

توسعه ساختارهای کششی در یک رژیم ترفشارشی و ارتباط آنها با تشکیل کانسارهای نوع رگه‌ای و مس پورفیری در شمال خاور شهر بابک

لیلا عبادی^۱، سید احمد علوی^۱ و شهرام شفیعی بافتی^۲

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ گروه معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۳/۰۹

چکیده

کانسارهای رگه‌ای گرمابی و مس پورفیری گسترش چشمگیری در واحدهای آتشفشانی اتوسن منطقه شهر بابک دارند. در این مقاله، الگوهای ساختاری، ارتباط میان این عناصر با جایگیری دایک‌ها و تشکیل کانسارهای رگه‌ای گرمابی و مس پورفیری در این منطقه مطالعه شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی، سه روند گسلی NE-SW، N-S، و NW-ESE چیره را در منطقه مشخص می‌سازد. گسل‌های با روند NW-ESE و N-S، با سازوکار عادی و گسل‌های با روند NE-SW، با سازوکار راستالغز چپ‌گرد با مؤلفه عادی در منطقه، فراوانی قابل توجهی دارند. دو روند NW-ESE (T_2) و N-S (T_1) برای دایک‌ها قابل تشخیص است که از روند شکستگی‌های ناحیه‌ای در منطقه پیروی می‌کند. الگوی رگه‌های کششی و رگه‌های پرچم سه‌گوش که ارتباط مستقیم با تنش ناحیه‌ای دارند، سامانه درزه‌های کششی، دایک‌ها و گسل‌های عادی، حضور یک سامانه کششی چیره را در منطقه نشان می‌دهد. از سوی دیگر تغییر روند تنش اصلی (σ_1) از NE-SW به N-S، وجود چرخش را اثبات می‌کند. چرخش در یک سامانه ترفشاری باعث ایجاد ساختارهای کششی شده است و ساختارهای کششی فضای مناسب را برای حرکت سیال‌های کانه‌دار و جایگیری کانسارهای رگه‌ای چندفلزی و مس پورفیری در شمال خاور شهر بابک فراهم کرده‌اند.

کلید واژه‌ها: ترفشارشی، کانه‌زایی، پورفیری، ساختار، کشش، شهر بابک.

*نویسنده مسئول: لیلا عبادی

E-mail: erg_eb@yahoo.com

۱- مقدمه

شکستگی‌ها عاملی مهم در جایگیری ذخایر معدنی هستند. شناسایی عناصر ساختاری (بویژه گسل‌ها) و ارتباط آنها با توده‌های نفوذی، در مناطق متأثر از فعالیت‌های ماگمایی کمک بسیار ارزنده‌ای در شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌کند. محل برخورد گسل‌های اصلی می‌تواند محل مناسبی برای نفوذ ماگما و کانی‌زایی باشد (Forster, 1978). از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی، منطقه در پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر و مرتبط با فروانش صفحه عربستان به زیر صفحه ایران قرار دارد. این ناحیه در یک پهنه به شدت تغییر شکل یافته، که خود جزیی از یک تاقدیس بزرگ می‌باشد، واقع شده است. منطقه در یال جنوب خاوری این تاقدیس قرار دارد و سازندهای زمین‌شناسی با راستای NW-SE و شیب SW هستند (Dimitrijevic, 1973). عوامل متفاوتی شکل‌گیری ایالت‌های بزرگ کانه‌زایی را در بیشتر کمربند کوهزایی کنترل می‌کنند (Neubauer et al., 2005). مهم‌ترین این عامل‌ها شامل: ۱- نوع پوسته در حال فروانش (Sillitoe, 1997)، ۲- تغییر در زاویه فروانش (Mahlbug- Kay and Mpodozis, 2001) و ۳- فرایند شکست صفحه (Borcos et al., 1998; Blundell, 2002; lips, 2002; Drew, Slab break off) (2003) هستند. مجموعه این فرایندها، سبب شکل‌گیری فعالیت ماگمایی کلسیمی- قلیایی و قلیایی شده که نهشته‌های پورفیری و در مرحله بعد سامانه‌های رگه‌ای گرمابی در این شرایط ایجاد می‌شوند (Borcos et al., 1998; Blundell, 2002; Richards, 2003; Neubauer, 2002; Neubauer et al., 2005).

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد مطالعه در ۴۲ کیلومتری شمال خاور شهر بابک در بخش دهج- ساردوئیه (Dimitrijevic et al., 1971) که در واقع بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر است، واقع شده است. در شکل ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت منطقه در تصویر ماهواره‌ای لندست (SRTM) و نقشه زمین‌شناسی منطقه (مقیاس ۵:۵۰۰۰۰) ارائه شده است. مهم‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه شامل توالی آتشفشانی- رسوبی اتوسن-

الگوموسن است که سترایی بیش از ۱۵ کیلومتر در منطقه دارد. سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی ناحیه شهر بابک ترکیب کلسیمی- قلیایی دارند و بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی جایگاه کمان قاره‌ای (Hassanzadeh, 1993) مرتبط با فروانش (Shahabpoure, 2007) برای این سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود. توالی واحدهای سنگی اتوسن پایینی که به صورت کمپلکس آتشفشانی در منطقه رخنمون دارند از پایین به بالا شامل: سنگ‌های آندزیت- بازالت، توف سرخ و توفیت، سنگ‌های تراکی آندزیت- تراکی بازالت، توف- توفیت و ماسه سنگ توفی و آگلومراست (Dimitrijevic et al., 1971). به طوری که سن کمپلکس آتشفشانی بر اساس داده‌های سن سنجی $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ در آنالسیم- آلپیت میان 11.4 ± 3.7 تا 6.3 ± 3.2 میلیون سال برآورد شده است (Hassanzadeh, 1993). از سوی دیگر، سنگ‌های درونی در مجموعه آتشفشانی به صورت دایک، باتولیت و استوک (همچون میدوک) جایگیری کرده‌اند و سن میان 5.5 ± 1.1 تا 2.4 ± 1.2 میلیون سال (اتوسن میانی) بر اساس داده‌های K/Ar و Rb/Sr برای سنگ‌های توده نفوذی میدوک گزارش شده است (Hassanzadeh, 1993). کمپلکس آتشفشانی و سنگ‌های خروجی در منطقه به وسیله سنگ‌های نیمه آتشفشانی و آتشفشانی میوسن- پلیوسن پوشیده شده‌اند (۶/۵ تا ۷/۵ میلیون سال، Hassanzadeh, 1993). سنگ‌های آتشفشانی جوان‌تر با ترکیب تراکی تا داسیت با سن کواترن در منطقه رخنمون دارند (Boomeri et al., 2009). منطقه، پتانسیل‌های اقتصادی بالایی از ذخایر نوع پورفیری و سامانه رگه‌ای دارد که میدوک (حسین‌خانی، ۱۳۸۸ و مدرک، ۱۳۸۸)، چاه فیروزه (محمدزاده، ۱۳۸۷) و ذخایر دیگر (Zaravandi et al., 2005) از مهم‌ترین ذخایر هستند. منطقه از نظر ساختاری، بخشی از پهنه برشی راست گرد حاصل عملکرد دو گسل راستالغز انار و شهر بابک (Berberian, 1976) است و بر روی یال جنوب باختری تاقدیس بزرگ مقیاسی با روند محوری NW واقع شده است (Dimitrijevic, 1973).

۳- روش مطالعه

برای مطالعه ارتباط کانه‌زایی و ساختارها در منطقه، ابتدا تصویر ماهواره‌ای با شماره گذر ۱۶۱ و ردیف ۳۹ توسط نرم‌افزار ER-Mapper7 بررسی و سپس نقشه زمین‌شناسی منطقه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰) تهیه شد. در بازیدهای صحرایی ساختارها برداشت شدند و در پایان، تحلیل بر روی ساختارها صورت گرفت.

۳-۱. مطالعه تصاویر ماهواره‌ای

یکی از مهم‌ترین روش‌های شناسایی ذخایر گرمایی بویژه کانسارهای نوع پورفیری شناسایی نواحی دگرسان شده است. اساس شناخت دگرسانی بر روی داده‌های ماهواره‌ای ویژگی‌های بازتابی و میزان گسترش دگرسانی است. شناسایی پهنه پروپلیتی به سبب ستبرای کم در بیشتر موارد بویژه در مقیاس بررسی شده، امکان‌پذیر نیست اما تشخیص پهنه‌های دگرسانی آرژیلیتی و سریسیتی به سبب گسترش مناسب به خوبی میسر است. جدایش پهنه‌های دگرسانی سریسیتی و آرژیلیتی به دلیل بازتاب نزدیک آنها در باندهای اطلاعاتی لندست مقدور نیست. در راستای شناسایی مناطق دگرسان شده در تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از عملیات میان باندها تصاویر خاص ایجاد شد تا مناطق دگرسان شده بویژه دگرسانی آرژیلیتی قابل شناسایی باشد. از این رو، ترکیب باندهای ۳/۱، ۴/۲ و ۵/۷ در محیط RGB ایجاد شده است. شکل ۳-الف ترکیب باندها را نشان می‌دهد که مناطق دگرسان شده بازتاب صورتی و پوشش گیاهی بازتاب زرد دارد. شکل ۳-ب، تصویر ماهواره‌ای را به صورت نمادین به همراه موقعیت ذخایر محتمل و غیر محتمل نشان می‌دهد، در نتیجه منطقه پتانسیل‌های اقتصادی شناخته شده و نشده بسیاری دارد.

۳-۲. مشاهدات صحرایی

– **گسل‌ها:** مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که بیشتر گسل‌های منطقه شهر بابک نفوذی‌های اتوسن- الیگوسن را تحت تأثیر قرار داده‌اند، پس جوان‌تر از اتوسن هستند و دست‌خوش میدان تنش از زمان اتوسن تا امروز شده‌اند. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که طول بیشتر گسل‌های منطقه سه کیلومتر است و به ندرت به ۱۵ کیلومتر می‌رسد. از آنجایی که بیشتر گسل‌های منطقه بر واحدهای آذرین تأثیر گذاشته‌اند، آثار حرکت (پله و خش‌لغزها) به خوبی در بسیاری از صفحه‌های گسلی حفظ شده است که در تعیین جنبش گسل‌ها و محاسبه سوی تنش مفید است. حضور صفحه‌های گسلی، همراه جابه‌جایی لایه‌ها و پرتگاه‌های توپوگرافی در تعیین سوی حرکت گسل‌ها استفاده شد. اندازه‌گیری و تحلیل‌های صورت گرفته بر روی ۹۹ صفحه گسلی در ۹ ایستگاه نشان می‌دهد (شکل‌های ۴-الف و ب) که ۵۶ گسل، جنبش راست‌الغز و ۳۴ گسل، جنبش عادی دارند (ایستگاه‌های ۷، ۴ و ۱۱ در شکل ۴). گسل‌های عادی با روند N-S و WNW-ESE با زاویه ریک زیاد (در حدود 80° تا 90°) در منطقه رخنمون دارند و بیشترین جابه‌جایی دیده شده در برداشت‌های صحرایی در حدود ۵۰۰ متر است. گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد در منطقه به دو صورت راست‌الغز راست‌گرد و چپ‌گرد رخنمون دارند. گسل‌های راست‌الغز به طور معمول با زاویه ریک پایین ($>10^{\circ}$) (شکل ۵-الف) و روند NW-SE هستند در حالی که گسل‌های راست‌الغز چپ‌گرد روند NE-SW و در برخی رخنمون‌ها مؤلفه عادی نیز دارند؛ فراوانی آنها بیشتر از گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد است. زاویه ریک این گروه از گسل‌ها همانند گسل‌های راست‌الغز راست‌گرد به طور معمول پایین و کمتر از 10° درجه است (شکل ۵-ب). رخنمون دو گسل راست‌الغز در ایستگاه ۲، در شکل‌های ۵-ج و د، به همراه موقعیت نمادین و رگه‌های کششی ارائه شده است. با استفاده از این معیارها و صفحه‌های گسلی، سوی تنش برای صفحه‌های گسلی محاسبه شد.

در برداشت‌های صحرایی، دو نسل خش‌لغز با سوییابی‌های متفاوت بر روی یک صفحه گسلی دیده شد که دلیلی بر چند فاز جنبشی متفاوت در گسل است در شکل‌های ۵-ه، و، و نمونه‌ای از صفحه‌های گسلی دیده می‌شود که فاز شیب‌لغز

بر روی فاز راست‌الغز اثر کرده است، در حالی که در رخنمون دیگر فاز راست‌الغز بر فاز شیب‌لغز چیره بوده است. از آنجا که گسل‌های عادی در منطقه در دو روند WNW-ESE و N-S رخنمون دارند و گسل‌های با روند WNW-ESE در ارتباط با شکستگی‌های حاصل از چین‌خوردگی (T_۲) (Storti et al., 2006) در منطقه هستند و چین‌خوردگی بسیار کهن است (Dimitrijevic, 1973)، می‌توان به دو فاز کششی در منطقه اشاره کرد که فاز اول بیشتر پرشدگی دارد و با به توجه روند شکستگی‌ها می‌توان آن را به شکستگی‌های طولی شکل گرفته در زمان چین‌خوردگی نسبت داد و فاز دوم کشش که جدیدتر است به احتمال در ارتباط با چرخش بلوک در منطقه است (شکل‌های ۶-الف و ب).

– **دایک:** در برداشت‌های صحرایی از منطقه رخنمون بیش از ۱۱۰ دایک با ترکیب دیابازی، مافیک تا اسیدی که همه رخنمون‌های سنگی را قطع کرده بودند اندازه‌گیری شد. طول دایک‌ها میان ۱ تا ۱۰۰۰ متر و پهنای آنها میان ۰/۵ تا ۱۰ متر متغیر است. بیشتر دایک‌های منطقه به صورت عمودی و نیمه‌عمودی رخنمون دارند (شکل‌های ۷-الف و ب) اما در برخی از رخنمون‌ها (شکل‌های ۷-ج و د) دایک با روند WNW-SES دچار چرخش شده و موقعیت شبیه سیل (نیمه‌افقی) را به دست آورده است. به نظر می‌رسد که دایک‌ها با امتداد چیره WNW به عنوان دایک‌های تغذیه‌کننده سیل‌ها باشند. همچنین این احتمال وجود دارد که دایک‌های WNW-ESE توسط اتاق ماگمایی با روند WNW-ESE کنترل و در بالای بخش مرکزی اتاق ماگمایی واقع شده و تغذیه‌کننده سیل‌ها در منطقه باشند؛ بنابراین، این روند دایک‌ها کهن است. در برخی رخنمون‌ها از دایک‌ها که دچار جابه‌جایی چپ‌گرد شده‌اند، از سوی گروه‌های دایک در منطقه، حاشیه‌های واضح و شفاف‌ی نسبت به سنگ میزبان دارند و بیشتر آنها هاله دگرریختی ندارند.

دایک‌های با روند N-S و WNW-SES رخنمون بیشتری در منطقه دارند (شکل ۸). با توجه به مجموعه ویژگی‌های بالا و مقایسه میان روند دایک‌ها و گسل‌های منطقه و درزه‌های موجود در سنگ میزبان دایک‌ها چنین استنباط می‌شود (شکل ۸) که گروه‌های دایک در منطقه شهر بابک بیشتر در شکستگی‌های از پیش موجود جایگیری کرده‌اند؛ در واقع الگوی گروه‌های دایک و شکل دایک‌های منفرد در منطقه توسط سازوکار شکستگی‌های از پیش موجود کنترل می‌شود و به نظر می‌رسد که این شکستگی‌ها توسط تنش‌های ناحیه‌ای کنترل شده‌اند، به طوری که دایک‌های با امتداد WNW به شکستگی‌های کهن (T_۲) و دایک‌هایی با روند N-S به شکستگی‌های کششی در مناطق برشی (T_۲) (Storti et al., 2006) نسبت داده می‌شود.

– **رگه‌ها:** نقشه‌برداری دقیق ساختارها در منطقه چاه‌مسی سامانه چند شاخه‌ای رگه گرمایی کوارتز را نشان می‌دهد. سنگ میزبان رگه چند فلزی (مس و سرب-روی) در منطقه چاه‌مسی، واحدهای آذرین (بازالت، آندزیت‌بازالتی، آندزیت، دلزیت-بازالت، تراکی آندزیت و آذرآواری) اتوسن است. تحلیل ساختاری بر روی رگه (شکل ۹) و درزه‌های موجود در سنگ میزبان رگه نشان می‌دهد که جایگیری سامانه رگه‌ای توسط ساختارهای شکننده مثل شکستگی‌های منفرد و سامانه‌های شکستگی کنترل می‌شود. برداشت‌های صحرایی، دو نوع متفاوت رگه را در منطقه نشان می‌دهد: دسته اول، رگه‌هایی با روند شمالی- جنوبی، شیب 76° به سوی خاور، طول میان ۰/۵ تا ۳۰۰ متر و پهنای ۳ تا ۳۰۰ سانتی‌متر هستند که با زاویه 45° نسبت به پهنه جابه‌جایی اصلی در سامانه برش ساده (عبادی، ۱۳۸۸) جهت یابی کرده‌اند. در ارتباط مستقیم با شکستگی‌های کششی (T_۲) (Storti et al., 2006) هستند و نقش بسیار مؤثری در سامانه کانه‌زایی در منطقه دارند. این گروه از رگه‌ها که به صورت مد I (Atkinson, 1987) جایگیری کرده‌اند به عنوان شکاف کششی (Tension gashes) توسط Ramsay & Huber (1987) نیز معرفی شده‌اند. این شکستگی‌ها (شکل ۱۰-الف) می‌توانند چرخش در منطقه را نشان دهند (Olson & Pollard, 1991) و برداشت‌ها و

در سامانه کانه‌زایی در منطقه دارند. دسته دوم که با شکستگی‌های مزدوج R/R' ارتباط می‌یابند، رگه‌های پرچم سه گوش و بیشتر بدون ارزش اقتصادی هستند. شکستگی‌های با روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری (R) که بیشتر توسط اکسیدهای آهن پر شده‌اند، جوان‌تر هستند و نقش مؤثری در کانه‌زایی ندارند. از این رو، شکستگی‌ها در کانسار پورفیری میدوک تحت تأثیر شکستگی‌های اصلی در منطقه هستند، پس ساختارها در استوک مورد مطالعه نیز از رژیم تنش ناحیه‌ای پیروی می‌کنند.

حضور گسل‌های عادی، رگه‌ها، دایک‌ها و درزه‌های کششی و نبود گسل‌های رانده، چیرگی رژیم کششی و مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه، جایگاه کمان قاره‌ای مرتبط با فرورانش را در منطقه نشان می‌دهد (Hassanzadeh, 1993). Neubaure et al. (2005) بحثی در مورد فرایند شکستگی صفحه (Slab break off) در مناطق فرورانش و تغییر در زاویه فرورانش مطرح می‌کند و بر این باورند که این دو فرایند سبب چرخش در بلوک بالارو می‌شوند و ساختارهای کششی حاصل از چرخش زمینه را برای نفوذ سیال‌ها و مخلوط‌شدگی آب‌های جوی و ماگمایی که منشأ سیال‌های کانه‌ساز هستند، فراهم می‌آورند. فرایند شکستگی صفحه، اولین بار توسط Ghasemi & Talbot (2006) در کمربند ماگمایی ارومیه - دختر مطرح شد. مطالعات و مدل‌های عنوان شده توسط Shahabpuor (2005, 2007)، تغییر زاویه فرورانش را در منطقه مطرح می‌کند. براساس بازسازی‌های Mc Quarrie et al. (2003)، مسیر همگرایی میان صفحه عربی و ایران از ۵۶ میلیون سال پیش از NE-SW به روند N-S در ۱۹ میلیون سال پیش رسیده است. محاسبه سوی تنش بر روی گسل‌های منطقه، تغییر روند را از NE-SW به N-S نشان می‌دهد که می‌تواند با چرخش در منطقه قابل توجیه باشد به گونه‌ای که این چرخش در دایک‌ها و رگه‌های منطقه قابل مشاهده است و از سوی دیگر تحلیل‌های ساختاری در منطقه نشان می‌دهد که کانه‌زایی ارتباط تنگاتنگی با ساختارهای ناحیه‌ای دارد. مطالعات ایزوتوپی (حسین‌خانی، ۱۳۸۸) و میان‌بارهای سیال (مدرک، ۱۳۸۸) به همپوشانی سیال‌های جوی و ماگما در ذخیره چاه‌مسی اشاره دارند. بنابراین، ساختارهای کششی منطقه نقش مؤثری در نفوذ سیال‌ها و شکل‌گیری ذخایر اقتصادی داشته‌اند که بنابر شواهد بالا می‌توان کشش در منطقه را به چرخش بلوک در رژیم ترا فشارش اولیه نسبت داد.

۵- نتیجه‌گیری

- محاسبه سوی تنش بر روی گسل‌های منطقه نشان می‌دهد که σ_1 دو روند NE-SW و N-S و سوی تنش کمینه (σ_3) دو روند NW-SE و E-W دارند که به‌خوبی با بازسازی‌های Mc Quarrie et al. (2003) در مورد تغییر روند σ_1 به NE-SW در همگرایی میان دو صفحه عربی و ایران سازگار است، که این تغییر روند می‌تواند دلیلی بر چرخش در منطقه باشد. اما میانگین σ_1 در همه ایستگاه‌ها $N 45^\circ$ و σ_3 $N 135^\circ$ درجه محاسبه شد.

- دایک‌ها در منطقه شهر بابک با دو روند WNW-ESE (T_p) و N-S (T_1)، ارتباط مستقیم با شکستگی‌های از پیش موجود و تنش ناحیه‌ای دارند و از آن‌جا که دایک‌های با روند WNW-ESE در شکستگی‌های طولی حاصل از چین‌خوردگی جایگیری کرده‌اند و به‌عنوان دایک‌های تغذیه‌کننده سیل‌های منطقه هستند پس این روند، از دایک‌هایی با روند N-S کهن‌تر هستند.

- همانند دایک‌ها، الگوی رگه‌ها ارتباط مستقیم با تنش ناحیه‌ای دارد به گونه‌ای که شکاف‌های کششی (Tension gashes) در ارتباط با شکستگی‌های کششی (T_1) هستند و الگوی رگه‌های پرچم سه گوش (Pannent vein) با شکستگی‌های مزدوج (R/R') مرتبط هستند.

- دو فاز کششی در منطقه تأثیر گذار بوده است، بر اساس رابطه میان ساختارهای

مطالعات در منطقه نشان می‌دهد که این نوع رگه‌ها دچار چرخش شده‌اند و در برخی از رخنمون‌ها به‌صورت زیگموئیدال دیده می‌شوند. الگوی دوم رگه‌ها (شکل ۱۰-ب) و در منطقه با طول میان $100-1$ متر، پهنای میان $3-1$ متر و شیب 80° درجه به سوی خاور با دو امتداد $N30^\circ E$ و $N20^\circ W$ رخنمون دارند و با توجه به زوایای که آنها نسبت به پهنه برشی می‌سازند، با شکستگی‌های مزدوج R/R' ارتباط می‌یابند و در شکستگی‌های مد II (Atkinson, 1987) رده‌بندی می‌شوند. Coelh et al. (2006) برای اولین بار، بر اساس مدل‌های قیاسی (Analog) این نوع از رگه‌ها را رگه‌های پرچم سه گوش (Pennant veins) نامگذاری کرده است (شکل ۱۰-ج). در شکل ۱۰-د جهت‌گیری هر دو نوع رگه نسبت به پهنه جابه‌جایی اصلی در منطقه ارائه شده است. - **استوک:** کانسار مس پورفیری میدوک در استوک آذرآواری جایگیری کرده است (شکل ۱۱) که سنگ‌های استوک، ترکیب آندزیت پورفیری، کوارتز - دیوریت پورفیری و دایک‌های پورفیری دارند (Hassanzadeh, 1993). استوک توسط دایک‌های پورفیری با روند شمالی - جنوبی قطع شده است. دایک‌ها را می‌توان به دو دسته همزمان با کانه‌زایی و پس از کانه‌زایی تقسیم‌بندی کرد (Boomeri et al., 2009). مطالعه ساختاری بر روی درزه‌ها و رگه‌ها در کانسار میدوک (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که شکستگی‌هایی با روند WNW-ESE (T_p) و NE-SW (R') مهم‌ترین نقش را در کانه‌زایی دارند در حالی که شکستگی‌های با روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری (R) بیشتر توسط اکسیدهای آهن (شکل ۱۲) پر شده‌اند، از سوی دیگر شکستگی‌های با روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری جوان‌تر هستند (عبادی، ۱۳۸۸) و نقش مؤثری در کانه‌زایی ندارند. از این رو، شکستگی‌ها در کانسار میدوک تحت تأثیر شکستگی‌های اصلی در منطقه هستند، پس ساختارها در استوک مورد مطالعه نیز از رژیم تنش ناحیه‌ای پیروی می‌کنند.

- **سیل‌ها:** چندین سیل با سبزی بین 1 تا 5 متر و طول میانگین 20 متر که تقریباً روند شمالی - جنوبی دارند در جنوب معدن میدوک دیده شد. سیل‌ها در نهشته‌های آذرآواری گسترش یافته‌اند و پایانه‌های آنها به‌صورت ناگهانی کاهش ستبرای می‌یابد (شکل‌های ۱۳-الف، ب، ج و د). پایانه‌ها بیشتر به شکل حباب هستند و در برخی موارد این کاهش ستبرای به‌صورت پله‌ای دیده می‌شود (شکل‌های ۱۳-ه، و) که احتمالاً یک سیل از دو یا چند فاز متوالی نفوذ تشکیل شده است و اگر این تفسیر درست باشد پله‌ها معرف پایانه‌های سیل و تعداد آنها نشان‌دهنده تعداد مرحله نفوذ است. مشاهدات دقیق و جزئی در این مقطع هیچ گونه حاشیه سردشدگی را نشان نمی‌دهد. این هندسه و تغییرات به‌طور کامل مشابه جایگیری سیل‌ها در جنوب باختر ایرلند (Tibaldi et al., 2008) است. از دیگر ویژگی‌های سیل‌ها در منطقه، توالی سردشدن و انباشتگی بدون درهم آمیختگی با سنگ میزبان بوده که نشان‌دهنده جایگیری و گسترش سیل دوم پس از سرد شدن کامل سیل اول است.

۴- بحث

محور تنش در گسل‌های عادی امتداد بیشینه 80° را نشان می‌دهد و σ_3 با امتداد 27° جهت‌گیری کرده است. از سوی دیگر، سوی تنش برای گسل‌های راست‌الغز محاسبه شد که عبارت است از: $N171^\circ$ (ایستگاه ۱، شکل ۴)، $N124^\circ/90^\circ$ (ایستگاه ۲، شکل ۴)، $N17^\circ/85^\circ \pm 0/65^\circ$ (ایستگاه ۳ و ۱۰، شکل ۴)، $N39^\circ/50^\circ$ (ایستگاه ۸، شکل ۴)، $N34^\circ/21^\circ$ (ایستگاه ۳ و ۱۲، شکل ۴) و $N44^\circ/55^\circ \pm 0/75^\circ$ (ایستگاه ۵ و ۹، شکل ۴). بررسی‌های صحرایی و مطالعات در منطقه نشان می‌دهند که دایک‌های با امتداد WNW شکستگی‌های قدیمی (T_p) و دایک‌هایی با روند N-S با شکستگی‌های کششی در مناطق برشی (T_1) (Storti et al., 2006) نسبت داده می‌شود.

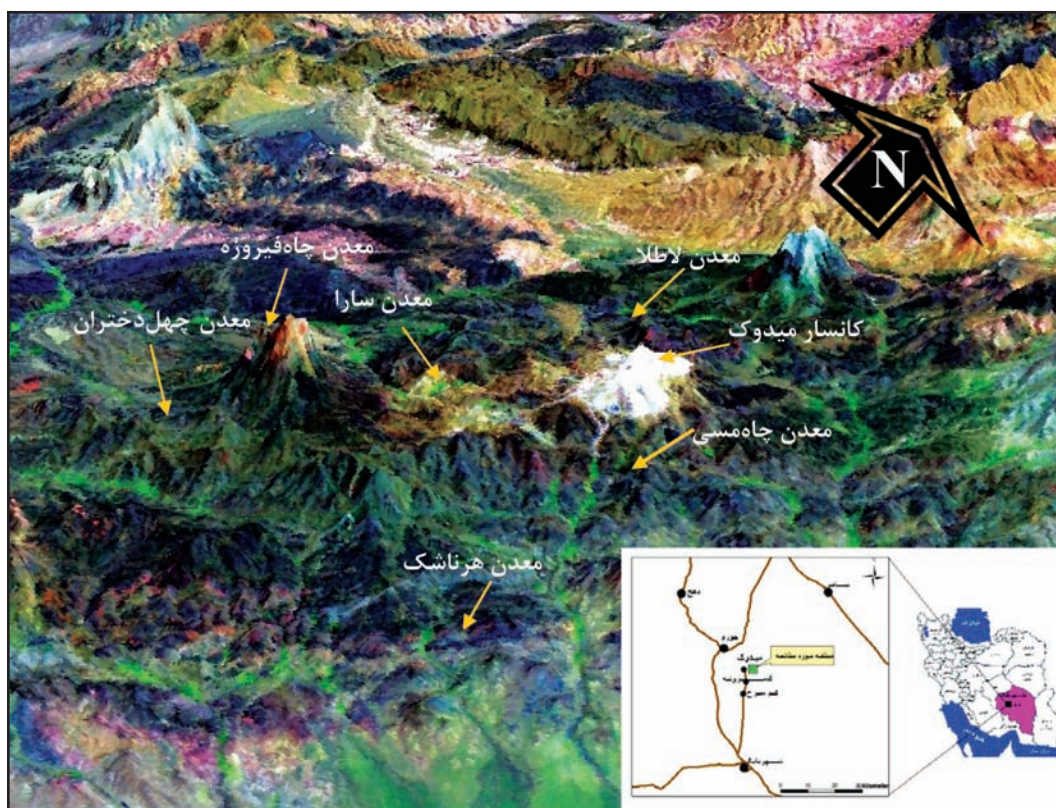
مطالعه رگه‌ها در منطقه دو روند اصلی را نشان می‌دهد. دسته اول با زاویه 45° نسبت به پهنه جابه‌جایی اصلی در سامانه برش ساده (عبادی، ۱۳۸۸) سوبایی کرده‌اند، در ارتباط مستقیم با شکستگی‌های کششی T_1 هستند و نقش بسیار مؤثری

مهندس احمد آتش‌پنجه (رئیس امور تحقیق و توسعه شرکت مس) برای تأمین اعتبارات مالی و امکانات صحرائی اعلام می‌دارند. از خانم هاله مدرک و آقای احمد حسین‌خانی برای همراهی در برداشت‌های صحرائی و آقای صارم امینی برای همکاری صمیمانه‌شان در ویرایش این مقاله تشکر ویژه داریم.

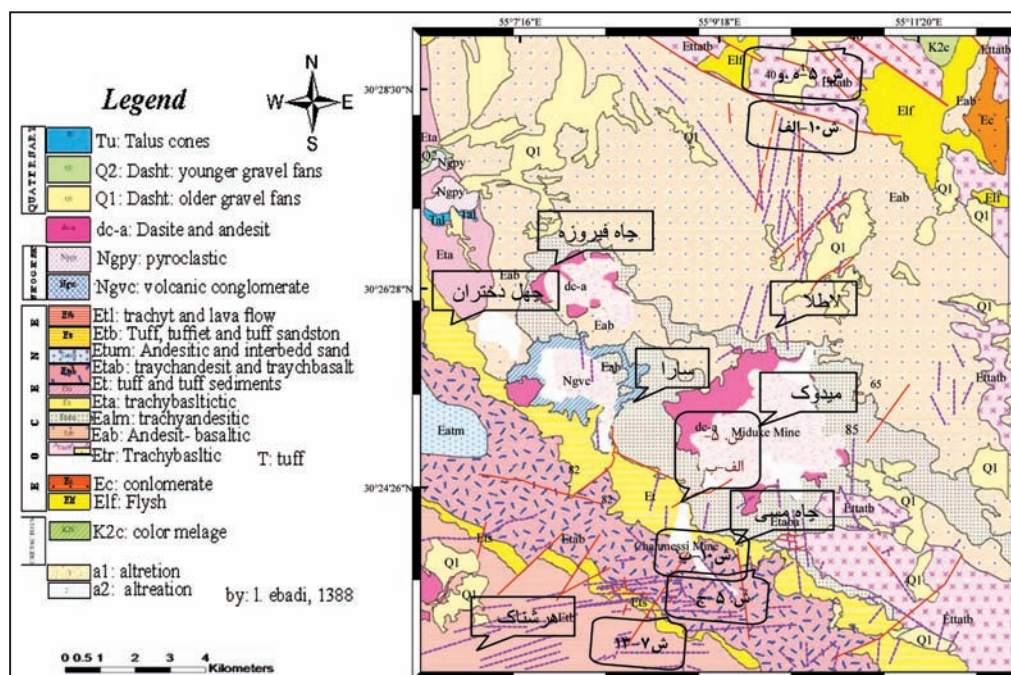
منطقه و روند آنها فاز اول در ارتباط با شکستگی‌های طولی حاصل از چین‌خوردگی دیرین و فاز دوم جدیدتر و در ارتباط با چرخش بلوک در منطقه است.

سپاسگزاری

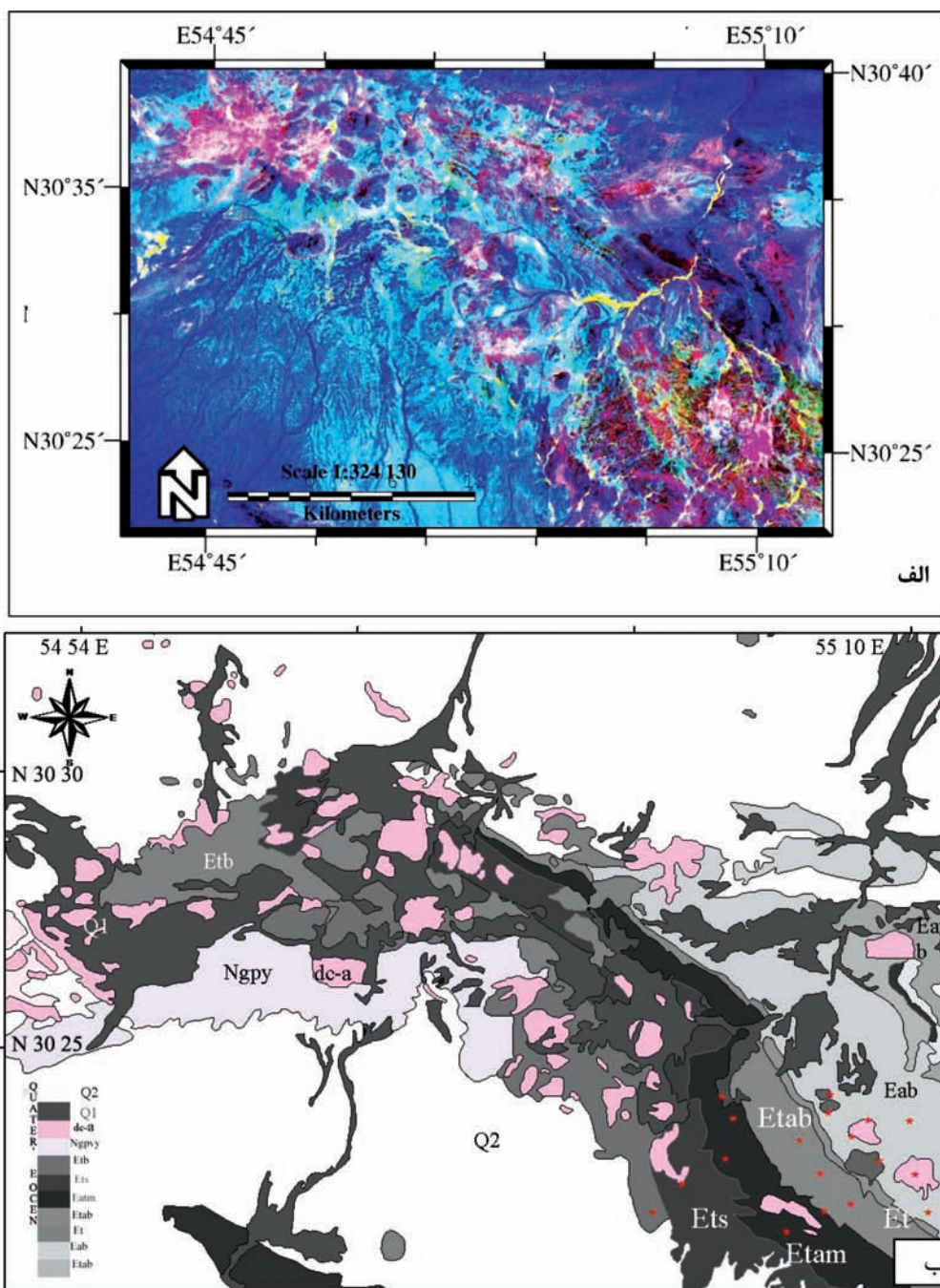
نویسندگان مراتب سپاس خود را از شرکت ملی صنایع مس ایران بویژه جناب آقای



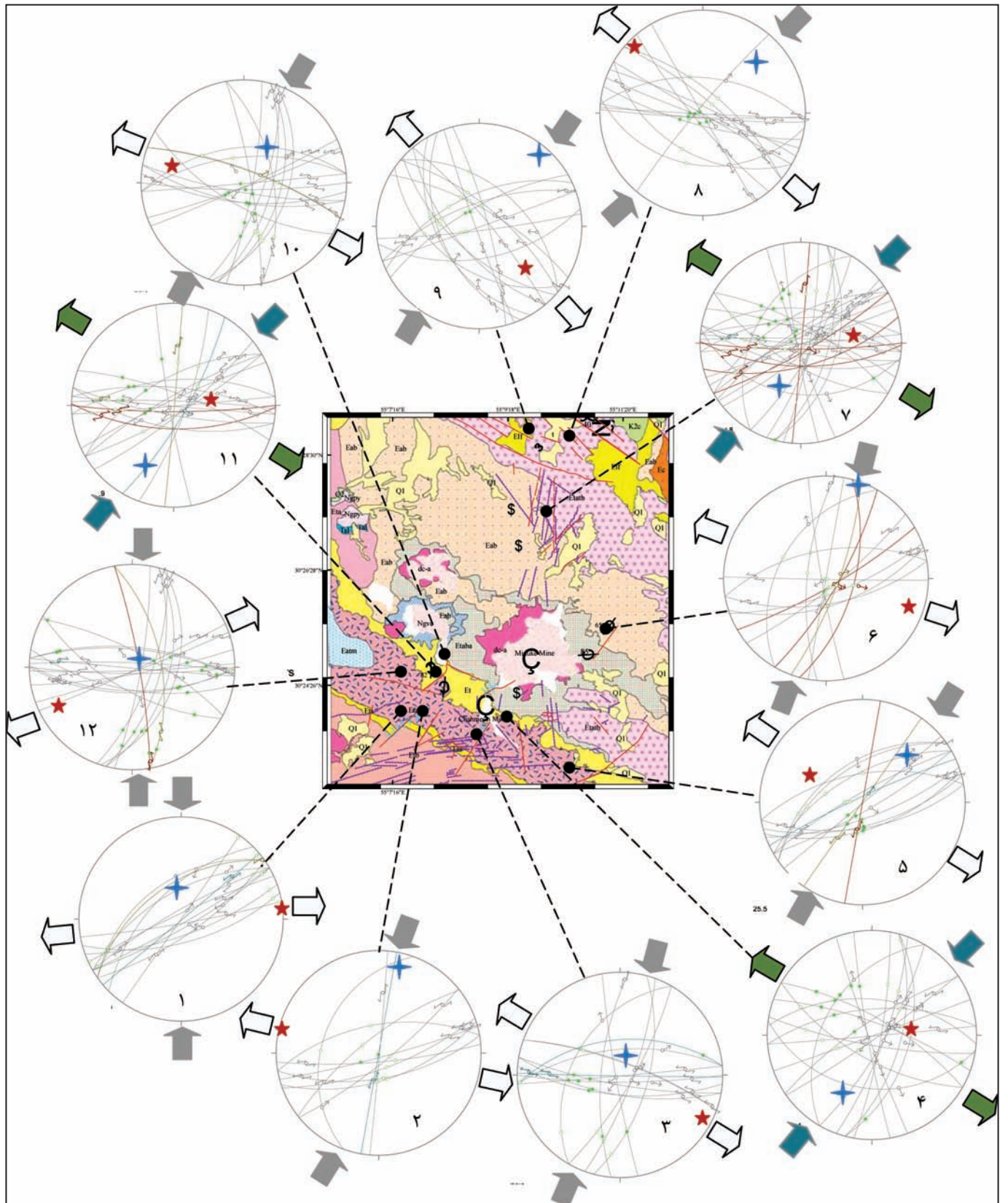
شکل ۱- موقعیت منطقه در تصویر SRTM به همراه داده‌های PAN و مهم‌ترین ذخایر اقتصادی در منطقه.



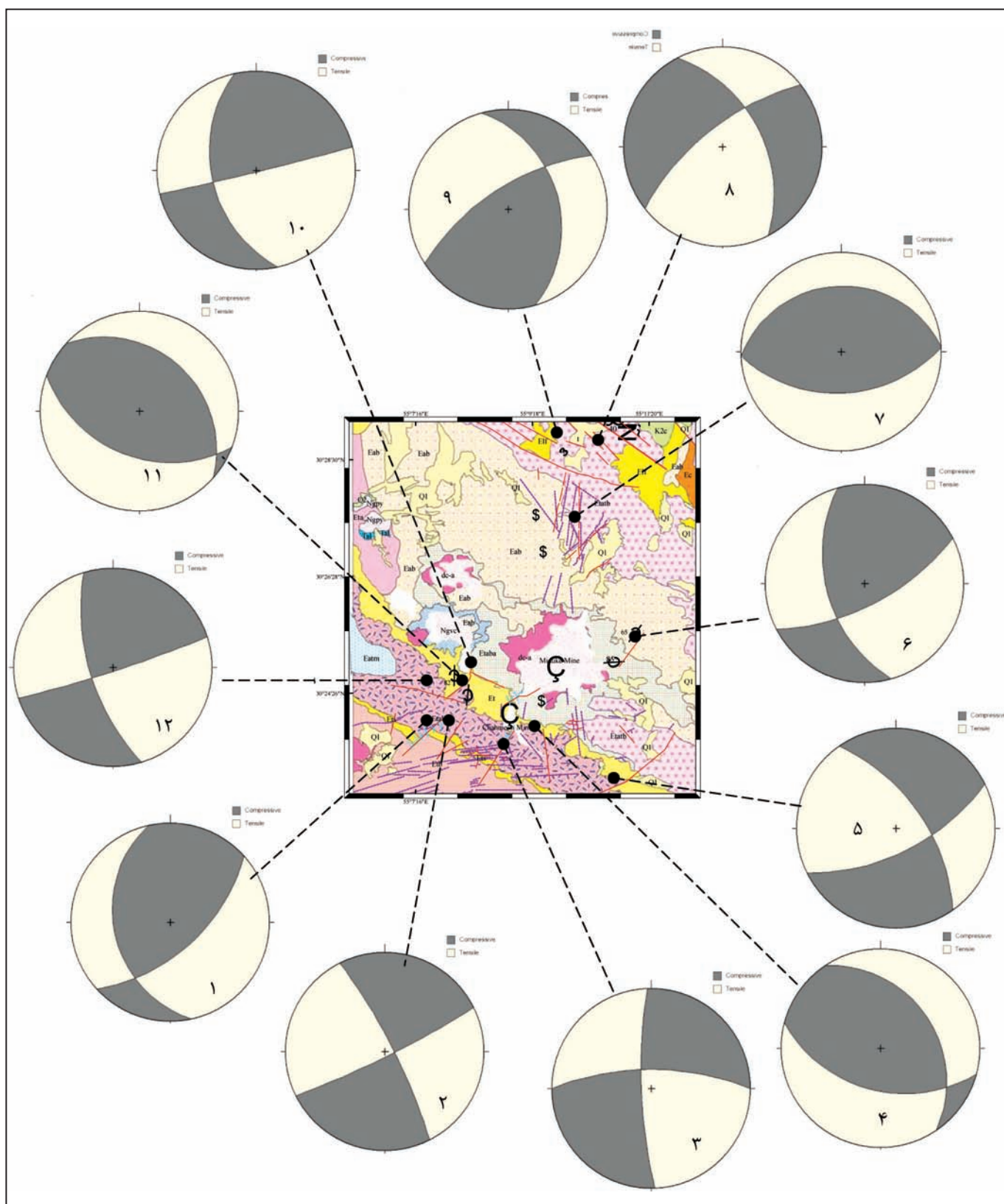
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.



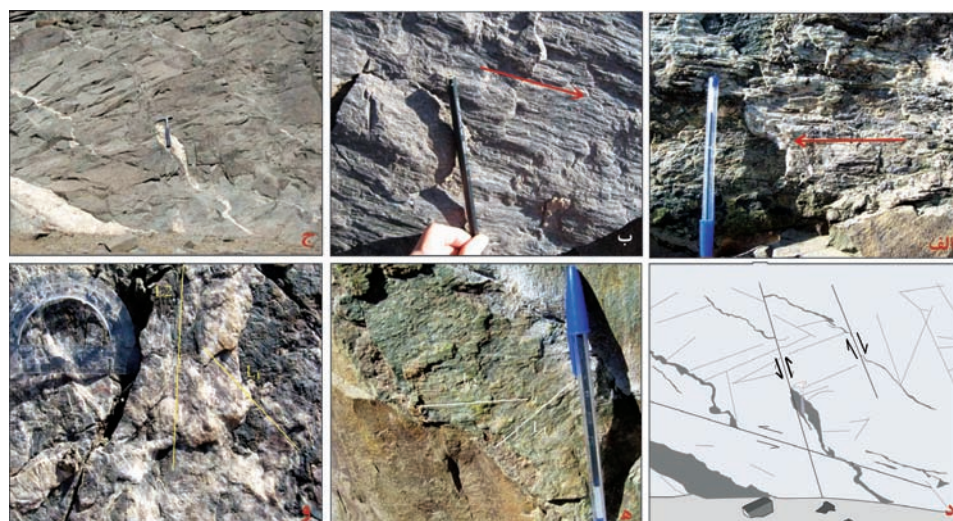
شکل ۳- الف) تصویر ماهواره‌ای لندست (ETM⁺) با ترکیب ۳/۱، ۴/۲ و ۵/۷ در محیط RGB. در این تصویر پوشش گیاهی، بازتاب زرد رنگ دارد در حالی که مناطق دگرسان بازتاب صورتی دارند و ب) واحدهای سنگی اصلی استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای، در این شکل مناطق دگرسان با طرح‌های گرافیک صورتی و مناطق با اندیس کانه‌زایی با ستاره‌های سرخ رنگ مشخص شده‌اند (توضیح حروف مخفف در راهنمای نقشه زمین‌شناسی منطقه آمده است).



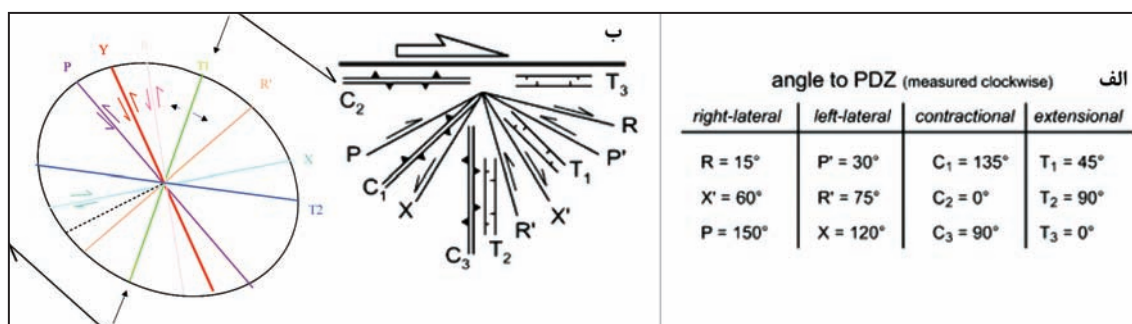
شکل ۴- الف) شبکه استریوگرافیک گسل‌های منطقه به همراه سوهای تنش اصلی (ستاره چهار پر معرف σ_1 و ستاره پنج پر معرف σ_2 هستند). ایستگاه ۴، ۷ و ۱۱ معرف گسل‌های عادی هستند و دیگر ایستگاه‌ها سازوکار امتدادلغز دارند.



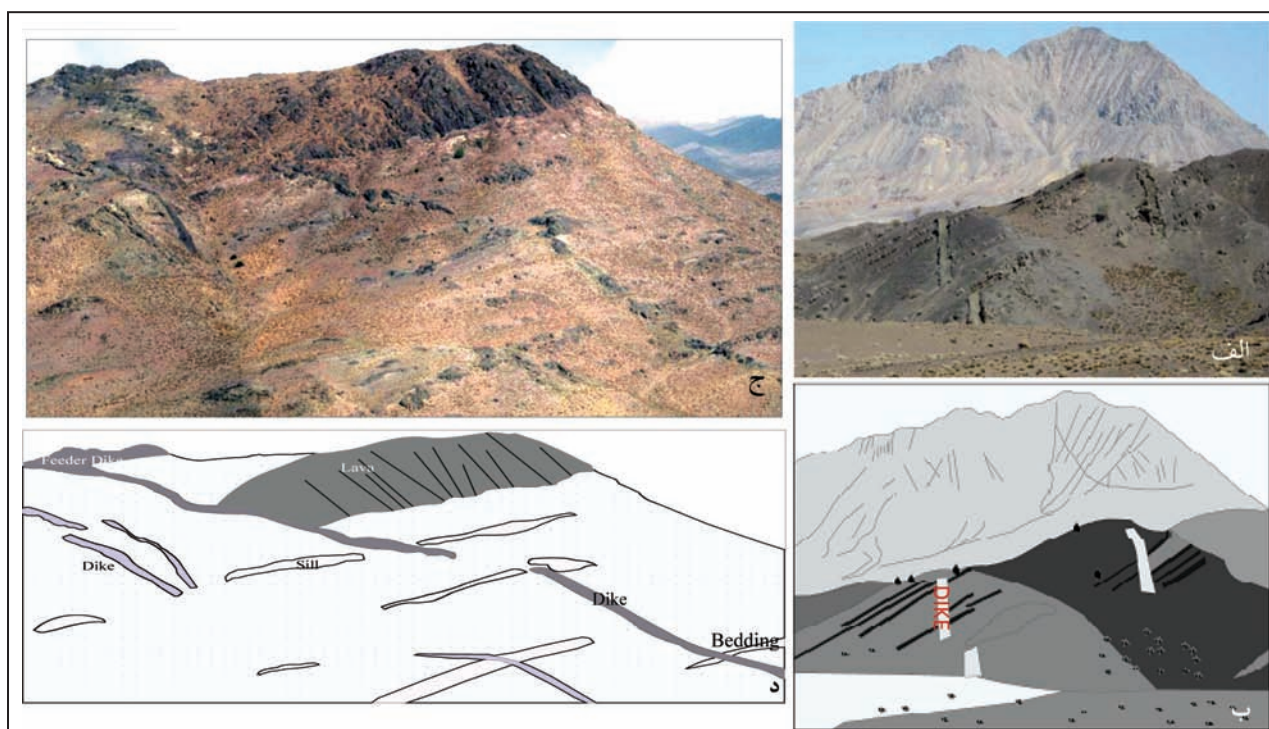
شکل ۴-ب) سازوکار قانونی شبکه گسل‌های منطقه.



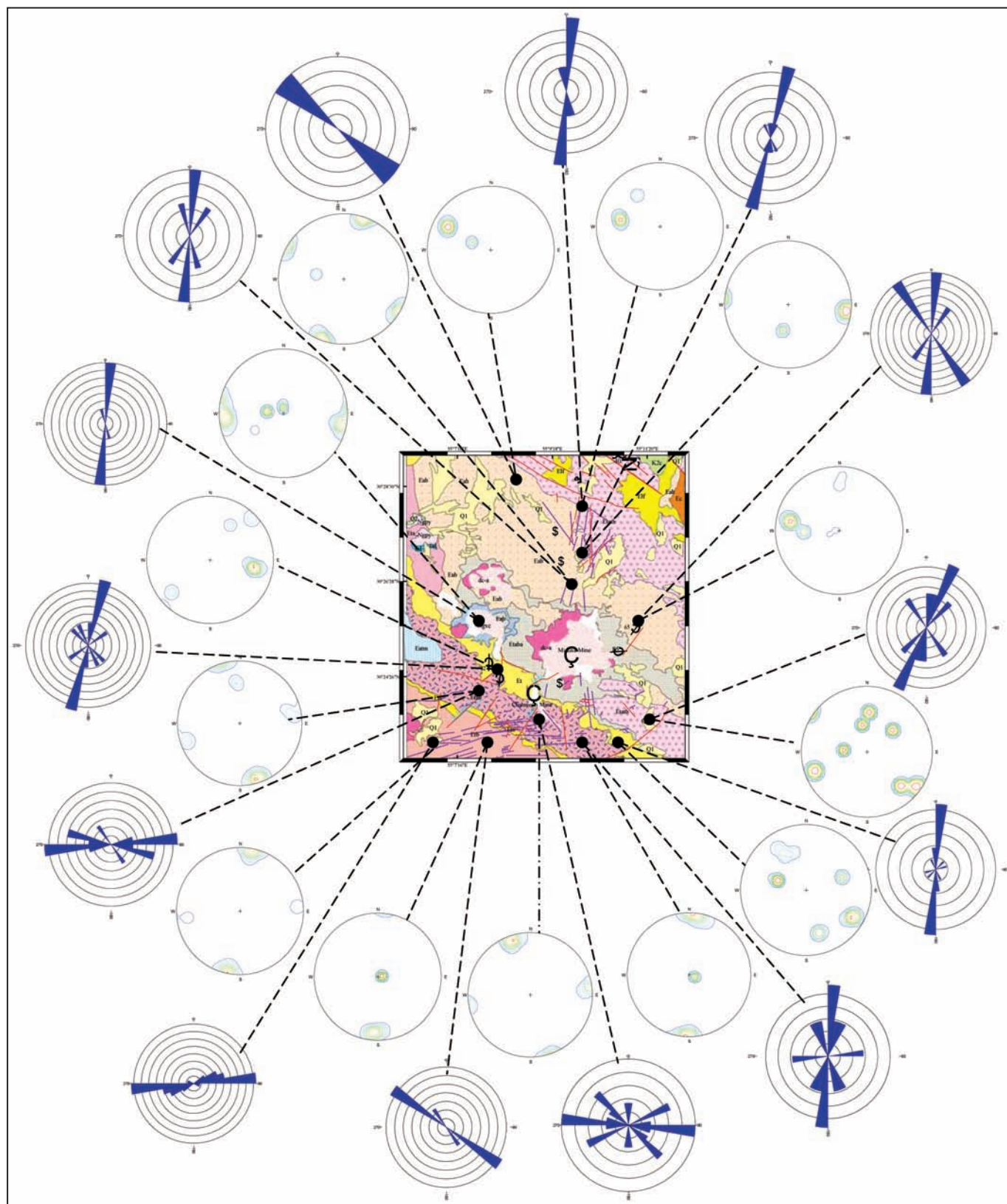
شکل ۵- الف) صفحه گسل راستالغز راست گرد با زاویه ریک 5° ، جنوب کانسار میدوک (دید به شمال)، ب) صفحه گسل راستالغز چپ گرد با زاویه ریک 5° ، شمال روستای روگوشویه (دید به شمال)، ج) نمایی از جابه جایی رگه کوارتز در سنگ زمینه آندزیت پورفیری و جابه جایی توسط دو گسل مزدوج، جنوب معدن چاه مسی، (دید به سوی باختر)، د) نمایش نمادین شکل ج، ه) دو نسل خشلغز بر روی صفحه گسلی، جنوب کانسار میدوک (دید به سوی شمال) و و) دو نسل خشلغز بر روی صفحه گسل، شمال روستای روگوشویه (دید به سوی باختر).



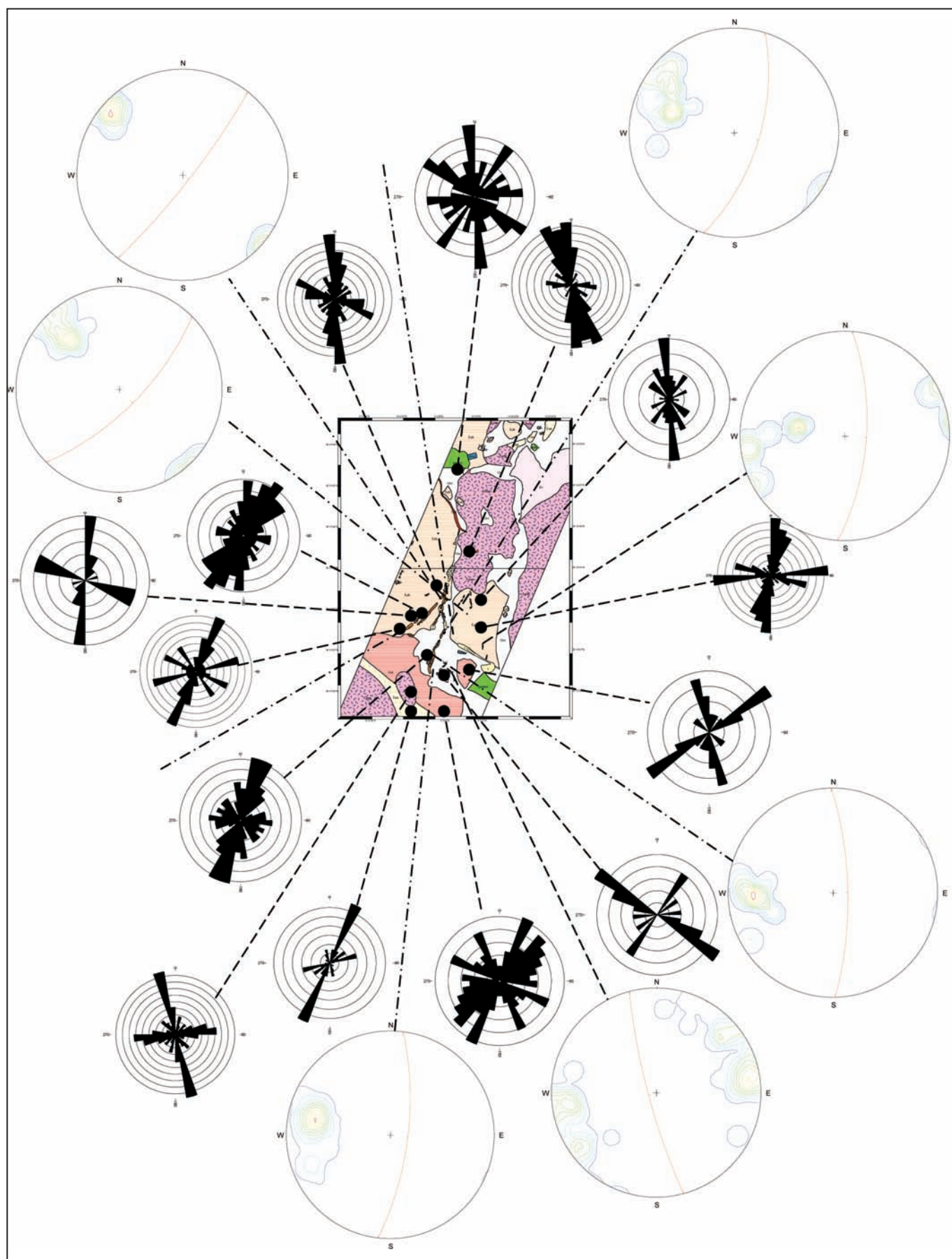
شکل ۶- الف) جهت گیری شکستگی نسبت به پهنه جابه جایی اصلی (Storti et al., 2006) و ب) جهت گیری شکستگی ها در منطقه.



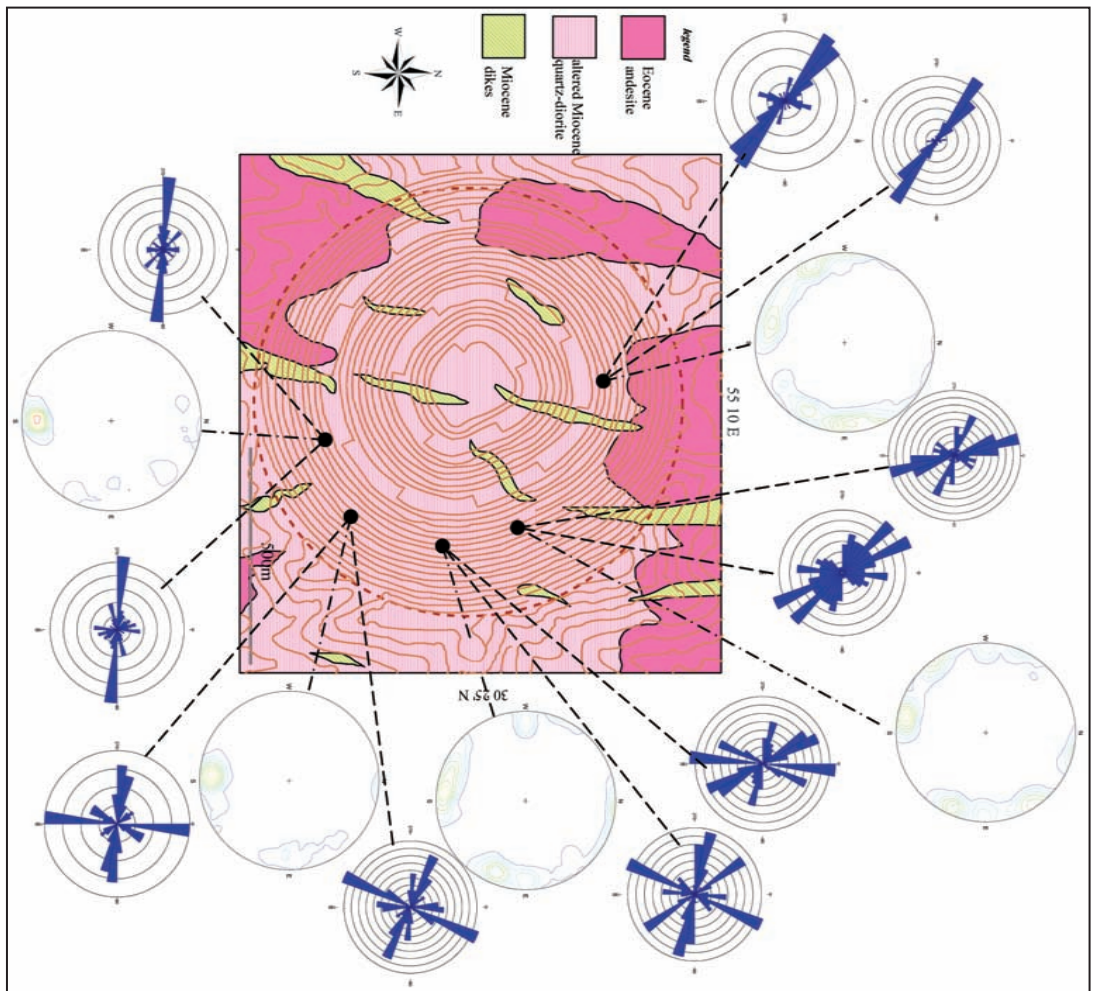
شکل ۷- الف) نمایی از جابه جایی چپ گرد دایک، باختر روستای جوزم (دید به باختر)، ب) نمایش نمادین شکل الف، ج) نمایی از دایک تغذیه کننده کوه قمرقازی (دید به سوی باختر) و د) نمایش نمادین شکل ج.



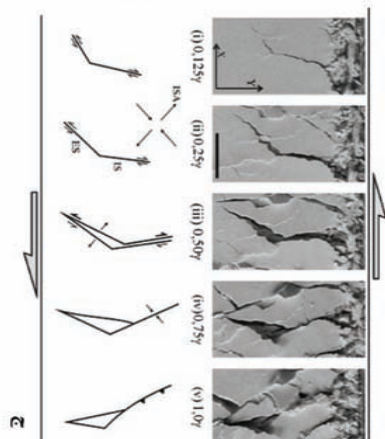
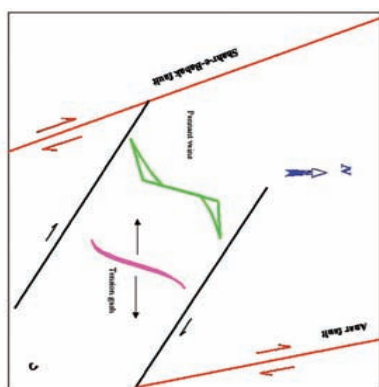
شکل ۸- نمودار گل سرخی امتداد دایک‌ها به همراه منحنی تراز آماری درزه‌ها در سنگ میزبان دایک‌ها.



شکل ۹- نمودار گل سرخی درزه‌های برداشتی در سنگ میزبان رگه‌ها، نمودار کانٹوری رگه‌ها در منطقه‌ی چاه‌مسی.

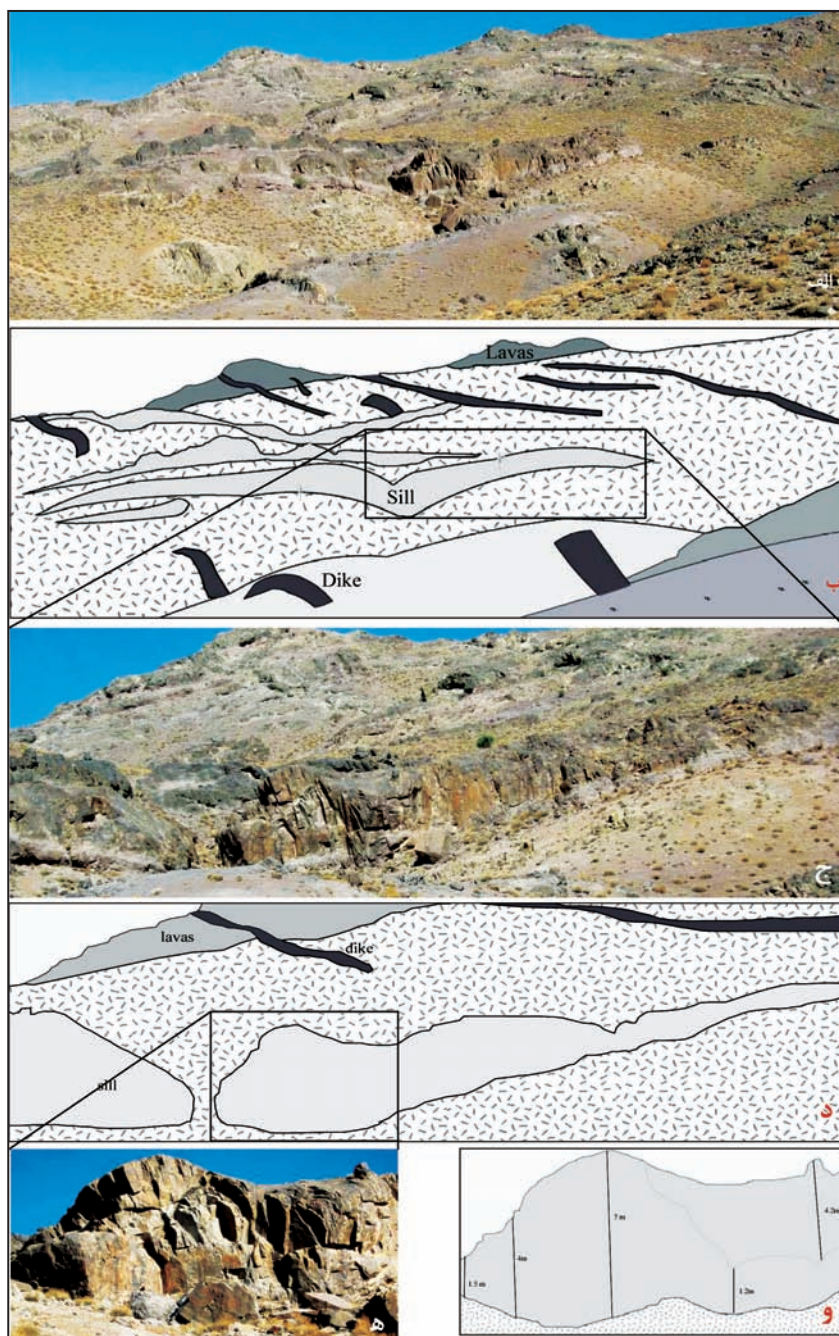
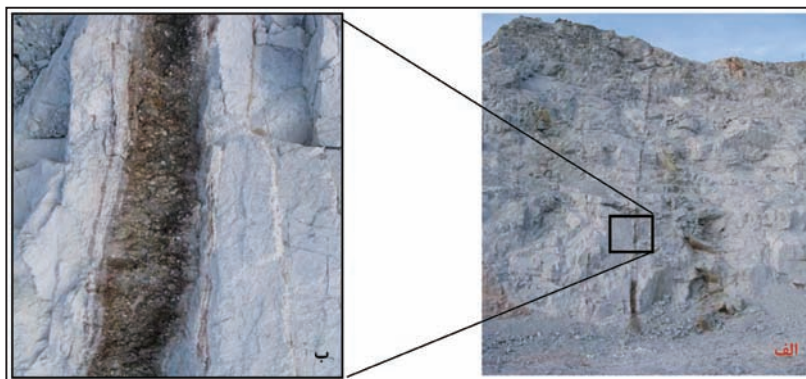


شکل ۱۱- نمودار گل سرخی درزه‌ها و نمودار کاتوری رگه‌ها در کنسار میلوکت.



شکل ۱۰- الف) نمایی از رگه چرخیده شمال روستای روگوشویه (دید به سوی شمال)، ب) نمایی از رگه سه گوش در روستای لاروزویه (دید به سوی خاور)، ج) گسترش تدریجی رگه‌های سه گوش که ایجاد آنها به وسیله شکستگی‌های برشی R و R' کنترل می‌شود. ارائه شده توسط Coelho et al. (2006) و د) نمایش نمادین جهت‌گیری دو نوع رگه در منطقه.

شکل ۱۲- الف) نمایی از رگه پیریت، طول دیواره ۱۵ متر، کانسار میدوک (دید به سوی شمال) و ب) نمای نزدیک از شکل الف.



شکل ۱۳- الف) نمایی از سیل‌های منطقه با روند N-S، کوه قمر قاضی (دید به سوی باختر)، ب) تصویر نمادین، ج) نمای نزدیک، د) تصویر نمادین، ه) کاهش ستبرای انتهای سیل و حالت پله پله، و) نمایش نمادین.

کتابنگاری

- حسینخانی، الف.، ۱۳۸۸- زمین شناسی، جایگاه تکتونوماگمایی و ارزیابی پتانسیل کانی سازی مس-طلا در کانسار چاه مسی (شمال شهر بابک)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۰ صفحه.
- عبادی، ل.، ۱۳۸۸- تحلیل ساختاری معدن میدوک (لاچا) و نواحی پیرامون آن شمال شرق شهر بابک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۱۱ صفحه.
- مدرک، ه.، ۱۳۸۸- ویژگی های کانی سازی، دگرسانی و ماهیت سیال های کانه ساز در ذخیره چند فلزی چاه مسی و ارتباط آن با کانسار مس پورفیری میدوک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۱ صفحه.
- محمدزاده، ز.، ۱۳۸۷- زمین شناسی- دگرسانی و کانی سازی مس در منطقه ی چاه فیروزه، شهر بابک، استان کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۸ صفحه.

References

- Atkinson, B. k., 1987-Introduction to fracture mechanics and its geophysical applications, in Atkinson, B.K. (ed.), *Fracture Mechanics of Rock*: Academic Press, London, 1-26.
- Berberian, M., 1976-Generalized fault map of Iran/5000000, Geol. Survey Iran.
- Blundell, D. J., 2002- The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen: the geodynamic context. *Geological Society, London, Special Publication*, 204: 1-12.
- Boomeri, M., Nakashima, K. & Lentz, D. R., 2009- The Miduk porphyry Cu deposit, Kerman. Iran: A geochemical analysis of the potassic zone including halogen element systematic related to Cu mineralization processes. *Journal of Geochemical Exploration*, in press.
- Borcos, M., Vlad, S., Udubasa, G. & Gabudeanu, B., 1998- Qualitative and quantitative metallogenetic analysis of the ore genetic units in Romanian. *Romanian Journal of Mineral Deposits* 78:1-160.
- Coelho, S., Passchier, C. & Marques, F., 2006- Riedel- shear control on the development of pennant veins: Field example and analogue modeling. *Journal of Structural Geology*, 28: 1658-1669.
- Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region. *Geol. Survey. Iran. Yu/52*, 334
- Dimitrijevic, M. D., Dimitrijevic, M. N. & Diordjevic, M., 1971- Geological map of shahr-e-Babak (30' sheet no. 7050, scale: 1/100,000) *Geol, Survey. Iran*.
- Drew, L. J., 2003- Model of the copper and polymetallic vein family of deposits- applications in Slovakia, Hungary, and Romania. *International Geology Review* 45.
- Forster, H., 1978- "Mesozoic – cenozoic metallogenesis in Iran" – geological society- London, 135, 443-445.
- Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahr- e-Babak area, Kerman Province). Unpublished PhD thesis, University of California, Los Angeles, 204 pp.
- Ghasemi, A. & Talbot, C. J., 2006- a new tectonic scenario for the Sannadaj-Sirjan zone (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, and 26: 683-693.
- Lips, A. L. W., 2002- Correlating magmatic-hydrothermal ore deposit formation over time with geodynamic processes in Southeast Europe., *Geological Society, London, and Special Publications* 204: 69-79.
- Mahlburg-Kay, S. & Mpodozis, C., 2001- Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today* 11/3, 4-9.
- McQuarri, N., Stock, J. M. M., Verdel, C. & Wernicke, B. P., 2003- Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysics Research Letters*. 30.20
- Neubauer, F., 2002- Contrasting late Cretaceous to Neogene ore provinces in the Alpine- Balkan- Carpathian- Dinaride collision belt, *Geological Society, London, Special Publications*, :204, 81-102.
- Neubauer, F., Lips, A., Kouzmanov, A., Lexa, J. & Ivascanu, P., 2005- Subduction, slab detachment and mineralization: The Neogene in the Apuseni Mountains and Carpathians. *Ore Geology Reviews*, 27:13-44
- Olson, J. E. & Pollard, D. D., 1991- The initiation and growth of en echelon veins. *Journal of Structural Geology*, 10: 445-452.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1987- The Techniques of Modern structural Geology, Fold and fractures, Academic press, London, 2: 700p.
- Richards, J. P., 2003- Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98:1515-1533.
- Sillitoe, R. H., 1997- Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum- pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*; 44: 373-388.
- Shahabpour, J., 2005- Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth sciences*, 24: 405-417.

- Shahabpour, J., 2007- Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt, *Journal of Asian Earth science*, 30: 652-665.
- Storti, F., Rossetti, F., Laufer, A. L. & Salvini, F., 2006- Consistent kinematics architecture in the damage zones of intraplate strike-slip fault systems in North Victoria Land, Antarctica and implications for fault zone evolution. *Journal of Structural Geology*, 27: 1-14.
- Taghipour, N., Aftabi, A. & Mathur, R., 2008- Geology and Re-Os geochronology of mineralization of the Miduk porphyry Copper deposit, Iran. *Research Geology*, 58: 143-160.
- Tibaldi, A., Vezodi, L., Pasquare, F. A. & Rust, D., 2008- Strike-slip fault Tectonics and the emplacement of sheet-laccoliths systems: The Thverfullcase study (SW Island), *Journal of structural geology*, 30, 274-290.
- Zarasvandi, A., A., Liaghat, S. & Zentili, M., 2005- Geology of the Darreh-Zerre Shk and AliAbad porphyry Copper deposits, Central Iran. *Inlet Geology Review*, 47:620-646.