



## بررسی تأثیر گسلها بر الگوی تجمع رخدادهای مس در منطقه سرچشمه با استفاده از روشهای سنجش از دور و GIS

حجت‌اله صفری<sup>\*</sup>، بهنام شفیعی بافتی و حسن محمدرضایی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

دریافت: 1392/7/19، پذیرش: 1394/1/17

### چکیده

کانسار مس سرچشمه و سایر اندیس‌های مس پیرامون آن در کمربند دهج-ساردوئیه (استان کرمان) قرار گرفته‌اند. گسلها گاه با ایجاد شرایط مناسب سینماتیکی و مکانی می‌توانند الگوی تشکیل رخدادهای مس را کنترل کنند. در راستای بررسی صحت این فرضیه، با استفاده از روشهای سنجش از دور، خطواره‌ها، استخراج و سپس با مشاهدات صحرایی، گسلهای اصلی و فرعی مشخص شدند. بررسیهای ساختاری در قالب تهیه نمودار گل‌سرخ و محاسبه محور فشارش انجام شد. با استفاده از قابلیت‌های GIS، اقدام به تهیه نقشه هم‌شکستگی و فاصله‌داری رخدادهای مس از گسلها شد و لایه موقعیت رخدادهای مس بر روی سایر لایه‌های خروجی منطبق شد. نتایج بررسی نقشه‌های خروجی نشان می‌دهد گسلهای اصلی دخالت مستقیمی در کنترل محل رخدادهای پورفیری و رگه‌ای نداشته و رده‌های دوم این پهنه‌های گسلش، موقعیت رخدادهای مس را کنترل کرده‌اند. همچنین مشخص شد که محل رخدادهای مس آغشتگی ارتباط نزدیکی با گسلها داشته و بیشتر رخدادهای نزدیک به گسل رفسنجان قرار دارند.

کلمات کلیدی: مس سرچشمه، رخدادهای مس، سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی

### مقدمه

مهمترین کانسارهای مس به پنج گروه تقسیم می‌شوند که شامل: کانسارهای مس پورفیری (همراه با کانسارهای رگه‌ای و اسکارنی)، کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی، کانسارهای مس ماگماتیکی، کانسارهای مس تیپ کویناو (یا میشیگان) و کانسارهای مس تیپ سولفید توده‌ای آتش‌فشان‌زاد هستند (Navaei, 2002). این کانسارها از نظر محیط زمین‌شناختی، نوع سنگ دربرگیرنده، هندسه ماده معدنی و سنگ دربرگیرنده، هم‌زادها (هم‌یافتها)، نحوه تشکیل، عیار و غیره با هم متفاوتند (Navaei, 2002). بسیاری از پژوهشگران عقیده دارند که کانسارهای مهم مس پورفیری (مثل سایر کانسارهای پورفیری)، در تقاطع سیستم‌های گسلی واقع شده‌اند و به‌همین دلیل سالهای زیادی است که نظریه کنترل ساختاری کانسارهای مس پورفیری مطرح شده است (Cornejo et al., 1997;

Richards, 2000; Berger et al., 2003; Sillitoe and Perril, 2005; Ghorbani, 2013). نقش ساختارهای ناحیه‌ای در تمرکز سیستم‌های نوع پورفیری ساده است؛ به‌گونه‌ای که این ساختارها می‌توانند به‌عنوان مجرای برای صعود ماگما عمل کرده و مکانهای کششی برای جای‌گیری کم‌عمق توده‌های پورفیری‌ها فراهم آورند (Tosdal and Richards, 2001; Richards, 2003; Hezarkhani, 2006). حرکات عمودی و انتقال مطلق عمودی توده در سازوکار جای‌گیری توده گرانیته، ارتباط سیستم‌های گسلی ناحیه‌ای توسط لغزش روی گسلهای دوباره فعال شده را نشان می‌دهد (Grocott, et al., 2009). گمان می‌رود؛ کانه‌زایی مس پورفیری به‌طور وسیع در محیط‌های کم‌تنش تشکیل شود (Kloppenburger et al., 2010). به این ترتیب، شکستگیهای بزرگ مقیاس (ناحیه‌ای) می‌توانند باعث ایجاد زون‌هایی با نفوذپذیری بالا شوند و شرایط را برای جای‌گیری توده‌های

<sup>\*</sup>مسئول مکاتبات: h.safari@gu.ac.ir

بررسی در تقسیم‌بندی ساختمانی - رسوبی در زون ایران مرکزی، کمربند آتشفشانی ایران مرکزی (سهند - بزمان) واقع شده است. این منطقه در 160 کیلومتری جنوب غرب کرمان و 60 کیلومتری جنوب - جنوب غرب رفسنجان، در طولهای جغرافیایی  $36^{\circ} 55'$  تا  $17^{\circ} 56'$  و عرضهای جغرافیایی  $48^{\circ} 29'$  تا  $16^{\circ} 30'$  واقع شده است (شکل 1).

#### جایگاه زمین‌ساختی منطقه سرچشمه

ایران مرکزی بخشی از ریزقاره‌ای است که تا فراسوی مرزهای خاوری و باختری ایران ادامه دارد (Honarmand and Ranjbar, 2006). بخش جنوب‌غربی ایران مرکزی، عموماً از سنگهای آتشفشانی و پیروکلاستیک‌های وابسته به آن تشکیل شده است که با پهنای تقریبی 150 کیلومتر و امتداد 150-140N از آتشفشان سهند تا بزمان (به موازات زون دگرگون‌شده سندانج - سیرجان) کشیده شده است و به نام کمربند آتشفشانی (ایران مرکزی) ارومیه - دختر (و یا سهند - بزمان) نامیده می‌شود (Ghasemi and Talbot, 2006; Ashrafi, 2007). در داخل این زون آتشفشانی، توده‌های نفوذی متفاوت متعلق به ترشیری قرار دارند. به‌علاوه، آمیزه‌های افیولیتی کرتاسه فوقانی (نائین) نیز در کنار شکستگی‌های اصلی این زون خودنمایی می‌کنند (Darvishzadeh, 2004). بررسیهای ژئوشیمی نشان‌دهنده این است که کمربند ولکانیکی ایران مرکزی از سنگهای کالک آلکان مرتبط با فرورانش ساخته شده است (Jung et al., 1976; Berberian et al., 1982; Amidi et al., 1984; Moradian, 1997; Zengqian et al., 2003; Shafiei, 2010; Shafiei and Shahabpour, 2012). سه تیپ جایگاه تکتونیکی برای این کمربند آتشفشانی پیشنهاد شده است؛ که شامل محیط ریفتی، جزایر قوسی قاره‌ای و جایگاه پس از برخورد است. در هر صورت شواهد ژئوشیمیایی، تکتونیکی، چین‌شناسی و فلزایی، محیط جزایر قوسی قاره‌ای را تأیید می‌کند (Hassanzadeh, 1993; Shahabpour, 2007).

همان‌گونه که گفته شد، منطقه مورد بررسی در تقسیم‌بندی ساختمانی - رسوبی در نوار آتشفشانی ارومیه - دختر قرار گرفته است. در بعضی تقسیم‌بندیها، این منطقه متعلق به کمربند دهج - ساردوئیه، واقع در ناحیه کرمان دانسته شده است. ناحیه کرمان به پنج بخش: کمربند رفسنجان، کمربند دهج - ساردوئیه، کمربند آمیزه رنگین، ناحیه اسفندقه - سبزواران و

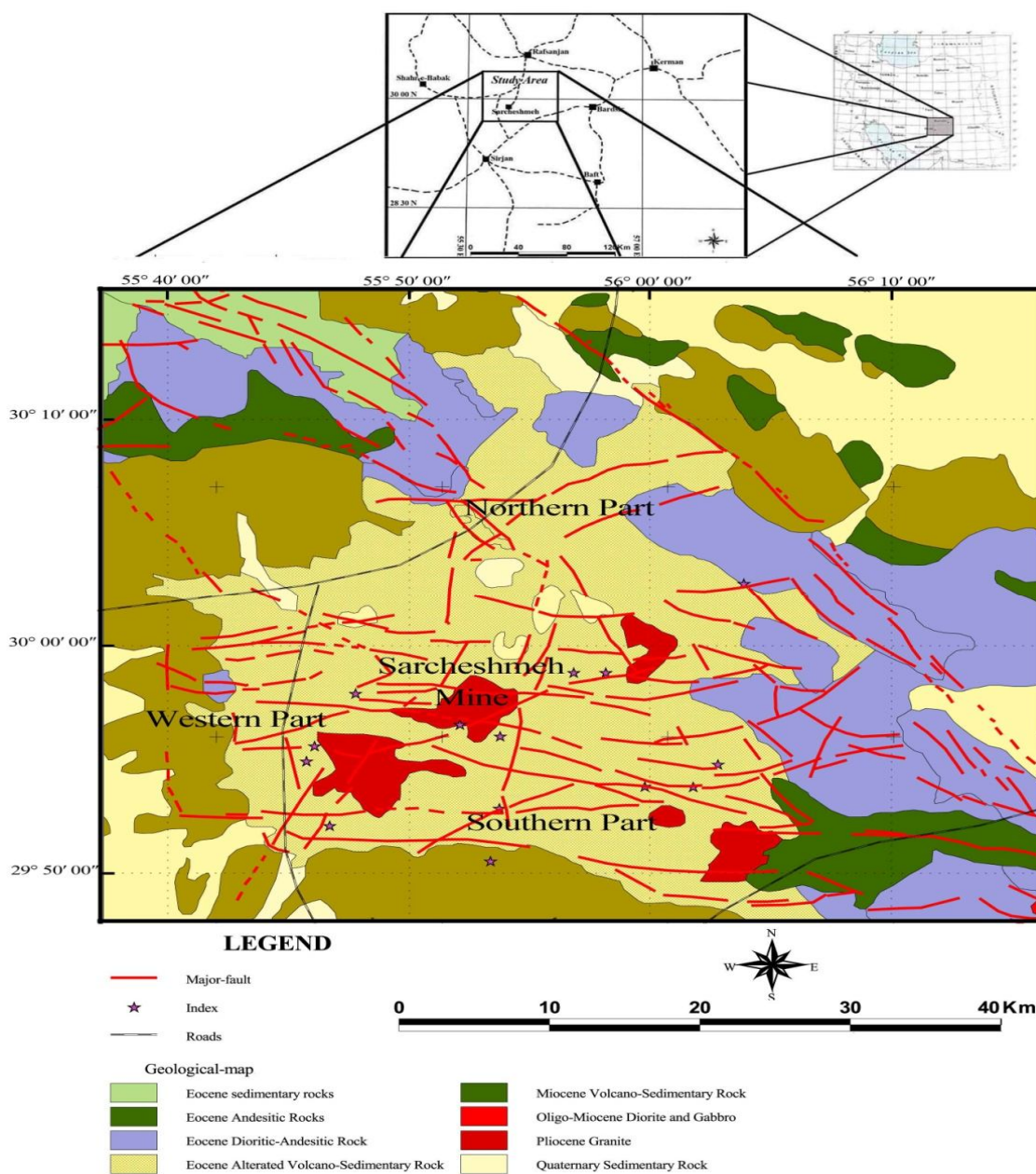
نفوذی و تشکیل کانسارهای مس فراهم کنند (Zarasvandi, 2004).

مهمترین کانه‌زاییهای مس در ایران، در سه دوره فلززایی صورت گرفته است؛ که متعلق به کرتاسه پایانی (از نوع مس و منگنز همراه با افیولیت‌ها)، ترشیری آغازین (رگه‌های مس، پورفیری‌ها و اسکارن‌ها) و ترشیری پایانی (کانسارهای مس و رگه‌های سرب - روی) است (Taghizadeh Zenuzi, 1997; Shafiei, 2008). از بین این کانه‌زاییهای مس، مهمترین آنها مربوط به کانسارهای مس پورفیری (همراه با کانسارهای رگه‌ای) بخش نوژن - پلیستوسن است که در کمربند آتشفشانی ایران مرکزی (متشکل از زنجیره‌ای از استراتوولکان‌های بزرگ و نفوذیه‌های گرانودیوریتی) رخ داده است و به‌نظر می‌رسد، ظاهراً توسط گسل‌های بزرگ‌مقیاس کنترل شده‌اند (Zengqian et al., 2003; Zarasvandi, 2004). با توجه به این که گسل‌ها یکی از اصلی‌ترین ساختارهایی هستند که در مقیاس ناحیه‌ای، محل تشکیل توده‌های آذرین درونی و کانسارهای مس مرتبط را تعیین می‌کنند؛ می‌توان به این نتیجه رسید که الگوی تجمع کانسارهای مس (مانند پورفیری، هیدروترمال، رگه‌ای و آغشتگی) توسط ساختارها (در مقیاس محلی) کنترل شود. شهاب‌پور (Shahabpour, 1996) طی بررسی بر روی نهشته‌های مس پورفیری در ایالت مس‌زایی کرمان (در ایران مرکزی) به این نتیجه رسید؛ که تعدادی از نهشته‌های مس پورفیری در این ایالت، با الگوهای آبراهه‌ای کنترل شده، توسط ساختارها هم‌خوانی دارد؛ که این مسأله می‌تواند راهنمای خوبی در اکتشاف این نهشته‌ها باشد. همچنین هنرمند و رنجبر (Honarmand and Ranjbar, 2006) از پردازش تصاویرهای ماهواره‌ای ETM+ برای اکتشاف کانسارهای مس پورفیری و رگه‌ای در منطقه مزار - کوه‌پنج استان کرمان استفاده کردند و به این ترتیب زونهای دگرسانی مربوط به کانسارهای مس را شناسایی کردند و همچنین رابطه مستقیم بین خطواره‌ها و موقعیت کانسارها را تشخیص دادند.

در این پژوهش، معدن مس سرچشمه و سایر اندیس‌های مجاور، به‌عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شد، تا با بررسی و تحلیل این گسله‌ها، با توجه به اهمیت گسله‌ها (و محیط تکتونیکی) در تعیین و کنترل مکانی کانسارهای مس، بتوان رابطه بین الگوی تجمع کانسارهای مس را با نوع، آرایش، وضعیت تجمع، فاصله‌داری و سینماتیک گسله‌ها به‌دست آورد. منطقه مورد

چپبر) دیده می‌شوند؛ می‌تواند زیر رده‌های مرتبط با خود را ایجاد کند و به تشکیل گسلهای فرعی در منطقه منجر شود. با کمک روشهای سنجش از دور و بررسیهای صحرایی، سه روند اصلی: شمال غربی - جنوب شرقی، نظیر گسلهای اصلی رفسنجان، گود احمر و مانی (با سازوکار امتداد لغز راست‌بر و کمی مؤلفه معکوس)، روند شرقی - غربی (گسله‌های سرچشمه و دره‌زار) و شمال شرقی - جنوب غربی (گسلهای فرعی با سازوکار امتداد لغز چپبر) مشخص شد.

کمریند سیرجان تقسیم می‌شود (Khadem and Nedimovic, 1973). به‌طور کلی منطقه مورد بررسی توسط دو گسل مهم رفسنجان (در شمال شرقی) و نایین - بافت (در جنوب غربی) احاطه شده است و بیشتر روندهای گسلی موجود در منطقه مورد بررسی، تحت تأثیر عملکرد این دو گسل طی تکامل ساختاری منطقه تشکیل شده‌اند. این روندهای گسلی که عمدتاً به‌صورت گسلهایی با سازوکار امتداد لغز راست‌بر (و یا



شکل 1. موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی منطقه سرچشمه

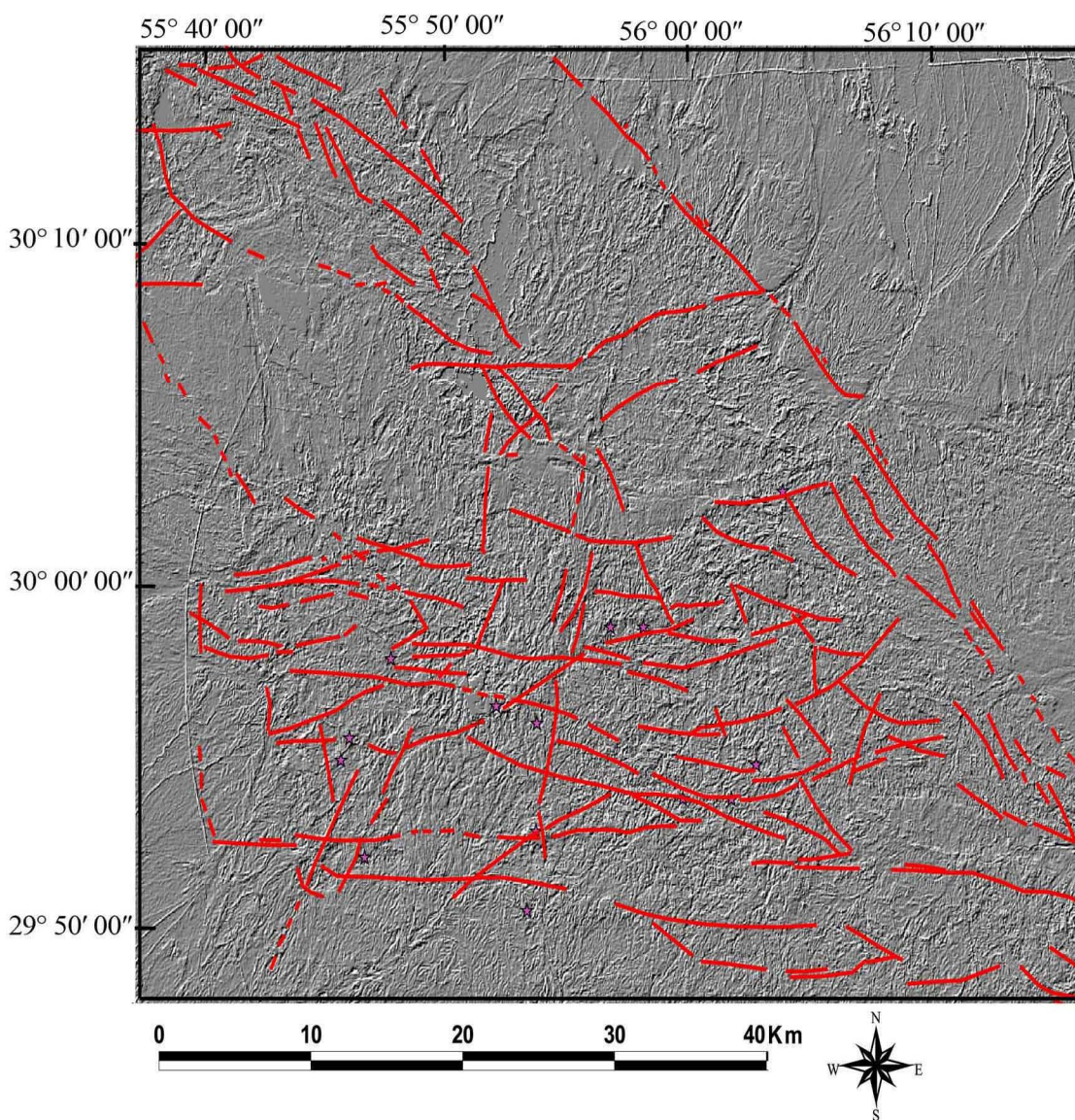
Fig. 1. Geographical position and geological map of Sarcheshmeh area

## روش مطالعه

در این پژوهش از روشهای سنجش از دور، قابلیت‌های GIS و تحلیل‌های ساختاری استفاده شد که در زیر توضیح داده می‌شوند:

استخراج گسل‌های اصلی و فرعی: برای استخراج گسلها (و درزه‌های بزرگ‌مقیاس)، ابتدا تصویر ماهواره‌ای ETM+ تهیه و ترکیب باند 741 از آن تهیه شد. سپس با استفاده از فیلتر Sharpen Edge تصویر بارزسازی شده و در ادامه با اعمال فیلترهای جهت‌دار در جهات 45، 60، 90 و 180 درجه بر روی تصویر بارزسازی شده، شکستگی‌های موجود در منطقه شناسایی

و استخراج شدند (شکل 2) (Sabins, 1996; Lillesand and Keifer, 2008). برای شناسایی شکستگی‌های پیمایش نشده (خطواره‌ها) از عوارض و پدیده‌هایی مانند: قطع‌شدگی امتداد عوارض ساختمانی، کنار هم قرار گرفتن لیتولوژی‌های متفاوت، گودیهایی که به‌صورت خطی قرار دارند، الگوی مستقیم رودخانه‌ها، حالت خطی پوشش گیاهی و تغییر رنگ خاکها (در تصویر بارزسازی شده و همچنین تصویری که فیلترهای جهت‌دار بر روی باند R آن اعمال شده) استفاده شدند (Aronoff, 1989, Safari et al., 2011).

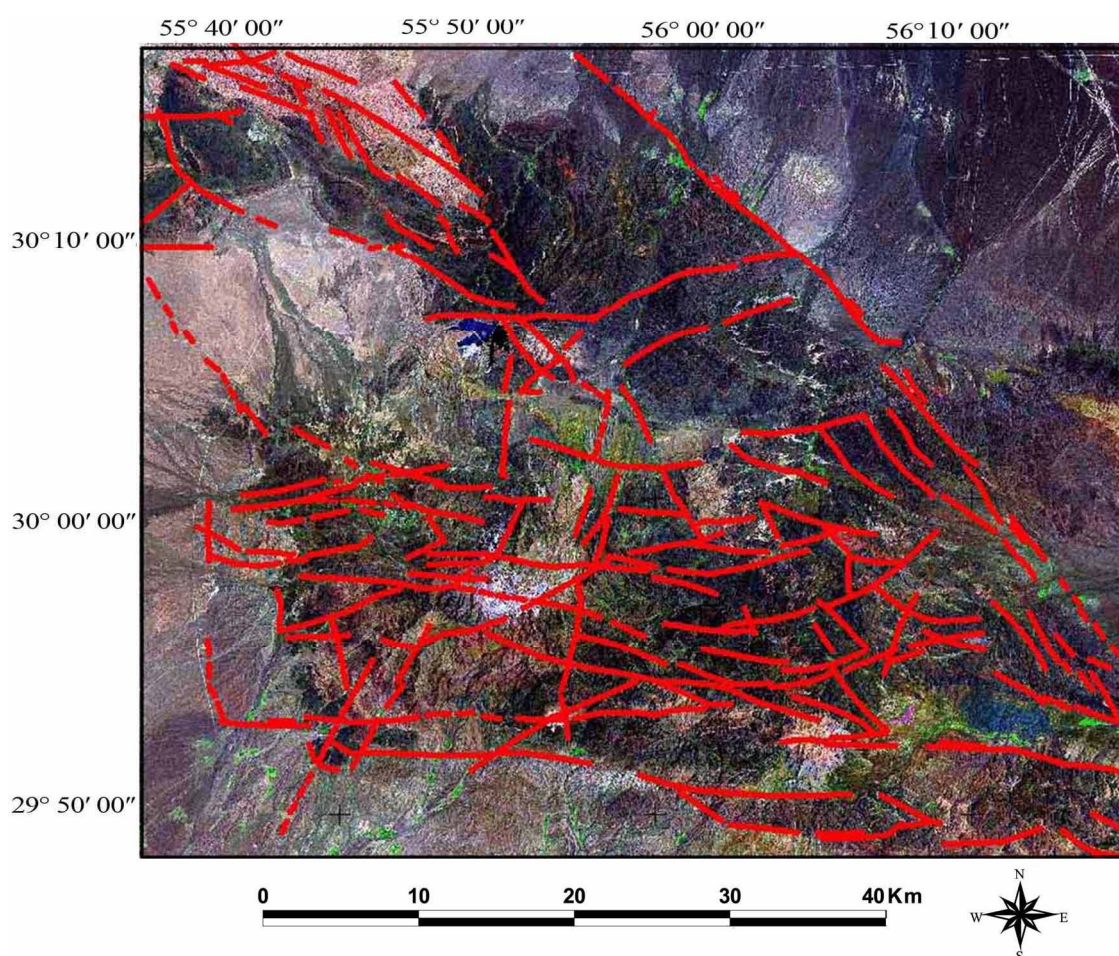


شکل 2. اعمال فیلتر جهت‌دار 45 درجه بر روی تصویر ماهواره‌ای و استخراج خطواره‌ها

Fig. 2. Exertion of 45° directional filter on satellite image and extraction of lineaments

تحلیل ساختاری شکستگیها: به دلیل گستردگی منطقه، تعداد 34 ایستگاه اندازه‌گیری در قالب پنج بخش: شمالی، مرکزی، غربی، جنوبی و پیرامون معدن مس سرچشمه (شکل 1) مشخص شد و اندازه‌گیریها و پیمایشهای ساختاری در آنها انجام شد. در این بخش از دو روش تهیه نمودارهای گل‌سرخ و محاسبه محورهای فشار (P-axis) استفاده شد.

در ادامه، از طریق کنترل‌های میدانی و اندازه‌گیریهای صحرائی در 34 ایستگاه در سطح منطقه (شکل 1) گسله‌های اصلی و فرعی (بر اساس مقیاس گسلش) از هم تفکیک شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزارهایی مثل: Arcview 3.2 و Arc GIS 9.6 (در محیط GIS) به رقومی کردن شکستگیهای استخراج‌شده، اقدام شد. به این ترتیب، لایه‌برداری شکستگیها تهیه شد (شکل 3).



شکل 3. موقعیت گسله‌های استخراج و پیمایش شده در تصویر ماهواره‌ای ETM+ بارسازی شده

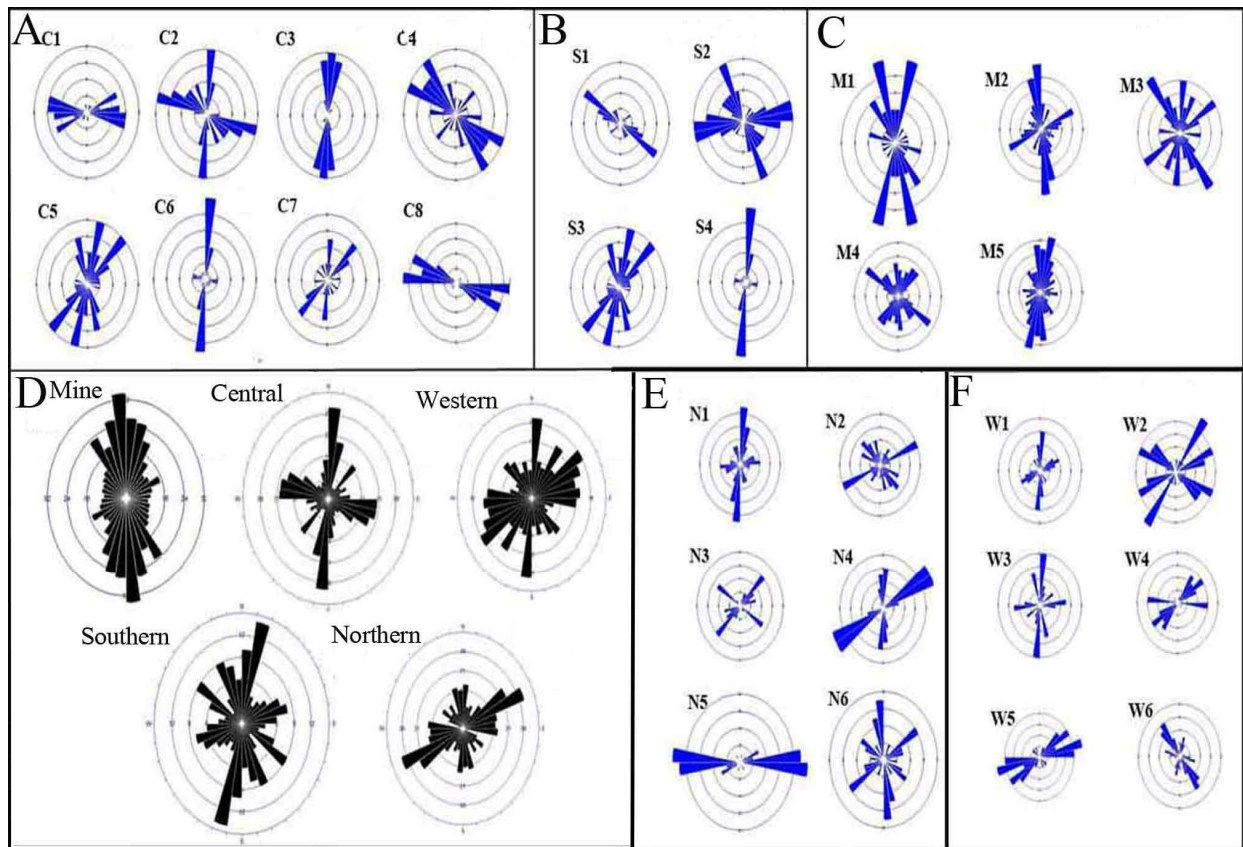
Fig. 3. The position of extracted & surveyed faults in enhanced ETM+ satellite image

ب) محاسبه محورهای فشار: برای تحلیل محورهای جنبشی (حرکتی) در منطقه، با استفاده از مشخصات شکستگیها (شامل امتداد، شیب و جهت شیب گسلها، ریک خش لغز و جهت حرکت بلوک روبه‌رو) و با کمک روش تحلیلی مارت و المندینگر (Marrett and Allmendinger, 1990) در ایستگاه‌های مختلف، به محاسبه محورهای فشار اقدام گردید. به‌منظور محاسبه محورهای حرکتی (به‌خصوص محور فشار)، ابتدا

الف) تهیه نمودارهای گل‌سرخ: برای به‌دست آوردن تراکم شکستگیهای سطحی، با استفاده از مشخصات اندازه‌گیری‌شده شکستگیها، بر اساس روش بسامد-امتداد (Ramsay and Hubber, 1987) نمودار گل‌سرخ از شکستگیها در ایستگاههای مختلف رسم شده و نتایج به‌دست آمده (شکلهای 4-A, B, C, D, E و F) بر روی نقشه ساختاری آورده شد.

این ترتیب محورهای فشارش و کشش محاسبه شد (شکل‌های A-5, B, C, D, E, F). در مرحله نهایی، بردارهای این محورها بر روی نقشه ساختاری آورده شد.

گسلها همراه با قطب و خش‌لغز آنها ترسیم و سپس صفحه حرکتی آنها محاسبه شد. در ادامه بر روی صفحه حرکتی 45 درجه در جهت و خلاف جهت بردار لغزش حرکت کرده و به



شکل 4. نمودارهای گل سرخی ایستگاه‌های مختلف مربوط به بخش‌های A: مرکزی، B: جنوبی، C: محدوده معدن سرچشمه، D: کلی هر بخش، E: شمالی و F: غربی

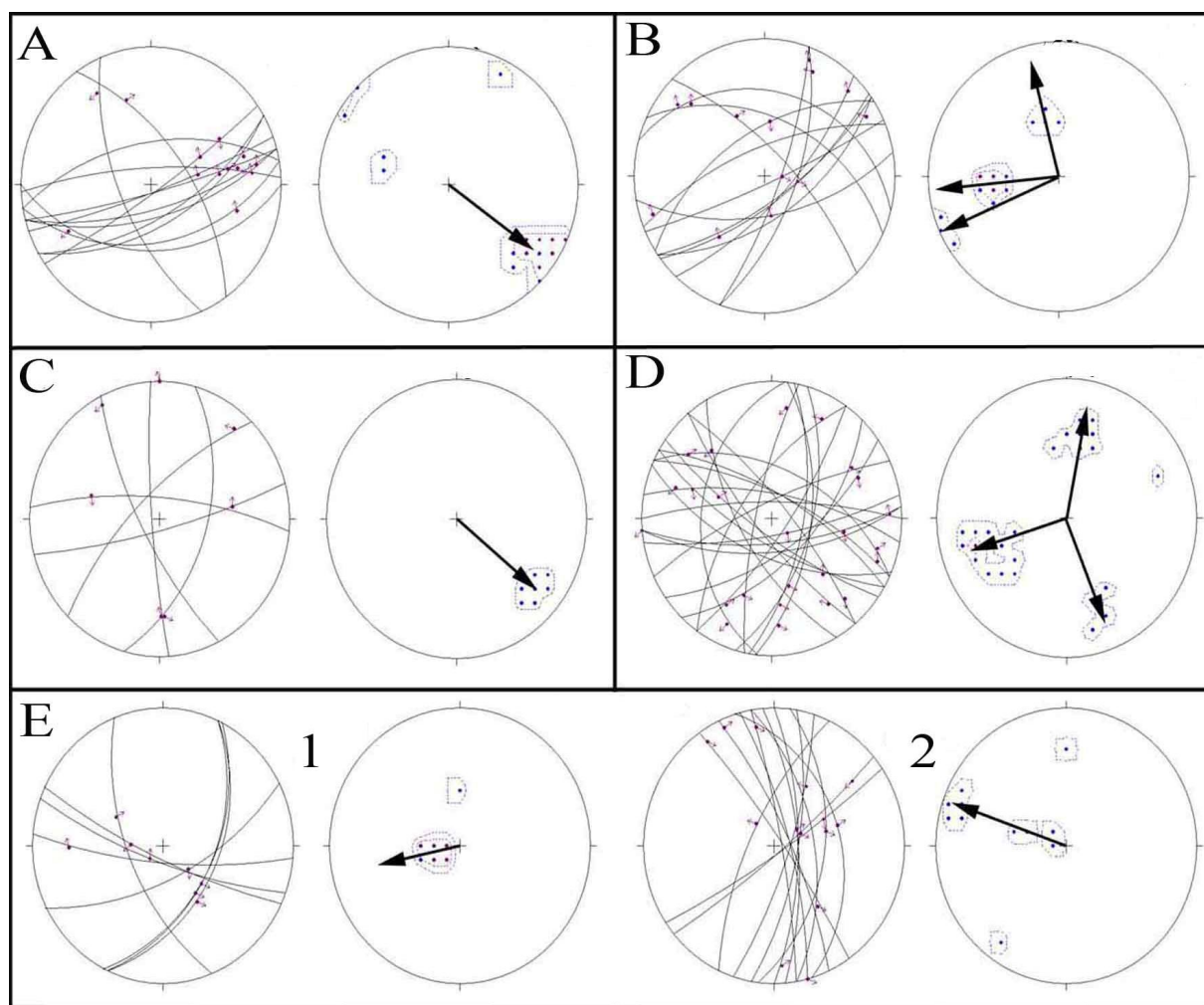
**Fig. 4.** Rose diagrams of different stations in different parts A: central, B: Southern, C: Sarcheshmeh mine district, D: Each parts, E: Northern, F: Western.

تهیه نقشه هم‌شکستگی<sup>1</sup>: برای تهیه نقشه هم‌شکستگی، ابتدا شبکه‌ای با سلولهای  $1000 \times 1000$  متر تهیه و سپس نقطه مرکزی هر سلول در مرکز آن ترسیم شد. در ادامه، مختصات هر نقطه مرکزی محاسبه و طول گسلها در هر سلول اندازه‌گیری شد و در جدول اطلاعات‌برداری، با فرمت DBF4، در محیط Excel ذخیره شد. در GIS (به کمک نرم‌افزار Arc View 3.2) جدول مورد نظر فراخوانی و بر اساس طول گسلها (و درزه‌های بزرگ‌مقیاس و احياناً دایکهای قابل شناسایی بر روی تصویر) در هر سلول، سطوح هم‌پتانسیل شکستگیها به‌عنوان نقشه هم‌شکستگی منطقه ترسیم شد (شکل 7).

تهیه لایه اطلاعات مکانی رخدادهای مس: ابتدا بانک اطلاعاتی مربوط به رخدادهای مس، با استفاده از منابعی مختلف؛ مانند گزارش سازمان زمین‌شناسی و نقشه همراه (Lotfi et al., 1993) تهیه شد. سپس جدول اطلاعاتی رخدادهای مس شامل موقعیت مکانی رخدادهای مس (با مختصات UTM) و نوع آنها در محیط Excel و با فرمت DBF4 ذخیره شد. در GIS (به کمک نرم‌افزار Arc View 3.2) جدول مورد نظر فراخوانی و لایه نقطه‌ای از رخدادهای مس تهیه شد. سپس لایه‌برداری رخدادهای مس بر روی لایه گسلها قرار داده شد (شکل 6).

مشاهدات صحرایی) در اطراف گسلها تعریف و ترسیم شد. سپس با قرار دادن لایه اطلاعات مکانی رخدادهای مس (پورفیری، هیدروترمال، رگه‌ای و آغشتگی) روی نواحی بافر و گرفتن گزارش در محیط نرم‌افزار Arc View 3.2، رابطه بین رخدادهای مس و گسلها بررسی شد (شکل 8).

تهیه مناطق فاصله‌داری (بافر) در اطراف گسلها: به منظور سنجش رابطه‌داری بین رخدادهای مس و گسلها، از قابلیت‌های GIS استفاده و به تهیه بافر نسبت به موقعیت گسلها اقدام شد. به این صورت که پس از رقومی کردن گسلهای موجود در منطقه و تهیه لایه اطلاعاتی از آنها، در GIS سه سطح فاصله‌داری (بافر) (0-200، 200-400 و 400-600) (بر مبنای

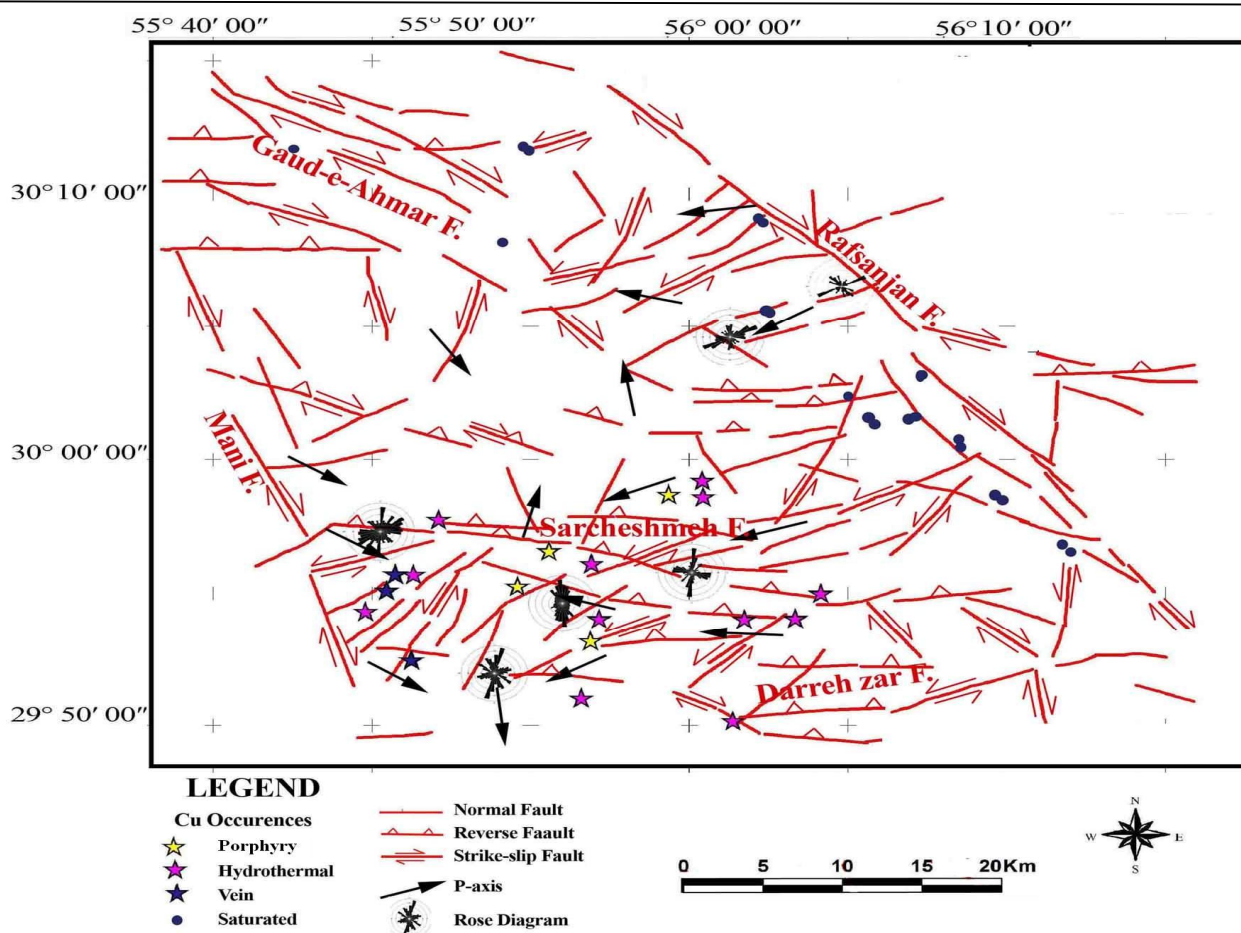


شکل 5. محاسبه محورهای فشارش در بخشهای A: غربی، B: شمالی، C: جنوبی، D: مرکزی و E: پیرامون معدن سرچشمه

**Fig. 5.** Calculated P-axes in different parts, A: Western, B: Northern, C: Southern, D: Central, E: Around the Sarcheshmeh district

(پورفیری، هیدروترمال، رگه‌ای و آغشتگی) نیز بر روی سایر اطلاعات ساختاری انداخته شد. به این ترتیب، نقشه جامعی که بتوان ارتباط ساختارها را از سه منظر رابطه سازوکار حرکتی گسلها، فراوانی روندها و وضعیت محورهای فشارش با رخدادهای مس مورد بررسی قرار داد؛ آماده شد (شکل 6).

ارتباط سنجی گسلهای اصلی و فرعی با رخدادهای مس: پس از تهیه لایه برداری گسله‌های اصلی و فرعی، نمودارهای گل‌سرخ و محورهای فشارش محاسبه شده نیز در GIS بر روی این لایه اطلاعاتی قرار داده شد و به این ترتیب نقشه ساختاری منطقه تهیه شد. در ادامه، لایه اطلاعاتی مربوط به انواع رخدادهای مس



شکل 6. نقشه ساختاری منطقه سرچشمه به همراه محل رخ دادهای مختلف مس

Fig. 6. Structural map of Sarcheshmeh area together with different copper occurrence locations

### بررسی نتایج

#### گسل‌های اصلی منطقه

همان‌گونه که در بخش استخراج گسل‌های اصلی و فرعی ذکر شد؛ با اعمال فیلترهای جهت‌دار بر روی تصویر ماهواره‌ای بارزسازی شده با ترکیب باند 1-4-7، شکستگی‌های موجود در منطقه شناسایی و استخراج شدند. در ادامه از طریق پیمایش‌های صحرایی در 34 ایستگاه در سطح منطقه، گسل‌های اصلی و فرعی از هم تفکیک شدند. در این روند کاری، 5 گسل اصلی رفسنجان، گود احمر، سرچشمه، مانی و دره‌زار در منطقه مورد بررسی، شناسایی شدند. وضعیت این گسل‌ها به شرح زیر است:

**الف) گسل رفسنجان:** این گسل با طول تقریبی بیش از 70 کیلومتر و روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی (N140)، از 20 کیلومتری جنوب‌غرب رفسنجان عبور می‌کند. این گسل دارای سازوکار امتداد لغز راست‌بر به‌همراه مقداری مؤلفه معکوس

است. این گسل در بخش شمالی منطقه مورد بررسی، مرز بین دشت رفسنجان و ارتفاعات آتشفشانی-رسوبی منطقه را مشخص می‌کند (شکل 9-B). حرکت‌های بسیار جوان این ساختار اصلی در اطراف روستاهای دهوئی و دوخان سبز نیز دیده می‌شود. به‌همین دلیل می‌توان اذعان کرد؛ که یک گسل دوره حاضر، رسوبات کواترنری و دوره حاضر را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است.

**ب) گسل گود احمر:** این گسل با روند تقریبی شمال‌غربی - جنوب شرقی (N130-140)، دارای سازوکار امتداد لغز راست‌بر است. گسل گود احمر با طول تقریبی 60 کیلومتر با عبور از بخش مرکزی منطقه مورد بررسی، باعث بریدگی و به‌هم‌ریختگی رسوبات آتشفشانی ائوسن بالایی می‌شود (شکل 9-A).

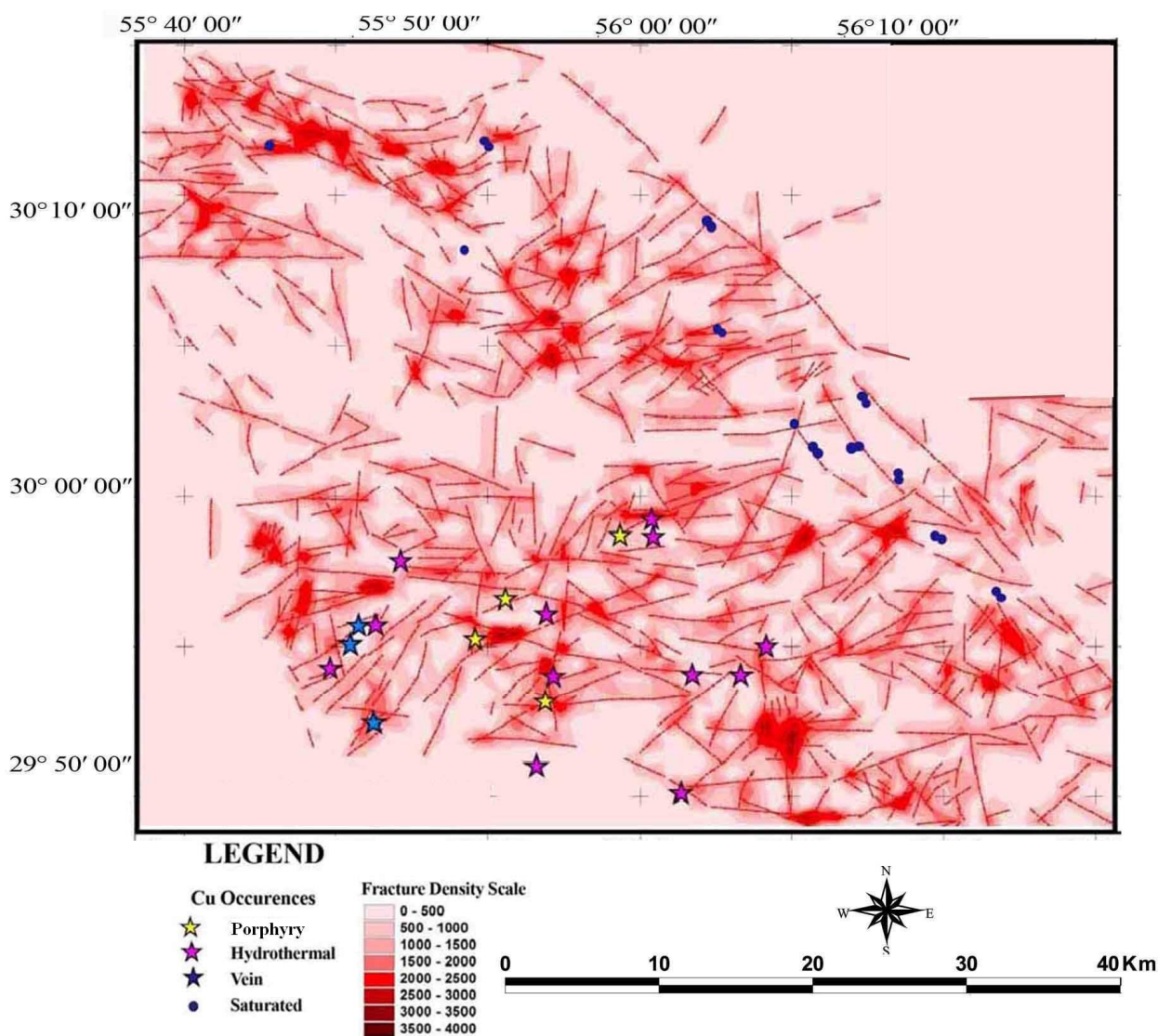


تکامل ساختاری منطقه تشکیل شده‌اند. اثر این گسل در حوالی کانسار دره‌زار دیده می‌شود (شکل C-9).

ث) **گسل مانی**: این گسل با طول تقریبی 40 کیلومتر، دارای روند تقریباً شمالی-جنوبی (N170) بوده و از شمال غربی روستای مانی تا شهر پاریز امتداد یافته است. این گسل دارای سازوکار امتدادلغز راست‌بر به‌همراه مقداری مؤلفه معکوس بوده و طبق بررسیهای صحرایی دارای شیب 70 تا 90 درجه است (شکل E و F-9). آثار این گسل در تشکیلات آتشفشانی-رسوبی دیده می‌شود و در رسوبات آبرفتی جنوب غربی شهر پاریز محو می‌شود.

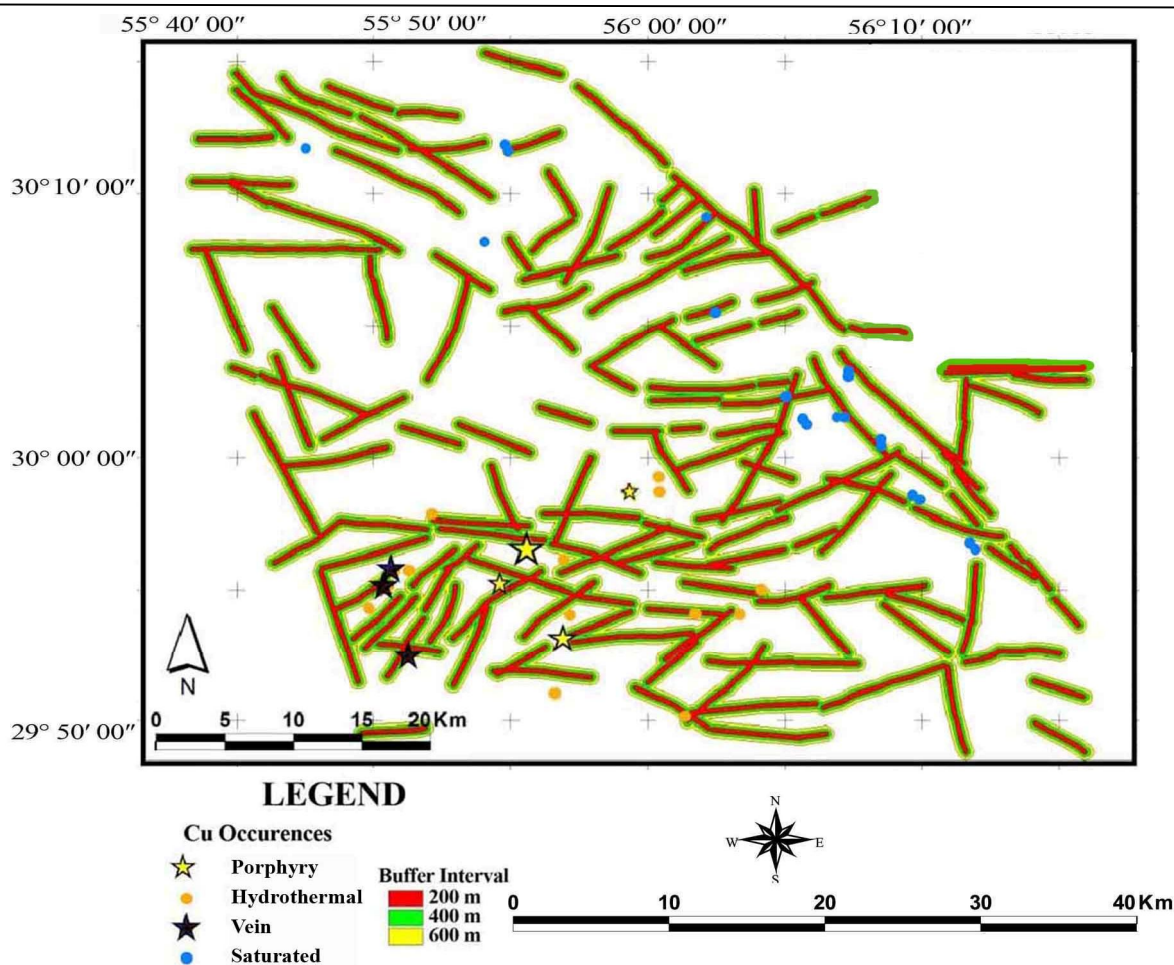
پ) **گسل سرچشمه**: این گسل با طول تقریبی 60 کیلومتر در بخشهای شمال شرقی، میانی و غرب منطقه مشخص است. این گسل دارای سازوکار امتدادلغز چپ‌بر است و آثار آن در واحدهای سنگی معدن مس سرچشمه به‌خوبی مشخص است. این گسل با روند تقریباً شرقی-غربی (N80 - 90) از گسلهای اصلی منطقه محسوب می‌شود (شکل D-9).

ت) **گسل دره‌زار**: گسل دره‌زار با طول تقریبی 50 کیلومتر در منطقه مورد مطالعه مشخص است. این گسل دارای سازوکار امتداد لغز چپ‌بر بوده و با روندی مشابه با گسل سرچشمه (N80) احتمالاً زیر رده گسل سرچشمه است. این دو گسل (دره‌زار و سرچشمه) احتمالاً بعد از کانه‌زایی بوده و در ادامه



شکل 7. نقشه هم‌شکستگی گسلهای منطقه سرچشمه به‌همراه محل رخدادهای مس

Fig. 7. The Iso-fractures map of faults in Sarcheshmeh area together with copper occurrence locations



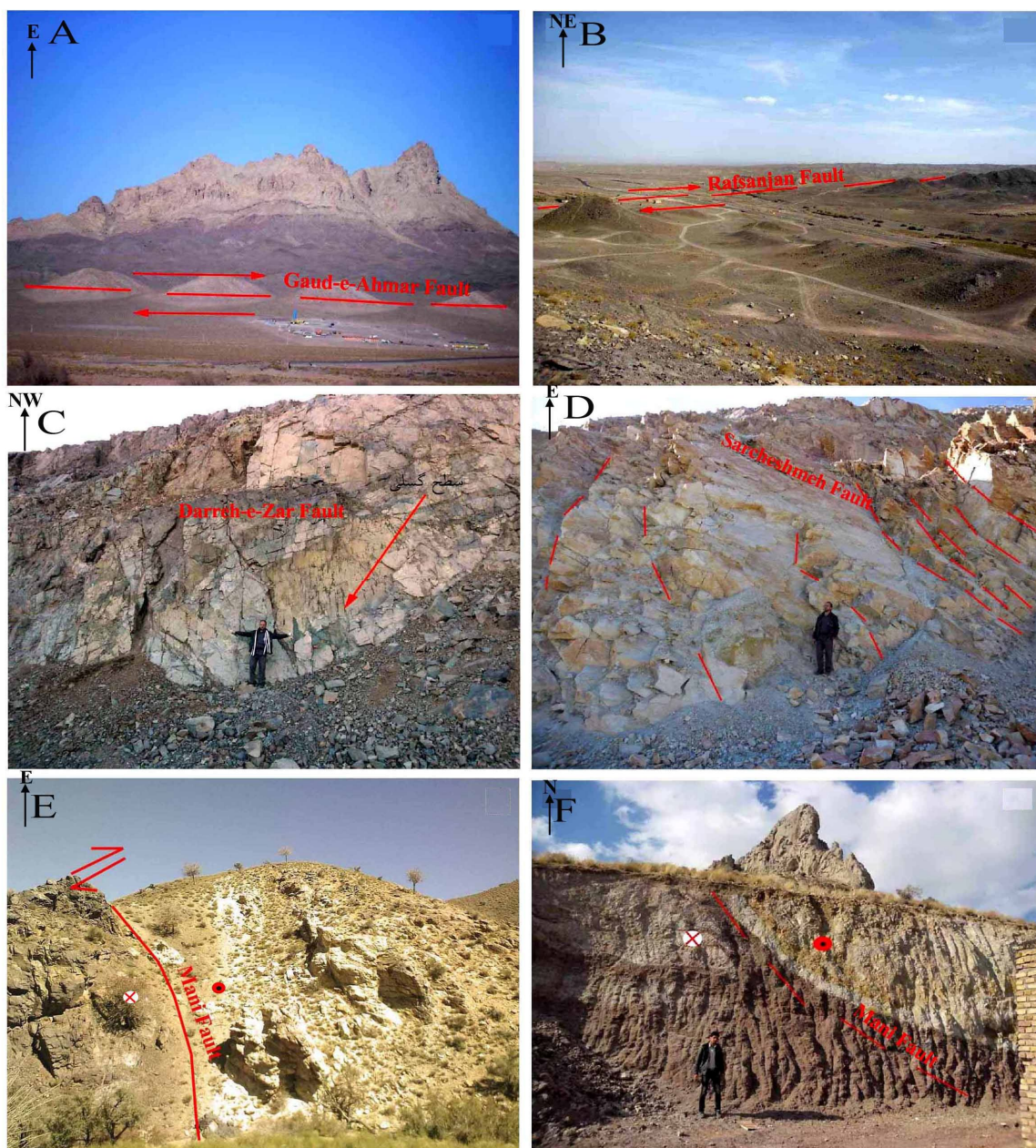
شکل 8. نقشه فاصله‌داری (بافر) محل رخ داده‌های مس نسبت به گسل‌های منطقه سرچشمه

Fig. 8. The Buffer map of copper occurrences related to faults of Sarcheshmeh area

گرفته که می‌توان آنها را در ارتباط با گسل گود احمر دانست (شکل 6).

بررسی ارتباط رخ داده‌های مس با روندهای ساختاری: از آنجا که شکستگیها و زون‌های گسلی می‌توانند همچون دهلیزهای ساختاری، محلی مناسب برای جای‌گیری توده‌های نفوذی و تشکیل رخ داده‌های مس مرتبط با آنها باشند. بررسی ارتباط رخ داده‌های مس با روندهای ساختاری اهمیت دارد. بررسیهای انجام شده، نشان می‌دهد که رخ داده‌های مس هیدروترمال بیشتر در جاهایی تمرکز دارند که دو روند عمده شکستگی شمالی-جنوبی (N170-180) و شرقی-غربی (N80-90) در حالی نمودارهای گل‌سرخ نمایان می‌شوند (شکل 6). این در حالی است؛ که رخ داده‌های آغشتگی عمدتاً، در ارتباط با گسل اصلی رفسنجان با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق (N140) و گسلهای فرعی مرتبط با آن هستند (شکل 6).

بررسی ارتباط رخ داده‌های مس با سازوکار حرکتی گسلها: نتایج به‌دست آمده از این بررسی، بیانگر این است که عمده رخ داده‌های مس پورفیری مانند کانسارهای مس سرچشمه، دره‌زار و نوچون، به‌واسطه وابستگی به توده‌های نفوذی در درجه اول توسط توده‌های نفوذی ناحیه مورد بررسی کنترل شده‌اند. اما محل دقیق آنها در ارتباط با گسله‌هایی است که دارای سازوکارهای امتدادلغز (راست‌بر با روند تقریباً شمالی-جنوبی و چپ‌بر با روند تقریباً شرقی - غربی) هستند (شکل 6). از طرفی عمده رخ داده‌های مس نوع آغشتگی که در شمال‌شرق تا شمال-غرب منطقه دیده می‌شوند؛ در ارتباط با پهنه گسل اصلی رفسنجان (با سازوکار راست‌بر) و گسلهای فرعی مرتبط با آن هستند. به‌طوری‌که تمامی رخ داده‌های آغشتگی در نزدیکی گسل رفسنجان و گسلهای فرعی آن قرار می‌گیرند. تنها در موارد اندکی این رخ داده‌ها در نزدیکی گسل اصلی گود احمر قرار



شکل 9. نمایی از گسلهای A: گوداحمر، B: رفسنجان، C: دره زار، D: سرچشمه، و E و F: مانی

**Fig. 9.** The Portrait of different faults, A: Gaud-e-Ahmar, B: Rafsanjan, C: Darreh Zar, D: Sarcheshmeh, E and F: Mani

محورهای فشارش اصلی منطقه با رخدادهای مس نشان می‌دهد که عمده رخدادهای مس هیدروترمال در محل هم‌گرایی محورهای غربی و شرقی کنترل می‌شوند و در محل توده‌های نفوذی منطقه سرچشمه-پاریز قرار گرفته‌اند. در این منطقه بررسی محورهای فشارش، واگرایی آنها را در محورهای شمالی و جنوبی نشان می‌دهد. این پدیده، نشان‌دهنده جهت فشارش شرقی-غربی و کشش شمالی-جنوبی است و احتمالاً توده‌های

بررسی ارتباط رخدادهای مس با محورهای فشارش: رخدادهای مس هیدروترمال عمدتاً در ارتباط با توده‌های نفوذی قرار دارند و از طرفی جای‌گیری این توده‌ها و تأثیر محلولهای هیدروترمال در سنگ مادر با شرایط سینماتیکی منطقه و جهت‌گیری محورهای فشارش ارتباط مستقیم دارد. بنابراین، این بررسی می‌تواند شرایط جای‌گیری توده‌های نفوذی و تشکیل رخدادهای مس مرتبط با آنها را مشخص کند. نتایج به‌دست آمده از بررسی

رخ داده‌های پورفیری و رگه‌ای مرتبط با سیستم کانه‌زایی هیدروترمال را ایجاد کرده‌اند. جای‌گیری توده‌های نفوذی در سطوح کم‌عمق پوسته‌ای صورت گرفته و به‌همین دلیل، تشکیل رخ داده‌های هیدروترمال (پورفیری و رگه‌ای) از دیدگاه تکتونیکی لازمه شرایط خاص سینماتیکی و مکانی است. به‌گونه‌ای که مثلاً، الگوی پراکندگی رخ داده‌های مس نوع آغشتگی موجود در ناحیه سرچشمه می‌تواند کنترل‌پذیری آنها را از گسل‌های موجود نشان دهد و به نظر می‌آید که جای‌گیری توده گرانودیوریتی سنگ مادر اندیس‌های معدنی مس توسط گسل‌های اصلی کنترل شده‌اند.

در این پژوهش، برای بررسی صحت این فرضیه، از روش‌های سنجش از دور، GIS و مشاهدات صحرایی استفاده شد و به این ترتیب ارتباطسنجی بین شکستگی‌ها و رخ داده‌های مس از چند دیدگاه نظیر: ارتباط رخ داده‌ها با سازوکار گسل‌ها، محورهای فشارش، فراوانی روندها، دانسیته شکستگی‌ها و فاصله‌داری از گسل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی‌ها نشان داد؛ شکستگی‌ها به‌عنوان یک دهلیز ساختاری، مکانی مناسب برای جای‌گیری توده‌های نفوذی و تشکیل رخ داده‌های مس هستند. بر این اساس می‌توان چنین برداشت کرد که گسل‌ها با ایجاد شرایط سینماتیکی و مکانی مناسب، می‌توانند الگوی تشکیل رخ داده‌های مس را کنترل کنند.

بررسی‌های انجام شده، نشان می‌دهد که با وجود این که روندهای اصلی (نظیر گسل رفسنجان و مانی) دخالت مستقیمی در کنترل محل رخ داده‌های هیدروترمال (پورفیری، رگه‌ای) نداشته‌اند، با این حال، سه گسل اصلی رفسنجان، مانی و گود احمر می‌توانسته‌اند شرایطی را برای تشکیل رخ داده‌های مس (نوع پورفیری، رگه‌ای و نوع آغشتگی) فراهم کنند. به طوری که بیشتر رخ داده‌های پورفیری منطقه مورد بررسی در حد فاصل دو گسل مانی (در بخش‌های غرب و جنوب غرب منطقه) و گسل گود احمر (در بخش میانی منطقه)، در محدوده توده باتولیتی سرچشمه و در جنوب-جنوب غرب گسل گود احمر قرار گرفته‌اند. به‌عبارتی می‌توان گسل گود احمر را مرز میان رخ داد مس هیدروترمال و نوع آغشتگی دانست. در بیشتر موارد، این رخ داده‌ها در فاصله‌داری 400 تا 600 متر از این گسل‌ها قرار می‌گیرند (شکل 8). بیشتر رخ داده‌های آغشتگی نیز در بخش‌های شمال-شمال شرقی گسل گود احمر، در حوالی گسل رفسنجان و رده‌های گسلش ثانویه مربوط به آن قرار گرفته‌اند (شکل‌های 6

نفوذی این منطقه توسط گسل‌های عمده شرقی-غربی (نظیر گسل‌های سرچشمه و دره‌زار) بریده شده‌اند (شکل 6). در رابطه با رخ داده‌های مس آغشتگی ارتباط واضحی بین محورهای فشارش و رخ داده‌های مس دیده نمی‌شود و جهت‌گیری محورهای فشارش در رابطه با گسل رفسنجان و گسل‌های فرعی حاصل از آن است (شکل 6).

**بررسی ارتباط رخ داده‌های مس با میزان تجمع (چگالی) شکستگی‌ها:** بررسی ارتباط مناطق با چگالی بالای شکستگی با رخ داده‌های مس بیانگر ارتباط ضعیف آنهاست؛ به طوری که به جز موارد انگشت‌شمار، عمده رخ داده‌های هیدروترمال (پورفیری، رگه‌ای) در محل‌هایی قرار گرفته‌اند که کمترین تراکم شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند (شکل 7). همچنین ارتباط ضعیفی بین مناطق با چگالی بالای شکستگی و رخ داده‌های مس آغشتگی دیده می‌شود. به طوری که تقریباً تمامی رخ داده‌های مس مربوط به آغشتگی در ارتباط با گسل رفسنجان (و یا گسل گود احمر) و گسل‌های فرعی مرتبط با آن قرار گرفته‌اند (شکل 7).

**بررسی فاصله‌داری رخ داده‌های مس از شکستگی‌ها:** در این مبحث فاصله‌داری رخ داده‌های مس از شکستگی‌ها مد نظر قرار گرفت. بدین‌منظور در اطراف شکستگی‌های منطقه مورد پژوهش، بافرهایی با فاصله 200 متری ایجاد شد (شکل 8). بررسی این ارتباطسنجی نشان می‌دهد در بسیاری از موارد، رخ داده‌های هیدروترمال (پورفیری و رگه‌ای) در بافرهای 400-600 متری گسل‌ها واقع می‌شوند که این موضوع در کانسارهای سرچشمه، دره‌زار و نوچون به خوبی مشخص است. این موضوع نشان‌دهنده آن است که شاید شکستگی‌های اصلی تأثیر مستقیمی بر روی مکان رخ داده‌ها نداشته و ارتباط رخ داده‌ها با پدیده پلوتونیزم، همراه با شکستگی‌های رده دومی بیشتر باشد (شکل‌های 6 و 8). همچنین بیشتر رخ داده‌های آغشتگی در بافرهای حدود 200 متری اطراف گسل اصلی رفسنجان (ورده-های اصلی مرتبط با آن) واقع شده‌اند. از این رو، ارتباط مستقیم این رخ داده‌ها با گسل اصلی رفسنجان مانند بررسی‌های قبلی تأیید می‌شود (شکل 8).

#### نتیجه‌گیری

معدن مس سرچشمه و سایر اندیس‌های مس پیرامون آن، در کمربند آتشفشانی (ایران مرکزی) ارومیه-دختر در کمربند دهج-ساردوئیة ناحیه کرمان قرار گرفته‌اند. این توده‌های نفوذی،

هم‌گرایی محورهای شرقی و غربی و واگرایی محورهای شمالی و جنوبی در ارتباط تنگاتنگ هستند؛ به طوری که بیشتر اندیس‌های مس، در مرکز این مجموعه محورهای هم‌گرا و واگرا دیده می‌شوند (شکل 6). در حالی که ارتباط مشخصی بین جهت‌گیری محورهای فشارش منطقه و رخداد‌های آغستگی مشاهده نشد (شکل 6).

و 8). پراکندگی این رخدادها روندی مشابه با گسل اصلی رفسنجان دارد و این مسأله در نقشه‌های هم‌شکستگی و بافر (شکل‌های 7 و 8) به خوبی دیده می‌شود. به طوری که اکثر رخداد‌های آغستگی در فاصله‌داری حدود 200 متری از گسل‌های یادشده قرار می‌گیرند. جهت‌گیری محورهای فشارش P نشان می‌دهد که رخداد‌های هیدروترمال (پورفیری، رگه‌ای) که در محل توده‌های نفوذی منطقه قرار گرفته‌اند در محل

## References

- Amidi, A.S., Emami, M.H. and Michel, R., 1984. Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Iran and its geodynamic situation. *Geologische Rundschau*, 73(3): 917-932.
- Aronoff, S., 1989. Geographic information system. A management perspective. WDL publication, Ottawa, Canada, 249 pp.
- Ashrafi, S.A., 2007. Structural and Tectonic analysis of Sarcheshmeh ore district. M.Sc. Thesis, Shahid Beeshti University, Tehran, Iran, 170 pp (in Persian with English abstract).
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J. and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran. *Journal of Geological Society of London*, 139(5): 605-614.
- Berger, B.R., Tingley, J.V. and Drew, L.J., 2003. Structural Localization and Origin of Compartmentalized Fluid Flow, Comstock Lode, Virginia City, Nevada. *Economic Geology*, 98: 387-408.
- Cornejo, P., Tosdal, R.M., Mpodozis, C., Tomlinson, A.J., Rivera, O. and Fanming, C.M., 1997. El Salvador, Chile, porphyry copper deposits revisited: Geologic and geochronologic framework. *International Geology Review*, 38: 22-54.
- Darvishzadeh, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 901 pp (in Persian).
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2006. A new scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26: 683-693.
- Ghorbani, M., 2013. The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources. Springer Science, Business Media Dordrecht, Heidelberg, 581 pp.
- Grocott, J., Arevalo, C., Welkner, D. and Cruden, A., 2009. Fault-assisted vertical pluton growth: Coastal Cordillera, north Chilean Andes. *Journal of the Geological Society London* 166: 295-301.
- Hassanzadeh, J., 1993. Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahre Babak area, Kerman Province). Unpublished Ph.D thesis, University of California, Los Angeles, USA, 204 pp.
- Hezarkhani, A., 2006. Hydrothermal evolution of the sar-cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(1): 1-14.
- Honarmand, M. and Ranjbar, H., 2006. Application of Different Image Processing Techniques on ETM Images for Exploration of Porphyry and Vein Type Copper Mineralizations in Kuh-e-Mamzar and Kuh-e-panj Areas, Kerman Province. *Geosciences*, 57: 110-127 (in Persian).
- Jung, D., Kursten, M. and Tarkian, M., 1976. Post-Mesozoic volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro-Arabian under the Eurasian plate. In: A. Pilger and A. Rosler, (Editors), *After Between continental and oceanic rifting*. Schweizerbartsche varlagbuchhandlung, Stuttgart, pp. 175-181.
- Khadem, N. and Nedimovic, R., 1973. Exploration for ore deposits in Kerman Region. Geological Survey of Iran, Report Yu/53, 247 pp (in Persian).
- Kloppenburg, A., Grocott, J. and Hutchinson, D., 2010. Structural Setting and Synplutonic Fault Kinematics of a Cordilleran Cu-Au-Mo Porphyry Mineralization System, Bingham Mining District, Utah. *Economic Geology*, 105: 743-761.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 2008. Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, New York, 756 pp.

- Lotfi, M., Sadeghi, M.M. and Omrani, S.J., 1993. Mineral distribution map of Iran, scale: 1/1000000. Geologic Survey of Iran.
- Marrett, R. and Allmendinger, R.W., 1990, Kinematic analysis of fault-slip data. *Journal of structural Geology*, 12(8): 973-986.
- Moradian, A., 1997. Geochemistry, geochronology and petrography of feldspathoid bearing rocks in Urumieh-Dokhtar volcanic belt, Iran. Unpublished Ph.D thesis, University of Wollongong, Australia, 412 pp.
- Navaei, I., 2002. Viewpoint on Cu resources of Iran: genesis and distributions. Geological Survey of Iran, Internal report, Tehran, 235 pp (in Persian).
- Ramsay, J.G. and Hubber, M., 1987. The techniques of modern structural geology: Folds and fractures (vol. II). Academic Press, London, 700 pp.
- Richards, J.P., 2000, Lineaments revisited. *Society of Economic Geologists Newsletter*, 42(1): 14-20.
- Sabins, F.F., 1996. Remote sensing principle and interpretation. Macmillan Education Australia, New York, 494 pp.
- Richards, J.P., 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8): 1515-1533.
- Shafiei, B., 2008. Metallogenic model for Kerman porphyry copper belt and its implications for exploration. Ph.D. thesis, Shaheed Bahonar University, Kerman, Iran, 257 pp (in Persian with English abstract).
- Shafiei, B., 2010. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implication. *Ore Geology Reviews*, 38: 27-36.
- Shafiei, B. and Shahabpour, J., 2012. Geochemical aspects of molybdenum and precious metals distribution in Sarcheshmeh porphyry copper deposits, Iran. *Miner Deposita*, Springer, 47: 535-543.
- Safari, H., Pirasteh, S. and Shattri, B.M., 2011. Role of Kazerun Fault for Localizing Oil Seepage in the Zagros Mountains, Iran: an Application of GiT. *International Journal of Remote sensing*, 32(1): 1-16.
- Shahabpour, J., 1996. Use of drainage trends as a prospecting tool in the central Iranian porphyry copper belt. *CIM Bulletin (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum)*, 89(1003): 70-75.
- Shahabpour, J., 2007. Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30: 652-665.
- Sillitoe, R.H. and Perelló, J. 2005. Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, Metallogeny, exploration, and discovery. In: J.W., Hedenquist, J.F.H., Thompson, R., Goldfarb and J., Richards (Editors), *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, USA, pp. 845-890.
- Taghizadeh Zenuzi, H., 1997. Investigation on relationship between Tectonics and mineralization in NE of Pariz. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 130 pp (in Persian with English abstract).
- Tosdal, R.M. and Richards, J.P., 2001. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu  $\pm$  Mo  $\pm$  Au deposits. *Reviews in Economic Geology*, 14: 157-181.
- Zarasvandi, A.R., 2004. Geology and genesis of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad copper deposits, Southwest of Yazd, based on fluid inclusion and isotope studies. Ph.D. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 280 pp.
- Zengqian, H., Hongwen, M., Zaw, K., Yuquan, Z., Mingjie, W., Zeng, W., Guitang, P. and Renli, T., 2003. The Himalayan Yulong Porphyry Cu Belt: Product of Large-Scale Strike-Slip Faulting in Eastern Tibet. *Economic Geology*, 98: pp. 125-145.



## Fault Control on Copper Deposits in the Sar Cheshmeh Area Indicated by Remote Sensing & Geographic Information Systems (GIS)

Hojjat Ollah Safari\*, Behnam Shafiei Bafti and Hassan Mohamadrezai

Department of Geology, Faculty of Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

Submitted: Oct. 11, 2013

Accepted: Apr. 6, 2015

**Keywords:** *Sar Cheshmeh Area, Copper Occurrences, Remote Sensing (RS), GIS*

### Introduction

The Sar Cheshmeh copper deposit and indications of other deposits are located in the Dehaj-Sarduieh belt in the Kerman region (Khadem and Nedimovic, 1973). This belt is one of the most important provinces of Cu mineralization in Iran, with approximately 300 Cu deposits and prospects, including twenty of the porphyry copper type (Ghorbani, 2013). This belt, 300 km in length and 30–45 km width, is situated in the southern part of the Uramia-Dokhtar volcanic belt in central Iran (Shafiei, 2010). Zarasvandi (2004) has proposed that faulting has played a role in the location of copper deposition in this area.

### Methods of Investigation

In order to check Zarasvandi's hypothesis, the spatial relationship between faults and Cu deposits was investigated using remote sensing and GIS techniques together with field investigations in the Sar Cheshmeh area. The following steps were used in this research:

1. Review of available data
2. Surface geology field studies
3. Preparation of digital overlay of Copper occurrences
4. Analysis of the relationship of faulting to Copper occurrences

Using remote sensing techniques, a geometrically corrected satellite image was filtered with high pass and Sharpen Edge filters to detect possible lineaments (Lillesand and Keifer, 2008; Sabins, 1996). Directional filters (45°, 90°, 135° and 180°) were then applied to the processed image to

enhance the linear structures. Subsequently, the major lineaments were documented in the field as major and minor faults (Safari et al., 2011). Four main faults, designated as the Rafsanjan, Mani, Gaud-e-Ahmar and Sar Cheshmeh faults were determined to be major. These faults were digitized and overlaid on other data layers in GIS environment. The strikes, dips, striae and directions of movement of the faults were measured at 20 locations in the field. Structural analyses were done with Rose diagrams, calculation of P-axes and preparation of a structural map.

Copper occurrences on the mineral distribution map of Lotfi, et al. (1993) were used in this study and the locations of some copper occurrences were determined in the field using GPS. The locations and main characteristics of the copper occurrences were entered into a GIS map. Finally, an iso-fracture map, was prepared using the GIS environment based on fault lengths within a 1000 × 1000 m grid and on the buffer map of ore occurrences relative to faults. The copper occurrence locations were overlaid on these prepared maps and the relationship between faults and ore occurrences locations was analyzed.

### Results

This research indicates that:

1. The faults in the Sar Cheshmeh area trend predominantly 090°-110°, 130°-150°, 050°-070° and 170°-190°.
2. The data show that three major NW-trending faults, the Mani, Gaud-e-Ahmar and Rafsanjan faults show right-lateral strike-slip

\*Corresponding authors Email: h.safari@gu.ac.ir

movement and the two major E-W trending Sar Cheshmeh and Darreh Zar faults have left-lateral strike-slip displacements.

3. The control of the calculated P-axes shows that at least two older movements have happened along these faults.

### Discussion

The results show that the main faults did not directly control the locations of the mineralized porphyries and veins, but that rather the locations are due to the second-order faults. Also, the saturated occurrence locations have the closer relationship with main faults and most indexes are located near the Rafsanjani fault and its second-order faults.

### References

- Ghorbani, M., 2013. *The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources*. Springer Science, Business Media Dordrecht, Heidelberg, 581 pp.
- Khadem, N. and Nedimovic, R., 1973. *Exploration for ore deposits in Kerman Region*. Geological Survey of Iran, Report Yu/53, 247 pp (in Persian).
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 2008. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, New York, 756 pp.
- Lotfi, M., Sadeghi, M.M. and Omrani, S.J., 1993. *Mineral distribution map of Iran*, scale: 1/1000000. Geological Survey of Iran.
- Sabins, F.F., 1996. *Remote sensing principle and interpretation*. Macmillan Education Australia, New York, 494 pp.
- Safari, H., Pirasteh, S. and Shattri, B.M., 2011. Role of Kazerun Fault for Localizing Oil Seepage in the Zagros Mountains, Iran: an Application of GiT. *International Journal of Remote sensing*, 32(1): 1-16.
- Shafiei, B., 2010. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implication. *Ore Geology Reviews*, 38: 27-36.
- Zarasvandi, A.R., 2004. *Geology and genesis of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad copper deposits, Southwest of Yazd, based on fluid inclusion and isotope studies*. Ph.D. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 280 pp.