



بخش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.11, No. 2, Summer 2019

۶۳-۷۸

تحلیل طیفی و آشکارسازی واحدهای سنگی کمپلکس سوریان، شمال شرق فارس با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای استر و سنتینل ۲

مجید هاشمی تنگستانی^۱ و سمیرا شایگان پور^{۲*}

۱. استاد بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸

چکیده

قابلیت‌های ویژه داده‌های ماهواره‌ای، در تامین اطلاعات از مواد سطحی زمین، امکان تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی را فراهم می‌کند و در این راستا، توان تفکیک طیفی و مکانی داده‌های مورد استفاده، دو ویژگی اساسی آن‌ها در تعیین میزان دقت و درستی نقشه‌ها است. در این پژوهش، دسته داده‌های استر و سنتینل ۲، به دلیل توان تفکیک طیفی و مکانی بالا، در آشکارسازی واحدهای سنگی کمپلکس سوریان، در شمال شرق فارس بکار گرفته شده‌اند. کمپلکس دگرگون شده رسوبی-آتشفشانی سوریان، بخشی از کمربند سنج-سیرجان جنوبی در بوانات استان فارس است. بررسی سیمای طیفی نمونه‌های صحرایی که در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد و همچنین طیف‌های استخراج شده از تصویر، نشان می‌دهد که گروه‌های عاملی اصلی تعیین‌کننده رفتارهای طیفی در منطقه، شامل Fe^{2+} ، Fe^{3+} ، CO_3 ، $Al-OH$ ، $Mg-OH$ و $Fe-OH$ است که براساس مطالعات کانی‌شناسی، می‌توان آن‌ها را به کانی‌های کلریت، موسکوویت، اپیدوت، آمفیبول، کلسیت و همتایت نسبت داد که مطالعه مقاطع میکروسکوپی نیز، رخداد آن‌ها را تایید می‌کند. برای آشکارسازی واحدهای سنگی منطقه از روش‌های نسبت‌گیری باندی $\frac{6+8}{7}$ ، $\frac{7+5}{6}$ و $\frac{6+9}{7+8}$ بر روی ۹ باند بازتابی سنجنده استر و روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی ۹ باند سنتینل ۲ و استر استفاده شد. این پردازش‌ها توانست، واحدهای سنگی کلریت-اپیدوت شیبست، کالک شیبست، میکاشیبست و همچنین دایک‌های دیابازی و کوآرتزی را تفکیک کند. مقایسه نتایج این تحقیق، با مشاهدات میدانی و نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی، نشان داد که استفاده همزمان داده‌های استر و سنتینل ۲ و روش‌های پردازش بکار رفته، می‌تواند در تفکیک واحدهای سنگی یک کمپلکس دگرگونی-رسوبی-آتشفشانی موفق باشد.

کلید واژه‌ها: آشکارسازی، استر، سنتینل ۲، تحلیل طیفی، سوریان، فارس

۱- مقدمه

تحلیل طیفی، نقطه شروع پردازش‌های طیفی در سنجش از دور است. نگاه جامع به این مبحث، درباره کانی‌ها و سنگ‌ها می‌تواند بینشی روشن در انتخاب باندهای طیفی و روش مناسب برای بارسازی واحدهای سنگی ارائه دهد. کانی‌ها، به‌طور ذاتی، تغییرات فیزیکی و شیمیایی زیادی از خود نشان می‌دهند که موجب جابه‌جایی موقعیت جذب آن‌ها در منحنی طیفی یا تغییر در عمق، پهنا و شکل جذب می‌شود. این نوسانات طیفی، بیانگر تغییر در شرایط فیزیکی- شیمیایی محیط تشکیل کانی‌ها نیز هست که در استخراج اطلاعات اکتشافی و زمین‌شناسی اهمیت دارند. از طرف دیگر، موقعیت، شکل، عمق، پهنا و تقارن سیماهای جذبی، توسط ساختار بلورین خاصی که گونه جذبی را در خود دارد نیز کنترل می‌شود. شناسایی واحدهای سنگی، تنها متکی به تحلیل طیفی و شناخت رفتارهای منحصر به فرد کانی و سنگ‌ها نیست؛ بلکه تکمیل‌کننده این روش، به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای قدرتمند از نظر توان تفکیک مکانی و طیفی است (Hunt and Salisbury, 1971).

هر چند سنجنده استر، به‌طور گسترده برای نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناسی بکارگرفته شده (Li et al., 2007; Qiu et al., 2006; Rowan and Mars, 2003; Gomez et al., 2005; Khan et al., 2007) و در سال‌های اخیر، توانسته نقش موثر خود را در بارسازی واحدهای سنگی مختلف مانند گرانیت‌ها (Massironi et al., 2008; Watts et al., 2005)، توالی‌های افیولیتی (Qiu et al., 2006; Khan et al., 2007) و سنگ‌های کربناتی، شیلی و رسی (Qari et al., 2008; Gad and Kusky, 2007; Vaughan et al., 2005) نشان دهد، اما کارهای اندکی با استفاده از این سنجنده در بارسازی و تفکیک واحدهای دگرگونی انجام شده است (Rajendran., 2014).

داده‌های سنتینل ۲، برای سنجش از دور زمین‌شناختی، برای اولین بار، توسط فن در میبر و

همکارانش (Van der Meer., 2014) ارزیابی شد. آن‌ها قابلیت‌های سنتینل ۲ و استر را نسبت به یکدیگر برای نقشه‌برداری کانی‌های سطحی همراه با سیستم‌های دگرسان شده گرمایی مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که داده‌های آن‌ها، بویژه در خروجی‌های نسبت بانندی، می‌توانند در سنجش از دور زمین‌شناختی بکار گرفته شوند. کوداهی و هوسن (Cudahy and Hewson., 2002) با اجرای نسبت‌های بانندی نشان دادند که تعدادی از باندهای استر و سنتینل ۲ همپوشانی دارند. میلک و همکاران (Mielke, et al., 2014) برای نقشه‌برداری واحدهای سنگی، از عمق ویژگی‌های جذبی آهن در یک روش نسبت‌گیری بانندی از مجموعه داده‌های سنتینل ۲، استفاده کرده و نتیجه گرفتند که این ماهواره با این روش، برای آشکارسازی کلاک‌های آهنی مناسب است. به‌رغم مطالعات متعددی که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با هدف تفکیک‌های سنگ‌شناختی در نقاط مختلف انجام شده است، پژوهش‌های بسیار محدودی در این ارتباط از منطقه سوریان در دسترس است. برای مثال، داده‌های استر و روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای بارسازی واحدهای رسی و آهن‌دار و پوشش گیاهی منطقه سوریان بکار رفت (سازمان صنایع و معادن استان فارس، ۱۳۸۱). اُخوت (۱۳۷۸) نیز در طرح اکتشاف مواد معدنی بااستفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک هوایی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی سوریان، با استفاده از داده‌های سنجنده TM، کمپلکس سوریان را به دو واحد سنگی مختلف تقسیم کرد و پتانسیل‌های معدنی آن را مورد مطالعه قرار داد.

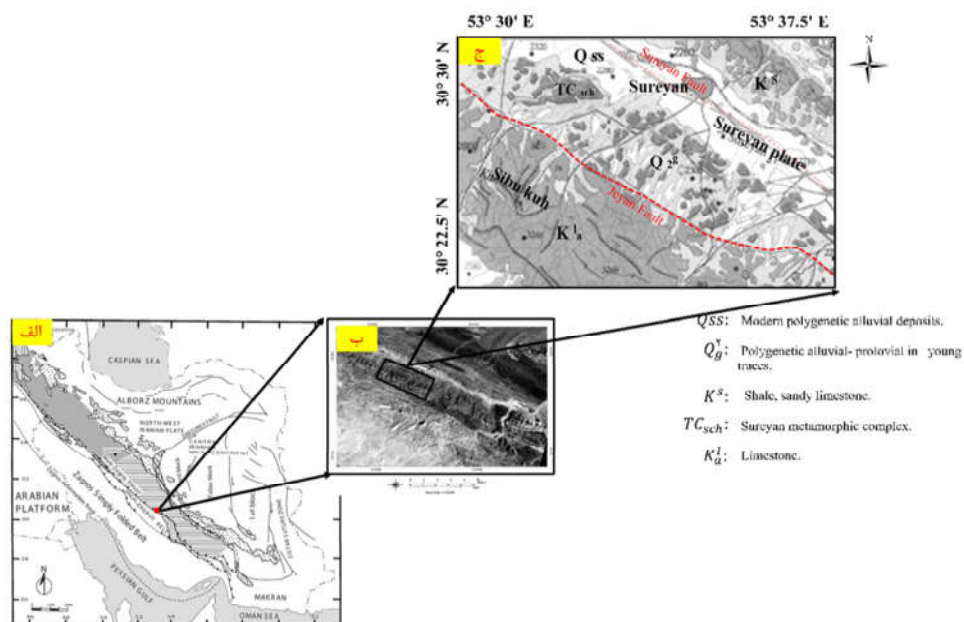
در تحقیق پیش‌رو، از داده‌های استر و سنتینل ۲، برای بارسازی و تفکیک واحدهای سنگی کمپلکس سوریان در شرق بوانات (شمال‌شرق استان فارس) استفاده شده است. براساس مطالعات پیشین، پیمایش‌های صحرایی و بررسی مقطع‌های نازک میکروسکوپی، واحد کلریت-اپیدوت شستی این مجموعه، از نظر تشکیل ذخایر و کانه‌زایی‌های متعدد به ویژه مس، سرب و روی حائز اهمیت است. به همین

رسوبی دگرگون شده شامل آهک دگرگون شده و شیست و مجموعه آتشفشانی شامل متاولکانیک‌های بازیک، توده‌های نفوذی با رخنمون کوچک و مجموعه رسوبات دگرگون نشده شامل آهک، شیل، مارن و رسوبات جوان کواترنری است. سن سنگ‌های اولیه واحدهای شیستی مجموعه دگرگونی به اواخر پالئوزوئیک مربوط می‌شود که دو فاز مهم دگرگونی بر آن‌ها اثر کرده است؛ یکی فاز تریاس میانی- پایانی، که یک فاز دیناموترمیک است و ایجاد دگرگونی در حد رخساره شیست سبز کرده و دیگری فاز کرتاسه پایانی که ایجاد ساختارهایی با روند زاگرس کرده و جنبه دینامیکی آن غالب است (Hushmandzadeh et al., 1969). منطقه بوانات و مجموعه‌های سنگ‌شناسی مرتبط با آن، در طول زمان، تحت تأثیر عوامل تکتونیکی متعددی قرار گرفته‌اند که در شکل‌گیری وضعیت کنونی آن‌ها بسیار مؤثر بوده است. از جمله شواهد این امر می‌توان به دو گسل اصلی سوریان و جیان در دو سوی دره سوریان با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی اشاره کرد (Mousivand and Rastad, 2007) (شکل ۱).

دلیل، شناسایی واحدهای سنگ‌شناسی اصلی مجموعه سوریان و واحدهای سنگی واجد کانه‌زایی مس می‌تواند در انجام طرح‌های اکتشافی حائز اهمیت باشد. بنابراین، شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی در منطقه مطالعاتی که در پهنه دگرگون شده سنندج-سیرجان قرار می‌گیرد، هدف اولیه مطالعه حاضر است. برای رسیدن به این هدف، پردازش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندی بکار گرفته شده‌اند. در این راستا، تحلیل طیفی واحدهای سنگ‌شناختی موجود در منطقه، به شناسایی رفتارهای طیفی بنیان‌های اصلی واحدهای سنگی و انتخاب باندهای طیفی مناسب برای پردازش‌های مورد استفاده کمک کرده است.

۲- زمین شناسی

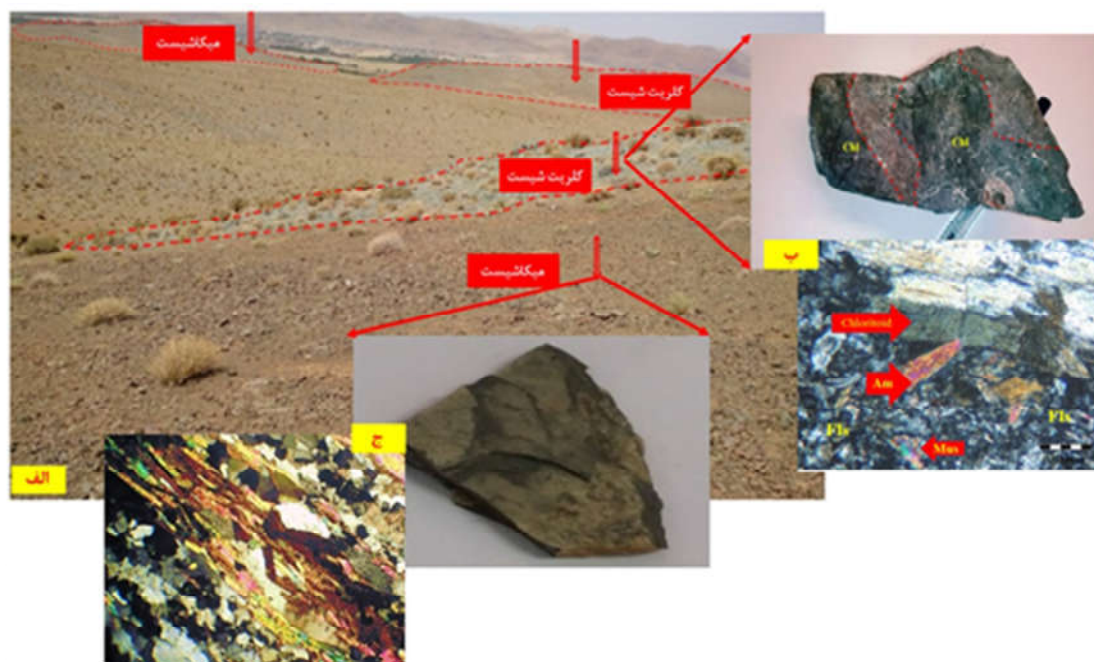
منطقه مورد مطالعه، در فاصله ۲۰۰ کیلومتری شمال‌شرق شیراز و در شهرستان بوانات، و از نظر ساختاری در جنوب‌شرق پهنه سنندج- سیرجان، با توالی چینه‌ای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی قرار می‌گیرد. واحدهای رخنمون‌یافته در منطقه، به صورت مجموعه



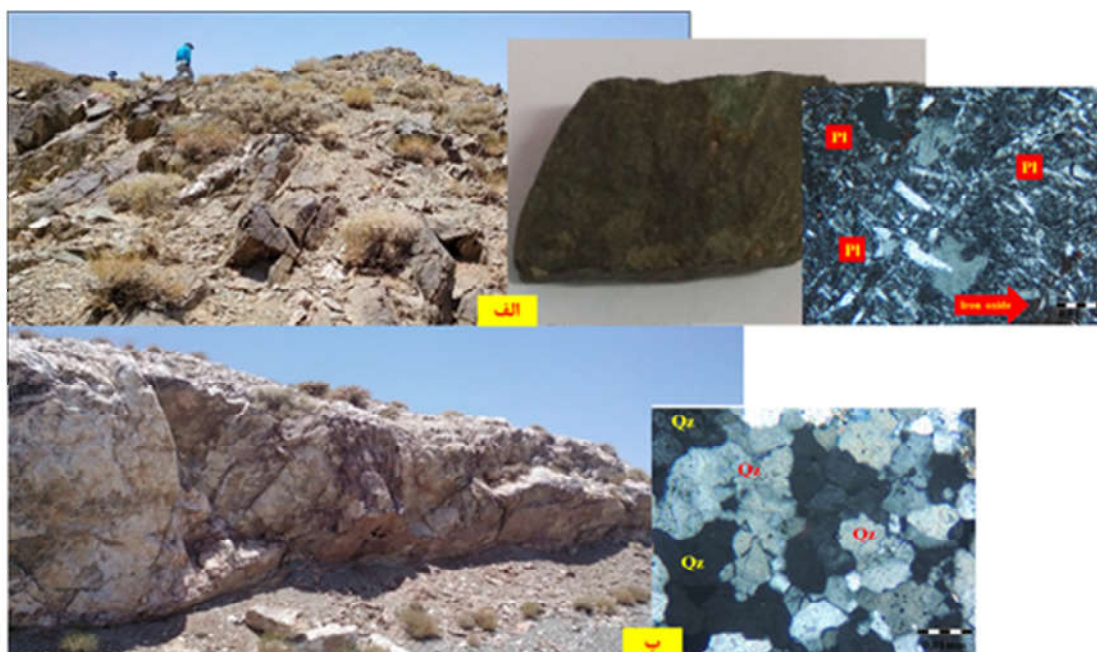
شکل ۱. موقعیت منطقه بوانات در نقشه ایران (الف)، موقعیت مجموعه سنگی سوریان در یک صحنه آستر (ب)، موقعیت منطقه مطالعاتی در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان (ج) (Oveisi, 2001).

آمفیبولیت ظاهراً شده است (شکل ۲). مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی صورت گرفته بر روی نمونه‌های سنگی منطقه نشان می‌دهد که کلریت از جمله کانی‌هایی است که در تمامی واحدهای شیستی و بازی، حضوری گسترده داشته و از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده سنگ‌های دگرسان شده محسوب می‌شود. دگرسانی سریستی نیز در بیشتر سنگ‌های متابازیتی دیده شده و به رنگ خاکستری روشن از گسترش زیادی برخوردار است. میکاشیست‌ها که به طور عمده شامل سنگ‌های رسوبی تخریبی و آواری دگرگون شده موجود در مجموعه سوریان هستند، بخش عمده‌ای از این کمپلکس را به خود اختصاص داده‌اند که در شکل ۲-الف و ج، قابل مشاهده است. کانی‌شناسی میکاشیست‌ها ساده بوده و اغلب از کوارتز، موسکویت، بیوتیت، ایلیت، کائولینیت و هماتیت تشکیل شده‌اند. بیش‌ترین رخنمون این سنگ‌ها، در طول دره سوریان بوده و اغلب به رنگ‌های خاکستری تیره تا سیاه مشاهده می‌شوند. در واحدهای دگرگون شده سوریان دایک سیلیسی و دیابازی نیز قابل مشاهده است.

توالی آتشفشانی-رسوبی سوریان به سن پرموتریاس شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آواری-آهکی، آتشفشانی و دگرگونی است. این کمپلکس تناوبی از میکاشیست و شیست سبز به سن کربونیفر تا پرمین است که با مقادیر کمتری آمفیبولیت و کالک شیست همراهی می‌شود. نکته مهم درباره این توده‌ها آن است که میزبان کانه‌زایی مس بوده‌اند (Mousivand, 2003) به گونه‌ای که در برخی از آن‌ها مالاکیت و کالکوپیریت مشاهده شده است. شیست سبز، سنگ آذرین دگرگون شده‌ای است که ترکیب شیمیایی سنگ اولیه آن به طور عمده بازالت، در برخی موارد آندزیت - بازالت و به ندرت آندزیت بوده و بخشی از نوار سندرچ-سیرجان در منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. کانی‌های اصلی در سنگ مادر این واحد، پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول بوده و فازهای جدید بدلیل واکنش‌های صورت گرفته در کانی‌های فرومنیزین‌دار تشکیل شده‌اند. این بخش متابازیتی با ترکیب کانی‌شناسی کلریت، اپیدوت، ترمولیت، اکتینولیت و پلاژیوکلاز به همراه کانی‌های تیره، عموماً به صورت شیست سبز و گاهی به شکل



شکل ۲. واحدهای کلریت-اپیدوت شیست و میکاشیست در مشاهدات صحرایی (الف)، به همراه نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی آن‌ها (ب و ج)



شکل ۳. واحدهای دایک دیابازی (الف)، و کوارتزیتی در مشاهدات صحرایی به همراه نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی آن‌ها (ب).

۳- مواد و روش‌ها

یک ماهواره چند طیفی با ۱۳ باند، بین طول موج‌های ۴۴۶ تا ۲۱۹۰ نانومتر شامل ۴ باند مرئی و فروسرخ نزدیک با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر، ۶ باند فروسرخ موج کوتاه و لبه قرمز با توان تفکیک مکانی ۲۰ متر و ۳ باند تصحیح جوی با توان تفکیک ۶۰ متر است (Baret, 2007). با توجه به اینکه، تصاویر خام دارای خطای زمین مرجع و جوی هستند عملیات پیش‌پردازش شامل تصحیح هندسی و جوی بر روی آن‌ها انجام شد. به‌منظور تصحیح هندسی از روش تصویر به نقشه، و برای حذف خطای رادیومتری، روش تصحیح جوی QUAC (quick atmospheric correction) بر روی ۹ باند (VNIR+ SWIR) بازتابی هر دو مجموعه داده‌ها اجرا شد. این روش، برای نرمال کردن تصاویر با استفاده از طیف بازتاب میانگین صحنه اجرا می‌شود (Bernstein, 2005).

نمونه‌های سنگی گردآوری شده از میدان، در دانشگاه شهید چمران اهواز طیف سنجی شدند و طیف محدوده‌های بزرگتر از یک پیکسل با روش Z-Profile از تصویرها استخراج شد. سپس منحنی‌های طیفی، بر

داده‌های بازتابی تراز L1B سنجنده استر، اخذ شده در تاریخ ۲۰۰۴/۰۱/۰۸ و داده‌های بازتابی تراز LIC ماهواره سنتینل ۲ که در تاریخ ۲۰۱۶/۰۲/۱۵ گرفته شده است، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. سنجنده استر (پرتوسنج بازتابی و گسیلش گرمایی فضا برد پیشرفته) اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند مجزا، سه باند در محدوده مرئی و فروسرخ نزدیک (۰/۵۲-۰/۸۶) با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر، شش باند در محدوده فروسرخ موج کوتاه (۱/۶-۲/۴۳) با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند در محدوده فروسرخ گرمایی (۱۱/۶۵-۱۲/۵)، با توان تفکیک مکانی ۹۰ متر را در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Abrams, 2000). ماهواره سنتینل ۲، از سری دوم ماهواره‌های آژانس فضایی اروپا با مدار خورشید آهنگ است که در ارتفاع ۷۸۶ کیلومتری زمین قرار دارد. مدت زمان تکرار تصویر برداری این ماهواره در استوا، ۵ روز (Cazaubiel, 2008)، منطقه تحت پوشش آن از عرض ۸۴ درجه شمالی تا ۵۶ درجه جنوبی و عمر مفید در نظر گرفته شده برای آن ۷ سال است. سنتینل ۲ با پهناوی تصویر برداری ۲۹۰ کیلومتر

پس از اندازه‌گیری‌های طیفی، بازتاب و جذب نمونه سنگ‌های منطقه در محدوده‌های مرئی تا فرورسرخ موج کوتاه، بدست آمد. دسته‌بندی داده‌های حاصل از طیف سنجی نمونه‌های صحرایی و مقایسه آن‌ها با داده‌های کتابخانه طیفی JHU و USGS نشان داد که طیف واحد کلریت-پیدوت شیبست، متعلق به کانی‌های گروه سیلیکاته آن‌ها که حاوی عناصر Fe, Al و Mg هستند، بوده است. این طیف، مشخصه‌های جذبی آشکاری را در نزدیکی ۱/۴، ۲/۲۵۰ و ۲/۳۵ میکرومتر نشان می‌دهد که در ارتباط با باندهای ترکیبی عامل OH, Al-Fe-OH یا OH, Al-Mg-OH و Mg-OH است (Bishop et al., 2008; Doublier et al., 2012). ویژگی جذبی در محدوده ۲/۲۵۰ و ۲/۳۵۰ به ترتیب مربوط به پیوند Fe-OH و Mg-OH در کلریت است. موقعیت طیفی Fe-OH و Mg-OH بستگی به نسبت $\frac{Fe}{Fe+Mg}$ دارد، که با افزایش این نسبت هردو باندهای جذبی به سمت طول‌موج‌های بلندتر تغییر می‌کنند. موقعیت اصلی ویژگی طیفی کلریت‌های منیزیم‌دار برای پیوندهای Fe-OH و Mg-OH، به ترتیب در محدوده ۲/۳۲۵ و ۲/۲۴۵ میکرومتر و برای کلریت‌های آهن‌دار به ترتیب در محدوده ۲/۳۵۵ و ۲/۲۶۱ میکرومتر است (Gupta., 2017). محدوده فرورسرخ بوسیله باندهای جذبی نزدیک ۰/۹ میکرومتر، و ۱/۱ میکرومتر با جذب در ۱/۴ میکرومتر، یک جذب قرینه ضعیف در نزدیکی ۲ میکرومتر، و چندین جذب در نزدیکی ۲/۳ میکرومتر تا ۲/۵ میکرومتر متمایز شده است. باند ۱/۱ میکرومتر بدلیل حضور آهن فرو است (Hunt and Salisbury, 1970). جذب در ناحیه ۲/۳۲ و ۲/۲۴ میکرومتر مربوط به ارتعاشات عامل Mg-OH و Fe-OH و جذب در محدوده ۲/۱۶ میکرومتر مربوط به حالت‌های خمشی بنیان Al-OH است (شکل ۴-الف).

طیف واحدهای سنگی کالک شیبست، نشان دهنده حضور پیوند C-O در دگرگونی‌های کربناتی منطقه است. این واحدها دارای جذب قوی در نزدیکی ۲/۳۳ میکرومتر و جذب ضعیف در ۲/۲۶ میکرومتر هستند (شکل ۴-ب).

اساس تنوع واحدهای سنگی و بر اساس ویژگی‌های جذبی در محدوده‌های مرئی و فرورسرخ، در مقیاس آزمایشگاهی و بر اساس باندهای استر و سنتینل ۲ تحلیل شدند.

از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal Components Analysis) (Singh and Harrison, 1985) بر روی هر دو دسته داده و روش نسبت‌گیری بانندی (Band Ratio) (Amer et al, 2010)، بر روی تصاویر استر برای آشکارسازی واحدهای سنگی استفاده شد. باندهای مناسب بر حسب رفتار طیفی مواد کانیایی موجود در کمپلکس انتخاب و در اجرای پردازش‌ها اعمال شدند.

۴- استخراج و تحلیل منحنی‌های طیفی

سنگ‌ها و کانی‌ها دارای امضاهای طیفی مشخص و ثابتی هستند که به درک رفتار آن‌ها در طول موج‌های مختلف کمک می‌کند. در روش‌های پردازش طیف پایه‌ای که برای نقشه‌برداری و رده‌بندی کانی‌ها و سنگ‌ها بکار گرفته می‌شوند، اطلاعات طیفی آن‌ها زمینه‌ای مناسب را برای انتخاب الگوریتم‌ها و باندهای طیفی سنجنده‌ها فراهم خواهد کرد (Gupta, 2003). جذب و بازتاب واحدهای سنگی در داده‌های استر و سنتینل ۲، به طور ویژه در طول موج‌های مرئی و فرورسرخ مطالعه شد. از آنجا که منطقه سوربان دارای تنوع سنگی آذرین، رسوبی و دگرگونی است، انتظار می‌رود که خصوصیات طیفی استخراج شده از آن‌ها بسیار متفاوت باشد.

به طور کلی از سه روش، به شرح زیر، برای استخراج و تحلیل طیف واحدهای سنگی سوربان استفاده شده است؛ الف) طیف تصویر که از پیکسل‌های تصویر مورد استفاده استخراج می‌شود، ب) طیف نمونه‌های صحرایی، اندازه‌گیری شده توسط دستگاه طیف سنج ASD در آزمایشگاه دانشگاه شهید چمران اهواز، ج) طیف کتابخانه‌ای، از کتابخانه‌های طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و دانشگاه جان هوبکینز (JHU).

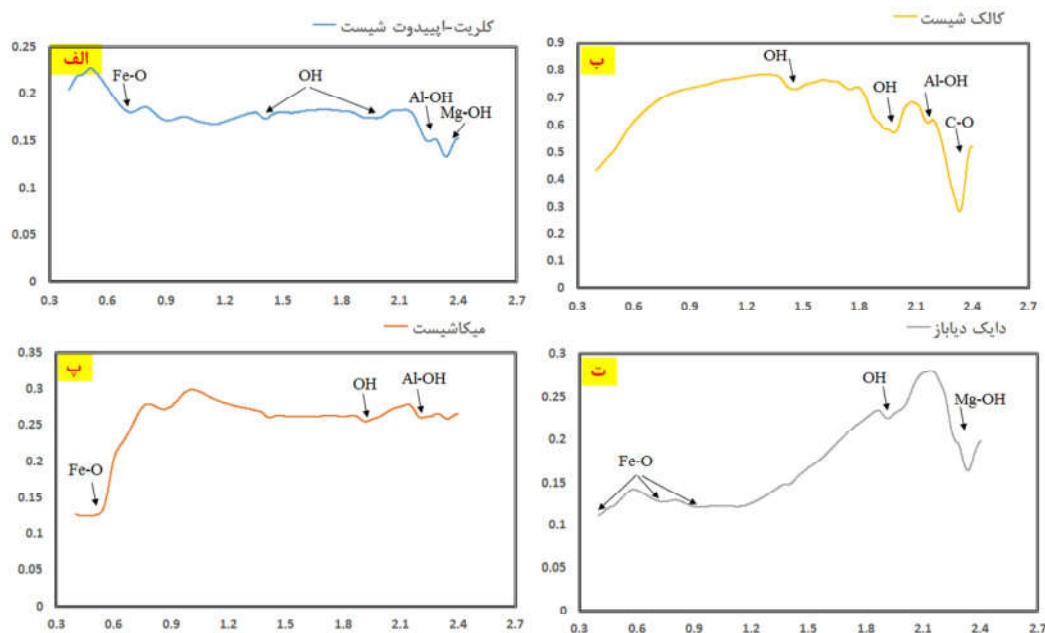
ایجاد می‌کند و بازتابش منحنی طیفی آن با شیب تند به سوی محدوده فرورسرخ افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار آن در محدوده ۱/۶-۱/۳ میکرومتر است (شکل ۴-ت).

طیف‌های بازنویسی شده کلریت-اپیدوت شیبست به باندهای استر و سنتینل نشان داد که باندهای ۶، ۷ و ۸ استر و باندهای ۲ و ۳ سنتینل دارای رفتار طیفی مشخصی در این باندها هستند. جذب در باند ۸، بدلیل حضور بنیان‌های Ca Mg-OH و جذب در باند ۶ ناشی از حضور بنیان Al Mg-OH و جذب در باندهای ۲ و ۳ ناشی از حضور Fe-OH در این ترکیب است (شکل ۵-ج - خ).

طیف‌های بازنویسی شده میکاشیست به باندهای استر و سنتینل نشان داد که این واحد به دلیل وجود بنیان Al-OH در باندهای ۶ و ۸ استر در ناحیه ۲/۲ و ۲/۳ میکرومتر جذب دارد که مربوط به حالت‌های خمشی بنیان Al-OH است؛ و باندهای ۲ در ۰/۴۸۲ و باندهای ۵ و ۶ در محدوده ۰/۸۶ تا ۱/۰ سنتینل، حضور انتقال‌های الکترونی یون آهن را تایید کرد (شکل ۵-ب - ج).

واحد سنگی میکاشیست، بطور عمده از موسکویت تشکیل می‌شود که حاوی بنیان Al دار است و از فلدسپات‌ها بوجود می‌آید (Guidotti, 1988). طیف این سنگ در گستره ۲/۲۰ تا ۲/۲۶ میکرومتر دارای ویژگی جذبی است که بوسیله ویژگی جذبی Al-OH در محدوده بین ۲/۱۸۰ و ۲/۲۳۵ تعیین شده و دو جذب فرعی در محدوده ۲/۳۴۴ و ۲/۴۴۰ نشان می‌دهد. ویژگی جذبی موسکویت از ۲/۱۹۵ به تدریج تغییر می‌کند و حدوداً تا ۲/۲ میکرومتر پیش می‌رود (شکل ۴-پ). (Doublrier et al., 2010)

واحد سنگی دیاباز دو باند جذبی در ۱/۴ و ۱/۹ میکرومتر بدلیل H₂O و جذب در ۲/۲ میکرومتر بدلیل عامل‌های OH دار نشان می‌دهد. این واحد بدلیل حضور پیروکسن، آمفیبول و سایر کانی‌های آهن‌دار، دارای باندهای جذبی مربوط به آهن فریک و فرو در ۰/۷ و ۱/۰ میکرومتر است. یون فریک نیز جزء مهمی در سنگ است که یک جذب قوی در طول موج‌های فرابنفش-آبی را بدلیل اثر انتقال بار (Charge- transfer effect)



شکل ۴. منحنی‌های طیفی تفکیک بالای کلریت-اپیدوت شیبست (الف)، کالک شیبست (ب)، میکاشیست (پ) و دایک دیابازی (ت).

اپیدوت به سمت طول موج‌های ۲/۱ تا ۲/۳۳ میکرومتر نسبت به کلسیت کمتر است. با اجرای Z-profile بر روی واحد سنگی میکاشیست-کالک شیست، شش منحنی طیفی گرفته شد که همگی در محدوده باند ۸ جذب نشان می‌دهند. جذب در باند ۶ و بازتاب در باند ۷ به دلیل وجود بنیان Al-OH در لایه‌های غنی از موسکویت در این واحد سنگی است.

۵- پردازش داده‌ها

به منظور تفکیک واحدهای سنگی منطقه با تمرکز بر مجموعه سنگی سوریان شامل واحدهای کلریت-اپیدوت شیست، کالک شیست، میکاشیست و دایک‌های دیابازی و کوارتزیتی و جداسازی این مجموعه از بخش‌هایی مانند سازندهای نادرگونه زاگرس و ایران مرکزی و نیز رسوبات آبرفتی جوان، از روش‌های تحلیل مولفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندی استفاده شد.

۵-۱- نسبت‌گیری باندی

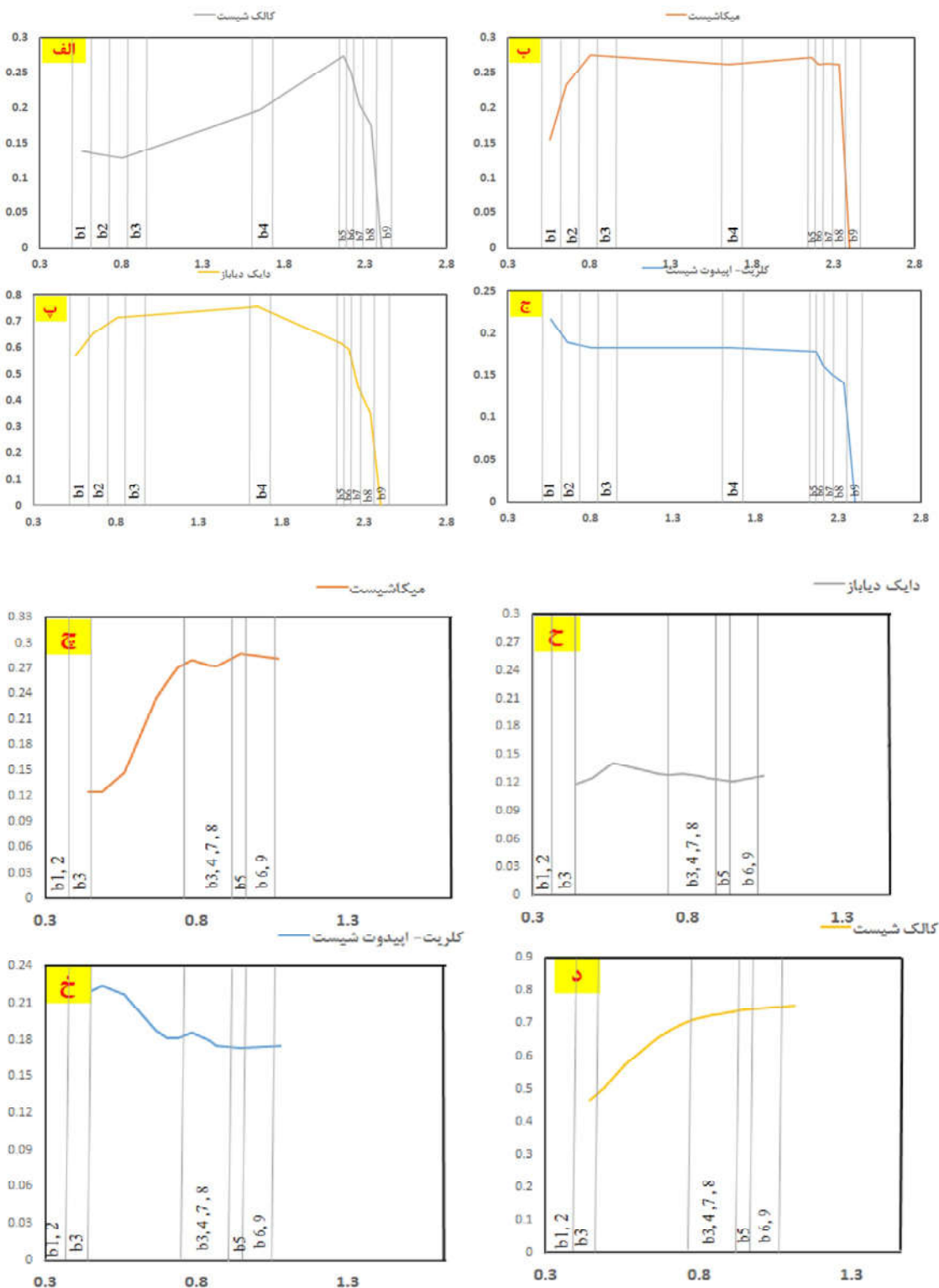
نسبت‌گیری باندی شامل تقسیم پیکسل‌های یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن در تصویر یا باند دیگر است. از روش نسبت‌گیری می‌توان برای بارزسازی اختلاف طیفی بین باندها استفاده کرد و همچنین اثرات سایه و اختلاف روشنایی ناشی از شیب زمین را کاهش داد (Alvaro, 1998; Morel and Gentili, 2009). با توجه به حضور بیشتر کانی‌های کلریت و اپیدوت در واحد کلریت-اپیدوت شیستی و کانی‌های کربناتی و رسی در واحد میکاشیستی، از شاخص‌های طیفی موجود در منحنی طیفی این کانی‌ها برای انتخاب نسبت باندی مناسب بر روی داده‌های سنجنده استر استفاده شد. از نسبت باندی $\frac{7+5}{6}$ برای بارزسازی واحد میکاشیستی، نسبت $\frac{6+9}{7+8}$ برای واحد کلریت-اپیدوت شیستی و از نسبت $\frac{6+8}{7}$ برای واحد کالک شیستی استفاده شد و نتایج آن در یک تصویر ترکیب رنگی (RGB) به نمایش درآمد (شکل ۶). در این تصویر، واحدهای کلریت-اپیدوت شیستی به رنگ سبز و واحدهای میکاشیستی به رنگ آبی فیروزه‌ای نمایان شدند.

طیف‌های بازنویسی شده کالک شیست به باندهای استر در باند ۸ مشابه واحدهای سنگی کلسیت‌دار جذب قوی نشان می‌دهد که به دلیل وجود بنیان C-O در این سنگ است و این طیف در باند ۳ استر نیز جذب نشان می‌دهد که مربوط به انتقال‌های الکترونی یون آهن است. طیف بازنویسی شده به سنتینل، جذب در باند ۲ را بدلیل عامل Fe-OH نشان داد (شکل ۵-الف-د).

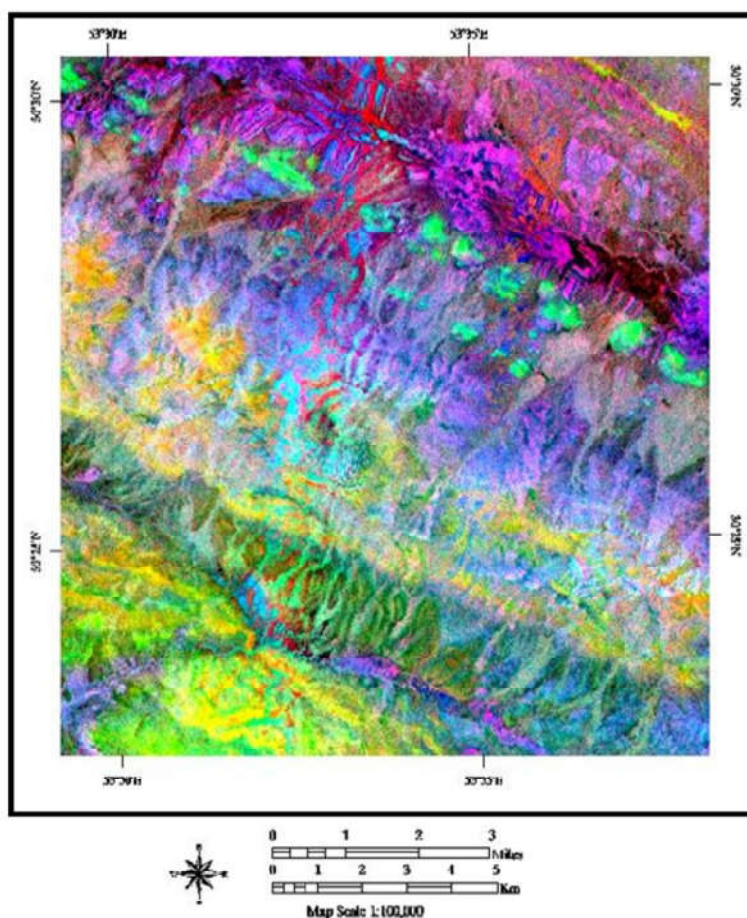
طیف‌های بازنویسی شده دایک دیابازی به باندهای استر در باندهای ۶ و ۸ بدلیل حضور بنیان‌های Al-OH و Mg-OH و در باندهای ۲ و ۳ به دلیل حضور آهن جذب نشان می‌دهند. طیف‌های بازنویسی شده به سنتینل جذب‌های مشخصی را در باندهای ۲، ۵ و ۶ بدلیل اثر انتقال الکترون نشان داد (شکل ۵-ب-ج).

بررسی کلی منحنی‌های طیفی با تفکیک بالا نشان داد که نمونه سنگ‌های منطقه اکثراً در محدوده‌های ۰/۵، ۱/۴، ۱/۷، ۱/۹، ۲/۲ و ۲/۳ میکرومتر رفتار جذبی نشان می‌دهند که به دلیل حضور بنیان‌های OH، Fe، H₂O، Al-OH، Mg-OH و C-O در نمونه‌ها است. همچنین بررسی کلی نمونه‌های طیفی بازنویسی شده به باند بازتابی استر و سنتینل ۲ نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در باندهای ۷ (۲/۲ میکرومتر) و ۸ (۲/۳۳ میکرومتر) در داده‌های استر جذب نشان می‌دهند که بدلیل حضور بنیان‌های Al-OH، Mg-OH و C-O است.

منحنی‌های طیفی استخراج شده از تصویرهای VNIR-SWIR استر و سنتینل ۲، پس از تصحیح جوی QUAC نشان داد که کلریت-اپیدوت شیست در باندهای ۸ و ۷ جذب و در باندهای ۵ و ۹ بازتاب دارد که نشان‌دهنده کانی‌های غالب کلریت و اپیدوت است. جذب در باند ۸ بدلیل وجود بنیان C-O در کالک شیست و در باند ۷ بدلیل بنیان Al-Mg-OH در کانی میکاشیست در تصاویر استر است. در محدوده طیفی تفکیک بالا جذب در ۲/۲۶ و ۲/۳۵ میکرومتر بدلیل حضور کلریت‌های آهن‌دار و در محدوده ۱/۱ میکرومتر بدلیل حضور آهن فرو است. جذب در باند ۸ در اپیدوت با باند ۸ کانی کلسیت یکسان است اما شیب کانی



شکل ۵. منحنی‌های طیفی بازنویسی شده به ۹ باند استرل (ف، ب، پ و ج)، و به ۹ باند سنتینل ۲ (چ، ح، خ و د).



شکل ۶. ترکیب رنگی نسبت‌های باندی $\frac{6+8}{7} - \frac{7+9}{8} - \frac{7+5}{6}$ بر روی ۹ باند بازتابی استر.

۵-۲- تحلیل مولفه اصلی

این روش، برای نمایش حداکثری اختلاف طیفی باندها و کاهش اطلاعات اضافی با فشردگی کردن مجموعه داده‌های چند طیفی در امتداد یک محور جدید و تولید مولفه‌های مستقل و غیر مرتبط بکار می‌رود (Crosta and Moor, 1989). تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های استر و سنتینل ۲ اجرا و تصویرهای ترکیب رنگی با استفاده از مولفه‌های مناسب، تهیه شد.

با توجه به اینکه طیف‌های آزمایشگاهی بازنویسی شده به، و طیف‌های استخراج شده از ۹ باند بازتابی

استر، جذب‌های اصلی واحدهای سنگی منطقه را در باندهای ۲، ۳، ۵، ۷ و ۸ نشان می‌دهد (شکل‌های ۴ و ۵)، بارگذاری‌های بیش از ۰/۵ از این باندها در مولفه‌های خاص مورد بررسی قرار گرفته و بر آن اساس، مولفه‌های مناسب برای تهیه تصویر ترکیب رنگی انتخاب شدند. بدین ترتیب، ترکیب‌های رنگی RGB از PC1, PC2, PC3؛ PC1, PC7؛ PC3, PC1, PC7 و PC5, PC9, PC7 تهیه شده و بصورت چشمی مورد تفسیر قرار گرفتند. بر اساس آمار حاصل از اجرای روش، ویژه بردارهای ۰/۸۴، ۰/۶۲، ۰/۷۵، ۰/۵۷ و ۰/۶۲ از باندهای ۳، ۷، ۶ در مولفه‌های ۷، ۹، ۳، ۵ و ۲ بارگذاری شده است (جدول ۱).

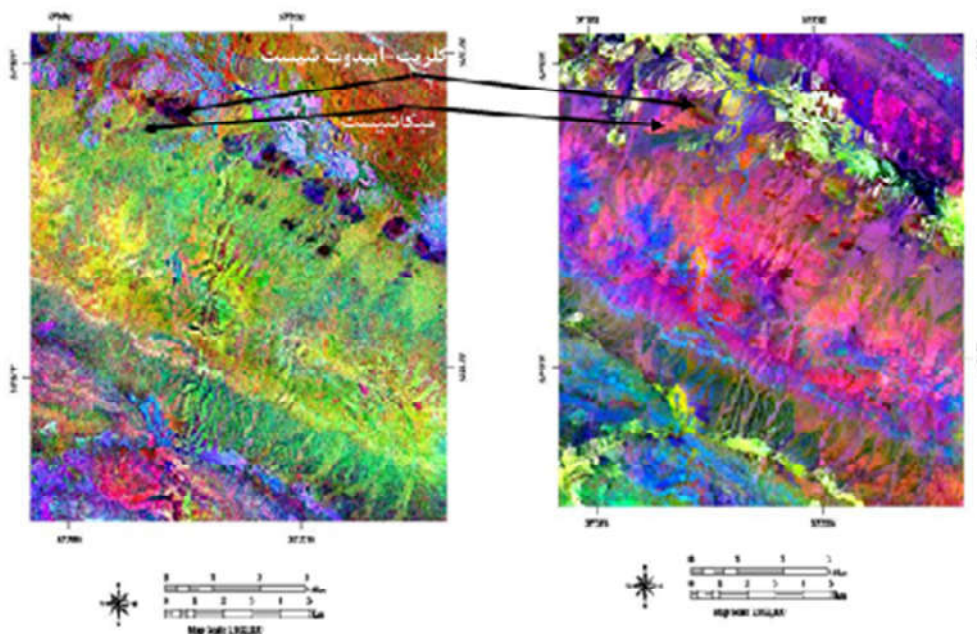
جدول ۱. نتایج حاصل از اجرای تحلیل مولفه اصلی بر روی دسته داده‌های استر

Eigenvector	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9
Band 1	-0.23	-0.30	-0.22	-0.41	-0.35	-0.39	-0.36	-0.35	-0.34
Band 2	-0.32	-0.48	-0.27	0.19	0.16	0.18	0.17	0.18	0.16
Band 3	0.22	0.24	-0.75	-0.17	0.02	0.04	0.07	0.10	0.16
Band 4	-0.01	-0.04	0.17	-0.44	-0.27	-0.31	0.26	0.41	0.08
Band 5	0.08	-0.15	0.17	-0.36	0.17	0.24	-0.10	-0.29	0.32
Band 6	-0.45	0.62	0.02	-0.18	0.9	0.05	-0.01	-0.02	0.01
Band 7	0.09	-0.08	0.06	-0.40	0.57	0.30	-0.06	0.16	-0.62
Band 8	-0.06	0.02	-0.01	0.14	0.22	-0.10	-0.84	0.41	0.018
Band 9	-0.01	0.05	0.01	-0.04	-0.06	0.29	-0.20	0.16	-0.12

واحدهای سنگی منطقه را در باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهد (شکل‌های ۴ و ۵)، بارگذاری‌های بیش از ۰/۴۲ از این باندها در مولفه‌های خاص مورد بررسی قرار گرفته و بر آن اساس، مولفه‌های مناسب برای تهیه تصویر ترکیب رنگی انتخاب شدند. بدین ترتیب، ترکیب‌های رنگی RGB از PC4, PC5, PC8 و PC4, PC2, PC3 تهیه شده و بصورت چشمی مورد تفسیر قرار گرفتند. بر اساس آمار حاصل از اجرای روش، ویژه بردارهای ۰/۵۴، ۰/۴۸، ۰/۶۲، ۰/۵۰، ۰/۶۷ و ۰/۵۵ از باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۲ در مولفه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۸ بارگذاری شده است (جدول ۲).

باتوجه به اینکه مولفه اول میزان روشنایی منطقه را نشان می‌دهد از این مولفه نیز استفاده شده است. نتایج نشان داد که واحدهای کلریت-اپیدوت شیستی و میکاشیستی توسط این تصاویر جداسازی شده‌اند؛ اما بارزشدگی مجموعه سوریان به دو بخش با مرزبندی شاخص از یکدیگر را می‌توان در ترکیب رنگی PC3, PC1, PC7 مشاهده کرد (شکل ۷).

روش تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی ۹ باند بازتابی سنجنیل ۲ اجرا شد. با توجه به اینکه طیف‌های آزمایشگاهی بازنویسی شده به، و طیف‌های استخراج شده از ۹ باند بازتابی سنجنیل ۲، جذب‌های اصلی



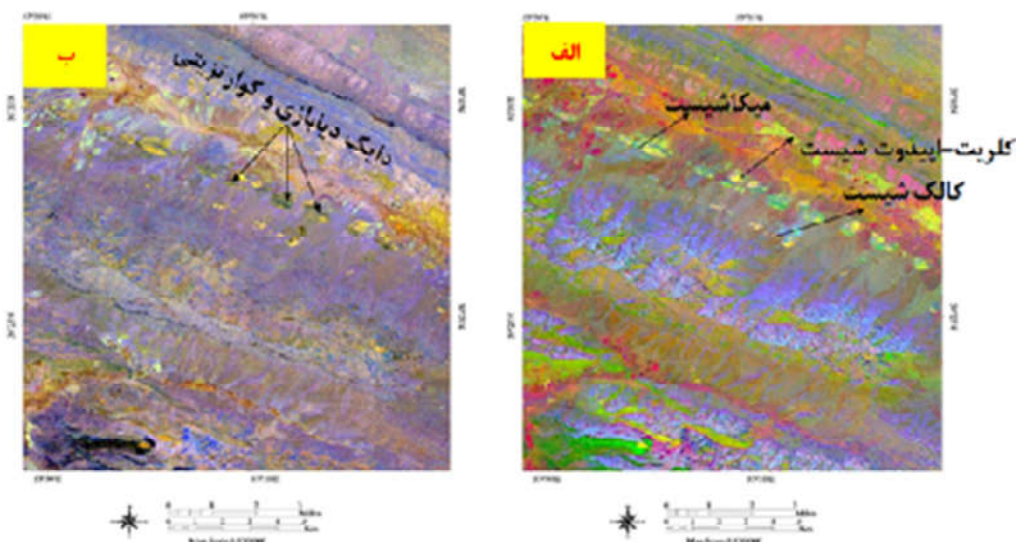
شکل ۷. نتایج تحلیل مولفه اصلی بر روی داده استر و تفکیک واحدهای کلریت-اپیدوت و میکاشیستی با ترکیب‌های رنگی PC1, PC2, PC3 و PC3, PC1, PC7

جدول ۲. نتایج حاصل از اجرای تحلیل مولفه اصلی بر روی دسته داده‌های سنتینل ۲

Eigenvector	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9
Band 2	-0.11	0.54	0.01	0.08	-0.37	0.15	0.39	0.27	0.20
Band 3	0.29	-0.41	0.48	0.36	0.11	0.05	-0.02	-0.18	-0.25
Band 4	0.23	0.14	-0.48	0.62	0.32	0.04	0.24	-0.10	0.04
Band 5	0.33	0.22	0.22	-0.03	0.50	0.38	0.29	0.72	0.33
Band 6	-0.30	-0.35	0.23	0.05	0.06	0.09	0.15	0.29	-0.31
Band 7	-0.25	-0.21	-0.18	0.26	-0.25	-0.02	0.06	0.55	0.26
Band 8	0.09	0.11	0.06	0.39	0.04	-0.23	-0.06	-0.34	0.03
Band 11	-0.14	-0.32	-0.31	-0.09	-0.17	-0.11	0.21	0.23	-0.08
Band 12	-0.21	0.25	0.01	0.27	0.40	0.34	0.67	0.03	0.12

بارز نماید. در مشاهدات صحرایی برای درستی سنجی نتایج مشخص شد که در کنار واحدهای دایک دیابازی، واحدهای سنگی کوارتزیتی هم روند با آن‌ها رخنمون دارند (شکل ۸-ب). مقایسه نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندهای نشان داد که به رغم شباهت هر دو تصویر رده‌بندی شده و تفکیک خوب واحدهای سنگی، مرز بین واحدها در تصویر رده‌بندی شده‌ی حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دقت بیش‌تری مشخص شده‌اند.

این ترکیب‌های رنگین توانست مرزبندی واحدهای سنگی در کمپلکس سوربان را به دلیل اینکه نسبت به تصاویر استر دارای توان تفکیک مکانی بهتری است، به خوبی نمایش دهد و نتیجه آن در جداسازی واحدها بهتر بود، به گونه‌ای که واحدهای سنگی سوربان به سه واحد میکاشیست، کلریت-اپیدوت شیست و کالک شیست تفکیک شدند (شکل ۸-الف). تصویر چند طیفی سنتینل، همچنین توانست واحدهای دایک دیابازی کمپلکس سوربان را به صورت نوارهایی باریک



شکل ۸. نتایج تحلیل مولفه اصلی بر روی ۹ باند سنتینل ۲. ترکیب رنگین PC4,PC5,PC8 و تفکیک میکاشیست، کلریت-اپیدوت شیست و کالک شیست (الف) و آشکارسازی واحدهای دایک دیابازی با ترکیب رنگی PC4,PC2,PC3 (ب).

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش، برای تفکیک واحدهای کلریت-اپیدوت شیست، میکاشیست، کالک شیست و دایک‌های سیلیسی و دیابازی مجموعه سوریان از داده‌های بازتابی سنجنده استر و سنتینل ۲ و پردازش‌های تصویر پایه تحلیل مولفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندی استفاده شد. به منظور تشخیص ویژگی طیفی واحدهای سنگی، نمونه‌های گردآوری شده از عملیات میدانی در دانشگاه شهید چمران اهواز طیف‌سنجی شدند. بهترین آشکارشدگی واحد کلریت-اپیدوت شیستی و میکاشیستی مربوط به روش تحلیل مولفه‌های اصلی تصاویر استر و بهترین تفکیک دایک‌ها و کالک شیست با تصاویر سنتینل ۲ بوده است. واحد کلریت-اپیدوت شیستی در نقشه زمین‌شناسی، به‌عنوان سنگ میزبان ذخایر مس سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد با اهمیت است زیرا عملیات اکتشافی آینده و تمرکز پی‌جویی‌ها می‌بایست بر روی این واحد انجام شود. برای تایید بارزسازی‌های صورت گرفته، از مشاهدات میدانی و مطالعات میکروسکوپی استفاده شد. مطالعات میکروسکوپی نشان داد که کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز و اولیوین در بیش‌تر مقاطع دچار دگرسانی شده‌اند و کانی‌های دگرسانی کلریت و اپیدوت همراه با ترمولیت و اکتینولیت را ایجاد کرده‌اند. تحلیل منحنی‌های طیفی رخنمون‌های بازنویسی شده به استر نشان داد که جذب در باند ۸ بدلیل حضور بنیان‌های C-O و Mg-OH و در باند ۳ بدلیل حضور بنیان آهن فریک موجود در کلریت-اپیدوت شیست است. جذب در باندهای ۶ و ۸ در میکاشیست‌ها بدلیل حضور بنیان‌های C-O و Al-OH ناشی از حضور کانی‌های موسکویت و کلسیت است. همچنین مشخص شد که داده‌های سنتینل ۲ بدلیل تفکیک مکانی بالا می‌تواند نسبت به تصویر استر نتایج بهتری را در بارزسازی دایک‌ها ارائه دهد. هرچند این سنجنده هنوز چندان شناخته شده نیست اما می‌تواند در کاربردهای سنجش از دور در موارد مشابه به صورت تکمیلی در کنار

داده‌های شناخته شده دیگر بکار گرفته شود. نتایج این مطالعه نشان داد که اعمال پردازش‌های نسبت باندی و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های استر و سنتینل ۲ می‌تواند منجر به تفکیک و شناسایی واحدهای سنگی با هدف تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاسی شود که به طور معمول در پی‌جویی‌های اکتشافی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۷- قدردانی

بخشی از هزینه‌های این تحقیق توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تامین شده است که بدین‌وسیله مورد قدردانی قرار می‌گیرد.

۸- منابع

سازمان صنایع و معادن استان فارس ۱۳۸۱، گزارش پروژه اکتشاف مس ماسیوسولفید تیپ بوانات در شهرستان بوانات، مهندسان مشاور معدنکار. شماره گزارش AM1487010. صفحه ۱ تا ۳۰۸. اخوت، ۱۳۷۸، طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ژئوفیزیک هوایی و مطالعات دورسنجی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سوریان با استفاده از سنجنده TM، سازمان صنایع و معادن استان فارس.

Alvaro, P., Crósta, Charles Sabine and James, V., Taranik., 1998, **Hydrothermal Alteration Mapping at Bodie, California, Using AVIRIS Hyperspectral Data**, Geosciences Institute, State University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 65:309–319.

Amer, R., Kusky, T. & Ghulam, A., 2010, **Lithological mapping in the central eastern desert of Egypt using ASTER data**, Journal African Earth Sciences. 56, 75e82.

- Crosta, A.P. and Moore, J. M. C. M., 1989, **Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain**. In: Wolfe, W. L., & ZISSIS, G. L. (eds.) proceeding of the 9th thematic conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calagary: 1173-1187.
- Hushmandzadeh, A, M., 1966, **Geology of Eqlid distric southern part (Sureyan area, Fars Province)**, Geological Survey of G.S.I, Tehran, G10. (in Persian)
- Morel, M. & Gentili, B., 2009, **A simple band ratio technique to quantify the colored dissolved and detrital organic material from ocean color remotely sensed data**, Remote Sensing of Environment 113, 998–1011.
- Mousivand, F., 2003, **Mineralogy, geochemistry and genesis of copper mineralization in the Sureyan volcano-sedimentary complex, Bavanat area, Fars Province**. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Iran, 300 p. in Persian with English abstract.
- Oveisi, B., 2001, **Geological map of Sureyan, scale 1: 100,000**. Geological Survey of Iran, map no. 6750. (in Persian)
- Mousivand, F. & Rastad, E. 2007, **The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: First recognition of a BESSHI-type VMS deposit in Iran**".
- Gupta, R.P., 2003, **Remote sensing geology**; second edition, Springer; Berlin, 556 pp.
- Gupta, R.P., 2017, **Remote sensing geology**; third edition, Springer; Berlin, 428 pp.
- Abrams. A., Hook. S., 2000, **ASTER user's handbook**, version 2, jet propulsion laboratory, 4800 oak grove Dr. Pasadena, C A 91109, bhaskar Ramachandran, EROS data center Sioux falls, SD 57198.
- Cazaubiel, V., Chorvalli, V., & Miesch, C., 2008, **The Multi-Spectral Instrument of the Sentinel-2 programme**, Proc. 7th Int. Conf. Space Optics (ICSO 2008).
- Baret, F., Hagolle, O., Geiger, B., Bicheron, P., Miras, B., Huc, M., Berthelot, B., Nino, F., Weiss, M., Samain, O., Roujean, J.L., & Leroy, M., 2007, **LAI, f APAR and f COVER CYCLOPES global products derived from VEGETATION**, Part 1: Principles of the algorithm. Rem. Sens. Env. 110(3), 275–286.
- Bernstein, L., Adler-Golden, S. M., 2005, **Validation of the QUICK Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery**, SPIE Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultra-Spectral Imagery XI. Vol. 5806, pp. 668-678.
- Vander Meer, F.D.; van der Werff, H. M. A.; van Ruitenbeek, F.J.A. **Potential of ESA's Sentinel-2**. 2014, 148, 124. 133.
- Cudahy, T; Hewson, R. **ASTER geological case histories: Porphyry-skarn-epithermal, iron oxide Cu-Auand Broken Hill Pb-Zn-Ag**, In Proceedings of the Annual General Meeting of the Geological Remote Sensing Group (ASTER Unveiled), London, UK, 5–7 December 2002.
- Mielke, C.; Boesche, N.; Rogass, C.; Kaufmann, H.; Gauert, C.; de Wit, M. **Spaceborne mine waste mineralogy monitoring in South Africa, applications for modern push-broom missions: Hyperion/OLI and EnMAP/ Sentinel-2**. Remote Sens. 2014, 6, 6790–6816.
- Li, P.J., Long, X.Y., Liu,L., 2007, **Ophiolite mapping using ASTER data: A case study of Derni ophiolite complex**, Acta

- Petrologica Sinica 23, 1175-1180.
- Qiu, F. Abdelsalam, M., Thakkar, P., 2006, **Spectral analysis of ASTER data covering part of the Neoproterozoic Allaqi-Heiani suture, Southern Egypt**, Journal of African Earth Sciences 44, 169-180.
- Rowan, L.C., Mars, J.C. 2003, **Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data**. Remote Sensing Environ. 84, 350-366.
- Gomes, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., Wackerle, R., 2005, **Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia**, Physics and Chemistry of the Earth 30, 97-108.
- Khan, S. D., Mahmood, K., Casey, J. F., 2007, **Mapping of Muslim Bagh ophiolite complex (Pakistan) using new remote sensing, and field data**, Journal of Asian Earth Sciences 30, 333-343.
- Massironi, M., Bertoldi, L., Calafa, P., Visona, D., Bistacchi, A., Giardino, C., Schiavo, A., 2008, **Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern Anti-Atlas, Morocco)**, Geosphere 4, 736-759.
- Watts, D. R., Harris, N. B. W., Grp, N. G. S. W., 2005, **Mapping granite and gneiss in domes along the North Himalayan antiform with ASTER SWIR band ratios**, Geological Society of America Bulletin 117, 879-886.
- Qari, M.H.T., Madani, A. A., Matsah, M.I.M., Hamimi, Z., 2008, **Utilization of ASTER and Landsat data in geologic mapping of basement rocks of Arafat Area, Saudi Arabia**, Arabian Journal for Science and Engineering 33, 99-116.
- Vaughan, R. G., Hook, S. J., Calvin, W. M., Taranik, J. V., 2005, **Surface mineral mapping at Steamboat Springs, Nevada, USA, with multi-wavelength thermal infrared images**, Remote Sensing of Environment 99, 140-158.
- Gad, S., Kusky, T., 2007, **ASTER spectral ratioing for lithological mapping in the Arabian-Nubian shield, the neoproterozoic Wadi Kid area, Sinai, Egypt**, Gondwana Research 11, 326-335.
- Rajendran, S., & Nasir, S. 2014, **Mapping of high pressure Metamorphic in the as SIFAH region, NE Oman using ASTER data**. Al-KHOD, 123 Muscat, Oman. Adv. Space Res.
- Doublier, M.P., Roache, A., and Potel, S., 2010, **Application of SWIR spectroscopy in very low grade metamorphic environments: a comparison with XRD methods: Geological Survey of Western Australia Record 2010/7**, 61 p.
- Bishop, J. L., et al. 2008, **Phyllosilicate diversity and past aqueous activity revealed at Mawrth Vallis, Mars**, Science, 321, 830-833.
- Hunt, G.R. and Salisbury, J.W., 1970, **Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks. I. Silicate Minerals**, Modern Geology, 1, 283-300.
- Hunt, G. R., & Salisbury, J. W., 1971, **Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbonates**, Modern Geology, 2, 23-30.
- Guidotti, C.V., Cheney, J.T., and Henry, D.J., 1988, **Compositional variation of biotite as a function of metamorphic reactions and mineral assemblage in the pelitic schists of western Maine**, American Journal of Science, Wones Memorial Volume, 288A, 270-292.
- Singh, A & Harrison, 1985, **Standardized principal components**, International Journal of Remote Sensing. 6 (6). 883-896.



Spectral analysis and enhancement of Sureyan complex lithological units, northeastern of Fars, using satellite imagery data of ASTER and Sentinel 2

Hashemi Tangestani, M. ¹ and Shayghanpour, S*²

1. Professor of Earth Sciences, Shiraz University

2. Department of Earth Science, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract

The specific capabilities of satellite data in providing information from the Earth surface materials provide a possibility for producing the geological maps, and in this regard, the spatial and spectral resolutions of the utilized data are two fundamental characteristics in determining the precision and accuracy of the maps. In this research, the data sets of ASTER and Sentinel 2, due to their high spatial and spectral resolutions, were used to enhance the lithological units of the Sureyan complex, northeastern Fars. The metamorphosed sedimentary-volcanic complex of Sureyan is part of the Southern Sanandaj- Sirjan Belt, in Bavanat, Fars province. Investigating the spectral features of field samples, measured at the Shahid Chamran University of Ahvaz, and the spectra extracted from the imageries indicated that the main functional groups responsible for spectral features were Fe^{2+} , Fe^{3+} , OH, CO_3 , Al-OH, Mg-OH, and Fe-OH. Based on the mineralogical studies, these groups could be attributed to the occurrences of chlorite, muscovite, epidote, amphibole, calcite, and hematite, which were approved by studies of microscopic thin sections. The band ratios $(6+8)/7$, $(7+5)/6$, and $(6+9)/(7+8)$ were conducted on 9 reflection bands of ASTER, and the principal components analysis, on 9 reflection bands of ASTER and Sentinel-2. These processing methods were successful in discriminating the chlorite-epidote schist, calc-schist, mica-schist, and the basalt and quartzite dykes as well. Comparing the results of this study to the field observations and the results obtained by laboratory investigations revealed that simultaneous use of ASTER and Sentinel-2 data and the applied processing methods could be successful in discriminating the lithological units of a metamorphic-sedimentary-volcanic complex.

Keywords: enhancement, ASTER, Sentinel-2, spectral analysis, Sureyan, Fars