



## بررسی فرایند حذف سیانید از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران با استفاده از ذغال سنگ (بررسی موردی)

عطاالله بهرامی<sup>۱</sup>، ابوالقاسم علی قارداشی<sup>۲\*</sup>، آرمین پرویزیان<sup>۲</sup>، حسین کاکایی<sup>۱</sup> و فاطمه کاظمی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳

بهرامی، ع.، ا. ع. قارداشی، آ. پرویزیان، ح. کاکایی و ف. کاظمی. ۱۳۹۷. بررسی فرایند حذف سیانید از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران با استفاده از ذغال سنگ (بررسی موردی). فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۲): ۱۳۳-۱۴۸.

**سابقه و هدف:** آلودگی ناشی از سدهای باطله کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی از جمله کارخانه‌های فرآوری طلا، از مهمترین معضلات صنایع معدنی بوده و مشکلات محیط زیستی فراوانی را به دنبال دارد. پساب کارخانه‌های فرآوری طلا، حاوی مقادیر قابل توجهی از سیانید و ترکیبات آن است. تاکنون روش‌های بیولوژیکی و شیمیایی مختلفی برای حذف سیانید موجود در پساب حاصل از فرآوری طلا مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از روش‌های مورد توجه پژوهشگران، استفاده از جاذب‌های طبیعی مانند ذغال سنگ فعال، برای جذب سیانید موجود در پساب است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق به بررسی جذب سیانید موجود در پساب سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران (واقع در ۳۵ کیلومتری شهر تکاب استان آذربایجان غربی) با استفاده از ذغال سنگ معدن قوزلوی شاهین‌دژ (در حدود ۱۰۰ کیلومتری کارخانه) پرداخته شده است. آزمایش‌های جذب سیانید در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی در دو حالت استفاده از ذغال سنگ خام و ذغال فرآوری شده انجام شده است. بدین ترتیب که ابتدا نمونه ذغال سنگ در داخل استوانه مدرج تا ارتفاع ۷۵ میلی‌متری ریخته شد. در مرحله بعد به استوانه (تا ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متری)، پساب حاوی سیانید اضافه و دبی خروجی سیانید اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمایش‌ها (در هر دو حالت استفاده از نمونه ذغال سنگ خام و فرآوری شده)، نمونه‌های ذغال سنگ در هوای آزاد خشک شدند و آنالیز درصد خاکستر روی هر یک انجام شد. محلول حاصل از هر آزمایش با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۷۵ صاف و محتوی سیانید اندازه‌گیری شد (میزان سیانید باقی‌مانده یا جذب‌نشده توسط ذغال سنگ).

**نتایج و بحث:** مطابق نتایج آزمایش‌ها، فراکسیون دانه‌بندی ۲-۱ میلی‌متر دارای بیشترین مقدار دبی خروجی به میزان ۸/۱۶ میلی‌لیتر در دقیقه و کمترین دبی نیز مربوط به ذرات با اندازه کمتر از یک میلی‌متر بوده است. بیشترین مقدار دبی خروجی در فراکسیون دانه‌بندی ۲-۱ میلی‌متر برای ذغال سنگ فرآوری شده برابر ۱۰/۶۱ میلی‌لیتر بر دقیقه به دست آمد. بر اساس نتایج آنالیز مقدار خاکستر، پس از انجام

\*Corresponding Author. E-mail Address: a\_ghardashi@sbu.ac.ir

عملیات جذب سیانید مقدار خاکستر در فراکسیون‌های ۲ تا ۴/۷۵ و بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر به ترتیب ۳/۷ و ۰/۷ درصد کاهش داشته است، اما مقدار خاکستر فراکسیون دانه‌بندی ذرات با اندازه بزرگتر از ۱ میلی‌متر پس از انجام سیانوراسیون به مقدار ۱/۸ درصد افزایش یافته است. در تمامی آزمایش‌های انجام‌شده جذب سیانید با استفاده از ذغال سنگ، بیشترین مقدار جذب مربوط به محدوده دانه‌بندی ۲-۱ میلی‌متر است. مقدار سیانید جذب‌شده در این فراکسیون برای ذغال سنگ خام، فرآوری‌شده و ذغال مخلوط‌شده به وسیله همزن مکانیکی با سیانید به ترتیب برابر ۴۲/۳، ۳۱/۷۸ و ۲۱/۸۸ درصد است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که فرآوری ذغال سنگ تأثیری در میزان جذب سیانید نداشته و خواص فیزیکی مانند اندازه ذرات و سطح ویژه ذغال مهم‌ترین عوامل در جذب سیانید هستند. در این تحقیق همچنین همدم‌های جذب سیانید با ذغال سنگ براساس مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ بررسی شد. فرایند جذب در تمامی فراکسیون‌های دانه‌بندی از مدل فروندلیچ تبعیت بیشتری داشته که نشان‌دهنده غیریکنواخت بودن ذغال سنگ مورد استفاده و قدرت جذب متفاوت آن است. پدیده جذب سطحی در نقاط مختلف جاذب تحت تأثیر نیروهای مختلف، اعم از فیزیکی و شیمیایی اتفاق می‌افتد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از ذغال سنگ قوزلوی شاهین دژ (واقع در چند کیلومتری سد باطله) با دانه‌بندی ۲-۱ میلی‌متر به صورت خام در بستر و کف سد باطله می‌تواند از آلودگی منابع آب زیرزمینی به سیانور به مقدار قابل توجهی بکاهد.

**واژه‌های کلیدی:** سیانوراسیون طلا، جذب سطحی، ذغال سنگ، ایزوترم‌های جذب.

## مقدمه

جاذب مانند کربن فعال اشاره کرد (2016; Garcia, 2013). فرایند جذب عبارت است از انتقال اجزایی از سیال و تجمع آن در جاذب جامد که تا رسیدن به حالت تعادل (تعادل غلظت اجزا جذب‌شونده در سیال و سطح جاذب) ادامه می‌یابد (Adhoum and Monser, 2002).

جذب و بازیافت سیانید به دلیل قیمت بالا، امکان استفاده مجدد و خطرات محیط زیستی ناشی از پساب‌های حاوی سیانید، از اهمیت بالایی برخوردار است. در پژوهشی بهبود جذب کربن فعال گرانولی (GAC) برای حذف سیانید از فاضلاب بررسی شد و نتایج نشان داد که پس از گذشت ۲۰ روز از قرار دادن نمونه‌ها در حضور جذب‌کننده، جاذب پایدار شده و عملکرد موثر بیولوژیکی کربن فعال را نشان می‌دهد (Zhang et al., 2010). همچنین حذف همزمان تیوسیانات، سیانید، آمونیاک و نیتروژن از فاضلاب ذغال سنگ با استفاده از فرایند بیوفیلیم سیال بررسی شد (Jeong and Chung, 2009). نتایج آزمایش‌های انجام شده، به ترتیب بازده حذف ۹۹، ۹۹، ۹۹ و ۹۳ درصد برای ترکیب‌های ذکرشده را نشان می‌دهد. موثوق‌پور و کارگری، پژوهشی در رابطه با حذف سیانید از فاضلاب‌های صنعتی توسط کربن فعال گرانولی انجام دادند. براساس نتایج کربن فعال قابلیت بازیابی و استفاده

محلول‌ها و پساب‌های حاصل از عملیات فروشویی کارخانه‌های فرآوری طلا، نقره، مس، سرب و روی حاوی مقادیر زیادی از سیانور و ترکیبات سمی آن هستند. سیانور یک ترکیب شیمیایی سمی از کربن و نیتروژن است، که چهار گروه از ترکیب‌های سیانیدی شامل سیانید آزاد (CN<sub>F</sub>)، سیانیدهای قابل جداسازی با اسید ضعیف (CN<sub>Wad</sub>)، سیانیدهای آهن و کمپلکس‌های سیانید-آهن از نقطه نظر محیط زیستی و سمی بودن اهمیت دارند (Roshan Dash et al., 2009). غلظت (ppm) ۰/۵ سیانور موجب مرگ انسان می‌شود و ورود این ماده بسیار سمی به آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به وجود می‌آورد. بنابراین باید غلظت سیانید در پساب صنایع مصرف‌کننده آن به حد مجاز رسانده شود (حداکثر غلظت مجاز سیانید ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر است) (USEPA, 2014). روش‌های مختلفی برای کاهش یا از بین بردن سیانید موجود در پساب صنایع وجود دارد، که از جمله آنها می‌توان به روش‌های زیستی، اکسایش شیمیایی با استفاده از موادی مانند آب اکسیژنه، گاز ازن، هیپوکلریدهای سدیم و کلسیم، پلی‌سولفیدها، تعویض یون با استفاده از رزین‌های تبادل یونی و جذب آن با استفاده از کانی‌هایی مانند ایلمنیت، زئولیت و مواد

بو و رنگ، تصفیه هوا، بازیافت حلال‌های مواد شیمیایی و فلزات سنگین نظیر جیوه، آرسنیک، کروم، سرب باعث کاربرد گسترده این مواد در جذب ترکیبات سمی شده است (Minna *et al.*, 2009; Stavropoulos and Zabaniotou, 2014; Fazeli *et al.*, 2016).

ذغال سنگ منبع اصلی تولید کربن فعال سطح بالا است. جذب سیانید به وسیله کربن یا ذغال سنگ فعال از نوع جذب فیزیکی است. در روش‌های جذب فیزیکی در ماهیت سیانید تغییری ایجاد نشده، بلکه فقط سیانید از محیط جدا می‌شود. این روش‌ها در صورتی که هدف، استفاده مجدد از پساب باطله باشد اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. از ویژگی‌های جذبی با استفاده از ذغال سنگ می‌توان به سطح مخصوص تماس ذغال اشاره کرد که تاثیر بسزایی در قدرت جذب آن دارد. تخلخل و اندازه منافذ ذرات ذغال نیز از دیگر خواص موثر در جذب سطحی ذغال سنگ هستند. از ویژگی‌های فیزیکی نیز می‌توان به سختی، مقاومت در برابر حرارت، فشار و همچنین اندازه ذرات ذغال فعال شده اشاره کرد (Stavropoulos and Zabaniotou, 2014).

نفوذ پساب خروجی حاوی ترکیبات سیانید کارخانه فرآوری زرشوران واقع در استان آذربایجان غربی به زمین‌های اطراف کارخانه باعث بروز مشکلات فراوانی برای ساکنان و محیط زیست شده است (Bahrami *et al.*, 2007). این تحقیق به منظور بررسی جذب سیانید سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران با استفاده از ذغال سنگ معدن قوزلوی شاهین‌دژ و با توجه به ارزان‌ی، در دسترس بودن و عملیاتی شدن آن طراحی شده است. بدین منظور با تهیه نمونه‌هایی از کانسار قوزلو، تاثیر دانه‌بندی و فرآوری ذغال سنگ بر میزان جذب سیانید بررسی شد. همچنین مدل‌های لانگمویر<sup>۴</sup> و فروندلیچ<sup>۵</sup> (بیان کننده روابط جذب فیزیکی سیانید به وسیله کربن یا ذغال سنگ فعال) مورد بررسی قرار گرفت.

برای تعداد دفعات زیادی دارد که این خود نکته قابل توجهی در استفاده از این جاذب است (2015 Movasaghpour and Kargari).

استخراج طلا از کان سنگ بعد از مرحله خردایش توسط عملیات لیچینگ<sup>۱</sup> و با استفاده از محلول سیانید سدیم انجام می‌شود که طی این مرحله طلا در محلول سیانید حل شده و به صورت محلول در می‌آید. کمپلکس‌های محلول طلا بعد از مرحله لیچینگ داخل ستون‌های جذب، روی کربن فعال جذب می‌شوند. خروجی تیکنر<sup>۲</sup> بعد از مرحله جذب حاوی مقادیر زیادی سیانید و ترکیبات آن است که وارد سد باطله می‌شود. روش‌های مختلفی برای حذف سیانید حاصل از پساب‌های معدن کاری طلا، از جمله، تبدیل سیانید به ترکیباتی نظیر آمونیاک، نیترات و تیوسیانات و بازیابی سیانید برای استفاده مجدد از آن، بررسی شده است (2014 Irannezhad and Moslemi). همچنین در سال ۲۰۱۳، پژوهشی برای مقایسه حذف ترکیبات سیانید سدیم، سیانید روی و سیانید آهن توسط سه فرآیند مختلف جذب، تجزیه بیولوژیکی و جذب همزمان با تجزیه بیولوژیکی (SAB<sup>۳</sup>) انجام شده است (Roshan Dash *et al.*, 2013). نتایج این تحقیق نشان داده که روش SAB در جذب و تخریب سیانید، دارای درصد بالایی است و در جذب اختصاصی برای سیانید روی کارایی مناسبی داشته است. بر اساس نتایج تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۴، جذب همزمان فنل و سیانید با استفاده از ذغال سنگ بررسی شد و بیشترین میزان سیانید حذف شده با غلظت اولیه ۲۰ میلی گرم بر لیتر و برابر ۷۸/۸۹ درصد به دست آمده است (Agarwa *et al.*, 2014).

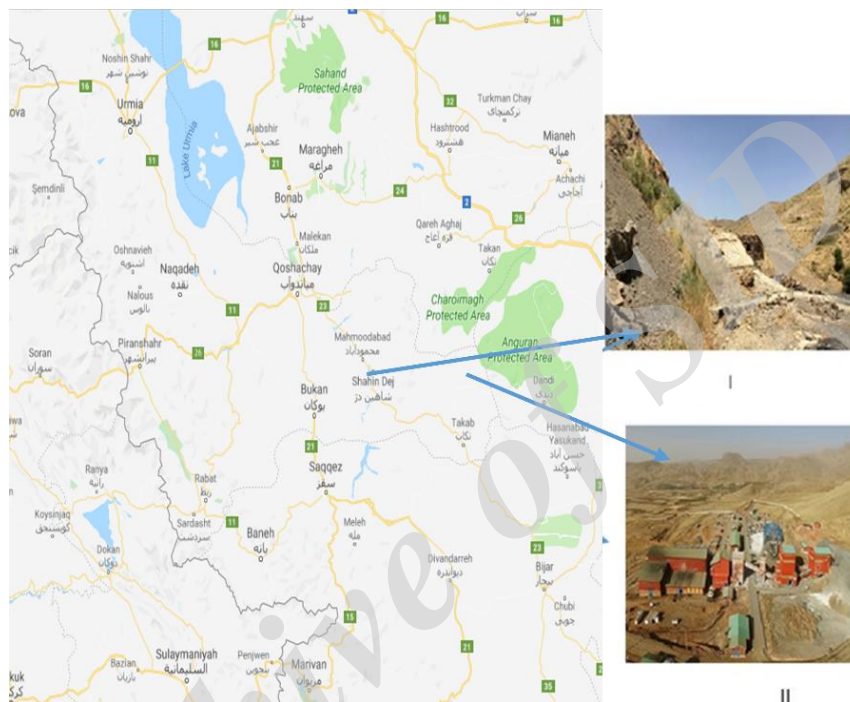
ترکیبات سیانیدی آزاد قابل شست و شو با اسیدهای ضعیف و کمپلکس‌های قوی تمایل بسیار زیادی برای جذب روی کربن فعال دارند. ساختمان منفذی و متخلخل، قابلیت فعال سازی مجدد سطح، قیمت پایین انواع ذغال‌های طبیعی و راندمان مناسب آنها در جداسازی

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد بررسی

کارخانه فرآوری و استحصال طلای زرشوران متعلق به شرکت گسترش و توسعه معادن و صنایع معدنی ایران، در ۳۲ کیلومتری شمال شهرستان تکاب، واقع در استان آذربایجان غربی است (شکل ۱). بر اساس مطالعات زمین‌شناسی

اقتصادی و عملیات اکتشافی، کانسار طلا در سیلیکات‌های آهن و منیزیم تشکیل شده است. روش استحصال طلا در این واحد فرآوری سیانوراسیون بوده که در نهایت پساب خروجی همراه مقدار زیادی سیانید و ترکیب‌های آن وارد سد باطله می‌شوند. محلول سیانیدی برای انجام آزمایش‌های جذب، از آب این سد باطله تهیه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی کانسار ذغال سنگ قوزلو (I) و مجتمع فرآوری طلای زرشوران (II) (در محیط Google Maps)  
 Fig. 1- Geographical location of the Gozlu coal deposit (I) and Zarshuran gold processing complex (II) (Google Maps software)

### مشخصات و آماده‌سازی ذغال

کانسار ذغال سنگ قوزلوی شاهین دژ نیز در حد فاصل استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی واقع است (شکل ۱). ذخیره این معدن از نوع ذغال سنگ کک‌شو سوپربیتوموس<sup>۶</sup> است که در آخرین حد متامرفیسم<sup>۷</sup> ذغالی و در حد فاصل ذغال سنگ و بیتومن<sup>۸</sup> قرار گرفته است. بخش بزرگی از جرم ذغال سنگ کربن است. از دیگر ترکیبات ذغال سنگ هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن و گوگرد هستند (جدول ۱). این ماده معدنی دارای ساختار سلولی و متخلخل و منبع بسیار مناسبی برای تولید کربن فعال با سطح بسیار بالا است (Khezami

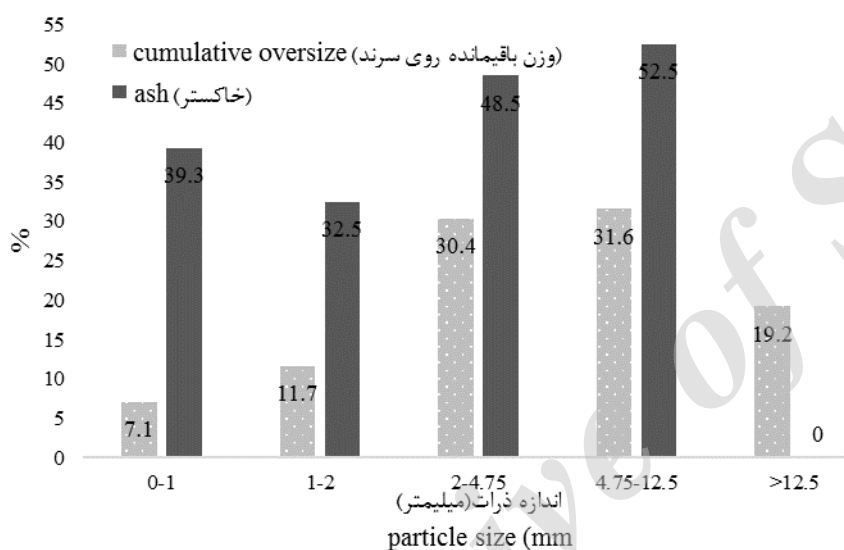
*et al.*, 2005). در شکل شماره ۲ تصویری از نمونه ذغال سنگ فعال شده مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است. ابتدا برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و عیاری نمونه ذغال سنگ، آنالیز سرندی با استفاده از سری الک‌های ۱، ۲، ۴/۷۵ و ۱۲/۵ میلی‌متر انجام و سپس روی هر فراکسیون آزمایش میزان خاکستر محتوی انجام شد. برای اندازه‌گیری مقدار خاکستر هر یک از فراکسیون‌های دانه‌بندی، مقدار ۳-۴ گرم از نمونه با استفاده از هاون پودر و در کوره آزمایشگاهی<sup>۴</sup> با دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه سوزانده شد. مقدار خاکستر نمونه‌های ذغال سنگ پس از سوخته شدن کربن آنها در کوره

به‌طور کلی با کاهش اندازه ذرات میزان خاکستر محتوی کاهش یافته است. اما در مورد فراکسیون دانه‌بندی ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر به علت وجود ذرات ریزدانه رس میزان خاکستر افزایش یافته است.

محاسبه شد. در شکل ۳ نتایج مربوط به آنالیزها نمایش داده شده است. با توجه به شکل، ۵۰ درصد ذرات ذغال‌سنگ در فراکسیون دانه‌بندی با اندازه کمتر از ۴/۷۵ میلی‌متر و مقدار خاکستر کمتر از ۴۰ درصد قرار دارند.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی نمونه ذغال‌سنگ  
Table 1- Chemical composition of coal sample

میزان رطوبت % Moisture content %	میزان خاکستر محتوی % Ash Content %	% C	% O	% N	% S	% H
1.21	47	80.85	5.46	1.12	0.88	10.85



شکل ۳- نتایج آنالیز سرنندی و آنالیز میزان خاکستر ذغال‌سنگ  
Fig. 3- Results of particle size distribution and ash content analysis

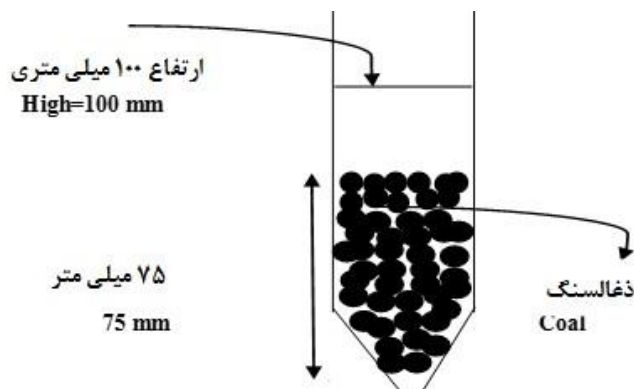


شکل ۲- ذغال‌سنگ فعال  
Fig. 2- Image of active coal

حاوی سیانید ریخته و دبی خروجی سیانید اندازه‌گیری شد (شکل ۴). پس از انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های ذغال‌سنگ در هوای آزاد خشک، و روی هر یک آنالیز درصد خاکستر انجام شد. محلول حاصل (پساب خروجی از هر استوانه) از هر آزمایش با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۷۵ صاف و ذغال‌سنگ باقی‌مانده روی فیلتر نیز به منظور اطمینان از باقی نماندن سیانید روی کاغذ صافی، شست‌وشو و سپس غلظت سیانید در محلول‌های حاصل اندازه‌گیری شد.

### پایلوت آزمایشگاهی

بررسی‌ها و آزمایش‌های جذب در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد محیط آزمایشگاه و در داخل یک استوانه انجام شد. آزمایش‌های جذب برای حالت‌های مختلف ذغال‌سنگ خام دانه‌بندی‌شده و ذغال‌سنگ فرآوری و دانه‌بندی‌شده انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا نمونه ذغال‌سنگ در داخل استوانه مدرج تا ارتفاع ۷۵ میلی‌متری ریخته شد. در مرحله بعد روی ذغال‌سنگ موجود در استوانه (تا ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متری)، پساب



شکل ۴- تصویر شماتیک از آزمایش‌های حذف سیانور  
Fig. 4- Schematic picture of cyanide removal tests

## روش‌های آزمایش

محلول سیانیدی از آب سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران تهیه شده است که pH آن در حدود ۹ است. غلظت سیانید مطابق روش TOC (بر اساس دستورالعمل استاندارد متد<sup>۱۰</sup>)، ۲۰۸ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. یون‌های آزاد سیانور شامل  $\text{CN}^-$  و  $\text{HCN}$  در pH برابر ۹ و بالاتر از آن پایدار هستند. اندازه‌گیری سیانید آزاد به روش تیتراسیون<sup>۱۱</sup> و با استفاده از محلول ۰/۰۱۰۲ مول در لیتر نیترات نقره انجام شد.

برای بررسی انتقال و جذب املاح و ترکیبات روی یک ماده باید معادلات و روابطی بین غلظت ماده جذب‌شده روی جاذب و غلظت باقی‌مانده (غلظت تعادل) آن در دماهای ثابت وجود داشته باشد. این معادلات را ایزوترم‌ها (همدماهای) جذب سطحی می‌گویند. مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ بیان‌کننده این روابط هستند (Li et al., 2013). در این تحقیق نیز ایزوترم فرآیند جذب با استفاده از مدل‌های ایزوترمی لانگمویر و فروندلیچ بررسی شد.

## نتایج و بحث

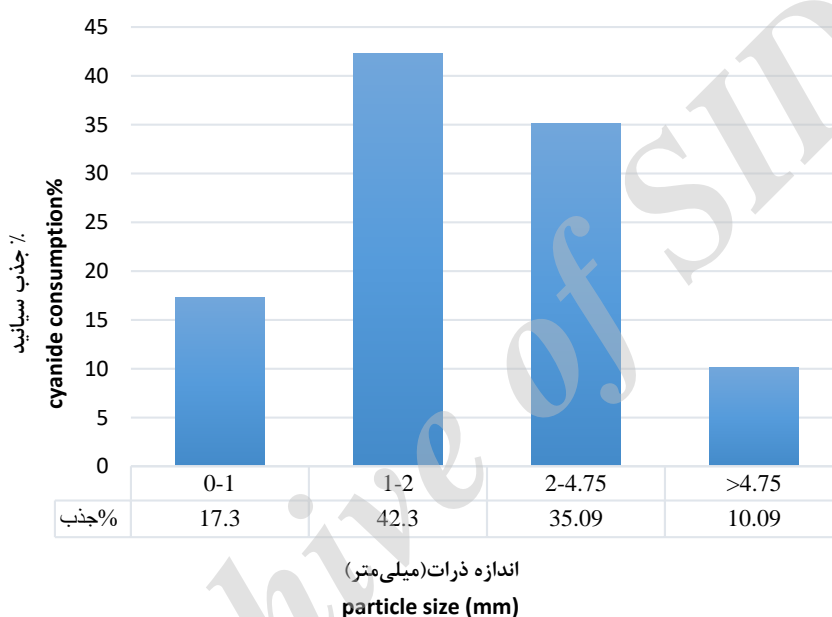
### تاثیر دانه‌بندی ذغال‌سنگ در جذب سیانید

برای بررسی تاثیر اندازه ذرات ذغال‌سنگ در جذب سیانید، نمونه ذغال‌سنگ با استفاده از سری الک‌های ۱، ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر در فراکسیون‌های ۰-۱، ۱-۲، ۲-۴/۷۵-

۲ و بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر طبقه‌بندی شد. برای انجام آزمایش‌های جذب در فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی، نمونه ذغال‌سنگ در داخل استوانه مدرج تا ارتفاع ۷۵ میلی‌متری ریخته شد. در جدول ۲ وزن معادل ذغال‌سنگ هر فراکسیون تا ارتفاع ۷۵ میلی‌متری استوانه آمده است. سپس روی نمونه ذغال‌سنگ پساب حاوی سیانید تا ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متری ریخته شد (در جدول ۲ حجم معادل سیانید تا ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متری استوانه مورد استفاده در انجام آزمایش‌های جذب آمده است). دبی خروجی در مدت زمان ۶۰ دقیقه برای هر فراکسیون اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. با توجه به جدول ۲ فراکسیون دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر دارای بیشترین مقدار دبی خروجی به میزان ۸/۱۶ میلی‌لیتر در دقیقه است. کمترین دبی نیز مربوط به ذرات با اندازه کمتر از یک میلی‌متر است. بر اساس نتایج آنالیز مقدار خاکستر، پس از انجام عملیات جذب سیانید مقدار خاکستر نمونه‌های ذغال‌سنگ در فراکسیون‌های ۴/۷۵-۲ و بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر به ترتیب ۳/۷ و ۰/۷ درصد کاهش داشته است، اما مقدار خاکستر فراکسیون ذرات با اندازه بزرگتر از ۱ میلی‌متر پس از انجام سیانوراسیون به مقدار ۱۱/۸ درصد افزایش یافته است. در فراکسیون دانه‌بندی ذرات کمتر از ۱ میلی‌متر نیز خاکستر افزایشی در حدود ۱/۲ درصد داشته است.

جدول ۲- خاکستر و دبی خروجی سیانور در فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی ذغال سنگ  
Table 2- Ash content and flow rate of cyanide in different sized frictions of coal

اندازه ذرات (میلی‌متر) Particle size (mm)	وزن ذغال سنگ Coal weight %	% خاکستر ذغال سنگ Ash content %	حجم سیانور (میلی لیتر) Cyanide volume (ml)	دبی خروجی (میلی لیتر / دقیقه) Flow rate (ml/min)	% خاکستر ذغال سنگ پس از جذب سیانید Ash content after the consumption %
1>	19.60	39.3	240	4.00	40.5
1-2	23.52	32.5	490	8.16	44.3
2-4.75	26.54	48.5	290	4.80	44.8
>4.75	30.34	52.5	360	6.00	51.8



شکل ۵ - میزان جذب سیانور توسط ذغال سنگ خام در فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی  
Fig. 5- Amount of cyanide consumption using raw coal of different sized frictions

براساس شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان ذغال سنگ در فراکسیون‌های دانه‌بندی با اندازه ذرات بزرگتر از ۱ میلی‌متر مقدار جذب سیانید کاهش یافته است. بنابراین می‌توان گفت که اندازه ذرات بیشترین تاثیر را در جذب سیانید با استفاده از ذغال سنگ دارد، زیرا با کاهش اندازه ذرات میزان سطح مخصوص جذب ذغال افزایش می‌یابد. همان‌طور که ذکر شد یکی از ویژگی‌های جذبی با استفاده از ذغال سنگ سطح مخصوص تماس ذغال است که تاثیر بسزایی در قدرت جذب آن دارد. براساس تحقیقات انجام شده، یکی از ویژگی‌های جذبی با استفاده از مواد حاوی

در شکل ۵ میزان جذب سیانور در هر فراکسیون دانه‌بندی، برای ذغال سنگ نمایش داده شده است. غلظت سیانور ورودی برای تمامی فراکسیون‌های دانه‌بندی یکسان و برابر ۲۰۸ میلی‌گرم بر لیتر است. بر اساس شکل، بیشترین مقدار جذب مربوط به فراکسیون ۱-۲ میلی‌متر به میزان ۴۲/۳ درصد است. با افزایش اندازه ذرات مقدار جذب سیانور کاهش یافته است، به استثنای فراکسیون ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر که با کاهش اندازه، مقدار جذب آن نیز کاهش یافته است. با توجه به جدول ۲ با افزایش اندازه ذرات، وزن ذغال سنگ موجود در هر فراکسیون افزایش یافته است، اما

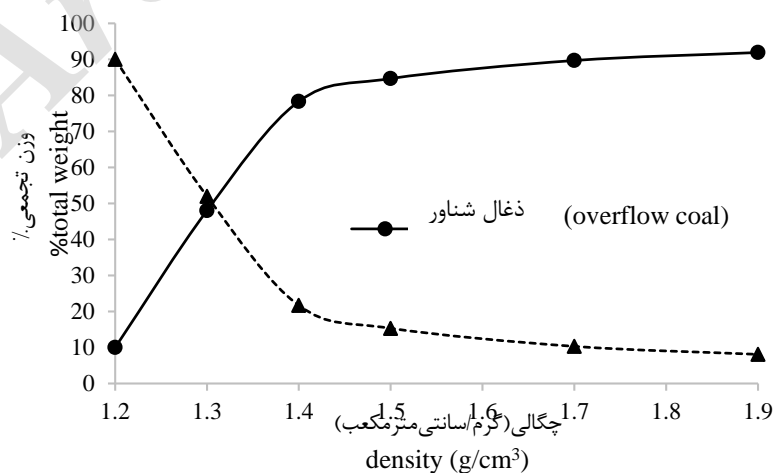
یک نمک در آب، محلول‌هایی با وزن مخصوص‌های نزدیک به چگالی ماده معدنی با ارزش تهیه و سپس با غرق و شناورسازی نمونه در این محلول‌ها، ماده معدنی و باطله همراه آن از یکدیگر جدا می‌شوند. در این تحقیق با توجه به کارایی روش‌های ثقلی در فرآوری ذرات با اندازه بزرگتر از ۱ میلی‌متر، روی نمونه ذغال‌سنگ با ابعاد بزرگتر از ۱ میلی‌متر عملیات کانه‌آرایی به روش واسطه سنگین انجام شد (روی فراکسیون دانه‌بندی ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر به علت عدم کارایی روش‌های ثقلی در این محدوده ابعادی، نیز عملیات فرآوری به روش فلوتاسیون انجام شد). در روش واسطه سنگین، آزمایش‌های غرق و شناورسازی در محلول کلرید روی با وزن مخصوص‌های  $1/9 - 1/1$  گرم بر سانتی‌مترمکعب، روی نمونه ذغال‌سنگ انجام شد. نتایج مربوط به این آزمایش در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمایش‌های مایع سنگین، بیش از ۸۰ درصد ذرات در محلول با وزن مخصوص  $1/5$  گرم بر سانتی‌مترمکعب شناور شده‌اند. بنابراین با توجه به وزن مخصوص ذغال‌سنگ (تقریباً  $1/5$  گرم بر سانتی‌مترمکعب)، نمونه شناور شده در مایع با وزن مخصوص  $1/5$  گرم بر سانتی‌مترمکعب، برای انجام آزمایش‌های جذب سیانور انتخاب شد.

کربن، سطح مخصوص تماس کربن با سیانید است که تاثیر بسزایی در قدرت جذب آن دارد و با افزایش سطح تماس میزان جذب افزایش می‌یابد (Stavropoulos and Zabaniotou, 2014).

### تاثیر فرآوری ذغال‌سنگ در جذب سیانور

ذغال‌سنگ استخراجی از معدن ترکیبی از مواد آلی (کربن) و معدنی (خاکستر) است که به هنگام تشکیل ذغال‌سنگ یا در حین استخراج لایه‌ها با یکدیگر مخلوط می‌شوند. برای دستیابی به کیفیت مناسب ذغال نیاز به حذف ترکیبات خاکستر طی عملیات فرآوری است. محصول یا کنسانتره حاصل از فرآوری ذغال‌سنگ حاوی کربن بیشتری نسبت به کان‌سنگ استخراجی از معدن است و بنابراین انتظار می‌رود که قابلیت جذب سیانور در آن نسبت به ذغال‌سنگ خام بالاتر باشد. در این پژوهش برای بررسی تاثیر عملیات فرآوری بر میزان جذب سیانید توسط ذغال‌سنگ، ابتدا روی نمونه ذغال‌سنگ عملیات فرآوری انجام شد.

روش‌های ثقلی جزء مهمترین روش‌های فرآوری ذغال‌سنگ و جدایش مواد باطله همراه آن در ابعاد نسبتاً درشت هستند. روش واسطه سنگین از جمله روش‌های ثقلی فرآوری مواد معدنی است. در این روش از انحلال



شکل ۶ - نتایج آزمایش مایع سنگین نمونه ذغال‌سنگ معدن قوزلوی شاهین‌دژ  
 Fig. 6- Results of heavy media test relating to coal sampling from a Gozlu mine (Shahin Dezh)



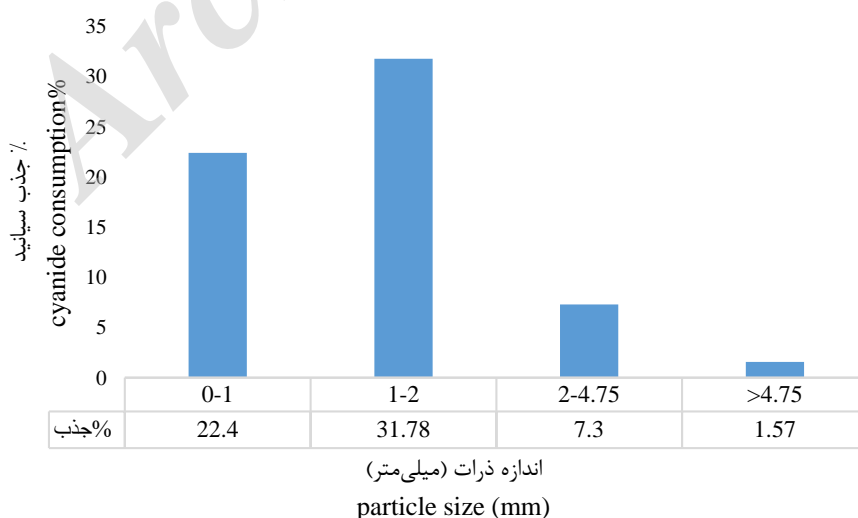
در شکل ۷ نتایج مربوط به آنالیز محلول خروجی حاوی سیانید از فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی آمده است. در این آزمایش نیز بیشترین مقدار جذب مربوط به فراکسیون دانه‌بندی ۱-۲ میلی‌متر به مقدار ۳۱/۷۷ درصد است و با افزایش اندازه ذرات جز فراکسیون ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر، میزان جذب کاهش یافته است. با وجود انتظار در تمامی فراکسیون‌های دانه‌بندی مقدار جذب نسبت به ذغال سنگ خام کاهش چشمگیری داشته است. بنابراین می‌توان گفت که فرآوری ذغال سنگ تاثیری در میزان جذب سیانید نداشته و خواص فیزیکی مانند اندازه ذرات و سطح ویژه ذغال مهمترین عوامل در جذب سیانید هستند.

نمونه شناور شده در وزن مخصوص ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب پس از شست‌وشو و خشک شدن با استفاده از سری الک‌های ۱، ۲، ۴/۷۵ میلی‌متر در فراکسیون‌های ۰-۱، ۱-۲، ۲-۴/۷۵ و بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر طبقه‌بندی شد، سپس مشابه حالت‌های قبل، آزمایش جذب سیانید در فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی انجام شد. در جدول ۳ اطلاعات مربوط به وزن ذغال (وزن ذغال سنگ در هر فراکسیون، معادل ارتفاع ۷۵ میلی‌متری استوانه مدرج مورد استفاده در انجام آزمایش‌ها است) در هر فراکسیون دانه‌بندی و مدت زمان عبور سیانور از آنها آمده است. در این حالت نیز بیشترین دبی خروجی مربوط به فراکسیون ۱-۲ میلی‌متر است.

جدول ۳- دبی خروجی سیانور در فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی ذغال سنگ فرآوری شده

Table 3- Flow rate of cyanide in different frictions of processing coal

اندازه ذرات (میلی‌متر) Particle size (mm)	وزن ذغال سنگ % Coal weight %	حجم سیانور (میلی‌لیتر) Volume of cyanide (ml)	زمان عبور (دقیقه) Time (min)	دبی خروجی (میلی‌لیتر/دقیقه) Flow rate (ml/min)
1>	23.72	240	185.00	1.29
1-2	23.56	490	46.16	10.61
2-4.75	27.63	290	40.56	6.35
>4.75	25.07	360	50.99	7.06



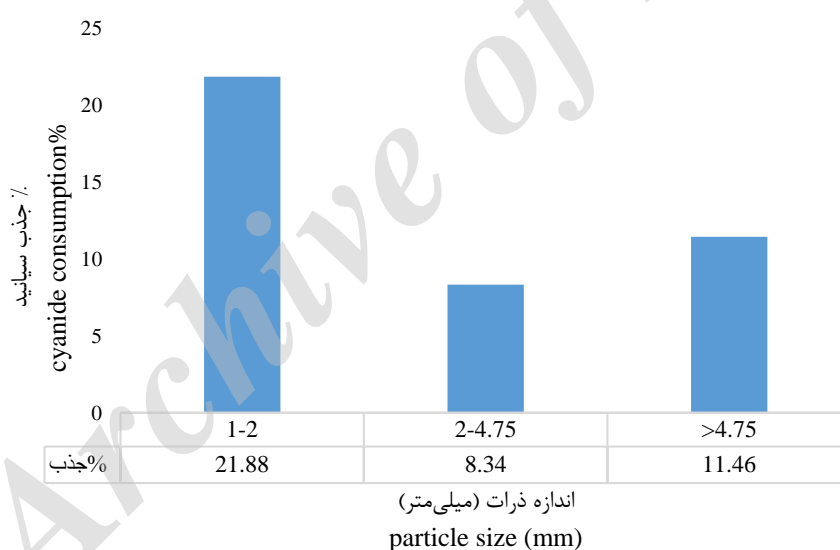
شکل ۷- میزان جذب سیانور توسط ذغال سنگ فرآوری شده در فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی

Fig. 7- Amount of cyanide consumption by processing coal in different sized frictions

## تاثیر مدت زمان اختلاط در جذب سیانید با استفاده از ذغال سنگ فرآوری شده

به منظور انجام بررسی های تکمیلی و بررسی تاثیر مدت زمان تماس بین ذغال سنگ و محلول سیانیدی در میزان جذب سیانید، نمونه های ذغال سنگ فرآوری شده در فراکسیون های مختلف دانه بندی با استفاده از همزن مکانیکی به مدت ۳۰ دقیقه (در فواصل زمانی ۲ دقیقه و تعداد تکرار ۱۵ مرتبه) با محلول سیانیدی به هم زده شدند. سپس مایع خروجی از هر آزمایش با استفاده از کاغذ صافی فیلتر و محلول صاف شده خروجی هر فراکسیون آنالیز شد. نتایج مربوط به این آزمایش در شکل ۸ آمده است. همان طور که مشاهده می شود در این آزمایش نیز بالاترین مقدار جذب مربوط به فراکسیون ۲-۱-

۱ میلی متر به میزان ۲۱/۸۸ درصد است. با بررسی مقادیر مختلف جذب مشاهده می شود، که ذغال دانه بندی شده در هر فراکسیون دانه بندی دارای جذب بالاتری نسبت به فراکسیون مشابه در حالات انجام اختلاط مکانیکی و فرآوری است. همچنین در تمامی آزمایش ها (جز در فراکسیون دانه بندی ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی متر) با افزایش اندازه ذرات، مقدار جذب سیانید کاهش یافته است. در ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی متر به دلیل افزایش مقدار خاکستر با کاهش اندازه مقدار جذب کاهش یافته است. با توجه به مطالب فوق می توان گفت مهمترین عامل در مقدار جذب سیانید اندازه ذرات است. با کاهش اندازه مقدار سطح تماس افزایش یافته و در نتیجه مقدار جذب افزایش می یابد.



شکل ۸- درصد جذب سیانور در فراکسیون های مختلف دانه بندی ذغال مخلوط شده با پساب حاوی سیانید به وسیله همزن مکانیکی  
Fig. 8- Amount of cyanide consumption with using by mixed coal with cyanide, in different sized frictions

محلول (غلظت آن در حال تعادل) پارامترهای گوناگون ایزوترم جذب تعیین شد و منحنی های ایزوترم بر اساس مدل های لانگمویر و فروندلیچ رسم شد.

### الف) بررسی فرایند جذب با مدل لانگمویر

مدل لانگمویر به صورت رابطه ۱ است:

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

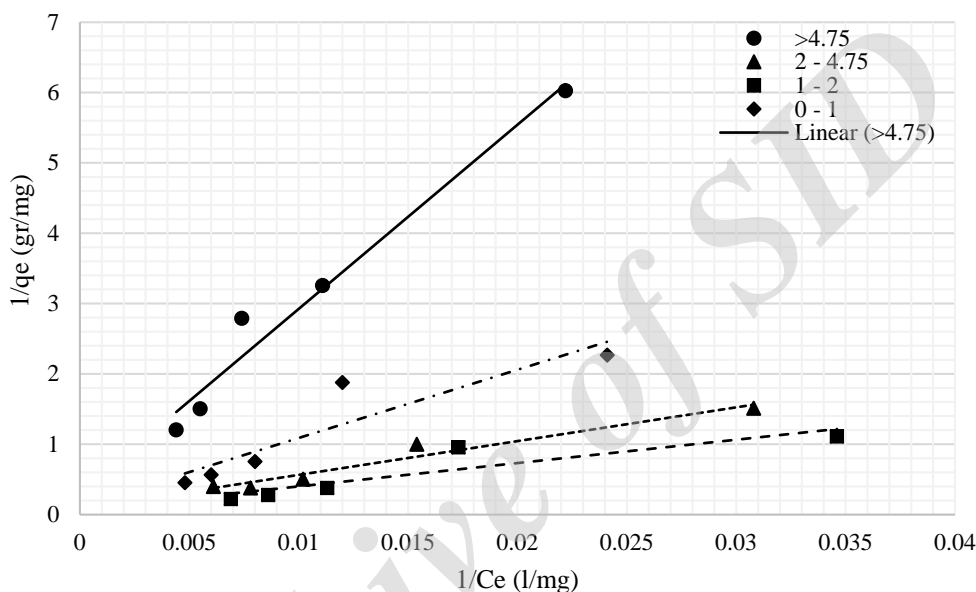
### ایزوترم های جذب سیانید روی ذغال سنگ خام

برای بررسی همدماهای جذب سیانید در ذغال سنگ، محلول هایی با غلظت های مختلف از سیانید تهیه و به ذغال سنگ در فراکسیون های مختلف دانه بندی اضافه شد. بعد از مشخص شدن میزان سیانید جذب شده به ازای هر گرم جاذب و غلظت سیانید باقی مانده در

محلول با مدل لانگمویر نشان داده شده است. همچنین در جدول ۴ نتایج مربوط به محاسبات پارامترهای مدل آمده است. با توجه به نتایج بیشترین ضریب همبستگی مربوط به فراکسیون ذرات با اندازه بزرگتر از ۴/۷۵ میلی‌متر به مقدار ۰/۹۷۰۶ است. همچنین مشخص است که میزان سیانید جذب‌شده به ازای هر گرم جاذب در غلظت‌های بالاتر بیشتر از مقدار آن در غلظت‌های پایین است.

در این رابطه،  $q_e$  مقدار جزء جذب‌شده در واحد جرم جاذب (میلی‌گرم بر گرم)،  $C_e$  غلظت جزء باقیمانده در فاز سیال (میلی‌گرم بر لیتر) و  $a$  و  $b$  ثابت‌های لانگمویر هستند. اگر منحنی  $\frac{1}{q_e}$  بر حسب  $\frac{1}{C_e}$  به صورت خطی باشد، نشان‌دهنده پیروی مکانیزم جذب از مدل لانگمویر است (Li et al., 2013).

در شکل ۹، میزان برازش منحنی‌های به‌دست‌آمده از مقادیر سیانید جذب‌شده و مقدار سیانید باقی‌مانده در



شکل ۹- نمودارهای همدمای جذب بر اساس مدل لانگمویر  
Fig. 9- Isotherm consumption graphs according to Langmuir model

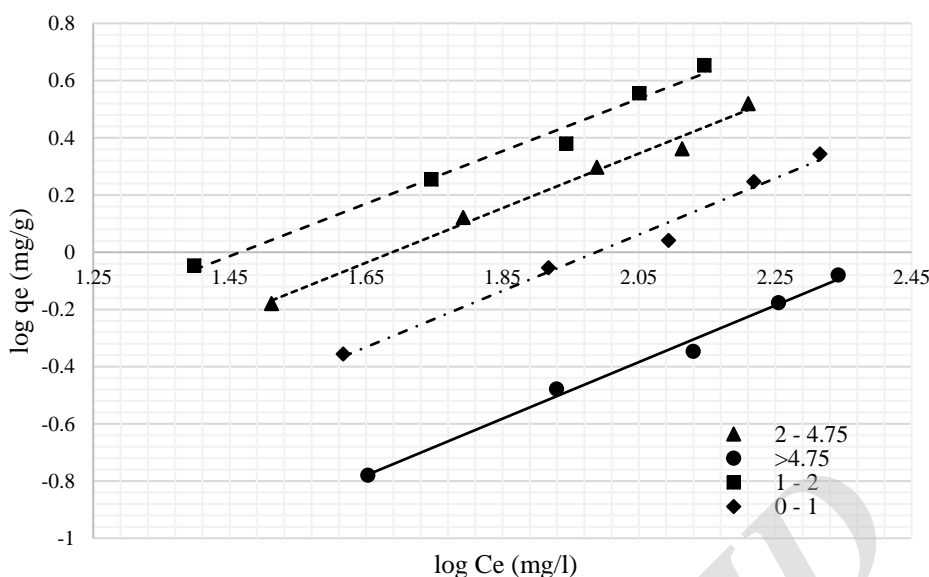
در این مدل نیز اگر منحنی  $\log q_e$  بر حسب  $\log C_e$  خطی باشد فرایند جذب از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند (Li et al., 2013).

در جدول ۴ نتایج مربوط به محاسبات پارامترهای مدل فروندلیچ آمده است. در شکل ۱۰ برازش منحنی‌های به‌دست‌آمده از مقادیر سیانید جذب‌شده و مقدار سیانید باقی‌مانده در محلول با مدل فروندلیچ نشان داده شده است. با مقایسه منحنی‌های ۹ و ۱۰ و نیز میزان ضریب همبستگی محاسبه شده، مشاهده می‌شود که بیشینه جذب در تمامی فراکسیون‌های دانه‌بندی بیشتر از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند.

### ب) بررسی فرایند جذب با مدل فروندلیچ

مدل فروندلیچ بر اساس مناطق جذب در جسم جامد هتروژن (ناهمگن) که دارای قدرت جذب متفاوتی هستند، استوار است. بدین معنی که جذب سطحی در نقاط مختلف جسم جاذب تحت تاثیر نیروهای مختلف، اعم از فیزیکی و شیمیایی هستند. مقدار این نیروها به طبیعت ماده جذب‌شونده و جسم جاذب بستگی دارد. این مدل به صورت رابطه ۲ بوده که  $n$  و  $k$  ثابت‌های فروندلیچ هستند.

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



شکل ۱۰- نمودارهای همدمای جذب بر اساس مدل فروندلیچ  
 Fig. 10- Isotherm consumption graphs according to Frondlich model

جدول ۴- پارامترهای همدمای جذب سیانید روی ذغال سنگ خام  
 Table 4- The Isotherm parameter of cyanide consumption on raw coal

ابعاد ذغال سنگ (میلی متر) Coal particle size (mm)	مدل فروندلیچ Frondlich model			مدل لانگمویر Langmuir model		
	R <sup>2</sup>	k	n	R <sup>2</sup>	b	a
>4.75	0.983	0.2913	1.0158	0.8381	8.4602	0.0012
1-2	0.9892	0.2072	1.0476	0.8167	14.9476	0.0020
2-4.75	0.9839	0.1282	1.0902	0.9527	11.8203	0.0017
>4.75	0.9913	0.3824	1.0107	0.9706	3.2840	0.0011

## نتیجه گیری

مخلوط شده با همزن مکانیکی با پساب حاوی سیانید به ترتیب ۳۱/۷۸ و ۲۱/۸۸ درصد است. در نتیجه ذغال سنگ خام دارای مقدار جذب بالاتری نسبت به ذغال فرآوری شده و ذغال مخلوط شده با سیانید است. با مقایسه دبی خروجی سیانید از فراکسیون های مختلف دانه بندی، مشاهده شد که بیشترین مقدار دبی خروجی نیز متعلق به فراکسیون ۲-۱ میلی متر است. مقدار دبی در فراکسیون مذکور برای حالت ذغال خام و ذغال سنگ فرآوری شده به ترتیب برابر ۸/۱۶ و ۱۰/۶۱ میلی لیتر بر دقیقه است. مقادیر خاکستر فراکسیون مذکور پس از انجام عملیات جذب سیانید حدود ۱۱/۸ درصد افزایش یافته است. منحنی های ایزوترم جذب سیانید توسط ذغال سنگ در تمامی آزمایش های انجام شده

این تحقیق به منظور بررسی قابلیت جذب سیانور سد باطله کارخانه فرآوری طلای زرشوران با استفاده از ذغال سنگ معدن قوزلوی شاهین دژ انجام شده است. براساس نتایج حاصل از آزمایش های مختلف در رابطه با جذب سیانید توسط ذغال سنگ، فراکسیون دانه بندی ۲-۱ میلی متر دارای بیشترین مقدار جذب است و با افزایش اندازه ذرات مقدار جذب کاهش می یابد به جز در فراکسیون ذرات با اندازه کمتر از ۱ میلی متر که با کاهش اندازه ذرات میزان جذب سیانید کاهش یافته است. مقدار جذب سیانید در این فراکسیون برای ذغال سنگ خام ۴۲/۳ درصد است، و در مورد ذغال سنگ فرآوری شده و ذغال فرآوری و

## پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Leaching
- <sup>2</sup> Thinker
- <sup>3</sup> Biodegradation and simultaneous adsorption and biodegradation
- <sup>4</sup> Langmuir
- <sup>5</sup> Ferundlich
- <sup>6</sup> Super bitumen's
- <sup>7</sup> Metamorphism
- <sup>8</sup> Bitumen
- <sup>9</sup> SC-144DR
- <sup>10</sup> Standard Methods for water and wastewater examination-2005
- <sup>11</sup> Titration

Adhoum, N. and Monser, L., 2002. Removal of cyanide from aqueous solution using impregnated activated carbon. *chemistry Engineering Process*. 41, 17-21.

Agarwal, B., Singh, N. and Balomajumder, C., 2014. Co-Adsorptive removal of Phenol and Cyanide using a novel, low cost Adsorbent: An Optimization Study. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 4, 152-155.

Bahrami, A., Hosseini, M.R. and Razmi, K., 2007. An Investigation on Reusing Process Water in Gold Cyanidation. *Mine Water Environ*. 26, 191-194.

Fazeli M., Kazemi Balgeshiri M.J. and Alighardashi A., 2016. Water Pollutants Adsorption through an Enhanced Activated Carbon Derived from Agriculture Waste. *Journal of archives of hygiene sciences*. 5, 286-294.

García, I.R., 2013. Constructed Wetlands use for Cyanide and Metal Removal from Gold mill Effluents. *Stockholm*.

Irannezhad, M. and Moslemi, H., 2014. Investigating different methods for removing

و در تمامی فراکسیون‌های دانه‌بندی از مدل فروندلیچ پیروی می‌کنند.

به‌طور کلی، ذغال‌سنگ قوزلو بدون هیچ عملیات فرآوری و ایجاد ذغال فعال، توانایی بسیار مناسبی در جذب سیانور سد باطله طلای زرشوران داشته است. در نتیجه، با برداشت ذغال از معدن ذغال‌سنگ قوزلوی شاهین‌دژ و بدون صرف هزینه‌های فرآوری می‌توان به‌صورت مستقیم از آن در سد باطله و مسیرهای انتقال آب سیانید استفاده کرد. نزدیکی معدن قوزلو به معدن طلای زرشوران و سهولت حمل‌ونقل از دیگر مزایای طرح تصفیه آب سیانور در این پژوهش است.

## منابع

cyanide from gold mines wastewater. In *Second National Conference on Planning, Protection of Environmental Protection and Sustainable Development*, Tehran University of Shahid Beheshti. (In Persian with English abstract).

Jeong, Y. and Chung, J.S., 2006. Simultaneous removal of COD, thiocyanate, cyanide and nitrogen from coal process wastewater using fluidized biofilm process. *Process Biochemistry*. 41, 1141-1147.

Khezami, L., Lotfi, M. and Capart, R., 2005. Removal of chromium (VI) from aqueous solution by activated carbons: kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*. 123, 223-231.

Li, G., Xue, J., Liu, N. and Yu, L., 2016. Treatment of cyanide wastewater by bulk liquid membrane using tricaprlyamine as a carrier. *Water Science & Technology*. 73, 2888-2895.

Li, Z., Willms, C. and Roy, S., 2013. Desorption of Hexadecyl Trimethyl ammonium from charged surface. *Environmental geoscience*. 10.

Minna, P., Koivula, A., Kujala, K., Rönkkömäki, H. and Mäkelä, M., 2009. 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, 345.

Moasaghpour, A. and Kargari, A., 2014. Cyanide removal from industrial wastewater by granular activated carbon. In *First International Comprehensive Conference on Environment*, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Roshan Dash, R., Balomajumder, C. and Kumar, A., 2013. Treatment of cyanide bearing effluents by adsorption, biodegradation and combined processes: effect of process. *Desalination and Water Treatment*. 146, 408-413.

Roshan Dash, R., Balomajumder, Ch. and Kumar, A., 2009. Removal of Cyanide from Water and Wastewater Using Granular Activated Carbon.

*Chemical Engineering Journal*. 146, 408.

Stavropoulos, G.G. and Zabaniotou, A.A., 2014. Production and characterization of activated carbons from Olive-Seed waste residue. *Micro porous& mesoporous materials*. 82.

U.S. 2014. Treatment of Cyanide heap leaches and Tailings. In *Environmental Protection Agency*, September.

Zhang, W., Liu, W., Lv, Y., Li, B. and Ying, W., 2010. Enhanced carbon adsorption treatment for removing cyanide from coking plant effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 135-140.



Archive of SID



## Removal of cyanide from the wastewater of Zarshuran gold processing plant using coal (case study)

Ataallah Bahrami,<sup>1</sup> Abolghasm Ali Ghardashi,<sup>2\*</sup> Armin Parvizayan,<sup>2</sup> Hossein Kakaei<sup>1</sup> and Fatemeh Kazemi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup> Water and Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2017.12.12

Accepted: 2018.08.14

**Bahrami, A., Ghardashi, A. A., Parvizayan, A., Kakaei, H. and Kazemi, F., 2018.** Removal of cyanide from the wastewater of Zarshuran gold processing plant using coal (case study). *Environmental Sciences*. 16 (2), 133-148.

**Introduction:** Contamination caused by tailing dams of mineral processing plants is one of the most important problems facing the mineral industry and that causes many environmental problems. Among these, we can point out to the contamination caused by the tailing dams of gold processing plants. This wastewater contains significant amounts of cyanide and its compounds. So far, various biological and chemical methods have been investigated for eliminating cyanide in gold processing waste. One of the methods used by researchers is the use of natural absorbents such as activated charcoal, due to the ease of use and the its reusability.

**Materials and methods:** In this research, the adsorption of cyanide of the tailing dam wastewater of the Zarshuran gold processing plant (35 km from Takab, West Azarbaijan Province) using Shahin Dezh coal mine (about 100 km from the plant) was investigated. Cyanide adsorption experiments were performed on a laboratory scale under two modes of using crude charcoal and processed charcoal. First, the charcoal sample was poured into the cylinder up to the height of 75 mm. In the next step, the effluent containing cyanide was added to the cylinder (up to 100 mm) and the cyanide output flow rate was measured. After the experiments, charcoal samples were dried in open air, and ash percentage analysis was performed for each of them. The resultant solution of each test was filtered with Whatman paper No. 75 and analyzed for cyanide content.

**Results and discussion:** According to the results of the experiments, the granulation fraction of  $-2\pm 1$  mm had the highest output flow rate of  $8.16 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  and the lowest flow rate was related to particles less than 1 mm in size. The highest output flow rate for processed charcoal was obtained at  $10.61 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  in the granulation fraction of  $-2\pm 1$  mm. Based on analysis of the amount of ash, after the cyanide adsorption operation, the amount of ash in fractions of  $-4.75$  and  $+4.75 \pm 2$  mm decreased by 0.7 and 3.7%, but, after cyanidation, the amount of fractions  $+ 1$  mm increased by 11.8%. In all experiments, cyanide adsorption using crude charcoal has the

\* Corresponding Author. *E-mail Address:* a\_ghardashi@sbu.ac.ir

highest absorbance value for grain size in the range of  $-2\pm 1$  mm. The amount of cyanide adsorbed in this fraction for crude coal, processed coal and coal mixed with cyanide using a mechanical stirrer is 42.3, 31.78 and 21.88%, respectively. In this study, isotherm adsorption models of cyanide on charcoal were also studied based on Langmuir and Freundlich. The absorption process in all granulation fractions matched most closely the Freundlich model, indicating that that adsorption of cyanide follows a multi-layer adsorption onto the heterogeneous surface of the charcoal. The adsorption phenomenon occurs in different absorbent intake regions as a result of various forces, both physical and chemical.

**Conclusion:** The results of this study indicate that processing the charcoal does not have any effect on the absorption of cyanide, and physical properties such as particle size and the specific surface area of coal are the most important factors in the absorption of cyanide. The results of this study indicate that the use of coal from the *Gozlu mine* Shahin Dezh, located a few kilometers from the tailing dam, with a grain size of  $-2\pm 1$  mm, in the form of crude in the bed and bottom of the dam, can significantly reduce the cyanide contamination of underground water resources.

**Keywords:** Charcoal, Gold cyanidation, Isotherms, Surface adsorption.

Archive of SID