

# ارزیابی کارایی زئولیت‌های طبیعی و رزین‌های مصنوعی در حذف یونهای نیکل، روی و مس از فاضلابهای صنعتی

دکتر حسین موحدیان عطار<sup>۱</sup>، مهندس افشین ابراهیمی

## چکیده مقاله

**مقدمه.** امروزه، خطرات بالقوه وجود فلزات سنگین سمی در محیط زیست برای سلامتی بشر بخوبی شناخته شده است. فاضلابهای صنعتی، حاوی غلظتهای بالایی از فلزات سنگین دارای منشاءهای گوناگونی چون صنایع آبکاری، صنایع دباغی و... می‌باشند. روشهای گوناگونی برای تصفیه این فاضلابها وجود دارد. در این مطالعه، کارایی حذف فلزات سنگین موجود در پساب فاضلابهای صنعتی به روش تبادل یونی، با استفاده از زئولیت‌های طبیعی ارزان قیمت در مقایسه با رزینهای مصنوعی مورد بررسی علمی قرار گرفته است.

**روشها.** در این مطالعه، آزمایشها به روش ناپیوسته و با استفاده از محلولهای سینتتیک حاوی مخلوطی از یونهای مس، روی و نیکل انجام شده و اثر پارامترهای مربوط از قبیل غلظت یونهای فلزی مذکور در گستره غلظت ۲۵ تا ۲۵۰ میلی گرم در لیتر، مقدار مبادله کننده‌های یونی در گستره ۵۰ - ۲۰ گرم زئولیت طبیعی و ۱۵ - ۵ گرم رزین مصنوعی در لیتر محلول، PH در گستره ۷ - ۳، زمانهای تماس در محدوده ۳/۵ - ۱ ساعت و اندازه دانه بندی زئولیت طبیعی در سه گستره (بزرگتر از ۱۱۸۰، بین ۱۱۸۰ - ۴۲۰ و بین ۴۲۰ - ۲۹۷ میکرون) آزمایش گردید.

**نتایج.** غلظت‌ها اولیه متفاوت فلزات، بر کارایی رزینهای مصنوعی تأثیر کمی داشته، لیکن غلظت مناسب برای زئولیت طبیعی کمتر از ۲۵ میلی گرم در لیتر مخلوط یونهای فلزی می‌باشد. با افزایش مقدار مبادله کننده‌های یونی، راندمان حذف افزایش یافت. PHهای اولیه متفاوت بر کارایی حذف رزینهای مصنوعی تأثیر کمی داشته، لیکن گستره مناسب PH برای زئولیت طبیعی ۷ - ۴ است. افزایش زمانهای تماس، به طور کلی بر کارایی رزینهای مصنوعی تأثیر زیادی نداشته، لیکن باعث افزایش کارایی حذف زئولیت‌های طبیعی گردید. با کاهش اندازه دانه‌های زئولیت طبیعی، راندمان حذف افزایش یافت.

**بحث.** اطلاعات حاصله از این تحقیق در مجموع مشخص می‌سازند، در صورتیکه غلظت‌های زیاد یونهای فلزی موجود در فاضلابهای صنعتی را ابتدا به وسیله فرایند تصفیه مقدماتی و شیمیایی از طریق تنظیم PH و ترسیب شیمیایی یونهای فلزی به غلظتهای حداقل کاهش داد، می‌توان این گونه فاضلابها را با سیستم تبادل یونی و استفاده از زئولیت‌های طبیعی ارزان قیمت به جای رزینهای مصنوعی که ارزیابی بالایی بالاخص برای کشور ما دارند، تا مقادیر مجاز تخلیه، تصفیه نمود.

● واژه‌های کلیدی. زئولیت‌های طبیعی، رزینهای مصنوعی، فاضلابهای صنعتی، فلزات سنگین

## مقدمه

ارتقاء سطح صنعتی شدن جوامع و افزایش شهرنشینی، باعث بروز مشکلات جدید و متفاوت اکولوژیکی گردیده است و در نتیجه حفاظت از محیط زیست روز به روز، بیشتر اهمیت می‌یابد. آنها به ویژه به میزان بسیار زیادی در معرض خطر آلودگی ناشی از دفع پسابهای صنعتی به رودخانه‌ها و آبهای سطحی و زیرزمینی و همینطور تخلیه آنها به شبکه‌های جمع آوری فاضلاب شهری می‌باشند؛ و این پسابها با دارا بودن یونهای فلزات سنگین از قبیل مس، روی، کادمیوم و سرب، به دلیل سمیت بالایشان مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود می‌آورند (۱).

وجود یونهای فلزات سنگین در آب به دلیل اثرات سمی شناخته شده آنها بر روی چرخه حیات و از طریق تأثیر بر گیاهان و حیوانات، پدید آورنده مشکلات زیست محیطی متعددی برای بشر می‌باشد. حذف و کنترل آلودگی فلزات سنگین، به دلیل متعدد و متفاوت بودن منابع آلوده کننده بسیار مشکل است، به گونه‌ای که هر منبع آلوده کننده، فرایند تصفیه‌ای خاص خود را می‌طلبد. تاکنون روشهای بسیاری برای انجام عمل تصفیه این فاضلابها ابداع و مورد استفاده واقع شده‌اند که از آن جمله می‌توان به فرایند ترسیب شیمیایی، اسمز معکوس و استفاده از مبادله کننده‌های یونی آلی اشاره کرد که هر کدام دارای معایب خاص خود می‌باشند (۲ و ۳).

در سالهای اخیر، فرایندهای دیگری که مزایای ویژه‌ای دارند، توسعه یافته‌اند. در این میان استفاده از ترکیباتی که دارای خصوصیات جذب سطحی و تبادل یونی بوده و از مواد طبیعی مشتق شده باشند، مطرح می‌گردد (۱) در این میان مبادله کننده‌های معدنی، زیولینها و مخصوصاً انواع طبیعی آنها مانند زئولینهای طبیعی کلی نوپتلولایت، شاپازیت و غیره، به دلایلی چون انتخاب‌گری بالا نسبت به کایتونهای مختلف فلزات سنگین، پایداری شیمیایی، فیزیکی و حرارتی مطلوب، قیمت بسیار ارزان و دسترسی آسان و انحصاری نبودن آنها (برعکس مبادله کننده‌های رزینی مصنوعی که تکنولوژی تولید آنها منحصر به چند کمپانی و کشور بزرگ صنعتی است)، ترجیح داده می‌شوند. اکتشاف ذخایر و منابع غنی توفهای زیولیتی در اقصی نقاط دنیا و به عنوان مثال در کشورهای نظیر آمریکا، ژاپن، ایتالیا، کوبا، بلغارستان، روسیه، مجارستان، آفریقای جنوبی، یونان و ایران باعث تمایل بیش از پیش محققین علوم مختلف به بررسی امکان کاربرد و جایگزینی این

آماده سازی نمونه های زئولیت طبیعی: به منظور دستیابی به اندازه ذرات مورد نظر، زئولیت های طبیعی تهیه شده را با استفاده از الکهای آزمایشگاهی بامش های مختلف، غربال نموده تا در سه دانه بندی (بزرگتر از ۱۱۸۰، بین ۴۲۰ تا ۱۱۸۰ و بین ۲۹۷ تا ۴۲۰ میکرومتر) قرار گیرند. از دانه بندی ۱۱۸۰ - ۴۲۰ به عنوان دانه بندی اصلی و از دو دانه بندی دیگر در مرحله تعیین اثر تغییر دانه بندی بر ظرفیت تبادل یونی زئولیت طبیعی استفاده گردید. سپس نمونه هایی که به این صورت تهیه گردیدند را جهت برطرف نمودن ذرات بسیار ریز گرد و غبار به دفعات مکرر با آب مقطر شستشو داده و بعد برای مدت ۲۴ ساعت در محلول یک مولار نمک طعام و تحت حالت اشباع قرار داده شدند. پس از گذشت این مدت، نمونه ها مجدداً چندین بار با آب مقطر شستشو داده شده و پس از خشک شدن در هوای آزمایشگاه به مدت ۸ ساعت در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شده و تا انجام مراحل اصلی آزمایش در دسیکاتور نگهداری شدند.

کلیه نمونه های حاصله از مراحل مختلف آزمایش، به منظور دستیابی به دامنه خطی دستگاه جذب اتمی تا غلظت های لازم رقیق سازی شده و سپس با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer ۲۳۸۰ مطابق با روش های ارایه شده در کتاب روش های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلات، آنالیز گردیدند (۵)، سپس نتایج حاصله با استفاده از آزمون های آماری آنالیزی واریانس یک طرفه و آزمون دانکن مورد آنالیز قرار گرفته که نتایج حاصله در بخش های بعدی این مقاله ارایه خواهند شد.

برای تعیین اثر تغییر غلظت های اولیه ابتدا لازم بود تا محلول های سینتتیک حاوی مخلوطی از یونهای فلزی (روی، مس و نیکل) در غلظت های ۲۵ تا ۲۵۰ میلی گرم در لیتر تهیه شوند. سپس به طور جداگانه مقدار ۵/۰ گرم از رزین مصنوعی به شکل مرطوب موجود (مخلوط ۱۰ گرم در لیتر) و ۱/۵ گرم زئولیت طبیعی خشک شده (مخلوط ۳۰ گرم در لیتر) با ۵۰ میلی لیتر از هر کدام از محلول های فوق در سری های چهار تایی و در درجه حرارت طبیعی آزمایشگاه در ارلن مایرهای ۱۰۰ میلی لیتری، برای مدت ۲ ساعت و با سرعت ۱۶۰ بار حرکت رفت و برگشت با دستگاه شیکر بهم زده شدند. پس از اتمام این مرحله، نمونه های تماس یافته به منظور تفکیک فاز جامد از محلول، با کاغذ صافی و اتمن نمره ۴۱ صاف شده و محلول های حاصله تا زمان آنالیز نهایی در بطری های پلی اتیلنی نگهداری شدند.

در مرحله تأثیر تغییر وزن مبادله کننده های یونی به دلیل تأثیر کم افزایش غلظت های اولیه بر کارایی رزین های مصنوعی و کاهش بسیار زیاد کارایی زئولیت های طبیعی در غلظت های اولیه زیاد، حجم های ۵۰ میلی لیتری از محلولی حاوی ۵۰ میلی گرم در لیتر یونهای مورد مطالعه با وزنهای ۱ تا ۲/۵ گرم زئولیت طبیعی (۲۰ تا ۵۰ گرم زئولیت در یک لیتر محلول) تماس داده شدند. همچنین حجم های ۵۰ میلی لیتری از محلولی حاوی ۲۵۰ میلی گرم در لیتر مخلوط همان یونها نیز با اوزان ۲۵ تا ۷۵٪ گرم رزین مصنوعی (۵ تا ۱۵ گرم رزین مصنوعی در یک لیتر محلول) برای مدت ۲ ساعت و در دمای آزمایشگاهی و سایر شرایط ثابت تماس داده شده و بقیه مراحل همانند قبل تکرار گردید.

دسته از کانیها در صنایع مختلف گشته است. منابع و ذخایر عظیم زئولیت های ایران که بیشتر آنها از نوع پرکاربردترین زئولیت های طبیعی یعنی کلی نوپیلولات هستند باعث جذب روز افزون محققین علاقمند از رشته های گوناگون علمی به این زمینه شده است، به گونه ای که براساس اطلاعات موجود تاکنون چندین معدن به ثبت رسیده که دو یا سه معدن از معادن فوق، هم اکنون فعال بوده و استخراج و فروش ذخایر خود برای مصارفی نظیر کشاورزی و به صورت بسیار محدودی در صنایع دامپروری به عنوان کمک غذایی دام و طیور مشغولند. نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده نشان دهنده این واقعیت اند که در صورت تماس فاضلاب های رقیق با زئولیت های مورد مطالعه در مدت زمان مطلوب، این زیولیتها قادرند غلظت کاتیونهای مزاحم در این فاضلابها را حتی به پایین تر از سطح مورد نظر استانداردهای تخلیه فاضلاب به محیط زیست برسانند (۲).

ام. اولمانو و همکارانش نشان دادند که افزایش زمان تماس ترکیبات مختلف از جمله زئولیت های طبیعی با محلول حاوی یونهای مس و باعث افزایش جذب این یونها توسط زئولیت های طبیعی می گردد (۱) در مطالعه دیگر انجام شده توسط مایبل واکا-میر و همکاران بر روی زئولیت های طبیعی کشور مکزیک در حذف یونهای کروم، کادمیوم و سرب، نشان داده شده که در صورت تماس ۱۸ ساعته زئولیت های طبیعی مذکور با محلول حاوی یونهای فوق الذکر در راکتورهای ناپیوسته و در گستره PH های اسیدی، راندمان حذف این یونها توسط زئولیت های مذکور، بیشتر از ۹۵ درصد است (۴).

لذا با توجه به کلیه موارد مذکور، در این تحقیق سعی شده است تا کارایی مبادله کننده های یونی طبیعی (زئولیتها) در حذف کاتیونهای فلزات سنگینی مانند مس، روی و نیکل از فاضلاب های صنعتی، با مبادله کننده های مصنوعی، ارزیابی شده و تأثیر پارمترهای از قبیل یونهای فلزی، مقدار مبادله کننده ها، PH، زمان تماس و اندازه دانه بندی بر درصد حذف این فلزات تعیین گردد.

## روشها

کلیه آزمایشات انجام شده در این تحقیق که شامل پنج مرحله مجزا به منظور تعیین تأثیر پارمترهای مختلف بر فرایند تبادل یونی بوده، با استفاده از تهیه محلول های سینتتیک با درجه خلوص آزمایشگاهی و به روش ناپیوسته در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت اصفهان انجام شده اند. لازم به ذکر است که نمونه زئولیت طبیعی مصرفی در این پژوهش از نوعی کلی نوپیلولایت (با درصد خلوص ۹۵ - ۸۵ درصد) و حاصله از معادن سمنان و میانه بوده که تحت عنوان تجارتي آنزیمیت در بازار به فروش می رسد و طبق اطلاعات حاصله از شرکت تولید کننده، زئولیت تولیدی بدون هیچ گونه فرایند خاصی از معادن، برداشت شده و صرفاً از نظر اندازه، دانه بندی می گردد. همچنین نمونه مصنوعی مصرفی نیز از نوع رزین کاتیونی اسید قوی و محصول شرکت انگلیسی پرولایت بوده است.

در مرحله تعیین اثر تغییر PH محلولهایی با PHهای متفاوت در گستره ۷ - ۳ تهیه شده و سپس حجمهای ۵۰ میلی لیتری از این محلول‌های دارای PH متفاوت با مقدار ۱/۵ گرم زئولیت طبیعی (۳۰ گرم زئولیت طبیعی در یک لیتر محلول) و ۰/۵ گرم رزین مصنوعی (۱۰ گرم رزین مصنوعی در یک لیتر محلول) به طور جداگانه و در زمان ثابت و سایر شرایط همانند مراحل قبل، تماس داده شدند.

در مرحله تعیین اثر زمانهای تماس مختلف با شرایطی همانند مرحله قبل، لیکن در PH ثابت محلول سینتیک (PH=۴/۵) و در زمانهای تماس متفاوت در محدوده ۳/۵ - ۱ ساعت برای هر دو ترکیب انجام شدند.

مقدار ۱/۵ گرم از هر کدام از سه اندازه دانه بندی بزرگتر از ۱۱۸۰، بین ۴۲۰ تا ۱۱۸۰ و بین ۲۹۷ تا ۴۲۰ میکرومتر با ۵۰ میلی گرم در لیتر یونهای فلزی مذکور برای مدت ۲ ساعت تماس داده شده و سایر مراحل تکرار گردید.

## نتایج

نتایج حاصل از تأثیر تغییر غلظتهای متفاوت فلزات نیکل، روی و مس، بر درصد حذف این فلزات برای رزین مصنوعی در نمودار شماره ۱ و برای زئولیت طبیعی در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تأثیر افزایش غلظت فلزات بر درصد حذف آنها برای زئولیت طبیعی بیشتر از رزین مصنوعی بوده و آزمون آماری آنالیز واریانس یکطرفه اختلاف معنی داری را نشان داده است ( $P < 0/001$ ) عنوان مثال درصد حذف فلز روی توسط زئولیت طبیعی در غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر برابر ۹۶/۵۶ درصد بوده در حالیکه در غلظت ۲۵۰ میلی گرم در لیتر به ۱۲/۴۱ درصد رسیده است. این در حالی است که میزان حذف برای رزین مصنوعی در دو غلظت یاد شده فوق به ترتیب ۹۹/۹۳ و ۸۳/۳۳ درصد بوده است.

نتایج حاصل از تأثیر مقادیر مختلف مبادله کننده‌های یونی، بر درصد حذف فلزات نیکل، روی و مس برای رزین مصنوعی در نمودار شماره ۳ و برای زئولیت طبیعی در نمودار شماره ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش مبادله کننده، درصد حذف فلزات نیکل، روی و مس افزایش یافته، لیکن این میزان افزایش درصد حذف برای رزین مصنوعی بیشتر بوده است.

نتایج حاصل از تأثیر PHهای اولیه متفاوت، بر درصد حذف فلزات سنگین نیکل، روی و مس برای رزین مصنوعی در نمودار شماره ۵ و برای زئولیت طبیعی در نمودار شماره ۶ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود PHهای اولیه متفاوت بر افزایش درصد حذف یونهای فلزی توسط رزینهای مصنوعی تأثیر چندانی نداشته، لیکن در زئولیت‌های طبیعی ابتدا در گستره ۴ - ۳ درصد حذف فلزات به طور سریع افزایش یافته و سپس در گستره ۷ - ۴ روند افزایش درصد حذف فلزات کندتر می‌شود. نتایج حاصل از تأثیر زمانهای تماس متفاوت، بر درصد حذف فلزات

سنگین نیکل، روی و مس برای رزین مصنوعی در نمودار شماره ۷ و برای زئولیت طبیعی در نمودار شماره ۸ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، درصد حذف یونهای فلزی برای رزین مصنوعی بیشتر از زئولیت طبیعی است. ضمناً مشاهده می‌شود که با افزایش زمان تماس، تغییرات درصد حذف فلزات، با استفاده از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه، معنی دار نبوده است ( $P > 0/05$ ).

نتایج حاصل از تأثیر اندازه ذرات زئولیت طبیعی، بر درصد حذف فلزات سنگین نیکل، روی و مس، در نمودار شماره ۹ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد با افزایش اندازه ذرات زئولیت طبیعی، درصد حذف فلزات مورد مطالعه کاهش یافته است. آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه برای درصد حذف فلزات روی و مس، اختلاف معنی داری را نشان می‌دهد ( $P < 0/033$ ) و برای درصد حذف فلز نیکل این اختلاف معنی دار نبوده است ( $P > 0/05$ ).

## بحث

همانگونه که در نمودار ۱ و ۲ دیده می‌شود، با افزایش غلظت اولیه فلزات نیکل، روی و مس، درصد حذف هریک توسط رزین مصنوعی و زئولیت طبیعی کاهش یافته است. همانطور که در قسمت نتایج نیز مطرح گردید، مشاهده می‌شود که بین کاهش درصد حذف این فلزات، با افزایش غلظت آنها برای هر دو نوع مبادله کننده یونی، ارتباط معنی داری وجود دارد؛ یعنی در واقع افزایش غلظت اولیه باعث کاهش میانگین درصد حذف این فلزات شده است، لیکن در مجموع با مقایسه دو نمودار مذکور مشاهده می‌شود که روند کاهش درصد حذف، با افزایش غلظت فلزات مورد مطالعه، در رزین مصنوعی قابل توجه نبوده لیکن این روند کاهش در مورد زئولیت طبیعی بیشتر از رزین مصنوعی و قابل توجه می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که راندمان حذف برای مبادله کننده‌های طبیعی در غلظتهای زیاد، کاهش قابل مؤثری بوده و به طوریکه از نتایج این تحقیق و تحقیقات دیگران از جمله تحقیقات اولمانو و همکارانش نیز دیده می‌شود، میزان حذف یونهای فلزات توسط رزینهای کاتیونی مصنوعی تقریباً به غلظتهای اولیه محلولهای تماس یافته بستگی نداشته و این گونه ترکیبات در غلظتهای مختلف محلول اولیه، رفتارهای یکسانی را در حذف محلولهای تماس یافته بستگی نداشته و این گونه ترکیبات در غلظتهای مختلف محلول اولیه، رفتارهای یکسانی را در حذف یونهای فلزی از خود نشان می‌دهند. در حالیکه در زئولیت‌های طبیعی، افزایش غلظت اولیه یونهای فلزی باعث کاهش راندمان حذف آنها می‌گردد (۱) لذا پیشنهاد می‌شود در صورتیکه بخواهیم از مبادله کننده‌های طبیعی به منظور حذف یونهای فلزی از فاضلابها استفاده نماییم، لازم است ابتدا، غلظت زیاد این قبیل یونها در فاضلاب را با انجام عملیات تصفیه مقدماتی و تنظیم اختصاصی PH، به حداقل غلظتهای مورد مطالعه در این تحقیق رساند و سپس از مبادله کننده‌های طبیعی با کارایی بالای حذف آنها در غلظتهای پایین یونهای فلزی استفاده نمود.

با بررسی نمودارهای ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که:

با افزایش وزن مبادله‌کننده‌های یونی در محلولهای فلزی، درصد حذف فلزات افزایش یافته است. روند افزایش درصد حذف در رزین مصنوعی آهنگ سریعتری داشته لیکن این روند افزایش در زئولیت طبیعی ملایمتری بوده است، به طوری که درصد حذف مس و روی، با افزایش غلظت مبادله‌کننده یونی طبیعی از ۲۰ تا ۳۰ گرم زئولیت در یک لیتر محلول، باعث افزایش سریع درصد حذف این فلزات شده و بعد از آن (در محدوده ۳۰ تا ۵۰ گرم زئولیت طبیعی در یک لیتر محلول) روند افزایش درصد حذف کندتر شده است.

باتوجه به نتایج آزمایشات انجام شده می‌توان گفت که اگر چه با افزایش مقدار مبادله‌کننده‌های یونی، به طور کلی افزایش میزان حذف مشاهده می‌شود لیکن در کل با افزایش مقدار مبادله‌کننده، به دلیل وجود سایتهای تبادل بیشتر نسبت به یونهای موجود در محلول، میزان بارگذاری کم شده و به طور کلی راندمان فرایند تبادل یونی کاهش می‌یابد؛ چرا که مقدار یون کمتر در مقایسه با سایتهای تبادل یونی موجود در این مبادله‌کننده‌ها وجود نخواهد داشت، بنابراین در صورت استفاده از فرایند تبادل یونی ناپیوسته در مقیاس کامل، علاوه بر هدر رفتن مقدار زیاد مبادله‌کننده یونی با ارزش، بالاخص در مورد رزینهای سینتتیک که از نظر اقتصادی مواد بسیار گران قیمتی می‌باشند، فشار اقتصادی زیادی به سازمانهای مصرف‌کننده این ترکیبات نخواهد داشت بلکه همانطور که گفته شد با کاهش بارگذاری، راندمان کل فرایند تبادل یونی کاهش خواهد یافت. در مورد فرایندهای بستر ثابت با جریان پیوسته، وضعیت اندکی فرق می‌کند، چرا که در این سیستمها در هر لحظه، تعدادی از سایتهای تبادل یونی موجود در دسترس یونهای فلزی قرار گرفته و این سایتهای به تدریج اشغال می‌گردند، بنابراین هدر رفتگی مبادله‌کننده یونی مصرفی بسیار کمتر شده و این امر در راندمان کلی سیستم تأثیری نخواهد گذاشت. لیکن در مورد استفاده از این گونه سیستمها نیز می‌بایست ملاحظات طراحی و اصول فنی و مهندسی با توجه به خصوصیات محلول عبوری و همینطور نوع مبادله‌کننده یونی مصرفی در نظر گرفته شوند (۶ و ۷).

نتایج حاصل از اثر تغییر PH بر میزان درصد حذف فلزات در نمودارهای ۵ و ۶ نشان داده شده که با بررسی آنها نتایج زیر مشاهده می‌گردد:

PHهای متفاوت در محدوده ۷ - ۳ بر کارایی رزینهای مصنوعی تأثیر کمی داشته است و این رزینها در PHهای متفاوت از کارایی یکسانی در حذف یونهای فلزی برخوردار می‌باشند.

PH مناسب برای زئولیت طبیعی در گستره ۷ - ۴ بوده که بیشترین کارایی حذف را در این محدوده از خود نشان داده است. نتایج حاصل از اثر زمانهای تماس مختلف بر میانگین درصد حذف فلزات در نمودار ۷ و ۸ نشان داده شده که با بررسی آنها نتایج زیر حاصل می‌گردد:

برای رزین مصنوعی، با افزایش زمانهای تماس محلولهای فلزات،

درصد حذف فلزات نیکل، روی و مس تغییری نیافته است و همانطور که در بخش نتایج مطرح گردید، مشاهده می‌شود که بین افزایش زمان تماس و درصد حذف این فلزات ارتباط، معنی دار نیست. یعنی در واقع زمانهای تماس متفاوت تأثیری بر میزان درصد حذف این سه فلز نداشته‌اند.

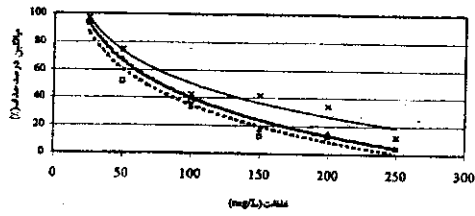
برای زئولیت طبیعی نیز اگر چه درصد فلزات در زمانهای تماس متفاوت کمتر از رزین‌های مصنوعی بوده است لیکن در اینجا نیز با افزایش زمان تماس میزان درصد حذف فلزات، تغییر چندانی نیافته است.

به طور کلی اگر چه زمان تماس در فرایند تبادل یونی به خصوص در سیستمهای ناپیوسته عامل مؤثری است، لیکن بسته به خصوصیات محلول اولیه و نوع مبادله‌کننده یونی این شرایط می‌توانند متفاوت باشند. همانطور که از نتایج برخی تحقیقات از جمله تحقیقات برخی محققین از قبیل کاظمیان و همکاران، واکا-مییر و همکاران، ایوکی و همکاران و... نیز مشاهده می‌گردد دستیابی به تعادل جذب در زمانهای تماس ۱۸ تا ۲۲ ساعت فقط در شرایط آزمایشگاهی قابل دستیابی بوده و بیشتر از ۹۰٪ حذف طی زمان تماس ۲۴ ساعته توسط زئولیت کلی نوتیلولایت در ۱۵ دقیقه حاصل می‌گردد، لیکن این مدت با توجه به نوع مبادله‌کننده یونی مصرفی، متفاوت خواهد بود (۸ و ۹) در مجموع با توجه به کلیه موارد ذکر شده و دقت در نمودارهای ۷ و ۸، می‌توان چنین قضاوت نمود که زمان تماس کمتر از یک ساعته می‌تواند به عنوان زمان تماس مناسب برای این مبادله‌کننده‌های یونی در حذف یونهای فلزی از فاضلابها در نظر گرفته شود. با مشاهده نمودار ۹ نتایج زیر برای زئولیت طبیعی حاصل می‌شود:

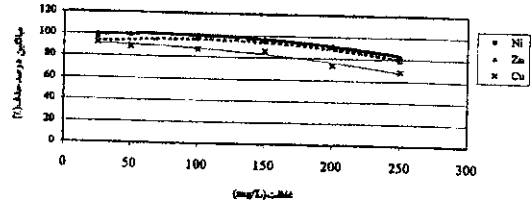
افزایش اندازه زئولیت طبیعی باعث کاهش میانگین درصد حذف فلزات روی و مس شده است. در صورتیکه برای درصد حذف فلز نیکل در دانه بندی‌های متفاوت، این اختلاف معنی دار نبوده است، یعنی افزایش یا کاهش اندازه ذرات زئولیت طبیعی بر میانگین درصد حذف این فلز تأثیر چندانی نداشته است. به طور کلی هر چه جاذب ریزتر و یا متخلخل‌تر باشد، مقدار ماده جذب شده در واحد وزن جاذب افزایش خواهد یافت (۹). براساس شواهد به نظر می‌رسد می‌توان در فاضلابهای صنعتی با سیستم تبادل یونی و استفاده از زیولیت‌های طبیعی دندان قیمت بجای رزینهای مصنوعی که ارزبری بالایی بالاخص برای کشور ما دارند، تا مقادیر مجاز تخلیه، تصفیه صورت گیرد.

### قدردانی و تشکر

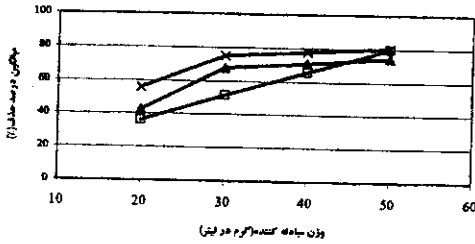
از جناب آقای دکتر سلیمانی و جناب آقای مهندس حسن زاده به خاطر راهنمایی‌های مفیدی که در آنالیز آماری این تحقیق داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.



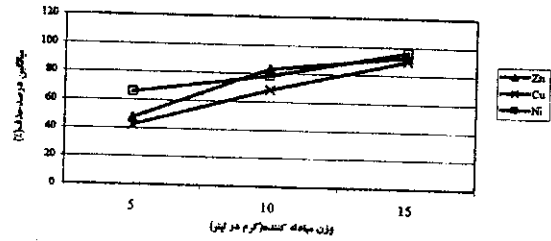
نمودار (2) اثر تغییر غلظتهای اولیه فلزات بر میزان درصد حذف فلزات توسط زئولیت طبیعی



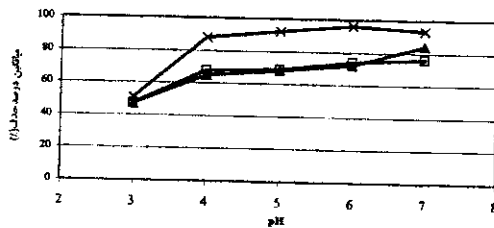
نمودار (1) اثر تغییر غلظتهای اولیه فلزات بر میزان درصد حذف فلزات توسط رزین مصنوعی



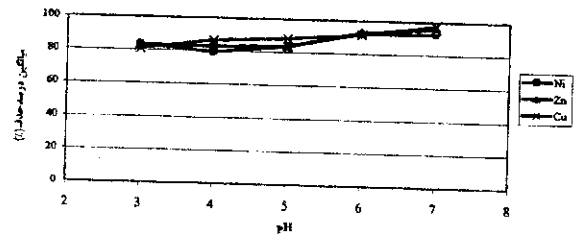
نمودار (14) اثر مقدار مختلف زئولیت طبیعی بر میزان درصد حذف فلزات



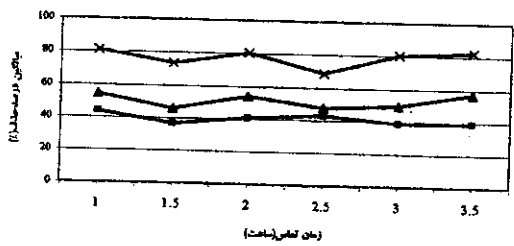
نمودار (13) اثر مقدار مختلف رزین مصنوعی بر میزان درصد حذف فلزات



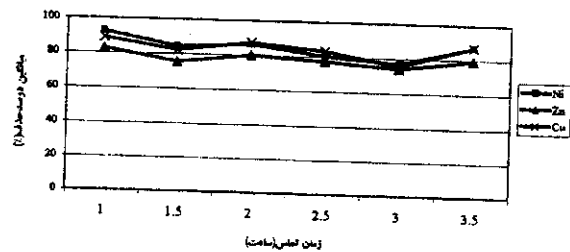
نمودار (11) اثر pH بر میزان درصد حذف فلزات توسط زئولیت طبیعی



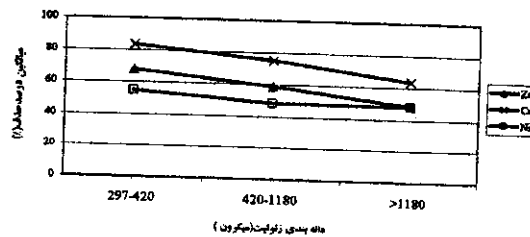
نمودار (10) اثر pH بر میزان درصد حذف فلزات مختلف توسط رزین مصنوعی



نمودار (18) اثر تغییرات زمان تماس بر میزان درصد حذف فلزات توسط زئولیت طبیعی



نمودار (17) اثر تغییرات زمان تماس بر میزان درصد حذف فلزات توسط رزین مصنوعی



نمودار (9) اثر تغییر دانه بندی بر میزان درصد حذف زئولیت طبیعی

## مراجع

- 1- Greig J A *Ion Exchange Developments and Applications proceeding of IEX '96 The Royal Society of Chemistry U. K 1996* 151-159.
- ۲ - کاظمیان، ح. آمایش پسمانهای رادیواکتیو منابع حاصل از محصولات شکافت اورانیوم طبیعی پایان نامه تخصصی دوره دکترای شیمی تجزیه. دپارتمان شیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه اصفهان ۱۳۷۸.
- 3- Pattersons J W. *Industrial Wastewater Treatment Technology . Butterworth Publishers 1985* 226-227, 437-448.
- 4- Mier M. V . *Heavy Metal Removal with Mexican Clinoptilolite: Multi- Component Ionic Exchange J Water Research 2001 ;* 35(2): 373-378.
- 5- APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th Ed. 1992: 3-9 , 3-12.*
- 6- Benefield L.D *process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. prentice Hall Inc, New jersey 1982;191-210,307-323.*
- 7- Walter J W. *physicochemical process for Water Quality Control. Wiley-Interscience, New york. 1972;199-305.*
- 8- Ouki S K, Kavannagh M. *Treatment of Metals-Contaminated Wastewater by use of Natural Zeolites. wat sci Tech.* 1899;39(10-11):115-122.
- 9- Eckenfelder W.W *Industrial Water pollution control. Mc Grawhill book co, new york. 1998.*