

بررسی کارایی فناوری نانو فیلتراسیون در حذف فلزات سنگین از فاضلاب

سید مجید داعی نیایی^۱ افشین تکدستان^۲
محمد علی ززولی^۳ محمد صدیق مرتضوی^۴

(دریافت ۸۹/۸/۱۹ پذیرش ۹۰/۷/۶)

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی محیط زیست، فاضلاب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین است که در پساب بسیاری از صنایع از جمله صنعت آبکاری وجود دارند. این فلزات در صورت ورود به بدن انسان باعث بروز انواع بیماری‌ها از جمله سرطان و همچنین آلودگی منابع آب و خاک و مرگ آبزیان می‌گردند. در این تحقیق میزان کارایی فناوری نانو فیلتراسیون در حذف سه فلز نیکل، روی و مس به‌عنوان شاخص فلزات سنگین در فاضلاب آبکاری مورد بررسی قرار گرفت. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی تأثیر سه عامل فشار، غلظت و زمان بر حذف فلزات سنگین مذکور با استفاده از یک غشای نانو فیلتراسیون بود. در بررسی اثر غلظت بر میزان حذف از دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نمک‌های سولفات مس، نیترات نیکل و سولفات روی استفاده شد و همچنین اثر فشارهای ۸، ۶ و ۴ بار مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین عوامل pH و دما در طول آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با افزایش فشار، میزان حذف افزایش یافت که تأثیر آن در فشار ۸ بار برای فلز مس بیشتر از بقیه بود و موجب حذف ۱۰۰ درصد آن گردید. در خصوص تأثیر غلظت، نتایج نشان دهنده کاهش میزان حذف با افزایش غلظت بود به طوری که در مورد فلز روی از ۹۹ درصد در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر به ۹۷/۷ درصد در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. همچنین فاکتور گذشت زمان نیز عامل مثبتی در افزایش میزان حذف ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: نانو فیلتراسیون، نیکل، روی، مس، فاضلاب، غشاء

Application of Nanofiltration Technology in Heavy Metals (Ni, Cu and Zn) Removal from Wastewater

Seyyed Majid Daei Niaki¹ Afshin Takdastan²
Mohammad Ali Zazouli³ Mohammad Seddigh Mortazavi⁴

(Received Nov.10, 2010 Accepted Sep.28, 2011)

Abstract

One of the main sources of environment pollution is the industrial wastewater which contains heavy metals and can be found in many industries such as plating industry. If these heavy metals enter in the human body, would cause many health problems. The aim of this study was to investigate the possible application of nanofiltration technology in removal of three heavy metals (nickel, zinc, and copper) as the most representatives of heavy metals in plating effluents. The effects of different pressure, concentration, and time of filtration on removal of these elements were evaluated. Two concentrations levels of heavy metals (25 and 50 mg/L) were studied under three different pressures of 4, 6 and 8 bar. pH and temperature were considered constant in all experiments. The results showed that increasing of pressure resulted in increased in removal. This was more significant for Cu (100% removal) than Zn and Ni under 8 bar of pressure. Also, it was found increasing of concentration resulted in decreased removal of heavy metals. The results showed that Zn removal decreased from 99% in 25 mg/L to 97.07% in 50 mg/L. Finally, the filtration time caused a positive effect in the heavy metals removal.

Keywords : Nanofiltration, Ni, Zn, Cu, Wastewater, Membrane.

1- M.Sc. of Environmental Eng., Islamic Azad University, Branch of Bandar Abbas (Corresponding Author) (+98 121) 2260424 vahidsh789@yahoo.com
2- Member of Environmental Research Center, and Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Jondishapour University of Medical Sciences, Ahwaz
3- Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health and Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
4- Assist. Prof., Faculty of Environment, Islamic Azad University, Branch of Bandar Abbas

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس (نویسنده مسئول) ۲۲۶۰۴۲۴ (۰۱۲۱) vahidsh789@yahoo.com
۲- عضو مرکز تحقیقات فناوری های زیست محیطی و استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز
۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴- استادیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس

فلزات سنگین از غشاهای مختلف نانو فیلتراسیون انجام شده است. به طور کلی هدف از این تحقیق بررسی کارایی فناوری نانو فیلتراسیون در حذف یون فلزات سنگین مانند نیکل، مس و روی، همچنین بررسی تأثیر عواملی همچون فشار، غلظت، زمان و نوع فلز در راندمان حذف بود. از بعد کاربردی تحقیق، این روش با سایر روشهای حذف فلزات سنگین از پسابهای صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

برای انجام آزمایشها به طور کلی طبق مراحل زیر عمل شد:

۱- طراحی و ساخت پایلوت نانو فیلتر ۲- نصب و راه اندازی پایلوت نانو فیلتر ۳- آماده سازی، ساخت و تهیه لوازم و مواد آزمایشگاهی ۴- عبور فاضلاب سنتتیک حاوی مقادیر نیکل، روی و مس ۵- تجزیه و تحلیل دادهها.

پایلوت مورد استفاده در آزمایشها شامل یک مخزن به گنجایش ۶۰ لیتر، دو پمپ فشار قوی و ضعیف، دو کارت ریج ۵ و ۱ میکرونی، شیر NF، شیر تنظیم فشار، دو دبی سنج یکی برای جریان پرمیت و دیگری تغلیظ و دو شیلنگ که یکی برای جریان ورودی و دیگری جریان خروجی به مخزن بود. برای شروع آزمایشها ابتدا فاضلاب سنتتیک که مرکب از آب مقطر و رنگ راکتیو به میزان ۱۰ گرم بود، وارد مخزن ۶۰ لیتری شد که البته قبل از آن ماده رنگی در ظرفی جداگانه با یک همزن دستی با محلول درون مخزن به خوبی حل شده بود و بعد وارد مخزن شد. سپس غلظتهای فلزات مورد نظر به نحوی که ماده رنگی وارد مخزن شود به صورت ترکیبی وارد مخزن شد.

برای آماده ساختن غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر به اندازه میزان نمکهای بالا نمک به مخزن افزوده شد. اگر از فاضلاب واقعی آبکاری در این تحقیق استفاده می شد، نیاز به سیستم پیش تصفیه (فرایندهای متعارف فاضلاب) بود که هزینه های تحقیق را چندین برابر افزایش می داد، از این رو سعی شد از فاضلاب مصنوعی با غلظتهای فلزات سنگین مشابه فاضلاب واقعی آبکاری استفاده شود. دلیل دیگری که برای این امر می توان ذکر کرد عدم امکان تصفیه فاضلاب در سیستم های NF و RO است که حتماً باید در یک سیستم تکمیلی تصفیه قبل از ورود پساب به آنها وجود داشته باشد چون کمترین آلودگی پساب موجب گرفتگی و از کار افتادگی غشا می گردد [۸]. استفاده از رنگ راکتیو در فاضلاب سنتتیک به کار رفته در آزمایشها موجب گرفتگی غشا نانو فیلتر گردید که برای پاکسازی غشا از محلول اسید کلریدریک در آب با pH برابر ۲ کمک گرفته شد و نهایتاً آب کثیف غشا پس از هر مرحله گرفتگی انجام گردید و سپس با محلول NaOH به pH خنثی رسانده شد.

یکی از مهم ترین عوامل آلودگی محیط زیست، فاضلابهای صنعتی است [۱ و ۲]. فاضلابهای صنعتی حاوی فلزات سنگین، بخشی از آلودگی های خطرناک هستند که در فرایند تولید بسیاری از صنایع از جمله صنعت آبکاری وجود دارند [۳ و ۴]. از این رو طی چند دهه اخیر روشهای مختلفی برای حذف این فلزات خطرناک در مجامع علمی دنیا توسط محققان مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته که مهم ترین این روشها عبارتند از [۵]:

- ۱- جذب زیستی^۱
- ۲- تجزیه الکتریکی^۲
- ۳- گیاه پالایی^۳
- ۴- جذب سطحی فیزیکی^۴
- ۵- تبادل یونی^۵
- ۶- ته نشینی شیمیایی^۶
- ۷- ترکیب سازی^۷
- ۸- جاذبهای طبیعی^۸

کارهای تحقیقاتی متعددی در حوزه فناوری نانو فیلتراسیون در حذف فلزات سنگین صورت گرفته که از جمله می توان به تحقیقات لی^۷ و چو^۷ که بر روی یک نمونه ۲ لیتری فاضلاب انجام شده است اشاره کرد. آنها نمونه ها را در ارلن های ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و برای هر فیلتراسیون حدود ۱۰۰ دقیقه زمان پیش بینی کرده اند. میزان اندازه جرم ملکولی ۲۰۰ دالتون، مقدار pH برابر ۷ و پتانسیل زتا ۲۱/۶- اندازه گیری شده است که تحت این شرایط درصد حذف برای فلزات جیوه، کادمیم و نقره به وسیله فرایند نانو فیلتراسیون بزرگ تر از ۵۰ درصد و برای فلزات سرب و آلومینیم کوچک تر از ۵۰ درصد حاصل گردیده است [۶].

در بررسی های باربوسا^۸ و گونزاگا^۹ در سال ۲۰۰۷ که بر روی فاضلاب صنعتی به شکل سنتتیک در آزمایشگاه انجام شده است، اثر فناوری NF بر روی حذف فلزات سنگین کادمیم، سرب و مس بررسی گردیده و میزان کادمیم ۸/۹ میلی گرم در لیتر، سرب ۰/۶۴ میلی گرم در لیتر و مس ۰/۰۳ میلی گرم در لیتر در نمونه خام اندازه گیری شده است [۷]. میزان فاضلاب ۰/۴ لیتر در ثانیه و سطح غشا $10^{-3} \times 4/18$ ، فشار ۰/۵ mPa، دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس و pH ثابت برابر ۷ بوده است. همچنین از سه نوع غشای مختلف HLDL و DK برای انجام آزمایشها استفاده شده است. که در نوع DK درصد حذف کادمیم، سرب و مس به ترتیب ۸۴، ۹۸ و ۶۷ درصد گزارش شده است که از راندمان بالاتری نسبت به دو غشای قبلی برخوردار است. در جدول ۱ مقایسه راندمان حذف

¹ Biosorption

² Electro dialysis

³ Phytoremediation

⁴ Chemical Precipitation

⁵ Complexation

⁶ Lee

⁷ Choo

⁸ Barbosa

⁹ Gonzaga

جدول ۱- مقایسه راندمان حذف فلزات سنگین از غشاهای مختلف نانو فیلتراسیون

ترکیب محلول خوراک								pH
Cu (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Mn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Zn (mg/L)	
۰/۰۳	۹۹۸۰	۲۳۲۰	۴۲۹	۳۱۰	۰/۶۴	۸/۹	۲۹۸	۷
درصد حذف								غشای نانو
Cu	SO ₄	Mg	Ca	Mn	Pb	Cd	Zn	HL
۶۷	۹۶	۹۷	۹۵	۹۶	۸۴	۹۵	۹۶	HL
۶۷	۹۷	۹۶	۹۵	۹۶	۸۴	۹۵	۹۵	DL
۶۷	۹۹	۹۹	۹۷	۹۸	۸۴	۹۸	۹۸	DK

پلاستیکی ۸۰ سی سی از شیلنگ نفوذ^۲ درون مخزن برداشته شد و برای اندازه‌گیری به قسمت آنالیز دستگاهی منتقل شد و قرائت جذب با دستگاه اتمیک انجام شد.



شکل ۱- کارتریج مورد استفاده در آزمایش‌ها

کلیه آزمایش‌ها در دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد و برای جلوگیری از تغییرات دما از یک هیتر برقی که مجهز به ترموستات بود استفاده شد. تا زمانی که سیستم دچار افت دما شود به صورت اتوماتیک دما را به حالت عادی بازگرداند و در صورت افزایش دما، آب خنک از طریق لوله مسی به درون مخزن منتقل شده و دما را کاهش دهد. چون فاضلاب تصفیه شده و تغلیظ شده در این آزمایش‌ها دوباره به داخل مخزن بازگردانده می‌شد به منظور کنترل pH و ثابت نگه‌داشتن آن در طول آزمایش‌ها بر روی pH خنثی (pH برابر ۷) مرتباً pH محلول مخزن با pH متر اندازه‌گیری می‌شد و در صورت افزایش با افزودن چند قطره اسید فسفریک، به pH خنثی رسانده می‌شد. از آنجایی که میزان فلزات سنگین پساب واقعی کارخانجات صنایع آبرکاری با فاضلاب سنتتیک مورد استفاده در آزمایش‌ها دارای تفاوت‌هایی هستند در جدول ۲ کیفیت

به علت عدم دسترسی به حجم زیاد فاضلاب سنتتیک خروجی‌های دستگاه دوباره به مخزن بازگردانده شد که این عمل توسط دو شیلنگ که درون مخزن بود، انجام شد. سپس محلول درون مخزن توسط پمپ فشار ضعیف به درون کارتریج‌ها هدایت گردید. برای این عمل از دو کارتریج ۵ میکرون و ۱ میکرون استفاده شد. هدف از نصب کارتریج، جلوگیری از ورود مواد معلق و املاح به درون سیستم غشا که سبب خرابی و گرفتگی و آسیب به غشا می‌شود، بود [۹]. استفاده از دو کارتریج به صورت همزمان به آن دلیل است که ابتدا مواد توسط کارتریج ۵ میکرونی تصفیه شده و در صورت وجود مواد ریزتر از کارتریج ۱ میکرونی کاملاً حذف گردند. دو گیج^۱ فشار، یکی مربوط به پمپ فشار قوی و دیگری پمپ فشار ضعیف، اولی قبل از کارتریج و دومی بعد از کارتریج قرار داشتند. این گیج‌ها باید در حالت طبیعی عددی یکسان را نشان دهند. مشاهده اختلاف بین اعداد آن، نشان‌دهنده وجود گرفتگی در میکرو فیلتر است و باید غشا پاک‌سازی شود. سپس محلول از پمپ فشار ضعیف در مخزن توسط پمپ فشار قوی به غشا انتقال یافت. هدف از استفاده از پمپ فشار ضعیف تأمین حداقل ۱ تا ۲ بار فشار به پمپ فشار قوی است که باعث عدم خرابی پمپ فشار قوی می‌گردد [۱۰]. همچنین دو شیر دبی تعبیه گردید که یکی برای دبی فاضلاب تصفیه شده و دیگری نشانگر دبی آب ورودی به سیستم بود که از اولی برای محاسبه میزان فلاکس و از هر دوی آن برای محاسبه راندمان سیستم استفاده شد. در شکل ۱ تصویری از کارتریج مورد استفاده در آزمایش‌ها نشان داده شده است.

آزمایش‌ها در فشارهای ۴، ۶ و ۸ بار در سه فاصله زمانی ۱ ساعته و در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر انجام شد. علت انتخاب فشارهای پایین و غلظت کم به دلیل راندمان بالای سیستم حذف نانو فیلتراسیون بر اساس کار دیگر محققان بود. پس از تنظیم فشار روی هر کدام از اعداد ذکر شد، نمونه‌ها با استفاده از ظرف‌های

² Permeate

¹ Gage

فیلتراسیون که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌ها در دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب در جدولهای ۵ و ۶ آمده است.

فاضلاب یک کارخانه آبکاری در شمال کشور از لحاظ میزان شاخصهای آلودگی و غلظت فلزات سنگین در آن شرح داده شده است. همچنین در جدول ۳ مواد و دستگاههای به‌کار رفته در آزمایش‌ها نیز در جدول ۴ موجود است. شکل ۲ نمایی شماتیک از پایلوت به‌کار رفته در آزمایش‌ها را به تصویر کشیده است. پایلوت نانو

جدول ۲- خصوصیات فاضلاب آبکاری کارخانه شمال نوین

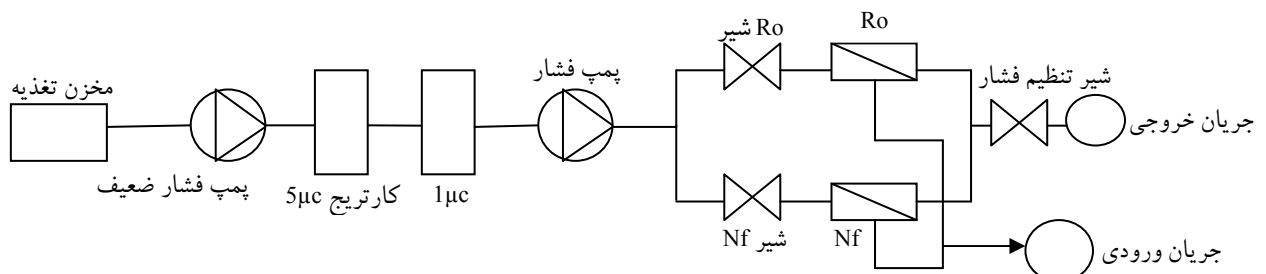
Q (L/s)	pH	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cyanide (mg/L)
۵-۱۴	۱/۷-۱۰/۷	۳۰۵۰-۱۷۵۰۰	۴۰-۳۱۶۰	۵۵-۵۵۰	۲۴-۳۹	۲۵-۱۷۰	۷۲۰-۸۱۰	۱/۲۵-۱۵۰

جدول ۳- مواد و دستگاههای به‌کار رفته در آزمایش‌ها

وسیله	کاربرد	ساخت و شرکت سازنده	مارک دستگاه
پمپ فشار قوی	عمل انتقال گردش نمونه	آلمان	High Ara
پمپ تغذیه فشار ضعیف	کمک به تأمین انرژی پمپ فشار قوی	ایتالیا	LOW Ara Pm 16/A
غشای پلی‌آمید	عامل تصفیه	شرکت فیلم تک آمریکا	-----
شیر تنظیم فشار	کنترل کننده فشار	آلمان	-----
pH متر دیجیتال	وسیله اندازه‌گیری pH	آلمان	PHILIPS
اسید فسفریک	عامل اسیدی برای تنظیم pH	مرک آلمان	-----
نمک ZnSO ₄ Ni(NO ₃) ₂ CuSO ₄	فلزات مورد آزمایش	شرکت مرک آلمان	-----
دستگاه جذب اتمی	اندازه‌گیری جذب فلزات سنگین	آلمان	NICAM 919 AASPECTROMETER
همزن دستی	اختلاط محلول	ایران	-----
کارت‌ریج	حذف مواد معلق و ناصاف	چین	WATER FILTER
مخزن	محل نگهداری محلول	ایران	-----

جدول ۴- مشخصات غشای به‌کار رفته در آزمایش‌ها

نوع غشای مصرفی	شرکت سازنده	جنس غشا	شکل غشا	سطح غشا	قطر منافذ	طول غشا	دبی محصول	MWCO
NF۹۰ ۴۰-۴۰	فیلم تک آمریکا	پلی‌آمید	اسپیرال	۷/۶ (متر مربع)	۹۹ (میلی‌متر)	۱۰۱۶ (میلی‌متر)	۹/۱ (m ³ /hr)	۲۰۰۰ Da



شکل ۲- شماتیک پایلوت به‌کار رفته در آزمایش‌ها

¹ Filmtch



شکل ۳- پایلوت نانو فیلتراسیون مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۵- راندمان حذف فلزات سنگین در غلظت ۲۵ ppm

فشار (بار)	زمان تماس	شماره نمونه	کد نمونه	میزان جذب			درصد حذف		
				Ni	Cu	Zn	Ni	Cu	Zn
	ساعت اول	۳۷L	۱	۰/۳۲	۰/۰۴	۰/۵۰	۹۸/۷	۹۹/۸	۹۸
۴	ساعت دوم	۳۸L	۲	۰/۲۳	N/D	۰/۲۵	۹۹	۱۰۰	۹۹
	ساعت سوم	۳۹L	۳	۰/۲۳	N/D	۰/۲	۹۹	۱۰۰	۹۹/۲
	ساعت اول	۵۳L	۴	۰/۲	N/D	۰/۲۰	۹۹/۲	۱۰۰	۹۹/۲
۶	ساعت دوم	۵۴L	۵	۰/۱۹	N/D	۰/۲۱	۹۹/۱	۱۰۰	۹۹/۱
	ساعت سوم	۵۵L	۶	۰/۱۹	N/D	۰/۱۹	۹۹/۱	۱۰۰	۹۹/۲
	ساعت اول	۵۶L	۷	۰/۱۸	N/D	۰/۱۶	۹۹/۱	۱۰۰	۹۹/۳
۸	ساعت دوم	۵۷L	۸	۰/۱۱	N/D	۰/۲۵	۹۹/۵	۱۰۰	۹۹
	ساعت سوم	۵۸L	۹	۰/۱۱	N/D	۰/۲۳	۹۹/۵	۱۰۰	۹۹

جدول ۶- راندمان حذف فلزات سنگین در غلظت ۵۰ ppm

فشار (بار)	زمان تماس	شماره نمونه	کد نمونه	میزان جذب			درصد حذف		
				Ni	Cu	Zn	Ni	Cu	Zn
	ساعت اول	۵۹L	۱۰	۰/۴۸	۰/۰۸	۰/۵۰	۹۹	۹۹/۸	۹۹
۴	ساعت دوم	۶۰L	۱۱	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۵۹	۹۸/۹	۹۹/۹	۹۸/۸
	ساعت سوم	۶۱L	۱۲	۰/۵۱	۰/۱	۰/۷۳	۹۸/۹	۹۹/۸	۹۸/۵
	ساعت اول	۶۲L	۱۳	۰/۵۱	۰/۰۸	۰/۷۱	۹۸/۹	۹۹/۸	۹۸/۵
۶	ساعت دوم	۶۳L	۱۴	۰/۸۲	۰/۰۹	۱/۰۹	۹۸/۳	۹۹/۸	۹۷/۸
	ساعت سوم	۶۴L	۱۵	۰/۶۱	N/D	۰/۸۹	۹۸/۷	۱۰۰	۹۸/۲
	ساعت اول	۶۵L	۱۶	۰/۷۳	N/D	۱/۱۱	۹۸/۵	۱۰۰	۹۷/۷
۸	ساعت دوم	۶۶L	۱۷	۰/۷۳	N/D	۱/۰۶	۹۸/۵	۱۰۰	۹۷/۸
	ساعت سوم	۶۷L	۱۸	۰/۶۷	N/D	۰/۹۳	۹۸/۶	۱۰۰	۹۸/۱

۳-۱- عامل فشار

توجه به جدولهای ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که فلز مس بهترین و بالاترین راندمان حذف را به خود اختصاص داده و بعد از آن روی و نیکل قرار دارند. دلیل این اختلاف این است که اولاً حلالیت فلزات به میزان pH بستگی دارد. همه آزمایش‌ها در pH خنثی انجام شده بود که در آن عنصر مس می‌تواند در غلظتهای بالا هم محلول باشد. دوماً آزمایش‌ها در غلظتهای ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر انجام شده که عنصر مس خاصیت انحلال‌پذیری در این محدوده را دارد در حالی که عناصر نیکل و روی از غلظت کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر خاصیت انحلال‌پذیری دارند. سوماً میزان انحلال‌پذیری رابطه مستقیمی با میزان جرم مولکولی دارد. عنصر مس در pH خنثی رسوب بیشتری نسبت به دو عنصر دیگر یعنی نیکل و روی دارد زیرا عنصر مس محلول‌تر است و به ترکیبات روی و نیکل مورد استفاده در آزمایش که نمک هستند، برتری دارد. انحلال نمکهای روی و نیکل و در نتیجه دیونیزه شدن آنها کمتر بوده و در نتیجه دیرتر حذف می‌گردند [۱۳].

۴- نتیجه‌گیری

فناوری نانو فیلتراسیون نسبت به سایر روشهای غیر غشایی دارای این ارجحیت است که از لحاظ رسیدن سریع به نتیجه مطلوب از بعد زمانی، هزینه‌های پایین پروژه از جنبه اقتصادی و راندمان بالای حذف پیش‌تاز است و در مقایسه با سایر روشهای غشایی مانند اسمز معکوس و اولترا فیلتراسیون از راندمان کمتری برای جداسازی مواد برخوردار است. ولی به دلیل عملکرد در فشارهای پایین هزینه‌های اقتصادی آن نسبت به روش اسمز معکوس که در فشارهای بالا عمل می‌کند، بسیار پایین‌تر بوده و یا مشکلات تولید لجن را ندارد و در مقایسه با روش میکرو فیلتراسیون به علت کوچک‌تر بودن سایز منافذ دارای راندمان حذف بهتری است.

با توجه به اینکه بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده فرایند غشایی نانو فیلتراسیون دارای راندمان بالای حذف فلزات سنگین و امکان عملکرد در فشارهای پایین است، به‌گونه‌ای که می‌توان از آن به صورت استفاده در نقطه مصرف (POU) بهره‌گیری نمود، لذا کاربرد این روش در مقیاس صنعتی به‌عنوان یک گزینه قابل بررسی با امکان نصب و راه‌اندازی سریع و بهره‌برداری ساده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از این تکنولوژی نوین نسبت به سایر روشها در حذف فلزات سنگین دارای معایبی نیز است که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های زیاد در مقایسه با جاذبها و یا عدم تولید غشا در داخل کشور و مشکلات واردات آن و سطوح بزرگ برای تصفیه پساب در مقیاس واقعی اشاره نمود. همچنین در مورد تصفیه پسابهای واقعی باید تصفیه مقدماتی قبل از ورود به سیستم غشایی صورت پذیرد که این از دیگر معایب استفاده از فناوری نانو

در این قسمت علت افزایش راندمان حذف فلزات سنگین مورد آزمایش با افزایش فشار بررسی شد. میزان فشار موثر محلول عبوری از غشا، عامل اصلی تعیین‌کننده مقدار نمونه نفوذی است. افزایش فشار، افزایش فلاکس فاضلاب نفوذی را به دنبال خواهد داشت. یک اصل کلی در فرآوری تمام محصولات این است که با افزایش فشار تا حد مشخصی، میزان فلاکس نفوذی افزایش می‌یابد. با افزایش فشار، مواد محلول در فاضلاب سنتتیک در سطح غشا تجمع یافته و منجر به ایجاد مقاومت هیدرولیکی و افزایش راندمان حذف می‌شود. به عبارتی پلاریزاسیون غلظتی و راندمان افزایش می‌یابد. البته در فشارهای پایین افزایش وجود دارد ولی در فشارهای بالا به دلیل گرفتگی شدید نتیجه معکوس خواهد داشت. آزمون آماری نشان داد درصد حذف به فشار وابسته است. در تحقیق پائو^۱ و سفسلوی^۲ اثر حذف فلز مس از فاضلاب نساجی به وسیله فرایند نانو فیلتراسیون مورد بررسی قرار گرفته است که در آن سطح غشای NF، ۲۸ سانتی‌متر مربع بوده و آزمایش‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام شده است. در این آزمایش در فشار ورودی ۳۰ پاسکال و pH بین ۲ تا ۱۱، ۹۶ درصد از فلز مس حذف شده است [۱۱]. با توجه به کارایی بالای فناوری نانو فیلتر در فشارهای کم و نتایج تحقیقات سایر محققان، فشار کم به‌عنوان عامل دیگر راندمان مطلوب برای حذف در این پروژه محسوب می‌گردد.

۳-۲- عامل غلظت

در این قسمت دلیل کاهش راندمان حذف فلزات سنگین مورد آزمایش با افزایش غلظت بررسی شد. یکی از مکانیسم‌های تأثیر افزایش غلظت این است که موجب افزایش شدت یونی محلول شده و سبب تغییر شدت یونی می‌گردد که در نتیجه بر کارایی راندمان حذف فلزات سنگین در غشا به واسطه تأثیر فشار اسمزی تأثیر گذاشته و موجب کاهش آن می‌گردد [۱۲]. وقتی میزان غلظت یون‌ها افزایش می‌یابد به دلیل کاهش دافعه الکتروستاتیک، تجمع یون‌ها در سطح غشا افزایش یافته و موجب افزایش فشار اسمزی و در نتیجه باعث کاهش کارایی حذف فلزات سنگین در غشا می‌گردد.

۳-۳- مقایسه راندمان حذف و علت تفاوت آن بر حسب نوع فلزات

بر اساس مقایسه راندمان حذف فلزات سنگین مورد آزمایش با

¹ Pauer
² Csefslvay

۵- قدردانی

از جناب آقای دکتر نبی ریاست محترم دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران که شرایط انجام آزمایش‌ها را در آن دانشکده فراهم نموده‌اند و همچنین از زحمات جناب آقای دکتر پرداختی مسئول محترم آزمایشگاه قدردانی می‌گردد.

فیلتراسیون است. اما از حیث روش کار در این پروژه باید به این نکات اشاره نمود که با توجه به خاصیت انحلال پذیری نیکل و مس در غلظت کمتر از ۱۰ ppm که در نتیجه موجب ترسیب و حذف آنها می‌گردد، استفاده از غلظتهای پایین می‌تواند موجب حذف کامل فلزهای مذکور گردد. همچنین استفاده از فشارهای بالاتر می‌تواند نتیجه معکوس در راندمان حذف داشته باشد و باعث کاهش آن گردد.

۶- مراجع

- 1- Ahmadi Asoor, A. (2005). "The role of nano technology in solving biological problems." 8th National Congress Environmental Health, Imam Khomeini Hospital, Tehran. (In Persian)
- 2- Khosravi, E. (2009). *Industrial wastewater filtration in electroplates, dairy and textile industries*, Shahrab Pub., Tehran. (In Persian)
- 3- Jahanshahi, M. (2007). *Molecular nano technology and biological nano technology*, Mazandaran University Pub., Mazandaran. (In Persian)
- 4- Zazouli, M.A. (2009). *Fundamental of membranous processes and their application for water and wastewater treatment*, Shahrab Pub., Tehran. (In Persian)
- 5- Zazouli, M.A. (2007). "Investigation of RO&NF membranes technology performance & fouling on removal of hydrophobic and hydrophilic fractions of natural organic matter from water." Ph.D. Thesis, Tehran University of Medical Science, Tehran. (In Persian)
- 6- Choo, C., and Lee, G. (2010). "Membrane with improved character is tics for desalination and concentration pf reactive dyes." *Indian J. of Chem Technol*, 137, 131-135.
- 7- Barbosa, G., and Gonzaga, C. (2007). "Removal of copper ions by nanofiltration separation purification technology." *International Symposium on Energy and Food Industry*, 43, 135-142.
- 8- Xu, Y., and Lebrun, R.E. (2009). "Investigation of solute type separation by charged nanofiltration membrane: Effect of pH, ionic strength and solute type." *J. of Membrane Science*, 158, 93-104.
- 9- Gilon, J., Gara, N., and Kedem, O. (2008). "Experimental analysis of negative salt rejection in nanofiltration membranes." *J. of Membrane Science*, 185, 223-236.
- 10- Yang, X.J., Fane, A.G., and Soldenhoff, K. (2009). "Comparison of liquid membrane processes for metal separations: Permeability, stability and selectivity." *Ind. J. of Eng. Chem. Res.*, 42, 392-403.
- 11- Csefslvay, E., and Pauer, V. (2009). "Recovery of copper from process waters by nanofiltration and reverse osmosis." *J. of Desalination*, 240, 132-142.
- 12- Wang, D., Wang, X., Tomi, Y., Ando, M., and Shintani, T. (2009). "Modeling the separation performance of nanofiltration membranes for the mixed salts solution." *J. of Membrane Science*, 280, 734-743.
- 13- Maurer, M., Pronk, W., and Larsen, T.A. (2009). "Treatment processes for source-separated urine." *J. of Water Res.*, 40, 3151-3166.