

## بررسی کاربرد زئولیت برای حذف سیانور از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلا

عبدالله سمیعی<sup>۱</sup>؛ احمد خدادادی<sup>۲</sup> و محمود عبداللهی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده فنی مهندسی، بخش معدن، دانشگاه تربیت مدرس، [a\\_samiee2003@yahoo.com](mailto:a_samiee2003@yahoo.com)

۲- گروه فراوری مواد معدنی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت ۱۳ خرداد ۱۳۸۵، پذیرش ۲۰ آذر ۱۳۸۵)

### چکیده

هدف از این تحقیق بررسی جذب سیانید بوسیله زئولیت از آب سد باطله کارخانه فراوری طلای آقدره- تکاپ می باشد. مقدار و ابعاد زئولیت، زمان جذب، pH و دمای محلول و افزودن کاتالیزور از پارامترهای مهم برای فرایند جذب می باشند. زئولیت در دو بخش ابعادی ۱۰۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون و در دو نوع طبیعی و اصلاح شده آن با سولفات مس بکار گرفته شد. میزان بهینه زئولیت و درصد جذب در ابعاد (۱۰۰-۳۰۰) میکرون برای نوع طبیعی و اصلاح شده به ترتیب در حدود ۳۰ g/l و ۲۴ g/l، ۲۴/۵، ۳۹/۵ و ۶۴ درصد می باشد. pH بهینه در هر دو نوع ابعاد طبیعی و اصلاح شده به ترتیب برابر ۱۰/۵ و ۱۰، زمان تماس برای هر دو حالت ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون تا ۴۰ دقیقه و برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون تا ۵۰ دقیقه و دما  $22^{\circ}C$  می باشد. آغشته کردن زئولیت با محلول سولفات مس جذب سیانید از محلول را افزایش می دهد. مکانیزم جذب در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون زئولیت طبیعی بیشتر از مدل فرندلیچ و برای زئولیت اصلاح شده تفاوت چندانی بین این دو مدل وجود ندارد. در تمامی مراحل آزمایش مقدار سیانید جذب شده برای ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون بیشتر از ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون در هر دو حالت بود همچنین میزان سیانید جذب شده بر روی زئولیت اصلاح شده بیشتر از نوع طبیعی آن است.

کلمات کلیدی: سیانید، زئولیت، فرایند جذب، ایزوترم های جذب

## ۱- مقدمه

کارخانه فرآوری طلائی آقدهره وابسته به شرکت پویا زرکان در ۳۲ کیلومتری شمال شهرستان تکاب در استان آذربایجان غربی واقع شده است. بر اساس مطالعات اکتشافی، طلا در داخل سیلیکات‌های آهن و منیزم تشکیل شده است. عیار طلا در این کانسنگ در حدود ۳ ppm، خوراک کارخانه کانسنگ طلا و محصول آن کیک فیلتر شده با عیار ۱/۵ درصد می‌باشد. فرایند استخراج و انحلال طلا از کانسنگ بعد از مرحله خریداریش توسط عملیات لیچینگ و با استفاده از محلول سیانید سدیم انجام می‌گیرد که در طی این مرحله طلا در محلول سیانید حل شده و به صورت محلول در می‌آید. کمپلکس‌های محلول طلا بعد از مرحله لیچینگ در داخل ستون‌های جذب، بر روی کربن فعال جذب می‌شوند. دوغاب خروجی از تیکنر بعد از مرحله جذب حاوی مقادیر زیادی سیانید و ترکیبات آن می‌باشد که وارد سد آب باطله می‌شود [۱].

تمامی محلول‌ها و پساب‌های تولید شده در عملیات لیچینگ طلا و نقره حاوی مقادیر زیادی از سیانور و ترکیبات مختلف آن می‌باشد. سیانید یک ترکیب شیمیایی کربن و نیتروژن می‌باشد که هیدروژن سیانید (HCN)، سدیم سیانید (NaCN) و پتاسیم سیانید (KCN) مثالهایی از ترکیبات ساده سیانیدی هستند. از سیانید سدیم در انحلال طلا استفاده می‌شود. سیانور یک ماده بسیار سمی و خطرناک می‌باشد و حدود ۰/۰۵ ppm آن موجب مرگ انسان می‌شود ورود آن به آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک خسارات جبران ناپذیری را بر محیط زیست و زندگی بشری به همراه دارد [۱۴]. یون‌های CN<sup>-</sup> و HCN به‌عنوان سیانور آزاد محسوب می‌شوند. یون‌ها CN<sup>-</sup> در PH بالای ۹ پایدار هستند و در پائین تر از ۷ به HCN گازی شکل تبدیل شده و وارد هوا می‌شود که بسیار خطرناک است [۱۶ و ۳].

از آنجاییکه در این کارخانه‌ها و دیگر صنایع از سیانور استفاده می‌شود، و سد باطله کارخانه نیز حاوی ترکیبات مختلف سمی سیانور می‌باشد، بنابراین حذف و خنثی سازی سیانید از موارد بسیار مهم در جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست به شمار می‌رود. روش‌های متعددی برای کاهش و از بین بردن سیانید در پساب‌ها وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش‌های بیولوژیکی، اکسایش شیمیایی با استفاده از موادی مانند آب اکسیژنه، گاز ازون، هیپوکلریت سدیم و کلسیم، استفاده از پلی‌سولفورها، تعویض یون با استفاده از رزین‌های تبادل یونی و جذب آن با استفاده از کانی‌ها و مانند ایلمنیت، زئولیت و مواد جاذب مانند کربن فعال شده اشاره کرد [۴ و ۵].

زئولیت‌ها (Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>-2H<sub>2</sub>O) کانی‌های آلومینوسیلیکات آبداری هستند که دارای عناصر فلزی قلیایی و یا قلیایی خاکی به ویژه سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، استرانسیم و باریم می‌باشند. سختی زئولیت‌ها از ۳/۵ تا ۵/۵ و جرم حجمی آنها از ۲ تا ۲/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است [۶].

فریدل (Friedel) نشان داد که مایعات گوناگون مانند بنزن، الکل، کلروفرم و جیوه به وسیله زئولیت‌هایی که آب خود را از دست داده‌اند، جذب می‌شوند. در سال ۱۹۰۹ گراند جین (Grand Jean) نشان داد که بعضی از زئولیت‌ها نظیر شابازیت دارای خاصیت جذب بعضی از گازها مانند هیدروژن، اسید سولفوریک، آمونیاک و... می‌باشند [۷].

در سال ۲۰۰۲ ابوصفا و یوسل (Abusafa and Yucel) در مطالعات خود خاطر نشان کردند که در بعضی از مکان‌های شبکه داخلی زئولیت‌ها یون‌های مثبت نیز وجود دارد که در مقایسه با بار منفی مقدار آنها کمتر است و می‌توانند به مقدار جزئی یون‌هایی با بار منفی را نیز در خود جذب کنند [۹]. ولی اگر در ساختمان آنها اصلاحاتی صورت گیرد ظرفیت جذب آنها نسبت به آنیون‌ها نیز افزایش می‌یابد [۸].

جذب آنیون‌های نیتريت و نترات از محلول آبی به وسیله زئولیت‌ها پس از اصلاح با تترا اتیل آمونیوم و تترا متیل آمونیوم مورد بررسی قرار گرفته است [۸].

سیانید به مقدار کم می‌تواند جذب خلل و فرج و حفره‌های زئولیت گردد و یا با بعضی از عناصر موجود در آن مخصوصاً یون منیزیم که میل زیادی برای واکنش با سیانید دارد، یک ترکیب کمپلکس ایجاد کند. اگر اصلاحاتی بر روی زئولیت انجام گیرد باعث می‌شود که راندمان جذب سیانید افزایش یافته و سیانید بیشتری از این طریق حذف شده و از بین برود. بنابراین ورود برخی کاتیون‌ها در حفره‌های زئولیت در صورتیکه بتواند با آنیون‌های مورد نظر رسوبی با Ksp کوچک یا کمپلکسی با KF بزرگ ایجاد کنند، منجر به جذب و تثبیت آنیون‌ها می‌شود و به همین دلیل کاتیون‌های Zn<sup>+2</sup>، Co<sup>+2</sup>، Cu<sup>+2</sup> و Fe<sup>+3</sup> که توانایی بالقوه برای تشکیل کمپلکس با یون سیانید را دارا هستند، در حفره‌های زئولیت جایگزین شده و جذب سیانید با استفاده از زئولیت‌های اصلاح شده به خوبی انجام می‌گیرد [۲ و ۱۰ و ۱۱].

یون‌های جذب شده را می‌توان با افزایش فشار یا حرارت تا جایی که در اثر حرارت، تخریبی در این فعل و انفعال به وجود نیاید بیرون و یون‌های دیگر را جانشین آن کرد [۱۲].

مکانیکی به هم زده شد بعد از آن محتویات داخل شیشه به مدت ۱۰ دقیقه در حالت سکون قرار گرفت تا اینکه زئولیت ته نشین شده و مابقی سیانید نیز تا حد امکان جذب شود. سپس محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن به شماره ۴۲ فیلتر شد و زئولیت باقیمانده بر روی فیلتر نیز شستشو گردید تا اینکه سیانید بر روی صافی باقی نماند. بعد از آن حجم محلول را به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده و غلظت سیانید مشخص شد.

برای مشخص کردن ایزوترم های جذب محلول های سیانیدی با غلظت های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر از سیانید سدیم تهیه گردید، سپس در مقادیر بهینه وزنی به دست آمده از آزمایش های جذب از زئولیت بر ۵۰ میلی لیتر از هر کدام از این محلول ها ریخته شد و در یک دمای ثابت (دمای معمولی آزمایشگاه  $22^{\circ}C$ ) آزمایش های جذب انجام گرفت و مقدار سیانید باقیمانده بعد از آزمایش برای هر کدام از دو نمونه اندازه گیری شد.

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- تاثیر افزایش میزان زئولیت برای حذف سیانید و تعیین مقدار بهینه آن

برای به دست آوردن مقادیر بهینه پارامترهای موثر در جذب سیانید به وسیله جاذب زئولیت در هر دو نوع آن (طبیعی و اصلاح شده)، آزمایش های جذب در مقادیر مختلف وزنی زئولیت با مقدار ثابت pH و درجه حرارت محلول و محیط آزمایش و نیز زمان ثابت انجام گرفت.

pH اولیه محلول سیانیدی تهیه شده از آب سد باطله برابر ۹ بود و برای جلوگیری از تبدیل سیانید به HCN گازی با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۱۱ انتخاب گردید. بنابراین برای مشخص کردن غلظت بهینه زئولیت در هر کدام از انواع آن با انتخاب ۵۰ میلی لیتر محلول سیانیدی رقیق شده با محلول بلانک و افزودن زئولیت در وزن های مختلف بر روی محلول، آزمایش های جذب انجام گرفت. آزمایش های جذب در دو بخش ۳۰۰-۱۰۰ و ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون برای هر دو حالت از جاذب زئولیت مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج جذب سیانید در غلظت های مختلف زئولیت در  $pH=11$ ، زمان بهم زدن ۳۵ دقیقه و دمای  $22^{\circ}C$  در نمودار شکل ۱ آمده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از نمودار ۱ مشخص می شود که با افزایش میزان زئولیت، مقدار سیانید باقیمانده کاهش می یابد. هنگامی که میزان زئولیت در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون برای نوع طبیعی و اصلاح شده به ترتیب در حدود  $30\text{ g/l}$  و

فرایند جذب عبارت است از انتقال اجزایی از سیال و تجمع آن در جاذب جامد که این روند تا رسیدن به حالت تعادل ادامه می یابد [۱۳]

در مطالعه انتقال و جذب املاح و ترکیبات بر روی یک ماده باید معادلات و روابطی بین غلظت ماده جذب شونده و غلظت باقیمانده آن در محلول در دماهای ثابت وجود داشته باشد که این معادلات را ایزوترم های (همدمای) جذب سطحی می گویند. مدل های لانگ مویر و فروند لیچ بیان کننده این روابط هستند [۱۳].

بر اساس مطالعات انجام گرفته تاکنون هیچ تحقیقی برای حذف سیانید از دوغاب خروجی از تیکنر و یا آب باطله کارخانه فراوری طلا به وسیله زئولیت انجام نشده است.

### ۲- مواد و روشها

#### ۲-۱- مواد لازم و آماده سازی

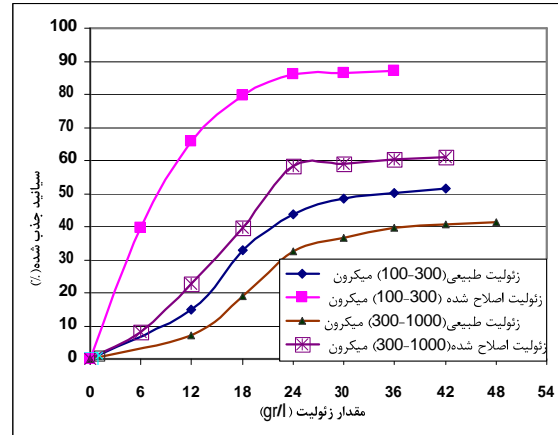
در آزمایش ها زئولیت به ترتیب در دو محدوده ابعادی ۳۰۰-۱۰۰ میکرون و ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون و در دو نوع طبیعی و اصلاح شده آن با سولفات مس به کار گرفته شد. زئولیت به کار رفته در آزمایشات از آزمایشگاه دانشکده فنی دانشگاه تهران که از معدن فیروزکوه نمونه برداری شده بود، تهیه گردید. آنالیز شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

محلول سیانیدی از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلا تهیه گردید که pH آن در حدود ۹ و غلظت سیانید آزاد در محلول که با استفاده از روش تیتراسیون با محلول  $0.102\text{ mol}$  مول در لیتر نیترات نقره انجام گرفت، حدود  $140\text{ mg}$  میلی گرم در لیتر تعیین گردید. از هیدروکسید سدیم برای تهیه محلول بلانک استفاده شد که از حل کردن  $1/6$  گرم هیدروکسید سدیم در یک لیتر آب مقطر، محلول بلانک  $0.04\text{ mol}$  مول حاصل می شود که برای رقیق کردن محلول سیانید مورد استفاده قرار می گیرد. از سولفات مس نیز به عنوان کاتالیزور در حالت بهینه جذب استفاده گردید.

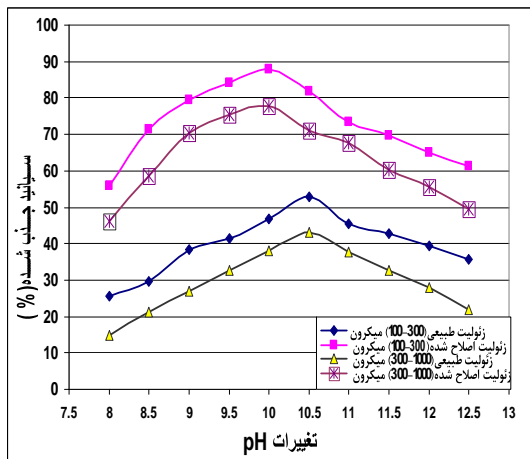
#### ۲-۲- روش انجام آزمایش

مطالعات و آزمایش های جذب در درجه حرارت معمولی اتلاق و در داخل یک بشر استوانه ای انجام گرفت. بدین ترتیب که اولاً pH محلول برای جلوگیری از تبخیر سیانید و تبدیل شدن آن به HCN گازی شکل در حدود ۱۱ تنظیم گردید سپس ۵۰ میلی لیتر از محلول سیانید به داخل بشر افزوده شد و به دنبال آن مقادیر متفاوتی از زئولیت در وزن های  $1/2$ ،  $1/1$ ،  $1/6$ ، به داخل محلول اضافه شد و به مدت نیم ساعت به وسیله همزن

شکل آن جلوگیری کند. بنابراین در این مرحله از آزمایش‌ها، pH به عنوان متغیر، دما و زمان اختلاط همانند مرحله قبل ثابت و غلظت جاذب در حالت بهینه جاذب برای هر چهار حالت مختلف در نظر گرفته شده است. در pH های مختلف از ۸/۵، ۹، ۹/۵، ... و ۱۲/۵ آزمایش‌ها برای تعیین میزان بهینه آن انجام گرفت که نتایج حاصل از جذب سیانید توسط زئولیت با pH های مختلف، غلظت‌های بهینه جاذب در حالت طبیعی و اصلاح شده و دانه‌بندی مختلف، زمان بهم زدن ۳۵ دقیقه و دمای  $22^{\circ}C$  در نمودار شکل ۲ آمده است.



شکل ۱: نمودار درصد سیانید جذب شده با افزایش میزان زئولیت



شکل ۲: نمودار درصد سیانید جذب شده با افزایش pH

نمودار شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش pH در هر دو نوع دانه‌بندی برای زئولیت طبیعی و اصلاح شده به ترتیب تا ۱۰/۵ و ۱۰ میزان سیانید باقیمانده نیز کاهش می‌یابد و دوباره با افزایش pH بعد از این مقادیر میزان سیانید باقیمانده افزایش می‌یابد، این نشان دهنده آن است که در pH های یاد شده میزان سیانید باقیمانده به کمترین مقدار خود رسیده و برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون در pH های بهینه برای زئولیت طبیعی و اصلاح شده به ترتیب حدود  $66/02 \text{ mg/l}$  و  $17 \text{ mg/l}$  و برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون  $79/8 \text{ mg/l}$  و  $31 \text{ mg/l}$  می‌باشد.

از روی نمودار شکل ۲ مشخص است که با افزایش میزان pH، میزان سیانید جذب شده در هر چهار نمونه افزایش یافته و برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون جذب سیانید برای زئولیت طبیعی و اصلاح شده در pH بهینه به ترتیب حدوداً به ۵۳ و ۸۸ درصد و برای نمونه ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون به ۴۳ و ۷۸ درصد می‌رسد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که میزان سیانید جذب شده برای زئولیت‌های اصلاح شده در هر دانه‌بندی به مراتب بیشتر از نوع طبیعی آن در همان دانه‌بندی می‌باشد که دلیل اصلی آن انجام

g/l ۲۴ و در ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون برای نوع طبیعی و اصلاح شده به ترتیب به  $36 \text{ g/l}$  و  $24 \text{ g/l}$  می‌رسد افزایش مجدد زئولیت تأثیری چندانی در کاهش میزان سیانید ندارد و مقدار جاذب در این شرایط برای هر چهار حالت به بهترین مقدار خود رسیده است. لذا می‌توان گفت که سیانید جذب شده (٪) با افزایش میزان زئولیت افزایش یافته و به نقطه‌ای می‌رسد که دیگر افزایش جاذب به آن صورت تأثیری بر روی میزان جذب ندارد. مقدار بهینه جذب سیانید در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون برای زئولیت اصلاح شده و طبیعی به ترتیب  $50/2$  و  $86/1$  درصد، برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون به ترتیب  $39/5$ ،  $64$  درصد می‌باشد. با توجه به قوانین جذب می‌توان گفت که میزان سیانید باقیمانده در محلول بعد از آزمایش و مقدار جذب شده آن بر زئولیت به حالت تعادل رسیده است و افزایش بیش از مقدار بهینه باعث بحرانی شدن شرایط جذب و خوب در تماس نگرفتن سیانید با جاذب شده و شرایط مطلوب جذب نیز از بین می‌رود. در نمودار شکل ۱ از مقایسه منحنی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که میزان سیانید جذب شده در حالت اصلاح شده هر دو نوع دانه‌بندی به مراتب بیشتر از میزان آن در حالت طبیعی می‌باشد و نیز مشخص است که میزان سیانید جذب شده در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون بیشتر از ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون بوده که دلیل آن ازدیاد سطح ویژه جاذب در ابعاد ریز بوده و باعث می‌شود که سطوح بیشتری از جاذب با مولکول‌های سیانید موجود در محلول در تماس باشد.

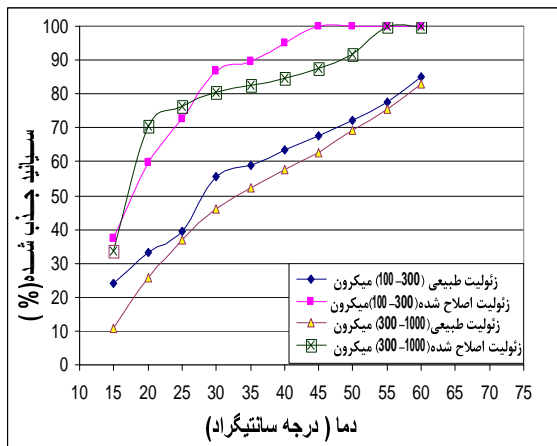
### ۳-۲- تأثیر افزایش میزان pH محلول بر جذب سیانید بر روی زئولیت

در این محلول‌ها باید میزان pH در مقادیر قلیائی بالا تنظیم شود تا از تبدیل مولکول‌ها و ترکیبات سیانید به حالت گازی

بهینه برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون بیشترین مقدار سیانید جذب شده بر روی ژئولیت طبیعی ۵۴/۴ درصد و برای اصلاح شده ۸۸/۴ درصد و برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون برای حالت طبیعی و اصلاح شده به ترتیب برابر با ۴۴/۳، ۷۸/۴ می‌باشد.

#### ۳-۴- اثر درجه حرارت در فرایند جذب سیانید

درجه حرارت نیز از پارامترهای موثر در روش‌های حذف سیانید می‌باشد. بنابراین پس از مشخص شدن مقدار بهینه غلظت جذب، pH و زمان تماس جاذب با محلول، جذب سیانید در دماهای مختلف ۱۵، ۲۰، ۲۵، ... و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای بازیابی سیانید در محیط‌های بسته با افزایش دما، سیانید موجود در محلول تبخیر شده و به حالت گازی شکل در می‌آید و می‌توان آن را توسط جاذب‌های محلول مانند NaOH غلیظ بازیافت کرد. نتایج این آزمایشات و مقدار سیانید باقیمانده و نیز درصد جذب سیانید با درجه حرارت، همراه با دیگر شرایط بهینه به دست آمده برای هر کدام از نمونه‌ها در نمودار شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: نمودار درصد سیانید جذب شده با درجه حرارت

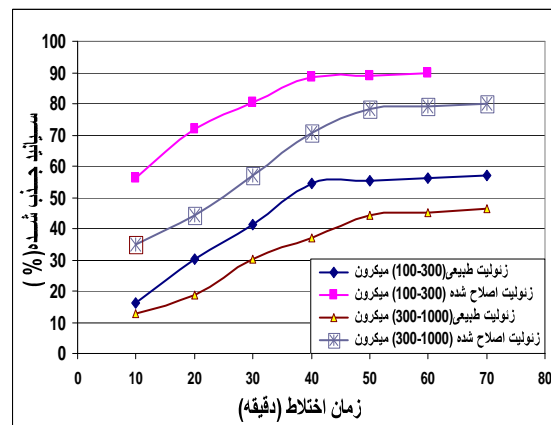
نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد که مقدار سیانید باقیمانده با افزایش درجه حرارت به سرعت کم می‌شود تا جاییکه در دمای حدوداً  $45^{\circ}\text{C}$  به بالا در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون و  $55^{\circ}\text{C}$  به بالا در ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون برای ژئولیت اصلاح شده مقدار کمی سیانید برای اندازه‌گیری وجود داشت و میزان آن حدوداً به صفر رسیده بود.

سیانور در درجه حرارت‌های بالاتر از  $30^{\circ}\text{C}$  ناپایدار می‌باشد و حذف کامل آن ناشی از تجزیه می‌باشد و فرایند جذب دخالت چندانی در این امر ندارد. همچنین از نمودار شکل ۴ مشخص

واکنش مولکول‌ها و یون‌های سیانید آزاد با یون مس جذب شده بر روی ژئولیت می‌باشد. از نمودار مشخص است که در ابعاد کوچک‌تر میزان جذب سیانید بیشتر از ابعاد درشت‌تر می‌باشد.

#### ۳-۳- اثر زمان اختلاط

از پارامترهای مهم و موثر دیگر در فرایند جذب زمان هم زدن جاذب با محلول و یا به عبارتی زمان اختلاط می‌باشد. بنابراین بعد از تعیین مقدار بهینه جاذب و pH برای هر چهار حالت یاد شده باید زمان در تماس بودن محلول با جاذب نیز مورد بررسی قرار گیرد تا اثر زمان بهینه جذب نیز در مکانیزم جذب مشخص شود. به همین منظور در زمان‌های متفاوت ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه در pHهای بهینه، دمای  $22^{\circ}\text{C}$  و غلظت‌های بهینه هر یک از حالات، آزمایش‌های متعددی انجام گرفت که نتایج و اطلاعات کامل حاصل از انجام آزمایش‌ها در نمودار شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: نمودار درصد سیانید جذب شده با زمان اختلاط

نمودار ۳ نشان می‌دهد که با افزایش زمان بهم زدن محلول با ژئولیت میزان سیانید جذب شده برای هر دو حالت طبیعی و اصلاح شده در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون تا زمان ۴۰ دقیقه و برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون تا زمان ۵۰ دقیقه و برای هر دو حالت آن به صورت خطی افزایش می‌یابد ولی با افزایش زمان از این مقادیر به بعد تغییرات چندانی در مقدار سیانید جذب شده بر روی جاذب حاصل نمی‌شود و بر راندمان جذب موثر نیست. در این مدت سیانید به حد کافی به سطح ژئولیت جذب شده است. بنابراین تنها در این حالت می‌توان گفت که میزان سیانید جذب شده بر روی سطح جاذب و سیانید باقیمانده در محلول به حالت تعادل رسیده است. بنابراین مشخص است که در زمان

زدن جاذب با محلول برای ابعاد بیشتر از ۱۰۰۰ میکرون با مشکل مواجه بود و به علت سنگین بودن ته‌نشین می‌شد و با تمام قسمت‌های محلول تماس وجود نداشت، انجام آزمایش‌ها بر روی این بخش از دانه‌بندی صرف‌نظر گردید.

### ۳-۶- اثر عامل اصلاح کننده و مقایسه درصد جذب سیانید در حالت طبیعی و اصلاح شده ژئولیت

بعد از بررسی عوامل موثر بر فرایندهای جذب سیانید بر روی ژئولیت و مشخص کردن مقادیر بهینه هر کدام از پارامترها برای هر دو محدوده ابعادی از دانه‌بندی‌های ژئولیت طبیعی و اصلاح شده، آزمایش‌های جذب سیانید در مقادیر بهینه انجام گرفت که میزان جذب سیانید در مقادیر بهینه برای هر چهار حالت جاذب در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که میزان سیانید جذب شده بر روی ژئولیت اصلاح شده در هر دو دانه‌بندی به مراتب بیشتر از نوع طبیعی آن می‌باشد. علت جذب سیانید بر روی ژئولیت طبیعی شاید به‌خاطر نفوذ مولکول‌های آن در داخل خلل و فرج ژئولیت یا جذب به‌وسیله اندک بار مثبت موجود در داخل آن باشد.

در این تحقیق از سولفات مس به عنوان عامل اصلاح کننده ژئولیت برای جذب سیانید استفاده شد و می‌توان از نمک‌های دیگر فلزات مانند آهن، نیکل، کبالت و روی که تمایل زیادی برای انجام واکنش با سیانید آزاد و تشکیل کمپلکس‌های سیانیدی را دارند، استفاده کرد.

استفاده از نیترات نقره نیز به عنوان عامل اصلاح در مقیاس‌های آزمایشگاهی می‌تواند راندمان جذب بالایی نسبت به دیگر فلزات داشته باشد. میزان جذب سیانید در حالت بهینه برای نمونه ۳۰۰-۱۰۰ میکرون برای نوع طبیعی و اصلاح شده به ترتیب ۵۷ و ۹۱ درصد و برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون به ترتیب حدوداً ۴۶ و ۸۰ درصد می‌باشد.

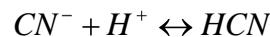
### ۳-۷- تعیین ایزوترمهای جذب سیانید بر روی ژئولیت

برای مشخص کردن ظرفیت و مکانیزم جذب ژئولیت ایزوترم-های جذب مورد بررسی قرار گرفت، به‌همین منظور محلول‌های خالصی با غلظت‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از سیانید سدیم جامد تهیه گردید و سپس بر روی ۵۰ میلی‌لیتر از هر کدام از آنها به ترتیب ۱/۵ و ۱/۲ گرم ژئولیت طبیعی و اصلاح شده برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون، ۱/۸ و ۱/۲ گرم ژئولیت طبیعی و اصلاح شده برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون افزوده شد و آزمایش‌های جذب برای تعیین مشخصات ایزوترم و ظرفیت جذب، در یک دمای ثابت

است که با افزایش دما میزان سیانید جذب شده افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش دما، سیانید به صورت اسید سیانیدریک (HCN) تبخیر شده و از محیط خارج می‌شود، لذا کاهش آن عمدتاً به علت خروج اسید سیانیدریک از محلول است. کاهش pH محلول‌ها در حین انجام آزمایش کاملاً محسوس بود تا جاییکه در درجه حرارت‌های زیاد این میزان تا حد ۴ نیز می‌رسید.

اصولاً اسید سیانیدریک همیشه در حد قابل ملاحظه‌ای به صورت محلول در پساب‌ها و محلول‌های سیانیدی وجود دارد، لیکن دو عامل افزایش دما و کاهش pH می‌تواند سبب تبخیر آن از محلول و کاهش غلظت سیانید در محلول شود. با توجه به اینکه افزایش دما سبب کاهش pH محلول سیانیدی می‌شود، لذا تبخیر HCN افزایش می‌یابد.

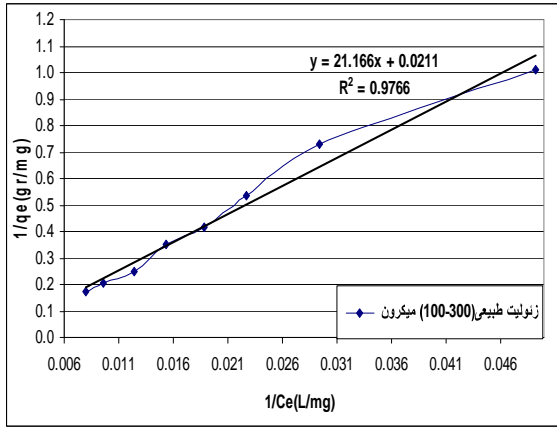
دلیل کاهش pH با افزایش دما به این صورت است که با افزایش دما مطابق با واکنش حالت تعادلی میزان اسید سیانیدریک افزایش پیدا می‌کند. زیرا با توجه به بخار شدن HCN در دمای حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد، و تبدیل یون سیانید به HCN تعادل به سمت تولید اسید سیانیدریک پیش می‌رود. چون واکنش گرماگیر بوده و باعث تبدیل یون سیانید به HCN می‌شود.



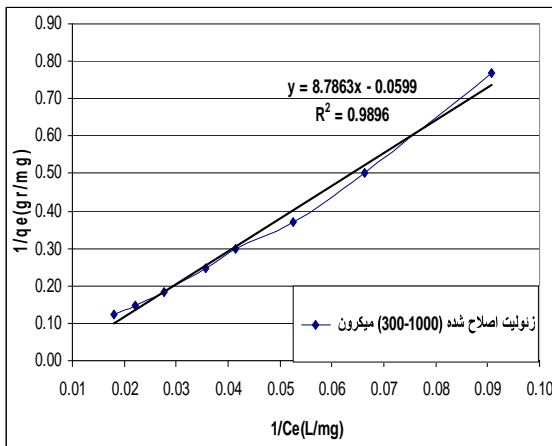
### ۳-۵- اثر دانه بندی ژئولیت طبیعی و اصلاح شده

مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که در فرایندهای جذب باید عوامل موثر بر روی دانه‌بندی‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد چرا که متفاوت بودن سطح ویژه جاذب در انواع دانه‌بندی‌ها شرایط مخصوص به خود را می‌طلبد.

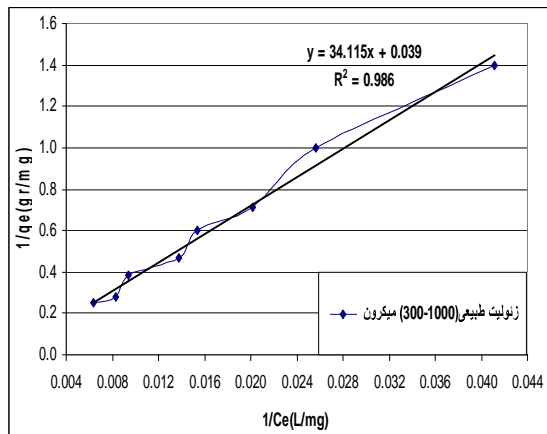
همانطور که در این آزمایش‌ها ملاحظه شد هر کدام از دانه‌بندی‌ها در مقادیر مختلفی از پارامترهای موثر بر مکانیزم جذب به بهترین مقدار خود می‌رسیدند. لذا پارامترهای موثر بر روی تک تک ابعاد مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که سطح ویژه جاذب از پارامترهای مهم در مکانیزم جذب می‌باشد و کم یا زیاد بودن سطح ویژه جاذب، از دانه‌بندی‌های مختلف جاذب ناشی می‌شود در ابعاد ریز دانه به علت زیاد بودن سطح ویژه راندمان جذب زیاد است ولی برای ابعاد درشت دانه این راندمان کاهش می‌یابد. برای ژئولیت طبیعی و اصلاح شده پارامترهای موثر در فرایند جذب در دو محدوده ابعادی یاد شده مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که در تمامی آزمایش‌ها مقدار سیانید جذب شده برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون بیشتر از ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون در هر دو حالت بود. به خاطر اینکه هم



شکل ۶: نمودار ایزوترم جذب بر اساس مدل لانگ‌مایر برای ژئولیت طبیعی (۱۰۰-۳۰۰ میکرون)



شکل ۷: نمودار ایزوترم جذب بر اساس مدل لانگ‌مایر برای ژئولیت اصلاح شده (۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون)



شکل ۸: نمودار ایزوترم جذب بر اساس مدل لانگ‌مایر برای ژئولیت طبیعی (۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون)

$20^{\circ}C$  و pH بهینه هر کدام از دانه‌بندی‌ها به مدت ۴۰ دقیقه انجام گرفت. بعد از مشخص شدن میزان سیانید جذب شده و باقیمانده در محلول (حالت تعادل) پارامترهای مختلف ایزوترم‌های جذب تعیین گردید و منحنی‌های ایزوترم هر چهار حالت با مدل‌های لانگ‌مایر و فروندلیچ رسم و میزان تطابق آنها بر اساس مدل‌های فوق مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳-۷-۱- تطابق مکانیزم جذب با مدل لانگ‌مایر

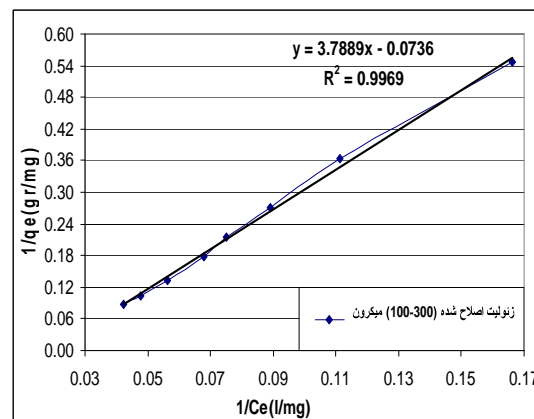
رابطه مدل لانگ‌مایر به صورت معادله ۱ می‌باشد.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b} + \frac{1}{ab} * \frac{1}{C_e} \quad (1)$$

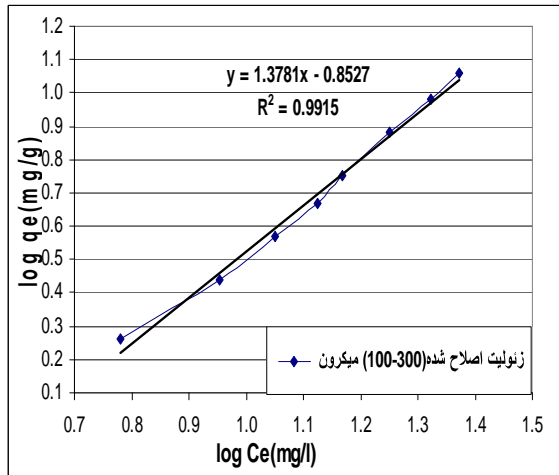
که در آن  $q_e$  مقدار جزء جذب شده در واحد جرم جاذب بر حسب  $mg/g$  و  $C_e$  غلظت جزء باقیمانده در فاز سیال (محلول) بر حسب  $mg/l$  و  $a$  و  $b$  ثابت‌های لانگ‌مایر می‌باشند [۱۴ و ۱۵].

اگر منحنی حاصل از ترسیم نقاط براساس  $\frac{1}{q_e}$  و  $\frac{1}{C_e}$  خطی باشد مکانیزم جذب از مدل لانگ‌مایر پیروی کرده و گرنه از آن تبعیت نمی‌کند. در محلول‌های حاوی سیانید سدیم خالص نتایج حاصل از آزمایش‌ها تا حد زیادی میزان ظرفیت و مکانیزم جذب را بر اساس مدل‌های لانگ‌مایر و فروندلیچ به‌طور واقعی نشان می‌دهند، زیرا میزان ناخالصی‌ها در این نوع محلول‌ها نسبت به آب سد باطله که دارای ترکیبات مختلف محلول و نامحلول است، خیلی کمتر می‌باشد.

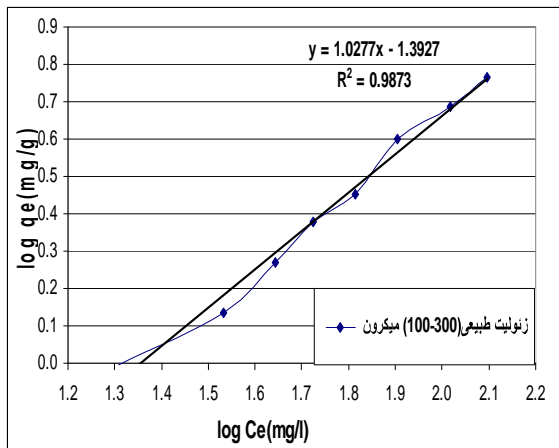
نمودارهای اشکال ۵، ۶، ۷ و ۸ میزان برازش منحنی‌های حاصل از مقادیر سیانید جذب شده و میزان سیانید باقیمانده در محلول با مدل لانگ‌مایر را نشان می‌دهد.



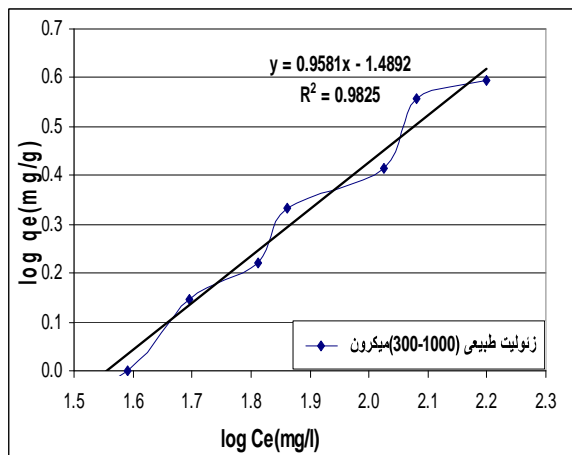
شکل ۹: نمودار ایزوترم جذب بر اساس مدل لانگ‌مایر برای ژئولیت اصلاح شده (۱۰۰-۳۰۰ میکرون)



شکل ۹: نمودار ایزوترم جذب با مدل فرند لیچ برای زنولیت اصلاح شده ۱۰۰-۳۰۰ میکرون



شکل ۱۰: نمودار ایزوترم جذب با مدل فرند لیچ برای زنولیت طبیعی ۱۰۰-۳۰۰ میکرون



شکل ۱۱: نمودار ایزوترم جذب با مدل فرند لیچ برای زنولیت طبیعی ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون

با استفاده از نرم افزار اکسل و پردازش منحنی‌ها بر اساس مدل لانگ مایر مشخص است که بیشترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) به منحنی با ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون و برای زنولیت اصلاح شده مربوط می‌شود. زیرا پردازش و ضریب همبستگی منحنی حاصل از ترسیم نقاط با خط حاصل از تطبیق با مدل لانگ مایر بیشتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد و ظرفیت جذب نیز در این حالت از بقیه بیشتر است. در پردازش منحنی‌ها نقاطی که به‌طور کامل در روی خط مربوطه قرار می‌گیرند ایده آل‌ترین حالت رخ می‌دهد و نشان دهنده آن است که اگر از محلولی با همان غلظت استفاده شود بیشترین راندمان جذب اتفاق می‌افتد. در نتایج به‌دست آمده از انجام آزمایش‌ها از آب سد باطله نتیجه حاصل شد که میزان سیانید جذب شده در این ابعاد از بقیه بیشتر می‌باشد و دلیل آن شاید به‌خاطر ریز بودن دانه‌های جاذب و نیز آغشته شدن آن با سولفات مس باشد. نمودارها نشان می‌دهند که میزان تبعیت در نمونه‌های اصلاح شده بیشتر از انواع طبیعی آنها است. همچنین می‌توان گفت که در نمونه‌های اصلاح شده فرایند جذب بیشتر از نوع شیمیایی بوده و در نمونه‌های طبیعی فیزیکی می‌باشد. زیرا که در نمونه‌های اصلاح شده احتمال انجام واکنش سیانید با یون‌های مس جذب شده بر روی زنولیت وجود داشته ولی در نمونه‌های طبیعی سیانید بیشتر در خلل و فرج جای می‌گیرد.

### ۳-۷-۲- تطابق مکانیزم جذب با مدل فرند لیچ

فرند لیچ مدل خود را بر اساس دو فرضیه زیر بیان کرد:

۱- مناطق جذب در جسم جامد هتروژن (غیریکنواخت) هستند.

۲- قدرت جذب تمام نقاط یکسان نیست و متفاوت می‌باشد. فرند لیچ مدل خود را به‌وسیله معادله ۲ ارائه داد.

$$q_e = k C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

شکل لگاریتمی آن به‌صورت معادله ۳ می‌باشد.

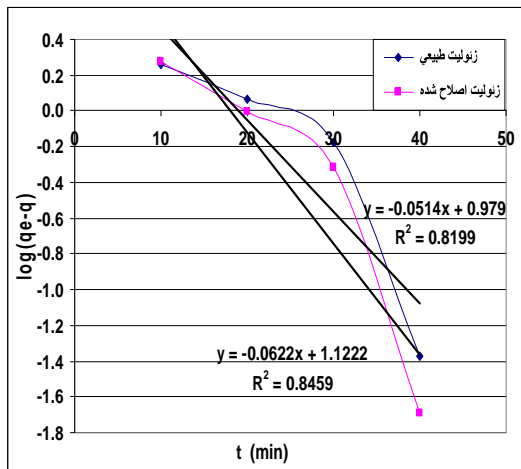
$$\text{Log}(q_e) = \text{Log}(k) + \frac{1}{n} * \text{Log}(C_e) \quad (3)$$

که در آن  $q_e$  و  $C_e$  همان پارامترهای لانگ مایر هستند و  $n$  و  $k$  ثابتهای فرند لیچ هستند که اگر منحنی حاصل از رسم نقاط بر اساس  $\text{Log}(q_e)$  و  $\text{Log}(C_e)$  خطی باشد فرایند جذب از مدل فرند لیچ تبعیت می‌کند [۱۴، ۱۵]. منحنی‌های حاصل از رسم مقادیر لگاریتمی میزان سیانید جذب شده و باقیمانده در محلول در اشکال ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ آورده شده است.

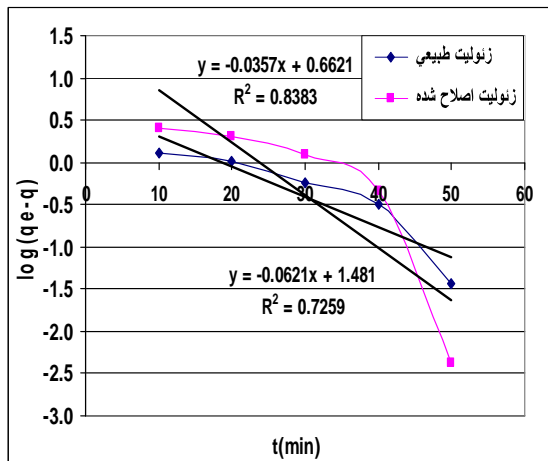


$$\log(q_e - q) = \log(q_e) - \log \frac{k_{1ads} t}{2.303} \quad (3)$$

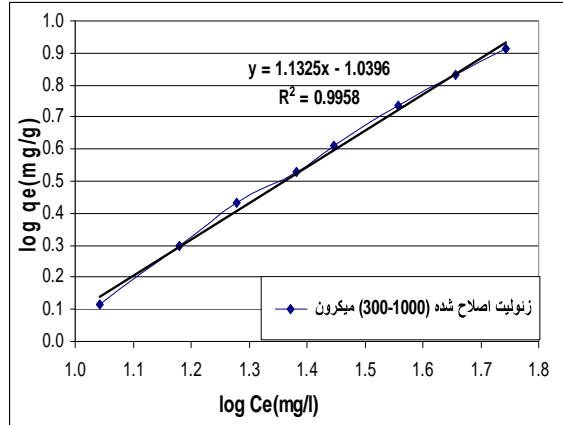
جدول ۴ داده‌های مربوط به جذب سیانید توسط زئولیت با استفاده از مدل اول لاجرجن را نشان می‌دهد. در زمان تعادل میزان  $q$  و  $q_e$  باهم برابر هستند. به‌خاطر اینکه برای هر دو ابعاد زمان تعادل به ترتیب در ۴۰ و ۵۰ دقیقه به‌دست می‌آید ولی برای مثبت شدن میزان  $\log(q_e - q)$  از زمان‌های بالاتر از اینها در هر دو ابعاد که میزان سیانید جذب شده کمی بیشتر از زمان تعادل آن است، استفاده می‌شود [۱۴ و ۱۵]. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ منحنی‌های به‌دست آمده از مدلسازی جذب توسط معادله درجه اول لاجرجن را نشان داده و معادله خط رگرسیون و میزان توان دوم ضریب همبستگی هر کدام از دانه‌بندی‌ها برای هر دو نوع زئولیت رسم و محاسبه گردیده است.



شکل ۱۳: منحنی‌های معادله درجه اول لاجرجن و خطوط رگرسیون برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون



شکل ۱۴: منحنی‌های معادله درجه اول لاجرجن و خطوط رگرسیون در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون



شکل ۱۲: نمودار ایزوترم جذب با مدل فرند لیچ برای زئولیت اصلاح شده ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون

در جدول ۳ مشخصات مقادیر ثابت و میزان ضریب همبستگی هر دو مدل لانگ مایر و فروند لیچ آورده شده است. با مراجعه به جدول ۳ و از مقایسه نمودارهای حاصل از شکل‌های ۹ تا ۱۲ در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون زئولیت طبیعی و نیز میزان ضریب تبیین به‌دست آمده مشخص می‌شود که مکانیزم جذب در این ابعاد بیشتر از مدل فرند لیچ پیروی می‌کند. هر چند میزان ضریب تبیین به‌دست آمده از مدل لانگ‌مایر نیز زیاد است. برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون زئولیت اصلاح شده تفاوت چندانی بین این دو مدل وجود ندارد و می‌توان که تبعیت آن بیشتر از مدل لانگ‌مایر است. در این بخش میزان ضریب تبیین ( $R^2$ ) به‌دست آمده از مدل لانگ‌مایر ( $R^2 = 0.9969$ ) بیشتر از مدل فرند لیچ ( $R^2 = 0.9915$ ) است و نشان دهنده میزان خطی بودن و مطابقت آن با مدل لانگ‌مایر را می‌رساند. در نهایت با مقایسه نمودارها برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون و زئولیت اصلاح شده میزان  $R^2$  بیشتر از میزان آن در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰ میکرون و مطابقت فرایند جذب با مدل فرند لیچ را می‌رساند. در نمونه‌هایی که میزان غلظت سیانید در آنها بیشتر از سایر نمونه‌هاست، میزان جذب سیانید نیز در آنها بیشتر است.

### ۳-۸- مدلسازی سینتیکی جذب سیانید با زئولیت

#### ۳-۸-۱- مدل درجه اول لاجرجن

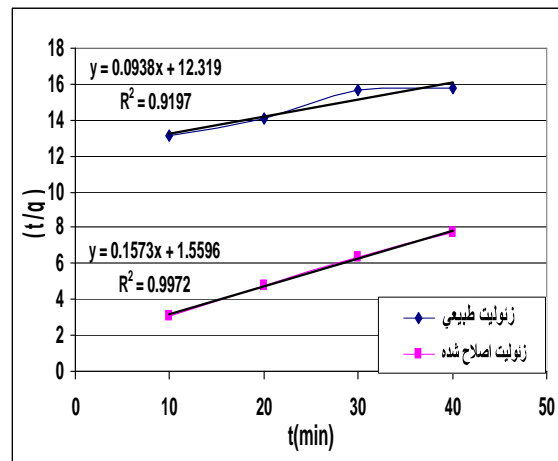
به‌منظور کنترل مکانیزم و سینتیک فرایندهای جذب مانند انتقال جزء جذب شونده بر روی جاذب، واکنش‌های شیمیایی و نیز برای تنظیم داده‌های آزمایشگاهی حاصل از سینتیک جذب جزء جذب شونده از دو مدل مختلف سینتیک استفاده می‌شود مدل درجه اول لاجرجن به‌صورت معادله ۳ می‌باشد.

## ۳-۸-۲- مدل درجه دوم لاجر جرن

جدول ۵ اطلاعات سینتیکی مدل درجه دوم لاجر جرن برای جذب سیانید توسط زئولیت را در هر چهار نمونه نشان می‌دهد. مدل درجه دوم لاجر جرن از رابطه ۴ به دست می‌آید [۱۴ و ۱۵].

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_{2ads} q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

شکل‌های ۱۵ و ۱۶ منحنی‌های به دست آمده از مدلسازی جذب توسط معادله درجه دوم کاذب لاجر جرن را نشان داده و معادله خط رگرسیون و میزان ضریب همبستگی هر کدام از نمونه‌ها رسم و محاسبه گردیده است.



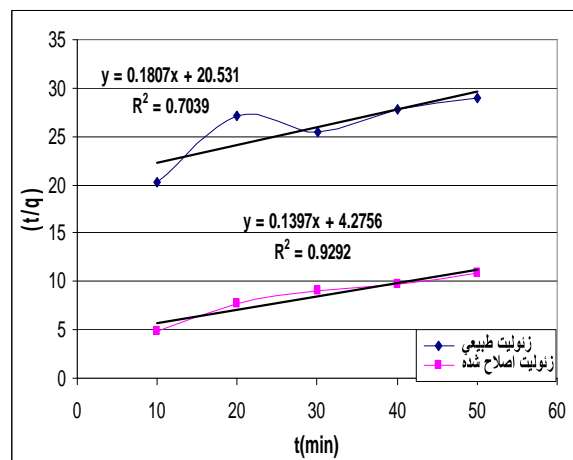
شکل ۱۵: منحنی‌های معادله درجه دوم لاجر جرن و خطوط رگرسیون برای ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون

همبستگی به دست آمده برای هر کدام از زئولیت‌های طبیعی و اصلاح شده در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون تطابق کامل سینتیک جذب را با معادله درجه دوم کاذب لاجر جرن نشان می‌دهد. زیرا مقدار ضریب همبستگی به دست آمده در پردازش منحنی‌ها از معادله درجه دوم به مراتب بیشتر از میزان آن در معادله درجه اول می‌باشد. همچنین با مقایسه منحنی‌های شکل‌های ۱۵ و ۱۶ با توجه به میزان پردازش آنها با معادله خط رگرسیون حاصل شده و نیز ضرایب همبستگی به دست آمده برای هر کدام از زئولیت‌های طبیعی و اصلاح شده در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون می‌توان پی برد که در این ابعاد سینتیک جذب برای زئولیت طبیعی تفاوت چندانی با مدل‌های درجه اول و دوم ندارد و زئولیت اصلاح شده از مدل درجه دوم تبعیت می‌کند. زیرا میزان ضریب همبستگی بیشتر و میزان پردازش شدن منحنی نیز زیادتر است. با توجه به خطوط رگرسیون حاصل از مدل جذب برای هر کدام از چهار حالت و مطابقت هر کدام از آنها با مدل‌های گفته شده می‌توان ثابت نرخ جذب را محاسبه کرد. در این حالت میزان ثابت نرخ جذب تعادلی ( $k_{1ads}$ ) به طور متوسط برای ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون و برای زئولیت طبیعی و اصلاح شده به ترتیب برابر ۹/۱۹، ۰/۰۳۹ و در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون و برای زئولیت طبیعی و اصلاح شده ۲/۵۰ و ۰/۰۸۳ گرم بر میلی‌گرم در دقیقه می‌باشد.

## ۴- نتایج

(۱) نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با افزایش میزان زئولیت، مقدار سیانید باقیمانده کاهش می‌یابد و موقعی که میزان زئولیت در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون برای نوع طبیعی در حدود ۳۰ g/l، برای نوع اصلاح شده به ۲۴ g/l و در ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون برای نوع طبیعی و اصلاح شده آن به ترتیب به ۳۶ g/l و ۲۴ g/l می‌رسد بعد از آن افزایش زئولیت تاثیری چندانی در کاهش میزان سیانید ندارد. مقدار بهینه جذب سیانید در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون برای زئولیت اصلاح شده و طبیعی به ترتیب ۵۰/۲ و ۸۶/۱ درصد، برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون به ترتیب ۳۹/۵ و ۶۴ درصد می‌باشد.

(۲) افزایش pH در هر دو نوع دانه‌بندی زئولیت طبیعی و اصلاح شده به ترتیب تا ۱۰/۵ و ۱۰ باعث افزایش جذب سیانید و با افزایش pH بعد از این مقادیر سیانید جذب شده کاهش می‌یابد. و برای ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون جذب سیانید برای زئولیت طبیعی و اصلاح شده در بهینه pH به ترتیب حدوداً.



شکل ۱۶: منحنی‌های معادله درجه دوم لاجر جرن و خطوط رگرسیون برای ابعاد ۳۰۰-۱۰۰۰ میکرون

مقایسه منحنی‌های شکل‌های ۱۳ و ۱۴ با ۱۶، با توجه به میزان پردازش آنها با معادله خط رگرسیون حاصل شده و نیز ضرایب

جدول ۱: آنالیز شیمیائی زئولیت

L.O.I	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ترکیب مقدار
۱۳/۴۷	۱/۴۸	۱/۱۹	۱/۱۶	۳/۰۴	۰/۴۲	۰/۵۸	۱۱/۷۱	۶۷/۲۴	

جدول ۲: میزان سیانید جذب شده در شرایط بهینه

نوع و ابعاد زئولیت	مقدار (gr/l)	pH	زمان	دمای (°C)	سیانید جذب شده (%)
طبیعی (۱۰۰-۳۰۰)	۳۰	۱۰/۵	۴۰	۲۵	۵۷
اصلاح شده (۱۰۰-۳۰۰)	۲۴	۱۰	۴۰	۲۵	۹۱
طبیعی (۳۰۰-۱۰۰۰)	۳۶	۱۰/۵	۵۰	۲۵	۴۶
اصلاح شده (۳۰۰-۱۰۰۰)	۲۴	۱۰	۵۰	۲۵	۸۰

جدول ۳: مشخصات مدل‌های ایزوترم برای جذب سیانید در دمای ۲۰ °C

ایزوترم فروندلیچ			ایزوترم لانگمایر			نوع جاذب
R2	n	k	R2	b	a	
۰/۹۸۷۳	۰/۹۷۳	۰/۰۴۰۵	۰/۹۷۶۶	۴۷/۴	۰/۰۰۰۱	زئولیت طبیعی (۱۰۰-۳۰۰) میکرون
۰/۹۹۱۵	۰/۷۲۶	۰/۱۴۰۴	۰/۹۹۶۹	-۱۳/۵۹	-۰/۰۱۹۴	زئولیت اصلاح شده (۱۰۰-۳۰۰) میکرون
۰/۹۸۲۵	۱/۰۴۳۷	۰/۰۳۲۴	۰/۹۸۶	۲۵/۶۴۱	۰/۰۰۱۱	زئولیت طبیعی (۳۰۰-۱۰۰۰) میکرون
۰/۹۹۵۸	۰/۸۸۳	۰/۰۹۱۳	۰/۹۸۹۶	-۱۶/۶۹۵	-۰/۰۰۶۸	زئولیت اصلاح شده (۳۰۰-۱۰۰۰) میکرون

جدول ۴: داده‌های مربوط به رسم معادله درجه دوم مربوط به جذب سیانید توسط زئولیت

میکرون (۳۰۰-۱۰۰۰)		میکرون (۱۰۰-۳۰۰)		زمان (min)	شماره
log(t/q)		log(t/q)			
زئولیت اصلاح شده	زئولیت طبیعی	زئولیت اصلاح شده	زئولیت طبیعی		
۴/۹۲	۲۰/۳۳	۳/۰۵	۱۳/۱۶	۱۰	۱
۷/۷۶	۲۷/۱۶	۴/۷۸	۱۴/۰۸	۲۰	۲
۹/۰۲	۲۵/۴۱	۶/۳۹	۱۵/۶۵	۳۰	۳
۹/۷۱	۲۷/۸۵	۷/۷۵	۱۵/۷۶	۴۰	۴
۱۰/۹۳	۲۹/۰۲	-	-	۵۰	۵

جدول ۵: داده‌های مربوط به رسم معادله درجه اول سیانید توسط زئولیت

میکرون (۳۰۰-۱۰۰۰)		میکرون (۱۰۰-۳۰۰)		زمان (min)	شماره
log(q <sub>e</sub> - q)		log(q <sub>e</sub> - q)			
زئولیت اصلاح شده	زئولیت طبیعی	زئولیت اصلاح شده	زئولیت طبیعی		
۰/۴۱	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۲۶	۱۰	۱
۰/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۶	۲۰	۲
۰/۱۰	-۰/۲۴	-۰/۳۲	-۰/۱۸	۳۰	۳
-۰/۳۴	-۰/۴۹	-۱/۶۹	-۱/۳۷	۴۰	۴
-۲/۳۸	-۱/۴۳	-	-	۵۰	۵

[1] فقیهیان، حسین ۱۳۸۳. جذب یون سیانید بوسیله زئولیت Y و فرمهای اصلاح شده آن، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دانشگاه اصفهان، گروه شیمی،

[3] J.Loredo, *Cyanide Removal from Gold Mining laboratory experiments*, Universidad de Oviedo, Escuela de Minas, Spain, 2002

[4] U.S. Environmental Protection Agency, Treatment of Cyanide heap leaches and Tailings, September 1994

[5] Ignacio Rodríguez García, *Constructed Wetlands use for Cyanide and Metal Removal from Gold mill Effluents*, Stockholm 2003

[6] Lobomira Tosheva, *Zeolite Macrostructures*, Division of Chemical Technology, Department of Chemical and metallurgical engineering, Lulea University of Technology, S-97187 Lulea, Sweden, Lulea 1999

[7] A. Garcia-Sanchez, A. Alastuey, X. Querol, *Heavy metal adsorption by different minerals: application to the remediation of polluted soils*, The Science of the Total Environment 242, 1999

[8] J. L. Huiatt, *Cyanide from mineral processing: problems and research needs*, "Conference on Cyanide and the Environment", Tucson, Arizona. Published by Geotechnical Engineering Program, Colorado State University. Fort Collins. Colorado 80523, December 1984

[9] A. Chojnacki, K. Chojnacka, J. Hoffmann, H. G.orecki, *The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale*, Minerals Engineering 17 (2004)

[10] Lotfi Khezami, Richard Capart, *Removal of chromium (VI) from aqueous solution by activated carbons: Kinetic and equilibrium studies*, Journal of Hazardous Materials xxx (2005)

[11] Nafaa Adhoum, Lotfi Monser, *Removal of cyanide from aqueous solution using impregnated activated carbon*, Chemical Engineering and Processing, VOL 41 (2002)

[12] G.G. Stavropoulos, A.A. Zabaniotou, *Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue*, Microporous and Mesoporous Materials 82 (2005) 79-85

[13] Li,Z., Willms,C., Roy,s, *Desorption of hexadecyltrimethyl ammonium from charged surface*. Environmental geoscience. vol 10, No1, 2003

[14]. Y.S.HO and G. MCKAY, *The sorption of lead (II) ions on peat*, Wat.Res.Vol. 33, No.2. February 1999, PP (578-584)

[15] Nese ? ztürk, T. Ennil Bektas, *Nitrate removal from aqueous solution by adsorption on to various materials*, Hazardous Materials B112 (2004)

[16] www.cyantists.com

به ۵۳ و ۸۸ درصد و برای نمونه ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون میزان سیانید جذب شده به ۴۳ و ۷۸ درصد می‌رسد.

(۳) میزان سیانید جذب شده برای زئولیت‌های اصلاح شده در هر دو دانه‌بندی به مراتب بیشتر از نوع طبیعی آن می‌باشد که علت اصلی آن احتمالاً انجام واکنش بین مولکول‌ها و یون‌های سیانید آزاد با یون مس جذب شده و یا تعویض یون شده با زئولیت باشد. علت جذب شدن سیانید بر روی زئولیت طبیعی احتمالاً نفوذ آن در داخل خلل و فرج کانی باشد.

(۴) افزایش زمان بهم زدن محلول با زئولیت باعث می‌شود که میزان سیانید جذب شده برای هر دو حالت طبیعی و اصلاح شده در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون تا زمان ۴۰ دقیقه و برای ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون تا زمان ۵۰ دقیقه و برای هر دو حالت آن به‌صورت خطی افزایش بیابد ولی با افزایش زمان از این مقادیر به بعد تغییرات چندانی در مقدار سیانید جذب شده بر روی جذب حاصل نمی‌شود و می‌توان گفت که در این مدت سیانید به حد کافی جذب سطح زئولیت شده است و میزان سیانید جذب شده بر روی سطح جذب و سیانید باقیمانده در محلول به حالت تعادل رسیده است.

(۵) کاهش دما بیشتر بخاطر تبخیر آن و به حالت گازی شکل در آمدن سیانید مربوط می‌شد. در آزمایش‌های حذف سیانید در محیط‌های باز نباید دما از دمای تبخیر ( $25^{\circ}C$ ) آن بیشتر باشد (۶) در تمامی مراحل آزمایش مقدار سیانید جذب شده برای ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون بیشتر از ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون در هر دو حالت بود.

(۷) مکاینیزم جذب در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون زئولیت طبیعی بیشتر از مدل فرند لیچ و برای زئولیت اصلاح شده تفاوت چندانی بین این دو مدل وجود ندارد و تبعیت آن بیشتر از مدل لانگ مایر است.

(۸) برای هر کدام از زئولیت‌های طبیعی و اصلاح شده در ابعاد ۱۰۰-۳۰۰ میکرون تطابق سینتیک جذب با معادله درجه دوم کاذب لاجرجن است.

(۹) در ابعاد ۱۰۰۰-۳۰۰ میکرون سینتیک جذب برای زئولیت طبیعی تفاوت چندانی با مدل‌های درجه اول و دوم ندارد و زئولیت اصلاح شده از مدل درجه دوم تبعیت می‌کند.

## ۶) منابع و مراجع

[۱] بانک اطلاعات کارخانه های فرآوری مواد معدنی ایران، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، ۱۳۸۲.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.