



فصلنامه زمین ساخت

پاییز ۱۳۹۹، سال چهارم، شماره ۱۵

doi: 10.22077/jt.2021.1677

بررسی ارتباط بین گسل ها و درزه ها با کانه‌زایی مس، با استفاده از سنجش از دور و مغناطیس هوایی در منطقه ورزگ (شرق قاین)

فرزاد قاسم پور^{۱*}، توران اسماعیل پور^۲، محمودرضا هیبات^۳، محمدمهدی خطیب^۴

۱- کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۳- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۴- استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

چکیده

محدوده مورد بررسی در ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ قاینات، در ۱۵ کیلومتری شرق قاین، استان خراسان جنوبی واقع شده است. تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی و استخراج خطوط‌های مغناطیسی همراه با پردازش داده‌های ماهواره‌ای دلالت بر جهت‌گیری شکستگی‌ها و عمده ساختارها به ترتیب در سه راستای مهم NW-SE, N-S و NE-SW در منطقه دارد. هدف از این تحقیق بررسی عناصر ساختاری موجود در منطقه از قبیل گسل‌ها، درزه‌ها، رگه‌ها، دایک‌ها و مشخص کردن ویژگی گسل‌های منطقه با تاکید بر پتانسیل کانه‌زایی در ارتباط با گسل‌ها و مشخص نمودن مناطق امید بخش برای اکتشاف مس در منطقه می‌باشد. اعمال یک رژیم فشاری-برشی باعث ایجاد فضای کششی و در پی آن نفوذ محلول‌های گرمابی کانه‌دار و دگرسانی‌های گسترده شده است. با توسعه رخساره شیبست سبز در منطقه سیلیس و کربنات آزاد شده و حفرات توسط مالاکیت (اکسیدمس) جایگزین شده که به طور گسترده باعث تشکیل نودل‌های مالاکیتی در داخل واحد‌های آندزیتی شده است. محل برخورد درزه‌ها و گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه (گسل‌هایی با راستای شمال غرب- جنوب شرق و درزه‌هایی با راستای شمال شرق- جنوب غرب) دارای کانی‌سازی با عیار بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قاین، سنجش از دور، مغناطیس هوایی، کانه‌زایی، مس



Investigation of the relationship between faults and joints with copper mineralization, using Remote Sensing and magnetism in Vorezg region (east of Ghaen-Birjand)

Ghasempour .E ^{1*}; Esmaeilpour .T ² ; Heyhat .M.R ³ ; Khatib .M.M ⁴

^۱- M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Birjand University, Birjand, Iran

^۲- M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Damghan University, Damghan, Iran

^۳ - Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Birjand University, Birjand, Iran

^۴ - Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Birjand University, Birjand, Iran

Abstract

The study area is located in sheet 1: 100,000 Ghaenat, 15 km east of Ghaen, South Khorasan province. Interpretation of aerial magnetic data and extraction of magnetic lines along with processing of satellite data indicate the orientation of fractures and major structures in three important directions NS NW-SE, and NE-SW in the region, respectively. The purpose of this study is to investigate the structural elements in the region such as faults, joints, veins, dikes and to determine the characteristics of faults in the region by emphasizing the mineralization potential of faults and to identify promising areas for copper exploration in the region. The application of a compressive-shear regime creates a tensile space followed by the infiltration of mineralized hydrothermal solutions and extensive alterations. With the development of green schist facies in the area, silica and carbonate are released and the cavities are replaced by malachite (copper oxide), which has led to the formation of malachite nodules within andesitic units. The junction of joints and faults in the study area (faults with northwest-southeast direction and joints with northeast-southwest direction) has high grade mineralization.

Keywords: Qaen, Remote Sensing, Aerial Magnetism, Mineralization, Copper



سکوی ترا نصب شده است از سال ۱۹۹۹ میلادی تصاویر چند طیفی را به زمین مخا بره می نماید (Abrams, 2002). این سنجنده در ۱۴ باند طیفی تصویر برداری می نماید. سه باند طیفی اول که با نام مرئی و فرورسرخ (مادون قرمز) نزدیک شناخته می شوند در طول موجهای بین $0.56 - 0.86 \mu m$ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، شش باند طیفی دوم که به تصاویر فرورسرخ کوتاه موج معروفند، در طول موجهای $1.6 - 2.43 \mu m$ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند سوم که با عنوان تصاویر مادون سرخ حرارتی شناخته می شوند در طول موجهای $11.65 - 12.5 \mu m$ با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر، دریافت می شوند (Abrams, 2002). استر نخستین سنجندهای است که دارای باندهای حرارتی با قدرت تفکیک طیفی مناسب است. این سنجنده در طول یک روز ۵۰۰ تصویر $60 \times 60 km$ را برداشت می کند (Ninomiya, 2005). اما این سنجنده ابزاری را در اختیار دارد که با انحراف زاویهای ($\pm 24^\circ$) قابلیت گسترش عرض تصویر تا ۲۳۲ کیلومتر را دارد (Fujisada, 1995).

سنجنده نقشه بردار موضوعی پیشرفته یا ETM+ آخرین سنجنده قرار گرفته بر روی ماهواره لندست ۷ (پرتاب شده در سال ۱۹۹۹ است) این سنجنده دارای ۸ باند طیفی است. باند ۸ پانکروماتیک بوده و قدرت تفکیک مکانی آن ۱۵ متر است. باند ۶ با قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر در طول موج حرارتی تصویر برداری می کند. باندهای ۱ تا ۵ و ۷ این سنجنده در محدوده $2.35 - 0.45 \mu m$ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر هستند. ابعاد تصاویر این سنجنده 185×185 کیلومتر است (Lillesand et al., 2004).

تصاویر سنجنش از دور دو کاربرد عمده در اکتشاف مواد معدنی دارند (Sabins, 1999) که عبارتند از:

شرق ایران و همچنین بلوک لوت به سبب دارا بودن سیستم های گسلی وساختارهای زمین ساختی فراوان و پیچیده، همواره مورد توجه زمین شناسان بوده است. اما از آنجایی که این بلوک بسیار وسیع می باشد، بررسی های انجام شده در این پهنه به سبب پیچیده بودن تاریخ زمین ساختی آن کافی نیست. لذا با توجه به اینکه جایگاه تشکیل و فضای نهشت اکثر ذخایر در ارتباط با گسل ها وساختارهاست و به طور کلی محل برخورد گسل ها و همچنین محل برخورد شکستگی های فرعی حاصل از پهنه های برشی میتواند مکان مستعدی برای نفوذ ماگما و محلولهای کانه دار و کانه زایی باشد (کاویانی صدر وهمکاران، ۱۳۹۴). بنابراین مطالعه ساختاری و هندسی گسل های منطقه در سطح و تعمیم آن به عمق می تواند گام موثری در اکتشاف صحیح پتانسیل های معدنی به حساب آید.

روش های دورسنجی امکان شناسایی و اکتشاف مقدماتی را برای محدوده های وسیع با دقت و سرعت بالا و هزینه پایین امکان پذیر می سازند. در واقع با پردازش داده های ماهواره ای و با مشخص کردن ساختارهای خطی، حلقوی و تعیین ارتباط آنها با واحدهای سنگ شناختی و پهنه های دگرسانی می توان به شناسایی بی هنجاریهای یک منطقه پیش از مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی پرداخت. اطلاعات با ارزشی که از تصاویر ماهواره ای در کمترین زمان ممکن نسبت به دیگر روشهای اخذ اطلاعات زمین شناسی و اکتشافی حاصل می شود، اهمیت استفاده از این روش در اکتشاف کانسارها را بیش از پیش آشکار ساخته است (کاویانی صدر، ۱۳۹۱). نقشه برداری زاویه طیفی از کانیهای مناطق دگرسان شده و شناسایی مناطق با شکستگی بالا از مهمترین کاربردهای دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی است. سنجنده استر که بر روی



۱: تهیه نقشه زمین‌شناسی و شناسایی گسلها و شکستگی‌هایی که نهشته‌های معدنی را در بر دارند.

۲: شناسایی سنگهای دگرسان شده بر اساس ویژگیهای طیفی آنها.

از کانیهای موجود در دگرسانی‌های ناشی از کانسارهای مس پورفیری می‌توان به بیوتیت، سریسیت، کائولینیت، اپیدوت، کلسیت و کلریت اشاره کرد (Lowel & Guilbert, 1970). بیشتر این کانیها را می‌توان با استفاده از روشهای سنجش از دور بارزسازی نمود. یکی از مزایای روش سنجش از دور به حداقل رساندن بررسی‌های سطحی، به‌ویژه در مناطق غیر قابل دسترسی بر اساس اطلاعات طیفی به دست آمده از نقاط دیگر با کانی‌سازی معلوم است (Abrams, 2002).

از تصاویر استر به منظور نقشه برداری از مناطق دگرسان شده استفاده نموده‌اند. این پژوهشگران از روشهای نسبت‌های بانندی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، ترکیبات دروغین رنگی، نقشه بردار زاویه طیفی و تجزیه طیفی کانیها به منظور بارزسازی مناطق دگرسان شده و تفکیک واحدهای سنگی استفاده نموده‌اند. به کارگیری روش تقسیم بانندی برای بارزسازی عوارض خاص در داده‌های چندطیفی مناسب است. از روش یادشده برای کاهش اثرات روشنایی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود (Gupta, 2003) برای شناسایی مناطق دگرسان شده گرمایی دو نشانه خوب که در تصاویر ماهواره‌های قابل شناسایی هستند وجود اکسید آهن و کانی‌های هیدروکسیل (اکسیژن با هیدروژن در مولکول آب، پیوند هیدروژن برقرار کند) است (گزارش ارزیابی داده‌های ژئوشیمیایی، سازمان زمین‌شناسی (۱۳۸۰). و البته از ارتباط مناطق دارای شکستگی نیز می‌توان برای اکتشاف کانسارها استفاده نمود. در کانسارهای مس پورفیری، کلاهی‌های

آهنی (گوسان) بر روی زونهای پتاسیک و فیلیک تشکیل می‌شوند و بنابراین نشانه خوبی برای شناسایی نهشته‌های پورفیری هستند. با توجه به این که کلاهی‌های آهنی (گوسان) دارای مقادیر زیادی از اکسیدهای آهن هستند، بنابراین در تصاویر دورسنجی با استفاده از بارزسازی کانی‌های اکسیدهای آهن می‌توان به دنبال این پدیده‌ها گشت. با توجه به اینکه که سنجنده ETM^+ دارای یک باند در محدوده جذب (باند ۱) و یک باند در محدوده بازتاب بالای اکسیدهای آهن است (باند ۳). انتظار می‌رود که مناطق با اکسید آهن را بهتر از سنجنده استر مشخص سازد. ولی برای بارز نمودن کانیهای رسی و مسکوویت که در دگرسانی‌های گرمایی دیده می‌شوند سنجنده استر به دلیل باندهای طیفی بیشتر مناسبتر است Kruse et al. (1992) و Yuhas et al. (2003). روش نقشه بردار زاویه طیفی را برای شناسایی کانیها با استفاده از مقایسه طیف‌های مرجع و طیف‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌های معرفی کردند. هدف از این تحقیق مشخص کردن ویژگی‌های گسل‌های منطقه با تاکید بر پتانسیل کانه‌زایی در ارتباط با گسل‌ها و مشخص نمودن مناطق امید بخش برای اکتشاف مس در منطقه وهمچنین شناسایی و تحلیل گسل‌ها، شکستگی‌ها، چین خوردگی‌ها، خطواره‌ها و ساز و کار گسلها و تأثیر گذاری این گسلها بر منطقه مورد مطالعه است.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

واحدهای سنگی اصلی که در این محدوده رخنمون دارند عبارتند از: (جمع و همکاران، ۱۳۸۵)

- سنگ‌های رسوبی آهکی و آواری (کرتاسه پائینی

تا بالائی)

- رسوبات فلیشی و توریدیتی

می توان به دگرسانی سربستی، کلریتی، سیلیسی، کربناته و اکسیدهای آهن اشاره نمود.

در این منطقه، کانی سازی به صورت ملاکیت، در دو واحد آندزیت بازالت مگاپورفیری و آندزیت بازالت سبز رنگ وجود دارد. کانی سازی بیشتر به صورت رگه و رگچه ای و افشان در میان گدازه های آندزیتی - بازالتی وجود دارد و نمود سطحی آن شامل کانی سازی افشان و خطی ملاکیت است.

سنگ های آذرین خروجی

تناوب آگلومرا و توف خاکستری

سن واحد سنگی تناوب آگلومرا و توف خاکستری پالتوسن - ائوسن می باشد. این واحد در سطح رخنمون به رنگ خاکستری روشن تا کمی تیره و قطعات و زمینه بازالت تا تراکی بازالتی است که قهوه ای تا بنفش و حتی سبز نیز دیده می شود. واحد توف خاکستری در این تناوب نسبتاً نازک لایه می باشد به گونه ای که در این واحد تفکیک آگلومرا و توف امکان پذیر نمی باشد (شکل ۱).

- سنگ های آتشفشانی حدواسط تا بازیک و سنگ های آذرآواری با ترکیب آندزیت آندزیت بازالت، تراکی بازالت، توف و آگلومرا سنگ های آتشفشانی این محدوده مربوط به فورانهای پالتوسن - ائوسن زیرین می باشند.

- سنگ های رسوبی کنگلومرای (پالتوسن - ائوسن زیرین)

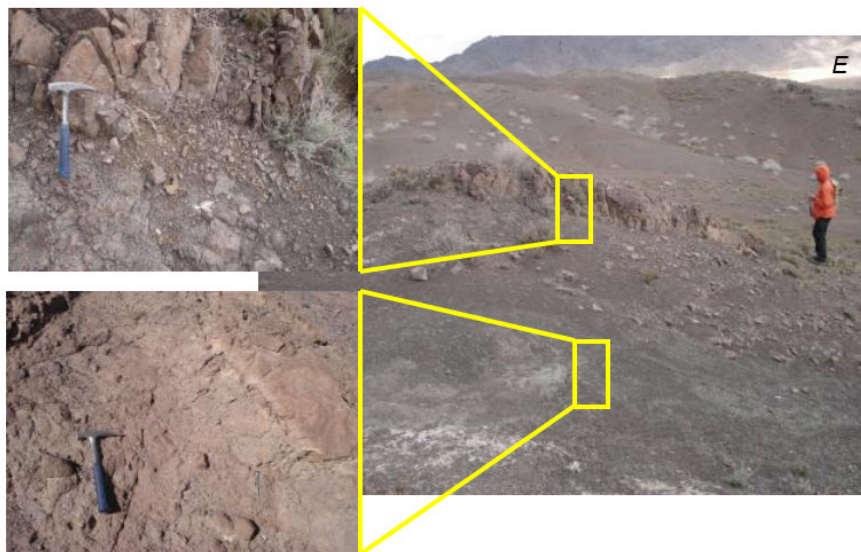
- سنگ های رسوبی و رسوبی آتشفشانی (ائوسن میانی - ائوسن بالایی)

- پادگانه های آبرفتی قدیمی و جوان (کواترنری)

- دایک آندزیتی و سیل (پالتوسن - ائوسن)

- تراورتن (پالتوسن - ائوسن)

گسترش مناطق دگرسانی در محدوده ورزگ کم بوده و غالباً در ارتباط با گسل های اصلی منطقه (گسل های شمالی - جنوبی و شمال غرب - جنوب شرق)، می باشند. دگرسانی ها عمدتاً در ارتباط با سنگ های آندزیتی و آندزیت بازالت هستند. از زون های دگرسانی در محدوده



شکل ۱: تناوبی از توف و آگلومرا در منطقه مورد مطالعه (عکس بالا سمت چپ، آگلومرا و عکس پایین سمت چپ، توف)



مانندی در قسمت‌هایی از این واحد که حاصل فرسایش است مشاهده می‌شود (جمع و همکاران، ۱۳۸۰).

آندزیت تا آندزیت پورفیری

سن این واحد براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ قاین، پالئوسن - ائوسن می‌باشد. این واحد تقریباً ۶۰٪ مساحت محدوده را به خود اختصاص داده است. رخنمون این واحد در سطح هوازده به رنگ قهوه‌ای و در سطح تازه بنفش متمایل به قهوه‌ای می‌باشد. این واحد سنگی دارای بافت پورفیریتیک با خمیره هیالومیکروولیتی است. بلورهای پلاژیوکلاز آن به صورت شکل‌دار و در اندازه چند میلی‌متر قابل مشاهده است. الیون و پیروکسن نیز در مقطع سنگ مشاهده شد. بلورهای الیون تا حد زیادی به سرپانتین و ایدنگسیت تبدیل شده‌اند و بلورهای فلدسپار نیز تقریباً سالم هستند. حفراتی در سنگ مشاهده می‌شود که توسط کلسیت، کلریت و زئولیت پر شده است. در بعضی قسمت‌های این واحد آندزیت پورفیری تا مگاپورفیری رخنمون دارد ولی از آنجا که وسعت این قسمت‌ها کم، ناچیز و یا به صورت تدریجی می‌باشد، قابل تفکیک نیست. شکل ۲ نمایی از رخنمون سنگی را نشان می‌دهد (جمع و همکاران، ۱۳۸۳).



شکل ۲: نمایی از رخنمون سنگی واحد آندزیت و آندزیت پورفیری (تصویر بالا سمت راست آندزیت مگاپورفیری را نشان می‌دهد)

در این واحد یک سری سیل‌ها و دایک‌های تراکی آندزیتی با روند تقریباً شمالی - جنوبی، رگچه‌هایی از کلسیت نیز مشاهده می‌شود، ولی هیچ‌گونه کانی‌سازی مس در آن رخنمون ندارد. قسمت آگلومرایی این واحد بیشتر از قطعات گرد شده و به مقدار کمتر نیز قطعات زاویه‌دار تشکیل شده است. ابعاد این قطعات از حدود چند سانتی‌متر و حداکثر ۴۰ سانتیمتر در نوسان است. قطعات زاویه‌دار معمولاً درشت و قطعات گرد شده کوچکترند.

بازالت

سن این واحد پالئوسن - ائوسن می‌باشد که بیشتر به رنگ خاکستری دیده می‌شود. این واحد سنگی دارای بافت پورفیریتیک بوده که اغلب توسط سیلیس و بعضاً کلسیت پر شده‌اند. پرشدگی حفرات با سیلیس، باعث تشکیل آگات‌ها و نودل‌های سیلیسی شده است. این واحد سنگی حاوی الیون کاملاً اکسیده و به ندرت پیروکسن می‌باشد، و از کانی‌های ثانویه نیز سیلیس و کربنات قابل ذکر هستند.

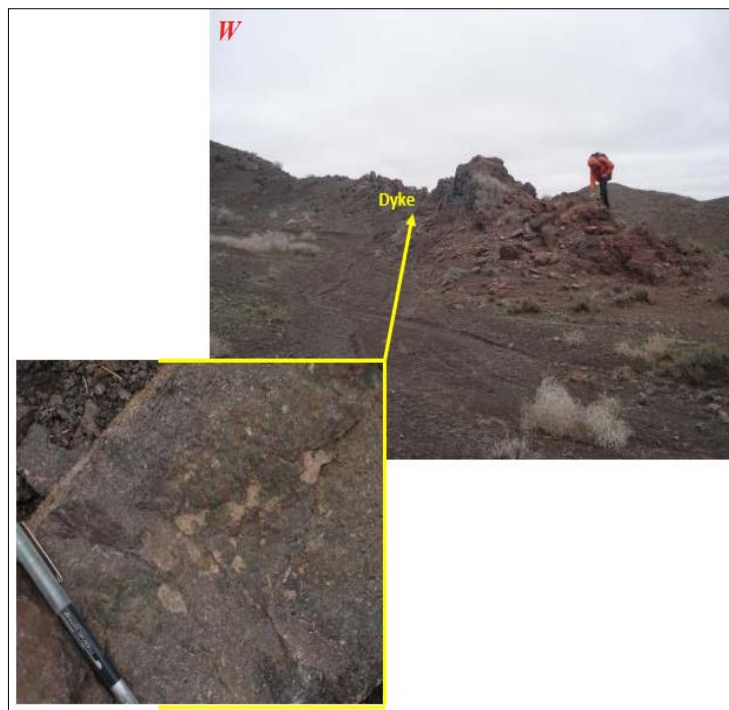
تراکی بازالت

این واحد سنگی دارای سن پالئوسن - ائوسن می‌باشد و بیشتر به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شود که دارای بلورهای پلاژیوکلاز به صورت فنوکریست می‌باشد. پیروکسن و الیون نیز در سنگ دیده می‌شود، پلاژیوکلازها به نحو قابل ملاحظه‌ای دگرسان شده و به کانی‌های رسی و سریسیتی تجزیه شده‌اند. حفرات موجود در سنگ توسط سیلیس و کربنات پر شده است. حفرات زیاد موجود در سنگ که قطر آن‌ها بعضاً به ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد، حاصل سرد شدن سریع آن می‌باشد. پر شدن ثانویه این حفرات با سیلیس باعث تشکیل آگات‌های کروی شکل شده که پس از فرسایش تراکی بازالت از آن جدا شده و در سطوح هوازده مشاهده می‌شود. حفرات تونل

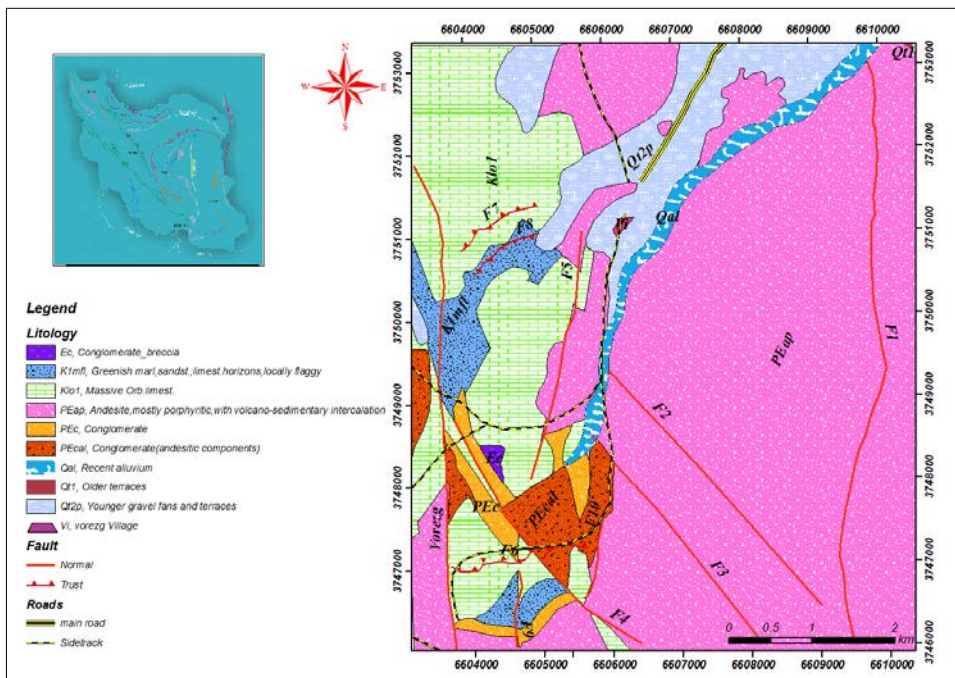
دایک و سیل‌ها

به صورت جزئی به کانی‌های رسی و سرسیت تجزیه شده و پیروکسن‌ها نیز به صورت کامل توسط کلریت جانشین شده است. زمینه سنگ به صورت نامتجانس به کانی‌های اکسید آهن آغشته‌گی دارد. این دایک و سیل‌ها دارای روند تقریباً شمالی - جنوبی هستند که در محل کشش به سمت بالا حرکت کرده اند. دایک‌های آندزیتی در امتداد این شکستگی‌ها به داخل توده‌های ولکانیک قدیمی تر نفوذ کرده اند و در حاشیه گسل F1 و vorezg رخمون پیدا کرده‌اند. (شکل ۳) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۴) (جمیع و همکاران، ۱۳۸۳).

دایک‌ها و سیل‌های مشاهده شده در منطقه از نظر پیدایش و جنس در یک گروه قرار می‌گیرند. هر دوی آنها دارای ترکیب حد واسط می‌باشند و تراکی آندزیت هستند که ضخامت آنها از چند ده سانتی متر تا ۱۰ متر نیز می‌رسد. این دایک‌ها و سیل‌ها با رنگ قرمز هماتیتهی دارای بافت پورفیریتیک با زمینه میکرولیتی و اغلب جریانی می‌باشند. بلورهای شکل دار پلاژیوکلاز با حواشی خرد شده در سنگ حضور دارند و رگچه‌های کانی اکسید آهن نیز به وفور مشاهده می‌شود. در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها



شکل ۳. نمونه‌ای از دایک تراکی آندزیتی محدوده مورد مطالعه



شکل ۴: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (تصحیح شده از نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش قاین (اشوکلین و همکاران، ۱۳۴۸)

روش کار

جهت‌های خاص مورد نظر کاربر، واضح تر می‌کنند. برای بارزسازی خطواره‌ها در تصاویر ماهواره‌ای از دو دسته فیلتر جهت دار (Directional) و بدون جهت (Laplacian) استفاده می‌شود (Wester, 1992).

پردازش تصاویر ETM+ و Aster

تعیین مناطق با شدت شکستگی بالا با استفاده از شاخص فاکتور خطوارگی و نسبت های بانندی ترکیبی ETM+ و Aster

فیلترهای بدون جهت (Laplacian)

فیلترهای بدون جهت، خطواره‌ها را در تمام جهت‌ها، به جز آنهایی که در جهت حرکت فیلتر قرار دارند، آشکارسازی می‌کنند. در این روش، یک ماتریس که شامل آرایه‌هایی از ضرایب یا عوامل وزنی است، و به آن کرنل (Kernel) گفته می‌شود؛ ایجاد می‌گردد. تعداد سطر و ستون‌های موجود در این ماتریس فرد می‌باشد (۳*۳ یا ۵*۵) معمولاً برای تصاویر ناهموار، فیلترهایی با کرنل کوچک (۳*۳)، و برای تصاویر هموار فیلترهایی با کرنل بزرگ (۹*۹)، اعمال می‌شود. یک عدد صحیح مثبت، در مرکز این ماتریسها قرار می‌گیرند و عددهای ۱- و ۰ در

تهیه نقشه گسل‌ها، درزه‌ها و سایر عوارض خطی، بهترین راه برای تحلیل ساختاری خطوارگی‌ها می‌باشد. معمولاً خطوارگی‌های تصاویر ماهواره‌ای به راحتی قابل تشخیص نیستند، به همین دلیل باید آنها را با استفاده از پردازش تصاویر واضح ساخت. برای بارزسازی خطواره‌ها از فیلترهای خاصی، استفاده می‌شود. این فیلترها به لبه و حاشیه در برگیرنده تصاویر ماهواره‌ای اهمیت داده و عوارض خطی مثل شکستگی و گسلها را آشکار می‌کنند. (Lillesand and Keifer 2015) به عبارت دیگر باید گفت فیلترها در واقع ماتریسهایی هستند که تصاویر را در

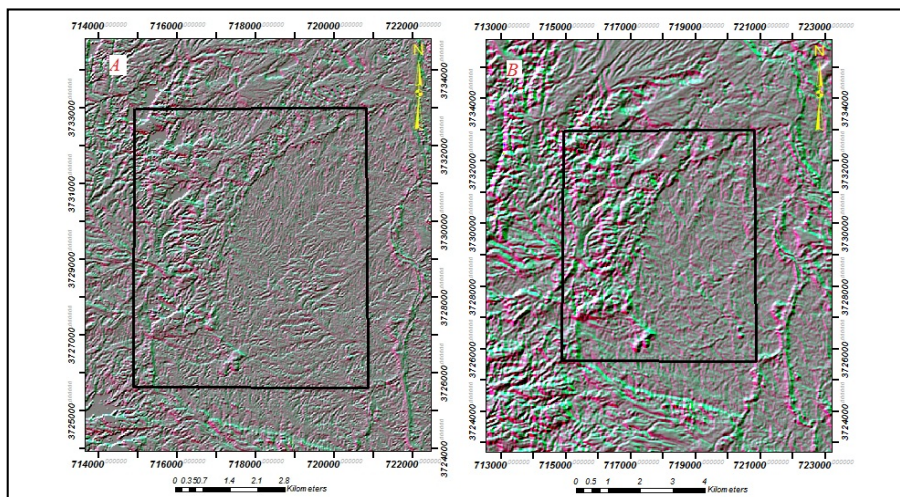
زایی در هر ناحیه‌ای گسلس و شکستگی‌های موجود می‌باشند که در واقع راهی برای نفوذ سیالات کانه دار هستند. با توجه به ترسیم گسل‌های موجود در منطقه (بر روی نقشه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰) و مشاهدات صحرائی، جهات بیشتر گسل‌های منطقه در زوایای ۳۶۰ درجه می‌باشد (شکل ۹). به منظور جدا سازی بهتر خطواره‌ها، از روش فیلترینگ تصویر +ETM و ASTER منطقه توسط کرنل-های ماتریسی ۳×۳، در سه جهت عمده خطواره‌های منطقه (۴۵، ۹۰ و ۳۶۰ درجه) استفاده شد.

برای بارزسازی خطواره‌های منطقه از تصاویر سنجنده ETM^+ ، در باند پانکروماتیک (باند ۸)، از سینهای ۱۵۹-۳۷ با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر و تصاویر ASTER منطقه در باند ۱ استفاده شده است. و با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه قاین تصحیح هندسی و سپس رادیومتریکی روی آنها صورت گرفت. فیلترهای نمایش داده شده در کرنل‌های بالا بر تصویر باند ۸ اعمال شدند، سپس سه تصویر به دست آمده در سه باند R، G و B با هم ترکیب و یک تصویر رنگی کاذب تهیه گردید. در نتیجه این عمل خطواره‌ها در هر یک از جهات با رنگ متمایز مشخص شده‌اند. (شکل ۵).

اطراف آن قرار می‌گیرند. این ماتریس در روی پنجره‌های (مربع‌های هم اندازه) از تصویر قرار می‌گیرد که حاوی $n \times n$ پیکسل باشد. مقادیر آرایه‌های این ماتریس، در مقادیر پیکسل‌های متناظر ضرب می‌شوند. سپس عدد به دست آمده با عدد موجود در مرکز فیلتر جمع جبری می‌شود، و مقدار آن برای پیکسل مرکزی فیلتر منظور می‌شود. سپس فیلتر به اندازه‌ی یک پیکسل جابه‌جا شده و دوباره این محاسبات انجام می‌شود. در نتیجه این عمل مقادیر پیکسل‌های جدید، با مقادیر اولیه متفاوت می‌شوند و تقابل بین پیکسل‌های خطواره با پیکسل‌های زمینه بیشتر می‌شوند و بدین ترتیب خطواره‌ها واضح می‌شوند.

فیلترهای جهت دار (Directional)

این فیلترها برای بارزسازی خطواره‌هایی که دارای روند خاصی هستند، استفاده می‌شوند و کاربرد آنها بیشتر در مسائل زمین شناسی است. عددهای موجود در کرنل، طوری انتخاب می‌شوند، که خطواره‌ها را در جهت خاصی واضحتر سازند. روش کار این فیلترها مانند فیلترهای بدون جهت است. این روش از شاخص فاکتور خطوارگی به وسیله عواملی از قبیل طول، تعداد و تقاطع خطواره‌ها در هر محدوده کنترل می‌شود. یکی از عوامل مهم مؤثر در کانه

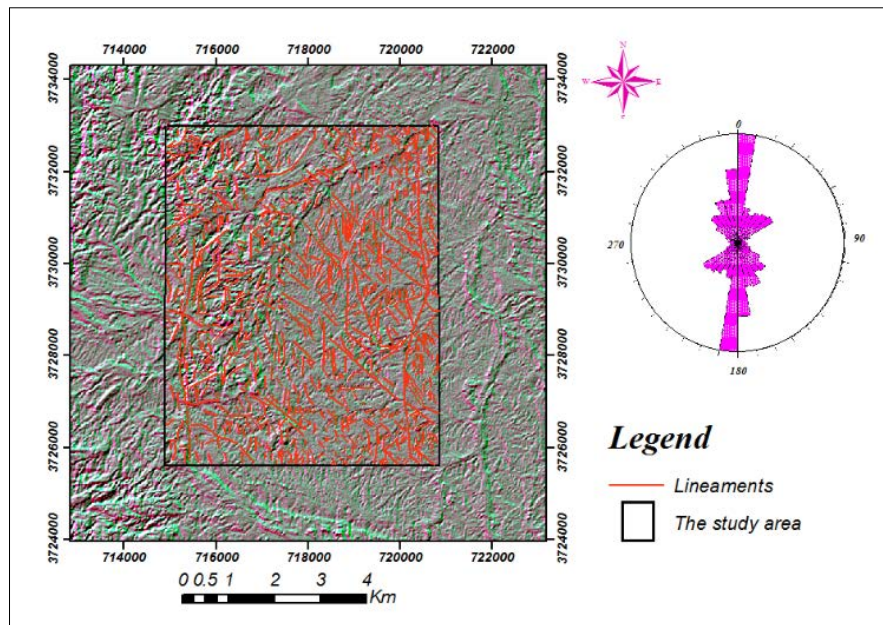


شکل ۵: بارزسازی خطواره‌های منطقه با روش فیلترینگ - تصویر RGB از سه تصویر فیلترینگ در جهت ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۳۶۰ درجه. کادر مشکی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. A تصویر ASTER و B تصویر ETM^+



از اعمال فیلترهای ذکر شده تصویر تولید شده به محیط نرم افزار GIS انتقال داده شد. و خطواره‌های مختلف که در جهت‌های ذکر شده مشخص شده‌اند رسم شد و رز دیاگرام خطواره‌های رسم شده نیز رسم شده است (شکل ۶) و با انطباق این تصاویر با نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و بازدیدهای میدانی گسل‌های اصلی منطقه مشخص شد (شکل ۲۰).

شکل ۵ خطوط در جهت شمال-جنوب را با رنگ صورتی، خطواره‌های موجود در جهت شمال شرق-جنوب غرب را با رنگ سفید، خطواره‌های موجود در جهت شرق-غرب با رنگ قرمز و خطوط در جهت شمال غرب-جنوب شرق را با رنگ سبز نشان داده است. پیمایش‌های میدانی، انطباق دو روند شمال-جنوب و شمال غرب-جنوب شرق را با گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه به اثبات رساند. بعد



شکل ۶. شکستگی‌های رسم شده منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر فیلتر شده رز دیاگرام آنها

شناسایی هستند وجود اکسید آهن و کانیهای هیدروکسیل است و البته از ارتباط مناطق دارای شکستگی نیز می‌توان برای اکتشاف کانسارها استفاده نمود. در کانسارهای مس پورفیری، کلاهک‌های آهنی (گوسان) بر روی زونهای پتاسیک و فیلیک تشکیل می‌شوند و بنابراین نشانه خوبی برای شناسایی نهشته‌های پورفیری هستند. مهم‌ترین کانی‌هایی که در دگرسانی‌های سطحی در ارتباط با کانه‌زایی قابلیت بارز شدگی توسط تصاویر پردازش شده را دارند کانی‌های رسی و اکسید آهن می‌باشند که حضور هر دوی این کانی‌ها با هم مد نظر قرار داده می‌شود. بدین منظور با توجه به طیف‌های انعکاسی این کانی‌ها، دو تقسیم‌بندی ۵/۷

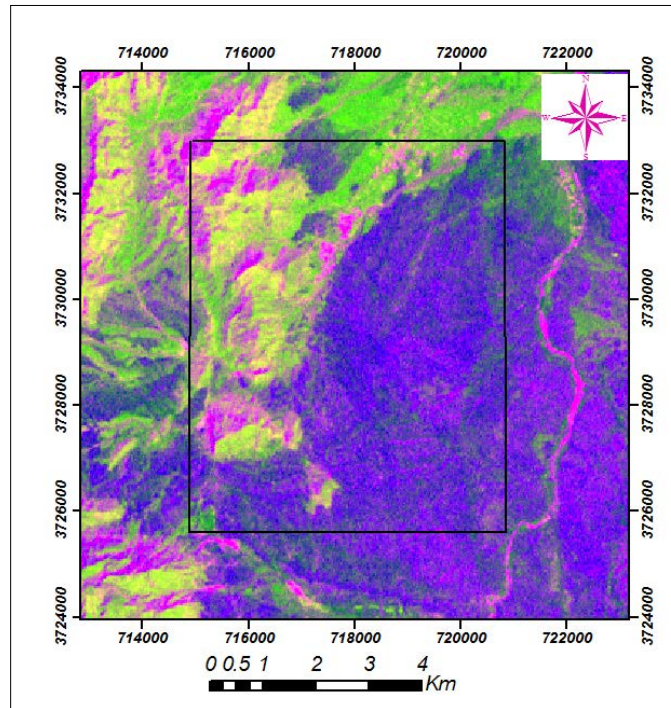
پردازش تصاویر Aster و ETM⁺ برای شناسایی مناطق دگرسان شده

ترکیب نسبت‌های بانندی برای یافتن مناطق دگرسانی

به کارگیری روش تقسیم‌بندی برای بارزسازی عوارض خاص در داده‌های چندطیفی مناسب است. از روش یادشده برای کاهش اثرات روشنایی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود. (Gupta, 2003). برای شناسایی مناطق دگرسان شده گرمابی دو نشانه خوب که در تصاویر ماهواره‌های قابل

و از تلفیق تصاویر به دست آمده از این تقسیم باندی‌ها در تصویری جداگانه به وسیله عمل جمع پیکسل‌ها تصویر دگرسانی سطحی منطقه حاصل شد. (شکل ۷).

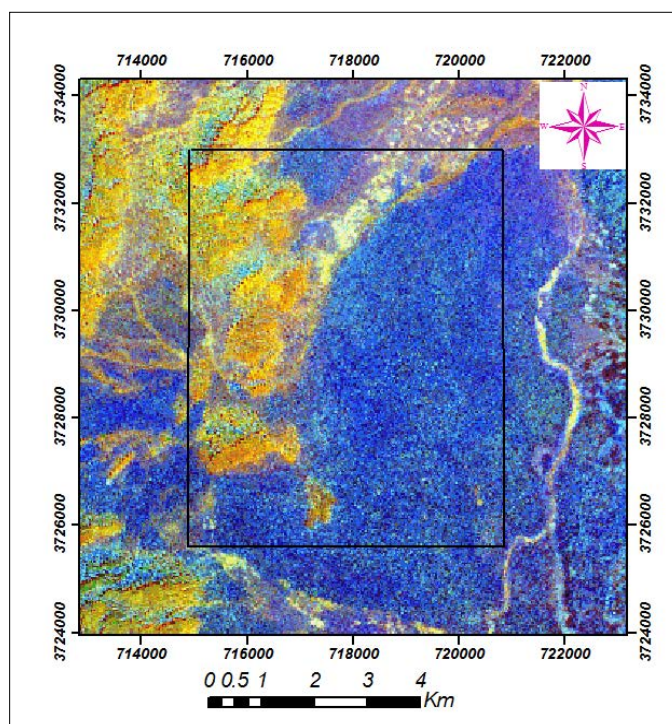
و ۳/۱ به ترتیب برای کانی‌های رسی و اکسید آهن بر روی تصویر ETM^+ منطقه انجام شد (Tommaso & Rubinstein, 2007). و به ترتیب در باند R و باند G قرار گرفت. و مجموع این دو نسبت باندی در باند B قرار داده شد



شکل ۷: تصویر حاصل از ترکیب نسبت‌های باندی ۳/۱، ۵/۷، و مجموع این دو نسبت در تصاویر ETM^+ جهت نمایش مناطق حاوی سنگ‌های بازیگ (به رنگ آبی)، مناطق دارای اکسید آهن (به رنگ قرمز صورتی) و کانی‌های هیدروکسیل‌دار (به رنگ سبزپسته ای)

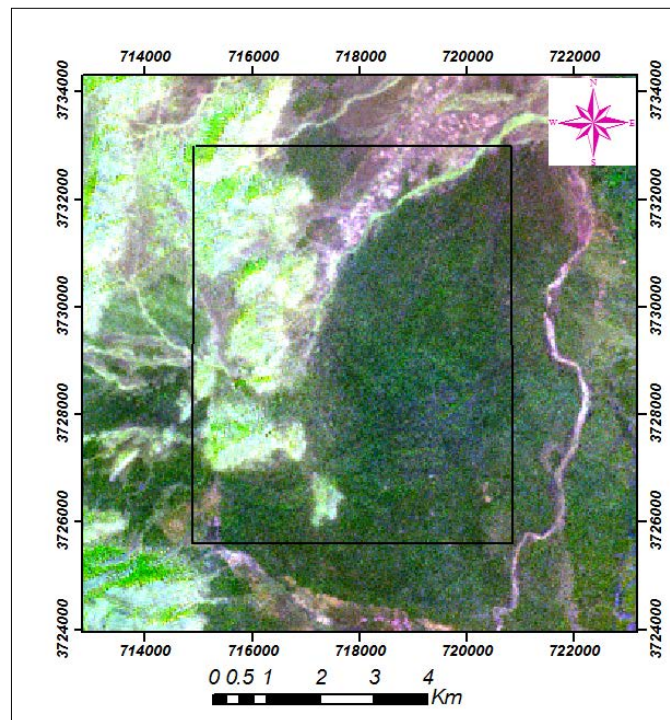
دارای رس به رنگ روشن (اغلب سفید) دیده می‌شوند (شکل ۸).

برای تصاویر استر با توجه به حضور کانیهای رسی مونتموریلونیت، کائولینیت و ایلیت و کانی سربست در دگرسانیهای گرمابی از شاخص‌های طیفی موجود در منحنی طیفی این کانیها برای انتخاب نسبت باندی مناسب می‌توان استفاده نمود. برای بارزسازی کانی سربست دگرسانی چیره منطقه و کانیهای رسی می‌توان از نسبتهای باندی ۴/۹ در قرمز، ۴/۶ در سبز و ۷/۶ در آبی از سنجنده استر استفاده شده است (Tommaso & Rubinstein, 2007) که در غرب تصویر مناطق دگرسان شده که توسط گسل ورزق از توده نفوذی (رنگ آبی) جدا شده است و به رنگ آجری و مناطق



شکل ۸. نسبت‌های بانندی ۴/۹ در قرمز، ۴/۶ در سبز و ۷/۶ در آبی از سنجنده استر مناطق دگرسان شده (رنگ آجری) که توسط گسل‌های اصلی از توده نفوذی (رنگ آبی) جدا شده است.

ترکیب رنگی نسبت‌های بانندی می‌تواند اطلاعات بیشتری را در ارتباط با دگرسانی‌های مختلف در اختیار قرار دهد. در شکل ۹ کانی‌های سریسیت و رسی، کلریت، اپیدوت، کلسیت و سرپانتینیت موجود در منطقه با استفاده از یک تصویر ترکیب رنگی نسبت‌های بانندی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ از باندهای سنجنده استر نشان داده شده است (Tommaso & Rubinstein, 2007). در این تصویر مناطق حاوی کانیهای سریسیت و رسی با پیکسل‌های روشن و در اطراف آنها کانی‌های زون پروپلیتیک با رنگ سبز دیده می‌شوند (زون دگرسانی فلیک و پروپلیتیک). در تصویر رنگی به دست آمده مناطق دارای رگه‌های کربناتی در باختر منطقه نیز بارز شده‌اند. در مجموعه افیولیتی دگرسانی‌هایی مانند ساسوریتی شدن، سرپانتینیتی شدن و وجود کلریت که طیف‌های مشابهی در محدوده باندهای استر دارند، با رنگ سبز پسته‌ای مشخص شده‌اند.



شکل ۹. تصویر ترکیب رنگی نسبتی به صورت ۴/۵ در آبی، ۴/۸ در سبز و ۴/۹ در سرخ از باندهای سنجنده استر. مناطق دگرسان شده با پیکسل‌های روشن در شرق تصویر، و در اطراف آن‌ها کانی‌های زون پروپلیتیک با رنگ سبز دیده می‌شوند. در مجموعه افیولیتی دگرسانی‌هایی مانند ساسوراتی شدن، سرپانتینی شدن و وجود کلریت که طیف‌های مشابهی در محدوده باندهای استر دارند، با رنگ سبز پسته‌ای مشخص شده‌اند. کادرسباه رنگ محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

تفسیر داده‌های مغناطیسی

داده‌های مورد استفاده

برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی به سه روش مغناطیس‌سنجی، الکترومغناطیس و رادیومتری (اورانیوم، پتاسیم و توریم) در بخش‌هایی از شرق کشور و همچنین بخشی از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرستان قاینات صورت گرفته است.

این برداشت‌ها توسط هواپیما و با ارتفاع پرواز ۱۲۰ متر از سطح زمین و فاصله خطوط پرواز ۷۵۰۰ متر و با آزیموت ۴۵° 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

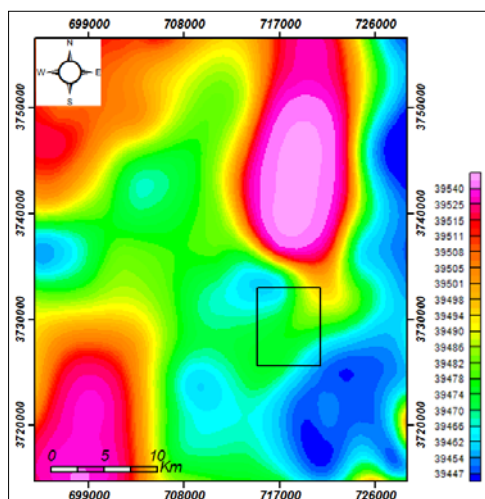
سطح زمین قرار داشته است. از داده‌های مغناطیس‌هوایی برای تفکیک بهتر همبندی‌های واحدهای زمین‌شناسی و نیز بررسی تغییرات ژئوشیمیایی رخ داده در آنها استفاده می‌شود. در این روش پرتو گامای ساطع شده از عناصر اورانیم، پتاسیم و توریم به وسیله طیف‌سنج گاما ثبت می‌شود و از آنجا که هر واحد زمین‌شناسی ویژگی‌های پرتوزایی خاص خود را دارد، بر این اساس واحدهای زمین‌شناسی و مناطق دارای دگرسانی قابل تشخیص می‌شوند (Armstrong & Rodegheiro, 2006; Keary, 2002). داده‌های مغناطیس‌هوایی پردازش شده دارای اطلاعات با ارزشی جهت تفسیر عوارض زیر سطحی هستند (Newsuparp et al., 2005).

یکی از مراحل پردازش داده‌های مغناطیس‌هوایی، محاسبه اثر مغناطیسی میدان مرجع وابسته به میدان جاذبه



فیلتر برگردان به قطب

اولین فیلتر اعمال شده، فیلتر برگردان به قطب می‌باشد. 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 می‌باشد، منتقل می‌گردد زیرا اگر میدان زمین مایل باشد، شکل ناهنجاری‌های مغناطیسی^۳ 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 اساسی داده‌های مغناطیس هوایی معمولاً بر روی تصاویر مختلف برگردان به قطب صورت می‌گیرد (شکل ۱۱).

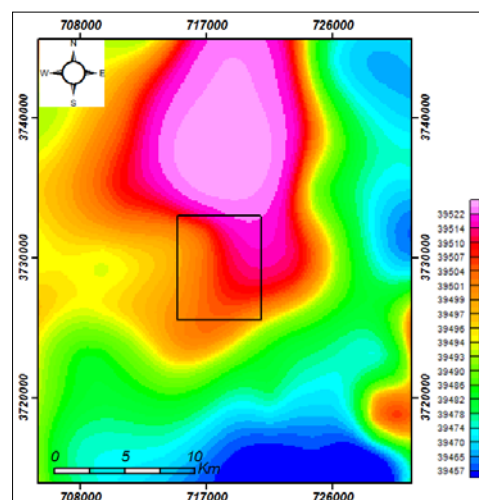


شکل ۱۱: نقشه برگردان به قطب تولید شده از شدت کل میدان مغناطیسی

اعمال این فیلتر با استفاده از زاویه میل^۴ و انحراف مغناطیسی صورت می‌گیرد. مقدار این زوایا در منطقه مورد

زمین (IGRF) و حذف آن از داده‌های مغناطیسی مشاهده شده (شدت کل میدان مغناطیسی) می‌باشد (Silva, 2003). با اعمال فیلترهای متفاوت بر روی اطلاعات، بررسی از جهات مختلف انجام گرفته و با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی، منطقه مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته است (شکل ۱۰).

جهت شناسایی خطواره‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، از داده‌های شدت کل میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلترهای مختلف در مرحله پردازش استفاده شده است.



شکل ۱۰: نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، مناطق قرمز بیانگر شدت بیشتر میدان مغناطیسی و مناطق آبی نشان دهنده شدت کم میدان است. کادر مشکی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

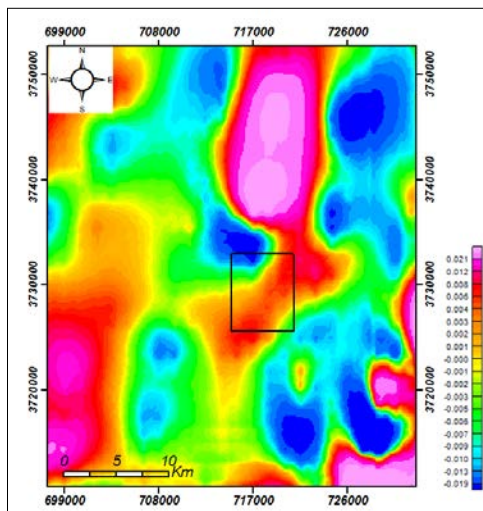
^۴ Magnetic anomalies

^۵ Declination

^۱ International Geomagnetic References Field

^۲ Reduction To Pole

^۳ Magnetic anomalies



شکل ۱۲: فیلتر بالاگذر مشتق اول قائم اعمال شده بر روی RTP که ناهنجاری‌های بزرگ از بین رفته و ناهنجاری‌های کوچک و محلی به خوبی نمایان می‌گردند. (کادر سیاه محدوده مورد مطالعه می‌باشد)

فیلتر مشتق افقی

فیلتر مشتق افقی: این فیلتر باعث می‌شود که جابه‌جایی‌هایی که در محل توده و تجمعات مغناطیسی که ناشی از عملکرد گسل و یا توده‌های آتشفشانی صورت می‌گیرند نمایان شود. این امر باعث می‌شود که سرچشمه مغناطیسی با محیط اطراف آن کنترل شود. برای مثال رابطه خروج توده‌های ولکانیکی با گسل می‌تواند توسط این فیلتر مشخص شود (شکل ۱۳).

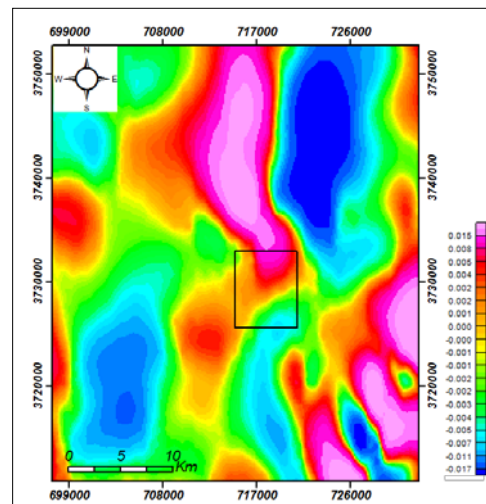
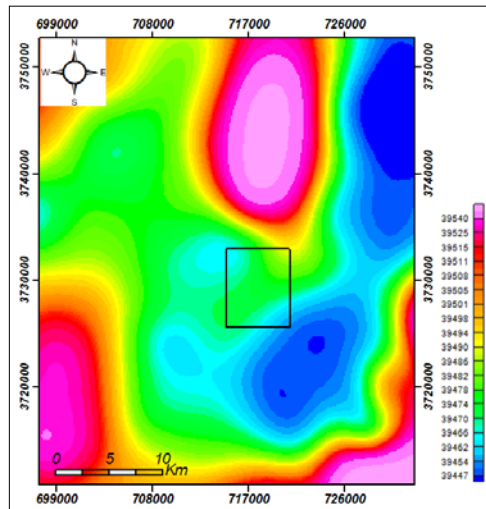
مطالعه به ترتیب ۵۰ و ۲/۶ درجه و مقدار میانگین IGRF برابر ۳۹۶۱۵/۵۸ نانوتسلا بوده است. در واقع با تطبیق واحدهای زمین شناسی و نقشه برگردان به قطب و میزان خودپذیری مغناطیسی واحدهای زمین شناسی (Clark, 1997) می‌توان ملاحظه نمود که بیشترین شدت بی‌هنجاری‌های مغناطیسی مربوط به واحدهای آندزیتی و واحدهای بازالتی، و تراکی بازالتی و دایکهای دیابازی است.

فیلتر مشتق قائم اول

پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب، فیلتر بالاگذر مشتق اول قائم بر داده‌ها اعمال شده است. جهت 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 می‌باشد زیرا فرکانس‌های بالا را نسبت به فرکانس‌های پایین افزایش می‌دهد. در نتیجه اثر ناهنجاری‌های بزرگ (ناهنجاری‌های بزرگ مغناطیسی، دارای طول موج بلند و فرکانس پایین هستند)، که مربوط به منابع عمیق و منطقه‌ای می‌باشند؛ بر روی ناهنجاری‌های بزرگ از بین رفته و ناهنجاری‌های کوچک و محلی به خوبی نمایان می‌گردند (Silva, 2003 & Neawsuparp et al., 2005) (شکل ۱۲).



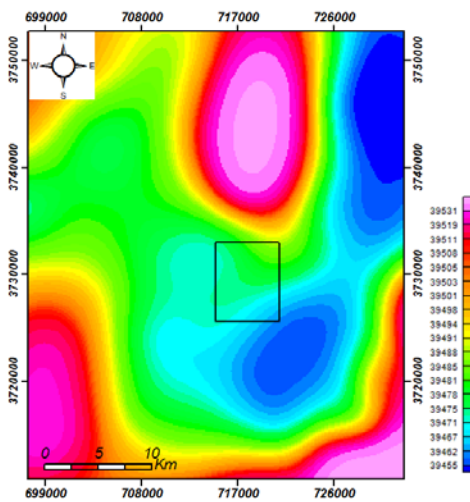
است، بنابراین باید انتظار بی هنجاری شدت بالا داشته باشیم که این نتیجه صحت پردازش را نیز می‌رساند.



شکل ۱۳: فیلتر مشتق افقی نمایانگر اثرات گسل ها و توده‌های ولکانیکی بر تجمعات مغناطیسی منطقه

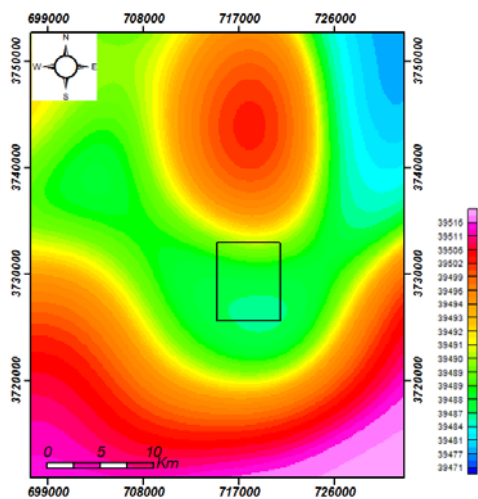
شکل ۱۴: فیلتر ادامه فراسوی ۱۰۰۰ متری

فیلتر ادامه فراسو

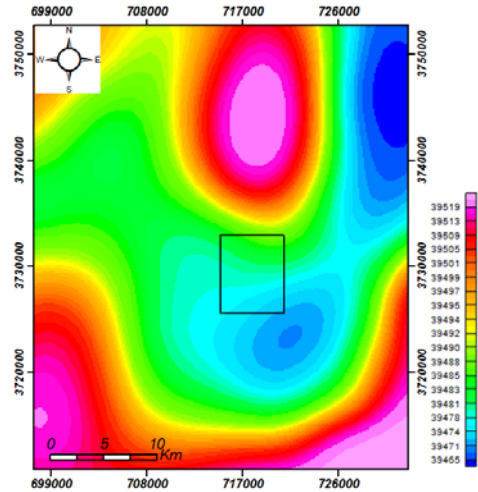


شکل ۱۵: فیلتر ادامه فراسوی ۲۰۰۰ متری

فیلتر ادامه فراسو بر روی نقشه مغناطیسی برگردان به قطب، به منظور حذف بی هنجاریهای سطحی و بارز شدن بی هنجاری های ژرف تر که تحت اثر نوفه های سطحی در داده نباشند به ارتفاع ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۶۰۰۰، ۸۰۰۰ متر اعمال شده است و همانطور که در شکل نشان داده شده در عمق ۸۰۰۰ متری اثر توده کامل از بین رفته است. نقشه‌های حاصل از ادامه فراسو در تصاویر ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است. با اعمال فیلتر ادامه فراسو به مقدار $Z/2$ بی هنجاری‌های سطحی تا ژرفای $Z/2$ رقیق شدگی پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان بر آورد ژرفا از نقشه بی هنجاری‌های ادامه فراسو را به دست آورد. همانطور که در شکل مشخص است با افزایش ارتفاع، بی هنجاری‌های سطحی کاهش یافته است و بی هنجاری‌های ژرفی بیشتر بروز می‌نماید. با افزایش ارتفاع فیلتر فراسو میزان بروز بی هنجاری بیشتری شود. با تطبیق این بی هنجاری و واحد زمین شناسی موجود مشاهده می‌شود که این بی هنجاری بر روی سنگهای بازالتی، آندزیتی و تراکی بازالتی قرار دارد. به طور کلی این بی هنجاری مرتبط با واحدهای آندزیتی می‌باشد و از آنجا که منشأ آندزیت ها ماگمای بازالتی



شکل ۱۸: فیلتر ادامه فراسوی ۴۰۰متری



شکل ۱۶: فیلتر ادامه فراسوی ۸۰۰متری

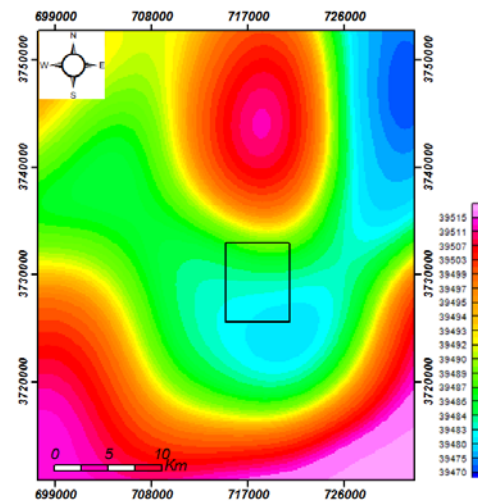
۳-۳: استخراج خطواره‌های مغناطیسی

در یک حالت عادی، عارضه‌های زیر منعکس کننده یک منطقه دگرشکلی در نقشه‌های مغناطیس هوایی هستند (Korhonen et al., 2004).

الف) نواحی خطی و باریک دارای مغناطیس پایین (رنگ آبی) که یکی از معمول‌ترین حالات در نقشه‌های مغناطیس‌هوایی است و معرف مناطق دارای دگرشکلی شکننده است. به عبارتی یک پهنه مغناطیسی باریک خطی با شدت پایین که به دلیل هوازدگی در طول سطح گسلش به وجود آمده و کانی‌های مغناطیسی در اثر اکسیداسیون به کانی غیر مغناطیس تبدیل گشته‌اند. 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 باشد؛ می‌تواند مربوط به کانی‌های مغناطیسی رسوب کرده در سطح گسل باشد.

پ) قطع ناگهانی در عمق منابع مغناطیسی



شکل ۱۷: فیلتر ادامه فراسوی ۶۰۰متری



ت) ناپیوستگی و جابه‌جایی در ناهنجاری‌های مغناطیسی به صورت آشفتگی که از نشان‌گرهای بسیار شاخص یک پهنه دگرشکلی می‌باشند.

ج) جابه‌جایی واضح و تند در ناهنجاری‌های مغناطیسی که نشان‌دهنده پهنه‌های برشی شکننده یا همان گسل‌ها می‌باشند.

چ) پله‌های مغناطیسی که بیان‌گر همبندی‌های دارای خردشدگی بالای واحدهای سنگی مختلف می‌باشند.

در این گونه مطالعات، وجود تغییرات 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. علاوه بر این ذکر این نکته ضروری است که عموماً خصوصیات مغناطیسی مناطق دگرشکلی طی مراحل مختلف دگرگونی ممکن است دچار تغییر شوند.

در ارتباط با شناسایی شکستگی‌ها به کمک داده‌های مغناطیس‌هواپی، سه حالت کلی را می‌توان در نظر گرفت:

۱. خطواره‌های مغناطیسی استخراج شده با گسل‌های تشخیص داده شده بر روی سطح هم‌خوانی دارد (شکل‌های ۲۲ و ۲۳).

۲. برای خطواره‌های مغناطیسی شناخته شده، گسلی 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 واقعاً وجود داشته ولی جابه‌جایی سطحی ایجاد شده با

خطواره مغناطیسی فوق دقیقاً منطبق نبوده و یا به دلیل پوشیده بودن محدوده از آبرفت و یا ماهیت سنگ‌شناسی منطقه، اصولاً برداشت نگردیده باشد.

۳. گسل‌های شناخته شده بر روی زمین که هیچ‌گونه خطواره مغناطیسی هم‌خوانی بر روی داده‌های مغناطیس‌هواپی 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 خطواره‌ای باشند ولی در تفسیر به عمل آمده توجه کافی به آن نگردیده باشد و یا تشخیص آن دشوار بوده است. در این حالت با ترسیم گسل یا شکستگی از روی نقشه زمین‌شناسی دارای زمین مرجع^۸ و یا تصاویر ماهواره‌ای می‌توان این خلأ را جبران نمود. همچنین امکان دارد گسل‌های شناخته شده تأثیر مهمی بر روی پی‌سنگ نداشته باشند، مثلاً در اعماق، شیبی نزدیک به افق و حالت قاشقی^۹ پیدا کنند که با توجه به فاصله خطوط پیمایش از همدیگر، اثر این گونه گسل‌ها ممکن است به خوبی مشخص نگردد.

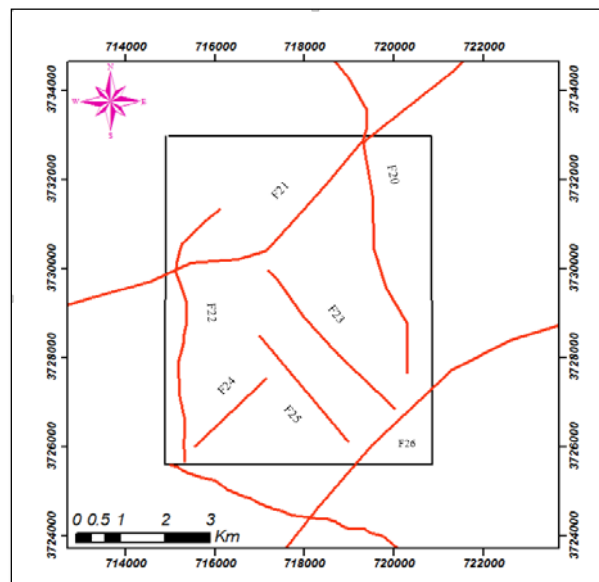
بر اساس اصولی که ذکر شد، اقدام به شناسایی و تفکیک خطواره‌های مغناطیسی در منطقه و ترسیم آن‌ها در محیط GIS گردیده است. در مورد بسیاری از خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده در ناحیه معدنی ورزگ، حالت اول و نیز به دلیل وجود پوشش آبرفتی در بخش‌هایی از منطقه و عملکرد فرآیندهای فرسایشی در واحدهای آتشفشانی، حالت دوم صادق است.

با توجه به همپوشانی مطلوبی که بین خطواره‌های مغناطیسی و سطحی وجود دارد، در برخی مناطق مشاهده می‌شود که وجود خطواره‌های مغناطیسی زیر سطحی با روند شمال-جنوب، دارای انطباق سطحی متناسبی نمی‌باشد

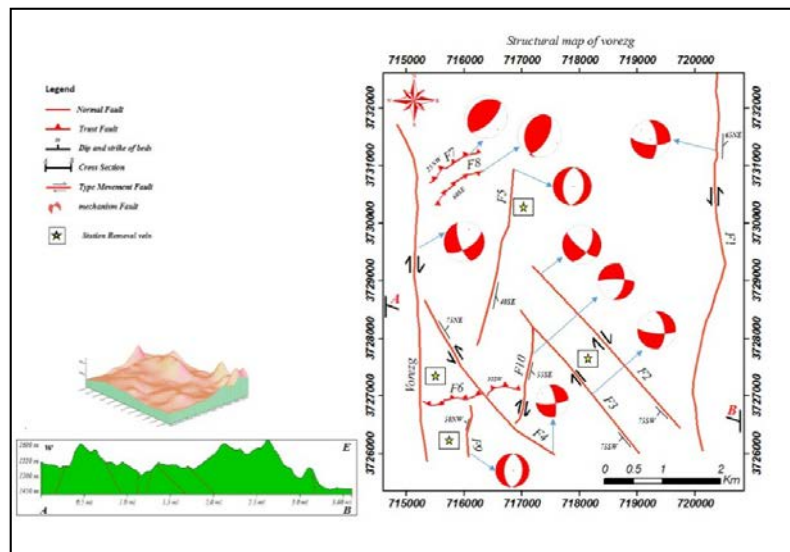


در شکل ۲۲، خطواره‌های مغناطیسی شناسایی شده در ناحیه ورزگ که با استفاده از نقشه شدت کل میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب (RTP) و مشتق اول قائم وافقی به دست آمده، نشان داده شده است و منطبق بر نقشه ساختاری رسم شده در شکل ۲۳ برای گسل‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

که این امر با فرض گسلی بودن خطواره‌ها، یا به واسطه عدم رسیدن به سطح گسل‌های زیر سطحی است، یا گسلی نبودن خطواره‌های ایجاد شده است. (لازم به ذکر است که هر خطواره مغناطیسی، لزوماً گسل محسوب نمی‌شود و گاه اختلاف در لیتولوژی‌ها یا مرزهای رسوبی نیز در تحلیل‌های هومغناطیس به صورت خطواره نمود می‌یابند).



شکل ۱۹: خطواره‌های استخراج شده از نقشه‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲۰: نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه (روستای ورزگ-شرق قاین)



نتیجه‌گیری

میدانی، عمده شکستگی‌ها منطبق بر روندهای NW-SE و NE-SW می‌باشد. گسل‌های با روند N-S که تحت تاثیر سیستم گسلی رودشور در منطقه به وجود آمده‌اند، با ایجاد یک منطقه فشاری-کششی باعث نهشته شدن عنصر مس در توده‌ی پورفیری شده‌اند. جایگیری عنصر مس در ارتباط با شکستگی‌هایی که توسط گسل‌ها در منطقه ایجاد شده‌اند باعث ایجاد متاسوماتیسم در توده پورفیری و نهشته شدن ثانویه عنصر مس در این توده شده‌اند.

تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوائی و با اعمال فیلترهای مشتق قائم اول، مشتق افقی و ادامه فراسو اثرات توده نفوذی بر مغناطیس منطقه، و با استخراج خطوط‌های مغناطیسی در محدوده مطالعاتی با استفاده از این فیلترها، دلالت بر جهت‌گیری‌های عمده NW-SE و نیز N-S دارد. علاوه بر این، خطوط‌هایی با جهت‌گیری متوسط NE-SW در نقشه مذکور دیده می‌شوند که از فراوانی کمتری برخوردار بوده و منطبق بر گسل‌های با مؤلفه معکوس منطقه می‌باشند. با توجه تصاویر تولید شده از داده‌های مغناطیسی هوائی منطقه مورد مطالعه و استخراج خطوط‌های آنها یک تطابق نسبتاً خوب بین این خطوط‌ها و خطوط‌های مشاهده شده سر زمین و خطوط‌های استخراج شده از تصاویر ETM⁺ و ASTER را می‌توان مشاهده کرد. عمق خطوط‌های استخراج شده از تصاویر مغناطیسی حداکثر تا ۸۰۰۰ متر می‌رسد و با توجه به تصاویر مغناطیسی و حذف خاصیت مغناطیسی توده در همین عمق می‌توان نتیجه گرفت که توده تحت تاثیر این گسل‌ها غنی از کانی مس (آزوریت) گشته است. حرکت گسل‌های موجود در منطقه در دو طرف شرق و غرب محدوده یک منطقه کششی بین این گسل‌ها (F₁ و Vorezg) به وجود آمده است (شکل ۲۳). از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و اعمال فیلترهای جهت‌دار و بدون جهت به تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ و ASTER و تلفیق آن با برداشت‌های صحرایی نیز، وجود گسل‌ها با راستاهای NW-SE و NE-SW و N-S به اثبات رسید و همان‌طور که عنوان شد، با برداشت‌های صحرایی، اکثر گسل‌های منطقه دارای سازوکار راستالغز راستگرد با مؤلفه نرمال و تعدادی از گسل‌ها دارای سازوکار معکوس است. علاوه بر این با تحلیل داده‌های سنجش از دور از طریق روش‌های خاص (شاخص خطوارگی) نیز، خطوط‌ها در منطقه به ترتیب دارای فراوانی در راستاهای NW-SE، NE-SW و N-S دیده می‌شوند که با استناد به پیمایش‌های



Lillesand, T. M., Schmaltz, J. E., Leale, J. E., and Nordheim, M. J., 2004. Mapping lake water clarity with Landsat images in Wisconsin, USA. *Canadian journal of remote sensing*, 30(1), 1-7.

Sabins, F. F., 1999. Remote sensing for mineral exploration *Ore geology reviews* 14(3-4), 157-183.

Lowell, J. D and Guilbert, J. M., 1970. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic geology* 65(4), 373-408.

Fujisada, H., 1995. Design and performance of ASTER instrument. In *Advanced and next-generation satellites*. International Society for Optics and Photonics 2583, 16-25.

Kruse, J. J., Strootman, E. G and Wondergem, J., 2003. Effects of amifostine on radiation-induced cardiac damage. *Acta oncologica*, 42(1), 4-9.

Armstrong, M, Rodegheiro, A., 2006. Airborne Geophysical Techniques. Coal Operators Conference. University of Wollongong and the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 113-131.

Korhonen, P. J and Luptacik, M., 2004. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European journal of operational research* 154(2), 437-446.

Tommaso, I and Rubinstein, N., 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infirnillo porphyry deposit Argentina *Ore. Geology Reviews* V 32, 275-290.

Abrams, et al., 2002. Mapping Hydrothermally Altered Rocks at Cuprite, Nevada, Using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a New Satellite-Imaging System. *Economic Geology* (2003) 98 (5), 1019-1027.

Ninomiya, Yoshiki, Bihong Fu and Thomas J. Cudahy., 2005. "Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared "radiance-at-sensor" data. *Remote Sensing of Environment* 99.1-2, 127-139.

منابع

اشتوکلین، ی.، افتخارنژاد، ج. نبوی، م. ح.، ۱۳۴۸، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش قاین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کاویانی صدر، خ. (۱۳۹۱). اثر کنترل کننده های ساختاری در نهشت مواد معدنی منطقه چشمه خوری. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند.

کاویانی صدر، خشایار. خطیب، محمدمهدی. زرین کوب، محمدرحیم. (۱۳۹۴)، اثر کنترل کننده های ساختاری در نهشت مواد معدنی منطقه چشمه خوری (شمال باختر بیرجند). فصلنامه زمین ساخت، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵. صفحه ۳۲۳ تا ۳۳۲.

گزارش ارزیابی داده های ژئوشیمیایی در ورقه های قاین، گرمناج، آیز، سرچاه، آهنگران، شاهرخت، یزدان و کلاته، سازمان زمین شناسی (۱۳۸۰)

جمع، علیرضا. وهمکاران، گزارش بازدید و بررسی اجمالی پتانسیل های معدنی شهرستان قاین، سازمان زمین شناسی (۱۳۸۳)

جمع، علیرضا. وهمکاران، مجموعه گزارش های پتانسیل یابی و اکتشاف مقدماتی (آهن، طلا، مس و سنگهای تزئین) در شهرستان قاین - مهندسین مشاور زرناب اکتشاف (۱۳۸۵)

حسینی پاک، ع.، ۱۳۸۱. اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، دانشگاه تهران.

Newsuparp, k. Charusiri, P. and Mayers, J., 2005. New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand. *Science Asia*, volume 31, 283-298.

Silva, A.M, Pires, A.C and McCaffery, A., 2003. Application of airborne geophysical data to mineral exploration in the uneven exposed terrains of the Rio Das Velhas greenstone belt. *Revista Brasileira de Geocincias*, volume 33, 17-28.

Gupta, Sumit, et al., 2003. "SPARK: A high-level synthesis framework for applying parallelizing compiler transformations. 16th International Conference on VLSI Design. Proceedings IEEE, ۴۶۶-۴۶۷.

Yuhas, R. H, Goetz, A. F. H and Boardman, J. W., ۱۹۹۲. Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm. Summaries of the 4th JPL Airborne. Earth Science Workshop, JPL Publication 92-41, 147.

Kruse, F. A., Kierein-Young, K. S and Boardman, J. W., 1990. Mineral mapping at Cuprite, Nevada with a 63 channel imaging spectrometer. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56(1), 83-92.

Lillesand, Thomas, Ralph W. Kiefer, and Jonathan Chipman. Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, 2015.