



پریارسازی کانسنگ سلسنتین با استفاده از جداکننده ثقلی میز لرزان در مقیاس آزمایشگاهی

سید امید حسینی^۱، رحمان احمدی^۲، غلامرضا کریمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین

Email: (omid.hoseini69@gmail.com)

۲- استادیار فرآوری مواد معدنی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین Email: (r.ahmadi32@gmail.com)

۳- استادیار فرآوری مواد معدنی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین Email: (g.karimi@hotmail.com)

چکیده

در این مقاله، پریارسازی کانسنگ سلسنتین با روش ثقلی و با استفاده از جداکننده میز لرزان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. جهت شناسایی عناصر و کانی های موجود در نمونه از آنالیزهای XRF و XRD استفاده شد. همچنین مطالعات تکمیلی میکروسکوپی با تهیه مقاطع نازک انجام شد. بر اساس نتایج آنالیز XRF، مقدار SrO در نمونه معرف $42/08\%$ اندازه گیری شد. نتایج آنالیز XRD نیز حاکی از حضور کانی های سلسنتین، کوارتز و کلسیت می باشد. جهت بررسی پارامترهای مؤثر از نرم افزار DX7 استفاده گردید. پارامترهای بررسی شده دستگاه شامل شیب میز و دبی آب شستشو بوده است. نتایج نشان داد با افزایش شیب میز در صورت ثابت ماندن سایر پارامترها عیار افزایش یافته و بازیابی کاهش می یابد. همچنین نتایج، نشان دهنده افزایش عیار و کاهش بازیابی در صورت افزایش دبی آب شستشو در صورت ثابت ماندن پارامترهای دیگر بوده است. با توجه به نتایج حاصل شده شیب ۶ درجه و دبی آب شستشو $8/5$ لیتر بر دقیقه بعنوان مقدار بهینه برای دستیابی به بالاترین عیار و بازیابی است که مقدار آنها به ترتیب برابر با $94/70\%$ و $58/32\%$ می باشد. همچنین بمنظور افزایش بازیابی نهایی، بر روی محصول میانی میز لرزان حاصل شده در شرایط بهینه، آزمایش مجدد میز لرزان با شیب ۸ درجه و دبی آب شستشو $8/5$ لیتر بر دقیقه صورت گرفت. نتایج نشان داد که بازیابی نهایی سلسنتین در کنسانتره برابر با $68/12\%$ می باشد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، دبی آب شستشو، شیب، سلسنتین، میز لرزان

۱- مقدمه و هدف

بطور کلی ۲۷ نوع کانی حاوی استرانسیم وجود دارد که از این تعداد فقط دو کانی سلسنتین و استرونتیانیت رایج ترین و غالب ترین آنها می باشد. بعبارتی دیگر، فقط این دو کانی هستند که می توانند کانسارهای اقتصادی از استرانسیم را ایجاد کنند. میزان استرانسیم موجود در سلسنتین برابر با $47/70\%$ و استرانسیم موجود در استرونتیانیت برابر با $63/57\%$ می باشد. سلسنتین کانی سولفاته و استرونتیانیت کربناته می باشد [3]. در طی بیست سال گذشته، صنایع تولید تلویزیون های رنگی بیشترین مصرف کنندگان استرانسیم بودند. به دلیل خصوصیات منحصر به فرد ترکیبات استرانسیم در نگهداری اشعه X و خصوصیات مغناطیسی، تکنولوژی های مختلفی از این ویژگی ها بهره می بردند. با ابداع تکنولوژی استفاده از صفحه های نمایش صاف کامپیوتر و تلویزیون، مصرف استرانسیم در این صنعت رو به کاهش گذاشت. صفحات LCD و پلاسما دیگر نیازی به استرانسیم ندارند. کانی سلسنتین، مستقیماً کاربرد چندانی نداشته و تقریباً تمامی سلسنتین تولیدی در جهان، ابتدا به استرانسیم کربنات تبدیل و سپس در مصارف مختلف بکار گرفته می شود. کاربرد امروزی استرانسیم کربنات در صنایع نظامی، تولید آهنرباهای سرامیکی، تولید آلیاژها و صنایع رنگ و شیشه است. بنابراین پریارسازی سلسنتین امری اجتناب ناپذیر است. از آنجاییکه کانسنگ های سلسنتین معمولاً حاوی سیلیس و کلسیت به



عنوان باطله می باشند، به نظر می رسد با توجه به اختلاف نسبتاً زیاد بین وزن مخصوص سلسیتین با باطله ها بکارگیری از روش های ثقلی به منظور پرعیار سازی می تواند سودمند باشد [4]. یکی از متداولترین روش های ثقلی در پرعیار سازی سلسیتین استفاده از جداکننده میز لرزان است.

در این تحقیق، هدف بهینه سازی پارامترهای شیب و دبی آب شستشو در میز لرزان است که نقش مهمی را در تولید سلسیتین پرعیار ایفا می کنند.

۲- تئوری و پیشینه تحقیق

میز لرزان از سطح مستطیل شکلی که در جهت عرض شیبی جزئی دارد، تشکیل شده است. بار اولیه بصورت پالپی با غلظت ۲۵٪ جامد از یک گوشه آن به جعبه تقسیم وارد شده و از آنجا بر روی میز توزیع می شود. این جعبه تقسیم بخشی از میز را اشغال کرده است. در ادامه آن نیز بخشی برای ورود آب شستشو و توزیع آن بر روی میز پیش بینی شده است. سطح میز توسط موانعی که معمولاً در امتداد طول میز یا نزدیک به آن هستند، پوشیده شده است. ارتفاع آنها از سمت ورود بار اولیه به طرف دیگر، بتدریج کم می شود به نحوی که بخشی از سطح میز صاف و بدون مانع است. توسط سیستم محرکه، حرکتی نوسانی در جهت طول میز به آن منتقل می گردد. این حرکت به نحوی است که میز را به آرامی به جلو می برد و به سرعت به عقب بر می گرداند. در نتیجه دانه های جامد موجود بر روی سطح میز، در امتداد طول آن به جلو پرتاب می شوند. بنابراین دانه ها تحت تأثیر دو نیرو قرار می گیرند. یکی نیروی ناشی از حرکت میز در جهت طول آن و دیگری نیروی ناشی از حرکت لایه نازک آب در امتداد بزرگترین شیب میز (عمود بر امتداد اول). در نتیجه دانه های کوچکتر و سنگین تر دارای حرکتی عمدتاً در جهت طول میز هستند و به این ترتیب به بخش محصول پرعیار شده هدایت می شوند، حال آن که دانه های درشت تر و سبک تر با عبور از موانع به بخش باطله منتقل می شوند. در بخش خروجی معمولاً یک یا تعدادی تیغه قابل تنظیم وجود دارد که با کنترل موقعیت آن ها می توان مسیر محصولات به دست آمده را کنترل کرد [۱].

در ارتباط با پرعیار سازی سلسیتین با روش میز لرزان تحقیقاتی توسط محققین انجام شده است. پرعیار سازی توسط میز لرزان در محدوده ابعادی $0.08 + 0.05$ میلی متر توسط A.Q. Selim صورت گرفت. در این تحقیق، هدف جداسازی سلسیتین از کلسیت به وسیله روش های جدایش ثقلی، از جمله جیگ و میز لرزان بوده است. عبارتی دیگر، هدف از انجام این آزمایش ها برطرف کردن ناخالصی های سلسیتین و رساندن آن به عیار بالاتر از ۹۰٪ استرانسیم سولفات با بالاترین بازایی ممکن، برای تبدیل شدن به استرانسیم کربنات است. عیار سلسیتین در خوراک اولیه برابر با ۶۶/۸۰٪ و عیار کلسیت برابر با ۲۷/۷۱٪ بعنوان باطله اصلی بود. نتایج حاصله از میز لرزان در این تحقیق نشان دادند که بهینه ترین شرایط برای دستیابی به بالاترین عیار و بازایی در دبی آب شستشو ۱۵ لیتر بر دقیقه، درصد جامد ۲۵٪، شیب ۶ درجه و دامنه نوسان ۱ سانتی متر صورت می گیرد. تحت این شرایط بازایی SrO برابر ۸۴/۶٪ و عیار آن برابر ۵۱/۹٪ گزارش گردید [5].

در تحقیق دیگر، پرعیار سازی سلسیتین های کم عیار معدن قلعه بلند ورامین مطالعه شده است. به کمک مطالعات کانی شناسی مشخص گردید که بخش اعظم این نمونه سلسیتین است و باطله اصلی این کانسنگ کلسیت می باشد. آنالیز شیمیایی نمونه نشان داد که خوراک اولیه شامل ۷۷/۸۴٪ سلسیتین و ۱۷/۲۵٪ کلسیت می باشد. در این پژوهش نیز چند آزمایش میز لرزان انجام گرفته است. میز مورد استفاده در این پژوهش، میز وایفلی می باشد که دارای مشخصات ثابتی مانند دامنه نوسان ۰/۵ سانتی متر و فرکانس حدود ۲۰۰ نوسان در دقیقه است. در آزمایش اول این پژوهش در دانه بندی $0.059 + 0.036$ میلی متر، یک آزمایش میز لرزان با شرایط آهنگ خوراک دهی ۱۵۰ گرم بر دقیقه، دبی آب ۱۰ لیتر بر دقیقه، شیب میز ۱۲ درجه و غلظت خوراک ۲۰ درصد انجام گرفت. در این آزمایش بازایی خوبی حاصل شد، اما عیار بدست در کنسانتره مطلوب نبوده است. آزمایش دوم میز لرزان در دانه بندی $0.125 + 0.059$ میلی متر و با شرایط آهنگ خوراک دهی ۱۰۰ گرم بر دقیقه، دبی آب ۸ لیتر بر دقیقه، شیب میز ۱۰ درجه و غلظت خوراک ۲۰ درصد صورت گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان دادند که بازایی و عیار حاصله نسبت به آزمایش اول بهبود یافته است ولی باز هم عیار کنسانتره به دست آمده توسط میز در دو دانه بندی $0.059 + 0.036$ میلی متر و $0.125 + 0.059$ میلی متر حاصل از خردایش تا ۳/۳۶ میلی متر مطلوب نمی باشد. در آزمایش سوم با میز لرزان، با توجه به اینکه در کنسانتره به دست آمده از دانه بندی

اولین همایش علم پژوهش افق های نوین در مهندسی مواد، متالورژی و مهندسی معدن ایران



انجمن افق نوین علم و فناوری



۳/۳۶±۰/۵۹- میلیمتر مقدار قابل ملاحظه ای از ذرات کلسیت، به صورت درگیر وجود داشت، با خردایش بیشتر این کنسانتره، از مقدار ذرات درگیر موجود در آن کاسته گردید. همچنین با توجه به بالا بودن عیار سلسنتین در دانه بندی ۰/۵۹- میلیمتر تصمیم گرفته شد که با خردایش کنسانتره به دست آمده از دانه بندی ۳/۳۶±۰/۵۹- میلیمتر تا ۰/۵۹- میلیمتر و مخلوط کردن آن با دانه بندی ۰/۱۲۵±۰/۵۹- میلیمتر حاصل از خردایش تا ۳/۳۶- میلیمتر، عیار خوراک را بالا برده و در نتیجه پرعیار کردن آن ساده تر شود. تحت این شرایط عیار حاصل شده توسط میز ۹۵/۱۹٪ می باشد. بازایی تحت این شرایط، ۵۶/۱۰٪ می باشد. با توجه به نظر این پژوهشگر از آنجا که در صنعت محصول میانی، دوباره به فرآیند بر می گردد مطمئناً بازایی، از مقادیر مذکور فراتر خواهد رفت [۲].

۳- مواد و روش ها

نمونه سلسنتین مورد مطالعه در این پژوهش به مقدار ۱۲۰ کیلوگرم از دیوی معدن مرند کاشان برداشت شده است. برای تهیه نمونه معرف، ابتدا نمونه برداشت شده مورد خردایش توسط سنگ شکن های فکی و مخروطی قرار گرفت. میزان این خردایش در حدی بود که تمامی نمونه از سرنده ۳/۳۶ میلی متر عبور کرد. سپس برای همگن سازی نمونه خرد شده از ریفل استفاده شد. بکمک ریفل نمونه های معرف ۱ کیلوگرمی بدست آمد. یکی از نمونه های ۱ کیلوگرمی حاصل شده جهت انجام مطالعات شناسایی توسط آسیای میله ای و دستگاه پودرکن، خرد شده و بوسیله ریفل تبدیل به نمونه های ۱۰۰ گرمی گردید.

جهت تعیین درصد ترکیبات موجود در نمونه، ۱۰۰ گرم از نمونه معرف پودر شده به آزمایشگاه شیمی ارسال گردید. ترکیب شیمیایی سلسنتین با استفاده از دستگاه فلوروسانس اشعه ایکس (XRF) مدل PW1480 ساخت شرکت Philips تعیین شد. جهت شناسایی کانی های اصلی، فرعی و جزئی موجود در نمونه از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مدل PW1800 ساخت شرکت Philips با لامپ مس استفاده گردید. بدین منظور، ۱۰۰ گرم از نمونه معرف پودر شده به آزمایشگاه کانی شناسی ارسال شد. جهت شناسایی مستقیم کانی های موجود در نمونه و همچنین مشاهده نحوه حضور آنها در کنار یکدیگر از نمونه اولیه مقطع نازک تهیه و مطالعات میکروسکوپی روی آن صورت گرفت.

آزمایش های میز لرزان در محدوده ابعادی ۳۰۰+۷۵- میکرون انجام گرفت. برای دستیابی به این محدوده ابعادی، ابتدا مقدار معینی از محصول سنگ شکن مخروطی در یک آسیای میله ای به روش تر خرد شد. پس از فیلتر کردن و خشک کردن و جدایش بخش ۷۵- میکرون نمونه آسیا شده، محدوده ابعادی حاصل شده ۳۰۰+۷۵- میکرون بعنوان خوراک اولیه میز لرزان در نظر گرفته شد. آزمایش های انجام شده در این مطالعه، توسط میز لرزان مدل Wilfley ساخت کشور انگلستان صورت گرفت. از آنجایی که آزمایش های میز لرزان توسط نرم افزار DX7 و با روش Central Composite طراحی شدند، لازم است که برای پارامترهای شیب و دبی آب شستشو حد پایین و بالا در نظر گرفته شود. حدود بالا و پایین تعریف شده برای پارامترها مربوط به آزمایش میز لرزان در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. سطوح مختلف پارامترهای مورد مطالعه بر روی جداکننده میز لرزان

حد بالا (+)	حد پایین (-)	واحد	پارامتر
۸	۶	درجه	شیب
۸/۵	۵/۵	لیتر بر دقیقه	دبی آب شستشو

سایر پارامترها در انجام آزمایش های میز لرزان ثابت در نظر گرفته شدند. مقدار فرکانس برابر ۴۰۰ بار در دقیقه، درصد جامد ۲۵٪، دامنه نوسان ۸ میلی متر و دبی خوراک دهی ۷۰۰ گرم بر دقیقه در نظر گرفته شدند.

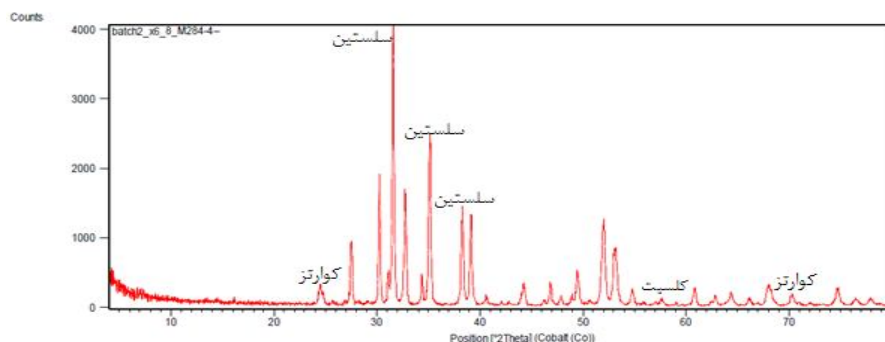
۴ - نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی در جدول ۲ آمده است. در آنالیز XRF درصد ترکیبات موجود در نمونه نشان داده شده است. در این گزارش، استرانسیم در قالب اکسید بیان شده و برابر با ۴۲/۰۸٪ است. در این گزارش درصد کوارتز موجود در نمونه بعنوان باطله اصلی برابر با ۱۱/۶۳٪ است. پس از تبدیل استرانسیم در قالب اکسید به شکل سولفات عیار سلسیتین موجود در نمونه برابر با ۷۴/۵۹٪ تعیین شد.

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه معرف

درصد	ترکیب
۵/۰۹	L.O.I
۲/۵۴	Al ₂ O ₃
۱۱/۶۳	SiO ₂
۳۰/۴۱	SO ₃
۰/۶۱	K ₂ O
۵/۵۴	CaO
۲/۱۰	Fe ₂ O ₃
۴۲/۰۸	SrO

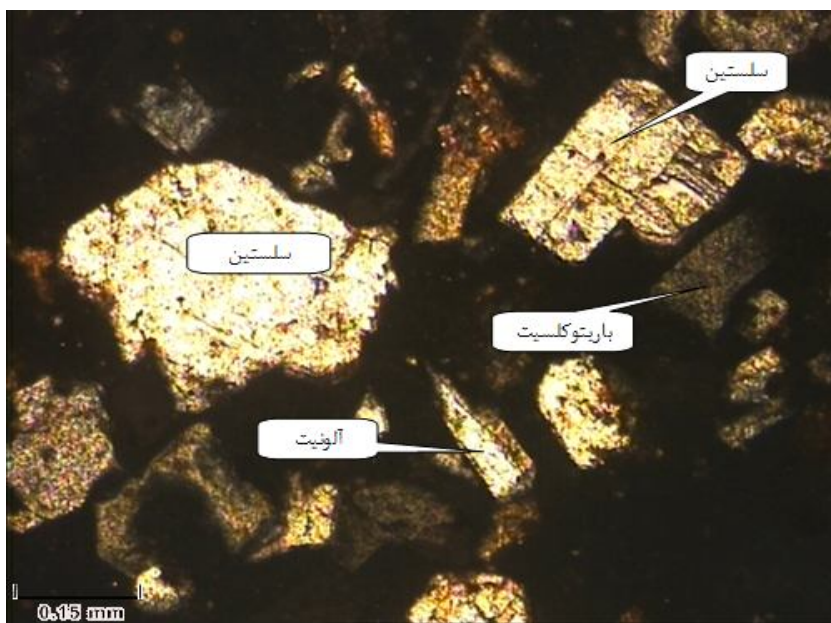
بر اساس نتایج حاصل از آنالیز XRD، بزرگترین پیک این نمودار مربوط به سلسیتین است. در مرحله بعدی کوارتز و کلسیت به ترتیب بزرگترین پیک ها را تشکیل می دهند. بنابراین با توجه به این گزارش سلسیتین بعنوان فراوانترین کانی موجود در نمونه، شناسایی گردید و در مراحل بعدی، کوارتز و کلسیت فراوانترین کانی های موجود در نمونه را تشکیل می دهند. در شکل ۱ آنالیز XRD نمونه اولیه نشان داده شده است.



شکل ۱. گراف XRD نمونه سلسیتین

بمنظور بررسی و شناسایی دقیق تر کانی های موجود و همچنین نحوه حضور سلسیتین نسبت به سایر کانی ها در نمونه از خوراک اولیه مقطع نازک تهیه شده و مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات میکروسکوپی، کانی های اصلی نمونه با فراوانی بیش از ۱۰٪ مربوط به سلسیتین و کوارتز می باشد. کانی هایی با فراوانی ۲ تا ۱۰ درصد که جزو کانی های فرعی به حساب می آیند شامل کانی های رسی، باریتو کلسیت BaCa(CO₃)₂ و آلونیت KAl₃(SO₄)₂(OH)₆ می باشند. کانی های کلسیت و اوپک نیز بعنوان کانی های جزئی با فراوانی کمتر از ۲٪ در نمونه مشخص شدند.

علاوه بر این، مطالعات درجه آزادی کانی ها نشان داد، در این محدوده ابعادی بیشتر کانی ها آزاد هستند و درجه آزادی سلسنتین در بازه $300+75$ میکرون برابر با 78% گزارش می باشد. در شکل ۲، وضعیت کانی ها در محدوده ابعادی $300+75$ میکرون در مقطع نازک را نشان می دهد.



شکل ۲. مقطع نازک تهیه شده در محدوده ابعادی $300+75$ میکرون

برای بدست آوردن خوراک اولیه میز لرزان لازم است که در ابتدا نمونه اولیه تا $d_{80} = 300$ میکرون خرد شود. زمان خردایش مورد نیاز برای دستیابی به $d_{80} = 300$ میکرون حدود ۲ دقیقه و ۳۶ ثانیه تعیین شد. از آنجایی که کارایی میز لرزان در محدوده های ابعادی کمتر از ۷۵ میکرون پایین می آید، پس از آسیا کردن نمونه اولیه در این مدت زمان فراکسیون ۷۵- از نمونه آسیا شده حذف شده و محدوده ابعادی $300+75$ میکرون بعنوان خوراک میز لرزان آماده گردید. همانطور که اشاره شد حد پایین و بالا برای شیب میز بترتیب ۶ و ۸ درجه تعیین شد و همچنین حد پایین و بالا در نظر گرفته شده برای دبی آب شستشو بترتیب $5/5$ و $8/5$ لیتر بر دقیقه انتخاب شد. برای تعیین حدود پایین و بالا برای پارامترها ابتدا یک سری آزمایش های اولیه صورت گرفت و مقادیر ذکر شده بدست آمد.

بمنظور پرعیارسازی سلسنتین بکمک میز لرزان در مجموع ۱۳ آزمایش بر روی دانه بندی $300+75$ میکرون با هدف دستیابی به بالاترین عیار و بازیابی صورت گرفت. آزمایش ها توسط نرم افزار DX7 و با روش Central Composite طراحی شد. عیار خوراک در تمامی آزمایش ها $79/93\%$ می باشد. در جدول ۳، تست های طراحی شده توسط نرم افزار آمده است.

اولین همایش علم پژوهش افق های نوین در مهندسه مواد، متالورژی و مهندسه معدن ایران



جدول ۳. آزمایش های طراحی شده توسط نرم افزار DX7

شماره تست	شیب درجه	دبی آب شستشو لیتر بر دقیقه	بازیابی %	عیار %
۱	۶	۵/۵	۶۰/۶۳	۹۲/۳۲
۲	۸	۵/۵	۵۶/۱۴	۹۳/۱۵
۳	۶	۸/۵	۵۸/۳۲	۹۴/۷۰
۴	۸	۸/۵	۴۸/۱۳	۹۵/۴۶
۵	۵/۵	۷	۶۱/۰۲	۹۳/۳۵
۶	۸/۵	۷	۳۰/۵۷	۹۷/۱۹
۷	۷	۵	۴۹/۱۸	۹۴/۸۵
۸	۷	۹	۴۴/۸۷	۹۶/۹۲
۹	۷	۷	۴۶/۶۵	۹۵/۶۳
۱۰	۷	۷	۴۶/۶۵	۹۵/۶۳
۱۱	۷	۷	۴۶/۶۵	۹۵/۶۳
۱۲	۷	۷	۴۶/۶۵	۹۵/۶۳
۱۳	۷	۷	۴۶/۶۵	۹۵/۶۳

پس از انجام آزمایش های پیشنهادی توسط نرم افزار، تعیین شرایط بهینه بمنظور دستیابی به بالاترین عیار و بازیابی برای سلسنتین انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده از مرحله بهینه سازی پارامترها، در شیب ۶ درجه و دبی آب شستشو ۸/۵ لیتر بر دقیقه، بالاترین عیار و بازیابی حاصل شد. تحت این شرایط به ترتیب عیار و بازیابی ۹۴/۷۰٪ و ۵۸/۳۲٪ برای سلسنتین حاصل شد. همچنین در کنسانتره حاصل شده تحت این شرایط، عیار سیلیس بعنوان باطله اصلی معادل ۱/۹۳٪ اندازه گیری شد. عیار سلسنتین و سیلیس تولید شده در کنسانتره در حدی است که توانایی تولید استرانسیم کربنات را دارد.

عیار سلسنتین و سیلیس قابل قبول برای تبدیل شدن به استرانسیم کربنات به ترتیب عیار بالاتر از ۹۰٪ و عیار کمتر از ۲٪ می باشد [6].

در جدول ۴ نتایج حاصل از آزمایش میز لرزان در شرایط بهینه آورده شده است.

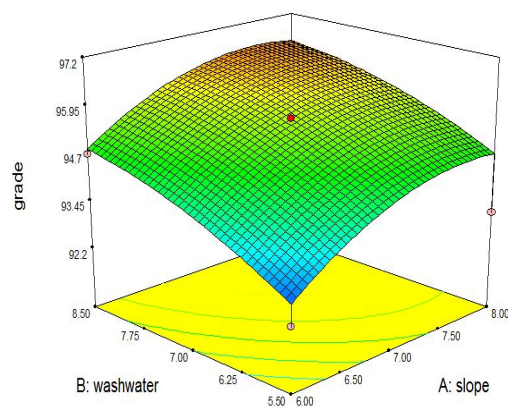
جدول ۴. نتایج حاصل از میز لرزان در شرایط بهینه

محصول	عیار سلسنتین (%)	عیار سیلیس (%)	درصد وزنی (%)	بازیابی سلسنتین (%)
کنسانتره	۹۴/۷۰	۱/۹۳	۴۹/۲۲	۵۸/۳۲
میانی	۸۷/۱۷	۵/۱۵	۲۰/۶۱	۲۲/۴۸
باطله	۵۰/۹۱	۲۳/۳۰	۳۰/۱۷	۱۹/۲۱
خوراک	۷۹/۹۳	۹/۰۳	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

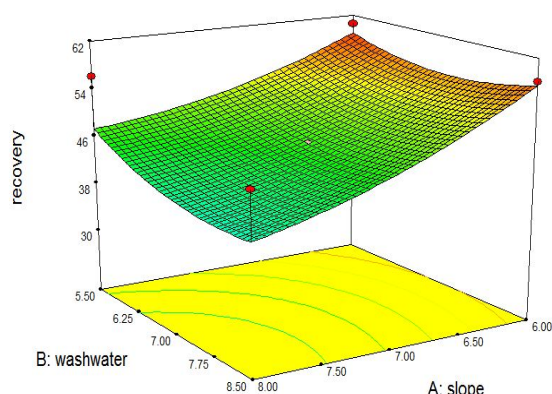


اثر متقابل پارامترهای شیب و دبی آب شستشو بر عیار سلسستین در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شکل در سطح پایین آب شستشو، با افزایش شیب از ۶ به ۸ درجه، عیار سلسستین از ۹۲/۲۲٪ به ۹۳/۱۵٪ افزایش یافته است. در حالیکه با افزایش شیب در این بازه در سطوح بالای دبی آب شستشو، عیار سلسستین از ۹۴/۷۰٪ به ۹۵/۲۶٪ افزایش یافته است. همچنین با توجه به شکل در سطح پایین شیب، با افزایش دبی آب شستشو، از ۵/۵ به ۸/۵ لیتر بر دقیقه، عیار سلسستین از ۹۲/۲۲٪ به ۹۴/۷۰٪ افزایش یافت. در حالیکه با افزایش دبی آب شستشو در این بازه در سطوح بالای شیب، عیار سلسستین از ۹۳/۱۵٪ به ۹۵/۲۶٪ افزایش یافته است. با توجه به نتایج بدست آمده، اثر متقابل شیب و دبی آب شستشو بر عیار چندان مطرح نیست.

همچنین اثر متقابل شیب و دبی آب شستشو بر بازیابی در شکل ۴ آورده شده است. مطابق شکل، در سطح پایین دبی آب شستشو با افزایش شیب از ۶ به ۸ درجه، بازیابی سلسستین از ۶۰/۶۳٪ به ۵۶/۱۴٪ کاهش یافته است، در سطح بالای دبی آب شستشو با افزایش شیب از ۶ به ۸ درجه بازیابی سلسستین از ۵۸/۳۲٪ به ۴۸/۱۳٪ کاهش یافت. نتایج نشان می دهد که اثر شیب روی بازیابی در سطوح بالای دبی آب شستشو بیشتر است. همچنین در سطح پایین شیب با افزایش دبی آب شستشو از ۵/۵ به ۸/۵ لیتر بر دقیقه، بازیابی سلسستین از ۶۰/۶۳٪ به ۵۸/۳۲٪ کاهش یافته است، اما در سطح بالای شیب با افزایش دبی آب شستشو از ۵/۵ به ۸/۵ لیتر بر دقیقه بازیابی سلسستین از ۵۶/۱۴٪ به ۴۸/۱۳٪ کاهش پیدا کرده است. نتایج نشان می دهد که اثر دبی آب شستشو بر بازیابی در سطوح بالای شیب بیشتر است.



شکل ۳. اثر متقابل شیب و دبی آب شستشو بر عیار



شکل ۴. اثر متقابل شیب و دبی آب شستشو بر بازیابی

جهت افزایش بازیابی نهایی در آزمایش صورت گرفته توسط میز لرزان در شرایط بهینه، بر روی محصول میانی آن، آزمایش میز لرزان مجدد صورت گرفت. به منظور مطالعات بیشتر، محصول میانی حاصل شده در شرایط بهینه با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعات نشان داد که سلسستین موجود در محصول میانی قابل قبول است و درگیری زیادی بین کانی باارزش و باطله وجود ندارد. بنابراین نیازی به خردایش بیشتری نمی باشد. از طرفی، عیار سلسستین در محصول میانی با توجه به آنالیز XRF در حد نسبتاً بالایی گزارش شد. آزمایش پرعیارسازی بر روی محصول میانی تحت شرایط شیب ۸ درجه و دبی آب شستشو ۸/۵ لیتر بر دقیقه انجام گرفت. علت انتخاب این دبی و شیب این است تحت این شرایط عیار کنسانتره نهایی حفظ می شود. علاوه بر این، بازیابی کلی نیز افزایش می یابد. نتایج حاصل از تست میز لرزان بر روی محصول میانی در جدول ۵ آمده است. با توجه به جدول ملاحظه می شود که عیار سلسستین و سیلیس در کنسانتره به ترتیب بالای ۹۰٪ و کمتر از ۲٪ می باشد.

جدول ۵. نتایج حاصل از تست میز لرزان روی محصول میانی

محصول	عیار سلیس (%)	عیار سلیس (%)	درصد وزنی (%)	بازیابی سلیس (%)
کنسانتره	۹۴/۵۲	۱/۹۸	۴۳/۸۹	۴۷/۵۹
باطله	۸۱/۴۲	۷/۶۳	۵۶/۱۱	۵۲/۴۱
خوراک	۸۷/۱۷	۵/۱۵	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

با توجه به نتایج جداول ۴ و ۵، بازیابی نهایی سلیس با توجه به رابطه زیر برابر با ۶۸/۱۲٪ می باشد که با توجه به عیار حاصل شده، مطلوب می باشد.

$$R = 49/22 \times \frac{94/70}{79/93} + 20/61 \times \frac{43/89}{100} \times \frac{94/52}{87/17} = 68/12\%$$

۵ - پیشنهادات

در این تحقیق، پرعیارسازی نمونه سلیس معدن مرعاج کاشان به کمک دستگاه جداکننده میز لرزان در محدوده ابعادی ۳۰۰+۷۵- میکرون در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که در صورتی که تمامی پارامترهای میز لرزان ثابت در نظر گرفته شود با افزایش شیب، بازیابی کاهش و عیار افزایش می یابد. در مورد دبی آب شستشو نیز در صورتی که تمامی پارامترها ثابت فرض شوند با افزایش آن، عیار سلیس افزایش یافته و بازیابی آن کاهش می یابد. همچنین بررسی اثرات متقابل پارامترهای دبی آب شستشو و شیب نشان دادند اثر شیب بر روی بازیابی در سطوح بالای دبی آب شستشو بیشتر است و اثر دبی آب شستشو بر بازیابی در سطوح بالای شیب بیشتر است.

بر اساس نتایج بدست آمده از میز لرزان، در شرایط بهینه شامل شیب ۶ درجه و دبی آب شستشو ۸/۵ لیتر بر دقیقه، بالاترین عیار و بازیابی سلیس به ترتیب ۹۴/۷۰٪ و ۵۸/۳۲٪ حاصل شد.

آزمایش میز لرزان صورت گرفته بر روی محصول میانی شرایط بهینه، در شیب ۸ درجه و دبی آب شستشو ۸/۵ لیتر بر دقیقه انجام شد و عیار ۹۴/۵۲٪ حاصل گردید. بازیابی نهایی سلیس نیز ۶۸/۱۲٪ شد.

پیشنهاد می شود به منظور افزایش بازیابی و اقتصادی شدن محصول نهایی در صنعت، باطله های حاصل از میز لرزان مورد خردایش مجدد قرار گرفته تا از درگیری بین سلیس با باطله ها کم شود و سپس روی باطله های خردایش یافته مجدداً آزمایش میز لرزان صورت گیرد. همچنین در آزمایش میز لرزان با تغییر شرایط پارامترهای درصد جامد، دامنه نوسان، بسامد و آهنگ خوراک دهی، تأثیر آنها روی عیار و بازیابی بررسی شود.

مراجع

- [۱] نعمت الهی، حسین، کانه آرایی، جلد دوم، ویرایش پنجم، تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- [۲] محمودی، هدی، پرعیارسازی کانسنگ سلیس ابردژ (قلعه بلند) ورامین، پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته فراوری مواد معدنی، دانشگاه کاشان، دانشکده فنی و مهندسی، ۱۳۹۰.



- [3] Ropp, R.C, " Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds", Newnes publisher,2010.
- [4] Ober, J, " Mineral Resource of the Month: Strontium", U.S. Geological Survey, 2014.
- [5] Selim, A.Q. El-Midany, A.A. Abdel-Fattah , A.S. and Ibrahim, S.S, " Rationalization of the up- grading circuit of celestite for advanced applications", Powder Technology, 198, 233–239, 2010
- [6] Bulatovic, S.M, Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice. SBM Mineral Processing and Engineering Services LTD, Peterborough, Ontario, Canada, Elsevier Publication,2014.