



فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۴۰۰، سال پنجم، شماره ۲۰

doi 10.22077/jt.2022.5323.1140

تکامل ساختاری پس از ائوسن محدوده معدنی قله کفتران و بررسی ارتباط بین ساختارها و کانه‌زایی سرب-روی و مس، شمال گسل ترود

محمد گوهری انارکی^۱، میثم تدین^{۲*}، علیرضا ندیمی^۳، رشید کتال^۴

۱- کارشناس ارشد تکنیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

۲- استادیار تکنیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

۳- دانشیار تکنیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

۴- کارشناس ارشد معدن، گروه اکتشافات شرکت توسعه منابع انرژی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

چکیده:

در این پژوهش کانسار سرب-روی و مس رگه‌ای قله کفتران در شرقی‌ترین گوشه کمربند فلز زایی ترود - چاه شیرین با میزبانی واحدهای آذرین ائوسن میانی که در ۲۰ کیلومتری شمال پهنه گسله پی سنگی و فعال ترود قرار گرفته است، در درجه اول از نظر ساختاری و سپس از نظر ارتباط بین ساختارها و کانه‌زایی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از روش مطالعات ترکیبی شامل مطالعات میدانی ساختاری، سنجش از دور، آنالیز ICP-OES استفاده شد. بررسی ساختارهای شکننده نشان می‌دهد که پهنه گسل اصلی با فراوانی بیشتر و راستای شمال شرقی-جنوب غربی گسترش یافته است در حالی که شکستگی‌های فرعی در تمامی جهات کشیده شده‌اند. این نوع توسعه گسل‌ها و شکستگی‌ها با امتدادهای متنوع تا حدودی اشاره به بلوغ تکنیکی منطقه دارد. نتایج برگردان تنش گسل و لایه‌بندی‌های اندازه‌گیری شده حاکی از حضور یک میدان تنش بیشینه قائم بوده (در بازه زمانی احتمالی پس از ائوسن میانی - میوسن پیشین) و یک تنش بیشینه افقی شمال غربی-جنوب شرقی بعد از میوسن پیشین که احتمالاً تا به امروز نیز حاکم است. نتایج مطالعات ساختاری و ژئوشیمی نشانگر نقش مستقیم ساختارها در کنترل پراکندگی دگرسانی‌ها و کانه‌زایی فلزی سرب-روی و مس در امتداد آن‌ها می‌باشد، به گونه‌ای که دگرسانی‌های منطقه که با کانه‌زایی مس اکسیدی همراه است از نظر مکانی عمدتاً در فرادیواره گسل‌های شمال شرقی-جنوب غربی و گرابن‌هایی با همین روند متمرکز شده‌اند که محل تمرکز کانه‌زایی سرب-روی و مس رگه‌ای نیز هستند.

کلید واژه: پهنه گسلی ترود، معدن قله کفتران، گسل‌های میزبان کانه‌سازی، تنش دیرین

*ایمیل: m.tadayon@sci.ui.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۳۲۰۳۵۲۶۵

Post-Eocene structural evolution of the Qole-Kaftaran deposit and investigate the linkage between structures and Pb-Zn and Cu mineralization, North Toroud fault

Mohammad Gohari Anaraki¹, Meisam Tadayon^{2*}, Alireza Nadimi³, Rashid Katal⁴

1- MSc in Tectonics, Department of Geology, University of Isfahan, Iran

2- Assistant Prof., Department of Geology, University of Isfahan, Iran

3- Associate Prof., Department of Geology, University of Isfahan, Iran

4- MSc in Mining, Power Resources Development Company, Tehran, Iran

Abstract

The vein-type Qole-Kaftaran Pb-Zn and Cu deposit with middle Eocene volcanic host rock, located at the easternmost edge of the Toroud-Chah Shirin metallogenic belt, is chosen to characterize its structural architecture and further investigate the linkage between structures and ore-mineralization. The Qole-Kaftaran deposit is also situated at 20 km north of the active basement Toroud fault zone. To this end, field base structural study is integrated with remote sensing and ICP-OES geochemical analysis is used. Variable strikes of faults and fractures are propagated in the study area while a NE-SW strike as the significant fault trend is identified in the frequency aspect. This kind of propagation of diverse fault strikes can be interpreted as relatively tectonic maturity in the study area. Brittle and ductile derived- Paleo-stress results suggest an old almost vertical maximum compression direction (with possible age of post-Eocene- Early Miocene) and a post-Early Miocene horizontal NW-SE- directed maximum compression direction. Our result also points to the direct controlling impact of brittle structures on the distribution of alteration and Pb-Zn and Cu mineralization. In which, alteration and vein-type Pb-Zn and Cu mineralization are arranged along and at the hanging wall of the NE-SW extensional faults and grabens.

Key words: Toroud fault zone, Qole-Kaftaran vein-type deposit, Pb-Zn and Cu mineralization hosting fault, Paleo-stress

*Email: m.tadayon@sci.ui.ac.ir

Tel: +989132035265

مقدمه

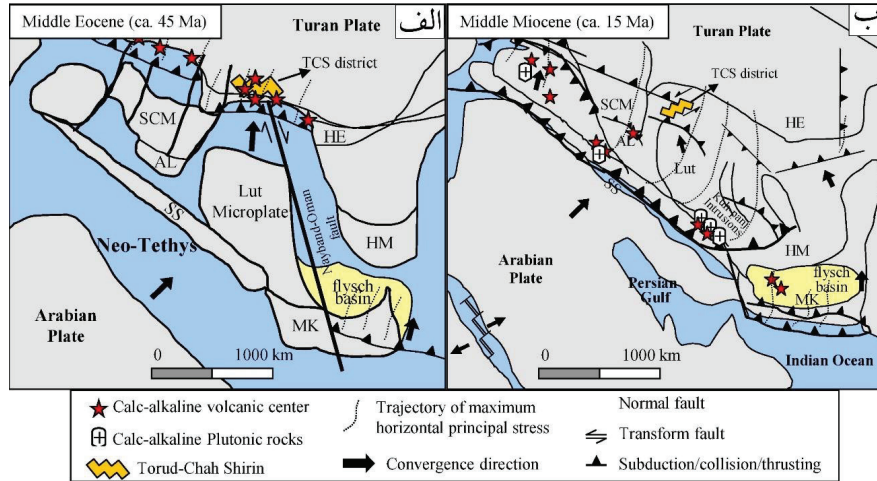
در بازه زمانی پالئوژن (ائوسن تا الیگوسن) می‌باشد که در پی فرورانش رو به شمال شرق پوسته قاره‌ای ایران مرکزی و تئیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی و فرایندهای تکتونیکی پس از آن بوجود آمده است (Vardel et al., 2017; Berberian and King, 1981)؛ امامی، ۱۳۷۹؛ Yousefi et al., 2017; TaleFazel et al., 2019). این کمر بند با توجه به قرارگیری در محدوده فعال تکتونیکی با گسل‌های پی سنگی طویل و فعال به عنوان یکی از عوامل مهم کنترل کننده در کانه‌زایی (شکری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Ta- TaleFazel et al., 2019; dayon et al., 2019; Niroomand et al., 2019) قرارگیری سنگ‌های آذرین به سن پالئوژن در کنار واحدهای رسوبی مزوزوئیک بالایی تا نئوژن به صورت گسله یا جایگیری آذرین سبب تبدیل شدن این محدوده به یکی از نقاط دارای پتانسیل معدنی بالا شده است که معادن متعددی از جمله چاه موسی، چشمه حافظ، قله سوخته، پیرمردان، گندی، باغو و ابولحسنی و دوگان در این محدوده واقع شده است (حقیقی و همکاران، ۱۳۹۲؛ تدین و کتال، ۱۳۹۹؛ TaleFazel et al., 2019; Niroomand et al., 2019).

در گوشه شرقی کمر بند متالوژنی ترود- چاه شیرین، محدوده معدنی قله کفتران در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال شرق ترود واقع شده و از واحدهای آندزیت پورفیری تا توفی به سن ائوسن میانی و رسوبات ماسه سنگی و کنگلومرایبی به سن میوسن و رسوبات سخت نشده و آبراهه‌ای کوآترنری تشکیل شده است (شکل ۲ و ۳). معدن سرب و روی قله کفتران و ذخایر مس آن در میزبانی واحدهای آذرین ائوسن میانی واقع شده است. این محدوده بین دو گسل با روند شمال شرقی- جنوب غربی و سازوکار چپ‌گرد انجیلو در شمال و ترود در جنوب محصور شده است که گسل پی سنگی و فعال ترود با امتداد شمال شرق- جنوب غربی و سازوکار چپ‌گرد با مؤلفه معکوس و شیبی به سمت شمال غرب بیشترین تاثیر را بر ساختارهای قدیمی و فعال این محدوده گذاشته است (گوهری انارکی و همکاران، ۱۳۹۹Berberian, 2014 ;).

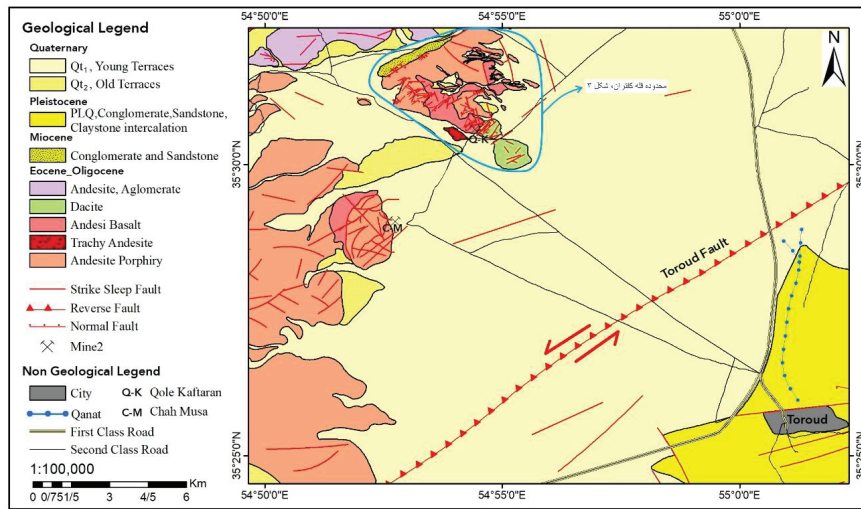
کمر بندهای آتشفشانی با سن‌های مختلف از مستعدترین مناطق کانه‌زایی فلزی در کره زمین به شمار می‌روند به گونه‌ای که در نقاطی با نام کمر بندهای متالوژنی نیز شناخته می‌شوند (Hartley and Rice, 2005; Mpodoz- is, and Cornejo, 2012; Garwin et al, 2005). معمولاً در ایران معادن کوچک فلزی واقع شده در امتداد این کمر بندهای آتشفشانی به علت رخنمون داشتن کانه‌زایی و به صورت محلی و سنتی مورد اکتشاف اولیه واقع شده‌اند همچون معادن فلزی کمر بندهای آتشفشانی ارومیه - دختر، تربت جام - بردسکن و ترود - چاه شیرین (Niroomand et al., 2019; Beygi et al, 2021). اما مطالعات ساختاری در این کمر بندهای آتشفشانی - متالوژنی کلید اکتشافات بزرگ مقیاس و سیستماتیک است. به گونه‌ای که شناسایی ارتباط منطقی پراکندگی مکانی دگرسانی‌ها، کانه‌زایی فلزی و ساختارها در یک محدوده معدنی در درجه اول سبب ارائه کلید اکتشافی به صورت محلی و سپس در طول آن کمر بند آتشفشانی و همچنین ارائه راهکارهای استخراجی خواهد شد (Porter et al, 2015). در این پژوهش معدن پلی متال قله کفتران را در گوشه شرقی کمر بند آتشفشانی - متالوژنی ترود - چاه شیرین در شمال ایران مرکزی را جهت مطالعه ارتباط ساختارها و کانه‌زایی به عنوان واحد شبکه‌ای از سیستم بزرگ این کمر بند انتخاب کرده‌ایم. در طی این پژوهش به شناسایی ارتباط منطقی پراکندگی مکانی ساختارها با دگرسانی‌ها، کانه‌زایی فلزی به روش مطالعات ترکیبی شامل مطالعات میدانی ساختاری، سنجش از دور، کانه‌نگاری و ژئوشیمی که نشانگر نقش مستقیم ساختارها در تمرکز دگرسانی‌ها و کانه‌زایی فلزی سرب و روی و مس در امتداد آن‌ها می‌باشد، پرداخته شد.

زمین‌شناسی عمومی و زمین‌ساخت منطقه

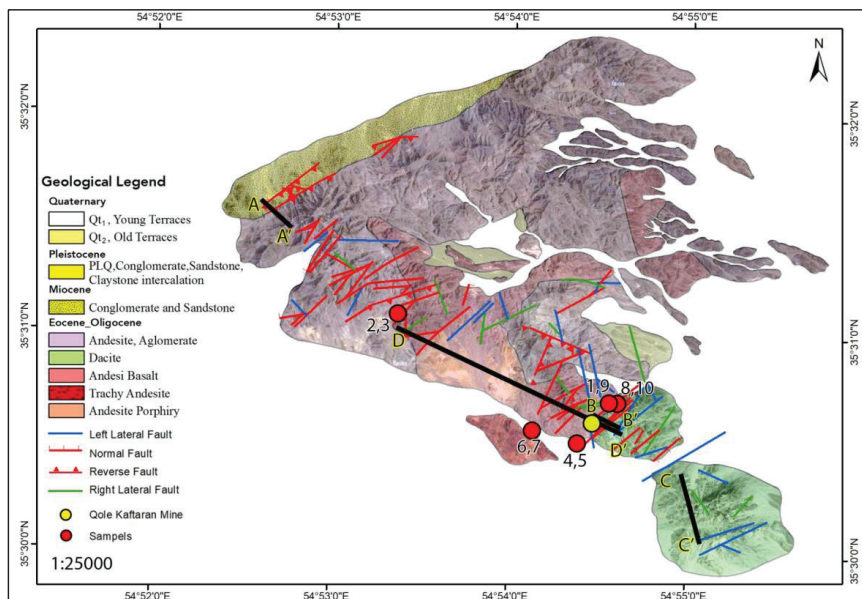
منطقه مورد مطالعه در شمال پهنه ساختاری رسوبی ایران مرکزی در شمال دشت کویر، بخشی از کمر بند ماگمایی ترود- چاه شیرین است (کی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). این کمر بند ماگمایی با روند شمال شرقی- جنوب غربی، طول ۱۰۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۱۲ کیلومتر (Niroomand et al., 2019) (شکل ۱) حاصل فعالیت گسترده آتشفشانی در پس بوم (Hinterland)



شکل ۱. موقعیت کمربند تروود-چاه شیرین در نقشه ژئودینامیک و دیرینه جغرافیایی ایران در زمان ائوسن میانی (الف) و میوسن (ب) (برگرفته از Tale Fazel et al., 2019).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی بخش شمالی گسل و روستای تروود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی قله کفتران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به همراه محل ترسیم مقاطع عرضی (AA', BB') و موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری برای آنالیز ICP-OES (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10), (CC', DD')

روش مطالعه

به منظور تفسیر محدوده قله کفتران از دیدگاه معماری و تکامل ساختاری و همچنین ارتباط ساختارها با کانه زایی در محدوده معدنی قله کفتران، تعداد ۳۴۶ داده ساختاری شامل گسل، شکستگی، لایه‌بندی و کانه‌زایی رگه‌ای برداشت شد (جدول ۱). به منظور تشخیص سازوکار گسل‌ها از معیار کلاسیک شکستگی‌های ریدل و خش‌لغز (Fossen, 2010) بر رو صفحه گسل‌ها (شکل ۹-A,B,C) که به علت جنس سنگ‌های محدوده مورد بررسی اغلب به خوبی حفظ شده بودند استفاده شد. سپس با استفاده از نرم افزار Daisy به نمایش استروگرافیک اطلاعات ساختاری اندازه‌گیری شده و همچنین آنالیز تعیین موقعیت تنش دیرین داده‌های گسلی پرداخته شده است. مقادیر تنش‌های بیشینه (σ_1) و کمینه (σ_3) برای هر بخش نیز در جدول ۲ ارائه شده است. داده‌های تفسیر شده در واحدهای متفاوت آذرین به سن ائوسن تا میوسن میانی و کنگلومرا و ماسه سنگ کوآترنی قرار گرفته‌اند. هدف از محاسبه جهت‌های تنش دیرین در محدوده معدنی قله کفتران پی بردن به نقش کنترل‌کنندگی ساختارهای این محدوده در جایگیری رگه‌هایی با ارزش اقتصادی می‌باشد که به نوبه خود در فرایند اکتشاف و استخراج کلیدی و موثر خواهد بود.

همچنین سه مقطع عرضی عمود بر امتداد عمومی ساختارهای منطقه در بخش‌های شمال غربی (AA)، میانی (BB) و جنوبی (CC) کوه قله کفتران بر اساس اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات میدانی ترسیم شده است (شکل ۴). شایان ذکر است که نیمرخ توپوگرافی این سه مقطع عرضی بر اساس داده‌های DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر ترسیم شده است. در پژوهش پیش رو پراگندگی فضایی دگرسانی‌های موجود در منطقه و ارتباط آن‌ها با ساختارها نیز مورد توجه قرار گرفته است.

به منظور مطالعه ژئوشیمیایی کانه زایی در منطقه آنالیز عناصر سرب، روی و مس به روش ICP-OES بر روی ده نمونه از کانه‌زایی رگه‌های اصلی با پراگندگی مناسب در منطقه انجام پذیرفت، که موقعیت آن‌ها در شکل ۳ و نتایج آن‌ها در جدول ۳ و شکل ۱۲ ارائه شده است. از این اطلاعات ساختاری به منظور تشخیص نقاط پر

پتانسیل از دیدگاه اقتصادی استفاده خواهد شد.

یافته‌های ساختاری از منطقه قله کفتران

داده‌های ساختاری برداشت شده شامل سیزده ایستگاه با شعاع حدودی صد متر برای هر ایستگاه در محدوده معدنی قله کفتران و دو ایستگاه دیگر یکی در قسمت شمال غربی و دیگری در جنوب شرق محدوده مطالعاتی هستند که برای هر بخش به طور جداگانه موقعیت تنش دیرین با استفاده از نرم افزار DAISY و از روش (Multiple Monte Carlo Robust Analysis (MMRA محاسبه شده است (شکل ۵ و ۶).

در بخش ۱ واقع در محدوده A (شکل ۵) کوه قله کفتران پهنه‌ای از گسل‌های معکوس با امتداد شمال شرق و پرشیب به سمت جنوب شرق که چین‌خوردگی‌هایی با روند محوری شمال شرق- جنوب غرب در فرا دیواره آن‌ها در لایه‌هایی با سن میوسن قرار دارند (شکل ۴-AA' و شکل ۷). تنش بیشینه بر اساس آنالیز تنش دیرین گسل‌ها و چین‌های این منطقه، یک تنش بیشینه (σ_1) افقی با روند جنوب شرقی بدست آمده است (شکل ۷).

در بخش ۲ واقع در محدوده A (شکل ۵) کوه قله کفتران گسل‌های معکوس پرشیب با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی در لایه‌های آندزیت پورفیری به سن ائوسن مشاهده شد و تنش بیشینه (σ_1) با روند ۱۲۰ و زاویه میل ۵۱ می‌باشد.

در بخش ۳ واقع در جنوب غربی محدوده A (شکل ۵) گسل‌های نرمال با روند غالب شمال شرقی- جنوب غربی و پرشیب واحد آندزیت پورفیری به سن ائوسن را قطع کرده‌اند به گونه‌ای که در فرا دیواره گسل‌های نرمال اغلب دگرسانی مشاهده می‌شود. نتایج محاسبه تنش دیرین برای این بخش یک تنش بیشینه (σ_1) قائم است.

در بخش ۴ واقع در بخش غربی محدوده A (شکل ۵) بیشتر گسل‌ها نرمال و با روند عمومی شمال شرقی- جنوب غربی (شکل ۹-A) و نسبتاً پرشیب هستند که واحدهای آندزیت پورفیری به سن ائوسن میانی را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) برای این بخش نیز دارای جهت‌گیری فضایی تقریباً قائم است.

در بخش ۵ واقع در بخش جنوبی محدوده A (شکل ۵) عمده گسل‌ها نرمال و تقریباً پرشیب، همچنین تعدادی

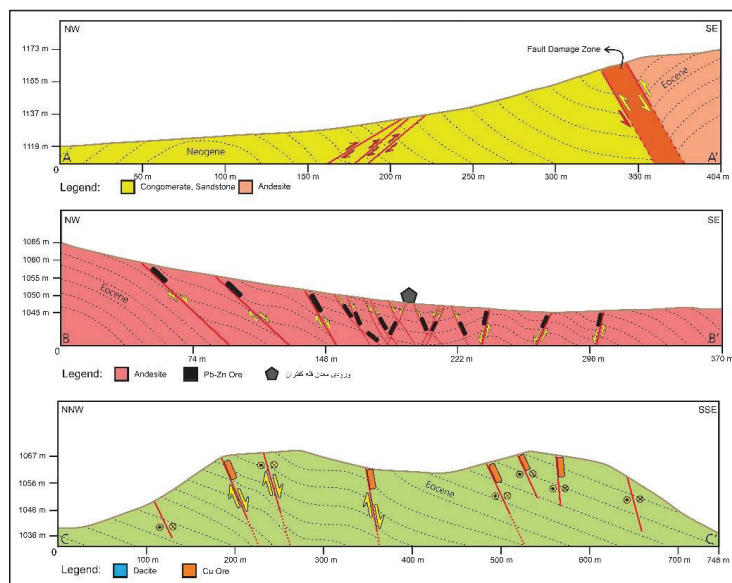


جدول ۱. تمامی گسل‌های برداشت شده در محدوده. X طول جغرافیایی و Y عرض جغرافیایی و روش برداشت بر اساس قانون دست راست (RHR) می‌باشد. از این داده‌ها با کمک نرم افزار DAISY داده‌های تنش دیرین بدست آمده است.

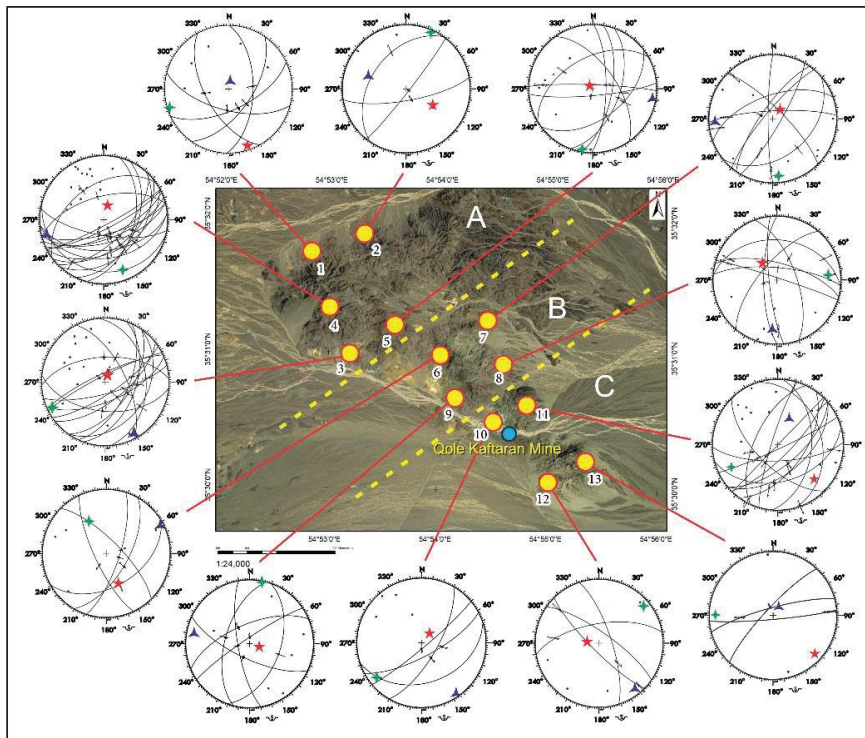
	X	Y	Strike	Dip	Rake	Kinematic		X	Y	Strike	Dip	Rake	Kinematic
1	310267	3931509	050	84	95	Normal	56	307951	3933182	062	47	85	Left lateral
2	310267	3931509	030	70	100	Normal	57	307937	3933215	063	78	90	Normal
3	310918	3931265	205	61	7	Left lateral	58	307886	3933238	025	47	95	Normal
4	310918	3931265	205	61	68	Normal	59	307858	3933278	070	65	90	Normal
5	310780	3931306	075	43	105	Normal	60	308654	3932624	255	60	90	Normal
6	310267	3931509	142	87	30	Left lateral	61	308591	3932656	045	61	90	Normal
7	310267	3931509	072	38	85	Normal	62	308520	3932666	052	51	93	Reverse
8	310267	3931509	062	73	70	Normal	63	308440	3932769	084	39	90	Normal
9	310966	3931293	045	75	15	Left lateral	64	308400	3932815	085	50	85	Normal
10	310279	3932821	315	77	10	Right lateral	65	308362	3932863	042	40	86	Normal
11	310275	3932721	220	80	95	Normal	66	308320	3932880	015	50	93	Normal
12	310275	3932721	250	60	20	Left lateral	67	308250	3932908	075	60	80	Normal
13	310341	3932817	180	84	20	Left lateral	68	308221	3932916	234	44	90	Normal
14	310341	3932817	050	40	90	Normal	69	308197	3932974	105	20	110	Right lateral
15	310220	3932841	267	80	25	Right lateral	70	309879	3932260	030	62	93	Reverse
16	310275	3932721	215	75	85	Normal	71	309594	3932526	060	46	95	Right lateral
17	310275	3932721	030	80	140	Left lateral	72	309499	3932698	155	75	80	Left lateral
18	308597	3934264	025	90	90	Normal	73	308928	3932360	035	34	90	Normal
19	308651	3934052	038	86	90	Reverse	74	308894	3932391	096	52	90	Normal
20	308651	3934052	080	75	86	Reverse	75	308742	3932450	245	79	100	Right lateral
21	308651	3934052	215	43	115	Normal	76	308694	3932467	355	36	90	Normal
22	307709	3933641	035	60	92	Reverse	77	308620	3932497	243	82	86	Normal
23	310146	3931754	085	83	35	Right lateral	78	310140	3931790	236	83	95	Right lateral
24	310146	3931754	070	35	20	Right lateral	79	310099	39311009	115	71	90	Normal
25	310118	3931763	010	60	60	Normal	80	310101	3931832	170	75	90	Normal
26	310118	3931763	214	67	80	Normal	81	310097	3931855	020	50	90	Normal
27	307772	3933561	040	60	93	Reverse	82	310067	3931883	247	65	85	Normal
28	307713	3933613	105	63	85	Reverse	83	310029	3931619	195	58	90	Normal
29	307713	3933613	065	63	89	Reverse	84	309990	3931993	315	73	100	Right lateral
30	307713	3933613	000	58	86	Reverse	85	309965	3932044	018	73	90	Normal
31	307709	3933641	151	60	100	Reverse	86	310117	3932274	275	74	90	Reverse
32	308336	3932589	020	50	80	Normal	87	310100	3932274	180	73	86	Reverse



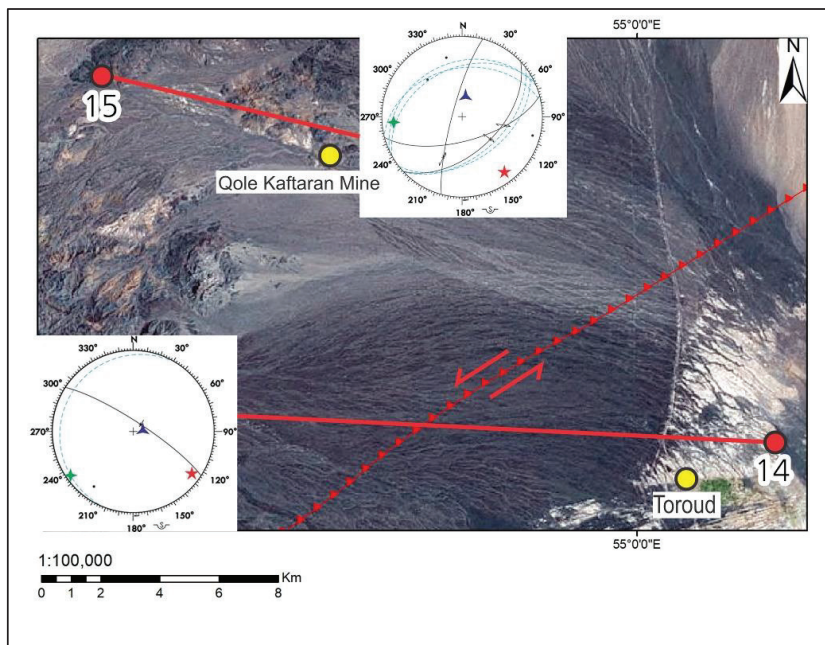
33	30825 8	393266 8	025	60	70	Left lateral	88	31005 0	393231 1	275	37	145	Right lateral
34	30809 4	393272 8	035	57	86	Normal	89	30999 7	393240 8	340	65	70	Left lateral
35	30819 0	393270 8	052	65	90	Normal	90	30268 2	393238 4	120	86	160	Right lateral
36	30798 6	323969 7	075	75	70	Left lateral	91	30692 2	393245 0	120	25	120	Right lateral
37	30793 0	393262 8	056	75	90	Normal	92	31073 6	393141 0	036	57	140	Right lateral
38	30840 5	393316 8	272	85	23	Left lateral	93	31072 1	393146 9	050	64	95	Normal
39	30781 4	393257 1	333	64	70	Left lateral	94	31059 9	393175 5	197	82	76	Left lateral
40	30866 1	393305 3	085	81	93	Normal	95	31054 0	393185 5	065	85	120	Normal
41	30881 2	313290 7	000	73	85	Normal	96	31028 1	393210 2	174	80	25	Left lateral
42	30896 5	393274 8	325	60	115	Right lateral	97	31035 4	393196 9	288	87	20	Left lateral
43	30917 6	393265 6	020	55	90	Normal	98	31016 7	393218 5	285	68	23	Left lateral
44	30925 7	393254 9	240	50	70	Left lateral	99	31013 6	393220 5	220	68	90	Normal
45	30933 8	393241 8	010	65	120	Right lateral	100	31083 6	393182 5	005	47	15	Left lateral
46	30929 1	393250 2	053	50	70	Left lateral	101	31078 2	393186 7	135	63	86	Left lateral
47	30781 7	393255 3	067	65	100	Normal	102	31070 4	393200 7	344	33	165	Right lateral
48	30781 7	393255 3	067	65	100	Normal	103	31078 5	393130 4	050	54	100	Reverse
49	30777 4	393254 2	267	58	90	Normal	104	31076 4	393137 8	088	70	20	Left lateral
50	30775 8	323960 9	045	76	85	Normal	105	31133 1	393067 9	260	65	35	Left lateral
51	30786 1	393329 1	075	71	87	Normal	106	31125 5	393120 0	135	80	10	Left lateral
52	30774 9	323965 3	315	67	90	Normal	107	31120 4	393093 2	342	74	120	Right lateral
53	30809 9	393301 6	100	70	92	Normal	108	31159 9	393098 3	223	80	95	Normal
54	30800 6	393306 8	065	69	95	Normal	109	31171 4	393076 4	085	85	15	Left lateral
55	30797 8	393310 2	062	83	100	Normal	110	31145 3	393056 7	305	76	20	Left lateral



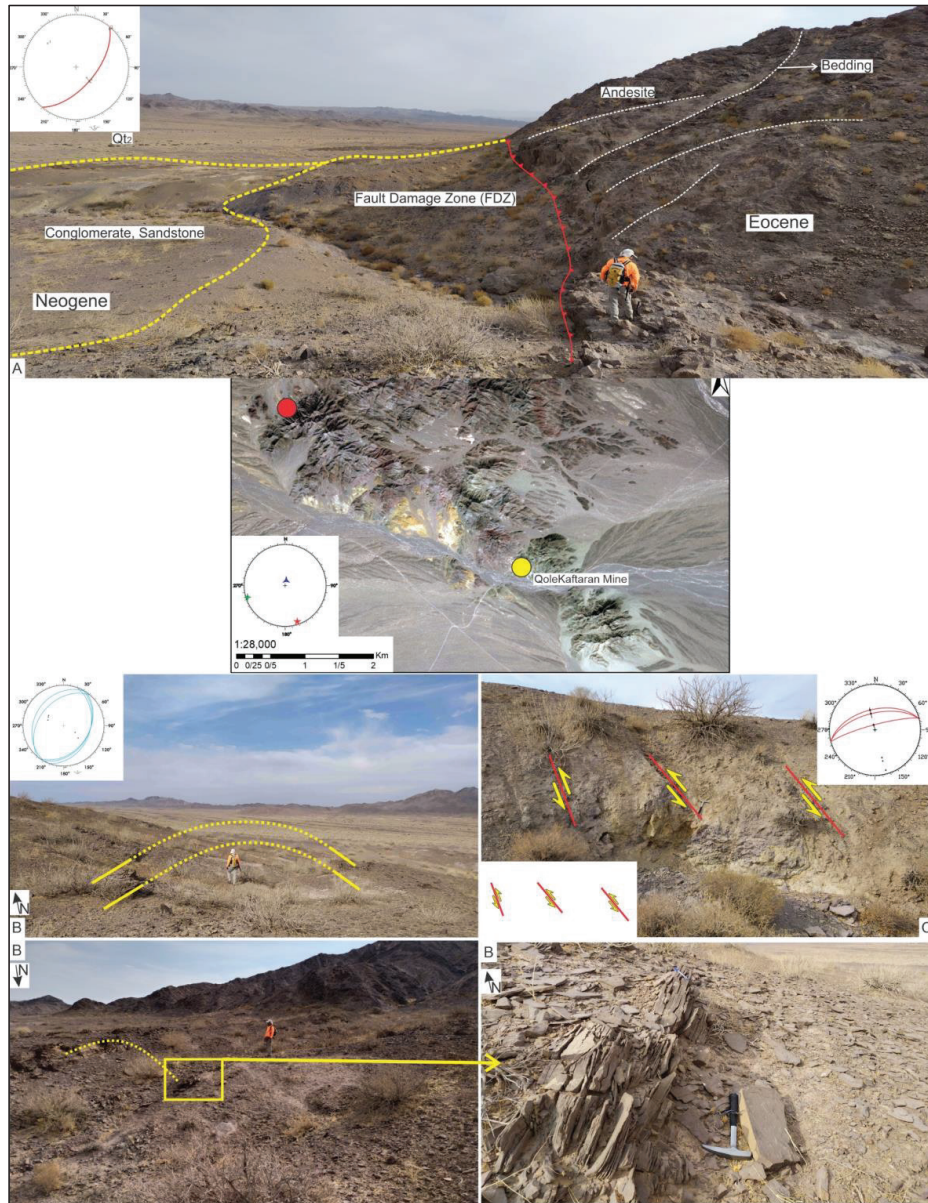
شکل ۴. مقاطع عرضی ساختاری AA', BB', CC' ترسیم شده به ترتیب از بخش شمال غربی، میانی و جنوب شرقی محدوده معدنی قله کفتران.



شکل ۵. استروپلات گسل ها و لایه بندی های اندازه گیری شده به همراه نتایج تنش های دیرین محاسبه شده در محدوده معدنی قله کفتران.



شکل ۶. استروپلات گسل ها و لایه بندی های اندازه گیری شده به همراه نتایج تنش های دیرین محاسبه شده در بخش های شمال غربی و جنوب شرقی محدوده معدنی قله کفتران.



شکل ۷. گسلش معکوس و چین خوردگی با روند تقریبی شمال شرقی - جنوب غربی و عمود بر تنش افقی وارد بر محدوده در لایه‌های نئوژن واقع در بخش شمال غربی محدوده قله کفتران، ایستگاه ۱ شکل ۵. در تصویر A یک گسل معکوس نسبتاً بزرگ قرار دارد که لایه‌های انوسن را بر روی لایه‌های میوسن آورده است. در مجموعه تصاویر B یک چین خوردگی با امتداد تقریبی شمال شرقی - جنوب غربی در لایه‌های میوسن قرار دارد. در تصویر C سه گسل معکوس عمود بر تنش افقی غالب بر محدوده در لایه‌های میوسن قرار دارند.

روند شمالی - جنوبی هستند که واحدهای آندزیت پورفیری به سن ائوسن میانی را قطع کرده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) برای این بخش تنشی با زاویه ۴۷ درجه و با روند تقریباً جنوب شرقی می‌باشد. در بخش ۷ واقع در بخش شمال شرقی محدوده B (شکل ۵) عمده گسل‌ها از نوع نرمال پرشیپ و با روند شمال شرقی - جنوب غربی است، همچنین تعدادی گسل امتداد لغز با سازوکار چپ گرد با

از گسل نیز به صورت امتداد لغز با سازوکار چپ گرد مشاهده می‌شود که واحدهای آندزیت پورفیری و آندزی بازالت به سن ائوسن میانی را بریده است. تنش بیشینه (σ_1) نیز برای این بخش قائم بدست آمده است. در بخش ۶ واقع در بخش غربی محدوده B (شکل ۵) غالب گسل‌ها امتداد لغز با سازوکار راست گرد با روند شمال شرقی - جنوب غربی و تعداد کمتری دارای



روندهای شمالی- جنوبی و شرقی- غربی وجود دارد که واحدهای آندزیت بازالتی به سن ائوسن را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) در این بخش یک تنش قائم محاسبه شده است.

در بخش ۸ واقع در بخش شرقی محدوده B (شکل ۵) عمده گسل‌ها از نوع امتداد لغز با سازوکار چپ‌گرد با روند شمالی- جنوبی هستند که واحدهای آندزیت بازالتی به سن ائوسن میانی را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) محاسبه شده برای این بخش دارای زاویه میل ۶۵ درجه و دارای روند شمال غربی می‌باشد.

در بخش ۹ واقع در بخش جنوب غربی محدوده B (شکل ۵) عمده گسل‌ها از نوع نرمال پرشیب و با روند شمال شرقی- جنوب غربی هستند که واحدهای آندزیت بازالتی به سن ائوسن میانی را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) محاسبه شده در این بخش قائم می‌باشد. در بخش ۱۰ واقع در محدوده C (شکل ۵) کوه قله کفتران که یکی از نقاط مهم در کانه‌زایی سرب و روی محدوده می‌باشد و معدن قدیمی قله کفتران نیز در همین بخش قرار داشته است، گسل‌های نرمال متعدد با روند شمال شرقی- جنوب غربی و پرشیب اندازه‌گیری شده است و کانه‌زایی سرب- روی و باریت (شکل ۸-C و ۹-D) نیز در این بخش در این گسل‌های نرمال متمرکز شده است (شکل ۴، BB). همچنین تنش بیشینه (σ_1) محاسبه شده برای این بخش یک تنش قائم بوده است.

در بخش ۱۱ واقع در بخش شمالی محدوده C (شکل ۵) عمده گسل‌ها از نوع امتداد لغز با سازوکار چپ‌گرد با روند تقریبی شرقی- غربی و شمالی- جنوبی هستند که واحدهای آندزیت بازالتی و داسیتی به سن ائوسن میانی را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) تنش محاسبه شده دارای زاویه میل ۲۸ درجه و روند جنوب شرقی می‌باشد.

در بخش ۱۲ در بخش جنوبی محدوده C (شکل ۵) عمده گسل‌ها نرمال پرشیب و با روند شمال شرقی- جنوب غربی هستند که واحدهای داسیتی به سن ائوسن را قطع کرده‌اند. تنش بیشینه در این بخش به صورت تنش قائم است.

در بخش ۱۳ واقع در بخش جنوب شرقی محدوده C (شکل ۵) عمده گسل‌ها از نوع امتداد لغز با سازوکار

چپ‌گرد با روند تقریبی شمال شرقی- جنوب غربی و همچنین گسل‌های نرمال پرشیب با روند تقریبی شمال غربی- جنوب شرقی است. این گسل‌ها حاوی کانه‌زایی مس اکسیدی از نوع مالاکیت نیز هستند (شکل ۸-B و ۹-E) که واحدهای داسیتی به سن ائوسن را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) در این بخش یک تنش افقی با روند جنوب شرقی محاسبه شده است.

در بخش ۱۴ واقع در جنوب محدوده قله کفتران و شرق روستای تروود، دسته‌ای از گسل‌های نرمال پرشیب با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرقی که لایه‌های رسوبی ماسه سنگی و گنومرایی به سن میوسن را قطع کرده‌اند (شکل ۹-F) که تنش بیشینه (σ_1) در این بخش به صورت افقی با روند جنوب شرقی محاسبه شده است.

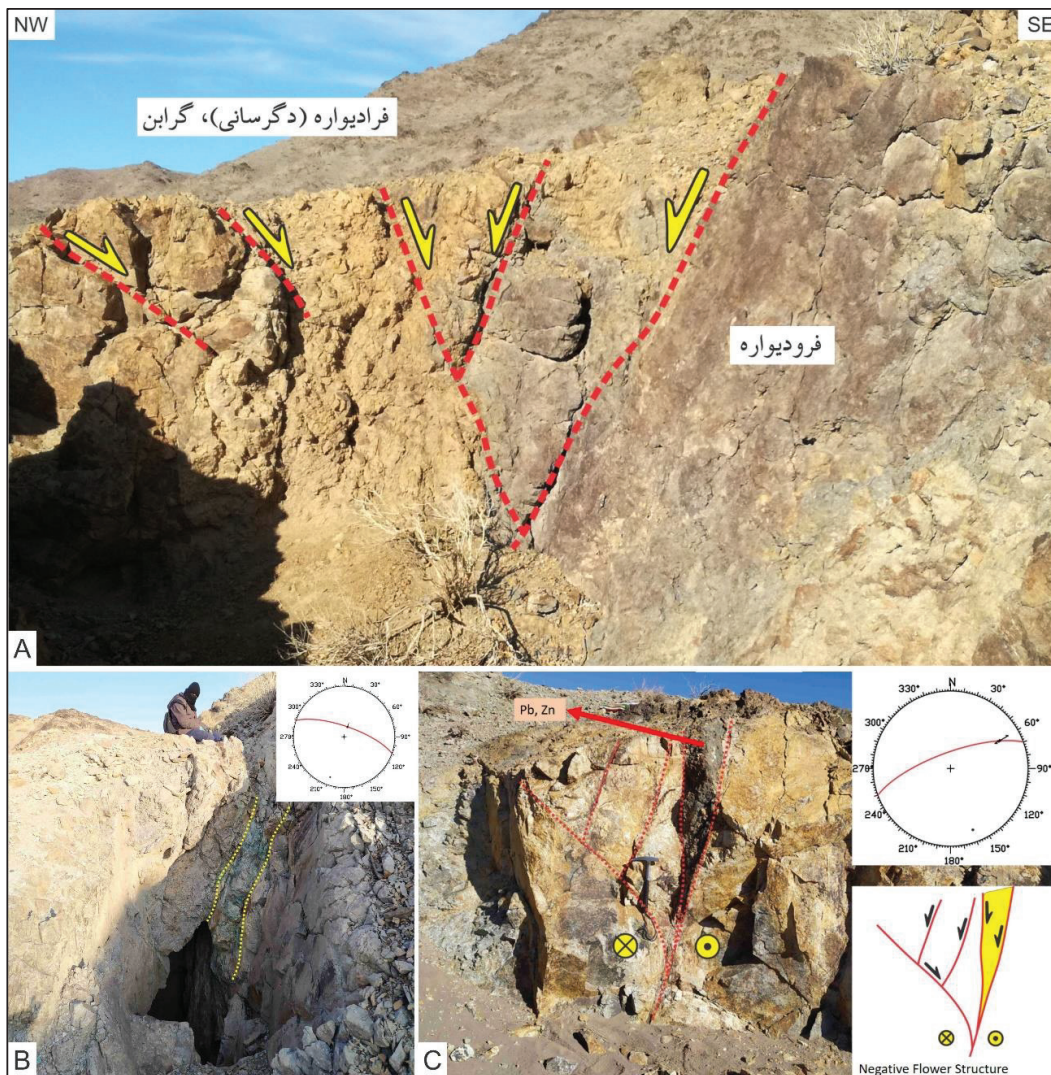
در بخش ۱۵ واقع در شمال غرب محدوده مورد مطالعه گسل‌های نرمال نسبتاً پرشیب با روند شمال غربی- جنوب شرقی واحدهای آذرآواری (آگلومرا) به سن ائوسن را بریده‌اند. تنش بیشینه (σ_1) محاسبه شده برای این گسل‌ها یک تنش افقی با روند جنوب شرقی - شمال غربی محاسبه شده است (شکل ۶) که سبب ایجاد چین‌خوردگی با روند محوری شمال شرقی - جنوب غربی در واحد آگلومرایی نیز شده است.

وضعیت کانه‌زایی و دگرسانی محدوده قله کفتران

کانه‌زایی در این محدوده مطالعاتی محدود به بخش کوه قله کفتران می‌باشد که به ویژه در بخش میانی آن متمرکز شده است. کانه‌زایی سرب در این محدوده غالباً با کانی‌های گالن و سروزیت، کانه‌زایی روی با کانی‌های اسفالریت و همی‌مورفیت و کانه‌زایی مس غالباً متشکل از کانی‌های اکسیدی مالاکیت و کریزوکلا و به میزان بسیار کم آزوریت می‌باشد.

به ترتیب از شمال غرب به سمت جنوب شرق محدوده قله کفتران، در بخش شمال غربی محدوده قله کفتران کانه‌زایی از نوع مس اکسیدی (مالاکیت) است. بخش میانی عمدتاً کانه‌زایی سرب- روی و باریت است. بخش جنوب شرقی محدوده قله کفتران نیز کانه‌زایی مس به صورت رگه‌ای از جنس مس اکسیدی (مالاکیت و کریزوکلا) توسعه یافته است.

نتایج مطالعات میدانی انجام گرفته در این پژوهش و

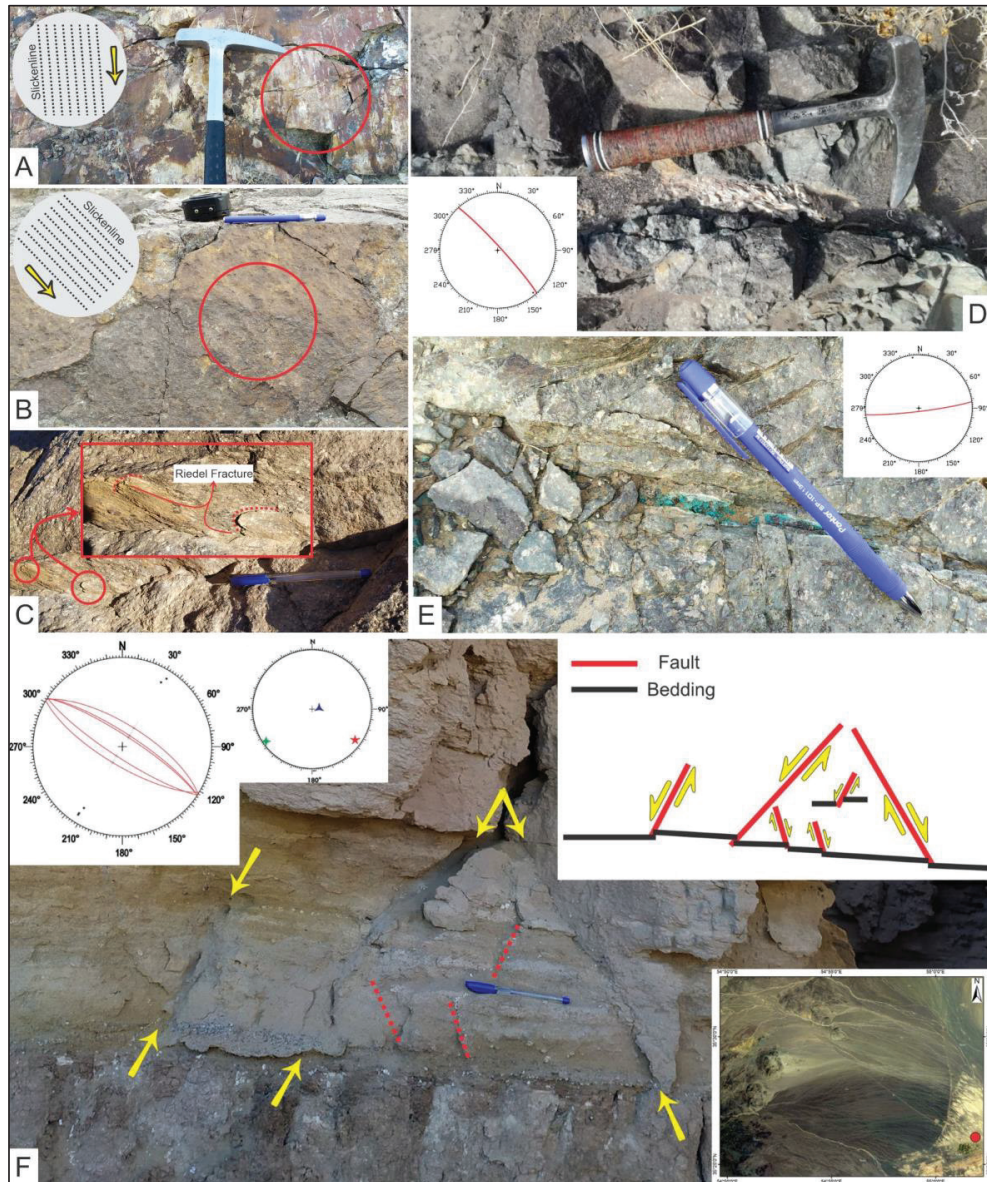


شکل ۸. A: ساختار گلی منفی در انتهای گسل امتداد لغز با سازوکار چپ‌گرد و کانه‌زایی سرب و روی در این بخش، ایستگاه ۱۰. B: آثار معدن کاری شدادی و کانه‌زایی رگه‌ای مس اکسیدی (مالاکیت) نسل دوم در امتداد گسل نرمال با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی به ضخامت ۳۵ سانتی متر، ایستگاه ۱۳. C: ساختار گلی منفی در انتهای گسل امتداد لغز با سازوکار چپ‌گرد و کانه‌زایی سرب و روی در این بخش، ایستگاه ۱۰. شکل ۵.

کفتران تحت کنترل فضایی و مکانی گسل‌های نرمال با روند شمال شرقی - جنوب غربی است و عمده دگرسانی و کانه‌زایی در فرا دیواره این گسل‌ها مشاهده می‌شوند. کانه‌زایی مس در بخش جنوب غربی کوه قله کفتران غالباً در امتداد گسل‌های نرمال شرقی - غربی تا شمال شرقی - جنوب غربی و به مقدار کمتر گسل‌های امتداد لغز با سازوکار چپ‌گرد می‌باشد.

نتایج‌های ICP-OES انجام گرفته بر روی ده نمونه کانه‌زایی رگه‌ای تهیه شده نیز در برخی نقاط مقدار سرب، روی، باریت و مس بسیار قابل توجه می‌باشند.

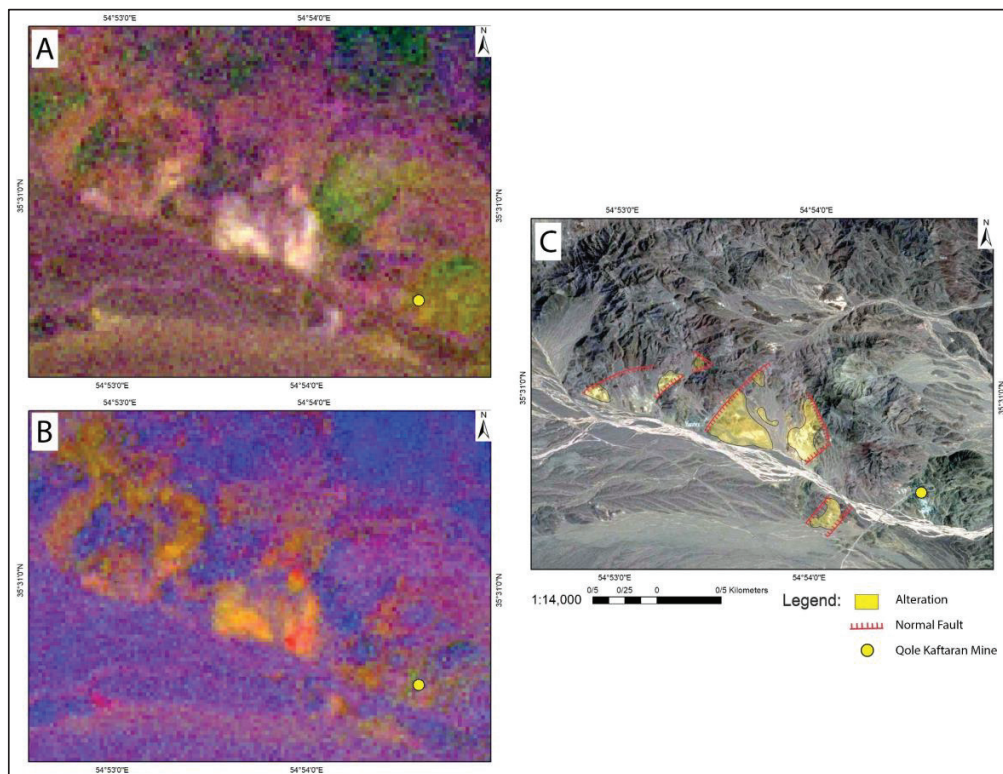
گزارش زمین‌شناسی موجود از محدوده معدنی قله کفتران (تدین و همکاران، ۱۳۹۹) نشانگر وجود دو نسل از کانه‌زایی رگه‌ای در بخش میانی محدوده معدنی قله کفتران است. نسل اول کانه‌زایی سرب - روی و باریت به صورت رگه‌هایی با روند غالب شمال شرقی - جنوب غربی در امتداد گسل‌های نرمال و گرابن‌های متعددی است که معماری اصلی بخش میانی را شکل داده‌اند. نسل دوم کانه‌زایی مس اکسیدی و باریت رگه‌ای دارای روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی است که نسل قبلی را قطع کرده است. کانه‌زایی مس در بخش شمال غربی محدوده قله



شکل ۹. A: گسل نرمال که با خش لغزهای عمود می توان سازوکار گسل را تشخیص داد. B: گسل مایل لغز با سازوکار نرمال و مؤلفه امتداد لغز چپ گرد. C: گسل شیب لغز با سازوکار نرمال که با تشخیص شکستگی های ریدل سازوکار آن تشخیص داده شده است. D: نسل دوم رگه برجای باریت با ساختار جارویی با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی، ایستگاه ۱۰ شکل ۵. E: کانه زایی رگه ای مس اکسیدی (مالاکیت) نسل اول در محل گسل امتداد لغز راست بر با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی تا شرقی - غربی، ایستگاه ۱۳ شکل ۵. F: گسل های نرمال با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی قطع کننده رسوبات نئوژن، بخش جنوب شرق محدوده مطالعاتی، ایستگاه ۱۴ شکل ۵.

آرژیلیکی تا درجه پائین پروپلیتیکی که در سطح گسترش یافته اند، با رنگ متفاوت (زرد مایل به سبز روشن تا گرمی) از سایر واحدهای سنگی متمایز شده است (شکل ۱۰). پراکنندگی فضایی و مکانی این دگرسانی ها اغلب نشانگر روند شمال شرقی - جنوب غربی آنها است و از نظر مکانی در فرا دیواره گسل هایی با همین روند واقع شده اند (شکل ۸ و ۱۰-A).

در آنالیزها حداکثر مقادیر بدست آمده برای عناصر، مس ۴,۲۲٪، سرب ۳۵,۲۳٪، روی ۲۴,۲۱٪ و باریت ۲,۳۴٪ می باشد (جدول ۳ و شکل ۱۲). در تصاویر ماهواره ای Google earth و پردازش تصاویر سنجنده ASTER با استفاده از نرم افزار ENVI و با اعمال ترکیب های رنگی کاذب مختلف از محدوده معدنی قله کفتران و پیمایش های صحرائی، دگرسانی های عمدتاً

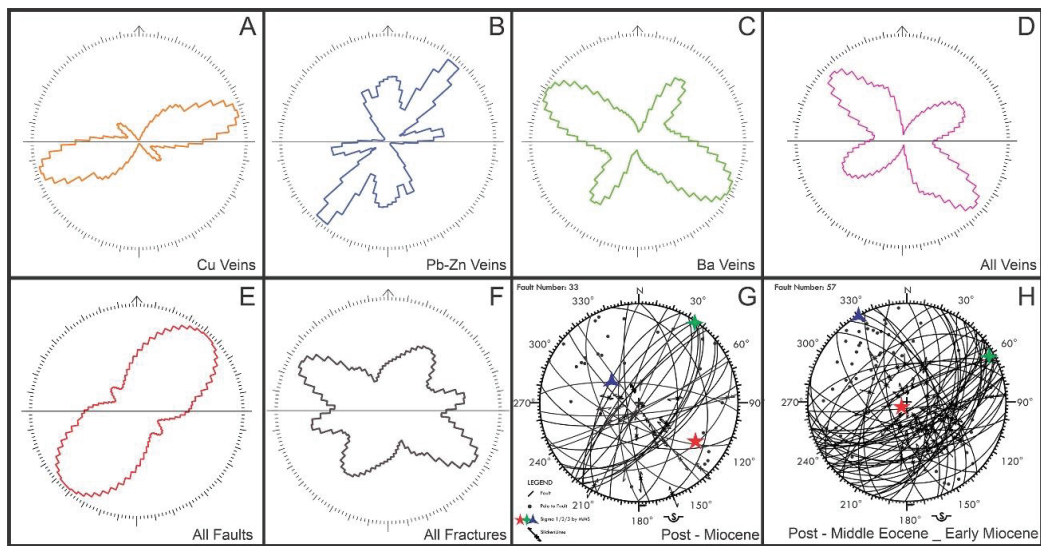


شکل ۱۰. ارتباط پراکندگی فضایی دگرسانی‌ها و گسل‌های نرمال در بخش میانی محدوده قله کفتران به همراه تصاویر سنجنده ASTER به شماره 11870-11870-20150430050012-00307202003071837-00307202003071837-00307202003071837 با دو ترکیب باندی متفاوت، تصویر A ترکیب رنگ کاذب، RGB: 4/6 4/7 3/1 است که در آن رنگ زرد و سبز نشان دهنده دگرسانی‌ها و رنگ آبی نشان دهنده محل کمان ماگمایی می‌باشد و سایر رنگ‌ها اهمیت خاصی ندارند. تصویر B ترکیب رنگ کاذب، RGB: 4/6 5/8 است که در آن رنگ بخش‌های آبی رنگ نشانگر محدوده‌های فاقد دگرسانی، نقاط قرمز تا صورتی رنگ نشانگر دگرسانی سربستیک و آرژلیک و رنگ سبز نشانگر دگرسانی پروپلیتیک می‌باشد. تصویر C تصویر ماهواره‌ای محدوده معدنی قله کفتران است که در آن گسل‌های نرمال و نواحی دگرسانی مشخص شده‌اند.

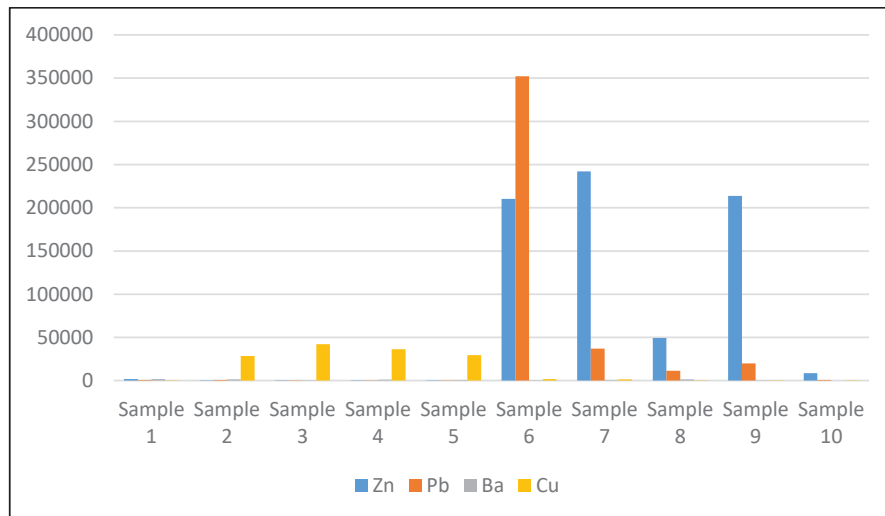
بحث و نتیجه گیری

نسبت به آن گسل‌ها جوان‌تر می‌باشند. در محدوده معدنی قله کفتران و اطراف آن بر پایه برگردان تنش گسل و لایه‌بندی‌های اندازه‌گیری شده، دو میدان تنش از زمان ائوسن میانی تا به امروز تشخیص داده شده است. قدیمی‌ترین تنش، تنش پیشینه قائم بوده که در بازه زمانی احتمالی پس از ائوسن میانی (سن واحدهای سنگی محدوده معدنی) تا میوسن پیشین بر محدوده حاکم بوده که سبب شکل‌گیری رژیم گسلش غالب نرمال در قالب ساختارهای هورست و گرابنی با روند شمال شرقی - جنوب غربی در منطقه است (شکل ۱۰). از زمان بعد از میوسن پیشین (سن واحدهای شمالی و جنوبی منطقه) و احتمالاً تا به امروز نیز تنش پیشینه دارای موقعیت فضایی افقی با روند شمال غربی - جنوب شرقی محدوده را متأثر می‌کند که سبب چین خوردگی و گسل معکوس

بر اساس نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده از کلیه گسل‌های برداشت شده روند شمال شرقی - جنوب غربی فراوان‌ترین دسته گسل‌های منطقه است که غالباً سازوکار نرمال دارند (شکل ۱۱). نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده برای کلیه شکستگی‌های اندازه‌گیری شده از منطقه نشان دهنده حضور شکستگی‌هایی با امتدادهای مختلف است (شکل ۱۱). از نظر روابط قطع شدگی و تقدم و تاخر گسل‌ها، گسل‌های امتداد لغز با امتدادهای تقریبی شمالی - جنوبی و شرقی - غربی که در اثر تنش افقی با روند جنوب شرقی به سن بعد از میوسن پیشین شکل گرفته‌اند، در برخی از بخش‌های منطقه، گسل‌های نرمال با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی که ناشی از تنش قائم به سن ائوسن میانی هستند را بریده‌اند و



شکل ۱۱. نمودار گل سرخی امتداد مس (A) رگه‌های سرب - روی (B)، باریت (C)، کلیه رگه‌ها (D)، گسل‌ها (E)، شکستگی‌های (F) محدوده مطالعاتی و نتایج تنش‌های دیرین بدست آمده در زمان پس از ائوسن میانی تا میوسن (G) و پس از میوسن (H).



شکل ۱۲. نمودار فراوانی مقادیر عناصر سرب، روی، باریوم و مس بر حسب PPM در آنالیز ICP-OES هشت نمونه که در شکل ۳ موقعیت آنها مشخص شده است.

همانگی دارد (تدین و کنال، ۱۳۹۹؛ گوهری انارکی و همکاران، ۱۳۹۹). در مورد چگونگی بررسی ارتباط تکتونیک و کانه زایی در منطقه، بر اساس مطالعات ساختاری و صحرایی انجام گرفته در این پژوهش و مطالعات پیشین (مهرابی و موسوی، ۱۳۷۴؛ امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۴؛ تدین و همکاران، ۱۳۹۹) در محدوده معدنی قله کفتران،

واحدهای میوسن پائینی با روند شمال شرقی - جنوب غربی و ایجاد گسل‌های نرمال با روند شمال غربی - جنوب شرقی شده است. همچنین این تنش جوان سبب بریدگی آبراهه‌ها توسط گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و گسل‌های چپ‌گرد با روند شمال شرقی - جنوب غربی است که با مطالعات ساختاری پیشین در منطقه

که منطبق بر رگه‌های نسل اول محدود می‌باشند. عمده ذخایر مس در بخش شمال غربی محدود قله کفتران می‌باشد.

ذخایر سرب و روی بیشتر متمرکز در بخش مرکزی محدود قله کفتران شامل رگه‌های با امتداد غالب شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد که منطبق با پهنه‌های گسلی با سازوکار نرمال در بخش میانی محدود قله کفتران است (شکل A-8 و C). در این محدود گسل‌های نرمال و گرابن‌های متعدد در کانه زایی سرب و روی اهمیت ویژه‌ای دارند.

شایان ذکر است که رگه‌های باریت که یک کلید ساختاری - اکتشافی کانسار سرب و روی در این منطقه است و دارای دو نسل متفاوت با سن تشکیل متفاوت است، در سراسر منطقه از پراکندگی خوبی برخوردارند. به منظور بررسی ارتباط عوامل ساختاری و کانه زایی بزرگ مقیاس، مقطع عرضی DD؛ با روند شمال غربی - جنوب شرقی (شکل ۱۳)، عمود بر روند کلی ساختارهای محدود معدنی قله کفتران ترسیم شده است که با نتایج مقادیر حاصل از آنالیز ICP-OES عناصر Pb, Zn, Ba, Cu از نمونه‌های گرفته شده همراه شده است (شکل ۱۳). این نمودار نشانگر این موضوع است که تمرکز کانه زایی سرب و روی در بخش جنوب شرقی و تمرکز کانه زایی مس در بخش شمال غربی محدود بیشتر می‌باشد. نکته حائز اهمیت در این مقطع عرضی تمرکز آنومالی کانه‌ها در محل فرا دیواره گسل‌های نرمال و بعضاً گسل‌های امتداد لغز می‌باشد (شکل ۱۳). این موضوع به خوبی نشانگر اهمیت ارتباط ساختارها با کانه‌زایی می‌باشد در محدود قله کفتران است. این ارتباط تنگاتنگ و نقش کنترل‌کنندگی ساختارها در کانه زایی فلزی در دیگر مطالعات انجام گرفته نیز تأیید شده است (Niroomand et al., 2019; Beygi et al, 2021). به گونه‌ای که کانه زایی در این محدود در ارتباط با تنش کششی محدود در گذشته می‌باشد که ساختارهای کششی و گسل‌های نرمال را شکل داده است که این گسل‌ها در پاسخ به تغییر جهت میدان تنش به گسل‌های امتداد لغز تغییر کینماتیک داده‌اند.

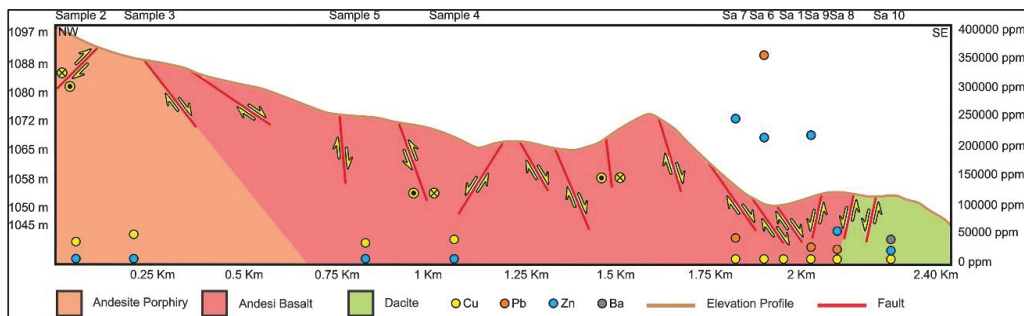
کانه‌زایی رگه‌ای سرب - روی و باریت نسل اول با بازه سنی احتمالی ائوسن میانی - میوسن پائین در ارتباط مستقیم با ماگماتیسم و فعالیت‌های آتشفشانی بوده است که مسبب شکل‌گیری کانسار رگه‌ای با امتداد غالب شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد. نتایج محاسبات تنش دیرین برای ساختارهای مرتبط با نسل اول کانه زایی رگه‌ای نشانگر یک تنش پیشینه (σ_1) نزدیک به قائم و تنش کمینه (σ_3) افقی با روند تقریباً شمال غرب - جنوب شرق است (شکل ۵ ایستگاه‌های شماره ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۲ و شکل ۱۱). این چنین میدان تنشی قائمی در محدود معدنی مس چاه موسی که در فاصله دو کیلومتری غربی محدود معدنی قله کفتران واقع شده، در اثر صعود بالنی (Ballooning) توده‌های نفوذی اسیدی پورفیری با سن بعد از ائوسن نیز گزارش شده است (Seifvand and Sheibi, 2020).

به نظر می‌رسد کانه‌زایی نسل دوم با سن میوسن در اثر تغییرات جهت میدان تنش حاکم بر منطقه از تنش پیشینه قائم به تنش پیشینه افقی با روند شمال غربی - جنوب شرقی و به تبع آن باز فعالیت گسل‌های پیشین و صعود محلول‌های هیدروترمالی سبب ایجاد کانسار مس و باریت نسل دوم در محدود قله کفتران شده است (شکل ۵ ایستگاه‌های ۱، ۶، ۱۱ و ۱۳ و شکل ۱۱).

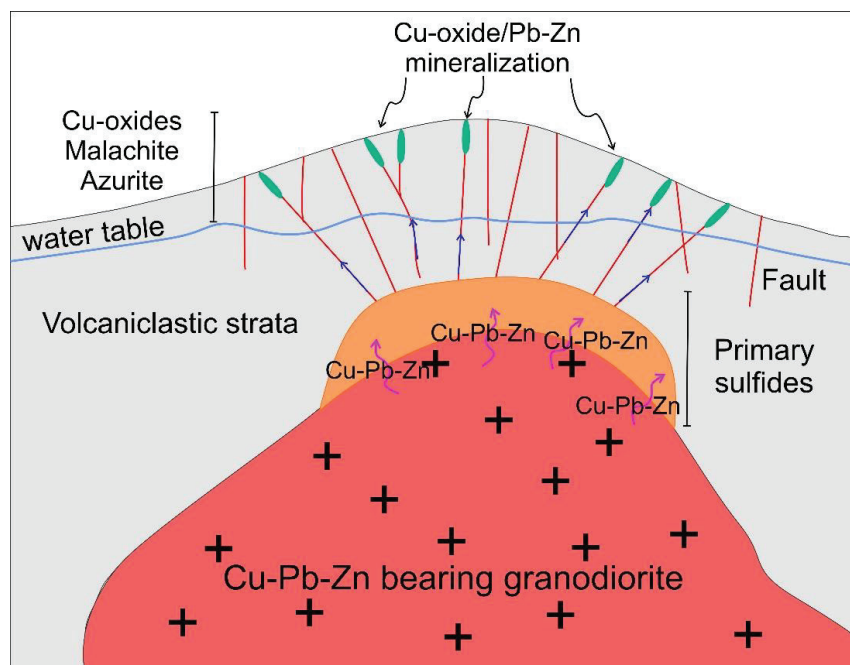
نقشه ترسیم شده از پراکندگی پهنه‌های دگرسانی‌های منطقه (شکل ۱۰) که غالباً حاوی مس اکسیدی نیز هست، همگی در گرابن‌هایی با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و در فرا دیواره این گسل‌های شمال شرقی - جنوب غربی نرمال که از گسل‌های اصلی محدود به شمار می‌روند، محدود شده است، متمرکز شده‌اند و بیشتر در بخش میانی و شمال غربی محدود قله کفتران گسترش دارند. (شکل B-8 و C-9).

رگه‌های نسل دوم باریت و مس اکسیدی غالباً دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی هستند که به موازات تنش جدید (پس از میوسن پایینی) حاکم بر محدود مطابقت دارد. از سوی دیگر کانه زایی رگه‌ای نسل اول با روند غالب شمال شرقی - جنوب غربی با تنش قدیمی قائم حاکم بر محدود در زمان احتمالی ائوسن میانی تا میوسن پیشین منطبق است.

ذخایر مس در محدود نیز به صورت رگه‌هایی با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی تا شرقی - غربی



شکل ۱۳. مقطع عرضی 'DD' که موقعیت آن در شکل ۳ مشخص شده است، ارتباط ساختارها با کانه زایی، ستون سمت چپ نشانگر ارتفاع توپوگرافی و ستون سمت راست نشانگر مقدار مس، باریت، سرب و روی بر حسب ppm است.



شکل ۱۴. مدل پیشنهادی ارتباط گسل ها و کانی سازی مس اکسیدو سرب و روی با میزبانی واحدهای حد واسط تا مافیک آذرین بیرونی، دارای شکستگی و گسل فراوان در سطح، و حضور توده آذرین پورفیری غنی از کاتیون های مس و سرب- روی در عمق که توسط مایعات غنی از مس منشأ گرفته از توده آبدار تغذیه کننده کانه زایی مس و سرب- روی سیستم است (برگرفته از تدین و کتال، ۱۳۹۹؛ Li et al, 2019).

NE-SW نیز مشاهده می شود که مربوط به تنش حاکم بر محدوده در زمان گذشته بوده است (شکل D-۱۱). نمودار گل سرخی ترسیم شده از رگه های مس اکسیدی اندازه گیری شده در محدوده با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی تا شرقی - غربی است که منطبق بر رگه های نسل اول محدوده می باشند (شکل A-۱۱). عمده این رگه های مس در بخش شمال غربی محدوده قله کفتران می باشد. نمودار گل سرخی ترسیم شده از کانه زایی سرب

نمودار گل سرخی امتدادی ترسیم شده از گسل های اندازه گیری شده، امتداد غالب گسل های محدوده دارای روند NE-SW می باشد که عمده آنها گسل های نرمال می باشند که در ارتباط با رژیم تنش قدیمی شکل گرفته اند (شکل E-۱۱). نمودار گل سرخی ترسیم شده از رگه ها بیانگر این موضوع است که رگه های محدوده غالباً امتداد NW-SE را نشان می دهند که با تنش حاکم بر منطقه پس از میوسن منطبق می باشد و همچنین به مقدار کمتر امتداد

Li et al., 2019; ۱۳۹۹؛ (تدین و کتال، ۲۰۰۱).
(Tosdal and Richards, 2001).

تشکر و قدردانی

از دانشگاه اصفهان و مجموعه معدنی قله کفتران جهت حمایت‌های انجام گرفته در طی انجام این پژوهش کمال سپاسگزاری را داریم.

منابع

امامی، م. ه.، ۱۳۷۹. ماگماتیسزم در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امام جمعه، ا.، راستاد، ا.، بوذری، ف.، رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۸۷، معرفی سامانه واحد کانه زایی افشان - رگچه ای و رگه‌ای مس (سرب روی) در محدوده معدنی چاه موسی - قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود - چاه شیرین، نشریه علوم زمین، شماره ۷۰، صفحه ۱۱۲ تا ۱۲۵.

تدین، م.، کتال، ر.، ۱۳۹۹. تحلیل ساختاری محدوده معدنی مس دوگان، شمال پهنه گسلی ترود (ایران مرکزی)، فصلنامه زمین‌ساخت، شماره ۱۳، صفحه ۸۷ تا ۱۰۶.

تدین، م.، صالح، س.، استبرق‌نیا بابکی، ر.، گوهری انارکی، م.، کتال، ر.، ۱۳۹۹. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ و گزارش زمین‌شناسی محدوده معدنی قله کفتران. گزارش داخلی شماره ۱۳۹۹-۰۳ در آرشیو شرکت توسعه منابع انرژی (صبا باتری)، صفحه ۲۰۳.

حقیقی، ا.، علیرضایی، س.، اشرف‌پور، ا.، ۱۳۹۲. کانه زایی، دگرسانی و ویژگی‌های سیال کانه‌زا در کانسار فلزات پایه و گرابه‌های چشمه حافظ، رشته کوه ترود - چاه شیرین، شمال ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۸، صفحه ۹۹ تا ۱۱۰.

زارع، م.، روزنامه اعتماد ۱۸ بهمن ۱۳۹۹ شماره ۴۸۵۹، www.magiran.com/newspapertoc/41821

شکری، م. ع.، فروتن، م.، نعمتی، م.، بلورچی، م. ج.، جوادی‌پور، ش.، اویسی، ب.، ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناختی و لرزه‌ای رخداد زمین لرزه ۵ شهریور ماه ۱۳۸۹ خورشیدی توچاهی (جنوب دامغان) با بزرگای ۵٫۹، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۵، صفحه ۲۸۱ تا ۲۹۲.

علوی، م.، هوشمندزاده، ع.، اطمینان، ه.، حقیقی‌پور، ا.، ۱۳۵۵. نقشه زمین‌شناسی ترود ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

و روی در محدوده شامل رگه‌هایی با امتداد غالب شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد (شکل ۱۱-B) که منطبق با پهنه گسلی با سازوکار نرمال در بخش میانی محدوده قله کفتران است. در این محدوده گسل‌های نرمال و گرابه‌های متعدد در کانه زایی سرب و روی نقش مستقیم و کنترل کننده دارند.

رگه‌های باریت دارای دو نسل متفاوت با سن تشکیل متفاوت است که باریت نسل دوم و جدیدتر امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و باریت نسل اول و قدیمی‌تر امتداد شمال شرق - جنوب غربی دارند به وضوح از نمودار گل سرخی آن‌ها قابل تشخیص است (شکل ۱۱-C).

گسل‌های محدوده عمدتاً امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و شکستگی‌ها تقریباً در تمام جهات امتداد دارند ولی از نظر فراوانی امتداد غالب آن‌ها غرب شمال غربی - شرق جنوب شرقی می‌باشد که این نوع توسعه گسل‌ها و شکستگی‌ها با امتدادهای متنوع (شکل ۱۱-F و G)، تا حدودی اشاره به بلوغ تکتونیکی منطقه دارد (Tchalenko and Berberian, 1975).

بر اساس مطالعات تدین و کتال (۱۳۹۹) بر روی محدوده معدنی مس دوگان در شمال محدوده قله کفتران و همچنین نتایج حضور و برونزد توده‌های اسیدی پورفیری همچون چاه موسی و قله سوخته در فاصله کمتر از دو کیلومتری غربی محدوده قله کفتران (Seifivand and Sheibi, 2020)، برای محدوده معدنی قله کفتران نیز میتوان مدلی پیشنهادی در مورد نقش و چگونگی ارتباط ساختارهای تکتونیکی و کانی‌سازی مس اکسیدی و سرب و روی رگه‌ای ارائه نمود. در این مدل پیشنهادی، شکستگی‌ها و گسل‌های مترکم سطحی که در عمق به گسل‌های اصلی و ریشه دار (پی سنگی) متصل هستند فضاهای خالی و کم فشار مناسبی را برای هدایت و صعود کانه سازی مرتبط به توده پورفیری حاوی کاتیون‌های مس و سرب - روی توسط حرکات موئینه رو به بالای سیالات غنی از کاتیون‌ها فراهم آورده‌اند (شکل ۱۴). در این مدل، درمورد کانه زایی مس، کانه زایی در بالاتر از سطح آب زیر زمینی از نوع مس اکسیدی در گسل‌ها و شکستگی‌ها متمرکز است و معمولاً در عمق (پائین تر از سطح آب زیر زمینی منطقه) کانه‌زایی مس سولفیدی

- ogy, Fluid Inclusions, and H–O–S Isotopes. *Minerals*, 9(2), 1-23.
- Mpodozis, C. and Cornejo, P., “Cenozoic tectonics and porphyry copper systems of the Chilean Andes”, *Society of Economic Geologists Special Publication*, pp.329-360, 2012.
- Niroomand, Sh., Lentz, D., Sepidar, F., Tajeddin, H., Hassanzadeh, J., Mimejad, Ha., 2018. Geochemical characteristics of igneous rocks associated with Baghu gold deposit in the Neotethyan Torud-Chah Shirin segment, Northern Iran. *Geological Journal* 53, 299-316.
- Salvini, F., Billi, A. and Wise, D.U., 1999. Strike-slip fault-propagation cleavage in carbonate rocks: the Mattinata Fault Zone, Southern Apennines, Italy. *Journal of Structural Geology*, 21(12), 1731-1749.
- Porter, T.M.(M.), “The geology, structure and mineralisation of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold-molybdenum deposits, Mongolia”, *A review*, *Geoscience Frontiers* (2015).
- Seifivand, A. and Sheibi, M., 2020. Ballooning emplacement and alteration of the Chah-Musa subvolcanic intrusion (NE Iran) inferred from magnetic susceptibility and fabric. *Geological Magazine*, 157(4), pp.621-639.
- TaleFazel, E., Mehrabi, B. and GhasemiSiani, M., 2019. Epithermal systems of the Torud–Chah Shirin district, northern Iran: Ore-fluid evolution and geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 109, 253-275.
- Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Calzolari, G., Nozaem, R., Salvini, F., Faccenna, C. and Khodabakhshi, P., 2019. The long-term evolution of the Doruneh Fault region (Central Iran): A key to understanding the spatio-temporal tectonic evolution in the hinterland of the Zagros convergence zone. *Geological Journal*, 54(3), 1454-1479.
- کی نژاد، ا.، پور کرمانی، م.، آریین، م.، لطفی، م.، ۱۳۸۹. تحلیل دینامیکی شکستگی‌های شمال منطقه ترود-معلمان (ایران مرکزی، جنوب خاور سمnan)، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۸، صفحه ۳ تا ۱۶.
- گوهری انارکی، م.، تدین، م.، ندیمی، ع.، کتال، ر.، ۱۳۹۹. بررسی تکتونیک فعال در شمال گسل ترود، محدوده قله کفتران، سی و نهمین همایش بین‌المللی علوم زمین.
- مهرابی، ب.، موسوی، ا.، ۱۳۷۴، بررسی کانه زایی روی و سرب در کانسار قله کفتران، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian journal of earth sciences*, 182, 210-265.
- Berberian, M., 2014. *Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau: A Historical, Social, and Physical Approach*. Elsevier, Amsterdam.
- Beygi, S., Talovina, I.V., Tadayon, M. and Pour, A.B., 2021. Alteration and structural features mapping in Kacho-Mesqal zone, Central Iran using ASTER remote sensing data for porphyry copper exploration. *International Journal of Image and Data Fusion*, 12(2), pp.155-175.
- Garwin, S., Hall, R., & Watanabe, Y., “Tectonic setting, geology, and gold and copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of Southeast Asia and the West Pacific”, 2005.
- Fossen Haakon, 2010, *structural geology*. Cambridge University Press. 179p.
- Hartley, A.J. and Rice, C.M., “Controls on supergene enrichment of porphyry copper deposits in the Central Andes: a review and discussion”, *Mineralium Deposita*, pp.515-525, 2005.
- Li, S., Zhang, X. and Gao, L., 2019. Ore Genesis at the Jinchang Gold–Copper Deposit in Heilongjiang Province, Northeastern China: Evidence from Geol-



Tchalenko, J.S. and Berberian, M., 1975. Dasht-e Bayaz fault, Iran: Earthquake and earlier related structures in bed rock. *Geological Society of America Bulletin*, 86(5), pp.703-709.

Tosdal, R. M. and Richards, J. P., 2001. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu+ Mo+ Au deposits in Richards, J.P., and Tosdal, R.M., eds., *Structural controls on ore genesis: Reviews in Economic Geology*, 14, 157–181.

Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J. and Gueřt, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics*, 30(3), 1-20.

Yousefi, F., Sadeghian, M., Wanhainen, C., Ghase-mi, H., Lambrini, P., Bark, G., Rezaei-Kahkhaei, M. and Koroneos, A., 2017. Mineral chemistry and PT conditions of the adakitic rocks from Torud–Ahmad Abad magmatic belt, S-SE Shahrood, NE Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 110-120.

