

مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده با نگاه ویژه به کارایی آن‌ها در مطالعات زمین‌شناسی: مطالعه موردی در منطقه اسکوق، آذربایجان شرقی

مهدی صفری^{۱*} و محیا منوچهری‌نیا^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه دامغان، دامغان

نویسنده مسئول: safarimehdi395@gmail.com

دریافت: ۹۷/۲/۱۸ پذیرش: ۹۷/۸/۱۳

چکیده

محدوده‌ی مورد مطالعه‌ی اسکوق در غرب کمربند چین‌خورده البرز-آذربایجان و شهرستان میانه واقع شده است. سنگ‌های غالب در این منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی با سن ائوسن - الیگوسن بوده که قسمت اعظم منطقه را پوشانده است. هم‌چنین توده‌های نفوذی الیگوسن پسین با ترکیب حدواسط، واحدهای سنگی منطقه را قطع کرده‌اند. کانی‌زایی فلزی عموماً شامل مس و منگنز در محدوده اسکوق اغلب در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن رخ داده است. تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 و Sentinel2 به منظور انجام روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده، و تهیه نقشه زمین‌شناسی در این پژوهش استفاده شده است. در این مطالعه پس از انجام پیش پردازش‌های لازم به طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر با روش‌های مختلف انجام شد و در نهایت با انجام مطالعات میدانی بهترین روش بر اساس شواهد زمین‌شناسی انتخاب شد. در نهایت پس از محاسبه ماتریس خطا، میزان صحت داده‌ها، ضریب کاپا و با مقایسه با نمونه‌های شاهد و نمونه‌برداری‌ها و مقاطع نازک زمین‌شناسی به اعتبارسنجی روش‌ها پرداخته شد. پس از نمونه‌برداری‌ها و تجزیه‌های آماری، مشخص شد که روش نقشه‌برداری زاویه طیفی بهترین تطابق را با واحدهای زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی نظارت شده، نقشه‌برداری زاویه طیفی، روش بیش‌ترین شباهت، اسکوق، آذربایجان شرقی

۱- مقدمه

روشنایی بیش‌تر یا کمتر در فضایی چندطیفی و در خوشه‌هایی متناسب با انواع پوشش زمینی گروه‌بندی شوند (استاکنز و همکاران، ۲۰۰۰). بر اساس پژوهش‌های انجام شده، این روش‌ها توانایی محدودی در جداکردن کلاس‌هایی که اطلاعات طیفی مشابهی دارند و در هم ادغام می‌شوند، دارند (کنگالتون و همکاران، ۱۹۹۱). در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری پردازش رایانه‌ای، روش‌های جدیدی برای طبقه‌بندی تصاویر با تفکیک بالا و متوسط ارائه شده است (زهو و همکاران، ۲۰۱۷). با استفاده از تصاویر Sentinel2 و Landsat8 و اسپات به بررسی بستر آب‌های سطحی پرداخته‌اند. برخی پژوهشگران روش‌های بارزسازی با کمک تصاویر Landsat8 با هدف تهیه نقشه‌های منابع آب سطحی را پیشنهاد داده‌اند (جی و همکاران، ۲۰۱۵). از نگاه دیگر، متخصصان دورسنجی در حال آزمایش و تهیه تحلیل‌های دورسنجی خودکاری می‌باشند که قادر به ایجاد پاسخ‌های سریع و زیرکانه و با دقت زیاد در

محدوده مورد مطالعه به مساحت ۳۱۵ کیلومتر مربع در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰، هشجین و در محدوده طول جغرافیایی ۴۸ درجه تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه تا ۳۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۲۹ دقیقه شمالی جای گرفته است. یکی از کاربردهای به روز و مفید سنسورها و تکنولوژی‌های جدید در پردازش داده‌های دورسنجی رسم عوارض و نقشه‌های زمین‌شناسی می‌باشد. داده‌های ماهواره‌ای با ویژگی‌های متمایزی نظیر پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به هنگام شدن مداوم، بهترین گزینه برای شناخت و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و کارتوگرافی هستند. به روز بودن و صحت نقشه‌ها در مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی تأثیر بسزایی دارد (شاتی و همکاران، ۲۰۰۷). در بسیاری از روش‌های طبقه‌بندی، از اطلاعات طیفی موجود در باندهای تصویر استفاده می‌شود. در این روش‌ها انتظار می‌رود که پیکسل‌های با درجه

متر) و طیفی مناسب (۱۲ باند از محدوده ۴۹۰ نانومتر تا ۲۱۹۰ نانومتر) برخوردار است، دسترسی رایگان به داده‌ها و اطلاعات آن نیز باعث شده است تا این ماهواره و داده‌های به دست آمده از آن، از پتانسیل و قابلیت مناسبی در مطالعات سنجش از دور برخوردار باشد. هدف از انجام این تحقیق، انتخاب بهترین روش به منظور تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس می‌باشد که به منظور رسیدن به این هدف و با توجه به پوشش گیاهی مناسب و لیتولوژی منطقه، از ادغام داده‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 و Landsat8 استفاده شده است.

۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و در شهرستان میانه قرار دارد. این منطقه از نظر زون‌بندی ساختمانی، در زون ایران مرکزی و زیرزون البرز-آذربایجان واقع شده است (آقاباتی، ۱۳۸۳) (شکل ۱ الف). گستره مورد نظر بخشی از غرب کمربند چین‌خورده و رانده البرز و قسمتی از مجموعه ماگمایی ترشیری البرز را در بر می‌گیرد (علوی، ۱۹۹۱). واحدهای سنگی به سن کربونیفر پیشین، پرمین، ژوراسیک، کرتاسه و پالئوژن در قالب صفحه‌های نابرجا بر روی گسل‌های راندگی و با جابجائی‌های بزرگ مقیاس به سمت غرب و جنوب غربی کشیده شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی آئوسن و الیگوسن بیش از ۷۰ درصد گستره منطقه را پوشش داده‌اند. توده‌های نفوذی الیگوسن پسین، با ترکیب حدواسط، مجموعه آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی یاد شده را قطع کرده و در نقاط مختلف، این نفوذ همراه با دگرریختی ساختاری و دگرسانی گرمابی است. کانی‌سازی مواد معدنی فلزی اغلب در میزبان سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی آئوسن (واحدهای سنگی E_1 , E_2) و تحت تاثیر نفوذ توده‌های آذرین بعدی که شامل کوارتز مونزونیت، گرانیت، گرانودیوریت و دایک و سیل‌های نیمه عمیق رخنه‌ای (شکل ۱ ب). مهم‌ترین زون‌های دگرسانی در این منطقه شامل زون‌های سریسیتی، پیریتی، سیلیسی، آرژلیک پیشرفته تا حدواسط، کلریتی و سیلیسی است؛ بطوریکه در اطراف محدوده مورد مطالعه و در رشت آباد کانی‌زایی پیریت، کالکوپیریت، گالن و

مطالعات محیطی باشند (نینومیا و کاداهی، ۲۰۰۵). بسیاری از متخصصان به بررسی و مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر به منظور تهیه نقشه‌های مرتبط با علوم زمین پرداخته‌اند (خطامی و همکاران، ۲۰۱۶). ماهواره Landsat8 در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است. هشتمین ماهواره در برنامه ماهواره‌های لندست، و هفتمین ماهواره‌های است که با موفقیت به مدار رسیده است. این ماهواره که در اصل LDCM نامیده می‌شود، محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده (USGS) است. بر خلاف ماهواره‌های سری‌های پیشین لندست که یک سنجنده داشتند ماهواره‌های لندست ۸ شامل دو سنجنده است. اولین سنجنده با نام اختصار^۱ OLI و یا ابزار تصویرساز عملیاتی زمین، سنسورهای مورد استفاده در لندست‌های گذشته را بهبود می‌بخشد. OLI داده‌ها را از ۹ باند طیفی جمع‌آوری می‌کند. تعداد ۷ باند از ۹ باند ذکر شده با سنسورهای ETM^+ , TM^+ که بر روی ماهواره‌های لندست قبلی قرار داشتند سازگار می‌باشند، که این عمل علاوه بر سازگاری با داده‌های تاریخی لندست، قابلیت‌های اندازه‌گیری را نیز بهبود داده است. دو باند طیفی جدید، یعنی باند ساحلی آبی و باند سیروس مادون قرمز موج کوتاه، به متخصصان امکان می‌دهد تا کیفیت آب را اندازه‌گیری کرده و همچنین ابرهای بالا و نازک را تشخیص دهند. سنجنده دیگری در ماهواره لندست ۸ به کار گرفته شده سنسور مادون قرمز حرارتی ($TIRS^2$) است که توسط ناسا ساخته شده و امکان تصویربرداری حرارتی و حمایت از برنامه‌های دیگر مانند اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق برای مدیریت آب را فراهم می‌آورد. با ثبت داده‌های TIRS با داده‌های OLI محصولات ۱۲ بیتی Landsat8 تولید خواهد شد که تصحیحات هندسی، رادیومتریک و زمینی به آن‌ها اعمال شده است. لازم به یادآوری است که داده‌های دو باند طول موج بلند مادون قرمز ۱۳ و ۱۱ توسط TIRS جمع‌آوری خواهد شد. یکی از جدیدترین ماهواره‌های سنجش از دور ماهواره Sentinel-۲ نام دارد که توسط سازمان فضایی اتحادیه اروپا طراحی شده است. این ماهواره ضمن اینکه از توان تفکیک مکانی (۱۰، ۲۰ و ۶۰

¹ Operational Land imager

² Thermal Infrared sensor

تصاویر موجود با روش FLAASH تصحیح اتمسفری شده (ماتو و همکاران، ۲۰۰۰) و سپس با کمک داده‌های توپوگرافی و تصاویر زمین مرجع شده ETM در زون ۳۹ شمالی سیستم تصویر UTM و بیضوی مرجع WGS84 تصحیح هندسی شده و در نهایت با داده پانکروماتیک تصویر سنتینل ۲ ادغام شده است. لازم به تذکر است که در این مطالعه از داده‌های حرارتی استفاده نشده است. لازم به تذکر است که تصاویر لندست ۸ از تصحیحات هندسی قابل قبولی برخوردار می‌باشند.

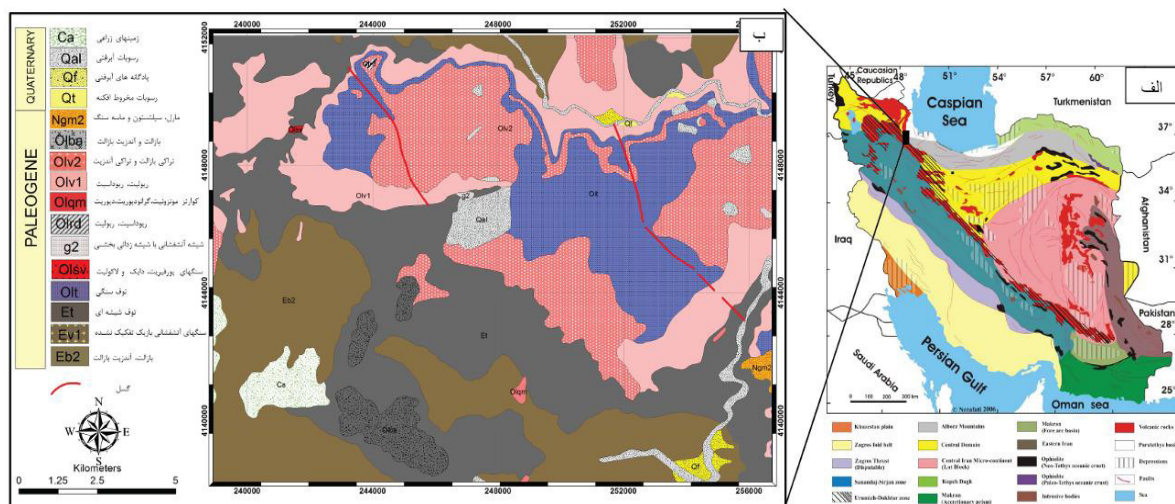
بورنیت و در منطقه خلف، آنومالی‌های گالن، اسفالریت، مگنتیت و پیریت به وضوح مشاهده می‌گردد (فریدی و انوری، ۱۹۸۲).

۳- مواد و روش‌ها

تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این مطالعه شامل تصویر پانکروماتیک ماهواره سنتینل ۲ با قدرت تفکیک ۱۰ متر و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با قدرت تفکیک ۳۰ متر و اخذ شده در تاریخ ۲۰۱۷/۰۴/۱۹ می‌باشد (جدول ۱). به منظور انجام پیش پردازش‌های لازم،

جدول ۱. مشخصه‌های طیفی ماهواره Sentinel2 و Landsat8 (برگرفته شده از www.satimagingcorp.com)

ماهواره Landsat8			ماهواره Sentinel2		
شماره باند	طول موج (μm)	قدرت تفکیک	شماره باند	طول موج مرکز پهنای باند (μm)	قدرت تفکیک
۱	۰/۴۳۳-۰/۴۵۳	۳۰ m	۱- ساحلی	۰/۴۴۳	۶۰
۲	۰/۴۵۰-۰/۵۱۵	۳۰ m	۲	۰/۴۹۰	۱۰
۳	۰/۵۲۵-۰/۶۰۰	۳۰ m	۳	۰/۵۶۰	۱۰
۴	۰/۶۳۰-۰/۶۸۰	۳۰ m	۴	۰/۶۶۵	۱۰
۵	۰/۸۴۵-۰/۸۸۵	۳۰ m	۵	۰/۷۰۵	۲۰
۶	۱/۵۶۰-۱/۶۶۰	۳۰ m	۶	۰/۷۴۰	۲۰
۷	۲/۱۰۰-۲/۳۰۰	۳۰ m	۷	۰/۷۸۳	۲۰
۸	۰/۵۰۰-۰/۶۸۰	۱۵ m	۸	۰/۸۴۲	۱۰
۹	۱/۳۶۰-۱/۳۹۰	۳۰ m	۸ A	۰/۸۶۵	۲۰
۱۰	۱۰/۶-۱۱/۲	۱۰۰ m	۹	۰/۹۴۵	۶۰
۱۱	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۰۰ m	Cirrus ۱۰	۱/۳۷۵	۶۰
			۱۱	۱/۶۱۰	۲۰
			۱۲	۲/۱۹۰	۲۰



شکل ۱. الف) نقشه جانمایی محدوده مورد مطالعه در زیرزون ساختاری البرز-آذربایجان (آقابات، ۱۳۸۳)، ب) نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (با تغییرات از فریدی و انوری، ۱۹۸۲)

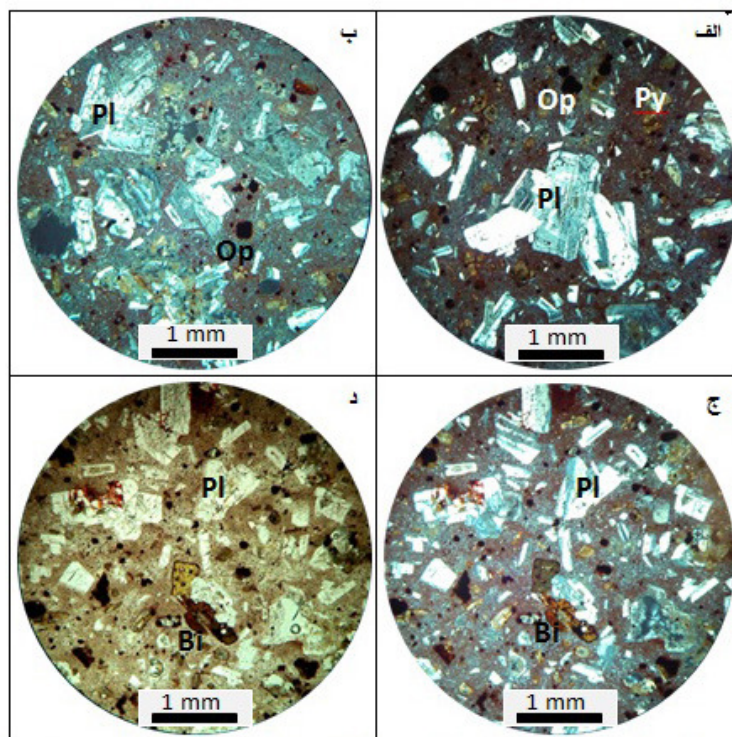
شرکت ریزکاوان، به بررسی نتایج پرداخته شد. همچنین مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان دو منظوره مدل GX در شرکت ریزکاوان منابع زمین انجام شد.

۴- بحث

۴-۱- مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

پس از انجام پردازش‌های لازم از جمله تصحیح داده‌ها و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و مشخص نمودن کلاسه و پلی‌گون‌های شاخص، به منظور اعتبارسنجی و بررسی نتایج حاصل از آن‌ها، اقدام به اخذ نمونه از واحدهای زمین‌شناسی مختلف بعنوان نمونه‌های شاهد گردید. با توجه به اهمیت واحدهای سنگی، شیشه‌های آتشفشانی (G2)، توف سنگی و برش‌های آتشفشانی (O_{II})، تراکی بازالت و تراکی آندزیت با سطحی فرسوده به رنگ قهوه‌ای (O_{IV2})، بازالت و آندزیت بازالت (O_{Iba}) مقاطع نازک تهیه گردید. در شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی (واحد Eb2) نشان داده شده است.

نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در صورتی که همراه با شواهد و اطلاعات مرجع و شناخته شده‌ای از منطقه باشد، حاوی نتایج معتبرتر و مفیدتری می‌تواند باشد. به همین دلیل در این مطالعه از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد، که عموماً شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله اول شامل انتخاب مناطق مرجع و شناخته شده که معرف کل منطقه مورد مطالعه باشد و مرحله دوم طبقه‌بندی تصویر بر اساس آن‌ها می‌باشد. در نهایت با نمونه‌برداری و برداشت‌های میدانی از واحدهای زمین‌شناسی بایستی اقدام به محاسبه ماتریس خطا بر اساس پیکسل‌هایی از تصویر در هر کلاس نموده که حاصل از مقایسه صحت داده‌های میدانی با داده‌های مرجع خواهد بود. در این مطالعه از روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر از جمله روش‌های بیش‌ترین شباهت، نقشه‌بردار زاویه طیفی و کمترین فاصله استفاده شده است. جهت تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ هنجار استفاده که در نهایت به منظور اعتبارسنجی نتایج، با انجام نمونه برداری‌های لازم شامل تعداد ۲۱ مقطع نازک در کارگاه مقطع‌گیری

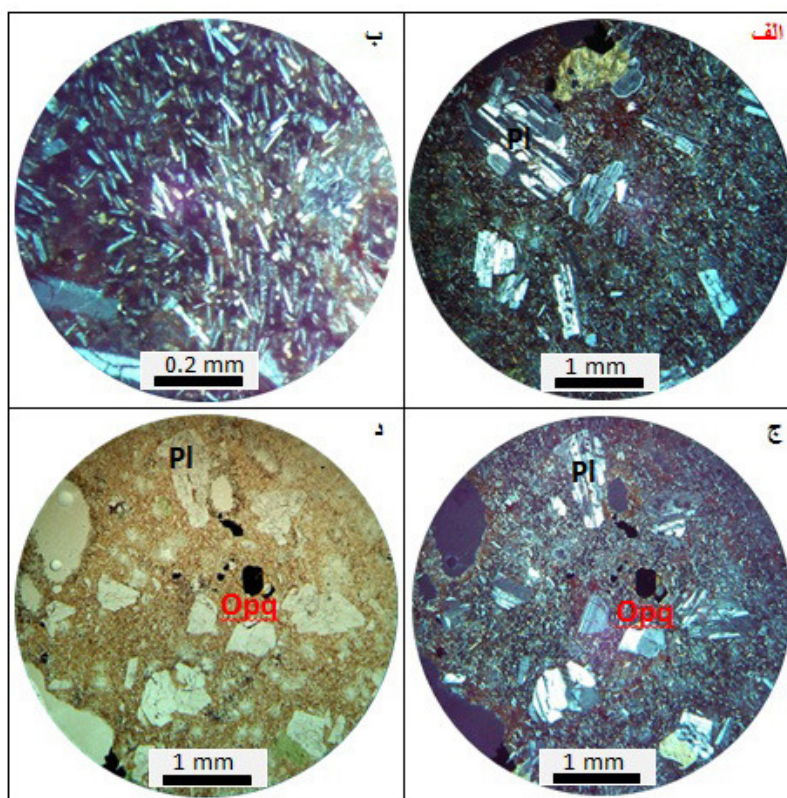


شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی واحد Eb2 محدوده مورد مطالعه، الف و ب - تجمع فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl)، پیروکسن (Py) و کانی‌های اپک و تشکیل بافت گلومروپورفیری (نور XPL). ج - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) و بیوتیت (Bt) در زمینه سنگ (نور XPL). د - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) و بیوتیت (Bt) در زمینه سنگ (نور PPL)

بازالت می‌باشد. این نمونه از نظر پتروگرافی نوعی سنگ آتشفشانی با بافت میکروولیتی - پورفیری-تیک می‌باشد. فنوکریست‌ها غالباً از جنس پلاژیوکلاز هستند. خمیره سنگ، میکروولیت‌های پلاژیوکلاز با کمی جهت‌یافتگی را نشان می‌دهند. در بخش‌هایی از سنگ، زمینه شیشه‌ای تا نهان بلور می‌باشد که فنوکریست‌های پلاژیوکلاز را در بر گرفته‌اند. به صورت کلی کمی جهت‌یافتگی در سنگ دیده می‌شود. کانی‌های پلاژیوکلاز ماکل‌های تکراری، کارلسباد و غربالی را از خود نشان می‌دهند. در بعضی بخش‌ها کانی‌های فنوکریست‌ها در کنار هم جمع شده‌اند و بافت گلومروپورفیری-تیک را تشکیل داده‌اند. کانی‌های اپک به صورت پراکنده دیده می‌شود. اندازه‌ی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز غالباً به ۱ میلی‌متر می‌رسد.

شکل ۲ از نظر پتروگرافی نوعی سنگ آتشفشانی با بافت پورفیری-تیک می‌باشد. فنوکریست‌ها غالباً از جنس پلاژیوکلاز و کمتر از جنس پیروکسن و بیوتیت هستند. زمینه‌ی سنگ شیشه‌ای تا مخفی بلور می‌باشد. کانی‌های پلاژیوکلاز ماکل‌های تکراری، کارلسباد و غربالی را از خود نشان می‌دهند. در بعضی بخش‌ها کانی‌های فنوکریست‌ها در کنار هم جمع شده‌اند و بافت گلومروپورفیری را تشکیل داده‌اند. کانی‌های پیروکسن به کانی‌های ثانویه از جمله کلریت دگرسان شده‌اند. کانی‌های تیره به صورت پراکنده دیده می‌شود. اندازه‌ی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز تا ۲ میلی‌متر نیز می‌رسد اما بلورهای پیروکسن و بیوتیت اندازه‌ی کوچک‌تری دارند و غالباً کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر هستند.

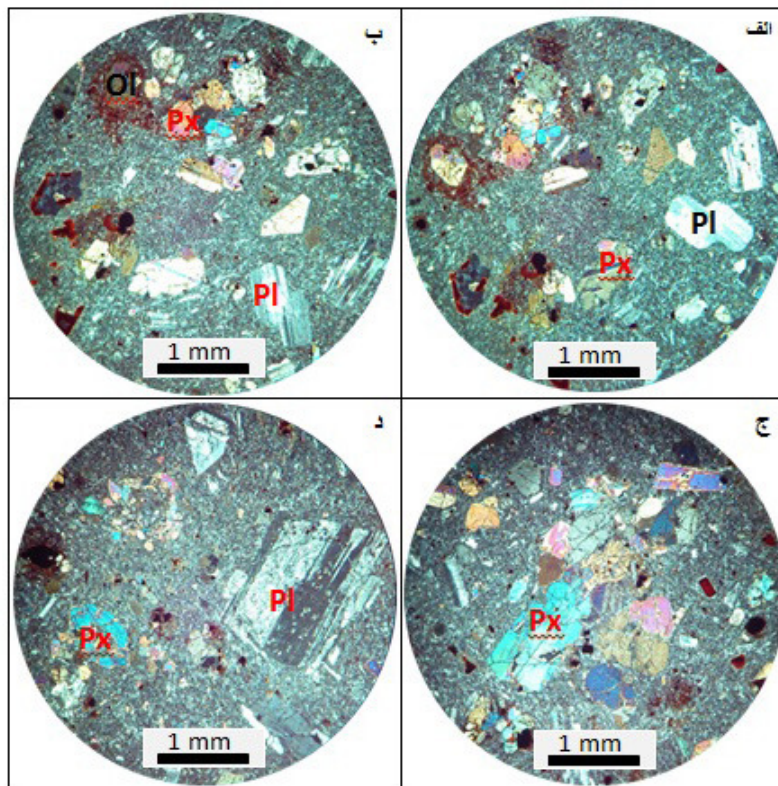
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از واحد سنگی بازالت و آندزیت بازالت (Olba) را نشان می‌دهد، که نوعی آندزیت



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از واحد سنگی بازالت و آندزیت بازالت (Olba) محدوده مورد مطالعه الف - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) در خمیره‌ی میکروولیتی (نور XPL). ب - جهت‌یافتگی در پلاژیوکلازهای (Pl) موجود در خمیره سنگ (نور XPL). ج - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) و کانی‌های اپک (Opq) و تشکیل بافت پورفیری-تیک (نور XPL). د - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) و کانی‌های اپک (Opq) و تشکیل بافت پورفیری-تیک (نور PPL)

گلوپورپوریتی در بعضی از بخش‌های سنگ تشکیل شده است. کانی‌های پیروکسن به کانی‌های ثانویه از جمله کلریت دگرسان شده‌اند. برخی از الیوین‌ها به اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند. کانی‌های اپک به صورت پراکنده دیده می‌شود. اندازه‌ی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز تا ۲ میلی‌متر نیز می‌رسد اما بلورهای پیروکسن و الیوین اندازه‌ی کوچک‌تری نسبت به پلاژیوکلاز دارند و غالباً ۱ میلی‌متر و کوچک‌تر هستند.

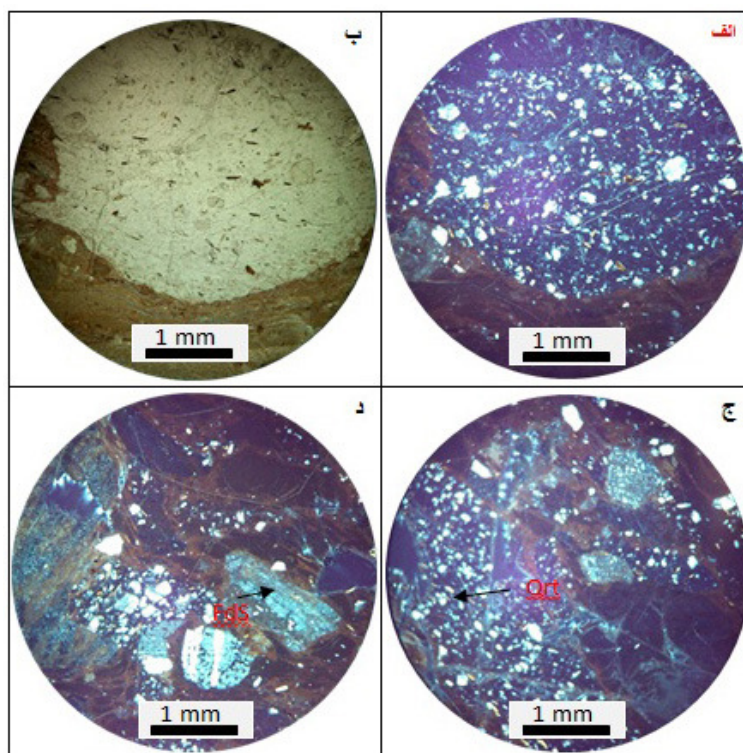
شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از واحد تراکی‌بازالت و تراکی‌آندزیت با سطحی فرسوده به رنگ قهوه‌ای (Olv2) را نشان می‌دهد، که نوعی آندزیت می‌باشد. این نمونه از نظر پتروگرافی نوعی سنگ آتشفشانی با بافت پورفیریستیک می‌باشد. فنوکریست‌ها غالباً از جنس پلاژیوکلاز و پیروکسن و الیوین هستند. زمینه‌ی سنگ شیشه‌ای تا ریز بلور می‌باشد. کانی‌های پلاژیوکلاز دارای ماکل‌های تکراری، کارلسباد و غربالی هستند. بافت



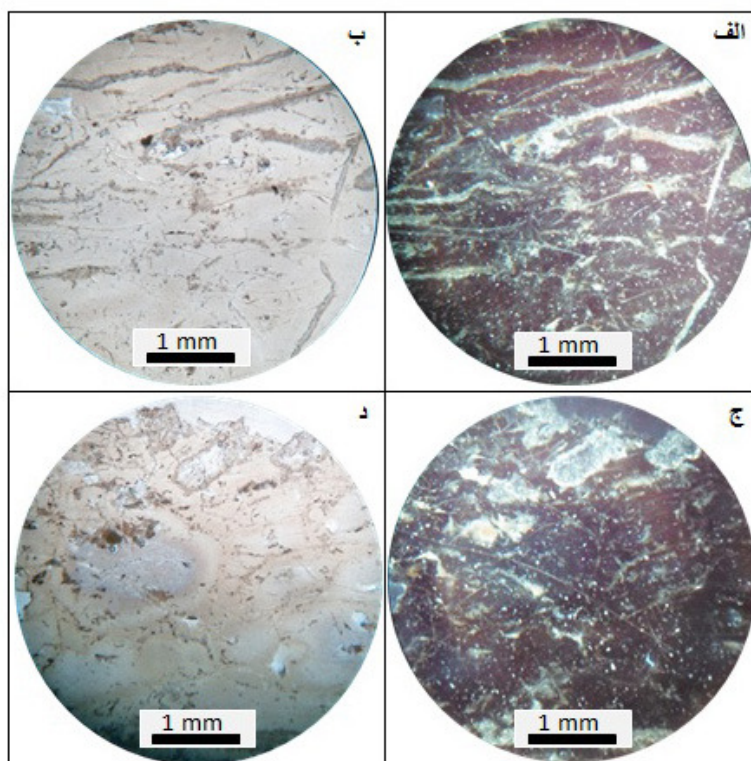
شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از واحد تراکی‌بازالت و تراکی‌آندزیت (Olv2) الف و ب - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl)، پیروکسن (Px) و الیوین (Ol) در خمیره‌ی سنگ (نور XPL). ج - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl)، پیروکسن (Px) و الیوین (Ol) و تشکیل بافت گلوپورپوریتی (نور XPL). د - فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) و پیروکسن (Px) و تشکیل بافت پورفیریستیک (نور XPL)

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از واحد شیشه‌های آتشفشانی (G2) را نشان می‌دهد، که نوعی توف جوش خورده می‌باشد. همچنین سنگ در نمونه‌ی دستی شبیه به ابسیدین می‌باشد. در نمونه‌ی میکروسکوپی دارای ترک‌های مدور و همچنین دارای شکستگی‌های پرلیتی می‌باشد. زمینه‌ی سنگ شیشه‌ای با بافت جریان می‌باشد که در برخی از بخش‌ها، بلورهای ریز متبلور شده در زمینه دیده می‌شود. با توجه به پتروگرافی این سنگ نوعی شیشه آتشفشانی (شبه به ابسیدین) می‌باشد.

شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از واحد تراکی‌توف سنگی و برش‌های آتشفشانی (Olt) را نشان می‌دهد، که نوعی توف جوش خورده می‌باشد. این سنگ در نمونه‌ی دستی دارای بافت برشی می‌باشد و در نمونه‌ی میکروسکوپی، بافت شیشه‌ای جریان را نشان می‌دهد. برخی از بخش‌ها شیشه‌ای با ترک‌های پرلیتی می‌باشد. قطعاتی متبلور با بلورهای ریز از جنس پلاژیوکلاز و کوارتز توسط زمینه‌ی شیشه‌ای به همدیگر متصل شده‌اند. زمینه‌ی سنگ شیشه‌ای همراه با بلورهای ریز است.



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی سنگ (با ترکیب اسیدی تا حدواسط) متشکل از کانی‌های کوارتز و فلدسپار توسط زمینه‌ی شیشه‌ای با بافت جریان‌ی احاطه شده است الف (نور XPL)، ب (نور PPL) ج و د - قطعات متبلور از جنس کوارتز (Qrt) و فلدسپار (Fds) به وسیله‌ی زمینه‌ی شیشه‌ای به هم متصل شده‌اند.



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از واحد شیشه‌های آتشفشانی (G2) الف - بافت جریان‌ی (نور XPL)، ب - بافت جریان‌ی (نور PPL). ج - تبلور بلورهای ریز در زمینه‌ی شیشه‌ای (نور XPL)، د - تبلور بلورهای ریز در زمینه‌ی شیشه‌ای (نور PPL)

۴-۲- طبقه‌بندی به روش بیش‌ترین شباهت

بر اساس این روش طبقه‌بندی، کلاسی به پیکسل مورد نظر انتساب داد می‌شود که احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد. در این الگوریتم طبقه‌بندی با استفاده از تابع توزیع نرمال چند بعدی، سطوح تصمیم‌گیری را بصورت دو بعدی تشکیل داده که در نتیجه این سطوح شکل بیضی، سهمی و دایره‌ای خواهند داشت. در نرم‌افزارهای دورسنجی این روش با محاسبه تابع شماره ۱ برای هر پیکسل از تصویر انجام می‌گیرد (ریچاردز، ۱۹۹۹).

معادله ۱: فرمول محاسباتی روش بیش‌ترین شباهت در هر پیکسل تصویر

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2}(x - m_i)^t \Sigma_i^{-1} (x - m_i)$$

i = کلاس

x = (تعداد باند تصویر n) داده‌های چند بعدی

$P(\omega_i)$ = احتمال وجود کلاس ω_i در تصویر با فرض شباهت

کلیه کلاسه‌ها

$|\Sigma_i|$ = دترمینان ماتریس کوواریانس داده

Σ_i^{-1} = ماتریس معکوس

m_i = بردار حداقل

۴-۳- طبقه‌بندی به روش کوتاه‌ترین فاصله تا میانگین

این روش طبقه‌بندی بر اساس کوتاه‌ترین فاصله بر حسب بردار میانگین هر کلاس و محاسبه پیکسل نامعلوم تا این بردار در فضای چند طیفی می‌باشد. کلاسی که میانگین مقادیر آن، کمترین فاصله را با پیکسل دلخواه داشته باشد به پیکسل نسبت داده خواهد شد. در این روش فاصله میانگین پیکسل مجهول تا بردار میانگین همه کلاس‌ها، محاسبه می‌شود و جهت محاسبه این فاصله معمولاً از روابط اقلیدسی استفاده می‌شود. در روش کوتاه‌ترین فاصله اغلب در حالتی که تعداد کمتری پیکسل معلوم برای کلاس‌ها وجود دارد، دقت بهتری را ارائه می‌دهد (آرسی‌آی، ۲۰۰۳؛ بولستاد و همکاران، ۱۹۹۰).

۴-۴- نقشه‌برداری زاویه طیفی

این روش یک تکنیک طبقه‌بندی طیفی فیزیک پایه می‌باشد که با استفاده از زوایای مختلف جهت تطابق

پیکسل‌ها با طیف‌های مرجع به کلاسه‌بندی تصویر می‌پردازد. این الگوریتم مشخص کننده میزان شباهت طیفی ما بین دو منطقه بر اساس محاسبه زاویه بین طیف‌های مورد نظر می‌باشد که بصورت بردارهایی متناسب با تعداد باندهای تصویر نمایش داده می‌شود. یکی از محاسن این روش عدم حساسیت آن به درجه روشنایی و توان انعکاس داده‌ها می‌باشد روش نقشه‌برداری زاویه طیفی، زاویه بین بردار طیفی پیکسل مرجع با سایر پیکسل‌ها را در فضای n بعدی مقایسه و در نهایت زوایای کوچک‌تر نشان‌دهنده تطابق و وابستگی بیش‌تر با طیف مرجع و بالعکس می‌باشد (کراس و همکاران، ۱۹۹۳).

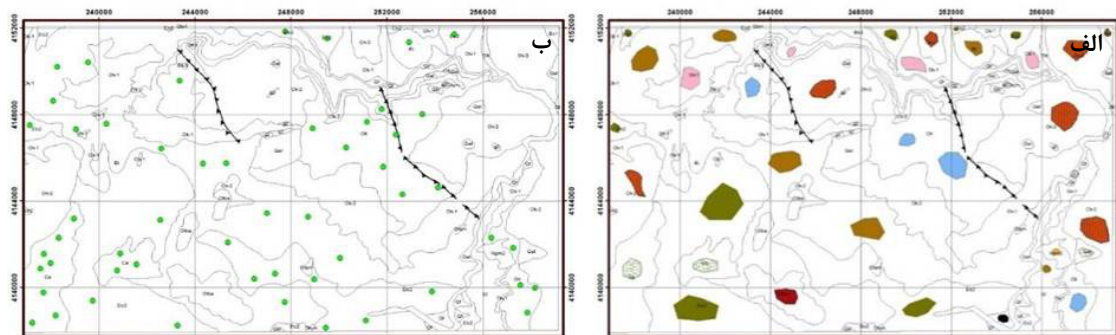
۵- یافته‌های تحقیق

شکل ۷ الف چند ضلعی‌های شاخص هر کلاس را جهت استفاده در روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصویر و شکل ۷ ب نقاط کنترلی و نمونه‌برداری شده به منظور ارزیابی صحت مطالعات را نمایش داده است. چند ضلعی‌های شاخص بر اساس مطالعات میدانی و همگنی لیتولوژی‌ها در تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شده‌اند. یکی از موانع در طبقه‌بندی تصاویر وجود پوشش گیاهی می‌باشد و بهتر است مطالعات در مناطق خشک انجام شود و در غیر اینصورت، پوشش‌های گیاهی از مابقی واحدها تفکیک شود زیرا باعث تغییر خواص طیفی واحدهای سنگی می‌گردد. در شکل شماره ۸ الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در تصویر لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر را نشان می‌دهد. شکل ۸ نتایج طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر با روش‌های بیش‌ترین شباهت، کمترین فاصله و نقشه‌برداری زاویه طیفی را نشان می‌دهد. در جدول ۲ الی ۴ صحت روش‌های مختلف طبقه‌بندی نشان داده شده است. با توجه به اشکال و نمودارهای زیر روش طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت بالاترین دقت را در کلیه روش‌های طبقه‌بندی تصویر نشان می‌دهد.

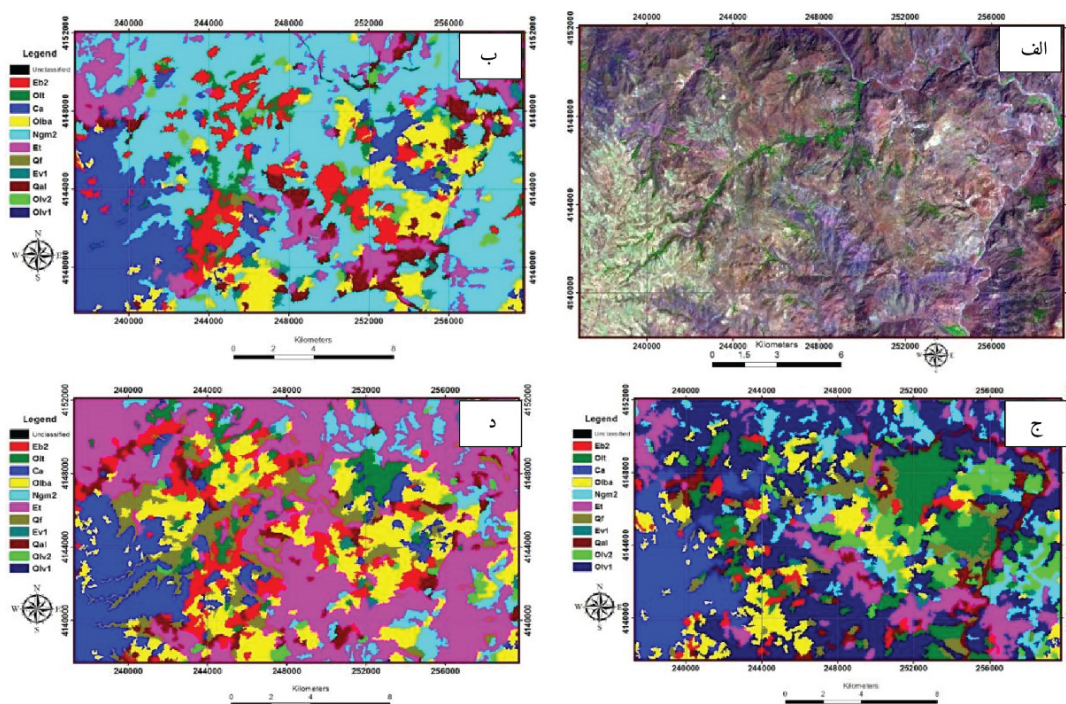
ارزیابی دقت طبقه‌بندی را می‌توان معیاری جهت مقایسه نتایج حاصل شده با داده‌های جغرافیایی که فرض بر صحت آن‌ها می‌باشد، تلقی کرد. ماتریس خطا در نهایت بمنظور ارزیابی دقت روش‌های مختلف ایجاد شد که علاوه بر محاسبه میزان خطای هر کلاس، میزان دقت کار را در ارتباط فضایی با سایر کلاسه‌ها محاسبه که در این مطالعه روش بیش‌ترین شباهت بهترین نتایج را ارائه داده

بالایی را با واقعیت زمینی و نقشه زمین‌شناسی منطقه داده ولی در روش نقشه‌بردار زاویه طیفی با صرف نظر از واحد Et که شامل ویتروتوف می‌باشد، این روش نیز تطابق زیادی را با واحدهای نقشه نشان می‌دهد.

است (احمدی و هامس، ۲۰۰۸). پس از انجام مطالعات آماری و بررسی ماتریس ارزیابی صحت در هر روش، مشاهده گردید که روش بیش‌ترین همسایگی صحت، بیش‌تری در مقایسه با سایر روش‌ها را نشان داده است. هر چند که روش بیش‌ترین همسایگی ضریب اطمینان



شکل ۷. الف) چند ضلعی‌های شاخص در نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، ب) موقعیت نقاط کنترل زمینی و نمونه‌برداری‌های انجام شد.



شکل ۸. الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه در تصویر Landsat8 و پس از تلفیق با داده‌های Sentinel2 ب) طبقه‌بندی تصویر با روش کمترین فاصله ج) طبقه‌بندی تصویر با روش بیش‌ترین شباهت د) طبقه‌بندی با روش نقشه‌بردار زاویه طیفی

یکدیگر برابر باشد. مقدار شاخص کاپا که به کاپای کوهن^۱ معروف است، بین صفر تا یک نوسان دارد. هر چه مقدار این سنجده به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان می‌دهد که توافق بیش‌تری بین روش‌های مختلف وجود

زمانی که دو تکنیک مختلف، نتایج را رتبه‌بندی می‌کنند و قصد داریم میزان توافق بین این دو روش را بسنجیم، از شاخص کاپا استفاده می‌کنیم. شاخص کاپا تنها برای متغیرهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هم سطح سنجش آن‌ها یکی باشد و هم تعداد طبقات آن‌ها با

¹ Cohen's Kappa Coefficient

کاپا و درصد کلی صحت آن‌ها نتیجه‌گیری می‌گردد که جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی با توجه به نمونه‌برداری‌ها و مقاطع مطالعه شده از آن‌ها بعنوان نقاط کنترلی، مناسب نبوده و پیکسل‌های مرجع بازتاب کمی از واقعیت را نشان داده است.

دارد. اما زمانی که مقدار کاپا به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، در آن صورت، شاهد توافق کمتر بین دو روش هستیم. با توجه به جدول شماره ۵ و با علم به این موضوع که روش‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و کمترین فاصله از کاربردی‌ترین روش‌ها در شناسایی کانی‌ها و سنگ‌ها بر اساس خصوصیات طیفی می‌باشند ولی با توجه به ضریب

جدول ۲. ماتریس ارزیابی طبقه‌بندی با روش بیش‌ترین شباهت Olt (توف سنگی)، Et (توف شیشه‌ای)، Eb2 (بازالت، آندزیت بازالت)، Ca (زمین‌های زراعی)

Ground reference information (Pixels)					
Class	Olt	Et	Eb2	Ca	Percent
Olt	8	1	1	0	80
Et	0	4	2	0	66
Eb2	0	0	2	0	100
Ca	0	0	1	11	91

جدول ۳. ماتریس ارزیابی طبقه‌بندی با روش نقشه‌برداری زاویه طیفی Olt (توف سنگی)، Et (توف شیشه‌ای)، Eb2 (بازالت، آندزیت بازالت)، Ca (زمین‌های زراعی)

Ground reference information (Pixels)					
Class	Olt	Et	Eb2	Ca	Percent
Olt	2	۰	۰	0	100
Et	4	8	5	0	47
Eb2	0	0	۱	0	100
Ca	2	0	1	9	75

جدول ۴. ماتریس ارزیابی طبقه‌بندی با روش کمترین فاصله Olt (توف سنگی)، Et (توف شیشه‌ای)، Eb2 (بازالت، آندزیت بازالت)، Ca (زمین‌های زراعی)

Ground reference information (Pixels)					
Class	Olt	Et	Eb2	Ca	Percent
Olt	0	0	0	0	0
Et	0	4	1	0	80
Eb2	3	0	1	1	20
Ca	2	0	1	10	76

جدول ۵. مولفه‌های آماری در روش‌های مختلف طبقه‌بندی

نام روش	ضریب کاپا	درصد صحت
بیش‌ترین شباهت	۰/۷۷	۸۳/۳
کمترین فاصله	۰/۴۸	۶۵/۳
نقشه‌بردار زاویه طیفی	۰/۵۴	۶۲/۵

۶- نتیجه‌گیری

از طریق مقایسه با نمونه‌های برداشت شده و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ منطقه استخراج می‌گردد، تطابق زیادی با شواهد صحرایی و سنگ‌شناسی منطقه دارند و می‌توانند در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس با کمک تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا کمک

با توجه به نتایج بدست آمده به خوبی مشهود است که روش‌های بیش‌ترین شباهت و نقشه‌برداری زاویه طیفی چه از لحاظ مولفه‌های آماری که توسط ضریب کاپا مشخص می‌گردد و چه از نقطه نظر شواهد صحرایی که

- Kaiser, R. D., Miller, D. P (2000) Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN 4-based Algorithm. In proceedings of algorithms for multispectral, hyper spectral, and ultra-spectral imagery, SPIE, 4049: 199-207.
- Ninomiya, N., Fu, B., Cudahy, T. J (2005) Detecting Lithology with Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared radiance-at-sensor data. *Remote Sensing of Environment*, 99: 127-135.
- Richards (1999) *Remote sensing digital Image Analysis*, Springer – verleg, Berlin, p: 240.
- RSL, (Research System Incorporation), (2003) ENVI Tutorial.
- Satellite Imaging Corporation is an official Value Added Reseller (VAR) of imaging and geospatial data products (www.satimagingcorp.com)
- Shataee, S., and Abdi, O (2007) Land Cover Mapping in Mountainous Lands of Zagros Using ETM+ Data (Case Study: Sorkhab Watershed, Lorestan Province) J., *Agri. Sci. Natural Resources*, 14 (1): 129-139.
- Stuckens, J., Coppin, P. R. Bauer, M. E (2000) Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 71: 282-298.
- Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., Zou, Z., Qin, Y (2017) Open Surface Water Mapping Algorithms: A Comparison of Water-Related Spectral Indices and Sensors. *Water*, 256: 32-48.
- شایانی داشته باشند. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به انباشت مواد معدنی مختلف در رسوبات عهد حاضر، در صورتی که گسترش آبرفت‌های جوان در منطقه زیاد باشد، روش بیش‌ترین شباهت انطباق به علت استفاده از میانگین آماری اطلاعات در هر واحد زمین‌شناسی، انطباق بیش‌تری را با واقعیت‌های صحرایی از خود بروز می‌دهند.
- ### منابع
- Al-Ahmadi, F. S., Hames, A. S (2008) Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia. *JKAU; Earth Sci*, 20(1): 167-191
- Alavi, M (1991) Tectonic map of middle east; 1:5000000, G.S.I., one sheet.
- Aqanbati. A (2004) *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, p: 640
- Bolstad, P. V., Lillesand, T. M (1991) Rapid maximum likelihood classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57: 67-74.
- Congalton, R. G (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- Faridy, M., Anvary, A (1982) *Geological map of Hashtjin*; 1:5000000
- Geng, Ji, L., Sun, X.; K., Zhao, Y., Gong, P (2015) Target Detection Method for Water Mapping Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery. *Water*, 7: 794-817.
- Geological survey of Iran (1993) *Geological Quadrangle Map of Iran*, No. K9
- Khatami, R., Giorgos Mountrakis, a., Stephen, V., Stehman, b (2016) A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177: 89-100
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J. Goetz, A.F.H (1993) The Spectral Image Proces sing System (SIPS)-Interactive Visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of the Environment*, 44: 145-16.
- Matthew, M. W., Adler-Golden, S. M., Berk, A., Richtsmeier, S. C., Levine, R. Y., Bernstein, L. S., Acharya, P. K., Anderson, G. P., Felde, G. W., Hoke, M. P., Ratkowski, A., Burke, H. H.,

Comparison of different methods of supervised classification with a special view on their effectiveness in geological studies: A case study in the Skavagh, eastern Azarbaijan

M. Safari^{1*} and M. Manouchehri Nia²

1- Dept., of Geology, Payam Noor, University of Tehran, Iran

2- Dept., of Geology, Damghan University, Damghan

* safarimehdi395@gmail.com

Received: 2018/5/8 Accepted: 2018/11/4

Abstract

The Skavagh study area is located in the western of the Alborz-Azarbaijan folded belt. The dominant rocks in this area are volcanic and volcanic-sedimentary rocks with the Eocene-Oligocene age which have covered most of the area. As well, the late Oligocene intrusive bodies with intermediate composition have cut the rocky units of the area. Generally, ore mineralization in the Skavagh area is copper and manganese which has occurred in the Eocene volcanic and volcanic-sediments rocks. In this research, satellite images of Sentinel 2 and Landsat 8 have been used to perform different methods of supervised classification and prepare a geological map. In this study, after performing the necessary pre-processing, the supervised classification of the images was carried out in different ways, and finally, by conducting field studies, the best method was selected based on the geological evidence. Finally, after calculating the error matrix, the accuracy of the data, Kappa coefficient and by comparing with the index samples and sampling and the thin sections of the geology, the method was validated. After sampling and statistical analysis, it was determined that the spectral angle mapping method showed the best match with the geological units of the region.

Keywords: Supervised classification, spectral angle mapping, most likely method, Skavagh, eastern Azarbaijan