیه آب آشامیدنی استفاده می‌شود[۱]. در خلال تصفیه، بسیاری از آلاینده‌های موجود در بستر صافی‌ها به‌دام می‌افتند. بهره‌برداری مناسب از صافی‌ها، نیازمند عملیات شستشوی معکوس است که به‌طور متوسط و با توجه به کیفیت آب ورودی هر ۱۵ تا ۳۶ ساعت انجام می‌شود[۲].

از انواع پساب تولیدی تصفیه‌خانه‌های آب که قابلیت بازیافت دارند، پساب شستشوی معکوس فیلترهای شنی است[۳]. عموماً در تصفیه‌خانه‌ها حدود ۳ تا ۵ درصد آب تصفیه‌شده، برای شستشوی فیلترها به‌کار می‌رود، که این مقدار، در فصل‌های مختلف سال متفاوت است[۴]. در گذشته، پساب در مخازن ذخیره نگهداری و سپس بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای به ابتدای خط برگشت داده می‌شد و یا در مواقعی، ته‌نشینی ساده هم انجام می‌گرفت[۳]. هم‌اکنون نیز در برخی موارد این کار به‌طور منظم انجام نمی‌گیرد و بدون هیچ‌گونه استفاده مفیدی از آن به دور ریخته می‌شود[۵]. اما از نظر قوانین و راهبردهای جدید برای آب قابل شرب در سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[1]، این موارد قابل‌قبول نیست. بنا به توصیه EPA برای جلوگیری از آلودگی منابع پذیرنده، نباید پساب فیلترها به‌طور مستقیم به منابع تخلیه شود و در صورت برگشت آن به ابتدای خط، باید تصفیه شود و کیفیت آب برگشت داده شده به‌خوبی و پایین‌تر از آب خام ورودی باشد[۳]. این درحالی است که بر اساس مطالعات صورت گرفته می‌توان با روش‌های مناسب بیش از ۹۵ درصد آب شستشوی معکوس فیلترها را بازیافت نمود و با توجه به روند نابودی منابع آبی، به‌نظر می‌رسد برگشت پساب ضرورت بیشتری پیدا می‌کند[۵].

اطلاع از میزان آلودگی موجود در پساب فیلترها، نیاز به تصفیه مناسب را بیشتر نمایان می‌سازد[۶]. در جریان آب برگشتی در یک تصفیه‌خانه با ورودی از آب‌های سطحی، غلظت بالای مواد معلق، میکروارگانیسم‌ها، کدورت، مواد معدنی از قبیل آلومینیوم و آهن اثبات شده است. همچنین رسوبات منعقدکننده‌های معدنی مورد استفاده در طول عملیات تصفیه نیز موجود است. با این تفاوت که مقدار این پارامترها متفاوت بوده و به کیفیت آب خام ورودی و طراحی تصفیه‌خانه بستگی دارد[۷].

تصفیه آب شستشوی معکوس فیلترها می‌تواند شامل حذف جامدات باشد. از میان گزینه‌های تصفیه، استفاده از فناوری غشایی می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب به‌کار رود[۸]. در اواسط دهه ۱۹۸۰، پژوهشگران در استرالیا و فرانسه درباره این ایده که از فیبرهای صافی غشایی که می‌توانند بعد از هر بار شستشوی معکوس دوباره استفاده شود، آزمایش‌هایی را انجام دادند، به‌طوری که دیگر نیاز به تعویض نداشته باشند و به‌طور مداوم برای مدت طولانی استفاده شوند[۹]. از مزایای این سامانه‌ها می‌توان به راندمان بالاتر در حذف ذرات، اشغال فضای کمتر، راهبری آسان‌تر، فیزیکی‌بودن عملیات و افزایش نیافتن ماده شیمیایی، انجام فرایند در دمای محیط و تولید نکردن گرما، امکان تغییر ظرفیت با تغییر تعداد مدول‌ها و تغییر نیافتن کیفیت محصول با تغییر کیفیت ورودی اشاره نمود[۱۰].

در ایران کارهای پژوهشی متعددی در بازیافت آب شستشوی فیلترها صورت گرفته؛ اما در این حوزه از فناوری غشایی و مقایسه روش‌های آن استفاده نشده است. محمودیان و همکاران در سال ۱۳۸۵ به بررسی در خصوص بازیابی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب به‌روش شناورسازی با هوای محلول پرداختند. آنها با استفاده از یک دستگاه پایلوت شناورسازی با هوای محلول و به‌کمک آزمایش جار، میزان حذف کدورت، مواد قابل تجزیه شیمیایی و عوامل باکتریایی در پساب حاصل از شستشوی فیلترها را بررسی کردند. روش‌های متداول ته‌نشینی می‌توانند کدورت و عوامل میکربی را به‌ترتیب ۷۰ و ۶۵ درصد کاهش دهند. درحالی که این روش می‌تواند شاخص کدورت و عوامل میکربی را به‌ترتیب تا میزان ۹۷ و ۷۲ درصد بهبود بخشد. قابلیت‌های فنی این روش، برای بازیابی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب اصفهان تأیید شده است[۲].

حسین میسمی و همکاران در سال ۱۳۸۴، امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب شستشوی معکوس صافی‌ها را برای بهینه کردن استفاده از منابع آب بررسی نمودند. آنها ضمن بیان راهکارهای مختلف برای استفاده مجدد از پساب شستشوی معکوس صافی‌ها نظیر حوض‌های ته‌نشینی، افزودن پلیمر، افزایش حجم مخازن ته‌نشینی اولیه برای برگشت پساب، برگشت درصدی از جریان به آب خام اصلی و دفع پساب با دوره‌های زمانی مشخص را، حتی در فصل‌های گرم سال که مشکل کمبود آب وجود دارد، توصیه کرده‌اند؛ زیرا با آزمایش روی نمونه‌های پسابی که برای مدت زیادی برگشت داده می‌شدند، مشاهده کردند که TOC پساب نسبت به دوره‌هایی که دفع پساب صورت می‌گرفت، بیشتر بود[۱۱].

لی‌وینگ و همکاران در سال ۲۰۱۰، در کشور چین به بررسی

[1] U.S.Environmental Protection Agency (USEPA)

Archive of SID
www.SID.ir

امکان‌پذیری فرایند غشایی میکروفیلتراسیون[1] (غشا منولیتی سرامیکی) برای تصفیه آب شستشوی معکوس فیلتر شنی و لجن دورریز ته‌نشینی ناشی از تانک انعقاد و لخته‌سازی پرداختند. پارامترهای کدورت، رنگ، آهن، منگنز، آلومینیوم و کلیفرم دفع شده مورد پایش قرار گرفتند. نتایج پژوهش حاکی از کیفیت مناسب آب در حد استانداردهای آب آشامیدنی است[۱۲].

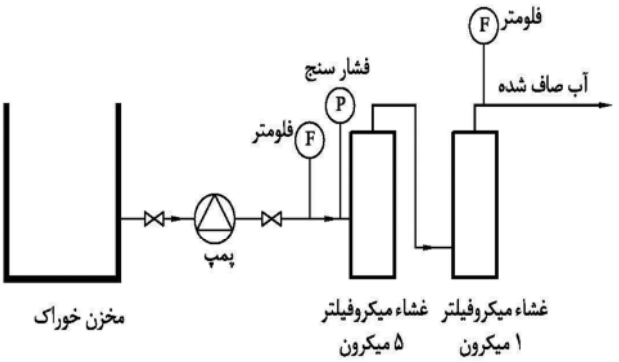
ریزمن و همکاران در سال ۲۰۰۶ در آلمان، موضوع کاربرد اولترافیلتراسیون[2] برای بازیابی آب شستشوی معکوس فیلتر از تصفیه‌خانه آب شهری را بررسی کردند. آنها خوراک ورودی در فرایند غشایی در یک مرحله از واحد ته‌نشینی را عبور دادند و در مرحله بعدی، بدون گذر از ته‌نشینی به سیستم غشایی وارد کردند. مقایسه آنها نشان داد، اولترافیلتراسیون عملکرد خوبی در تصفیه آب شستشوی معکوس فیلترها دارد و می‌توان، حتی زمانی که ته‌نشینی در مدار نباشد، این آب را با اطمینان به ابتدای خط تصفیه‌خانه برگشت داد. در نتیجه بدون صرف زمان مورد نیاز ته‌نشینی و فضای مورد استفاده برای تانک، می‌توان به راندمان حذف خوبی دست یافت[۱۰]. در پژوهشی که ویلمس و همکاران در سال ۱۹۹۹ در کشور هلند انجام دادند، یک مقیاس واقعی از تأسیسات فیلتراسیون غشایی جریان بن‌بستی[3] برای تصفیه آب شستشوی فیلترهای شنی طراحی و ساخته شد. در دوره طولانی استفاده از این سیستم، ثابت شد که این سیستم در خالص‌سازی آب، مصرف پایین انرژی و مواد شیمیایی، راندمان و بهره‌وری بالا و در نهایت کاهش هزینه‌ها، موفقیت‌آمیز عمل نموده است[۱۳].

هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، بررسی به‌کارگیری فرایند ترکیبی اولترافیلتر و میکروفیلتر در مقیاس پایلوت، در کاهش آلاینده‌های میکربی و فیزیکی آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی در تصفیه‌خانه‌های آب شهری و نهایتاً جلوگیری از دورریز و همچنین احیاء آن بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات پایلوت میکروفیلتر

برای بررسی عملکرد سیستم میکروفیلتراسیون در کاهش پارامترهای فیزیکی و میکربی، از پایلوت میکروفیلتر با دو فیلتر ۱ و ۵ میکرون استفاده شد. شکل ۱ فلودیاگرام پایلوت مورد استفاده در پژوهش را ارائه می‌دهد. این سیستم شامل مخزن تغذیه با گنجایش ۱۰۰۰ لیتر، پمپ ورودی، دو محفظه که فیلتر (غشا) را در خود جای داده، فشارسنج اندازه‌گیری با محدوده فشار صفر تا ده بار و شیر قطع و وصل برای تنظیم فشار آب ورودی به غشا میکروفیلتر بود. جریان پساب با عبور از میکروفیلتر تصفیه شده و ذرات حذفی در سطح غشا برجای می‌ماند. روند تصفیه تا رسیدن به حداقل فلاکس خروجی تعیین شده برای هر غشا، ادامه یافته و پس از آن باید تعویض شود. غشاهای پایلوت به‌کار رفته در این پژوهش ساخت کشور تایوان و با برند آکواسیف[4] بود. دیگر مشخصات میکروفیلترهای ۱ و ۵ میکرون در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- فلودیاگرام پایلوت میکروفیلتراسیون

جدول ۱- مشخصات غشاهای مورد استفاده در فرایند میکروفیلتراسیون

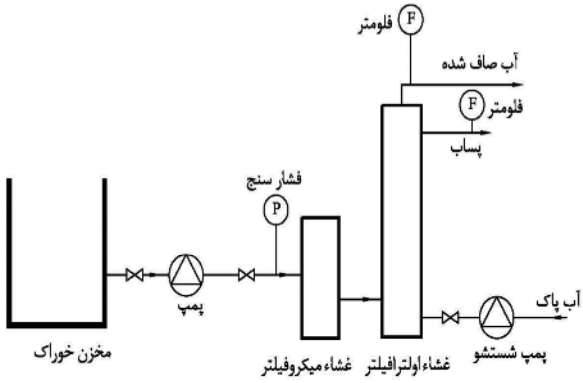
اندازه منافذ غشا	۱ میکرون	۵ میکرون
بیشینه فشار عملیاتی	۱۲۰ PSI	۲۵۰ PSI
بیشینه درجه حرارت	۶۰ درجه سلسیوس	۵۰ درجه سلسیوس
جنس	پلی‌پروپیلن	فایبرگلاس
ابعاد کل غشا	۲۵۰×۱۰۰ میلی‌متر	۲۵۰×۱۰۰ میلی‌متر

۲-۲- مشخصات پایلوت اولترافیلتراسیون

این پایلوت شامل مخزن تغذیه به‌صورت افقی و از جنس پلی‌اتیلن با حجم مفید ۱۰۰۰ لیتر، دو عدد پمپ، یک غشا هالوفایبر اولترافیلتر، یک محفظه برای تعبیه غشا میکروفیلتر، فلومتر جریان و گیج فشار و شیرهای کنترل فشار و دبی آب صاف شده و پساب خروجی بود. شکل ۲ فلودیاگرام پایلوت را نمایش می‌دهد. مطابق آنچه در شکل دیده می‌شود، جریان خروجی شامل آب تصفیه‌شده و پساب دورریز است. غشا مورد استفاده در سیستم ساخت کشور چین و با برند آکواسل[5] بود. دیگر مشخصات غشا در جدول ۲ ارائه شده است.

[1] Micro Filtration (MF)
[2] Ultra Filtration (UF)
[3] Dead End
[4] Aqua Safe
[5] Aquacel

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۲- فلودیاگرام پایلوت اولترافیلتراسیون

جدول۲- مشخصات غشا استفاده شده در فرایند اولترافیلتراسیون

جنس پوسته	UPVC
جنس الیاف غشا	PVC
مدول	Hollow fiber
دمای کارکرد غشا	۵ تا ۴۵ درجه سلسیوس
محدوده تحمل pH	۲ تا ۱۳
میزان حذف باکتری آنی	۹۹/۹ درصد
منافذ غشا	۱۰۰۰۰۰ دالتون
سطح مؤثر غشا	۳/۶ مترمربع
ابعاد کل غشا	۱۰۱۶×۹۰ میلی‌متر
فلاکس آب تصفیه شده	۷۰۰ l/h
تناوب شستشوی معکوس	هر ۲۰ تا ۶۰ دقیقه

۳- روش بررسی

در این پژوهش دو سامانه میکروفیلتر و اولترافیلتر در دو پایلوت مجزا مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱- بهره‌برداری از سیستم غشایی میکروفیلتراسیون

پس از نمونه‌برداری از آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی یکی از تصفیه‌خانه‌های آب شهری، کیفیت آن از لحاظ فیزیکی و میکربی و دو پارامتر آهن و COD مورد آزمایش قرار گرفت. سپس برای انجام مرحله اول پژوهش، به مخزن ذخیره سیستم میکروفیلتراسیون منتقل شد. با استفاده از شیر تنظیم، میزان معینی خوراک وارد پمپ فشار ضعیف شد و سپس به‌سمت کارتریج‌های میکروفیلتر هدایت شد. برای این عمل ابتدا از کارتریج ۵ میکرون استفاده و نمونه آب فیلتر شده در فاصله‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه برداشت شد.

مشابه این عمل در حالتی که فیلتر ۱ میکرون جایگزین فیلتر ۵ میکرون شد، تکرار و در فواصل زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه، از آب خروجی فیلتر نمونه‌برداری شد. در نهایت با نصب دو فیلتر ۵ میکرونی و ۱ میکرونی به‌صورت سری و همزمان، نمونه‌برداری مشابه حالت‌های قبلی انجام شد. در مدت زمان بهره‌برداری، فشار سیستم ثابت نگه داشته شد و میزان جریان عبوری قرائت شد.

۳-۲- بهره‌برداری از سیستم غشایی اولترافیلتراسیون

پس از نمونه‌برداری مجدد از آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی و تعیین کیفیت آن از لحاظ شاخص‌های فیزیکی و میکربی و غلظت آهن و COD، پساب به مخزن سیستم اولترافیلتراسیون منتقل شد. با استفاده از شیر تعبیه شده در لوله خروجی از مخزن، میزان خوراک ورودی به سیستم تنظیم شد و سپس به‌سمت غشای اولترافیلتر هدایت شد. پایلوت مجهز به دو لوله خروجی شامل جریان فیلتر شده و جریان دورریز بود که در فواصل زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه از آب فیلترشده، برداشت انجام شد. در مدت بهره‌برداری، فشار غشا ثابت نگه داشته شد و میزان جریان خروجی قرائت شد. از آنجایی که غشا مورد استفاده در فرایند اولترافیلتر، بر خلاف میکروفیلتر پس از استفاده قابلیت شستشوی معکوس و استفاده مجدد را دارد، به‌جز جریان آب تصفیه شده، جریان آب دورریز (پساب فرایند) نیز تولید می‌شود. در این پژوهش از پساب سیستم استفاده خاصی نشد و به فاضلابرو تخلیه شد.

۳-۳- بهره‌برداری از سیستم غشایی ترکیبی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون

در این مرحله از پژوهش، غشای اولترافیلتر ابتدا به‌مدت ۵ دقیقه با آب تمیز شستشو داده شد. پس از آن، غشای میکروفیلتر ۵ میکرون در محفظه مخصوص پایلوت و قبل از غشای اولترافیلتر نصب شد و نمونه آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی به مخزن ورودی اضافه شد و مشابه روند مرحله قبل از آب فیلتر شده برای انجام آزمایش‌ها، نمونه‌برداری شد.

۳-۴- روش آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌برداری به‌صورت واقعی و از آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی یکی از تصفیه‌خانه‌های آب شهری انجام شد. پس از گذشت ۱ تا ۲ دقیقه از شروع شستشوی معکوس فیلتر تصفیه‌خانه آب، نمونه‌برداری آغاز شد و تا ۶ دقیقه بعد ازآن به طول انجامید.

Archive of SID

www.SID.ir

به‌منظور بررسی عملکرد فرایندهای غشایی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون، پارامترهای فیزیکی و میکربی شامل کدورت، TSS، pH، MPN و نیز غلظت آهن و COD، بررسی شد. کلیه آزمایش‌های این پژوهش بر اساس روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد[۱۴]. دستگاه اندازه‌گیری کدورت برند WTW مدل Turb 550 IR و دستگاه اندازه‌گیری pH برند کریسون مدل بیسیک[1] بود. اندازه‌گیری آهن توسط دستگاه جذب اتمی کمپانی واریان[2] انجام شد و آزمایش COD از روش رفلاکس باز و آزمایش MPN به‌روش ۹ لوله اندازه‌گیری شد.

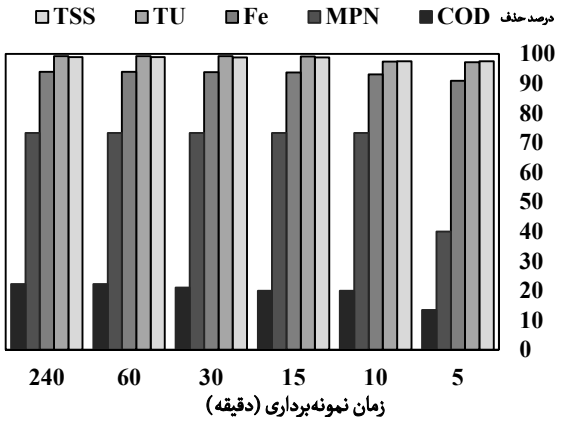
۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج حاصل از کاربرد سیستم میکروفیلتراسیون

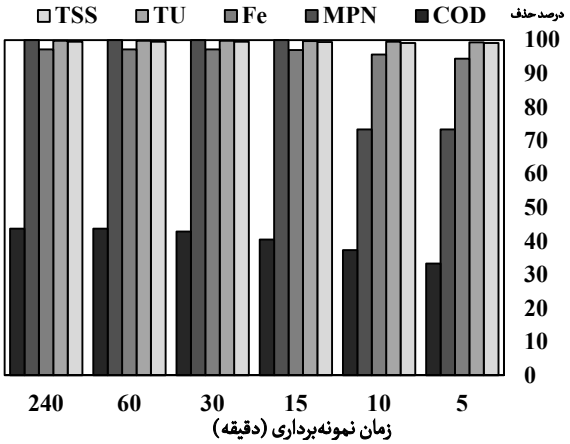
دراین مرحله از پژوهش، تأثیر استفاده از میکروفیلتر ۵ میکرون بر حذف پارامترهای میکربی، کل جامدات معلق، آهن، کدورت، pH و COD نمونه پساب شستشوی فیلترها تعیین شد که در فواصل زمانی مختلف از پایلوت گرفته شده بود. فشار سیستم در ۱ بار ثابت نگه داشته شد و میزان دبی آب فیلترشده خروجی برای نمونه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۲۶، ۱۱۸، ۱۱۵، ۱۱۳، ۱۱۱ و ۱۰۸ لیتر بر ساعت از دستگاه قرائت شد. مقدار pH نمونه‌ها بین ۶/۵۷ تا ۶/۸۸ اندازه‌گیری شد. سنجش دیگر پارامترها دو بار تکرار شد که نتایج حاصل از آن به‌صورت میانگین در شکل ۳ ارائه شده است. تغییر اندازه منفذهای میکروفیلتر در حد ۱ میکرون، می‌تواند در راندمان حذف پارامترهای هدف مؤثر باشد، پس آزمایش‌ها در فواصل زمانی یاد شده با یک غشا ۱ میکرون انجام شد. فشار سیستم در ۱ بار ثابت شد و میزان دبی آب فیلتر شده خروجی برای نمونه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۲۲، ۱۰۴، ۱۰۰، ۹۵، ۹۱ و ۸۳ لیتر بر ساعت از دستگاه قرائت شد. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده مقدار pH نمونه‌ها بین ۶/۹۲ تا ۷/۱۵ متغیر بود. نتایج این مرحله در شکل ۴ ارائه شده است.

در بخش دیگر پژوهش، آزمایش‌ها زمانی انجام پذیرفت که فیلتر ۱ و ۵ میکرون روی سیستم میکروفیلتراسیون نصب شد. فشار سیستم در ۱/۳ بار ثابت نگه داشته شد و میزان دبی آب فیلتر شده خروجی برای نمونه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۳۳، ۱۱۴، ۱۱۲، ۱۰۹، ۱۰۵ و ۹۸ لیتر بر ساعت از دستگاه قرائت شد. همچنین مقدار pH نمونه‌ها بین ۷ تا ۷/۱۳ اندازه‌گیری شد. نتایج دیگر آزمایش‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

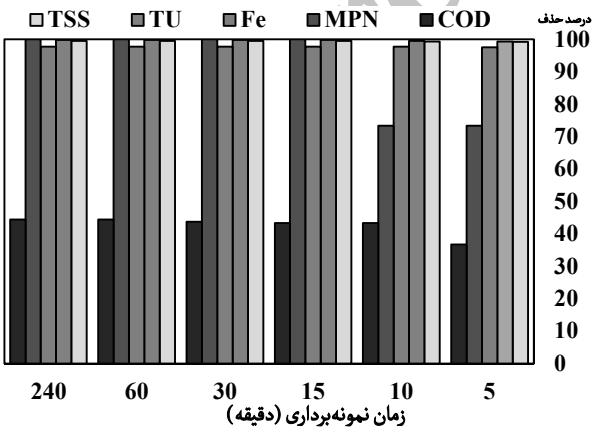
[1] Crison\Basic 20
[2] Varian\ Spectr AA.200



شکل۳- نتایج حاصل از عملکرد غشای میکروفیلتر ۵ میکرون در کاهش پارامترهای مورد اندازه‌گیری آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی



شکل۴- نتایج حاصل از عملکرد غشای میکروفیلتر ۱ میکرون در کاهش پارامترهای مورد اندازه‌گیری آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی



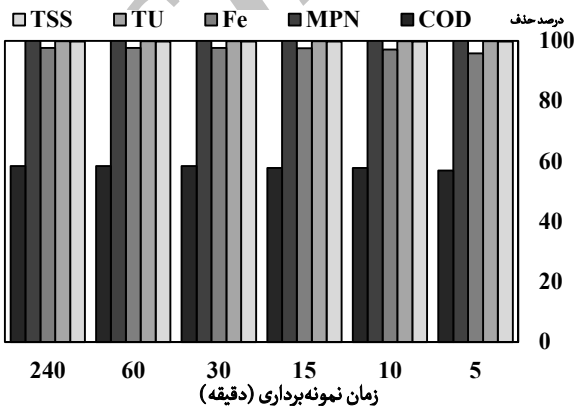
شکل۵- نتایج حاصل از عملکرد غشای میکروفیلتر ترکیبی ۱ و ۵ میکرون، در کاهش پارامترهای مورد اندازه‌گیری آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی

www.SID.ir

۴-۲- نتایج حاصل از کاربرد سیستم اولترافیلتراسیون

در این مرحله، هدف تعیین کارایی غشای اولترافیلتر با وزن ملکولی غشا برابر ۱۰۰۰۰۰ دالتون، در حذف پارامترهای میکربی، کل مواد معلق، آهن، کدورت، pH و COD نمونه پساب شستشوی فیلترهای شنی، در فواصل زمانی مختلف بود. فشار سیستم در ۳ بار ثابت نگه داشته شد و میزان دبی آب فیلتر شده خروجی برای نمونه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۵۰، ۱۴۰، ۱۲۵، ۱۱۸، ۱۱۲ و ۱۰۴ لیتر بر ساعت و مقدار pH نمونه‌ها بین ۷/۱۲ تا ۷/۴۱ به‌دست آمد. مشابه آنچه برای فرایند میکروفیلتراسیون انجام شد، سنجش پارامترها دو بار تکرار شد که نتایج حاصل از آن به‌صورت میانگین در شکل ۶ ارائه شده است.

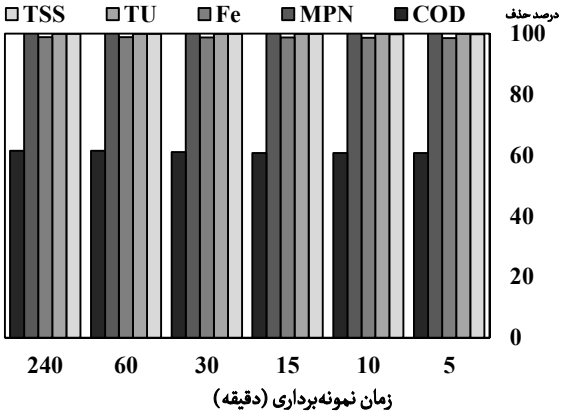
نتایج مشاهده شده در فواصل زمانی نمونه‌برداری از سیستم اولترافیلتراسیون حاکی از مناسب‌بودن میزان حذف پارامترها و در نهایت کارایی بالای این سیستم بود.



شکل۶- نتایج حاصل از عملکرد غشای اولترافیلتر، در کاهش پارامترهای مورد اندازه‌گیری آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی

۴-۳- نتایج حاصل از کاربرد سیستم ترکیبی میکروفیلتراسیون اولترافیلتراسیون

در مرحله نهایی، میکروفیلتر ۵ میکرون در محفظه پایلوت اولترا نصب شد و تأثیر استفاده همزمان از میکروفیلتر و اولترافیلتر بر حذف پارامترهای مورد آزمایش در نمونه پساب شستشوی فیلترها بررسی شد و در نهایت مقایسه‌ای در خصوص کارایی مراحل قبلی (کاربرد هر غشا به‌تنهایی) به‌عمل آمد که در فواصل زمانی مختلف از پایلوت گرفته شد. در این مرحله فشار سیستم در ۳ بار ثابت شد و میزان دبی آب فیلترشده خروجی، برای نمونه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۲۴۰ دقیقه به‌ترتیب ۱۵۰، ۱۳۰، ۱۱۰، ۱۰۳، ۹۵ و ۸۸ لیتر بر ساعت و مقدار pH نمونه‌ها بین ۷/۱۲ تا ۷/۳۶ قرائت شد. سنجش پارامترها دو بار تکرار شد که نتایج حاصل از آن به‌صورت میانگین در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل۷- نتایج حاصل از عملکرد ترکیبی غشای اولترافیلتر و میکروفیلتر، در کاهش پارامترهای مورد اندازه‌گیری آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی

در این پژوهش، بیشترین راندمان حذف آهن در سیستم میکروفیلتراسیون، برای غشای ۵ میکرون ۹۴ درصد، برای غشای ۱ میکرون ۹۷/۲ درصد و برای غشای ۱ و ۵ میکرون ۹۷/۷ درصد به‌دست آمد. میزان آهن آنالیز شده در پساب ورودی ۲۱/۸ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. مقدار قابل توجه یون آهن به‌صورت ذرات معلق در نمونه پساب شستشوی معکوس فیلترها، ناشی از افزودن کلرور فریک در مرحله انعقاد در واحدهای قبل از فیلترهای شنی در تصفیه‌خانه است. طبق نتایج، به‌دلیل کوچک‌تر شدن اندازه منافذ در میکروفیلتر ۱ میکرون، راندمان حذف، نسبت به میکروفیلتر ۵ میکرون افزایش داشت و همین‌طور در مورد ترکیب دو میکروفیلتر ۱ و ۵ میکرون این میزان حذف بهبود یافت.

از سوی دیگر، نتیجه‌ها نشان می‌دهند که گذر زمان در تغییر شار جریان و راندمان حذف غلظت آهن تأثیر کمی داشتند که عمده این مقدار در ۵ دقیقه ابتدایی رخ داد. افزایش نه چندان زیاد راندمان حذف در زمان بعدی را می‌توان ناشی از تشکیل رسوبات در سطح غشا و کوچک‌تر نمودن منافذ آن دانست. به‌طور کلی کاهش غلظت آهن در آب صاف شده را می‌توان ناشی از حذف ذرات معلق و یون آهن به‌صورت ترکیبات هیدروکسیدی و نامحلول موجود در پساب ورودی بیان نمود.

نتایج به‌دست آمده، حذف ۲۲/۲ درصد COD برای غشای ۵ میکرون، ۴۳/۷ درصد برای غشای ۱ میکرون و ۴۴/۴ درصد برای غشای ۱ و ۵ میکرون را نشان داد. از آنجایی که میکروفیلتراسیون توانایی حذف مواد محلول نمونه را ندارد، این میزان حذف COD

Archive of SID
www.SID.ir

مربوط به بخش نامحلولی بوده که از فیلتر عبور نکردند. در نهایت می‌توان دریافت عملکرد غشا ۵ میکرون در حذف COD (نامحلول) به‌دلیل بزرگ بودن منافذ آن، ضعیف بوده و بخش عمده‌ای از COD نمونه را از خود عبور داده است. این میزان حذف در غشا ۱ میکرون به‌دلیل کوچک‌تر شدن منافذ، کمی افزایش یافت و در بیشترین حالت در ترکیب میکروفیلترهای ۱ و ۵ میکرون به بالاترین مقدار برابر ۴۴/۴ درصد رسید. کوچک‌تر شدن اندازه منافذ و تشکیل لایه رسوب در سطح غشا علاوه بر بهبود وضعیت حذف، باعث شد میزان آن در فواصل نمونه‌برداری بعدی در ۱ میکرون و ۵ میکرون کمی بیشتر شود؛ ولی در حالت ترکیبی، گذشت زمان بی‌تأثیر بود که نشان می‌دهد که بخش عمده آن محلول بوده و در صورت وجود بخش نامحلول، اندازه ذرات به‌اندازه‌ای ریز بوده‌اند که از غشا عبور کرده‌اند.

راندمان حذف TSS در بیشترین مقدار، برای غشای ۵ میکرون ۹۹ درصد، برای غشای ۱ میکرون ۹۹/۵ درصد و برای ترکیب غشای ۱ و ۵ میکرون ۹۹/۵ درصد به‌دست آمد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، راندمان حذف این پارامتر در حالت ترکیبی میکروفیلترها، تفاوت زیادی با حالت ۱ میکرون نداشت و اندازه ذرات به‌گونه‌ای بود که در میکروفیلتر ۱ میکرون، بیشتر آن حذف شد. می‌توان چنین استنباط کرد که به‌دلیل اندازه کوچک ذرات، تشکیل رسوبات سطح غشا نیز در حذف بیشتر مواد معلق ناتوان بودند. مشابه آنچه بیان شد حذف کدورت در میکروفیلتراسیون راندمان بالایی داشت. همچنان که در بیشترین فاصله زمانی نمونه‌برداری، برای غشای ۵ میکرون ۹۹/۳ درصد، برای غشای ۱ میکرون ۹۹/۸ درصد و برای ترکیب غشای ۱و ۵ میکرون ۹۹/۸ درصد حذف دیده شد.

در خصوص راندمان حذف کیفیت میکربی نمونه، می‌توان مشاهده نمود غشای ۵ میکرون قادر به حذف کامل کلیفرم‌ها نبوده و در نهایت در دقیقه ۲۴۰ توانست ۷۳/۳ درصد حذف نشان دهد؛ ولی غشاهای ۱ میکرون و ۱ و ۵ میکرون به‌طور مشابه باگذر زمان ۱۰۰ درصد از کل کلیفرم‌ها را حذف نمودند، پس با کاهش منافذ غشاهای میکروفیلتر می‌توان میکروارگانیسم‌های موجود در آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی را به‌طور کامل حذف کرد.

این نتیجه‌ها با پژوهشی که ویگنس واران و همکاران در استرالیا انجام دادند، مطابقت دارد. آنها در سال ۱۹۹۶، عملکرد میکروفیلتراسیون با جریان جانبی را برای بررسی بازیابی پساب فیلترهای شنی بررسی کردند که راندمان حذف در کدورت آب تصفیه شده ۹۹/۵ درصد و کیفیت میکربی ۱۰۰ درصد به‌دست آمد[۱۵].

لی وینگ و همکاران نیز در سال ۲۰۱۰ در ژاپن پژوهش‌های مشابهی با غشای میکروفیلتر سرامیکی انجام دادند و به نتایج مشابهی در حذف کدورت، آهن و کیفیت میکربی رسیدند[۱۲].

در سیستم اولترافیلتراسیون، راندمان حذف آهن در بیشترین زمان نمونه‌برداری، به‌ترتیب ۹۷/۶ درصد، راندمان حذف جامدات معلق کل ۹۹/۸ درصد، میزان حذف کدورت ۹۹/۹ درصد، حذف میکربی ۱۰۰ درصد و حذف COD به‌مقدار ۵۸/۵ درصد به‌دست آمد.

در زمان بهره‌برداری از سیستم اولترافیلتراسیون، به‌تدریج با ثابت ماندن فشار، دبی خروجی آب فیلتر شده کاهش یافت که می‌تواند دلیل بر رخ‌دادن پلاریزاسیون غلظتی در سطح غشا باشد، که درصورت بالارفتن زمان بهره‌برداری از غشا، باید شستشوی معکوس بر روی سیستم انجام می‌شد.

مقایسه این سیستم با میکروفیلتراسیون نشان می‌دهد، به‌دلیل کوچک‌تر شدن منافذ غشا، کیفیت صاف‌سازی بهبود می‌یابد تا جایی‌که کیفیت میکربی (MPN) از ابتدای بهره‌برداری به‌طور کامل حذف شد. همچنین افزایش راندمان حذف در کدورت و COD و جامدات معلق کل نیز به‌دست آمد.

ویلمس و همکاران در سال ۱۹۹۹ در هلند، از روش اولترافیلتراسیون در بازیافت آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی استفاده کردند. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل آهن، منگنز و کدورت بود که پس از استفاده از اولترافیلتراسیون، غلظت‌های یادشده به‌ترتیب به‌میزان ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر، ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر و ۰/۰۳ NTU رسید. این پژوهش‌ها مشابه نتایج پژوهش حاضر است[۱۳].

دوترموند و همکاران در سال ۱۹۹۹ در هلند، پژوهشی در مورد استفاده از اولترافیلتراسیون برای بازیافت آب شستشوی معکوس فیلترهای شنی در چهار تصفیه‌خانه آب انجام دادند و به‌طور میانگین راندمان حذف ۹۹/۹ درصد برای آهن، ۱۰ درصد برای کلسیم، ۹۲/۷ درصد برای منیزیم و ۹۶/۳ درصد برای آرسنیک را نتیجه گرفتند[۵].

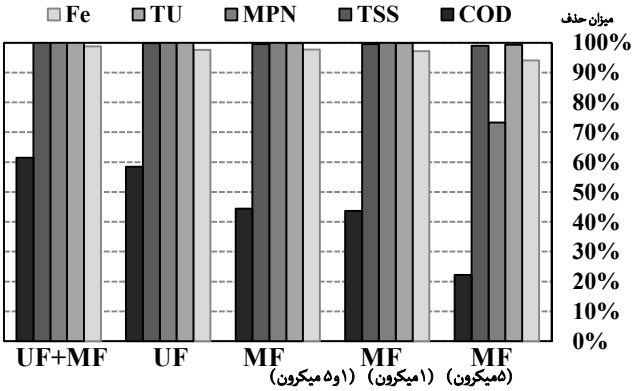
در مورد کیفیت میکربی نیز، ژیااویانگ و همکاران در سال ۲۰۰۷، به بررسی دو منبع آب سطحی در چین با کدورت بالا پرداختند. آنها برای تصفیه آب رودخانه با غشای اولترافیلتر، بعد از مرحله انعقاد و لخته‌سازی توانستند به حذف ۹۸ تا ۱۰۰ درصد باکتری‌ها و حذف ۱۰۰ درصدی کلیفرم دست یابند[۱۶].

همچنین در سال ۲۰۰۴، ژیاشنگجی و همکاران در چین کاربرد اولترافیلتر را در تصفیه آب بررسی کردند و به حذف کامل باکتری‌های کلیفرم دست یافتند[۱۷].

Archive of SID
www.SID.ir

با انجام آزمایش‌هایی بر روی نمونه‌های برداشت‌شده از سیستم ترکیبی میکروفیلتراسیون- اولترافیلتراسیون، راندمان حذف آهن در فواصل زمانی برداشت نمونه به‌ترتیب ۹۸/۸ درصد، راندمان حذف کل جامدات معلق ۹۹/۹ درصد، میزان حذف کدورت ۹۹/۹ درصد، حذف میکربی ۱۰۰ درصد و حذف COD به‌مقدار ۶۱/۵ درصد به‌دست آمد. این نتیجه‌ها بیانگر راندمان بالاتری نسبت به فرایندهای قبلی بود.

شکل ۸ عملکرد فرایندهای مورد بررسی در این پژوهش را در حذف پارامترهای اندازه‌گیری‌شده ارائه می‌دهد.



شکل۸- مقایسه عملکرد فرایندهای غشایی در حذف پارامترهای مورد اندازه‌گیری آب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی

۵- نتیجه‌گیری

در انجام این پژوهش، برای بررسی بهبود کیفیت فیزیکی و میکربی در پساب شستشوی فیلترهای شنی تصفیه‌خانه‌های آب شهری، از فرایند غشایی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون استفاده شد و علاوه بر اندازه‌گیری میزان حذف کل جامدات معلق، کدورت، آهن، COD، قابلیت حذف کل کلیفرم‌ها، تأثیر منافذ غشای میکروفیلتر و تغییرات شار جریان با گذشت زمان نیز بررسی شد.

با بزرگ شدن نسبت قطر ذره آلاینده به قطر منافذ غشا، راندمان حذف پارامترها افزایش یافت؛ زیرا با کاهش قطر منفذ، ذرات آلاینده سخت‌تر از غشا عبور کرده و جداسازی بهبود می‌یابد، اما بزرگ‌تر شدن این نسبت باعث ایجاد فشار اعمالی بیشتر یا کاهش فلاکس جریان در مدت بهره‌برداری می‌شود. میکروفیلتر ترکیبی ۱ و ۵ میکرون، راندمان حذف پارامترهای مورد اندازه‌گیری را نسبت به میکروفیلتر ۱ میکرون و میکروفیلتر ۵ میکرون بهبود بخشید. اولترافیلتراسیون به‌دلیل اندازه منافذ کوچک‌تر، راندمان حذف بهتری را نسبت به حالت‌های دیگر نشان داد.

راندمان حذف با گذشت زمان افزایش و شار جریان خروجی کاهش یافت. با مقایسه نتایج حاصل از فرایند ترکیبی با فرایند اولترافیلتر، تفاوت زیادی در راندمان حذف در این فرایند دیده نشد. این امر بیانگر این است که غشای اولترافیلتر عامل اصلی حذف در دو حالت بهره‌برداری بوده و غشای میکروفیلتر می‌تواند به‌عنوان واحد پیش‌تصفیه عمل نماید و شرایط نمونه را برای عملکرد بهتر اولترافیلتر از لحاظ به‌تعویق انداختن گرفتگی غشا و شستشوی معکوس، بهبود بخشد و موجب افزایش طول عمر سیستم شود.

ترکیب میکروفیلتر و اولترافیلتر قابلیت حذف کدورت، TSS و آهن را به‌میزان ۹۹/۹، ۹۹/۹ و ۹۸/۸ درصد نشان داد. این میزان برای COD و MPN نیز برابر ۶۱/۵ و ۱۰۰ درصد برآورد شد.

پژوهش حاضر بیانگر توانایی مناسب این روش در حذف گستره وسیعی از مواد بیولوژیکی و غیربیولوژیکی از محیط‌های آبی بود، بنابراین برای تصفیه پساب حاصل از شستشوی معکوس فیلترهای شنی تصفیه‌خانه‌های آب و برگشت آن به ابتدای فرایند تصفیه، استفاده از ترکیب دو نوع غشا شامل اولترافیلتر و میکروفیلتر به‌صورت ترکیبی می‌تواند به‌عنوان روشی کارآمد مؤثر واقع شود.

۶- مراجع

1. Skouras, E., Burganos, V., Paraskeva, C., and Payatakes, A. (2007). "Simulation of the dynamic behavior of horizontal granular filters." *J. of Separation and Purification Technol*. 56, 325-339.
2. Mahmoudian, M., Amin, M., Shahmansouri, M., and Ghasemian, M. (1386). "Filter backwash water treatment using dissolved air flotation method." *J. of Water and Wastewater*, 63, 24-30 (In persian).
3. Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc. New York.
4. Qasim, S.R., Motley, M.E., and Zhu, G. (2006). *Water works engineering*, Prentice Hall of India, New Delhi.

Archive of SID
www.SID.ir

5. Doteremont, C., Molenberghs, B., Doyen, W., Bielen, P., and Huysman, K. (1999). "The recovery of backwash water from sand filters by ultrafiltration." *J. of Desalination*, 126, 87-94.
6. Eades, A., and Bates, B.J. (2001). "Treatment of spent filter backwash water using dissolved air flotation." *J. of Water Science and Technology*, 43(8), 59-66.
7. McCormick, N.J., Porter, M., and Walsh, M.E. (2010). "Disinfection by-products in filter backwash water: Implications to water quality in recycle designs." *J. of Water Research*, 44, 4581-4589.
8. USEPA. (2002). "Filter backwash recycling rule technical guidance manual." <http://www.epa.gov/safewater/>. (Dec. 2002)
9. Crittenden, J.C., Rhodes, T.R., Hand, D.W., Howe, K.J., and Tchobanoglous, G. (2012). *Water treatment: Principles and design*, 3rd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
10. Reissmanna, F.G., and Uhl, W. (2006). "Ultra filtration for the reuse of spent filter backwash water from drinking water treatment." *J. of Desalination*, 198, 225-235.
11. Misami, H., Rashidi, A., Rostai, J., and Zarnegarian, A. (2005). "Investigation Impact of recycling sand filter backwash water." *12th Congress*, *Civil Engineering Scince and Industry University*, Tehran. (In persian)
12. Weiying, L., Yuasa, A., Bingzhi, D., Huiping, D., and Naiyun, G. (2010). "Study on backwash wastewater from rapid sand-filter by monolith ceramic membrane." *J. of Desalination*, 250, 712-715.
13. Willemse, R. and Brekvoort, Y. (1999). "Full-Scale recycling of backwash water from sand filters using dead-end membrane filtration." *J. of Water Research*, 33(15), 3379-3385.
14. AHPA, AWWA, EPA. (2005). *Standard methods for the examination of water and waste water*, 21st Ed., USA.
15. Vigneswaran, S., Boonthanon, S., and Prasanthi, H. (1996). "Filter backwash water recycling using crossflow microfiltration." *J. of Desalination*, 106, 31-38.
16. Xiaoyan ,G., Zhang, Z., Fang, L., and Liguo, S. (2009). "Study on ultrafilteration for surface water by a polyvinyl chloride hollow fiber membrane." *J. of Desalination*, 238, 183-191.
17. Shengji, X., Nan , J., and Ruiping, L.(2004) . "Study of drinking water treatment by ultrafiltration of surface water and its application to China." *J. of Desalination*, 170, 41-47.

Archive of SID

www.SID.ir