مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیستم، شمارهٔ ۱، بهار ۹۱، از صفحهٔ ۸۱ تا ۹۶

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

آنالیز و رده‌بندی طیفی سنگ‌های آذرین و دگرگون منطقه‌ی همدان در جهت بررسی‌های سنجش از دور با استفاده از طیف‌سنجی بازتابی آزمایشگاهی (۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر)

کاظم رنگزن[۱]، عادل ساکی*[۲]، حسین حسن‌شاهی[۱]، برات مجردی[۳]

۱. گروه سنجش از دور و GIS ، بخش زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۲. بخش زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۳.گروه نقشه برداری، دانشکده عمران، دانشگاه شهید رجایی، تهران، ایران.

(دریافت مقاله: ۸۹/۸/۴، نسخه نهایی: ۹۰/۱/۲۱)

چکیده: روش‌های طیف سنجی بازتابی و ترکیب آن با داده‌های سنجش از دور ما را در امکان شناسایی و جدایش عوارض سطح زمین یاری می‌کند. بکارگیری این روش‌ها در شناسایی واحدهای سنگ‌شناختی به طور مستقل و بدون آگاهی از رفتار طیفی سنگ‌ها در طول موج‌های الکترو مغناطیسی نمی‌تواند چندان ثمر بخش باشد. بر این اساس و برای دستیابی به هدف‌های این پژوهش، ۶۵ نمونه سنگ از توده‌ی الوند همدان و پیرامون آن جمع‌آوری شدند، و با استفاده از طیف‌سنج فیلدسپک۳ (Fieldspec) در محیط آزمایشگاه مورد طیف‌سنجی قرار گرفتند. طیف‌های بازتابی حاصل بر اساس شکل و محل نوارهای جذب پردازش شدند. آنالیزهای سنگ‌نگاری نیز در تفسیر چگونگی جذب نمونه‌های طیفی مورد استفاده قرار گرفتند و سرانجام طیف‌ها براساس الگوی نهایی طیفی رده‌بندی شدند. این سنجش هم سطوح تازه و هم درمورد سطوح برونزد انجام شد. جدا از چند نمونه جزئی، دو مجموعه طیف سطوح تازه و برونزد تغییر چشمگیری نداشتند. در پایان برای بررسی امکان تفکیک اهداف مورد نظر، طیف‌های نماینده با نوارهای دو سنجنده‌ی فراطیفی و چندطیفی شبیه‌سازی و مقایسه شدند. بررسی نمودارهای طیفی شبیه‌سازی شده، شناسایی سنگ‌های منطقه مورد بررسی را که از برونزد خوبی برخوردار باشند با استفاده از سنجنده‌های با قدرت جدایش طیفی بالا مانند هایپریون (Hyperion) به درستی مقدور می‌سازد. همچنین به‌نظر می‌آید سنجنده‌ی استر (Aster) نیز برای شناسایی و جدایش گروه‌های اصلی سنگ‌های منطقه نتایج قابل قبولی را ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: *طیف سنجی؛ فیلدسپک۳؛ جذب؛ شبیه سازی؛ همدان.*

مقدمه

آگاهی درست و سامانمند رفتار پدیده‌ها در طول موج‌های مختلف به روش طیف‌سنجی بازتابی ما را در شناسایی و جدایش پدیده‌ها در داده‌های سنجش از دور یاری می‌کند [۱،۲]. پژوهشگران زیادی به بررسی طیف‌سنجی بازتابی چه در محیط آزمایشگاه و چه در محیط طبیعی پرداخته‌اند و با ثبت طیف پدیده‌های مختلف روی زمین در گستره‌ی مرئی - فروسرخ، به ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها، و آنالیز دقیق این طیف‌ها که نماینده‌ی منحصر به فرد اشیاء و پدیده‌های مختلف‌اند، زمینه‌ای علمی برای تفسیر داده‌های طیفی در سنجش از دور فراهم کرده‌اند [۳،۴]. برخی نیز با تشکیل بانک طیفی (Spectral Library) روی شبکه‌ی اینترنت، نتایج و داده‌های حاصل از طیف‌سنجی خود را برای بکارگیری در بررسی‌های دورسنجی مورد استفاده عموم قرار داده‌اند. (مانند بانک طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا در [۵]).

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۱۱۳۳۳۱۰۵۹، پست الکترونیکی: Adel_saki@scu.ac.ir

Archive of SID

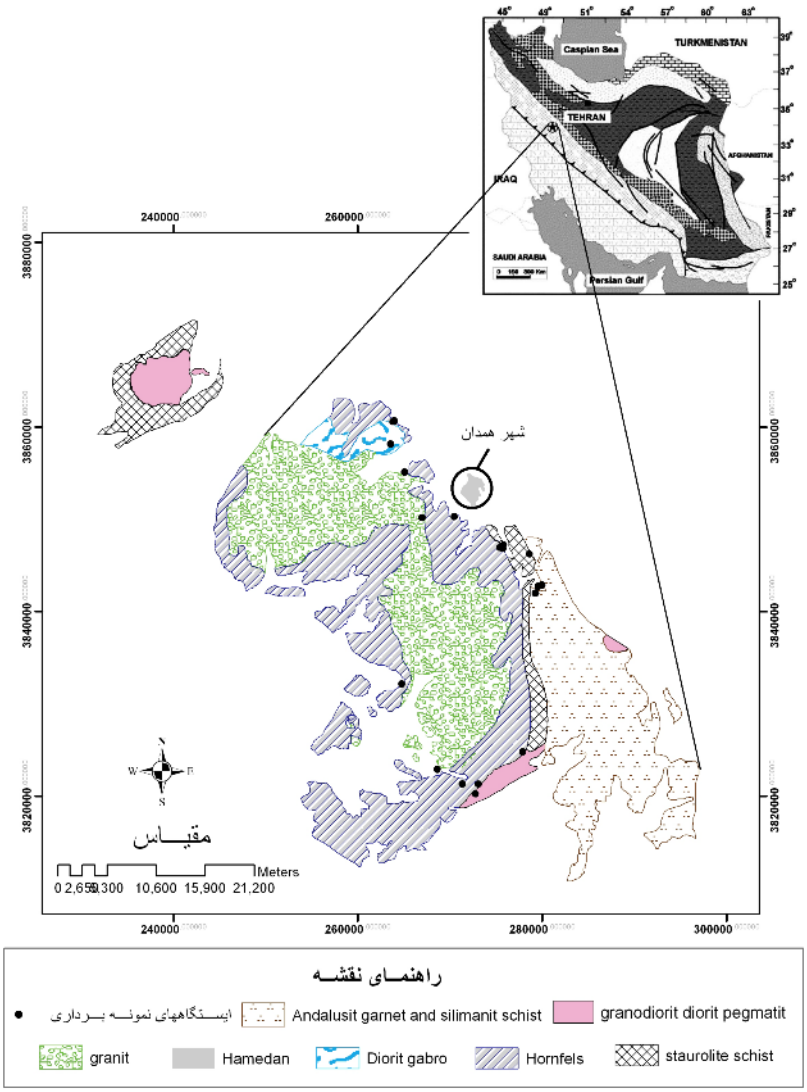
www.SID.ir

روش‌های طیف‌سنجی برای شناسایی و جدایش کانی‌ها، سنگ‌ها و دگرسانی‌ها به صورت گسترده‌ای درآنالیز و پردازش تصاویر فراطیفی به‌کار گرفته می‌شوند [۳،۶،۷].

اصول استفاده شده در این پژوهش براساس کار پژوهشی (۸) صورت گرفته است. این پژوهشگران با جمع‌آوری و طیف سنجی ۴۱ نمونه سنگ دگرگون از منطقه‌ی ماداگاسکار و رده‌بندی طیفی و بررسی الگوهای جذبی آن‌ها، امکان آشکارسازی و جدایش سنگ‌ها را با استفاده از دو سنجنده‌ی فراطیفی MIVIS و AVIRIS و نیز سنجنده‌ی چندطیفی لندست شبیه‌سازی کرده و به این نتیجه رسیدند که داده‌های با قدرت جدایش طیفی بالا قابلیت بسیارخوبی در جداسازی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی دارند. همچنین نشان دادند که تصاویر ترکیبی نوارهای لندست نیز شناسایی مقدماتی گروه‌های کلی سنگ را امکان‌پذیر می‌سازد [۸].

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی برای نمونه‌برداری، طیف‌سنجی و رده‌بندی طیفی سنگ‌های آن برای شناسایی و جدایش در تصاویر ماهواره‌ای، منطقه‌ی توده‌ی الوند همدان در جنوب و جنوب غرب شهر همدان، بخشی از نوار دگرگونی موسوم به زون سنندج-سیرجان (در کمربند کوهزایی زاگرس) است [۹،۱۰] (شکل ۱). بررسی‌های صحرایی صورت گرفته برای نمونه‌برداری و بازدید میدانی حاکی از وجود رخنمون‌های سنگی گسترده‌ی، همگن و بدون پوشش گیاهی بود که این پژوهش را معنی‌دار می‌کند.



شکل۱ زمین شناسی، ایستگاه‌های نمونه‌برداری و موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنوب و جنوب غرب شهر همدان.

www.SID.ir

به‌طور کلی سه دسته اصلی سنگ در منطقه‌ی همدان وجود دارند. سنگ‌های آذرین این مجموعه شامل سنگ‌های مافیک (گابرو، الیوین گابرو، گابرو نوریت، دولریت)، حد واسط (دیوریت، کوارتز دیوریت، میکرو دیوریت)، فلسیک (گرانیت،گرانودیوریت، تونالیت، پگماتیت و آپلیت) و تعدادی دایک دولریتی و کوارتز دلریتی است. سنگ‌های مجموعه‌ی دگرگونی همدان در مراحل مختلف دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی تشکیل شده‌اند [۱۱،۱۲]. سنگ‌های دگرگونی ناحیه-ای شامل قدیمی‌ترین تشکیلات زمین‌شناسی منطقه‌اند که اغلب، اسلیت، فیلیت و انواع شیست‌ها را در بر می‌گیرند. سنگ های دگرگونی مجاورتی شامل انواع شیست‌های لکه‌دار و هورنفلس‌ها، در پیرامون توده‌ی نفوذی الوند قرار دارند. هورنفلس شیست‌ها و هورنفلس‌ها تنوع زیادی داشته و از تأثیر دگرگونی مجاورتی بر سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای حاصل شده‌اند [۱۳].

سنگ‌نگاری سنگ‌های رسی دگرگون شده

اسلیت و فیلیت

بخش گسترده‌ای از منطقه‌ی مورد بررسی با اسلیت و فیلیت در برگرفته شده است و به طور کلی همه‌ی سنگ‌های دگرگون درجه‌ی بالاتر، در بخش‌های مختلف، به اسلیت و فیلیت ختم می‌شوند. در صحرا، ریخت‌شناسی این سنگ‌ها ملایم و تپه ماهوری بوده و رنگ آنها سیاه تا مایل به سبزند. در بررسی میکروسکوپی کانی‌های کوارتز، میکای سفید، کلریت، فلدسپار پلاژیوکلاز و فلدسپارقلیایی (مواد آلی و کانی‌های اکسیدی در اسلیت) دیده می‌شوند. کانی‌شناسی فیلیت کمی متفاوت است و در آنها بیوتیت ظاهر شده، میکای سفید به مسکوویت تکامل می‌یابد. بافت سنگ‌ها لیپدوبلاستیک و لیپدوگرانوبلاستیک است.

گارنت شیست

گسترش اصلی گارنت شیست‌ها در جنوب منطقه و بخشی نیز در شمال منطقه دیده می‌شود. ریخت‌نمایی ملایم و گاه صخره ساز از ویژگی‌های این سنگ‌هاست. رنگ گارنت شیست سیاه بوده، در بررسی میکروسکوپی دارای گارنت، مسکوویت، یوتیت، مواد آلی و مقدار کم پلاژیوکلاز، کلریت، روتیل و ایلمنیت هستند. کلریت ثانویه ناشی از تبدیل گارنت به‌صورت شبه‌ریخت پیرامون گارنت دیده می‌شود. بافت سنگ‌ها با توجه به‌حضور پرفیروبلاست گارنت، پرفیرو لیپدوبلاستیک و پرفیرو لپیدوگرانوبلاستیک است.

گارنت -آندالوزیت -فیبرولیت هورنفلس (هورنفلس‌ها)

با نزدیک‌شدن به باتولیت الوند، پرفیروبلاست استارولیت هنوز پایدارند، ولی کردیریت از حاشیه ناپایدار شده و به گارنت + فیبرولیت تبدیل می‌شود. در آغاز این مرحله، کانی‌های کردیریت، گارنت و فیبرولیت در سنگ پایدارند، اما با نزدیکتر شدن به توده‌ی، کردیریت کاملاً حذف شده‌اند، و گارنت همراه با فیبرولیت و مقادیری بیوتیت و فلدسپار پتاسیم، قالب آن را پر می‌کنند گارنت و فیبرولیت، نخست فقط در حاشیه کردیریت و به‌جای کردیریت ظاهر می‌شوند، ولی با پیشرفت درجه‌ی دگرگونی، گارنت به‌صورت پراکنده و جزئی در زمینه‌ی سنگ نیز ظاهر می‌شوند .بیوتیت، مسکوویت، فلدسپار و کوارتز، کانی‌های اصلی سازنده‌ی زمینه و ایلمنیت،گرافیت وآپاتیت، کانی جزئی و فرعی هستند. بافت سنگ پرفیروگرانوبلاستیک است. لازم به یادآوری است که در بعضی نواحی علیرغم پیدایش فیبرولیت در این سنگ‌ها، استارولیت هنوز پایدار بوده و اثری از تبدیل آن دیده نمی‌شود. کیانیت به همراه استارولیت در این سنگ‌ها دیده می‌شود که گاه با چشم غیرمسلح نیز کاملاً قابل تشخیص است.

سنگ‌نگاری سنگ‌های آذرین

از نظر بافتی و مودی کانی‌ها، سنگ‌هایی که در منطقه خاستگاه آذرین دارند شامل گرانیتوئید سفید تا خاکستری روشن‌اند که این گرانیت در حال حاضر به عنوان سنگ تزئینی برداشت می-شوند، و در نقشه‌ی زمین‌شناسی زیر عنوان سنگ‌های آذرین معرفی شده‌اند.

این سنگ‌ها از کانی‌های با اندازه‌ی درشت (در مقیاس میلیمتر و بعضی کانی‌ها در حد سانتیمتر) تشکیل شده‌اند. سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی سفید رنگ‌اند و از کانی‌های روشن تشکیل شده‌اند. از نظر مودی این کانی‌ها اغلب نمونه‌های گرانیتوئیدی و به لویکوگرانیت تا مونزوگرانیت وابسته‌اند. این گرانیتوئیدها در کنار شیست و هورنفلس قرار دارند و در اطراف این گرانیتوئید هاله‌ی دگرگونی به خوبی دیده می‌شود. از نظر کانی‌شناسی از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، هورنبلند و بیوتیت تشکیل شده‌اند. بیوتیت و هورنبلند، کانی-های غالب مافیک هستند. مسکویت اولیه در این سنگ‌ها وجود ندارد و اسفن به فراوانی دیده می‌شود، مقدار کانی‌های تیره بیشتر از ۲۰ درصد نیست. بلورهای درشت کوارتز خاموشی موجی نشان می‌دهند و کانی‌های فلزی در این نوع گرانیت‌ها

Archive of SID

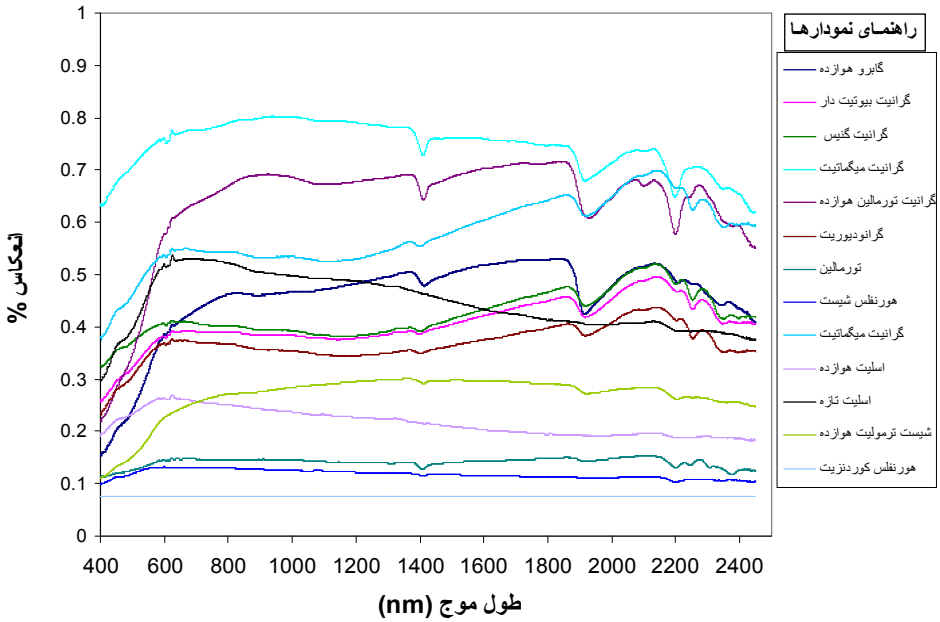
www.SID.ir

کم است. کانی پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها دارای رد پس نهشتی است این گرانیت‌ها معمولاً ساب سالووس به‌طوری‌که پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی به‌صورت مجزا از هم تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها معمولاً بافت دانه‌دار هیپیدیومورف دیده می‌شوند. پلاژیوکلازها و بیوتیت‌ها در این گرانیتوئید پیچ و تاب خورده‌اند. اندازه‌ی پلاژیوکلازها در این سنگ‌ها بیشتر از یک‌میلی‌متر است و در بعضی نمونه‌ها به‌صورت پرفیروبلاست‌های بزرگ تا اندازه‌ی ۱۰ میلی‌متر دیده می‌شوند. این کانی‌ها در بعضی مواقع به کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. فلدسپار قلیایی در این سنگ‌ها با ردی مشبک مشاهده می‌شود و به کانی‌های رسی تجزیه شده است. آمفیبول بخوبی در این گرانیت‌ها دیده می‌شود. بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری این سنگ‌ها نشان می‌دهند که به گرانیت‌های نوع I شباهت دارند و کانی اسفن در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. گرانیتوئید در این محل هوازده نیستند.

مواد و روش ها (اندازه گیری داده‌های طیفی)

پس از بررسی‌های صحرایی و جمع آوری نمونه‌ها و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه سنگ‌شناسی و طیف‌سنجی دانشگاه شهید چمران اهواز، بازتاب‌های تابش نمونه‌های سنگ در گستره‌ی طیف‌مرئی - فروسرخ کوتاه (طول موج‌های ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومترو با فواصل طول موجی ۱ نانومتر) با یک طیف‌سنج فیلدسپک ۳ و نرم افزار RS[3] در محیط آزمایشگاهی اندازه‌گیری و ثبت شدند (طیف‌سنجی نمونه‌های سنگ در آزمایشگاه طیف سنجی گروه سنجش از دور و با GIS دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت). سعی شد تا نمونه‌های سنگ مورد آزمایش حتی المقدور در ابعاد فیزیکی مناسب و به همان صورت که در برونزدها یافت شدند انتخاب شوند تا آثار خطای حاصل از تفاوت ابعاد فیزیکی سنگ‌ها روی طیف‌نهایی به حداقل برسد. عدم پیوستگی در طیف‌ها به‌خاطر نویز حاصل از گذار از آشکارسازهای بخش مرئی به بخش فروسرخ کوتاه ۱ و ۲ در طول موج‌های ۱۰۰۰ و ۱۸۰۰ نانومتر رخ داد که با نرم‌افزار SAMS نسخه‌ی ۳/۲ اصلاح شدند. برای پردازش، مقایسه‌ی سریع و تبدیل طیف‌ها از نرم افزار ViewSpec pro نسخه‌ی ۵ استفاده شد. نرم‌افزار Excel 2003 و نیز SAMS برای محاسبات آماری طیف‌ها به‌کارگرفته شدند (شکل۲).

پس از این مرحله تعداد ۱۲ نمونه در آزمایشگاه کانادا آنالیز زئوشیمیایی سنگ شدند و عناصر اصلی، فرعی و کمیاب آن‌ها مشخص شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه تجاری اکمه در کانادا تجزیه شدند. عناصر اصلی به روش طیف‌سنجی انتشار پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-ES)، عناصر جزئی و عناصر نادر خاکی به‌روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تجزیه شدند.



شکل۲ نمودارهای طیفی اندازه‌گیری شده چند سنگ با دستگاه طیف‌سنج Fieldspec3 جهت مقایسه کلی طیف‌ها. (طیف‌سنجی در گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است).

www.SID.ir

بحث و بررسی

آنالیز و طبقه‌بندی طیف‌های سنگ

براساس بررسی [۱۴]، تحلیل و توصیف منحنی‌های طیفی بر پایه‌ی پارامترهای زیر صورت گرفت:

۱- محل طول موج کمترین میزان بازتاب در نوارهای جذبی ۲- عمق، عرض، مساحت و عدم تقارن نوارها، و ۳- محل تغییرات شیب و نقاط پرش در منحنی. این پارامترها به‌عنوان "ساختارهای جذب" در نظر گرفته شدند.

ساختارهای جذب در طیف نمونه‌ی سنگ‌ها با نرم‌افزار SAMS نسخه‌ی 3.2 مورد بررسی قرار گرفت و الگوریتم آنالیز شکل‌های جذب (Absorption feature analysis)، که میزان جذب هر نوار را با توجه به مساحت زیر منحنی محاسبه می‌کند روی طیف‌ها اعمال شد.

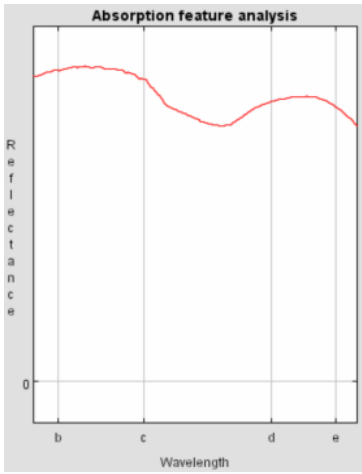
محاسبه‌ی میزان جذب الگوهای جذبی

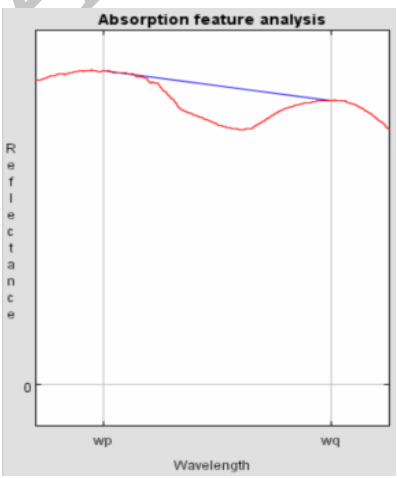
با استفاده از الگوریتم آنالیز شکل‌های جذب در نرم افزار SAMS، میزان جذب در طول موج خاصی در یک طیف محاسبه شد این الگوریتم با مشخص بودن دو بازه‌ی طول موج [b,c] و[d,e]، چنان‌که در شکل۳ دیده می‌شود، نخست طول موجی که در بازه‌های مشخص شده بیشترین بازتاب در آن‌ها رخ داده بود انتخاب شده (wp در[b,c] وwq در [d,e])، و سرانجام میزان جذب را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کردیم. [۱۵] (مساحت زیر پاره‌خطی که دو بیشینه را به‌هم وصل می‌کند/مساحت زیر نمودار [Wp,Wq]) - 1 = Ai (شکل ۳ الف،ب)

ساختارهای جذبی مشخص و یا گروه‌هایی از این ساختارها که به طورسیستماتیک در طیف‌ها رخ می‌دهند را الگوهای جذب می‌نامند. این الگوها ممکن است از یک نوار جذبی تشکیل شده باشد (مانند Fe) و یا اغلب از گروه‌هایی از نوارها باشند که هرکدام از آنها نشانگر محل و عمق وابسته به خود هستند (مانند HF) (شکل۴). اهمیت و کشف این الگوها براساس بررسی‌های طیف‌سنجی صورت گرفته روی کانی‌ها و تلفیق این بررسی‌ها با آنالیزهای سنگ‌شناسی و شیمیایی بنا شده است. در نتیجه‌ی هر الگو به فرایند فیزیکی خاصی در یون، مولکول، یا گروه عناصر در کانی‌های مشخص وابسته است [۸]. جدول ۱ فرایندهای مولکولی و الکترونی که عامل الگوهای جذب مشاهده شده در طیف‌های سنگ‌ها در گستره‌ی بازتابی را به صورت خلاصه ارائه می‌کند.

مرسوم‌ترین نوارهای جذبی کانی‌ها در گستره‌ی طول موج‌های ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر، ناشی از یون‌های آهن فریک (Fe^{3+}) و فرو (Fe^{2+}) در آهن اکسیدها و سیلیکات‌های مافیک، یون هیدروکسیل (OH^{-1}) در هیدروکسیدها و رس‌ها، H_2O در کانی‌های آبدار، یون CO_3^{-2} در کربنات‌ها و یون SO_4^{-2} سولفات در کانی‌های سولفاتی است. اختلاف موجود در طیف‌های کانی‌های سیلیکاتی، کربناتی، سولفیدی و سولفاتی در گستره‌ی طول موج‌های ۰/۴ تا ۲/۵، ۳ تا ۵ و ۸ تا ۱۴ میکرومتر را می‌توان برای نقشه برداری ترکیبی در دورسنجی چندطیفی به کار گرفت. برخی کانی‌ها مشخص‌تر از دیگر کانی‌ها هستند، ولی در صورتی که نوارهای طیفی کافی در این گستره‌ی طول موج‌ها در دسترس باشد، بسیاری از کانی‌ها یا تقریباً همه‌ی آن‌ها را می‌توان به طور جداگانه تشخیص داد [۱۶].

الگوهای جذب معمولاً با هم ترکیب شده تا سرشتی‌های گروه‌های نمونه را با دقت و جدا از هم ارائه دهند که از این ترکیب‌ها در آنالیز و بررسی نمودارها به عنوان گونه‌های طیفی یا "الگوهای طیفی نهایی" یاد می‌شود (شکل۵).

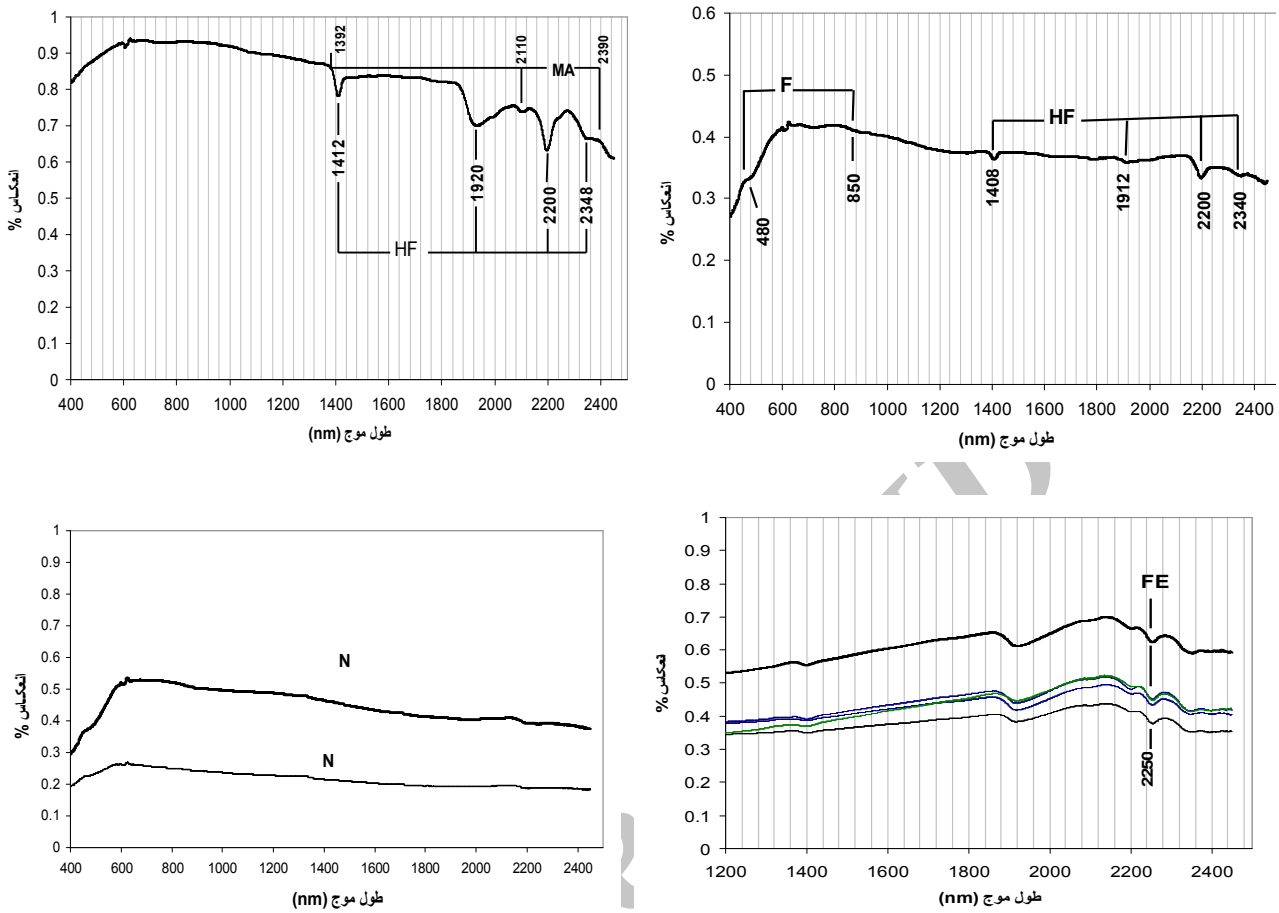




شکل۳ الف) مشخص کردن دو بازه طول موج ب) محاسبه میزان جذب

Archive of SID

www.SID.ir

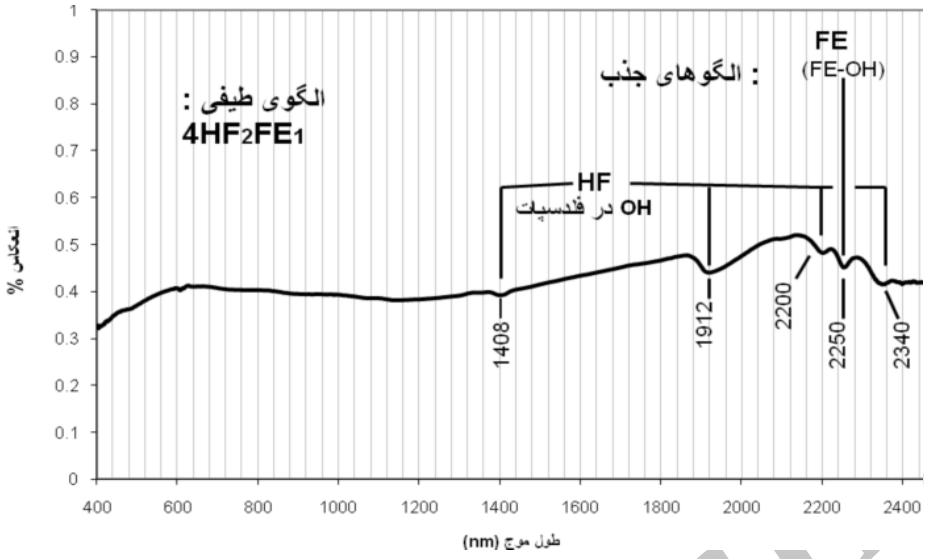


شکل ۴ اغلب الگوهای جذبی مشخص و مشاهده شده در طیف‌های انعکاسی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (برای شرح الگوها به جدول ۱ مراجعه کنید).

جدول ۱ الگوهای جذب طیفی و فرایندهای فعل و انفعالی در طول موج های مرئی - مادون قرمز کوتاه[۸].

الگوی جذب	طول موج‌های جذبی	فرایندهای فعل و انفعالی موثر بر روی طول موج‌های جذبی
F	۸۵۰٫۱۲۰۰-۴۲۰٫۴۳۰-۴۸۰٫۵۰۰- ۶۸۰٫۶۵۰	اثرات میدان بلور Fe^{+3}/Fe^{+2} در اکسیدها و هیدروکسیدها
L	۶۸۰	انتقال بار π-π در کلروفیل
CA	۲۳۳۴٫۲۳۳۶-۱۷۵۲٫۱۷۶۰-۱۸۸۰-۱۹۹۰٫۱۹۹۸-۲۱۵۶٫۲۱۶۰	حالت‌های ارتعاشی CO_3^{2-} در کلسیت
CD	۲۳۱۶٫۲۳۱۸-۱۷۴۰٫۱۸۶۰-۱۹۷۰٫۱۹۷۸-۲۱۳۶٫۲۱۴۰	حالت‌های ارتعاشی $CO3^{2-}$ در دولومیت
CI	۲۳۱۶٫۲۳۳۶	حالت‌های ارتعاشی $CO3^{2-}$ در کلسیت - دولومیت
HE	۱۵۴۰-۱۸۲۸	حالت‌های ارتعاشی OH^- در اپیدوت
HF	۱۹۱۲-۱۴۰۸-۲۲۰۰-۲۳۴۰-۲۴۳۲	ارتعاش H_2O و OH^- در فلدسپات‌ها
HFc	۱۹۱۲-۱۴۰۸-۲۳۴۸-۲۲۵۶-۲۱۸۸	ارتعاش H_2O و OH^- در فلدسپات‌های کلسیم‌دار
AM	۲۲۰۰-۱۴۰۴-۲۳۴۴-۲۴۲۸-۲۱۲۰(۱۹۰۴)	حالت‌های ارتعاشی AL-OH و -OH در مسکویت
AK	۱۳۹۲-۱۴۰۸-۲۱۶۰-۲۲۰۰-۲۳۰۸-۲۳۷۲	ارتعاش OH^- و AL-OH– در کائولینیت
MA	۲۳۰۸-۲۳۸۸-۱۳۹۲-۲۱۱۶-(۲۴۶۸)	ارتعاش Mg-OH در آمفیبول‌ها
Fe	۲۲۵۰	ارتعاش Fe-OH در اپیدوت‌ها، بیوتیت، تورمالین، کلرایت و فلوگوپیت
N		طیف صاف و تقریبا بدون جذب

www.SID.ir



شکل۵ طیف انعکاسی با الگوهای جذب، الگوی طیفی و فرایندهای جذبی موثر در شکل گیری الگوهای طیفی.

ارتباط بین میزان الگوهای جذب و آنالیزهای ژئوشیمیایی

سنگ‌ها از کانی‌ها تشکیل شده‌اند، بنابراین طیف بازتابی یک سنگ را می‌توان از ایجاد یک ترکیب خطی از طیف‌های بازتابایی اجزای کانیایی سنگ و وزن‌دهی به آن‌ها بر اساس درصد جرمی کانی مورد نظر در سنگ، برآورد کرد. هنگامی که سنگ‌ها تقریباً تک کانیایی باشند، طیف بازتابی آن‌ها در گستره‌ی طول موج‌های ۲ تا ۲۵ میکرومتر شباهت زیادی به طیف کانی اصلی آن‌ها دارد [۱۶].

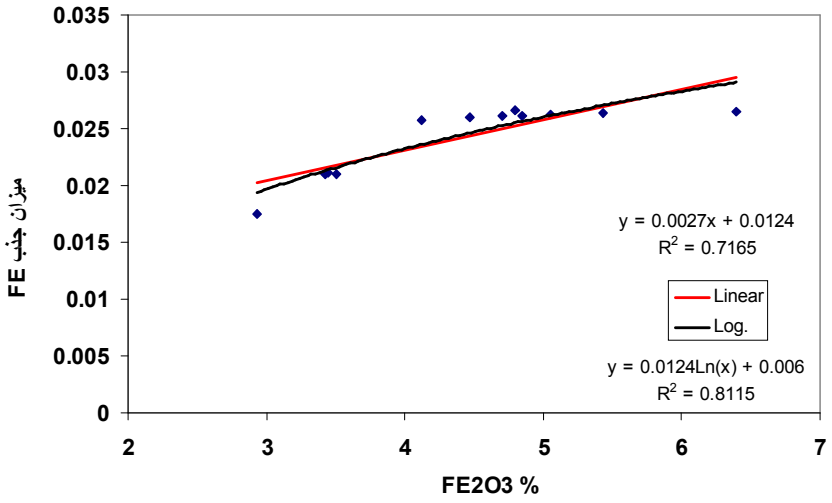
تعداد ۱۲ نمونه سنگ آنالیز ژئوشیمیایی شدند، و از میان عناصر و فاکتورهای این آنالیز، میزان Fe_2O_3 و نیز میزان LOI (یا میزان کل شاره‌های درون نمونه) برگزیده شدند تا بین این دو و دو الگوی جذبی غالب در این پژوهش یعنی Fث و HF (جدول ۱) ارتباط معنی‌داری را پیدا کنیم. میزان جذب الگوی طیفی HF و نیز میزان جذب الگوی طیفی Fe برای همان نمونه‌ها محاسبه شدند (جدول شماره ۲) و سرانجام بین میزان Fe_2O_3 و الگوی طیفی Fe ارتباط وایازی خطی معنی‌داری با $R^2 = 0.71$ و لگاریتمی ۰/۸۱ مشاهده شد. بین میزان LOI (کل شاره‌های داخل نمونه) و الگوی جذبی طیفی HF نیز ارتباط وایازی خطی با $R^2 = 0.76$ برقرار بود. (شکل ۶ و ۷)

جدول ۲ آنالیز ژئوشیمیایی و الگوهای جذب طیفی ۱۲ نمونه سنگ.

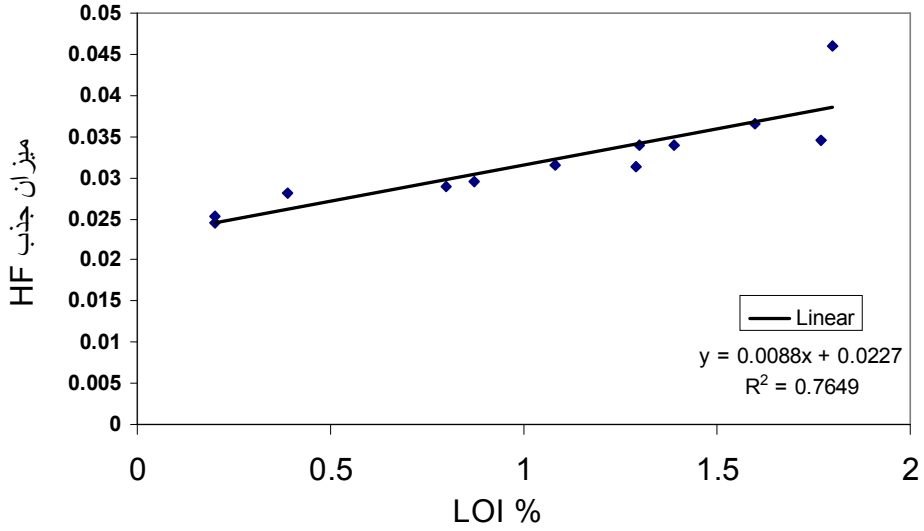
نمونه	میزان جذب الگوی طیفی Fe	Fe_2O_3 % ±0.01	میزان جذب الگوی طیفی HF	LOI % ±0.01
گرانودیوریت۱	۰/۰۲۶۱۵	۴/۸۵	۰/۰۳۶۵۲۵	۱/۶
گرانودیوریت۲	۰/۰۲۶۳۹	۵/۴۳	۰/۰۳۴۵۳۷	۱/۷۷
گرانودیوریت۳	۰/۰۲۶۳	۵/۰۵	۰/۰۳۱۴۶۸	۱/۰۸
گرانودیوریت۴	۰/۰۲۶۴۵	۶/۴	۰/۰۲۸۸۹۲	۰/۸
گرانیت گنیس۱	۰/۰۲۶۶۵	۴/۸	۰/۰۴۶۰۱۷	۱/۸
گرانیت گنیس۲	۰/۰۲۵۷۸۴	۴/۱۲	۰/۰۲۸۱۵۵	۰/۳۹
گرانیت گنیس۳	۰/۰۲۶۰۶	۴/۴۷	۰/۰۲۵۳۶۴	۰/۲
گرانیت گنیس۴	۰/۰۲۶۱۷	۴/۷۱	۰/۰۲۹۴۵	۰/۸۷
گرانیت۱	۰/۰۰۲۱	۳/۵۱	۰/۰۳۱۳۲۱	۱/۲۹
گرانیت۲	۰/۰۱۷۵۵۵	۲/۹۳	۰/۰۳۴	۱/۳۹
گرانیت۳	۰/۰۲۰۹۷۸	۳/۴۲	۰/۰۳۳۸۷۹	۱/۳
گرانیت۴	۰/۰۲۱۱۱۲	۳/۴۴	۰/۰۲۴۴۸۹	۰/۲

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶ ارتباط بین میزان FE_2O_3 موجود درنمونه سنگ و میزان جذب الگوی طیفی FE.



شکل۷ ارتباط بین میزان کل سیالات (LOI) داخل نمونه سنگ و میزان جذب الگوی طیفی HF.

رده بندی طیفی و اهمیت سنگ‌شناسی در این رده بندی

تعداد ۱۸ الگوی طیفی از طیف بازتابی نمونه‌های سنگ تازه و برونزد برداشت و شناسایی شدند. از آنجایی که نمونه‌های سنگ منطقه فقط از چند الگوی محدود و مشخص (مثل HF و Fe) پیروی کرده و حاکی از ترکیب‌های کانیایی و ساختار یکسانی بودند این رده‌بندی طیفی تقریباً با رده‌بندی سنگ‌شناختی همخوانی داشت و گروه‌های کلی سنگ شامل دو گروه گرانیت، گروه هورنفلس و هورنفلس شیست وگروه اسلیت را در بر گرفت.

بر اساس محاسبات آماری رده‌های با قدرت بازتاب بر اساس بازتاب کلی طیف‌ها از حداقل ۷ درصد و حداکثر ۸۵ درصد بازتاب به صورت رده‌های با قدرت بازتاب در ۵ گروه رده‌بندی شدند. میزان جذب الگوی HF از صفر تا هشت درصد در سه گروه و میزان جذب الگوی Fe در دو گروه رده‌بندی شدند. (جدول ۳)

براین اساس چگونگی ارائه الگوهای طیفی برای رده‌بندی سنگ‌ها بدین صورت است که نخست عدد وابسته به رده‌ی با قدرت بازتاب سپس الگوی جذبی که بیشترین شدت را دارد همراه با رده وابسته به همین ترتیب آورده می‌شوند. بر این اساس نمونه‌های سنگ منطقه در ۱۸ رده‌ی طیفی رده‌بندی شدند (جدول۴).

www.SID.ir

جدول۳ کلاس‌های آلبدو، میزان جذب الگوی HF و میزان جذب الگوی FE.

کلاس آلبدو	میزان انعکاس
۱	<٪۱۰
۲	۱۰-۲۵ ٪
۳	۲۵ -۳۵ ٪
۴	۳۵-۴۵٪

کلاس Fe	میزان جذب
۰	./۰۰۲-./۰۰۷
۱	./۰۱۱-./۰۲۷

کلاس HF	میزان جذب
۰	<./۰۲
۱	./۰۲-./۰۴
۲	>./۰۴

جدول ۴ کلاس‌های طیفی نماینده نمونه‌های سنگ آذرین و دگرگون منطقه همدان.

شماره نمونه	نام نمونه	الگوی طیفی	الگوی جذب ۲	الگوی جذب ۱	کلاس آلبدو	میزان جذب Fe	میزان جذب HF	انعکاس کلی ٪
۱	گرانیت غیر هوازده	5HF2FeO	FeO	HF2	۵	۰/۰۰۶	۰/۰۵۳	۰/۵۹
۲	گرانیت تورمالین هوازده	5HF2FeO	FeO	HF2	۵	۰/۰۰۴	۰/۰۵۷	۰/۶۴
۳	گرانیت تورمالین غیرهوازده	5HF2MA	MA	HF2	۵	-۰/۰۰۱	۰/۰۴۵	۰/۸۳
۴	پگماتیت بدون تورمالین	5HF2		HF2	۵	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۵۱	۰/۶۵
۵	گرانیت میگماتیت ۱	5HF1		HF1	۵	-۰/۰۰۰۶	۰/۰۳۳	۰/۷۴
۶	گرانیت میگماتیت2	5HF1Fe1	Fe1	HF1	۵	۰/۰۱۷	۰/۰۳۸	۰/۵۸
۷	گرانیت بیوتیت دار	4HF2Fe1	Fe1	HF2	۴	۰/۰۲۱	۰/۰۴۸	۰/۴
۸	گرانیت گنیس	4HF2Fe1	Fe1	HF2	۴	۰/۰۲۷	۰/۰۴۶	۰/۴۲
۹	گابرو هوازده	4HF2FeO	FeO	HF2	۴	۰/۰۰۲	۰/۰۷۹	۰/۴۴
۱۰	گرانیت هوازده	4HF2		HF2	۴	۰/۰۰۱	۰/۰۶	۰/۳۸
۱۱	گرانودیوریت	4HF1Fe1	Fe1	HF1	۴	۰/۰۲۶	۰/۰۳۴	۰/۳۷
۱۲	شیست هوازده	4HF	F	HFO	۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۳۸
۱۳	شیست غیرهوازده	3HF1		HF1	۳	۰/۰۰۱	۰/۰۴۲	۰/۲۸
۱۴	شیست ترمولیت هوازده	3HFO		HFO	۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۸	۰/۲۸
۱۵	هورنفلس شیست هوازده	2HFFeO1	Fe1	HFO	۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۱۲
۱۶	هورنفلس گارنت	2HF0FeO	FeO	HFO	۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۱۸
۱۷	اسلیت هوازده	2N			۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۲۲
۱۸	هورنفلس شیست غیرهوازده	1N			۱	۰	۰	۰/۰۹

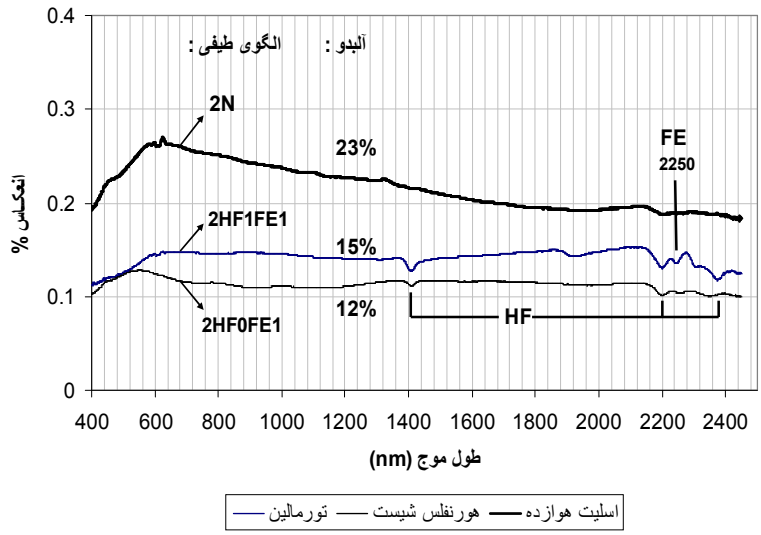
نکته قابل توجهی که در مورد مقایسه‌ی سه نمودار اسلیت هوازده، هورنفلس شیست و تورمالین توجه ما را به خود جلب کردند این است که سه نمونه در رده‌ی با قدرت بازتاب ۲ قرار گرفتند و در کل بازتاب بسیار ضعیفی نسبت به دیگر سنگ‌ها از خود نشان می‌دهند (شکل۲) و در مقایسه با اسلیت هوازده، اگرچه دو نمونه دیگر از بازتاب کلی ضعیف‌تری برخوردارند، ولی الگوهای جذب به خوبی خود را نشان داده و میزان جذب آن‌ها نیز با دقت محاسبه شد. در صورتی که اسلیت الگوی جذب قابل توجهی از خود نشان نمی‌داد. (شکل۸).

مقایسه‌ی سطوح سنگ ناهوازده و سطوح برونزد هوازده

طیف‌های سطوح هوازده، ویژگی‌های کانی‌های اصلی سنگ و فرایندهایی که در طول آخرین مراحل زمین‌شناسی روی سنگ تاثیر گذاشته است می‌شوند. با توجه به اینکه در بررسی‌های سنجش از دور، رخنمون‌های سنگی که در دید سنجنده قرار می‌گیرند موضوع شناسایی هستند، بنابراین باید طیف حاصل از نمونه‌های در معرض هوا قرارگرفته را ملاک قرارداد تا با بررسی طیف سطوح تازه و طیف سطوح در معرض هوا قرار گرفته را که دقیقاً از یک نوع هستند، و مقایسه‌ی تفاوت رفتار طیفی آندو بتوان میزان هوازدگی، دگرسانی یا دگرگونی برونزدهای منطقه‌ی مورد نظر را به درستی بررسی کرد [۸].

Archive of SID

www.SID.ir



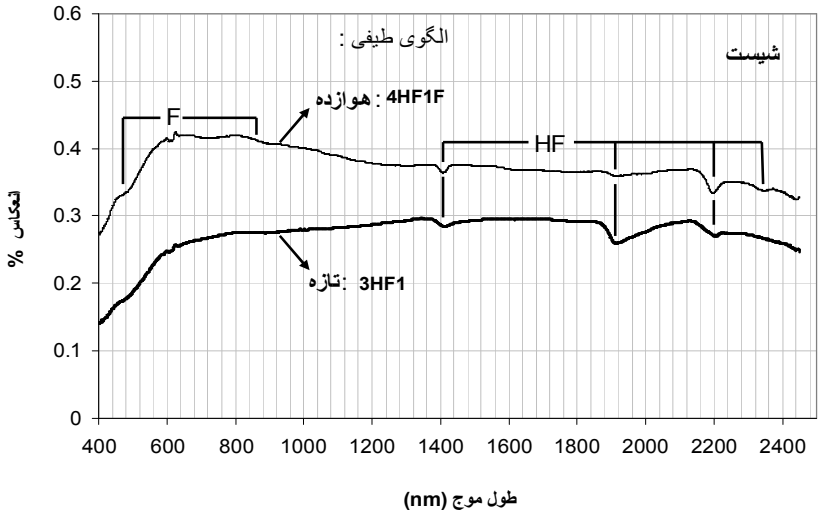
شکل۸ مقایسه طیف‌ها با توجه به الگوهای جذب،الگوی طیفی، کلاس آلبدو و شدت جذب.

بررسی و مقایسه‌ی طیف‌های سطوح تازه و هوازده‌ی منطقه‌ی همدان نشان از این داشت که اگرچه هوازدگی روی آنها معلوم است، ولی پوشش دگرسان چندانی زیادی روی آن‌ها شکل نگرفته است. جز در چند نمونه‌ی محدود که به خاطر فرایندهای اکسایش، الگوی طیفی را کمی تغییر داده و یا به خاطر تغییر بافت یا تشکیل پوشش رسی، به طور کلی میزان بازتاب را در گروهی از سنگ‌ها افزایش و در گروهی دیگر کاهش داده بودند، دو مجموعه طیف تغییر قابل چشمگیری نداشتند. به‌طور کلی تغییرات غالب و جزئی به‌خاطر ساختارهای جدید و افزوده شده، به خاطر یون‌های آهن (Ferric و Ferrous ion) و گروه Hydroxyle و آب، به وجود آمده‌اند (جدول ۱). این الگوها و شکل‌های وابسته به حضور و وجود اکسیدهای آهن، هیدروکسیدها و کانی‌های رسی (Clay) است و در برخی موارد به همراه جذب‌های سیانوباکتریا[1] به وجود می‌آیند. این فرایندها تغییرات و تنوع بالاتری در سطوح تازه ایجاد می‌کنند. تفاوت‌های مهمی که می‌توانند بین سطوح تازه و هوازده مشاهده شوند، با کائولینیزاسیون[2] فلدسپارها بوجود می‌آیند که الگوهای طیفی اصلی را به‌صورت یک ماسک کامل می‌پوشاند. در مجموعه‌ی نمونه‌ها، تغییرات پراکنده‌ای نیز در طیف هوازده با بازتاب بیشتر دیده می‌شود که به قانون بیر-لامبرت[3] وابسته است[۸].

بنابراین برای بیشتر سطوح برونزد، فرایندهای هوازدگی تغییر قابل توجهی در الگوهای غالب طیف‌های سطوح برونزد در مقایسه با سطوح تازه ایجاد نکرده است (شکل ۹). نکته قابل توجهی که در مقایسه دو مجموعه طیف در گروه‌های سنگ مشاهده شد این بود که در گروه سنگ‌هایی مثل گرانیت که نمونه‌ی تازه‌ی آن از قدرت بازتاب کلی بالایی برخوردار است، فرایند هوازدگی با تشکیل پوشش روی آن‌ها از قدرت بازتاب کلی کاسته و برعکس در مورد سنگ‌هایی مثل شیست و اسلیت که تیره‌ترند و از قدرت بازتاب بسیار کمتری برخوردارند فرایند هوازدگی با تشکیل پوشش رسی، قدرت بازتاب کلی را در نوع هوازده افزایش داده است. با مقایسه دو نمودار گرانیت تازه و هوازده، در وهله اول به این نتیجه می‌رسیم که همانطور که مشخص است، نمونه‌ی تازه آن از بازتابی نسبتاً بالایی برخوردار است در حالیکه در نمونه‌ی برونزد هوازده میزان بازتاب تقریباً ۲۰ درصد کاهش یافته است و نمودار به ویژه در بخش مرئی (۷۰۰-۴۰۰ نانومتر) مسطح شده و آن جهش بزرگ که در نمودار نوع تازه مشاهده می‌شود یکنواخت و هموار شده است. نوارها و الگوهای جذبی، به جز تغییر بسیار جزئی در عمق جذب، تقریباً مشابه‌اند و نشان از این دارد که فرایندهای هوازدگی در سنگ‌های منطقه، در این جا گرانیت، اثر چندان جدی و اساسی که ساختار آن‌ها را به کلی دگرگون کند رخ نداده است. (شکل ۲ و ۹)

1 - Cyanobacteria
2 - Kaolinization
3 - Beer-Lambert

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۹ مقایسه الگوهای جذب، الگوهای طیفی و میزان آلبدوی کلی در طیف های دو سنگ شیست تازه و هوازده.

ارتباط بین الگوهای طیفی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی طیف‌ها بر اساس نوارهای سنجنده‌های فراطیفی و چندطیفی

رده‌بندی سنگ‌ها براساس الگوهای طیفی، ویژگی‌های طیفی غالب در یک نوع سنگ یا گروهی از سنگ‌ها را مشخص می‌کند. چنین رده‌بندی طیفی با طبیعت سنجنده‌های دورسنج سازگاری دارد و می‌تواند با پیش‌بینی واکنش آشکارسازهای طیف‌سنج، تفکیک در پردازش داده‌های سنجش از دور را امکان‌پذیر سازد. این همخوانی و شبیه‌سازی نیز برای بررسی الگوهای طیفی در سطوح هوازده علاوه بر سطوح تازه می‌تواند صورت گیرد تا احتمال و روش شناسایی و تمایز این گروه از سنگ‌ها در تصاویر فراطیفی و چند طیفی ارزیابی شود [۸]. برای دست‌یابی به این هدف، داده‌های طیفی ثبت شده با طیف سنج آزمایشگاهی براساس عملکرد آشکارسازهای دوسنجنده، یکی با قدرت تفکیک طیفی بالا و دیگری با قدرت تفکیک طیفی پایین شبیه‌سازی شد.

سنجنده‌ی هایپریون یک طیف‌سنج تصویری با تفکیک زمینی ۳۰ متر و عرض تصویر ۷/۷ کیلومتر با فواصل نواری ۱۰ نانومتر، طیف بازتابی خورشید را در گستره‌ی ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر می‌تواند ثبت کند. اطلاعات بیشتر در [۱۷].

ماهواره‌ی استر سنجنده‌ی چندطیفی پیشرفته‌ایست که ناحیه‌ی طیفی گسترده‌ای را با ۱۴ نوار از ناحیه‌ی مرئی تا فروسرخ گرمایی با قدرت تفکیک فضایی، طیفی و رادیومتری قابل قبولی را می‌پوشاند. از این ۱۴ نوار، ۹ نوار در گستره‌ی مورد سنجش و شبیه‌سازی ما قرار می‌گیرد. تفکیک فضایی آن نسبت به طول موج متفاوت است : ۱۵ متر در گستره‌ی مرئی - فروسرخ نزدیک، ۳۰ متر در گستره‌ی فروسرخ کوتاه، و ۹۰ متر در گستره‌ی فروسرخ گرمایی. هر صحنه از چارچوب استر گستره‌ای به بزرگی ۶۰×۶۰ کیلومتر مربع را می‌پوشاند (اطلاعات بیشتر در [۱۸، ۱۹]).

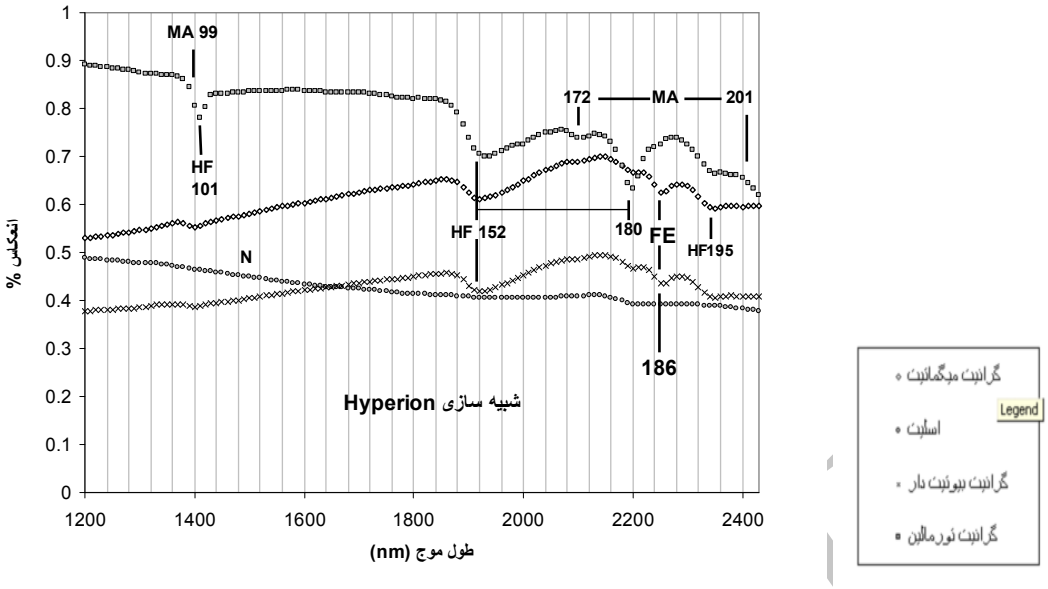
این شبیه‌سازی و تطابق صورت گرفت تا امکان شناسایی و تفکیک سنگ‌ها براساس الگوهای طیفی اصلی [۸] که دراین پژوهش مشخص شد در تصاویر فراطیفی و چندطیفی ارزیابی شود.

شکل ۱۰ قابلیت سنجنده هایپریون در نمایان کردن الگوهای جذبی غالب چند نوع سنگ را نشان می‌دهد چنان‌که در منحنی طیفی دیده می‌شود، الگوی جذبی HF خود را در نوارهای ۱۰۱، ۱۵۲، ۱۸۰و ۱۹۵ به خوبی نشان می‌دهد. الگوی MA نیز با جذب قابل توجهی خود را در نوارهای ۹۹، ۱۷۲ و ۲۰۱ حفظ کرده است. Fe نیز در نوار ۱۸۶ دیده می‌شود.

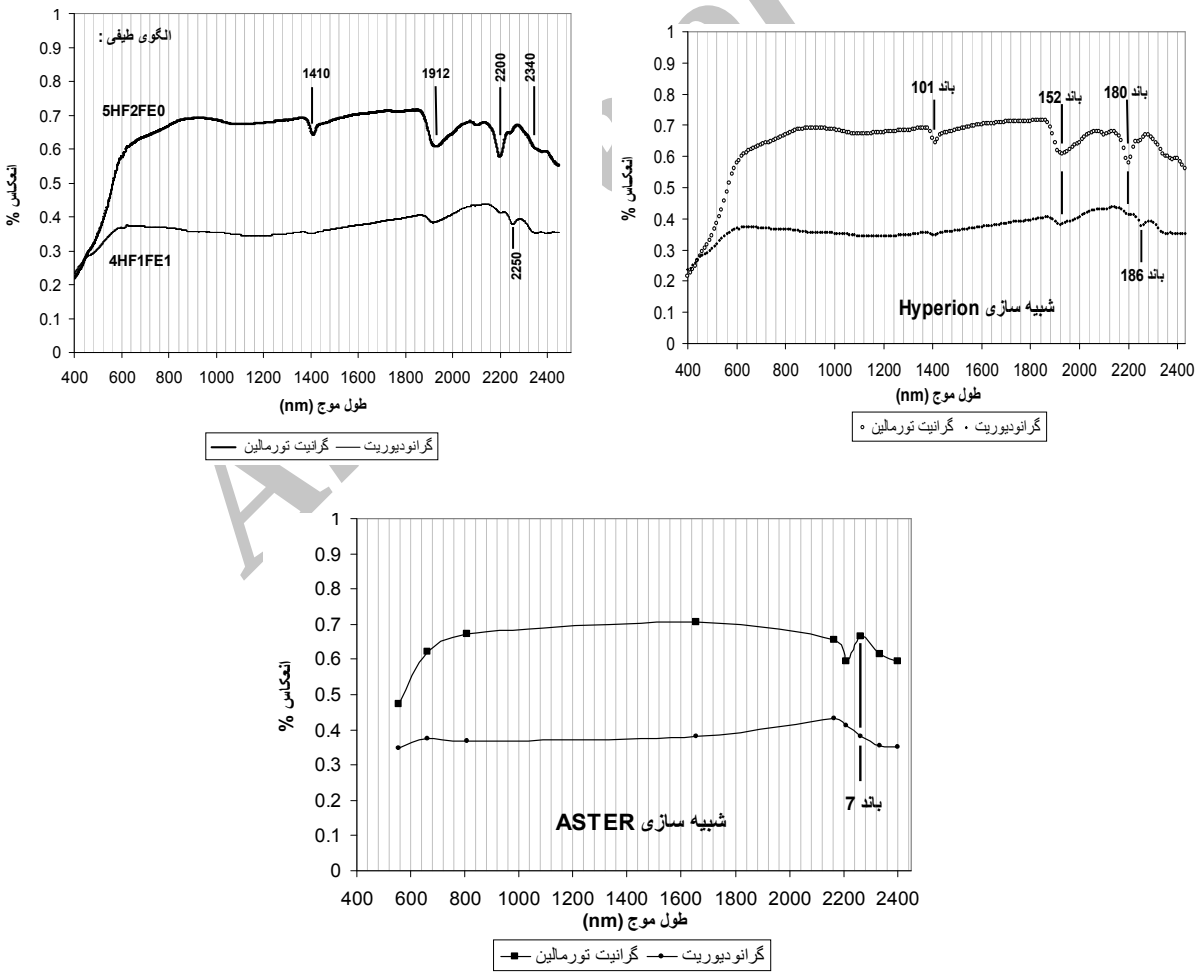
شکل ۱۱ نمودارهای طیفی دو نوع سنگ گرانودیوریت و گرانیت تورمالین را نشان می‌دهد این شکل شامل نمودار طیفی ثبت شده با طیف سنج فیلدسپک۳ با فواصل نواری ۱ نانومتر و شبیه‌سازی همان دو طیف بر اساس سنجنده هایپریون با فواصل نواری ۱۰ نانومتر و نیز شبیه‌سازی براساس نوارهای سنجنده استر است. طول موج های جذب الگوی HF در ۱۴۱۰، ۱۹۱۲، ۲۲۰۰و ۲۳۴۰ نانومتر در شکل نشان داده شدند. چنان‌که دیده می‌شود، الگوی HF و به‌خصوص در مورد گرانودیوریت در گستره‌ی گسترده و عمیقی که نوارهای ۱۰۱، ۱۵۲ و۱۸۰ روشن‌ترین آن است، در داده‌های هایپریون ثبت خواهد شد و از این اختلاف شدت جذب در این نوارها و به کارگیری کل منحنی طیفی می‌توان با دقت بیشتری آندو را

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰ شبیه سازی طیف‌های چند نمونه سنگ برونزد بر اساس عملکرد سنجنده فراطیفی Hyperion.



شکل۱۱ مقایسه طیف آزمایشگاهی با شبیه سازی همان طیف‌ها بر اساس دو سنجنده فراطیفی و چند طیفی.

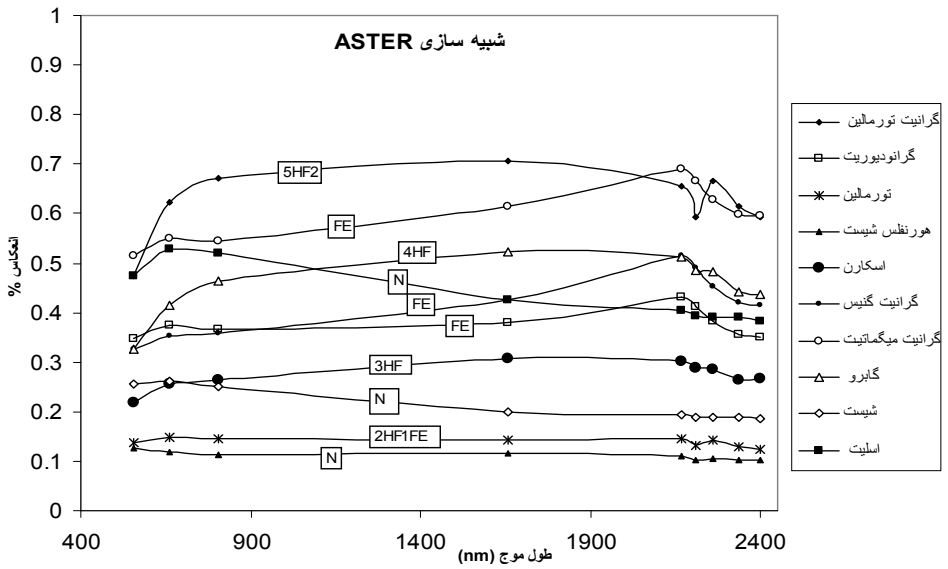
www.SID.ir

شناسایی کرد، حال آنکه در مورد استر و در همان طول موج‌ها به‌خاطر عدم سنجش یا به خاطر نوارهای عریض، الگوی HF را فقط در یک نوار (نوار ۶) آن هم با اختلاف اندک جذب حفظ کرده و شناسایی و تفکیک این دو سنگ را در این طول موج ها مقدور نمی‌سازد ولی الگوی Fe در نوار سنگ‌های آهن-دار در مقایسه با سنگ‌های مشابه که فاقد آن هستند و از بازتاب بیشتری در نوار ۷سنجنده استر برخوردارند خود را به-صورت قابل قبولی نمایان می‌کند و در دیگر طول موج‌ها منحنی تقریباً صافی به دست می‌آید و به نظر می‌رسد که نسبت نواری ۲ و ۱، ۷ و ۵ و نیز ملاحظه قدرت کلی بازتاب، ملاک‌های خوبی برای شناسایی و تفکیک این دو نمونه سنگ در تصاویر استر باشند.

شبیه‌سازی استر چند نمونه الگوی طیفی در شکل۱۲ نشان داده شده‌اند. این شبیه سازی و همخوانی، پتانسیل حسگرهای استر را برای بررسی تفاوت الگوهای طیف‌های سنگ‌های منطقه را نشان می‌دهد چنان‌که در شکل دیده می‌شود، این نمودارها نشان دهنده‌ی خاصیت‌های طیفی چند نوع سنگ نماینده‌اند. اگرچه این شبیه‌سازی محل دقیق تمام نوارهای جذب را حفظ نکرده است ولی ساختارهای جذب به ویژه در نوار ۶ و ۷ به علت تراکم نواری در این گستره‌ی طول موج، اختلاف نوارهای جذبی منحنی برخی از سنگ‌ها را حفظ کرده و با ملاحظه اختلاف کلی قدرت بازتاب، انتخاب نوارهای مناسب و محاسبه-ی نسبت‌های نواری، برخی از گروه‌های سنگ را می‌توان شناسایی و تفکیک کرد. الگوها و شکل ساختارهای جذبی، بخصوص ملاحظه‌ی قدرت بازتاب کلی، ویژگی‌های گروه‌های مختلف و متفاوت را مشخص می‌کند و این شبیه سازی‌ها و همخوانی طیف‌ها بر اساس عملکرد سنجنده‌ها کمک می‌کند تا تفاوت طیفی گروه‌های سنگ را برای شناسایی و تفسیر در تصاویر بکار بندیم [۸]. این گروه‌های سنگ بنابر شکل ۱۲ و نیز جدول رده‌بندی طیفی (جدول شماره۴) می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- گروه اول: سنگ‌های گرانیتی که از قدرت بازتاب آلبدوی کلی بالایی برخوردارند و الگوی جذبی HF نیز در نوار ۶ رخ می‌دهد.
- گروه دوم: سنگ‌های گرانیتی آهن‌دار که از قدرت بازتاب کلی بالایی برخوردارند و الگوی جذبی HF و Fe در نوار ۶ و ۷ رخ می‌دهند.
- گروه سوم: سنگ‌های اسلیت که از قدرت بازتاب متوسط به پائینی برخوردارند و هیچگونه نوار جذبی ندارند (الگوی N)
- هورنفلس و هورنفلس شیست‌ها که از قدرت بازتاب کلی پایینی برخوردارند و الگوهای جذبی نیز در آن ها رخ می‌دهد.

البته با بررسی دقیق‌تر نمودارهای طیفی، یافتن روابط و الگوهای خاص برای محاسبات آماری نیز می‌توان استفاده کرد. از طرف دیگر خود این طیف‌ها را نیز در الگوریتم‌های رده‌بندی به کارگرفت [۲۰].



شکل۱۲ شبیه سازی Aster طیف چند نمونه ازگروه‌های سنگ منطقه همدان جهت بررسی امکان تفکیک توسط این سنجنده.

www.SID.ir

جدول ۴ رده‌های طیفی نماینده نمونه‌های سنگ آذرین و دگرگون منطقه همدان.

شماره نمونه	نام نمونه	الگوی طیفی	الگوی جذب ۲	الگوی جذب ۱	کلاس آلبدو	میزان جذب Fe	میزان جذب HF	انعکاس کلی ٪
۱	گرانیت غیر هوازده	5HF2FeO	FeO	HF2	۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۵۳	۰٫۵۹
۲	گرانیت تورمالین هوازده	5HF2FeO	FeO	HF2	۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۵۷	۰٫۶۴
۳	گرانیت تورمالین غیرهوازده	5HF2MA	MA	HF2	۵	-۰٫۰۰۱	۰٫۰۴۵	۰٫۸۳
۴	پگماتیت بدون تورمالین	5HF2		HF2	۵	-۰٫۰۰۰۶	۰٫۰۵۱	۰٫۶۵
۵	گرانیت میگماتیت ۱	5HF1		HF1	۵	-۰٫۰۰۰۶	۰٫۰۳۳	۰٫۷۴
۶	گرانیت میگماتیت2	5HF1Fe1	Fe1	HF1	۵	۰٫۰۱۷	۰٫۰۳۸	۰٫۵۸
۷	گرانیت بیوتیت دار	4HF2Fe1	Fe1	HF2	۴	۰٫۰۲۱	۰٫۰۴۸	۰٫۴
۸	گرانیت گنیس	4HF2Fe1	Fe1	HF2	۴	۰٫۰۲۷	۰٫۰۴۶	۰٫۴۲
۹	گابرو هوازده	4HF2FeO	FeO	HF2	۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۷۹	۰٫۴۴
۱۰	گرانیت هوازده	4HF2		HF2	۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۶	۰٫۳۸
۱۱	گرانودیوریت	4HF1Fe1	Fe1	HF1	۴	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۴	۰٫۳۷
۱۲	شیست هوازده	4HF	F	HFO	۴	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۱۱	۰٫۳۸
۱۳	شیست غیرهوازده	3HF1		HF1	۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۴۲	۰٫۲۸
۱۴	شیست ترمولیت هوازده	3HFO		HFO	۳	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۱۸	۰٫۲۸
۱۵	هورنفلس شیست هوازده	2HFFeO1	Fe1	HFO	۲	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۲	۰٫۱۲
۱۶	هورنفلس گارنت	2HF0FeO	FeO	HFO	۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۵	۰٫۱۸
۱۷	اسلیت هوازده	2N			۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۹	۰٫۲۲
۱۸	هورنفلس شیست غیرهوازده	1N			۱	۰	۰	۰٫۰۹

برداشت

این کار پژوهشی برای بررسی و مقایسه‌ی الگوها و روابط طیفی سنگ‌های منطقه همدان با استفاده از فیلدسپک ۳ به منظور آنالیز، گروه بندی و تفکیک این عوارض در داده‌های ماهواره‌ای صورت گرفت. با تفسیر نمودارهای طیفی سنگ‌ها و الگوهای جذب در ناحیه‌ی طول موج مرئی- فروسرخ کوتاه و ارتباط نوارهای جذب به ساختار و ترکیب‌های سنگ، نمودار طیفی آن‌ها با هم مقایسه شدند و در رده‌های طیفی مشخصی قرار گرفتند و با شبیه‌سازی داده‌ها بر اساس دو سنجنده‌ی فراطیفی و چند طیفی، قابلیت آن دو مورد بررسی و مقایسه شدند. نتایج حاکی از حفظ الگوهای جذب به خاطر نوارهای باریک و درنتیجه حفظ الگوی نهایی طیفی در سنجنده‌های با قدرت طیفی بالا مثل هایپریون است که قطعاً ما را در آشکارسازی و شناسایی سنگ‌ها با استفاده از تعیین محل دقیق طول موج‌ها توانمند می‌کند. در مقابل سنجنده استر به خاطر نوارهای پهن و در نتیجه قدرت تفکیک طیفی بسیار ضعیف در مقایسه با نوع قبلی، شکل نوارهای جذب را به‌درستی حفظ نکرده و الگوهای جذب در طیف نهایی محو شدند. به هرحال

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت اصلی در استفاده از تصاویر استر، آشکارسازی فقط تعداد محدودی از گروه‌های کلی سنگ است و تمایز جزئیات با تشخیص محل دقیق طول موج ها و نوارهای جذبی امکان پذیر نیست. این کار پژوهشی می‌تواند اساس پژوهش‌های دیگر در زمینه‌ی دورسنجی و نیز نواحی مشابه قرار گیرد.

قدردانی

نویسندگان مقاله کمال سپاسگزاری و تشکر را از سردبیر محترم مجله جناب آقای دکتر تجبر، هیات تحریریه و داوران محترم دارند. نظرهای ایشان سبب بهبود سطح علمی مقاله شده است.

مراجع

[1] Hunt G.R., Salisbury J.w., *"Visible and near – infrared spectra of minerals and rocks: XII. Metamorphic rocks",* Modern Geology 5(1976) 219-228.

[2] Salisbury J., Walter W., Louis S., Vergo Norma, *"Availability of a library of infrared (2.1-25.0 pm) mineral spectra"*, American Mineralogist 74(1989) 938-939.

[3] Clark R.N., *"Spectroscopy of Rocks and Minerals; and Principles of Spectroscopy",* Manual of Remote Sensing. Remote Sensing for the Earth Sciences, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, 3(1999) 3- 58.

[4] Salvi S., Mazzarini F., Doumaz F., *"Spectral Reflectance measurements of geological materials in northern Victoria Land, Antarctica",* AIT Informa, Rivista Italiana di Telerilevamento 23(2001) 45-54.

[5] http://speclab.cr.usgs.gov/

[6] Povarennykh A.S., *"The use of infrared spectra for the determination of minerals"*, American Mineralogist 63(1987) 956-959.

[7] Kruse F.A., A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon, A.F. H. Goetz, *"the Spectral Image Processing System(SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data",* REMOTE SENS. ENVIRON 44(1993)145-163.

[8] Longhi I., Sgavetti M., Chiari R., Mazzaoli C., *"Spectral analysis and classification of metamorphic rocks from laboratory reflectance spectra in the 0.4-2.5 μm interval: a tool for hyperspectral data interpretation",* Taylor & Francis Ltd. INT. J. REMOTE SENSING. 22(2001) 3763-3782.

[9] Mohajjel M., Fergusson C.L., *"Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sandandaj-Sirjan Zone, western Iran"*, J. Struct. Geo. 22(2000) 1125-1139.

[10] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., *"Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran",* J. Asian Earth Sci. 21(2003) 397– 412.

[۱۱] سپاهی گرو ع.، *"پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با نگرشی ویژه بر گرانیتوئیدها"*، رساله دکتری(۱۳۷۸)، دانشگاه تربیت معلم تهران، گروه زمین شناسی.

[۱۲] بهاری فر ع.، معین وزیری ح.، *"بحثی درمورد منشا و محیط زمین شناختی گرانیتوئیدهای ایران با تکیه بر مثالهایی از محور سنندج-سیرجان"*، مجموعه مقالات چهارمین همایش سالانه انجمن زمین شناسی ایران(۱۳۷۹)، تبریز، ص ۵۴۱-۵۳۹.

[۱۳] صادقیان م.، *"بررسی پترولوژی سنگ های آذرین و دگرگونی منطقه چشمه قصابان همدان"*، پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۷۳)، دانشگاه تهران. گروه زمین شناسی.

[14] Grove C.I., Hook S.J., Paylor E.D., *"Laboratory reflectance spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.0 micrometers",* JPL Publication, (Pasadena, California: Jet propulsion Laboratory), (1992), 92-102.

[15] Rueda C.A., Wrpna A.F., *"SAMS (Spectral Analysis and Management System) User's Manual",* Center for Spatial Technologies and Remote Sensing Department of Land, Air, and Water Resources University of Califor nia, Davis, Version 2.0 (2003) 21-22.

[16] Vincent R.K., Rowan L.C., Gillespie R.E., C. Knapp, *"Thermal-Infrared spectra and chemical*

Archive of SID

www.SID.ir

analyses of twenty-six igneous rock samples", Remote Sensing of Enviroment 4(1975) 199-209.
[17] http://eo. usgs.gov/
[18] Abrams M., Hook S., *"ASTER User Handbook",* Version 2, NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, (1998) 6-10.
[19] http://asterweb.jpl.nasa.gov/
[۲۰] حسن‌شاهی حسین، رنگزن کاظم، ساکی عادل، مجردی برات، *"آنالیز و شبیه‌سازی طیفی سنگ‌های منطقه همدان با استفاده از دستگاه طیف‌سنج زمینی Fieldspec3؛ ابزاری برای مطالعات دورسنجی"*، مجموعه مقالات هفدهمین همایش ژئوماتیک ایران (۱۳۸۹)، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۰ صفحه.

Archive of SID

www.SID.ir