

مدل ساختاری و ارتباط ساختارها با کانه‌زایی در شمال خاوری شهر بابک

لیلا عبادی^(*) و^(۱)، سید احمد علوی^(۲)، شهرام شفیع بافتی^(۳) و عباس صادقی^(۴)

۱. کارشناس ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. استادیار گروه معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۷

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۱۰

چکیده

این پژوهش به بررسی، ارتباط بین رخداد کانی‌سازی و تکوین عناصر ساختاری با استفاده از پیمایش‌های صحرایی و تحلیل عکس‌های ماهواره‌ای در ناحیه شمال‌خاور شهر بابک، که بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر است، می‌پردازد. بررسی‌های صورت گرفته در منطقه ارتباطی تنگاتنگ بین کانی‌سازی و عناصر ساختاری نشان می‌دهد، به گونه‌ای که شکستگی‌های T_1, T_2, R, R' از مهم‌ترین شکستگی‌های منطقه که تحت تأثیر چین‌خوردگی بزرگ مقیاس و گسل‌های راستالغز با مولفه راندگی در منطقه شکل گرفته‌اند. تحلیل‌های انجام شده در این ناحیه نشان می‌دهد که شکستگی‌های کششی T_2 با روند E-W، از قدیمی‌ترین شکستگی‌های که وابسته به چین‌خوردگی هستند که اغلب توسط ماگما پر شده‌اند و گروه‌های دایک را شکل داده‌اند. در مرحله دوم، شکستگی‌های آنتی ریدل (R') شکل گرفته‌اند که وابسته به حرکات گسل‌ها بوده‌اند و با روند NE-SW و سازوکار راستالغز چپ گرد با مولفه‌ی نرمال اغلب شکستگی‌های گروه T_2 را قطع کرده و در محل تقاطع آنها کانی‌سازی پورفیری شکل گرفته است. دسته دیگر از شکستگی‌های کششی منطقه، شکستگی‌های T_1 با روند N-S هستند که اغلب ذخایر با ارزش رگه‌ای و دایک‌های منفرد، در این گروه جایگیر شده‌اند. شکستگی‌های ریدل وابسته به پهنه برشی راستگرد با روند NW-SE اغلب فاقد پرشدگی است و یا کانه‌زایی عقیم در آنها صورت گرفته است. تحلیل‌های ساختاری و افست شکستگی‌ها نشان می‌دهد که شکستگی‌ها آنتی ریدل پیش از شکستگی‌های ریدل در سامانه ترافشارش راست گرد شکل گرفته‌اند که خود دلیلی بر بالا آمدگی در منطقه می‌باشد. از این رو تحلیل عناصر ساختاری ارتباط کانه‌زایی مس با روند گسل نشان‌دهنده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ساختاری، کانه‌زایی، مس، میدوک، شهر بابک

مقدمه

آنها با توده‌های نفوذی، در مناطق متأثر از فعالیت‌های ماگمایی، کمک بسیار ارزنده‌ای در شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌کند. به‌طور کلی برخوردگاه گسل‌های اصلی، می‌تواند محل مناسبی برای نفوذ ماگما و کانی‌زایی باشد (Forster, 1978). مطالعات نشان می‌دهد که کانی‌سازی پورفیری مرتبط با فرورائش صفحه عربی به زیر صفحه ایران و در ناحیه‌ی پشت کمان صورت گرفته است

دگرشکلی‌های مرتبط با نیروهای زیاد زمین‌ساختی در پوسته، توسط فرایندهای برشی مشخص می‌شوند (Ramsay and Huber, 1987; Brown and Solar, 1998; Peacock, 2002; Montesi and Hirth, 2003; Wang and Ludman, 2004; Brogi, 2006) شناسایی عناصر ساختاری مرتبط با برش (بویژه گسل‌ها) و ارتباط

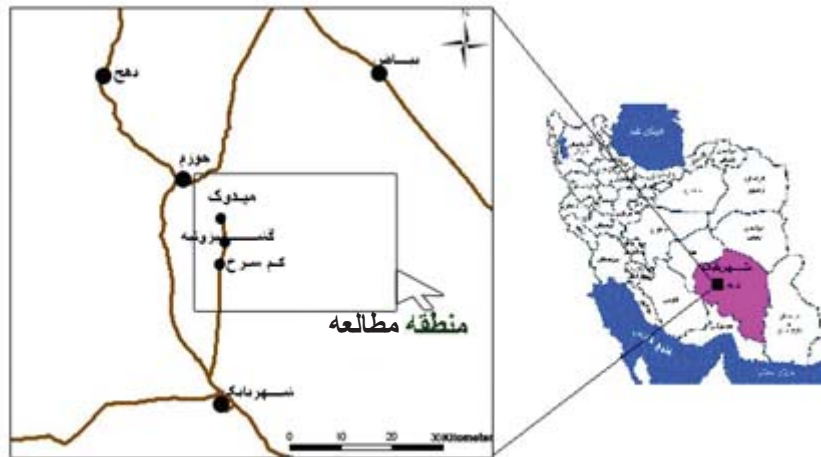
* نویسنده مرتبط erg_eb@yahoo.com

است که از شمال به روستای جوزم و از جنوب به روستای کمرعلیا می‌رسد همچنین، منطقه از باختر و خاور به ترتیب به روستای گزوییته و روستای به‌نو منتهی می‌گردد. در شکل ۱ موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن ارائه شده است که مهم‌ترین راه‌های دسترسی به منطقه، جاده آسفالتی یزد - انار - میدوک، رفسنجان - شهراباک - میدوک و شهرک سرچشمه - شهراباک - میدوک است. منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند آتشفشانی - رسوبی

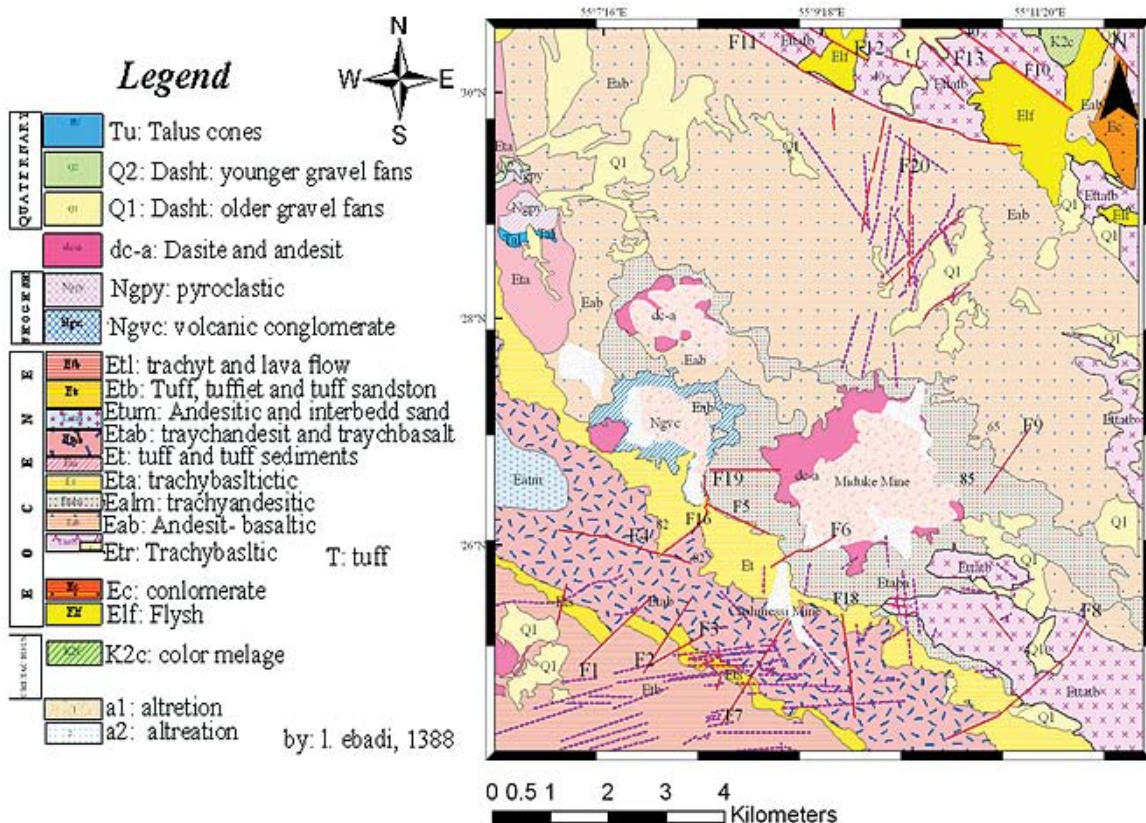
(Hassanzadeh, 1993; Shahabpour, 2005; Hezarkhani, 2006; Shahabpour, 2007) در این مقاله با تلفیق نتایج به دست آمده از بررسی‌های عناصر ساختاری، ارتباط ساختارها و کانی‌سازی مشخص می‌گردد، از سوی دیگر مدل شکل‌گیری ساختاری ارائه می‌گردد.

موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۴۲ کیلومتری شمال‌خاور شهراباک واقع



شکل ۱- موقعیت منطقه و نقشه راه‌های دسترسی



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه (مقیاس ۱/۵۰۰۰۰) (اقتباس از عبادی، ۱۳۸۸)



شکل ۳- الف) نمایی از جابه‌جایی چپ‌گرد لایه‌های توفی توسط گسل با روند خاوری- باختری، شمال روستای میدوک، دید به سمت خاور. ب) نمایی از خش‌لغزهای ایجاد شده توسط گسل‌های دسته یک، دید به جنوب، ج) نمایی از رگه‌های همپوشان، دید به سمت باختر. د) نمایی از جابه‌جایی چپ‌گرد لایه‌های توفیت، شمال روستای گزوثیه، دید به جنوب، ه) نمای نزدیک از خش‌لغزهای گسلی، دید به شمال. و) نمایی از دره کششی ایجاد شده توسط گسل با روند شمالی- جنوبی، روستای لارزوقیه، دید به شمال. ز) نمایی از خش‌لغزهای قائم بر روی صفحه گسل، دید به سمت خاور. ح) نمایی از جابه‌جایی راست‌گرد توسط گسل با روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری، شمال روستای روگوشوئیه، دید به باختر. ت) نمایی از خش‌لغز، دید به سمت باختر

به سمت جنوب در صفحات گسلی اندازه‌گیری شده است، در حالی که ریک خش‌لغزهای گسلی ۶۰-۴۵ درجه به سمت باختر است (شکل ۳ الف-ب). میانگین مولفه‌های تنش در این روند عبارتند از: $\sigma_1: 171/30$ ، $\sigma_2: 112/42$ و $\sigma_3: 219/28$. استریوپلات رسم شده از صفحات گسلی (شکل ۴) و برداشت‌های صحرایی به نظر می‌رسد که گسل‌های این روند سازوکار نرمال با مولفه راستالغز چپ‌گرد داشته باشند. در این راستا شواهدی همچون جابه‌جایی لایه‌های توفی و رگه‌های با شکل S مولفه چپ‌گرد گسل را تایید می‌کنند (شکل ۳، ج).

۲- روند شمال‌خاوری - جنوب‌باختری: این گسل‌ها با امتداد بین $E55N-E35N$ شیب بین 70° - 84° درجه به سمت جنوب خاور و ریک بین 5° تا 35° درجه، واحدهای ائوسن منطقه را تحت تاثیر قرار داده که در شکل (۳-د) نمایی از یک نمونه از گسل‌ها نمایش داده شده است، با توجه به مختصات صفحه‌ی گسلی و تصاویر استریوگرام رسم شده میانگین جهت مولفه‌های تنش، $\sigma_1: 112/18$ ، $\sigma_2: 107/53$ و $\sigma_3: 223/26$ ، به دست آمده است. تحلیل جنبشی گسل‌های این روند و شواهد صحرایی (از جمله جابه‌جایی لایه‌ها) نشان می‌دهد که این گسل‌ها، جنبش راستالغز چپ‌گرد با مولفه شیب‌لغز نرمال هستند (شکل ۳-ه).

۳- روند شمالی - جنوبی: این روند در گسل‌های کششی با امتداد میانگین $E15N$ و شیب 85° به سمت خاور، خش‌لغزها ریک 80° درجه که سازوکار نرمال با مولفه‌ی راستالغز چپ‌گرد دارند، رخنمون یافته‌اند. (شکل ۳-و، ز). میانگین تنش‌های اصلی که با استفاده از مشخصات گسل و اطلاعات برداشت شده از صفحه‌ی گسل محاسبه شده است، در این روند، عبارتند از: $\sigma_1: 316/36$ ، $\sigma_2: 208/18$ و $\sigma_3: 108/39$.

۴- روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری: این گسل‌ها واحدهای فلیش، توف و آندزیت - بازالت ائوسن را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۳-ز، ح). و با امتداد بین $W45N-W24N$ و شیب بین 60° - 48° به سمت باختر، و ریک 5° درجه در خش‌لغز مشخص می‌شوند، میانگین مولفه‌ی تنش در این روند عبارتند از: $\sigma_1: 113/22$ ، $\sigma_2: 231/51$ و $\sigma_3: 115/19$. میزان ریک خش‌لغز گسلی از یک سو و جهت‌یابی تنش‌خداوسط از سوی دیگر، بر غلبه‌ی مولفه‌ی راستالغزی در گسل دلالت دارد. شواهد صحرایی از جمله، جابه‌جایی لایه‌ها نشان می‌دهد که اغلب گسل‌های این روند سازوکار راستالغز راست‌گرد دارند (شکل ۳-ح، ت).

به طور کلی از مطالعه گسل‌ها در منطقه می‌توان چنین استنباط کرد که آن‌ها سنی جوان‌تر از ائوسن دارند به طوری که سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن را تحت تاثیر قرار داده‌اند (شکل ۴). بیشتر گسل‌های منطقه راستالغز با مولفه‌ی شیب‌لغز می‌باشند و بیشتر شیب زیاد بین 60° تا 90° درجه دارند. طول میانگین گسل‌های منطقه 3 کیلومتر می‌باشد و به صورت محلی به 15 کیلومتر نیز می‌رسد. شواهد صحرایی نشان می‌دهد که گسل‌هایی با روند شمالی - جنوبی و خاوری - باختری دچار جابه‌جا شده‌اند (شکل ۶). از این رو می‌توان نتیجه گرفت که گسل‌هایی با راستای

ارومیه - دختر است که از دیدگاه سنگ‌شناسی بخشی از کمپلکس آتشفشانی رازک به سن ائوسن می‌باشد و از آندزیت - بازالت، توفیت، تراکی آندزیت - تراکی بازالت، توف قرمز و لاواهای جریان‌ی تشکلی شده است و از دیگر واحدهای سنگی در منطقه می‌توان به توده‌های نفوذی با ترکیب داسیت - آندزیت در پالئوژن اشاره کرد. دو گسل راستالغز انار و شهرپابک با امتداد NNW و NW به ترتیب از شمال و جنوب، منطقه مورد مطالعه را محدود می‌کنند و سبب ایجاد پهنه‌ی برشی راستگرد گردیده‌اند. منطقه، پتانسیل‌های اقتصادی بالایی از مس دارد، به گونه‌ای که کانسار میدوک به صورت مس پورفیری و معدن چاه‌مسی به صورت رگه چندفلزی (مس، سرب - روی) رخنمون دارند. البته ذخایر اقتصادی دیگری همچون لاطلا، چاه‌فیروزه، سارا، چهل‌دختران، هرناشک، دریدوئی، کاهتواکارا و کنگ با نشانه‌های معدنی و یا کارهای قدیمی معدن‌کاری در منطقه رخنمون دارند که مطالعات ساختاری بر روی آنها صورت نگرفته است.

روش مطالعه

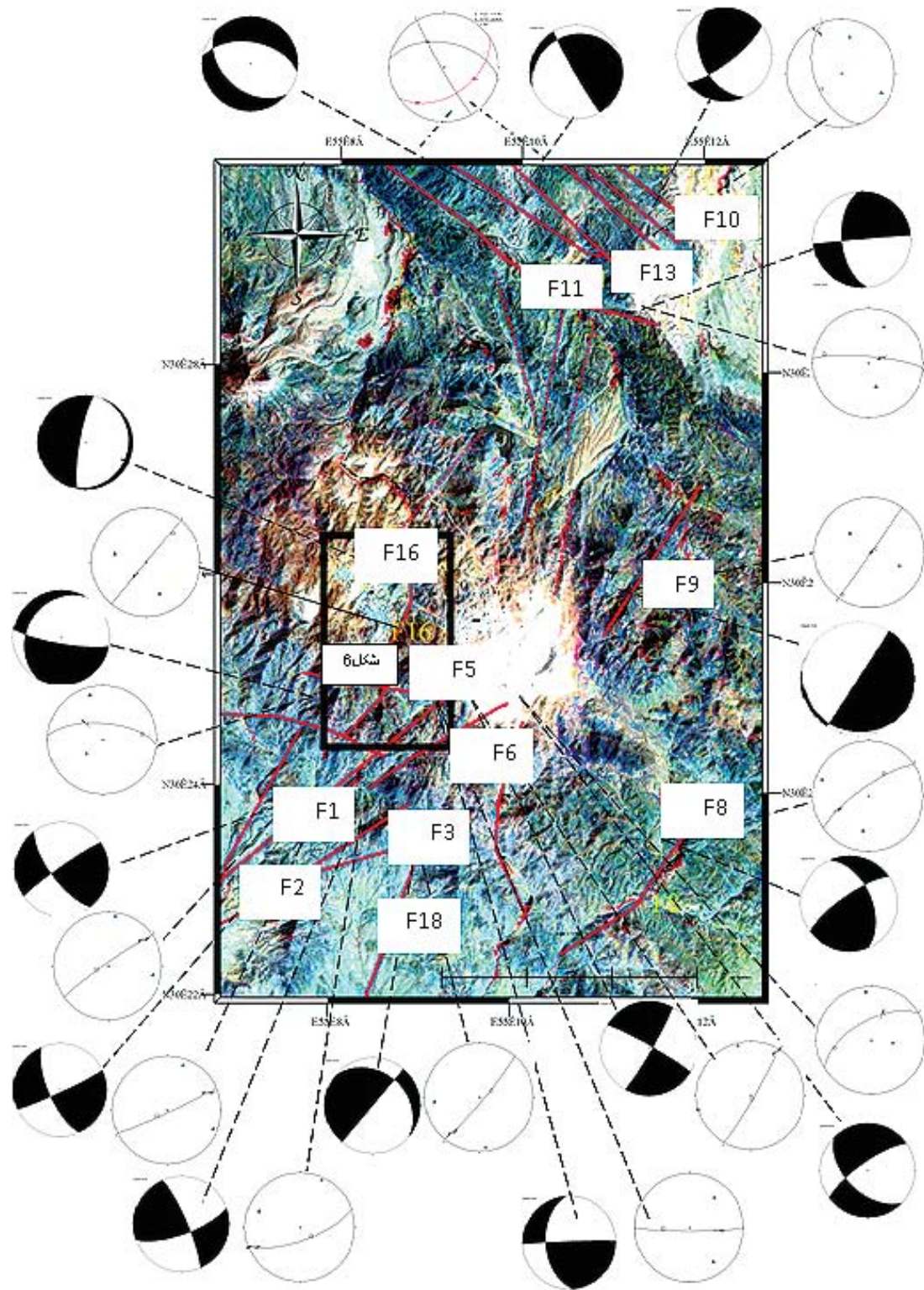
از آنجا که در منطقه مورد مطالعه رابطه بین عناصر ساختاری و کانی‌سازی را مشخص نشده است، به منظور مطالعه ساختاری نقشه زمین‌شناسی با مقیاس $1/500000$ منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی (با مقیاس $1/200000$) و تصاویر ماهواره‌ای (ETM⁺) تهیه شد (شکل ۲). سپس، برداشت‌ها در سه بخش کانسار میدوک، معدن چاه‌مسی و نواحی پیرامون دو معدن صورت گرفت. از آنجا که غالب‌ترین عنصر ساختاری در کانسار میدوک شکستگی‌ها هستند، درزه‌ها به روش پیمایشی برداشت شدند. با توجه به رگه‌ای بودن معدن چاه‌مسی، علاوه بر برداشت رگه‌ها، برداشت درزه در سنگ میزبان رگه، صورت گرفت. در تکمیل مطالعات ساختاری منطقه، در 13 ایستگاه، گسل‌ها و درزه‌ها و بیش از 110 دایک رخنمون شده نیز به عنوان ساختار صفحه‌ای برداشت شدند. پس از برداشت‌های صحرایی، نمودار گل‌سرخ‌ی درزه‌ها و دایک‌ها و تصویر استریوگرام گسل‌ها رسم شد سپس به منظور تحلیل مناسب، داده‌ها بر روی نقشه‌های مربوطه پیاده شدند و از آنجایی که منطقه برشی مورد مطالعه بر روی یال چین‌خوردگی بزرگ مقیاس واقع شده است، عناصر ساختاری تحلیل شده و در نهایت رابطه شکستگی‌ها با کانی‌سازی رگه‌ای و پورفیری مشخص و مدل ساختاری منطقه ارائه شد.

تحلیل داده‌ها

گسل‌ها

گسل‌های منطقه در چهار روند (خاوری - باختری، شمال خاوری - جنوب باختری، شمالی - جنوبی و شمال باختری - جنوب خاوری) رخنمون دارند که شواهد صحرایی برداشت شده در ارتباط با روندهای یاد شده در شکل ۳ ارائه شده است.

۱- روند خاوری - باختری: به طور میانگین، راستای گسل‌ها در این روند بین $W80N-W89N$ بوده و شیب متوسط 85° درجه



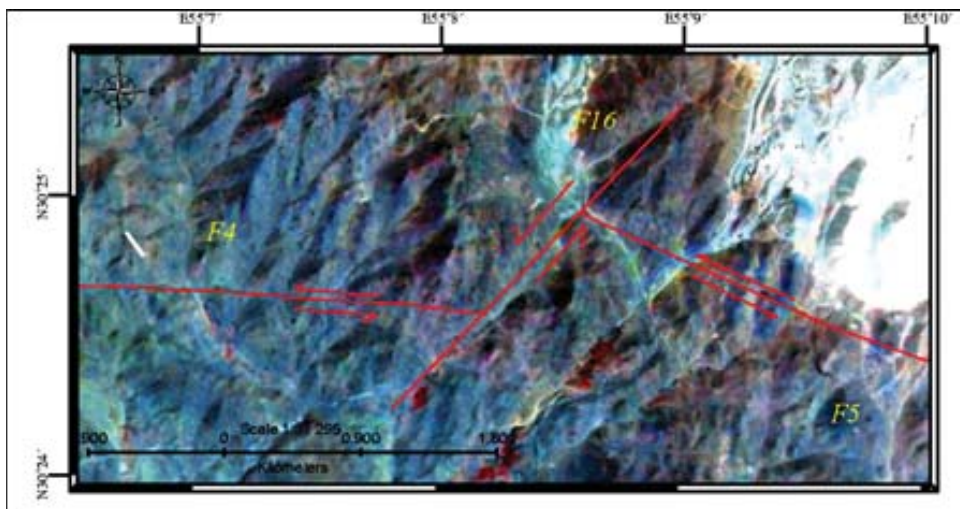
شکل ۴- موقعیت گسل‌های اندازه‌گیری شده به همراه سازوکار کانونی و تصویر استریوگرام مربوطه بر روی تصاویر ماهواره‌ای با ترکیب ۵۳۱

فاصله‌بندی منظم و فاقد پرشدگی است. در منطقه هر سه دسته شکستگی (کششی، برشی - کششی و برشی - فشارشی) مشاهده می‌شود (شکل ۵) که به تاثیر و سازوکار گسل‌ها اشاره دارد. درزه‌ها به صورت نیمه‌عمودی با شیب بین ۸۰ تا ۸۵ درجه دیده می‌شوند.

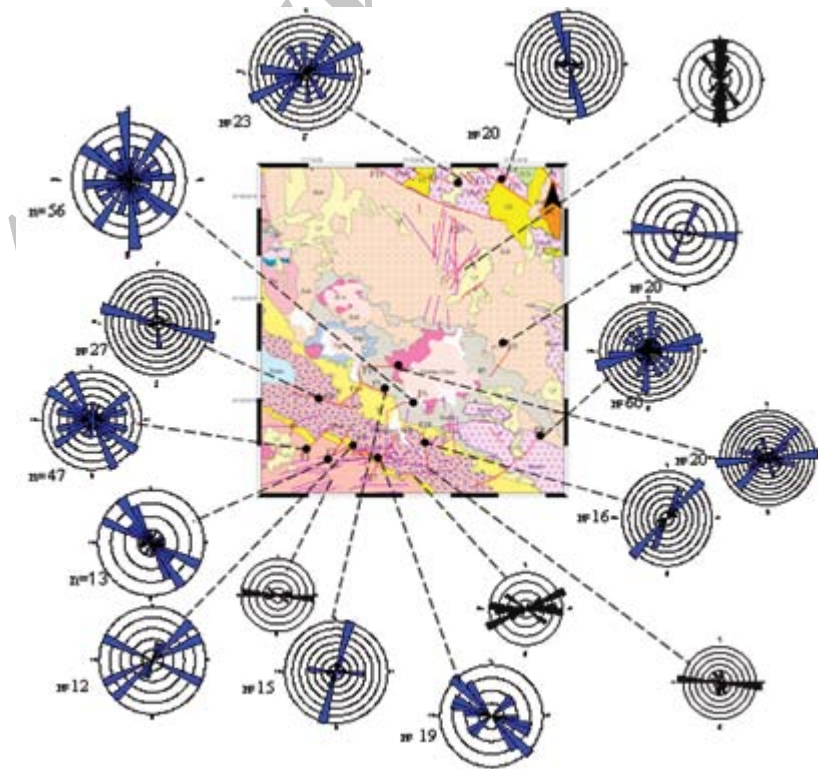
شمالی جوان‌تر از گسل‌هایی با راستای خاوری هستند. به منظور مطالعه بهتر گسل در ۱۳ ایستگاه درزه‌های سیتاماتیک برداشت شد (شکل ۷) که از مطالعه درزه‌ها چنین بر می‌آید که اندازه شکستگی‌ها متفاوت و از میزان ۰/۱ سانتی‌متر تا ۱۰۰ سانتی‌متر متغیر است. عمدتاً درزه‌های منطقه دارای سطوح صاف،



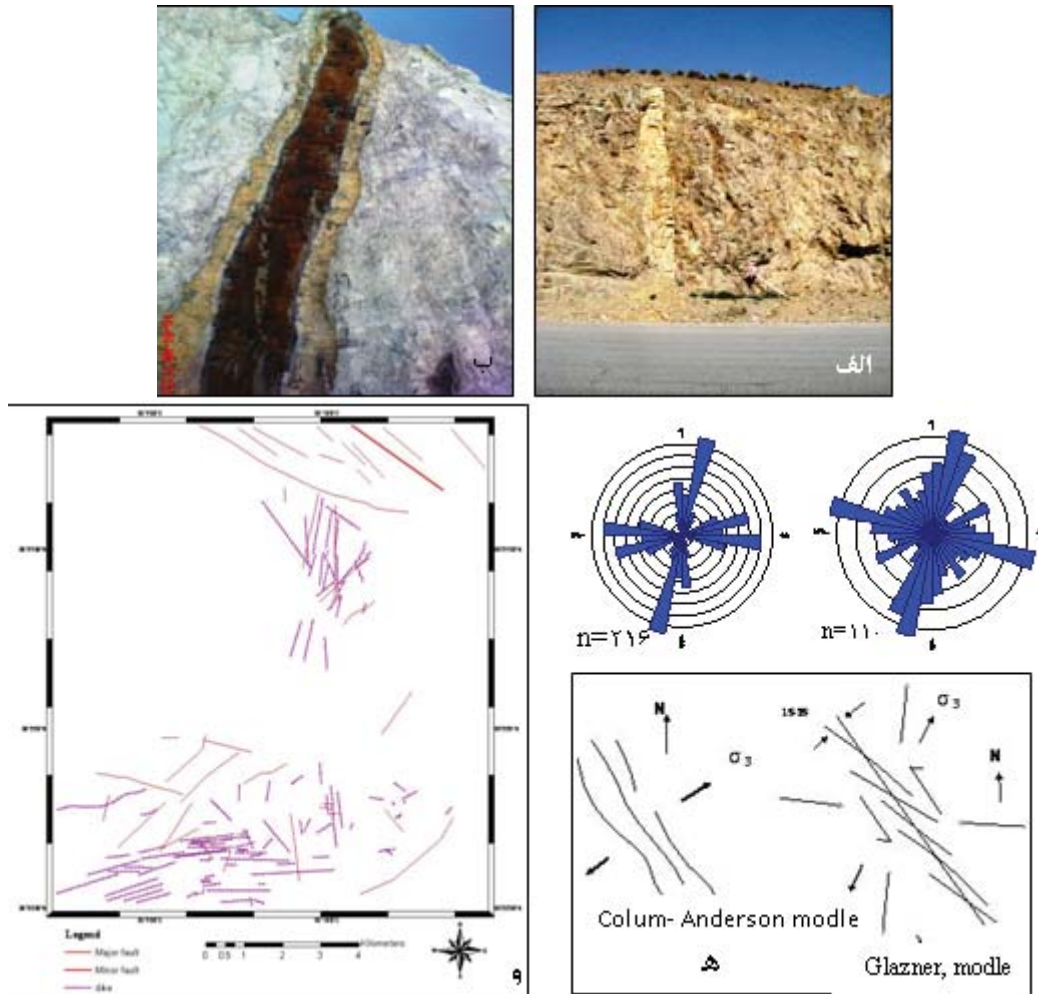
شکل ۵- الف) نمایی از درزه‌های برشی، دید به سمت باختر. ب) نمایی از درزه‌های برشی - کششی، دید به سمت شمال. ج) نمایی از درزه‌های کششی، دید به سمت شمال.



شکل ۶- موقعیت جابه‌جایی گسل خاوری- باختری توسط گسل با روند شمالی خاوری- جنوب باختری در تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۷- نقشه زمین‌شناسی همراه نمودار گل سرخی فراوانی درزه (نمودارهای آبی‌رنگ)، و دایک (نمودارهای سیاه)



شکل ۸- الف) دایک هوازده و بدون هاله‌ی دگرشکلی، جاده منتهی به کانسار میدوک، دید به باختر. ب) دایک به همراه هاله‌ی دگرشکلی، کانسار میدوک، دید به جنوب. ج) نمودار فراوانی دایک‌ها در منطقه، د) نمودار فراوانی درزه‌ها در سنگ میزبان دایک‌های منطقه، ه) مدل شکل‌گیری دایک‌ها، و) نقشه گسترده‌ی دایک‌ها و گسل‌ها در منطقه

Glaznar et al. (1999) ارائه شده است (شکل ۸-ه)؛ پیشنهاد می‌شود که اغلب دایک‌های منطقه در سامانه برشی و فشارشی جایگیری شده‌اند که برش نقش مهم‌تری داشته است.

برداشت‌ها در کانسار میدوک

کانسار میدوک با پتانسیل اقتصادی مس پورفیری، در سنگ میزبان گرانودیوریت شکل گرفته است. از آنجا که استخراج مس در منطقه صورت می‌گیرد بنابراین درزه‌های موجود در پله ۲۶۷۵ که به حد نهایی رسید، بود به روش پیمایشی برداشت شد. جهت‌گیری درزه‌ها از یک سو و عیار اقتصادی از سوی دیگر، سبب شده است که پله مورد مطالعه با روند شمال - جنوب به سه بخش تقسیم شود، به گونه‌ای که در بخش جنوبی پله روند غالب درزه‌ها خاوری - باختری و عیار مس در این بخش بالا می‌باشد (شکل ۹- نمودار الف، ب، ج). در بخش خاوری، روند درزه‌ها شمال‌خاوری - جنوب‌باختر است و سولفور مس پرشدگی بیشتر درزه‌ها را تشکیل می‌دهد (شکل ۹- د، ه، ز)، در حالی که در بخش شمالی اکسیدهای مس و آهن پرکننده‌ی اصلی درزه‌ها بوده

دایک‌ها

Price and Cosgrove (1990) دو مدل جایگیری به روش بازکردن و تزریق در اثر اعمال فشار پیشنهاد کردند که در مدل بازکردن، دایک‌ها فاقد هاله‌ی دگرشکلی و به صورت دسته دایک مشاهده می‌شوند از طرفی، در مدل دوم دایک‌ها به صورت انفرادی به همراه هاله دگرشکل رخنمون دارند. مشاهدات و بررسی‌های صحرائی نشان داد که هر دو روش جایگیری در شکل‌گیری دایک‌های منطقه موثر بوده‌اند (شکل ۸ الف، ب). با برداشت بیش از ۱۱۰ دایک (شکل ۸-ج)، ۲۱۶ درزه در سنگ میزبان دایک‌ها (شکل ۸-د) و رسم نقشه گسترده‌ی دایک‌ها و گسل‌های منطقه (شکل ۸-و) مشخص شد که بین شکستگی‌ها، جایگیری ماگما و شکل‌گیری دایک‌ها ارتباط مستقیم و تنگاتنگ وجود دارد. اما اگر دایک‌ها در یک سامانه کتشی جایگیری شوند هم‌روند با ساختارهای اصلی در منطقه هستند (Coulomd-Anderson, 1988) و اگر با ساختارهای اصلی در منطقه زاویه بین ۱۵-۲۵ درجه بسازند به حضور سامانه برشی و فشارشی گواهی می‌دهند و با توجه به روند ارومیه - دختر و دایک‌ها در منطقه و مدل شکل‌گیری دایک‌ها که توسط

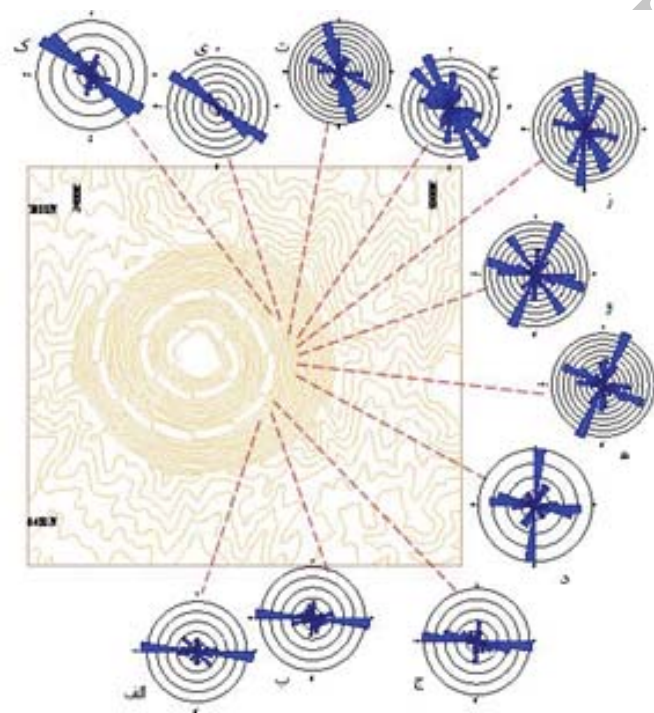
شیب ۸۵ درجه به سمت خاور دارد. مطالعات و برداشت‌های صحرایی در منطقه نشان می‌دهد که واحدهای سنگ میزبان رگه تداخل بین انگشتی دارند از این رو، شکل‌گیری رگه ارتباط مستقیمی با ساختارها دارد (عبادی، ۱۳۸۸). از این رو در ۱۴ ایستگاه از درزه‌های موجود در سنگ میزبان برداشت صورت گرفت، پس از پیاده کردن داده‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱۱) چنین استنباط می‌شود که رگه چاه‌مسی در شکستگی‌های کششی و کششی - برشی با روند تقریبی شمالی - جنوبی که بر اساس تقسیم‌بندی (Atkinson 1987) سه مدل را ارائه کردند که عبارتند از: مد I، بازشدگی، مد II لغزشی، مد III قیچی یا برشی^۳ شکستگی‌های منطقه از نوع مد I (شکستگی‌های کششی) هستند، جایگیر شده است.

و روند غالب درزه‌ها شمالی - جنوبی است (شکل ۹- نمودار ح، ت، ی، ک).

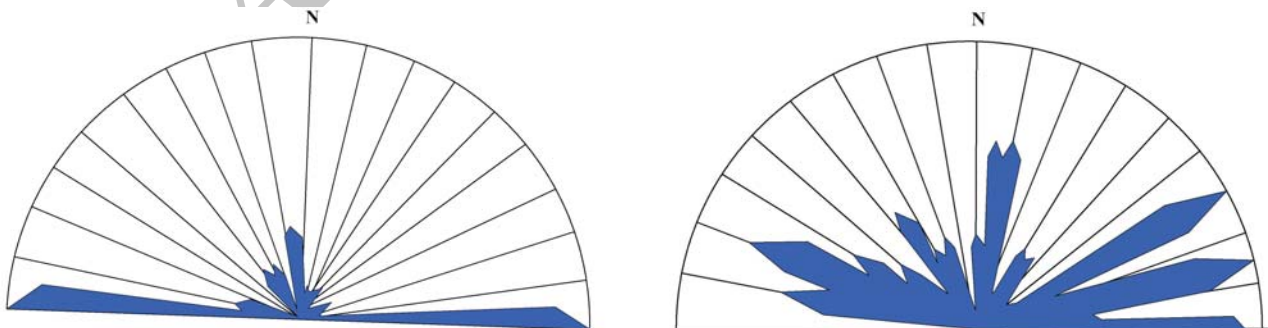
Saric (1973) نمودار گل‌سرخ‌گی‌های عمیق و امتداد توده‌های نفوذی در منطقه‌ی کرمان را ارائه کرد (شکل ۱۰). با مقایسه روندهای ارائه شده و مطالعه ساختاری در منطقه چنین استنباط می‌شود که کانه‌زایی پورفیری در محل تقاطع دو روند خاوری-باختری و شمال‌خاوری- جنوب‌باختری صورت گرفته است.

برداشت در معدن چاه‌مسی

معدن چاه‌مسی در ۱/۵ کیلومتری جنوب کانسار میدوک، به صورت سامانه رگه‌ای کوارتز حاوی عناصر با ارزش مس، سرب - روی است. امتداد چیره این سامانه در منطقه N20E است که

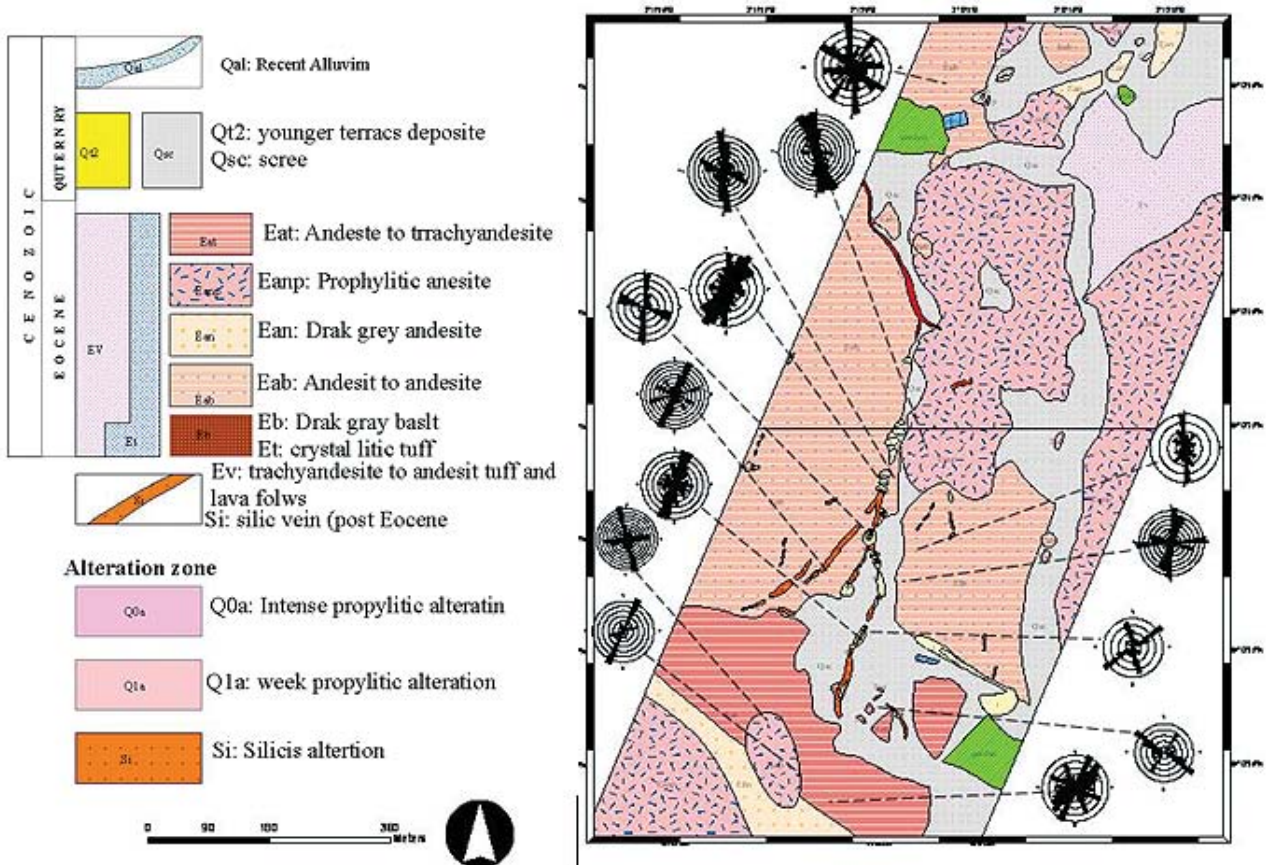


شکل ۹- نمودار گل‌سرخ‌گی درزه‌ها بر روی دیواره کانسار میدوک



شکل ۱۰- الف) نمودار گل‌سرخ‌گی فراوانی امتداد مناطق دگرسان شده. ب) نمودار گسل‌های عمیق (Saric, 1973)

1. opening
2. sliding
3. scissors



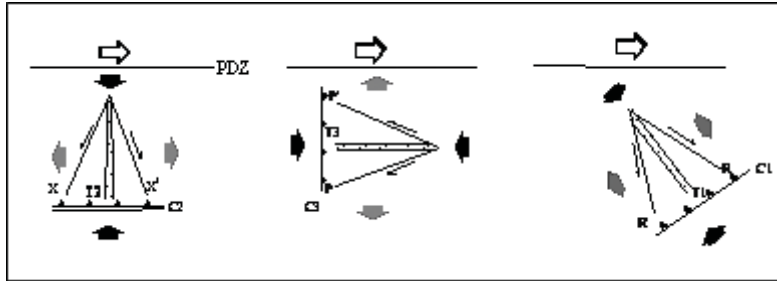
شکل ۱۱- نقشه زمین شناسی معدن چاه‌مسی (شرکت کان‌ایران، ۱۳۸۵) به همراه نمودار گل‌سرخ‌ی امتداد درزه‌ها در سنگ‌های درگیرنده رگه

تحلیل و ارائه مدل ساختاری در منطقه

از آنجا که منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه برشی راست‌گرد حاصل از دو گسل راست‌الغز انار و شهربابک است، روند ساختارها در شمال‌خاور شهربابک با الگوی مناطق برشی که توسط Storti et al. (2005) ارائه شده است (شکل ۱۲)، مقایسه گردید و روند ساختارها در شکل ۱۳ نمایش شده است.

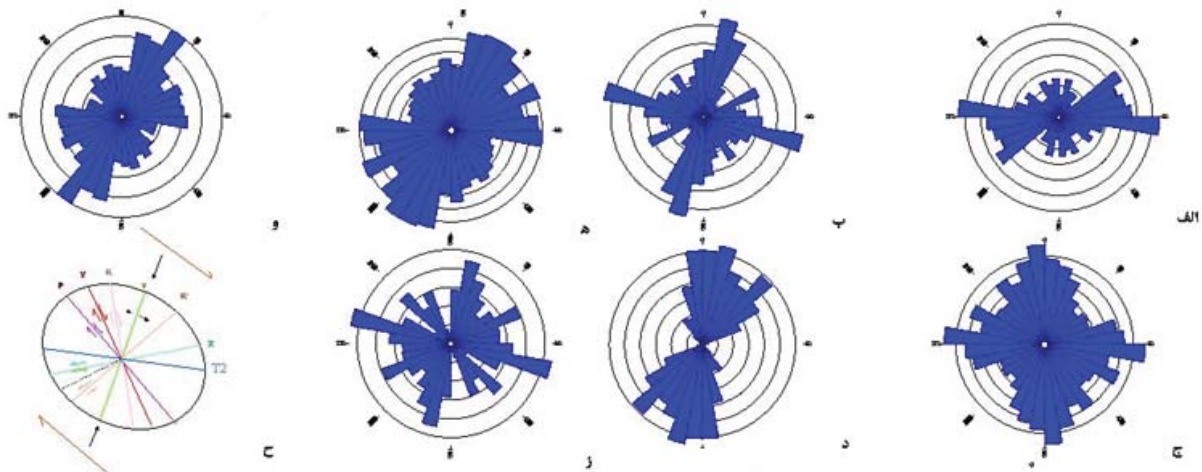
شکستگی‌هایی با آزیموت ۱۴۰ درجه، معرف پهنه جابه‌جایی اصلی (PDZ) در الگویی است که توسط Sylvester (1988) ارائه شده است، اما در الگوی که Woodcock and Schubert (1994) به عنوان شکستگی‌های Y نامگذاری شده‌اند، این شکستگی‌ها با حرکت راست‌گرد، همسو با حاشیه‌های برش و علاوه بر مولفه راست‌الغزی دارای مولفه شیب‌لغز نیز دارند که در واقع گسل‌های مایل لغز هستند. برش ریدل (R) (Riedel, 1929) با آزیموت تقریبی 120° با اختلاف زاویه 20° درجه نسبت به پهنه برشی جهت دارند. در شمال‌خاور شهربابک، برش‌های P که با زاویه $\Phi/2$ - نسبت به پهنه برشی در منطقه مورد مطالعه با آزیموت 160° درجه برداشت شده‌اند. برش‌های آنتی‌ریدل (R')، با اختلاف زاویه 80° درجه نسبت به پهنه برشی با آزیموت 30° درجه و ناهمسانگرد نسبت به منطقه برشی با حرکت چپ‌گرد، در پیرامون توده‌های نفوذی دگرسان شده به‌خصوص کانسار میدوک حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد در جایگیری توده‌های پورفیری، شکستگی‌هایی با

این روند موثر هستند که این مسئله با نظر Saric (1973) در مورد جایگیری توده‌های پورفیری موافق است. شکستگی‌های با آزیموت درجه 80° طبق الگوی ۲ معرف شکستگی‌های X هستند که در طبیعت کمیابند هستند. زیرا کشش حاصل از حرکت راست‌الغز گسل‌ها، به راحتی توسط شکستگی‌های P خنثی شود. شکستگی‌ها با روند تقریبی خاوری - باختری که بر اساس مدل Storti et al. (2005) منطبق بر شکستگی‌های کششی T_1 و معرف گسل موازی انقباض بوده، عمود بر شکستگی‌های T_1 است و به نظر می‌رسد قدیمی‌ترین شکستگی‌ها در منطقه می‌باشند که توسط ماگما پر شده و دایک‌ها را شکل داده‌اند و نقش موثری در ایجاد ذخیره پورفیری داشته‌اند. شکستگی‌های با آزیموت 10° درجه بر اساس زاویه‌ای که با پهنه‌ی برشی می‌سازند در گروه گسل‌های نرمال یا شکستگی‌های T_1 قرار می‌گیرند. این شکستگی‌ها توسط سیال‌های گرمابی و ماگما پر شده و به ترتیب ذخایر رگه‌ای و دایک‌ها را شکل داده‌اند. شکستگی‌های اصلی منطقه از الگوی ثابتی پیروی می‌کنند و بسته به وضعیت محور تنش بیشینه در هر محل و شیب سطح شکستگی، سازوکار ویژه‌ای نشان می‌دهند. با مقایسه روندهای شکستگی‌های در مدل‌های آزمایشگاهی با عناصر ساختاری در منطقه، اختلافات جزئی نشان می‌دهد و به نظر می‌رسد به علت اختلاف خصوصیات محیط واقعی زمین‌شناسی با شرایط آزمایشگاهی باشد.



شکل ۱۲- روابط بین شکستگی‌ها و زاویه آنها با پهنه‌ی جابه‌جایی اصلی (PDZ) (Storti et al., 2005).

Angle to PDZ			
R=15°	P'=30°	C1=135°	T1=45°
X'=80°	R'=75°	C2=0°	T2=90°
P=50°	X=120°	C3=20°	T3=0°



شکل ۱۳- نمودار گل‌سرخ‌ی شکستگی منطقه به همراه الگوی شکستگی‌های منطقه. الف) ۱۶۰ گسل‌های برداشت شده. ب) ۱۱۰ دایک. ج) ۴۳۲۵ درزه. د) ۴۰ رگه. ه) ۳۰۱۸ خطواره‌های اقتباس شده از تصاویر ماهواره‌ای. و) ۳۰۶۲ آبراهه. ز) ۷۹۳ گسل از تصاویر ماهواره‌ای و عکس هوایی. ح) الگوی شکستگی‌ها.

مرحله دوم

در زمان الیگومیوسن، عملکرد تنش کششی، سبب ایجاد شکستگی‌هایی با روند شمال‌خاور - جنوب‌باختر که جنبش راستالغز به همراه مولفه کششی داشته است. این دسته از شکستگی‌ها بر اساس زاویه‌ای که با پهنه برشی اصلی در منطقه می‌سازند، با شکستگی‌های آنتی‌ریدل (R') منطبق هستند. آن‌ها به همراه شکستگی‌های ایجاد شده در مرحله اول، زمینه را برای نفوذ و دگرسانی توده‌های داسیت - آندزیت و ایجاد کانسارهای پورفیری فراهم کرده‌اند به گونه‌ای که در شعاع هفت کیلومتری کانسار میدوک و درون کانسار فراوانی چشمگیری دارند.

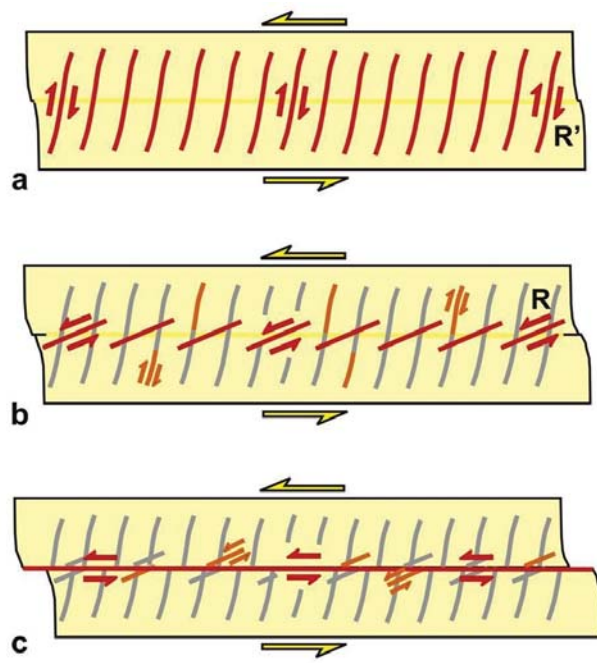
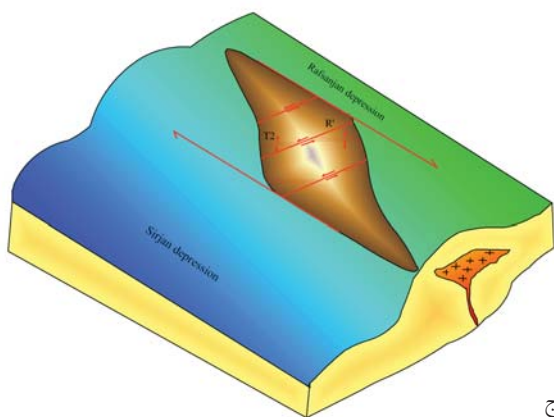
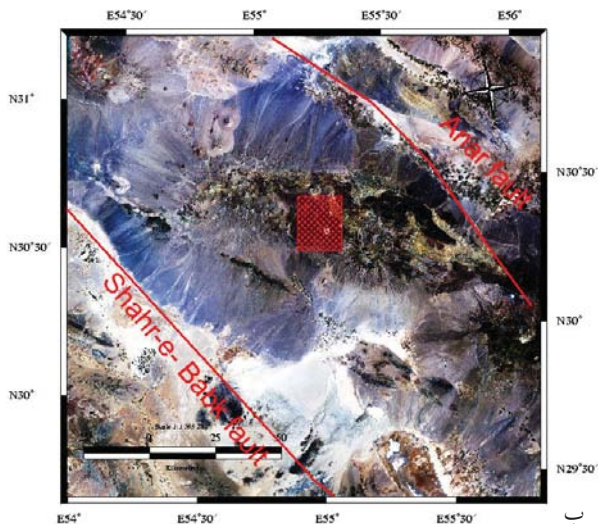
مرحله سوم

با تغییر، عملکرد تنش و ایجاد تنش برشی، شکستگی‌های شمالی - جنوبی شکل گرفته‌اند که آنها زمینه را برای نفوذ سیالات گرمایی (باقی‌مانده سیالات مولد مس پورفیری) و ماگما فراهم کرده و رگه‌های چندفلزی و دایک‌ها شکل داده‌اند.

دو گسل راستالغز انار و شهرباک دارای مولفه‌ی شیب‌لغز معکوس دارند (Berberain, 1976) که سبب ایجاد بالاآمدگی در منطقه شده است (شکل ۱۴-ب) و با مدل Angelier et al. (2004) (شکل ۱۴-الف) سازگار است. در شکل (۱۴-ج) مدل زمین‌ساختی منطقه ارائه شده است.

مرحله اول

عملکرد تنش به صورت سامانه فشارشی با چین‌خوردگی بزرگ مقیاس و شکستگی‌های ائوسن میانی مشخص می‌شود (Dimitrijevic, 1973). شکستگی‌هایی با روند خاوری - باختری که بر اساس تقسیم‌بندی Storti et al. (2005)، شکستگی‌های T_p نامگذاری شده‌اند در این مرحله شکل گرفته‌اند (شکل ۱۲) ماگما در آنها نفوذ کرده و دایک‌های خاوری - باختری را شکل داده است. از سوی دیگر، در بعضی از رخنمون‌ها این دسته از شکستگی‌ها توسط شکستگی‌های جوان‌تر شمال‌خاوری - جنوب‌باختری جابه‌جا شده‌اند.



شکل ۱۴- الف) مدل توسعه‌ی شکستگی‌ها در پهنه‌ی برشی (Angelier et al., 2004). ب) نمایش دو گسل انار و شهربابک، ج) مدل توسعه ساختارها در منطقه مورد مطالعه

و شمال‌خاوری - جنوب‌باختری نهشته‌های پورفیری و در شکستگی‌های شمالی - جنوبی، رگه‌ها شکل گرفته‌اند. در هر سه روند ذکر شده، ماگما جایگیری شده و دایک‌ها را به وجود آورده است. دو روند شمالی - جنوبی و خاوری - باختری به ترتیب منطبق بر شکستگی‌های T_1 و T_2 در برش ساده هستند که حضور T_1 به تاثیر تنش برشی اشاره دارد در حالی که T_2 دلیلی بر تاثیر تنش فشارشی است.

از مطالعه ساختاری در منطقه چنین استنباط می‌شود که کانه‌زایی پورفیری در محل تقاطع دو روند خاوری - باختری و شمال‌خاوری - جنوب‌باختری صورت گرفته و کانه‌زایی رگه‌ای اغلب در شکستگی‌های کششی با روند شمالی - جنوبی جایگیری شده است.

معمولاً در سامانه‌های برشی، شکستگی ریدل پیش از شکستگی آنتی‌ریدل شکل می‌گیرند اما بر اساس مدل (Angiler et al., 2004) در مناطق بالاآمدگی فشارشی^۱ همراه با چرخش شکستگی‌های آنتی‌ریدل در منطقه، قبل از شکستگی‌های ریدل می‌شوند که این مسئله به خوبی در منطقه مورد مطالعه مصداق دارد.

به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه، سامانه ترافشارش حاکم است. اما با توجه با فراوانی زیاد گسل‌های راست‌الغز و حضور

گسل‌های نرمال با روند شمالی - جنوبی و شکستگی‌های با روند خاوری - باختری بر اساس زاویه‌ای که آنها با برش در منطقه می‌سازند به ترتیب بر شکستگی‌های T_1 و X منطبق هستند و حضور شکستگی‌های کششی X به حضور برش جوان در منطقه گواهی می‌دهند. شکستگی‌های ریدل با روند شمال باختری - جنوب‌خاوری که فاقد پرشدگی هستند، بر اساس Woodcok and Schubert (1994) آنها منطبق بر شکستگی‌های نوزمین‌ساختی می‌باشند. از این رو در منطقه مورد مطالعه شکستگی‌های آنتی‌ریدل پیش از شکستگی‌های ریدل شکل گرفته‌اند و توالی شکل‌گیری شکستگی‌ها با، مدل (Angelier et al., 2004) نیز همخوان است (شکل ۱۴- الف).

نتیجه‌گیری

مطالعه ساختاری در شمال‌خاور شهربابک نشان می‌دهد که منطقه در واقع بخشی از پهنه برشی ساده راست‌گرد، با چرخش در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد.

شکستگی‌ها و فعالیت‌های ماگمایی، نقش موثری در جایگیری دایک‌ها، شکل‌گیری نهشته‌ها پورفیری و ایجاد رگه‌ها داشته‌اند به گونه‌ای که در محل تقاطع شکستگی‌های خاوری - باختری

Press, London, 1-26.

- Dimitrijevic, M.D. 1973. Geology of Kerman region. Geol. Surv. Iran. Yu/52, 334.

- Forster, H., 1978. Mesozoic - Cenozoic metallogenesis in Iran - Geological Society- London, 135, 443-445.

- Glazner, A. F.; Bartley, J. M. and Carl, B. S., 1999. Oblique opening and noncoaxial emplacement of the Jurassic Independence dike swarm, California. Journal of Structural Geology, 21, 1275-1283.

- 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.

- Hezarkhani, A., 2006. Hydrothermal evolution of Sarcheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: evidence from fluid inclusion. Journal Asian Earth Sciences, 28, 409-422.

- Katz, Y., Weinberger, R. and Aydin, A., 2004. Geometry and Kinematic evolution of Riedel shear structures, Capitol Reef National Park, Utah. Journal of Structural Geology, 26, 491-501.

- Montest L.G.J. and Hirth G. 2003. Grain size evolution and the rheology of ductile shear zone: from laboratory experiments to postseismic creep. Earth and Planetary Science Letters, 211, 97-110.

- Peacock S.M., 2002. Blueschist-facies metamorphism, shear heating and P-T-t paths in subduction shear zones. Journal of Geophysical Research, 97, 17693-17707.

- Price, N.J. and Cosgrove, J.W., 1990. Analysis of Geological Structures, Cambridge university press, 502.

- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1987. The techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press, London, 391.

- Riedel, W., 1929. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. Zentral-blatt für Mineralogy Abteilung B, 354-368.

- Saric, B., 1973. Report on exploration at Darrehzar copper mineral deposit G.S.I. report No Yu. 51.

- 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 sciences, 30, 652-665.

شکستگی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر مولفه‌ی برشی بیش از مولفه فشارشی بوده است.

سیاسگزاری

نویسندگان سپاس و قدردانی خود را از شرکت ملی صنایع مس ایران به ویژه آقای مهندس احمد آتش‌پنجه (رئیس امور تحقیق و توسعه شرکت مس) برای تامین اعتبار در تهیه امکانات صحرائی، همچنین خانم هاله مدرک به دلیل همراهی در برداشت‌های صحرائی اعلام می‌دارند.

منابع

- عبادی، ل. ۱۳۸۸. تحلیل ساختاری معدن میدوک (لاچا) و نواحی پیرامون آن شمال شرق شهر بابک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۱۱.

- کان ایران، ۱۳۸۵. گزارش اکتشافی منطقه چاه مسی، ۱۵۰.

- Ahlgren, S.G., 2001. The nucleation and evolution of Riedel shear zone as deformation bands in porous sandstone. Journal of Structural Geology, 23, 1203-1214.

- Angelier, J., Bergerat, F., Bellou, M. and Homberg, C., 2004. Co-seismic strike-slip fault displacement determined from push-up structures: the Selsund Fault case, South Iceland. Journal of Structural Geology. 26, 709-724.

- 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 1/5000000. Iran Geological Survey.

- Brogi. A. 2006. Evolution, formation mechanism and kinematics of a contractional shallow shear zone within sedimentary rocks of the Northern Apennines (Italy). Eclogae Geologicae Helvetiae. 99, 29-47.

- Brown, L.J. and Solar, M. 1998. Model of the copper and polymetallic vein family of deposits- applications in Slovakia, Hungary and Romania. International Geology Review, 45, 12-19.

- Ceolho, 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.

- Coulomd, J. and Anderson, E.M, 1988, Introduction to fracture mechanics and its geophysical applications, in Atkinson, B.K.(ed.), Fracture Mechanics of Rock: Academic

- Storti, F., Rossetti, F., Laufer, A.L. and Salvini, F., 2005. Consistent kinematic 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.
- Sylvester, 1988. Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, 100, 1666-1703.
- Wang, C. and Ludman A., 2004. Deformation conditions, kinematics and displacement history of shallow crustal ductile shearing in the Norumbega fault system in the Northern Appalachians, eastern Maine. *Tectonophysics* 384, 129-148.
- Woodcock, N. H. and Schubert, C., 1994. Continental strike-slip tectonics. In: *continental Deformation*, (ed. By P. L. Hancock), Pergamum Press Ltd, Oxford. 215-26.

Archive of SID