

بررسی فرایند حذف سیانید از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای آقدره - تکاب با استفاده از کانی تالک

عبداله سمیعی بیرق*⁺

تهران، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، گروه محیط زیست معدنی

احمد خدادادی، محمود عبدالمهی

تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی فرآوری مواد معدنی

محمد مشکینی

تهران، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، گروه محیط زیست معدنی

چکیده: سدیم سیانید به عنوان یک ماده بسیار سمی و در عین حال با ارزش در استخراج طلا و نقره به کار می‌رود. مقدار و اندازه جاذب، زمان جذب، pH و دمای محلول از پارامترهای مهم در جذب سیانید می‌باشند. در این پژوهش دو نوع تالک در دانه‌بندی‌های ۴۵- میکرون (سفید)، (۳۰۰-۱۰۰) و (۵۰۰-۳۰۰) میکرون (صنعتی) مورد استفاده قرار گرفت. میزان بهینه تالک برای جذب سیانید در اندازه (۴۵-)، (۳۰۰-۱۰۰) و (۳۰۰-۳۰۰) میکرون به ترتیب ۲۰، ۲۸ و ۳۶ گرم در لیتر برآورد شد. pH بهینه برای هر سه اندازه حدود ۹ تا ۹٫۵ بود. زمان بهینه برای اندازه‌های (۴۵-)، (۳۰۰-۱۰۰) و (۵۰۰-۳۰۰) میکرون به ترتیب برابر در ۵۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه به دست آمد. سینتیک جذب در اندازه‌های (۴۵-) و (۵۰۰-۳۰۰) میکرون از معادله درجه اول لاجرجن و برای اندازه‌های (۳۰۰-۱۰۰) میکرون به طور کامل از مدل درجه دوم پیروی می‌کند. آغشته کردن تالک با محلول آلومینیم کلرید باعث افزایش سطح مثبت آن شده و بازده جذب سیانید را نیز افزایش می‌دهد. بیشینه جذب در هر سه اندازه‌های بیشتر از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند هر چند که میزان ضریب تبیین برای مدل لانگ‌مایر نیز برای ابعاد درشت زیاد است. درصد جذب سیانید در ابعاد (۴۵-) میکرون نسبت به اندازه‌های (۵۰۰-۳۰۰) میکرون بیشتر و نسبت به اندازه‌های (۳۰۰-۱۰۰) میکرون کمتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیانید، تالک، فرایند جذب، هم‌دماهای جذب.

KEY WORDS: Cyanide, Talc, Adsorption, Adsorption Isotherms.

مقدمه

مطالعه‌های زمین شناسی اقتصادی و عملیات اکتشافی کانسار تأمین کننده ماده معدنی و خوراک کارخانه، طلا در داخل سیلیکات‌های آهن

کارخانه فرآوری طلای آقدره در ۳۲ کیلومتری شمال شهرستان تکاب استان آذربایجان غربی واقع شده است. بر اساس

*عهده دار مکاتبات

+E-mail: a_samiee2003@yahoo.com

مصرف‌های آن در صنعت معدنکاری و به منظور بازیابی فلزهای گران‌بهای مانند طلا و نقره می‌باشد [۵].

حذف و خنثی سازی سیانید در آب باطله این صنایع و صناعی که به هر شکلی با آن سرو کار دارند از موارد بسیار مهم در جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست به شمار می‌رود. روش‌های بسیاری برای کاهش و از بین بردن سیانید در پساب‌ها وجود دارد که می‌توان به روش‌های زیستی، اکسایش شیمیایی با استفاده از موادی مانند آب اکسیژنه، گاز ازون، هیپو کلریت‌های سدیم و کلسیم، استفاده از پلی سولفیدها، تعویض یون با استفاده از رزین‌های تبادل یونی و جذب آن با استفاده از کانی‌هایی مانند ایلمنیت، زئولیت و مواد جاذب مانند کربن فعال اشاره کرد [۶، ۷].

فرمول شیمیایی تالک به صورت $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ بوده و ترکیب خالص این کانی دارای $63/36$ درصد سیلیس و $31/98$ درصد منیزیم اکسید و $4/75$ درصد آب می‌باشد. تالک یک کانی منیزیم سیلیکات آبدار و بیشتر دارای ناخالصی‌های آهن، آلومینیم اکسید (Al_2O_3)، آهک (CaO)، کربن، کوارتز و منگنز اکسید می‌باشد [۸، ۹].

تالک به دلیل دارا بودن خاصیت ناهمگنی سطح آن، برای حذف آنیون‌ها، کاتیون‌ها و دیگر مواد آلوده کننده آب و خاک استفاده می‌شود. پژوهش‌های زیادی برای حذف فلزهای سنگین و سمی مانند جیوه، آرسنیک، سرب، روی و دیگر مواد آلوده کننده خاک به وسیله تالک در کشاورزی و دیگر صنایع انجام گرفته است. پساب خروجی از صنایع نساجی که دارای مقادیر زیادی از مواد آلی شیمیایی آنیونی و کاتیونی می‌باشد به وسیله تالک و کانی‌های هم گروه آن بازیابی و خنثی شده‌اند [۱۰]. تالک از کانی‌هایی است که هر دو خاصیت آب‌رانی و آب‌پذیری را از خود نشان می‌دهد. مطالعه‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که برای مشخص کردن میزان سطح آب رانی و آب‌پذیری این نوع کانی‌ها به ترتیب از مواد جاذب آنیونی و کاتیونی استفاده شده است. این سطح‌ها در هنگام آسیا شدن و دانه‌بندی تالک که باعث شکستگی آن می‌شود به وجود می‌آیند. بررسی‌ها نشان می‌دهد کانی‌هایی که این دو خاصیت را دارند برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند به طوری که بسیاری از رنگ‌دانه‌های آنیونی، پلی ساکاریدها، فسفات‌ها که بار منفی دارند به خوبی بر روی این گونه مواد جذب شده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۴]. از آنجا که یون سیانید بار منفی دارد و با توجه به اینکه تالک بار سطحی منفی و مثبت دارد از آن برای جذب سیانید استفاده شد.

و منیزیم این کانسار تشکیل شده است. عیار طلا در این کانسنگ در حدود $0/3$ ppm و در فراورده‌ی کیک فیلتر شده $1/5$ درصد می‌باشد. مهم‌ترین روش برای استخراج طلا از کانسنگ، استفاده از روش سیانوراسیون است. در این کارخانه عملیات لیچینگ یا انحلال طلای کانسنگ توسط فرایند سیانوراسیون انجام می‌گیرد؛ در طی این مرحله طلا حل شده و به صورت محلول درمی‌آید. کمپلکس‌های محلول طلا بعد از مرحله لیچینگ در داخل ستون‌های جذب، بر روی کربن فعال جذب می‌شوند. طلای جذب شده بر روی کربن فعال با سدیم هیدروکسید گرم شسته شده و بعد از فرایند سماتاسیون به وسیله پودر روی اکسید و دیاتومه به صورت کیک در آمده و برای بازیابی به کارخانه ذوب فرستاده می‌شود. گلاب به تقریب بدون طلا به منظور گرفتن آب از آن و برگرداندن دوباره به چرخه فرایند به تیکتر^(۱) منتقل می‌شود. مواد خروجی از تیکتر (به تقریب با 30 درصد جامد) که دارای مقادیر زیادی سیانید و ترکیب‌های آن می‌باشد وارد سد باطله می‌شود [۱].

سیانید یک ترکیب شیمیایی کربن و نیتروژن می‌باشد که هیدروژن سیانید، سدیم سیانید و پتاسیم سیانید نمونه‌هایی از ترکیب‌های ساده سیانیدی هستند. سیانید یک ماده بسیار سمی و خطرناک می‌باشد. مقدار کشنده سیانیدریک اسید 50 تا 100 میلی‌گرم، سدیم سیانید 150 میلی‌گرم و پتاسیم سیانید 200 میلی‌گرم است. بیشترین غلظت بی‌ضرر سیانیدریک اسید در هوا 10 ppm است. ورود آن به آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک خسارت‌های جبران‌ناپذیری را بر محیط زیست و زندگی بشری به همراه دارد [۲].

یون‌های HCN و CN^- به‌عنوان سیانور آزاد محسوب می‌شوند. یون CN^- در pH بالای 9 پایدار بوده و در پایین‌تر از 7 به HCN گازی تبدیل می‌شود [۳، ۲].

چهار گروه از ترکیب‌های سیانید، که از نقطه نظر زیست محیطی و سمیت دارای اهمیت هستند، عبارتند از: سیانید آزاد (CN_f)، سیانیدهای قابل جداسازی با اسید ضعیف (CN_{wad})، سیانیدهای آهن و کمپلکس‌های سیانید - آهن [۴]. سیانید با وجود سمی و خطرناک بودن یکی از مواد اصلی مورد استفاده در صنایعی مانند آبکاری، کارخانه‌های تولید فیبر، تولید پلاستیک، چسب، مواد رنگی و شیمیایی آلی، داروسازی، عکاسی، وسایل آرایشی، نمک‌های جاده، فرایندهای مقاوم‌سازی و افزایش سختی فلزها و فولاد، فرایندهای فتوگرافی، تهیه نیتریل‌ها، کوره‌های کک سوز می‌باشد. اما یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین

(۱) Thikner

جدول ۱- تجزیه شیمیایی تالک سفید.

ترکیب	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na	K	SO ₃	L.O.I
مقدار	۵۹٫۹۵	۱٫۱۰	۱٫۴۱	۰٫۱۳	۰٫۷۱	۳۰٫۷۰	۰٫۱۲	۰	۰٫۰۲	۱۲٫۱۰

جدول ۲- تجزیه شیمیایی تالک صنعتی.

ترکیب	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na	K	SO ₃	L.O.I
مقدار	۵۲٫۱۰	۱٫۰۰	۰٫۱۶	۰٫۰۲	۴٫۳۰	۲۹٫۳۰	۰٫۲۰	۰	۰٫۰۶	۱۲٫۱۰

از آنجایی که بیشتر یون‌های سیانیدی موجود در محلول آنیونی هستند و بایستی در یک سطح مثبت جذب بشوند تالک برای این کار مناسب بوده و برای افزایش ظرفیت جذب آن از آلومینیم کلرید (AlCl₃) استفاده شد.

محلول سیانیدی از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلا تهیه شد که pH آن در حدود ۹ و غلظت سیانید آزاد ۱۴۰ میلی گرم در لیتر تعیین شد. اندازه‌گیری سیانید آزاد با استفاده از روش تیتراسیون و با محلول ۰٫۱۰۲ مول در لیتر نقره نیترات انجام شد. از سدیم هیدروکسید برای تهیه محلول شاهد استفاده شد، که از حل کردن ۱٫۶ گرم سدیم هیدروکسید در یک لیتر آب مقطر، محلول شاهد ۰٫۰۴ مول به دست می‌آید و برای رقیق کردن محلول سیانید مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آلومینیم کلرید با غلظت ۰٫۰۰۴ مول نیز برای افزایش بار سطحی مثبت تالک و در دو حالت برای آزمایش‌ها استفاده شد (تالک آغشته شده با محلول و افزودن محلول در زمان انجام آزمایش).

فرایند جذب عبارت است از انتقال اجزایی از سیال و تجمع آن در جاذب جامد که تا رسیدن به حالت تعادل ادامه می‌یابد. در مطالعه انتقال و جذب املاح و ترکیب‌ها بر روی یک ماده بایستی معادله‌ها و رابطه‌هایی بین غلظت ماده جذب شونده و غلظت باقی‌مانده آن در محلول در دماهای ثابت وجود داشته باشد که این معادله‌ها را هم دماهای جذب سطحی می‌گویند. مدل‌های لانگ‌مایر و فروندلیچ بیان‌کننده این رابطه‌ها هستند. برای فرایند جذب، سینتیک جذب با استفاده از مدل‌های درجه اول و دوم لاجرجن بیان می‌شود [۱۵، ۱۳].

براساس بررسی‌های انجام گرفته تاکنون هیچ مطالعه‌ای در مورد جذب سیانید با استفاده از تالک انجام نگرفته است. از آنجا که یون سیانید بار منفی دارد و با توجه به منفی و مثبت بودن بار سطحی تالک، در این پژوهش از آن برای جذب سیانید استفاده شد. روش جذب به خاطر امکان بازیافت و استفاده مجدد سیانید از مهم‌ترین روش‌ها می‌باشد.

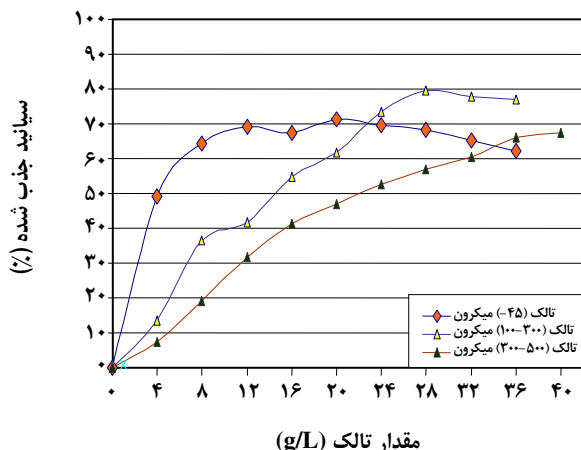
بخش تجربی

مواد لازم و آماده سازی

به‌منظور مطمئن شدن از جذب سیانید به‌وسیله تالک و پیدا کردن مقدار مناسب آن، ابتدا چندین آزمایش اولیه انجام گرفت. برای اولین بار از آزمایش جذب سیانید به‌وسیله تالک، نتیجه‌های رضایت‌بخشی به‌دست آمد. تالک مورد استفاده برای آزمایش‌های جذب سیانید از شرکت پودرسازان تهیه شد و در این پژوهش دو نوع تالک در دانه‌بندی‌های زیر ۴۵ میکرون (۴۵- میکرون) از نوع تالک سفید، (۱۰۰ تا ۳۰۰) و (۳۰۰ تا ۵۰۰) میکرون از نوع تالک صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. نتیجه‌های تجزیه شیمیایی تالک سفید و صنعتی که با استفاده از روش جذب اتمی انجام گرفته است در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

روش انجام آزمایش

مطالعه‌ها و آزمایش‌های جذب در دمای آزمایشگاه (۲۱ °C) و در داخل یک بشر استوانه‌ای انجام گرفت. بدین ترتیب که ابتدا pH محلول برای جلوگیری از تخییر سیانید و تبدیل شدن آن به HCN گازی شکل در حدود ۱۱ تنظیم شد سپس ۵۰ میلی لیتر از محلول سیانید به داخل بشر افزوده شد و به دنبال آن مقدارهای متفاوتی از تالک در وزن‌های ۱٫۲، ۱٫۴ و ۱٫۶ به داخل محلول افزوده شد و به مدت نیم ساعت به‌وسیله همزن مکانیکی به‌هم زده شد بعد از آن به مدت ۱۰ دقیقه در حالت سکون قرار گرفت تا اینکه تالک ته‌نشین شده و باقیمانده سیانید نیز تا حد امکان جذب شود. سپس محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شد و تالک باقی‌مانده بر روی



شکل ۱- نمودار درصد جذب سیانید نسبت به افزایش میزان تالک.

مقدار بهینه جذب سیانید در شرایط فوق برای اندازه‌های (۴۵-)، (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون به ترتیب ۷۱/۲۱، ۷۹/۵۰ و ۶۶/۱ درصد می‌باشد. به احتمال فراوان علت ثابت ماندن افزایش سیانید بعد از این مقادیر بحرانی شدن شرایط جذب (افزایش تعداد نقطه‌های بار سطحی منفی در زاویه‌ها و گوشه‌های دانه‌های تالک در اثر خردایش زیاد) می‌باشد. در اندازه‌ی (۴۵-) میکرون به دلیل ریز بودن اندازه‌های تالک (پودر) افزودن بیش از حد جاذب باعث رسوب شدن و خوب مخلوط نشدن آن با محلول شده و در نتیجه افزایش بیش از حد آن بازده جذب نیز کاهش می‌یابد.

در شکل ۱ از مقایسه منحنی‌ها مشخص می‌شود که در اندازه‌های (۱۰۰-۳۰۰) میکرون درصد جذب سیانید بیشتر از بقیه می‌باشد.

اثر افزایش pH بر جذب سیانید بر روی جاذب تالک

در این مرحله از آزمایش‌ها pH به عنوان پارامتر متغیر و میزان جاذب در مقادیر بهینه آنها، دما و زمان تماس نیز ثابت در نظر گرفته شده‌اند.

بنابراین برای بررسی تأثیر افزایش pH و به دست آوردن مقدار بهینه آن برای بیشینه جذب سیانید آزمایش‌ها در pHهای گوناگون ۸/۵، ۹، ۹/۵، ... و ۱۲/۵ انجام گرفت.

نتیجه‌های به دست آمده نشان داد که با افزایش pH تا ۹ برای اندازه‌های (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون و تا ۹/۵ برای اندازه‌ی (۴۵-) میکرون میزان سیانید باقی‌مانده نیز کاهش می‌یابد. برای مواقعی که میزان pH در اندازه‌ی (۴۵-) میکرون

صافی نیز شستشو شد تا اینکه سیانید بر روی صافی باقی نماند. بعد از آن حجم محلول را به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و غلظت سیانید مشخص شد.

برای مشخص کردن هم‌دمای جذب، محلول‌های سیانیدی با غلظت‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از سدیم سیانید تهیه شد، سپس در مقادیر بهینه وزنی به دست آمده از آزمایش‌های جذب از تالک، بر ۵۰ میلی‌لیتر از هر کدام از این محلول‌ها ریخته شد و در یک دمای ثابت (دمای آزمایشگاه ۲۱ °C) آزمایش‌های جذب انجام گرفت و مقدار سیانید باقی‌مانده بعد از آزمایش برای هر کدام از دو نمونه اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌ها و بحث

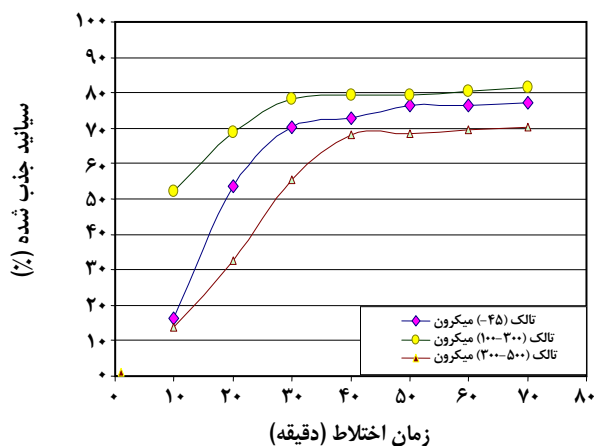
تأثیر میزان تالک در جذب سیانید

بعد از مطمئن شدن از جذب سیانید به وسیله تالک، تأثیر افزایش مقدار آن بر میزان جذب سیانید در دمای ثابت ۲۱ °C (دمای محیط آزمایشگاه)، pH=۱۱ و زمان تماس ۳۰ دقیقه، مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس با وزن‌های گوناگونی از تالک از ۰/۲ تا ۲ گرم با ۵۰ میلی‌لیتر محلول سیانیدی آب سد باطله، آزمایش‌ها انجام گرفت. در این مرحله تنها متغیر میزان غلظت تالک بوده و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شدند. آزمایش‌های جذب برای تالک در سه بازه‌ی ابعادی (۴۵-)، (۳۰۰-۵۰۰) و (۱۰۰-۳۰۰) میکرون مورد بررسی قرار گرفت.

نتیجه‌های به دست آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش میزان تالک، مقدار سیانید باقی‌مانده در هر سه دانه‌بندی کمتر می‌شود. ولی موقعی که میزان تالک در اندازه‌های (۴۵-)، (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون به ترتیب به ۲۰، ۲۸ و ۳۶ گرم در لیتر می‌رسد بعد از آن افزایش تالک تأثیری چندانی در میزان سیانید باقی‌مانده در محلول ندارد و می‌توان گفت که مقدار تالک برای هر سه دانه‌بندی به مقدار بهینه خود برای حذف سیانید رسیده است.

شکل ۱ نمودار تغییرهای درصد جذب سیانید را بر اساس تغییر جرم تالک در pH=۱۱، زمان به هم زدن ۳۰ دقیقه و دمای ۲۱ °C برای هر سه دانه‌بندی از تالک نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱ دیده می‌شود که درصد سیانید جذب شده بر روی تالک با افزایش میزان جاذب زیاد شده و به نقطه‌ای می‌رسد که دیگر افزایش تالک تأثیری بر درصد جذب سیانید ندارد و به کندی صورت می‌گیرد.



شکل ۳- نمودار درصد سیانید جذب شده به افزایش زمان اختلاط.

و میزان بهینه‌اش نیز مشخص شود. برای این منظور در $pH=9.5$ ، دمای $21^{\circ}C$ و $21 g/L$ و $20 g/L$ تالک برای اندازه‌ی (۴۵-) میکرون و برای اندازه‌های (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون در $pH=9$ ، دمای $21^{\circ}C$ و $28 g/L$ و $36 g/L$ تالک به ترتیب در زمان‌های متفاوت ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ دقیقه آزمایش‌های بسیاری انجام گرفت که نتیجه‌ها و اطلاعات آن برای مشخص شدن زمان بهینه و اثر افزایش زمان در آزمایش‌ها آمده است.

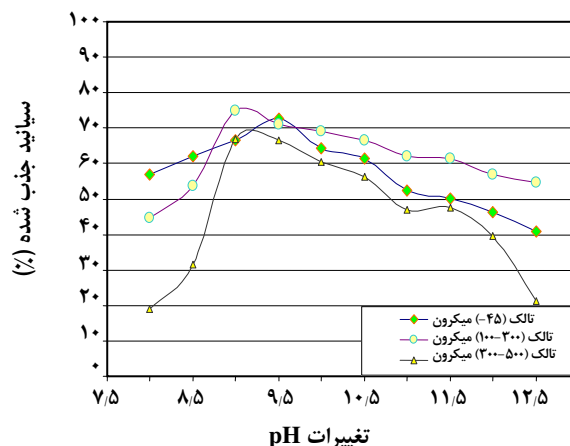
با مراجعه به شکل ۳ مشخص می‌شود که با افزایش زمان به هم زدن محلول با تالک میزان سیانید جذب شده تا زمان بهینه هر کدام از دانه‌بندی‌ها افزایش می‌یابد ولی با افزایش زمان از مقدارهای بهینه به بعد تغییرهای چندانی در مقدار سیانید باقی‌مانده در محلول و در نتیجه سیانید جذب شده بر روی جاذب به دست نمی‌آید و می‌توان گفت که در این مدت سیانید به حد کافی بر روی تالک جذب شده است و با سیانید باقی‌مانده در محلول به حالت تعادل رسیده است. زمان بهینه برای اندازه‌های (۴۵-)، (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون به ترتیب برابر با ۳۰، ۵۰ و ۴۰ دقیقه است. در همین زمان بهینه میزان سیانید جذب شده (%) به ترتیب برابر با ۷۶/۵، ۷۸/۴ و ۶۸/۲ به دست آمده است.

مدل‌سازی سینتیکی جذب سیانید بر روی تالک

مدل درجه اول لاجرجن

سینتیک جذب سیانید بر روی تالک نیز مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۳ داده‌های مربوط به معادله درجه اول لاجرجن بر اساس معادله (۱) نشان می‌دهد.

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



شکل ۴- نمودار درصد سیانید جذب شده نسبت به افزایش pH.

به 9.5 رسید، مقدار سیانید باقی‌مانده در کم‌ترین مقدار خود یعنی $38.2 mg/L$ و برای ابعاد (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون در $pH=9$ به ترتیب $35 mg/L$ و $46.21 mg/L$ می‌باشد و با افزایش دوباره pH ، میزان سیانید باقی‌مانده افزایش می‌یابد.

شکل ۲ نتیجه‌های به دست آمده از جذب سیانید با pH های گوناگون، زمان هم زدن ۳۰ دقیقه، دمای $21^{\circ}C$ و مقدارهای بهینه غلظت برای هر سه نوع دانه‌بندی از تالک را نشان می‌دهد. از روی نمودار مشخص است که با افزایش میزان pH تا مقدارهای بهینه آنها، درصد سیانید جذب شده در هر سه نمونه افزایش یافته و برای اندازه‌های (۱۰۰-۳۰۰) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون میزان جذب در $pH=9$ به ترتیب برابر با ۷۵ و ۶۷ درصد و برای نمونه (۴۵-) میکرون میزان سیانید جذب شده به حدود ۷۳ درصد می‌رسد. بنابراین میزان pH بهینه برای نمونه‌های درشت برابر ۹ و برای نمونه پودری 9.5 انتخاب شد. علت انتخاب این pH ها شاید به خاطر متفاوت بودن سطح کانی تالک (آب ران و آب پذیر بودن) نسبت به سایر کانی‌ها باشد که هم شامل یون‌های مثبت و یون‌های منفی (در لبه‌ها و قسمت‌های شکسته شده) آن است. به دلیل اینکه در pH های بالا میزان یون‌های CN^- زیاد هستند در نتیجه تمایل بیشتری برای جذب بر روی سطوح مثبت تالک از خود نشان می‌دهد.

اثر زمان اختلاط

پس از مشخص شدن مقدار بهینه تالک و pH برای هر کدام از دانه‌بندی‌ها بایستی زمان در تماس بودن محلول با جاذب نیز مورد بررسی قرار بگیرد تا اینکه تأثیر آن در فرایند جذب بررسی

جدول ۳- داده‌های مربوط به معادله درجه اول کاذب لاجرن برای جذب سیانید توسط تالک.

شماره	زمان (دقیقه)	(-۴۵) میکرون	(۱۰۰-۳۰۰) میکرون	(۳۰۰-۵۰۰) میکرون
۱	۱۰	۰٫۶۳	۰٫۱۳	۰٫۳۳
۲	۲۰	۰٫۲۰	-۰٫۲۹	۰٫۱۵
۳	۳۰	-۰٫۳۷	-۱٫۴۲	-۰٫۲۹
۴	۴۰	-۰٫۵۷	-	-۱٫۷۹
۵	۵۰	-۲٫۴۶	-	-

به ترتیب برابر ۵٫۴۶، ۳٫۹۶ و ۲٫۶۷ میلی گرم بر گرم جاذب در زمان تعادل جذب می‌باشد.

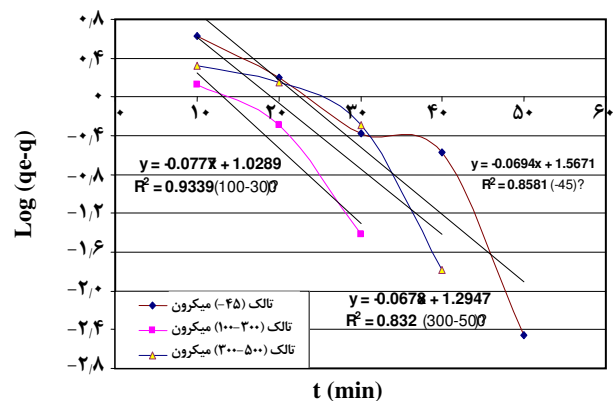
مدل درجه دوم کاذب لاجرن

در جدول ۴ داده‌های مربوط به رسم معادله درجه دوم کاذب لاجرن توسط تالک در هر سه دانه‌بندی با توجه به معادله (۲) نشان داده شده است [۱۳ و ۱۵].

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{k_{\text{rads}} q_e} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

جدول ۴ نیز از داده‌های مربوط به سینتیک جذب سیانید در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه برای هر کدام از دانه‌بندی‌ها تنظیم شده که ستون دوم آن زمان جذب و ستون سوم نتیجه‌ی تقسیم زمان بر میزان جذب سیانید در همان زمان می‌باشد. شکل ۵ منحنی به‌دست آمده از مدل‌سازی جذب با معادله درجه دوم لاجرن نشان می‌دهد و معادله خطوط برازش و ضریب همبستگی هر کدام از دانه‌بندی‌ها به دست آمده است.

از مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ با توجه به برازش آنها با معادله خط‌های برازش و نیز ضریب‌های همبستگی به‌دست آمده در جدول ۵ می‌توان فهمید که در اندازه‌های (-۴۵) و (۳۰۰-۵۰۰) میکرون، سینتیک جذب از معادله درجه اول لاجرن پیروی می‌کند. زیرا مقدار ضریب همبستگی به دست آمده در برازش منحنی‌ها از معادله درجه اول به مراتب بیشتر از میزان آن در معادله درجه دوم می‌باشد و این نشان دهنده پیروی سینتیک جذب از معادله درجه اول لاجرن است. اندازه‌ی (۱۰۰-۳۰۰) میکرون نیز از مدل درجه دوم پیروی می‌کند. از میزان R^2 به‌دست آمده برای این اندازه‌ها نتیجه گرفته می‌شود که پیروی سینتیک جذب به طور کامل از معادله درجه دوم نیست چرا که میزان ضریب همبستگی در معادله



شکل ۴- منحنی‌های معادله درجه اول کاذب لاجرن برای جذب سیانید روی تالک.

ستون دوم نشان دهنده زمان جذب از ابتدای تماس با جاذب بر حسب دقیقه و ستون سوم لگاریتم اختلاف میزان جذب تعادلی و جذب در زمان مورد نظر را نشان می‌دهد. البته در زمان تعادل میزان q و q_e باهم برابر بوده است؛ در نتیجه برای مثبت شدن مقدار $\log(q_e - q)$ زمان بالاتر از زمان بهینه برای q_e در نظر گرفته می‌شود، زیرا میزان سیانید جذب شده در این زمان اندکی بیشتر از زمان بهینه است [۱۳، ۱۵].

در شکل ۴ منحنی‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی جذب با معادله درجه اول کاذب لاجرن برای هر کدام از دانه‌بندی‌های تالک نشان داده شده و معادله خطوط برازش و ضریب همبستگی آنها رسم و محاسبه شده است. میزان ثابت نرخ جذب تعادلی (k_{rads}) به طور متوسط برای هر کدام از دانه‌بندی‌ها از دانه ریز به دانه درشت به ترتیب برابر ۰٫۹۸۸۶، ۰٫۱۵۵۰ و ۰٫۰۵۵۰ گرم بر میلی گرم در دقیقه و مقدار q_e نیز برای دانه‌بندی اشاره شده

جدول ۴- داده‌های مربوط به معادله درجه دوم کاذب لاجرن برای جذب سیانید توسط تالک.

شماره	زمان (دقیقه)	(-۴۵) میکرون (t/q)	(۱۰۰-۳۰۰) میکرون (t/q)	(۳۰۰-۵۰۰) میکرون (t/q)
۱	۱۰	۸٫۷۷	۳٫۸۴	۱۸٫۴۵
۲	۲۰	۵٫۳۱	۵٫۸۱	۱۵٫۸۲
۳	۳۰	۶٫۰۸	۷٫۶۵	۱۳٫۹
۴	۴۰	۷٫۸۶	-	۱۵٫۰۷
۵	۵۰	۹٫۳۳	-	-

جدول ۵- داده‌های مربوط به ضرایب همبستگی معادلات لاجرن.

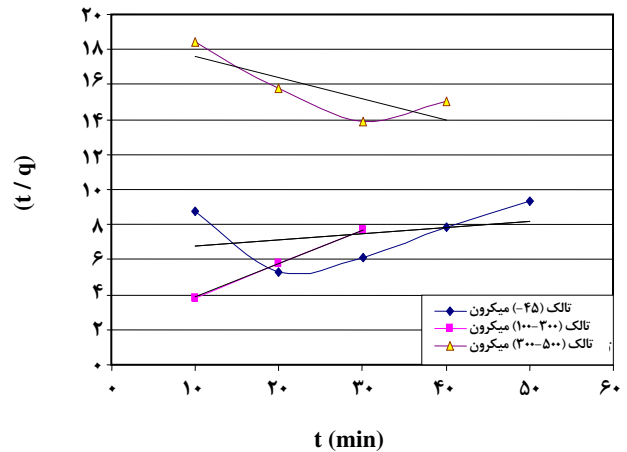
میزان ضریب همبستگی (R^2)			
انواع دانه‌بندی تالک	(-۴۵) میکرون	(۱۰۰-۳۰۰) میکرون	(۳۰۰-۵۰۰) میکرون
معادله درجه اول	۰٫۸۵۸۱	۰٫۹۳۳۹	۰٫۸۳۲
معادله درجه دوم	۰٫۱۱۳۱	۰٫۹۹۹۶	۰٫۶۵۱۳

اثر دما در فرایند جذب سیانید

پس از مشخص شدن مقدار بهینه پارامترهای دیگر، جذب سیانید در دماهای گوناگون ۱۰، ۱۵، ۲۰، ... و ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای هر سه نوع دانه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش دما مقدار سیانید باقی‌مانده به سرعت کم می‌شد تا جایی که در دماهای بالاتر برای بعضی از اندازه‌های جذب سیانید آزاد وجود نداشت. کاهش میزان سیانید باقی‌مانده به تبخیر و تبدیل شدن آن به HCN گازی مربوط می‌شود. نمودار مربوط به درصد جذب سیانید نسبت به دما در شکل ۶ آمده است.

اثر دانه‌بندی تالک

از نتیجه‌های آزمایش‌های انجام گرفته برای جذب سیانید بر روی تالک مشخص می‌شود که در اینجا نیز میزان سیانید جذب شده در اندازه‌ی ریز بیشتر از اندازه‌ی درشت دانه است. لیکن برای اندازه‌ی (-۴۵) میکرون می‌توان گفت که زیاد بودن درصد جذب سیانید بر روی آن نسبت به اندازه‌ی (۳۰۰-۵۰۰) میکرون، به زیاد بودن سطح ویژه آن برمی‌گردد. اما کمتر بودن آن نسبت به اندازه‌ی (۱۰۰-۳۰۰) میکرون بیشتر به خاطر زیاد بودن زاویه‌ها و گوشه‌های تالک در هنگام پودر شدن مربوط است چرا که در این حالت میزان بار منفی بیشتر می‌شود اما در این حال سطح آن



شکل ۵- منحنی‌های معادله درجه دوم کاذب لاجرن برای جذب سیانید توسط تالک.

درجه اول نیز زیاد است. میزان ثابت نرخ جذب تعادلی (k_{rads}) به طور متوسط برای هر کدام از دانه‌بندی‌ها از دانه ریز به دانه درشت به ترتیب برابر ۰٫۱۵۹۸، ۰٫۱۵۶۱ و ۰٫۱۸۵۱ گرم بر میلی گرم در دقیقه و مقدار q_e نیز برای دانه‌بندی اشاره شده به ترتیب برابر با ۵٫۴۶، ۳٫۹۶ و ۲٫۶۷ میلی گرم بر گرم جاذب در زمان تعادل می‌باشد.

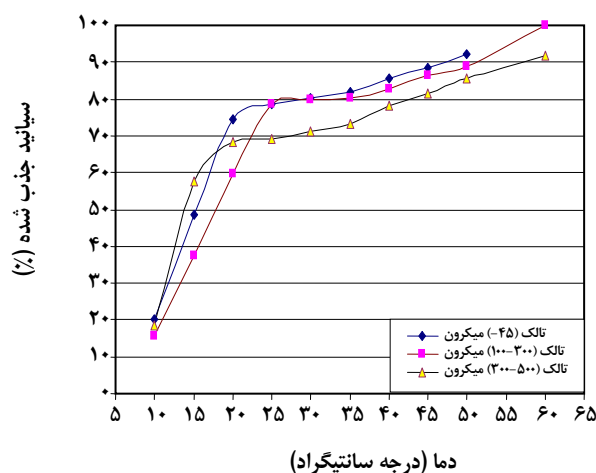
جدول ۶ - میزان سیانید جذب شده در شرایط بهینه.

سیانید جذب شده (%)			دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	pH	تالک (گرم بر لیتر)	ابعاد تالک
آغشته شده با $AlCl_3$	محلول $AlCl_3$	حالت بهینه					
۸۵	۸۱	۷۶	۲۱	۵۰	۹٫۵	۲۰	(-۴۵) میکرون
۹۱	۸۷٫۷	۷۸	۲۱	۳۰	۹	۲۸	(۱۰۰-۳۰۰) میکرون
۷۶	۷۲	۶۸	۲۱	۴۰	۹	۳۶	(۳۰۰-۵۰۰) میکرون

میزان بار مثبت سطح تالک می‌شود یک سطح‌ساز مناسب برای این جاذب به شمار می‌رود. افزودن حدود ۶ قطره از محلول آلومینیم کلرید برای اندازه‌ی ۴۵- میکرون، حدود ۱۰ قطره برای اندازه‌های ۱۰۰-۳۰۰ میکرون و در حدود ۱۴ قطره برای اندازه‌های ۳۰۰-۵۰۰ میکرون بهترین حالت را برای جذب سیانید نشان داد. به‌طوری‌که میزان جذب سیانید در این حالت به ترتیب برای هر کدام از اندازه‌های گفته شده ۸۱، ۸۷ و ۷۲ درصد به‌دست آمد. اما آزمایش‌های انجام گرفته با تالک آغشته به این سطح‌ساز نتیجه‌های متفاوتی را ارایه داد به‌طوری‌که با همین مقدار تالک آغشته شد و آزمایش‌ها بر روی آن انجام گرفت که نتیجه‌های آن به ترتیب برای اندازه‌های ریز تا درشت در حدود برابر با ۸۵، ۹۱ و ۷۶ به‌دست آمد که دلیل این کار به احتمال فراوان خوب آغشته شدن و مثبت شدن بار سطحی تالک نسبت به حالت قبلی می‌باشد. در حالت اول این ماده می‌تواند به عنوان سطح‌ساز نیز عمل کند. از جدول ۶ مشخص است که بهترین حالت برای جذب سیانید استفاده از تالک آغشته شده به آلومینیم کلرید در اندازه‌های (۱۰۰-۳۰۰) میکرون است.

تعیین هم‌دمای جذب سیانید بر روی تالک

برای بررسی هم‌دمای جذب سیانید در کانی تالک، محلول‌هایی با غلظت‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از سدیم سیانید خالص جامد تهیه شد و سپس بر روی ۵۰ میلی‌لیتر از هر کدام از آنها ۱ گرم تالک برای اندازه‌ی ۴۵- میکرون، ۱/۴ و ۱/۸ گرم به ترتیب برای اندازه‌های ۱۰۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۵۰۰ میکرون ریخته شد. برای تعیین ویژگی‌های هم‌دما و ظرفیت جذب، در یک دمای ثابت $21^{\circ}C$ و pH بهینه هر کدام از فراکسیون‌ها در زمان‌های بهینه هر کدام از آنها آزمایش‌های جذب انجام گرفت و بعد از مشخص شدن میزان



شکل ۶ - نمودار درصد سیانید جذب شده نسبت به درجه حرارت.

خالی از بار مثبت نیست و توانایی جذب مولکول‌ها و یون‌های منفی سیانید را دارد. بنابراین از نتیجه‌های به‌دست آمده مشخص می‌شود که بهترین دانه‌بندی تالک برای جذب سیانید اندازه‌های ۱۰۰-۳۰۰ میکرون می‌باشد و با وجود بالا بودن میزان جذب سیانید برای حالت پودری، به خاطر ایجاد مشکلات و خوب در تماس نبودن آن با محلول پیشنهاد نمی‌شود.

اثر آلومینیم کلرید در فرایند جذب سیانید بر روی تالک

بعد از بررسی اثر عامل‌های مؤثر بر فرایندهای جذب سیانید بر روی تالک و مشخص کردن مقادیرهای بهینه هر کدام از پارامترها مجموعه آزمایش‌هایی نیز در مقادیرهای بهینه به‌دست آمده با تالک آغشته شده به آلومینیم کلرید انجام شد افزون بر آن در همان مقادیرهای بهینه آزمایش‌های دیگری نیز با افزودن آلومینیم کلرید 0.004 مول در مقادیرهای انجام شد که میزان جذب سیانید در هر سه حالت برای هر سه دانه‌بندی تالک در جدول ۶ نشان داده شده است. از آنجایی‌که آلومینیم کلرید باعث افزایش

به صورت $\log(q_e) = \log(k) + \frac{1}{n} \times \log(C_e)$ می‌باشد که در آن q_e و C_e همان پارامترهای لانگ‌مایر و n و k ثابت‌های فروندلیچ هستند [۱۳، ۱۵]. بر این اساس منحنی‌های به دست آمده از رسم مقادیرهای لگاریتمی میزان سیانید جذب شده و باقی‌مانده در محلول در شکل ۸ آمده است.

در جدول ۱۰ میزان مقادیرهای ثابت هر دو مدل که از برازش منحنی‌ها با مجموع کم‌ترین مربعات به دست آمده، نشان داده شده است. منحنی‌ها و خط‌های به دست آمده از برازش آنها در شکل ۸ میزان برازش منحنی‌های حاصل از مقادیرهای سیانید جذب شده و میزان سیانید باقی‌مانده در محلول با مدل فروندلیچ را نشان می‌دهد. از مقایسه منحنی‌های شکل‌های ۷ و ۸ و نیز میزان ضریب تبیین به دست آمده مشخص می‌شود که بیشینه جذب در هر سه اندازه بیشتر از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند هر چند که میزان ضریب تبیین به دست آمده از مدل لانگ‌مایر نیز برای اندازه‌های ۵۰۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۱۰۰ میکرون زیاد است. بیشترین پیروی از این مدل به اندازه‌های ۳۰۰-۱۰۰ میکرون مربوط می‌شود.

نتیجه‌گیری

(۱) تالک به خاطر داشتن سطوح آب ران و آب پذیر برای جذب یون‌های سیانید مورد استفاده قرار گرفت که با افزایش میزان تالک، مقدار سیانید باقی‌مانده در هر سه دانه‌بندی از جاذب تالک کمتر شد.

(۲) میزان بهینه تالک برای جذب سیانید در اندازه‌های ۴۵-، ۳۰۰-۱۰۰ و ۵۰۰-۳۰۰ میکرون به ترتیب ۲۸، ۲۰ و ۳۶ گرم در لیتر بود.

(۳) در اندازه‌ی ۴۵- میکرون به دلیل ریز بودن اندازه‌های تالک (پودر) افزودن زیادتر از حد جاذب باعث ته نشین شدن و خوب مخلوط نشدن آن با محلول شده و در نتیجه بعد از افزایش این مقدار میزان جذب نیز کاهش می‌یابد.

(۴) pH بهینه برای اندازه‌های ۳۰۰-۱۰۰ و ۵۰۰-۳۰۰ میکرون تالک برابر ۹ و برای اندازه‌ی (۴۵-) میکرون برابر ۹/۵ می‌باشد. دلیل آن شاید به خاطر وجود دو سطح متفاوت تالک باشد که شامل یون‌های مثبت در سطوح و یون‌های منفی در لبه‌ها و قسمت‌های شکسته شده است.

(۵) زمان بهینه برای اندازه‌های ۴۵-، ۳۰۰-۱۰۰ و ۵۰۰-۳۰۰ میکرون به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه به دست آمد.

سیانید جذب شده به ازای هر گرم جاذب و غلظت سیانید باقی‌مانده در محلول (غلظت آن در حال تعادل) پارامترهای گوناگون ایزوترم‌های جذب تعیین شد و منحنی‌های ایزوترم هر سه نمونه بر اساس مدل‌های لانگ‌مایر و فروندلیچ رسم شد و پیروی آنها نیز بر اساس مدل‌های گفته شده مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی فرایند جذب با مدل لانگ‌مایر

اگر منحنی حاصل از نقاط $(1/q_e)$ و $(1/C_e)$ که بر اساس معادله $\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b} + \frac{1}{ab} \times \frac{1}{C_e}$ رسم شوند، خطی باشند بیشینه جذب بر اساس مدل لانگ‌مایر است و گرنه از آن پیروی نمی‌کند [۱۳، ۱۵]. در جدول‌های ۷ تا ۹ پارامترهای گوناگون مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی برای هر کدام از مدل‌ها و برای هر سه نوع دانه‌بندی تالک آمده است.

از مطالعه و دقت در این جدول‌ها چنین بر می‌آید که میزان جذب سیانید از محلول خالص در تمامی اندازه‌ها به طور متوسط بیشتر از مقادیرهای آن از آب سد باطله است که نشان دهنده ظرفیت جذب تالک در غلظت مورد نظر می‌باشد. همچنین مشخص است که میزان سیانید جذب شده به ازای هر گرم جاذب در غلظت‌های بالاتر بیشتر از مقادیرهای آن در غلظت‌های پایین است. چگونگی تطابق هر کدام از منحنی‌های به دست آمده از مقادیرهای سیانید جذب شده با مدل لانگ‌مایر در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است.

شکل ۷ میزان برازش منحنی‌های به دست آمده از مقادیرهای سیانید جذب شده و میزان سیانید باقی‌مانده در محلول با مدل لانگ‌مایر را نشان می‌دهد. از روی نمودارها مشخص است که بیشترین ضریب همبستگی منحنی با اندازه‌های ۳۰۰-۱۰۰ میکرون مربوط می‌شود. زیرا میزان برازش منحنی به دست آمده از ترسیم نقطه‌های یاد شده با خط به دست آمده از تطبیق با مدل لانگ‌مایر بیشتر از دیگر اندازه‌ها می‌باشد به طوری که میزان ضریب تبیین با مقدار ۰/۹۲۹ بیشترین مقدار را داشته و ظرفیت جذب در این حالت از دیگر فراکسیون‌ها بیشتر می‌باشد.

بررسی فرایند جذب با مدل فروندلیچ

با توجه به اینکه طبق مدل فروندلیچ مناطق جذب در جسم جامد غیر یکنواخت بوده و قدرت جذب آنها متفاوت است و هیچ حدی برای میزان جذب وجود ندارد. بنابر این شکل لگاریتمی آن

۶) سینتیک جذب نیز در اندازه‌های ۴۵- میکرون و ۳۰۰-۵۰۰ میکرون از معادله درجه اول لاجرجن و برای اندازه‌های ۱۰۰-۳۰۰ میکرون به طور کامل از مدل درجه دوم پیروی می‌کند.

۷) زیاد بودن درصد جذب سیانید در اندازه‌ی ۴۵- میکرون نسبت به اندازه‌های ۳۰۰-۵۰۰ میکرون به زیاد بودن سطح ویژه و کمتر بودن آن نسبت به اندازه‌ی ۱۰۰-۳۰۰ میکرون بیشتر به خاطر زیاد بودن زاویه‌ها و گوشه‌های تالک در هنگام پودر شدن مربوط است.

۸) آلومینیم کلرید باعث افزایش میزان بار سطحی تالک شده و بازده جذب را نیز بالا می‌برد.

۹) بیشینه‌ی جذب در هر سه اندازه، بیشتر از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند هر چند که میزان ضریب تبیین به‌دست آمده از مدل لانگ‌مایر نیز برای اندازه‌های ۳۰۰-۵۰۰ و ۱۰۰-۳۰۰ میکرون بالا است.

جدول ۷- پارامترهای گوناگون دماهای جذب سطحی سیانید در اندازه‌های ۴۵- میکرون.

سیانید اولیه (میلی گرم در لیتر)	سیانید باقی‌مانده (میلی گرم در لیتر)	q_e (میلی گرم در گرم)	$(1/q_e)$	$(1/C_e)$	$\log(C_e)$	$\log(q_e)$
۵۰	۱۶/۲۳	۱/۶۹	۰/۵۹	۰/۰۶۲	۱/۲۱	۰/۲۳
۷۵	۱۵/۳۲	۲/۹۸	۰/۳۴	۰/۰۶۵	۱/۱۹	۰/۴۷
۱۰۰	۱۹/۸۱	۴/۰۱	۰/۲۵	۰/۰۵۰	۱/۳۰	۰/۶۰
۱۲۵	۲۷	۴/۹۰	۰/۲۰	۰/۰۳۷	۱/۴۳	۰/۶۹
۱۵۰	۳۴/۰۵	۵/۸۰	۰/۱	۰/۰۲۹	۱/۵۳	۰/۷۶
۲۰۰	۴۲/۵۳	۷/۸۷	۰/۱۳	۰/۰۲۴	۱/۶۳	۰/۹۰
۳۰۰	۵۳	۹/۸۵	۰/۱۰	۰/۰۱۹	۱/۷۲	۰/۹۹

جدول ۸- پارامترهای گوناگون هم‌دماهای جذب سطحی سیانید در اندازه‌های ۱۰۰-۳۰۰ میکرون.

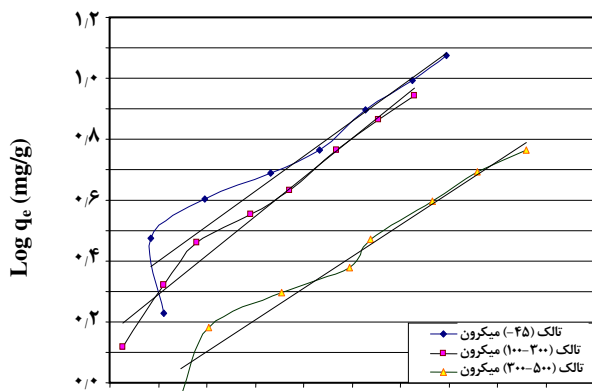
سیانید اولیه (میلی گرم در لیتر)	سیانید باقی‌مانده (میلی گرم در لیتر)	q_e (میلی گرم در گرم)	$(1/q_e)$	$(1/C_e)$	$\log(C_e)$	$\log(q_e)$
۵۰	۱۳/۴۲	۱/۳۱	۰/۷۷	۰/۰۷۵	۱/۱۳	۰/۱۲
۷۵	۱۶/۲۵	۲/۱۰	۰/۴۸	۰/۰۶۲	۱/۲۱	۰/۳۲
۱۰۰	۱۹	۲/۸۹	۰/۳۵	۰/۰۵۳	۱/۲۸	۰/۴۶
۱۲۵	۲۴/۶۲	۳/۵۹	۰/۲۸	۰/۰۴۱	۱/۳۹	۰/۵۵
۱۵۰	۲۹/۶۵	۴/۳۰	۰/۲۳	۰/۰۳۴	۱/۴۷	۰/۶۳
۲۰۰	۳۷/۰۱	۵/۸۲	۰/۱۷	۰/۰۲۷	۱/۵۷	۰/۷۷
۳۰۰	۴۵/۲۱	۷/۳۱	۰/۱۴	۰/۰۲۲	۱/۶۶	۰/۸۶

جدول ۹- پارامترهای گوناگون هم‌دمای جذب سطحی سیانید در اندازه‌های ۵۰۰-۳۰۰ میکرون.

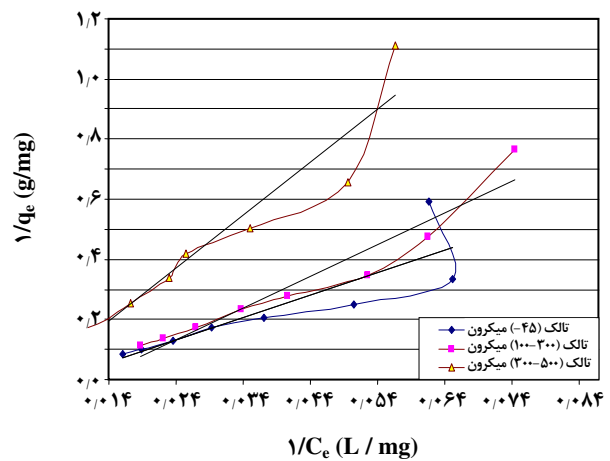
$\log(q_e)$	$\log(C_e)$	$(1/C_e)$	$(1/q_e)$	q_e (میلی گرم در گرم)	سیانید باقی‌مانده (میلی گرم در لیتر)	سیانید اولیه (میلی گرم در لیتر)
-۰٫۰۵	۱٫۲۵	۰٫۰۵۷	۱٫۱۱	۰٫۹۰	۱۷٫۶۴	۵۰
۰٫۱۸	۱٫۳۰	۰٫۰۵۰	۰٫۶۶	۱٫۵۲	۲۰٫۱۳	۷۵
۰٫۳۰	۱٫۴۶	۰٫۰۳۵	۰٫۵۰	۱٫۹۹	۲۸٫۵۴	۱۰۰
۰٫۳۸	۱٫۵۹	۰٫۰۲۵	۰٫۴۲	۲٫۳۸	۳۹٫۲۵	۱۲۵
۰٫۴۷	۱٫۶۴	۰٫۰۲۳	۰٫۳۴	۲٫۹۶	۴۳٫۴۱	۱۵۰
۰٫۶۰	۱٫۷۷	۰٫۰۱۷	۰٫۲۵	۳٫۹۴	۵۸٫۲۳	۲۰۰
۰٫۶۹	۱٫۸۶	۰٫۰۱۰	۰٫۲۰	۴٫۹۴	۷۲٫۳۴	۳۰۰

جدول ۱۰- ویژگی‌های مدل‌های هم‌دمای جذب سیانید بر روی تالک.

هم‌دمای فروندلیچ			هم‌دمای لانگ‌مایر			ابعاد تالک
R^2	n	k	R^2	b	a	
۰٫۹۰۵۷	۰٫۸۷۳	۰٫۱۰۵۴	۰٫۷۴۱	-۲٫۴۹۲	-۰٫۰۰۶۵	تالک (-۴۵) میکرون
۰٫۹۷۶۳	۰٫۷۸۰	۰٫۰۵۶۳	۰٫۹۲۹	-۸٫۳۸۲	-۰٫۰۱۱۳	تالک (۱۰۰-۳۰۰) میکرون
۰٫۹۶۵۶	۰٫۹۵۹۸	۰٫۰۵۵۸	۰٫۹۰۹۴	-۱۸٫۷۶۲	-۰٫۰۰۳۰	تالک (۳۰۰-۵۰۰) میکرون



شکل ۸- نمودار هم‌دمای جذب بر اساس مدل فروندلیچ.



شکل ۷- نمودار هم‌دمای جذب بر اساس مدل لانگ‌مایر.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۸

مراجع

- [۱] بانک اطلاعات کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی ایران، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور (www.ngdir.com).
- [۲] فقیهیان، حسین؛ جذب یون سیانید به‌وسیله زئولیت Y و فرم‌های اصلاح شده آن، نشریه شیمی و مهندسی شیمی/ایران، شماره ۲، ص ۲۵ (۱۳۸۳).
- [3] Xianwen Dai, Andrew Simons, Paul Breuer, A Review of Copper Cyanide Recovery Technologies for the Cyanidation of Copper Containing Gold Ores, *Minerals Engineering*, **25**(1), p. 1 (2012).
- [4] Rajesh Roshan Dash, Chandrajit Balomajumder, Arvind Kumar, Removal of Cyanide from Water and Wastewater Using Granular Activated Carbon, *Chemical Engineering Journal*, **146**(3), p. 408 (2009).
- [5] Morten Larsen, Stefan Trapp, Alessandro Pirandello, Removal of Cyanide by Woody Plants, *Chemosphere*, **54**, p. 325 (2004).
- [6] Mike Adams, Vincent Lloyd, Cyanide Recovery by Tailings Washing and Pond Stripping, *Minerals Engineering*, **21**(6), p. 501 (2008).
- [7] Ignacio Rodríguez García, Constructed Wetlands Use for Cyanide and Metal Removal from Gold Mill Effluents, Stockholm (2003).
- [8] Lucy McCartan, Talc and Pyrophyllite, "Ch. in Mineral Commodity Summaries", published by U.S. Bureau of Mines (1996).
- [9] www.industrialminerals.com/talc/ What Is Talc
- [10] P. Bacchin, J. P. Bonino, F. Martin, M. Combacau, P. Barthes, S. Petit, J. Ferret, Surface Pre-Coating of Talc Particles by Carboxyl Methyl Cellulose Adsorption: Study of Adsorption and Consequences on Surface Properties and Settling Rate, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **272**(3), p. 211 (2006).
- [11] Cawood S.R., Harris P.J., Bradshaw D.J., A Simple Method for Establishing Whether the Adsorption of Polysaccharides on Talc Is a Reversible Process, *Minerals Engineering*, **18**(10), p. 1060 (2005).
- [12] Charnay C., Lagerge S., Partyka S., Assessment of the Surface Heterogeneity of Talc Materials, *Colloid and Interface Science* **233**(2), p. 250 (2001).
- [13] Y.S.HO and G. MCKAY, The Sorption of Lead (II) Ions on Peat, *Wat.Res.*, **33**(2), p. 578 (1999).
- [14] Herley Casanova, José A. Orrego, Julian Zapata, Oil Absorption of Talc Minerals and Dispersant Demand of Talc Mineral Non-Aqueous Dispersions as a Function of Talc Content: *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **299**(1-3), p. 38 (2007).
- [15] Minna P. Koivula, Kauko Kujala, Hannu Rönkkömäki, Mauri Mäkelä, Sorption of Pb(II), Cr(III), Cu(II), As(III) to Peat, and Utilization of the Sorption Properties in Industrial Waste Landfill Hydraulic Barrier Layers, *Journal of Hazardous Materials*, **164**(1), p. 345 (2009).