

ارتباط وضعیت ساختاری با کانه‌زایی بر اساس داده‌های مغناطیس هوایی، ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی محدوده معدنی چشمه خوری (شمال باختر بیرجند)

خشایار کاویانی صدر

کارشناس ارشد زمین شناسی، گرایش تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند

محمد مهدی خطیب

استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند

محمد حسین زرین کوب

دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۱

khashayargeologist@yahoo.com

چکیده

گسل‌های پنهان و منشأ نفوذ محلول‌های هیدروترمال جهت اهداف اکتشافی و تشخیص ناهنجاری‌های مواد معدنی فلزی پایه و گرانها از طریق تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی در محدوده معدنی چشمه خوری بررسی شد. ظهور یک خطواره مغناطیسی و تمرکز میدانی بر روی آن منجر به شناسایی پهنه‌ای برشی حاکم بر منطقه گردید که تأثیر گذار بر فاز کانی‌زایی حاصل از گسل‌های درون این پهنه است. بررسی‌های میدانی نیز روند غالب پهنه‌های برشی دگرسان شده و رگه‌های هم‌یوغ کانه‌دار را با راستای شمال-باختر-جنوب‌خاور نشان داد. با تلفیق و تحلیل سه عامل مغناطیس سنجی هوایی، ماهواره‌ای و پیمایش‌های میدانی، سه روند عمده ساختاری شمال‌باختر-جنوب‌خاور، خاوری-باختری و شمال‌خاور-جنوب‌باختر مشخص گردید. کاربرد توأم این سه عامل در تأیید خطواره‌ها و زون‌های دگرسانی منطقه و تفکیک آن‌ها از انواع کاذب را می‌توان به‌عنوان روش بهینه در ثبت خطواره‌های اصلی، ناهنجاری‌های مربوطه و مناطق مستعد کانی‌زایی در این محدوده و محدوده‌های معدنی مشابه معرفی کرد.

کلمات کلیدی: بیرجند، چشمه خوری، پهنه برشی، مغناطیس هوایی، خطواره مغناطیسی

مقدمه

استفاده از تکنولوژی سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امروزه به طور گسترده‌ای در بسیاری از شاخه‌های علوم منابع طبیعی به ویژه در زمین شناسی و یافتن مناطق مستعد معدنی رو به گسترش است.

نقشه برداری از الگوهای ساختاری و شکستگی‌ها یکی از کاربردهای مهم علم سنجش از دور است (Sirvastav et al., 2000; Sabins, 1999). از طرفی داده‌های مغناطیس هوایی ابزاری ارزشمند در مطالعات زمین شناسی و کانسارهای معدنی به شمار می‌رود (Newsuperp et al., 2005). این داده‌ها به دلیل نمایش تغییرهای میدان مغناطیسی ناشی از رخساره‌های زمین شناسی، در ردیابی و مطالعه فرآیندهای رخ داده در زمین نقش منحصر به فردی را ایفا می‌کنند. این نقش به‌ویژه در مناطق پوشیده از آبرفت به طور مشخص بارز می‌شود (کریم‌پور، ۱۳۹۱).

منطقه معدنی چشمه خوری که بین عرض‌های جغرافیایی $23^{\circ} 11' 33''$ تا $33^{\circ} 34' 15''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $57^{\circ} 21' 58''$ تا $58^{\circ} 25' 06''$ خاوری و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر بیرجند واقع شده است، از نظر تقسیم بندی ایالت‌های ساختاری پوخته ایران زمین در خاور خرد قاره ایران مرکزی و در حاشیه شمال‌باختری پهنه لوت قرار گرفته است. سامانه گسلی نهبندان که تمامی ایالات ساختاری سیستان را در بر می‌گیرد، در بخش شمالی با تغییر جهت به طرف باختر به صورت تداخلی وارد پهنه لوت می‌شود (خطیب، ۱۳۷۷). در پهنه‌های برشی وابسته به پهنه گسلی نهبندان، ذخایر معدنی فراوانی

بر جای گذاشته است که از هندسه گسل پیروی می‌کنند. ناحیه معدنی چشمه خوری نیز در حقیقت در باختری‌ترین محل این تغییر روند ساختاری واقع شده که تحت تأثیر ارب‌های شمالی سامانه گسلی نهبندان قرار گرفته است. سیمای منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی و حدواسط ترشیری به صورت توده‌های آندزیتی، آندزیت بازالت، داسیت، ریوداسیت نفوذی می‌توان مشاهده نمود که در برخی مواردی موجبات ایجاد دگرسانی و کانه‌زایی را فراهم نموده‌اند. آذرآوری‌ها نیز نظیر توف‌های اسیدی که دگرسانی بسیار زیادی را متحمل شده و همچنین برش‌ها که قطعات سنگی آنها در حد آندزیت و تراکی‌آندزیت می‌باشند در منطقه وجود داشته و در پاره‌های مناطق واحدهای غیرآتشفشانی نظیر کنگلومرا، ماسه سنگ، پلایهای نمکی و آبرفت‌های جوان کوتاه‌تر را تشکیل می‌دهند (لطفی، ۱۳۷۴). یکی از عوامل مهم موثر در کانه‌زایی در هر ناحیه‌ای گسلش و شکستگی‌های موجود می‌باشند که در واقع راهی برای نفوذ سیالات کانه‌دار هستند. اغلب کانه‌زایی‌ها در مناطق با شکستگی بالا و بویژه در محل تلاقی این شکستگی‌ها اتفاق می‌افتد (Sabins, 1999) لذا با توجه به اینکه استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی در کنار داده‌های ماهواره‌ای منطقه می‌تواند نقشی مهم در مطالعه ساختارهای سطحی و زیرسطحی عمده در منطقه و ارتباط آنها با عرضه‌های ساختاری اصلی و ناحیه‌ای داشته باشد (برزگر، ۱۳۵۷)، در این تحقیق با بررسی و تفسیر خطواره‌ها و سایر عوامل حاصل از دورسنجی داده‌های ماهواره‌ای، مغناطیس هوایی و تطبیق آن با پیمایش‌های میدانی، به مطالعه فرآیندهای رخ داده در منطقه و حل برخی ابهامات به دلیل فرسایش، پوشیده شدن توسط آبرفت

و به طور کلی عدم رخنمون مناسب پرداخته شده است. (شکل ۱)، موقعیت زمین - شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

بحث

همانطور که ذکر شد یکی از مزیت های سنجش از دور در مطالعات زمین شناسی، پوشش وسیع ناحیه مورد مطالعه است که اطلاعات بسیار سودمندی از الگوهای ساختاری را ارائه می دهد. گسل ها و شکستگی ها ساختارهایی هستند که به خوبی بر روی تصاویر ماهواره ای شناسایی می شوند. از طرفی پردازش داده های مغناطیس هوایی اطلاعات با ارزشی برای تحلیل عوارض زیر سطحی به دست می دهد. از جمله رخنسازهای قابل شناسایی با استفاده از داده های مغناطیس هوایی می توان به تعیین محل و گسترش عمقی توده های نفوذی پنهان، مناطق دگرسانی، مناطق برشی، شکستگی های پی سنگی و در کل بررسی وضعیت زمین ساختی و مطالعه ارتباط آن با کانه زایی اشاره نمود. لذا در این تحقیق با تلفیق و تحلیل داده های مغناطیس هوایی، ماهواره ای و مطالعات صحرایی، به بررسی وضعیت ساختاری و ارتباط آن با کانه زایی پرداخته شده است.

استخراج شکستگی ها بر اساس پردازش داده های ماهواره ای منطقه و تعیین مناطق با شدت شکستگی بالا با استفاده از شاخص فاکتور خطواری

علاوه بر ترسیم نقشه زمین شناسی منطقه، به منظور شناسایی بهتر پهنه های برشی و گسل ها و سایر ساخت های خطی و تحلیل ساختاری منطقه چشمه خوری، از داده های ماهواره ای گوگل (کونیک برد با تفکیک مکانی ۶۰ سانتی متر) و لندست RGB و همچنین پردازش داده های ماهواره ای ETM⁺ که از قدرت تفکیک طیفی بالایی برخوردارند استفاده گردید. شاخص فاکتور خطواری ویژگی است که به وسیله عواملی از قبیل طول، تعداد و تقاطع خطواره ها در هر محدوده کنترل می شود. فیلتر کردن تصاویر روشی جهت تفکیک خطواره ها به حساب می آید. با توجه به ترسیم گسل های موجود در منطقه (بر روی نقشه با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰) و مشاهدات صحرایی، جهت بیشتر گسل های منطقه در زوایای ۴۵، ۱۳۵ و حدود ۲۶۰ درجه می باشد که با توجه به وضعیت ساختاری شرق ایران تحت تاثیر مستقیم حرکت دو سرشاخه فرعی در پایانه شمالی گسل نهبندان با راستای خاوری - باختری و در یک پهنه برشی راستگرد تشکیل گردیده اند. به همین علت به منظور جداسازی بهتر خطواره ها، از روش فیلترینگ تصویر ETM⁺ منطقه توسط کرنل های ماتریسی ۳×۳، در سه جهت عمده خطواره های منطقه (۳۶۰ و ۱۳۵، ۴۵) استفاده شد.

استفاده از فیلترهای جهت دار روشی است برای بارز کردن خطواره ها در جهات خاص که در تصاویر ماهواره ای بسیار مورد استفاده است. در این روش در واقع یک ماتریس با عدد فرد (مثلاً ۳×۳) را در نظر می گیرند که بنابر جهتی که می خواهند بارزسازی انجام شود، در آن اعداد به شکل قرینه در طرفین خط فرضی هم جهت با بارزسازی که از وسط ماتریس گذر داده می شود قرار گرفته اند، به شکلی که جمع جبری آنها هم حتماً صفر می شود، سپس این ماتریس از یک گوشه تصویر بر روی پیکسل ها قرار داده شده و در تمام مقادیر پیکسلی ضرب می شود. محصول تصویری خواهد بود که خطوط را در جهت عکس داده هایی که به شکل قرینه درون ماتریس قرار داده ایم بارز کرده است، به هر کدام از این ماتریس ها یک کرنل گفته می شود.

در واقع اتفاقی که در حین این فیلترینگ رخ می دهد تاباندن نور از یک جهت خاص به تصویر است که خطوط را در جهت عمود واضح می کند.

در ادامه هر سه حالت ممکن را در یک تصویر RGB با خطواره های در جهات مختلف نمایش داده شده است که خطوط در جهت NW-SE را با رنگ قرمز، خطواره های در جهت NE-SW را با رنگ سبز و تصویر تهیه شده از خط های در جهت N-S را با رنگ صورتی نشان داده شده است (شکل ۲).

در نهایت نقشه گسل های منطقه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سارنجج که چارچوب محدوده تحت بررسی درون این ورق واقع است و تلفیق تصویر فیلتر شده ETM⁺ منطقه با مطالعات صحرایی تهیه شد. در ادامه شبکه ای شامل سلول های ۳×۳ کیلومتر بر روی نقشه تهیه و قرار داده شد که در هر کدام از این سلول ها فاکتور خطواری بدین ترتیب محاسبه گردید:

$$i_0 = I/a, \quad I = (L/A) * 100, \quad i = (i_0/I) * 100$$

i_0 درجه شکستگی در هر سلول، I مجموع طول گسل های واقع در یک سلول، a مساحت هر سلول، I درجه شکستگی کل منطقه i % درجه شکستگی در سلول نسبت به کل منطقه، A مساحت سلول بزرگ (مجموع مساحت سلول های کوچک) می باشد.

ترکیب نسبت های باندی برای یافتن نقاط دگرسانی

یکی از ویژگی های اساسی بسیاری از کانسارها و مناطق کانه زا وجود دگرسانی های شاخص می باشد که در کانسارهای پورفیری و رگ های این موضوع کاملاً به اثبات رسیده است. از طرفی نقاطی با شدت شکستگی و خوردشدگی بالا سبب تسهیل نفوذ محلول های هیدروترمال و در نتیجه دگرسانی در یک منطقه است. بر همین اساس سعی بر آن شد تا با استفاده از لایه های اطلاعاتی ساختاری و دورسنجی این لایه ها، جهت یافتن نواحی دارای شکستگی و مناطق مستعد دگرسانی بالا و در نهایت مناطقی جهت پی جویی های تفصیلی تر معرفی و ارائه گردد. استفاده از نسبت های باندی بارز کننده دگرسانی ها از جمله روش های متداول در پردازش تصاویر ماهواره ای می باشد که بر پایه طیف بازتابش کانی ها بنا شده است. مهمترین کانی هایی که در دگرسانی های سطحی در ارتباط با کانه زایی قابلیت بارزشدگی توسط تصاویر پردازش شده را دارند کانی های رسی و اکسید آهن می باشند که حضور هر دوی این کانی ها با هم مد نظر قرار داده می شود. بدین منظور با توجه به طیف های انعکاسی این کانی ها، دو تقسیم باندی ۵/۷ و ۳/۱ به ترتیب برای کانی های رسی و اکسید آهن بر روی تصویر ETM⁺ منطقه انجام شد و نسبت باندی ۲/۴ برای بارزسازی کانی های مافیک در نظر گرفته شد و از تلفیق تصاویر بدست آمده از این تقسیم بندی ها در تصویری جداگانه به وسیله عمل جمع پیکسل ها تصویر دگرسانی سطحی منطقه حاصل شد (شکل ۳-الف و ۳-ب). برای آشکارسازی دقیق تر دگرسانی گرمایی در تصاویر ETM⁺ با استفاده از تصاویر نسبت، و با توجه به اینکه این نوع دگرسانی ها در این تصاویر بر اساس کانی های اکسید آهن و هیدروکسیل ها مشخص می شود، ترکیب سه تصویر نسبت در رنگ های RGB که منجر به تشکیل ترکیب رنگی نسبت می شود، باعث ادغام مناطق حاوی اکسید آهن و هیدروکسیل شده و این مناطق را بهتر بارزسازی می کند (شکل ۳-ج). بر اساس نتایج فوق و تمرکز میدانی بر روی مناطق هدف تعیین شده حاصل از دور سنجی در منطقه مورد مطالعه، همپوشانی مطلوبی بین گسل خوردگی ها و شدت دگرسانی های پدید آمده در واحدهای سنگی پدید آمد.

پردازش داده‌های مغناطیس هوایی منطقه

برداشت های ژئوفیزیک هوایی به سه روش مغناطیس سنجی، الکترومغناطیس و رادیومتری (اورانیم، پتاسیم و توریم) در بخش‌هایی از شرق کشور و همچنین بخشی از برگه سارنجج توسط سازمان انرژی اتمی کشور در سال ۱۹۷۵-۱۹۷۷ میلادی صورت گرفته است. این برداشت‌ها توسط هواپیما و با ارتفاع پرواز ۱۲۰ متر از سطح زمین و فاصله خطوط پرواز ۱۰۰۰ متر و با آزیموت ۴۵ درجه در منطقه و به قصد عملیات اکتشافی انجام شده است. مغناطیس‌سنج مورد استفاده در این برداشت از نوع بخار سزیم بوده که در هنگام برداشت در ارتفاع ۹۰ متری از سطح زمین قرار داشته است. برای شناسایی خطواره‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه بر روی داده‌های ژئوفیزیک هواپرد در ورق‌های ۱-۷۶۵۶ و ۲-۷۶۵۶ سازمان انرژی اتمی کشور و پردازش داده‌های شدت کل میدان مغناطیسی پس از اتصال فیلترهای مختلف در مرحله پردازش روی این داده‌ها استفاده شده است. از آنجا که بخشی از محدوده مورد مطالعه از آبرفت پوشیده شده و در برخی مناطق نیز ماهیت سنگ شناسی و پدیده فرسایش، امکان مشاهده مستقیم ساختارهای زمین شناسی را با مشکل مواجه می‌کند؛ لذا می‌توان با پردازش داده‌های مغناطیس هوایی از برخی از این موانع گذشت.

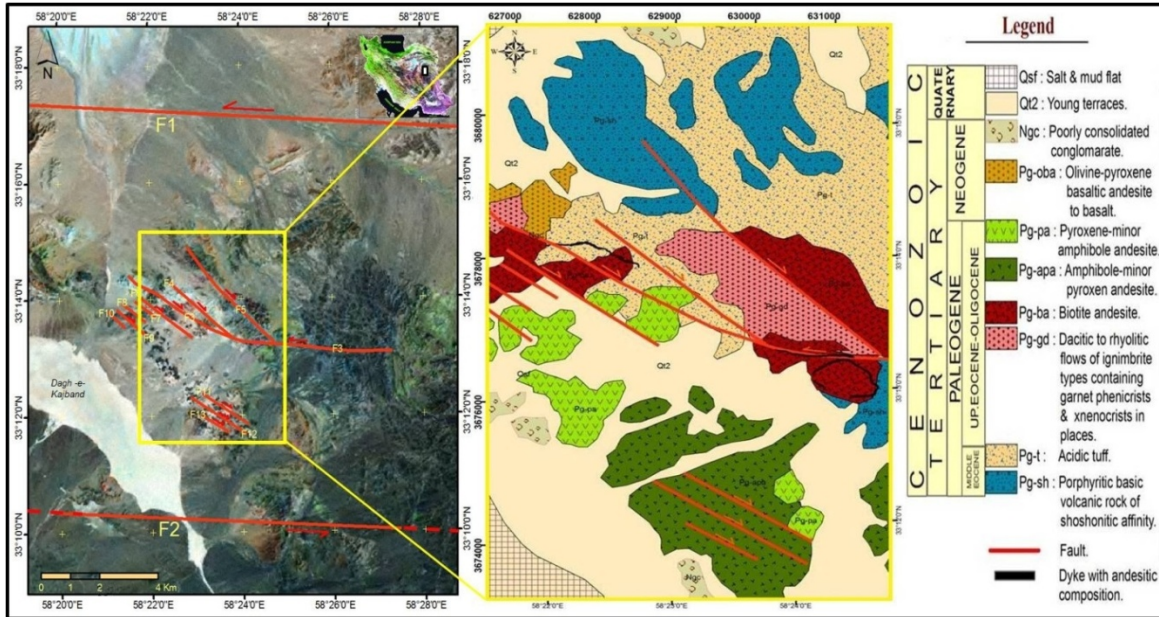
یکی از مراحل پردازش در داده‌های مغناطیس هوایی، محاسبه اثر مغناطیسی میدان مرجع وابسته به میدان جاذبه زمین و حذف آن از داده‌های مغناطیسی مشاهده شده (شدت کل میدان مغناطیسی) است (Silva, 2003). با اعمال فیلترهای متفاوت بر روی اطلاعات، بررسی از جهات مختلف انجام گرفته و با در نظر گرفتن اطلاعات زمین شناسی، منطقه مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته است. اولین فیلتر اعمال شده، فیلتر برگردان به قطب است. با استفاده از این فیلتر، میدان مغناطیسی از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان زمین مایل و شیب‌دار است به قطب مغناطیسی یعنی جایی که میدان القایی قائم است، منتقل می‌شود زیرا اگر میدان زمین مایل باشد شکل ناهنجاری‌های مغناطیسی که به صورت القایی به وجود آمده‌اند نسبت به منابع به وجود آورنده نامتقارن خواهد بود ولی در صورتی که میدان القایی قائم باشد، ناهنجاری‌های به وجود آمده در اثر القاء مغناطیسی بر روی منبع خودشان قرار می‌گیرند؛ لذا تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی به طور معمول بر روی تصاویر مختلف برگردان به قطب صورت می‌گیرد (شکل ۴-الف). اعمال این فیلتر با استفاده از زاویه میل و انحراف مغناطیسی صورت می‌گیرد. مقدار این زوایا در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۶۰ و ۲/۹ درجه و مقدار میانگین IGRF برابر ۵۱۰۴۱ نانوتسلا بوده است. پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب، فیلتر بالاگذر مشتق اول قائم بر داده‌ها اعمال شده است. برای حذف اثرات ناحیه‌ای با طول موج بلند و تداخل بین ناهنجاری‌های مجاور از فیلتر مشتق قائم استفاده می‌شود. مشتق قائم در واقع یک فیلتر بالاگذر است زیرا بسامدهای بالا را نسبت به بسامدهای پایین افزایش می‌دهد؛ در نتیجه اثر ناهنجاری‌های بزرگ (ناهنجاری‌های بزرگ مغناطیسی دارای طول موج بلند و بسامد پایین هستند) که مربوط به منابع ژرف و منطقه‌ای هستند بر روی ناهنجاری‌های کوچک از بین رفته و ناهنجاری‌های کوچک و محلی به خوبی نمایان می‌شوند (Silva, 2003 & Neawsuparp et al., 2005) (شکل ۴).

روانه های بازیک موجود در منطقه از جمله انواع آندزیت و توف و برش‌های آندزیتی، به احتمال فراوان ناشی از توده‌های بازیک تا اولترابازیک عمیقی هستند که به صورت باتولیت‌های بزرگی در اعماق زیاد وجود داشته و توسط شکستگی‌های عمیق و بزرگ ناحیه ای تا سطح زمین به صورت روانه رسیده‌اند. منشاء محلول‌های کانه‌دار و همچنین وجود توفهای اسیدی و روانه های داسیت-ریوداسیت در محدوده به نظر می‌رسد ناشی از توده‌های حد واسط تا اسیدی در ژرفای بخش میانی منطقه باشد که در نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (شکل ۴-الف) از آن تحت عنوان A نامگذاری شده و می‌توانسته به‌عنوان ریشه توف‌های اسیدی و روانه‌های داسیتی-ریوداسیتی باشد که اثرات آن را به صورت لیتولوژی-هایی موجود در محدوده برجا گذاشته است.

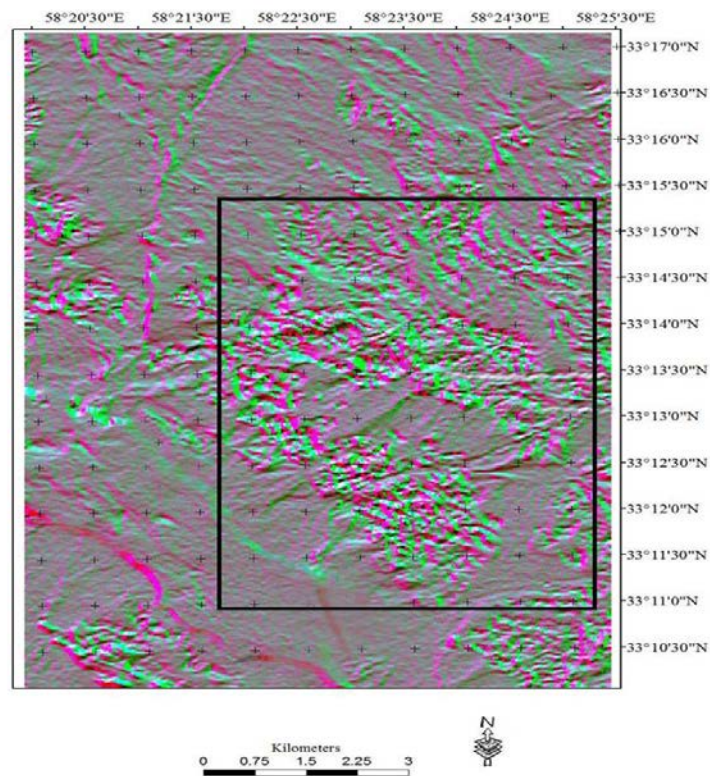
استخراج خطواره‌های مغناطیسی

در حالت عادی، عارضه‌های زیر منعکس کننده یک منطقه دگرشکلی در نقشه‌های مغناطیس هوایی هستند (Korhomen et al., 2004). الف) نواحی خطی و باریک دارای مغناطیس پایین (رنگ آبی) که یکی از معمول-ترین حالات در نقشه‌های مغناطیس هوایی است و معرف مناطق دارای دگرشکلی شکننده است. به عبارتی یک پهنه مغناطیسی باریک خطی با شدت پایین که به دلیل هوازگی در طول سطح گسل خوردگی به وجود آمده و کانی‌های مغناطیس در اثر اکسیدن به کانی غیر مغناطیس تبدیل گشته اند. دو طرف این پهنه باریک و خطی، می‌تواند ویژگی مغناطیسی مشابهی داشته باشد. ب) نواحی خطی و باریک دارای مغناطیس بالا (رنگ بنفش) که ممکن است در اثر وجود یک عامل خارجی قطع شده باشند، می‌تواند مربوط به کانی‌های مغناطیسی رسوب کرده در سطح گسل باشد. ج) قطع ناگهانی در عمق منابع مغناطیسی. د) ناپیوستگی/ جابه جایی در ناهنجاری‌های مغناطیسی به صورت آشفته که از نشانگرهای بسیار شاخص یک پهنه دگرشکلی هستند. ه) جابه‌جایی واضح و تند در ناهنجاری‌های مغناطیسی که نشان‌دهنده پهنه‌های برخی شکننده یا همان گسل‌ها هستند. و) پله‌های مغناطیسی که بیانگر همبندی‌های دارای خردشدگی بالای واحدهای سنگی مختلف هستند. در این گونه مطالعات، وجود تغییرهای یکنواخت و کم و بیش آرام در ژرفای پی‌سنگ مغناطیسی در منطقه، می‌تواند به نوعی گویای اثر ضعیف گسل‌ها در ایجاد مؤلفه جابه‌جایی قائم و یا حتی نتیجه تغییر در خواص مغناطیسی مواد ژرفایی باشد. افزون بر این، ذکر این نکته ضروری است که به طور عموم ویژگی‌های مغناطیسی مناطق دگرشکلی طی مراحل مختلف دگرگونی ممکن است دچار تغییر شوند. در ارتباط با شناسایی شکستگی‌ها به کمک داده‌های مغناطیس هوایی، سه حالت کلی را می‌توان در نظر گرفت:

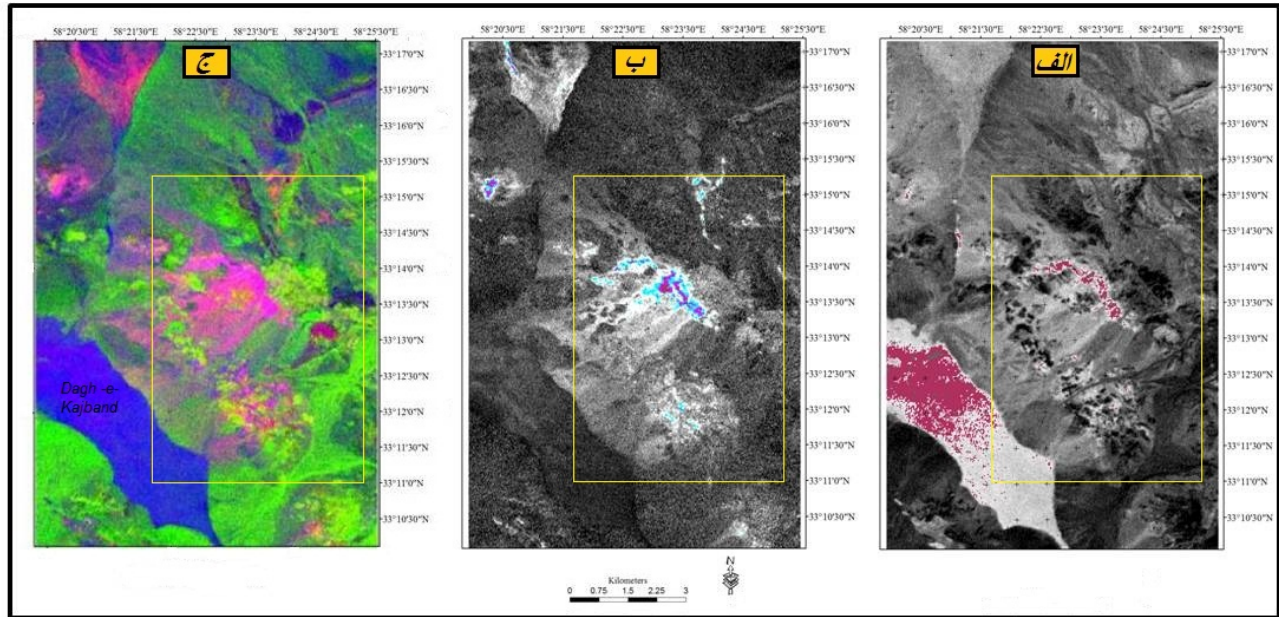
- ۱- خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده با گسل‌های تشخیص داده شده بر روی سطح همخوانی دارد.
- ۲- برای خطواره‌های مغناطیسی شناخته شده، گسل همخوانی بر روی سطح شناسایی نشده است. در این مورد دو حالت را می‌توان در نظر گرفت: در حالت اول ممکن است در نظر گرفتن این خطواره‌ها به دلیل تفسیر نادرست ناهنجاری‌ها بوده باشد و در حالت دوم ممکن است خطواره مغناطیسی در واقع وجود داشته ولی



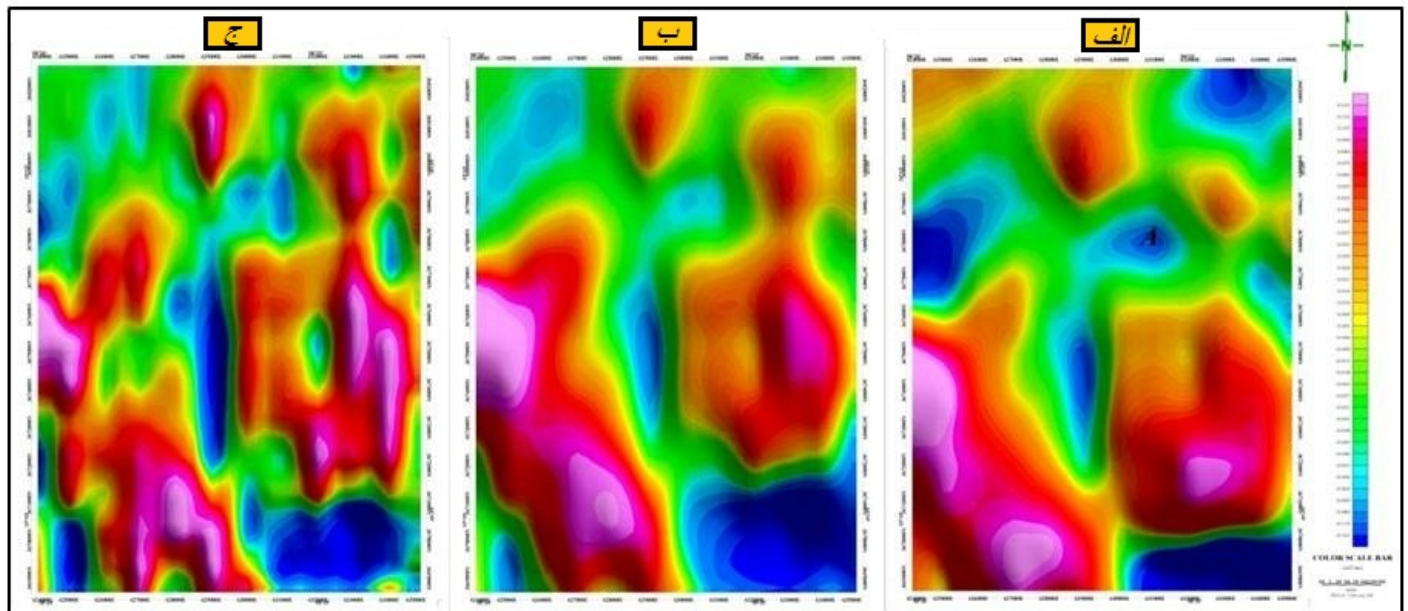
شکل ۱. موقعیت زمین شناسی ناحیه‌ای منطقه در خاور ایران بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست (RGB) همراه با نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲. بارزسازی خطواره های منطقه با روش فیلترینگ - تصویر RGB از سه تصویر فیلترینگ در سه جهت ۴۵، ۱۳۵ و ۲۲۵ درجه. کادر مشکی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. بارزسازی نقاط دگرسانی سطحی با روش نسبت باندی- نقاط رنگی نشان دهنده نوع دگرسانی بارز شده می‌باشند- الف- بارزسازی زون گوسان (اکسید آهن)، (کادر طلایی چارچوب محدوده معدنی چشمه خوری را نشان می‌دهد)، ب- بارزسازی زون فیلیک و آرژیلیک (مناطق دارای اکسید مس و کانی‌های هیدروکسیل دار)، ج- تصویر کلی حاصل از ترکیب نسبت های باندی ۳/۱، ۵/۷، ۴/۴ جهت نمایش مناطق حاوی سنگ های بازیک (به رنگ سبز فسفری)، مناطق دارای اکسید آهن، اکسید مس و سایر کانی‌های هیدروکسیل دار (به رنگ قرمز صورتی). (پلا یا (دق) نمکی -رسی کچبند در بخش باختری منطقه با رنگ آبی مشهود است).



شکل ۴. الف- نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، ب- نقشه برگردان به قطب، ج- نقشه مشتق اول قائم (مناطق قرمز بیانگر شدت بالای میدان مغناطیسی و مناطق آبی نشان دهنده شدت پائین آن است).

ادامه داشته و تحت تأثیر انشعابات نهیدان محسوب خواهد گردید. با توجه به پنهان بودن بخش اعظم گسل در زیر رسوبات، درون واحدهای آندزیتی خارج از حد جنوبی محدوده، علائم وجود گسل از طریق ظهور لنزهای گسلی و رانده شدن برخی واحدها در جهت خمش لنزهای گسلی (به سمت باختر) مشخص گردید (شکل ۶). در ادامه این روند، به علت فرسایش آینه گسل و عدم رؤیت خش‌لغز، با استناد به روندهای انحنادار در واحدهای توفی جنوب محدوده مطالعاتی (مجاور واحدهای آندزیتی مزبور) که همان تلاقی ساختارهای S و C در مقیاس بزرگ بوده و در آنجا نیز لنزهای گسلی را تشکیل می‌دادند، سازوکار گسل تشخیص داده و به صورت چپگرد با مؤلفه معکوس پیشنهاد گردید. امتداد میانگین صفحات S و C به ترتیب برابر است با: N15W/50NE و N65W/35NE. سایر گسل‌های موجود در منطقه نظیر F3 تا F13، جز بخشی از گسل F3 که با انحنادار در طول خود در راستای خاوری-باختری سازوکار معکوس با مؤلفه امتدادلغز چپگرد به خود می‌گیرد، همگی دارای سازوکار امتدادلغز راستگرد با مؤلفه جزئی معکوس و هندسه میانگین N70W/75NE و ریک متوسط بردار لغزشی 40NW می‌باشند. حرکت پهنه برشی چپگرد ناحیه و اثر آن بر گسل‌های مزبور که حایل بر بلوک‌های آندزیتی هستند، سبب چرخش پادساعتگرد و لغزش بلوک‌ها در امتداد این گسل‌ها گشته و نسل دیگری از پهنه‌های برشی را به صورت راستگرد در راستای گسل‌ها ایجاد می‌کند.

مطالعات میدانی بر روی رگه‌های معدنی منطقه

در مسیر پهنه‌های برشی، در اثر تقاطع شکستگی‌های فوق با یکدیگر، بلوک‌های گسلی در منطقه حاصل می‌شوند. (شکل ۷-الف). طرح هندسی بلوک‌ها تابع شکستگی‌ها بوده که بسته به نوع تقاطع آنها بلوک‌های گسلی مختلفی شکل می‌گیرند. با چرخش بلوک‌های گسلی، شرایط مناسب برای تشکیل فضاهای باز و عمیق مرتبط با هندسه گسل‌های امتدادلغز فراهم می‌شود (Sylvester, 1988). فضاهای باز موجب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی به اعماق، گرم شدن، افزایش انحلال‌پذیری و برگشت آن‌ها به صورت محلول کانه‌دار به مناطق سطحی می‌گردد. اثر محلول‌های داغ بر روی سنگ‌های مسیر پهنه برشی، باعث ایجاد پدیده دگرسانی و متاسوماتیسم می‌شود (Williams, 1979). با توجه به هندسه و چرخش بلوک‌های گسلی، حاشیه این بلوک‌ها بهترین مکان برای نهشت محلول‌های کانه‌دار و تشکیل رگه‌های معدنی هستند (خطیب، ۱۳۷۸)، به طوریکه ساختار رگه‌های معدنی از ساختار بلوک‌های گسلی با اشکال ربموتدری تبعیت می‌کند (نوگل‌سادات، ۱۹۸۵). در مسیر پهنه‌های برش، کمینه شدت دگرشکلی و کانه‌زایی در بخش داخلی پهنه بوده و با نزدیک شدن به سمت حواشی، شدت دگرشکلی افزایش می‌یابد (قربانی، ۱۳۹۰). در این منطقه نیز حضور ماده معدنی ارتباط مستقیمی با شدت دگرشکلی شکنا نشان می‌دهد. در نهایت با توجه به نتایج داده‌های مغناطیسی هوایی و ماهواره‌ای، مناطقی به عنوان هدف در محدوده مورد پیمایش میدانی قرار گرفت و با بیش از ۳۰۰ برداشت از هندسه رگه‌های کانیایی منطقه در ایستگاه‌های مختلف می‌توان گفت که رگه‌ها در کنترل انواع شکستگی‌ها و فضاهای باز حاصل از جنبش پهنه‌های برشی راستگرد موجود در منطقه تشکیل شده‌اند (شکل ۷). موقعیت هندسی این رگه‌ها که به صورت هم‌یوغ حاصل از تقاطع شکستگی‌های فرعی پهنه‌های برشی راستگرد مذکور با راستای شمال‌باختر-جنوب خاور شکل گرفته‌اند N10-80W/15-35NE می‌باشد که در (شکل ۸-ج) نمودار گلسرخی رگه‌های کانه‌دار و پهنه‌های گسلی کانه‌دار نشان داده شده است.

جابه‌جایی سطحی ایجاد شده با خطواره مغناطیسی فوق به طور دقیق منطبق نبوده و یا به دلیل پوشیده بودن محدوده از آبرفت و یا ماهیت سنگ شناسی منطقه، در اصل برداشت نشده است.

۳- گسل‌های شناخته شده بر روی زمین که هیچ‌گونه همخوانی با خطواره مغناطیسی هوایی برای آن‌ها در نظر گرفته نشده است. برای این مورد هم دو حالت می‌توان در نظر گرفت: ممکن است ناهنجاری‌های موجود بر روی نقشه گویای وجود خطواره‌های باشند ولی در تفسیر به عمل آمده توجه کافی به آن نشده باشد و یا تشخیص آن دشوار بوده است. در این حالت با رسم گسل یا شکستگی از روی نقشه زمین شناسی دارای زمین مرجع و یا تصاویر ماهواره‌ای می‌توان این کمبود را جبران نمود. هم چنین امکان دارد گسل‌های شناخته شده تأثیر مهمی بر روی پی‌سنگ نداشته باشد، به طور مثال در ژرفا شیئی نزدیک به افق و حالت قاشقی پیدا کنند که با توجه به فاصله خطوط پیمایش از همدیگر، اثر این گونه گسل‌ها ممکن است به خوبی مشخص نشود. همانطور که در بخش تفسیر داده‌های دورسنجی از آن یاد شد، در مورد بسیاری از خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه و عملکرد فرآیندهای فرسایشی در واحدهای آتشفشانی، حالت دوم صادق است. در (شکل ۳)، خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده در منطقه چشمه خوری که با استفاده از نقشه شدت کل میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب (RTP) و مشتق اول قائم به دست آمده نشان داده شده است. بر اساس اصولی که بیان شد، اقدام به شناسایی و تفکیک خطواره‌های مغناطیسی در منطقه و ترسیم آنها در محیط GIS در کنار ترسیم گسل‌های سطحی موجود در محدوده شده است (شکل ۵). بر اساس نمودار گلسرخی در (شکل ۸-الف)، جهت‌گیری عمده خطواره‌های حاصل از پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی هوایی در راستاهای NW-SE (در دو روند ۳۲۰-درجه ۳۱۰ و ۳۴۰-۳۵۵ درجه) و نیز E-W حاصل می‌شود. علاوه بر این خطواره‌هایی با جهت‌گیری NE-SW در راستای ۰۳۰-۰۴۰ درجه نیز در نقشه مذکور دیده می‌شوند که از فراوانی زیادی برخوردار نیستند و ساختارهایی فرعی محسوب می‌شوند که روندهای ساختاری شاخص منطقه را قطع نموده‌اند. همچنین از تلفیق پردازش تصاویر ماهواره‌ای، خطواره‌های حاصل از دورسنجی و پیمایش‌های میدانی نتیجه می‌شود که عمده درزه و شکستگی‌ها به ترتیب در سه راستای مهم ۲۹۰-۲۷۰ درجه، ۳۱۰-۳۲۰ درجه و نیز NNW رخ داده‌اند (شکل ۸-ب).

بارز شدن خطواره مغناطیسی خاوری-باختری منطبق با حد جنوبی

پهنه برشی چپگرد حاکم بر منطقه

وجود عناصر ساختاری بارز در منطقه نظیر چرخش چپگرد متوالی بلوک‌های سنگی بیانگر تأثیر یک پهنه برشی چپگرد خاوری-باختری بر کل منطقه مطالعاتی چشمه خوری است؛ بنابراین معرفی دو گسل سازنده این پهنه مهم به نظر می‌رسد. با توجه به شناسایی گسل F1 به عنوان حد شمالی پهنه مزبور با هندسه N85W/50N و ریک بردار لغزشی 27E، سازوکار امتدادلغز چپگرد با مؤلفه معکوس و عدم مشاهده گسل جنوبی این پهنه از روی تصاویر ماهواره‌ای، یافتن این گسل از روش‌های دیگر انتظار می‌رفت. لذا پس از بررسی و تحلیل داده‌های مغناطیسی هوایی، با بارز شدن خطواره‌ای خاوری-باختری در جنوب منطقه و تمرکز میدانی بر روی آن، فاکتورهای گسلی با طول تقریبی ۱۰ کیلومتر شناسایی گردید که منطبق بر گسلی بود که برای حد جنوبی پهنه برشی فراگیر انتظار می‌رفت. به طور حتم با وسعت بخشیدن به سطح مطالعات داده‌های مغناطیسی در چارچوب ورق‌های برداشت شده مناطق مجاور محدوده، طول گسل از دو سمت

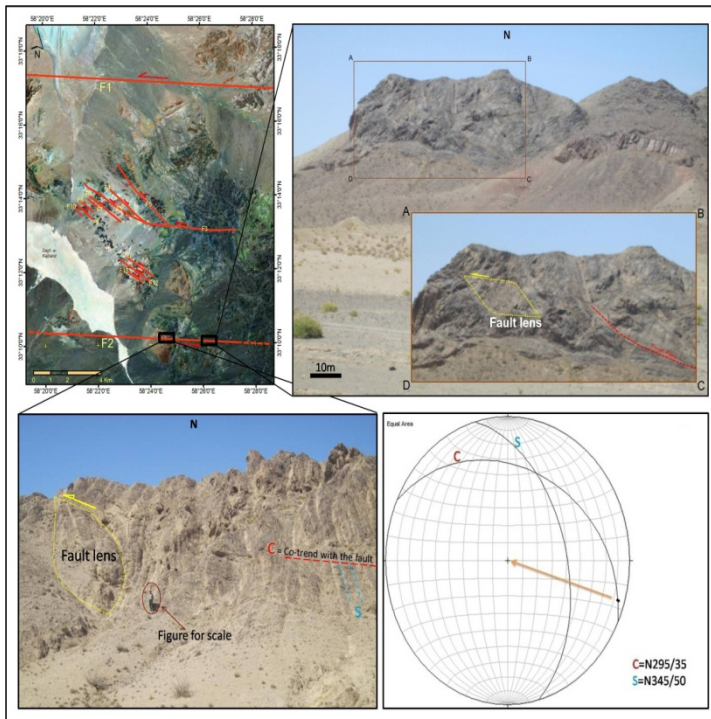
نتیجه گیری

شناسایی پهنه برشی در بر گیرنده منطقه از طریق بارز شدن خطواره واضح مغناطیسی حاصل از تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی و تمرکز مطالعات صحرایی بر روی آن کمک شایانی به حل ابهامات ساختاری و تشخیص فاز کانی‌زایی در کنترل ساختارهای این منطقه نمود. با استفاده از روش فیلترینگ تصویر ETM^+ منطقه و تعیین مناطق با شدت شکستگی بالا از طریق شاخص فاکتور خطواری و انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تلفیق با داده‌های ژئوفیزیک هوایی (رادیومتری اورانیوم، پتاسیم و توریم و شدت میدان مغناطیسی کل) نیز خطواره‌ها و دگرسانی‌های منطقه مطالعه شد و منجر به شناسایی سه روند ساختاری خاور-باختر، شمال‌باختر-جنوب‌خاور و شمال‌خاور-جنوب‌باختر گردید که همپوشانی خوبی با روش قبل داشت. نتایج حاصل در مرحله کنترل‌های صحرایی و نواحی کانه‌دار و مستعد معدنی در راستای شمال‌باختر-جنوب‌خاور و در محل تراکم

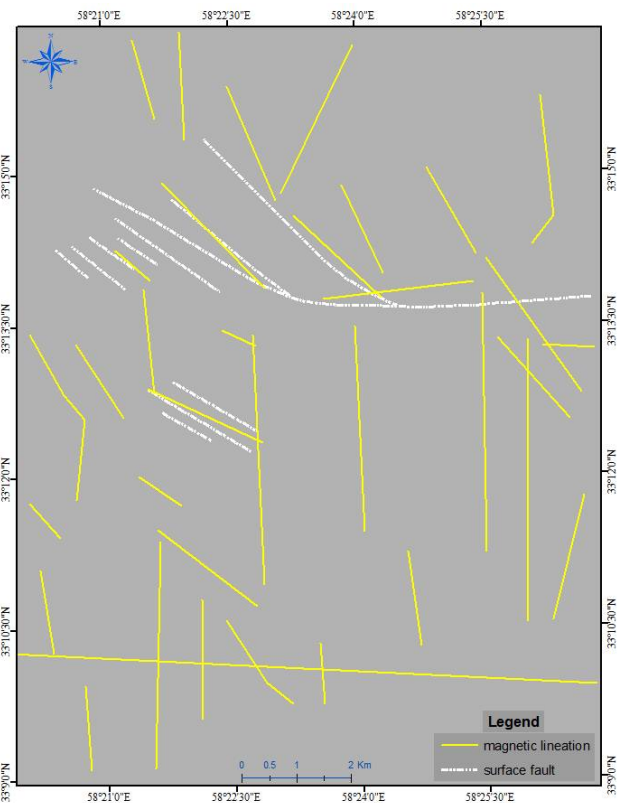
گسل‌ها و شکستگی‌های حاصل از پهنه‌های برشی راستگرد، در قالب رگه‌های تأیید شد. این روش، تلفیق و کاربرد همزمان داده‌های مغناطیس هوایی، ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی به عنوان ابزاری قوی و سودمند برای مطالعات در چنین محیط‌هایی با هدف شناسایی و اکتشاف مواد معدنی پیشنهاد می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق منجر به ورود فاز اکتشافی به فاز مطالعات استخراجی در مناطق هدف محدوده مورد نظر گردید.

سپاسگزاری

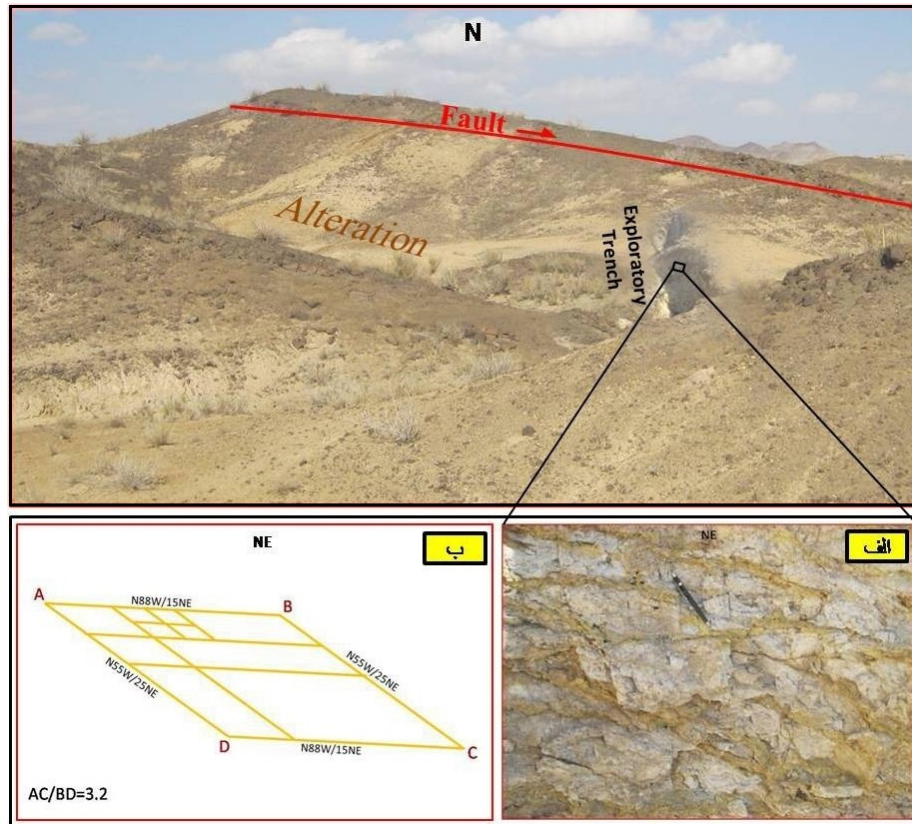
بدین وسیله از سازمان انرژی اتمی کشور در خصوص در اختیار گذاشتن داده‌های مغناطیس هوایی و سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و گروه ژئومتیکس این سازمان به ویژه جناب آقای مهندس اخوان اقدم که نهایت همکاری را در تفسیر داده‌ها داشته‌اند و همچنین جناب آقای مهندس حسام یزدان پناه، صمیمانه قدردانی می‌شود.



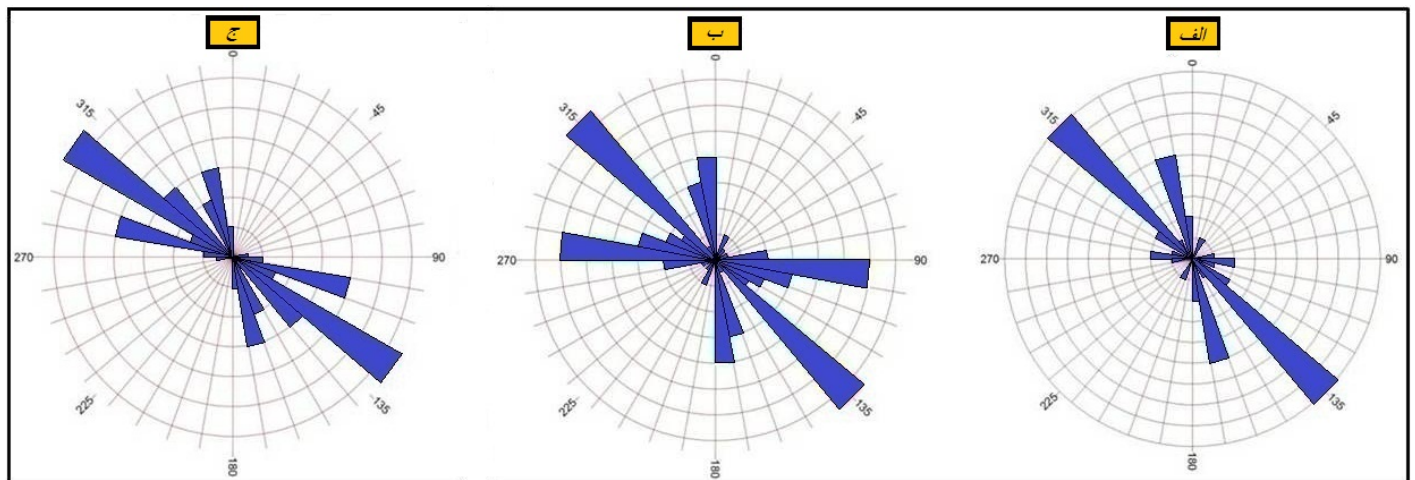
شکل ۶. تعیین کننده‌های سوی برش در مقاطع شرقی و غربی گسل F2؛ الف و ب. بخش‌های عدسی‌مانند نامتقارن به ترتیب در مقاطع شرقی و غربی آندزیت‌ها به همراه رانده شدن واحدها که جهت حرکت را از سمت شرق به غرب نشان می‌دهند، ب- ساخت S-C درون واحدهای توف جنوب منطقه مطالعاتی همراه با استریونوت مربوط به آن که بیانگر سوی برش چپگرد گسل F2 می‌باشد.



شکل ۵. خطواره‌های مغناطیسی حاصل از تفسیر نقشه RTP و مشتق اول قائم (رنگ زرد)، همراه با گسل‌های سطحی استخراج شده از تلفیق داده‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای (رنگ سفید). در بخش جنوبی تصویر خطواره مغناطیسی ممتد با امتداد شرقی-غربی به خوبی مشهود است.



شکل ۷. امتداد گسلی و بروز دگرسانی‌های گسترده در این امتداد و حفر ترانشه اکتشافی بر روی این امتدادها الف- تصویر بزرگنمایی شده که نشان‌دهنده درزه‌های هم‌یوغ ناشی از تلاقی شکستگی‌های ریدل گسل‌های راستگرد منطقه درون ترانشه اکتشافی و تشکیل رگه‌های معدنی است. ب- هندسه شماتیک این رگه‌ها در حواشی بلوک‌های سنگی ناشی از تلاقی شکستگی‌های ریدل.



شکل ۸. نمودار گلسرخی الف- خطواره‌های مغناطیسی حاصل از تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی و ب- مجموع شکستگی‌های دارای جلوه سطحی حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و برداشتهای صحرایی محدوده مورد مطالعه و ج- رگه‌های کانه‌دار و پهنه‌های گسلی کانه‌دار و دگرسان شده.

منابع

- برزگر، ف.، ۱۳۵۷، تفسیر شکستگی های پوسته در ایران به کمک تصاویر ماهواره‌ای. دانشگاه تهران. رساله فوق لیسانس. سازمان زمین شناسی کشور. ص ۳۹-۳۳.
- حاجب حسینی. ح، زمردیان. ح، ۱۳۷۵، ژئوفیزیک هوایی. دانشگاه تهران.
- حسنی پاک. ع. ا، شرفالدین. م.، ۱۳۸۰، تحلیل داده‌های اکتشافی. دانشگاه تهران.
- خطیب. م. م، ۱۳۷۷، هندسه پایانه گسل‌های امتداد لغز (با نگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران). دانشگاه شهید بهشتی. رساله دکترا.
- خطیب. م. م، ۱۳۷۸، ارتباط دگرشکلی برشی و رگه های معدنی در قلعه زری، مجموعه مقالات همایش شناخت توانمندی های معدنی شرق کشور، بیرجند.
- قربانی، م. ع. محجل، م. علیمحمدی، م.، ۱۳۹۰، تحلیل ساختاری پهنه برشی سیه کمر و ارتباط فابریک‌های شکنا با کانه‌زایی طلا (هیرد، جنوب بیرجند)، فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۴۰-۱۵۲.
- کاویانی‌صدر، خ. خطیب، م. م. زرین کوب، م. ح، ۱۳۹۰، تعیین مناطق با شدت شکستگی بالا در منطقه چشمه خوری-شمال غرب بیرجند، با استفاده از شاخص فاکتور خطواری و نسبت‌های باندی ترکیبی ETM^+ ، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- کاویانی‌صدر، خ. خطیب، م. م. زرین کوب، م. ح، ۱۳۹۰، بررسی نتایج حاصل از روش کروستا و آنالیز مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های ETM^+ و تعیین مناطق آلتزه منطقه چشمه خوری-شمال غرب بیرجند، سومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، اهواز.
- کاویانی‌صدر، خ. ۱۳۹۱، اثر کنترل کننده‌های ساختاری در نهشت مواد معدنی منطقه چشمه خوری (شمال غرب بیرجند)، دانشگاه بیرجند. پایان نامه کارشناسی ارشد.
- کریم پور، م. ح. ملکزاده، آ. گل محمدی، ع.، ۱۳۹۱، کانی سازی و اکتشاف مگنتیت به روش مغناطیس سنجی زمینی در محدوده بین باغک و C-شمالی، معدن سنگ آهن خواف، فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۳۸-۵۴.
- لطفی، م.، ۱۳۷۴، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش سارغنج، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- داده‌های مغناطیس هوابرد با دقت یک کیلومتر در ورقه‌های ۱-۷۶۵۶ و ۲-۷۶۵۶، تحت نظارت و مجوز سازمان انرژی اتمی ایران-مدیریت پروژه‌های اکتشاف.
- Korhonen, K., Paanaaen, M. & Paulamaki, S., 2004- Interpretation of lineaments from airborne geophysical and topographic data, Geological Survey of Finland.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. & Meyers, J., 2005- New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand, Science Asia, 31: 283-298.
- Nogole-Sadate, M.A.A., 1985, Les zones de décrochements et les vigrations structurales en Iran, consequences des resultants de lanalyse structurale de la region de Qom, Translated in Persian. Geol. Surv. Iran, Rep. No. 55.
- Phillips, W.J., 1974- The dynamic emplacement of cone sheets, Tectonophysics, 24: 69-84.
- Price, N.J. & Cosgrove, J.W, 1990- Analysis of geological structures, Cambridge University Press, 502 p.
- Sabins, F.F., 1999- Remote sensing for mineral exploration, Ore Geology Reviews, 14: 157-183.
- Silva, A.M., Pires, A.C. & McCaffery, A., 2003- Application of airborne geophysical data to mineral exploration in the uneven exposed terrains of the Rio Das Velhas green stone belt, Revista Brasileira de Geociencias, 33: 17-28.
- Sirvastav, S.K., Bhattacharya, A., Kamaraju, M.V.V., Sreenivasa Reddy, G., Shrimal, A.K., Mehta, D.S., List, F.K. & Burger, H., 2000- Remote sensing and GIS for locating favourable zones of lead-zinc-copper mineralization in Rajpura-Dariba area, Rajasthan, India, International Journal of Remote sensing, 21, N. 17: 3253-3267.
- Sylvester, A.G., 1988, Strike slip faults, Geological Society America Bulletin, volume 100, pp. 1666-1703.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. & Camp, V.E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society America Bulletin, 94: 134-150.
- Williams, A.J., 1979, Foliation development in serpentinite, Golen rock, New south Wales, Tectonics, V.58, pp. 81-95. <http://earth.google.com/support/bin/answer.py?answer=181880&hl=en>