

شناسایی و پهنه‌بندی واحدهای سنگی، ساختاری و دگرسانی شمال غرب سرجنگل (کورین) با استفاده از مطالعات دورسنجی، صحرایی و پتروگرافی، جنوب غرب زاهدان

ساجده بلوچ‌زهی^۱، محمد بومری^۲ و حبیب‌الله بیابانگرد^{۳*}

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲ و ۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

نویسنده مسئول: h.biabangard@science.usb.ac.ir*

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۳

دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۱

چکیده

منطقه سرجنگل در حاشیه غربی پهنه فلیشی شرق ایران و مرز شرقی پهنه لوت در جنوب غرب زاهدان قرار دارد. در این منطقه عمدتاً ملائزافیولیتی و سنگ‌های رخساره فلیش قرار دارد. در این تحقیق ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی و دگرسانی ۱:۲۵۰۰۰ با مطالعات دورسنجی تهیه و سپس با استفاده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی تکمیل و تصحیح گردیدند. در این محدوده مجموعه ملائزافیولیتی از واحدهای سنگی اولترامافیک، مافیک، سنگ‌آهک و فلیش تشکیل شده است که با مجموعه‌های فلیشی مرز گسله دارند. واحد فلیشی در غرب مجموعه‌ی ملائزافیولیتی واقع و عمدتاً متشکل از شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ‌های آذرآواری و میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک و سنگ‌های آذرین می‌باشد که کمی دگرگون شده است. ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه اغلب روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق دارند و به دو نوع اصلی و فرعی قابل تقسیم‌اند. واحد اولترامافیک عمدتاً به سرپانتین دگرسان و واحد مافیک دچار دگرسانی پروپیلیتی و اسپیلیتی شده است. دگرسانی سربستی و آرژیلیکی به طور محلی همراه با این واحد دیده می‌شود. در حاشیه‌ی جنوب غربی منطقه در امتداد زون‌های برشی و خرد شده دگرسانی شدیدی در مجموعه فلیش دیده می‌شود که بیشتر از نوع آرژیلیک است. کانی‌زایی منگنز در شیل‌های ارغوانی و کانی‌زایی منیزیم، کروم و مس در ملائزافیولیتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی، کانی‌زایی، فلیش ائوسن، ملائزافیولیتی، سرجنگل

۱- پیشگفتار

نقشه پایه استفاده می‌شود. این تصاویر ماهواره‌ای با توجه نقشه نهایی مورد نظر باید قدرت تفکیک مکانی مناسبی را داشته باشند. منطقه مورد مطالعه در حاشیه غربی پهنه فلیشی شرق ایران در ۱۲۰ کیلومتری جنوب غرب زاهدان با مختصات طول جغرافیایی $60^{\circ} 15' 00''$ و $60^{\circ} 7' 30''$ و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 52' 30''$ و $29^{\circ} 00' 00''$ قرار دارد. در این مقاله از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، بینگ و استر استفاده شده است. محققین زیادی برای بارزسازی واحدهای سنگی و دگرسانی، از داده‌های سنجنده استر استفاده کرده‌اند (روان و همکاران، ۲۰۰۳؛ اسیری و همکاران، ۲۰۰۸؛ ابدویست، ۲۰۱۰؛ بیرانوند، ۲۰۱۱). هدف از این مقاله تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی، مطالعات صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی و آزمایشگاهی است.

تلفیق مطالعات صحرایی و پتروگرافی با مطالعات دورسنجی برای تفکیک و پهنه‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی، انواع دگرسانی و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ضروری است. تهیه نقشه‌های اولیه با استفاده از مطالعات دورسنجی قبل از مطالعات صحرایی باعث کاهش هزینه و دقت بالاتر در تهیه نقشه‌های نهایی می‌شود. هر چند سنجش از دور امروزه در مطالعات زمین‌شناسی اهمیت ویژه‌ای دارد و اطلاعات ارزشمندی در مطالعه ساختارها، پهنه‌های دگرسانی، واحدهای سنگی، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و غیره در اختیار ما قرار می‌دهد (یتکین، ۲۰۰۳)، ولی نیاز است که نقشه‌های تهیه شده با مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی کنترل و تایید شود. برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری امروزه بجای عکس‌های هوایی از تصاویر ماهواره‌ای مختلف به عنوان

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

طراحی شد. طی هفت روز بازدید صحرایی، نمونه‌برداری و برداشت‌های ساختاری و شناسایی دقیق واحدهای سنگی مقاطع زمین‌شناسی مسیرهای پیمایش شده ترسیم گردید. از نمونه‌های برداشت شده ۸۰ مقطع نازک تهیه و مطالعات سنگ‌نگاری آن‌ها به وسیله میکروسکوپ‌های پلاریزان انجام گردید. رده‌بندی سنگ‌ها عمدتاً بر مبنای کانی‌شناسی و بافت سنگ‌ها انجام شده است. نام‌گذاری سنگ‌های آذرین بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و با ملاحظه رده‌بندی IUGS انجام شده است. برای رده‌بندی سنگ‌های رسوبی از طبقه‌بندی پتی‌جان (۱۹۷۸) استفاده شد. نقشه نهایی منطقه مورد مطالعه براساس مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 تهیه گردید. این نقشه بسیاری از جزئیات منطقه که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کورین دیده نمی‌شود را مشخص کرده است.

۴- تفکیک واحدهای زمین‌شناسی با استفاده از

مطالعات دورسنجی

برای شناسایی واحدهای سنگی از روش ترکیب‌بندی استفاده شده است که از ترکیب باندی $R=6$ به دلیل جذب بالای کانی‌های فلدسپار، $G=4$ به علت جذب بالای کانی‌های فرومنیزیم و $B=2$ به علت جذب بالای اکسیدهای موجود در رسوبات، باندهای سنجنده OLI استفاده شده است (شکل ۱a). در تصاویر استر بهترین ترکیب باندی $R=4, G=2, B=1$ می‌باشد (پیروان و همکاران، ۱۳۸۲) (شکل ۱b). همچنین از تصاویر گرفته شده از ماهواره بینگ به دلیل قدرت تفکیک بالا (حدود یک متر) نیز برای تفکیک واحدهای سنگی استفاده شده است (شکل ۱c). گسل‌ها نیز به علت تغییر ناگهانی رنگ و قطع شدن لایه‌ها قابل تشخیص هستند و از تلفیق سه روش بالا واحدهای زمین‌شناسی منطقه تفکیک گردید (شکل ۱d).

۵- تفکیک زون‌های دگرسانی

در سال‌های اخیر با اثبات وجود ارتباط بین کانی‌زایی‌های مختلف و مناطق دگرسانی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای جهت تعیین مکان مناطق دگرسان شده به طور گسترده انجام شده است (سابین، ۱۹۹۹). یکی از مهم‌ترین راه‌های شناسایی مناطق دگرسان شده و حتی تفکیک واحدهای زمین‌شناسی، استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور

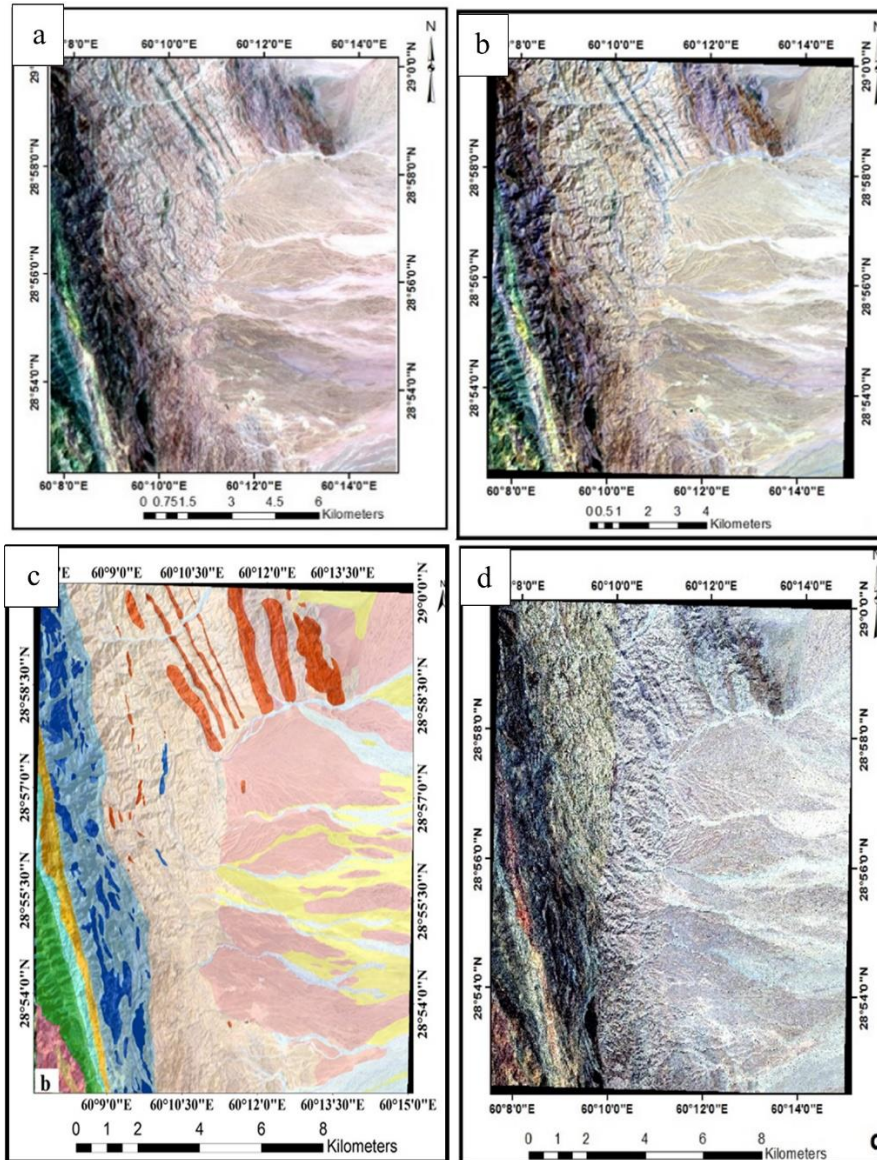
منطقه مورد مطالعه در پهنه فلیشی شرق ایران قرار دارد و موقعیت آن در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خاش (سهندی و همکاران، ۱۹۹۴) و ۱:۱۰۰۰۰۰ کورین (سهندی و همکاران، ۱۹۹۴) نشان داده شده است. سهندی و همکاران (۱۹۹۴) ضمن شرح نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کورین، پهنه فلیش را در این منطقه به دو زیر زون تقسیم کردند: ۱. زیر زون شرقی که در شرق گسل نصرت‌آباد- کارواندر قرار دارد و توالی رسوبی متمورف شده ائوسن از اجزای اصلی این زیر زون می‌باشد. ۲. زیر زون غربی یا زیر زون کاسکین که در غرب گسل نصرت‌آباد- کارواندر قرار دارد و با واحدهای سنگی بلوک لوت هم‌مرز است. مجموعه افیولیت‌ملائز در منطقه مورد مطالعه در طول گسل تراستی نصرت‌آباد- کارواندر برونزد دارد. این واحد افیولیتی در منطقه مطالعه دارای روند شمال‌غربی است و بخش غربی نقشه را اشغال کرده و مرز این دو زیر زون است. بنابراین منطقه مورد مطالعه در مرز و بخشی از آن در زیر زون شرقی قرار دارد. در این منطقه سنگ‌های مجموعه افیولیت‌ملائز، سنگ‌های رسوبی و فلیش‌های کمی دگرگون شده‌ی ائوسن را در شرق منطقه از سنگ‌های رسوبی با میان لایه‌های آذرین الیگومیوسن در غرب منطقه جدا می‌کند. مطالعات صحرایی و پتروگرافی در این تحقیق نشان می‌دهد که سنگ‌های رسوبی منطقه شیل‌های سبز و ارغوانی، سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک‌های ماسه‌ای به سن ائوسن تا اولیگومیوسن و سنگ‌های دگرگونی منطقه، اسلیت و فیلیت‌های ائوسن و کرتاسه هستند. سنگ‌های آذرین موجود در مجموعه افیولیت‌ملائز متعلق به کرتاسه و شامل بازالت، گابرو، دیاباز و پریدوتیت‌ها هستند و دیگر سنگ‌های آذرین عمدتاً متعلق به ائوسن می‌باشند که به صورت میان لایه در بین سنگ‌های رسوبی دیده می‌شوند و شامل آندزیت‌های پورفیری و توف‌ها هستند.

۳- روش مطالعه

ابتدا یک نقشه زمین‌شناسی اولیه از واحدهای دگرسانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های دورسنجی (ترکیب باندی و نسبت‌گیری باندی) تهیه گردید که در بخش مربوطه به طور مفصل شرح داده می‌شود. سپس پروفیل‌های متعددی جهت انجام مطالعات صحرایی

روی داده‌های ماهواره‌ای است (هانت و سلیسبوری، ۱۹۷۰). تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی حاصل از دگرسانی سنگ‌ها، میزان انعکاس منعکس شده یا جذب شده در این سنگ‌ها را تغییر می‌دهد (بداغی و همکاران، ۱۹۷۷؛ راجنران و همکاران، ۲۰۱۲).

در این تحقیق جهت شناسایی مناطق دارای دگرسانی از تصاویر لندست ۸ و استر و از روش نسبت باندی و ترکیب باندی استفاده شده است (هانت، ۱۹۷۷؛ ساین، ۱۹۷۷؛ راجنران و همکاران، ۲۰۱۲).



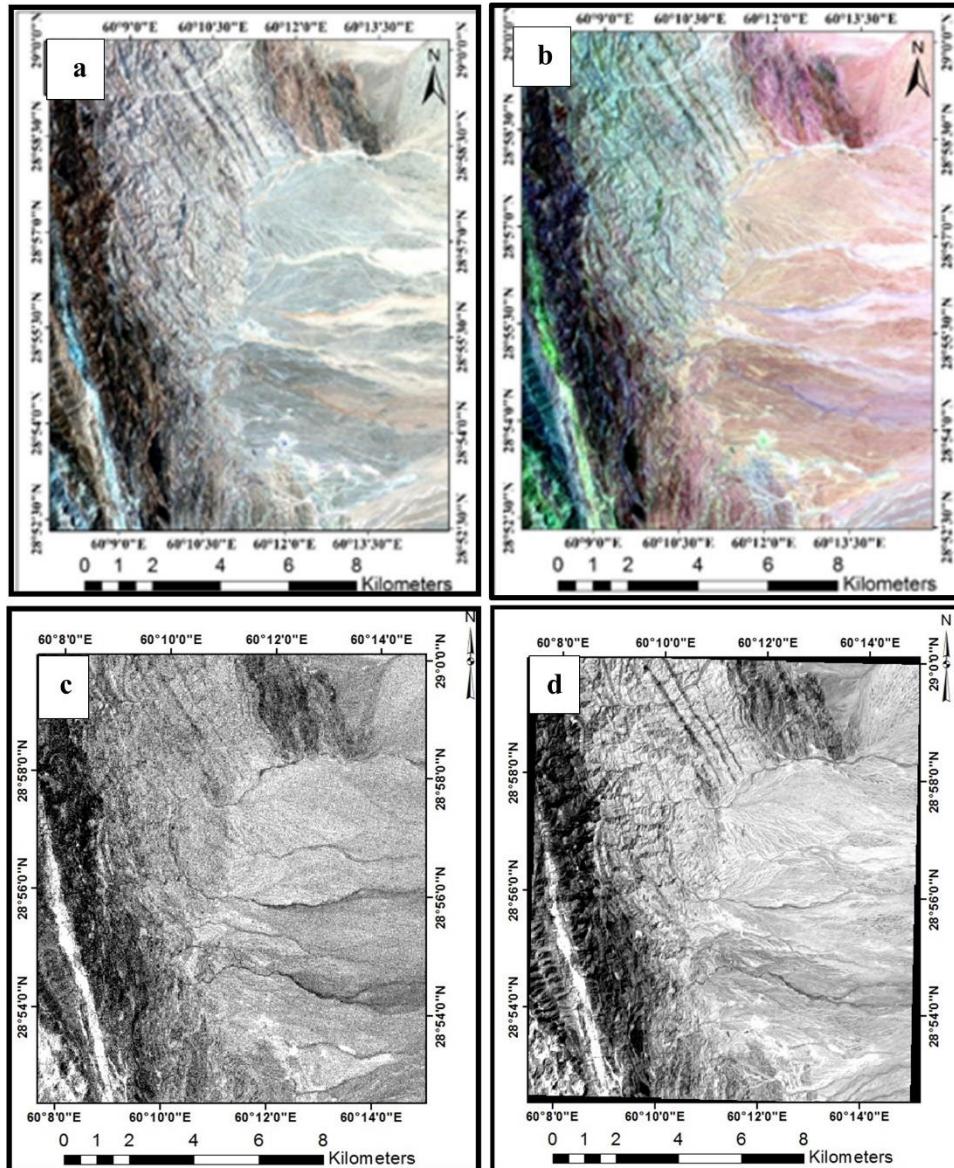
شکل ۱. (a) ترکیب باندی RGB=642 سنجنده OLI لندست ۸، (b) ترکیب باندی RGB=421 سنجنده استر جهت تفکیک واحدهای زمین‌شناسی، (c) تصویر ماهواره بینگ (Bing)، (d) تفکیک واحدهای زمین‌شناسی با استفاده از ۳ تصویر حاصل از سنجنده استر، بینگ و لندست، رنگ لایه‌ها ۴۰ درصد شفاف سازی شده است.

می‌شود (هوبارد و همکاران، ۲۰۰۵). برای شناسایی مناطق دارای اکسید آهن در اینجا از دو روش استفاده شده است؛ الف) روش ترکیب باندی: در علم سنجش از دور رنگ‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، روش ترکیب رنگی کاذب RGB از جمله روش‌هایی است که اطلاعات زیادی در رابطه با مناطق دگرسانی در اختیار ما قرار می‌دهد. یک سیستم نمایش رنگی RGB یک باند طیفی را به یکی از سه ورودی

۵-۱- شناسایی مناطق دارای دگرسانی اکسید آهن
اکسیدهای آهن در اغلب مناطق دگرسان شده در رخنمون‌های سطحی به دلیل هوازدگی مشاهده می‌شوند. بنابراین تشخیص آن به عنوان کلیدی در ارتباط با مناطقی که احتمال کانی‌سازی دارند با اهمیت است. زمانی که اکسید آهن در سنگی حضور دارد، معمولاً سنگ در رخنمون‌ها به رنگ سرخ، قهوه‌ای، نارنجی یا خردلی دیده

از سنجنده استر استفاده شده است (برای مثال تاجیک و کاکایی، ۱۳۸۵). در این ترکیب رنگی مناطق دارای اکسید آهن به رنگ آبی آسمانی دیده می‌شوند (شکل ۲a). همچنین ترکیب بانندی RGB=631 استر نیز اکسیدهای آهن را به رنگ سبز روشن تا پسته‌ای نشان می‌دهد (شکل ۲b).

رنگی (قرمز، سبز، آبی) مرتبط می‌کند. بهتر است برای ساختن تصاویر از باندهایی با همبستگی کم استفاده شود (استادمهدی و مجدفر، ۱۳۹۸). ترکیب رنگی کاذب RGB=123 جهت آشکارسازی اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمنیت، گوتیت)، با توجه به ویژگی‌های جذب طیفی در محدوده امواج مادون قرمز نزدیک و طیف مرئی (VNIR)،



شکل ۲. (a) ترکیب بانندی ۱۲۳ سنجنده استر که اکسیدهای آهن را به رنگ آبی آسمانی نشان می‌دهد، (b) ترکیب بانندی ۶۳۱ سنجنده استر که اکسیدهای آهن را به رنگ سبز تا پسته‌ای نشان می‌دهد، (c) نسبت بانندی ۲/۱ سنجنده استر و (d) نسبت بانندی ۴/۲ از سنجنده OLI از لندست ۸ که در هر دو تصویر پیکسل‌های روشن نشان دهنده‌ی کانی‌های دارای اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن هستند.

همچنین اثرات سایه و اختلاف روشنایی زمین را به دلیل شیب زمین کاهش دهد (روان و مارس، ۲۰۰۳؛ هیسون و همکاران، ۲۰۰۵؛ آبراه، ۲۰۰۵؛ سابین، ۱۹۹۹؛ راکول، ۲۰۱۰). از نسبت بانندی ۴/۲ به دلیل جذب در باند ۲ و

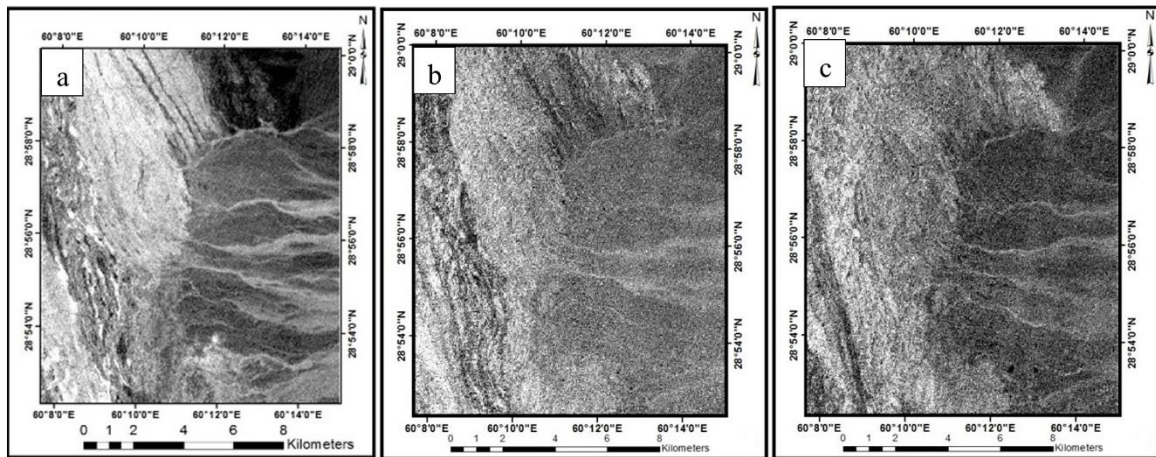
ب) روش نسبت‌گیری بانندی: نتیجه تقسیم مقادیر روشنایی یک باند طیفی به باند طیفی قابل انطباق دیگر را نسبت‌گیری بانندی می‌گویند و نسبت‌گیری بانندی می‌تواند برای بارسازی اختلاف طیفی بین باندها استفاده شود،

کائولینیت می‌توان نسبت باندهای گوناگونی را برای آشکارسازی این کانی‌ها پیشنهاد کرد. نسبت باند ۴ به ۶ سنجنده استر برای مشخص کردن همه کانی‌های رسی (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۴) (شکل ۳a) و نسبت باندهای $(b_5+b_7)/b_6$ برای مشخص کردن کانی‌های دارای $Al-OH$ مانند موسکوویت، مونتموریونیت، ایلیت و کائولینیت که شاخص زون‌های فلیک و آرژیلیک هستند (هیسون و همکاران، ۲۰۰۵). بدلیل انعکاس پایین در باند ۶ و انعکاس بالا در باندهای ۵ و ۷ استفاده شد (شکل ۳b). همچنین نسبت باند b_6/b_5 کانی مسکوویت بدلیل انعکاس بالای این کانی در باند ۵ و انعکاس پایین در باند ۶ استفاده گردید (شکل ۳c).

بازتاب در باند ۴ سنجنده OLI لندست ۸ برای بارسازی اکسیدهای آهن بهره گرفته شده است (شکل ۲c). بیشترین جذب طیف کانی‌های اکسید آهن (گوتیت، لیمونیت و هماتیت) در امواج مادون قرمز نزدیک (۵/۰-۸/۰ میکرومتر) صورت می‌گیرد به همین دلیل بیشترین جذب در باند ۱ و تابش در باند ۲ از نسبت باندی ۲/۱ از سنجنده VNIR استر است (پروست، ۲۰۰۱؛ سئو و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین در تصویر حاصل این مناطق با اثر مثبت (پیکسل‌های روشن) دیده می‌شوند (شکل ۲d).

۲-۵- زون آرژیلیک و فلیک

از مقایسه منحنی استاندارد انعکاس کانی‌های دارای پیوند $Al-OH$ مانند موسکوویت، مونتموریونیت، ایلیت و



شکل ۳. (a) نسبت باندی ۴ به ۶ سنجنده استر، (b) نسبت باندهای $(b_5+b_7)/b_6$ سنجنده استر، در هر دو تصویر نقاط روشن نشان دهنده کانی‌های رسی هستند و (c) نسبت باند ۵ به ۶ سنجنده استر که نقاط روشن نشان دهنده کانی مسکوویت است.

دگرسانی‌هایی مانند سرپانتینی شدن به رنگ سبز روشن، مناطق دارای دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز تیره و کانی‌های رسی به رنگ سفید دیده می‌شوند (شکل ۴b).

۶- تفکیک واحدهای ساختاری

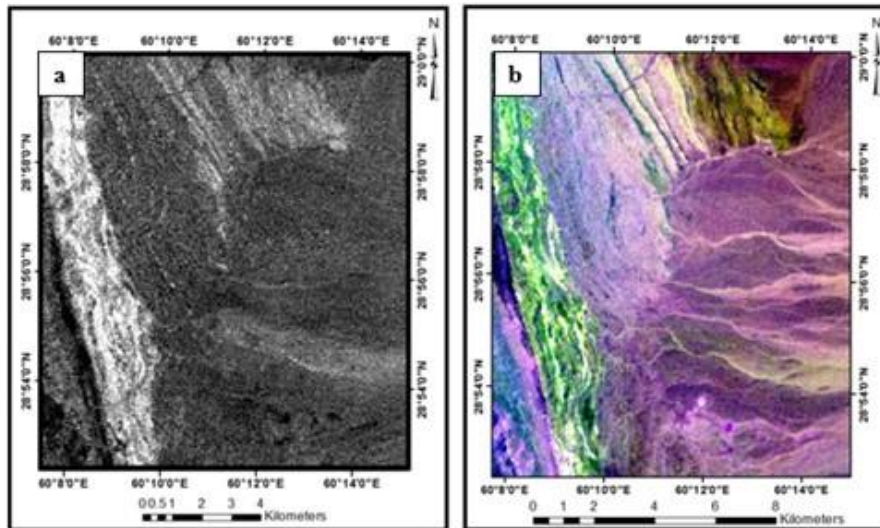
امروزه از مهم‌ترین روش‌های مطالعه و تحلیل ساختاری، استفاده از داده‌های دورسنجی (خصوصاً تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸) است. در تصاویر ماهواره‌ای با توجه به نوع باند که در طول موج خاصی اقدام به تصویربرداری از سطح زمین می‌کند، طیف خاکستری تصاویر نشان دهنده انعکاس اجسام سطح زمین نسبت به سنجنده ماهواره است (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). شکستگی‌ها یا خطواره‌ها خطوطی هستند که تغییرات طیف خاکستری در دو طرف

۳-۵- زون پروپیلیتیک و سرپانتینی

زون پروپیلیتیک نسبت به زون فلیک و آرژیلیک از گسترش بیشتری در منطقه برخوردار است. برای مشخص کردن کانی‌های گروه $Mg-OH$ مانند کلریت، اپیدوت، کلسیت و غیره که شاخص زون پروپیلیتیک هستند، از نسبت باندی $b_8/(b_6+b_9)$ استفاده شده است. کانی‌های گروه $Mg-OH$ به دلیل انعکاس کم این کانی‌ها در باند ۸ و انعکاس نسبتاً بالا در ۶ و ۹ از این نسبت باندی به راحتی قابل تشخیص هستند (هیسون و همکاران، ۲۰۰۵) (شکل ۴a). برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی سرپانتین از یک تصویر رنگی کاذب با نسبت باندی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در قرمز از باندهای سنجنده استر استفاده شده است. در مجموعه‌های افیولیتی

فیلترگذاری استفاده کرد (هنرمند و همکاران، ۱۳۸۴). فیلترگذاری به دو روش بدون جهت و جهت‌دار انجام می‌شود، از فیلترگذاری جهت‌دار برای شناسایی شکستگی‌هایی که روند خاصی دارند استفاده می‌شود. در اینجا برای شناسایی ساختارها از نرم‌افزار ENVI4.5 و از روش directional با زاویه‌ای آزیموتی ۱۸۰، ۱۳۵، ۹۰، ۴۵ در چهار جهت شمالی- جنوبی، شمال شرق- جنوب غرب، شرقی- غربی، شمال غرب- جنوب شرق استفاده شد که معمولاً برای شناسایی ساختارها در جهات مختلف موثرتر است (شکل ۵ a, b, c, d). همچنین خطواره‌های استخراج شده با استفاده از این تصاویر در شکل ۵ e نشان داده شده است.

آن‌ها یکسان نیست و یا یک ناپیوستگی خطی روی طیف خاکستری ایجاد می‌کنند و با اعمال فیلترهای مناسب قابل شناسایی هستند (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). ساختار اصلی منطقه را چین‌خوردگی‌ها و شکستگی‌های متعدد تشکیل می‌دهد. در اینجا برای شناسایی ساختارها از روش فیلترگذاری استفاده شده است. بررسی‌های لازم برای شناسایی و به نقشه در آوردن^۱ ساختارهای خطی از اعمال فیلترهای جهتی^۲ بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده شد. عموماً شکستگی‌ها در تصویر ماهواره‌ای به راحتی قابل تشخیص نیستند، به جز آن دسته از خطواره‌هایی که به دلیل شرایط نوردهی مناسب، هم امتدادی با آبراهه‌ها و نیز نوع پوشش گیاهی قابل تشخیص هستند، برای شناسایی دیگر شکستگی‌ها باید از روش



شکل ۴. (a) نقاط روشن نشان دهنده‌ی دگرسانی پروپیلیتیک است، (b) مناطق سرپانتینی شده را به رنگ سبز روشن، پروپیلیتیک را به رنگ سبز تیره و کانی رسی را به رنگ سفید نشان می‌دهد.

گسل‌های تراکم بیشتری دارند. به طور کلی گسل‌های واقع در منطقه دو نوع هستند؛ الف- گسل‌های با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق که در نیمه غربی منطقه دیده می‌شوند. این گسل‌ها دارای طول زیاد و اغلب صخره‌ساز و دارای عملکرد راستگرد هستند. این گسل‌ها اغلب در مرز با واحدهای زمین‌شناسی و محصور کننده واحدهای زمین‌شناسی هستند. این گسل‌ها به هم مرتبط بوده که بر اثر بریدگی‌های گسلی و گسل‌های خمشی تغییر روند داده و در نتیجه سازندهای زمین‌شناسی نیز تغییر روند داده‌اند.

۷- زمین‌شناسی ساختاری منطقه

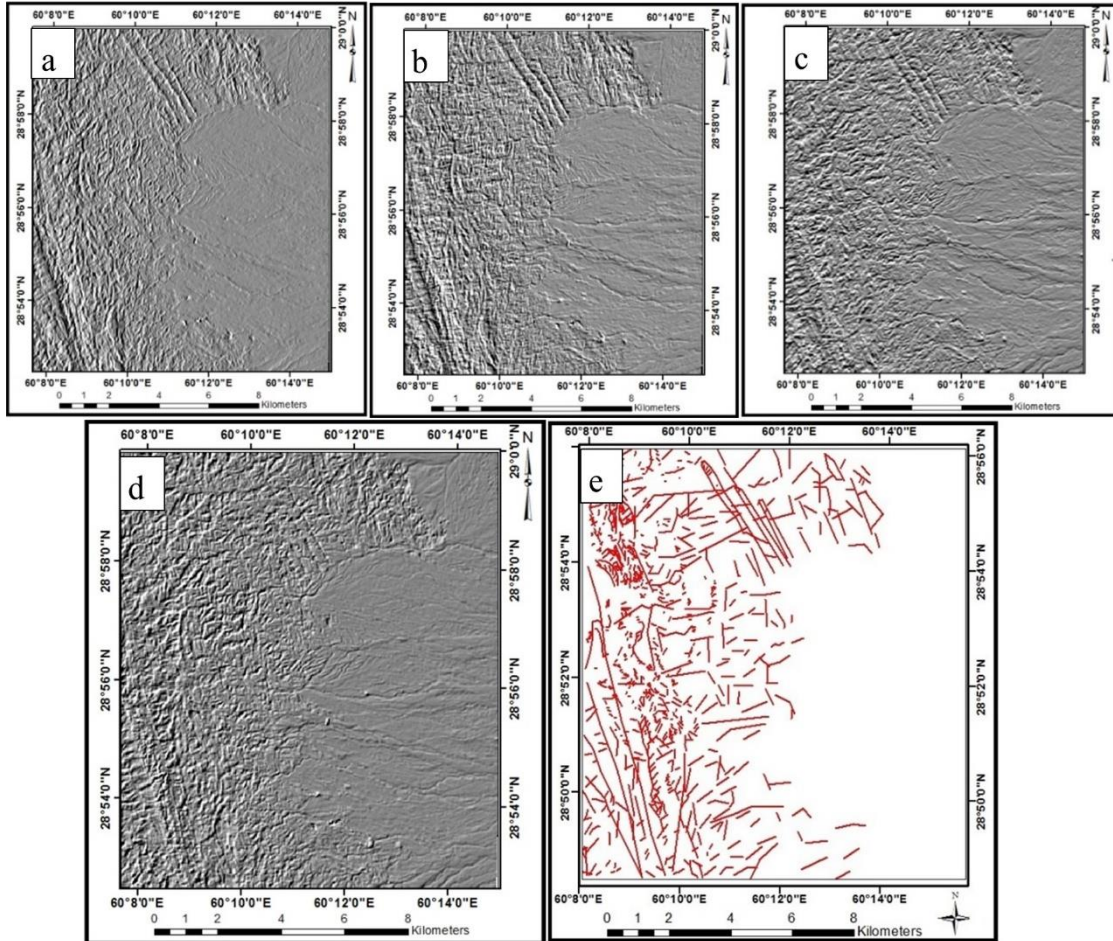
چهار گوش منطقه مورد مطالعه شامل دو ایالت ساختاری کاملاً متفاوت است که به وسیله زون گسلی نصرت‌آباد- کارواندر از هم جدا می‌شوند که در غرب، منطقه بلوک لوت و در شرق آن پهنه فلیش شرق ایران و افیولیت ملائزها قرار دارند. افیولیت‌ها از قبیل سنگ‌های اولترامافیک و مافیک در امتداد گسل نصرت‌آباد رخنمون دارد. تلفیق اطلاعات حاصل مشاهدات صحرائی و تحلیل مطالعات دورستجی حاصل جهت تشخیص شکستگی‌ها نشان دهنده‌ی این است که اکثر شکستگی‌ها در اطراف

² directional

¹ Mapping

شرق- جنوب غرب و گسل‌های شرقی- غربی کمتر دیده می‌شوند. مشخصات گسل‌های اصلی و فرعی (جدول ۱) و نمودار گل‌سرخ‌ی مربوط به هر کدام در شکل ۶ آمده است.

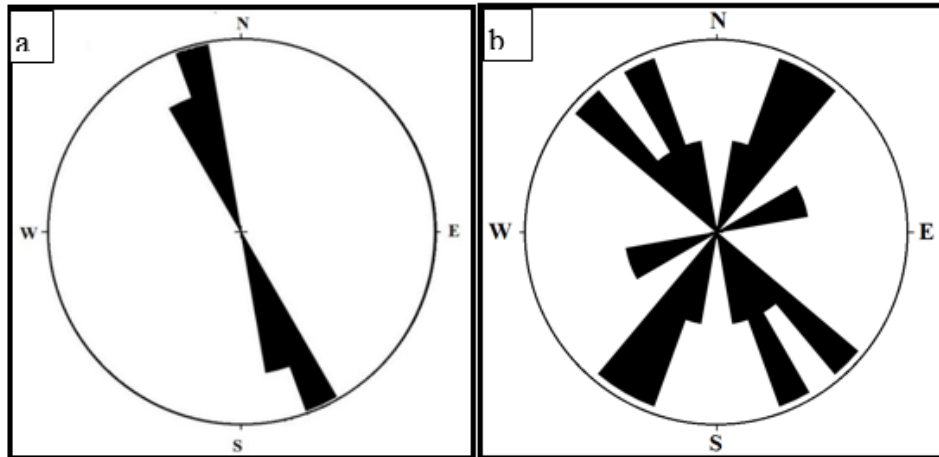
ب- گسل‌های کوتاه و منقطع که به تعداد زیاد می‌باشند و تقریباً دارای روند عمود بر گسل‌های گروه اول می‌باشند. این گسل‌ها اغلب ما بین گسل‌های اصلی قرار دارند که اغلب دارای دو روند شمال غرب- جنوب شرق و شمال



شکل ۵. (a) فیلترگذاری با زاویه ۱۸۰ درجه برای تفکیک خطواره‌های N-S، (b) فیلترگذاری با زاویه ۱۳۵ درجه برای تفکیک خطواره‌های NW-SE، (c) فیلترگذاری با زاویه ۹۰ درجه برای تفکیک خطواره‌های E-W، (d) فیلترگذاری directional با زاویه ۴۵ درجه برای تفکیک خطواره‌های NE-SW، (e) نقشه خطواره‌های استخراج شده با استفاده از روش فیلترگذاری.

جدول ۱. نشان‌دهنده‌ی امتداد گسل‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه

| گسل‌های اصلی | | | گسل‌های فرعی | | |
|--------------|------------|------|--------------|------|------------|
| ردیف | امتداد گسل | ردیف | امتداد گسل | ردیف | امتداد گسل |
| ۱ | N15W | ۱ | N30E | ۸ | N15E |
| ۲ | N17W | ۲ | N25W | ۹ | N45W |
| ۳ | N20W | ۳ | N20E | ۱۰ | N30E |
| ۴ | N25W | ۴ | N60E | ۱۱ | N25W |
| ۵ | N23W | ۵ | N45W | ۱۲ | N20E |
| ۶ | N15W | ۶ | N20E | ۱۳ | N70E |
| ۷ | N24W | ۷ | N20W | ۱۴ | N35W |



شکل ۶. (a) نمودار گل‌سرخ (Rose Diagram) حاصل از گسل‌های اصلی و (b) نمودار گل‌سرخ حاصل از گسل‌های فرعی در منطقه

بقیایی از اولیوین، اورتوپیروکسن، کلریت و کانی‌های اپک دیده می‌شود (شکل ۸b).

واحد مافیک (K^{Ba+Da}): این واحد از گابرو، بازالت و دیاباز تشکیل شده است و بیشترین گسترش آن در نیمه غربی منطقه به صورت پراکنده درون مجموعه افیولیتی دیده می‌شود و تمام مرز لایه‌های موجود در آن با دیگر سنگ‌های مجموعه افیولیتی گسله می‌باشد.

الف) بازالت: بازالت‌های موجود در این واحد از نوع بالشی هستند که به دلیل دگرسانی و هجوم رگه‌های کلسیت، اپیدوت و کوارتز ماهیت اولیه خود را از دست داده‌اند. این بازالت‌ها به دلیل گسلش لایه‌ها در جهات مختلف شیب و امتداد دارند و از یک روند خاص پیروی نمی‌کنند و اغلب به رنگ قرمز تا بنفش دیده می‌شوند. بازالت‌های بالشی به دلیل سیلیسی شدن در مقابل عوامل فرسایش مقاومت کرده و معمولاً قلّه‌های مرتفع در منطقه را تشکیل داده‌اند. بازالت‌ها نسبت به بقیه واحدهای مجموعه افیولیتی با فلیش‌های منطقه آمیختگی بیشتری دارند و علاوه بر حضور آن در مجموعه افیولیتی، در مجموعه فلیشی نیز دیده می‌شوند. این بازالت‌ها در بعضی قسمت‌ها درجاتی از دگرگونی را متحمل شده و به متابازیت تبدیل و ساخت بالشی خود را از دست داده‌اند (شکل ۹a). از لحاظ تنوع کانی‌شناسی این سنگ‌ها از کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و کانی‌های فرعی و ثانویه کوارتز، سربیسیت، کلسیت، اپیدوت و کلریت و گاهی از پامپله‌ایت که از دگرسانی کانی‌های اولیه حاصل شده، تشکیل شده‌اند و بافت‌های اینترستال، حفره‌ای و وارپولیتیک نشان می‌دهند (شکل ۹).

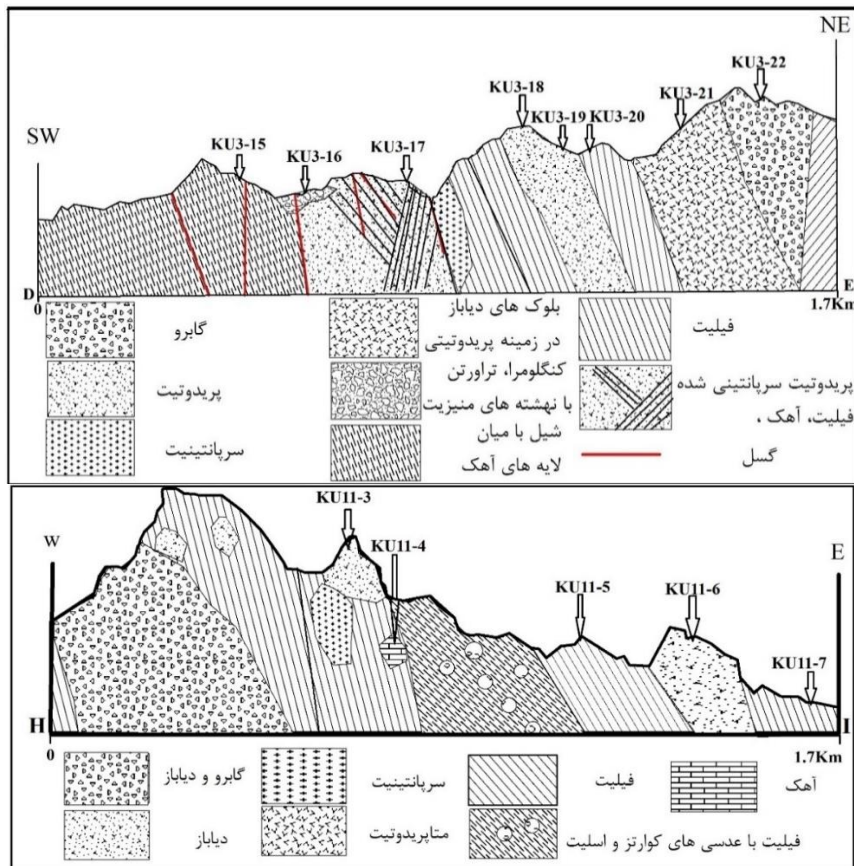
۸- تفکیک واحدهای زمین‌شناسی با مطالعات صحرایی و پتروگرافی

زمین‌شناسی منطقه عمدتاً از سه مجموعه تشکیل شده که شامل مجموعه افیولیتی، مجموعه فلیش و مجموعه رسوبات و نهشته‌های جدید می‌باشند. در اینجا این مجموعه‌ها از قدیم به جدید توضیح داده می‌شوند و در پایان نقشه زمین‌شناسی حاصل از تلفیق همه مطالعات و اطلاعات موجود آورده شده است.

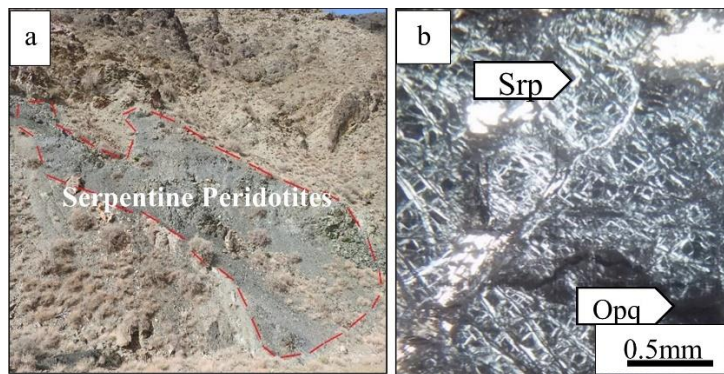
۸-۱- مجموعه افیولیتی

این مجموعه در طول گسل نصرت‌آباد- کاروند رخنمون دارد و از دو طرف به وسیله مجموعه فلیش محصور شده است و دارای روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد. این مجموعه از سنگ‌های اولترامافیک، مافیک و رسوبی تشکیل شده است. در شکل ۷ نیمرخ‌های زمین‌شناسی حاصل از برداشت‌های صحرایی به صورت شماتیک از مجموعه افیولیتی رسم شده است.

واحد اولترامافیک: واحد اولترامافیک در محدوده مورد مطالعه عمدتاً از هارزبورژیت و هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت تشکیل شده است. این سنگ‌ها در صحرا به رنگ سبز تا سیاه دیده می‌شوند و به صورت عدسی مانند و توده‌ای و لایه‌های ناپیوسته می‌باشند (شکل ۸a). عدسی‌های رخنمون یافته در مجموعه فلیش دارای اندازه کوچک می‌باشند و حتی نمایش آن‌ها به صورت جداگانه در نقشه سخت است. به نظر می‌رسد لایه اولترامافیک که از سمت غرب بیشتر با گابرو هم مرز است دارای ضخامتی کمتر از ۲۰ متر است. هارزبورژیت اغلب به شدت به سرپانتین دگرسان شده ولی در بعضی نمونه‌ها



شکل ۷. نیمرخ‌های زمین‌شناسی حاصل از برداشت‌های صحرایی از مجموعه افیولیت ملانژ سنگ‌های شیلی با میان لایه‌های سنگ آهک، ابتدای این نیمرخ متعلق به واحد مولاس می‌باشند.



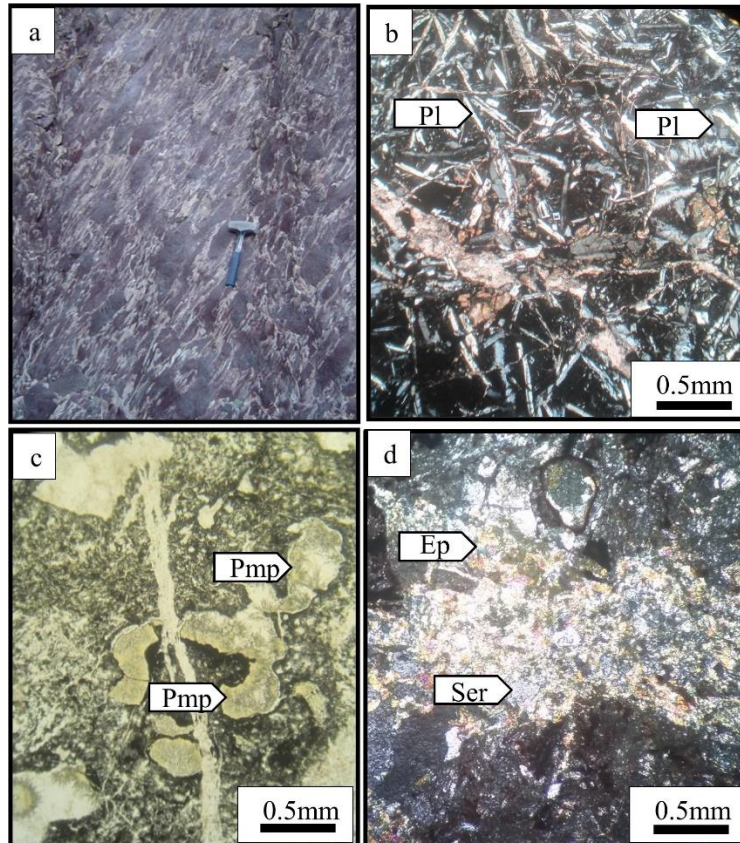
شکل ۸. (a) تصویری از پریدوتیت‌های سرپانتینی شده موجود در منطقه و (b) تصویر میکروسکوپی از هارزبورزیت سرپانتینی شده در نور XPL.

ج) گابرو: در محدوده مورد بررسی گابروها نسبت به پریدوتیت‌ها گسترش بیشتری دارند. این سنگ‌ها در رخنمون‌ها دارای رنگ خاکستری تا سبز روشن هستند و مورد هجوم رگه‌های سیلیسی، کربناتی و اپیدوتی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰b). این سنگ اغلب از پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاهی هورنبلند و به مقدار کمی کوارتز و کانی‌های فرعی و ثانویه کلسیت، کلریت، اپیدوت، کانی اپک و اکسید آهن تشکیل شده است (شکل ۱۰c). این سنگ‌ها اغلب دارای بافت گرانولار هستند اما در بعضی از

ب) دیاباز: در بعضی نقاط دیابازها به صورت دایک در سنگ‌های مجموعه افیولیتی دیده می‌شوند. از لحاظ تنوع کانی‌شناسی، این سنگ‌ها تقریباً از ۳۵ تا ۴۰ درصد پلاژیوکلاز، ۳۰ تا ۳۵ درصد پیروکسن و ۱۰ تا ۱۵ درصد کانی اپک تشکیل شده‌اند و بقیه سنگ را کانی‌های ثانویه کلریت و اپیدوت تشکیل می‌دهد (شکل ۱۰a). این سنگ‌ها دارای بافت دلریتی تا اینترسرتال هستند. این سنگ دارای درجاتی از دگرسانی پروپیلیتی است.

سنگ‌های رسوبی: در مجموعه افیولیتی رخنمون‌هایی از سنگ‌های آهکی وجود دارد که اغلب به رنگ قرمز تا قهوه‌ای و در قسمت‌های هوازده به رنگ زرد دیده می‌شوند. این سنگ‌آهک‌ها اغلب به دلیل اینکه در یک مجموعه تکتونیکی قرار گرفته‌اند، از روند خاصی پیروی نمی‌کنند و به صورت میان‌لایه‌ای و توده‌ای دیده می‌شوند (شکل ۱۰d).

آن‌ها بافت افیتیک، شبکه‌ای و پورفیری نیز دیده می‌شود و در اغلب این سنگ‌ها نشانی از دگرسانی پروپیلیتیک و در برخی از آن‌ها دگرسانی سریسیتی دیده می‌شود. سنگ‌های دگرگونی: فیلیت، متاگابرو، متابازالت، و بخشی از سرپانتینیت و اسپیلیت در مجموعه افیولیتی دیده می‌شوند. این سنگ‌ها بعداً تحت تاثیر جابجایی‌های تکتونیکی با سنگ‌های مافیک و اولترامافیک مخلوط شده و تشکیل یک ملانژ تکتونیکی را داده‌اند.



شکل ۹. (a) تصویری از بازالت‌های موجود در منطقه، (b) تصویر میکروسکوپی از بازالت‌های موجود در منطقه بافت اینترسرتال در نور XPL، (c) تصویر میکروسکوپی از بازالت‌های دارای بافت حفره‌ای در نور PPL و (d) تصویر میکروسکوپی از بازالت‌هایی که به اپیدوت و سریسیت دگرسان شده‌اند، گرفته شده در نور XPL.

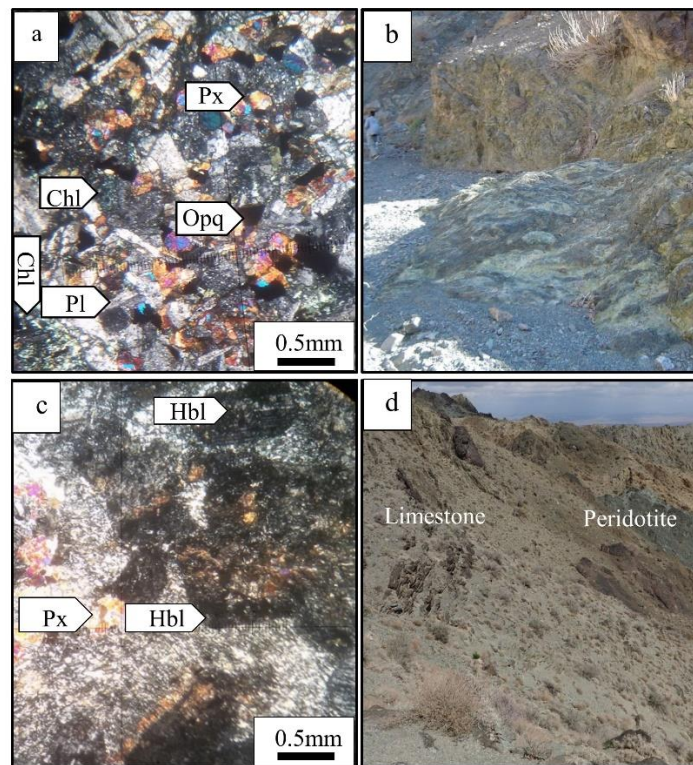
و کنگلومرا ($E^{S.C}$) و ماسه‌سنگ (E^S) و میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های آذرآواری (E^{VS}) می‌باشد. واحد فلیش دگرگون شده (E^{fsh}): این واحد زمین‌شناسی دارای سن ائوسن زیرین و گسترده‌ترین واحد زمین‌شناسی موجود در منطقه می‌باشد و از توالی ضخیمی از شیل‌های سبز، ارغوانی تا خاکستری متمورف شده (اسلیت و فیلیت) که با لایه‌های ماسه‌سنگی سبزرنگ، میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های آذرین شامل آندزیت، بازالت و میان‌لایه‌های آهکی ائوسن به رنگ خاکستری که از هر دو نوع کم عمق

۸-۲- مجموعه فلیش

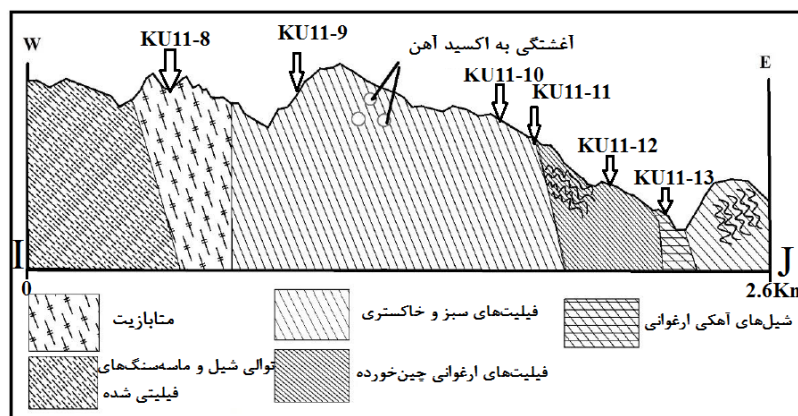
این مجموعه بیشترین گسترش را در منطقه دارد و بیشترین سنگ‌های این مجموعه را سنگ‌های رسوبی با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های آذرین تشکیل می‌دهند. در دو طرف مجموعه افیولیتی شواهدی از این مجموعه دیده می‌شود. این مجموعه در نیمه شرقی منطقه شامل واحد فلیش دگرگون شده (E^{fsh})، واحد شیل و آهک (E^{rsh})، و در نیمه غربی و جنوب غربی منطقه شامل واحد شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا ($E^{Sh.S.C}$) و میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ

بارز منطقه می‌باشد (شکل ۱۱). مرز این واحد زمین‌شناسی با افیولیت‌های کرتاسه فوقانی در شرق با استفاده از توالی گسل نصرت‌آباد- کارواندر جدا شده است.

و عمیق با هم هستند، تشکیل شده‌اند. شیب عمومی طبقات ۷۵ تا ۸۰ درجه می‌باشد و آثار لایه‌بندی در آنها دیده می‌شود. چین‌خوردگی‌های گوناگون از ویژگی‌های



شکل ۱۰. (a) تصویر میکروسکوپی از دیاباز در نور XPL، در این تصویر کانی، پیروکسن (Px)، کلریت (Chl)، پلاژیوکلاز (Pl)، سریسیت (Ser) و کانی‌های اپک (Opq) مشخص شده‌اند، (b) تصویری از گابروهای موجود در منطقه، (c) در این تصویر بلورهای شکل‌دار هورنبلند (Hbl) و بلورهای پیروکسن (Px) که از اطراف کلریتی (Chl) و سریانتینی شده‌اند، دیده می‌شوند و (d) تصویری از میان لایه‌های سنگ‌های آهکی موجود در مجموعه افیولیتی (دید به سمت شمال شرق).



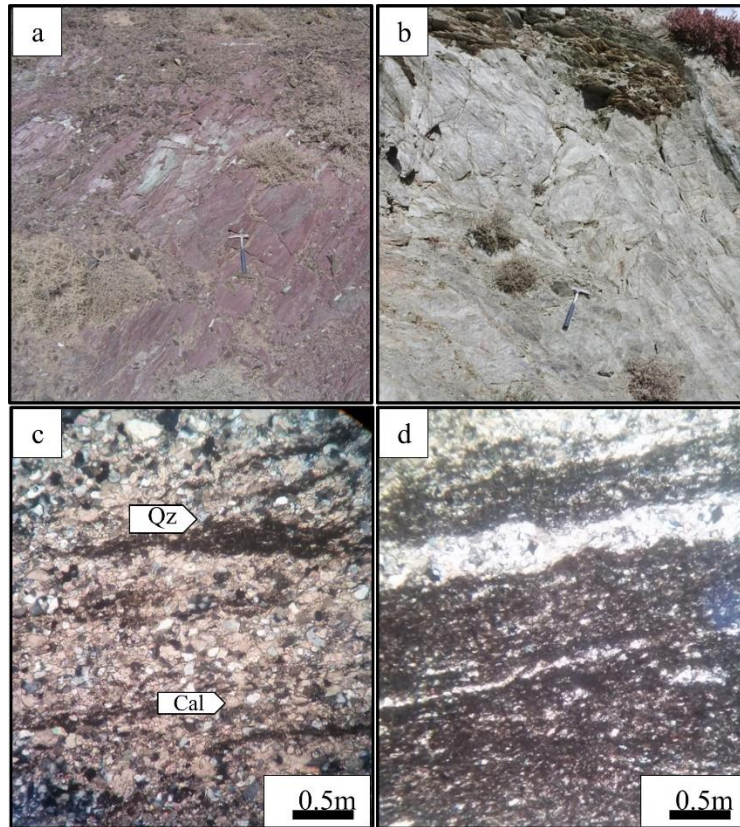
شکل ۱۱. نیمرخ زمین‌شناسی از واحد فلیش دگرگون شده حاصل از برداشت‌های صحرایی.

دیگر سنگ‌ها در منطقه به شدت چین‌خورده می‌باشند و نمایشگاهی از انواع چین‌های ریز و بزرگ شامل ساختمان‌های تاقدیسی و ناودیسی در آنها دیده می‌شود. این سنگ‌ها در اصل شیل بوده‌اند که متحمل یک دگرگونی

اسلیت و فیلیت: اسلیت و فیلیت از سنگ‌های فراوان در شرق محدوده می‌باشد که به رنگ خاکستری روشن و برآق دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در بیشتر نقاط تحت تأثیر تکتونیک شدیداً متورق شده‌اند. اسلیت و فیلیت همراه با

کانی‌های کوارتز، موسکویت (سریسیت) و کربنات تشکیل شده‌اند. کوارتز و کربنات‌های ریز بلور در کنار هم قرار گرفته‌اند و به موازات شیستوزیته سنگ قرار دارند (شکل ۱۲). در برخی قسمت‌های آن رگه‌های ثانویه کلسیت که دارای رخ و درشت بلور هستند در جهات مختلف همدیگر را قطع کرده‌اند.

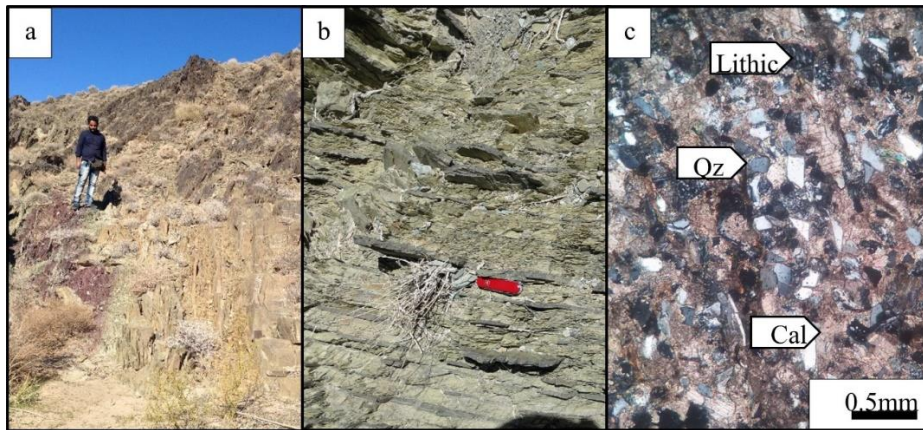
ناحیه‌ای ضعیفی شده‌اند. این سنگ‌ها همچنین در اثر دگرگونی خفیف، فشار لیتوستاتیک (فشار ناشی از وزن سنگ) کم و فشار جهت‌دار یا فشار تکتونیکی زیاد در نزدیک سطح تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها دارای فابریک صفحه‌ای هستند و صفحات به صورت موازی در یک امتداد قرار گرفته و بافت آن‌ها غالباً لپیدوبلاستیک است و از



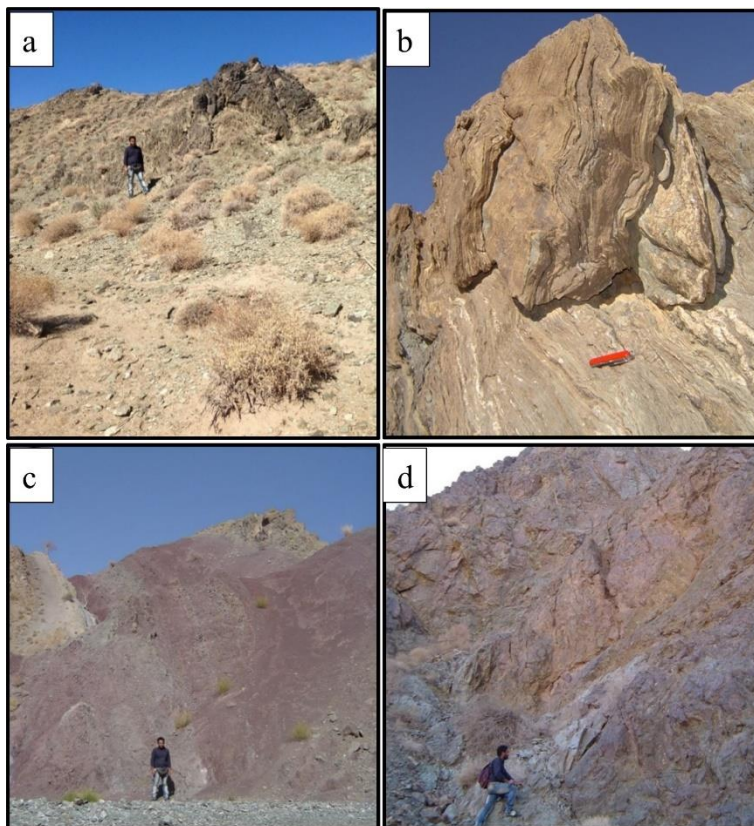
شکل ۱۲. (a) تصویری از شیل‌های فیلیتی شده (دید به شرق)، (b) تصویری از اسلیت و فیلیت‌های موجود در منطقه (دید به سمت شمال)، (c) و (d) تصویر میکروسکوپی از فیلیت‌های موجود در منطقه در نور XPL.

لیتیک گریوک هستند. از لحاظ بلوغ بافتی این ماسه‌سنگ‌ها از ساب مچور تا مچور هستند (شکل ۱۳). سنگ‌آهک: سنگ‌آهک‌های موجود در واحد فلیش دگرگون شده بعضاً چرتی و سیلیسی شده که نشان دهنده‌ی تأثیر آب‌های عمیق بر آن‌ها می‌باشد و به حالت عدسی‌های تکتونیکی فاقد لایه‌بندی هستند. در بعضی قسمت‌ها سنگ‌آهک‌های نازک لایه در تناوب با شیل‌ها دیده می‌شوند و مرز بین لایه‌های آهک و شیل گسله می‌باشد. بعضی از این لایه‌های آهکی تحت فشار قرار گرفته و دچار تورق، لایه‌بندی، چین‌خوردگی شده‌اند. بعضی از این سنگ‌آهک‌ها تحت تأثیر درجاتی از دگرگونی قرار گرفته و مرمی شده‌اند (شکل ۱۴).

ماسه‌سنگ: ماسه‌سنگ‌های موجود در این واحد در تناوب با شیل و فیلیت‌ها هستند. این ماسه‌سنگ‌ها در سطح تازه خود به رنگ سبز و در سطح هوازده به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شوند. در داخل این ماسه‌سنگ‌ها رگه و رگچه‌های کربناتی و سیلیسی دیده می‌شود که در جهات مختلف همدیگر را قطع کرده‌اند. این سنگ در نمونه دستی به رنگ سبز تیره تا خاکستری است و از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، کلسیت، گلاکونیت و کانی‌های اپک تشکیل شده است. اغلب دارای ماتریکس کلسیتی هستند و در بعضی از آن‌ها نیز به میزان کمتر دانه‌ها در زمینه‌ای از رس قرار دارند. براساس طبقه‌بندی پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷)، این سنگ‌ها اغلب از نوع فلدسپاتیک گریوک و



شکل ۱۳. در تصویر a و b تناوب شیل و ماسه‌سنگ با ضخامت‌های متفاوت دیده می‌شود (دید به سمت شمال)، (c) مقطع میکروسکوپی از فلدسپاتیک گریوک در نور XPL، در این تصویر کانی‌های کوارتز (Qz)، کلسیت (Cal) و خرده‌های لیتیک (Lithic) دیده می‌شود.



شکل ۱۴. (a) تناوب شیل و سنگ‌آهک‌های چین‌خورده (دید به سمت شرق)، (b) سنگ‌آهک‌های مرمی شده (دید به سمت شمال)، (c) تصاویری از شیل‌های ارغوانی منطقه (دید به سمت شمال غرب)، (d) تصویری از آهک‌های منطقه (دید به سمت شمال غرب).

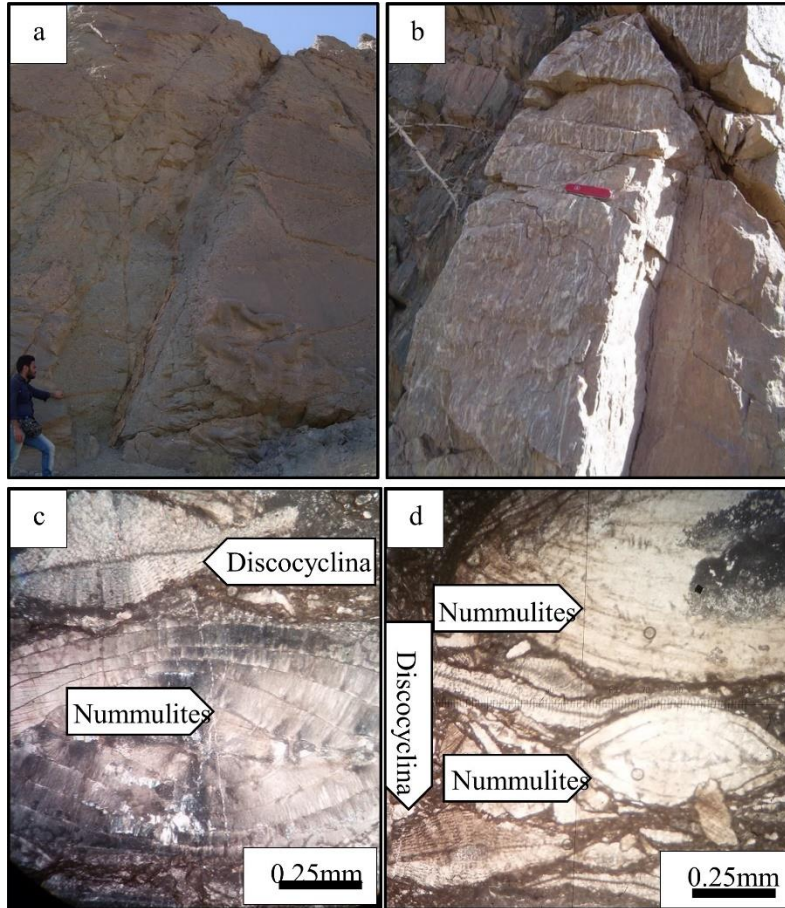
سنگ‌آهک‌های موجود اغلب به صورت بین لایه‌ای با شیل‌ها دیده می‌شوند و اغلب هم‌رند با شیل‌ها می‌باشند (شکل ۱۴c). آثاری از کانی‌زایی منگنز در این واحد مشاهده شد.

واحد ماسه‌سنگ و کنگلومرا ($E^{S,C}$): این واحد زمین‌شناسی از ماسه‌سنگ و کنگلومرای سبز و خاکستری با میان لایه‌هایی از آهک‌های نومولیت‌دار تشکیل شده است (شکل ۱۵a). مرز این واحد زمین‌شناسی با واحد

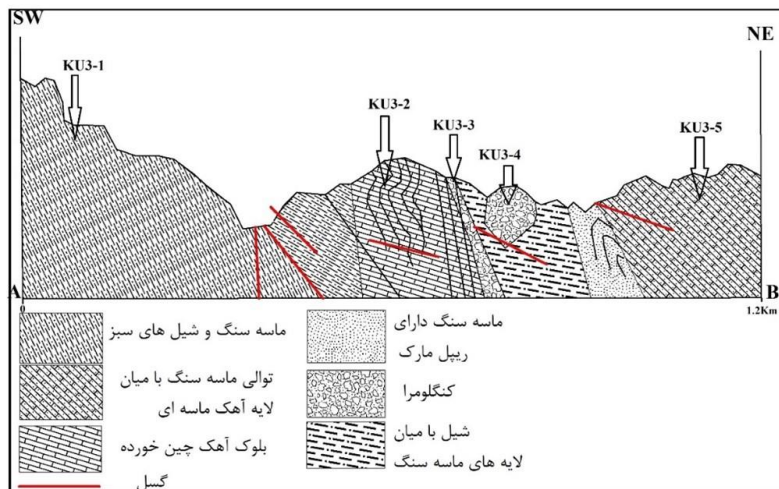
واحد شیل و آهک (E^{rsh}): این واحد شامل شیل‌های قرمز تا ارغوانی، سنگ‌آهک‌های رسی می‌باشد که به صورت لایه‌هایی با رند شمال غرب- جنوب شرق امتداد دارند. در جنوب بخش شرقی محدوده این لایه‌ها رخنمون ندارند و به وسیله آبرفت‌ها پوشیده شدند. علاوه بر شیل و آهک‌های رسی برش‌های تکتونیک در مرز با واحدهای E^{al} ، E^{fsh} ، Q^1 ، Q^2 دیده می‌شود. شیل‌های ارغوانی موجود در این واحد به نظر لایه‌بندی خود را حفظ کرده‌اند.

با توجه به این فسیل‌ها، سن واحد ماسه‌سنگ و کنگلومرا ائوسن بالایی است. در شکل ۱۶ نیمرخ زمین‌شناسی این واحد نشان داده شده است.

آذرآواری گسله است و در جنوب غربی منطقه، در راستای شمال غرب - جنوب شرق گسترش دارد. کنگلومرای موجود در آن از نوع پترومیکتیک می‌باشد. سنگ‌آهک‌های موجود در این واحد دارای فسیل‌های Nummulites.



شکل ۱۵. (a) تصویری از کنگلومرا، (b) تصویری از نمای نزدیک ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه موجود در این واحد، (c) تصویر میکروسکوپی از بیوکلاست پکستون موجود در منطقه در نور XPL، (d) تصویر میکروسکوپی از همان سنگ در نور PPL در هر دو تصویر فسیل نومولیت و دیسکوسیکلینا (Nummulites and Discocyclusina) دیده می‌شود.



شکل ۱۶. نیمرخ زمین‌شناسی حاصل از برداشت‌های صحرائی، توالی ماسه‌سنگ با شیل‌های سبز در ابتدای این نیمرخ در واحد آذرآواری قرار می‌گیرد.

واحد شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (E^{Sh.S.C}): این واحد دارای سن ائوسن بالایی می‌وسن می‌باشد و در جنوب غربی منطقه دیده می‌شود و از دو قسمت (E^{Sh.S.C1} و E^{Sh.S.C2}) تشکیل شده است که به وسیله یک گسل اصلی از هم جدا شده‌اند. واحد E^{Sh.S.C1} که در کنار واحد مولاس الیگومیوسن قرار دارد از ملانژهای جوان شکسته شده شامل توالی‌های از مولاس زرد و قهوه‌ای، توالی‌های ضخیم شیل‌های سبز و ارغوانی و ماسه‌سنگ‌های سبز و خاکستری، کنگلومرا، برش‌های ولکانیکی و آندزیت‌های توده‌ای می‌باشد که میان لایه‌هایی از آهک‌ماسه‌ای فسیل‌دار در آن دیده می‌شود که نسبت به سنگ‌های دیگر از فراوانی کمتری برخوردار است. این واحد دارای چین‌خوردگی فراوانی است. واحد E^{Sh.S.C2} آن در زیر ملانژها قرار گرفته است از بالا و پایین توسط گسل‌هایی محصور شده است و مرز آن در پایین منطقه با واحدهای آذرآواری گسله می‌باشد. در این قسمت سنگ‌ها سالم‌تر می‌باشند و از توالی‌های ضخیم و ریتیمیک شیل‌های سبز و ارغوانی، ماسه‌سنگ‌های سبز، کنگلومرا و میان لایه‌های نازکی از آهک‌های پر فسیل تشکیل شده است. این واحد در جنوب غرب منطقه رخنمون دارد.

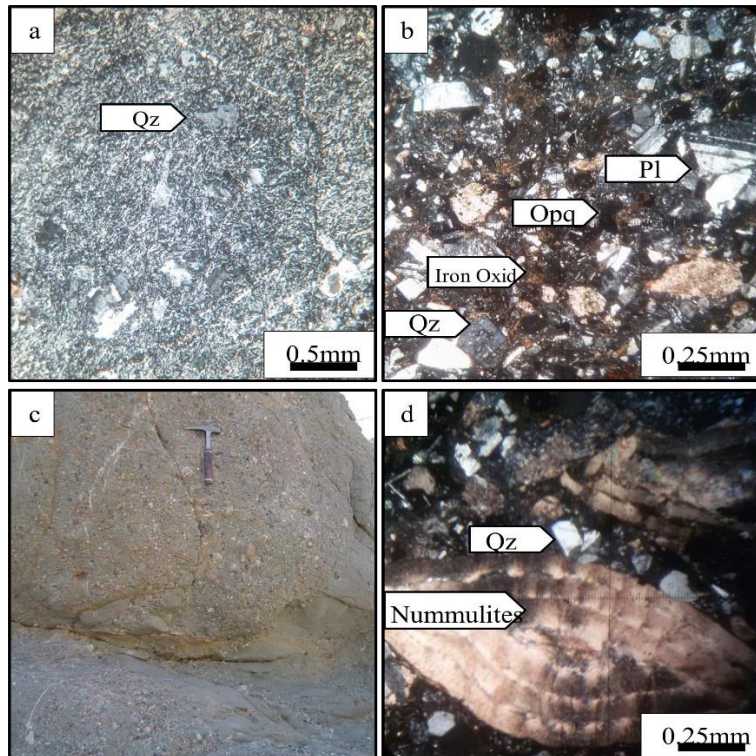
کنگلومرا: کنگلومراهای موجود در این واحد اغلب چندزادی (پترومیکتیک) می‌باشند. این سنگ از خرده-سنگ‌های مختلفی از جمله شیل، سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، خرده‌سنگ‌های آندزیتی تشکیل شده است. همچنین در این سنگ فسیل‌های مختلفی از جمله نومولیت، اربیتوئیدس، نفرولیپیدینا و آسیلینا دیده می‌شود (شکل ۱۷d).

ماسه‌سنگ: ماسه‌سنگ‌های موجود در این واحد از نوع لیتیک‌گریوک و از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و کلسیت تشکیل شده‌اند. خرده‌سنگ‌های مختلف نیز به میزان فراوان در این سنگ دیده می‌شود و بیشتر ماتریکس سنگ از کلسیت است که در بعضی قسمت‌ها گلاکونیتی شده است. خرده‌هایی از فسیل‌های مختلف، از جمله قطعاتی از خارپوست و بریوزوا دیده می‌شود. فسیل کامل نومولیت، میلولیدا، آسیلینا و جلبک قرمز لیتوتامنیوم دیده می‌شود. دانه‌های موجود در سنگ در اندازه‌های متفاوت می‌باشند و ذرات دارای جورشدگی ضعیفی هستند. در بعضی قسمت‌ها این ذرات زاویه‌های تیز خود را تا حدودی از دست داده‌اند و به گردشدگی نزدیک هستند (شکل ۱۸).

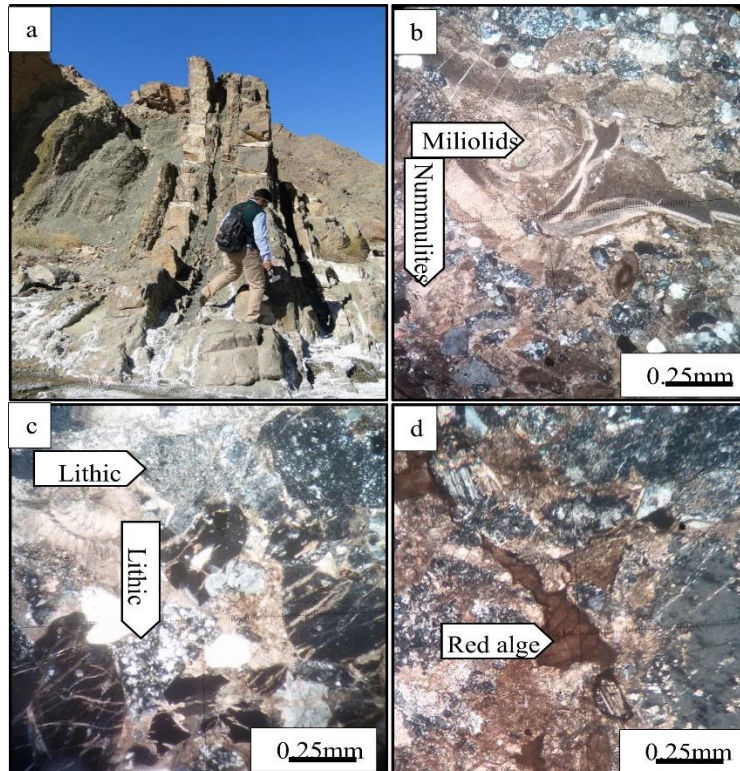
واحد ماسه‌سنگ (E^S): این واحد زمین‌شناسی در قسمت جنوب غرب منطقه رخنمون دارد و از گسترش کمی برخوردار است. این واحد در بین سنگ‌های آذرآواری محصور شده و مرزهای آن از هر جهت گسله است. این ماسه‌سنگ نیز از نوع گریوک است.

واحد آذرآواری (E^{VS}): این واحد در قسمت جنوب غرب منطقه دیده می‌شود. مرز آن با واحد E^{Sh.S.C} گسله می‌باشد. این واحد از آندزیت پورفیری، آگلومرا، توف‌های آندزیتی و داسیتی، برش‌های ولکانیکی و یک توالی پیشرونده از شیل و ماسه‌سنگ سبز و خاکستری تشکیل شده است. توالی ماسه‌سنگ و شیل‌های موجود در این واحد، در نیمرخ زمین‌شناسی شکل ۱۶ دیده می‌شود. این واحد به شدت تکتونیزه می‌باشد و مرز آن با واحدهای بالایی و پایینی گسله است.

آندزیت و توف: نزدیک بر ۸۰ درصد حجم سنگ از پلاژیوکلاز تشکیل شده است و ۲۰ درصد باقی مانده از کانی‌های کلینوپیروکسن، کلسیت، کوارتز، سانیدین و شیشه تشکیل شده است. این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیری، تراکیتی، میکرولیتی تا شعاعی می‌باشند و اغلب برشی شده‌اند. بعضی از آن‌ها ریزدانه و دارای بافت آفاتیک هستند. همچنین اکثر آن‌ها دچار دگرسانی سریسیتی، سیلیسی، کربناتی و کلریتی شده‌اند. رگه‌های سیلیسی موجود در این سنگ آغشتگی به کلریت را نشان می‌دهند. بعضی از سنگ‌ها دارای حفره هستند و کوارتزهای ثانویه داخل این حفرات را پر کرده است (شکل ۱۷a). توف‌های موجود در این واحد دارای ترکیب داسیتی تا آندزیتی به رنگ خاکستری تا قرمز می‌باشند، که در آن‌ها می‌توان قطعات سنگی، درشت بلورهای پلاژیوکلاز تجزیه شده را مشاهده کرد. این توف‌ها در منطقه شامل لیتیک‌توف و توف‌های بلورین هستند و دچار دگرسانی‌های سیلیسی گشته‌اند و به طور کلی از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، پیروکسن، کلریت، کلسیت، اپیدوت، بیوتیت، کانی اپک، شیشه، قطعات فلدسپار و همچنین از خرده‌سنگ‌های مختلف با ترکیبات آندزیتی، داسیتی و ریولیتی و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند که پلاژیوکلاز و کوارتز درصد بیشتر سنگ را تشکیل می‌دهند و در زمینه سنگ نیز دیده می‌شوند. اغلب این سنگ‌ها، بافت‌های جریان، شعاعی و پورفیری نشان می‌دهند و برشی شده‌اند و بعضی دارای خمیره آتشفشانی هستند (شکل ۱۷b).



شکل ۱۷. (a) تصویری از مقطع میکروسکوپی تراکی آندزیت در نور XPL، که نشان دهنده بافت میکرولیتیک پورفیری در آن است، (b) تصویر میکروسکوپی از توفها در نور XPL که در این تصویر کانی‌های کوارتز (Qz)، پلاژیوکلاز (Pl)، کلریت (Chl)، کانی‌های اپک (opq) و اکسیدهای آهن مشخص شده‌اند، (c) تصویری از نمای نزدیک بلوک‌های کنگلومرای (دید به سمت غرب)، (d) تصویر میکروسکوپی از نومولیت (Nummulites) در کنگلومراهای موجود در منطقه، گرفته شده در نور XPL.



شکل ۱۸. (a) تناوب شیل و ماسه‌سنگ (جهت دید به سمت شرق)، (b) تصویر میکروسکوپی از لیتیک گریوک‌های دارای فسیل‌های میلیولیدها و نومولیت (Miliolids and Nummulites) در نور XPL، (c) تصویر میکروسکوپی از خرده‌سنگ‌های مختلف (Lithic) در ماسه‌سنگ‌ها، (d) تصویر میکروسکوپی از حضور جلبک‌های قرمز لیتوتامنیوم (Red algae) در نور XPL.

آباد- کارواندر جدا شده‌اند و مرز غربی آن نیز گسله است و واحد $E^{Sh.S.C}$ در مرز غربی آن قرار دارد (شکل ۱۹c).

۸-۳- واحدهای زمین‌شناسی کواترنری

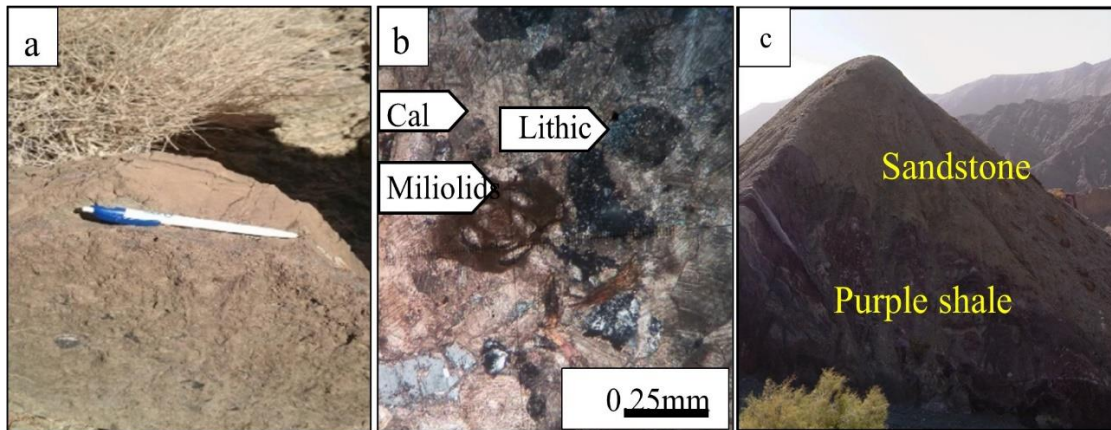
واحدهای زمین‌شناسی کواترنری از آبرفت تشکیل شده‌اند که به سه بخش قابل تفکیک‌اند. پادگانه‌های قدیمی (Q^1)، نهشته‌های دشت (Q^2) و نهشته‌های سیلابی (Q^{al}) است.

۹- کانی‌زایی

در طی بازدیدهای صحرایی نیز کانی‌زایی منگنز در واحد فلیش دگرگون شده، در بین شیل‌های ارغوانی، به صورت رگه‌ای مشاهده گردید. مطالعات میکروسکوپی مقاطع صیقلی مشخص نمود که در نمونه‌های برداشت شده کانی‌های بیکسبایت، پیرولوزیت و رودکروزیت به همراه کوارتز، کلسیت، همتایت و آلبیت تشکیل شده‌اند (شکل ۲۰). در جدول ۲ مختصات رگه‌های موجود در منطقه آورده شده است و همچنین روی نقشه در شکل ۲۱ مکان آن‌ها مشخص است. در شکل ۲۱ نقشه‌ی حاصل از تلفیق اطلاعات دورسنجی، صحرایی و پتروگرافی آمده است.

آهک‌های ماسه‌ای: آهک‌های ماسه‌ای به رنگ خاکستری دیده می‌شوند. این سنگ‌ها از لحاظ تنوع کانی‌شناسی از کانی کلسیت، کوارتز و آراگونیت تشکیل شده است. این سنگ‌ها دارای خرده‌های فسیلی مختلف از جمله براکیوپودا، بریوزوا، جلبک و فسیل آسلینا، میلولیدا، قطعات خارپوست و خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگی دیده می‌شود. این سنگ‌ها اغلب از نوع سندی بیوکلاست-پکستون و سندی فسیلی فروس میکرایت هستند که نوع سندی بیوکلاست پکستون غالب است. کلسیت‌های موجود درشت بلور هستند و در بین این کلسیت‌ها کوارتزهای بی‌شکل نیز با خاموشی موجی در بین کلسیت‌ها دیده می‌شوند. ماتریکس سنگ را کلسیت‌ها تشکیل می‌دهند (شکل ۱۹).

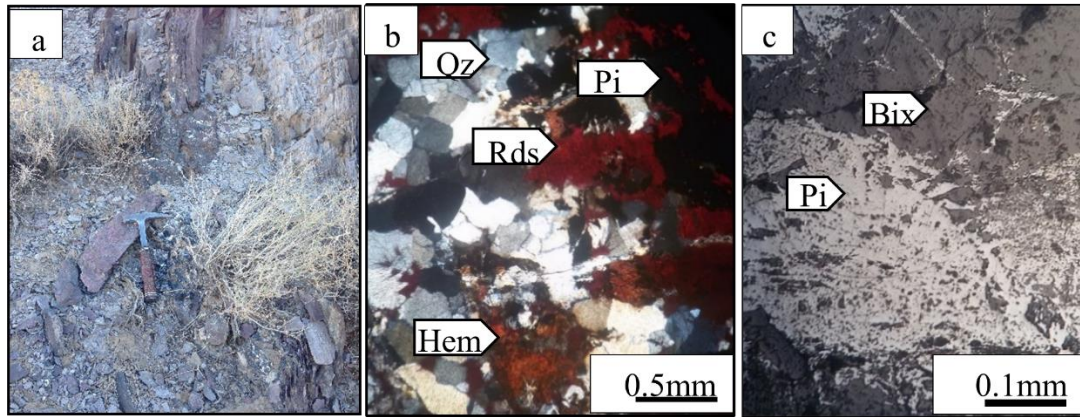
واحد مولاس (OM^{M0}): این واحد دارای سن الیگومیوسن می‌باشد، در قسمت غربی تا جنوب غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارد و دارای روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد، نهشته‌های مولاس آن از نوع عدسی‌هایی از کنگلومرای قهوه‌ای و توالی‌های نازک لایه‌ای از شیل و ماسه‌سنگ‌های شدیداً متورق شده می‌باشد. مرز شرقی این واحد افیولیت‌ها قرار دارند که به وسیله گسل اصلی نصرت-



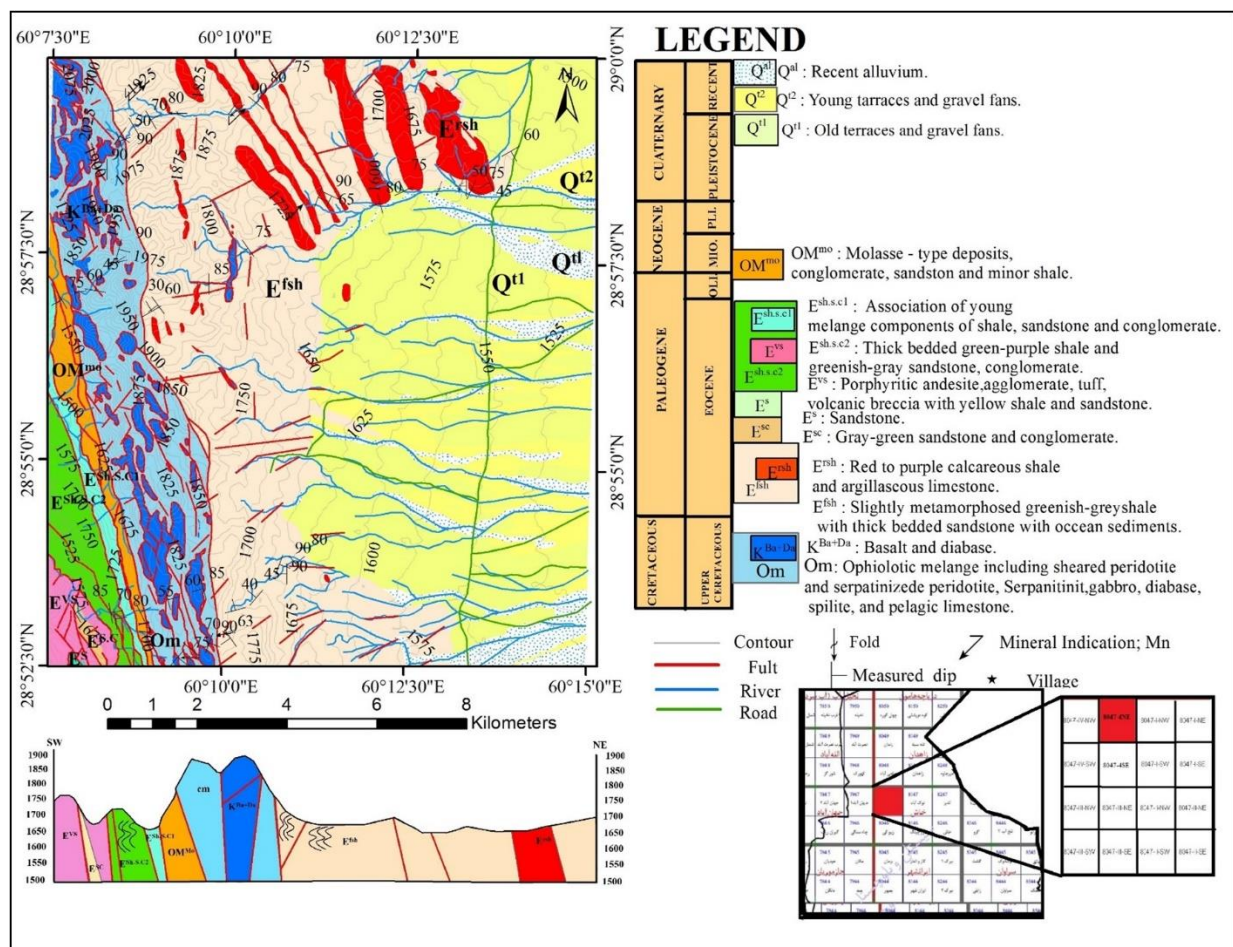
شکل ۱۹. (a) تصویری از آهک‌های ماسه‌ای فسیل‌دار موجود در منطقه، (b) مقطع میکروسکوپی سندی بیوکلاست پکستون در نور XPL که دارای فسیل میلولیدا (Miliolids)، کانی‌های کلسیت (Cal)، کوارتز (Qz) و خرده‌سنگ، (c) تصویری از رخساره مولاس در منطقه (دید به سمت غرب).

جدول ۲. مختصات رگه‌های منگنز موجود در منطقه

| شماره رگه | مختصات جغرافیایی |
|-----------|-------------------------|
| 1 | X: 221721 Y: 3210432 |
| 2 | X: 221786 Y: 3210347 |
| 3 | X: 224018 Y: 3209815 |
| 4 | X: 225298 Y: 3207675 |



شکل ۲۰. (a) مقطع میکروسکوپی از هماتیت در نور XPL که در آن هماتیت (Hem) به رنگ قرمز روشن و رودکروزیت (Rds) به رنگ قرمز تیره دیده می‌شوند. (b) مقطع میکروسکوپی از کانی پیرولولزیت (Pi) و بیکسبایت (Bix) در نور انعکاسی.



شکل ۲۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه حاصل از تلفیق اطلاعات دورسنجی، صحرایی و پتروگرافی

۱۰- نتیجه‌گیری

سنگ‌های آذرین و سنگ‌های آذرآواری تشکیل شده است. مجموعه افیولیت‌ملانژ با سن کرتاسه به وسیله گسل نصرت‌آباد- کاروند از فلیش‌های ائوسن جدا شده است. واحدهای سنگی منطقه عمدتاً دارای روند شمال غرب- جنوب شرق و به شدت چین‌خورده و گسله می‌باشند. گسل‌های منطقه غالباً دو نوع‌اند: ۱- گسل‌های با روند

با تلفیق مطالعات دورسنجی، پتروگرافی و صحرایی نقشه‌ی (شکل ۲۱) کاملی از منطقه ترسیم گردید. با توجه به اطلاعات حاصل از تلفیق مطالعات انجام شده مشخص گردید زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از دو مجموعه افیولیت‌ملانژ و فلیش با میان لایه‌هایی از

نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره ۲۱، ص ۱۲۵-۱۳۸.

استادمهدی‌عراق، ن.، مجدی‌فر، س (۱۳۹۸) پتانسیل‌یابی کانسارهای مس پوفیری در شمال غربی کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان با استفاده از سنجش از دور، مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۳، شماره ۲۶، ص ۱۷-۳۰.

Abduwaist, G. H (2010) Mineral Exploration and Alteration Zone Mapping Desert of EGYPT Using ASTER Data, Annual conference San Diego 10.

Abera, B. J (2005) Application of remote sensing and spatial data integration modeling to predicative mapping of apatite, mineralized zones in the Bikilal Layerd Gabbro complex, Western Ethiopia, MSc thesis, ITC, Holland.

Assiri, A., Alsaleh, A., Mousa, H (2008) Eploration of Hydrothermal Alteration Zone Using ASTER Imagery: A Case Study of Nuqrah Area, Saudi Arabia, Asian Journal of Earth Science, 1: 77-82.

Beiranvand, A (2011) Using Spectral Mapping Techniques on short wave infrared band of ASTER remote sensing data for alteration mineral mapping in SE Iran, Journal of the Physical Science, 6: 917-929.

Dehghani, M., Durocher, C., Gingerich, J (2004) Alteration Extraction Using Remote Sensing Data for Mineral Exploration, Map India.

Douglas, G (2004) Final Interpretation Report for Alut Area, Fugro airborne Surveys, geological survey of iran.

Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K., Mauger, A. J (2005) Seamless geological map generation using ASTER in the Broken Hill- Curnamona province of Australia, Remote Sensing of Environment, 1 99: 159 – 172.

Honarmand, M., Ranjbar, H (2005) Application of different methods of image processing + ETM data in order to explore porphyry and vein copper deposits in the Mazar-Kuh-e-Panjdar area of Kerman province, Journal of Science, Earth, 15: 121-111.

Hunt, G. L., Salisbury, J. W (1970) Visible and near infrared spectra of minerals and rocks, I. Silicate minerals. Modern Geology, 1: 283-300.

Hunt, G. R (1977) Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. Geophys, 42: 501-513.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) Sand and Sandstones, and edition, Springer - Verlage; New York, p 553.

Prost, G. L (2001) Remote sensing for geologist, A guide to image interpretation, Second edition, Gordon and Breach, Switzerland.

Rajendran, S., Al-Khribash, S., Pracejus, B., Nasir, S., Al-Abri, A. H., Kusky, T. M., Ghulam, A (2012) ASTER detection of chromite bearing

عمومی شمال غرب- جنوب شرق با طول زیاد و اغلب صخره‌ساز که دارای عملکرد راستگرد هستند، ۲- گسل‌های کوتاه و منقطع که به تعداد زیاد می‌باشند و تقریباً دارای روند عمود بر گسل‌های گروه اول می‌باشند. سنگ‌های آذرین نفوذی و نیمه نفوذی مجموعه افیولیت- ملانژ شامل گابرو، الیوین گابرو، دیاباز و پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت می‌باشد که اغلب بافت، گرانولار، افیتیک و شبکه‌ای از خود نشان می‌دهند. سنگ‌های خروجی این مجموعه عمدتاً بازالت‌های بالشی و بازالت‌های اولیوین‌دار هستند. این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیری، تراکیتی، واریولیتیک، اینترسرتال و حفره‌ای هستند. دگرسانی رایج در مجموعه افیولیت‌ملانژ از نوع سرپانتینی، پروپیلیتیک و اسپیلیتی می‌باشد. سنگ‌های آذرین غیر افیولیتی منطقه نیز به دو گروه نفوذی و خروجی تقسیم می‌شوند، سنگ‌های خروجی منطقه شامل آندزیت و تراکی‌آندزیت‌هایی با سن ائوسن هستند که به صورت میان‌لایه در مجموعه فلیشی دیده می‌شوند. سنگ‌های آذرآواری منطقه شامل لیتیک توف‌هایی با ترکیبات آندزیتی و داسیتی هستند نیز دارای سن ائوسن می‌باشند و به صورت یک واحد مستقل در بخش‌های غربی منطقه رخمون دارد. این سنگ‌های آذرین نیز درجاتی از دگرسانی را نشان می‌دهند. کانی‌زایی منگنز به صورت رگه‌های نازک در سنگ‌آهک‌ها و شیل‌های ارغوانی در مجموعه فلیش در بخش شرقی محدوده وجود دارد. به طور کلی میزان کانی‌زایی در محدوده نقشه قابل توجه نیست.

منابع

پیروان، ح.، غیومیان، ج.، امینی، ص.، لطفی، م (۱۳۸۲) شناسایی و تفکیک زون‌های آلتراسیون هیدروترمال و سنگ‌های ماگمایی با استفاده از فن و دانش سنجش از دور، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۰.

بدایعی، م.، نوحه‌گر، ا.، کمانگر، م.، احمدی دوست، م (۱۳۹۴) کاربرد روش‌های کروسا، نقشه‌برداری زاویه طیفی و فیلتر تطبیقی تعدیل شده در داده‌های ASTER جهت شناسایی کانی‌های دگرسانی، مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۸، ص ۱۰۹-۱۱۹.

علی‌پور، ر.، صدر، ا.، امینی، پ (۱۳۹۵) تحلیل پویایی تکتونیکی گسل مروارید در پهنه گسلی جوان اصلی زاگرس با استفاده از داده‌های دورسنجی و تحلیل فرکتالی، مجله یافته‌های

- mineralized zones in Semail Ophiolite Massifs of the northern Oman Mountains: Exploration strategy *Ore Geology Reviews*, 44: 121–135.
- Rockwell, B. W (2010) Automated mapping of mineral groups and green vegetation from Landsat Thematic Mapper imagery with an example from the San Juan Mountains. Colorado: U. S. Geological Survey Scientific Investigations <http://pubs.usgs.gov/sim/3252/>.
- 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 of Environment*, 84: 350–366.
- Rowan, L., Simon, J., Hook and Michael, J (2003) mapping hydrothermally rocks at cuprite, Nevada, using the advanced space borne thermal emission and reflection radiometer (ASTER), a new satellite – imaging system, *Journal of economic geology*, 98: 1019-1027.
- Sabins, F (1997) *Remote Sensing Principles and Interpretation* third ed. p 494.
- Sabins, F (1999) Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, 14: 157–183.
- Sahandi, M. R., Mohajjel, M., Eghlimi, B., Eftekhari, M., Nezhad, J (1994) 1:100000 geological map of Hasanabade- Kurin, Geological Survey of Iran.
- Seo, M., Aung Kyaw, T., Takashima, I (2005) Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi Coastal Area, Myanmar, *Akita University*, 26: 21-28.
- Yetkin, E (2003) Alteration mapping by remote sensing: thesis, the Middle East Technical University, Turkey.

Identification and mapping of rock, structural and alteration units in northwest of Sarjangal using remote sensing, field and petrographic studies, southwest of Zahedan

S. Baluchzahi¹, M. Boomeri² and H. Biabangard^{3*}

1- M. Sc. in Economic geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2, 3- Assoc. Prof., Dept., of Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

* h.biabangard@science.usb.ac.ir

Received: 2022.6.11 Accepted: 2022.12.14

Abstract

Sarjangal area is located on the western margin of the Flysch Zone Eastern Iran and on the Eastern border of the Loote zone in the Southwest of Zahedan. In this area, there are mainly ophiolitic melange and rocks of the flysch facies. In this research, 1:25000 geological maps were first prepared with remote sensing studies and then completed and corrected using field and laboratory studies. In this area, the melange ophiolitic complex is composed of ultramafic, mafic, limestone and flysch rock units, which have a fault boundary with flysch complexes. The flysch-type units in western side are shale, sandstone, conglomerate, pyroclastic rocks and interlayers of limestone and igneous rocks and in the eastern side are metamorphosed flysch, shale, sandstone and limestone. The geological structures in the region are two types, a north-west trend as dominant trend and a north-east trend as accessory trend. The alterations occur mainly along shear zones in the study area. The shear zones prepare a permeable space for fluids to circulate. Manganese mineralization occurs in purple shale in the northwest of the area. Ophiolite mélangé has the potential for mineralization of magnesium, chromium and copper.

Keywords: Alteration, Mineralization, Eocene flysch, Ophiolitic melange, Sarjangle.