

حذف نیکل دو ظرفیتی از فاضلاب صنایع آبکاری به روش اسمز معکوس

سید احمد میرباقری^۱

seyedahmad_mirbagheri@yahoo.com

امین شمس^{*۲}

سید حسین هاشمی^۳

هادی شمس^۴

تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۱

تاریخ دریافت: ۸۷/۱/۲۰

امروزه یکی از خطرناک ترین انواع فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب صنایع آبکاری می‌باشد. استفاده از فن آوری سیستم‌های غشایی از میان سایر روش‌های مختلف بازیافت آب و فلزات از فاضلاب این صنایع، بسیار مورد توجه است و رشد روز افزون دارد. در این مطالعه روش اسمز معکوس (RO) برای تصفیه و پالایش پساب صنایع آبکاری مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌های پایلوتی بر روی فاضلاب این صنعت که حاوی غلظت‌های نیکل ۱۸/۵، ۵۰ و ۱۱۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، صورت گرفته است. این فاضلاب از غشا مرکب نازک پلی‌آمیدی RO عبور داده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با کاهش فشار از ۱۰ به ۷/۵ و سپس به ۵ اتمسفر، متوسط میزان بازیافت آب به ترتیب به ۶۸/۳، ۶۶/۴ و ۶۵/۷۷٪ و متوسط میزان حذف نیکل به ۹۸/۹۲، ۹۸/۶۷ و ۹۸/۶۵٪، کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی: صنایع آبکاری، اسمز معکوس، نیکل، بازیافت آب، غشای پلی‌امید

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران محیط زیست دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی* (مسئول مکاتبات).

۳- استادیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

مقدمه

آلودگی ناشی از فلزات سنگین یکی از مشکلات و نگرانی‌های زیست محیطی در جهان امروز محسوب می‌شود. فلزات سنگین همانند سرب، مس، کادمیوم، روی و نیکل از فلزاتی هستند که به طور معمول در پساب و فاضلاب‌های صنعتی یافت می‌شوند. این فلزات حتی در غلظت‌های کم و پایین نیز برای ارگانسیم‌های بدن بسیار سمی هستند (۱). نیکل در غلظت‌های کم باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، سرفه- های خشک و سخت و ... می‌شود و در غلظت‌های بالاتر می‌تواند باعث بروز سرطان‌های ریه، مجاری تنفسی و استخوان گردد. یون نیکل دو ظرفیتی از آن دسته فلزاتی است که با غلظت‌های مختلف در فاضلاب خام صنایعی همچون آبکاری، صنایع فلزات غیر آهنی و ... یافت می‌شود (۴-۲). به طور کلی فاضلاب آبکاری ناشی از فعالیت‌های دو بخش عمده آبکاری فلزات و شستشوی فلزات می‌باشد (۵ و ۶). بر اساس استاندارد مقررات ملی زیست محیطی ایران، حداکثر غلظت قابل قبول برای فلز نیکل در پساب خروجی صنایع ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

روش‌های گوناگونی برای حذف فلزات از فاضلاب صنایع وجود دارد، که از آن جمله می‌توان روش تبادل یونی، استخراج حلال، الکتروذیالیس، ترسیب، انعقاد و لخته‌سازی، جذب توسط کربن فعال و روش‌های غشایی را نام برد (۱۳-۷).

طی تحقیقی Ubeyde Ipek در سال ۲۰۰۴ 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 (۱۴). در سال ۲۰۰۲ جذب نیکل توسط پوست بادام را مورد بررسی قرار داده است. در حالی که غلظت جاذب ۵ گرم بر لیتر و غلظت نیکل ۲۵ میلی‌گرم در لیتر بوده، عمل حذف تا ۹۷/۸٪ گزارش شده است (۳). در سال ۲۰۰۳ Papadopoulos و همکاران 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 (۱۵).

فرآیند جداسازی غشایی به طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک روش رایج برای تصفیه پساب‌های صنعتی مورد استفاده

قرار می‌گیرد که دارای مزایا و محاسنی برای تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد (۱۶). درصد بازیافت آب از فاضلاب به عنوان یک هدف در صنعت محسوب می‌شود، به ویژه در صنعتی مانند آبکاری که مصرف آب بالایی دارد. با استفاده از روش‌های غشایی علاوه بر تأمین استانداردهای تعیین شده برای پساب خروجی صنایع می‌توان به این هدف مهم نیز دست یافت (۱۷).

روش اسمز معکوس^۱ (RO)، یکی از این روش‌های غشایی است که در ابتدا فقط برای تولید آب شیرین از آب شور دریا مورد استفاده قرار می‌گرفت اما در سال‌های اخیر با توسعه رو به رشد آن به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در تصفیه فاضلاب صنایع کاربرد زیادی پیدا کرده است (۱۸). این روش در مقایسه با سایر روش‌ها بدون آن که لجنی تولید کند می‌تواند 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 (۱۹).

هدف اصلی این تحقیق بررسی کارایی روش اسمز معکوس در حذف نیکل دو ظرفیتی و بازیافت آب از فاضلاب صنایع آبکاری توسط واحد اسمز معکوس (RO) می‌باشد که پارامترهای متغیر در این آزمایش‌ها فشار کار و میزان غلظت فلز در فاضلاب ورودی به واحد تصفیه است.

مواد و روش‌ها

۱- تهیه فاضلاب سنتتیک

برای تعیین مشخصات فاضلاب، ۵ نمونه تصادفی از فاضلاب آبکاری نیکل مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است که نتایج آن در جدول (۱) قابل مشاهده است.

جدول ۱- ویژگی های فاضلاب آبکاری نیکل

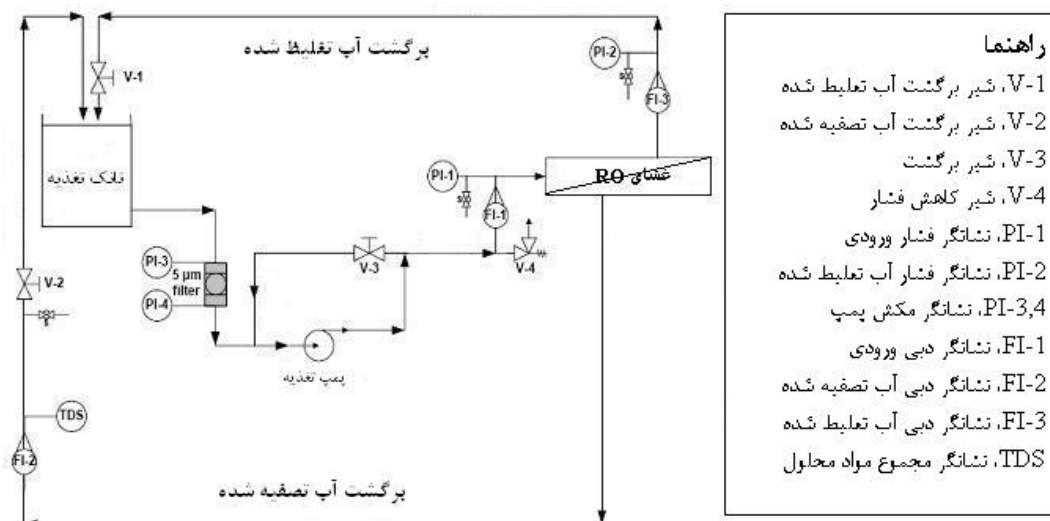
نمونه	Ni (II), mg/L	pH	TDS, mg/L
۱	۳۳/۵	۶/۷	۶۳۲
۲	۳۲	۶/۸	۶۴۰
۳	۳۵	۶/۹	۶۲۳
۴	۳۶/۵	۶/۸۵	۵۹۰
۵	۳۴/۳	۷	۶۰۵

به دلیل محدودیت در میزان فاضلاب مصرفی سیستم، آب های تصفیه شده^۲ و تغلیظ شده^۳ خروجی از واحد تصفیه، به داخل مخزن تصفیه بازگردانده و مخلوط می شوند. به دلیل این گردش مداوم و کارکرد طولانی پمپ، دمای فاضلاب به تدریج بالا می رود که با قرار دادن یک لوله آلومینیومی که به شکل سیم لوله درآمده و آب سرد از داخل آن عبور می کند، دمای فاضلاب در حدود ۳۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته می شود. شدت جریان فاضلاب ورودی، آب تصفیه شده و آب تغلیظ شده و میزان فشار توسط دی سنج ها و گیج های فشار مشخص می شوند.

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه های واقعی فاضلاب، فاضلاب مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق توسط $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ و اسید بوریک (H_3BO_3) ساخته شد و برای کنترل و تنظیم pH فاضلاب از اسید سولفوریک استفاده شده است.

۲- طرح پایلوت

شکل ۱ نشانگر نمودار پایلوت RO می باشد. پایلوت مذکور شامل دو بخش تغذیه و تصفیه است که در بخش تغذیه، یک مخزن با ظرفیت ۲۰۰ لیتر و پمپ فشار قوی و در بخش تصفیه دو عدد کارتریج فیلتر ۵ میکرونی، محفظه فشار^۱ و غشای RO وجود دارد.



شکل ۱- نمودار شماتیک پایلوت RO

آبکاری‌ها از آب‌های خام و صنعتی با TDS بالا استفاده می‌شود.

۳- روش آزمایش

آزمایش نیکل بر اساس روش فتومتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر Lovibond مدل PC_Spectro در طول موج ۴۴۳ نانومتر به کمک معرف‌های از پیش آماده شده دستگاه انجام گرفته است. دما، pH و میزان هدایت الکتریکی بر اساس روش‌های استاندارد آب و فاضلاب به ترتیب با روش‌های شماره ۲۵۵۰، ۴۵۰۰ و ۲۵۱۰ مرجع روش‌های استاندارد سال ۱۹۹۲، توسط دستگاه MARTINY مدل Mi 805 مورد آزمایش قرار گرفته‌اند (۲۰).

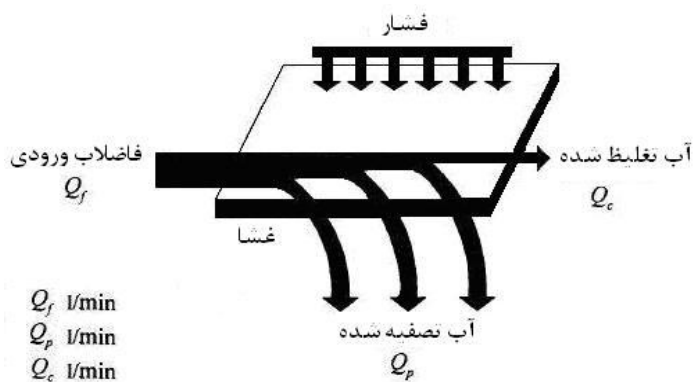
نتایج و بحث

همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود جریان فاضلاب عبوری از غشا به دو جریان آب تصفیه شده (Q_p) و آب تغلیظ شده (Q_c) تقسیم می‌گردد. فلاکس جریان آب تصفیه شده در غشای RO توسط رابطه (۱) مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

غشای مورد استفاده قرار گرفته RO از نوع غشای مارپیچی مدل FILMTEC BW30-4040 ساخته شده از پلی‌آمید نازک مرکب با سطح موثر تصفیه ۷/۲ مترمربع می‌باشد. حداکثر دما و فشار مجاز برای این غشا به ترتیب ۴۵ درجه سلسیوس و ۴۱ اتمسفر می‌باشد. در این غشا برای تأمین فلاکس^۱ جریان آب تصفیه شده (با دبی ۹/۱ مترمکعب در روز) از آب ورودی (با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم NaCl در لیتر)، باید دارای فشار کار ۱۵/۵ اتمسفر بوده و دمای آب ۲۵ درجه سلسیوس باشد.

فاضلاب مصنوعی با غلظت‌های ۱۸/۵، ۵۰ و ۱۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیکل در سه فشار ۵، ۷/۵ و ۱۰ اتمسفر از غشا عبور داده شد. در هر آزمایش، عملکرد دستگاه پس از سه ساعت مورد بررسی قرار گرفت که در ابتدا و انتهای هر آزمایش، از فاضلاب ورودی و آب تصفیه شده نمونه برداری شد و غلظت نیکل ورودی و خروجی مشخص و آنالیز شد. میزان TDS فاضلاب ورودی غشا، توسط یک TDS سنج پرتابل در ابتدای هر آزمایش کنترل گردید. معمولاً در نمونه مشخصات واقعی TDS فاضلاب بالاتر از نمونه فاضلاب سنتتیک مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد که علت عمده آن این است که در

1. Flux



شکل ۲- نمودار عملکرد غشا

رابطه (۱) $\text{سطح مؤثر غشا} / Q_p = \text{فلاکس جریان آب تصفیه شده}$

که در این رابطه Q_p دبی آب تصفیه شده توسط RO بر اساس لیتر بر روز می باشد. جدول ۲ شدت جریان ها و فلاکس- های آب عبوری برای آزمایش ۱ تا ۹ را نشان می دهد.

جدول ۲- مشاهدات شدت جریان ها و فلاکس های عبوری برای آزمایش های ۱ تا ۹

Feed Flux, (L.m ² /h)	Q_f , (L/min)	Q_p , (L/min)	Q_c , (L/min)	آزمایش
۵۴/۱۷	۹/۵	۶/۵	۳	۱
۳۵/۸۳	۶/۳	۴/۳	۲	۲
۲۵	۴/۵	۳	۱/۵	۳
۵۱/۶۷	۹/۲	۶/۲	۳	۴
۳۳/۳۳	۶	۴	۲	۵
۲۳/۳۳	۴/۳	۲/۸	۱/۵	۶
۵۰	۹	۶	۳	۷
۳۱/۶۷	۵/۸	۳/۸	۲	۸
۲۳/۳۳	۴/۳	۲/۸	۱/۵	۹

۱- بازده حذف نمک

کاهش می‌یابد. همچنین در نمودارهای ۱ تا ۴ اثر فشار کار و غلظت نیکل در فاضلاب ورودی بر بازده حذف نیکل و میزان بازیافت آب نشان داده شده‌است.

میزان ظرفیت جداسازی و حذف یون‌ها در سیستم غشایی توسط پارامتر SR^1 (حذف نمک) نشان داده می‌شود که به توان غشا و شرایط بهره برداری آن بستگی دارد (۲۱). پارامتر حذف نمک بر خلاف پارامتر گذر نمک 2 می‌باشد که توسط رابطه (۲) مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$SR = 100 \times (1 - C_p / C_f) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه $SR(\%)$ میزان حذف نمک، $C_p(\text{ppm})$ غلظت نمک در جریان آب تصفیه شده و $C_f(\text{ppm})$ غلظت نمک در فاضلاب ورودی به واحد RO است.

۲- نرخ بازیافت آب

بازده بازیافت آب در سیستم RO توسط رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$WR = (Q_p / Q_f) \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه $WR(\%)^2$ بازده بازیافت آب، $Q_p(\text{L/min})$ نرخ آب تصفیه شده و $Q_f(\text{L/min})$ نرخ جریان فاضلاب ورودی می‌باشد.

۳- نتایج آزمایش

نتایج آزمایش برای غلظت‌های مختلف نیکل در فاضلاب ورودی و فشارهای کار مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است که محدوده غلظت نیکل در آب تصفیه شده بین ۰/۱۵ تا ۲/۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. در جدول ۴ میزان حذف نمک و بازده بازیافت آب برای آزمایش‌های مختلف نشان داده شده است. به ترتیب در غلظت‌های ۱۸/۵، ۵۰ و ۱۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیکل با کاهش فشار از ۱۰ تا ۵ اتمسفر، حذف نمک از ۹۸/۱۹ تا ۹۸/۶۵٪ و از ۹۹ تا ۹۸/۲٪ و از ۹۸/۹۷ تا ۹۸/۱۷٪ کاهش می‌یابد. همچنین میزان بازیافت آب در همان محدوده از ۶۸/۴۲ تا ۶۶/۶۷ و از ۶۷/۳۹ تا ۶۵/۱۲ و از ۶۶/۶۷ تا ۶۵/۱۲٪

1-Salt Rejection

2-Salt Passage

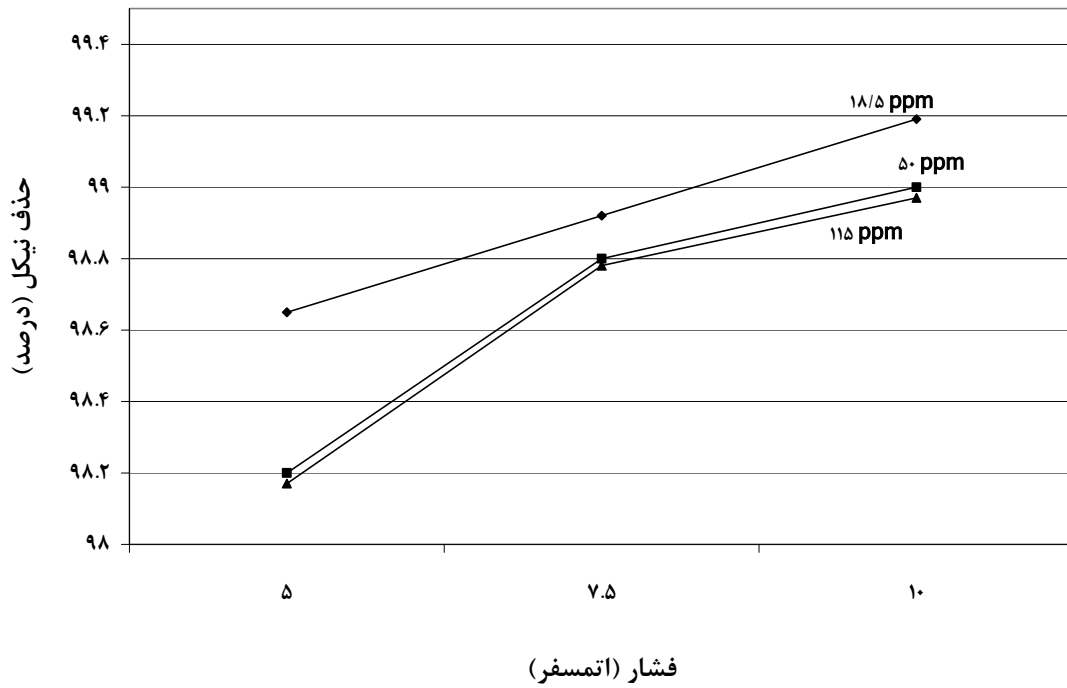
3-Water Recovery

جدول ۳- نتایج آزمایش‌ها برای فشارها و غلظت‌های مختلف نیکل در فاضلاب ورودی

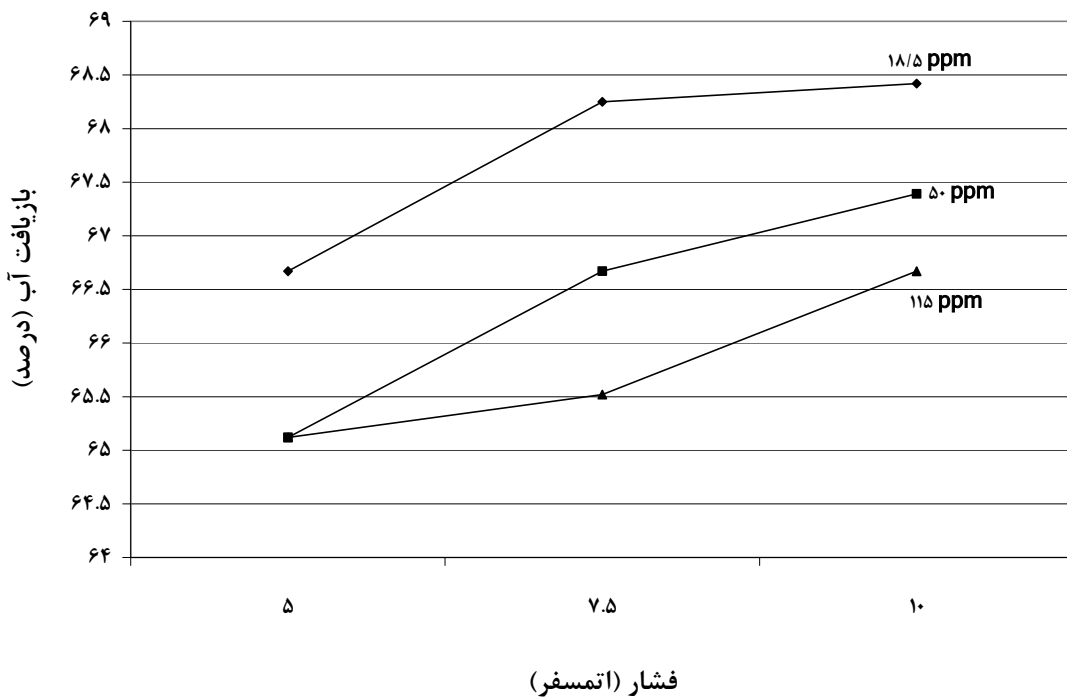
T_{permeate} (°C)	TDS_{permeate} (ppm)	C_p (ppm)	Pressure (bar)	pH	TDS_{feed} (ppm)	C_f (ppm)	آزمایش
۲۵	۷	۰/۱۵	۱۰	۷	۲۰۰	۱۸/۵	۱
۲۶	۹	۰/۲	۷/۵				۲
۲۷	۱۱	۰/۲۵	۵				۳
۲۶/۵	۷	۰/۵	۱۰	۶/۸	۲۵۰	۵۰	۴
۲۷/۵	۸	۰/۶	۷/۵				۵
۲۹/۵	۱۰	۰/۹	۵				۶
۲۴/۸	۸	۱/۱۸	۱۰	۶/۸	۳۲۵	۱۱۵	۷
۲۶/۸	۹	۱/۴	۷/۵				۸
۲۸/۷	۱۱	۲/۱	۵				۹

جدول ۴- درصد حذف نمک و بازیافت آب برای آزمایش‌های ۱ تا ۹

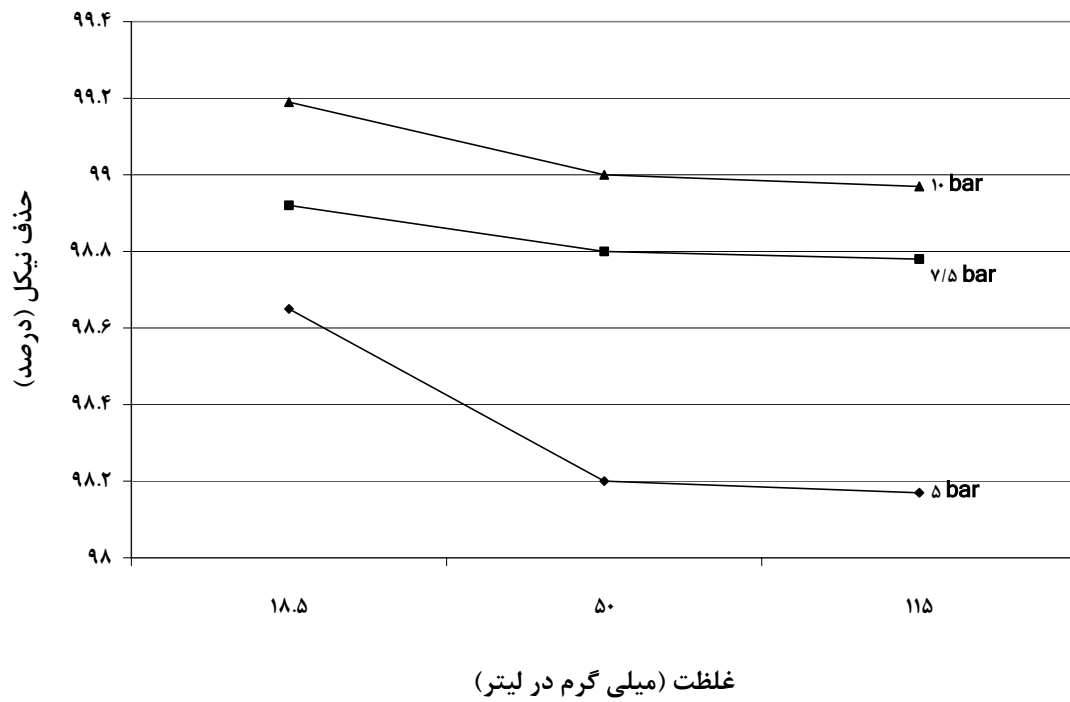
Water Recovery (%)	حذف نمک %	فشار کار bar	شماره آزمایش
۶۸/۴۲	۹۹/۱۹	۱۰	۱
۶۸/۲۵	۹۸/۹۲	۷/۵	۲
۶۶/۶۷	۹۸/۶۵	۵	۳
۶۷/۳۹	۹۹	۱۰	۴
۶۶/۶۷	۹۸/۸	۷/۵	۵
۶۵/۱۲	۹۸/۲	۵	۶
۶۶/۶۷	۹۸/۹۷	۱۰	۷
۶۵/۵۲	۹۸/۷۸	۷/۵	۸
۶۵/۱۲	۹۸/۱۷	۵	۹



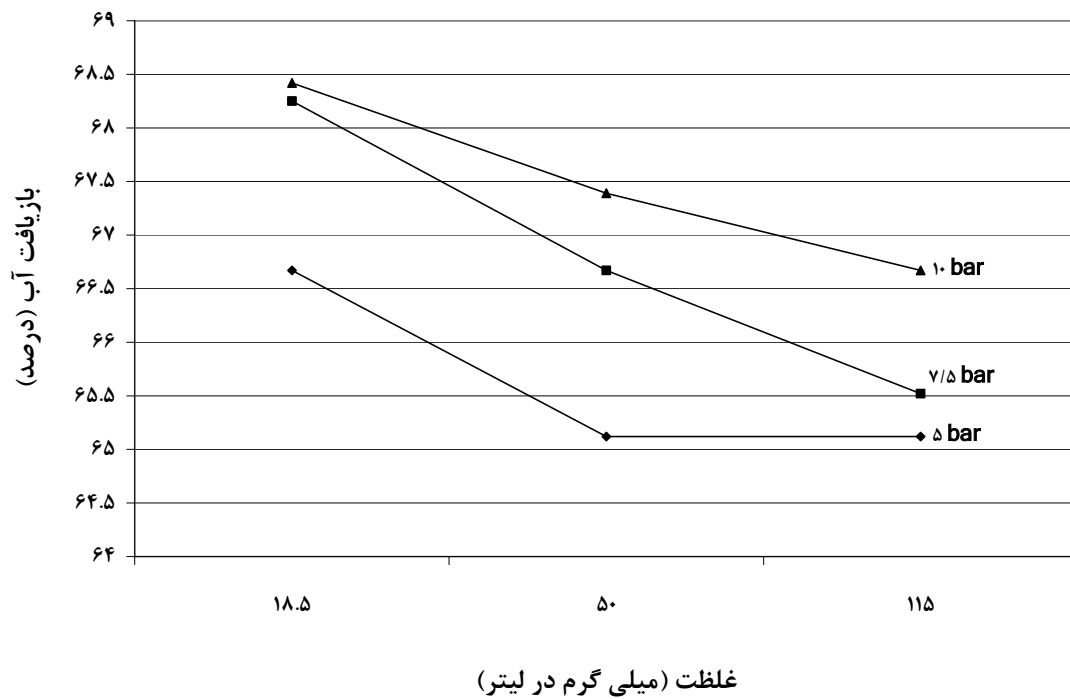
نمودار ۱- اثر فشار بر روی بازده حذف نیکل



نمودار ۲- اثر فشار بر روی بازده بازیافت آب



نمودار ۳- اثر غلظت نیکل در فاضلاب ورودی بر روی بازده حذف نیکل



نمودار ۴- اثر غلظت نیکل در فاضلاب ورودی بر روی بازیافت آب

نتیجه گیری

در این تحقیق بازده حذف نیکل دو ظرفیتی از فاضلاب صنایع آبکاری توسط سیستم غشا (RO) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. میانگین بازده حذف نمک و میزان بازیافت آب به ترتیب ۹۷/۵٪ و ۶۵٪ در تمام آزمایش‌ها به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش غلظت نیکل در فاضلاب ورودی بازده حذف کاهش می‌یابد ولی با افزایش فشار کار بازده حذف افزایش می‌یابد. کاهش بازده بازیافت آب توسط سیستم، با افزایش غلظت فاضلاب ورودی و یا کاهش فشار کار می‌تواند نتیجه گرفتگی غشا و یا پلاریزاسیون غلظتی در غشا باشد. با توجه به سابقه تحقیق نتایج نشان می‌دهد که توان حذف در این روش از روش‌های تعویض یونی و ترسیب بیشتر است. مشاهده می‌شود در یک غلظت معین عامل فشار یک عامل تعیین کننده و بسیار مهم در نرخ بازیافت آب و درصد حذف نیکل می‌باشد.

منابع

- Hideyuki Katsumata, Satoshi Kaneco, Kentaro Inomata, Kumiko Itoh, Kunihiro Funasaka, Kazuaki Masuyama, Tohru Suzuki, Kiyohisa Ohta, Removal of heavy metals in rinsing wastewater from plating factory by adsorption with economical viable materials, *Journal of Environmental Management*, 69, (2003), 187–191.
- Gotoda, T., 1992. Kikinzoku Mekki. Maki Shoten, Tokyo, Japan (in Japanese).
- A.K. Meena, G.K. Mishra, P.K. Rai, C. Rajagopal, P.N. Nagar, Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent, *J. Hazard. Mater.* 122, (2005), 161–170.
- M. Rio, A.V. Parwate, A.G. Bhole, Removal of Cr⁶⁺ and Ni²⁺ from aqueous solution using bagasse and fly ash, *Waste Manage.*, 22, (2002), 821–830.
- V.K. Gupta, C.K. Jain, I. Ali, M. Sharma, V.K. Saini, Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash-a sugar industry waste, *J. Colloid Interface Sci.*, 271, (2), (2003), 321–328.
- E. Remoudaki, A. Hatzikioseyan, K. Tsezos, M. Tsezos, The mechanism of metals precipitation by biologically generated alkalinity in biofilm reactors, *Water Res.*, 37 (6), (2003), 3843–3854.
- G. Zhao, M. Li, Z. Hu, H. Hu, Dissociation and removal of complex chromium ions containing in dye wastewaters, *Sep. Purif. Technol.*, 43 (3), (2005), 227–232.
- P.X. Sheng, Y.P. Ting, J.P. Chen, L. Hong, Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms, *J. Colloid Interface Sci.*, 275 (2004), 131–141.
- V. Patmavathy, P. Vasudevan, S.C. Dhingra, Biosorption of nickel(II) ions on Baker's yeast, *Process Biochem.*, 38 (10), (2003), 1389–1395.
- H. Hasar, Adsorption of nickel(II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk, *J. Hazard. Mater.*, B97, (2003), 49–57.
- I. Villaescusa, N. Fiol, M. Martinez, N. Miralles, J. Poch, J. Serarols, Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes, *Water Res.*, 38 (4), (2004), 992–1002.

16. Hani Abu Qdaisa, Hassan Moussab, Removal of heavy metals from wastewater by membrane processes: a comparative study, *Desalination*, 164, (2004), 105-110.
17. D. Paul and S .K. Sikdar, *Clean Products Proc.*, 1, (1998), 39-48.
18. J. Agustin Suarez and J.M. Veza, *Desalination*, 127, (2000), 47-58.
19. Jian-Jun Qin, Maung-Nyunt Wai, Maung-Htun Oo, Fook-Sin Wong, A feasibility study on the treatment and recycling of a wastewater from metal plating, *Journal of Membrane Science*, 208, (2002), 213–221.
20. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed. APHA, Washington, DC. 1992.
21. M.C. Porter, *Handbook of Industrial Membrane Technology*, Noyes Publications, N J, 1990.
12. Y.C. Sharma, G. Prasad, D.C. Rupainwar, Removal of Ni(II) from aqueous solutions by sorption, *Int. J. Environ. Studies*, 37, (1991), 183–191.
13. G. Yan, T. Viraraghavan, Heavy metal removal in a biosorption column by immobilized *M. Rouxii* biomass, *Bioresour. Technol.*, 78, (2001), 243–249.
14. Ubeyde Ipek, Removal of Ni(II) and Zn(II) from an aqueous solution by reverse osmosis, *Desalination*, 174, (2005), 161-169
15. A. Papadopoulos, D. Fatta, K. Parperis, A. Mentzis, K.-J. Haralambous, M. Loizidou, 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, (2004), 181–188