فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال هفتم، شماره ۲۵، زمستان ۱۳۹۲

ارتباط بین ترکیب کانی شناسی کانسنگ فلوئورین با خاصیت شناوری آن (مطالعه موردی: معدن فلوئورین کمرپشت)

محمدباقر اسلامی اندارگلی[۱]، مجتبی ابراهیمی[۲]، سید مجتبی مرتضوی[۳]

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، گروه مهندسی معدن Vhdeslami@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، گروه مهندسی معدن

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۲۱

چکیده

نمونه فلوئورین مورد استفاده در این مطالعه از معدن فلوئورین کمرپشت سوادکوه است. مطالعات مقدماتی بر روی ذرات فلوئورین جهت تغلیظ و پرعیارسازی و رساندن به عیار متالورژیکی است. نمونه ای به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم از کانسنگ انباشته شده حاصل از آتشباری در معدن اخذ شد که پس از تجزیه سرندی، ۸۰ درصد مواد با ابعاد زیر ۵۰۰ میکرون هستند. همچنین بر روی نمونه های فلوئورین مطالعات پتروگرافی، درجه آزادی و آزمایشات فلوتاسیون انجام پذیرفت. نتایج مطالعات پتروگرافی نشان داد که کانی های همراه فلوئورین شامل کوارتز، کلسیت، باریت، دولومیت و گالن می باشند که می توانند مشکلاتی را در فرآوری فلوئورین ایجاد کنند. لذا در آزمایش های فلوتاسیون از کلکتور آنیونی اسید اولئیک استفاده می شود و برای رسیدن به کنسانتره با عیار مناسب از بازدارنده غیرآلی سیلیکات سدیم جهت بازداشت کانی های سیلیکاته، کربنات سدیم جهت تنظیم pH پالپ و نمک فلزی سولفات آلومینیوم جهت بازداشت کلسیت استفاده شده است. در نهایت با انجام آزمایش های فلوتاسیون عیار ۳۵ درصدی فلوئورین بار ورودی به عیار ٦۱/٤ درصد با بازیابی ۸۵/۸۸ درصد رسید، که حد عیار متالورژیکی و هدف تحقیق است.

واژگان کلیدی: پتروگرافی، فلوئورین، فلوتاسیون، کمرپشت

مقدمه

کانی اصلی فلوئورین، فلوئوریت با فرمول شیمیایی CaF_2 و به رنگ‌های زرد ، سبز، آبی، بنفش، بی‌رنگ و گاهی تا ارغوانی بوده و در سیستم کوبیک متبلور می‌شود. وزن مخصوص این کانی ۳/۱۸ و سختی آن ٤ است. این کانی معمولاً فضای خالی بین سایر کانی‌ها را پر کرده و در طبیعت به صورت رگه‌ای مشاهده می‌شود و با کانی‌های کلسیت، کوارتز، باریت، سلستین و سولفیدهای گوناگون همراه است. فلوئوریت در صورت خالص بودن ٤۸/۷ ٪ فلوئور و ۵۱/۳ ٪ کلسیم دارد[۱].این کانی بلورهای بسیار درشت و بیشتر مکعبی دارد و گاهی ترکیب این فرم با سطوح اکتائدری و دودکائدر دیده

می‌شود. بندرت به صورت اکتائدر و یا دودکائدر و رمبوئیدال ساده تشکیل می‌شود. نوع پوشش بلور بستگی به حرارت تشکیل آن دارد، به طور مثال فرم اکتائدری آن از منشاء پنوماتولیتیک است[۱].

ماکل‌های تداخلی مکعب‌های آن در جهت (۱۱۱) بسیار زیاد است و به صورت ریز و یا درشت بلور تا متراکم و بیشتر رنگی است. به صورت ساقه‌ای و حتی خوشه‌ای نیز تشکیل می‌شود. رخ آن در جهت (۱۱۱) و ضریب انکسار آن ۱/٤۳٤ است. دارای جلای شیشه‌ای، بی‌رنگ شفاف تاملون و کدر است. رنگ آن به ویژه در فلورین‌های تیره رنگ شاید مربوط به تشعشعات رادیو اکتیو باشد. دیگر کانی‌هایی فلوئور که کمتر رایج هستند، عبارتند از: کریولیت (Na_3AlF_6)، اسلایت (MgF_2)، توپاز، ویلیومیت، باستناسیت و فلوئورآپاتیت[۲].

از آن جا که فلورین در محیط‌های مختلف زمین شناسی دیده شده است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که این کانی می‌تواند در شرایط فیزیکی و شیمیائی مختلف رسوب کند. این کانی از یک طرف به عنوان یک کانی فرعی در گرانیت‌ها و سنگ‌های آذرین موجود است و از طرف دیگر به صورت بلور در ژئودها و به شکل خوشه‌ای در غارهای آهکی دیده می‌شود[۲ و۱].

از نقطه نظر تشکیل کانسار در مناطق زیر می‌توان فلورین را جستجو نمود[۲]:

- رگه‌های شکافی در انواع سنگ‌ها از قبیل آذرین، دگرگونی و رسوبی
- نهشته‌های جانشینی لایه‌ای شکل در سنگ‌های کربناته
- نهشته‌های جانشینی در سنگ‌های کربناته در همبری با توده‌های نفوذی آذرین اسیدی
- نهشته‌های داربستی و پرشدگی‌ها در نواحی خرد شده
- نهشته‌های موجود در حاشیه کمپلکس سنگ‌های آلکالن و کربناتیت
- تمرکزهای بر جا ناشی از هوازدگی نهشته‌های اولیه
- محصول فرعی قابل بازیابی در نهشته‌های فلزی

هم چنین فلورین در محیط‌های پگماتیتی، پرشدگی در فضاهای باز، پرشدگی در تنوره‌های برشی و رسوب‌های دریاچه‌ای دیده شده است.

به طور کلی نهشته‌های فلوئورین را می‌توان از لحاظ منشأ به دو دسته نهشته‌های برونزاد و نهشته‌های درونزاد تقسیم نمود. از آن جا که اکثر ذخایر فلوئورین منشأ هیدروترمال دارند. نهشته‌های هیدروترمال نیز به سه دسته نهشته‌های هیپوترمال، مزوترمال واپی ترمال تقسیم بندی می‌شوند[۲ و۱]. کانسنگ فلوئورین در غالب موارد دارای یک یا چند گانگ همراه است، کانی‌های گانگ همراه نیز در اکثر موارد دارای قابلیت فلوته شدن مشابه فلوئورین هستند. بیشتر سنگ‌های فلوئورین قبل از ورود به بازار آن باید ارتقاء کیفیت داده شوند. معمول‌ترین فرآیند ارتقاء کیفیت روش فلوتاسیون است. در فلوتاسیون آنیونی فلوئورین از اسیدهای چرب و یا صابون آنها به عنوان کلکتور و از تنظیم کننده‌هایی مانند سیلیکات سدیم به منظور جلوگیری از فعال شدن کوارتز توسط کاتیون‌های چند ظرفیتی استفاده می‌شود. عمل‌کرد انتخابی سیلیکات سدیم با افزایش نمک‌های آلومینیوم افزایش می‌یابد و اثر بازداشت کنندگی سیلیکات سدیم بر روی فلوئورین را کاهش می‌دهد[۳].

امروزه فلورین در تهیه اسید فلوئوریدریک و مشتقات آن و هم چنین در صنایع فولاد، سرامیک، ریخته‌گری،

تهیه فروآلیاژها و غیره کاربرد فراوان دارد. هم چنین اسید فلوئوریدریک در تهیه کریولیت مصنوعی کاربرد گسترده‌ای دارد. اسید فلوئوریدریک به عنوان یک کاتالیست در تهیه سوختهای با اکتان بالا و صیقل دهنده شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرد[۳].

روش تحقیق

شرایط زمین شناسی معدن کمرپشت

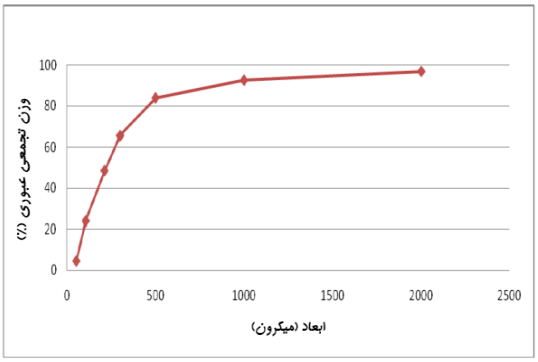
این معدن در ٤٦ کیلومتری جنوب قائمشهر و در ارتفاعات جنوب شهرستان سوادکوه در حوالی روستای کمرپشت واقع شده که در سال ۱۳۷۵ راه‌اندازی شده است. از لحاظ وضعیت زمین شناسی ناحیه شامل نهشته‌های مربوط به دوران دوم زمین شناسی دوره تریاس است و قدیمی‌ترین سازند در این منطقه، مربوط به سازند الیکا **است**. این سازند از دو بخش مهم تشکیل شده است. قسمت زیرین آن شامل آهک‌های ورقه‌ای نازک لایه و آهک شیلی است. قسمت بالائی این سازند دولومیت و آهک دولومیتی به رنگ زرد آجری است که فلورین معدن کمرپشت در داخل سازند الیکا در قسمت فوقانی آن تشکیل شده است. منطقه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیکی وضعیت آرام نداشته و با توجه به عمل‌کرد شدید عوامل تکتونیکی دو گسل اصلی در آن مشاهده می‌شود. فلوئورین این معدن از نوع بلوری و اندازه‌های ریز تا درشت بوده و گالن، باریت و سیلیس به صورت دانه‌های پراکنده همراه با فلوئورین دیده **می‌شوند**. سیلیس به عنوان ناخالصی اصلی بوده و در بعضی نمونه‌ها به ندرت ترکیب‌های مس نیز مشاهده **می‌شود**[۴].

آماده‌سازی نمونه و مطالعه درجه آزادی نمونه

معدن فلوئورین کمرپشت، به روش کارگاه و پایه استخراج می‌گردد. مواد خرد شده حاصل از آتشباری سینه‌کارها در مکانی در محوطه معدن انباشته می‌شوند. نمونه فلوئورین مورد استفاده در این تحقیق از روش نمونه‌برداری از مواد دپو شده نمونه‌برداری می‌گردد. نمونه مورد نظر به وزن ۱۰۰ کیلوگرم جهت انجام دانه‌بندی، خردایش و انجام آزمایش‌های فلوتاسیون اخذ گردید و در آزمایشگاه با استفاده از روش تقسیم چهار قسمتی، نمونه شاخص لازم تهیه شد.

نتایج دانه‌بندی تجزیه سرندی نمونه قبل از آسیا و چگونگی توزیع مواد در بخش‌های مختلف و هم چنین با هدف یافتن d_{80} نمونه، منحنی دانه‌بندی آن در شکل ۱ آمده است. با توجه به شکل ۱، d_{80} نمونه که از برخورد خط افقی معادل ۸۰ درصد تجمعی عبوری و منحنی دانه‌بندی حاصل می‌گردد، معادل ٤۹۰ میکرون است.

مطالعات درجه آزادی نیز بر روی محدوده‌های مختلف دانه‌بندی بر حسب میکرون شامل؛ ۵۰۰+ ، ۳۰۰+ تا ۵۰۰- ، ۲۱۲+ تا۳۰۰- ، ۱۰٦+ تا ۲۱۲- و ۵۳+ تا ۱۰٦- انجام گرفته و نتایج مطالعات انجام شده در جدول ۱ آمده است. مطالعات درجه آزادی نشان می‌دهد که بیشترین درگیری از نوع تماسی با قطعات کوارتز است.



جدول۱- درجه آزادی نمونه فلوئورین قبل از آسیا

اندازه ذرات (میکرون)	فلوئورین آزاد (٪)	فلوئورین درگیر با باطله (٪)
+۵۰۰	۵۵	٤٥
+۳۰۰ تا -۵۰۰	۸۰	۲۰
+۲۱۲ تا -۳۰۰	۸۵	۱۵
+۱۰٦ تا -۲۱۲	۸۸	۱۲
+۵۳ تا -۱۰٦	۹۰	۱۰

مطالعات پتروگرافی و کانی شناسی

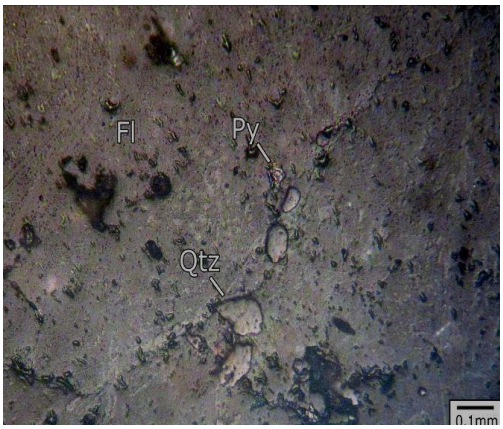
مطالعات کانی‌شناسی از اولین و مهم‌ترین ارکان مطالعات کانه آرایی به شمار می‌رود که از دو نظر دارای اهمیت است. اول، پی بردن به کانی‌های موجود در نمونه برای انتخاب روش مناسب فلوتاسیون و دوم تشخیص اندازه کانه مورد نظر در نمونه است تا با خردایش مناسب، به درجه آزادی مطلوب جهت فلوتاسیون دست یافت. بنابراین کانی‌های موجود در نمونه به صورت کمی مشخص می‌شوند. کانی‌ها و ترکیب شیمیایی نمونه اخذ شده از معدن درجدول ۲ آمده است.

جدول ۲- کانی های موجود در نمونه کانسنگ فلوئورین

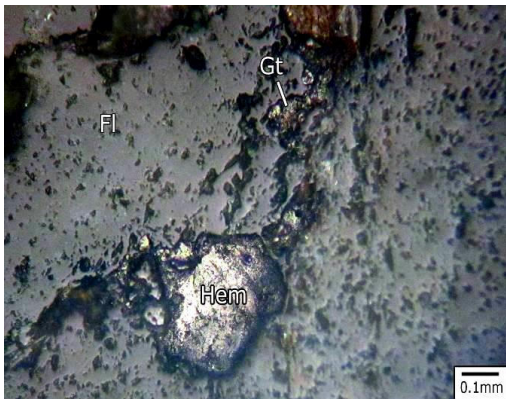
نام کانی	فلوئورین	کوارتز	کلسیت
فرمول شیمیایی	CaF_2	SiO_2	$CaCO_3$
نام کانی	دولومیت	گالن	باریت
فرمول شیمیایی	$CaMg(CO)_2$	PbS	$BaSO_4$

نتیجه مطالعات کانی شناسی

بخش عمده زمینه در نمونه را کانی فلوئوریت، شامل بلورهای درشت بی‌وجه، تشکیل می‌دهد. زمینه توسط شکستگی‌های ثانویه قطع شده است. کانی‌های کوارتز و اکسیدهای آهن ثانویه به صورت رگچه‌ای در امتداد شکستگی‌ها تمرکز یافته است. دانه های ریز تا نسبتاً درشت هماتیت و گوتیت در امتداد شکستگی‌های زمینه جایگزین شده است. ریزدانه پیریت گوتیتی شده نیز در زمینه قابل مشاهده است(شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۲- رخداد رگچه ای کانی کوارتز در امتداد شکستگی‌های زمینه. دانه ریز پیریت از حاشیه به طور گسترده توسط گوئتیت جانشین شده است.

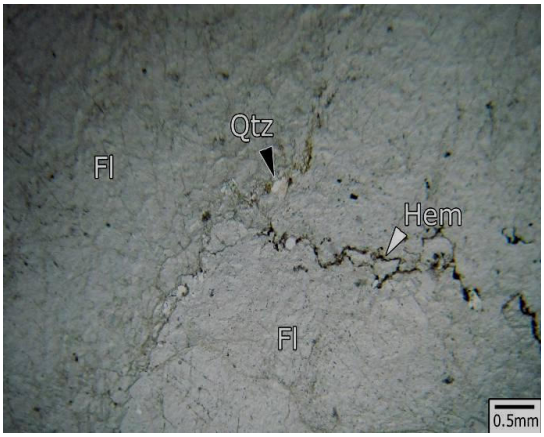


شکل ۳- دانه های ریز تا بسیار درشت هماتیت که به طور بخشی از حاشه به گوئتیت تبدیل شده است.

نتیجه مطالعات پتروگرافی

در شکل ٤ کانی فلوئورین به صورت بلورهای درشت و توده‌ای، حجم عمده‌ای از کانسنگ را تشکیل داده است. اثر سه جهت رخ فلوئوریت قابل مشاهده است که اشکال مثلثی را در زمینه تشکیل داده است.

زمینه توسط رگچه‌های کوارتز و اکسید آهن ثانویه قطع شده است.



شکل ٤- تمرکز اکسید های آهن ثانویه را در امتداد ریز شکستگی ها نشان می دهد.

نحوه انجام آزمایش‌های فلوتاسیون

ابتدا پالپ با درصد جامدهای مختلف ۱۵و۲۵ و۳۰ درصد به طور جداگانه در یک سلول ۲ لیتری آماده شده و بدون افزودن مواد شیمیایی در حالی که شیر ورودی هوا بسته است به مدت ۲ دقیقه با سرعت چرخش روتور۱۳۰۰ دور بر دقیقه هم زده می‌شود. پس از این مرحله به منظور تنظیم pH پالپ کربنات سدیم اضافه شده و به مدت یک دقیقه هم زده تا pH پالپ در سطح ۷/۵ تنظیم شود.

پس از تنظیم pH، سیلیکات سدیم به عنوان بازداشت کننده کانی‌های سیلیکاته[۸-٤] طی ۲ دقیقه اضافه شده و سپس سولفات آلومینیوم به عنوان بازداشت کننده کلسیت [٥ و٦] به مدت ۳ دقیقه افزوده می شود.

پس از آن اسید اولئیک به عنوان کلکتور[٦و٧] با توجه به میزان مورد نیاز در هر آزمایش و به منظور تامین اثر حداکثری کلکتور به مدت ٤ دقیقه به پالپ اضافه می‌شود.سپس با هوادهی به سلول، عملیات فلوتاسیون آماده کف‌گیری می‌گردد. زمان بهینه کف‌گیری پس از انجام چند تست ٥ دقیقه تعیین گردید.پس از انجام آزمایش‌های فلوتاسیون و جمع‌آوری کنسانتره‌ها برای آب‌گیری کنسانتره‌های فلوئورین از کاغذ صافی و یک فیلتر پرس فشاری استفاده می‌شود.کیک‌های حاصل از فیلتراسیون به مدت ٢٤ ساعت در آون در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده می شود تا در این دما اسید چرب آن حذف گردد.افزایش درصد جامد موجب کاهش بازیابی وافزایش pH موجب افزایش بازیابی فلوئورین می‌شود. در نهایت دو شرایط بهینه آزمایش برای دست‌یابی به حداکثر عیار و بازیابی فلوئورین، در جدول (۲)خلاصه شده است. مطابق جدول ۲، آزمایش شماره ۲ بیشترین عیار را نسبت به آزمایش شماره ۱ دارد، و به عنوان بهترین شرایط بهینه انتخاب می‌شود.

نوع پارامتر	آزمایش (۱)	آزمایش (۲)
درصد جامد	۱۵	۱۵
pH	۷/۵	۷/۵
سولفات آلومینیوم	۱۰۰/۱۲	۱۰۰/۰۲
سیلیکات سدیم	۱۰۰/۰۱	۱۰٦۱/۹۲
کلکتور	۲٤۹/۹۷	۲٥۰
عیار ٪	٦۰/٦۱	٦۱/٤
بازیابی٪	۹۰/۰۳	۸۸

نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به نوع و مقدار کانی‌های موجود در نمونه و مواد شیمیایی مصرفی در آزمایش‌های انجام شده، نتایج زیر حاصل می‌گردد:

۱- فلوئورین منطقه کمرپشت در بخش فوقانی سازند الیکا در شرایط تبخیری به وجود آمده است.

۲- عیار متوسط فلوئورین در خوراک ۳۵ درصد بوده و کانی های همراه آن سیلیس، دولومیت، کلسیت و هماتیت است.

۳- با توجه به منحنی دانه بندی نمونه پس از خردایش(شکل۱)، ابعاد ۸۰ درصد ذرات تجمعی عبوری($d_{۸۰}$) معادل ٤۹۰ میکرون است.

٤- استفاده از اسید اولئیک به عنوان کلکتور به ازای مصرف ۲۵۰ گرم بر تن موجب بهبودی فلوتاسیون شده و باعث افزایش عیار و بازیابی می‌شود.

۵- استفاده از۱۰۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم به عنوان بازدارنده مناسب است.

٦- مصرف۱۰۰ گرم برتن سولفات آلومینیوم به عنوان بازدارنده کلسیت مناسب است.

۷- pH=۷/۵ بهترین pH برای رسیدن به بالاترین عیار می باشد.

۸- کلکتور بیشترین تاثیر برای رسیدن به عیار ٦۱/٤درصد را دارد.

۹- برای رسیدن به بازیابی مناسب ۸۵/۸۸ درصد فاکتورهای کلکتور و اندرکنش بین درصد جامد و pH بیشترین تاثیر را دارند.

منابع

۱- لایتنر، ر،(۱۳٦۹)، زمین شناسی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۳٦۸ص.

۲- کریم پور، ح.، سعادت،س.، (۱۳۸٤)، زمین شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۳۵ ص.

۳- نعمت اللهی، ح.، (۱۳۷۵)، کانه آرایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۸۵ص.

٤- کریم پور، ح.، (۱۳۸۹)، کانی ها وسنگ های صنعتی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۹۸ ص.

5- Aliaga W., Sampaio C.H., Brum I.A.S., Ferreira K.R.S., Batistella M.A., (2006), Flotation of high-grade fluorite in a short column under negative bias regime, Minerals Engineering 19, 1393-1396 pp.

6- Zhang Y., Song S., (2003), Beneficiation of fluorite by flotation in a new chemical scheme, Minerals Engineering 16, 597-600 pp.

7- Song S., Lopez-Valdivieso A., Martinez-Martinez C., Torres-Armenta R., (2006), Improving fluorite flotation from ores by dispersion processing, Minerals Engineering 19, 912-917 pp.