

بررسی پارامترهای موثر در جذب سیانید به وسیله کربن فعال از پساب کارخانه فراوری طلای آق‌دره تکاب

عبدالله سمیعیⁱ، احمد خدادادیⁱⁱ

چکیده

سیانید سدیم یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی است که در استخراج طلا و نقره از آن استفاده می‌شود. فرایند جذب به عنوان یکی از روش‌های مهم در خنثی‌سازی و بازیافت سیانید از پساب‌ها است. هدف از این تحقیق، بررسی جذب سیانید از پساب کارخانه فراوری طلای آق‌دره تکاب بر روی کربن فعال صنعتی است. میزان کربن فعال، pH محلول، زمان جذب، دانه بندی کربن فعال، دمای محلول و کاتالیزور از پارامترهای مهم برای بررسی فرایند جذب است. مقادیر بهینه برای فرایند جذب در ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون در pH=۱۲، زمان ۳۵ دقیقه، دمای $\pm 0.5^{\circ}C$ و میزان جذب ۷۴ درصد و برای ابعاد (۱۵۰-۱۰۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون در pH=۱۱/۵، زمان ۳۵ دقیقه، با مقدار (gr/l) ۳۲ دمای کمتر از $\pm 0.5^{\circ}C$ و میزان جذب به ترتیب ۸۴/۶ و ۸۱/۵ درصد حاصل شد. افزودن سولفات مس باعث افزایش درصد جذب سیانید بر روی کربن فعال شد. کربن فعال با ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون از مدل فرندلیچ، و در ابعاد (۱۵۰-۱۰۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون از مدل لانگ مایر پیروی می‌کنند.

کلمات کلیدی:

سیانید، فراوری طلا، کربن فعال، فرایند جذب، ایزوترم جذب

The Investigation of Effective Parameters in Cyanide Adsorption by Activated Carbon from Wastewater of Aghdareh-Takab Gold Processing Plant

A.Samiee, A.Khodadadi

ABSTRACT

Sodium cyanide is one of the most important chemical compounds that are used in extracting gold and silver. Adsorption process is considered as one of the important methods in cyanide neutralization and recycling. The aim of this study was to investigate cyanide adsorption on industrial activated carbon from tailing dam water in gold processing plant that. Solution pH, adsorption time, amount and size of activated carbon and temperature are some important parameters in the adsorption process. The optimum amounts for (100-150) and (212-250) microns fraction were obtained in pH=11.5, adsorption time=35 minute, temperature = $26 \pm 0.5^{\circ}C$, amount of activated carbon=32(gr/l) and adsorption percentage =84.6 and 81.5 respectively. For (500-1000) microns of activated carbon was obtained in pH=12, adsorption time=35 minute, temperature $26 \pm 0.5^{\circ}C$, activated carbon=34(gr/l) and adsorption percent=74. Adding Copper sulphate caused an increase in the cyanide adsorption percentage on activated carbon. The (500-1000) micron fraction follows Freundlich isotherm and other fractions follow Longmuir isotherm.

ⁱ - کارشناسی ارشد، مهندسی فراوری مواد معدنی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس: a_samiee2003@yahoo.com
ⁱⁱ - استادیار، مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، تربیت مدرس: تلفن: ۸۸۰۱۱۰۰۱-۳۳۹۹ و akdarban@modares.ac.ir

KEYWORDS:

Cyanide, Gold processing, Activated Carbon, adsorption, adsorption isotherm

۱- مقدمه

(سیانیدهای فلزات قلیایی و قلیایی خاکی) و کمپلکس‌های قوی نیز برای جذب بر روی کربن فعال تمایل بسیار زیادی دارند که با این روش، سیانید به میزان قابل ملاحظه‌ای حذف می‌شود [۷]. کربن فعال اگر با محلول نمک‌های ضعیف فلزاتی نظیر آهن، مس، نیکل، نقره و کبالت آغشته شود قابلیت جذب ترکیبات سیانید در آن افزایش می‌یابد. جذب سیانید به وسیله کربن فعال، یک جذب فیزیکی است [۷].

فرایند جذب عبارت است از انتقال اجزایی از سیال و تجمع آن در جاذب جامد تا رسیدن به حالت تعادل. توضیح این نکته لازم است که در این فرایند سیانید جذب شده از بین نمی‌رود. در مطالعه انتقال و جذب املاح و ترکیبات بر روی یک ماده، بایستی معادلات و روابطی بین غلظت ماده جذب شده بر روی جاذب و غلظت باقیمانده (غلظت تعادل) آن در دماهای ثابت وجود داشته باشد که این معادلات را ایزوترمها (همدماهای) جذب سطحی می‌گویند. مدل‌های لانگ مایر و فرنند لیچ بیان‌کننده این روابط و معادلات اند [۸].

۲- مواد و روش‌ها**۲-۱- مواد لازم برای انجام آزمایش‌ها**

کربن فعال از همان کربن فعال صنعتی؛ که در کارخانه برای جذب کمپلکس‌های طلا استفاده می‌شود، تهیه شد. در آزمایش‌ها از کربن فعال به ترتیب در سه گستره ابعادی (۱۵۰-۱۰۰)، (۲۵۰-۲۱۲) و (۱۰۰۰-۵۰۰) میکرون؛ که مشخصات آن در جدول (۱) آمده است، استفاده شد.

جدول (۱): مشخصات کربن فعال صنعتی

مقدار	مشخصه	ردیف
۹۹	درصد به هم پیوستگی (%)	۱
۵۵	ظرفیت جذب (%)	۲
۵۰۰	دانسیته ظاهری (t/m ³)	۳
۱۱۰۰	کل سطح ویژه (m ² /gr)	۴
کمتر از ۲	رطوبت (%)	۵
-۶۰ (1/h)	سرعت جذب	۷۶
۷۰		
کمتر از ۱۵	خاصیت تورق (%)	۸
کمتر از ۹	محتوی خاکستر (%)	۹

pH پساب سد باطله کارخانه در حدود ۹ و غلظت سیانید آزاد در محلول حدود ۱۴۰ میلی گرم در لیتر است، که غلظت سیانید

درکارخانه فراوری طلای آقدره - تکاب، فرایند استخراج طلا از کانسنگ بعد از مرحله خردایش با عملیات لیچینگ و با استفاده از محلول سیانید سدیم انجام می‌گیرد. در طی این مرحله، طلا در محلول سیانید حل می‌شود. کمپلکس‌های محلول طلا بعد از مرحله لیچینگ در داخل ستون‌های جذب، بر روی کربن فعال جذب می‌شوند. خروجی از تیکتر (تغلیظ کننده) بعد از مرحله جذب حاوی مقادیر زیادی سیانید و دیگر ترکیبات است که وارد سد باطله می‌شود [۱].

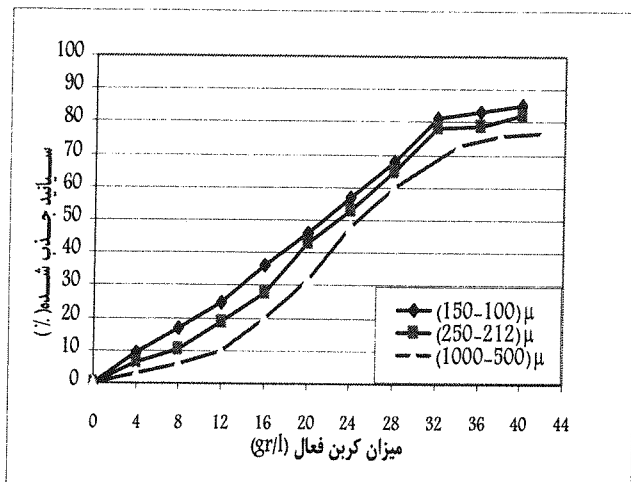
سیانید یک ترکیب شیمیایی کربن و نیتروژن دار است. سیانید هیدروژن، سیانید سدیم و سیانید پتاسیم نمونه‌هایی از ترکیبات ساده سیانیدی هستند. سیانید ماده بسیار سمی و خطرناک است و حدود ۰/۰۵ ppm آن موجب مرگ انسان می‌شود. ورود آن به آبهای سطحی، زیرزمینی و خاک خسارات جبران ناپذیری را بر محیط زیست و زندگی بشری به همراه دارد [۲]. یون‌های CN⁻ و HCN بعنوان سیانور آزاد محسوب می‌شوند. یون‌ها CN⁻ در pH > ۹ پایدار و در pH < ۷ به HCN گازی شکل تبدیل و وارد هوا می‌شود که بسیار خطرناک است [۲].

بنابراین، حذف و خنثی سازی سیانید در صنایعی که در پساب آنها سیانید وجود دارد از موارد بسیار مهم در جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست به شمار می‌رود. برای کاهش و از بین بردن سیانید در پساب‌ها می‌توان به روش‌های بیولوژیکی، اکسایش شیمیایی، تخریب الکترولیتی، تعویض یونی با استفاده از رزینهای تبادل یونی و جذب آن با استفاده از مواد طبیعی و مواد جاذب مانند کربن فعال اشاره کرد [۲]، [۴].

کربن فعال یک توده پودری و یا دانه‌ای سیاه رنگ جامد مشابه زغال چوب است. برای تهیه کربن فعال، ابتدا زغال سنگ یا موادی که کربن فعال از آن تهیه می‌شود، در بخار با حرارت زیاد تصفیه می‌شود و آنچه باقی می‌ماند کربن فعال است که آب گریز و بسیار متخلخل است. این خلل و فرج‌ها سطح بسیار وسیعی را در واحد حجم کربن فعال ایجاد می‌کند که تحت عنوان سطح ویژه تعریف می‌شوند [۵]. کربن فعال این قابلیت را دارد که بسیاری از مواد آلی و معدنی، بو، مواد آلوده کننده آب، فلزات سمی (نظیر جیوه، آرسنیک، کروم، سرب و غیره) و بسیاری از کاتیون‌ها و آنیون‌ها را جذب کند [۶].

ترکیبات سیانیدی آزاد و قابل شستشو با اسیدهای ضعیف

دقیقه و دمای 25°C برای هر سه نوع دانه بندی در شکل (۱) آمده است.



شکل (۱): تغییرات درصد سیانید جذب شده با افزایش کربن فعال با توجه به شکل (۱) مشخص است که با افزایش میزان کربن فعال، درصد سیانید جذب شده بیشتر می‌شود؛ ولی زمانی که میزان کربن فعال در ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) به 34 (gr/l) ، برای ابعاد (۲۱۲-۲۵۰) و ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون به 32 (gr/l) می‌رسد بعد از آن افزایش کربن فعال، تاثیری در میزان سیانید جذب شده ندارد و می‌توان گفت که مقدار کربن فعال در هر سه نوع دانه بندی به بهترین مقدار خود برای حذف سیانید رسیده است. مقدار بهینه جذب سیانید در شرایط فوق برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰)، (۲۱۲-۲۵۰) و (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون به ترتیب $81/20$ ، $87/27$ و 73 درصد می‌باشد. به نظر می‌رسد علت ثابت ماندن سیانید جذب شده بعد از این مقادیر به تعادل رسیدن میزان سیانید باقیمانده در محلول و سیانید جذب شده بر روی جاذب باشد. در شکل (۱) از مقایسه سه منحنی مشخص می‌شود که در ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون درصد جذب سیانید بیشتر از سایر ابعاد می‌باشد.

۲-۳- تعیین pH بهینه محلول برای جذب سیانید بر روی جاذب

در این مرحله از آزمایش‌ها pH به عنوان متغیر و سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شد. برای خنثی سازی سیانید با توجه به نوع ترکیبات موجود در آن و نیز برای جلوگیری از تبدیل سیانید به HCN گازی بایستی pH محلول با خاصیت قلیایی زیاد تنظیم شود و از آنجا که جذب سیانید به وسیله این جاذب‌ها به طور عمده به pH محلول بستگی دارد [۲]، [۳]؛ بنابراین برای به دست آوردن pH بهینه برای مکانیزم جذب سیانید یک سری آزمایش‌ها در pH های مختلف از $9/5$ ، 9 تا 13 انجام گرفت که نتایج حاصل از جذب سیانید به وسیله

با استفاده از روش تیتراسیون و با محلول $0/0102$ مول در لیتر نیترات نقره 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 $0/04$ مول حاصل می‌شود (محلول بلانک) که برای رقیق کردن محلول سیانید مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سولفات مس ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ساخت شرکت مرک آلمان به عنوان کاتالیزور در حالت بهینه جذب و از محلول آمینو بنزیلیدین ردانین نیز به عنوان معرف استفاده شد.

۲-۲- روش انجام آزمایش

مطالعات و آزمایش‌های جذب در دمای معمولی آزمایشگاه (حدوداً 26°C) و در داخل یک بشر استوانه‌ای انجام گرفت؛ بدین ترتیب که اولاً pH محلول سیانیدی در حدود ۱۲ تنظیم شد، سپس ۵۰ میلی لیتر از محلول سیانید نمونه آزمایشی به داخل بشر ریخته و به دنبال آن مقادیر متفاوتی از کربن فعال در وزن‌های مختلف برای فراکسیون‌های (fractions) مختلف به داخل محلول اضافه و به مدت نیم ساعت به وسیله همزن به هم زده شد بعد از آن، محتویات داخل شیشه به مدت ۱۰ دقیقه برای ته نشین شدن و جذب مابقی سیانید تا حد امکان در حالت سکون قرار گرفت. محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن به شماره ۱ فیلتر و کربن باقیمانده بر روی فیلتر نیز به وسیله آب مقطر شستشو داده شد و بعد از آن، حجم محلول به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده و غلظت سیانید اندازه گیری شد.

۳-۲- تهیه محلول‌های استاندارد سیانید

برای مشخص کردن ایزوترم‌های جذب، محلول‌های سیانیدی با غلظت‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و تا ۲۵۰ میلی گرم در لیتر از سیانید سدیم تهیه و سپس کربن فعال در مقادیر بهینه هر یک از ابعاد بر ۵۰ میلی لیتر از هر کدام از این محلول‌ها ریخته شد و در دمای ثابت ($25 \pm 0/5^{\circ}\text{C}$) آزمایش‌های جذب انجام گرفت.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- تعیین غلظت کربن فعال برای جذب سیانید

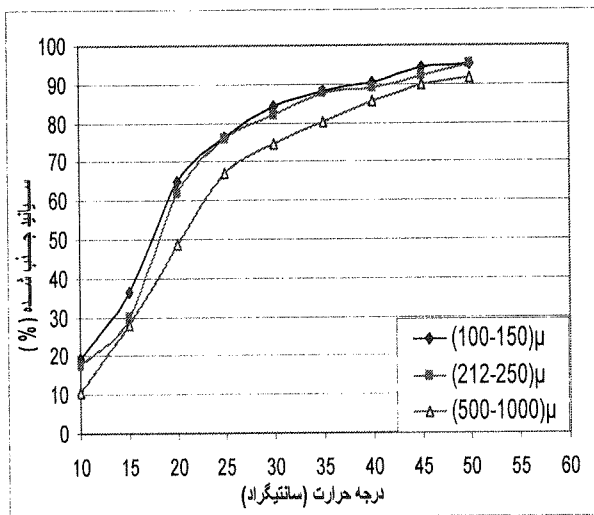
برای جلوگیری از تبخیر سیانید و تبدیل شدن آن به HCN گازی شکل، pH در حدود ۱۲ تنظیم شود و آزمایش‌های جذب برای کربن فعال در سه محدوده دانه بندی (۱۰۰-۱۵۰)، (۲۵۰-۲۱۲) و (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون انجام یافت. نتایج جذب سیانید در غلظت‌های مختلف کربن فعال در $\text{pH}=12$ ، زمان بهم زدن ۳۰

آمده است.

با مراجعه به جدول (۲) مشخص می‌شود که با افزایش زمان هم زدن محلول با کربن فعال میزان سیانید جذب شده تا زمان ۳۰ دقیقه برای هر سه نمونه افزایش می‌یابد؛ و با افزایش زمان از ۳۰ دقیقه به بعد، تغییرات چندانی در مقدار سیانید باقیمانده در محلول و به تبع آن سیانید جذب شده بر روی جاذب حاصل نمی‌شود و افزودن زمان اختلاط بعد از این مقادیر، کارایی چندانی ندارد. بیشترین مقدار سیانید جذب شده بر روی کربن فعال برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰)، (۲۱۲-۲۵۰) و (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون شده به ترتیب برابر با ۸۴/۷، ۸۰/۶ و ۷۴/۳ درصد، در همین مدت زمان؛ یعنی ۳۰ دقیقه حاصل می‌شود که می‌تواند زمان بهینه برای فرایند جذب باشد.

۳-۴- اثر دما در فرایند جذب سیانید

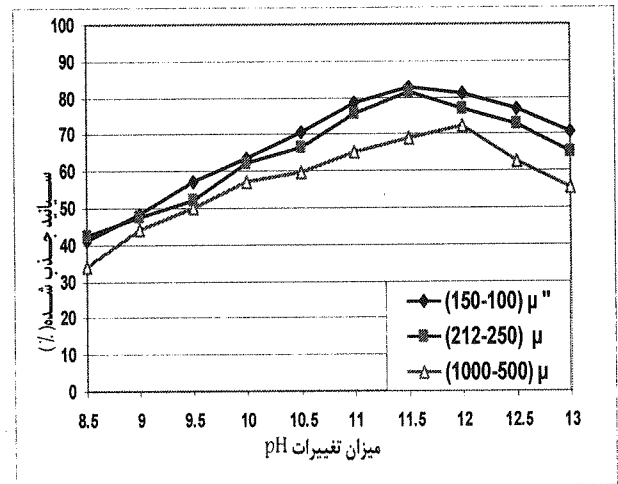
زیاد بودن دما در محیط کار و اطراف سد باطله حاوی سیانید بخصوص در مناطق گرم با خطرات تنفسی برای افراد و پرسنل محل کار همراه است. با توجه به اینکه افزایش دما سیانید را به HCN گازی تبدیل می‌کند که وارد هوا می‌شود، جذب سیانید در دماهای مختلف ۱۰، ۱۵، ۲۰ تا ۶۰^oC برای هر سه نوع دانه بندی بررسی شد که نتایج و اطلاعات کلی از این آزمایش‌ها در شکل (۳) آمده است.



شکل (۳): تغییرات درصد سیانید جذب شده با دما

از شکل (۳) نیز مشخص است که با افزایش دما، میزان سیانید جذب شده بر روی سطح کربن فعال افزایش می‌یابد. البته حذف سیانید در دماهای بالاتر از ۳۰^oC بر جذب آن بر روی کربن فعال مربوط نیست، بلکه کمتر شدن آن بعد از آزمایش بیشتر از همه به تبخیر سیانید به صورت گاز HCN مربوط است؛ چرا که با افزایش دما بوی مخصوص سیانید (بوی بادام تلخ و سیر) محسوس بود؛ بنابراین، دما از

کربن فعال با pH های مختلف، ۳۴ (gr/l) کربن فعال برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون و ۳۲ (gr/l) برای ابعاد (۲۱۲-۲۵۰) و (۱۰۰-۱۵۰) میکرون، زمان هم زدن ۳۰ دقیقه و دمای ۲۵^oC در نمودار شکل (۲) آمده است.



شکل (۲): تغییرات درصد سیانید جذب شده با افزایش pH

شکل (۲) و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد با افزایش pH تا ۱۱/۵ به ترتیب برای ابعاد (۲۱۲-۲۵۰)، (۱۰۰-۱۵۰) میکرون، میزان سیانید باقیمانده نیز کاهش می‌یابد و برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون؛ موقعی که میزان pH به ۱۲ رسید، مقدار سیانید باقیمانده به کمترین مقدار خود؛ یعنی حدود (mg/l) ۲۹/۰۲ و برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون کمترین میزان سیانید باقیمانده؛ یعنی حدود (mg/l) ۲۴/۳۲ و (mg/l) ۲۶ در pH=۱۱/۵ اتفاق می‌افتد و با افزایش مجدد pH میزان سیانید باقیمانده افزایش می‌یابد.

شکل (۲) مشخص کننده این است که با افزایش میزان pH درصد سیانید جذب شده در هر سه نمونه افزایش یافته است و برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون، جذب سیانید در pH=۱۲ برابر ۷۲/۱ درصد و برای نمونه‌های (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون در pH=۱۱/۵ میزان سیانید جذب شده به ترتیب به ۸۲/۶ و ۸۱/۴ درصد می‌رسد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد کربن فعال در pH های بالا؛ که در آن بیشتر ترکیبات سیانیدی به صورت کمپلکس‌های سیانیدی و یون‌های CN⁻ هستند تمایل بیشتری برای جذب از خود نشان می‌دهد [۹].

۳-۳- اثر زمان اختلاط

پس از مشخص شدن مقدار بهینه کربن فعال و pH برای هر یک از فراکسیون‌ها باید زمان به هم زدن بهینه محلول نیز بررسی شود. برای همین منظور در مقادیر بهینه بدست آمده (میزان کربن فعال و pH) دمای ۲۵^oC و در زمانهای متفاوت آزمایش‌های متعددی انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۲)

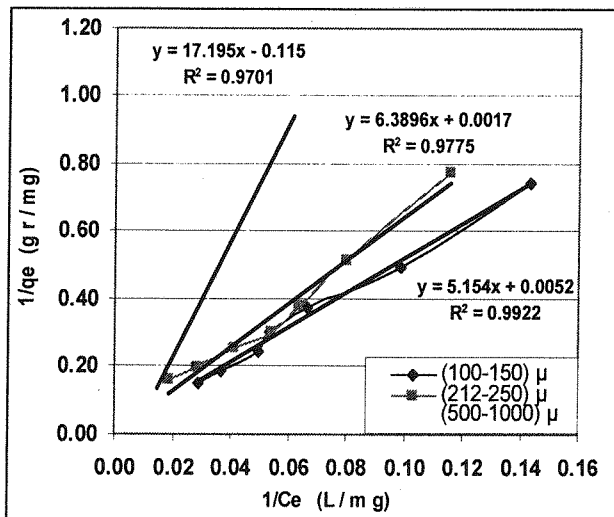
سیانید جذب شده به ازای هر گرم جاذب و غلظت باقیمانده در محلول و در دمای ثابت $25^{\circ}C$ پارامترهای مختلف ایزوترمها تعیین شد و منحنی‌های ایزوترم هر سه نمونه بر اساس مدل‌های لانگ مایر و فرنلینچ، رسم و تبعیت آنها نیز از مدل‌های فوق بررسی شد.

۳-۷-۱- مدل لانگ مایر

لانگ مایر به صورت معادله (۱) ارائه داد که در آن q_e مقدار

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

جزء جذب شده در واحد جرم جاذب بر حسب (mg/gr) و C_e غلظت جزء باقیمانده در فاز سیال (محلول) بر حسب (mg/l) و a و b ثابت‌های لانگ مایر هستند. شکل (۴) منحنی‌های ایزوترم جذب سطحی برای این مدل و برای هر سه نوع دانه بندی را نشان می‌دهد [۱۰].



شکل (۴): نمودار ایزوترم جذب بر اساس مدل لانگ مایر

شکل (۴) میزان برازش منحنی‌های حاصل از مقادیر سیانید جذب شده و میزان سیانید باقیمانده در محلول با مدل لانگ مایر را نشان می‌دهد. نمودارها نشانگر آن است که با لاترین ضریب تبیین (R^2) به منحنی با ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون مربوط می‌شود؛ زیرا میزان برازش منحنی حاصل از ترسیم نقاط با خط حاصل از تطبیق با مدل لانگ مایر بیشتر از دیگر فراکسیون‌ها و ابعاد می‌باشد؛ به طوری که میزان ضریب تبیین با مقدار ۰/۹۹۲۲ بیشترین مقدار را دارد و ظرفیت جذب نیز در این حالت از دیگر فراکسیون‌ها بیشتر است. میزان جذب سیانید در ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون به طور متوسط نزدیک به ۸۶ درصد و برای ابعاد (۲۱۲-۲۵۰) میکرون حدود ۸۴ درصد و برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون به ۷۵ درصد می‌باشد. در نتایج به دست آمده از آزمایش‌های جذب از آب سد باطله نیز این نتیجه حاصل شد که میزان سیانید جذب شده در ابعاد

پارامترهای موثر است که در فرایندهای حذف سیانید نباید دما را زیاد کرد و حداکثر دمای لازم برای این کار مخصوصاً در غلظت‌های بالا $30^{\circ}C$ می‌باشد. برای آزمایش‌های حذف سیانید بهتر است که از دماهای پایین تر از $30^{\circ}C$ استفاده شود.

۳-۵- اثر دانه بندی کربن فعال

از آنجا که سطح ویژه جاذب از پارامترهای مهم در ساز و کار جذب است و کم یا زیاد بودن سطح ویژه جاذب، از دانه بندی‌های مختلف جاذب ناشی می‌شود؛ بنابراین بدیهی است که در ابعاد ریز دانه؛ که سطح ویژه جاذب زیاد است؛ مقدار سیانید جذب شده بیشتر از درشت دانه می‌باشد. در تمامی مراحل آزمایش مقدار سیانید جذب شده برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون بیشتر از سایر ابعاد بود؛ اما در ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ میکرون اندازه گیری و توزین آنها به علت سبک بودن و غبار شدن با مشکل بود و برای ابعاد بسیار درشت (ساچمه ای) به دلیل هم زدن آنها با محلول سیانیدی (به دلیل شکستن) امکان پذیر نبود از این رو، فرایند جذب سیانید فقط برای سه محدوده ابعادی آزمایش شد.

۳-۶- اثر کاتالیزور بر میزان جذب سیانید

میزان جذب سیانید در مقادیر بهینه برای هر سه دانه بندی جاذب بدون استفاده از کاتالیزور و با استفاده از کاتالیزور (سولفات مس) در جدول (۳) نشان داده شده است. از نمک‌های سولفات مس، نیترات روی و استات کبالت به عنوان کاتالیزور و کمک جذب سیانید بر روی جاذب می‌توان استفاده کرد و در این تحقیق از سولفات مس استفاده شده است [۷].

از جدول (۳) مشخص است که افزودن سولفات مس به اندازه چند قطره در شرایط بهینه نمونه‌ها باعث می‌شود درصد جذب سیانید برای نمونه (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون به ۷۹ درصد و برای نمونه‌های (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون به ترتیب حدوداً به ۹۲ و ۸۹ درصد برسد؛ زیرا سولفات مس هم به عنوان کاتالیزور عمل می‌کند و هم برای واکنش با سیانیدهای آزاد تمایل زیادی دارد و از آنجا که کربن فعال برای جذب کمپلکس‌های مس تمایل بیشتری دارد، این کمپلکس‌ها جذب کربن فعال شده و بازیابی (ظرفیت) جذب را افزایش می‌دهند.

۳-۷- ایزوترم‌های جذب

در این تحقیق، ایزوترم‌های جذب به منظور مشخص کردن ظرفیت و مکانیزم جذب بررسی شدند. آزمایش‌های جذب در مقادیر بهینه به دست آمده هر کدام از پارامترها برای تعیین ایزوترم‌های جذب انجام گرفت و بعد از مشخص شدن میزان

برازش منحنی ها با مجموع کمترین مربعات نشان داده شده است.

شکل (۵) میزان برازش منحنی‌های حاصل از مقادیر سیانید جذب شده و میزان سیانید باقیمانده در محلول با مدل فرندلیچ را نشان می‌دهد. نمودارها مشخص کننده این هستند که با لا ترین ضریب تبیین (R^2) مربوط به منحنی با ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون مربوط می‌شود.

از مقایسه منحنی‌های حاصل از شکل‌های (۴) و (۵) و نیز میزان ضریب تبیین به دست آمده مشخص می‌شود که تبعیت مکانیزم جذب در ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون بیشتر از مدل لانگ مایر پیروی می‌کند، هر چند که میزان ضریب تبیین به دست آمده از مدل فرندلیچ نیز بالا است. برای ابعاد (۲۵-۲۱۲) میکرون میزان ضریب تبیین (R^2) به دست آمده از مدل لانگ مایر ($R^2 = 0.9775$) بیشتر از مدل فرندلیچ ($R^2 = 0.9572$) است و نشان دهنده میزان خطی بودن و مطابقت آن با مدل لانگ مایر است؛ زیرا مقدار R^2 در مدل لانگ مایر به عدد ۱ نزدیک تر از میزان R^2 آن مدل فرندلیچ است. ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون از مدل فرندلیچ پیروی می‌کنند.

(۱۰۰-۱۵۰) میکرون از سایر ابعاد بیشتر می‌باشد و دلیل آن احتمالاً ریز بودن ابعاد کربن فعال در این محدوده دانه بندی باشد. میزان تبعیت هر کدام از دانه بندی‌ها از ریز دانه به درشت دانه کمتر می‌شود؛ زیرا هر چقدر مقدار R^2 به عدد ۱ نزدیک باشد نشان دهنده آن است مکانیزم جذب از مدل مزبور پیروی می‌کند.

۳-۲-۳- مدل فرندلیچ

فرندلیچ، مدل خود را بر این اساس در نظر گرفت که مناطق جذب در جسم جامد یکنواخت نیستند و قدرت جذب آنها متفاوت است. او هیچ حدی برای میزان جذب قایل نبود و به همین خاطر مدل خود را بوسیله معادله (۲) بیان کرد

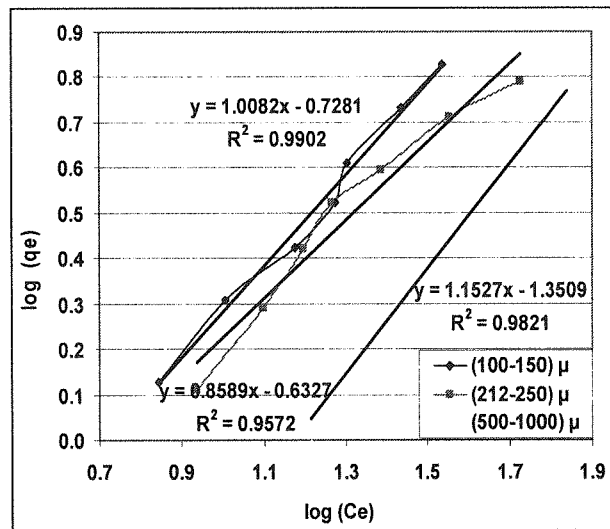
$$q_e = k C_e \frac{1}{n} \quad (2)$$

که شکل لگاریتمی آن بصورت معادله (۳) می‌باشد

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

که در آن q_e و C_e همان پارامترهای لانگ مایر هستند و n و k ثابت‌های فرندلیچ هستند [۱۰]. بر این اساس، منحنی‌های حاصل از رسم مقادیر لگاریتمی میزان سیانید جذب شده و باقیمانده در محلول در شکل (۵) آمده است.

در جدول (۴) میزان مقادیر ثابت هر دو مدل، بدست آمده از



شکل (۵) ایزوترم جذب بر اساس مدل فرندلیچ

جدول (۲): نتایج تاثیر افزایش زمان هم زدن مخلوط بر درصد جذب سیانید

ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون		ابعاد (۲۱۲-۲۵۰) میکرون		ابعاد (۱۵۰-۱۰۰) میکرون		زمان اختلاط (min)
سیانید جذب شده (%)	سیانید باقیمانده (mg/l)	سیانید جذب شده (%)	سیانید باقیمانده (mg/l)	سیانید جذب شده (%)	سیانید باقیمانده (mg/l)	
۲۱/۲	۱۱۰/۳۵	۲۵/۶	۱۰۴/۲۲	۳۰/۷	۹۷	۱۰
۴۲/۶	۸۰/۳۶	۵۵/۵	۶۲/۳۱	۵۸/۳۰	۸۲/۳۵	۲۰
۷۴/۳	۳۶/۰۱	۸۰/۶	۲۷/۱	۸۴/۷	۲۱/۴۳	۳۰
۷۵/۵	۲۴/۲۵	۸۲/۱	۲۵	۸۵/۶	۲۰/۱۳	۴۰
۷۷/۷	۳۱/۲۱	۸۳/۳	۲۳/۴۲	۸۶/۴	۱۹/۰۴	۵۰
۷۸/۶	۳۰	۸۴/۶	۲۱/۶	۸۷/۸	۱۷/۰۲	۶۰

جدول (۳): میزان سیانید جذب شده در شرایط بهینه

سیانید جذب شده (%)		دما	زمان	pH	کربن فعال (gr/l)	ابعاد کربن فعال (میکرون)
بدون کاتالیزور	با کاتالیزور					
۸۴/۶	۹۲	$^{\circ}C < 27$	۲	۵ ۱۱/	۳۲	(۱۰۰-۱۵۰)
۸۱/۵	۸۸/۷	$^{\circ}C < 27$	۲	۵ ۱۱/	۳۲	(۲۱۲-۲۵۰)
۷۴	۷۹	$^{\circ}C < 27$	۲	۱ ۲	۳۴	(۵۰۰-۱۰۰۰)

جدول (۴): مشخصات مدل‌های ایزوترم برای جذب سیانید در دمای $25^{\circ}C$

ایزوترم فرندلیچ			ایزوترم لانگ مایر			ابعاد کربن فعال (میکرون)
R^2	n	K	R^2	b	a	
۰/۹۹۰۲	۰/۹۹۲	۰/۱۸۷۰	۰/۹۹۲۲	۱۹۲/۳۱	۰/۰۰۱	میکرون (۱۰۰-۱۵۰)
۰/۹۵۷۲	۱/۱۶۴۳	۰/۲۳۳۰	۰/۹۷۷۵	-۱/۵۸۰۵	-۰/۷۳۶۷	میکرون (۲۱۲-۲۵۰)
۰/۹۸۲۱	۰/۸۶۷۵	۰/۰۴۴۶	۰/۹۷۰۱	-۸/۶۹۶	-۰/۰۰۶۷	میکرون (۵۰۰-۱۰۰۰)

(۷) به دلیل زیاد شدن سطح ویژه در ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) میکرون درصد جذب نیز در این ابعاد در تمامی شرایط آزمایش، نسبت به ابعاد درشت‌تر بیشتر است.
(۸) ابعاد ریز بیشتر از مدل لانگ مایر و ابعاد درشت از مدل فروندلیچ پیروی می‌کنند

۵- منابع و مراجع

- [۱] اطلاعات گردآوری شده توسط کارشناسان بانک اطلاعات کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی ایران، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ۱۳۸۲.
- [۲] MUDDER T., BOTZ M., AND SMITH A., "THE CHEMISTRY AND TREATMENT OF CYANIDATION WASTES", 2ND EDITION, WWW.CYANTISTS.COM/CYANIDE.HTML, 2001, PUBLISHED BY MINING JOURNAL BOOKS LTD.
- [۳] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, TREATMENT OF CYANIDE HEAP LEACHES AND TAILINGS, 1994.
- [۴] IGNACIO RODRÍGUEZ GARCÍA, CONSTRUCTED WETLANDS USE FOR CYANIDE AND METAL REMOVAL FROM GOLD MILL EFFLUENTS, STOCKHOLM 2003.
- [۵] STAVROPOULOS G.G, ZABANIOTOU A.A., PRODUCTION AND "CHARACTERIZATION OF ACTIVATED CARBONS FROM OLIVE-SEED WASTE RESIDUE, MICROPOROUS AND MESOPOROUS MATERIALS 82, 2005
- [۶] LOTFI KHEZAMI, RICHARD CAPART, "REMOVAL OF CHROMIUM (VI) FROM AQUEOUS SOLUTION BY ACTIVATED CARBONS: KINETIC AND EQUILIBRIUM STUDIES", JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS xxx, 2005.

۴- نتیجه گیری

- (۱) کربن فعال به عنوان یکی از مهم‌ترین جاذب‌های سیانید و کمپلکس‌های آن به شمار می‌رود.
- (۲) افزایش میزان کربن فعال باعث افزایش جذب سیانید و کاهش میزان سیانید در محلول می‌شود. مقدار بهینه غلظت کربن فعال برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون (gr/l) ۳۴ و برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون (gr/l) ۳۲ است.
- (۳) pH بهینه برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون ۱۲ و برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون در حدود ۱۱/۵ است که با افزایش pH تا این مقادیر درصد جذب سیانید افزایش می‌یابد ولی بعد از این مقادیر، افزایش pH باعث کاهش میزان جذب سیانید می‌شود.
- (۴) زمان لازم برای انجام آزمایش با هر سه نمونه از کربن فعال حدود ۳۰ تا ۳۵ دقیقه است و افزایش زمان بیشتر از این مقدار تاثیر چندانی در فرایند جذب ندارد.
- (۵) افزایش دما باعث کاهش میزان سیانید در محلول می‌شود و این موضوع بیانگر این است که با افزایش دما میزان جذب زیاد می‌شود؛ بلکه کاهش آن بیشتر به خاطر تبخیر شدن و بحالت گازی شکل در آمدن سیانید (HCN) است. که بهترین میزان آن همان دمای محیط و $26 \pm 0.5^{\circ}C$ می‌باشد.
- (۶) بیشترین مقدار جذب سیانید در شرایط بهینه برای ابعاد (۵۰۰-۱۰۰۰) میکرون ۷۴ درصد و برای ابعاد (۱۰۰-۱۵۰) و (۲۱۲-۲۵۰) میکرون به ترتیب حدود ۸۱/۵ و ۸۴/۶ درصد بود که با افزودن سولفات مس میزان درصد جذب افزایش می‌یابد.

NAFAA^ ADHOUM, LOTFI MONSER, "REMOVAL OF CYANIDE FROM AQUEOUS SOLUTION USING IMPREGNATED ACTIVATED CARBON", CHEMICAL ENGINEERING AND PROCESSING, VOL 41, 2002. [۷]

LI,Z., WILLMS,C., ROY,S., "DESORPTION OF HEXADECYLTRIMETHYL AMMONIUM FROM CHARGED SURFACE" .ENVIRONMENTAL GEOSCIENCE . VOL 10, No1, 2003 [۸]

MILENKOVIĆ D. D., RAJAKOVIĆ LJ. V., STOILJKOVIĆ S., "THE SORPTION OF CYANIDES FROM THE WATER ON TO ACTIVATED CARBON", WORKING AND LIVING ENVIRONMENTAL PROTECTION VOL. 2, No 4, 2004, PP. 251 – 258. [۹]

SONA SAXENA PRASAD, M., AMRITPHALE S.S., NAVIN CHANDRA, "ADSORPTION OF CYANIDE FROM AQUEOUS SOLUTIONS AT PYROPHYLLITE SURFACE", SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY 24, 2001 [۱۰]