

## استفاده از تکنولوژی فیبرهای مو بین مشبک و زئولیت در

### جداسازی یون های فلزی از پساب های صنعتی ایران

بهر روز میثمی

استادیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مهدی طاهری

استاد گروه مهندسی متالورژی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمدرضا رسائی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۹/۱۱/۲، تاریخ تصویب ۸۱/۲/۲۸)

### چکیده

یکی از روشهای موثر در جداسازی فلات آلاینده از پساب صنایع مختلف استفاده از فیبرهای موئین مشبک<sup>۱</sup> میباشد. در فرآیندهای متداول جداسازی یونهای فلزی موجود در پسابهای صنعتی توسط فیبرهای مشبک، از حلالهای آلی<sup>۲</sup> به همراه استخراج کننده های شیمیایی<sup>۳</sup> و یا از پلیمرهای محلول در آب<sup>۴</sup> بهره گرفته می شود. با توجه به قابلیت های بعضی از انواع زئولیتها در جذب یونهای فلزات سنگین و مزاحم، روش جدیدی از ترکیب تکنولوژی فیبرهای موئین مشبک و زئولیت های معدنی در این بررسی مورد استفاده قرار گرفت. زئولیت های مزبور، یونهای فلزی عبور کرده از فیبرهای موئین را به خود جذب کرده و به این ترتیب دیگر نیازی به استفاده از استخراج کننده های پیچیده شیمیایی گران قیمت و کم یاب نمی باشد. فیبرهای موئین به کار گرفته در این بررسی از جنس پلی سولفون و در محدوده اولترافیلتراسیون و زئولیتهای بکار رفته از نوع کلینوپتیلولایت<sup>۵</sup> بودند. تأثیر وجود

زئولیت در فاز دریافت کننده بعلت حفظ پتانسیل شیمیایی جداسازی در افزایش راندمان و سرعت جداسازی یونهای فلزی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشها، به منظور جداسازی کاتیون نیکل از پساب مصنوعی انجام گرفته و تأثیر شرایط مختلف بر راندمان جداسازی نیکل از پساب مطالعه گردید. نتایج بدست آمده نشان می دهد که افزایش غلظت اولیه نیکل در پساب تأثیر چندانی بر درصد جداسازی ندارد، در حالیکه شار نیکل نفوذی به داخل فیبرهای موئین، میزان جداسازی کاتیون های نیکل و درصد جداسازی آنها را در جد قابل توجهی افزایش می دهند.

**واژو های کلیدی:** فیبرهای موئین مشبک، زئولیت، پسابهای صنعتی، جداسازی یونهای فلزی

#### مقدمه

صنایع مختلف از قبیل صنایع نساجی،

یکی از ویژگی های مهم فاضلاب های صنعتی چوب و کاغذ، شیمیایی، کانی های غیر فلزی، پوشاک و چرم، تولید ماشین آلات و تجهیزات فلزی و... سالانه میلیون ها متر مکعب فاضلاب صنعتی تولید کرده و می باشد.

در آب های سطحی یا زیرزمینی تخلیه می کنند [۴-۱].

فرآیندهای متداول در جداسازی یون های فلزی

پساب های صنعتی مانند روش رسوبی، تعویض یونی، اسمز معکوس و امثالهم ضمن نیاز به تجهیزات گسترده و سرمایه گذاری قابل توجه، دارای راندمان نسبتاً پایینی بوده و به علاوه دفع مواد زاید

بسیاری از محلولهای آبی بکار رفته در استخراج فلزات به روش هیدرومتالورژی دارای یونهای فلزی می باشند بعضی از این فلزات بصورت کاتیون و بعضی دیگر بصورت آنیون در محلول وجود دارند. امروز اثر مخرب این مواد بر سلامتی انسان و آلوده کردن محیط زیست بخوبی محرز شده است.

۱- فیبرهای موئین، سطح تماس بسیار وسیعی را در واحد حجم دارا مس باشند این ویژگی سرعت استخراج یون ها را به مقدار قابل توجهی افزایش میدهد.

۲- امکان تصفیه و حذف یون ها از پساب تا غلظت های بسیار پایین میسر می باشد زیرا محدودیت های تعادل ترمودینامیکی به دلیل وجود غشاء حذف می شوند.

۳- در مقایسه با روشهای دیگر با توجه به کارایی سیستم، حجم تجهیزات و فضای مورد نیاز برای تصفیه پساب به مقدار قابل توجهی کمتر است.

۴- استفاده از این روش، در سیستم های پیوسته قابل اجرا بوده و به علت پایداری طولانی در طول زمان، مدت ها بدون هیچ افتی در عملکرد، به کار خود ادامه دهد.

۵- قابلیت کنترل هر یک از فازها بطور جداگانه به سادگی و مستقل از یکدیگر وجود دارد.

۶- در این سیستم، فاز خوراک عملاً" مستقل از فاز دریافت کننده یونها بوده و بدون تماس با آن عمل می کند.

در روشهای جاری استفاده از فیبرهای موئین، جداسازی یون های فلزی به دو صورت امکان پذیر است:

حاصله از آنها نیز مشکل دیگری را پیش می آورد. یکی از روش های جدید و مؤثر در جداسازی یون ها فلزی از محلول های آبی، استفاده از غشاءهای فیبرهای موئین مشبک و مواد استخراج کننده می باشد. Lamp و همکاران [۵]، تکنولوژی فیبرهای موئین را برای جدا کردن کاتیونهای  $Na^+$  و  $K^+$  از محلولهای آبی مورد استفاده قرار داده اند همچنین پژوهشگران دیگر [۶-۷] روش استخراج حلال را در فیبرهای موئین برای جداسازی فلزات سنگین سمی نظیر روی، مس، کروم، نیکل، کادمیوم و جیوه از پسابهای صنعتی بکار برده و توانسته اند با استفاده از این روش درصد آلاینده ها را تا حد استانداردهای زیست محیطی کاهش دهند. Zhi-Fayang و همکاران [۸] سه دسته جداگانه از فیبرهای موئین را برای استخراج همزمان فلزات مس و روی بصورت کاتیون و فلز کروم بصورت آنیون بکار برده اند. برخی از مزایای تکنولوژی جداسازی یون های فلزی توسط فیبرهای موئین که زمینه توجه خاص به این تکنولوژی را در سال های اخیر فراهم کرده اند، به شرح زیر می باشند:

۱- از یک حلال آلی به عنوان دریافت کننده آلی استفاده مس گردد که حاوی استخراج کننده هـ کـای ویژه ای می باشند. این استخراج کننده ها مانند حامل هایی<sup>۶</sup> هستند که یون های فلزی را از فاضلاب دریافت کرده و آنها را به یک فاز آبی ثانویه که در یک دسته جداگانه از فیبرهای موئین جریان دارد، منتقل می کنند.

۲- از یک پلیمر محلول در آب به عنوان فاز دریافت کننده استفاده می شود و یون های فلزی پس از نفوذ از منافذ فیبرهای موئین و رسیدن به فاز دریافت کننده، با پلیمر موجود تشکیل کمپلکس داده و قادر به بازگشت به فاضلاب نخواهند بود.

در شکل (۱) شمای کلی روش جدا سازی به کمک استخراج حلال در فیبرهای موئین نشان داده شده است:

شکل ۱: روش کلی استخراج یون های فلزی با حلالی آلی توسط دو دسته جداگانه از فیبرهای موئین [۵].

در این روش، از دو دسته جداگانه فیبر موئین استفاده شده است که در یکی فاز آبی خوراک و در دیگری فاز آبی دریافت کننده جریان دارد و مجموعه فیبرهای موئین در یک فاز آلی غوطه ور می باشند. در این آزمایش فیبرهای موئین به کار رفته، معمولاً از نوع میکروفیلتراسیون و آبگریز<sup>۷</sup> و از جنس پلی پروپیلن، بوده است. در این روش، فاز آلی با عبور از درون منافذ میکرونی فیبرهای موئین جدار داخلی

یون فلزی، رفتار متفاوتی را از خود نشان می دهند. بنابراین برای جداسازی هر یون، باید از استخراج کننده فعال نسبت به همان یون استفاده کرد. مثلاً<sup>۵</sup> برای جداسازی کانیون های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی از ماکرومولکول هایی تحت عنوان (( کرون اترها ))<sup>۵</sup> به عنوان استخراج کننده استفاده شده است. [۵] همچنین برای جداسازی کاتیون مس، از استخراج کننده ای با نام

تجاری 84 LIX

5 nonylacetophenone )

oxime anti- 2- hydroxy ( که ۵ تا ۲۰ درصد حجمی در نرمال هپتان رقیق شده است، استفاده می شود [۵] و برای استخراج جیوه و کروم شش ظرفیتی  $KCr_2O_7$  استخراج کننده  $(tri- n - octylamine)$  TOA که در زایلین به اندازه ۳۰ درصد حجمی رقیق شده باشد، به کار می رود [۶-۸].

برای جداسازی یون های فلزی، به جای استفاده از حلال آلی و استخراج کننده های شیمیایی که در بالا به آنها اشاره شد، می توان از پلیمرهای محلول در آب به عنوان

فیبرها را می پوشاند و در نتیجه سطح تماس فاز آلی و فازهای آبی، در جدار داخلی فیبرهای موئین می باشد. در این مجموعه یون های فلزی در محل فصل مشترک، از یک فاز جدا شده و به کمک حامل ها به فاز دیگر منتقل می شوند. جداسازی یون های فلزی با تشکیل کمپلکس های شیمیایی بازگشت پذیر بین یون ها و عوامل استخراج کننده موجود در فاز آلی، انجام می شود.

استخراج کننده ها با یون های فلزی موجود در پساب از طریق تبادل پروتون ( $H^+$ ) کمپلکس شیمیایی تشکیل داده و آنها را از پساب، جدا می کنند. سپس کمپلکس ها توسط حلال آلی منتقل شده و به دسته دوم فیبرهای موئین که محلول آبی دریافت کننده در آن جریان دارد، می رسند و در آنجا با تبادل پروتون در جهت عکس مرحله تشکیل، کمپلکس موجود شکسته شده و یون فلزی به فاز دریافت کننده انتقال می یابد [۵].

قابلیت استخراج کننده ها برای جذب انواع مختلف یون های فلزی یکسان نبوده و بسته به نوع

در استفاده از تکنولوژی فیبرهای موئین عوامل متعددی بر سرعت انتقال جرم و جداسازی یون های فلزی از پساب تأثیر دارند که با بررسی این عوامل، می توان شرایط بهینه عملکرد سیستم را مشخص کرد. در این مطالعه، ضمن طراحی یک سیستم مناسب جداسازی با استفاده از تکنولوژی فیبرهای موئین مشبک، تأثیر عوامل زیر در استخراج یونهای فلز نیکل از پساب مورد بررسی قرار گرفته اند:

۱ - سرعت جریان فازهای آبی درون فیبرهای موئین

۲ - سرعت بهم زدن فاز دریافت کننده

۳ - اثر استفاده از ژئولیت ها در فاز دریافت کننده

۴ - اثر غلظت اولیه نیکل در خوراک پساب

۵ - اثر مقدار ژئولیت در فاز دریافت کننده.

### بررسی آزمایشگاهی

سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در این بررسی به صورت شماتیک در شکل (۲) نشان داده شده است.

فاز دریافت کننده یون های نفوذ کرده از فیبرهای موئین، استفاده کرد.

شار<sup>۹</sup> (J) نیکل نفوذ کرده از غشاء متناسب به میزان نیروی محرکه اعمال شده (X) بوده و به شکل زیر بیان می شود:

$$(X) \text{ نیروی محرکه } \times (A) \text{ ضریب تناسب } = (J) \text{ شار}$$

در صورتی که نیروی محرکه اختلاف غلظت باشد. برای رابطه خطی فوق، قانون فیک<sup>۱۰</sup> رابطه شار جرمی یون های نفوذ کرده از غشاء را با اختلاف غلظت بیان می کند.

$$J_m = -D \frac{(\Delta C)_m}{S_m} \quad (1)$$

$$\left( \frac{\text{جرم یون نفوذ کرده}}{\text{مدت زمان فرآیند} \times \text{مساحت کل غشاء}} \right) = J_m$$

D = ضریب نفوذ مولکولی یون به درون غشاء

(DC)<sub>m</sub> = افت غلظت جزء حل شونده در غشاء

S<sub>m</sub> = ضخامت غشاء

های فلزی از پساب استفاده گردیده است. زئولیت های به کار رفته از نوع طبیعی و معدنی بوده و با نام کلینوپتیلولایت شناخته می شوند. این نوع زئولیت ها با کیفیت عالی و به مقدار فراوان در ایران یافت می شود. کاربرد این مواد از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و با توجه به خواص جذبی مطلوبی که دارند، در موارد متعددی، از این مواد در جداسازی یون های فلزی در برجهای جذب استفاده شده است [۱۲-۱۴].

فیبرهای موئین استفاده شده برای انجام این آزمایشات از جنس پلی سولفون و از نوع اولترافیلتراسیون (UF) با مشخصات زیر می باشند:

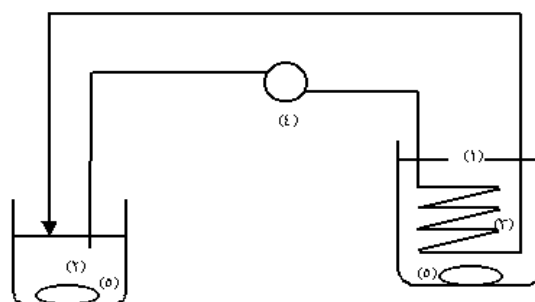
طول: ۳۰cm، قطر خارجی ۰/۸mm، قطر داخلی:

۰/۵mm و اندازه منافذ: ۱۰۰۰۰۰NMWC

می باشد. این نمونه ها از شرکت A/G Technology تهیه شده اند

### روش انجام آزمایشها

ابتدا ۵۰۰cc از فاز خوراک را در ظرف آزمایش ریخته و سپس توسط یک



شکل ۲: سیستم آزمایشگاهی به کار رفته برای جداسازی یون های فلزی با استفاده از فیبرهای موئین .

- ۱ - محلول آبی دریافت کننده
  - ۲ - محلول پساب که باید تصفیه شود.
  - ۳ - فیبرهای موئین با منافذ میکرونی
  - ۴ - پمپ پرستالتیک
  - ۵ - همزن مغناطیسی
- این سیستم به صورت ناپیوسته عمل کرده و فاز پساب از درون فیبرهای موئین غوطه ور در فاز دریافت کننده آنقدر عبور می مند تا غلظت یون های باقیمانده در آن به حد مجاز برسد.

با توجه به اینکه استفاده از ترکیبات پیچیده شیمیایی و یا پلیمری محلول در آب، برای تصفیه پسابها، هزینه بالایی داشته و دسترسی به آنها مشکل می باشد. سیستمی طراحی شد بکه در آن از زئولیت ها به عنوان استخراج کننده و دریافت کننده یون

شده و سپس با نمونه گیری پیوسته از فاز خوراک در فواصل زمانی معین، میزان جداسازی در هر زمان تعیین میگردید. این امر از طریق آنالیز نمونه های گرفته شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر نوری صورت می گرفت. سپس در مرحله بعدی، با استفاده از فاز خوراک جدید، میزان جداسازی در دبی  $12 \text{ ml/min}$  به روش ذکر شده در فوق، تعیین گردید. به همین ترتیب، آزمایشهای دیگر به منظور بررسی عوامل مورد نظر بر راندمان و سرعت جداسازی، انجام گرفتند.

در هر آزمایش دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل AA-670 ساخت شرکت Shimatzu به منظور آنالیز نمونه ها استفاده گردیده تست. محدوده غلظت مجاز نیکل دستگاه جذب اتمی برابر  $(20-0.2 \text{ ppm})$  بوده است. نمونه های گرفته شده از پساب، توسط آب مقطر رقیق می شد تا در محدوده مورد نظر قرار گیرند. سپس با مقایسه میزان جذب تابش توسط نمونه ها با تابش جذب شده توسط محلول های استاندارد، غلظت نمونه ها تعیین گردیده اند.

پمپ پرستالتیک و به کمک لوله های پلاستیکی رابط، از درون یک دسته فیبر موئین عبور داده شد (مطابق شکل ۲).

فیبرهای موئین درون یک ظرف آزمایش جداگانه که قبلاً یک لیتر آب مقطر و مقدار کافی ژئولیت به عنوان فاز جاذب، در آن ریخته شده بود، غوطه ور بودند. به منظور یکنواخت کردن غلظت کاتیونهای منتقل شونده در فازهای خوراک و دریافت کننده دو همزن مغناطیسی در هر یک از ظروف، آزمایش قرار داده شد که در طول آزمایش، عمل اختلاط هر فاز را انجام می دادند. برای تعیین ظرفیت جذب ژئولیت ها، میزان جذب کاتیونها از یک محلول استاندارد، توسط مقدار مشخصی ژئولیت اندازه گیری کردند. مقدار جذب برابر  $8 \text{ mgr}$  کاتیون نیکل به ازای هر گرم ژئولیت معدنی از انواع کلینوپتیلولایت، بدست آمد. پمپ پرستالتیک به کار رفته دارای پیچ مدرج تنظیم ولتاژ بوده که توسط آن سرعت چرخش پمپ و در نتیجه دبی عبوری از آن تغییر می یافت.

به منظور بررسی تأثیر دبی عبوری پساب بر میزان جداسازی، ابتدا دبی عبوری فاز خوراک در  $6 \text{ ml/min}$  توسط پمپ تنظیم



نیکل با غلظت اولیه مورد نیاز برای هر آزمایش از محلول استاندارد ۱۰۰۰ ppm تهیه شده است. مدت زمان هر آزمایش ۲۵ ساعت بوده و میزان جداسازی نیکل از پساب، با آنالیز نمونه های گرفته شده در طول آزمایش تعیین گردیده است. نتایج حاصل از آزمایشات در جدول (۱) ارایه گردیده است.

برای تهیه پساب نیکل و نیز محلول های استاندارد جهت کالیبراسیون دستگاه جذب اتمی، از نمک نیترات نیکل استفاده شده است. برای این منظور، با انحلال ۳/۱۱۲ گرم نمک نیترات نیکل در یک لیتر آب مقطر، محلول استاندارد ppm ۱۰۰۰ تهیه شد و سپس با استفاده از آن، محلول های استاندارد یکتا ۱۰ میلی گرم بر لیتر (ppm) نیکل آماده گردید. پساب

جدول ۱: غلظت نیکل موجود در فاز خوراک در آزمایشات مختلف انجام شده، برحسب میلی گرم بر لیتر (ppm).

(آب مقطر) برابر ۴۰۰ rpm توسط همزن مغناطیسی و در دبی های ۶ ml/min و ۱۲ ml/min انجام شده است. در شکل (۳) تغییرات غلظت یون نیکل در فاز پساب در طول زمان عملیات نشان داده

تأثیر دبی عبوری پساب بر میزان جداسازی نیکل، بدون حضور زئولیت این آزمایشی در شرایط غلظت اولیه ثابت ۲۵۰ ppm برای کاتیون نیکل و سرعت همزدن ثابت فاز دریافت کننده

این آزمایشها نشان داده است که شار نیکل نفوذ کرده از فیبرها با افزایش غلظت اولیه نیکل در پساب، زیاد می شود و از مقدار  $1/473 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  برای غلظت اولیه  $100 \text{ ppm}$  به  $3/497 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  برای غلظت  $250 \text{ ppm}$  افزایش می یابد، ولی درصد کل جداسازی پس از ۲۵ ساعت، اختلاف چندانی نداشته و از  $63/08$  درصد برای غلظت اولیه  $100 \text{ ppm}$  به  $65/31$  درصد برای غلظت اولیه  $250 \text{ ppm}$  افزایش یافته است. نتایج حاصله در شکل (۴) نشان داده شده اند.

همانطور که در شکل (۴) مشخص است، افزایش غلظت اولیه نیکل در پساب، باعث افزایش نیروی محرکه جداسازی که همان اختلاف غلظت می باشد، شده و در نتیجه سرعت جداسازی را افزایش می دهد.

اثر همزدن فاز دریافت کننده بر راندمان جداسازی نیکل از پساب، بدون حضور

#### ژئولیت

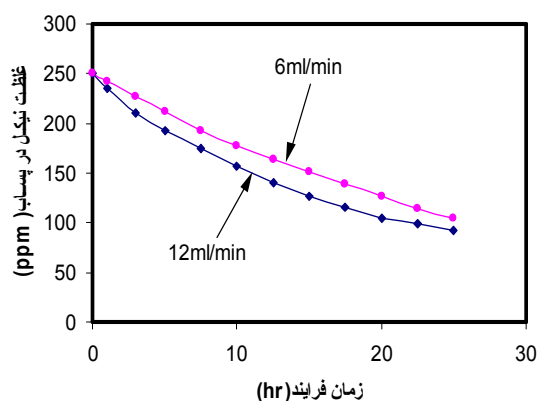
این آزمایشها، در شرایط یکسان از غلظت اولیه

شده است. ملاحظه می شود که میزان جداسازی نیکل پس از ۲۵ ساعت از  $58/17$  درصد به  $63/08$  درصد که نزدیک به شرایط تعادل است. افزایش یافته است. در حالت تعادل میزان جداسازی  $66/66$  درصد می باشد. با توجه به دو برابر بودن حجم فاز دریافت کننده نسبت به حجم فاز خوراک، در حالت تعادل که غلظت یونها در فاز خوراک به میزان اولیه کاهش می یابد که به این ترتیب میزان جداسازی تعادلی برابر  $66/66$  درصد به دست می آید. شار متوسط نیکل نفوذ کرده از غشاء برای دبی های  $6 \text{ ml/min}$  و  $12 \text{ ml/min}$  به ترتیب برابر  $3/232 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  و  $3/497 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  است.

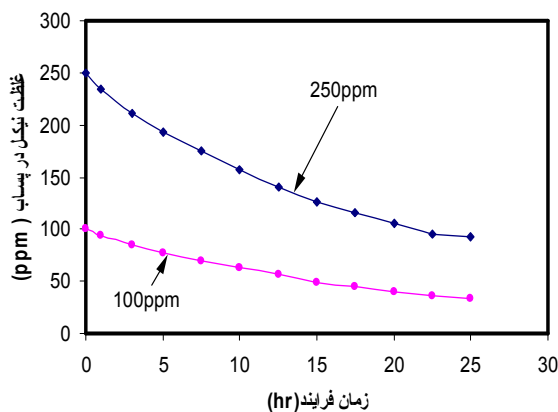
افزایش راندمان جداسازی با افزایش دبی در طول مدت زمان معین، می تواند باعث کاهش ضخامت لایه مرزی مجاور فیبرهای موئین باشد بکه باعث کاهش مقاومت در برابر نفوذ کاتیونها به داخل غشاء می گردد.

اثر غلظت اولیه بر میزان جداسازی نیکل

از پساب بدون حضور ژئولیت



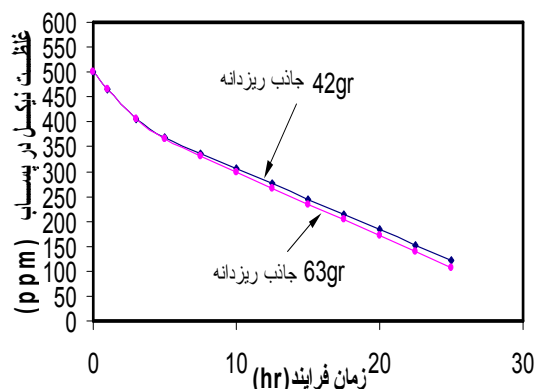
شکل ۳: اثر دبی بر میزان جداسازی نیکل از پساب بدون حضور جاذب و با سرعت همزن  $400 \text{ rpm}$  برای فاز دریافت کننده و غلظت اولیه  $250 \text{ ppm}$  از نیکل در پساب.



شکل ۴: اثر غلظت اولیه بر میزان جداسازی نیکل از پساب بدون حضور جاذب و با سرعت همزن  $400 \text{ rpm}$  برای فاز دریافت کننده و دبی  $12 \text{ ml/min}$  برای پساب.

نیکل در پساب ( $250 \text{ ppm}$ ) و دبی عبوری پساب از درون فیبرها ( $\text{ml/min}$ ) انجام گرفته اند. در یک سری از آزمایشها، فاز دریافت کننده با دور حدود  $400 \text{ rpm}$  توسط همزن مغناطیسی بهم زده شده و در دسته آزمایشها دیگر، فاز دریافت کننده، ساکن بوده است. نتایج حاصله در شکل (۵) نشان داده شده اند:

با هم زدن فاز دریافت کننده. درصد جداسازی از  $38/64$  درصد برای حالت ساکن به  $63/08$  درصد برای حالت همزدن پیوسته فاز دریافت کننده. افزایش نشان می دهد. علت این امر، تبدیل مکانیزم نفوذ کاتیون ها از غشاء از نفوذ مولکولی به نفوذ توده ای می باشد که باعث همگن شدن سریع غلظت نیکل در سراسر فاز دریافت کننده شده و از تجمع کاتیون های نیکل در نزدیکی فیبرها و پدیده قطبی شدن غلظت جلوگیری می کند. شار متوسط نیکل نفوذ کرده برابر  $10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$   $2/147 \times$  برای حالت ساکن و برابر  $3/497 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  برای حالتی که به همزدن فاز دریافت کننده با سرعت  $400 \text{ rpm}$  انجام گرفته است، میباشد.



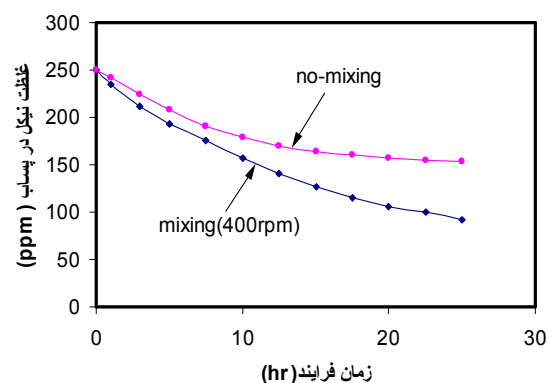
شکل ۶: اثر غلظت اولیه بر میزان جداسازی نیکل از پساب و با سرعت همزن  $400 \text{ rpm}$  برای فاز دریافت کننده و دبی  $12 \text{ ml/min}$  برای پساب.

نتایج حاصله نشان می دهند که در این سیستم، درصد جداسازی نیکل از پساب، برای خوراک با غلظت  $100 \text{ ppm}$  نیکل، از  $65/31$  درصد برای حالت بدون زئولیت به  $83/48$  درصد با استفاده از زئولیت رسیده است.

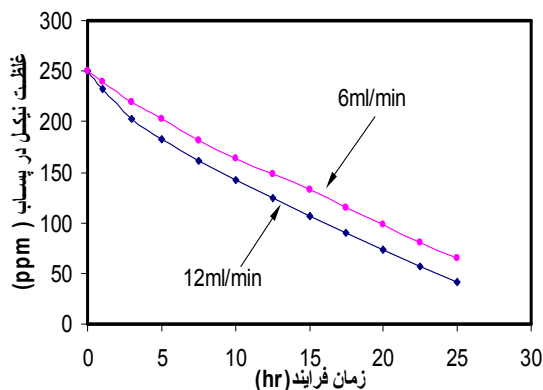
در این آزمایش شار متوسط نیکل نفوذ کرده از  $1/473 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  به  $1/855 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  افزایش یافته است. مقادیر فوق برای خوراک با غلظت  $250 \text{ ppm}$  به ترتیب  $63/08$  درصد و  $83/22$  درصد بوده است.

اثر غلظت اولیه نیکل در خوراک پساب بر راندمان جداسازی با حضور زئولیت این آزمایشها با دبی عبوری ثابت  $12 \text{ ml/min}$  برای فاز پساب و سرعت همزدن یکسان  $400 \text{ rpm}$  برای

فاز دریافت کننده انجام شد. میزان زئولیت مورد نیاز برای تصفیه  $500 \text{ CC}$  از خوراکهای  $100 \text{ ppm}$ ،  $250 \text{ ppm}$  و  $500 \text{ ppm}$  نیکل به ترتیب برابر  $10$  گرم،  $21$  گرم و  $42$  گرم بود. نتایج به دست آمده از این آزمایش در شکل (۶) ارایه شده است.



شکل ۵: اثر همزدن فاز دریافت کننده بر میزان جداسازی نیکل از پساب بدون حضور جاذب و با غلظت اولیه  $250 \text{ ppm}$  نیکل در پساب و دبی  $12 \text{ ml/min}$  برای پساب.



شکل ۷: اثر دبی بر میزان جداسازی نیکل از پساب و حضور ۲۱ gr جاذب و با سرعت همزن rpm ۴۰۰ برای فاز دریافت کننده و غلظت اولیه ۲۵۰ ppm از نیکل در پساب.

اثر مقدار زئولیت مصرفی بر راندمان جداسازی نیکل از پساب این آزمایشها در دو غلظت اولیه ۲۵۰ ppm و

۵۰۰ ppm از فلز نیکل در پساب انجام گرفته است. در غلظت ۲۵۰ ppm دو آزمایش با ۲۱ گرم زئولیت و ۳۲ گرم زئولیت (یک و نیم برابر) انجام شد. در غلظت ۵۰۰ ppm نیز دو آزمایش با ۴۲ گرم و ۶۳ گرم زئولیت ریزدانه انجام

شار نیکل نفوذ کرده نیز در این حالت از  $3/497 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  به  $4/623 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  افزایش می یابد. در آزمایش انجام شده با خوراک ppm ۷۵ / ۵۰۰ درصد و شار متوسط نیکل نفوذ کرده برابر  $8/403 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  است.

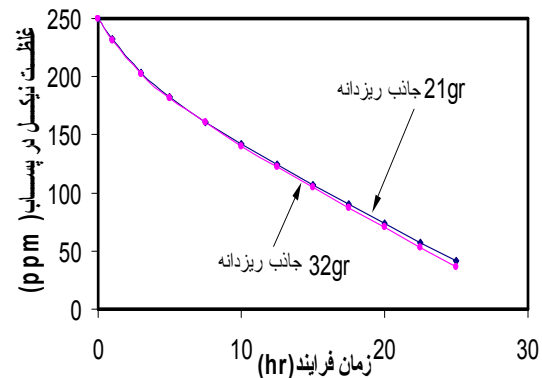
اثر دبی بر میزان جداسازی نیکل از پساب با حضور زئولیت این آزمایشها برای غلظت اولیه ۲۵۰ ppm و ۲۱

گرم زئولیت به مدت ۲۵ ساعت انجام شده است. نتایج حاصله نشان می دهند که با افزایش دبی پساب از ۶ ml/min به ۱۲ ml/min درصد جداسازی نیکل از ۷۳/۸۷ درصد به ۸۳/۲۲ درصد و شار متوسط نیکل نفوذ کرده  $4/048 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  به  $4/623 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  رسیده است. شکل (۷) نتایج حاصله را نشان می دهد:

است. در مورد غلظت اولیه ۵۰۰ ppm ، درصد جداسازی برای ۴۲ گرم زئولیت برابر ۶۳ / ۷۵ درصد و برای ۶۳ گرم زئولیت برابر ۷۸/۸ درصد بوده است همچنین شار متوسط نیکل نفوذ کرده در این حالت به ترتیب  $8/403 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  و  $8/757 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  می باشد.

با افزایش مقدار زئولیت در فاز دریافت کننده، بیش از میزان استوکیومتری، سرعت جداسازی برای یک غلظت اولیه معین از پساب، نیز کمی افزایش می یابد. این امر بعلت آن است که شار نفوذی نیکل به داخل غشاء با افزایش حجم زئولیت در فاز دریافت کننده ، افزایش یافته است. این اثر با افزایش غلظت نیکل در فاز خوراک، بیشتر می شود، مثلاً با افزایش میزان زئولیت از ۲۱ gr به ۳۲ gr در بررسی غلظت اولیه ۲۵۰ ppm ، شار متوسط نفوذ نیکل به داخل غشاء از  $4/623 \times 10^{-2} \text{ mgrNi}^{++} / \text{cm}^2 \cdot \text{hr}$  به  $4/75 \times 10^{-2} \text{ mgrNi}^{++} / \text{cm}^2 \cdot \text{hr}$  (معادل ۲/۷۸٪) افزایش یافته است.

گرفت. نتایج مربوطه در شکل های (۸) و (۹) نشان داده شده اند.



شکل ۸: اثر مقدار جاذب در فاز دریافت کننده (سرعت اختلاط ۴۰۰ rpm) بر میزان جداسازی نیکل از پساب و باغلظت اولیه ۲۵۰ ppm نیکل و دبی ۱۲ ml/min برای پساب .

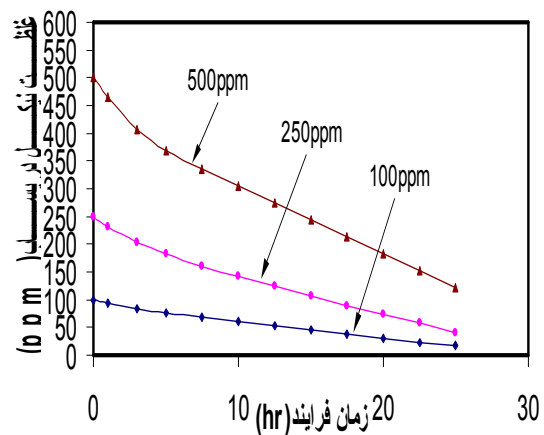
نتایج این آزمایشها نشان می دهد که در غلظت اولیه ۲۵۰ ppm ، راندمان جداسازی نیکل از ۸۳/۲۲ درصد برای ۲۱ گرم زئولیت به ۸۵/۵ درصد برای ۳۲ گرم زئولیت و شار متوسط نیکل نفوذ کرده از  $4/623 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  به  $4/75 \times 10^{-2} \text{ mgr/cm}^2 \cdot \text{hr}$  \* افزایش یافته

۲ - افزایش غلظت اولیه نیکل در پساب، بعثت بالا بودن نیروی محرکه جداسازی، که همان اختلاف غلظت می باشد، سرعت جداسازی را افزایش می دهد. این نتیجه برای هر دو مورد، یعنی در حالت استفاده از زئولیت و یا عدم استفاده از آن صادق می باشد.

۳ - در صورت استفاده از همزن، افزایش سرعت اختلاط در فاز دریافت کننده، باعث افزایش سرعت جداسازی نیکل از پساب می گردد. در این حالت، اختلاط فاز دریافت کننده باعث افزایش سرعت انتشار کاتیونها در این فاز می شود.

۴ - استفاده از زئولیت در فاز دریافت کننده به میزان استوکيومتری (۲۱ گرم برای غلظت اولیه ۲۵۰ ppm) درصد جداسازی نیکل را در زمان ۲۵ ساعت، از ۶۳/۰۸٪ به ۸۳/۲۲٪ افزایش داده است.

در سایر بررسی هایی که توسط محققین به منظور جداسازی یونهای فازی از پسابهای صنعتی انجام گرفته است، شار عبور یون ها از فیبرهای موئین در محدوده  $10^{-3}$  تا  $10^{-8}$   $\text{mgrNi}^{++} / \text{cm}^2 \cdot \text{hr}$  بدست آمده است [۵-۱۱]، با توجه به اینکه در آزمایشهای انجام شده، شار نیکل نفوذی از



در حالیکه در غلظت اولیه ۵۰۰ ppm نیکل، افزایش میزان زئولیت از ۴۲ gr به ۶۳ gr، شار نفوذ نیکل را از  $8/403 \times 10^{-2} \text{ mgrNi}^{++} / \text{cm}^2 \cdot \text{hr}$  به  $8/757 \times 10^{-2} \text{ mgrNi}^{++} / \text{cm}^2 \cdot \text{hr}$  (معادل ۴/۲۱٪) افزایش می دهد.

شکل ۹: اثر مقدار جاذب در فاز دریافت کننده (سرعت اختلاط ۴۰۰ rpm) بر میزان جداسازی نیکل از پساب و باغلظت اولیه ۵۰۰ ppm نیکل و دبی ۱۲ ml/min برای پساب.

### نتیجه گیری

بررسی نتایج بدست آمده نشان می دهند که:

- ۱ - با افزایش دبی پساب از ۶ ml/min به ۱۲ ml/min درصد جداسازی نیکل از پساب پس از ۲۵ ساعت انجام آزمایش، افزایش می یابد،

مختلف در فاز دریافت کننده بر بازده جداسازی پیشنهاد می گردد.

### تقدیر و تشکر

این کار پژوهشی در قالب طرح ملی تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشهای علمی کشور انجام گرفته است که بدینوسیله از تأمین امکانات و بودجه مورد نیاز این طرح، صمیمانه سپاسگزاری می شود.

فیبرهای موئین در محدوده  $10^{-2} \frac{\text{grNi}^{+2}}{\text{cm}^2 \cdot \text{sec}}$  قرار دارد، لذا ملاحظه میشود این روش جداسازی روشی بسیار مناسب و کارا بوده است.

برای پروژه های آینده در این زمینه بررسی تأثیر عواملی مانند نوع، جنس و تعداد فیبرهای موئین مشبک، نوع یونهای موجود در پساب و نیز استفاده از زئولیت های

### مراجع

- ۱- ترابیان، ع. و فردوسی، س. "مطالعه و تهیه استانداردهای تصفیه فاضلاب های صنعتی". موسسه مطالعات محیط زیست، (۱۳۷۳).
- ۲- وزارت نیرو، طرح جامع آب، آب مورد نیاز صنعت و معدن، (۱۳۷۱).
- ۳- انجمن نفت ایران، خلاصه مقالات سمینار مشکلات دفع و تصفیه فاضلاب های صنعتی، آذر، (۱۳۶۹).
- ۴- وزارت صنایع، مجموعه مقالات اولین سمینار فاضلابهای صنعتی، شهریور، (۱۳۶۳).
- 5 – Lamb, J. D. Bruening, R. L. and Linsley, D. A. (1990). *Separation Science and Technolohy*. Vol. 25, No. 3-15. PP.1407-1419.
- 6 – Guha, A. K., Yun, C. H. and Basu, R. (1994). *AICHE Journal*. Vol. 40.No.7. PP. 1223-1237.
- 7 – Yun, C. H., Ravi prasad. and Srikar, K. K. (1993). *Ind. Eng. CHEM. Res.*, Vol. 32. PP. 1186-1195.



- 8 - Fayang, Z., A. K. Guha, and Sirkar, K. K. (1996). *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 35. No.4. PP. 4212-4220.
- 9 – Tomida, T. (1994). “Tatsuya inoue and seizo masuda.” *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 33, No. 4, PP. 904-906.
- 10 – Tomida, T. (1998). “Masahiro katoh and tadauki minamino.” *Separation Science and Technology*. Vol. 33, No. 15. PP. 2281-2293.
- 11 – Tomida, T., Inoue, T., Fujita, K. and Msauda. S. (1994). *Chem. Lett.* P787.
- 12 – Maliou, E., Malamis, M. and Kakellarides, P. O. (1992). *Wat. Sei. Tech.*, Vol. 25, No. 1, PP. 133-138.
- 13 – Barrer, R. M. and Townsend, R. P. (1976). *J.Chem. Soc.Faraday Trans.*, Vol. 61. PP.661-673.
- 14 - Carmine Cilella. (1998). “Alessio langella and michole pansini.” *Separation science and technology*. Vol. 33, No. 4. PP 476-481.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Hollow Fiber
- 2 – Liquid Membrane
- 3 – Extractant
- 4 – Water Soluble Chelating Polymer
- 5 – Clinoptilolite
- 6 – Carreier
- 7 – Hydro Phobic
- 8 – Crown Ether
- 9 – Flux

10 – Fick

11 – Nominal Molecular Weight Cut-Off