

ارتباط پهنه‌های دگرسانی با سامانه گسلی کلمرد در گستره ازبک‌کوه، ایران مرکزی

محمد مؤمنی طارمسری، مریم ده‌بزرگی؛ دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم زمین

علی قربانی؛ دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

رضا نوزعیم؛ دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی

پذیرش ۹۶/۰۶/۱۹

دریافت ۹۶/۰۱/۱۹

چکیده

سنجش از دور ابزاری سودمند در شناسایی پدیده‌های زمینی است، در نواحی که سنگ‌ها رخنمون خوبی داشته و پوشش گیاهی اندک باشد، سنجش از دور در شناسایی کانی‌ها و سنگ‌ها و دیگر عوارض زمین‌شناسی کاربرد فراوانی دارد. مناطق دگرسانی به‌طور معمول با کانی‌های مشخصی همراه هستند، در این پژوهش دگرسانی کانی‌های رسی از جمله ایلیت، کائولینیت و دگرسانی کانی‌های گروه اکسید آهن مانند گوتیت، هماتیت و جاروسیت در منطقه ازبک‌کوه بررسی شده است. کوه‌های ازبک‌کوه با راستای شمال شرق - جنوب غرب در ورقه ایران مرکزی در پهنه گسلی کلمرد قرار دارند. در این پژوهش از تصویر ASTER برای شناسایی کانی‌های گروه اکسید آهن و هیدروکسید آهن در کوه‌های ازبک‌کوه استفاده شد. بدین‌منظور از روش لگاریتم باقی‌مانده برای پیش پردازش و از روش پالایش تطبیق یافته (MF) برای شناسایی دگرسانی‌ها بهره گرفته شد. سپس نقشه دگرسانی مربوط به هر یک از این کانی‌ها برای منطقه مطالعاتی تهیه شد، و ارتباط این دگرسانی‌ها با گسل‌های اصلی منطقه ازبک‌کوه تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده ارتباط آشکار دگرسانی‌های استخراج شده با سه گسل اصلی منطقه ازبک‌کوه (F1, F2, F3) هستند، که در بازدیدهای صحرایی صورت گرفته از منطقه بررسی شده، این گسل‌ها اندازه‌گیری و برداشت شدند. روند گسل‌های اندازه‌گیری شده مانند روند اصلی کوه‌های ازبک‌کوه، شمال شرق - جنوب غرب است و شواهد جنبشی مربوط به این گسل‌ها امتداد لغز راست‌بر با اندکی مؤلفه معکوس تشخیص داده شد، که این حرکت مشابه روند اصلی گسل کلمرد در ایران مرکزی است و نشان‌گر تأثیر این پهنه گسلی بر فازهای مختلف دگرسانی در منطقه ازبک‌کوه است.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، پهنه‌های دگرسانی، زون‌های دگرسانی، گسل کلمرد، ازبک‌کوه، ایران مرکزی

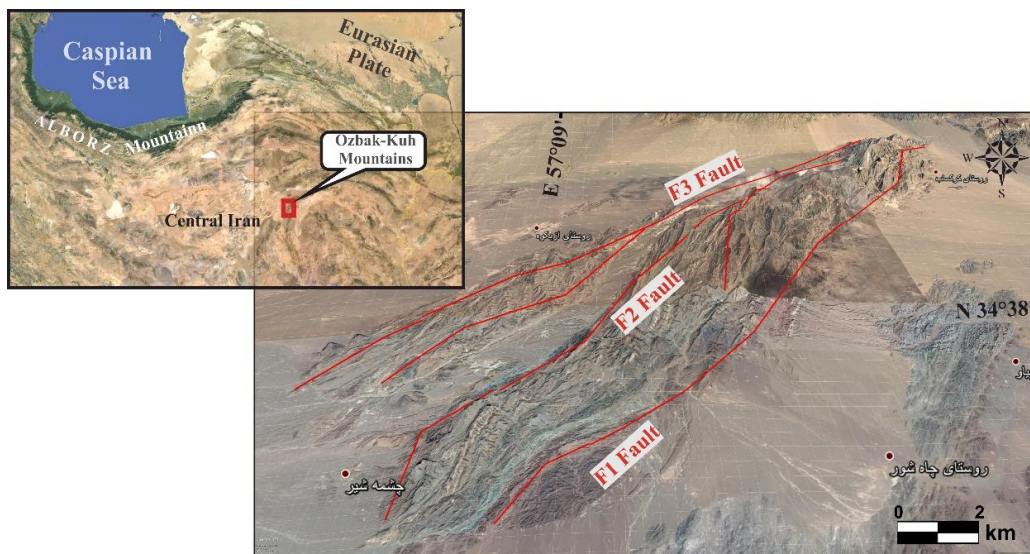
مقدمه

امروزه سنجش از دور به‌طور گسترده در اکتشاف کانی‌ها استفاده می‌شود و این امکان را به ما می‌دهد تا کانی‌های دگرسانی را با هزینه و زمان کم‌تری تشخیص دهیم [۱]، [۲]، [۳]. مناطق دگرسانی به‌طور معمول با کانی‌های مشخصی همراه هستند، در این پژوهش به بررسی، شناسایی و بارزسازی دگرسانی کانی‌های رسی (ایلیت، کائولینیت) هم‌چنین کانی‌های گروه اکسید آهن (گوتیت، هماتیت و زاروسیت) در منطقه ازبک‌کوه پرداخته شد و نقشه دگرسانی مربوط به هر یک از این کانی‌ها برای گستره مطالعاتی تهیه شد، و ارتباط و تأثیر گسل‌های منطقه ازبک‌کوه بر تشکیل

زون‌های دگرسان بررسی شد. کانی‌های گروه اکسید آهن در گستره طیفی مرئی- مادون قرمز نزدیک و کانی‌های رسی در گستره طیفی مادون قرمز موج کوتاه دارای عارضه‌های جذب و بازتاب مشخص هستند که از این خصوصیت می‌توان برای شناسایی آن‌ها استفاده کرد. به‌طور کلی کانی‌های دگرسانی در محدوده SWIR (مادون قرمز موج کوتاه) طیف الکترو مغناطیسی، بیش‌تر خاصیت جذب نشان می‌دهند که می‌تواند به‌صورت بالقوه در شناسایی کانی‌ها در تحقیقات سنجش از دور استفاده کرد. به‌منظور تشخیص زون‌های دگرسانی در محدوده کوه‌های ازبک‌کوه از تصاویر ماهواره‌ای استر (ASTER) استفاده شد. در سنجش دور افزایش تعداد باندها موجب افزایش دقت و صحت شناسایی کانی‌ها می‌شود. در محدوده طول موج ۲ تا ۴/۲ میکرون سنجنده استر دارای ۵ باند است، از این رو، وضوح باندی بالای این سنجنده برای شناسایی کانی‌ها دلیل انتخاب این تصاویر به‌منظور بارزسازی زون‌های دگرسان در منطقه بررسی شده است. قسمت‌های زیادی از منطقه بررسی شده دارای کانی‌سازی رسی و هم‌چنین کانی‌های آهن‌دار مانند هماتیت و گوتیت است که به‌منظور تشخیص این کانی‌ها پس از انجام پیش پردازش‌های لازم، از داده‌های سنجنده استر برای اکتشاف این نوع زون‌های دگرسان استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر سنجنده استر، سنگ‌های دگرسان گرمایی مرتبط با رخداد کانی‌های رسی و کانی‌های آهن‌دار شناسایی شدند. به‌منظور بارزسازی و نقشه‌برداری واحدهای دگرسانی با روش‌های پردازش تصویر از روش پالایش تطبیقی (MF) استفاده شد.

زمین‌شناسی عمومی

منطقه ایران مرکزی شامل محدوده‌ای گسترده از فلات ایران است که در زون برخوردی بین ورقه‌های عربستان و اوراسیا محصور شده است [۴] و مهم‌ترین ویژگی آن وجود گسل‌های بزرگ و مهمی نظیر کلمرد است. دگرریختی در فلات ایران مربوط به برخورد قاره‌ای بین صفحات عربستان و اوراسیا است [۵] که باعث کوتاه‌شدگی در ایران مرکزی در جهت شمالی-جنوبی و با نرخ تقریباً ۲ میلی متر بر سال شده است [۶]. کوه‌های ازبک‌کوه نیز با روند شمال-شمال شرق، جنوب-جنوب غرب در شمال بلوک طبس، در ورقه ایران مرکزی قرار دارند (شکل ۱). رشته‌کوه‌های ازبک‌کوه در یک زون به‌شدت چین‌خورده و گسلیده قرار دارند که این امر تا حدی به‌دلیل تغییر روند ساختارها است که تقریباً ۹۰ درجه از جهت شمال-شمال غرب در کوه‌های شتری شرق طبس، تا شرق-شمال شرق در رشته‌کوه‌های جنوب شرق دورونه تغییر می‌کند [۷]. در مناطق پیرامونی نهشته‌های ازبک‌کوه روند عمومی ساختارها، شمال شرق-جنوب غرب است. توده‌های سنگی عدسی شکل، شامل سازندهای مختلف پالئوزوئیک در یک آمیزه تکتونیک به‌وسیله گسل‌ها ترکیب شده‌اند. گسل‌هایی که این توده‌های سنگی را احاطه کرده‌اند عمودی و به‌شدت کج شده (steeply inclined) با شیب به‌سوی شمال غرب و جنوب شرق هستند [۷]. واحدهای سنگی دگرسان شده گرمایی با شکستگی‌های فراوان و دگرسانی‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه، سبب تشکیل سنگ‌های لیمونیتی، اکسیداسیون وسیع و آب‌شویی سولفیدها (رنگ مایل به زرد و قرمز) در امتداد گسل‌های اصلی ازبک‌کوه در واحدهای رسوبی متاثر از این گسل‌ها شده است. طیف وسیعی از واحدهای دگرسان شده نهشته‌های ازبک‌کوه در امتداد ۳ گسل اصلی و بزرگ با امتداد شمال-شمال شرق، جنوب-جنوب غرب واقع شده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه ازبک‌کوه در ایران مرکزی روی تصویر Google earth

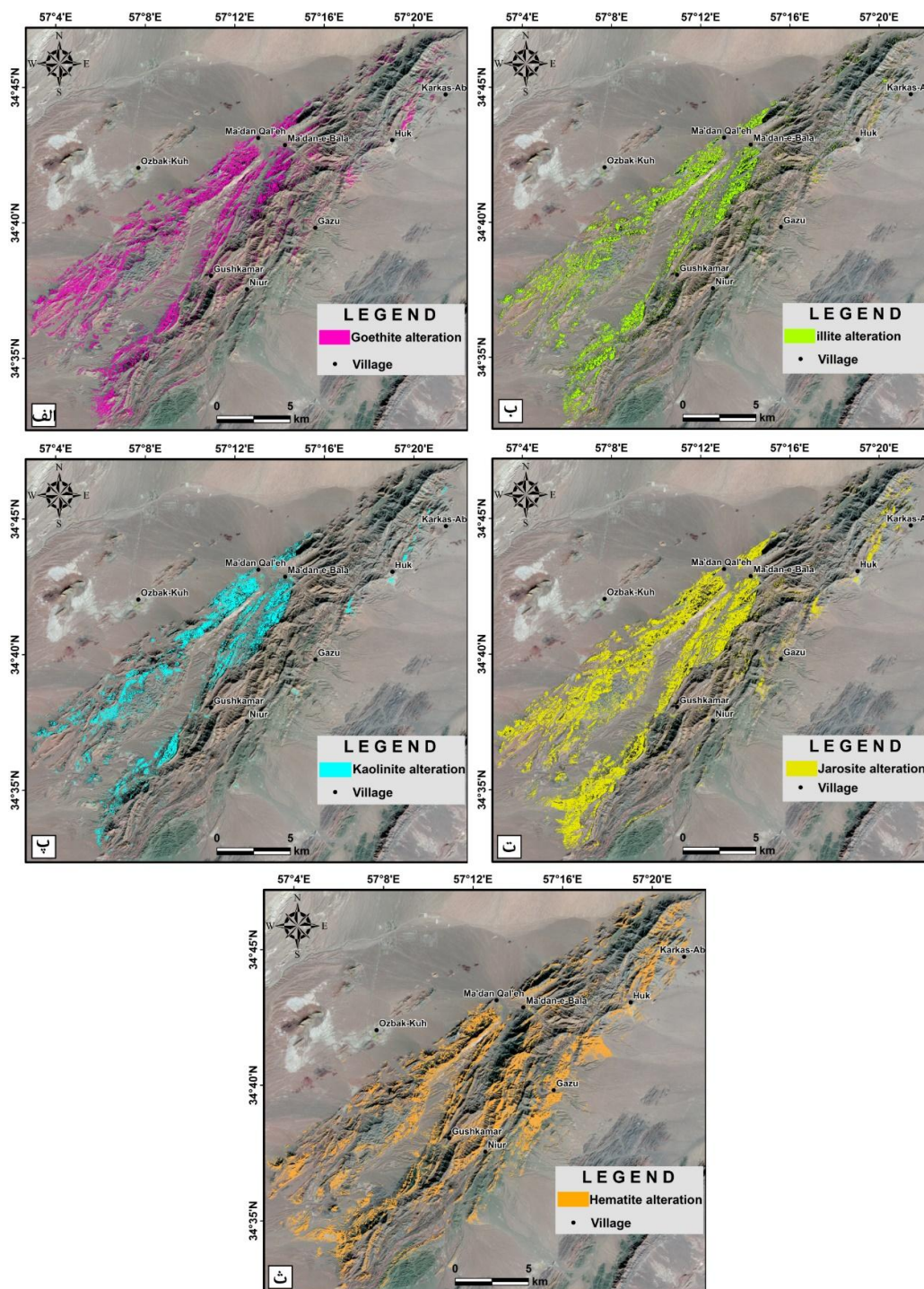
مواد و روش‌ها

پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای

به‌منظور شناسایی واحدهای دگرسانی در منطقه ازبک‌کوه از تصویر ماهواره‌ای سنجنده استر (ASTER) LEVEL 1T استفاده شد. در مرحله پیش پردازش تصویر، روی داده‌های LEVEL 1T تصحیحات هندسی انجام گرفته است که با دقت بسیار خوبی زمین مرجع شدند و نیازی به تصحیح هندسی ندارند. تصویر ASTER استفاده شده در این پژوهش مربوط به ماه اوت سال ۲۰۰۴ است. برای نتیجه‌گیری با دقت بیشتر، تصحیحات هندسی و اتمسفری مربوط به باندهای SWIR روی آن انجام شد. در تصحیح اتمسفری از روش باقی‌مانده‌های لگاریتمی (Log Residuals) [۸] برای پیش‌پردازش و از روش پالایش تطبیق یافته برای شناسایی دگرسانی‌ها استفاده شد. باقی‌مانده‌های لگاریتمی یک روش کالیبراسیون برای حذف اثر تابندگی خورشید، پراکنش جوی، خطای ابزاری و اثر توپوگرافی است. این تبدیل یک تصویر شبه بازتاب تولید می‌کند که برای تجزیه و تحلیل شاخصه‌های جذبی مربوط به کانی‌ها و مواد معدنی مفید است. این روش مشابه روش میانگین بازتاب داخلی نسبی است که بر اساس پارامترهای آماری تصویر ورودی انجام می‌گیرد. لگاریتم باقی‌مانده مجموعه داده‌ای از حاصل تقسیم ورودی با میانگین هندسی طیفی، سپس تقسیم بر میانگین هندسی مکانی به‌دست می‌آید. روش انجام جداسازی بخشی از طیف به‌منظور تخمین فراوانی اعضای انتهایی تعریف شده را کاربر، از مجموعه‌ای طیف مرجع، پاسخ اعضای انتهایی شناخته شده را بیشینه کرده و پاسخ ترکیب ناشناخته زمینه را از بین می‌برد، سپس امضای طیفی شناخته شده را تطبیق می‌دهد. طیف کانی‌های تشخیص داده شده از تصاویر ASTER شامل ایلیت، کائولینیت، جاروسیت، گوتیت و همتایت هستند که برای شناسایی مناطق دگرسانی با استفاده از طیف‌های این کانی‌ها و به‌کارگیری الگوریتم MF استفاده شده‌اند (شکل ۲). تصویر MF یک تخمین نسبی از مقدار مطابقت و هماهنگی دگرسانی استخراج شده نسبت به طیف مرجع و فراوانی زیرپیکسل تقریبی با مقادیر ۰ تا ۱ فراهم می‌کند [۹]، [۱۰].

پالایش تطبیق یافته (MF)

در این روش بخشی از طیف به منظور تخمین فراوانی اجزای انتهایی تعریف شده توسط کاربر از یک مجموعه طیف مرجع جداسازی شده سپس پاسخ اعضای انتهایی شناخته شده را بیشینه کرده و پاسخ ترکیب ناشناخته زمینه را از بین می‌برد و در انتها سپس امضای طیفی شناخته شده را تطبیق می‌دهد [۱۱]، [۱۲].



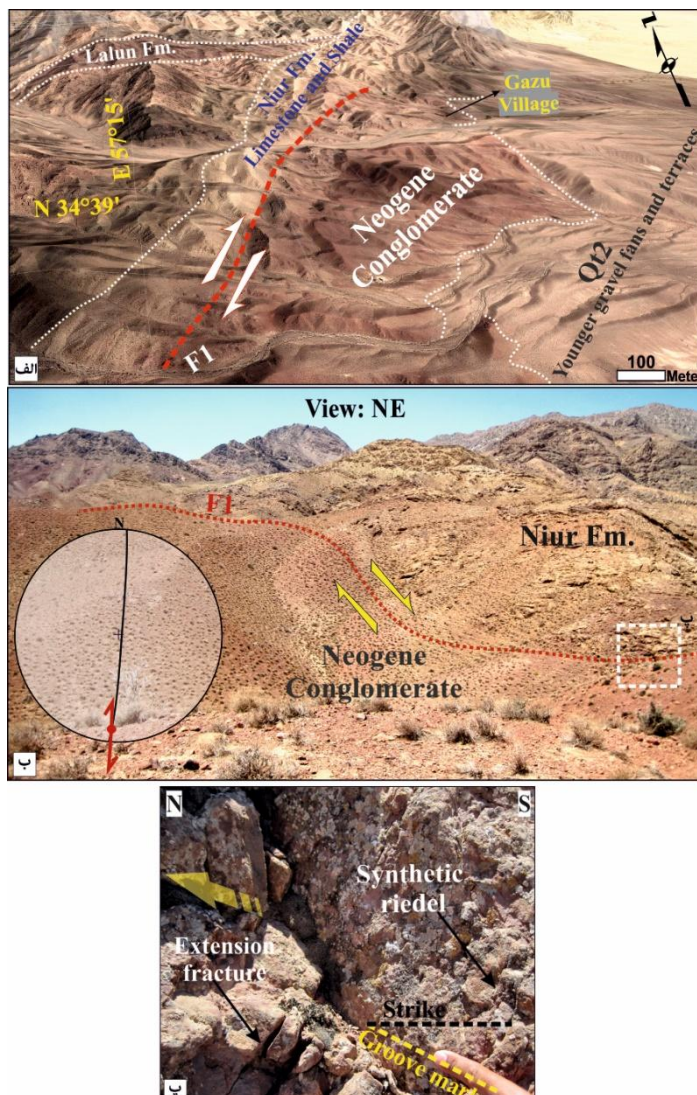
شکل ۲. نقشه دگرسانی‌های استخراج شده از منطقه از یک کوه. الف) دگرسانی گوتیت، ب) دگرسانی ایلیت، پ) دگرسانی کائولینیت، ت) دگرسانی جاروسیت، ث) دگرسانی هماتیت

داده‌های ساختاری و شواهد صحرایی

گسل F1

گسل F1 با گسترش کم در منطقه بررسی شده با طول حدود ۲ کیلومتر در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی ازبک‌کوه در مجاورت روستای گزو رخنمون دارد (شکل ۳).

این گسل جدا کننده واحدهای کنگلومرای نئوژن و سنگ آهک‌های سازند نیور است. در حالی که مرز زیرین کنگلومرای نئوژن پایانی، کنگلومرای سازند قرمز فوقانی و تبخیری‌های نئوژن است اما عملکرد این گسل سبب شده تا کنگلومرای مذکور که سن آن اواخر ترشیاری است در کنار سنگ آهک‌های مرجان‌دار و شیل سازند نیور (متعلق به گروه گوش‌کمر) قرار گیرد. موقعیت این گسل روی تصویر ماهواره‌ای به‌وضوح قابل تشخیص است (شکل ۳ الف و ب) که کنگلومرای قرمز رنگ نئوژن را در کنار سازند نیور قرار داده است. به دلیل فرسایش زیاد، این واحد چینه‌ای رخنمون زیادی در منطقه ندارد و عمدتاً به‌صورت تپه ماهورهایی دیده می‌شود (شکل ۳ پ). گسل برداشت شده در مرز این

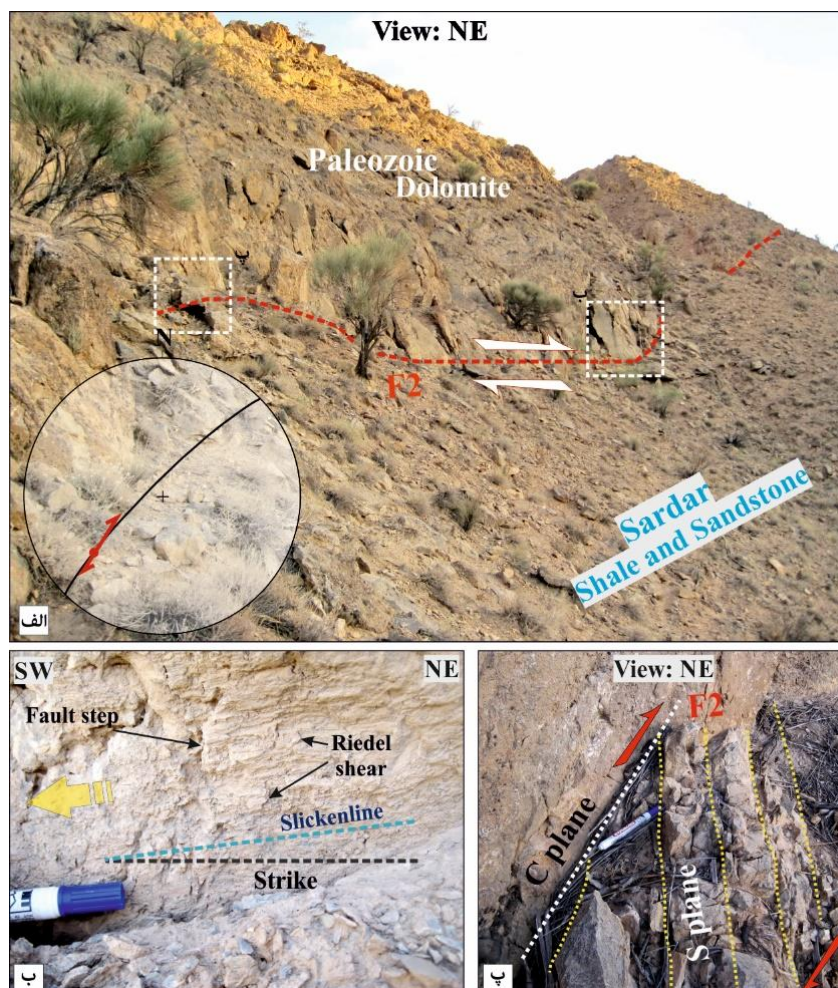


شکل ۳. مشخصات و ویژگی‌های گسل F1. الف) تصویر ماهواره‌ای (Sas planet (Bing map satellite) از موقعیت گسل F1، ب) نمایی از گسل F1 در بازدید صحرایی به‌همراه تصویر استریوگرافیک این گسل، پ) شکستگی ریدل و خش خط گسل

واحد دارای مشخصات SE ۱۲,۸۵° با زاویه ریک ۲۵ درجه (از سمت جنوب غرب) است (شکل ۳ ب و ت). حرکت غالب این گسل با توجه به خش لغزهای روی صفحه آن امتداد لغز راست بر تشخیص داده شد (شکل ۳ ب).

گسل F2

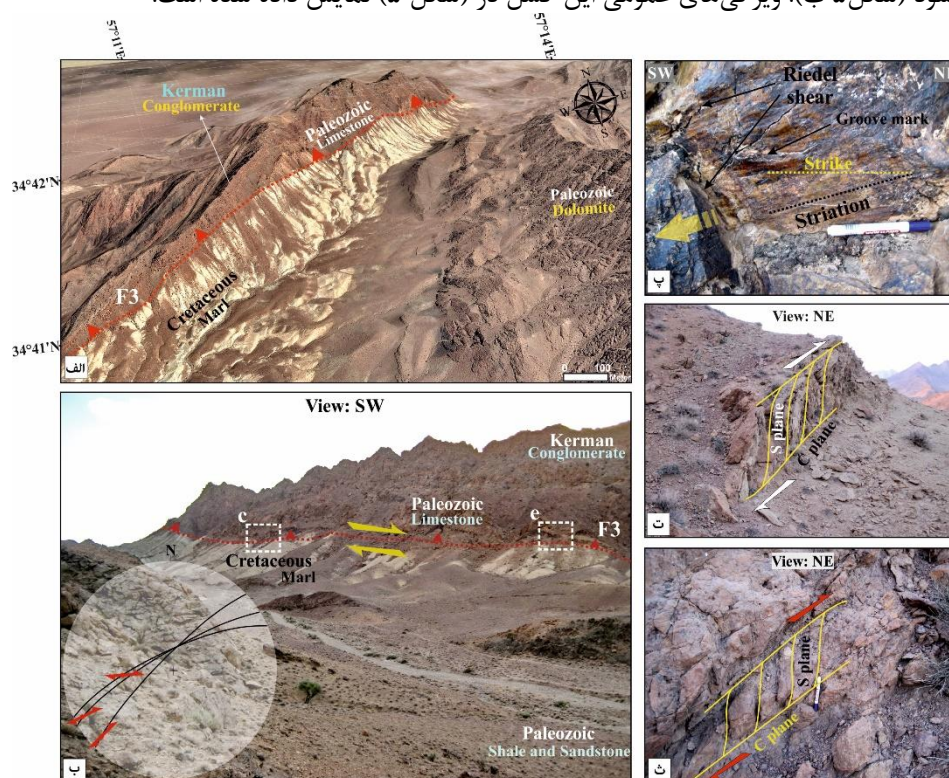
این گسل به طول تقریبی ۹/۵ کیلومتر در دو بخش شمالی و جنوبی (شمال شرق و جنوب غرب روستای معدن قلعه) باعث قرار گرفتن سازند سردر و دولومیت‌های پالئوزوئیک در کنار یکدیگر شده است (شکل ۴ الف). مشخصات این گسل NW ۲۲۵/۸۲ با ریک حدود ۱۵ درجه از سمت جنوب غرب است (شکل ۴ ب). سازوکار این گسل نیز با توجه به ساختارهای C-S که در قسمت‌های مختلف آن مشاهده و اندازه‌گیری شده به صورت حرکت امتداد لغز راست بر معرفی می‌شود (شکل ۴ پ) که این حرکت هماهنگ با جهت برش گسل F1 است. ویژگی‌های عمومی این گسل در (شکل ۴) به نمایش در آمده است.



شکل ۴. مشخصات و ویژگی‌های گسل F2، الف) نمایی از گسل در بازدید صحرایی به همراه تصویر استریوگرافیک و موقعیت خش لغز روی آن، ب) خش لغز گسل F2، پ) صفحات C-S نشان‌دهنده سازوکار گسل

گسل F3

این گسل با طولی بیش از ۹ کیلومتر مرز بین پالئوزوئیک و مزوزوئیک در منطقه ازبک‌کوه است و در دو بخش شمالی و جنوبی در شمال شرق و جنوب غرب روستای معدن قلعه رخمون دارد. این گسل سنگ‌آهک‌های پالئوزوئیک و ماسه‌سنگ کامبرین سازند لالون را با مارن‌های خاکستری رنگ اواخر کرتاسه در کنار هم قرار می‌دهد. با توجه به فرسایش پذیر بودن مارن‌ها و صخره‌ساز بودن آهک‌ها در منطقه بررسی شده، این گسل به‌آسانی روی تصویر ماهواره‌ای قابل تشخیص است (شکل ۵ الف). چندین برداشت در امتداد این گسل در قسمت‌های مختلف آن صورت گرفته که به‌طور متوسط امتداد ۲۳۵ درجه و شیب ۸۰ درجه به‌سمت شمال‌غرب را برای این گسل نشان می‌دهند (شکل ۵ ب). خش‌لغزهای برداشت شده روی صفحه این گسل (شکل ۵ پ) به‌طور متوسط زاویه ۲۰ درجه از سمت جنوب‌غرب دارند. در امتداد این گسل صفحات S-C در مقیاس بزرگ و کوچک مشاهده شده‌اند که برای تعیین جهت حرکت آن اندازه‌گیری شده‌اند که در مجموع سازوکار امتداد لغز راست‌بر را نشان می‌دهند (شکل ۵ ت و ث). این گسل هم‌چنین مؤلفه جزئی معکوس نشان می‌دهد، مؤلفه مورب‌لغز این گسل سبب شده تا سنگ‌آهک‌های پالئوزوئیک روی مارن‌های کرتاسه قرار گیرند (شکل ۵ ب). بنا براین سازوکار عمومی این گسل به‌صورت امتداد لغز راست‌بر با مؤلفه جزئی معکوس معرفی می‌شود (شکل ۵ ب). ویژگی‌های عمومی این گسل در (شکل ۵) نمایش داده شده است.

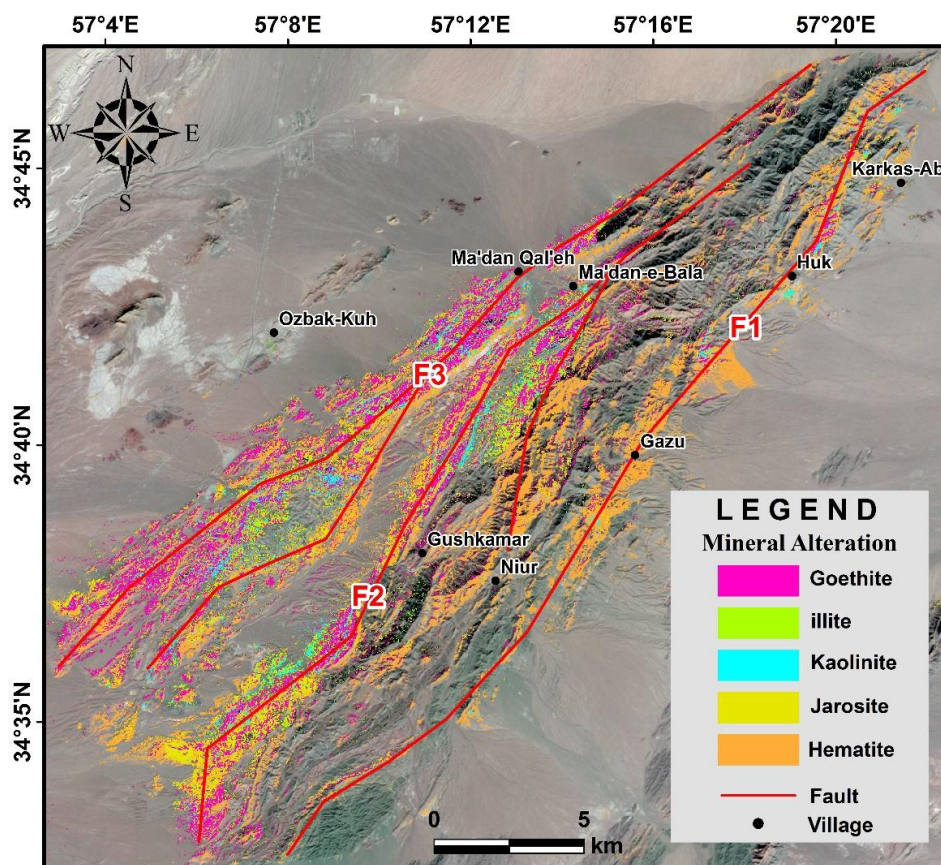


شکل ۵. مشخصات و ویژگی‌های گسل F3، الف) تصویر ماهواره‌ای گسل (Google Earth، ب) نمایی از گسل در بازدید صحرایی روستای معدن قلعه به‌همراه تصویر استریوگرافیک گسل به‌همراه موقعیت خش‌لغزها، پ) خش‌لغزهای مرتبط با صفحه گسلی F3، ت، ث) صفحات C-S بزرگ و کوچک مقیاس نشان‌دهنده سازوکار گسل

بحث و نتیجه‌گیری

شاخصه‌های طیفی کانی‌های رسی در محدوده مادون قرمز موج کوتاه و شاخصه‌های طیفی کانی‌های اکسید آهن در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک است. بدین‌منظور برای شناسایی هر دو گروه کانی‌ها به‌ویژه شناسایی دقیق‌تر کانی‌های رسی و تفکیک آن‌ها از یک‌دیگر، تصاویر ASTER قابلیت مناسبی را برای این منظور ایجاد می‌کنند. اساساً شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی مرحله مهمی در تحقیقات زمین‌شناسی محسوب می‌شود. فناوری سنجش از دور در این مورد به دلیل قابلیت‌های مناسب و پوشش نواحی وسیع، کمک شایانی در پژوهش‌های زمین‌شناسی پایه و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی می‌کند. به‌نحوی که می‌توان با داده‌های در دسترس اطلاعات بسیار ارزشمندی را استخراج کرد. کانی‌های رسی و کانی‌های گروه اکسید آهن می‌توانند به‌عنوان کلید اکتشاف مواد معدنی استفاده شوند. در محدوده بررسی شده نیز تعدادی معدن وجود دارد که تأییدی بر این مدعا است. با بهره‌گیری و استخراج اطلاعات حاصل از داده‌های سنجش از دور و مطالعات صحرایی می‌توان ارزیابی بسیار خوبی از منطقه بررسی شده به‌دست آورد. روش پالایش تطبیقی یکی از روش‌های زیر پیکسلی (Subpixel) است که قابلیت خوبی در شناسایی کانی‌ها و پدیده‌های زمین‌شناختی دارد. در این پژوهش از روش پالایش تطبیقی یافته برای تفکیک کانی‌های رسی ایلیت و کائولینیت از یک‌دیگر و همچنین شناسایی کانی‌های گروه اکسید آهن مانند هماتیت و ژاورسیت و گوتیت استفاده شد که نتایج به‌دست آمده نیز مناسب و دقیق بودن این روش را برای اکتشاف دگرسانی‌های ذکر شده تأیید می‌کند. بازتاب زیاد (۱-۰/۷۵) کائولینیت و جاروسیت در منطقه ازبک‌کوه (در مقادیر کم و متوسط) با درجات بالا وجود دارند. برداشت‌های صحرایی از منطقه بررسی شده دگرسانی‌های ضعیف تا متوسط را نشان می‌دهد. مناطق شاخص دگرسانی در منطقه ازبک‌کوه مطابقت چشم‌گیری با دقت زیاد با معیارهای صحرایی نشان می‌دهند. دگرسانی کانی‌های رسی و اکسید آهن شامل جاروسیت، کائولینیت و ایلیت، گوتیت و هماتیت در بیش‌تر قسمت‌های ازبک‌کوه مخصوصاً قسمت‌های مرکزی و غربی گسترش دارند. علاوه بر این تعداد زیادی از پیکسل‌ها که به‌عنوان جاروسیت شناسایی شده‌اند با مناطق اکسیدی وسیع در ازبک‌کوه هم‌خوانی نشان می‌دهند. بازدیدهای صحرایی گرفته نیز مؤید پژوهش‌های دورسنجی بودند. در بازدیدهای صحرایی انجام شده و انطباق آن‌ها با روش‌های سنجش از دور مشخص شد که به‌طور کلی انطباق قابل قبولی بین مطالعات دورسنجی و گسل‌های برداشت شده در بازدیدهای میدانی برقرار است که نشان‌دهنده ارتباط بین دگرسانی‌های منطقه ازبک‌کوه با گسل‌های اصلی منطقه و در نتیجه کانی‌سازی در این منطقه است که در این صورت می‌توان از روش‌های سنجش از دور برای تحقیقات مقدماتی و به‌دست آوردن دید کلی و تسهیل کردن عملیات میدانی بهره مناسب را برد. تحقیقات میدانی و داده‌های صحرایی اخذ شده از منطقه بررسی شده (شکل ۶) مؤید این مهم است. داده‌های صحرایی و بازدیدها و پژوهش‌های صحرایی انجام شده تأییدکننده بررسی‌های دورسنجی صورت گرفته در شناسایی دگرسانی‌ها و ارتباط آن‌ها با گسل‌ها است. یکی از موارد قابل توجه نیز حضور کانی‌ها به‌صورت خطی است که تحت تأثیر گسل‌های منطقه قرار گرفته‌اند. تمامی دگرسانی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای به‌همراه کانی‌های شاخص مرتبط با آن‌ها در یک روند خطی با جهت‌گیری شمال‌شرق - جنوب‌غرب قرار گرفته‌اند. طبق پژوهش‌های ساختاری انجام گرفته در این تحقیق، این دگرسانی‌های عمدتاً مرتبط با گسل‌های اصلی منطقه ازبک‌کوه بوده و در

راستای این گسل‌ها غلظت و تراکم دگرسانی‌ها نیز به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است و جهت‌گیری آن‌ها در یک راستا و مرتبط با گسل اصلی مسبب آن (تشدید کننده دگرسانی) در این ناحیه از ایران مرکزی است.



شکل ۶. ارتباط گسل‌های اصلی منطقه از یک کوه با دگرسانی‌های استخراج شده از تصویر ASTER

منابع

1. Abrams M. J., Brown D., Lepley L., Sadowski R., "Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizon", *Econ, Geol.*, vol. 78, no. 4 (1983) 591-604.
2. Loughlin W., "Principal component analysis for alteration mapping", *Photogrammetric Eng. Remote Sens.*, vol. 57 (1991) 1163-1169.
3. Crosta A. P., Filho C. R., "Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis", *Int. J. Remote Sens.*, vol. 24, no. 21 (2003) 4233-4240.
4. Allen M., Jackson J., Walker R., "Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long term deformation rates", *Tectonics*, 23, TC2008 (2004) doi:10.1029/2003TC001530.

5. Allen M. B., Blanc E. J. P., Walker R., Jackson J., Talebian M., Ghassemi M. R., "contrasting styles of convergence in the Arabia-Eurasia collision, why escape tectonics does not occur in Iran", Geological Society of America Special Paper 409 (2006) 579-589.
6. Vernant Ph., Nilforoushan F., Hatzfeld D., Abassi M. R., Vigny C., Masson F., Nankali H., Martinod J., Ashtiani A., Bayer R., Tavakoli F., Chery J., "Present day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman", Geophys. J. Int., 157 (2004) 381-398.
7. GSI (Geological Survey of Iran), "Geology and mineralization in the Ozbak-Kuh area (East Iran)" (1964) 21.
8. Green A. A., Craig M. D., "Analysis of aircraft spectrometer data, with logarithmic residuals", Proceedings of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop, April 8-10, G. Vane and A. Goetz editors, JPL (1985) 111-119.
9. Research Systems Inc., "ENVI Tutorial", ENVI Software Package. ver. 4.0, (2003).
10. J. W. Boardman., F. A. Kruse., "Analysis of imaging spectrometer data using N-dimensional geometry and a mixture-tuned matched filtering approach", IEEE Trans, Geosci. Remote Sens, vol. 49, no. 11 (2011) 4138-4152.
11. Harsanyi G. C., Farrand W. H., Chang C. S., "Detection of subpixel signatures in hyperspectral image sequences", Proceedings of 1994 ASPRS Annual (1994).
12. Boardman J. W., Kruse F. A., Green R. O., "Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data", summaries, Proceedings of the Fifth JPL (1995).