

# مطالعه کانی‌شناسی و درجه آزادی کانسنگ فلورین پاچی‌میانا، استان مازندران

حمید خرمی<sup>۱</sup>، بهرام رضایی<sup>۲</sup>، احمد امینی<sup>۳</sup> و فتح‌اله مصوری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۷

## چکیده

مطالعات کانی‌شناسی و درجه آزادی از مهم‌ترین متغیرهای مورد استفاده در انتخاب روش جدایش است. در این مطالعه ویژگی‌های انواع مختلف کانی‌های موجود در کانسنگ فلورین شناسایی و روش‌های مناسب برای پیش‌فرآوری و فرآوری پایانی ارائه شد. ویژگی‌های کانسنگ با مطالعات میکروسکوپی، XRD، XRF و تجزیه شیمیایی تعیین و ترکیبات کانی‌شناسی بر پایه تجزیه شیمیایی و مطالعات میکروسکوپی و همچنین مشخصات بافت مانند ابعاد ذرات، توزیع ذرات کانی باارزش، وضعیت کانی‌های درگیر و وضعیت کانسنگ مشخص شد. بر پایه بررسی‌های انجام یافته این کانسنگ شامل: فلورین (۴۰/۵۲٪)، کلسیت (۲۴٪)، کوارتز (۲۰٪)، اسمیت‌زونیت (۸٪)، گالن (۲٪)، کانی‌های رسی (۳٪)، باریت (۱٪) و گوتیت (۰/۶٪) است و فاز کربناتی به دو شکل کلسیت درشت‌بلور و میکرایتی تا میکرواسپارایت دیده شد. کوارتز به شکل ریزبلورین و اکسیدهای لیمونیت و گوتیت به شکل لکه‌های ۲۰ تا ۳۰ میکرونی در درون کوارتز تشکیل شده است. درجه آزادی نمونه پس از خردایش در فراکسیون‌های ابعادی مختلف، با روش میکروسکوپی تعیین و بر پایه آن درجه آزادی فلورین (۱۰۰ میکرون)، کلسیت (۱۰۰ میکرون) و کوارتز (۹۰ میکرون) و همچنین درگیری کانی کوارتز و کلسیت با فلورین در ابعاد ۱۰۰ مش (۱۵۰ میکرون) به ترتیب ۳۶ و ۲۳ درصد است. در پایان روش ثقلی در ابعاد ۶۰۰ - ۴۲۵ میکرون به عنوان روش پیش‌فرآوری و فلوئاسیون در ابعاد ۱۵۰ - ۷۵ + میکرون به عنوان روش پایانی فرآوری انتخاب شد.

**کلیدواژه‌ها:** مطالعات کانی‌شناسی و درجه آزادی، مشخصات بافت، وضعیت کانی‌های درگیر، پیش‌فرآوری، فلوئاسیون.

\*نویسنده مسئول: حمید خرمی

E-mail: h.khorrami@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

جدای کانی‌شناسی کانسار فلورین پاچی‌میانا و همبودهای آن شامل فلورین، باریت، گالن، اسمیت‌زونیت، پیریت، سروزیت، کوارتز، کلسیت، اسپات، ایسلند و به مقدار جزئی کانی‌های مس‌دار مانند کالکوپیریت، کوولیت و مالاکیت است. فلورین به عنوان مهم‌ترین کانی غیر فلزی، به شکل پراکنده در متن سنگ میزبان دیده می‌شود (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۴). هدف از خردایش مواد معدنی آزاد کردن مواد باارزش و جدا کردن این مواد از مواد کم‌ارزش است (Gaudin, 1939; Weigle & Li, 1967; Veasey & Wills, 1991) معمولاً ۳۰ تا ۵۰ درصد انرژی مصرفی در فعالیت‌های معدنی را در بر می‌گیرد (LaNauze, 2002; Tromans, 2008). دست‌یابی به یک درجه آزادی خوب در اندازه‌های درشت از مصرف انرژی خردایش جلوگیری می‌کند و سبب جدایش کانی‌ها با هزینه کمتری می‌شود (اولیازاده، ۱۳۷۲). بنابراین درجه آزادی کانی‌های باطله در اندازه درشت احتمال حذف کانی باطله را افزایش می‌دهد و این امر سبب کاهش مقدار خوراک در ورودی مدار و کاهش انرژی مصرفی خردایش می‌شود. (Vizcarra et al., 2010). آزاد کردن کانی‌های باارزش از زمینه سنگ یکی از ضروری‌ترین فرایندهای خردایش است (Eric Wang, 2012). برای به‌دست آوردن درجه آزادی فلورین در بخش‌های مختلف دانه‌بندی (تجزیه سرنده) نمونه ۲۰ گرمی گرفته، مقاطع نازک و صیقلی تهیه و با تعیین شمارش فلورین، در بخش‌های مختلف دانه‌بندی درجه آزادی تعیین می‌شود (رضایی، ۱۳۷۳). انتخاب روش‌های فرآوری بستگی به ترکیبات کانی‌شناسی و بافت ذره در کانسنگ دارد. ترکیبات کانی‌شناسی، ترکیبی از کانی‌هایی باارزش و کم‌ارزش است و نسبت این مقدار در کانسنگ به بافت، تجمع، رسوب‌گذاری و شکل کانی در کانسنگ بستگی دارد (Wills, 1992). بازیابی کانی‌های مورد استفاده در کانه‌آرایی و عملیات پرعیارسازی بر پایه روش‌هایی است که ذرات را با توجه به ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی آنها

جدای می‌کند (King, 2001). جداسازی کانی‌ها به آزادسازی آنها وابسته است. کانی‌های منحصربه‌فرد با استفاده از روش‌های فیزیکی یا شیمیایی از یکدیگر جدا می‌شوند (King, 2001). یکی از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر روی عیار و بازیابی درجه آزادی است که اگر ناکافی باشد جدایش مؤثر ذرات محدود می‌شود (Al-Wakeel et al., 2009; Vizcarra et al., 2010). درجه آزادی یکی از روش‌های اولیه در جدایش کانی‌هاست که برای ارزیابی طراحی فلوئاسیون یا وضعیت عملیاتی مدار است. تعیین درجه آزادی کانی‌ها یا جریان خوراک در فرایند جدایش همیشه یکی از اطلاعات ضروری است (Falutsu, 1994). بنابراین درجه آزادی یکی از متغیرهای بسیار مهم است که توانایی انتخابی و دست‌یافتنی فرایند را تعیین می‌کند (Ogunniyi et al., 2009).

تجزیه و تحلیل درجه آزادی اطلاعاتی می‌دهد که با روش‌های دیگر نمی‌توان به‌دست آورد. هزینه و زمان آن ناچیز است و با اصلاح عملکرد کارخانه تأثیر مثبت بسیار زیادی دارد (Lastra, 2007). هدف اصلی این پژوهش مشخص کردن انواع کانی‌های موجود در کانسنگ و همچنین ویژگی‌های بافت، شکل، اندازه ذرات، درجه آزادی کانی باارزش و کم‌ارزش و پراکنندگی ذرات است که برای ارزیابی مناسب فرایند و روش‌های فرآوری فلورین است.

## ۲- آزمایش‌ها

### ۲-۱. نمونه کانسنگ

نمونه‌های کانسنگ مورد آزمایش از معدن فلورین پاچی‌میانا تهیه شد. سپس با استفاده از سنگ‌شکن فکی تا ابعاد ۱۰- مش (۲- میلی‌متر) برای مطالعات کانی‌شناسی، درجه آزادی و فرآوری خردایش انجام شد.

برای تعیین ترکیبات کانی‌شناسی در نمونه فلورین تست‌های مختلف آنالیز شیمیایی، XRF، XRD و مطالعات میکروسکوپی انجام شد.

## ۲-۲. مشخصات نمونه

نتایج تجزیه XRF، مطالعات میکروسکوپی به‌همراه تجزیه شیمیایی و XRD به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است که بیانگر فلورین، کلسیت و کوارتز بالاست.

## ۲-۳. مطالعات عیار و توزیع ابعادی

برای مطالعه و بررسی تغییرات عیار و توزیع فلورین، کلسیت و کوارتز در بخش‌های مختلف دانه‌بندی نمونه‌ای به وزن ۲۵۵۰ گرم مورد تجزیه سرنده قرار گرفت. منحنی‌های دانه‌بندی و توزیع در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

بر پایه مطالعات توزیع ابعادی نتایج زیر را به‌دست آمد:

تقریباً ۸۰ درصد ذرات دارای ابعادی کمتر از ۱۴۰۰ و ۵۰ درصد مواد دارای ابعادی کمتر از ۶۵۰ میکرون هستند.

توزیع عیار در فراکسیون ۱۷۰۰+۸۵۰ میکرون برای فلورین، کوارتز و کلسیت به ترتیب ۳۸/۰۹، ۳۰/۷۲ و ۲۹/۹۹ درصد است که نسبت به دیگر فراکسیون‌ها بیشترین توزیع را دارد و این مسئله در مطالعات تعیین درجه آزادی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. میانگین عیار فلورین ۴۱/۰۶، کوارتز ۲۰/۵۶ و کلسیت ۱۶/۴۷ درصد است.

## ۳- بحث و نتایج

### ۳-۱. کانی‌شناسی فرایند فراکسیون‌های دانه‌بندی کانسنگ فلورین پاچی‌میان

**فراکسیون دانه‌بندی ۱۷۰۰ میکرون:** بیش از ۹۵ درصد دانه‌های سازنده این فراکسیون از دانه‌های غیرفلزی تشکیل شده است که به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، فلورین و کوارتز است. شکل ۳ نماهایی از توزیع دانه‌های فلورین در این فراکسیون را نشان می‌دهد. حدود ۳۷ درصد از دانه‌های فلورین در این فراکسیون آزاد است که در تصویر با رنگ نارنجی (شماره ۱) مشخص شده است. جنس باطله درگیر با فلورین بیشتر کوارتز و یا کوارتز آغشته به اکسیدهای آب‌دار آهن (qtz + Fe) است که با هاشور آبی از دانه‌های کلسیت که به رنگ سفید دیده می‌شود متمایز شده است. بقیه بخش‌های تیره شامل بیشتر کوارتز و به مقدار کمتر کلسیت آغشته به رنگ دانه‌های اکسید آهن است که با نماد (Cc + Fe) متمایز است. در شکل ۴ یک قطعه سنگ کوارتز ریزبلورین (میکروکریستالین) با آغشتگی‌های لیمونیتی و بلورهای درشت گالن با درگیری ناچیز با کوارتز دیده می‌شود. در شکل ۵ دانه‌های فلورین در متن یک قطعه سنگ آهکی تخریبی دارای بلورهای ریزبلورین کوارتز دیده می‌شود.

**فراکسیون دانه‌بندی ۱۷۰۰-۸۵۰ میکرون:** بیش از ۹۵ درصد دانه‌های سازنده این فراکسیون از دانه‌های غیر فلزی تشکیل شده است که به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، فلورین و کوارتز است. در سطح مقطع صیقلی تهیه‌شده از این فراکسیون آثار گالن ساب‌میکروسکوپی و در ابعاد کمتر از ۱۰ تا ۲۰ میکرون است ولی در سطح مقطع نازک دو دانه گالن به نسبت درشت که با توجه به آثار رخ مثلثی آنها در نمونه دستی قابل شناسایی است دیده می‌شود. فراوانی گالن در حدود ۱ تا ۲ درصد دانه‌هاست. در شکل‌های ۶- الف و ب نمای ماکروسکوپی از سطح مقطع نازک و در شکل‌های ۶- پ، ت، ح، ج، د و ذ نمای میکروسکوپی دارای: (۱) دانه گوتیت لیمونیت درگیر با کوارتز ریزبلورین؛ (۲) قطعه سنگ آهک میکرواسپارایتی؛ (۳) بلور درشت گالن؛ (۴) بلور آزاد فلورین؛ (۵) قطعه سنگ دارای کوارتز ریزبلورین آغشته به لیمونیت؛ (۶) قطعه آهکی میکرواسپارایتی آغشته به مواد آلی دیده می‌شود.

**فراکسیون دانه‌بندی ۸۵۰-۶۰۰ میکرون:** بیش از ۹۰ درصد دانه‌های سازنده این فراکسیون از دانه‌های غیر فلزی تشکیل شده است که به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، فلورین و کوارتز است. دانه‌های سازنده این فراکسیون بیشتر آزاد هستند. شکل ۸ نماهایی از سطح مقطع نازک تهیه‌شده از این فراکسیون را نشان می‌دهد.

**فراکسیون دانه‌بندی ۶۰۰-۳۰۰ میکرون:** بیش از ۹۰ درصد دانه‌های سازنده این فراکسیون از دانه‌های غیر فلزی تشکیل شده است که به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، فلورین و کوارتز است. دانه‌های سازنده این فراکسیون بیشتر آزاد هستند. شکل ۹ نماهایی از سطح مقطع نازک و صیقلی تهیه‌شده از این فراکسیون را نشان می‌دهد.

**فراکسیون دانه‌بندی ۳۰۰-۱۵۰ میکرون:** بیش از ۹۰ درصد دانه‌های سازنده این فراکسیون از دانه‌های غیر فلزی تشکیل شده است که به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، فلورین و کوارتز است. دانه‌های سازنده این فراکسیون بیشتر آزاد هستند. شکل ۱۰ نماهایی از سطح مقطع نازک تهیه‌شده از این فراکسیون را نشان می‌دهد.

**فراکسیون دانه‌بندی ۱۵۰-۷۵ میکرون:** بیش از ۹۰ درصد دانه‌های سازنده این فراکسیون از دانه‌های غیر فلزی تشکیل شده است که به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، فلورین و کوارتز است. دانه‌های سازنده این فراکسیون بیشتر آزاد هستند. شکل ۱۱ نماهایی از سطح مقطع نازک تهیه‌شده از این فراکسیون را نشان می‌دهد.

همچنین در این مطالعه بر پایه ترکیب کمی - کیفی تقریبی کانی‌شناسی فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی بر پایه تجزیه شیمیایی و با توجه به فازهای موجود در سطح مقاطع مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. کوارتز و کلسیت پس از فلورین بیشترین ترکیبات را در این کانسنگ دارد و اسمیت‌زونیت بیشترین کانی فلزی در مقطع است.

### ۳-۲. مطالعه درجه آزادی

برای تعیین درجه آزادی و مطالعات کانی‌شناسی از نمونه معرف در ابعاد ۱۷۰۰+، ۱۷۰۰-۸۵۰+، ۸۵۰-۶۰۰+، ۶۰۰-۳۰۰+، ۳۰۰-۱۵۰+ و ۱۵۰-۷۵+ میکرون، مقاطع صیقلی و نازک تهیه شد. سپس مقاطع مورد نظر برای تعیین کانی‌شناسی و درجه آزادی مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند و از راه شمارش، درصد آزادشدگی ذرات کانی با ارزش و کم‌ارزش ثبت شد.

با توجه به شکل ۱۲ دیده می‌شود که با کاهش ابعاد ذرات، درصد آزادشدگی افزایش و درصد قفل‌شدگی مواد کاهش می‌یابد. همچنین در ابعاد ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرون، اختلاف درصد آزادشدگی و اختلاف درصد قفل‌شدگی هر دو کمتر از ۷/۵ درصد و در ابعاد ۱۵۰ تا ۳۰۰ میکرون، اختلاف درصد آزادشدگی و اختلاف درصد قفل‌شدگی هر دو کمتر از ۳ درصد است.

جدول ۴ درجه آزادی فلورین را نشان می‌دهد. دانه‌های با عیار بیش از ۹۰ درصد آزاد تلقی می‌شوند. درجه آزادی کانی فلورین از ۳۷ درصد در ابعاد ۱۷۰۰ میکرون به ۸۹ درصد در ابعاد ۷۵ میکرون، درجه آزادی کانی کلسیت از ۱۷ درصد در ابعاد ۱۷۰۰ میکرون به ۸۵ درصد در ابعاد ۷۵ میکرون و درجه آزادی کانی کوارتز از ۱۴ درصد در ابعاد ۱۷۰۰ میکرون به ۸۳ درصد در ابعاد ۷۵ میکرون افزایش یافت. در شکل ۱۳ نمودار درجه آزادی ۳ کانی فلورین، کلسیت و کوارتز نشان داده شده است. بر پایه درجه آزادی ۸۰ درصد، به ترتیب درجه آزادی فلورین ۱۰۰، کلسیت ۱۰۰ و کوارتز ۹۰ میکرون است. همچنین مقایسه درجه آزادی کانی‌های مختلف در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

### ۴- نتیجه‌گیری

با کاهش دانه‌بندی، دانه‌های غیر فلزی سطح از ۹۵ درصد به ۹۰ درصد کاهش می‌یابند.

فازهای اصلی سازنده این کانسنگ شامل فلورین، کوارتز، کلسیت، گالن و اکسیدهای آب‌دار آهن است.

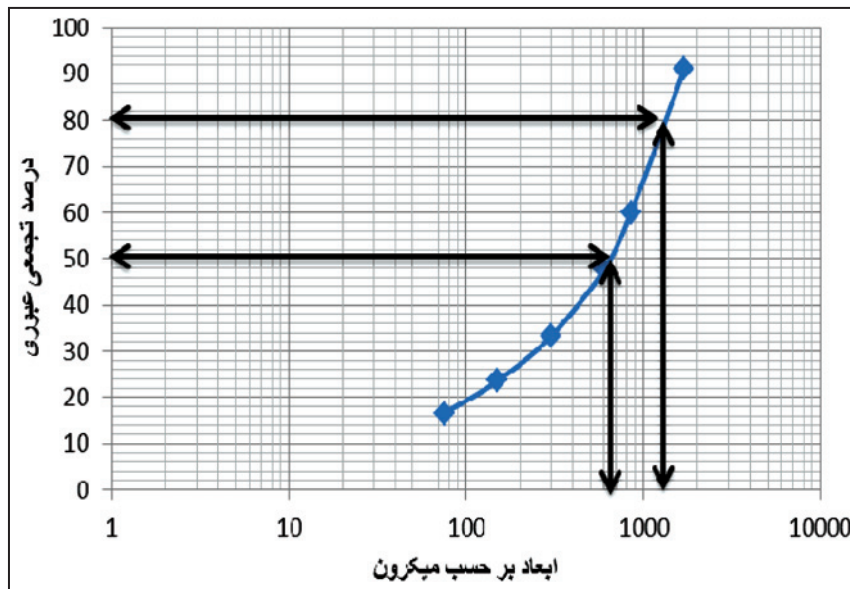
فاز کربناتی به ۲ صورت است: (۱) به نسبت خالص شامل قطعات سنگی دارای بلورهای کلسیت درشت‌بلور (Sperry Calcite)؛ (۲) قطعات سنگی میکرایتی تا میکرواسپارایتی که به علت آغشتگی به مواد آلی کربنی و یا گاه اکسیدهای آهن لیمونیتی قهوه‌ای به نظر می‌رسد.

در محدوده‌ی ابعادی ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرون و ۱۵۰ تا ۳۰۰ میکرون خردایش بیشتر تأثیر چندانی روی درصد آزادشدگی ندارد.

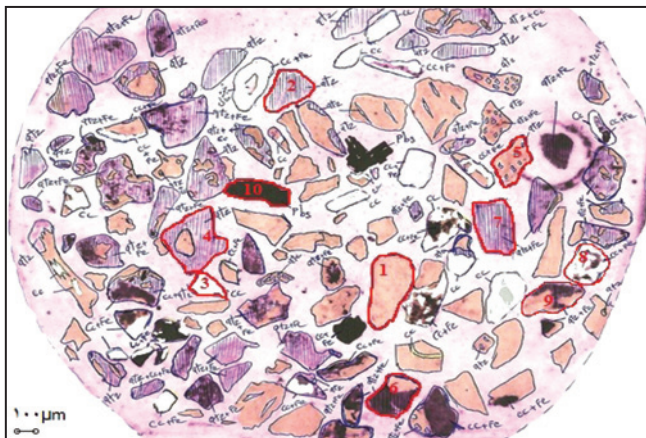
با کاهش دانه‌بندی درجه آزادی فلورین از ۳۷ درصد به ۸۹ درصد افزایش می‌یابد. بر پایه d80 درجه آزادی فلورین، کلسیت و کوارتز به ترتیب برابر ۱۰۰، ۱۰۰ و ۹۰ میکرون است.

برای فرآوری فلورین در ابعاد ۶۰۰-۴۲۵+ میکرون و ابعاد ۱۵۰- میکرون به ترتیب روش‌های ثقلی و فلوئاسیون به‌عنوان مناسب‌ترین روش‌ها پیشنهاد می‌شود.

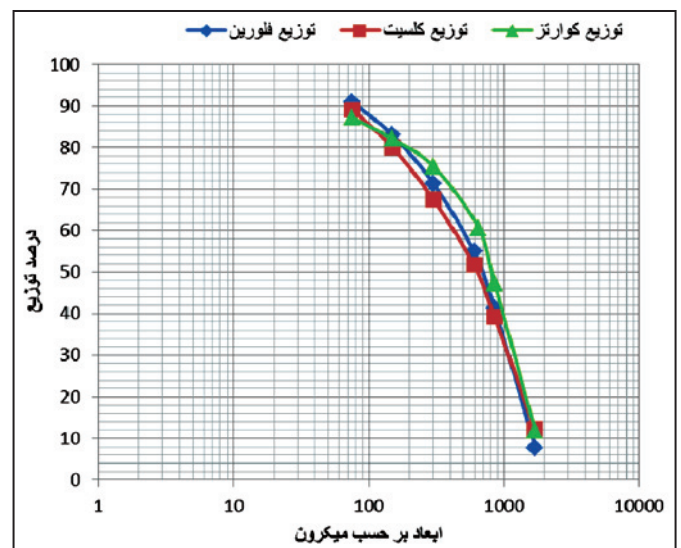
کوارتز بیشتر به‌صورت تجمعات ریزبلورین دیده می‌شود که معمولاً دارای آغشتگی‌هایی به اکسیدهای آب‌دار آهن (لیمونیت و گوتیت) است. بلورهای منفرد و به‌نسبت درشت کوارتز نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل نیز در سطح مقاطع به مقدار کم وجود دارد ولی بیشتر تجمعات کوارتز ریزبلورین سازنده اصلی فاز سیلیکاتی فراکسیون‌های دانه‌بندی به‌شمار می‌رود. ابعاد بلورهای فلورین به‌نسبت درشت و تقریباً در همه فراکسیون‌های دانه‌بندی بلورهای آزاد آن قابل مشاهده است. فاز اصلی کدر در سطح مقاطع صیقلی گالن با فراوانی حدود ۳ تا ۶ درصد و معمولاً به‌نسبت درشت است.



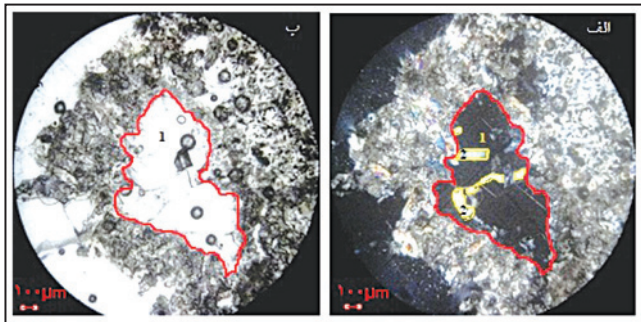
شکل ۱- دانه‌بندی محصول خروجی از سنگ شکن فکی.



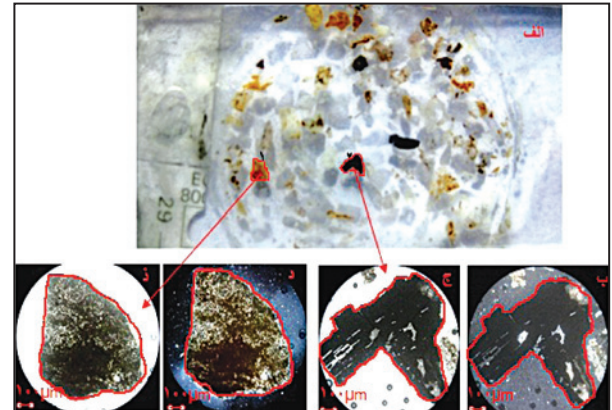
شکل ۳- توزیع دانه‌های فلورین دار (شماره ۱ به‌رنگ نارنجی)، کوارتز (شماره ۲ به‌رنگ آبی هاشور خورده)، کلسیت (شماره ۳ به‌رنگ سفید)، کوارتز درگیر با فلورین (شماره ۴)، فلورین درگیر با کوارتز (شماره ۵)، فلورین درگیر با کوارتز و کوارتز درگیر با اکسیدهای آهن (شماره ۶ و ۹)، کوارتز درگیر با اکسید آهن (شماره ۷)، کلسیت درگیر با اکسید آهن (شماره ۸) و گالن (شماره ۱۰) و کانی‌های کدر در سطح مقطع نازک.



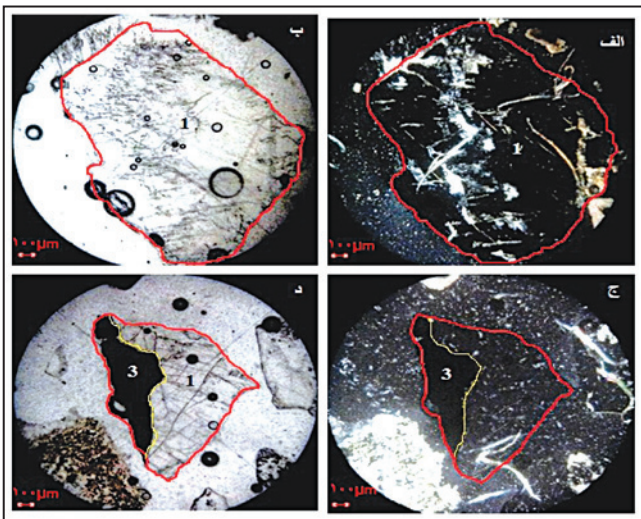
شکل ۲- توزیع فلورین، کوارتز و کلسیت.



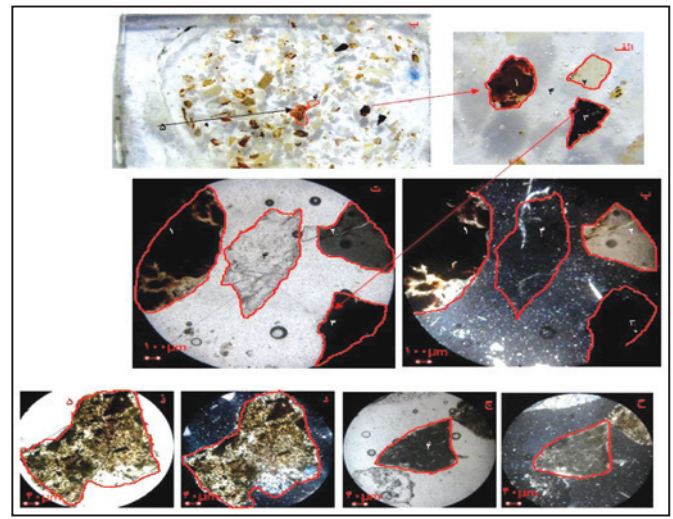
شکل ۵- الف) دانه فلورین (۱) و کوارتز ریزبلورین (۲) در نور پلاریزه؛ ب) دانه فلورین (۱) در نور عبوری در متن یک قطعه سنگ آهکی تخریبی دارای بلورهای ریزبلورین کوارتز.



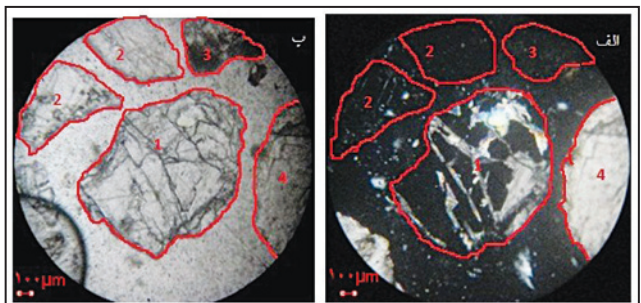
شکل ۴- الف) نمای ماکروسکوپی از سطح مقطع نازک؛ ب) در نور پلاریزه؛ ج) در نور عادی، دارای بلور درشت گالن با درگیری ناچیز با کوارتز ریزبلورین؛ د) در نور پلاریزه؛ ه) در نور عبوری دارای کوارتز ریزبلورین دارای آغستگی های لیمونیتی.



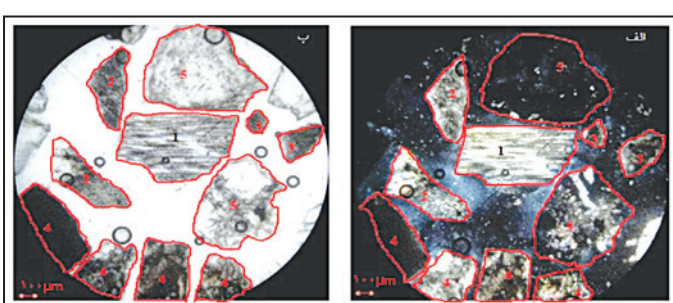
شکل ۷- نمای میکروسکوپی از فراکسیون دانه بندی ۸۵۰ میکرون؛ الف) در نور پلاریزه؛ ب) در نور عادی حاوی: فلورین (۱) با عیار ۷۰-۹۰٪ و درگیر با کوارتز ریزبلورین در نور پلاریزه؛ ج) در نور پلاریزه؛ د) در نور عادی حاوی: فلورین (۱) با عیار ۷۰-۵۰٪ و درگیر دوسویه با گالن (۳).



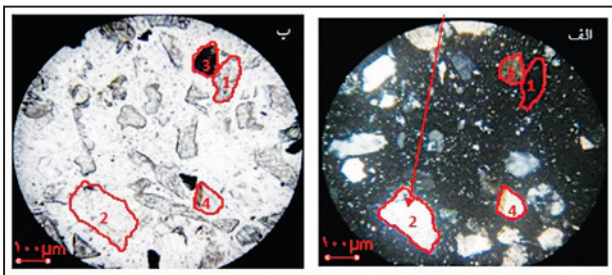
شکل ۶- الف و ب) نمای ماکروسکوپی و میکروسکوپی از سطح مقطع نازک؛ پ) در نور پلاریزه؛ ت) در نور عادی؛ ج) در نور پلاریزه؛ د) در نور عادی؛ ه) در نور عادی.



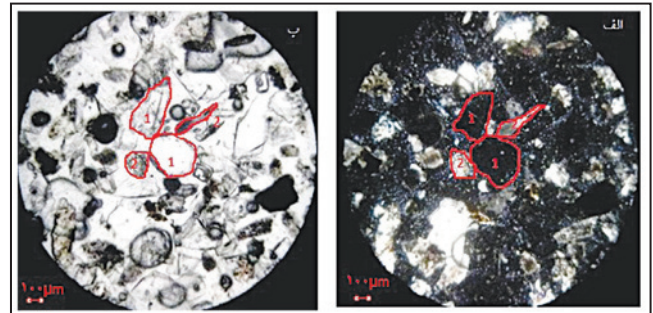
شکل ۹- الف) در نور پلاریزه؛ ب) در نور عادی حاوی: فلورین با عیار ۵۰-۳۰ درصد درگیر با کوارتز و کلسیت (۱)، بخشی از دانه فلورین آزاد (۲)، یک فلورین درگیر با سنگ آهک (۳) و بخشی از یک دانه کلسیت درشت بلور آزاد (۴) در فراکسیون دانه بندی ۳۰۰ میکرون.



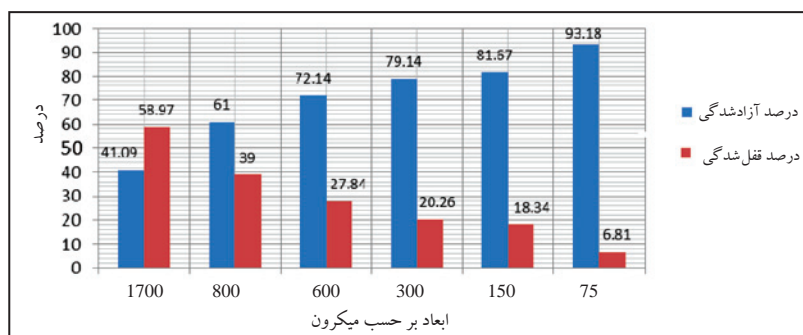
شکل ۸- الف) در نور پلاریزه؛ ب) در نور عادی شامل: کوارتز موجی (۱) واجد تیغه های تغییر شکل (Deformation Lamella)، بلورهای فلورین آزاد (۵)، قطعات آهکی به رنگ تیره (۲) که یکی از آنها درگیر با کوارتز میکروکریستالین است، قطعات آهکی تیره (۳)، قطعات آهکی (۴) درگیر کوارتز درگیر و قطعه فلورین درگیر با کلسیت و کوارتز (۵) در فراکسیون دانه بندی ۶۰۰ میکرون.



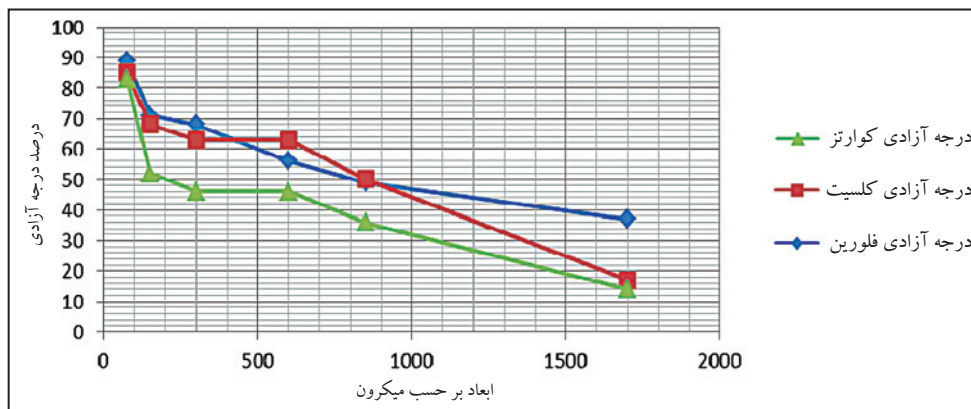
شکل ۱۱- الف) در نور پلاریزه؛ ب) در نور عادی، حاوی: فلورین عمدتاً آزاد با رخهای مشخص (۱)، کوارتز دارای ناخالصی کمی تیره (۲ و ۳) و کلسیت دارای ناخالصی (۴).



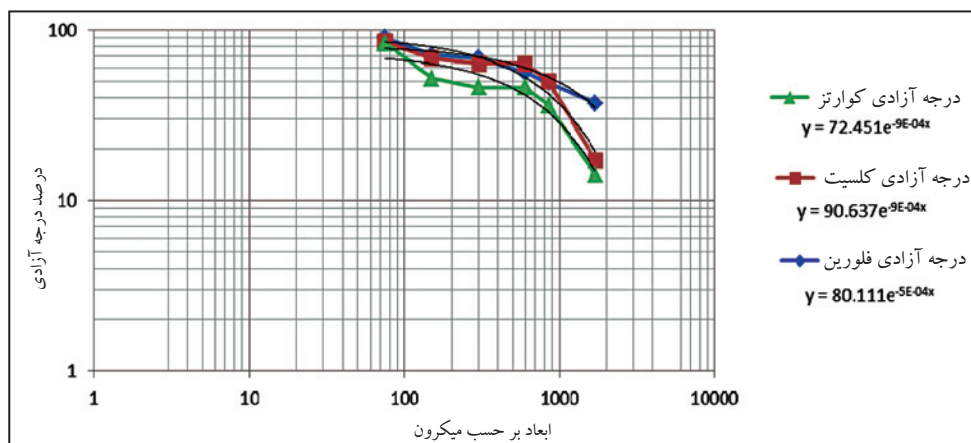
شکل ۱۰- الف) در نور پلاریزه؛ ب) در نور عادی، حاوی: فلورین عمدتاً آزاد (۱) و کلسیت و کوارتز دارای ناخالصی (۲)؛ دایره، حباب‌های هوای به تله افتاده در زیر لامل مقطع است. سطح مقطع نازک تهیه شده از فراکسیون دانه‌بندی نمونه ۱۵۰ میکرون.



شکل ۱۲- درصد آزادشدگی و قفل شدگی بر حسب ابعاد.



شکل ۱۳- درصد درجه آزادی بر حسب ابعاد.



شکل ۱۴- مقایسه میان درجه آزادی کانی‌ها.

جدول ۱- نتایج تجزیه XRF نمونه فلورین پاچی میانا.

ترکیبات	محتوا (%)	ترکیبات	محتوا (%)
CaF <sub>2</sub>	۴۳/۹۳	TiO <sub>2</sub>	<۰/۱
MgO	۰/۴۹	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۴۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۱۸	ZnO	۵/۸۶
SiO <sub>2</sub>	۲۲	SrO	۰/۴۴
SO <sub>3</sub>	۰/۵۶	BaO	۰/۷۸
K <sub>2</sub> O	۰/۰۷	PbO	۲/۱۱
CaO	۹/۸۷	L.O.I	۱۲/۰۶

جدول ۲- نتایج مطالعات میکروسکوپی و تجزیه شیمیایی و XRD نمونه فلورین پاچی میانا.

کانی ها	فلورین	کلسیت	کوارتز	اسمیت‌زونیت	کانی رسی	گالن	باریت	گوئیت
درصد	۴۱/۴۰	۲۴	۲۰	۸	۳	۲	۱	۰/۶

جدول ۳- ترکیب کمی و کیفی کانی شناسی فراکسیون‌های مختلف دانه‌بندی بر پایه تجزیه شیمیایی و مطالعات میکروسکوپی.

فراکسیون ابعادی (میکرون)	فلورین	کلسیت	کوارتز	کانی روی (اسمیت‌زونیت)	کانی رسی	گالن	باریت	گوئیت
نمونه معرف	۴۱/۴۰	۲۴	۲۰	۸	۳	۲	۱	۰/۶
+۱۷۰۰	۳۵/۷۵	۲۲	۲۶	۹	۱	۱	۱	۰/۶
+۸۵۰-۱۷۰۰	۴۴/۳۸	۱۴	۲۲	۱۰	۳	۲	۱	۰/۶
+۶۰۰-۸۵۰	۴۵/۴۵	۱۷	۲۱	۸	۳	۲	۱	۰/۵
+۳۰۰-۶۰۰	۴۶/۲۷	۱۸	۲۰	۸	۳	۲	۱	۰/۵
+۱۵۰-۳۰۰	۴۹/۵۶	۲۱	۱۳	۹	۳	۲	۱	۰/۳
+۷۵-۱۵۰	۴۷/۰۲	۲۱	۱۴	۱۰	۳	۳	۲	۰/۸
-۷۵	۳۹/۰۶	۱۸	۲۳/۵	۱۰/۱	۴/۱	۲/۵	۱/۶	۰/۸

جدول ۴- درجه آزادی فلورین، کوارتز و کلسیت.

فراکسیون ابعادی (میکرون)	فلورین (%)	کلسیت (%)	کوارتز (%)
+۱۷۰۰	۳۷	۱۷	۱۴
+۸۵۰-۱۷۰۰	۴۹	۵۰	۳۶
+۶۰۰-۸۵۰	۵۶	۶۳	۴۶
+۳۰۰-۶۰۰	۶۸	۶۳	۴۶
+۱۵۰-۳۰۰	۷۱	۶۸	۵۲
+۷۵-۱۵۰	۸۹	۸۵	۸۳

## کتابنگاری

اولیازاده، م.، ۱۳۷۲- آزمایش‌های کانه‌آرایی. مرکز نشر انتشارات صنعت فولاد.  
 رضایی، ب.، ۱۳۷۳- تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و دانه‌بندی). مؤسسه تحقیقاتی و انتشارات نور.  
 مهندسین کاوشگران، ۱۳۸۴- کنترل و معرفی نواحی امیدبخش بر گره ۱:۱۰۰۰۰۰ پل سفید، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 شرکت مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۸- شناسایی روی و فلورین در استان گیلان، مازندران و گلستان، جلد سوم: استان مازندران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Al-Wakeel, M. I., Linb, C. L. & Miller, J. D., 2009- Significance of liberation characteristics in the fatty acid flotation of Florida phosphate rock. *Minerals Engineering* 22, 244-253.
- Eric Wang, F. S., 2012- Mineral liberation by high voltage pulses and conventional comminution with. *Minerals Engineering* 27-28, 28-36.
- Falutsu, M., 1994- Technical Note Measurement of The Degree of Liberation of Mineral. *Mineral Engineering* 7, 491-493.
- Gaudin, A., 1939- Principle of mineral dressing. London: McGraw-Hill.
- King, R. P., 2001- Modelling and simulation of mineral processing. Elsevier.
- La Nauze, R. T., 2002- Technologies for sustainable operation. CMMI congress. AusIMM, Cairns, Australia, 27-34.
- Lastra, R., 2007- Seven practical application cases of liberation analysis. *Mineral processing* 84, 337-347.
- Ogunniyi, I. O., Vermaak, M. K. G. & Groot, D. R., 2009- Chemical composition and liberation characterization of printed circuit board comminution fines for beneficiation investigations. *Waste Management* 29, 2140-2146.
- Tromans, D., 2008- Mineral comminution: energy efficiency considerations. *Minerals Engineering* 4, 613-620.
- Veasey, T. J. & Wills, B. W., 1991- Review of methods of improving liberation. *Mineral Engineering* 23, 747-752.
- Vizcarra, T. G., Wightman, E. M., Johnson, N. W. & Manlapig, E. V., 2010- The effect of breakage mechanism on the mineral liberation properties of sulphide ores. *Mineral Engineering* 23, 374-382.
- Weigle, R. L. & Li, K., 1967- Random model for mineral liberation by size reduction. *Trans.Soc. Min-Eng.*
- Wills, B., 1992- Mineral processing Technology. Pergaman Press.