

تأثیر شرایط مختلف فلوتاسیون بر بازیابی کانه‌های اکسیده سرب و روی معدن گوسفیل

امیر خیرآبادی^۱، محمد نوع پرست^{۲*}، سهیلا اصلانی^۳، علی قربانی^۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

^۲ استاد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

^۳ استادیار دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

^۴ کارشناس آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۶/۱۱/۲۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۸/۴/۳۱، تاریخ تصویب ۸۸/۹/۱۷)

چکیده

آزمایش‌های فلوتاسیون برای فلوته کردن سرب و روی روی نمونه‌ای با ۲/۴٪ سرب، ۸/۱۰٪ روی و ۱/۱۰٪ آهن از معدن گوسفیل انجام شد که کانه‌های با ارزش آن اغلب از نوع اکسیده بود. نتایج حاصل نشان داد که کانه‌های سرب در pHهای ۹/۵ و ۱۱/۵ قابلیت فلوته شدن دارند و به نظر می‌رسد که ناشی از وجود دو یا چند نوع کانه سرب باشد. از نظر خردایش وقتی که ذرات ابعاد ریزتر از ۱۰۰ μm دارند، بهترین نتیجه حاصل شد. استفاده از کلکتورهای مختلف برای فلوتاسیون روی نشان داد که بازیابی فلوتاسیون روی پایین بوده و قسمت اعظم روی موجود بازیابی نشد و در بهترین حالت با استفاده از آرماک-تی به عنوان کلکتور، بازیابی روی به ۲۷٪ رسید. از این رو فرآیند فلوتاسیون برای بازیابی روی مناسب نبود، ولی در مورد سرب در نهایت می‌توان به بازیابی در حدود ۷۰٪ سرب با عیار بیش از ۴۰٪ رسید.

واژه های کلیدی: گوسفیل، فلوتاسیون، اسمیت‌زونیت، سروزیت

مقدمه

نشوند که این عمل توسط موادی به نام بازداشت‌کننده انجام می‌شود. برای آبران^۲ کردن کانه با ارزش هم از موادی به نام جمع‌کننده استفاده می‌شود. با ایجاد جریان هوا در سلول ذرات آبران شده به سطح حباب می‌چسبند و بالا می‌آیند و از سلول خارج می‌شوند [۱].

کانی‌های اکسیده شامل همه کانی‌های اکسیژن‌دار از قبیل اکسیدها، کربنات‌ها، سولفات‌ها و سیلیکات‌های فلزی و غیره می‌شوند. بسیاری از این کانی‌ها خاصیت شناور شدن نداشته و برای فلوتاسیون آن‌ها باید تدابیر خاصی به کار برد. کانی‌هایی که بیشتر در صنعت مورد توجه هستند و روش فلوتاسیون برای پر عیار سازی آن‌ها به کار می‌رود، کانی‌های فلزی مس، قلع، سرب و روی هستند. بررسی فلوتاسیون کانی‌های اکسیده از جنبه‌های اقتصادی اهمیت ویژه‌ای دارد، چرا که قسمتی از ذخایر معدنی موجود در سرتاسر دنیا از نوع اکسیده بوده و فلوتاسیون می‌تواند یک روش مؤثر برای فرآوری آن‌ها باشد [۲].

کانی‌های اکسیده سرب و روی ظرفیت قابل توجهی برای این فلزات دارند و اغلب به صورت کربناته و

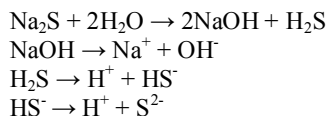
در معدن گوسفیل دپوی دو میلیون تنی با عیار روی ۸ درصد به صورت کربناته و عیار سرب ۲ درصد و آهن با عیار ۱۰-۱۲ درصد به صورت هماتیت و لیمونیت وجود دارد. با توجه به اقتصادی شدن استخراج و فرآوری ذخایر با عیار پایین تر در معدن گوسفیل، به نظر می‌رسد فرآوری ذخیره کم عیار اکسیده منجر به تولید کنسانتره سرب و روی با صرفه اقتصادی شود. بنابراین یافتن روش فرآوری مناسب برای ذخایر کم عیار می‌تواند از هدر رفتن منابع معدنی جلوگیری کند.

فلوتاسیون یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های آرایش مواد معدنی است که بر مبنای خواص شیمی- فیزیکی سطح جامدات برای ذرات ۲۰ تا ۲۰۰ μm در یک محیط سیال و جریان هوا برای ایجاد حباب‌های هوا بنا شده است. پالپی از ماده معدنی با ۲۵ تا ۴۵ درصد جامد وارد سلول‌های فلوتاسیون می‌شود و سپس برخی مواد شیمیایی برای تنظیم pH به آن افزوده می‌شود. برای جداسازی ذرات نرمه از سطح کانی‌ها از موادی به نام متفرق‌کننده استفاده می‌شود. در مرحله بعد باید سطح ذرات باطله را آبدوست^۱ کرد تا شناور

۴- حضور اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن در کانسنگ اثر منفی بر فلوتاسیون دارد.

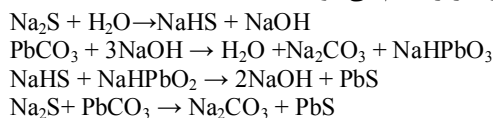
درباره فعال کننده سولفید سدیم باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

سولفید سدیم و هیدروکسید سدیم برای سولفید کردن سطح کانی‌های کربناته سرب و روی استفاده می‌شود. سولفید سدیم در آب هیدرولیز شده و به صورت زیر تفکیک می‌شود [۱].



(۱)

از آنجا که سرعت تشکیل OH^- بیشتر از H^+ است، محیط قلیایی می‌شود و از این رو از سولفید سدیم برای تنظیم pH نیز استفاده می‌شود. یون‌های حاصل از هیدرولیز سولفید سدیم، سطح کانی‌ها را تغییر می‌دهد و باعث سولفیداسیون سطح کانی‌ها می‌شود. به عنوان مثال سولفیداسیون سطح سرزیت توسط سولفید سدیم به صورت زیر انجام می‌شود [۱]:



(۲)

این واکنش‌ها در $\text{pH} = 9-10$ حداکثر سرعت را دارند. در مواردی که مصرف سولفید سدیم بالا باشد، برای جلوگیری از افزایش pH از هیدروسولفید سدیم استفاده می‌شود [۱].

مصرف سولفید سدیم باید به اندازه‌ای باشد که فقط لایه‌ای در سطح کانی تشکیل شود. مصرف بیش از حد آن باعث بازداشت برخی از کانی‌ها مانند گالن می‌شود. به همین دلیل اگر کانه‌های با ارزش، ترکیب گالن و سرزیت باشد، ابتدا گالن را شناور می‌کنند. از طرفی مصرف اضافی سولفید سدیم باعث تشکیل یون HS^- و جذب آن در سطح کانی، بار منفی ایجاد می‌کند و از جذب کلکتور در سطح کانی جلوگیری می‌کند و در نهایت سبب کاهش بازایی فلوتاسیون می‌شود [۱].

برای فلوتاسیون کربنات روی (اسمیت زونیت) می‌توان از اسیدهای چرب استفاده کرد. این روش بستگی به نوع گانگ دارد. چنانچه گانگ کانسنگ سیلیسی باشد، عمل فلوتاسیون به راحتی انجام می‌گیرد، ولی اگر گانگ

سیلیکاته یافت می‌شوند. اما به دلیل مشکلات موجود در زمینه فرآوری آن‌ها میزان تولید جهانی از این ذخایر کم است [۲]. کانی‌های اکسیده روی عبارتند از: اسمیت زونیت (ZnCO_3)، هیدروزینکیت ($\text{ZnCO}_3\text{Zn(OH)}_2$) همی مورفیت ($\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$) و مهم‌ترین کانی اکسیده سرب سرزیت (PbCO_3) درباره فلوتاسیون کانی‌های اکسیده، به مسائلی همچون ظرفیت، بار الکتریکی سطحی، خواص الکتریکی فصل مشترک، ماهیت کلکتور، وضعیت حلالیت سطحی کانی و پایداری نمک حاصل کلکتور یون فلزی مورد مطالعه قرار گیرد [۳].

مشکلات موجود در فلوتاسیون این کانی‌ها عبارتند از:

- کانی‌ها و گانگ از نظر فرم بلوری، خواص فیزیکی، ترکیب شیمیایی و خواص فیزیک و شیمیایی سطح خواص مشابهی دارند [۴].

- پیچیدگی و درگیری کانی‌های با ارزش و گانگ در هم دیگر باعث می‌شود که اندازه آزادی بسیار ریز باشد. برای رسیدن به درجه آزادی باید ماده معدنی را تا ابعاد ریز خرد کرد که باعث ایجاد نرمة می‌شود و زمان فلوتاسیون، مشکلاتی را به وجود می‌آورد [۴].

امروزه استفاده از کلکتورهای کاتیونی به دلیل بازایی بالا بیش از بقیه کلکتورها معمول است. گزنتات‌ها بیشتر به عنوان کلکتور کانی‌های سولفیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای استفاده از این کلکتورها در فلوتاسیون کانی‌های اکسیده باید سطح کانی‌های اکسیده را سولفوری کرد که این عمل به طور معمول توسط سولفید سدیم (Na_2S) انجام می‌شود. سپس همانند فلوتاسیون کانی‌های سولفوری مانند اسفالریت با آن‌ها رفتار می‌شود. این فرایند محدودیت‌ها و مشکلاتی دارند که عبارتند از [۵]:

۱- سولفیداسیون تنها به کانی کربناته روی محدود می‌شود و دیگر کانی‌های اکسید روی را در بر نمی‌گیرد. اگرچه سولفیداسیون سطحی اسمیت زونیت نیز به راحتی صورت نمی‌گیرد.

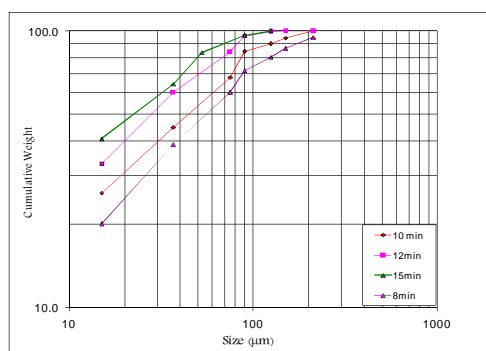
۲- میزان مصرف کلکتور (گزنتات قوی) و فعال کننده (سولفات مس) زیاد است.

۳- بهتر است که برای عمل سولفوراسیون دمای پالپ را حدود ۵۰ درجه سانتی گراد حفظ کرد.

می‌شوند. برای ایجاد کف به طور معمول از روغن کاج به عنوان کف ساز استفاده می‌شود [۴].

مواد و روش‌ها

نمونه مورد آزمایش از روش حفر ترانشه با استفاده از بیل مکانیکی در داخل یک دپوی باطله استخراجی به وزن تقریبی دو میلیون تن به دست آمد. وزن نمونه ارسالی ۴۰۰ کیلوگرم و از نظر ابعاد، بزرگترین ذره آن قطعه‌ای به اندازه ۲۰ سانتی متر بود. نمونه ۴۰۰ کیلوگرمی در سه مرحله سنگ شکنی توسط دو مرحله سنگ شکن فکی و سنگ‌شکن غلطکی در مدار بسته با یک سرند ۸ مش به ابعاد کوچک‌تر از ۸ مش خرد شد. برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون نمونه‌های یک کیلوگرمی با اضافه کردن یک لیتر آب در آسیای میله‌ای (با ۵۰٪ جامد) خرد شد. برای به دست آوردن زمان بهینه خردایش، با آسیای میله‌ای آزمایشگاهی در زمان‌های ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ دقیقه نمونه را خرد کرده سپس از آن تجزیه سرنندی شد. منحنی دانه بندی نمونه پس از خردایش در شکل (۱) آمده است. با استفاده از نمودارهای تجزیه سرنندی می‌توان d_{80} برای زمان‌های مختلف خردایش به دست آمده و بهترین زمان خردایش برای آزاد شدن کانه‌ها ارزیابی کرد. در جدول (۱) مقدار d_{80} برای زمان‌های مختلف خردایش ارائه شده است.



شکل ۱: نمودار منحنی دانه بندی نمونه با زمان‌های مختلف خردایش.

جدول ۱: اندازه d_{80} در زمان‌های مختلف خردایش.

d_{80} (μm)	زمان خردایش (min)
۱۲۵	۸
۸۵	۱۰
۷۰	۱۲
۵۰	۱۵

کربناته و یا آهنی باشد، در این صورت غیر قابل اجرا است. وجود بعضی از املاح قلیایی و اسیدهای آلی مانند املاح اسید تارتاریک و اسید سیتریک و غیره باعث بهتر شدن بازده می‌شود. از این روش برای پرعبارسازی کربنات سرب و روی می‌توان استفاده کرد و شرط آن این است که گانگ سیلیس باشد. باید دانست که کوارتز توسط همین کلکتورها فلوته می‌شود، ولی سیلیکات‌ها با استفاده از این کلکتور فلوته نمی‌شوند. به کار بردن سیلیکات سدیم، پلی فسفات سدیم (کالگون) به عنوان بازداشت کننده گانگ کربناته روی بازیابی اسمیت زونیت نیز مؤثر است [۴]. استفاده از کلکتورهای کاتیونیک در فلوتاسیون کانه‌های اکسیدی در مقایسه با دیگر کلکتورها (گزنات‌ها و اسیدهای چرب) سابقه کمتری دارند و استفاده از آن‌ها از سال ۱۹۵۰ متداول شد از این کلکتورها اغلب برای کانی‌هایی که بار سطحی منفی دارند، استفاده می‌شوند. در مورد کانی اسمیت زونیت نتایج حاصل از آزمایش‌ها دلالت بر آن دارد که نقطه بار صفر (ZPC) آن در $\text{pH}=7/5$ واقع است. در pH های بالاتر سطح این کانی بار منفی داشته و از کلکتورهای کاتیونیک برای فلوتاسیون استفاده می‌شود. مراحل فلوتاسیون کانه‌های اکسیده روی توسط آمین‌ها مشتمل بر سه مرحله آماده سازی، سولفیداسیون و اضافه کردن کلکتور است [۴].

برای رسیدن به یک فلوتاسیون موفق توسط

آمین‌ها باید به نکات زیر توجه نمود [۴]:

۱- اگر کانه شامل کانی‌های نرم و دانه ریز باشد، زمان آماده سازی باید حداقل باشد.
 ۲- غلظت پالپ نباید خیلی بالا باشد تا تماس بین حباب‌های هوا و سطح کانی برقرار شود. میزان بهینه دانسیته پالپ بستگی به طبیعت کانه، ابعاد دانه‌ها و نوع سلول فلوتاسیون دارد. غلظت پالپ می‌تواند از ۱۵٪ تا ۵۰٪ کانه از نظر وزنی متغیر باشد [۴].

۳- pH مناسب بین ۱۰/۵ تا ۱۱/۵ است [۴].

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده روی آمین‌ها نشان می‌دهد که آمین‌های نوع دوم و بالاتر، کلکتور مناسبی نیستند و بهترین نتایج با آمین‌های نوع اول به دست آمده است. آمین‌های با زنجیره‌های کربنی بلند و اشباع نشده، آبران‌تر از نوع زنجیر کوتاه هستند و انواعی که با اسید استیک به صورت نمک استات خنثی شده‌اند، به علت حلالیت بهتر در آب ترجیح داده

کانی‌شناسی

آنالیز یک نمونه معرف توسط روش XRD نشان داد که ماده معدنی شامل کانی‌های زیر است:

کانی‌های اصلی: کوارتز، کلسیت، دولومیت و باریت. اکسیدهای آهن: گوتیت و هماتیت، کانی‌های رسی مانند: کلریت، مونت موریلونیت و ایلیت و کانه‌های سرب و روی: اسمیت‌زونیت، سروزیت، گالن و اسفالریت. بر اساس مطالعات میکروسکوپی / کانی‌های مهمی که در این نمونه مشاهده می‌شود عبارتند از: اسمیت‌زونیت، اسفالریت، هیدروزینکیت، گالن، سروزیت، هماتیت، گوتیت، دولومیت، کلسیت، باریت، کوارتز و کانی‌های رسی. فلز روی در این نمونه اکثراً به صورت کانی اسمیت‌زونیت بوده و کانی اسفالریت به مقدار کمی وجود داشت. فلز سرب نیز به صورت سروزیت و گالن و آغشته با کانی‌های اکسید و هیدروکسید آهن است. سولفورهای آهن (پیریت) به مقدار بسیار کمی در این مقاطع مشاهده شد. کانی‌های اکسید و هیدروکسید آهن به شکل‌ها و بافت‌های مختلفی با کانی اسمیت‌زونیت و بقیه کانی‌ها درگیر بود. وضعیت ذرات از نظر قفل شدگی اغلب به شکل قفل شدگی ساده، آمیبی، گرافیکی، متحدالمرکز و پوششی است. اغلب قفل شدگی‌های گرافیکی در ابعاد درشت دانه و قفل شدگی‌های ساده بیشتر در ابعاد ریزتر مشاهده می‌شود. ولی حتی در ابعاد ریز دانه نیز هنوز درگیری کانی‌ها در همه اندازهای دانه بندی مشاهده می‌شود. وجود درصد بالایی از قفل شدگی‌ها از نوع گرافیکی، آمیبی و متحدالمرکز باعث می‌شود که برای آزاد کردن کانی‌ها از یکدیگر، ذرات تا حد بسیار ریزی خرد شوند که در نتیجه کانسنگ‌های اکسیده روی و کانسنگ‌های اکسید و هیدروکسید آهن باهم در حد مقادیر بسیار بالایی به نرمه تبدیل می‌شوند که علاوه بر افزایش هزینه‌های خردایش و بالا بردن عیار روی در باطله، اختلالات بسیار شدیدی را نیز در عملیات فلوتاسیون ایجاد می‌کند.

مطالعات درجه آزادی

برای انجام مطالعات درجه آزادی، نمونه را توسط ۶ سردن با ابعاد چشمه‌های ۱۷۰۰، ۸۵۰، ۵۰۰، ۳۰۰، ۲۱۲ و ۱۵۰ میکرون سردن کرده و از هر جز، مقطع صیقلی تهیه شد و با استفاده از میکروسکوپ

انعکاسی مطالعات درجه آزادی روی آن‌ها انجام گرفت. با تحلیل نتایج حاصل، اگر همه نمونه‌ها تا زیر ۹۰ میکرون خرد شوند، آنگاه در این حالت کانی اسمیت‌زونیت ۱۰۰-۸۰ درصد به صورت آزاد و کانی‌های آهن‌دار در حدود ۱۰۰-۵۰ درصد به صورت آزاد هستند. در این حالت احتمال وجود نرمه‌های آهن کمتر بوده و اکثر کانی‌های آهن (هماتیت و گوتیت) درگیر با بقیه کانی‌ها که بیشتر دولومیت، اسمیت‌زونیت و کوارتز وجود دارد.

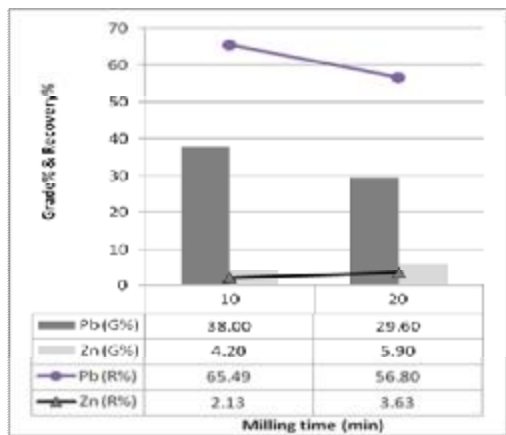
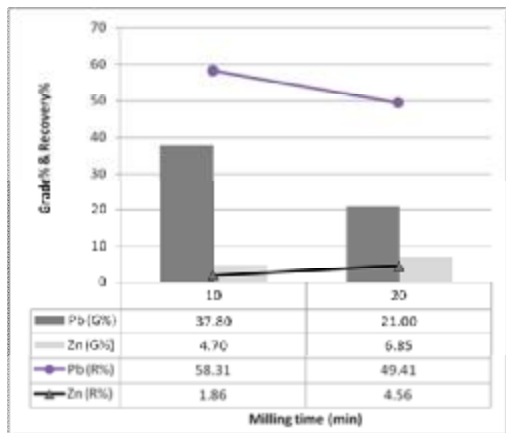
با توجه به مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های اکسید و هیدروکسید آهن در همه ابعاد با اسمیت‌زونیت ارتباط نزدیکی دارند و در ابعاد بسیار ریز نیز به صورت درصدی درگیر با این کانی آمده است. این موضوع در نحوه خردایش نمونه و درجه آزادی مورد نظر اسمیت‌زونیت بسیار اهمیت دارد. به دلیل شکننده بودن کانی‌های دولومیت و کلسیت و کانی‌های سیلیکاته، مقادیر زیادی نرمه هنگام خردایش کانسنگ برای آزاد شدن اسمیت‌زونیت تولید می‌شود.

جدول ۲: مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش‌های فلوتاسیون.

نام ماده شیمیایی	فرمول	غلظت	کاربرد
سیلیکات سدیم	Na ₂ SiO ₃	۵٪	متفرق کننده
سولفید سدیم	Na ₂ S	۱۰٪	فعال کننده کانه های کربناته
آمیل گزنات پتاسیم	PAX	۲٪	کلکتور
سیانور سدیم	Na ₂ CN	۱٪	بازداشت کننده پیریت
سولفات روی	ZnSO ₄	۵٪	بازداشت کننده روی
سولفات مس	CuSO ₄	۵٪	فعال کننده روی
ARMACT ARMA C		۱٪	کلکتور
AERO 407			کلکتور کمکی
MIBC			کف ساز

برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون، پس از اینکه نمونه یک کیلوگرمی با ۵۰٪ جامد در آسیای میله‌ای خرد شد، به سلول فلوتاسیون با دو لیتر آب یعنی ۳۳٪ جامد منتقل شده و با دور همزن ۱۴۰۰ دور در دقیقه، آزمایش‌ها انجام شد. pH پالپ در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری و با استفاده از مواد شیمیایی مانند اسید

بر کاهش میزان بازیابی سرب عیار کنسانتره سرب نیز کاهش چشمگیری داشت که علت آن می‌تواند تولید نرمه زیاد بر اثر خردایش بیشتر و جذب نرمه توسط کلکتور و فلوته شدن آن باشد.



شکل ۲: تغییرات بازیابی و عیار سرب و روی نسبت به زمان خردایش.

برای بررسی اندازه دانه‌بندی مناسب برای فلوتاسیون، سه نمونه مختلف که هر سه آن‌ها ابعاد ذراتی ۱۰۰٪ ریزتر از ۱۰۰ μm داشتند، ولی دو نمونه آن‌ها ذرات ریزتر از ۱۵ μm و ریزتر از ۸ μm نرمه گیری شدند. آزمایش فلوتاسیون با شرایط یکسان انجام گرفت که نتایج این سه آزمایش در شکل (۳) آمده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با نرمه گیری از خوراک ورودی به سلول، بازیابی فلوتاسیون افزایش یافت.

بازیابی و عیار سرب در نمونه اول که دارای نرمه بود به ترتیب ۶۱٪ و ۱۲٪ به دست آمد. در نمونه دوم حذف ذرات ریزتر از ۸ μm (که ۱۳٪ از وزن نمونه را تشکیل می‌داد) بازیابی و عیار سرب به ۶۶٪ و ۲۳٪

سولفوریک و هیدروکسید سدیم ثابت شد. در انجام آزمایش‌ها از مواد شیمیایی با شرایطی که در جدول (۲) آمده است، مورد استفاده قرار گرفتند. برای بررسی اثر پارامترهای مختلف از قبیل استفاده یا عدم استفاده از یک ماده شیمیایی خاص و یا به دست آوردن غلظت مناسب از آن، همه شرایط ثابت نگه داشته شدند و چند آزمایش با تغییر پارامتر مورد نظر انجام شد. با این روش اثر پارامتر مورد نظر بر پاسخ مطلوب که در این جا عیار و بازیابی سرب یا روی در کنسانتره بوده به دست آمد و در نهایت به بهترین شرایطی که پاسخ مورد نظر به شرایط مطلوب برسد، حاصل شد.

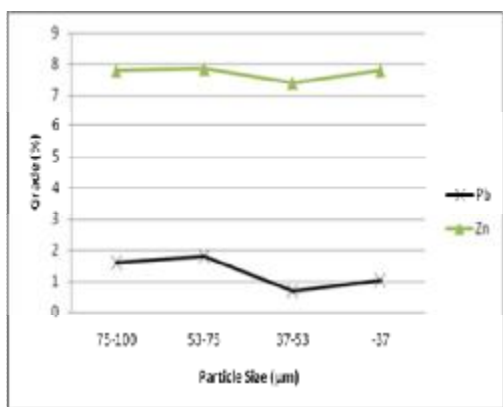
بحث و تحلیل

پس از انجام آزمایش‌ها با شرایطی که ذکر شد، محصولات هر آزمایش از قبیل کنسانتره و باطله پس از توزین در آزمایشگاه برای آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه شرکت باما ارسال شد و عیار عناصر سرب و روی و در برخی موارد عیار آهن با دقت صدم درصد اندازه گیری شد. در مرحله بعد موازنه جرمی و عیاری بر روی نتایج انجام گرفت و از نتایج آن برای بررسی اثر پارامتر متغیر در دو آزمایش استفاده شد.

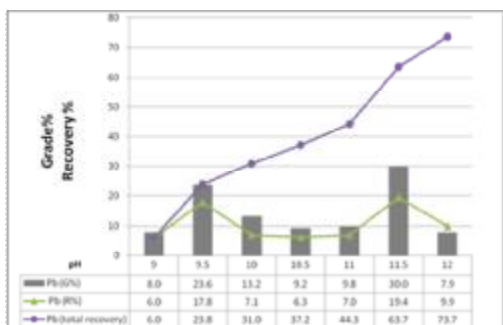
تأثیر خردایش و دانه بندی (ابعاد ذرات)

با توجه به مطالعات قبلی انجام شده روی نمونه‌های این معدن، ابعاد درجه آزادی کانه‌های سرب و روی ۹۰ μm است. همچنین در مطالعات میکروسکوپی انجام شده مشاهده شد که در ابعاد ریزتر از ۷۵ μm تمام ذرات کانی با ارزش (بیش از ۹۵٪) آزاد هستند. بنابراین ابعاد آزادی ۹۰ μm اندازه مناسبی برای خردایش است. همان‌طور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود در زمان ۱۰ دقیقه خردایش، ۸۵٪ ذرات ابعاد ریزتر از ۹۰ μm دارند که زمان مناسبی برای خردایش در آسیای میله‌ای است. برای بررسی تأثیر میزان خردایش بر بازیابی سرب در سلول‌های فلوتاسیون، دو سری آزمایش که شرایط آن‌ها با هم متفاوت بود و در هر سری بر روی دو نمونه که زمان خردایش آن‌ها در آسیای میله‌ای ۱۰ و ۲۰ دقیقه بود، انجام شد. همان‌طور که شکل (۲) نشان می‌دهد، با خردایش بیشتر نمونه، میزان بازیابی سرب، از ۵۸٪ به ۴۹٪ و در شرایط دیگر از ۶۵٪ به ۵۶٪ کاهش یافت. علاوه

سولفوراسیون کانه‌های اکسیده و هم pH پالپ از مقدار مورد نظر تنظیم شد. در این آزمایش اضافه کردن کلکتور پتاسیم امیل گزنتات (PAX) و کفگیری در pH های ۹، ۹/۵، ۱۰، ۱۰/۵، ۱۱، ۱۱/۵ و ۱۲ انجام گرفت و در هر قسمت کنسانتره حاصل به طور جداگانه آنالیز شد که نتایج آن در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود. در سرب وجود دارد، در صورتی که عیار و بازیابی روی در شرایط مختلف تفاوت قابل توجهی ندارد. در pH=۹/۵ عیار سرب وجود دارد، در صورتی که عیار و بازیابی روی در pH=۹/۵ به ۲۳/۶٪ و در pH=۱۱/۵ عیار آن به ۳۰٪ می‌رسد و در دیگر شرایط، مقدار آن تغییرات قابل توجهی نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد که کانه‌های سرب در ۱۱/۵ و pH=۹/۵ قابلیت فلوته شدن دارند که این موضوع می‌تواند در نتیجه وجود دو نوع کانه سرب در ماده معدنی باشد، که یکی از آنها (به احتمال زیاد گالن) در pH=۹/۵ و دیگری اکسیدهای سرب سروزیت و آنکلیزیت در pH=۱۱/۵ فلوته شوند.



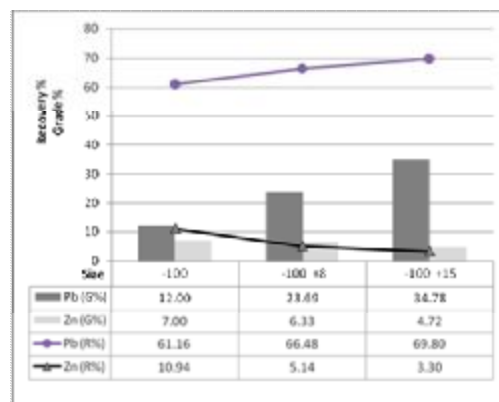
شکل ۳: عیار سرب و روی در فراکسیون‌های مختلف.



شکل ۴: تغییرات عیار، بازیابی و بازیابی کل سرب نسبت به تغییرات pH.

در نهایت بازیابی سرب به ۷۴٪ رسید، ولی بازیابی

افزایش یافت و با حذف ذرات ریزتر از ۱۵µm (که ۲۶٪ وزن نمونه را تشکیل می‌داد) بازیابی و عیار سرب به ۷۰٪ و ۳۵٪ رسید. همان طور که در این سه آزمایش مشاهده شد وجود نرمه در خوراک فلوتاسیون باعث کاهش بسیار زیاد در عیار کنسانتره (از ۳۵٪ به ۱۲٪) و کاهش نسبی در بازیابی (از ۷۰٪ به ۶۱٪) شد. علاوه به آن وجود نرمه باعث افزایش رفتن روی در کنسانتره سرب گردید که البته این حالت مطلوب نمی‌باشد.



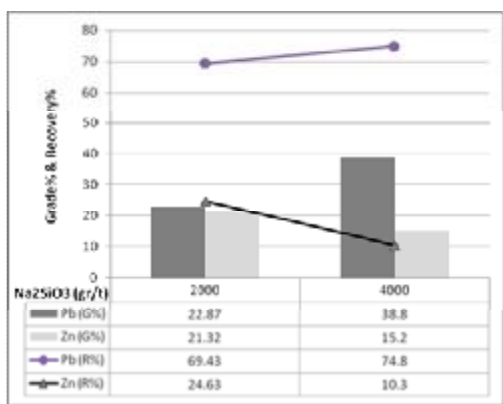
شکل ۵: تغییرات عیار و بازیابی سرب و روی با نرمه گیری خوراک فلوتاسیون.

برای بررسی این که در فرآیند فلوتاسیون چه ابعادی از ذرات کانه با ارزش بهتر فلوته شده و به کنسانتره می‌روند، یک نمونه از باطله تجزیه سردی و به ۴ قسمت با ابعاد ۷۵-۱۰۰، ۵۳-۷۵، ۳۷-۵۳ و ۳۷-۳۷µm تقسیم و عیار هر قسمت جداگانه اندازه گیری شد. همان طور که از نتایج این آزمایش مشخص است (شکل ۴) در محدوده ابعادی ۳۷-۵۳µm فلوتاسیون بهترین بازده را داشته و کمترین مقدار سرب به باطله منتقل شد. در ابعاد درشت‌تر از ۵۳µm بیشترین مقدار سرب وارد باطله شد و بنابراین بهترین اندازه ذرات برای فلوتاسیون، ابعاد ریزتر از ۵۳µm بود؛ در شرایطی که کمترین میزان نرمه تولید شد.

تأثیر pH پالپ روی فلوتاسیون کانه‌های سرب و روی

با توجه به تأثیر شدید pH بر نتایج فلوتاسیون کانه‌های سرب و روی در یک آزمایش، میزان این تأثیر بررسی شد. در این آزمایش با اضافه کردن مقادیر مختلفی از سولفید سدیم (Na₂S) به پالپ، هم عمل

از طرف دیگر افزایش میزان سیلیکات سدیم باعث کاهش عیار و بازیابی روی در کنسانتره سرب شد که احتمال دارد به دلیل جداسازی نرمه‌ها و پراکنده کردن آن‌ها بود. در دو آزمایش دیگر که کلکتور مورد استفاده آرماک-تی بوده نیز تأثیر مصرف سیلیکات سدیم بررسی شد. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود نتایج در این حالت نیز مشابه با حالت استفاده از گزنتات بود و با افزایش مقدار سیلیکات سدیم از ۲۰۰۰ gr/t به ۴۰۰۰ gr/t بازیابی سرب از ۶۹٪ به ۷۵٪ رسید و به طور مشابه عیار و بازیابی روی کاهش یافت.

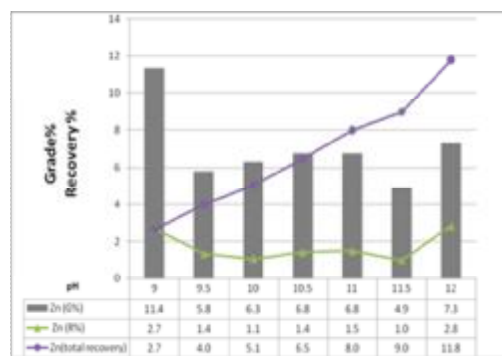


شکل ۸: تغییرات بازیابی و عیار سرب و روی بر حسب مقدار سیلیکات سدیم افزوده شده در مرحله آماده سازی با استفاده از آرماک-تی به عنوان کلکتور.

تأثیر میزان مصرف سولفید سدیم

برای انجام فلوتاسیون روی کانه‌های اکسیده ابتدا باید با سولفوراسیون، سطح این کانی‌ها را سولفوره کرد و سپس با استفاده از کلکتورهای گزنتات، کانی مورد نظر را جمع آوری و شناور کرد. به طور معمول از سولفید سدیم برای سولفوراسیون کانه‌های اکسیده سرب و روی استفاده می‌شود که علاوه بر سولفوراسیون، سطح کانه اکسیده باعث قلیایی شدن پالپ و تنظیم pH پالپ در مقدار مناسب برای فلوتاسیون این کانی‌ها می‌شود [۶]. از آنجا که مقدار سولفوراسیون سطح کانی‌ها رابطه مستقیمی با میزان جذب آن‌ها توسط کلکتور دارد، بررسی این پارامتر طی دو سری آزمایش که در سری اول، دو نمونه با اضافه کردن ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ gr/t از سولفید سدیم و سری دوم با اضافه کردن ۶۰۰۰ و ۸۰۰۰ gr/t از سولفید سدیم انجام شد، که نتایج آن‌ها به صورت جداگانه در شکل (۹) آمده است [۶]. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان

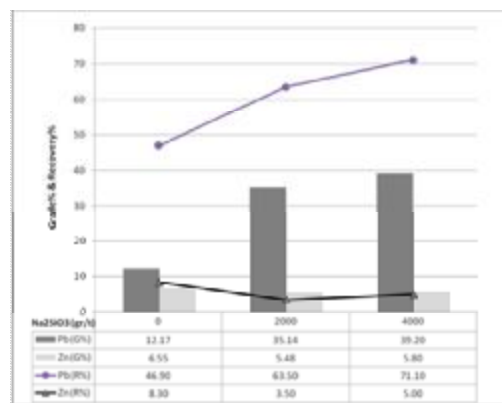
نهایی روی ۱۲٪ است. با توجه به اینکه تغییرات pH اثری بر بازیابی روی نداشت، به نظر می‌رسد کانه‌های روی فعال نبودند.



شکل ۶: تغییرات عیار، بازیابی و بازیابی کل روی نسبت به تغییرات pH.

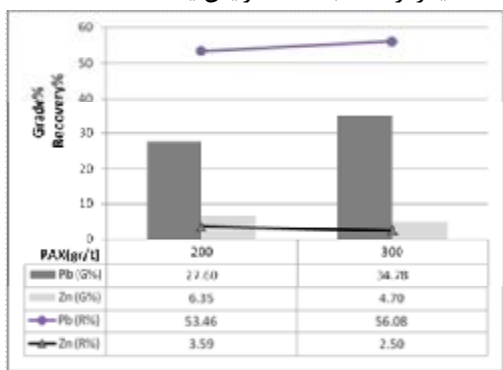
تأثیر مصرف سیلیکات سدیم

از آن جایی که استفاده از سیلیکات سدیم به عنوان پراکنده‌ساز می‌تواند باعث بهبود در بازیابی و عیار کنسانتره حاصل شود. سه آزمایش با استفاده از مقادیر ۴۰۰۰ gr/t، ۲۰۰۰ gr/t و یک آزمایش بدون استفاده از سیلیکات سدیم در مرحله آماده‌سازی انجام گرفت. همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود استفاده از سیلیکات سدیم باعث افزایش قابل توجهی در بازیابی و عیار شده است. در حالی که از ۲۰۰۰ gr/t سیلیکات سدیم در مرحله آماده‌سازی استفاده می‌شود نسبت به زمانی که از این ماده استفاده شد تفاوت قابل توجهی وجود داشت و در حالتی که مقدار سیلیکات افزایش یافت، این تغییرات با شدت کمتری مشاهده شد.

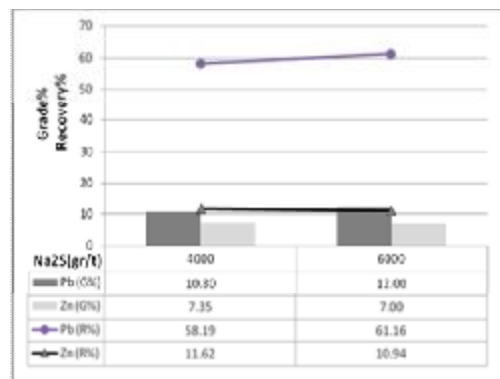
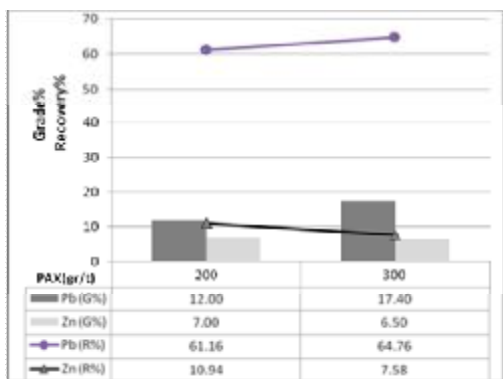
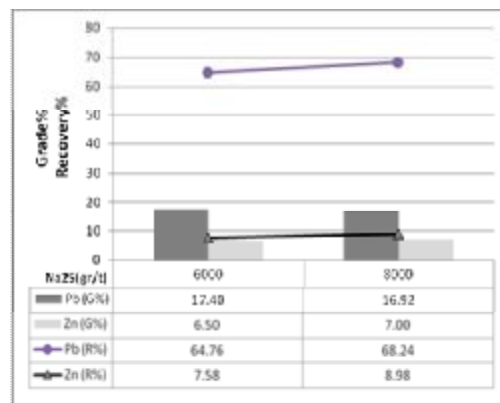


شکل ۷: تغییرات بازیابی عیار سرب و روی بر حسب مقدار سیلیکات سدیم افزوده شده در مرحله آماده سازی.

میزان بازیابی در یک حالت از ۵۳٪ به ۵۶٪ و در یک حالت از ۶۱٪ به ۶۵٪ افزایش یافت. ولی تاثیر بیشتر آن بر روی عیار بود، به طوری که عیار از ۱۲٪ به ۱۷٪ و در حالت دیگر از ۲۸٪ به ۳۵٪ افزایش یافت.

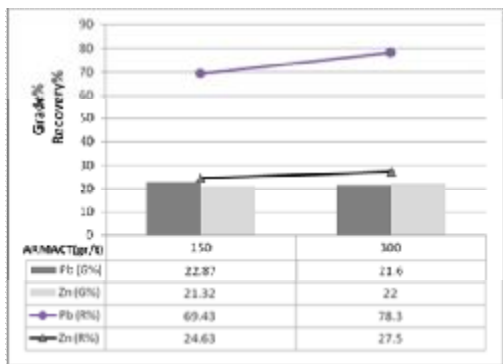


سولفوراسیون، میزان بازیابی و عیار سرب در کنسانتره بالا رفت، ولی این تغییرات بسیار زیاد نبود و بازیابی از ۵۸٪ به ۶۱٪ در یک آزمایش دیگر از ۶۵٪ به ۶۸٪ رسید.



شکل ۱۰: تغییرات عیار و بازیابی بر حسب مقدار مصرفی.

شکل ۹: تغییرات عیار و بازیابی سرب و روی بر حسب مقدار سولفید سدیم مصرفی.



شکل ۱۱: تغییرات عیار و بازیابی سرب و روی بر حسب مقدار کلکتور آرماک-تی.

تأثیر میزان مصرف کلکتور گزنتات

برای فلوتاسیون کانه‌های اکسیده سرب و روی از امیل گزنتات پتاسیم (PAX) استفاده شد. درباره فلوتاسیون روی، این کلکتور مناسب نبوده و عیار قابل قبولی به دست نیامد. بیشترین عیار به دست آمده از فلوتاسیون روی با این کلکتور، ۱۴٪ با بازیابی بسیار ناچیز بوده است. ولی درباره سرب، این کلکتور به همراه AERO407 توانست عیار و بازیابی قابل قبولی ایجاد کند [۶]. اثر میزان مصرف کلکتور بر بازیابی و عیار، طی دو سری آزمایش با استفاده از دو مقدار ۲۰۰ gr/t و ۳۰۰ gr/t امیل گزنتات پتاسیم استفاده شد. مصرف مقدار بیشتری از کلکتور باعث بهبود در بازیابی عیار در هر دو سری آزمایش شد. همان طور که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود، با افزایش مصرف کلکتور از ۲۰۰ gr/t و ۳۰۰ gr/t،

آرماک-تی

کلکتور آرماک-تی (نام علمی: استات تالوآمین) که یک کلکتور کاتیونی است. برای بررسی امکان فلوتاسیون کانه‌های اکسیده روی استفاده شد. مقادیر ۱۵۰ و ۳۰۰ گرم بر تن از آرماک-تی به صورت محلول ۱٪ مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۱۱)

آمده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، افزایش میزان مصرف کلکتور باعث بهتر شدن عیار و بازیابی شد، ولی عیار و بازیابی به دست آمده (عیار ۲۲٪ و بازیابی ۲۷/۵٪) با عیار و بازیابی مطلوب فاصله زیادی دارد. از طرف دیگر بازیابی سرب با استفاده از این کلکتور قابل توجه بوده، ولی به دلیل انتخابی نبودن فلوتاسیون و همچنین عیار پایین، برای سرب کلکتور مناسبی محسوب نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نمونه اکسیده معدن سرب و روی گوشفیل شرکت باما مورد بررسی برای بازیابی سرب و روی با کاربرد روش فلوتاسیون قرار گرفت. این نمونه دارای عیار ۲/۴٪ سرب، ۸/۰٪ روی و ۱۰/۰٪ آهن بود. ابتدا مطالعات مینرالوگرافی انجام گرفت و سپس آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از مواد شیمیایی مختلف انجام شد. نتایج حاصل دلالت بر وجود کانی‌های اکسیده‌های آهن مانند: گوتیت و هماتیت، کانه‌های سرب و روی مانند: اسمیت‌زونیت، سروزیت، گالن و اسفالریت دارد. همچنین مطالعات درجه آزادی نشان می‌دهد که در ابعاد ریزتر از ۹۰μm، کانه‌های با ارزش ۸۰-۱۰۰ درصد آزاد هستند. با توجه به شرایط خاص کانی شناسی نمونه مورد بررسی و وجود درگیری‌های مختلف، بین کانه با ارزش و باطله، همچنین بین کانه‌های مختلف، اندازه آزادی کانه‌ها پایین است و به دلیل وجود اکسید و هیدروکسیدهای آهن در حین خردایش نرمه تولید شده زیاد است و در مرحله فلوتاسیون ایجاد اشکال می‌کند. در نمونه موجود، کانه‌های با ارزش اغلب اکسیده هستند.

مراجع

- 1 - Rezaei, B. (1996). *Flotation*. Book in Persian language. Hormozgan University Publisher.
- 2 - Rashchi, F., Dashti, A., Arabpour-Yazdi, M. and Abdizadeh, H. (2005). "Anglesite flotation: a study for lead recovery from zinc leach residue." *Minerals Engineering*, Vol. 18, PP. 205-212.
- 3 - Fuerstenau, M. C., Olivas, S. A., Herrera-Urbina, R. and Han, K. N. (1987). "The surface characteristics and flotation behavior of anglesite and cerussite." *Int. J. of Mineral Processing*, Vol. 20, PP. 73-85.
- 4 - Hajati, A. (2002). *Removal iron and concentration of Gooshfil low grade oxidized zinc sample*. Master Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
- 5 - Herrera-Urbina, R., Sotillo, F. J. and Fuerstenau, D. W. (1998). "Amyl xanthate uptake by natural and sulfide-treated cerussite and galena." *Int. J. of Mineral Processing*, Vol. 55, PP. 113-128.
- 6 - Onal, G., Bulut, G., Gul, A., Kangal, O., Perek, K. T. and Arslan, F. (2005). "Flotation of Aladag oxide lead-zinc ores." *Minerals Engineering*, Vol. 18, PP. 279-282.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Hydrophile

2 - Hydrophob