



تعیین درجه آزادی کانیهای اکسیده روی در معدن روی و آهن گوشفیل

ایران

عبدالمطلب حاجتی^۱، عبدالله سمیعی^۲، سانا ز سراجیان^۳، احمد خدادادی^۴

۱- فارغ التحصیل مهندسی فراوری مواد معدنی از دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی فرآوری مواد معدنی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی فرآوری مواد معدنی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت

۴- استادیار گروه فراوری و محیط زیست دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

E-Mail^r: a_samiee2003@yahoo.com

چکیده:

غنج سازی کانیهای باطله اکسید روی یکی از مسائل مهم در کارخانه های فراوری می باشد. معدن گوشفیل یکی از بزرگترین معادن کانیهای اکسیده روی در ایران است. در هنگام استخراج اولیه این معدن بخش قابل توجهی از ماده معدنی اکسیده روی (اسمیت زونیت) با عیار متوسط روی ۷/۵٪، عیار سرب ۳/۵٪ و عیار آهن ۱۳٪ بصورت باطله در کنار معدن دپو شده است. فعالیتهای زیادی برای بر عیار سازی خاک اکسیده گوشفیل از طرف محققین صورت گرفته است، لیکن نتایج قابل توجهی را برای صنعت بدنبال نداشته است. در این تحقیق تلاش در جهت مطالعات میکروسکوپی، خردایش و درجه آزادی این کانسنسگ بطور دقیق تری انجام شده است. نتایج نشان می دهد که کانی اسمیت زونیت نسبت به بقیه کانیهای اکسید و هیدروکسید، از قدرت شکنندگی بالاتری برخوردار می باشد. اگر فرض کنیم درجه آزادی ذرات بیشتر از ۸۰٪ باشند، آنگاه اسمیت زونیت در ابعاد ۹۰ میکرون و کانیها اکسید و هیدروکسید آهن در ابعاد تقریبی ۶۵ میکرون به آزادی کامل می رسد. در نتیجه با خردایش نمونه در ابعاد زیر ۹۰ میکرون، (۸۰-۱۰۰٪) اسمیت زونیت آزادند و برای کانیهای آهن دار (۵۰-۱۰۰٪) آنها آزاد می باشد. در این حالت احتمال اینکه نرمه های آهن کمتری تولید بشود بیشتر شده و در نتیجه، کنترل فلوواتاسیون و بازداشت کانیهای آهن دار آسانتر خواهد بود.

لغات کلیدی: درجه آزادی، اسمیت زونیت، هماتیت و گوتیت، فلوواتاسیون، گوشفیل.

۱- مقدمه:



شرکت باما از جمله شرکتهای وابسته به وزارت صنایع و معدن ایران، در منطقه ایرانکوه (شاهکوه سابق) و در کنار ذخایر سرب و روی این منطقه در ۲۰ km جنوب غربی اصفهان در زمینه‌های اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری از معدن و کانه‌آرایی فعالیت دارد.^[۱،۲]

ساختار اصلی این رشته‌کوه شامل سنگهای کربناته مربوط به کرتاسه بصورت بیرون‌زدگی بر روی سنگهای ژوراسیک زیرین قرار گرفته است. ضخامت این رسوبات در حدود ۸۰۰ متر بوده و بطور عمومی از آهک و دولومیت به همراه مقادیری از شیل و مارن تشکیل شده است. کانیهای سرب روی این منطقه در مهمترین معدن آن که مشتمل بر معدن کلادروازه، تپه‌سرخ و گوشفیل می‌باشند در سه شکل مختلف تمرکز یافته است که عبارتست از :

- ۱- توده معدنی تقریباً از لایه‌بندی طبقات پیروی می‌کند.
- ۲- توده معدنی از پدیده کارستیفیکاسیون ناشی شده است.
- ۳- توده معدنی در برشهای تکتونیکی تشکیل شده است.

تمرکز ماده معدنی در این معدن نیز مانند سایر کاسارهای منطقه در دولومیتها و در محل برخورد شیلهای ژوراسیک و دولومیت در داخل یک زون گسله واقع شده است. اصلی‌ترین کانیهای تشکیل دهنده سنگ معدن گوشفیل عبارتند از سولفورهای روی و سرب و کربناتهای روی و سرب که بسته به توزیع نسبت کربنات به سولفور توده معدنی به بخش‌های کربناته و سولفوره تقسیم می‌گردد. کانیهای دیگر موجود در سنگ معدن گوشفیل عبارتند از: اسمیت‌زونیت، هیدروزونکیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت، باریت، ژیپس، دولومیت، کوارتز، ژاسپیت، مارکاسیت و غیره^[۱،۲].

از مطالعات انجام گرفته و نتایج حاصل شده از آزمایش‌های مغناطیسی، ثقلی و فلوتاسیون چنین بر می‌آید که برای پر عیارسازی کانی اسمیت‌زونیت، کانی اصلی روی در دپوی اکسیده گوشفیل، در هنگام خردایش از قدرت خرد شوندگی بالایی نسبت به کانیهای همراه خود، از جمله کانیهای هماتیت و گوتیت، برخوردار می‌باشد^[۴،۵]. در پی آن کانی اسمیت‌زونیت، هماتیت و گوتیت در حد خیلی زیادی نرم شده و مشکلات مربوط به خودش را در آزمایشات مغناطیسی، ثقلی و مخصوصاً فلوتاسیون را بوجود می‌آورد.

کارخانه فلوتاسیون شرکت معدنی باما (مجتمع ایرانکوه) یکی از مهمترین کارخانجات سرب و روی ایران به ظرفیت اسمی ۱۵۰ ton/day می‌باشد. بخش قابل توجهی از ماده معدنی این منطقه بصورت اکسیده می‌باشد که قابل استفاده در کارخانه فلوتاسیون نمی‌باشد و بعنوان باطله در کنار معدن دپو شده است. یکی از دپوهایی را که در این مقاله از آن نمونه‌گیری شده و مورد استفاده قرار گرفته است، دپو خاک اکسید روی معدن گوشفیل باما می‌باشد. نمونه مورد نظر دارای عیار روی ۷۶٪، عیار سرب ۳٪ و عیار آهن ۰.۹٪ می‌باشد.



درجه آزادی کانیهای مورد نظر عبارتست از درصدی از کانی با ارزش آزاد شده به کل کانی با ارزش. برای تجزیه و تحلیل میکروسکوپی کانیها و شمارش ذرات آزاد یا چسبیده مشروط بر اینکه کانی مورد نظر شفاف یا مات باشد می‌توان از میکروسکوپی مجهز به نور عبوری یا انعکاسی استفاده نمود. چنانچه کانی شفاف باشد، آنگاه کانی پودر شده را بر روی یک شیشه نازک پخش کرده و بعد در روغن غوطه‌ور می‌گردد. چنانچه کانی مات باشد نمونه بتوسط باکلیت، بریکت شده و صیقل می‌گردد. سپس مطالعه دانه‌های آزاد و چسبیده به کمک تجهیزات مکانیکی بصورت کاملاً سیستماتیک انجام می‌پذیرد. ذرات چسبیده شده را می‌توان بصورت دوقطبی، سه‌قطبی و غیره، آنها را دسته‌بندی کرد. در این نمونه کانی مورد نظر اسمیت‌زنیت مات بوده و در نتیجه از هر اندازه و جزئی مقاطع صیقلی تهیه شد و مطالعات درجه آزادی انجام گردید [۷، ۶].

معمولًا در مطالعات سیستماتیک شمارش ذرات برای تعیین درجه آزادی از رابطه (۱) [۸] که حالت خاصی از رابطه (۲) است استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت درجه آزادی کانی مورد نظر k و r را برای آن کانی تخمین زده و آنگاه رابطه (۲) بکار گرفته شد.

$$D = (100x) / [x + 0.5y] \quad (1)$$

$$= (100kx) / [kx + 0.5(k+r)y] \quad (2)$$

$$R = y/x = 2k(100 - D) / [D(k+r)] \quad (3)$$

D : درجه آزادی

k : درصد ذرات آزاد.

r : درصد ذرات باطله

x : تعداد ذرات آزاد

y : تعداد ذرات در گیر

R : نسبت ذرات در گیر به آزاد

در این مقاله سعی شده است که ابتدا مطالعات میکروسکوپی در زمینه درجه آزادی مناسب اسمیت‌زنیت و کانیهای اکسید و هیدروکسید آهن بعمل آید. به کمک این مطالعات می‌توان با دید وسیع تری خردایش این نمونه خاص را تحت کنترل داشت و بتوان از تولید نرمه بیش از حد کانیهای اکسیده روى و آهن پرهیز کرد و در نتیجه گام مؤثری برای پرعيار سازی کانی اکسیده روى برداشته خواهد شد. [۴ و ۵]

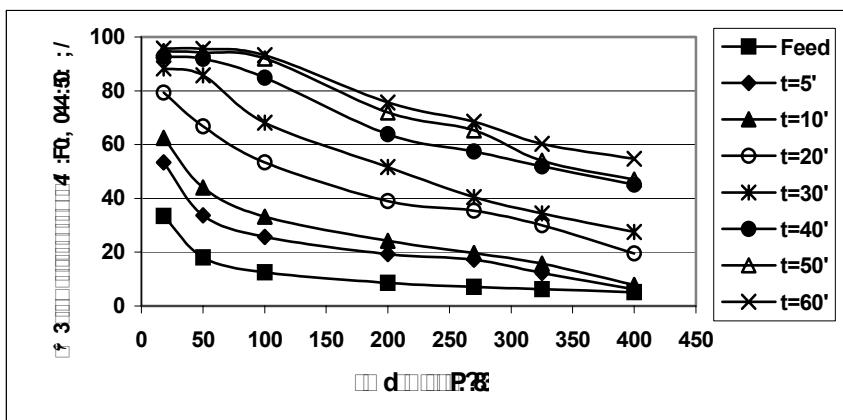


۲- مطالعات آزمایشگاهی:

نمونه مورد آزمایش ۱سنگ معدنی مورد نظر با عیار روی ۷/۶۵٪، عیار سرب ۵۰٪ از دپوی اکسیده معدن گوشفیل باما انتخاب شد. برای درجه آزادی یک کانسینگ کافیست مشخص شود که در چه محدوده ابعادی، ذرات کانی مورد نظر بصورت آزاد و مستقل درمی آیند. برای اینکار این نمونه مشخص را در مرحله اول با سنگ شکن فکی آزمایشگاهی و سپس با آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی $25*30\text{ cm}$ در مدت زمانهای مختلف، ۵، ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ دقیقه، که جدول و نمودار درصد تجمعی وزنی ذرات عبور کرده از سرندها زیر آورده شده است، تحت خردایش قرار گرفت. در هر مرحله وزن ذرات باقی مانده بر روی هر یک از سرندها را توزین و درصد تجمعی عبوری این ذرات بر روی هر سرنده در جدول (۱) ثبت شده است.^[۹]

جدول (۱): درصد وزنی تجمعی ذرات عبور کرده در ابعاد مختلف.

ردیف	ابعاد (مش)	ابعاد (μ)	$t=0'$ (بعد از سنگ شکنی)	$t=5'$	$t=10'$	$t=20'$	$t=30'$	$t=40'$	$t=50'$	$t=60'$
۱	+۱۸	>۱۰۰	۳۳/۴۷	۵۳/۳۷	۶۲/۴۴	۷۹/۲۸	۸۸/۲۸	۹۲/۶۳	۹۴/۶۷	۹۵/۷۳
۲	+۵۰	۳۰	۱۸/۱۴	۲۲/۷۳	۴۳/۹۹	۶۶/۷۹	۸۵/۷۷	۹۱/۸۳	۹۴/۲۷	۹۵/۵۲
۳	+۱۰۰	۱۵۰	۱۲/۵۶	۲۵/۷۰	۳۳/۱۷	۵۳/۴۳	۶۸/۱۷	۸۴/۸۶	۹۲/۰۴	۹۳/۱۸
۴	+۲۰۰	۷۵	۸/۶۳	۱۹/۲۶	۲۴/۲۶	۳۸/۹۵	۵۱/۶۷	۶۳/۸۹	۷۱/۹۹	۷۵/۷۰
۵	+۲۷۰	۵۳	۷/۰۸	۱۷/۲۱	۱۹/۷۳	۳۵/۳۸	۴۰/۴۷	۵۷/۴۱	۱۵/۲۸	۶۸/۵۴
۶	+۳۲۵	۴۵	۶/۲۹	۱۲/۳۲	۱۵/۷۰	۳۰/۰۴	۳۴/۴۲	۵۱/۸۹	۵۳/۹۶	۶۰/۲۷
۷	-۳۲۵	<۴۵	۵/۱۶	۶/۲۷	۷/۸۷	۱۹/۵۰	۲۷/۵۲	۴۵/۱۵	۴۶/۹۸	۵۴/۷۶
۸	جمع	-	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



شکل (۱): نمودارهای درصد تجمعی ذرات عبورکرده از سرند نسبت به ابعاد در زمانهای مختلف.

با توجه به جدول (۱) و شکل (۱) مشخص است که با افزایش زمان خردایش در آسیا درصد تجمعی عبوری ذرات از سرندهای با دهانه درشتتر به سرندهای با دهانه کوچکتر بیشتر منتقل شده‌اند و از روی شیب منحنی‌ها پیداست که با افزایش زمان خردایش شیب منحنی‌ها کم‌کم در دامنه دانه بندی وسیعتری کاهش یافته و این نشان می‌دهد که اگر زمان خردایش را زیاد کنیم، کانی اسمیت‌زونیت و کانیهای اکسید و هیدروکسید آهن که تمایل زیادی به خرد شدن دارند به نرمه تبدیل می‌شوند.

در کلیه روش‌های کانه‌آرایی می‌بایست در ابتدا کانیهای مورد نظر را از زمینه کانستگ جدا و آزاد نمود تا در مراحل بعدی بتوان با استفاده از خواص شیمی-فیزیکی آنها را از همیگر جدا نمود و محصول پر عیاری را بدست آورد. بدین جهت سنگ معدنی موردنظر را بایستی خرد و آسیا نمود که میزان خردایش بستگی به ابعاد کانی در سنگ معدنی و ارتباط آن با دیگر کانیهای باطله و بی‌ارزش دارد. خردایش بیش از حد سبب افزایش تولید نرمه (کوچکتر از ۱۰ میکرون) می‌گردد که در مراحل جداسازی و پر عیار سازی کانی مورد نظر را دچار اختلالاتی می‌کند. بنابراین قبل از خردایش نیاز به مطالعات دقیق جهت تعیین درجه آزادی می‌باشد. این بررسی را با تهیه نمونه از بخش‌های مختلف تجزیه سرندی و مطالعه میکروسکوپی آنها می‌توان انجام داد.

برای مطالعات درجه آزادی و مطالعات میکروسکوپی واضح‌تر و دقیق‌تر، از ذرات باقی‌مانده بر روی سرندهایی را که بمدت ۱۰ دقیقه در آسیا خرد شده بودند نمونه برداری کرده و از آنها مقاطع صیقلی تهیه گردید. برای بدست آوردن نمودارهای مربوط به درجه آزادی کانیهای موردنظر از روی سرندهای

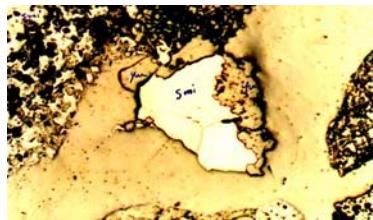


۱۳۲۵، ۳۷۰، ۴۰۰، ۲۰۰، ۱۸، ۵۰ و ۴۰ مش مقاطع صیقلی مورد نظر تهیه گردید. در صفحه بعد نمونه تصاویری از مقاطع در هر بعدی آورده شده است. (شکل‌های ۲ تا ۷).

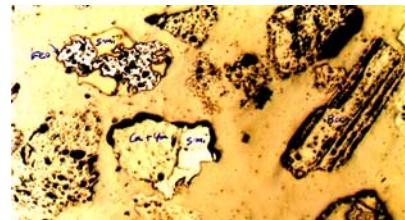
پس از تهیه این مقاطع مطالعات میکروسکوپی بصورت شمارش و ثبت درصد درگیری کانیهای مورد نظر در سطح صیقل شده، مربوط به آنها مورد بررسی قرار گرفته شد. در جدول (۲) و سکل (۸) با توجه به k و r مناسب برای کانی اسمیت‌زونیت و کانی‌های اکسید و هیدروکسید آهن، تعداد ذرات آزاد، درگیر و باطله و نمودار درجه آزادی (D) در ابعاد مختلف آورده شده است.

جدول (۲): مقادیر حاصل از شمارش ذرات برای درجه آزادی اسمیت‌زونیت و کانیهای آهن دار.

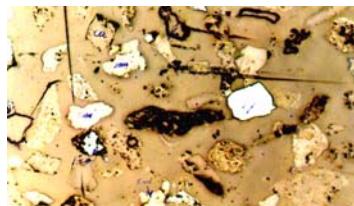
ابعاد (مش)	تعداد ذرات اسمیت‌زونیت ($r=20$)			تعداد ذرات کانی اکسید و هیدروکسید آهن ($r=0$)			درجه آزادی اسمیت‌زونیت			درجه آزادی کانیهای آهن دار ($r=0$)
	آزاد	درگیر	باطله	آزاد	درگیر	باطله	$k=80$ $r=20$	$k=80$ $r=0$	میانگین	
+۱۸	۵	۳۴	۱۱۸	۱	۶۵	۸۴	۱۹/۰۵	۲۵	۲۲	۳
+۵۰	۲۳	۵۹	۱۵۶	۶	۱۰۸	۱۲۸	۳۸/۴۰	۴۰	۳۹/۲	۱۰
+۲۰۰	۱۱۰	۱۷	۷۳	۲۷	۱۸	۱۵۵	۹۱/۲۱	۹۰	۹۰/۶۱	۷۵
+۲۷۰	۱۲۱	۱۵	۳۱۱	۶۷	۷	۳۶۴	۹۲/۷۹	۱۰۰	۹۶/۴	۹۵
+۳۲۵	۱۳۰	۱۰	۲۵۳	۹۲	۰	۲۹۴	۹۵/۴۲	۱۰۰	۹۷/۷۱	۱۰۰
+۴۰۰	۱۸۱	۰	۱۹۶	۱۲۵	۰	۲۵۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



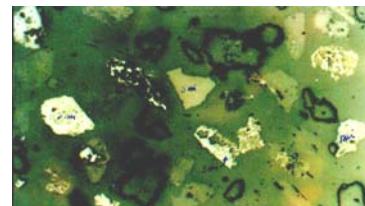
شکل (۲): ذرات بالای ۱۸ مش. اسمیت زونیت درگیر با کوارتز.



شکل (۳): ذرات بالای ۵۰ مش. اسمیت زونیت درگیر با کوارتز و کلسیت.



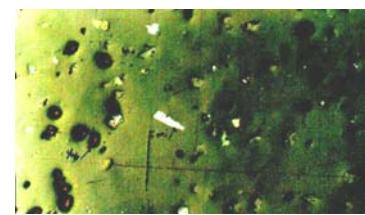
شکل (۴): ذرات بالای ۲۰۰ مش. برخی ذرات اسمیت زونیت آزادند.



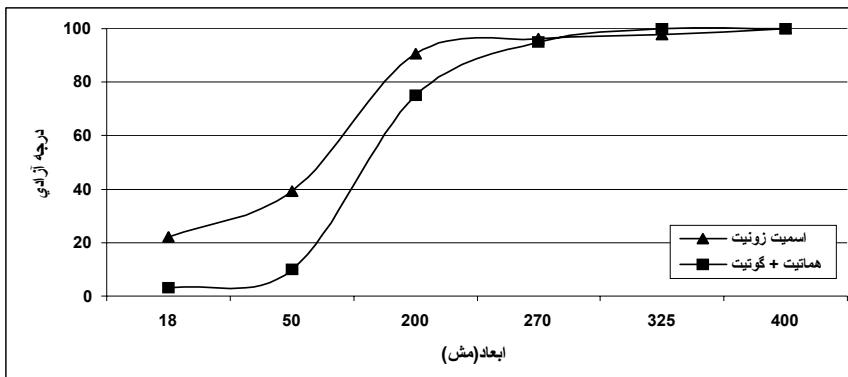
شکل (۵): ذرات بالای ۲۷۰ مش. اسمیت زونیت و کوارتز بصورت آزاد.



شکل (۶): ذرات بالای ۳۲۵ مش. ذرات اسمیت زونیت، کانیهای آهندار و کوارتز بصورت آزاد هستند.

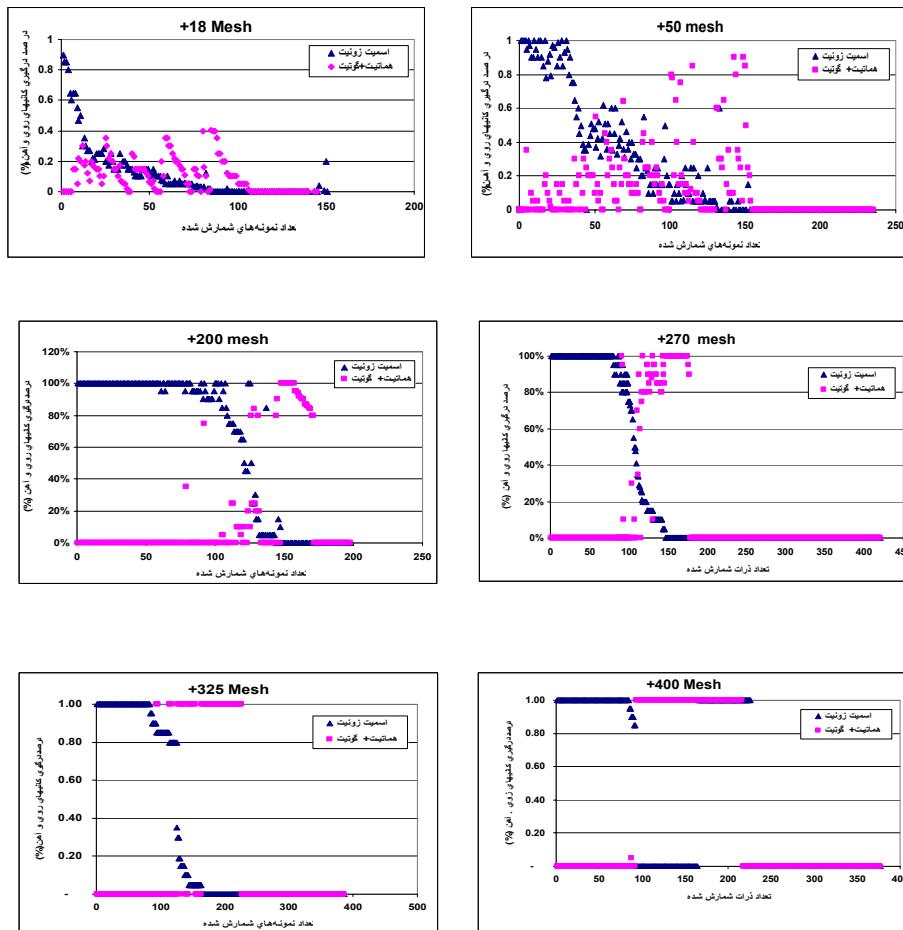


شکل (۷): ذرات بالای ۴۰۰ مش. تمامی ذرات آزاد شده‌اند.



شکل (۸): نمودار درجه آزادی کانی اسپکت زونیت و مجموعه کانیهای هماتیت و گوئیت به همراه نمودار نسبت تعداد ذرات درگیر به آزاد در ابعاد مختلف.

با توجه به نمودار درجه آزادی کانی اسپکت زونیت و کانی های اکسید و هیدروکسید آهن در شکل (۸) مشخص است که نرخ خردایش اسپکت زونیت نسبت به کانیهای آهن دار در ابعاد (۲۵-۷۰) مش بیشتر می باشد و در ابعاد (۷۰-۱۷۰) مش نرخ خردایش این دو تقریباً برابر شده و بعد از آن نیز سرعت خردایش کانیهای آهن دار در ابعاد بزرگتر از ۱۷۰ مش بیشتر از کانی اسپکت زونیت می باشد. با توجه به شکل (۸) سرعت خردایش و آزاد شدن اسپکت زونیت در لحظات اول خردایش خیلی بالاتر از کانیهای اکسید و هیدروکسید آهن می باشد. در ابعاد ریزتر احتمال اینکه درصد نرمه کانیهای آهن دار از اسپکت زونیت بیشتر باشد وجود دارد. پس سعی می شود که اکثر کانیهای آهن دار را بصورت درگیر با کانیهای دیگر در نمونه داشته باشد و در عین حال کانی اسپکت زونیت نیز بالغ بر ۸۰ % آزاد شده باشد. در این نمونه اکسیده معدن گوشفیل بایستی سعی شود که نرمه آهن کمتری را تولید کند چون باعث عمل Slime Coating بر سطح ذرات شده و باعث بالابردن اختلالات در عمل فلوتاسیون و کاهش نرخ فلوتاسیون می شود. اگر سعی شود که کانیهای آهن دار درگیر باشند، راحتتر می توان آنها را بازداشت کرد. و بدین ترتیب مصرف بازداشت کننده را با کاهش سطح ویژه کانیهای آهن دار پایین آورده و عیار کانی اکسید روی را در کنسانتره افزایش داد.



شکل (۹): نمودارهای درصد درگیری کانیهای اسمیت زوینیت و مجموعه هماتیت و گوتیت نسبت به تعداد ذرات شمارش شده در ابعاد مختلف.



۴- نتایج:

- ۱- فلز روی در این نمونه اکثراً بصورت کانی اسمیتزوئیت بوده و کانی اسفالریت به مقدار کمی وجود دارد.
- ۲- فلز سرب در این نمونه بصورت گالن و آغشته با کانیهای اکسید و هیدروکسید آهن می‌باشد. کانیهای اکسید و هیدروکسید آهن به شکلها و بافت‌های مختلفی با کانی اسمیتزوئیت و بقیه کانیها درگیر هستند. و سولفورهای آهن (پیریت) به مقدار خیلی کمی در این مقاطع مشاهده شده است.(۱٪) از جمله کانیهای مهمی را که در این نمونه موجود می‌باشد عبارتند از : اسمیتزوئیت، هماتیت، گوچیت، دولومیت، کلسیت، باریت، کوارتز، کانیهای رسی و غیره می‌باشد.
- ۳- با توجه به تصاویر حاصل از مطالعات میکروسکوپی، کانیهای اکسید و هیدروکسید آهن در همه ابعاد با ارتباط نزدیکی که با اسمیتزوئیت دارند در ابعاد خیلی ریز بصورت درصدی درگیر با این کانی آمده است. این موضوع در نحوه خردایش نمونه و درجه آزادی مورد نظر اسمیتزوئیت بسیار حائز اهمیت می‌باشد.
- ۴- در ابعاد بالای ۱۸ میلی‌متر در حدود ۲۰ درصد از اسمیتزوئیت ($K=80$ و $t=20$) آزاد و در حدود ۳٪ کانی‌های هماتیت و گوچیت (شکل(۲)).
- ۵- در ابعاد بین (۱۸-۵۰) میلی‌متر قطعات بیشتری از کانی اسمیتزوئیت (تقریباً ۴۰٪) و به ندرت قطعات کوارتز و ترکیبات آهن دار (تقریباً ۱۰٪) آزاد شده‌اند.(شکل(۳)).
- ۶- در ابعاد بین (۲۰۰-۲۷۰) میلی‌متر بخش عمده‌ای از ذرات کانی اسمیتزوئیت (بالغ بر ۸۰٪) آزاد شده‌اند و بدنبال آن قطعات مستقلی از کوارتز، اکسیدهای آهن (حداکثر ۸۰-۷۰ درصد بصورت آزاد) و کربناتها تفکیک شده‌اند. در این دانه بندی با توجه به شکل، قطعات مستقلی از گالن و پیریت نیز می‌تواند مشاهده بشود.(شکل(۴)).
- ۷- در ابعاد بین (۲۷۰-۳۲۵) میلی‌متر ۹۶٪ آزاد شده‌اند.(شکل(۵)). در این دانه بندی بندرت زوجهای درگیر از قطعات اسمیتزوئیت+گالن، پیریت+کوارتز، پیریت+اکسیدهای آهن تا حد اکثر ۵٪ با توجه به مطالعات میکروسکوپی دیده شده است.
- ۸- در ابعاد بین (۳۲۵-۴۰۰) میلی‌متر تمامی کانیهای اصلی و غیر اصلی کاملاً به درجه آزادی ۱۰۰٪ رسیده‌اند.(شکل(۶)).



- ۹- با توجه به مطالعات میکروسکوپی، درگیری کانیهای مختلف با همدیگر بیشتر بصورت قفل شدگیهای گرافیک، متحدمالمرکز و آمیبی می‌باشد.
- ۱۰- با احتمال اینکه خطا در مطالعات میکروسکوپی، محاسبات و رگرسیون منحنی‌ها بوجود آمده باشد، همه نمونه‌ها تا زیر ۹۰ میکرون خرد می‌شود. در این حالت کانی اسمیت‌زنیت (۸۰-۱۰۰) درصد بصورت آزاد و کانیهای آهن دار در حدود (۵۰-۱۰۰) درصد بصورت آزاد هستند. در این حالت احتمال وجود نرم‌های آهن کمتر بوده و اکثر کانیهای آهن (هماتیت و گوتیت) درگیر باقیه کانیها که بیشتر دولومیت، اسمیت‌زنیت و کوارتز هستند وجود دارد.

۵- تقدیر و تشکر:

از آنجا که بخشی از این تحقیق با مساعدتهای علمی آقایان مهندس روح‌شهبهاز و مهندس همدانی در آزمایشگاه میکروسکوپ دانشکده فنی تهران و دکتر راستاد و دکتر قادری در بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس و دکتر رئیسی در بخش فرآوری مواد معدنی سازمان زمین‌شناسی کشور صورت گرفته است، بدین‌وسیله کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایید.

۶- مراجع:

- ۱- فتوحی‌ق، طرح جامع معدن ایرانکوه، بهار ۱۳۸۰.
- ۲- حاجتی‌ع، گزارش کارآموزی ۲ شرکت باما، پاییز ۱۳۷۸
- ۳- علامه.الف، گزارش اکتشافات معدن گوشفیل، شرکت باما وزارت صنایع و معدن، ۱۳۶۷
- ۴- M.Oliazadeh and A.Abdullah zadeh , Benefication studies of BAMA oxidized lead and zinc ore. , Departmant of mining engineering Tehran university Tehran , Iran , ۱۹۹۷
- ۵- Matosm. C., Ferreira P., Acostam. F., Viciana. M., Alessev. M., ۱۹۹۲. "Laboratory tests with a new collector on samples of ore taken at aljustrel and Almagrera treatment plants". CEE Contract MA2M - CT۹۱ - ۰۰۴۶, Roma, ۲۱ pp
- ۶- ویجیندرا، ترجمه دکتر حمید آقابابایی و دکتر اکبر خدایرست حقی، مبانی کانه‌آرایی، دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۷۸.
- ۷- رضایی.ب، تکنولوژی فرآوری مواد معدنی(خرداش و طبقه‌بندی)، ۱۳۷۶
- ۸- نعمت‌الهی.ح، جزو کانه‌آرایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۳.