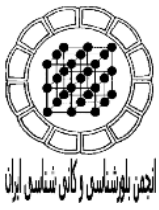
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و سوم، شماره‌ی اول، بهار ۹۴، از صفحهٔ ۳ تا ۱۴




# همیافتی تورمالین-فیروزه در منطقه‌ی دگرسانی فیلیک، کانسار مس-طلای منطقه‌ی کوه زر، جنوب سمنان

**بتول تقی پور***

*گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز*

(دریافت مقاله: ۹۲/۵/۲۹، نسخه نهایی: ۹۲/۹/۱۷)

**چکیده:** کمربند ماگمایی ترود-چاه شیرین در جنوب سمنان میزبان سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری و توده‌های نفوذی سنوزوئیک است. کانسار کوه زر در گستره‌ی معدنی باغو با کانه‌زایی Cu-Au و فیروزه مشخص است. کانسار سازی در گستره‌ی دگرسانی‌های گرمابی منطقه صورت گرفته است. این دگرسانی‌ها بیشتر شامل پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک پیشرفته و سیلیسی می‌شوند. همیافتی کمیاب تورمالین به شکل پراکنده تا رگه‌ای با فیروزه در دگرسانی فیلیک تا آرژیلیک پیشرفته دیده می‌شود. پردازش داده‌های زمین شیمیایی (EPMA) ترکیب تورمالین را شورلیت- دراویت نشان داده است. بر اساس مشاهدات سنگ‌نگاری و نتایج زمین شیمیایی، آبشوئی سنگ‌های دگرسان به‌وسیله‌ی سیالات گرمابی و هجوم B از خاستگاه سنگ‌های دگرگون، سبب تشکیل تورمالین به خرج مسکوویت‌های زمینه از سنگ میزبان شده است. پیدایش فیروزه ناشی از واکنش‌های اکسایشی، فرو پاشی کانی‌های سولفیدی و مس-دار در زون فیلیک و آبکافت آلومینوسیلیکات‌های میزبان، (با مشارکت شاره‌ی حاوی P) به خرج فازهای کانیایی سرشار از آلومینیم (آلونیت) نیز امکان‌پذیر شده است. بدین گونه همپوشانی دو رخداد دگرسانی آرژیلیک پیشرفته یعنی تورمالین‌زایی اولیه و تشکیل فیروزه‌ی تاخیری رخ داده است.

**واژه‌های کلیدی:** *کوه زر؛ تورمالین؛ فیروزه؛ شیمی کانی؛ دگرسانی.*

**مقدمه**

منطقه‌ی معدنی کوه زر ترود به مختصات طول جغرافیایی ′ ۲۰ °۳۵۰ تا ′ ۳۳ °۳۵ و عرض جغرافیایی ′ ۵۱ °۵۴۰ تا ′ ۳۰ °۵۴۰ قرار گرفته است. این کانسار در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرقی دامغان قرار دارد و رشته کوهی است با روند تقریباً شرقی-غربی که راستای آن به بیش از صد کیلومتر و عرض آن به بیش از ده کیلومتر می‌رسد [۱]. توده‌های نفوذی متعددی در نوار ماگمای ترود-چاه شیرین در جنوب دامغان قرار دارند. این نوار ماگمائی از رشته کوه‌های شمال ترود در شرق تا رشته کوه‌های چاه شیرین در غرب با روند شمال شرقی-جنوب غربی تشکیل شده است. این توده‌ها سنگ‌های کربناتی کرتاسه و همچنین سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده‌اند [۲]. بیشترین حجم این منطقه را سنگ‌های پیروکلاستیک، گدازه-هایی با ترکیب آندزیتی و توده‌های نفوذی نیمه آتشفشانی با ترکیب گرانودیوریتی تشکیل می‌دهد.

هوبر و اشتوکلین [۳]، شروع فعالیت آتشفشانی را به لوتسین نسبت می‌دهند. هلماکر [۴] برای اولین بار به آبرفت-های طلا دار کوه زر اشاره کردند. کانی‌سازی وسیع، پراکنده و ارتباط آن با دگرسانی منطقه‌ی مورد بررسی توسط ولی‌زاده و همکار [۱] مورد بررسی قرار گرفته است. کانی سازی‌های

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۷۱۳۶۱۳۷۴۵۷، پست الکترونیکی: Taghipour@shirazu.ac.ir

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

صورت گرفته در کوه زر و منطقه‌های دگرسانی ارتباط تنگاتنگی با زمین ساخت این منطقه دارد (گسل‌هایی که در شمال به موازات گسل عطاری و در جنوب به موازات درونه قرار دارند [۱].

جعفریان [۵] به بررسی سنگ‌نگاری قوس ولکانوپلوتونیک رشته کوه زر-ترود و کانه‌زایی وابسته پرداخته است. احمدی شاد [۶] (۱۳۷۶) بررسی‌های دگرسانی و ژئوشیمی طلا در منطقه‌ی باغو را انجام داده است. نجاران [۷] بررسی‌هایی در مورد چگونگی تشکیل فیروزه در باغو پرداخته است. وجود طلای پلاسری در ناحیه‌ی کوه زر و توصیف انواع دگرسانی‌ها و فرآیند تورمالین‌زایی در این منطقه توسط امینی و همکاران [۸] صورت گرفته است. لیاقت و همکاران [۹] مدلی را در خصوص چگونگی تشکیل فیروزه در منطقه‌ی باغو ارائه کرده‌اند. بررسی شیمی کانی تورمالین در رگه‌های کوارتز-تورمالین توده‌ی گرانیتوئید منطقه (دور از دگرسانی‌ها) توسط قربانی و همکار [۱۰] انجام شده است. رخداد تورمالین با دیدگاه سنگ-نگاری و ژئوشیمی در دگرسانی‌های گرمابی گستره‌ی کوه زر توسط خلیلی و همکار [۱۱] نیز مورد توجه قرار گرفته است.

کانی فیروزه[1] با فرمول شیمیایی ( $CuAl_6 (PO_4)_4 (OH)_8, 5 H_2O$) از دیر باز به عنوان یک گوهر قیمتی بوده است و این کانی به عنوان یک کانی ایرانی نام برده می‌شود. مشهورترین کانسار فیروزه در خاورمیانه که شهرت جهانی دارد، کانسار فیروزه‌ی نیشابور است. علاوه بر آن در نقاط دیگر ایران مانند کانسار مس پورفیری سرچشمه و علی آباد تفت، شهر بابک کرمان و یخ آب کاشمر فیروزه یافت شده است [۱۲]. اعتمادی و خیرآبادی [۱۳]، بررسی‌هایی در خصوص زمین‌شناسی و زمین‌شیمی انواع کیفی فیروزه در معدن نیشابور انجام داده‌اند که در این خصوص عامل تنوع رنگ در کانی فیروزه وجود ناخالصی‌هایی از قبیل آهن و تیتانیم هستند. همچنین هاشمی تنگستاتی [۱۴] به بررسی کانی شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه فیروزه کانسار میدوک پرداخته است. در این بررسی فیروزه از واکنش تبدیل آلونیت شکل گرفته است.

تشکیل فیروزه در منطقه‌ی کوه زر به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و گاهی پوششی در همیافتی با آلونیت‌های سبز گزارش شده است. لیاقت و همکاران [۹] از تشابه طیف‌های IR آلونیت، فیروزه و فیروزه آبی به این نتیجه رسیدند که کانی فیروزه به تدریج به خرج آلونیت شکل گرفته است.

تورمالین پلی بروسیلیکاتی که با ترکیب گسترده است، کانی شاخص محیط‌های مختلف زمین شناسی شامل دگرگونی، دگرسانی و ماگمایی است و به واسطه‌ی شیمی بلورین پیچیده آن از دیر باز مورد توجه کانی شناسان بوده است [۱۵، ۱۶]. کانی تورمالین مهمترین کانی سیلیکاتی‌بردار است که رخداد آن در محیط های ماگمایی، رسوبی و دگرگونی وسیع است باشد [۱۷]. این کانی با دامنه‌ی پایداری وسیع P-T می‌تواند در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی حضور داشته باشد [۱۸]. تورمالین کانی شاخص پتروژنتیکی است و عنصر بر به عنوان عنصری متحرک طی پدیده‌های دگرگونی در نظر گرفته می‌شود [۱۹].

در گستره‌ی معدنی باغو-کوه زر، دگرسانی‌های گرمابی گسترش زیادی دارند. دگرسانی‌های فوق میزبان کانسار مس-طلا و فیروزه کوه زر هستند. همیافتی تورمالین و فیروزه در رگچه‌ها در گستره دگرسانی معدن از موارد کمیاب کانیایی است. آنچه مسلم است و در همه‌ی منابع موجود دیده می‌شوند، تورمالین و فیروزه به شکل انتزاعی مورد پژوهش قرار گرفته‌اند. هدف از این مقاله بررسی کانی شناسی و زمین شیمی همیافتی کمیاب تورماین و فیروزه در دگرسانی‌های کوه زر است که در بررسی‌های پیشین به آن توجه‌ای نشده، و هیچ گونه ارتباط ژنتیکی برای این دو کانی در نظر گرفته نشده است.

**روش بررسی**

در این پژوهش پس از بررسی‌های صحرایی و نمونه برداری، نخست بررسی‌های سنگ‌نگاری با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل BH-2 انجام گرفت. برای تعیین ترکیب شیمیایی توده-های نفوذی منطقه، تعداد ۱۰ نمونه از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی برای آزمایش‌های زمین شیمیایی با استفاده از روش فلوئورسانی پرتو X (XRF) به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان (دستگاهای S-4 بروکر) ارسال شدند. همچنین برای تشخیص دقیق کانی‌ها، ۱۰ نمونه از سنگ‌های دگرسان به روش پراش پرتو x (XRD) مورد بررسی قرار گرفتند. آنالیزهای نقطه‌ای با ریزپرداز الکترونی مدل کامکا SX-50 روی ۲ نمونه‌ی فیروزه و ۲ نمونه‌ی تورمالین در دانشگاه کالسروهه (آلمان) انجام شدند.

1- turquoise

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

**زمین شناسی عمومی منطقه**

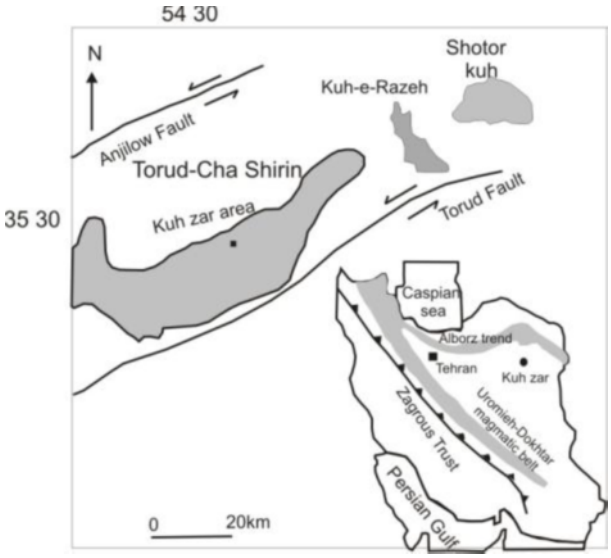
کانسارکوه زر در در میان برونزدهای آتشفشانی-نفوذی شمالی کوه ترود-چاه شیرین به سن ائوسن میانی تا میوپلیوسن واقع شده است [۲۰]. شکل‌گیری ماگمایی و زایش طلا و فیروزه‌ی منطقه باغو توسط رشید نژاد عمران [۲۱] بررسی شده است. کوه‌های ترود-چاه شیرین با ترکیب غالب سنگ‌های آذرین به سن پالئوژن هستند. بیشترین فعالیت ماگمایی در دوره‌ی ائوسن میانی تا بالایی رخ داده است. فعالیت ماگمایی از قدیم به جدید به سه مرحله تقسیم می‌شود [۲۲]:

-فعالیت آتشفشانی شامل گدازه‌های ریولیتی، ریوداستی، آندزیتی همراه با مارن و گاهی ماسه سنگ ماسه سنگ‌های توفیتی.

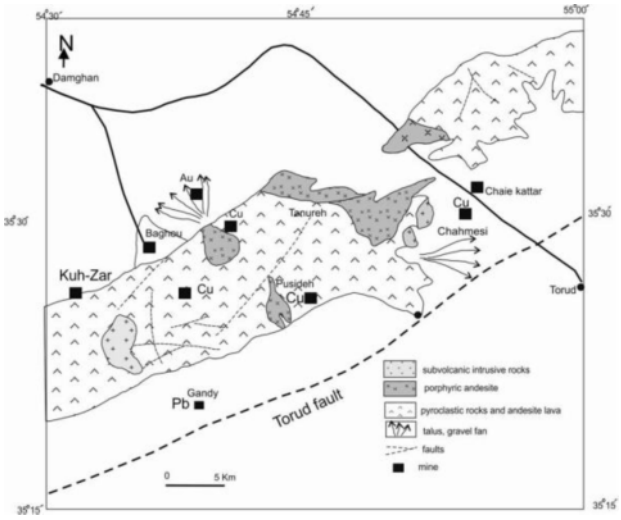
-گدازه‌ها و سنگ‌های پیروکلاستیک که اغلب ترکیب آندزیتی، تراکی آندزیتی تا بازالتی دارند.

- توده‌های آذرین نیمه عمیق و کم عمق که گسترش چندانی ندارند.

گسل‌های انجیلو و ترود به ترتیب در شمال و جنوب منطقه دو گسل راستا لغز بزرگ با روند شمال شرقی دیده می‌شوند. کوه‌های ترود-چاه شیرین دارای چندین کانسار وراگرما شامل: کوه زر (مس-طلا-فیروزه)، گندی (Au, Ag, Pb-Zn)، ابوالحسنی (Pb, Zn, Ag, Au)، چشمه حافظ (Pb-Zn) و چاه مسی (Cu) و پوسیده (Cu) است [۲۲] (شکل ۱ و ۲).




**شکل ۱** موقعیت رشته کوه‌های ترود- چاه شیرین بین دو گسل انجیلو-ترود و منطقه کوه زر [اقتباس از ۱۰].




**شکل ۲** نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی ترود و موقعیت کانسارهای موجود در منطقه، [اقتباس از ۱].

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

دنباله‌ی سنگ چینه‌ای منطقه‌ی کوه زر به ترتیب از پائین به بالا شامل واحدهای رسوبی کنگلومرای فجن (ائوسن زیرین) و مارن دو ظهیر (لوتسین بالایی تا شروع ائوسن بالایی)، توده-های دیوریتی تا گرانودیوریتی (ائوسن پسین-الیگوسن) و دایک‌های بازیک و توده‌های عمیق پورفیریک (میوپلیوسن) می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی ترکیب آندزیتی-تراکی آندزیتی داشته و به صورت دنباله‌ی توف‌ها و گدازه‌های سبز-خاکستری دیده می‌شوند که به‌وسیله‌ی توده‌های کوچک دیوریتی و گرانودیوریتی و دایک‌های مربوطه قطع شده‌اند [۲۳]. واحدهای آتشفشانی در اثر فرآیند گرمابی دگرسان شده‌اند.

در منطقه کوه زر کانی‌سازی مس، سرب و به مقدار کمتر روی و منگنز به صورت رگه‌ای در میان سنگ‌های آتشفشانی ترسیاری با ترکیب کالکوسیت، مالاکیت، کوپریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت دیده می‌شود، که در حال حاضر به شکل معادن متروکه در منطقه پراکنده‌اند.

بر اساس بررسی‌های انجام شده در منطقه‌ی کوه زر، در مجموع می‌توان کانه‌زایی را به دو زون درون زاد و برون زاد تقسیم کرد [۹]. کانه‌زایی درون زاد شامل کانه‌زایی مس و طلاست، در اثر نفوذ گرماب‌ها در زون‌های گسلیده و برشی، به وقوع پیوسته است. وسعت زون‌های برشی موجود که حاصل نیروهای برشی حاکم بر منطقه است از عمق به سطح افزایش می‌یابند. فرایندهای کانه‌زایی درون‌زاد در منطقه‌ی باغو بیشتر رگه‌ای است. از مهم‌ترین کانه‌های زون درون‌زاد می‌توان به پیریت، کالکوپیریت، گالن، دانه‌های پراکنده طلا و آرسنوپیریت اشاره کرد. کانه‌زایی در زون برون‌زاد، در راستای زون‌های برشی و گسله صورت گرفته است، آب‌های جوی به راحتی تا اعماق زیاد نفوذ کرده و زون‌های کانی‌زایی درون‌زاد (پیریت، کالکوزیت و گالن) را تحت تاثیر قرار داده و سبب تشکیل اکسیدهای آبدار گوتیت، لیمونیت و لپیدولیت، کربنات‌های مس‌دار (آزوریت و مالاکیت)، کوپریت و تیغه‌های هماتیت شده و فیروزه در این زون تشکیل شده است[۹].

**سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین منطقه**

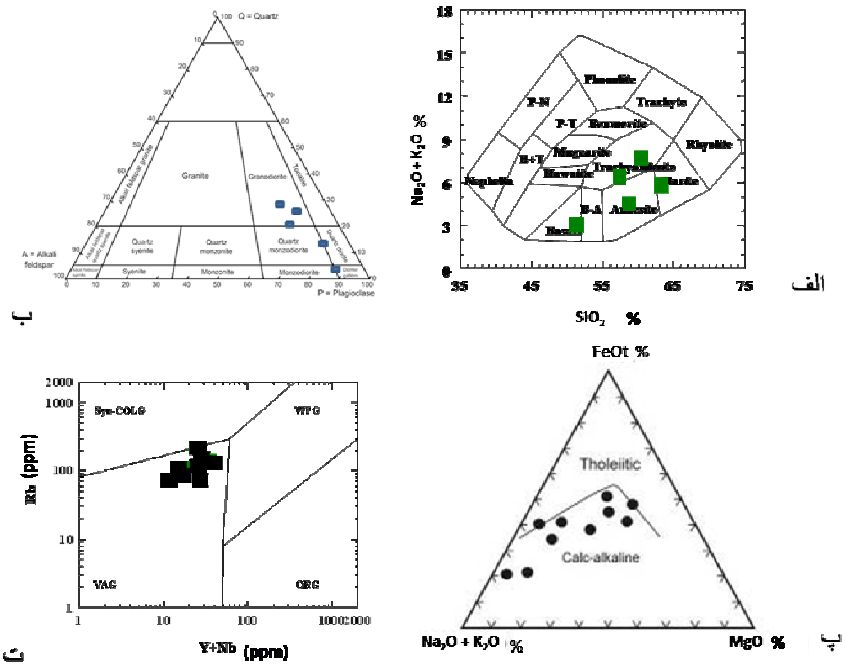
سنگ میزبان کانه‌زایی و دگرسانی در منطقه‌ی کوه زر شامل دو گروه متفاوت است. الف) حجم وسیعی از سنگ‌های منطقه را سنگ‌های پیروکلاستیک، شامل لاپیلی توف، توف، برش پیروکلاستیک تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها روی نمودار دو تایی [۲۴] $Na_2O+K_2O/SiO_2$، دارای ترکیب شیمیائی از بازالت آندزیتی، آندزیت، تراکی آندزیت و داسیت تا ریولیت هستند [۹] (جدول۱، شکل ۳-الف). ترکیب غالب این سنگ-های آذرین، حدواسط با ترکیب تراکی آندزیت تا آندزیت است. ب) سنگ‌های نفوذی که بر اساس داده‌های سنگ‌نگاری و زمین شیمی عناصر اصلی، روی نمودار QAP، در گستره‌ی دیوریت، کوارتزدیوریت و گرانودیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۳-ب). ترکیب غالب این سنگ‌ها دیوریت تا کوارتز دیوریت است.

به طور کلی ماگمای سازنده‌ی هر دو گروه از سنگ‌های آذرین، کلسیومی –قلیایی است (شکل ۳-پ) و محیط زمین ساختاری تشکیل آن‌ها نیز کمان آتشفشانی زون‌های فرورانش است (شکل ۳-ت).

**جدول ۱** ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین نفوذی و آتشفشانی منطقه‌ی کوه زر.

| Sample (wt%) | Ku/1 Intrusive | Ku/4 Intrusive | Ku/7 Intrusive | Ku/8 Intrusive | Ku/9 Intrusive | Ku/20 Extrusive | Ku/22 Extrusive | Ku/25 Extrusive | Ku/27 Extrusive | Ku/30 Extrusive |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۵۷٫۴۶ | ۵۸٫۶۶ | ۶۰٫۵۲ | ۶۳٫۲۴ | ۴۸٫۳۰ | ۶۸٫۶۶ | ۵۲٫۶۹ | ۶۴٫۳۲ | ۵۷٫۳۲ | ۵۷٫۰۳ |
| $TiO_2$ | ۰٫۵۵ | ۰٫۸۴ | ۰٫۵۶ | ۰٫۳۵ | ۰٫۸۴ | ۰٫۳۳ | ۰٫۸۹ | ۰٫۴۵ | ۰٫۶۷ | ۰٫۷۴ |
| $Al_2O_3$ | ۱۵٫۶۵ | ۱۶٫۱۸ | ۱۵٫۲۳ | ۱۲٫۳۴ | ۱۵٫۶۸ | ۱۴٫۲۳ | ۱۷٫۷ | ۱۵٫۶۹ | ۱۷٫۱۳ | ۱۶٫۰۴ |
| $Fe_2O_3$ | ۳٫۲۴ | ۴٫۰۴ | ۳٫۳۶ | ۳٫۳۷ | ۶٫۴۸ | ۱٫۲۰ | ۲٫۵۹ | ۱٫۸۴ | ۳٫۳۲ | ۳٫۸۹ |
| FeO | ۰٫۰۱ | ۰٫۱۰ | ۰٫۱۶ | ۰٫۲۷ | ۰٫۲۹ | ۱٫۳۴ | ۴٫۷۶ | ۲٫۰۶ | ۳٫۲۹ | ۲٫۶۵ |
| MnO | ۲٫۵۵ | ۱٫۵۹ | ۲٫۵۸ | ۲٫۲۵ | ۲٫۵۹ | ۰٫۰۶ | ۰٫۱۸ | ۰٫۱۶ | ۰٫۲۵ | ۰٫۱۴ |
| MgO | ۴٫۵۶ | ۴٫۹۹ | ۲٫۳۵ | ۲٫۱۹ | ۵٫۷۸ | ۱٫۳۵ | ۷٫۳۲ | ۳٫۰۲ | ۳٫۶۶ | ۳٫۶۵ |
| CaO | ۴٫۴۶ | ۳٫۲۳ | ۲٫۵۴ | ۲٫۳۰ | ۳٫۶۰ | ۲٫۹۳ | ۴٫۵۶ | ۲٫۰۱ | ۴٫۷۸ | ۶٫۱۹ |
| $Na_2O$ | ۲٫۷۴ | ۳٫۲۱ | ۴٫۳۶ | ۵٫۳۱ | ۱٫۹۸ | ۴٫۰۱ | ۳٫۳۰ | ۲٫۹۸ | ۳٫۶۹ | ۴٫۳۲ |
| $K_2O$ | ۳٫۵۶ | ۱٫۲۵ | ۴٫۳۲ | ۳٫۴۵ | ۰٫۹۸ | ۳٫۸۵ | ۲٫۸ | ۴٫۵۶ | ۳٫۹۹ | ۳٫۲۶ |
| $P_2O_5$ | ۰٫۲۵ | ۰٫۳۶ | ۰٫۵۴ | ۰٫۴۰ | ۰٫۳۹ | ۰٫۱۹ | ۰٫۳۱ | ۰٫۳۸ | ۰٫۳۳ | ۰٫۲۵ |
| L.O.I | ۰٫۸۰ | ۲٫۳۱ | ۱٫۲۶ | ۱٫۳۵ | ۱٫۶۸ | ٫۰۱ | - | ۱٫۶۹ | ۱٫۲۵ | - |
| Total (wt%) | ۹۵٫۸۳ | ۹۶٫۷۶ | ۹۷٫۷۸ | ۹۶٫۱۰ | ۹۷٫۵۹ | ۹۸٫۱۶ | ۹۷٫۱ | ۹۹٫۱۶ | ۹۹٫۶۸ | ۹۸٫۱۶ |

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]




**شکل۳** الف. ترکیب شیمیائی سنگ‌های بیرونی منطقه‌ی کوه زر [۲۴]، ب. ترکیب شیمیایی سنگ‌های نفوذی [۲۵]. پ. تعیین نوع ماگمای سنگ‌های آذرین با استفاده از نمودار AFM [۲۶]، ت. تعیین محیط زمین‌ساختی که در موقعیت قوس آتشفشانی قرار می‌گیرد [۲۷].

**روابط صحرایی و سنگ‌نگاری دگرسانی‌های گرمابی**

پی‌جویی‌های مفصل صحرایی نشان داد که تقریباً تمامی سنگ‌های منطقه تحت تاثیر دگرسانی گرمابی قرار گرفته‌اند.

دگرسانی پروپلیتیک به صورت پراکنده و بیشتر در سنگ‌هایی با ترکیب آندزیتی دیده می‌شود. توسعه زون فیلیک در سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی در این منطقه به خوبی دیده می‌شوند این زون گسترده‌ترین زون دگرسانی را تشکیل می‌دهد. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته به صورت رگه‌ای و یا پراکنده در زون دگرسانی فیلیک دیده می‌شود. سیلیس به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای تمامی زون‌های دگرسان منطقه را قطع کرده است. از موارد قابل توجهی که در این منطقه گزارش می‌شود، همیافتی کمیاب دو کانی فیروزه و تورمالین در زون دگرسانی فیلیک می‌باشد. شواهد صحرایی رخداد فیروزه را در سنگ‌های دگرسان شده فلسیک به دو صورت نشان می‌دهد:

الف) فیروزه به رنگ آبی آسمانی در همیافتی با اکسیدهای آهن (هماتیت-گوتیت) و کوارتز، این گونه رخداد را تنها در سطح شکست رگچه‌ها به خوبی می‌توان دید.

ب) همچنین این کانی به صورت پراکنده در متن سنگ‌های دگرسان به صورت قلوه شکل‌های کوچک و در بیشتر موارد با رنگ ویژه آبی آسمانی، شکست صدفی در زمینه روشن سنگ‌های دگرسان جلوه ویژه‌ای دارد و به سهولت قابل تشخیص است. تورمالین‌های مجتمع و ریزدانه به رنگ سیاه و بافت توده‌ای، شعاعی و رگچه‌ای و نیز به صورت پراکنده در این همیافتی دیده شده‌اند. در برخی موارد این قلوه‌های کوچک به آسانی از سنگ دگرسان شده رها شده و در سطح خاک‌ها قابل جمع آوری هستند.

بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانی‌های اصلی سنگ‌های دگرسان شده در منطقه کوه زر عبارتند از کوارتز (٪۴۰-۳۰)، فلدسپار (٪۱۰-۸)، فدسپار کائولینیتی شده (٪۱۵-۱۰)، بیوتیت (٪۱۰-۵ )، سریسیت (٪۱۰-۵)، آلونیت (٪۵-۳)، کلریت (٪۵-۳)، اپیدوت (٪۷-۵)، کلسیت (٪۵-۳)، پیریت (٪۳-۲)، تورمالین (٪۱۰-۵) و فیروزه (٪۵-۳). زون پروپلیتیک گسترش پراکنده‌ای را در منطقه دارد، محصول این دگرسانی سوسوریتی شدن پلاژیوکلازها، کلریتی شدن بیوتیت و آمفیبول، اپیدوتی شدن و گاهی کربناتی شدن است. زون فیلیک به عنوان گسترده‌ترین زون دگرسانی دارای کانی‌های اصلی کوارتز، سرسیت و پیریت است. دگرسانی آرژیلیک پیشرفته درون زون فیلیک رخنمون دارد که با پیدایش کانی‌های آلونیت، فیروزه، تورمالین و مقدار کمی ژاروسیت مشخص است. بافت ویژه سنگ‌های نیمه آتشفشانی در پهنه‌ی سنگ-

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

های دگرسان عادی است. در بیشتر موارد کوارتز با حواشی نیمه گرد شده به شکل درشت بلور قابل مشاهده است. درشت بلورهای فلدسپار که به‌طور کامل به وسیله‌ی سریسیت جانشین شده‌اند نیز در زون فیلیک به خوبی دیده می‌شود (شکل۴-الف). نمود سیلیسی شدن علاوه بر جانشینی کوارتز ریزدانه در متن یا رخداد رگچه‌ای به شکل پوششی ۲ روی کوارتزهای درشت بلور دیده می‌شود (شکل۴-ب). در زون دگرسان فیلیک جانشینی کامل کانی فرومنیزین اولیه درشت بلور) توسط مسکوویت کاملاً مشهود است (شکل۴-پ). دگرسانی همزمان درشت بلورهای فلدسپار توسط سرسیت و کائولینیت نیز دیده می‌شود (شکل۴-ت). تورمالین با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد، به اشکال زیر در زون فیلیک قابل مشاهده است.

الف: اشکال نیمه شعاعی که بیشتر به نظر می‌رسند، پر کننده فضاهای خالی بوده‌اند (شکل۴-ث).

ب: تورمالین به شکل نطفه‌ای در زمینه کانی‌های فلسیک (کوارتز-سرسیت) که نشانگر آغاز رشد این کانی به خرج کانی-های زمینه است، این گونه تورمالین‌ها در نهایت اشکال آمیبی به خود می‌گیرند و مرز ناپایدار با زمینه نشان می‌دهند (شکل۴-ج).

ج: تورمالین‌های منفرد در برخی موارد دارای ساختار زونه هستند.

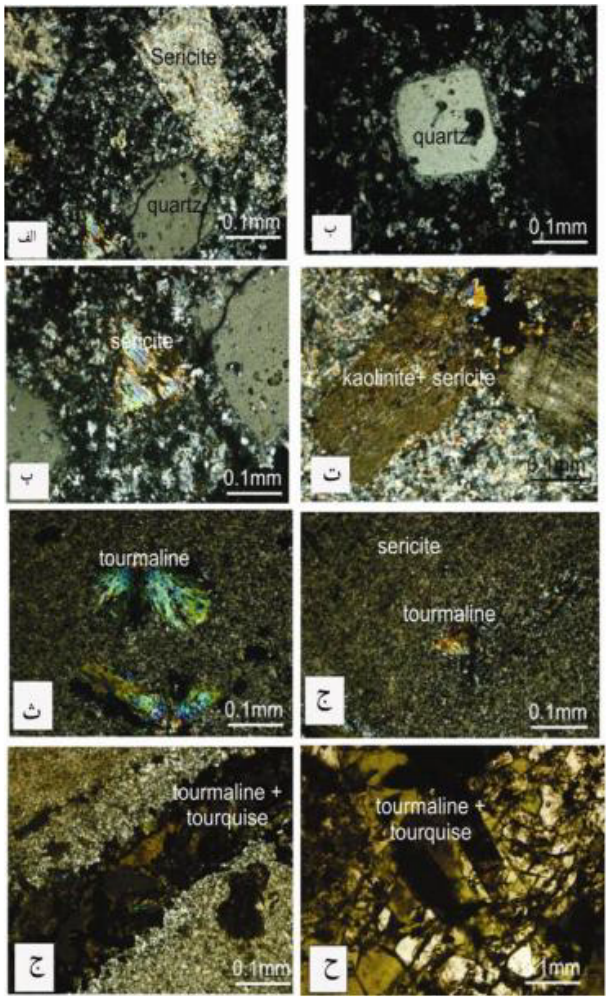
د: آنکه در همه‌ی موارد تورمالین‌های پراکنده با گرهک‌های فیروزه همراه با دگرسانی فیلیک است. فیروزه با فراوانی کمتر از ۵ ٪ رخداد رگچه‌ای دارد و پر شدگی فضای خالی تورمالین با فیروزه نیز عادی است (شکل۴-چ). بررسی دقیق رگچه‌ها نشان می‌دهد که بعد از تشکیل تورمالین فضای خالی به وسیله فیروزه پر شده است (شکل۴-ح). روابط پاراژنتیکی کانی‌ها و دنباله‌ی تشکیل زون‌های دگرسانی در جدول ۲ نشان داده شده است.

بررسی‌های XRD نیز مجموعه کانی‌های کلریت، اپیدوت، کوارتز، سرسیت، پیریت، تورمالین، آلونیت و فیروزه را در گستره‌ی دگرسانی نشان می‌دهند (جدول۳).

## بحث و بررسی

### الف: خاستگاه تورمالین

کانی‌های اصلی سازنده‌ی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (اسید-سولفات) شامل آلونیت، کائولینیت، کوارتز و پیریت‌اند. این کانی‌ها تحت تأثیر گرماب‌های سولفاتی و اسیدی تشکیل شده‌اند. شاره‌های اسیدی به چندین صورت در محیط اپی‌ترمال شکل می‌گیرند و تشخیص محیط دگرسانی‌ها به‌وسیله‌ی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ایزوتوپ‌های پایدار کانی‌ها مشخص می‌شود. علاوه بر کانی‌های نام برده در منطقه کوه زر، تورمالین به عنوان یکی از کانی‌های همیافت در دگرسانی فیلیک و آرژیلیک پیشرفته دیده شده است.




**شکل ۴** الف. حفظ شدن بافت پورفیری اولیه، درشت بلور کوارتز همراه با درشت بلور فلدسپار که به‌وسیله‌ی سرسیت کاملاً جانشین شده اند. ب. سیلیس ثانویه که روی کوارتز اولیه سنگ آتشفشانی رشد کرده است. پ. جانشینی کامل یک کانی فرومنیزین (که به شکل درشت بلور بوده است) به وسیله سرسیت آثار رخ کانی اولیه هنوز دیده می‌شود. ت. درشت بلورهای فلدسپار به‌طور کامل به-وسیله‌ی سرسیت و کائولینیت جانشین شده‌اند (شبه‌ریخت). ث. رخداد نیمه شعاعی بلورهای تورمالین در زمینه‌ی دگرسانی فیلیک. ج. رشد نقطه‌ای تورمالین در زمینه‌ی کوارتز-سرسیت. چ. همیافتی تورمالین، فیروزه در رگچه‌ای که زون دگرسانی فیلیک را قطع کرده است. ح. همیافتی تورمالین و فیروزه در فضاهای خالی و برشی.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

**جدول ۲** روابط پاراژنتیکی کانی‌ها در زون‌های دگرسانی منطقه کوه زر.

| کانی‌ها | بازمانده کانی‌های سنگ میزبان | زون پروپلیتیک | زون آرژیلیک | زون آرژیلیک پیشرفته |
|---|---|---|---|---|
| کوارتز | xxxxx | xxxxx | xxxxx | xxxxx |
| فلدسپار پتاسیم | xxxxx | | xxxxx | |
| پلاژیوکلاز سوسوریتی | xxxxx | xxxxx | | |
| هورنبلند | xxxxx | | | |
| بیوتیت | xxxxx | xxx | xxxxx | |
| کائولینیتی شدن | | xxxxx | | |
| اپیدوت | | xxxxx | | |
| کلریت | | xxxxx | | |
| کلسیت | | xxxxx | xxxxx | |
| سریسیت | | | | xxxxx |
| تورمالین | | | | xxxxx |
| پیریت | | | xxxxx | |
| آلونیت | | | | xxxxx |
| ژاروسیت | | | | xxxxx |
| فیروزه | | | | xxxxx |

**جدول ۳** نتایج کانی‌های موجود در زون‌های دگرسانی، کانسار کوه زر به روش پراش پرتو X (XRD).

| شماره نمونه | پاراژنز کانیها | مناطق دگرسانی |
|---|---|---|
| Zr-1 | کلریت، اپیدوت، کانی‌های کربناته و کوارتز | پروپیلیتیک |
| Zr-2 | کلریت، اپیدوت و کوارتز | پروپیلیتیک |
| Zr-3 | کوارتز، سریسیت و پیریت | فیلیک |
| Zr-4 | کوارتز، سریسیت ± پیریت | فیلیک |
| Zr-5 | کوارتز و سریسیت | فیلیک |
| Zr-6 | فیروزه، آلونیت و تورمالین | آرژیلیک پیشرفته |
| Zr-7 | فیروزه و آلونیت | آرژیلیک پیشرفته |
| Zr-8 | فیروزه، آلونیت، تورمالین و کوارتز | آرژیلیک پیشرفته |
| Zr-9 | فیروزه، آلونیت، تورمالین و ژاروسیت | آرژیلیک پیشرفته |
| Zr-10 | کوارتز | رگچه‌های سیلیسی |

بررسی‌های زمین شیمیایی روی تورمالین‌های همیافت با فیروزه ترکیب شمیایی آنها را در گستره‌ی شورلیت-دراویت (متمایل به قطب دراویت) نشان داده است (جدول ۴) (شکل ۵ الف و ب). همچنین بر اساس نمودار سه تایی Al-Al50Fe50-Al50Mg50، سنگ خاستگاه تشکیل دهنده‌ی تورمالین متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های همراه با فازهای سرشار از Al است (شکل ۵ پ).

برای شکل‌گیری تورمالین سازه‌های عنصری ضروری سیلیس-آلومینیم، بر، آهن و منیزیم هستند. سیلیس و آلومینیم در محیط زمین‌شناسی گستره کوه زر در اثر گسترش زون دگرسانی فیلیک (کوارتز-مسکوویت+ پیریت) در دسترس قرار گرفته‌اند. آهن و منیزیم را می‌توان از فروپاشی کانی‌های فرومنیزین سنگ میزبان (هونبلند، بیوتیت) یا اکسایش پیریت-های زون فیلیک و یا از طریق گرماب‌ها تامین کرد. بر عنصری بسیار ناسازگار است که در طی تبلور بخشی در مذاب و سیال باقی می‌ماند، متمرکز می‌شود. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته توسط Pichavant & Manning [۲۸]، اضافه شدن عناصر B و F به سیستم Q-Ab-Or سبب افزایش حلالیت $H_2O$ می‌شود و نسبت Si/Alkali و Al/Alkali کاهش می‌یابد (متاسوماتیم B). این فرآیند سبب آبشویی Na, K می‌شود که زمینه را برای پایداری تورمالین آماده می‌کند. لندن و همکاران [۲۹] ضریب اشباع از آلومینیوم (ASI) را برای پایداری تورمالین برابر ۳ تعیین کرده‌اند. این کانی در آبگون‌های بیوتیت‌دار متا آلومین حاوی کمتر از ۶ درصد $B_2O_3$ ناپایدار

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

است و برای پایداری آن مقدار ASI باید به ۱.۳ تا ۱.۴ افـزایش یابد. بنابراین درجه‌ی اشباع از آلومینیم محـیط بـرای پایـداری تورمالین از پارامترهای مهم محسوب می‌شود.

لندن [۳۰] برای شکل‌گیری تورمالین در انبانه‌هـای کـانی-های گرانبها، کانی پیروفیلیت را بـه عنـوان یکـی از سـازه‌هـای اصلی آلومینیوم‌دار در نظر گرفتـه اسـت. همچنـین ترکیـب بـر مورد نیاز را بـه شـکل بـرات قلیـایی آبـدار ( hydrous alkali borate ) پیشنهاد کرده است.

برای پهنه‌ی دگرسانی کوه زر تنها فاز کانیایی آلومینیـوم‌دار قابل واکنش مسکوویت است، لذا می‌توان با اسـتناد بـه شـواهد میکروسکوپی، (شکل‌گیری تورمالین در پهنه‌ی سرسیت و عـدم تعادل بافتی سرسیت با تورمالین) واکنش زیر را پیشنهاد کرد:

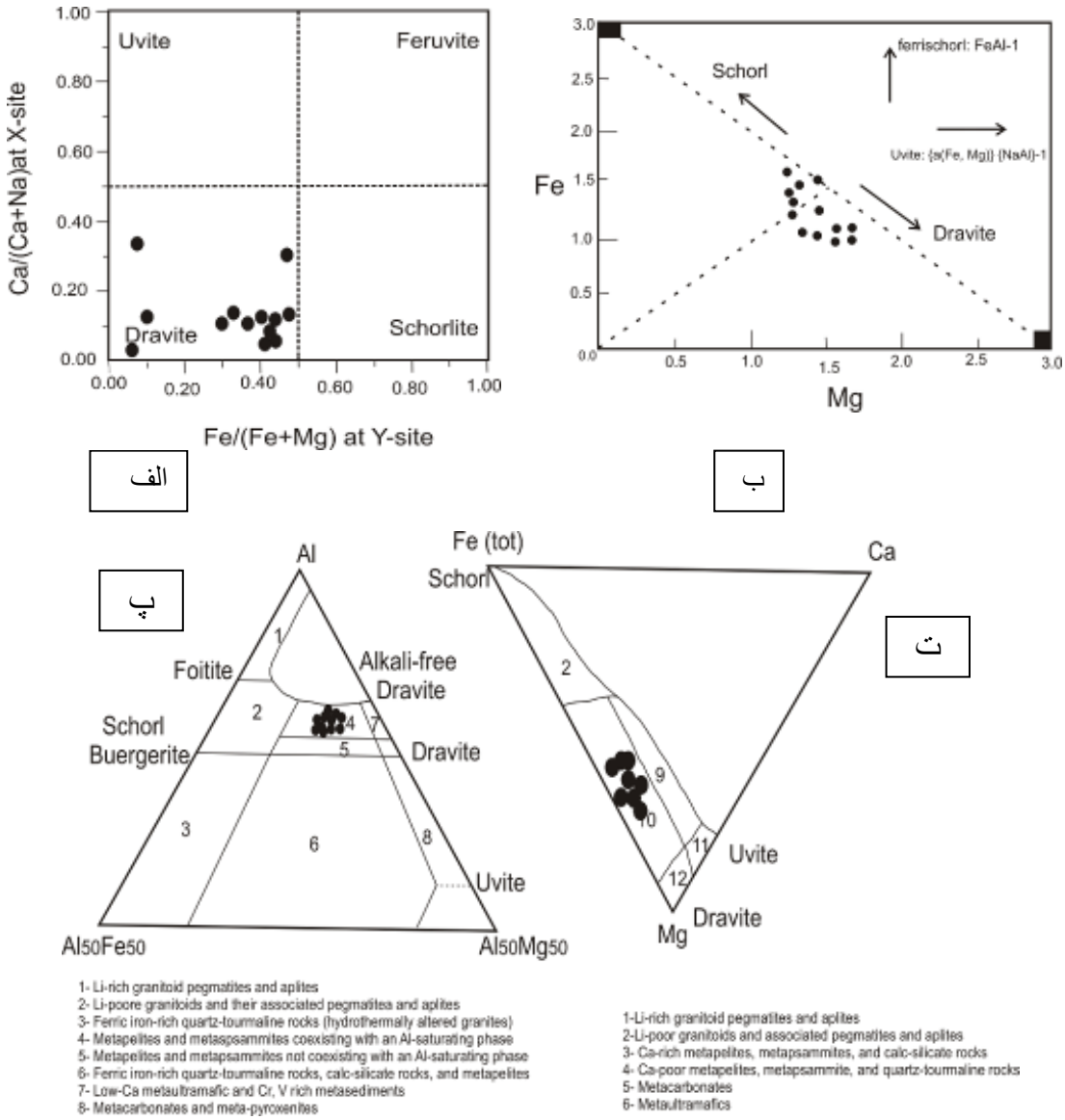
$$Na\,B_4\,O_5\,(OH)_4 + \underset{\text{Muscovite}}{KAl_3Si_3O_{10}\,(OH)_2} + \underset{\text{magnetite}}{Fe_3O_4} + Mg\,(OH)_2\,(aq) = \underset{\text{"hab"}}{Na\,(FeMg)_3\,Al_6\,(BO_3)_3\,Si_6\,O_{18}\,(OH)_4}$$

schorl-dravite

همچنین می‌توان واکنش زیر را در نظر گرفت [۳۱]:

$$12\ \text{albite} + 6\ \text{magnetite} + \text{boric acid (aq)} = 2\ \text{schorl} + 24\ \text{quartz} + \text{hematite} + 10\,H_2O + 10Na^+$$

آب باقیمانده از واکنش فوق می‌تواند در اثر یک فرآینـد بـازخور (feed back) دگرسانی بیشتر را موجب شود.




**شکل۵** الف. نمودار Ca/ (Ca+ Fe) نسبت به Fe/ (Fe+Mg) برای تقسیم‌بندی تورمالین، چنانکه که نمودار نشان مـی‌دهـد نمونـه‌هـا در گـستره دراویت قرار گرفته‌اند[۳۲]. ب. نمودار تقسیم بندی تورمالین بر اسـاس نـسبت Fe نـسبت بـه Mg [۳۳]، پ. نمـودار جدایـشی Al, Al50Fe50, Al50Mg50 و ت. نمودار سه تاییFe, Ca, Mg برای تعیین خاستگاه تورمالین [۱۹].

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

**جدول ۴** نتایج میانگین داده‌های ریزپردازشی تورمالین های منطقه کوه زر و محاسبه کاتیونی آن.

| Sample | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $B_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | ZnO | BaO | $Na_2O$ | F | $H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zr-T-1 | ۳۶٫۶۸ | ۰٫۳۲ | ۳۳٫۷۸ | ۱۰٫۷۹ | ۸٫۵۶ | ۰٫۰۷ | ۶٫۱۵ | ۰٫۲۹ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۸ | ۱٫۸۴ | ۰٫۰۴ | ۳٫۷ |
| Zr-T-2 | ۳۶٫۷۶ | ۰٫۴۳ | ۳۳٫۵۹ | ۱۰٫۷۷ | ۸٫۵ | ۰٫۰۷ | ۶٫۰۵ | ۰٫۲۵ | ۰ | ۰ | ۱٫۸۳ | ۰ | ۳٫۷۱ |
| Zr-T-3 | ۳۶٫۲۵ | ۰٫۳ | ۳۳٫۲۳ | ۱۰٫۶۵ | ۹٫۲۶ | ۰٫۰۹ | ۵٫۵۹ | ۰٫۴۲ | ۰٫۰۳ | ۰ | ۱٫۷۸ | ۰٫۰۶ | ۳٫۶۵ |
| Zr-T-4 | ۳۶٫۴۱ | ۰٫۳۷ | ۳۳٫۶۸ | ۱۰٫۷۲ | ۹٫۲۱ | ۰٫۰۷ | ۵٫۴۸ | ۰٫۴ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۲ | ۱٫۸ | ۰ | ۳٫۷ |
| Zr-T-5 | ۳۶٫۶۹ | ۰٫۳۴ | ۳۴٫۰۴ | ۱۰٫۸۲ | ۶٫۹۷ | ۰٫۰۸ | ۶٫۶۴ | ۰٫۵۱ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۲ | ۲٫۰۷ | ۰٫۰۴ | ۳٫۷۱ |
| Zr-T-6 | ۳۷٫۰۱ | ۰٫۴۳ | ۳۳٫۵ | ۱۰٫۸۴ | ۶٫۲ | ۰٫۰۲ | ۷٫۴۲ | ۰٫۵۶ | ۰٫۰۲ | ۰ | ۲٫۰۹ | ۰٫۰۱ | ۳٫۷۴ |
| Zr-T-7 | ۳۶٫۶۷ | ۰٫۷۴ | ۳۲٫۰۴ | ۱۰٫۷ | ۸٫۱۹ | ۰٫۰۹ | ۶٫۷۹ | ۰٫۷۱ | ۰ | ۰٫۰۷ | ۱٫۹۹ | ۰٫۰۱ | ۳٫۶۹ |
| Zr-T-8 | ۳۵٫۹۱ | ۱٫۰۷ | ۲۹٫۱۲ | ۱۰٫۴۵ | ۱۱٫۰۲ | ۰٫۰۷ | ۶٫۶۸ | ۱٫۲۳ | ۱٫۰۱ | ۰٫۰۳ | ۱٫۸۹ | ۰٫۰۷ | ۳٫۵۷ |

Number of cations on the basis of the 22 O

| Sample | Si | Ti | $Al^{+4}$ | Al Z | Al Y | B | Fe | Mn | Mg | Ca | Na | OH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zr-T-1 | ۵٫۹۱ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۹ | ۶ | ۰٫۳۲ | ۳ | ۱٫۱۵ | ۰ | ۱٫۴۸ | ۰٫۰۵ | ۰٫۵۷ | ۳٫۹۸ |
| Zr-T-2 | ۵٫۹۳ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۶ | ۰٫۳۲ | ۳ | ۱٫۱۵ | ۰ | ۱٫۴۵ | ۰٫۰۴ | ۰٫۵۷ | ۴ |
| Zr-T-3 | ۵٫۹۲ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۸ | ۶ | ۰٫۳۱ | ۳ | ۱٫۲۷ | ۰٫۰۱ | ۱٫۳۶ | ۰٫۰۷ | ۰٫۵۶ | ۳٫۹۷ |
| Zr-T-4 | ۵٫۹ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۹ | ۶ | ۰٫۳۴ | ۳ | ۱٫۲۵ | ۰٫۰۱ | ۱٫۳۲ | ۰٫۰۷ | ۰٫۵۶ | ۴ |
| Zr-T-5 | ۵٫۸۹ | ۰٫۰۴ | ۰٫۱ | ۶ | ۰٫۳۴ | ۳ | ۰٫۹۴ | ۰٫۰۱ | ۱٫۵۹ | ۰٫۰۸ | ۰٫۶۴ | ۳٫۹۸ |
| Zr-T-6 | ۵٫۹۳ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۷ | ۶ | ۰٫۲۶ | ۳ | ۰٫۸۳ | ۰ | ۱٫۷۷ | ۰٫۰۹ | ۰٫۶۵ | ۳٫۹۹ |
| Zr-T-7 | ۵٫۹۵ | ۰٫۰۹ | ۰٫۰۴ | ۶ | ۰٫۰۸ | ۳ | ۱٫۱۲ | ۰٫۰۱ | ۱٫۶۴ | ۰٫۱۲ | ۰٫۶۳ | ۳٫۹۶ |
| Zr-T-8 | ۵٫۹۷ | ۰٫۱۳ | ۰٫۰۳ | ۶ | ۰ | ۳ | ۱٫۵۳ | ۰ | ۱٫۶۵ | ۰٫۲۲ | ۰٫۶ | ۳٫۹۷ |

**خاستگاه فیروزه**

همیافتی کانیایی کوارتز، سرسیت، پیریت که شاخص دگرسانی فیلیک است در گام نخست دگرسانی روی داده است. بررسی-های انجام شده [۳۴] نشان داده است که کانی سازی مس شامل کالکوپیریت، کالکوزین، کوولین که بیشتر از نوع پورفیری، رگه‌ای و افشان بود نیز با دگرسانی‌ها دیده می‌شود. از آنجا که تشکیل فیروزه در یک محیط هوازده رخ می‌دهد [۳۵] فیروزه در منطقه‌ی کوه زر می‌تواند بنابر واکنش‌های زیر تشکیل شود که این واکنش‌ها ویژه‌ی منطقه‌ی برونز است.

به نظر می‌رسد که نخست پیریت در شرایط اکسایش جوی بنابر واکنش زیر متلاشی شده و هیدروکسید آهن (گوئتیت) و در نهایت اسید سولفوریک ایجاد کرده است:

$$\underset{\text{پیریت}}{FeS_2} + 3H_2O + 2H_2CO_3 + 15/2O_2 = \underset{\text{گوئتیت}}{FeOOH} + 4H_2SO_4 + 2CO_2$$

در بالاترین بخش زون اکسایشی سولفیدهای مس (در اینجا کالکوپیریت) نیز به سولفات مس تبدیل می‌شوند [۳۶]:

$$\underset{\text{کالکوپیریت}}{CuFeS_2} + 4O_2 = FeSO_4 + CuSO_4$$

احتمالاً در شرایط اسیدی ایجاد شده فروشست[۲] فسفات از سنگ‌های آتشفشانی منطقه نیز انجام گرفته است و فسفر مورد نیاز به عنوان یک سازه‌ی بنیادی برای پایداری فیروزه آماده شده است.

2- leaching

$$\underset{\text{هیدروکسیل آپاتیت}}{Ca_5(PO_4)_3OH} + 5H_2SO_4 + 9/2O_2 = \underset{\text{ژیپس}}{5CaSO_4.2H_2O} + 3H_3PO_4$$

در چنین محیط اسیدی شکل گیری مسکوویت (سرسیت)، کائولینیت و آلونیت (در اثر واکنش‌های هیدرولیز و دگرسانی ارژیلیک پیشرفته) به خرج فلدسپات‌ها محتمل است، علاوه بر این کانی‌های فوق می‌توانند طی واکنش‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک که از پیش در گامه رخ داده‌اند، فراهم شده باشند:

$$\underset{\text{ارتوکلاز}}{3KAlSi_3O_8} + 2H^+ = \underset{\text{مسکوویت}}{KAl_3SiO_{10}(OH)_2} + 6SiO_2 + 2K^+$$

$$\underset{\text{مسکوویت}}{2KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2} + 3H_2O + 2H^+ = \underset{\text{کائولینیت}}{3Al_2Si_2O_5(OH)_4} + 2K^+$$

$$\underset{\text{کائولینیت}}{3Al_2Si_2O_5(OH)_4} + 4SO_4^{-2} + 6H^+ + 2K^+ = \underset{\text{آلونیت}}{2KAl_3(SO_4)_2(OH)^6} + 6SiO_2 + 3H_2O$$

$SiO_2$ باقیمانده از واکنش بالا می‌تواند در شکل گیری رگه‌های سیلیسی شرکت کند.

با توجه به همراهی فیروزه با آلونیت در کوه زر [۱۴] پیدایش فیروزه به خرج آلونیت بنابر واکنش زیر پیشنهاد می-شود [۳۷]. به این صورت که از واکنش سولفات مس و اسیدفسفریک با آلونیت فیروزه تشکیل می‌شود:

$$\underset{\text{آلونیت}}{2KAl_3(SO_4)(OH)_6} + 4H_3PO_4 + CuSO_4 + 8K^+ =$$

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

$$CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8.4H_2O + 5K_2SO_4 + 8H^+$$

تورکوئیس

در اینجا می‌توان ترکیب آلونیت را با جانشینی ($Fe^{3+}$) به جای ($Al^{+3}$) یعنی متمایل به قطب ژاروسیت $(KFe)_3(SO_4)_2(OH)_6$ در نظر گرفت زیرا فیروزه‌های منطقه حاوی اندکی آهن هستند (جدول ۵). در نهایت سولفات پتاسیم حاصل با هیدروکسیدهای آهن در تشکیل ژاروسیت شرکت می‌کند. رخداد ژاروسیت با رنگ حنایی و جلای ویژه در بیشتر موارد فیروزه را همراهی می‌کند.

$$2K_2SO_4 + 3FeOOH + 3H^+ = KFe^3(SO_4)_2(OH)_6 + 3K^+$$

گوئتیت ژاروسیت

برای رخداد رگچه‌ای این کانی می‌توان چنین پیشنهاد کرد که فیروزه ممکن است به خرج فسفر آزاد شده در محیط اسیدی و مستقل از آلونیت با حضور فاز کانیایی یا سیال غنی از آلومینیم در رگچه‌ها مطابق واکنش زیر شکل گیرد [۳۷]:

$$6Al(OH)_3 + 4H_3PO_4 + CuSO_4 = CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8.4H_2O + H_2SO_4 + H_2O$$

فاز غنی از آلومینیم تورکوئیس

**برداشت**

رخداد توام تورمالین و فیروزه در کوه زر از موارد کمیاب پیدایش کانی‌هاست. در این منطقه‌ی همپوشی دو گونه دگرسانی رخ داده است، که برآیند آن پیدایش این دو کانی در یک محیط است (شکل ۶).

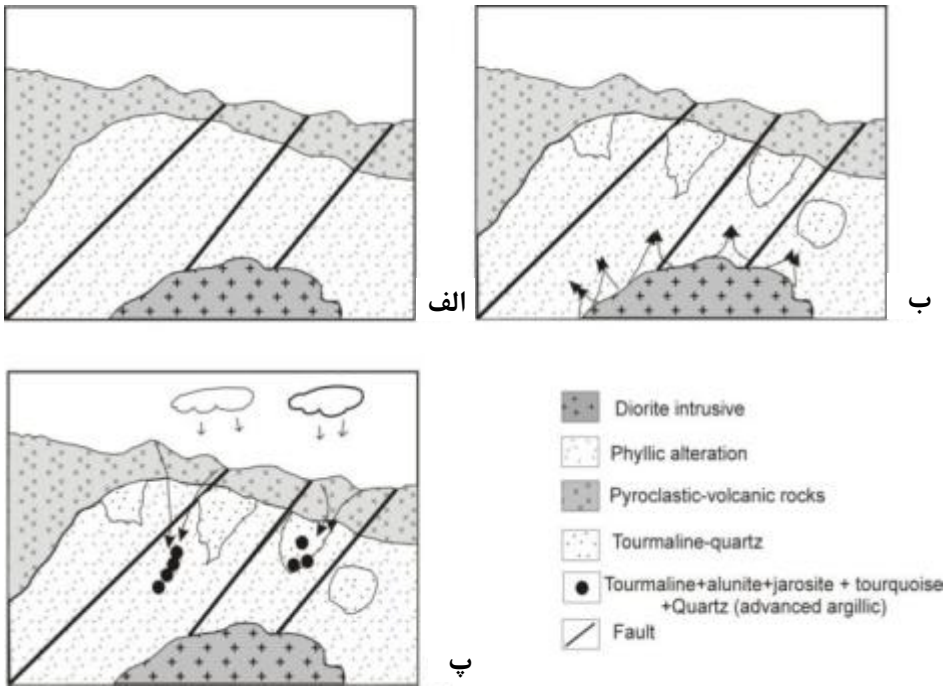
الف: دگرسانی کوارتز-سرسیت-پیریت یا فیلیک که به عنوان پهنه‌ی دگرسانی اصلی منطقه وجود داشته است. دگرنهادی بر از خاستگاه دگرگونی اعمال شده به‌وسیله‌ی توده‌های نفوذی منجر به پدیده تورمالین‌زایی بر پهنه دگرسانی فیلیک شده است. رخداد تورمالین که یک فاز سرشار از آلومینیم است، می‌تواند شاخص نوعی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته نیز باشد.

ب: دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با شاخص کانیایی آلونیت، فیروزه، ژاروسیت، کوارتز، مسکویت، کائولینیت. شاره‌های موثر این دگرسانی از خاستگاه اکسایش پیریت و سولفیدهای مس بوده‌اند که با ایجاد یک محیط فرونشست اسیدی بر پهنه‌ی فیلیک قبلی سازه‌های تشکیل فیروزه ($Al_2O_3$, $P_2O_5$, CuO) را فراهم کرده‌اند.

**جدول ۵** نتایج میانگین داده‌های ریزپردازشی فیروزه‌ی منطقه‌ی کوه زر و محاسبه کاتیونی آن.

| Oxide% | Tu-1 | Tu-2 | Tu-3 | Tu-4 | Tu-5 | Tu-6 | Tu-7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_2O_5$ | ۳۳٫۳۵ | ۳۴٫۴۰ | ۳۳٫۲۷ | ۳۳٫۳۲ | ۳۳٫۲۲ | ۳۳٫۳۷ | ۳۳٫۳۰ |
| $SiO_2$ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۷ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۷ |
| $Al_2O_3$ | ۳۶٫۹۲ | ۳۵٫۵۰ | ۳۶٫۹۰ | ۳۶٫۸۴ | ۳۶٫۹۱ | ۳۶٫۹۱ | ۳۶٫۷۰ |
| $Fe_2O_3$ | ۳٫۵۹ | ۴٫۰۳ | ۳٫۶۷ | ۳٫۶۴ | ۳٫۵۸ | ۳٫۶۶ | ۴٫۰۲ |
| CuO | ۸٫۳۰ | ۸٫۷۴ | ۸٫۹۱ | ۷٫۶۷ | ۷٫۸۳ | ۸٫۳۴ | ۸٫۷۱ |
| ZnO | ۰٫۵۰ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۸ | ۰٫۵۰ | ۰٫۴۹ | ۰٫۵۱ | ۰٫۴۹ |
| CaO | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۴ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ |
| $K_2O$ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ |
| BaO | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ |
| $Na_2O$ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ |
| $K_2O$ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ |
| $H_2O+$ | ۱۶٫۷۳ | ۱۶٫۳۰ | ۱۶٫۲۱ | ۱۷٫۵۰ | ۱۷٫۴۱ | ۱۶٫۷۸ | ۱۶٫۷۵ |
| F | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۶ |
| Cl | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۲ | ۰٫۰۳ |
| O=F | ۰٫۳۶ | ۰٫۳۷ | ۰٫۳۶ | ۰٫۳۵ | ۰٫۳۵ | ۰٫۳۷ | ۰٫۴۵ |
| O=Cl | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۰ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ |
| Total | ۱۰۰٫۰۵ | ۱۰۰٫۰۷ | ۱۰۰٫۱۶ | ۱۰۰٫۱۲ | ۱۰۰٫۰۷ | ۱۰۰٫۲۷ | ۱۰۰٫۷۷ |
| Number of cations on the basis of the 12 O | | | | | | | |
| P | ۳٫۶۹ | ۳٫۹۹ | ۳٫۹۸ | ۳٫۹۹ | ۳٫۹۷ | ۳٫۶۹ | ۳٫۹۹ |
| Si | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ |
| Al | ۵٫۹۵ | ۵٫۹۵ | ۵٫۹۵ | ۵٫۹۵ | ۵٫۹۵ | ۵٫۹۵ | ۵٫۹۴ |
| Fe | ۰٫۴۸ | ۰٫۴۹ | ۰٫۴۸ | ۰٫۴۸ | ۰٫۴۸ | ۰٫۴۸ | ۰٫۴۹ |
| Cu | ۰٫۸۲ | ۰٫۸۹ | ۰٫۹۴ | ۰٫۸۷ | ۰٫۸۸ | ۰٫۸۲ | ۰٫۸۱ |
| Zn | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ | ۰٫۰۶ | ۰٫۰۵ |
| Ca | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ |
| K | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ |
| F | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۳ | ۰٫۴۳ |
| Cl | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ | ۰٫۰۱ |
| OH | ۱۵٫۱۰ | ۱۵٫۵۵ | ۱۵٫۵۲ | ۱۶٫۷۱ | ۱۶٫۶۹ | ۱۵٫۱۱ | ۱۵٫۱۲ |

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]




**شکل ۶** مدل طرح گونه پیشنهادی برای پیدایش تورمالین-فیروزه کوه زر. الف. جای‌گیری توده‌ی نفوذی کوه زر و شکل گیری دگرسانی فیلیک به دنبال فرایند آتشفشانی-پیروکلاستیکی میزبان (کوارتز+ سرسیت+ کانی‌های سولفیدی). ب. هجوم شاره‌های ماگمایی و دگرگونی غنی از B، فروشست Al و در نهایت تورمالین‌زایی (تورمالین + کوارتز). پ. تخریب سولفیدها به‌وسیله‌ی آب‌های جوی، ایجاد محیط اکسایشی و اسیدی، فروشست شاره‌ها و در نهایت تشکیل فیروزه.

**قدردانی**

نویسنده این مقاله از حمایت‌های مالی کمیته‌ی پژوهشی دانشگاه شیراز در به انجام رساندن این پژوهش تشکر می‌کند.

**مراجع**

[۱] ولی زاده م.، جعفریان ع.، *"قرابتهای پتروژنتیک ولکانو-پلوتونیک کوه زر-ترود و ارتباط آن با متالوژنی در ناحیه"*، مجله علوم دانشگاه تهران ۲۰ (۱) (۱۳۶۸) ۲۱-۳۳.

[۲] قربانی ق.، وثوقی عابدینی م.، پورمعافی س. م.، *"سنگ شناسی، کانی شناسی و پتروژنز توده های نفوذی نوار ماگمایی ترود-چاه شیرین در جنوب دامغان"*، نشریه دانشکده علوم زمین، ۱۰ (۱۳۸۴) ۹۳-۱۰۰.

[3] Huber, Sctoclin, *"Geological report on the Toroud-Moaleman area"*, N. I. O. C. (1959)

[4] Helmahacker R., "*Die nutzbaren tagerstatten Persians"*, Z. Parket, Geology (1898) 40.

[۵] جعفریان ع.، *"بررسی پترولوژیکی قوس ولکانوپلوتونیک رشته کوه زر-ترود و انجمن های کانه زایی وابسته واقع در چهرگوش نقشه ترود (استان سمنان)"*، مجموعه مقالات دومین همایش زمین شناسی ایران (۱۳۶۸) ۱۱۵-۱۱۸.

[۶] نجاران م.، *"مطالعه ژئوشیمی و ژنز کانسار فیروزه باغو (دامغان)"*، رساله کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز، منتشر نشده ۱۵۱(۱۳۷۹).

[۷] احمدی شاد ا.، *"مطالعه کانی شناسی آلتراسیون و لیتوژئوشیمیایی طلای منطقه باغو (کوه زر دامغان)"*، رساله کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۷۶) ۲۰۰.

[۸] امینی ص.، رشیدنژاد ن.، مومن زاده م.، *"بررسی طلای پلاسری در رسوبات کواترنری ناحیه کوه زر-دامغان"*، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه)، (۱۳۷۹) مجله سیزدهم، شماره ۱، ۷۳-۹۶.

[۹] لیاقت س.، شیخی و.، نجاران م.، *"ژئوشیمی، و منشا کانسار فیروزه باغو ( دامغان)"*، *مجله پژوهشی دانشگاه تهران ۲ (۱۳۷۸) ۱۳۳-۱۴۵.*

[۱۰] قربانی ق.، قاسمی ح.، *"ژئوشیمی رگه کوارتز-تورمالین در توده گرانیتوئیدی باغو، دمغان، شمال خاور ایران"*، فصلنامه علوم زمین، سال ۱۸، شماره ۷۲، (۱۳۸۸) ۸۹-۹۶.

[۱۱] خلیلی خ.، مکی زاده م. ع.، *"رخداد تورمالین در معدن طلا-مس کوه زر (باغو) جنوب سمنان"*، مجله پترولوژی، سال سوم، شماره ۹، (۱۳۹۱) ۵۷-۷۰.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]

[۱۲] رضائیان ک.، نقره‌ئیان م.، مکی زاده م. ع.، *"زمین شناسی و منشا فیروزه در اندیس علی آباد ( تفت-یزد)"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان ۲ (۱۳۸۲) ۱۴۵-۱۵۸.*

[۱۳] اعتمادی ب.، خیرآبادی م.، *"مطالعه زمین شناسی و بررسی شیمیایی انواع کیفی فیروزه در معدن نیشابور*، چهارمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، بیرجند(۱۳۸۵).

[۱۴] هاشمی تنگستانی س.، *" بررسی زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز فیروزه در معدن مس پورفیری میدوک"*، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، واحد بین الملل (۱۳۹۰) ۲۶۳.

[۱۵] حسنی پاک ع. ا.، *"اکتشاف ذخایر طلا"*، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۸).

[16] Grew E. S., Anovitz L. M., "*Boron mineralogy, petrology and geochemistry"*, review in mineralogy (1997) 33.

[17] Slack J. F., Herriman N., Barnes R. G., Plimer I. R., *"Stratiform tourmalinites in metamorphic terrenes and their geologic significance"*. Geology 12(1985) 713-716.

[18] Nicholson P. M., "*The geology and economic significance of the Golden Dyke dome, Northern Territory. In Ferguson, J. and Goleby, A. B. (Eds.) Uranium in the Pine Creek geosynclines: Vienna, International Atomic Energy Agency*" (1980) 319-334.

[19] Henry D. J., Guidotti C. V., "*Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite grade metapelites of NW-Marine"*. American Mineralogist, 70 (1985) 1-15.

[۲۰] درویش زاده ع.، *"زمین شناسی ایران"*، انتشارات امیرکبیر، (۱۳۷۰) ۹۰۱.

[۲۱] رشید نژاد عمران ن.، *" بررسی تحولات سنگ شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی سازی طلا در منطقه باغو (جنوب –جنوب شرق دامغان)"*، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۷۰۱)۲۵۴.

[22] Shamanian G. H., Hedenquist J. W., Hattor H., Hassanzadeh J., "*The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic Arc, Semanan province, Northern Iran*", Economic geology 99 (2004) 691-712.

[۲۳] هوشمندزاده ع.، علوی نائینی م.، حقی پور ع.، *" تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه ترود ( از پرکامبرین تا عهد حاضر)"*، سازمان زمین شناسی کشور، (۱۳۵۷) ۱۳۸.

[24] Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J, *"The Interpretation of Igneous Rocks"*. George, Allen and Unwin, London (1979).

[25] Streckeisen A.L., *"Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks, IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks"*, Geol. Rundsch. (1980) 69, 194-207.

[26] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "*A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks"* Canadian Journal of Earth Sciences (1971) 8, 523–548.

[27] Winchester J. A., Floyd P. A., *"Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements"* Chemical Geology (1977) 20:325-343.

[28] Pichavant M., Manning D.A.C., *"Petrogenesis of tourmaline granites and topaz granites", contribution of experimental data* 35 (1984) 35-50.

[29] London D., Wolf M., Morgan G. B., *"Boron saturation in granitic magmas: Tourmaline-biotite-cordierite equilibria"*, Geology society of America 26 (1994) 516.

[30] London D., "*Formation of tourmaline- rich gem pockets in miarolitic pegmatites*", American Mineralogist (1986) 71 396-405.

[31] Lynch G., Ortega J., "*Hydrothermal alteration and tourmaline-albite equilibrium at the coxheath porphyry Cu-Mo-Au deposit, Nova Scotia*", The Canadian Mineralogist 35 (1977) 79-94.

[32] London D., Maning D.A., *"Chemical variation and significance of tourmaline from SW England. Economic Geology"* (1995) 90, 495-519.

[33] Hawthorne F.C., Henry D. J., *"Classification of the minerals of the tourmaline group. European Journal of Mineralogy"* (1999) 11, 201-215.

[34] Pirajno F., Smithies R.H., "*The FeO/FeO+MgO ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite related hydrothermal mineral deposits"*, Journal of Geochemical Exploration 42 (1992) 371-381.

[35] Romdor P., *"The ore minerals and their intergrowth"*, copy right Akademic-verlasBerlin (1984).

[36] Milovsky A.V., Kononov O.V., *"Mineralogy, English translation, Mir Publishers, Moscow"*, (1985) 320.

[37] Espahbod M.R., *"Le District minier de la mine de Turquoise de uhe madan (Neychabur, Iran): Mineralisation et caracteres geologiques, geochimiques et metallogeniques de luraniu, du cuivre et du molybdene"*, Ph.D. these presentee devant luniversite de Nancy I (1986) 191.

[ Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-24 ]