

# بررسی کارایی روش نقشه‌بردار زاویه طیفی در پردازش‌های ابر طیفی جهت تفکیک آمیزه‌های رنگی - مطالعه موردی افیولیت‌های شرق طبس مسینا (شرق بیرجند)

حسین فلاحی<sup>(\*)</sup>، سید حسام‌الدین معین‌زاده میرحسینی<sup>۲</sup> و غلامرضا فتوحی راد<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی پترولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. استادیار بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. استادیار بخش معدن دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱

تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۲

## چکیده

مناطق نزدیک به زون برخورد، لیتولوژی متفاوتی نسبت به دیگر مناطق دارند. در چنین مناطقی به علت تنوع سنگی زیاد، برافراشتگی‌های شدید و درهم‌ریختگی واحدها، نقشه‌برداری نیازمند ابزارها و مطالعات گسترده و دقیقی است. از جمله پیشرفته‌ترین ابزارها در این زمینه می‌توان به سنجنده‌های ابر طیفی اشاره کرد که با تصویربرداری صدها باند ظریف و پیوسته در طول موج‌های مرئی و فروسرخ، امکان شناسایی بسیاری از عوارض سطح زمین با وجود مشابهت‌ها و پیچیدگی‌های طیفی را فراهم می‌آورند. در مطالعه حاضر به منظور نخستین بررسی کارایی داده‌های ابر طیفی سنجنده هایپریون در تفکیک واحدهای سنگی مذکور در ایران، روش طیف مبنای نقشه‌بردار زاویه طیفی انتخاب و بر روی تصویر هایپریون منطقه طبس مسینا در شرق بیرجند اعمال گردید. بر اساس مطالعات میدانی - آزمایشگاهی متعدد صورت گرفته لیتولوژی منطقه مورد مطالعه را می‌توان به ۵ گروه کلی شامل مجموعه افیولیتی، واحدهای دگرگونی، واحدهای ولکانیکی الیگومیوسن تا پلیوکواترنری، واحدهای فلیشی و آهکی تفکیک کرد. واحدهای آذرین منطقه شامل مجموعه افیولیتی کرتاسه و مجموعه آتشفشانی جوان (الیگومیوسن و پلیوسن - کواترنری) می‌باشد. رخنمون‌های پراکنده‌ای از سنگ‌های دگرگونی در بخش‌هایی از مجموعه افیولیتی دیده می‌شود منتها بخش اعظم این سنگ‌ها در زون دگرگونی شرق افیولیت قرار دارند. به منظور محاسبه میزان صحت نتایج پردازش بر روی داده‌های ابر طیفی منطقه نقاطی به شکل پراکنده در واحدهای سنگی مذکور تحت نمونه‌برداری و مورد بررسی میدانی مکانمند قرار داده شدند. نمونه‌ها در مقطع میکروسکوپی و بعضاً توسط دستگاه الکترون میکروپروب تحت آنالیز قرار گرفته و بر این اساس نقاط معیار جهت محاسبه صحت نتایج پردازش به دست آمد. بنا بر محاسبات انجام شده ضریب صحت عامل روش نقشه‌بردار زاویه طیفی بر روی داده‌های ابر طیفی سنجنده هایپریون (Hyperion) در بخشی از آمیزه‌های رنگی شرق ایران به طور متوسط به بیش از ۶۴ درصد می‌رسد که نسبت قابل قبولی در تفکیک واحدهای پیچیده آمیزه‌ای به حساب می‌آید.

واژه‌های کلیدی: افیولیت، تصاویر ابر طیفی، شرق ایران، نقشه‌بردار زاویه طیفی

## مقدمه

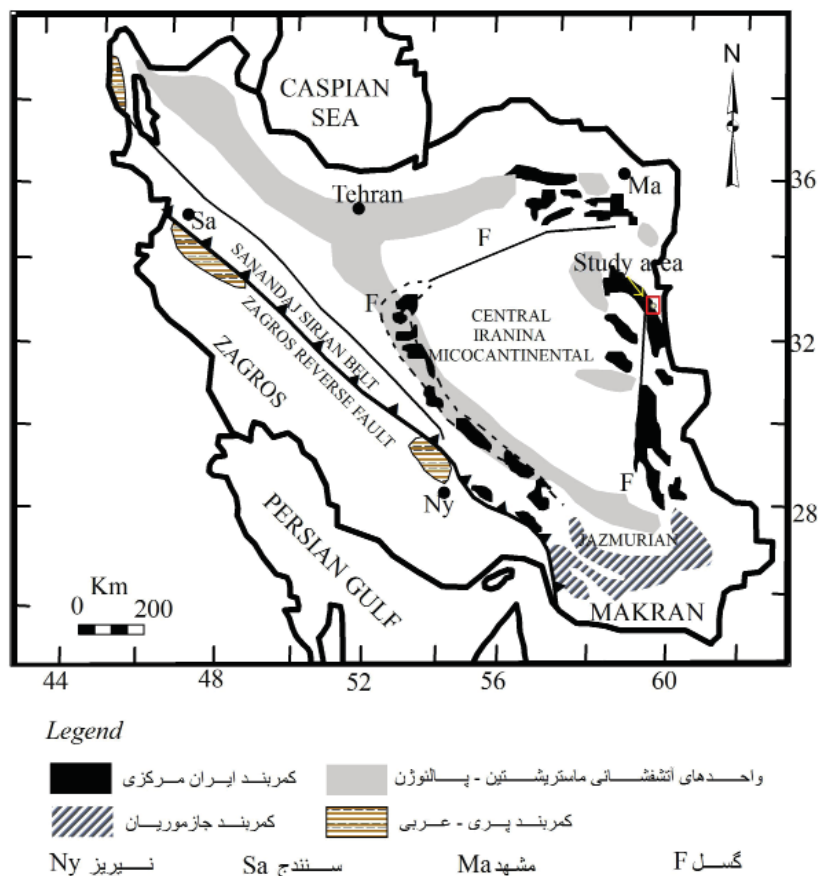
را با الگوهای متفاوتی جذب، منعکس یا منتشر می‌کنند. با استفاده از روش‌های طیف‌نگاری الکترومغناطیس می‌توان پاسخ طیفی مواد و کانی‌های مختلف را به صورت نمودارهای پیوسته‌ای در محدوده وسیعی از طیف الکترومغناطیس بدست آورد. این نمودارها به‌عنوان الگوهایی برای شناسایی مواد مختلف و ترکیب آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Clark et al., 1993). سنجنده‌های ابر طیفی توانایی تصویربرداری در تعداد بی‌شماری از باندهای طیفی با پهنای بسیار باریک را دارا می‌باشند. در نتیجه نمودارهای طیفی حاصل از این سنجنده‌ها می‌تواند برای شناسایی ویژگی‌های جذبی موادی که تنها در محدوده طیفی بسیار باریک قابل شناسایی و تفکیک از یکدیگر هستند به کار رود. به لحاظ به‌هم‌ریختگی، تنوع سنگی زیاد و برافراشتگی واحدهای سنگی در مناطق فرورانش، نقشه‌برداری و تفکیک واحدهای افیولیت آمیزه‌های رنگی به‌سختی صورت می‌پذیرد لذا نقشه‌برداری ابر طیفی مبتنی بر عملیات صحرائی می‌تواند به‌عنوان ابزاری پیشرفته و مناسب در این راستا نقش به‌سزایی داشته باشد.

## سنجنده هایپریون<sup>۱</sup>

سنجنده هایپریون اولین سنجنده ابر طیفی فضا برد است که بر روی سکوی ماهواره EO-1 قرار دارد. تصاویر هایپریون در

مجموعه‌های افیولیتی ایران قسمتی از کمربند افیولیتی خاورمیانه هستند که به دیگر افیولیت‌های آسیا نظیر پاکستان در شرق و افیولیت‌های ناحیه مدیترانه از جمله ترکیه، تروئوس-یونان و شرق اروپا در غرب متصل می‌شود (Ghazi et al., 2004). بسیاری از این افیولیت‌ها دارای توالی واقعی از مجموعه افیولیتی بیان‌شده بوده و بعضی از آن‌ها نیز فاقد این توالی بوده و یا به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی تحمیل شده به آن‌ها به آمیزه رنگین تبدیل شده‌اند. افیولیت‌های ایران بر اساس سن و فراوانی به گروه‌های زمانی پالئوژئیک (Weber-Diefenbach et al., 1984) و مزوزوئیک (Arvin and Robinson, 1994) تقسیم‌بندی گردیده‌اند (شکل ۱). افیولیت‌های مزوزوئیک از جمله فراوان‌ترین افیولیت‌های ایران به شمار می‌روند که منطقه مورد مطالعه جزء همین افیولیت‌ها هستند.

تصویربرداری ابر طیفی یا اسپکترورادئومتری، فناوری است که برای بدست‌آوردن اطلاعات طیفی مواد سطح زمین به کار گرفته می‌شود. روش اسپکترورادئومتری بر پایه واکنش ساختار مولکولی سطح مواد در مقابل امواج الکترومغناطیس تابنده به سطح، بنا نهاده شده است. مواد طبیعی سطح زمین نیز بر اساس ترکیب و ساختار خود طیف‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی



شکل ۱. نقشه پراکندگی کمربندهای افیولیتی مزوزوئیک ایران (برگرفته از Shaker Ardekani et al., 2009)

گرفته است. در بررسی منابع، موردی از مطالعات دورسنجی در منطقه مشاهده نگردیده و پژوهش حاضر به‌عنوان ابتدایی‌ترین مطالعات سنجش از دور ابر طیفی مبتنی بر مطالعات میدانی در منطقه صورت پذیرفته است. همچنین از جنبه موضوعی پژوهش حاضر اولین مطالعه سنجش از دور ابر طیفی در ایران است که کارایی داده‌های ابر طیفی در تفکیک واحدهای آمیزه‌های رنگی را مورد توجه قرار داده است.

### زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه‌ای

محدوده مورد بررسی و مطالعه، در زون ساختاری سبزوار - سیستان (McCall and Kidd, 1982; Tirrul et al., 1983) در شرق بیرجند و طول‌های جغرافیایی خاوری "۳۰' ۱۵' ۶۰° و "۰۰' ۱۹' ۶۰° و عرض‌های جغرافیایی شمالی "۰۰' ۴۹' ۳۹° و "۰۰' ۵۱' ۳۹°؛ در شرق شهرستان طبس مسینا واقع شده است. در زون ساختاری سبزوار - سیستان سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی گسترش نسبتاً خوبی از خود نشان می‌دهند. سنگ‌های آتشفشانی کالک آلکالن با سن کرتاسه پسین - پالئوسن در بخش شرقی و شمال شرقی پهنه سیستان دیده می‌شوند. این سنگ‌ها که در بخشی از بلوک افغان نیز یافت شده است، می‌تواند در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان باشد (Tirrul et al., 1983). از میان مجموعه سنگ‌های آتشفشانی این پهنه که از ائوسن تا پلیوسن فوران کرده‌اند، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن - الیگوسن که شامل آندزیت‌های پورفیری، آذرآواری‌ها و گدازه‌های داسیتی می‌باشند، از درصد حجمی بیشتری برخوردارند. قدیمی‌ترین سنگ‌های آذرین شناخته شده در این پهنه تحت عنوان گروه چشمه استاد نامیده شده است (Tirrul et al., 1983). سنگ‌های چشمه استاد بطور کلی بیانگر خصوصیات افیولیتی می‌باشند ولی به دلیل نبود واحدهای الترامافیک و گابروهای لایه‌ای در این مجموعه، نمی‌توان این مهم را به این گروه اطلاق داشت. علاوه بر نفوذی‌های گروه چشمه استاد، نفوذی‌های کالک آلکالن با سن ائوسن فوقانی - الیگوسن زیرین از جمله نفوذ گرانبه زاهدان با روند شمال غرب به درون رسوبات آواری دریایی کمی دگرگون شده کمپلکس نه<sup>۲</sup> اشاره داشت (Camp and Griffis, 1982). جدیدترین فعالیت آتشفشانی در پهنه ساختاری سیستان، البوین بازالت‌های کواترنری است که در بخش شمالی این پهنه بر روی واحدهای قدیمی‌تر ریخته شده‌اند. مجموعه مورد مطالعه، یک مجموعه افیولیتی است که سنگ‌های متعلق به این مجموعه با رسوبات نوع فلیش دگرگون شده و فاقد دگرگونی مخلوط شده‌اند، بطوری که بخش اعظم توالی پوسته ای افیولیت مذکور نیز متحمل دگرگونی شده است. در بخش شرقی افیولیت شرق ایران و در سراسر آن یک زون دگرگونی مشخص وجود دارد که سنگ‌هایی از رخساره‌های شیست سبز، اپیدوت آمفیبولیت، آمفیبولیت، شیست آبی و اکلوزیت در آن

۲۴۲ باند ظریف در طول موج‌های مابین ۳۵۶ تا ۲۵۷۷ نانومتر و با توان تفکیک طیفی ۱۰ نانومتر برداشت می‌شوند. از مجموع ۲۴۲ باند تصویربرداری شده توسط سنجنده هایپریون تنها ۱۹۸ باند کالیبره شده و مورد پردازش هستند. قدرت تفکیک مکانی سنجنده هایپریون ۳۰ متر است و میزان پوشش سطحی یک تصویر هایپریون به صورت نوار باریکی با عرض ۷/۷ کیلومتر و طول ۱۸۵ یا ۴۲ کیلومتر می‌باشد که بسته به نوع سفارش محلی برداشت می‌شود (Pearlman et al., 2003). از جمله علمی که می‌توان از فن‌های تصویربرداری ابر طیفی یا اسپکترورادیمتری سنجنده هایپریون در آن بهره گرفت علوم زمین‌شناسی است که با استفاده از داده‌های ابر طیفی به‌خوبی می‌توان الگوی طیفی واحدهای سطحی زمین را مورد مطالعه و تفکیک قرار داد. سنجنده هایپریون از فناوری پوش بروم<sup>۱</sup> در تصویربرداری استفاده می‌کند و در هر فریم تصویری محدوده‌ای به عرض ۷/۷ کیلومتر در جهت عمود بر حرکت را برداشت می‌کند. به این ترتیب با حرکت سنجنده، اطلاعات طیفی اشیاء و پدیده‌های گوناگون موجود در سطح زمین در فریم‌های تصویری متوالی به‌صورت مکعب‌های سه‌بعدی به‌عنوان داده ابر طیفی ثبت و ذخیره‌سازی می‌شود (سازمان فضایی ایالات متحده ناسا).

### مطالعات قبلی

از جمله مطالعات صورت پذیرفته بر روی تصاویر و داده‌های ابر طیفی سنجنده هایپریون در علوم مختلف، می‌توان به مقایسه قابلیت داده‌های سنجنده‌های ابر طیفی هوابرد و هایپریون در تفکیک طیفی کانی‌های سطح زمین (Kruse et al., 2003)؛ مقایسه توانایی سنجنده‌های هایپریون، ALI و استر در تفکیک زون‌های دگرسانی (Hubbard et al., 2003)؛ بررسی اثر پیش پردازش داده‌های ابر طیفی سنجنده هایپریون در مطالعات مربوط به علوم زراعی (Datt et al., 2003)؛ مقایسه مدل‌های تصحیح جوی QUAC و FLAASH را در تصاویر هایپریون (Sarup, 2011)؛ مقایسه مدل‌های پیش پردازش ATCOR, ACORN, LOWTRAN, MODTRAN و FLAASH (San and Suzen, 2010)؛ بررسی کاربرد تصاویر سنجنده هایپریون در تفکیک واحدها و تهیه نقشه زمین‌شناسی را در نوار آتشفشانی ایران مرکزی (Beiranvand pour and Hashim, 2011) و همچنین به مطالعات (Coops et al., 2002)؛ Staenz et al., (2002)؛ Pearlman et al., (2003)؛ Felde et al., (2003)؛ Bindschadler and Choi, (2003)؛ Ramsey et al., (2004)؛ Khurshid et al., (2006)؛ Gersman et al., (2008)؛ Leverington, (2008) اشاره کرد که همگی دورسنجی ابر طیفی کاربردی با استفاده از داده‌های سنجنده هایپریون را در حوضه‌های مختلف علوم زمین مورد بحث قرار داده‌اند. در منطقه مورد نظر، مطالعات زمین‌شناسی ارزشمند و گسترده‌ای توسط محققین (فتوحی‌راد، ۱۳۷۵؛ فتوحی‌راد، ۱۳۸۳؛ Brocker et al., 2011؛ Fotoohi Rad et al., 2005؛ Fotoohi Rad et al., 2009؛

1. Pushbroom  
2. Neh Complex

دست آمده برای هر پیکسل طیف بازتاب نسبی و نرمالیزه شده آن پیکسل خواهد بود. ناهنجاری‌های بازتابی می‌توانند اثرات مزاحم جوی از قبیل پراکنش، انتقال و اثر همجواری باشند. در این تصحیح پس از نرمالیزه شدن مقادیر پیکسل‌ها بسیاری از این ناهنجاری‌ها به حداقل کاهش می‌یابند. پس از انجام این تصحیح محدوده‌های جذب و بازتاب طیف‌های استخراج شده از تصویر بارزتر می‌گردند. در روش IARR نیازی به اطلاعات طیف‌نگاری صحرایی و مطالعات میدانی نیست و الگوریتم روش مذکور به صورت خطی بر روی همه ناهنجاری‌های بازتابی، اثری مشابهی اعمال می‌کند. اعمال این روش بر روی داده‌های فراطیفی و ابر طیفی بدست آمده از مناطق با اقلیم خشک و فاقد پوشش گیاهی نتیجه مطلوبی در بر خواهد داشت (بهرام‌بیگی و همکاران (۱۳۹۱)؛ Kruse, (1988)؛ Godarzi Mehr et al., (2013)). با توجه به مطالعات Moeinzadeh et al., (2013); Godarzi Mehr et al., (2013 and 2014) و بهرام‌بیگی و همکاران (۱۳۹۱) می‌توان اشاره داشت که پس از تصحیحات فلش<sup>۲</sup>، اتکور<sup>۳</sup>، ایمپریکال<sup>۴</sup>، لاین<sup>۵</sup>، کوئیک اتمسفریک کارکشن<sup>۶</sup> و دیگر تصحیحات داده پایه، تصحیح IARR با وجود سادگی الگوریتم پاسخ بسیار نزدیکی نسبت به تمامی تصحیحات داده پایه ارائه می‌نماید بنابراین با ارجاع به مراجع مذکور و با بررسی‌های انجام شده این نتیجه حاصل شد که تصحیح IARR، نتیجه لازم را در اختیار می‌گذارد و پردازش‌های مورد نظر در ادامه کار، این نتیجه را تایید کرد.

### روش نقشه بردار زاویه طیفی

این روش بر اساس مشابهت بین طیف کانی مرجع و طیف کانی مورد آزمایش برای کانی‌های کائولینیت و موسکوویت انجام گرفت. شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل، به وسیله محاسبه زاویه بین طیف‌ها ارزیابی می‌شود. طیف‌ها به شکل بردارهایی در یک فضای چند بعدی (ابعاد فضا بستگی به تعداد باندها دارد) در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۲). زاویه بین طیف بازتابی مرجع

وجود دارند. این زون دگرگونی بسیار مشخص و قابل توجه است (فتوحی‌راد، ۱۳۸۳). چنین سنگ‌هایی در تشخیص محیط تکتونیکی و تکامل کمربندهای کوهزایی اهمیت حیاتی دارند و معمولاً محل‌های فرورانش پوسته اقیانوسی قبل از برخورد دو صفحه قاره‌ای را در محل مشخص می‌کنند (Bucher and Frey, 1994). ولکانیسم‌های الیگومیوسن در شرق ایران باعث تشکیل یک سری سنگ‌های شامل داسیت، ریوداسیت، داسیت آندزیتی، دیوریت، کوارتز دیوریت پورفیروئیدی تا آندزیت بازالت، متعلق به ولکانیسم الیگومیوسن در بخش‌هایی از منطقه شده است که غالباً رخنمون‌های مرتفعی را در منطقه تشکیل می‌دهند.

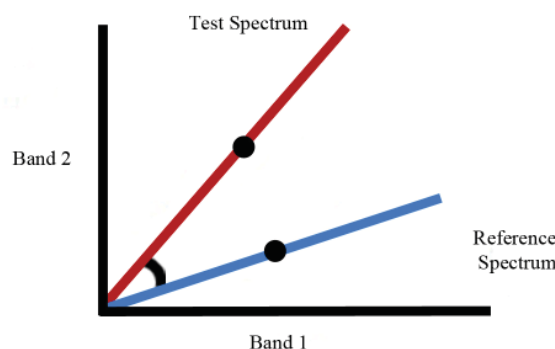
### روش‌ها و داده‌ها

#### الف- پیش پردازش داده‌ها

مرحله پیش پردازش و آماده سازی داده‌های سنجنده هایپریون شامل مراحل سازماندهی باندها در قالب اطلاعات رقومی قابل پردازش، محاسبه میانه طول موج نوار طیفی مربوط به هر باند و قرار دادن باند مذکور در جایگاه طول موجی صحیح، یافتن باندهای آلوده، حذف اطلاعات ناهنجار، تصحیح هندسی و در نهایت تصحیحات جوی. در مرحله سامان دهی و فیلتراسیون باندهای تصویر، تعداد ۸۴ باند از ۲۴۲ باند تصویربرداری شده به دلیل کیفیت نامناسب داده‌ها از محاسبات حذف گردیده و مطالعه بر روی ۱۵۸ باند متمرکز شد. تصحیح هندسی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره کوئیک‌برد<sup>۱</sup> نصب شده بر روی سامانه مکان یاب جهانی (GPS) و مطالعات میدانی صورت گرفت. در ادامه به بررسی اثر تصحیحات جوی پرداخته شده است.

#### تصحیح جوی

در روش IARR<sup>۲</sup> یا میانگین نسبی بازتاب‌ها، میانگین بازتاب پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌شود و مقادیر شدت تابش هر پیکسل بر میانگین پیکسل‌های تصویر تقسیم می‌گردد. عدد به



شکل ۲. بردارهای به‌دست آمده از طیف تصویر، طیف آزمایشگاهی و نقطه مرجع (Kruse et al., 1993)

1. QuickBird
2. Internal Average Reflectance Radiance
3. Flaash
4. Atcor
5. Empirical line
6. Quick Atmospheric Correction



ژئوکورنولوژی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه (فتوحی‌راد Brocker et al., (2011); Fotoohi (۱۳۷۵)؛ فتوحی‌راد (۱۳۸۳)؛ Rad et al., (2005); Fotoohi Rad et al., (2009); Brocker et al., (2013); Theunissen et al., 2011) می‌توان واحدهای منطقه را به ۵ گروه کلی که در ادامه آورده شده است، تفکیک کرد (شکل ۴). به‌منظور بررسی دقیق میزان صحت پردازش‌های ابر طیفی مورد بحث در پژوهش حاضر، باوجود گستردگی منطقه، تنوع سنگی زیاد، برافراشتگی واحدها و باوجود سختی نمونه‌برداری سعی بر آن شد تا در چندین مرحله پیمایش میدانی مکانمند از تمامی واحدهای سنگی به روش آزاد نمونه‌برداری صورت گیرد.

بر اساس مطالعات مذکور، سنگ‌های آذرین منطقه را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد: واحدهای مرتبط با مجموعه افیولیتی و واحدهای ولکانیکی الیگومیوسن

### مجموعه افیولیتی

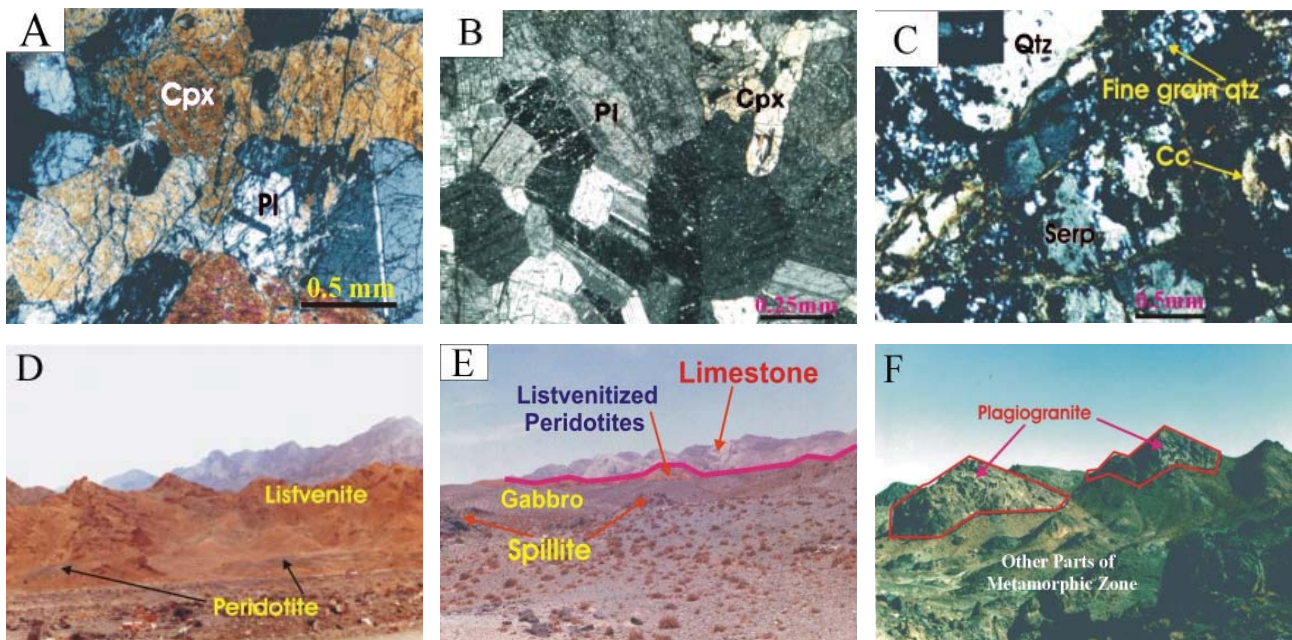
واحدهای متعلق به این مجموعه شامل: (۱) واحدهایی ماگمایی‌زاد مربوط به سکانس افیولیتی مثل پریدوتیت‌ها، گابروها، میکروگابرو، دیاباز و پلاژیوگرانیت‌ها و (۲) واحدهای حاصل از دگرگونی و دگرسانی واحدهای ماگمایی‌زاد از قبیل متاپریدوتیت‌ها، متاگابروها، سرپانتینیت‌ها، متاپلاژیوگرانیت‌های میلونیتی و لیستونیتی‌ها می‌باشند (در شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی و صحرایی این واحدها ارائه شده‌اند).

### واحدهای ولکانیکی الیگومیوسن

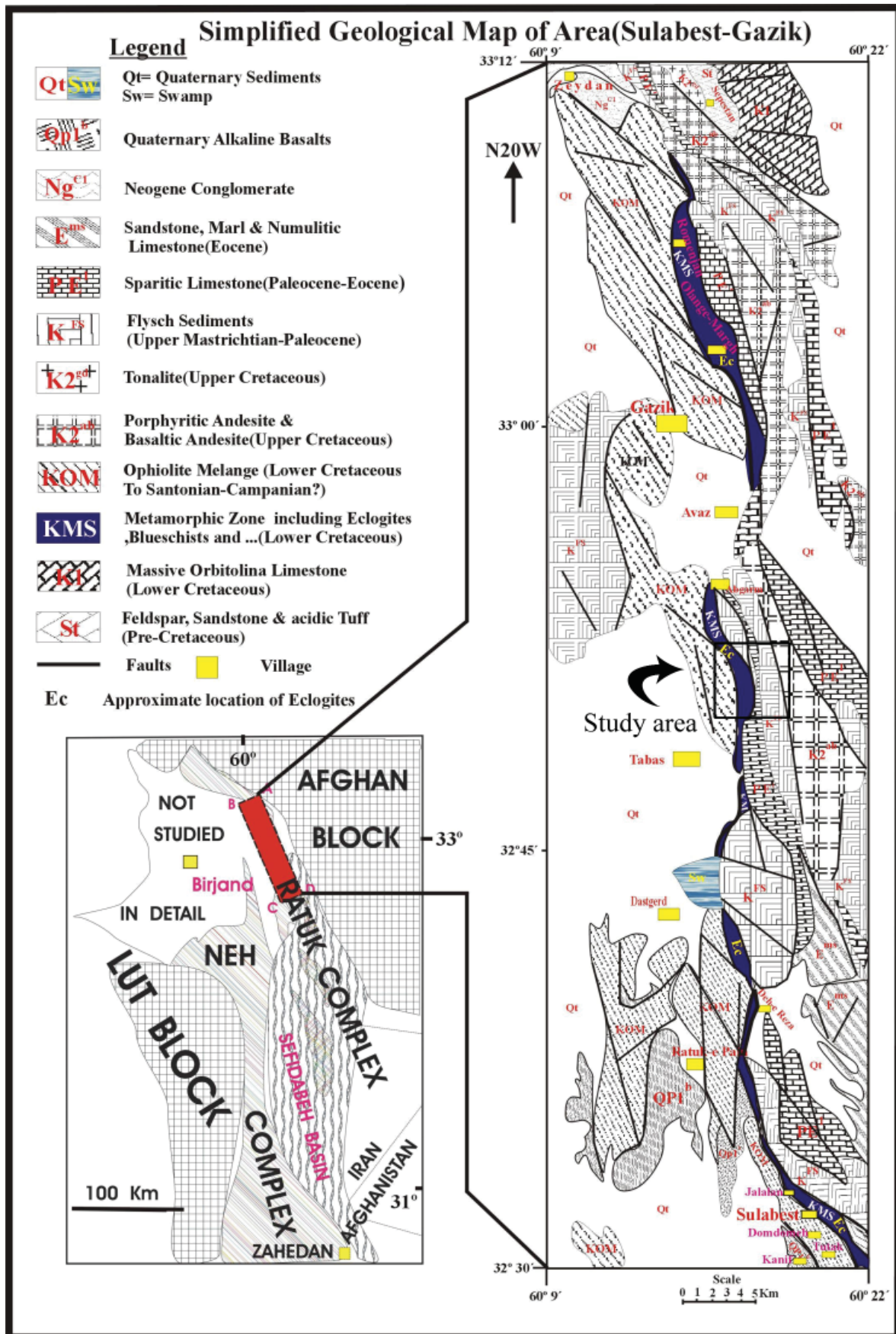
و طیف بازتابیده از سطح پیکسل‌ها به‌عنوان معیار مشابهت ارائه می‌شود. این فن نسبت به اثرات سپیدائی و روشنائی متفاوت خواهد بود و تحت تاثیر فاکتورهای روشنائی خورشید نیست؛ زیرا زاویه بین دو بردار مستقل از طول آنهاست (Kruse et al., 1993). در تصویر حاصل از روش نقشه‌بردار زاویه طیفی، هر پیکسل نمایش دهنده میزان اختلاف بازتاب در طیف‌های تفکیکی الگوی طیفی بازتابیده از سطح با الگوی طیفی مرجع می‌باشد. این اختلاف الگوی طیفی به صورت زاویه‌ای و در مقیاس رادیان، در بازه بین 0 تا  $\frac{\pi}{2}$  نمایش داده می‌شود (Van der Meer and De Jong, 2003). خروجی روش نقشه‌بردار زاویه طیفی، تخمینی کیفی از مشابهت طیف مورد نظر با هر طیف مرجع ارائه می‌دهد. در خروجی حاصل از روش نقشه‌بردار زاویه طیفی، پیکسل روشن‌تر معادل زاویه بزرگتر و نشان از اختلاف بیشتر طیف مورد مطالعه با طیف مرجع و پیکسل تاریک‌تر معادل زاویه کوچک‌تر و نماد مشابهت بیشتر طیف‌ها می‌باشد. در این مطالعه طیف پیکسل‌هایی شاخص در نقاط نمونه‌برداری شده به‌عنوان طیف مرجع، مبنای مقایسه و محاسبه زاویه‌ای اختلاف پیکسل‌ها قرار گرفت. در تصویر حاصل از این پردازش، نقاط با مقادیر پیکسلی حداقل با عنوان محدوده‌های با بیشترین شباهت طیفی به طیف مرجع تفکیک و ارائه شدند.

### روش نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی

بر اساس مطالعات میدانی - آزمایشگاهی نگارندگان همراه با مطالعات ژئوشیمیایی سنگ کل، کانیاپی، ژئوترموبارومتری و



شکل ۳. A) بافت ساب افیتییک تا گرانولار در گابروی ایزوتروپ (XPL). B) فراوانی پلاژیوکلاز در پلاژیوگرانیت متعلق به مجموعه افیولیتی (XPL)، C) عکس میکروسکوپی لیستونیت سیلیسی (XPL). D) لیستونیتی شدن پریدوتیت‌ها (دید به سمت غرب) E) توالی گابروی ایزوتروپ و پریدوتیت‌های لیستونیتی شده و سنگ‌های آهکی پائوسن - ائوسن روی آن‌ها (دید به سمت شمال). F) رخنمون پلاژیوگرانیت به رنگ سفید (دور) و پریدوتیت‌ها و مرز آن‌ها با زون دگرگونی (نزدیک) (دید به سمت غرب).



شکل ۴. نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه زون جوش خورده سیستان و نمایش محدوده مورد مطالعه بر روی آن (برگرفته از فتوحی راد، ۱۳۸۳)



تالک شپست‌ها)، رخساره اپیدوت آمفیبولیت (شامل اپیدوت آمفیبولیت‌ها و اپیدوت آمفیبولیت شپست‌ها)، رخساره آمفیبولیت (شامل آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت شپست) می‌باشد (شکل ۶).

### واحدهای آهکی

منطقه شرق طپس مسینا علاوه بر دارا بودن واحدهای آذرین (سنگ‌های افیولیتی و آتشفشانی) و دگرگونی دارای سنگ‌های رسوبی مختلفی نیز می‌باشند. علاوه بر سنگ‌های آهکی پالئوسن - ائوسن که در سراسر بخش شرقی منطقه قرار دارند، سایر سنگ‌های آهکی در منطقه مورد مطالعه رخنمون کمی دارند و تنها بصورت نوارها و لایه‌هایی از سنگ آهک‌های میکریتی و اسپاری با ارتفاع بسیار کم و با توپوگرافی پایین و پست در بین سایر سنگ‌های افیولیتی مشاهده می‌شوند.

### واحدهای فلیشی

سنگ‌های رسوبی گروه فلیش غالباً تحت تأثیر دگرگونی قرار گرفته‌اند و بندرت سنگ‌های دگرگون نشده از این گروه در منطقه رخنمون دارند که شامل سیلت استون و ماسه سنگ دانه ریز و نیز شیل چرتی می‌باشند. سایر سنگ‌های رسوبی منطقه که اهمیت بیشتری نیز دارند، عبارت از چرت‌ها، چرت‌های رادیولاریتی، رادیولاریت‌ها، سنگ‌های آهکی میکریتی بدون فسیل و نیز فسیل دار و سنگ‌های آهکی اسپاری بدون فسیل و فسیل دار می‌باشند. چرت‌ها و چرت‌های رادیولاریتی که از اجزاء افیولیت می‌باشند، رخنمون بسیار قابل توجهی دارند. کلیه این سنگ‌ها در بخش غربی زون دگرگونی و در بین سایر سنگ‌های مجموعه افیولیتی و با ارتباط گسلی نسبت به یکدیگر قرار دارند. بنابراین بصورت کاملاً مخلوط مشاهده می‌شوند.

نگارندگان پژوهش حاضر، تفکیک سنگی کلی بیان شده را برای منطقه شرق طپس مسینا جهت معیار در آنالیز و پردازش تصاویر ابر طیفی در نظر گرفته‌اند و با توجه به آن، سعی شده است تا پردازشی که بهترین قابلیت را در تفکیک لیتولوژی دارا می‌باشد در نظر گرفته و مورد آنالیز و بررسی قرار دهند.

### بحث

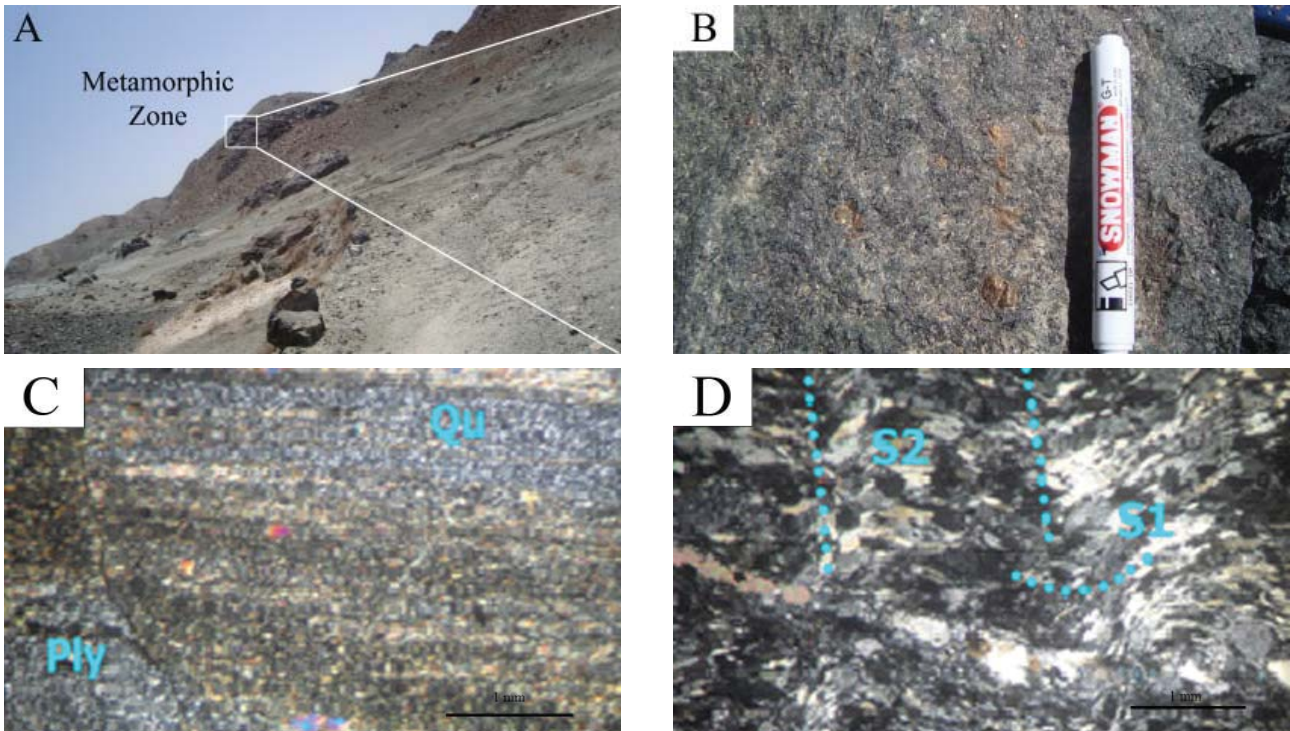
این واحدها، سنگ‌های آذرینی هستند که ارتباطی به مجموعه افیولیتی ندارند و در واقع جوان‌تر از آن هستند. این مجموعه، در داخل مجموعه افیولیتی و بصورت یک کمان ماگمایی در شرق منطقه با امتدادی مطابق با روند کلی منطقه، قرار گرفته است (فتوحی‌راد، ۱۳۸۳). بر اساس نظر (Tirrul et al., 1983)؛ سن تبلور این سنگ‌های آذرین که در نقشه نه‌بندان نیز رخنمون دارند، جوان‌تر از سنگ‌های آذرین مجموعه افیولیتی و متعلق به ولکانیسم کرتاسه فوقانی، الیگومیوسن و کواترنری منطقه شرق ایران است. این سنگ‌ها شامل آندزیت تا آندزیت بازالت‌ها، متعلق به ولکانیسم الیگومیوسن می‌باشند. انواع آندزیت، آندزیت پورفیروئیدی و آندزیت بازالت به‌همراه واحدهای آذرآواری، بصورت توده‌هایی با وسعت زیاد مشاهده می‌شوند. این سنگ‌ها کوه‌های مرتفعی را تشکیل می‌دهند و هیچگونه اثری از دگرگونی مجاورتی در سنگ‌های مجاور آن‌ها دیده نمی‌شود. این واحد آندزیت و دیوریت پورفیروئیدی از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند قهوه‌ای و بیوتیت، بصورت بلورهای درشت و فنوکریست در زمینه‌ای دانه‌ریز از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و بلورهای ریز آمفیبول و کانی‌های اویک تشکیل شده است. در این نمونه‌ها پلاژیوکلاز به سریسیت و کربنات، و به‌میزان کمی به کائولن و اپیدوت تبدیل شده است. بافت این سنگ‌ها تا حدی پورفیری است. از تفاوت‌های بارز این سنگ‌ها با نمونه‌های آندزیت بازالت عدم حضور کانی‌های الیوین و کلینوپیروکسن در آن‌ها می‌باشد (شکل ۵).

### واحدهای دگرگونی

سنگ‌های دگرگونی منطقه مورد مطالعه در بخش‌های مختلف منطقه مشاهده می‌شوند. بخش اعظم این سنگ‌ها در زون دگرگونی شرق افیولیت قرار دارند؛ اگرچه رخنمون‌های پراکنده‌ای از این سنگ‌ها در سایر بخش‌های مجموعه افیولیتی نیز مشاهده می‌شود. در این زون دگرگونی سنگ‌های نوع فلیش و سنگ‌های مربوط به مجموعه افیولیتی که بیشتر از نوع سنگ‌های مافییک و اولترامافییک بوده‌اند، تحت تأثیر رخدادهای دگرگونی مؤثر بر منطقه قرار گرفته‌اند. رخساره‌های قابل رویت در منطقه مورد مطالعه شامل شپست سبز (شامل سنگ‌های شپست سبز و



شکل ۵. تصویر میکروسکوپی از نمونه‌های سنگی: (A) آندزیتی - آمفیبول‌های اپاسیتی شده، (B) دیوریت پورفیری، (C) آندزیت بازالت - حضور الیوین‌های ایدنگیزیته شده و پیروکسن به صورت فنوکریست در زمینه‌ای از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز Xpl.



شکل ۶. (A) وسعت قابل توجه واحدهای دگرگونی (دید به سمت شمال شرق)، (B) دید نزدیک از آمفیبولیت شیست به همراه کانی‌زایی مس، (C) شیستوزیته در سنگ شیست سبز (Xpl)، (D) شیستوزیته در سنگ آمفیبولیت شیست (Xpl)

الگوریتم SAM<sup>۱</sup> به‌عنوان پردازشی طیف مبنای تمامی باندها را درگیر محاسبه می‌کند، انتخاب گردید.

بنابراین به‌منظور بررسی قابلیت‌های سنجنده هایپریون در تفکیک واحدهای پیچیده آمیزه‌ای، از محدوده‌های جذبی پنج لیتولوژی کلی منطقه در قالب روش نقشه‌بردار زاویه طیفی استفاده شد. در همین راستا الگوی بازتابی هر واحد از سنگ‌های منطقه به صورت طیف مخلوط پیکسل‌های شاخص جهت محاسبه زاویه طیفی پیکسل‌های تصویر مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی در دست و مطالعات صحرایی، پنج لیتولوژی کلی به‌عنوان محور مطالعه انتخاب شدند.

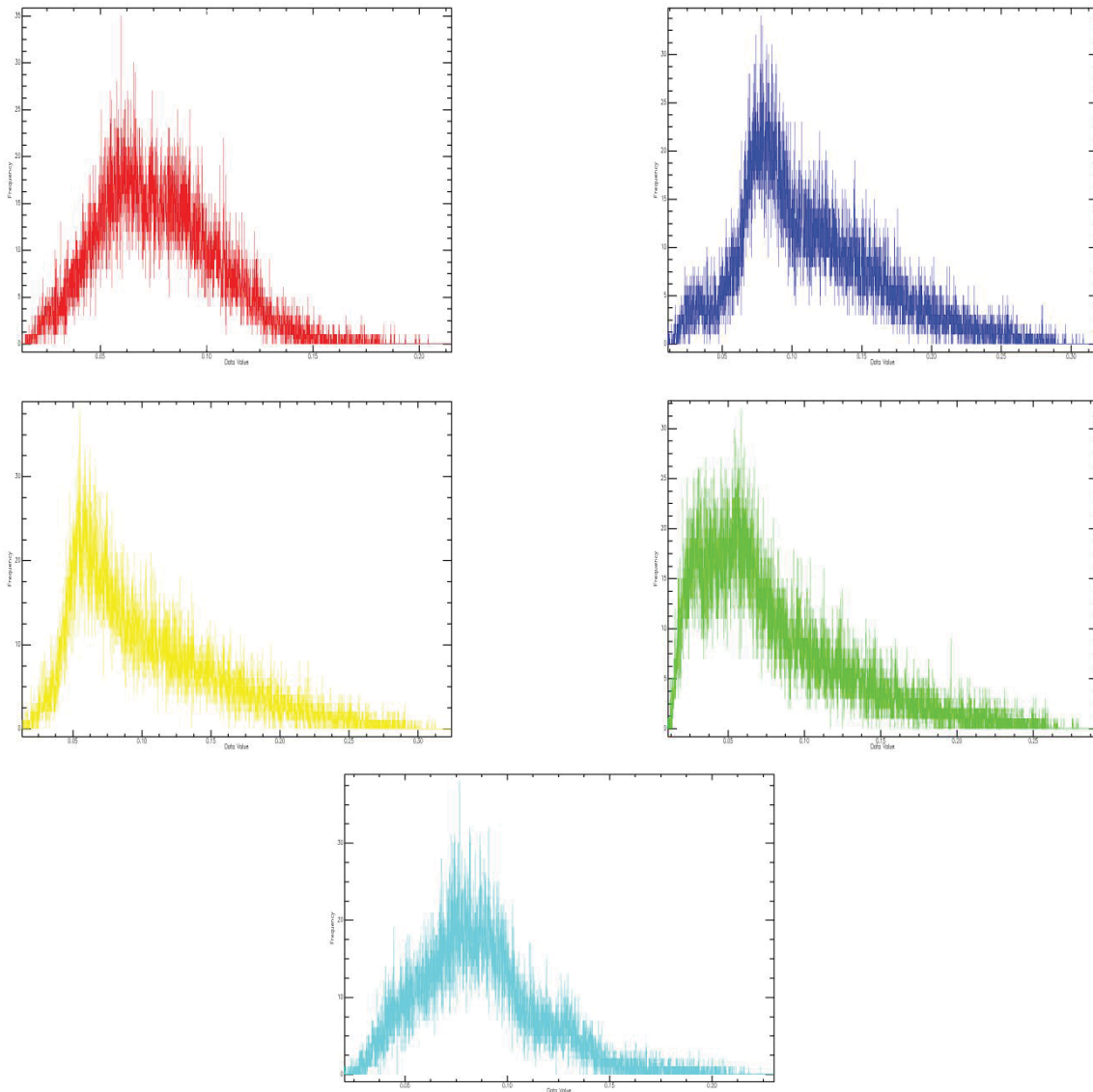
برای هر کدام از الگوهای سنگی منطقه در تصاویر مجزا زاویه طیفی کل پیکسل‌های تصویر محاسبه و نهایتاً بر اساس روش (Van Genderen et al., 1978) در هیستوگرام تصویر خروجی پیکسل‌هایی که در کران پایین‌تر از میانگین منهای دو برابر انحراف معیار از لحاظ زاویه طیفی قرار می‌گیرند به‌عنوان پیکسل‌های مطلوب هدف مورد نظر انتخاب و در قالب اطلاعات برداری ارائه گردید (شکل ۷). شکل ۸ بردارهای استخراج شده از تصاویر پردازش شده بر روی تصویر هایپریون و شکل ۹ بخشی از نقشه ارائه شده توسط فتوحی‌راد (۱۳۸۳) از محدوده در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ می‌باشد. مقایسه بصری نتایج پردازش‌ها با نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۳)، انطباق نتیجه مورد نظر با مطالعات صورت پذیرفته (فتوحی‌راد، ۱۳۸۳) در بخش‌های گسترده‌ای از لیتولوژی‌های منطقه را نشان می‌دهد. لازم به‌ذکر

## الف - آنالیز داده‌ها

از اواسط قرن بیستم سنجنده‌های چند طیفی با فراهم آوردن توانایی تصویربرداری در طول‌موج‌های متعدد موفقیت بزرگی در به تصویر کشیدن الگوی گسسته از بازتاب‌های الکترومغناطیس سطح زمین به‌حساب می‌آیند. اما بسیاری از مواد و پوشش‌های زمینی خصوصاً در مناطق تحت دگرش از قبیل آمیزه‌های رنگی دارای الگوهای مشابه و پیچیده بوده و در طول‌موج‌های برداشتی توسط سنجنده‌های چند طیفی قابل شناسایی و تفکیک نیستند؛ تفکیک این واحدها و به حداقل رساندن تداخلات طیفی در پوشش‌های با الگوی پیچیده، نیاز به سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک طیفی بسیار بالاتر از چشم‌های چند منشوری دارد.

تصاویر ابر طیفی حاوی اطلاعات بسیار غنی از بازتاب‌های الکترومغناطیس سنگ‌ها، دگرسانی‌ها و پوشش‌های سطح زمین می‌باشند و گرچه استفاده از این گنجینه اطلاعاتی با مشکلات پیش پردازش‌های زیادتری نسبت به داده‌های چند طیفی مواجه است اما نتایج ارزنده قابل استخراج از آن‌ها، وقت و هزینه صرف شده را توجیه می‌کند. تحلیل الگوریتم‌ها در پردازش‌های ابر طیفی توسط پژوهشگرانی از قبیل (Kruse et al., 2003); (Leverington (2008) و بهرام بیگی و همکاران (۱۳۹۱) نشان‌دهنده برتری پردازش‌هایی است که بیشتر بر مبنای الگوی طیفی بنا نهاده شده‌اند تا مواردی که بر اساس مدل‌های آماری طراحی گردیده‌اند. بنابراین به‌منظور بررسی توان داده‌های ابر طیفی در تفکیک واحدهای آمیزه‌ای در منطقه مورد بحث





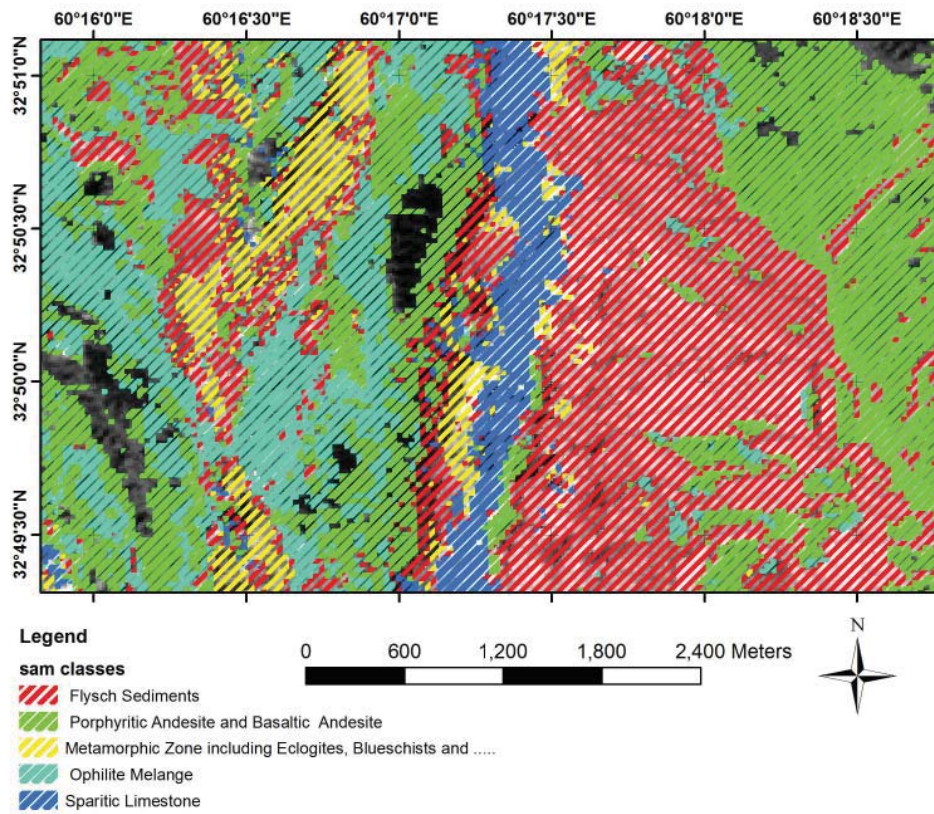
شکل ۷. هیستوگرام زاویه طیفی پیکسل‌ها در تصاویر پردازش شده برای هر کدام از لیتولوژی‌ها (رنگ نمودارها مشابه رنگ سیمپل‌ها در نقشه انتخاب گردیده است)

طیفی ظریف و بسیار محدودتر از سنجنده‌های فراطیفی است، تامین انرژی امواج دریافتی توسط سنجنده الزاما از محدوده مکانی وسیع‌تری صورت می‌گیرد. به همین دلیل تصاویر ابر طیفی فاقد توانایی تفکیک مکانی بالا هستند (علوی پناه، ۱۳۸۲). در روش مورد استفاده برای مطالعات میدانی، به منظور افزایش دقت وضوح مسیرهای پیمایش، نقشه‌های برداری حاصل از پردازش تصویر هایپریون در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی بر روی تصویر سنجنده کوئیک برد (با تفکیک مکانی ۶۰ سانتیمتر) از منطقه مورد مطالعه قرار داده شد. این نقشه‌ها به سامانه مکان‌یاب جهانی (GPS) وارد شده و به‌عنوان راهنمایی جهت مناطق ارائه شده در پردازش تصویر هایپریون مورد استفاده قرار گرفتند. مختصات نمونه‌های جمع‌آوری شده (شکل ۱۰) حین مطالعات میدانی بر روی تصویر هایپریون منطقه مشخص شده و نمونه‌ها پس از بررسی‌های ذکر شده به پنج گروه (مجموعه افیولیتی، واحدهای دگرگونی، واحدهای ولکانیکی

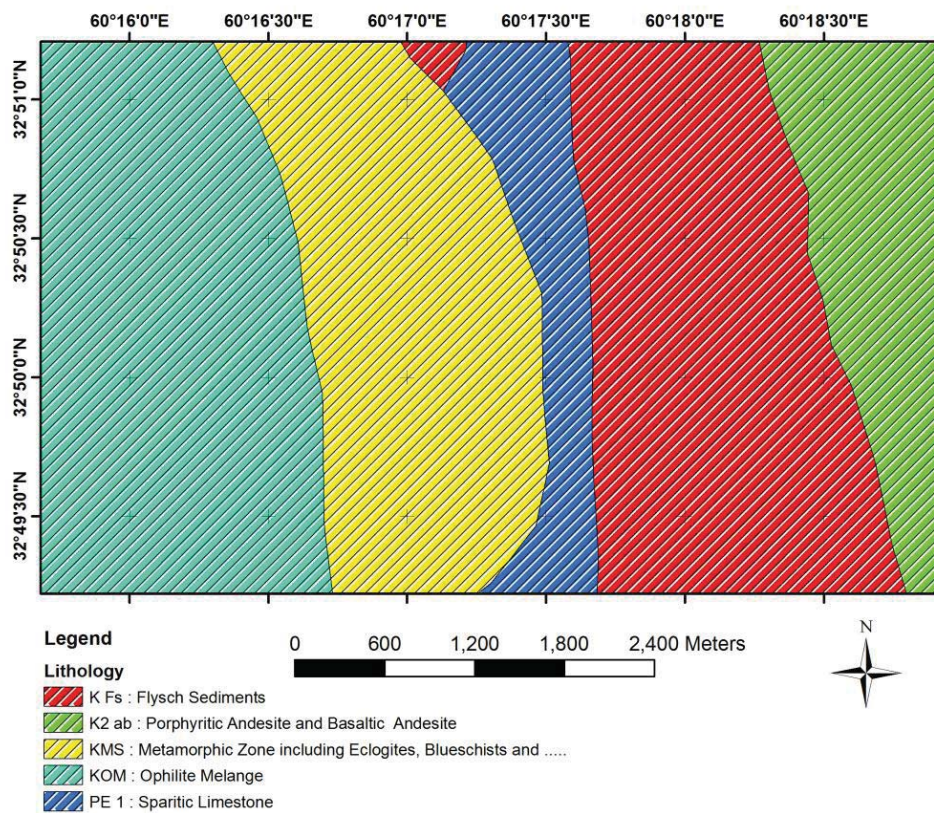
است نقشه زمین‌شناسی مورد نظر در مقیاس بسیار کوچکتری نسبت به خروجی مطالعه حاضر، تهیه گردیده است و که جهت مقایسه کمی نتایج پردازش‌های ابر طیفی با مطالعات میدانی و نمونه‌برداری‌های نقطه‌ای به شکل پراکنده از منطقه انجام شد.

### بررسی نقاط کنترلی در مطالعات میدانی

به‌منظور بررسی ضریب صحت تفکیک و شناسایی روش پردازش SAM بر روی تصویر سنجنده هایپریون منطقه، محدوده‌های بارزسازی شده در قالب اطلاعات برداری بر روی تصویر ماهواره کوئیک برد منطقه نمایه شده و در مطالعات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. به دلیل عدم پیوستگی واحدها در مجموعه‌های آمیزه‌ای تصویر معیار صحت به شکل نقاط کنترلی ایجاد شد تا ضریب صحت عامل پردازش مورد نظر با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده محاسبه گردد. از آنجا که پهنای باندها در سنجنده‌های ابر

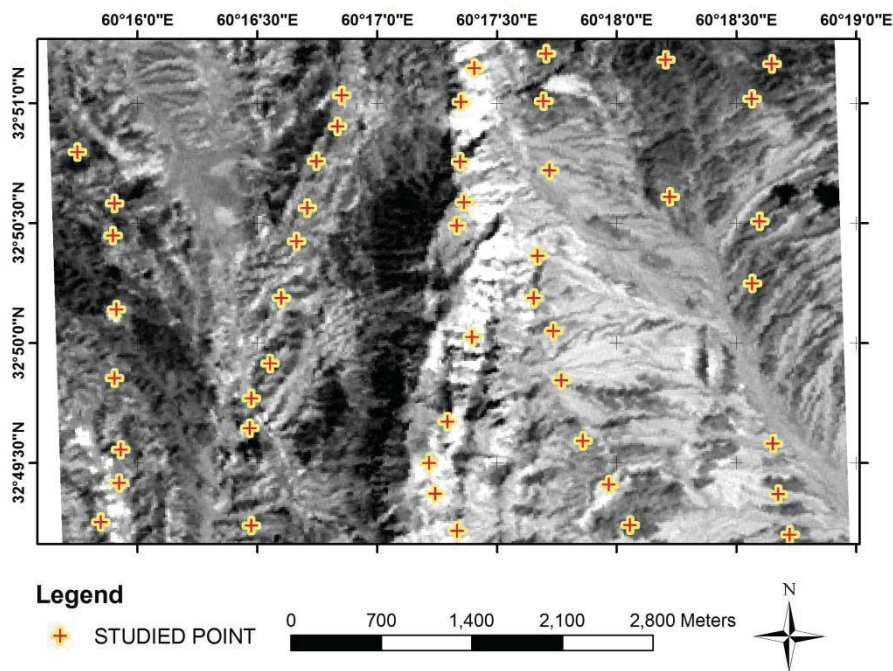


شکل ۸. نقشه حاصل از پردازش تصویر هایپر یون منطقه طبس مسینا بر روی نمایه خروجی روش نقشه بردار زاویه طیفی



شکل ۹. بخشی از نقشه ۱:۲۰۰۰۰ منطقه طبس مسینا (برگرفته از فتوحی راد (۱۳۸۳)).





شکل ۱۰. موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری شده بر روی تصویر باندهای ۹۸ سنجنده هایپریون

پیکسل‌هایی است که در مطالعات صحرایی مورد نظارت و در کلاس مورد نظر قرار گرفته‌اند. در بررسی‌های انجام شده با توجه به ماهیت داده‌های صحرایی، بهترین ضریب مقایسه جهت استفاده از ماتریس تقسیم‌بندی نظارت‌شده ضریب صحت عامل می‌باشد. در تصاویر حاصل از پردازش از مجموع پیکسل‌های تقسیم‌بندی شده در هر کلاس به شکل اتفاقی تعداد ۱۰ پیکسل در مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و آزمایشگاهی مورد بررسی و آزمایش قرار داده شد که نتایج این بررسی در قالب ماتریس صحت (جدول ۲) و جدول ضرائب صحت (جدول ۳) ارائه گردیده است. ضریب صحت عامل هر طبقه با رنگ سبز در جدول ۳ نشان داده شده است. دقت در ضرائب ارائه شده در جدول ضریب صحت، نتایج قابل انتظاری را نشان می‌دهد، بدین ترتیب که سنگ‌های آذرین، فیلیش و آهکی که دارای الگوی طیفی مشخص قابل تفکیک تری از یکدیگر هستند، بالاترین ضریب صحت (۷۰٪) را نشان می‌دهند. پایین‌ترین ضریب صحت مربوط به بخش کاملاً درهم‌ریخته افیولیت آمیزه‌های رنگی با حدود ۴۰٪ پیکسل‌های مربوط به این لیتولوژی، درست طبقه‌بندی شده‌اند. به طور کلی، محاسبه میانگین ضرائب صحت عامل برای هر ۵ لیتولوژی منطقه عدد ۶۴٪ را نشان می‌دهد که نسبت بسیار قابل قبولی جهت مطالعه و تفکیک واحدهای پیچیده آمیزه رنگی به حساب می‌آید.

### نتیجه‌گیری

نقشه‌برداری مجموعه‌های افیولیت آمیزه‌های رنگی به لحاظ در هم ریختگی و تنوع زیاد سنگی؛ بسیار سخت و زمان‌بر

الیگومیوسن، واحدهای فیلیش و آهکی) تقسیم شدند. پس از بررسی نمونه‌های مذکور، مختصات نمونه‌ها در قالب اطلاعات برداری بر روی تصویر سنجنده هایپریون منطقه قرار داده شد و حریم پیکسل‌های محاط بر نقاط مشخص شده در قالب اطلاعات تعلیمی بر روی تصویر هایپریون منطقه تعریف و به‌عنوان کلاس مربوط به هر لیتولوژی در تصویر معیار صحت<sup>۱</sup> نمایه شد.

### محاسبه صحت پردازش ارائه شده

روش‌های تقسیم‌بندی نظارت شده مبنایی رقومی جهت مقایسه کمی نتایج حاصل از پردازش و داده‌های زمینی در قالب محدوده‌هایی منحصر به پیکسل‌های با مقادیر مطلوب فراهم می‌آورند. با استفاده از روش‌های تقسیم‌بندی نظارت شده بر روی داده‌های پیکسلی حاصل از پردازش به روش SAM بر روی تصویر سنجنده هایپریون منطقه مورد مطالعه، ماتریس صحت پیکسل‌های نمایه شده در طبقه‌بندی و نیز پیکسل‌های نمونه‌برداری شده و بررسی شده در مطالعات صحرایی - آزمایشگاهی ترسیم گردید (جدول ۲). مبنای رقومی مقایسه در روش تقسیم‌بندی نظارت‌شده می‌تواند با نسبت‌هایی از قبیل ضریب صحت عامل<sup>۲</sup> یا ضریب صحت روش کاربر<sup>۳</sup> بیان شود. ضریب صحت روش کاربر بیانگر نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در هر کلاس به پیکسل‌هایی است که در تصویر پردازش شده با عنوان کلاس مذکور نمایه شده‌اند. ضریب صحت عامل نیز بیانگر نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در هر کلاس به کل

1. Through Image
2. Producer accuracy
3. User accuracy



جدول ۲. ماتریس صحت تقسیم‌بندی نظارت شده بر روی پیکسل‌های مطلوب در تصاویر حاصل از پردازش به روش SAM.

Class	Unclassified	An	Calc	Fy	Melang	Meta	Total
Unclassified	1531	1	0	0	1	0	1533
An	7394	7	0	1	3	0	7405
calc	1441	0	8	1	0	0	1450
fy	8161	2	1	7	2	1	8174
Melange	3921	0	0	1	4	3	3929
metamorph	1613	0	1	0	0	6	1620
<b>Total</b>	<b>24061</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>24111</b>

جدول ۳. محاسبه ضریب صحت عامل و روش کاربر بر روی پیکسل‌های مطلوب در تصویر حاصل از پردازش به روش SAM.

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Unclassified	6.36	99.87	1531/24061	1531/1533
An	70.00	0.09	7/10	7/7405
calc	80.00	0.55	8/10	8/1450
Fy	70.00	0.09	7/10	7/8174
Melange	40.00	0.10	4/10	4/3929
metamorph	60.00	0.37	6/10	6/1620

#### منابع

- بهرام بیگی، ب، رنجبر، ح، ا، شهابپور، ج و فلاحی، ح، ۱۳۹۱. بررسی تصحیحات جوی صحنه پایه در تصاویر هایپریون با تاکید بر مطالعات طیف‌نگاری صحرایی- مطالعه موردی تشخیص زون آرژیلیک در منطقه آتشفشان مساحیم؛ مجله علوم زمین، در نوبت چاپ.
- علوی پناه، س، ک، ۱۳۸۲. کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۲۴۳.
- فتوحی‌راد، غ. ر، ۱۳۷۵. مطالعه پترولوژی، پتروگرافی و ژئوشیمی افیولیت آمیزه های رنگی شمال باختر درح (جنوب خاور بیرجند) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی منطقه. پایان‌نامه تحصیلی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲۳۰.
- فتوحی‌راد، غ. ر، ۱۳۸۳. پترولوژی و ژئوشیمی افیولیت‌های دگرگون شده شرق بیرجند. رساله تحصیلی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۳۲۳.
- Arvin, M., and Robinson, P.T., 1994. The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft ophiolitic mélangé, southwest of Kerman, Iran. Canadian Journal of

می‌باشد. تصاویر ابرطیفی به دلیل پهنای ظریف باندها قابلیت شناسایی و تفکیک واحدهای پیچیده را دارا می‌باشند. در مطالعه حاضر به‌منظور نخستین بررسی قابلیت سنجنده ابر طیفی هایپریون در تفکیک واحدهای پیچیده آمیزه‌ای در ایران، منطقه طبس مسینا از مناطق آمیزه‌ای شرق ایران که دارای لیتولوژی‌های متنوع آمیزه‌ای می‌باشد، به‌عنوان محور مکانی مورد مطالعه قرار داده شد. بر اساس مطالعات میدانی - آزمایشگاهی نگارندگان به ضمیمه مطالعات ژئوشیمیایی سنگ کل و کانیایی صورت گرفته در منطقه، می‌توان واحدهای منطقه را به پنج گروه کلی شامل مجموعه افیولیتی، واحدهای ولکانیکی الیگومبوسن تاپلیوکواترنری، واحدهای دگرگونی، آهکی واحدهای فلیشی تفکیک کرد. به‌دلیل عدم پیوستگی واحدها در مجموعه‌های آمیزه‌ای تصویر معیار صحت به شکل نقاط کنترلی ایجاد و ضریب صحت عامل پردازش مورد نظر با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده محاسبه گردید. نتایج پردازش داده‌های ابر طیفی منطقه نشان دهنده ضریب صحت عاملی بیش از ۶۴٪ برای پردازش به روش نقشه‌بردار زاویه طیفی می‌باشد. بنابراین استفاده از قابلیت داده‌های ابر طیفی، راهی مقرون به صرفه و بسیار مناسب در جهت مطالعه مکانمند آمیزه‌های افیولیتی در مقیاس ناحیه ای به‌حساب می‌آید.

Earth Science, 31, 824-834.

- Beiranvand pour. A and Hashim. M., 2011. The earth observing-1 (EO-1) satellite data for geological mapping, southeastern segment of the Central Iranian Volcanic Belt, Iran. *International Journal of the Physical Sciences*, 6,33, 7638–7650.

- Bindschadler, R. and Choi, H., 2003. Characterizing and correcting hyperion detectors using Ice-sheet images: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 6, 1189-1193.

- Brocker, M., Fotoohi Rad, G.R. and Theunissen, S., 2011. New time constraints for HP metamorphism and exhumation of mélangé rocks from the Sistan suture zone, eastern Iran. An abstract paper in Turkey Symposium; *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia – Africa – Arabia*.

- Bröcker, M., Fotoohi Rad, G.R., Burgess, R., Theunissen, S., Paderin, I., Rodionov, N., and Salimi, Z. 2013. New age constraints for the geodynamic evolution of the Sistan Suture Zone, eastern Iran. *Lithos*, 170–171, 17–34.

- Bucher, K. and Frey, M., 1994. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks 6th edition: Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. Printed in Germany, 318.

- Camp, V.E., and Griffis, R.J., 1982. Character genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran: *Lithos*, 15, 221- 239.

- Clark, R.N., Swayze, G.A., Gallagher, A.J., King, T.V.V., and Calvin, W.M., 1993. The U. S. geological survey, digital spectral library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns, U.S. Geological Survey Open File Report 93-592, 1340

- Coops, N.C., Smith, M.L., Martin, M.E., Ollinger, S.V., and Held, A.A., 2002. Predicting Eucalypt biochemistry from HYPERION and HYMAP imagery. In *Proc: IGARSS, Toronto, ON, Canada*,

- Datt, B., McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Jupp, D.L.B. and Pearlman, J.S., 2003. Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 6, 1246-1259.

- Felde, G.W., Anderson, G.P., Adler-Golden, S.M., Matthew, N.W. and Berk, A., 2003. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Toulouse, 21–25, 90-92.

- Fotoohi Rad, G.R., Droop, G.T.R., Amini, S., Moaz-

zen, M., 2005. Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: A comparison of P–T histories from a subduction mélangé. *Lithos*, 84, 1-24

- Fotoohi Rad, G.R., Droop, G. T. R. and Burgess, R., 2009. Early Cretaceous exhumation of High-Pressure Metamorphic rocks of the Sistan Suture Zone, eastern Iran, *Geological Journal*, 44, 1, 104–116

- Gersman, R., Ben-Dor, E., Beyth, M., Avigad, D., Abraha, M. and Kibreab .A., 2008. Mapping of hydrothermally altered rocks by the EO-1 Hyperion sensor, northern Danakil Depression, Eritrea: *International Journal of Remote Sensing*, 29, 3911-3936.

- Ghazi, A.M., Hassanipak, A.A., Mahoney, y.J.J. and Duncan, R.A., 2004. Geochemical characteristics, 40Ar/39Ar ages and original tectonic setting of the Band-e Zeyar-at Anar ophiolite, Makran accretionary prism, S.E. Iran. *Tectonophysics*, 393, 175-196

- Goodarzi Mehr, S., Abbaspour, R.A., Ahadnejad, V. and Khakbaz, S.B., 2012. Compared to the maximum likelihood method, support vector machine and neural network methods for the separation of lithological units. *Iranian Journal of Geology*, 6, 75–92

- Goodarzi Mehr. S., Alavipanah, S.K., Darvishi Bloorani, A., and Bahrambeigi, B., 2013. Using unmixing methods to classify lithological and alteration units based on hyperspectral images. *Journal of Tethys*, 1, 1, 1-11.

- Hubbard, B.E., Crowley, J.K. and Zimbelman, D.R., 2003. Comparative alteration mineral mapping using visible to shortwave infrared (0.4–2.4µm) Hyperion, ALI, and ASTER imagery, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 41, 6, 1401-1410.

- [Http://eo1.usgs.gov/](http://eo1.usgs.gov/): USGS. 2004. Earth Observing 1, downloaded on May, 2009, from, Url

- [Http://www.gsi.ir/](http://www.gsi.ir/): Website of Geological Organization and Mineral Exploration of Iran

- [Http://www.rst.gsfc.nasa.gov/](http://www.rst.gsfc.nasa.gov/): Remote Sensing Tutorial of NASA/

- [Http://www.isa.ir/](http://www.isa.ir/): Online space diploma of iran

- Khurshid, K.S., Staenz, K., Sun, L., Neville, R., White, H.P., Bannari, A., Champagne, C.M. and Hitchcock, R., 2006. Preprocessing of EO-1 Hyperion data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32, 2, 84-97.

- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., and Goetz, A. F. H. 1993. The Spectral Image Processing System (SIPS)

- Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. Remote Sensing of Environment: Special issue on AVIRIS, 44, 145-163.
- Kruse, F. A., 1998, Advances in hyperspectral remote sensing for geologic gapping and exploration: in Proceedings 9th Australasian Remote Sensing Conference, Sydney, Australia, July 1998.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz, A.F.H., 1993. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. Remote Sensing of Environment, Special issue on AVIRIS, 44, 145-163.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W. and Huntington, J.F., 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping, IEEE Transactions of Geosciences and Remote Sensing, 41(6), 1388-1400.
- Leverington, D.W., 2008. Discrimination of geological end members using Hyperion imagery: Preliminary results, Big Bend National Park, Texas, IEEE: International Geosciences and Remote Sensing Symposium, Boston, Massachusetts.
- McCall, G.J.H. and Kidd, R.G.W., 1982. The Makran, southeastern Iran: the anatomy of a convergent plate margin active from Cretaceous to present. In, J.K. Leggett (Ed.), Trench-Forearc Geology and Forearc Sedimentation and Tectonics on Modern and Ancient Active Plate Margins. Geological Society of London, Special Publication. 10,387-397.
- Moeinzadeh, H., Fallahi, H., Abbasnejad, A., Goodarzi Mehr, S. and Bahrambeygi, B., 2013- Application of Support Vector Machine method in Hyperspectral mapping of Ophiolite mélanges-a Case study from eastern Iran. Journal of Tethys, 1, (4), 315-326.
- Pearlman, J.S., Barry, P.S., Segal, C.C., Shepanski, J., Beiso, D. and Carman, S.L., 2003. Hyperion, a Space Borne Imaging Spectrometer, IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 41(6),1160-1173.
- Ramsey, E., Rangoonwala, A., Nelson, G., Ehrlich, R., and Martella, K., 2004. Generation and validation of characteristic spectra from EO-1 Hyperion image data for detecting the occurrence of their invasive species, Chinese tallow. International Journal of Remote Sensing, 26, 1611-1636.
- San, B.T. and Suzen, M.L., 2010. Evaluation of different atmospheric correction algorithms for eo-1 hyperion imagery International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Science, 38(8), 392-398.
- Sarup, J., 2011. Comparison of QUAC and FLAASH Atmospheric Correction Modules on EO-1 Hyperion Data of Sanchi, International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies. 4, (1) 178-186.
- Shaker Ardakani, A.R., Arvin, M., Oberhansli, R., Mocek, B., and Moeinzadeh, S.H., 2009. Morphology and petrogenesis of pillow lavas from the Ganj ophiolitic complex, southeastern Kerman, Iran, Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 20, 139-151.
- Staenz, K., Neville, R.A., Clavette, S., Landry, R., White, H.P. and Hitchcock, R., 2002. Retrieval of Surface Reflectance from Hyperion radiance data. In Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS '02. 2002 IEEE International, 3, 1419-1421.
- Theunissen, S., Bröcker, M., and Fotoohi Rad, G.H.R., 2011. HP metamorphism in the Sistan Suture Zone eastern Iran, New insights from Rb-Sr data. Symposium of Turkey.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society of America Bulletin, 94. 134-150.
- Van der Meer, F. and De Jong, S., 2003. Imaging Spectrometry. Basic Principles and Prospective Applications, 4. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, 35
- Van Genderen, V.J.L., Lock, B.F. and Vass, P.A., 1978. Remote sensing: statistical testing of thematic map accuracy: Remote Sensing of Environment. 7, 3-14.
- Weber-Diefenbach, K., Davoudzadeh, M., Alavi-Tehrani, N., and Linsch, G., 1984. Paleozoic ophiolites in Iran, Geology and geochemistry and geodynamic implication. Ophioliti, 11, 305-383.



# ارزیابی فراوانی و تغییرات عناصر پلاتینیوم و پالادیوم در کانی‌های پیروکسن و کرومیت پیروکسنیت‌های منطقه نیریز

مرضیه بازآمد<sup>۱</sup> و حسن میرنژاد<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۳

## چکیده

افیولیت نیریز واقع در استان فارس که در کرتاسه پایانی و در اثر بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد صفحه عربستان با صفحه ایران زمین تشکیل شده است، دارای پتانسیل‌های فراوان معدنی بخصوص کرومیت می‌باشد. پیروکسنیت یکی از واحدهای اصلی تشکیل‌دهنده این افیولیت بوده و تجزیه ریزکاوش الکترونی (EMP) نشان می‌دهد کلینوپیروکسن (دیوپسید)، ارتوپیروکسن (انستاتیت) و الیوین (کریزولیت) غالبترین کانی‌های آن می‌باشند. فراوانی  $\text{TiO}_2$  و  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MgO}$  در کرومیت‌های موجود در پیروکسنیت‌های نیریز تطابق خوبی با کرومیت‌های تیپ انبانی<sup>۱</sup> دارند و از ماگمایی با ترکیب بونینیتی دارای  $\text{Cr}\# (100 \text{ Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}))$  بالا و  $\text{TiO}_2$  پائین منشأ گرفته‌اند. نتایج داده‌های حاصل از تجزیه طیف‌سنج جرمی- پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-MS) به روش آماده‌سازی آذر محک نشانگر غنی‌شدگی عناصر گروه پلاتین در توده افیولیتی نیریز نسبت به گوشته اولیه است. به‌علاوه تمرکز پلاتینیوم و پالادیوم در کرومیت‌های موجود در پیروکسنیت‌ها نسبت به کانی‌های پیروکسن بالاتر می‌باشد. به‌طور کلی میزان این عناصر در پیروکسنیت‌های نیریز بسیار کمتر از حد اقتصادی (۵ ppm) است.

واژه‌های کلیدی: افیولیت، پیروکسنیت، عناصر گروه پلاتین، نیریز

## مقدمه

متمرکز می‌شوند (Proenza et al., 2008). عناصر گروه پلاتین (Ru, Os, Ir) به دو گروه شامل عناصر کمتر محلول یا IPG ها (Pt, Pd, Rh) تقسیم‌بندی می‌شوند (Barnes and Francies, 1995). این عناصر که در سیر تکاملی و شکل‌گیری کره زمین در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک تمرکز می‌یابند، در طول فرآیندهای دگرگونی، دیاژنز، دگرسانی و هوازدهی غیرمتحرک بوده و کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند. از این رو، مهم‌ترین محیط زمین‌شناسی برای پی‌جویی و اکتشاف عناصر گروه پلاتین سنگ‌های مافیک و اولترامافیک هستند. مقدار

عناصر گروه پلاتین شامل شش فلز پلاتینیوم (Pt)، پالادیوم (Pd)، رودیوم (Ru)، ایریدیوم (Ir)، روتنیوم (Rh) و اسمیوم (Os) هستند که همگی خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی داشته و در محیط‌های زمین‌شناسی مشابه یافت می‌شوند و تا حدودی خاصیت جان‌شینی با یکدیگر را دارند. این عناصر در ترکیب پوسته جامد زمین بسیار نادر بوده و از نظر ژئوشیمیایی دارای خواص سیدروفیل و کالکوفیل هستند که در فازهای سولفیدی تجمع می‌یابند و در بلورهای کرومیت و زمینه سیلیکاته به میزان کمتری

\* نویسنده مرتبط hmirnejad@ut.ac.ir

صورت پذیرفته است. پیروکسن‌ها و کرومیت‌های موجود در آن‌ها برای تعیین غلظت عناصر Pt و Pd به روش طیف‌سنجی جرمی - پلاسمای جفت شده القایی ICP-MS با آماده سازی آذر محک در آزمایشگاه علوم زمین واقع در شهر سادبوری کشور کانادا آنالیز شدند.

### سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری

بخش‌های تشکیل‌دهنده الترامافیک‌های نیریز شامل هارزبورژیت، پیروکسنیت، لرزولیت سرپانتینی شده، الیوین پیروکسنیت و دونیت به شدت تجزیه شده می‌باشند. تمام کانی‌های سازنده این سنگ‌ها دارای مقادیر متغیری از الیوین، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن، سرپانتین و کانی‌های اپاک هستند. شدت دگرسانی در دونیت‌ها زیاد است و همچنین حاشیه و محل شکستگی الیوین‌های موجود در آن‌ها به سرپانتین تجزیه شده‌اند. بلورهای الیوین سرپانتینی شده، حواشی گرد شده دارند در حالی که قطعات نسبتاً سالم الیوین غالباً زاویه‌دار هستند. در نمونه‌های حاوی پیروکسن فراوانتر، شدت سرپانتینی شدن کمتر از نمونه‌های با محتوای بالای الیوین است.

ارتوپروکسنیت‌ها که در نمونه دستی به رنگ‌های قهوه‌ای تا برنزی دیده می‌شوند غالباً از ارتوپروکسن به همراه ذرات کرومیت به صورت افشان تشکیل یافته‌اند (شکل ۲ الف). مطالعه میکروسکوپی این نمونه‌ها نشان می‌دهد که کانی‌های تشکیل دهنده ارتوپروکسنیت‌ها به ترتیب فراوانی شامل ارتوپروکسن (۷۵ درصد)، کرومیت (۱۱ درصد)، کلینوپروکسن (۸ درصد)، الیوین (۴ درصد) و کانی‌های دیگر (۲ درصد) می‌باشند. بافت سنگ‌ها گرانولار و در بعضی موارد ارتوپروکسن‌ها دارای تیغک‌هایی از کانی‌های کلینوپروکسن هستند (شکل ۳ الف). کانی‌های ارتوپروکسن، به‌خصوص از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها به کانی‌های ثانویه و عمدتاً باسیت تجزیه می‌شوند. بیشتر الیوین‌ها نیز تحت تاثیر دگرسانی در حال تجزیه به سرپانتین هستند و خاموشی موحی نشان می‌هند. کرومیت‌ها معمولاً یا به صورت خود شکل و پراکنده در متن سنگ و یا بصورت اجتماعی از بلورهای ریز مشاهده می‌شوند. اکسیدهای آهن در داخل شکستگی‌ها متمرکز بوده و احتمالاً در هنگام پدیده سرپانتینی شدن به وجود آمده‌اند.

کلینوپروکسنیت‌ها که به رنگ سبز هستند حاوی کانی‌های کلینوپروکسن به اندازه ۲-۳ میلیمتر می‌باشند (شکل ۲ ب) در این سنگ‌ها علاوه بر کلینوپروکسن (۷۶ درصد)، کانی‌های ارتوپروکسن (۱۰ درصد)، پلاژیوکلاز (۷ درصد) و الیوین (۵ درصد) و کانی‌های فرعی (۲ درصد) نیز به ترتیب فراوانی وجود دارند. کلینوپروکسن نیمه شکل‌دار و درشت می‌باشد (شکل ۳ ب) و حاشیه کانی‌های الیوین این سنگ‌ها به ایدنگست دگرسان شده‌اند.

مطالعه مقاطع نازک صیقلی در نور انعکاسی نشان می‌دهد

عناصر گروه پلاتین در سنگ‌های آذرین فلسیک و دگرگونی در محدوده کمتر از قسمت در میلیارد<sup>۱</sup> و در سنگ‌های مافیک و الترامافیک تقریباً ۱۰ قسمت در میلیارد در تغییر است. عیار عناصر گروه پلاتین در یک کانسار دارای ارزش اقتصادی بین ۵ تا ۱۰ قسمت در میلیون<sup>۲</sup> می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق پتانسیل یابی عناصر پلاتینیوم و پالادیوم در پیروکسنیت‌های نیریز، بررسی میزان تمرکز آن‌ها در پیروکسن یا کرومیت پیروکسنیت‌ها و همچنین تعیین نوع تیپ و منشا کرومیت در پیروکسنیت‌های منطقه نیریز است.

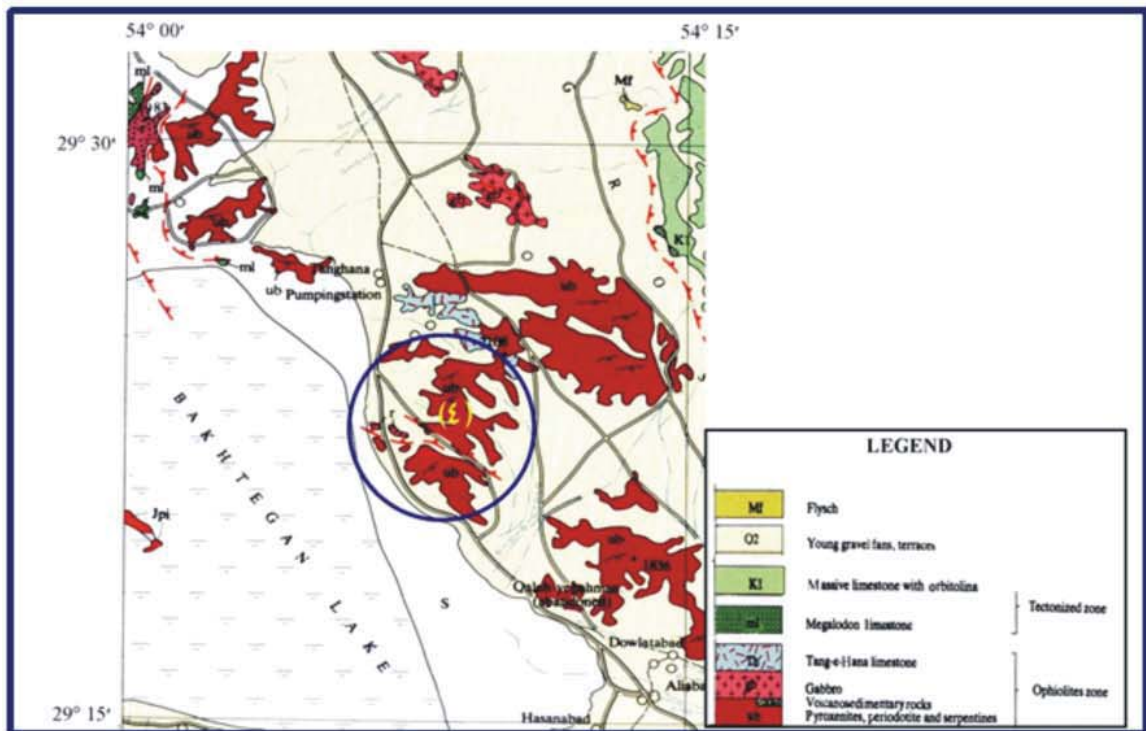
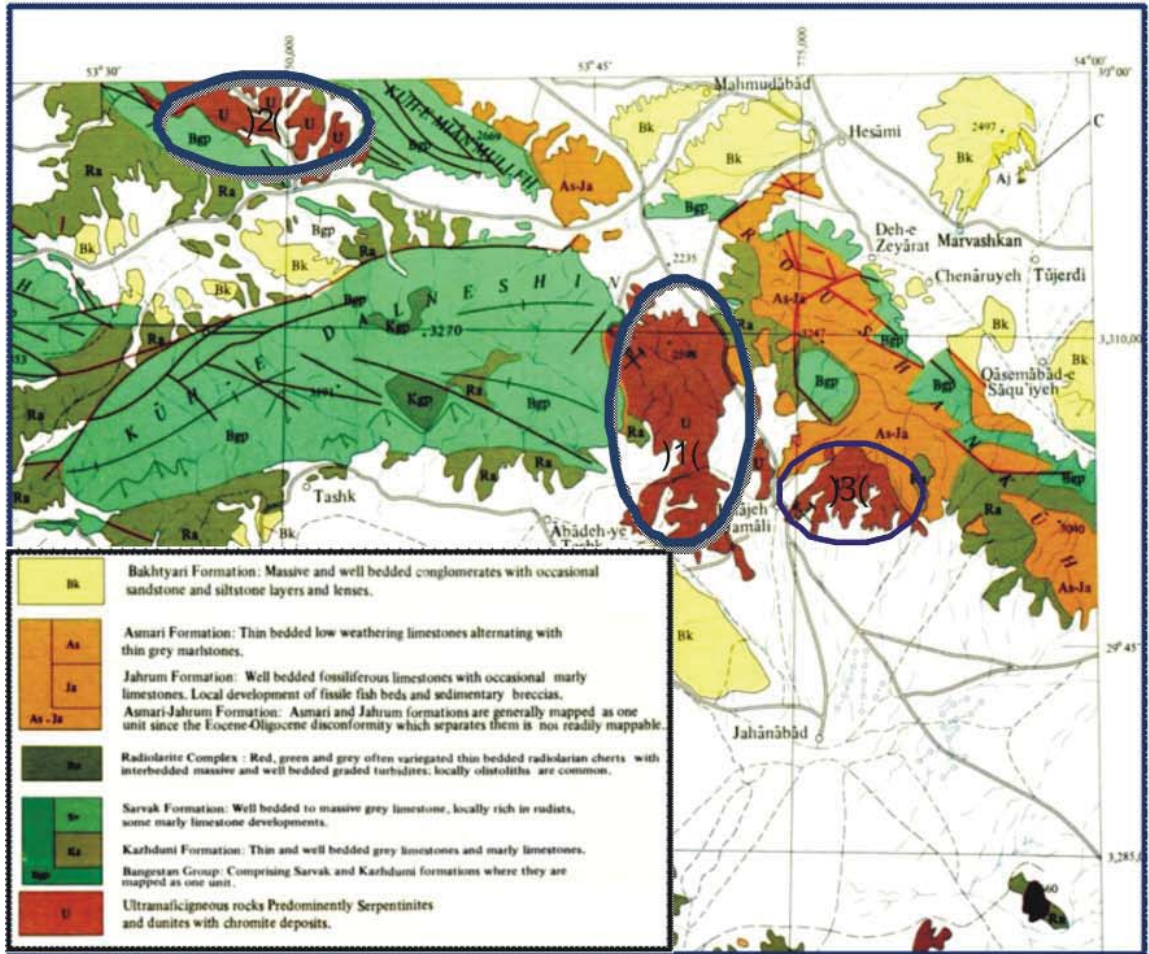
### زمین‌شناسی منطقه

افیولیت نیریز با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی قسمتی از لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس بوده و در یک نوار به طول ۱۰۰ کیلومتر و عرض متوسط ۱۴ کیلومتر به صورت تکه‌های جداگانه از شمال نیریز تا شمال‌غرب کوه دال‌نشین امتداد دارد (آق‌نابتی، ۱۳۸۳). مناطق مورد بررسی در این تحقیق، بخش‌های افیولیتی خواجه جمالی، تنگ حنا، دروازه چنار و کشتک می‌باشند (شکل ۱ الف و ب). مجموعه افیولیتی نیریز از پائین به بالا شامل بخش تکتونیت (هارزبورژیت، لرزولیت، دونیت)، زون انتقالی (سنگ‌های مافیک و الترامافیک بین لایه‌ای) و توالی پوسته‌ای (گابروی ایزوتروپ، دایک‌های ورقه‌ای، گدازه‌های بالشی، و رادیولاریت) است (Sarkarinejad, 2003). این افیولیت بر روی سازند پیچگون رانده شده و در بالای این سازند، توالی گوشته‌ای قرار گرفته است (Babaie et al., 2001). الترامافیک‌ها حدود ۹۰% مجموعه افیولیتی خواجه جمالی را تشکیل می‌دهند که هارزبورژیت، دونیت، پیروکسنیت‌ها و کرومیت‌ها را شامل می‌شوند اما در تنگ حنا بخش‌های مافیکی گسترش بیشتری نسبت به بخش‌های الترامافیکی دارند. در دروازه چنار پیروکسنیت، دونیت سرپانتینی شده، هارزبورژیت و کرومیت از واحدهای سنگی اصلی در منطقه می‌باشند، اما در منطقه کشتک دونیت سرپانتینی شده سنگ‌شناسی غالب را تشکیل می‌دهد. بخش‌های کرومیت در توده افیولیتی نیریز غالباً با پریدوتیت‌ها و ارتوپروکسنیت‌ها همراه می‌باشند و بافت توده‌ای و پوست پلنگی دارند.

### روش مطالعه

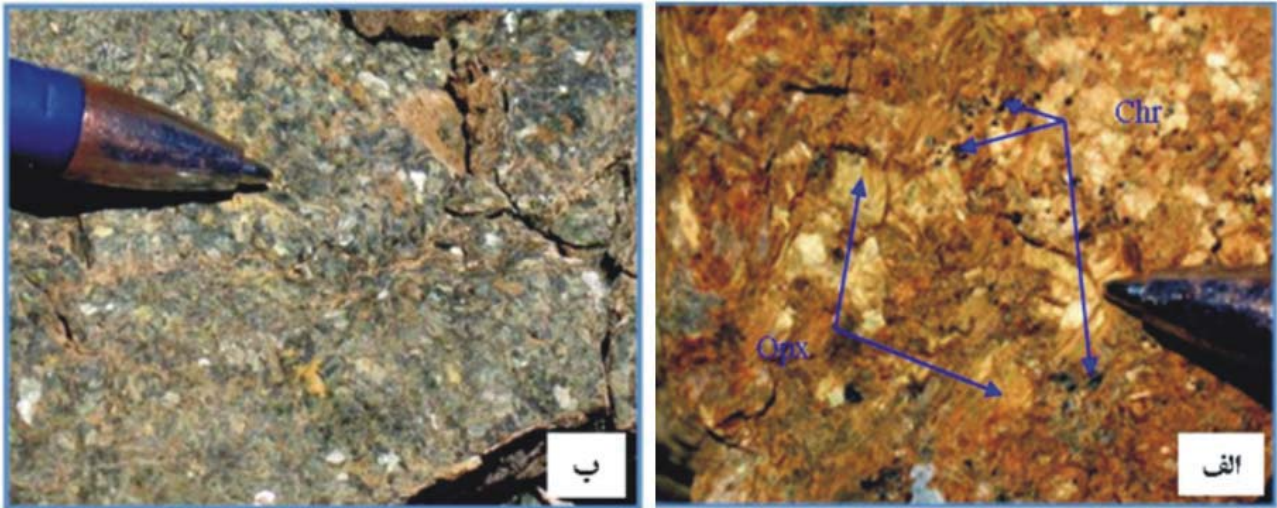
برای تحقق اهداف پروژه پس از نمونه‌برداری از انواع پیروکسنیت‌ها و کرومیت‌های موجود در آن‌ها و تهیه مقاطع نازک - صیقلی و انجام مطالعات پتروگرافی به منظور تعیین شیمی کانی‌ها، تعداد ۱۵ نقطه از پیروکسن‌ها و ۱۰ نقطه از کرومیت‌ها در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه کارلتون کشور کانادا مورد تجزیه ریزکاوش الکترونی (EMP) قرار گرفتند. مقادیر  $FeO$  و  $Fe_2O_3$  پس از اندازه‌گیری آهن کل توسط EMP، بر پایه استوکیومتری اسپینل برآورد گردید. محاسبات کاتیونی و تعیین نوع پیروکسن‌ها با استفاده از نرم افزار Minpet و بر اساس شش اتم اکسیژن

1. ppb  
2. ppm

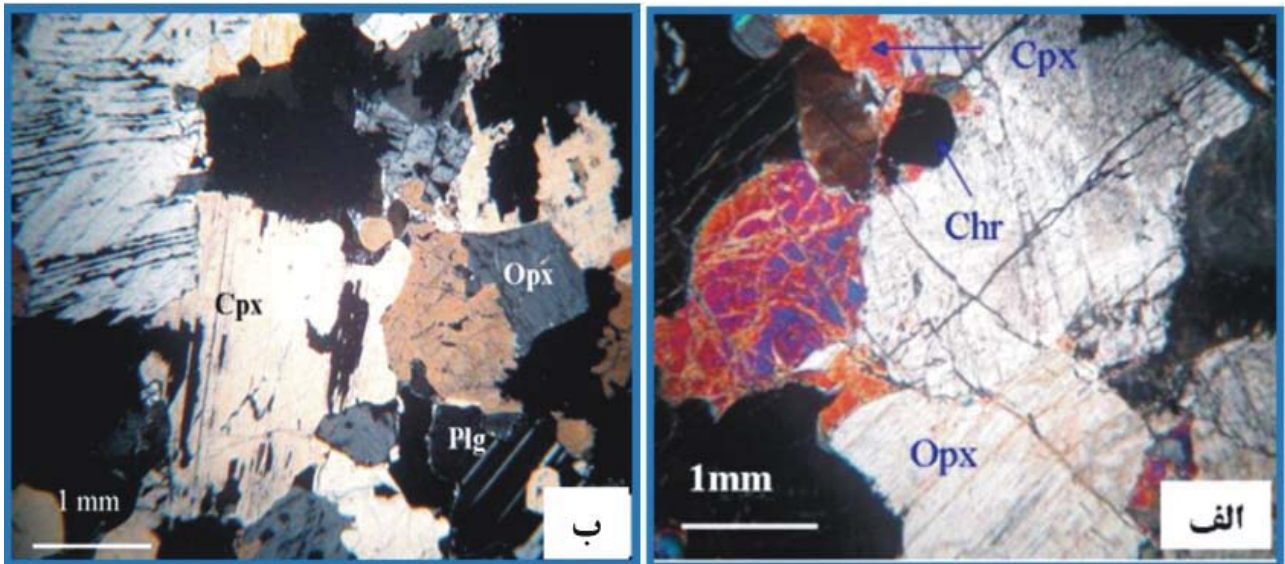


شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه نیریز، الف) (۱) خواجه جمالی، (۲) تنگ حنا و (۳) کشتک (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ شیراز، شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۷۹). ب) (۴) ناحیه دروازه چنار (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ نیریز، شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۸۵).

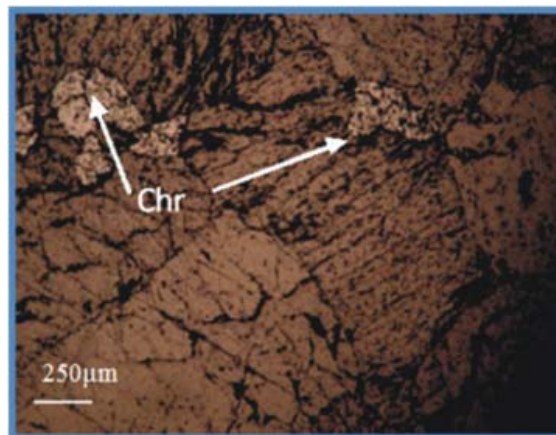




شکل ۲. الف) رگه ارتوپیروکسنیتی حاوی دانه‌های کرومیت (Chr) و ارتوپیروکسن (Opx)، ب) کلینوپیروکسنیت (علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010).



شکل ۳. الف) کانی‌های ارتوپیروکسن (Opx)، کلینوپیروکسن (Cpx) و کرومیت (Chr) در ارتوپیروکسنیت منطقه نیریز، ب) کانی‌های ارتوپیروکسن (Opx)، کلینوپیروکسن (Cpx) و پلاژیوکلاز (Plg) در کلینوپیروکسنیت‌های منطقه نیریز (علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010).



شکل ۴. بلورهای کرومیت (Chr) در نور انعکاسی.

که بیش از ۸۵ درصد کانی‌های اپاک موجود در پیروکسنیت‌ها، کرومیت می‌باشند. کرومیت‌ها بصورت نیمه شکل تا شکل دار، به رنگ خاکستری و بدون رخ دیده می‌شوند و دارای شکستگی می‌باشند (شکل ۴).

ارائه شده است. میزان MgO الیون‌ها بالا، ترکیب آنها کریزولیت (جدول ۳ و شکل ۶) و فرمول ساختاری آنها  $(Mg_{0.92}, Cr_{0.02}, Al_{0.06})(Si_{1.96}, Al_{10.04})_2O_6$  می‌باشند. مقدار انستاتیت‌ها در ارتوپروکسنیت‌های نیریز بین ۸۴/۴ تا ۹۱/۳ بوده و دارای ترکیب میانگین  $(En_{87.6} Wo_{1.5} Fs_{11})$  و فرمول شیمیایی ارتوپروکسن‌ها  $(Si_{1.94}, Al_{0.06})_2O_6$   $(Mg_{1.7}, Fe_{0.2}, Ca_{0.03})_2$  هستند. در جدول ۳ نتایج تجزیه ریزکاوش الکترونی کانی‌های الیون در جدول ۳ شده است. میزان MgO الیون‌ها بالا، ترکیب آنها کریزولیت (جدول ۳ و شکل ۶) و فرمول ساختاری آنها  $(Mg_{0.85} Fe_{0.15})_2(SiO_4)$  می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه EMP نیز وجود کرومیت در پیروکسنیت‌ها را ثابت کرده است (جدول ۴). میزان اکسید کروم کرومیت‌ها بسیار بالاست و موقعیت محدوده ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها را می‌توان با ترسیم نقاط بر روی نمودار A.C.F نمایش داد (شکل ۷).

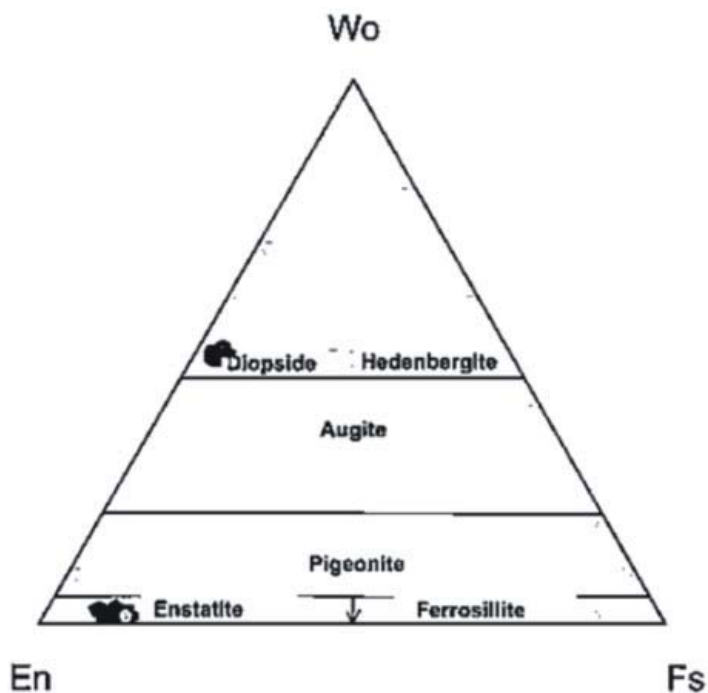
جدول ۱. ترکیب شیمیایی ارتوپروکسن‌ها در پیروکسنیت نیریز (مقادیر برحسب درصد وزنی می‌باشند).

Descrip.	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳
CaO	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۶۴	۱/۰۷
FeO	۶/۱۱	۶/۲۳	۵/۷۷	۶/۴۵	۵/۱۶	۸/۹۸	۷/۸۸	۷/۴۳	۶/۰۲
MgO	۳۴/۱۲	۳۵/۷۶	۳۴/۵۱	۳۳/۹۸	۳۵/۷۳	۳۱/۶۳	۳۳/۵۵	۳۴/۲۱	۳۳/۵۹
TiO <sub>2</sub>	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰
MnO	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۶۲	۰/۸۲	۰/۴	۰/۲۱	۱/۵۹	۱/۹۶	۱/۸۶	۱/۶	۰/۷۳
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۴۷
SiO <sub>2</sub>	۵۸/۱۵	۵۶/۴۱	۵۹/۱۱	۵۸/۴۱	۵۷/۱۵	۵۶/۴۹	۵۵/۹۷	۵۵/۵۴	۵۸/۰۸
Total	۱۰۰/۰۶	۱۰۰/۰۶	۱۰۱/۰۱	۱۰۰/۰۲	۱۰۰/۰۸	۱۰۰/۰۶	۱۰۰/۷۰	۱۰۰/۱۰	۱۰۰/۲۰
TSi	۱/۹۹	۱/۹۲	۲/۰۲	۲/۰۲	۱/۹۴	۱/۹۶	۱/۹۳	۱/۹۲	۱/۵۴
TAl	۰/۰۱	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۶	۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۲
M <sub>1</sub> Al	۰/۰۲	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰	۰	۰
M <sub>1</sub> Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
M <sub>1</sub> Cr	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
M <sub>1</sub> Mg	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۴۳	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
M <sub>2</sub> Mg	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۸۳	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۳۴
M <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۱۳۴/
M <sub>2</sub> Mn	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
M <sub>2</sub> Ca	۰/۰۳۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۴	۰/۹۵۶
M <sub>2</sub> Na	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
Sum_cat	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

جدول ۲. ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در پیروکسنیت نیریز (مقادیر برحسب درصد وزنی می‌باشند).

Descrip.	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Na <sub>2</sub> O	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳
CaO	۲۳/۱۸	۲۳/۰۲	۲۲/۹۱	۲۳/۹	۲۳/۰۱	۲۲/۰۸
FeO	۳/۲۶	۳/۰۴	۳/۱۹	۳/۱۴	۳/۵۲	۳/۲۹
MgO	۱۶/۸۹	۱۶/۷۹	۱۶/۹۲	۱۶/۶۹	۱۷/۰۲	۱۶/۹۵
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۹
MnO	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲/۰۹	۲/۲۶	۲/۳۲	۲/۴۳	۲/۴۳	۲/۳۸
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۶
SiO <sub>2</sub>	۵۳/۸۷	۵۴/۱۵	۵۴/۱۲	۵۳/۵۶	۵۳/۵۶	۵۳/۸۲
Total	۱۰۰/۲	۱۰۰/۱۱	۱۰۰/۳۹	۹۹/۶۲	۱۰۰/۵۵	۱۰۰/۱۴
TSi	۱/۹۶	۱/۹۷۲	۱/۹۶۵	۱/۹۶	۱/۹۴۲	۱/۹۵۸
TAl	۰/۰۴	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۴	۰/۰۵۸	۰/۰۴۲
M <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	۰/۰۵	۰/۰۶۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۴۵	۰/۰۶
M <sub>1</sub> Ti	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
M <sub>1</sub> Cr	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
M <sub>1</sub> Mg	۰/۹۱۶	۰/۹۱۱	۰/۹۱۶	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۱۹
M <sub>2</sub> Mg	.	.	.	.	.	.
M <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub>	۰/۰۸۵	۰/۰۹۱	۰/۰۹۶	۰/۰۹	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹
M <sub>2</sub> Mn	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
M <sub>2</sub> Ca	۰/۹۰۴	۰/۸۹۸	۰/۸۹۱	۰/۸۹۸	۰/۸۹۴	۰/۸۸۹
M <sub>2</sub> Na	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
Sum_cat	۴	۴	۴	۴	۴	۴

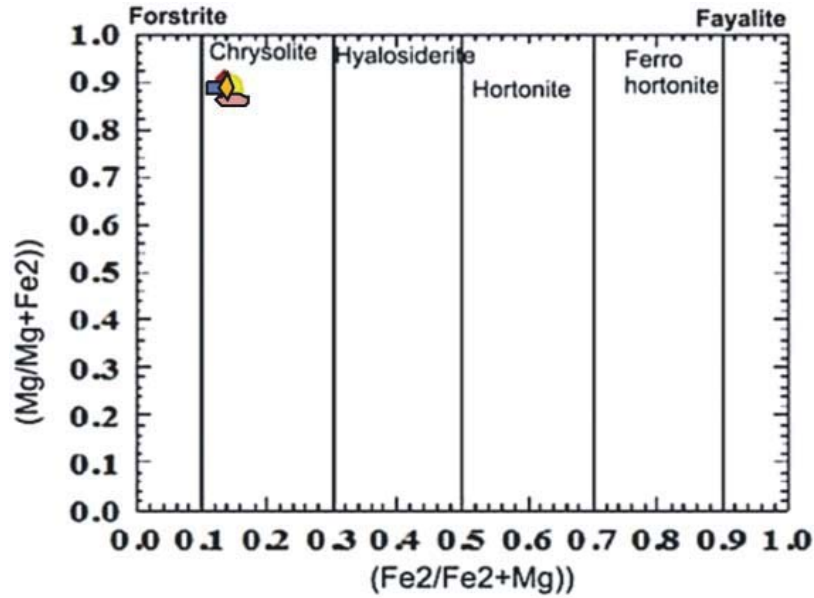




شکل ۵. کلینوپیروکسن‌های منطقه نیریز از دیوپسید و ارتوپیروکسن‌ها از انستاتیت غنی می‌باشند.

جدول ۳. ترکیب شیمیایی البوین در پیروکسنیت‌های نیریز (مقادیر برحسب درصد وزنی می‌باشند).

Descrip.	۱	۲	۲	۴	۵
Na <sub>2</sub> O	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۶
CaO	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۹
FeO	۱۴/۶۱	۱۲/۹۱	۱۳/۴۱	۱۳/۸۸	۱۴/۳
MgO	۴۴/۸۳	۴۵/۳۲	۴۵/۱	۴۴/۹	۴۵/۳
TiO <sub>2</sub>	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
MnO	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۳
SiO <sub>2</sub>	۴۰/۳	۴۰/۳	۴۱/۱	۴۰/۷	۳۹/۹
Total	۱۰۰/۰۴	۹۹/۰۲	۱۰۰/۰۲	۱۰۰/۰۴	۹۹/۹۶
Si	۱/۰۰۸	۱/۰۱۱	۱/۰۱	۱/۰۱۳	۱/۰۱
Fe <sub>2</sub>	۰/۳۰۶	۰/۲۷۱	۰/۲۸	۰/۲۷۸	۰/۳۱
Mg	۱/۶۷۲	۱/۶۹۵	۱/۶۸	۱/۶۸	۱/۶۷۵
Mn	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
Ca	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
Na	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
Sum_cat	۲/۹۹۳	۲/۹۹	۲/۹۸	۲/۹۸۴	۳/۰۰۵



شکل ۶. ترکیب الیون های منطقه نیریز در محدوده کانی کریزولیت قرار دارد.

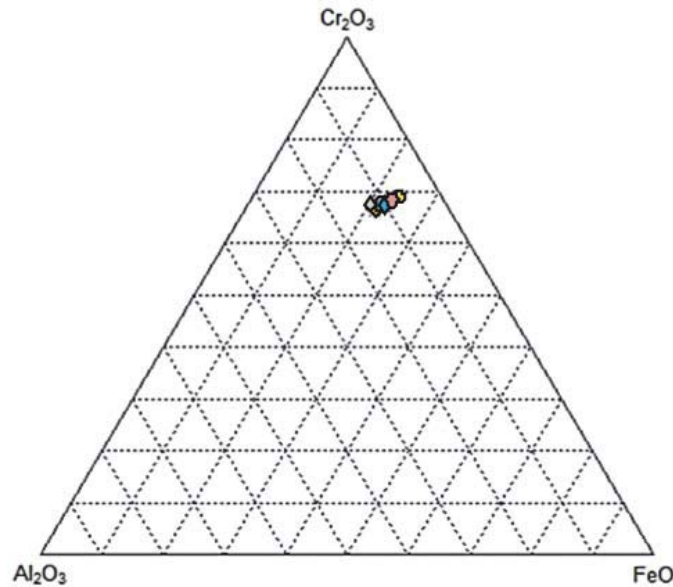
جدول ۴. ترکیب شیمیایی کرومیت های موجود در پیروکسینت های نیریز، (مقادیر برحسب درصد وزنی می باشند).

Sample	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
MgO	۹/۷۲	۹/۶۸	۹/۱۸	۹/۰۴	۷/۷۷	۹/۵۰	۹/۹۶	۱۰/۰۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷/۴۹	۷/۴۸	۷/۷۶	۸/۸۵	۵/۴۵	۷/۶۱	۱۰/۶۴	۱۰/۸۷
FeO	۲۱/۸۳	۲۱/۷۷	۲۲/۵۶	۲۲/۷۵	۲۱/۵۴	۲۱/۸۲	۱۸/۹۳	۱۹/۰۱
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶۰/۲۵	۶۰/۹۹	۶۰/۱۷	۵۸/۹۹	۵۸/۵۴	۶۰/۲۱	۵۹/۸۰	۵۹/۱۰
MnO	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۲۰
TiO <sub>2</sub>	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶
Al	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۳	۰/۴۱	۰/۴۲
Ti	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱
Fe <sub>2</sub>	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۵۰
Fe <sub>3</sub>	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۳
Cr	۱/۵۹	۱/۶۱	۱/۵۹	۱/۵۵	۱/۶۸	۱/۶	۱/۵۶	۱/۵۵
Mn	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Mg	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۹
sum Cat.	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Mg#	۵/۴۹	۵/۴۸	۵/۴۶	۵/۴۵	۴/۴۲	۵/۴۸	۵/۴۹	۵/۴۹
Cr#	۸۴	۸۵	۸۴	۸۲	۸۸	۸۴	۷۹	۷۸

No. of atoms, O = 4

Cr# = 100 Cr/(Cr+Al)

Mg# = 100 Mg/(Mg+Fe+2)



شکل ۷. موقعیت کرومیت موجود در ارتوپروکسینت‌های نیریز در دیاگرام  $Al_2O_3$ - $Cr_2O_3$ - $FeO$ .

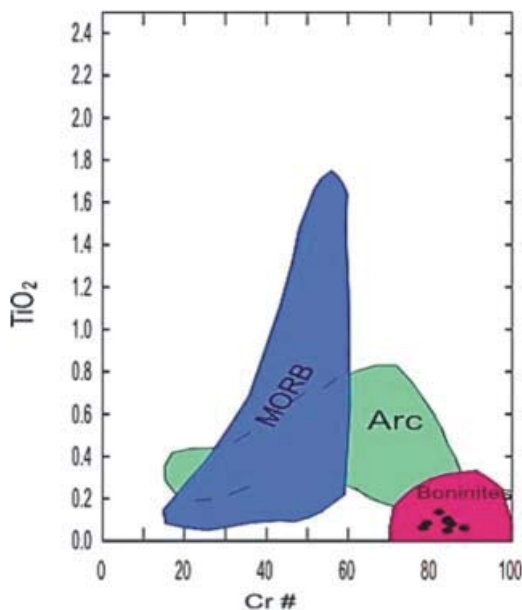
### بحث

#### تقسیم‌بندی کانسارهای گروه پلاتین

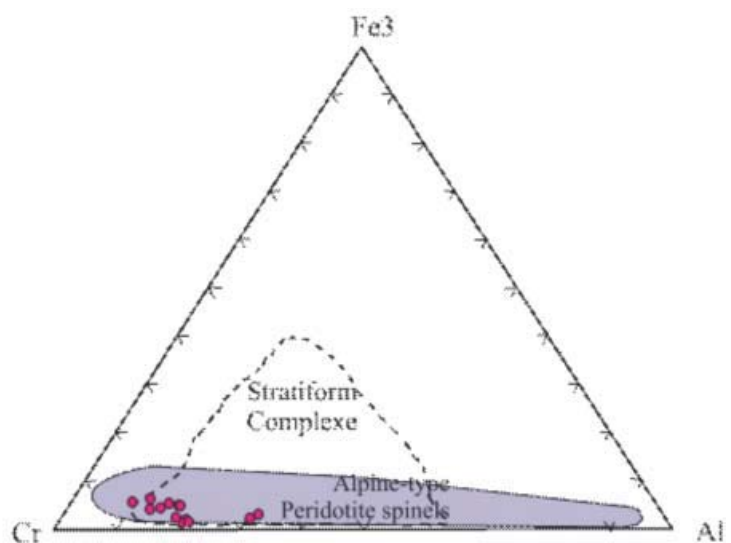
کانسارهای گروه پلاتین در چهار گروه اصلی قرار می‌گیرند: (۱) کانسارهای ماگمایی: کانسارهای ماگمایی  $Cu$  و  $Ni$  و PGE در توده‌های ماگمایی مافیک و یا الترامافیک تشکیل شده و در نتیجه فرایندهای تبلور، تفریق و تمرکز بوجود می‌آیند (Eck-strand, 2005). این کانسارها خود به دو گروه تقسیم می‌شوند: (۱) کانسارهای غنی از سولفور که از نیکل و مس غنی بوده و

ترکیب شیمیایی این کرومیت‌ها  $(Cr_{1.55}, Fe_{0.52}, Mn_{0.01}, Mg_{0.47})_2O_4$ ، نسبت  $Cr/Fe$  بین ۲/۴۵ تا ۲/۹۵ و میانگین میزان  $Cr\#$  4/81 می‌باشد.

کرومیت‌های موجود در پروکسینت‌های نیریز، میزان  $Al_2O_3$  پائین (حدوداً ۷٪)،  $Cr_2O_3$  بالا (میزان تقریبی ۶۰٪) و کم  $Fe$  و میزان اکسید تیتانیوم پائین دارند. تیپ کرومیت‌های این منطقه آلپی (شکل ۸) و از ماگمایی با ترکیب بونینیتی به‌وجود آمده‌اند (شکل ۹).



شکل ۹. کرومیت‌های نیریز در محدوده ترکیب بونینیتی واقع می‌شوند ( نمودار برگرفته از Page et al., 2008 ).



شکل ۸. کرومیت‌های منطقه نیریز به تیپ آلپی تعلق دارند ( نمودار برگرفته از Cookenboo et al., 1997 ).