

استفاده از فن آوری غشایی اسمز معکوس جهت حذف نیکل از پساب صنایع آبکاری

نسرین محصل اخلاقی^۱، وحید نصراله تبار آهانگر^۲، رضا حاجی سید محمد شیرازی^{۳*}،

سید مهدی برقی^۴، سمیه سعدی^۵

۱- دکتری تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴- استاد دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۵- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: r-shirazi@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۸

چکیده

امروزه یکی از خطرناکترین انواع فاضلاب های صنعتی، فاضلاب صنایع آبکاری می باشد. استفاده از تکنولوژی سیستم های غشایی از میان سایر روش های مختلف بازیافت آب و فلزات از فاضلاب این صنایع، بسیار مورد توجه است و رشد روزافزون دارد. در این مطالعه روش اسمز معکوس (RO) برای تصفیه و پالایش پساب صنایع آبکاری مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش های پایلوتی بر روی فاضلاب این صنعت که حاوی غلظت های نیکل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر می باشد، صورت گرفته است. این فاضلاب از غشاء مرکب نازک پلی آمیدی RO عبور داده شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که با افزایش فشار از ۳ بار به ۴ بار، میزان حذف نیکل از ۹۰/۵٪ به ۹۶/۵٪ و میزان تغییرات حذف TDS بر اساس تغییرات فشار، از ۹۷/۴٪ در فشار ۳ بار به ۹۸/۴٪ در فشار ۵ بار افزایش می یابد. با توجه به مطالعه حاضر می توان نتیجه گیری نمود که از بین روش های مختلف، اسمز معکوس بهترین راندمان را برای حذف نیکل دارا می باشد و می تواند در مقیاس میدانی به عنوان یک گزینه مؤثر بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی

"صنایع آبکاری"، "اسمز معکوس"، "نیکل"، "بازیافت آب"، "فلزات سنگین"

Use Of Reverse Osmosis For Removal Of Nickel From Electroplating Industrial Sewages

Nasrin Mohassel Akhlaghi¹, Vahid Nasrolahabangar², Reza Haji Seyed Mohammad Shirazi^{3*}, Seyed Mehdi Borghei⁴, Somayeh Sadi⁵

3*-Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Campus, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Email Address: r-shirazi@srbiau.ac.ir

Abstract

Electroplating industrial waste is one of the most critical industrial waste problems. There is a growing interest in developing methods for recovering metals and water from plating waste stream using membrane technology. In this project, reverse osmosis (RO) technology has been studied for electroplating industries wastewater treatment. Pilot tests on nickel plating wastewater with 50,100,150 and 200 ppm Ni (II) concentration were delivered using polyamide thin film composite RO membrane. The results showed the average removal of nickel increase to 90.5 and 96.5 percent and the average removal of Total Dissolved Solids reached high to 97.4 and 98.4 percent when the working pressure increase from 3 to 4 and 5 bar, respectively. Therefore this method of nickel removal, when compared to other methods, is more suitable and effective.

Keywords

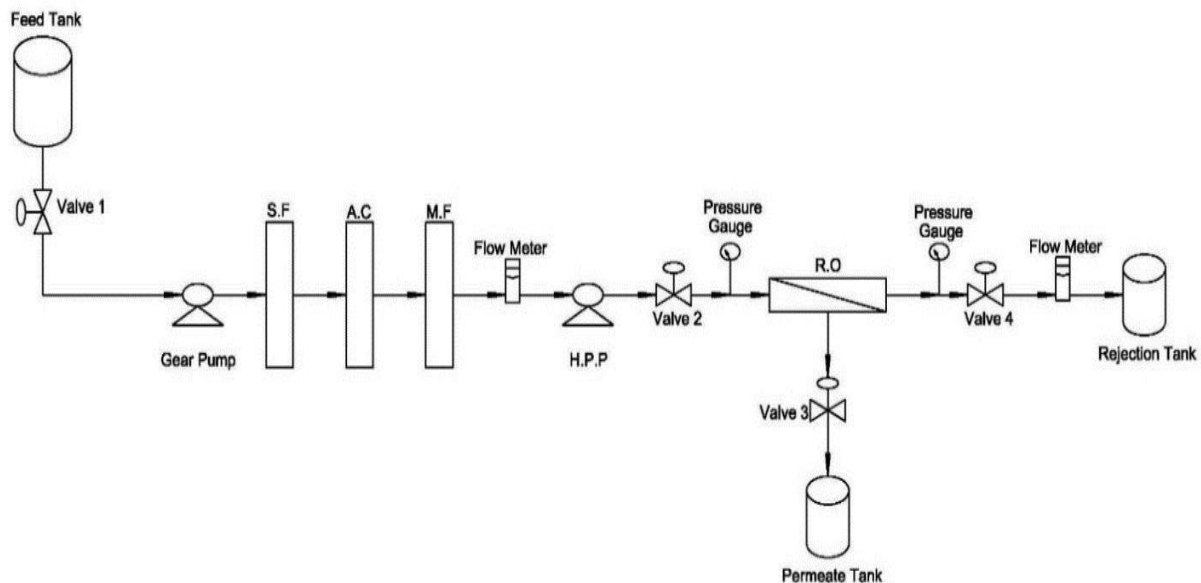
"Electroplating", "Reverse osmosis", "Nickel", "Water recovery", "Heavy metals"

طور فزاینده ای به عنوان یک روش رایج برای تصفیه پساب های صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد که دارای مزایا و محاسنی برای تصفیه آب و فاضلاب می باشد (Qdais and Moussa, 2004). درصد بازیافت آب از فاضلاب به عنوان یک هدف در صنعت محسوب می شود، به ویژه در صنعتی مانند آبکاری که مصرف آب بالایی دارد. با استفاده از روش های غشایی علاوه بر تأمین استانداردهای تعیین شده برای پساب خروجی صنایع می توان به این هدف مهم نیز دست یافت (Holbrey, 2000). روش اسمز معکوس (RO)، یکی از این روش های غشایی است که در ابتدا فقط برای تولید آب شیرین از آب شور دریا مورد استفاده قرار می گرفت اما در سال های اخیر با توسعه رو به رشد آن به عنوان یکی از روش های مؤثر در تصفیه فاضلاب صنایع کاربرد زیادی پیدا کرده است (Spiegler, 2012). این روش در مقایسه با سایر روش ها بدون آن که لجنی تولید کند می تواند به طور قابل توجهی فاضلاب را در حد قوانین و استانداردها تصفیه کرده و آب را از آن بازیافت کند که هم اجرای آن آسان است و هم هزینه کمتری را در پی دارد (Qin et al., 2002). هدف اصلی این تحقیق بررسی کارایی روش اسمز معکوس در حذف نیکل دو ظرفیتی و بازیابی آب از فاضلاب صنایع آبکاری توسط واحد اسمز معکوس (RO) می باشد که پارامترهای متغیر در این آزمایش ها فشار کار و میزان غلظت فلز در فاضلاب ورودی به واحد تصفیه است.

روش بررسی

روش انجام تحقیق با توجه به ماهیت آن بر اساس داده های آزمایشگاهی و یک سیستم عملی و اجرایی از نوع مطالعات تجربی و توسعه ای بوده است. در ابتدا پس از بررسی پساب صنایع آبکاری و جمع آوری داده ها، نمونه فاضلاب ورودی به سیستم پیش تصفیه از ترکیب کلراید نیکل (۲۰ درصد نیکل) و سولفات نیکل (۲۰ درصد نیکل) با آب شهری جهت تهیه غلظت های مورد نیاز در نظر گرفته شد. غلظت نیکل در این فاضلاب به جهت اینکه نزدیک به غلظت فلز سنگین نیکل در فاضلاب ورودی به تصفیه خانه کارخانه آبکاری گردد، حدود ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر مشخص گردید. البته غلظت های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر نیز جهت بررسی تأثیر تغییرات غلظت بر عملکرد سیستم اسمز معکوس در نظر گرفته شد. برای تهیه محلول مورد آزمایش از آب شهر با میزان کل املاح محلول ۶۰۰ الی ۷۰۰ میلی گرم بر لیتر استفاده گردید. ابتدا آب شهر از جهت PH ، TDS و میزان کلر باقیمانده کنترل شد و سپس بر اساس آزمایشات مورد نظر، حجم معینی از آب شهر در مخزن تغذیه پایلوت ذخیره گردید و ترکیبات کلراید نیکل (۲۰ درصد نیکل) و سولفات نیکل (۲۰ درصد نیکل) با توجه به میزان غلظت مورد نظر فلز سنگین به آن اضافه شد. برای انجام این پژوهش، ابتدا پایلوت غشاء طراحی و ساخته شد. این پایلوت، شامل دو قسمت اصلی می باشد: قسمت اول: واحد پیش تصفیه RO شامل (مخزن تغذیه، فیلتر کاتریج و شنی برای حذف مواد معلق موجود احتمالی، فیلتر کربن فعال برای حذف کلر، رنگ و بو، شیرآلات و لوله های مورد استفاده) قسمت دوم: واحد RO شامل (غشاء اسمز معکوس ساخت شرکت فیلم تک^۲، الکتروپمپ برای تأمین فشار اسمزی، ۲ عدد فشارسنج برای تنظیم فشار که یکی از آنها قبل از RO و دیگری در

توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع همراه با افزایش روزافزون جمعیت و در پی آن افزایش میزان و تنوع مواد مصرفی، ازدیاد و گوناگونی زائدات تولیدی را در پی داشته است. توسعه صنایع و کارخانه ها، با تهی سازی منابع طبیعی و تولید انواع گوناگون زائدات با خطرات بالقوه شدید برای انسان و محیط زیست هم زمان بوده است. در کنار گسترش صنایع، محدودیت منابع طبیعی و افزایش تقاضا برای مصرف مواد خام، لزوم استفاده بهینه از آنها را در کنار حراست از منابع گرانبه های طبیعی ایجاب می کند و در این مسیر جلوگیری از آلودگی منابع طبیعی، از اولین گام های اساسی در حفظ این منابع است (مصطفی پور، ۱۳۸۲). امروزه در جوامع رو به توسعه پساب های صنعتی بدون انجام تصفیه و یا تصفیه نامطلوب به محیط زیست دفع می گردند و در هر منطقه مشکلات زیادی را بوجود آورده اند. پساب تولیدی در هر صنعت ویژگی های خاص خود را دارد و همین امر موجب ورود آلاینده های متنوع به محیط زیست می شود (Nemerow and Dasgupta, 1991). آلودگی ناشی از فلزات سنگین یکی از مشکلات و نگرانی های زیست محیطی در جهان امروز محسوب می شود. فلزات سنگین همانند سرب، مس، کادمیوم، روی و نیکل از فلزاتی هستند که به طور معمول در پساب و فاضلاب های صنعتی یافت می شوند. این فلزات حتی در غلظت های کم و پایین نیز برای ارگانیزم های بدن بسیار سمی هستند (Sheng et al., 2004). نیکل در غلظت های کم باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، سرفه های خشک و سخت و ... می شود و در غلظت های بالاتر می تواند باعث بروز سرطان های ریه، مجاری تنفسی و استخوان گردد. یون نیکل دو ظرفیتی از آن دسته فلزاتی است که با غلظت های مختلف در فاضلاب خام صنایعی همچون آبکاری، صنایع فلزات غیر آهنی و ... یافت می شود (Padmavathy et al., 2004; Villaescusa et al., 2003). به طور کلی فاضلاب آبکاری ناشی از فعالیت های دو بخش عمده آبکاری فلزات و شستشوی فلزات می باشد (Katsumata et al., 2003; Kotoda et al., 1992). بر اساس استاندارد مقررات ملی زیست محیطی ایران، حداکثر غلظت قابل قبول برای فلز نیکل در پساب خروجی صنایع ۲ میلی گرم در لیتر می باشد. روش های گوناگونی برای حذف فلزات از فاضلاب صنایع وجود دارد، که از آن جمله می توان روش تبادل یونی، استخراج حلال، الکترودیالیز، ترسیب، انعقاد و لخته سازی، جذب توسط کربن فعال و روش های غشایی را نام برد (Meena et al., 2001; Yan and Viraraghavan., 2005). طی تحقیق Ipek در سال ۲۰۰۵ برای حذف نیکل و روی با استفاده از پیش تصفیه و اسمز معکوس و کربن فعال به ترتیب به حذف ۹۹/۲ و ۹۸/۸٪ رسیده است (Ipek, 2005). Hasar در سال ۲۰۰۳ جذب نیکل توسط پوست بادام را مورد بررسی قرار داده است. در حالی که غلظت جذب ۵ گرم بر لیتر و غلظت نیکل ۲۵ میلی گرم بر لیتر بوده، عمل حذف تا ۹۷/۸٪ گزارش شده است (Hasar, 2003). Papadopoulos و همکاران در سال ۲۰۰۴ توانستند توسط روش تعویض یونی تا ۷۴/۸٪ نیکل را حذف کنند و با ترکیب این روش با روش ترسیب به ۹۳/۸٪ حذف نیکل دست یابند (Papadopoulos et al., 2004). فرآیند جداسازی غشایی به



شکل ۱- نمودار شماتیک پایلوت RO

به کارایی و فلاکس جریان نسبت به هر یک از شرایط فوق رسم گردید.

یافته ها

در این پژوهش برای بررسی عملکرد ممبران، اندازه گیری های مختلفی از جمله تأثیرات فشار بر میزان جریان عبوری و درصد ریجکشن، تأثیر غلظت ورودی بر عملکرد سیستم، همچنین تأثیر میزان بازدهی (ریکاوری) بر عملکرد سیستم و در نهایت تأثیر فشار بر درصد حذف TDS انجام شد. بررسی های صورت گرفته به همراه جداول و نمودارهای مربوطه به شرح ذیل می باشد:

۱- تأثیر فشار بر میزان فلاکس آب شهری و پساب

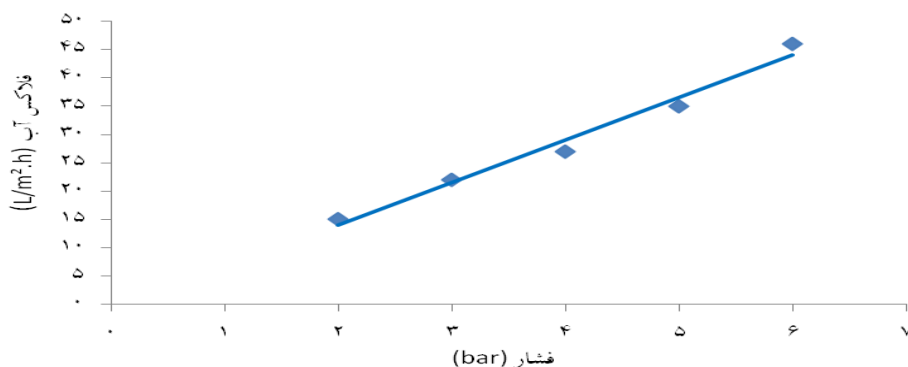
نیکل:

برای بررسی میزان تغییرات فلاکس جریان عبوری بر حسب فشارهای ۲ الی ۶ بار، پس از تنظیم میزان بازدهی سیستم بر روی ۶۰ درصد، میزان تغییرات فلاکس برای آب شهری (بدون پساب نیکل) اندازه گیری گردید. تا بتوان معیاری برای مقایسه رفتار ممبران در خصوص تغییرات فلاکس پساب نیکل نسبت به تغییرات فشار ایجاد نمود. جدول ۱ میزان تأثیر فشار در مقدار جریان عبوری را نشان می دهد. همانطور که در نمودار ۱ ملاحظه می شود، تغییرات فلاکس بر حسب تغییرات فشار از نوع خطی می باشد.

جهت راه اندازی سیستم، پس از طراحی و ساخت پایلوت ابتدا فاضلابی با TDS حدود ۶۰۰ الی ۷۰۰ میلی گرم بر لیتر و حاوی ۵۰ الی ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر نیکل در فشارهای ۲ الی ۶ بار، برای آزمایشات موردنظر استفاده گردید. پس از عبور فاضلاب از مرحله پیش تصفیه و با بررسی و اندازه گیری میزان ^4COD ، ^5BOD ، ^7TSS و ^6TOC و پساب خروجی از پیش تصفیه، پساب وارد فرآیند RO شد. فرآیند پیش تصفیه تأثیری بر کاهش میزان TDS ندارد. همچنین قبل از ورود پساب به فرآیند اسمز معکوس، با استفاده از شیر تعبیه شده در مسیر دفع نمک، ریکاوری سیستم در ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد تنظیم گردید، سپس فاضلاب از فرآیند RO عبور داده شد. میزان درصد حذف TDS خروجی با نمونه گیری از جریان عبوری با تنظیم سیستم بر روی یک بازدهی مناسب و در فشارهای مختلف محاسبه شد. آزمایش نیکل بر اساس روش فتومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتمتر Varrian آلمان، مدل Spectro-AA220 در طول موج ۴۴۳ نانومتر به کمک معرف های از پیش آماده شده دستگاه انجام گرفته است. دما، pH و میزان هدایت الکتریکی بر اساس روش های استاندارد آب و فاضلاب به ترتیب با روش های شماره ۲۵۵۰، ۴۵۰۰ و ۲۵۱۰ مرجع روش های استاندارد سال ۲۰۱۲، توسط دستگاه HATCH مدل Wtw 7110 مورد آزمایش قرار گرفته اند (Rice et al., 2012). در مرحله آخر، نمودارهای مربوط

جدول ۱- بررسی تغییرات فلاکس آب بر حسب فشارهای مختلف

ردیف	فشار (bar)	زمان نمونه برداری (hr)	محل نمونه برداری	فلاکس ($\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)
۱	۲	۲	Permeat	۱۵
۲	۳	۲	Permeat	۲۲
۳	۴	۲	Permeat	۲۷
۴	۵	۲	Permeat	۳۵
۵	۶	۲	Permeat	۴۶



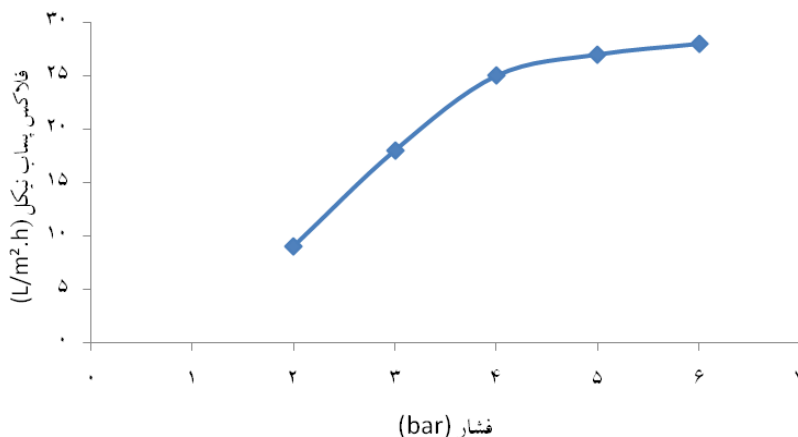
نمودار ۱- تغییرات فلاکس آب بر حسب فشارهای مختلف

با توجه به نمودار بالا، تغییر مقدار فلاکس به عنوان تابعی از فشار، خطی می باشد، که دلیل عملکرد مناسب سیستم برای تصفیه آب شهری بوده است.

جدول ۲- بررسی تغییرات فلاکس پساب نیکل بر حسب فشارهای مختلف

ردیف	فشار (bar)	زمان نمونه برداری (hr)	محل نمونه برداری	فلاکس (L/m ² .h)
۱	۲	۲	Permeat	۹
۲	۳	۲	Permeat	۱۸
۳	۴	۲	Permeat	۲۵
۴	۵	۲	Permeat	۲۷
۵	۶	۲	Permeat	۲۸

نمودار ۲- تغییرات فلاکس پساب نیکل بر حسب فشارهای مختلف



معکوس، تا زمانی که شرایط خوراک ورودی و همچنین خواص ممبران تغییر نکنند، تقریباً ثابت می ماند. البته در پساب نیکل در فشارهای ۴ و ۵ بار میزان فلاکس جریان عبوری تا حدودی کاهش یافته است. میزان دبی عبوری، در زمان های مختلف (در زمان های ۳۰ دقیقه ای) قرائت شد و با تقسیم آن بر سطح فعال ممبران (۱/۸ مترمربع)، میزان فلاکس جریان عبوری بدست آمد.

در نمودار بالا تغییرات فلاکس بعنوان تابعی از فشار، غیر خطی مشاهده می شود که دلیل آن ایجاد فشار اسمز ناشی پلاریزاسیون غلظتی بوده است.

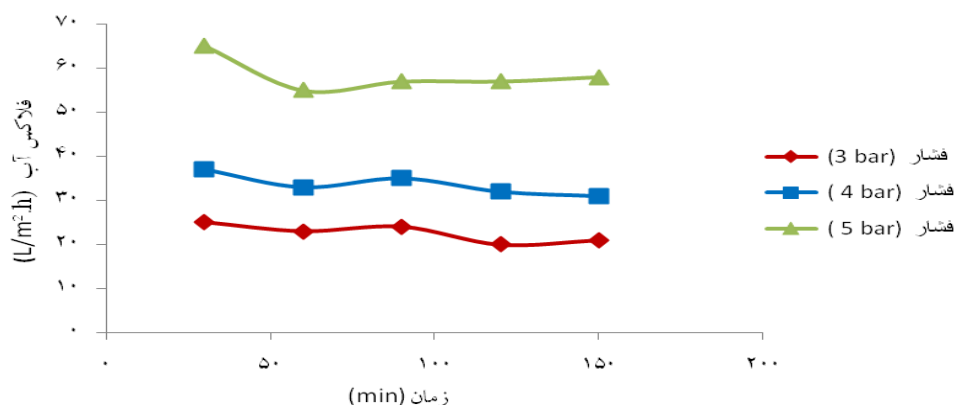
۲- بررسی تغییرات فلاکس آب و پساب نیکل بر حسب زمان در فشارهای مختلف :

در این قسمت میزان تغییرات فلاکس بر حسب زمان (دقیقه) برای آب و پساب نیکل با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر در فشارهای ۳، ۴ و ۵ بار بررسی شد. طبق نمودار ۳ تغییرات فلاکس آب با گذشت زمان تغییرات سینوسی خیلی جزئی دارد که قابل صرفه نظر کردن می باشد و به عبارتی می توان گفت میزان فلاکس در یک فشار ثابت در اسمز

جدول ۳- بررسی تغییرات فلاکس آب بر حسب زمان در فشارهای مختلف

زمان (min)	فلاکس (L/m ² .h)	فلاکس (L/m ² .h)	فلاکس (L/m ² .h)
۳۰	۲۵	۳۷	۶۵
۶۰	۲۳	۳۳	۵۵
۹۰	۲۴	۳۵	۵۷
۱۲۰	۲۰	۳۲	۵۷
۱۵۰	۲۱	۳۱	۵۸

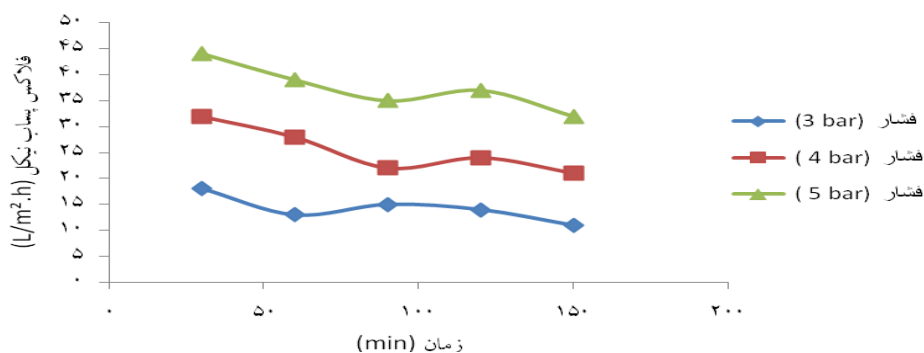
نمودار ۳- تغییرات فلاکس آب بر حسب زمان در فشارهای مختلف



جدول ۴- بررسی تغییرات فلاکس پساب نیکل بر حسب زمان در فشارهای مختلف

زمان (min)	فلاکس (L/m ² .h)	فلاکس (L/m ² .h)	فلاکس (L/m ² .h)
۳۰	۱۸	۳۲	۴۴
۶۰	۱۳	۲۸	۳۹
۹۰	۱۵	۲۲	۳۵
۱۲۰	۱۴	۲۴	۳۷
۱۵۰	۱۱	۲۱	۳۲

نمودار ۴- تغییرات فلاکس پساب نیکل بر حسب زمان در فشارهای مختلف



تواند به دلیل تغییر در ساختار غشاء بعد از گذشت زمان، پلاریزاسیون غلظتی و فشردگی ممبران با شد. همان طور که در نمودارها مشاهده می شود، افزایش فشار از ۳ به ۵ بار، باعث کاهش بیشتری بوده است.

همان طور که در نمودارهای ۳ و ۴ مشاهده می شود، میزان جریان عبوری برای آب در یک فشار ثابت برای یک ممبران بصورت جزئی و کاهشی تغییر می کند، که می تواند به دلیل تغییر ساختار سطح غشاء باشد. ولی در پساب نیکل با افزایش زمان میزان فلاکس با شدت بیشتری مخصوصا در دقایق اولیه کاهش پیدا کرده است که این می

۳- بررسی تأثیر فشار بر میزان حذف نیکل:

در این قسمت میزان درصد حذف نیکل (ریجکشن) در برابر تغییرات فشار (۳، ۴ و ۵ بار) برای پساب نیکل با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، مورد بررسی قرار گرفت. میزان غلظت نیکل از پساب عبوری پس از زمان ۲ ساعت نمونه برداری شد و با استفاده از فرمول ۱ (Metcalf and Eddy, 1980)، درصد حذف فلز نیکل محاسبه شد. در جدول ۵ تغییرات درصد حذف نیکل مشاهده می شود.

فرمول ۱:

$$R\% = \frac{C_f - C_p}{C_f} \times 100 = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100$$

که در این فرمول:

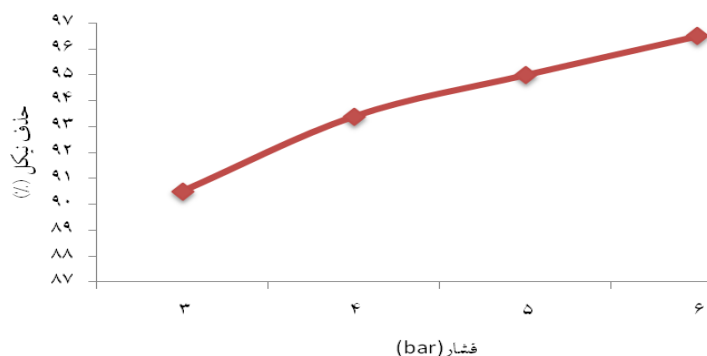
R: درصد حذف نیکل (%)

C_p: غلظت نیکل در جریان آب تصفیه شده (mg/l)

C_f: غلظت نیکل در فاضلاب ورودی به واحد RO (mg/l)

جدول ۵- بررسی تأثیر فشار بر درصد حذف نیکل با غلظت اولیه ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و بازدهی ۶۰ درصد

ردیف	فشار (bar)	زمان نمونه برداری (hr)	غلظت نیکل پساب ورودی (mg/l)	غلظت نیکل پساب عبوری (mg/l)	حذف نیکل (%)
۱	۳	۲	۲۰۰	۱۹/۱	۹۰/۵
۲	۴	۲	۲۰۰	۱۳/۲	۹۳/۴
۳	۵	۲	۲۰۰	۱۰	۹۵
۴	۶	۲	۲۰۰	۷	۹۶/۵



نمودار ۵- تأثیر فشار بر درصد حذف نیکل با غلظت اولیه ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و بازدهی ۶۰ درصد

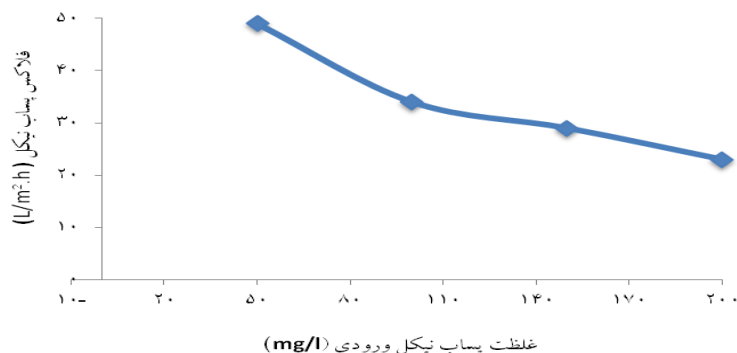
۴- تأثیر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران در میزان فلاکس:

در این قسمت تأثیر تغییر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران در فشار ۴ بار بر روی میزان فلاکس ممبران بررسی شد. همان طور که در جدول ۶ و نمودار ۶ نشان داده شده است، با افزایش غلظت فلز نیکل در پساب نیکل تا ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، به دلیل ایجاد لایه پلاریزاسیون، تغییر فشار سیستم (اختلاف فشار جریان ورودی و فشار جریان تغلیظ شده) تا حدود ۰/۹ بار افزایش یافت. در نهایت به دلیل مقاومتی که در سیستم ایجاد می شود، میزان فلاکس با افزایش غلظت کاهش می یابد و در نتیجه عملکرد ممبران کاهش می یابد.

همان طور که در نمودار ۵ نشان داده شده است، افزایش فشار سبب افزایش درصد حذف نیکل شده است. ولی این افزایش خطی نمی باشد. به دلیل اینکه ممبران در برابر نمک محلول (نیکل) به طور ناقص عمل کرده است و باعث عبور مقداری از فلز از غشاء شده است. همچنین مشاهده می کنیم که میزان افزایش دفع اولیه (یعنی از ۳ به ۴ بار)، بیشتر از میزان مرحله بعدی بوده است که می تواند این نتیجه را به ما بدهد که میزان حذف نیکل در یک نقطه ای با افزایش فشار، افزایش نمی یابد و این یعنی در یک سیستم با عملکرد ناقص، همواره بعضی از جریان های نمک با جریان آب عبوری از غشاء همراه می شوند.

جدول ۶- بررسی تأثیر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران در میزان فلاکس

ردیف	غلظت پساب نیکل ورودی (mg/l)	زمان نمونه برداری (hr)	فشار (bar)	محل نمونه برداری	فلاکس (L/m ² .h)
۱	۵۰	۲	۴	Permeat	۴۹
۲	۱۰۰	۲	۴	Permeat	۳۴
۳	۱۵۰	۲	۴	Permeat	۲۹
۴	۲۰۰	۲	۴	Permeat	۲۳



نمودار ۶- تاثیر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران در میزان فلاکس

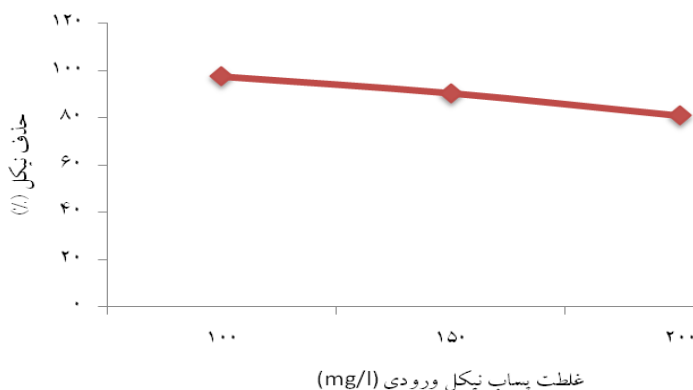
افزایش غلظت در پساب نیکل (۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) کاهش یافته است، که می تواند به دلیل ایجاد لایه نازک رسوب در سطح ممبران و در نتیجه گرفتگی حفرات شود، که در نهایت باعث کاهش راندمان غشاء می شود. در این مرحله میزان بازدهی سیستم بر روی ۵۰ درصد تنظیم شده است.

۵- تأثیر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران و اثر آن بر میزان حذف نیکل:

در این قسمت مقدار حذف نیکل در برابر غلظت های متفاوت در پساب ورودی در نمودار ۷ و جدول ۷ نشان داده شده است. میزان حذف با

جدول ۷- بررسی تأثیر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران و اثر آن بر میزان حذف نیکل

ردیف	غلظت پساب نیکل ورودی (mg/l)	زمان نمونه برداری (hr)	فشار (bar)	حذف نیکل (%)
۱	۱۰۰	۲	۴	۹۷/۵
۲	۱۵۰	۲	۴	۹۰/۵
۳	۲۰۰	۲	۴	۸۱



نمودار ۷- تأثیر غلظت پساب نیکل ورودی بر روی عملکرد ممبران و اثر آن بر میزان حذف نیکل

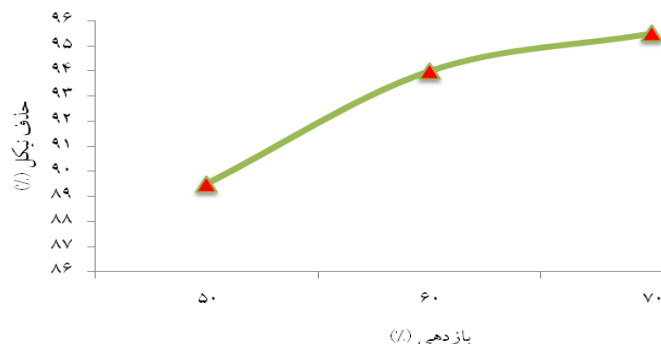
۶- تأثیر تغییر بازدهی بر عملکرد حذف نیکل در RO

در این مرحله پساب نیکل با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر را با فشار ۴ بار، با درصد بازدهی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد و به مدت ۲ ساعت از سیستم عبور داده شده است.

همان طور که در نمودارهای ۶ و ۷ نشان داده شده است، یکی از بدترین شرایط در بهره برداری از فرآیند اسمز معکوس، زمانی است که در فشار ثابت (۴ بار)، مقدار غلظت خوراک ورودی افزایش یابد. در این صورت عملکرد غشاء، توأماً در میزان جریان عبوری و میزان جداسازی نیکل، کاهش خواهد یافت.

جدول ۸- بررسی تأثیر تغییر بازدهی بر عملکرد حذف نیکل در RO

غلظت نیکل ورودی (mg/l)	بازدهی (%)	فشار ورودی (bar)	زمان نمونه برداری (hr)	محل نمونه برداری	غلظت نمک جریان عبوری	اختلاف فشار (bar)	نیکل تغلیظ شده (mg/l)	حذف نیکل (%)
۲۰۰	۵۰	۴	۲	Permeate	۲۱	۰/۳	۳۹۵	۸۹/۵
۲۰۰	۶۰	۴	۲	Permeate	۱۲	۰/۶	۴۸۷	۹۴
۲۰۰	۷۰	۴	۲	Permeate	۹	۱	۶۶۲	۹۵/۵



نمودار ۸- بررسی تاثیر تغییر بازدهی بر عملکرد حذف نیکل در RO

با توجه به نمودار ۸، افزایش بازدهی سیستم باعث افزایش جریان عبوری می شود که یکی از پیامدهای آن، افزایش غلظت در جریان تغلیظ شده می باشد. البته این افزایش، همان طور که در نمودار ۸ نشان داده شده خطی نمی باشد، چون افزایش غلظت سبب افزایش فشار اسمزی نیز شده است. این بدان معنی است که افزایش دفع نمک (نیکل) با بازدهی در کوتاه مدت افزایشی می باشد ولی پس از مدتی کوتاه سبب خنثی شدن اثر نیروی محرکه خوراک می شود و فرآیند اسمز معکوس را کند می نماید و موجب کاهش شار تراوش یافته و دفع نمک (نیکل) شده و حتی آنها را کاملاً متوقف می کند. بنابراین بازدهی ۷۰ درصد مطلوب به نظر نمی رسد. همان طور که در جدول ۸ قابل مشاهده است، می توان با بازدهی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد به ترتیب ۸۹/۵، ۹۴ و

۹۵/۵ درصد از فلز نیکل را بازیابی نماییم. همان طور که مشاهده می شود، غلظت نمک (نیکل) تغلیظ شده نیز در ۷۰ و ۶۰ درصد به ترتیب ۳، ۴ و ۵ بار، میزان TDS آب عبوری از RO اندازه گیری شد که میزان TDS خروجی مطابق جدول ۹ می باشد:

۷- بررسی میزان TDS پس از عبوری:

در این مرحله با تنظیم سیستم بر روی بازدهی ۶۰ درصد و با فشار ۳، ۴ و ۵ بار، میزان TDS آب عبوری از RO اندازه گیری شد که میزان TDS خروجی مطابق جدول ۹ می باشد:

جدول ۹- بررسی میزان تغییر TDS با بازدهی ۶۰ درصد

درصد حذف TDS	TDS خروجی (mg/l)	زمان نمونه برداری (hr)	فشار ورودی (bar)	محل نمونه برداری	TDS ورودی (mg/l)	غلظت نیکل ورودی (mg/l)
۹۷/۴	۱۸	۲	۳	Permeate	۶۸۵	۲۰۰
۹۸/۲	۱۲	۲	۴	Permeate	۶۸۰	۲۰۰
۹۸/۴	۱۱	۲	۵	Permeate	۶۵۰	۲۰۰

نتیجه گیری

در این تحقیق بازده حذف نیکل دو ظرفیتی از فاضلاب صنایع آبکاری توسط سیستم غشاء (RO) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. با بررسی تأثیر تغییر بازدهی بر میزان حذف نیکل در سیستم غشایی مشاهده گردید که میزان حذف نیکل از ۸۹/۵ درصد در بازدهی ۵۰ درصد به ۹۵/۵ درصد در بازدهی ۷۰ درصد افزایش یافت. در نهایت با بررسی میزان تغییرات حذف TDS بر اساس تغییرات فشار ورودی خوراک، درصد حذف از ۹۷/۴ درصد در فشار ۳ بار به ۹۸/۴ درصد در فشار ۵ بار افزایش یافت. نتایج نشان می دهند که با افزایش غلظت نیکل در فاضلاب ورودی بازده حذف کاهش می یابد ولی با افزایش

فشار کار بازده حذف افزایش می یابد. کاهش بازده بازیافت آب توسط سیستم، با افزایش غلظت فاضلاب ورودی و یا کاهش فشار کار می تواند نتیجه گرفتگی غشاء و یا پلاریزاسیون غلظتی در غشاء باشد. همانطور که مشاهده می شود در یک غلظت معین عامل فشار یک عامل تعیین کننده و بسیار مهم در نرخ بازیافت آب و درصد حذف نیکل می باشد. با توجه به مطالعه حاضر می توان نتیجه گیری نمود که از بین غشاهای مختلف، اسمز معکوس بهترین راندمان را برای حذف نیکل دارا می باشد و می تواند در مقیاس میدانی به عنوان یک گزینه مؤثر بکار گرفته شود.

منابع

- مصطفی پور، ک. (۱۳۸۲) "حذف آرسنیک آب آشامیدنی با استفاده از پراکسید هیدروژن و کلراید فریک". مجموعه مقالات ششمین همایش کشوری بهداشت محیط، تهران، ایران.
- Hasar, H. (2003). Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk. Journal of hazardous materials, 97(1-3), 49-57.
- Holbrey, J. D. (2000). Clean Products Proc., 1999, 1, 223;(c) K. R. Seddon, A. Stark and MJ Torres. Pure Appl. Chem, 72, 2275.

- Ipek, U. (2005). Removal of Ni (II) and Zn (II) from an aqueous solution by reverse osmosis. *Desalination*, 174(2), 161-169.
- Katsumata, H., Kaneco, S., Inomata, K., Itoh, K., Funasaka, K., Masuyama, K., ... & Ohta, K. (2003). Removal of heavy metals in rinsing wastewater from plating factory by adsorption with economical viable materials. *Journal of Environmental Management*, 69(2), 187-191.
- Kotoda, T., & Mekki, K. p. 84, Maki Shoten, Tokyo (1992), b) FH Reid and W.
- Meena, A. K., Mishra, G. K., Rai, P. K., Rajagopal, C., & Nagar, P. N. (2005). Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 122(1-2), 161-170.
- Metcalf & Eddy, B., & Tchobanoglous, G. (1980). *Wastewater engineering: Treatment disposal reuse*. Central Book Company.
- Nemerow, N. L., & Dasgupta, A. (1991). *Industrial and hazardous waste treatment*.
- Padmavathy, V., Vasudevan, P., & Dhingra, S. C. (2003). Biosorption of nickel (II) ions on Baker's yeast. *Process Biochemistry*, 38(10), 1389-1395.
- Papadopoulos, A., Fatta, D., Parperis, K., Mentzis, A., Haralambous, K. J., & Loizidou, M. (2004). Nickel uptake from a wastewater stream produced in a metal finishing industry by combination of ion-exchange and precipitation methods. *Separation and Purification Technology*, 39(3), 181-188.
- Qdais, H. A., & Moussa, H. (2004). Removal of heavy metals from wastewater by membrane processes: a comparative study. *Desalination*, 164(2), 105-110.
- Qin, J. J., Wai, M. N., Oo, M. H., & Wong, F. S. (2002). A feasibility study on the treatment and recycling of a wastewater from metal plating. *Journal of Membrane Science*, 208(1-2), 213-221.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington, DC, 541.
- Sheng, P. X., Ting, Y. P., Chen, J. P., & Hong, L. (2004). Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of colloid and interface science*, 275(1), 131-141.
- Spiegler, K. S. (Ed.). (2012). *Principles of desalination*. Elsevier.
- Villaescusa, I., Fiol, N., Martínez, M., Miralles, N., Poch, J., & Serarols, J. (2004). Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes. *Water research*, 38(4), 992-1002.
- Yan, G., & Viraraghavan, T. (2001). Heavy metal removal in a biosorption column by immobilized *M. rouxii* biomass. *Bioresource technology*, 78(3), 243-249.