

## مطالعه پترولوژی، ژئوشیمیایی و ژئز فیروزه باغو-دامغان

ساسان لیاقت<sup>۱</sup>، وحیده شیخی<sup>۱\*</sup>، محسن نجاران<sup>۲</sup><sup>۱</sup>بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران<sup>۲</sup>سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، تهران، ایران

\*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: vahideh\_sheykhi@yahoo.com

(دریافت: ۸۶/۹/۱۷؛ پذیرش: ۸۷/۷/۴)

## چکیده

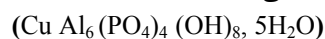
کانسار فیروزه باغو واقع در کمر بند آتشفشانی-نفوذی، ترو-چاه شیرین به سن ائوسن میانی تا میوپلیوسن است. واحدهای سنگ چینه ای منطقه شامل دو واحد رسوبی مارن دوظهیر و کنگلومرای فجن در زیر و تناوبی از سنگهای با ترکیب حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت، ریولیت، گرانودیوریت و داسیت می باشد که فیروزه به صورت رگچه ها و رگه هایی به ضخامت ۴ میلی متر تا ۱/۲ سانتی متر و همچنین به صورت دانه پراکنده در سنگهای گرانودیوریتی و داسیتی تشکیل شده است. به منظور دستیابی به یک مدل جامع در مورد تشکیل فیروزه در منطقه مطالعات صحرایی و ساختمانی، میکروسکوپی و پتروگرافی، ژئوشیمیایی، طیف فرسرخ IR و میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM صورت گرفت. مطالعات صحرایی و ساختمانی نشانگر پیروی ساختاری منطقه از الگوی شکستگی های برشی ریدل و جایگیری فیروزه در شکستگی های دارای مؤلفه فشارشی (P) می باشد. مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک و صیقلی حضور دو فاز کانه زایی هیپوژن و سوپرژن را به اثبات رسانید که در همین راستا عملکرد فاز کانه زایی سوپرژن در دو زون اکسیدان و غنی سازی ثانویه مشخص شد. پیریت، کالکوپیریت، گالن و طلا طی مراحل هیپوژن، هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت)، انگلزیت، کوپریت، مارکازیت، مالاکیت و آزوریت در زون اکسیدان و کوولیت و کالکوسیت در زون غنی سازی ثانویه تشکیل شده است. آنچه مسلم است فیروزه آخرین فاز کانه زایی در منطقه است چراکه رگه ها و دانه های پراکنده فیروزه تمام کانه زایی های پیشین را قطع کرده و یا به صورت میان بار در بر گرفته اند. مطالعات IR و SEM روند تدریجی تشکیل فیروزه از آلونیت و گرھک های آلومین دار را به اثبات رسانید. در نهایت بر اساس مطالعات صورت گرفته مدل تشکیل فیروزه در منطقه باغو ارائه شد.

واژه های کلیدی: باغو، فیروزه، گرانودیوریت، داسیت، آلونیت، ایران.

## مقدمه:

(Movvahed 1968). هوشمندزاده و همکاران ۱۳۵۷ به مطالعه زمین شناسی و ژئوشیمی محدوده ترو- باغو پرداختند. آن ها محدوده باغو را با روشهای IP و SP تحت اکتشاف ژئوفیزیکی قرار داده و در پایان دو محدوده اصلی مس را در دره بازارها (جنوب باغو) معرفی کرده است. در سال ۱۳۶۲ پور حسینی به مطالعه پترومنشاء توده های نفوی ایران پرداخت، که در این بررسی، ایشان احتمال ارتباط توده های نفوذی منطقه ترو- باغو با فاز ماگمایی ائوسن-پسین-لیگوسن را متذکر شد (جعفریان ۱۳۶۸). جعفریان در سال ۱۳۶۸ عنوان نمود که سنگهای آذرین محدوده ترو- باغو از نوع استوک ساب ولکانیک است و روند کانی سازی منطقه باغو در ارتباط با دگرسانی منطقه ای قابل پیگیری می باشد (جعفریان ۱۳۶۸). رشید نژاد (۱۳۷۱) در این محدوده به بررسی تحولات سنگ شناختی و ماگمایی و ارتباط آن با کانه سازی طلا پرداخته است (رشیدنژاد عمران ۱۳۷۱). نجاران (۱۳۷۹) مطالعاتی در مورد چگونگی تشکیل فیروزه و مراحل تکمیل آن ارائه داده است.

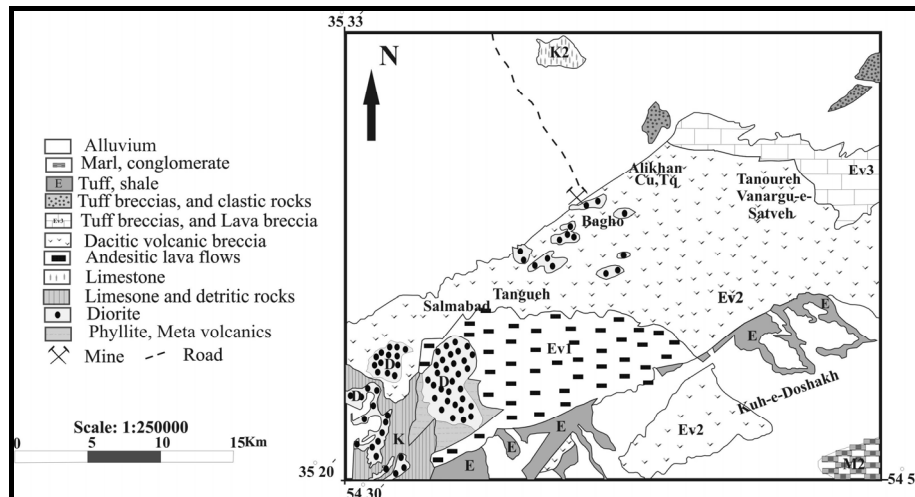
کانی فیروزه (Turquoise) با فرمول شیمیایی



از دیر باز به عنوان یک گوهر قیمتی مطرح بوده است. مهم ترین نوع فیروزه جهان، فیروزه ایرانی می باشد. از معادن مهم حال حاضر در ایران می توان به معدن نیشابور، باغوی دامغان، شهر بابک کرمان و یخ آب کاشمر اشاره نمود.

کانسار باغو واقع در ۹۰ کیلومتری جنوب خاور دامغان و در میان بروندهای آتشفشانی-نفوذی دامنه شمالی کوه ترو-چاه شیرین به سن ائوسن میانی تا میوپلیوسن واقع شده است (شکل ۱، درویش زاده ۱۳۷۰). عملیات استخراج در این معدن در ۴ تونل انجام گرفته است، فعالیت و استخراج هر یک از تونل ها بیشتر دنباله رو رگه های فیروزه بوده است. بر اساس آمار موجود تا سال ۱۳۶۷، ۸۰۵۰ کیلوگرم فیروزه از این کانسار استخراج شده و میزان ذخیره احتمالی باقی مانده آن ۴۰۵۷۰ کیلوگرم تخمین زده می شود (خاکزاد ۱۳۶۷). موحد اول (۱۹۶۷) به احتمال وجود مس پورفیری در این منطقه اشاره می کند

در منطقه مورد بررسی کانی سازی مس و سرب، و به مقدار کمتر روی



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.

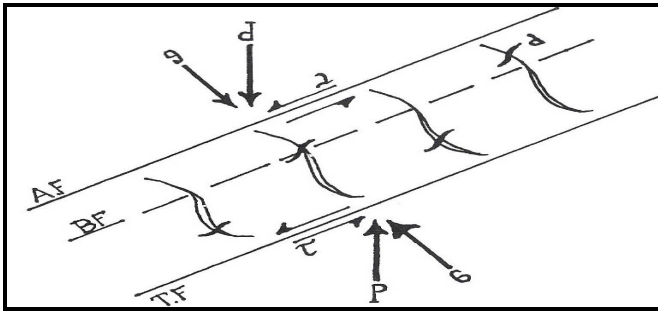
### زمین شناسی منطقه

رخنمون های منطقه باغو بخشی از کمان آتشفشانی-نفوذی ترشیاری است که بین دو گسل انجیلو در شمال و تروند در جنوب محدود شده‌اند. روند عمومی این برونزدها شمال خاور- جنوب باختر است (درویش زاده ۱۳۷۰). توالی سنگ چینه ای منطقه باغو به ترتیب از پائین به بالا شامل واحدهای رسوبی کنگلومرایی فجن (اوسن زیرین) و مارن دو ظهیر (لوتسین بالایی تا شروع اوسن بالایی)، توده های دیوریتی تا گرانودیوریتی و بندرت گرانیتی (اوسن پسین-الیگوسن) و دایک های بازیک و توده های نیمه عمیق پورفیری (میوپلیوسن) می باشد (جدول ۱). سنگهای آتشفشانی ترکیب آندزیتی داشته و به صورت توالی ضعیفی از توفها و گدازه های سبز-خاکستری تظاهر دارند که توسط توده های کوچک دیوریتی و گرانودیوریتی و دایک های مربوطه قطع شده‌اند (هوشمندزاده و همکاران ۱۳۵۷). واحد های آذرین تحت فرایندهای گرمایی به شدت دگرسان شده‌اند.

و منگنز به طور رگه ای در میان سنگهای آتشفشانی ترشیاری با ترکیب کالکوزین، مالاکیت، کوپریت-کالکوپریت، گالن و اسفالریت دیده می شود، که اکنون به شکل معادن متروکه در منطقه پراکنده اند. بطور کلی فیروزه باغو در مجاورت گرانودیوریت ها، آپلیت های گرانودیوریتی و داسیت ها دیده می شود، که به عنوان مهم ترین سنگ میزبان رگچه ها، رگه ها و دانه های پراکنده فیروزه محسوب می شوند. همچنین در سنگهای داسیتی و دیگر بخش های دگرسان شده منطقه، دانه های پراکنده فیروزه به چشم می خورد. کانی طلا و فیروزه در منطقه کوه زر (واقع در یال شمالی رشته کوه منطقه) در گذشته استخراج می شده است. کانی سازی مس، سرب و روی، فیروزه و طلا در داخل سنگهای آتشفشانی مذکور تشکیل شده است. در این پژوهش با استفاده از مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و پتروگرافی، آزمایشات ژئوشیمی، طیف IR و میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM سعی در ارائه یک مدل احتمالی تشکیل فیروزه در منطقه باغو گردیده است.

جدول ۱- ستون سنگ چینه نگاری منطقه باغو (درویش زاده ۱۳۷۰).

دایکهای داسیت پورفیری: قاطع توده میکرودیوریتی و گرانودیوریتی به رنگ زرد روشن تا صورتی با ساختار پورفیری با طول حدود ۷۰۰ متر و ۵ تا ۱۰ متر ضخامت. و شیب ۴۵ تا ۶۰ درجه به طرف جنوب شرقی. دایکهای آندزیتی به رنگ سبز و خاکستری-روند شمال شرقی-جنوب غربی با ضخامت ۵-۱۰/۵ و طول ۱۰/۱ متر تا بیش از ۸۰ متر.	میو-پلیوسن
توده نفوذی گرانودیوریتی قاطع توده میکرودیوریتی به رنگ خاکستری روشن تا صورتی، سنگ میزان رگه سیلیسی طلا دار و دارای انکلاوهای در توده میکرودیوریتی	اوسن پسین الیگوسن به بندرت گرانیتی (قاطع مجموعه پیروکلاسیک اوسن)
توده ها، دایکها و استوکهای میکرودیوریتی با روند شمال شرق-جنوب غرب با شیب ۴۵ تا ۴۰ به طرف جنوب شرق-	اوسن لوتسین بالایی تا شروع اوسن بالایی اوسن زیرین
سنگهای آتشفشانی پیروکلاستیکی (گدازه های داسیتی تا آندزیتی + برونزدهای موضعی از لاوا-برش واحد مارن دو ظهیر: مارن گچدار، ماسه سنگ و کنگلومرا (علوی نانینی ۱۹۷۲))	
افق کنگلومرایی فجن دارای نومولیت و دیسکوسیکلینانه	



شکل ۳: مدل تکتونیکی منطقه باغو (برگرفته از گزارش سازمان زمین شناسی ۱۳۵۱).

### روش کار

نمونه برداری از سنگهای دگرسان شده و تازه جهت مطالعات پتروگرافی و تجزیه عناصر اصلی و کمیاب انجام گرفت. بررسی پتروگرافی و مینرالوگرافی با استفاده از مقاطع نازک و صیقلی و با میکروسکوپ پتروگرافی در دانشگاه شیراز صورت پذیرفت. در تکمیل مطالعات فوق، تعداد ۱۵ نمونه از سنگ های منطقه برای مطالعات XRD مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی ۲۲ نمونه از منطقه به روش شیمی تر در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه شیراز مورد تجزیه قرار گرفتند. علاوه بر آن برای مطالعات عناصر خاکی نادر (REE) و عناصر کمیاب تعداد ۹ نمونه به صورت سیستماتیک از کلیه توده های نفوذی و خروجی انتخاب و به روش فعال سازی نوترونی و توسط آزمایشگاه راکتور مینیاتوری اصفهان تجزیه شدند. آزمایش طیف IR از کانی فیروزه به منظور اثبات روند تدریجی تبدیل آلونیت به کانی فیروزه مورد استفاده قرار گرفت و نهایتاً مطالعات SEM به وسیله دستگاه Leica Cambridge مدل Stereo Scan در بخش مواد دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز صورت پذیرفت (نجانان ۱۳۷۹).

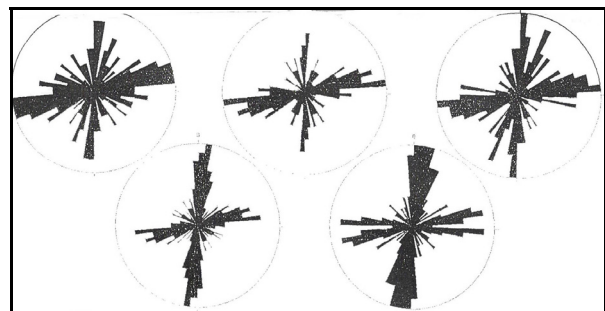
### پتروگرافی سنگ های آذرین منطقه

در بررسی پتروگرافی بیش از ۳۰ مقطع نازک از سنگهای منطقه که به طور سیستماتیک از قسمت های مختلف توده های سنگی و همبری آن ها برداشت شده بود، مورد مطالعه قرار گرفته اند. پس از بررسی، مهم ترین سنگ های بیرونی شامل آندزیت، داسیت و ریولیت، و مهم ترین سنگ های درونی شامل دیوریت، کوارتز دیوریت و گرانودیوریت تشخیص داده شدند. آندزیت سنگ غالب در منطقه را شامل می شود و اغلب دارای ساختار پورفیری تا میکروپورفیری اند. فلدسپات غالب در آنها از نوع پلاژیوکلاز آندزین-الیگوکلاز می باشد که اغلب به صورت خودشکل می باشد. زونینگ در اغلب آنها مشاهده شده و فرایندهای سرسیتی شدن به طور گسترده و کربناتی شدن و سوسوریتی شدن با شدت کمتر در آنها اثر کرده است. بلورهای آمفیبول و بیوتیت اکثراً به اکسیدهای آهن و کلریت تجزیه شده اند. از کانی فرعی آندزیت می توان

### زمین ساختاری منطقه

جهت شناسایی چگونگی تشکیل کانسار، حدود ۲۰۰ درزه در پیمایش های مختلف، از زون های دگرسانی، دایک های پورفیریک و نیز توده های دیوریتی-گرانودیوریتی و از رگه های دارای کانه زایی و فاقد آن برداشت گردید و سپس بر روی نمودارهای گلسرخی توجیه شد و وضعیت ساختمانی و نحوه توزیع درزه ها (الگوی درزه ای) مورد مطالعه ساختاری و بافتی قرار گرفت (نجانان ۱۳۷۹). برطبق این مطالعات درزه های منطقه را می توان به دو نوع درزه های تکتونیکی منظم و نامنظم تقسیم کرد. به دلیل اینکه سنگهای منطقه آذرین نفوذی می باشند و این سنگها، در واکنش به نیروهای زمین ساختی دارای مقاومت ژئومکانیکی بالایی هستند، دچار شکستگی های فراوان گردیده اند که از نظم تکتونیکی برخوردار می باشند. به علاوه بر اثر انقباض ناشی از سرد شدن این سنگها، شکستگی های نامنظمی به وجود آمده است.

پس از بررسی درزه های منظم بر روی نمودار گلسرخی آثار دو تمرکز عمده به مختصات 55SE، N65E و 75SE در این نمودار قابل تشخیص است (شکل ۲). این دو سیستم کم و بیش به موازات گسله باغو و متأثر از آن بوده و با یکدیگر حالت مزدوج را تشکیل می دهند. این دو روند اصلی درزه، در بیشتر جاها با کانه زایی فیروزه همراه است. همچنین در تمامی نمونه های آزمایشگاهی و طبیعی راستای لغزش برای شکستگی های P، R و Y همانند گسل پی سنگی اصلی است و برای شکستگی های برشی R مخالف آن است. با توجه به شکل ۳ گسل های تروود و باغو به عنوان اصلی ترین و مهم ترین گسل های منطقه مورد مطالعه، به گونه ای نسبت به یکدیگر جهت گیری کرده اند که موجب ایجاد یک پهنه برشی چپگرد در منطقه شده اند. برداشت مشخصات هندسی و مکانیزم گسلها و شکستگی های ثانویه در این پهنه برشی (بر اساس مطالعات درزه نگاری)، تطابق کامل آنها با گسلها و شکستگی های R، R'، P، T و Y موجود در پهنه های برشی به اثبات می رساند. همین مطالعات بر روی درزه های دارای کانه زایی، نشانگر تطابق کامل بین درزه های دارای کانه زایی و شکستگی های گروه P (دارای مؤلفه فشارشی) است.



شکل ۲: نمودارهای گلسرخی درزه های منطقه باغو.

جدول ۲: نتایج آنالیز نمونه های مورد مطالعه به روش پراش اشعه ایکس

(XRD)

Sample.No	Mineral Assemblage	Results
B1	Chlorit+Epidote+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B2	Qz+Sericite+Pyrite	Sericite
B3	Clay Minerals(Kaolinite, Alunite)	Argilic
B4	Clay Minerals(Kaolinite, Alunite)	Argilic
B5	Chlorit+Epidote+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B6	Chlorit+Epidote+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B7	Qz+Sericite+Pyrite	Sericite
B8	Qz+Sericite+Pyrite	Sericite
B9	Epidote+Chlorite+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B10	Clay Minerals(Kaolinite, Alunite)	Argilic
B11	Qz+Sericite+Pyrite Mino(Chl+Cal+Epi)	Sericite+Propylitic
B12	Clay Minerals(Kaolinite, Alunite)	Argilic
B13	Epidote+Chlorite+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B14	Qz+Sericite+Pyrite	Sericite
B15	Qz+Sericite+Pyrite	Sericite

دگرسانی پروپلیتیک با فاصله از توده گرانودیوریت و بیشتر در سنگهای آندزیت توسعه یافته است. این دگرسانی در منطقه همراه با کلریتی شدن، اپیدوتی شدن، کربناتی شدن و نیز تشکیل کانی های اپاک ثانویه (بیشتر پیریت) می باشد. دگرسانی آرژیلیک با توسعه کانی های رسی بر اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و فلدسپات های پتاسیک همراه است. دگرسانی موجود در منطقه باغو از نوع آرژیلیک پیشرفته می باشد. زیرا کانی های سرسیت، کوارتز، تورمالین و آلونیت با کانی های رسی (به طور معمول) همراهند. آلونیتی شدن یک محصول ثانویه دگرسانی آرژیلیک است، که به دلیل گسترش زیاد آن در منطقه و اهمیت در تشکیل فیروزه به عنوان دگرسانی مجزا در منطقه باغو در نظر گرفته می شود. به طور کلی این دگرسانی تحت تاثیر فرایند های گرمایی-متاسوماتیک و تاثیر آبهای جوی به وجود می آید. با توجه به مطالعات میان بارهای سیال در رگه های کوارتز بخشهای آلونیتی، به نظر می رسد که فرایندهای گرمایی-متاسوماتیک در تشکیل این دگرسانی بی تاثیر نبوده است. اما گسترش زیاد آن در سنگهای منطقه (به ویژه گرانودیوریت، ریولیت و داسیت) تاثیر فرایندهای جوی را روشن می سازد. از طرفی وجود گرھک های آلونیت که در مطالعات XRD مشخص شده است (خاکزاد ۱۳۶۷)، نشان داد که فرایندهای جوی نظیر محلول های گوگرد دار قلیایی همراه با آبهای اکسید کننده روی زمین و تاثیر آنها بر سنگ های حدواسط-اسیدی نقش مهمی بر تشکیل آلونیت منطقه باغو داشته اند. مهمترین محصولات آلونیتی شدن، کانیهای آلونیت یا زاج سفید  $KAl_8(OH)_6(SO_4)_2$ ، ژاروسیت  $KFe(OH)_6(SO_4)_2$ ، زاج پتاسیم دار  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  و ناتروالونیت  $NaAl(OH)_6(SO_4)_2$  است. دگرسانی سرسیت با حضور کانی های

به تورمالین اشاره کرد. سنگهای داسیت، عموماً دارای ساختار پورفیری می باشند و به طور وسیعی آرژیلی و سرسیتی شده اند. پلاژیوکلازهای خودشکل سرسیتی شده و کلسیتی شده، و آمفیبول های تجزیه شده به اکسیدهای آهن و کلریت از کانی های بارز در این سنگها میباشد. منشورهای سوزنی تورمالین، که گاه تا ۲۰٪ حجم سنگ را در بر می گیرد، در مقطع دیده می شود. زمینه سنگ نیز شامل ریز بلورهای کوارتز، سوزن های آمفیبول، اپیدوت، کلریت، سرسیت، کلسیت، مسکویت، کانیهای اپاک، اکسید آهن و ریز بلورهای آپاتیت است. ریولیت ها نیز به مانند دیگر سنگهای خروجی دارای بافت پورفیری می باشند. فنوکریست های خودشکل پلاژیوکلاز با ساختارهای دو قلوبی آلبیت تحت تاثیر فرایندهای دگرسانی و هوازدگی، به طور گسترده سرسیتی و آرژیلی شده اند.

در سنگهای دیوریتی پلاژیوکلازهای خودشکل بیش از ۴۰٪ سنگ را در بر می گیرند. دگرسانی دیوریتها شامل سرسیتی شدن و تجزیه آمفیبول ها به اکسیدهای آهن و کلریت می باشند. در مقاطع نازک از سنگ دیوریت علاوه بر کانی های گفته شده کانی های اپاک، اکسیدهای آهن و اسفن ملاحظه گردید. گرانودیوریت داری ساختار غالب دانه ای بوده و کوارتز حدود ۱۰٪ سنگ را در بر می گیرد. پلاژیوکلازهای خودشکل حدود ۵۰٪ در این سنگها و دارای انکلوزیون هایی از آپاتیت می باشند. کانی بیوتیت دارای میانبارهایی از آپاتیت و زیرکن می باشد. تورمالین زایی که به طور معمول در مجاورت رگه های کانه زایی تحت تاثیر عملکرد سیالات کانه ساز با کوارتز دیوریت رخ داده است، از دیگر شاخص های این سنگها می باشد. تفکیک کوارتز دیوریت از گرانودیوریت به دلیل مرز تدریجی آنها، در مطالعات صحرایی بسیار مشکل است. سنگهای گرانودیوریت -گرانیتی، توده نفوذی دیوریتی را قطع نموده و به عنوان اصلی ترین میزبان رگچه ها و رگه های فیروزه به حساب می آیند. از بلورهای کوارتز خردشده - پلاژیوکلازهای حدواسط تا اسیدی (الیگوکلاز-آلبیت) آرژیلی شده، سرسیتی شده، و سوسوریت شده - بیوتیت هایی که از حاشیه به کانی های کلریت و مسکویت دگرسان شده و دارای انکلوزیون های آپاتیت - آمفیبول های دگرسان شده به اپیدوت، کلریت و بیوتیت، و فلدسپات های آلکان، و از کانی های فرعی اسفن و زیرکن تشکیل شده اند.

### مطالعات دگرسانی

به منظور مطالعه دگرسانی در منطقه باغو، حدود ۲۰ نمونه مقطع نازک از سنگهای دگرسان شده منطقه تهیه شده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار گرفتند. از طرفی مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) بر روی ۱۵ نمونه از سنگهای دگرسان شده منطقه نیز صورت پذیرفت که تأییدکننده مطالعات میکروسکوپی می باشد (جدول-۲). با توجه به مطالعات فوق دگرسانی ها به شرح ذیل می باشند:

در امتداد سطوح رخ و در حاشیه گالن نیز مربوط به زون اکسایش می باشد (Romdor 1984).

کانی زایی در زون غنی سازی ثانویه: این زون، مابین زون اکسایش (در بالا) و زون کانه زایی هیپوژن (در پائین) قابل شناسایی است. کانی های سولفیدی سوپرژن مس که در این زون تشکیل شده اند شامل کولیت و کالکوسیت می باشد. در بسیاری از مقاطع جانیشینی حاشیه ای کانی کالکوپیریت و کولیت مشاهده می گردد.

مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که کانی فیروزه در اکثر موارد بصورت نهان بلور تا آمورف است و ساختار ریز کره ای (Spheroidal) در آن بخوبی دیده می شود. آنچه بیش از همه در مقاطع آشکار است، حضور فیروزه بصورت شکافه پرکن و بعنوان آخرین فاز کانه زائی است. از طرفی دانه و قلوه های پراکنده فیروزه نیز کانیهای دیگر را بصورت میانبار محصور کرده است. در بسیاری از نمونه های ناخالص فیروزه هاله های صورتی رنگی با حاشیه ای تدریجی در متن این کانی دیده می شود. این هاله های صورتی رنگ کانی آلونیت غنی در K می باشد. آزمایشات خوردگی شیمیایی (Etching) با اسید کلریدریک (با غلظت های مختلف ۵٪ تا ۳۰٪) نشاندهنده ساختارهای منطقه ای و لایه ای در کانی فیروزه است که دلالت بر تشکیل تدریجی فیروزه دارد. مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که هر چه رنگ فیروزه به آبی نزدیک تر می شود از میزان آغشتگی هیدروکسیدهای آهن اطراف آن کاسته میشود، که بدلیل ورود کاتیون آهن به چرخه تشکیل کانی فیروزه می باشد، بطوریکه هرچه میزان کاتیون آهن در فیروزه بالاتر رود رنگ فیروزه به آبی متمایل تر می گردد.

### مطالعات ژئوشیمی

#### عناصر اصلی

به منظور درک صحیح رخداد فرایندهای مختلف کانه زایی در منطقه باغو، لزوم شناخت دقیق تر توالی سنگ شناختی در منطقه، بررسی سری های ماگمایی و توزیع عناصر در سنگهای منطقه، ۲۲ نمونه از سنگهای درونی و خروجی منطقه انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفتند که نتایج در جدول ۳ و ۴ ملاحظه می گردد.

پس از بررسی نمونه ها در نمودار ویلسون (۱۹۸۹)، انطباق کلیه نمونه ها در گستره دیوریت و گرانیت (سینودیوریت، دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) ملاحظه گردید (شکل ۴A). سنگ های خروجی نیز بر روی نمودار پیرس وکن (۱۹۷۳)، منطبق شده و در منطقه آندزیت تا داسیت (آندزیت، تراکی آندزیت، ریوداسیت و داسیت) قرار گرفتند (شکل ۴B).

بر اساس جدول ۳ و ۴ کلیه سنگ های منطقه، میزان تقریباً بالای  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$  و  $FeO$  را دارا بوده و بالاتر بودن  $P_2O_5$  در توده های نفوذی نسبت به سنگهای خروجی نشان دهنده اسیدی تر بودن چنین

سرسیت به همراه مقداری کوارتز و پیریت مشخص می شود. دگرسانی سرسیتی در منطقه باغو به مقدار زیادی در ارتباط با رگه های کانه زایی مس و طلا و نزدیک به توده گرانودیوریت است. دگرسانی پتاسیک با ظهور فلدسپات های پتاسیک جدید و بیوتیت ثانویه مشخص می شود. بیوتیت ثانویه به صورت دانه پراکنده و کوچک در متن سنگ یا به اشکال مجازی آمفیبول ملاحظه می گردد. بیوتیت در نزدیکی همبری بین آندزیت و توده گرانودیوریت و حاشیه رگه های مس و طلا دار مشاهده می شود.

### مطالعات کانه زایی

بر اساس مطالعات انجام شده، در مجموع می توان کانه زایی منطقه مورد مطالعه را به دو زون هیپوژن و سوپرژن تقسیم کرد.

کانه زایی در زون هیپوژن: مطالعات نشان می دهد کانه زایی هیپوژن که شامل کانه زایی مس و طلا در منطقه باغو می باشد، در اثر نفوذ محلول های گرمایی در زون های گسلیده و برشی، به وقوع پیوسته است. وسعت زون های برشی موجود که حاصل نیروهای برشی حاکم بر منطقه می باشد از عمق به سطح افزایش می یابد. گرچه نمی توان از نقش فشار هیدرواستاتیکی محلول های گرمایی نفوذکننده نیز غافل بود. فرایندهای کانه زایی هیپوژن که در منطقه باغو از الگوی رگه ای پیروی می کند، عمدتاً به صورت شکافه پرکن (Open space filling) عمل کرده است که دارای ساختار داخلی لایه ای ریتمی (Rhythmic banding structure) و ساخت تاج خروسی (Comb structure) می باشد. از مهم ترین کانه های زون هیپوژن می توان به پیریت، کالکوپیریت، گالن، دانه های پراکنده طلا و آرسنوپیریت اشاره کرد.

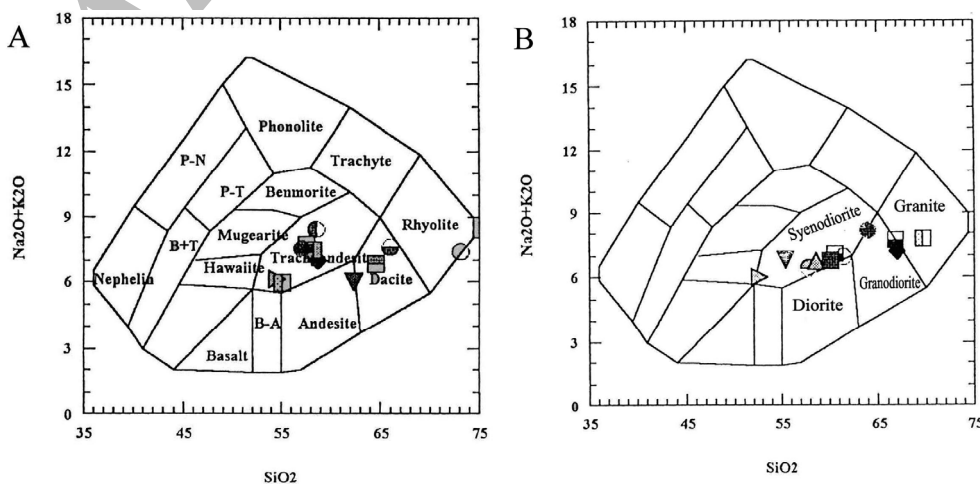
کانه زایی در زون اکسیدان: به دلیل کنترل های ساختاری و رگه ای بودن کانی سازی باغو که کلا در امتداد زون های برشی و گسله صورت گرفته است، آب های جوی به راحتی تا اعماق زیاد نفوذ کرده و زون های مینرالیزه اولیه (پیریت، کالکوزیت و گالن) را تحت تاثیر قرار داده و تشکیل اکسیدهای آبدار (گوتیت، لیمونیت و لپیدولیت)، کربنات های مس دار (آزوریت و ملاکیت)، کوپریت و تیغه های هماتیت داده است. شاید بتوان هماتیت را به عنوان مهم ترین حاصل فرایندهای زون اکسایش در نظر گرفت. مطالعات میکروسکوپی نشانگر همجواری کانی هماتیت به صورت سوزنی و تیغه ای و به فرم ساختار جعبه ای (Boxwork structure) با قطعات برشی و رگه ها (شامل مس، طلا و رگه های فیروزه) می باشد. وجود ساختار جعبه ای از شواهد عمده تاثیر فرایندهای هوازدگی و تشکیل ثانویه کانه می باشد (Craig & Vaughan 1981). در پاره ای از مقاطع نیز جانیشینی هیدروکسیدهای آهن به جای پیریت و با یک ساختار قلوه ای (Colloform structure) مشاهده می شود. این ساختار نیز از شواهد تشکیل ثانویه هیدروکسیدهای آهن در زون اکسایش می باشد. تشکیل کانی انگلزیت

جدول ۳: نتایج شیمی تر نمونه سنگ های خروجی منطقه باغو.

نمونه (%)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
SiO2	۵۲/۴۸	۶۰/۱۸	۵۷/۰۲	۶۴/۳۲	۵۸/۷۳	۵۷/۴۶	۵۴/۱	۶۴/۵۹	۵۸/۲۱	۵۸/۵۷	۷۳/۱
TiO2	۰/۶۸	۰/۳۶	۰/۷۴	۰/۴۵	۰/۶	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۶۷	۰/۱۷
Al2O3	۱۷/۰۲	۱۵/۲۶	۱۶/۰۴	۱۵/۶۹	۱۵/۹۸	۱۶/۱۲	۱۷/۰۳	۱۷/۶۲	۱۷/۸۹	۱۷/۵۷	۱۶/۳۴
Fe2O3	۲/۹۷	۵/۹۲	۳/۸۹	۱/۸۴	۳/۱۴	۳/۳۲	۳/۳۱	۲/۱۵	۲/۲۷	۲/۴۲	۱/۵۶
FeO	۴/۵۱	۰/۴۳	۲/۶۴	۲/۰۶	۳/۰۶	۳/۲۸	۴/۰۴	۱/۹۵	۵/۱۶	۴/۵۴	۰
MnO	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۴
MgO	۵/۲۱	۰/۵۶	۳/۶۴	۱/۹۹	۳/۵۳	۲/۶۵	۵/۰۰	۱/۴۹	۴/۱۱	۴/۱۷	۰/۵۱
CaO	۵/۳۷	۰/۷۶	۶/۱۸	۱/۰۹	۵/۹۳	۴/۷۸	۶/۴	۴/۷۶	۴/۴۹	۳/۲۹	۰/۸۵
Na2O	۴/۳۲	۰/۶۱	۴/۲۱	۳	۳/۹	۳/۶۹	۳/۴۲	۲/۷۲	۳/۶۴	۴/۱۳	۳/۸۵
K2O	۱/۷۹	۵/۳۷	۳/۲۵	۴/۵۷	۳/۱	۳/۹۹	۲/۵۱	۴/۰۹	۳/۷۶	۴/۲۳	۳/۵۱
P2O5	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳	۰/۰۸	۰/۳	۰/۲۴	۰/۰۷
H2O	۲/۴۳	۳/۳۴	۰/۸۸	۲/۱۵	۰/۸	۱/۲۶	۱/۴۳				
LOI	۲/۷۳	۶/۷۸	۰/۸۳	۲/۵۲	۰/۸	۱/۲۲	۱/۵۸				
نمونه (ppm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
Sr	۸۴۰	۶۸۶	۱۱۱	۲۱۷	۹۲۸	۸۸۷	۷۵۳				
Rb	۴۷	۱۹۸	۹۰	۲۲۰	۱۰۰	۱۰۳	۷۱				
Zr	۱۰۸	۹۷	۱۵۵	۱۴۵	۱۲۹	۱۳۲	۱۰۱				
Nb	۲۳	۲۱	۲۷	۳۰	۲۴	۲۵	۲۳				

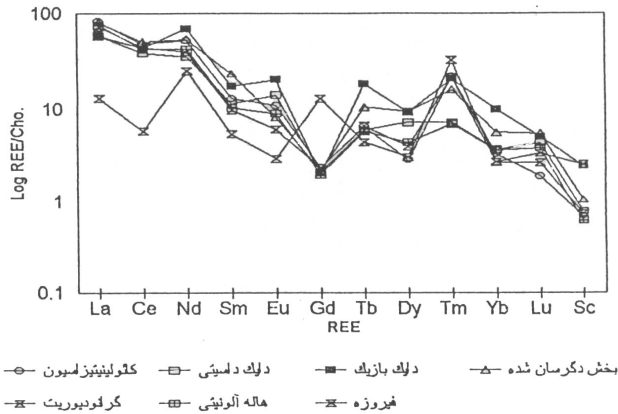
جدول ۴: نتایج شیمی تر نمونه سنگ های درونی منطقه باغو.

نمونه (%)	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11
SiO2	۶۵/۴۵	۶۰/۵۸	۶۱/۹۱	۵۴/۷۹	۶۵/۰۱	۶۵/۱۲	۶۸/۶۶	۵۶/۵	۵۸/۰۸	۵۲/۶۹	۵۵/۳۱
TiO2	۰/۸۳	۳/۶۶	۰/۵۲	۰/۷۸	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۹۱
Al2O3	۱۶/۹۱	۱۵/۴۵	۱۵/۲۳	۱۵/۵۵	۱۵/۱	۱۵/۲	۱۴/۲۲	۱۶/۷۴	۱۶/۵۱	۱۶/۷	۱۸/۴۳
Fe2O3	۲/۵۳	۲/۸۷	۲/۲۹	۲/۶۸	۱/۵۸	۱/۸۳	۱/۱۸	۳/۵	۲/۴۷	۲/۵۹	۲/۶۳
FeO	۴/۲۴	۲/۷۷	۲/۱۳	۳/۶۴	۱/۷۸	۱/۷	۱/۳۵	۲/۸۳	۲/۸۳	۳/۷۶	۴/۴۸
MnO	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۰۶
MgO	۱/۴۳	۳/۲	۲/۲۲	۵/۱۹	۱/۹۲	۱/۹۲	۱/۳۵	۳/۵	۳/۴۱	۵/۳۲	۳/۸۵
CaO	۲/۲۹	۴/۶	۳/۰۴	۵/۹	۲/۸۴	۲/۶۲	۲/۹۴	۵/۷۷	۵/۴	۲/۵۶	۷/۴
Na2O	۴/۱۹	۴/۵	۴/۲۴	۳/۴۴	۳/۳۲	۴/۰۹	۳/۹۹	۴/۵۹	۳/۷۲	۳/۲۹	۱/۸۸
K2O	۱/۷۱	۲/۵۴	۳/۹	۲/۹۴	۳/۸۳	۳/۵۷	۳/۸۵	۲/۱۵	۳/۰۱	۲/۷	۰/۲۸
P2O5	۰/۴	۰/۴	۰/۲۴	۰/۴۳	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۳۳	
H2O		۱/۱	۱/۴۵	۱/۳۶	۱/۱۳	۱/۳۳	۰/۵۶	۰/۷۸	۰/۹۹		
LOI		۱/۱۹	۲/۰۴	۱/۴۱	۱/۲۲	۱/۱۷	۰/۴۵	۰/۸۴	۱/۲۱		
نمونه (ppm)	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11
Sr		۸۵۷	۵۶۹	۷۸۴	۵۴۵	۶۲۸	۵۰۶		۸۰۹		
Rb		۷۶	۱۰۰	۹۶	۱۲۰	۱۰۹	۱۱۳		۹۴		
Zr		۱۲۵	۱۴۹	۱۱۲	۱۳۵	۱۹۳	۱۴۶		۱۵۰		
Nb		۲۸	۲۹	۳۰	۲۹	۳۰	۲۹		۲۷		

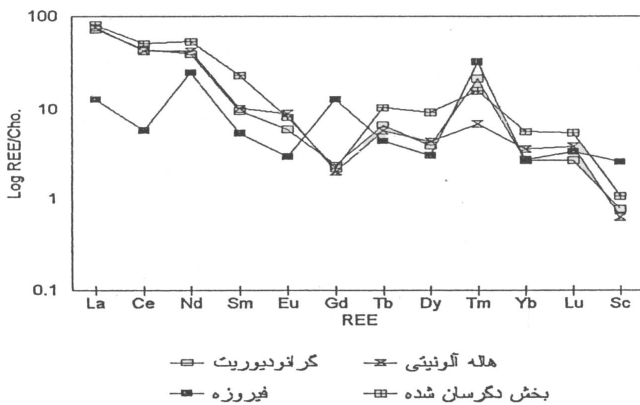


شکل ۴: رده بندی سنگ های درونی (A) ویلسون، ۱۹۸۹ و آتشفشانی (B) منطقه باغو (پیرس و کن، ۱۹۷۳).

(Clark 1996; Brookins 1989; Henderson 1984).



شکل ۶: روند تغییرات REE در کلیه سنگهای منطقه فیروزه.



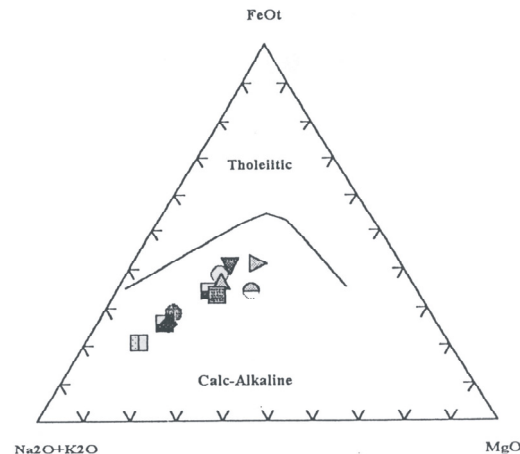
شکل ۷: مقایسه روند تغییرات REE در فیروزه، گرانودیوریت، هاله آلونیتی و بخش دگرسان شده.

کاهش عنصر Ce در کانی فیروزه به نسبت هاله های دگرسانی را می توان به حاکم بودن شرایط هوازدگی در زمان تشکیل فیروزه نسبت داد. از طرفی افزایش Gd را به تجزیه آپاتیت ماگمایی و تشکیل آلومینوسیلیکات ثانویه که جاذب عناصر خاکی نادر سنگین اند، مرتبط دانست. از طرفی روند رو به افزایش عنصر Tm با افزایش روند دگرسانی و هوازدگی، نشانگر این است که عناصر خاکی نادر سبک، ضمن حاکمیت فرایندهای هوازدگی و در نتیجه محیط اسیدی از محیط شسته و از طرفی عناصر خاکی نادر سنگین ترجیحا در کمپلکس های ثانویه جذب شده اند. همچنین می توان نتیجه گرفت که کاهش غلظت LREE ها، باعث اعشاری شدن نسبت LREE/HREE در کانی فیروزه شده است.

#### طیف سنخ فرو سرخ (IR)

تقریباً تمام ترکیبات آلی یا معدنی که پیوند کووالانسی دارند، فرکانسهای متفاوتی از پرتو الکترومغناطیس را در ناحیه فروسرخ طیف

توده هایی می باشد، گرچه میزان  $P_2O_5$  در کلیه سنگهای منطقه تقریباً بالا است. به منظور بررسی سری سنگ های آذرین از دیگرام ارائه شده توسط Irvine & Baragar (1971) استفاده شد. این دیگرام بر اساس درصد وزنی آلکالی ها ( $Na_2O+K_2O$ ) و اکسیدهای آهن ( $FeO_t$ ) و منیزیم ( $MgO$ ) رسم شده است. بر این اساس نمونه های مورد مطالعه از روند تفریق ماگمایی کالک-آلکانل تبعیت می کنند (شکل ۵).



شکل ۵: نمودار AFM برای تعیین محدوده های تولیتی و کالک آلکانل (Irvine & Baragar 1971).

#### عناصر کمیاب

به منظور مطالعه REE تعداد ۹ نمونه به روش فعال سازی نوترونی مورد تجزیه قرار گرفتند. برای سهولت مقایسه عناصر REE و نمودارهای ترسیمی، REE ها نسبت به کندریت استاندارد بهنجاریده شده اند. پس از مطالعه روند تغییرات REE برای هر یک از نمونه ها و همچنین مقایسه روند تغییرات در فیروزه و سنگهای منطقه (شکل ۶-۷)، مشخص می شود که روند تغییرات REE در کانی فیروزه و سنگهای دگرسان شده منطقه (کاتولینیتی شدن، آلونیتی شدن و ...) تقریباً یکسان است، جز در مورد عناصر Ce و Gd. از طرفی میزان عنصر Tm نیز به طور محسوسی در نمودارهای مقایسه ای، به ترتیب از هاله های دگرسانی آلونیتی شدن، کاتولینیتی شدن به کانی فیروزه افزایش نشان می دهد (شکل ۷).

با توجه به مطالعات بورکینز (1983) و کلاُرك (1996)، عنصر Ce ضمن شرایط اکسایشی اغلب رفتاری متفاوت از دیگر REE ها نشان می دهد و ممکن است در افق های اولیه باقی بماند. این بدین معنی است که Ce تحت شرایط اسیدی نمی تواند تشکیل کمپلکس جدید بدهد و در نتیجه یا در همان کمپلکس قبلی باقی می ماند و یا اینکه پس از شستشو در هیچ کمپلکس جدیدی وارد نمی شود و بنابراین میزان آن در محصولات محیط اسیدی کاهش آشکار نشان می دهد



جدول ۵: مقایسه کمی طیفهای جذبی فروسرخ آلونیت استاندارد و فیروزه

های نابالغ و بالغ منطقه باغو.

S.S. of Allunite	IMT of Baghoo	MT of Baghoo
3500	3505	3510
----	3460	3450
----	3300	3095
3105	3100	----
2325	----	----
2200	----	----
2145	----	2000
----	----	1650
1655	1650	----
1520	----	----
1435	----	----
1220	----	1100
1110	1100	1070
1085	1075	1015
1030	1020	905
----	910	----
----	850	840
----	785	780
670	660	665

### بحث و نتیجه گیری

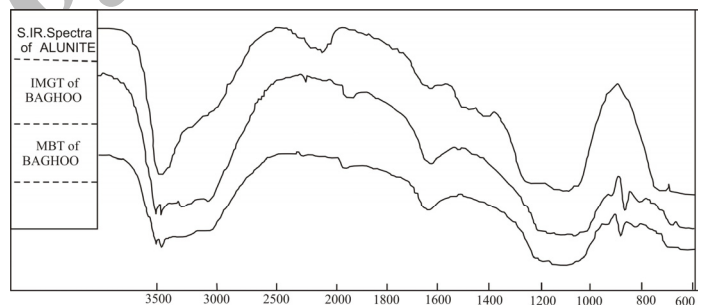
رخنمون های باغو، بخشی از کمان آتشفشانی-نفوذی ترشیری می باشند. تناوب سنگ شناختی منطقه از بازی تا اسیدی متغیر بوده و شامل انواع بازالت، دیوریت، آندزیت، گرانودیوریت و ریولیت تا گرانیت می باشد. از مهم ترین شاخص های منطقه رخداد گسترده انواع دگرسانی از جمله سرسیتیک، آرژلیک، پروپیلیتیک و شاید پتاسیک در اعماق (؟) و در همین راستا گسترش کائولینیتی شدن و آلونیتی شدن می باشد که بر پایه مطالعات میکروسکوپی و XRD حضور آن ها به اثبات رسید. کانسار فیروزه باغو به صورت رگچه ای و رگه ای و نیز به شکل دانه های افشان و در داخل توده های گرانودیوریت و داسیت دگرسان شده (به خصوص آلونیتی شده) است.

در مطالعات کانی شناسی وقوع دو زون کانه زایی اولیه یا هیپوزن و ثانویه یا سوپرزن تشخیص داده شد.

به دلیل این که رگه ها و دانه های پراکنده فیروزه تمام کانه زایی های پیشین را قطع کرده و یا به صورت میان بار دربرمی گیرند، تشکیل فیروزه به عنوان آخرین فاز کانه زایی در منطقه تشخیص داده شد. بافت شاخص فیروزه از نوع بافتهای کنکرسونی و اسفروئیدی است که نشانگر ته نشست تدریجی فیروزه در یک محیط ثانویه هوازده می باشد (Romdor 1984). مطالعات میکروسکوپی، SEM و طیف IR نشانگر تبدیل تدریجی آلونیت یا زاج سفید (بر اساس مطالعات خاکزاد (۱۳۶۶) وجود آلونیت در منطقه به اثبات رسیده است) به فیروزه می باشد. مطالعات ساختاری بر روی درزه های دارای فیروزه نیز نشان می دهد که فیروزه در درزه های نوع P (دارای مؤلفه فشاری) تشکیل شده است و بنابراین تاثیر محلول های حاوی مس، فسفر و آهن دار (حاصل شده تحت عملکرد فرایندهای سوپرزن)، بر سنگ های آلومین دار

نور مرئی جذب می کنند. در واقع با مقایسه طیف IR ماده اگر تمام جذب ها در طیف در مولکول بر هم منطبق باشند، آنوقت به احتمال قریب آن دو ماده یکسان هستند. به منظور طیف سنجی فروسرخ بر روی کانی فیروزه، قبل از هر چیز آماده سازی نمونه ها اهمیت دارد. پس از پودر کردن نمونه ها آنها را با نسبت یک قسمت نمونه به ۱۵ قسمت برمید پتاسیم (KBr) مخلوط کرده و تحت فشار ۸ کیلو بار، یک قرص شیشه ای ساخته می شود و طیف سنجی این قرص انجام می شود.

در این تحقیق هدف از طیف سنجی فروسرخ اثبات روند تبدیل آلونیت (زاج سفید) به کانی فیروزه می باشد. بدین منظور یک نمونه زاج سفید که قبلا توسط XRD در منطقه تشخیص داده شده بود (خاکزاد ۱۳۶۷)، دو نمونه فیروزه (مرغوب آبی رنگ و نامرغوب سبز رنگ) از منطقه باغو مورد آزمایش قرار گرفتند. که به منظور بررسی دقیق تر هر سه طیف فروسرخ در یک شکل گنجانده شده (شکل ۸) و نتایج استخراج کمی دامنه جذبی طیف ها نیز در جدول ۵ قرار گرفته شده است. چنانچه ملاحظه می گردد پس از مقایسه طیف های فروسرخ و بررسی نتایج کمی دامنه جذبی طیف به وضوح روند تبدیل کانی آلونیت به فیروزه مشخص می گردد.



شکل ۸: طیف های فروسرخ مربوط به کانی های؛ آلونیت استاندارد (S.I.R. Spectra of ALUNITE)، فیروزه نابالغ و سبز رنگ (IMGT of BAGHOO) و فیروزه آبی و بالغ (MGT of BAGHOO) منطقه باغو.

### مطالعات میکروسکوپی الکترونی روبشی (SEM)

مطالعه SEM بوسیله دستگاه Leica Cambridge در دانشگاه شیراز بر روی ۸ نمونه صیقلی از نمونه سنگ های کانه دار صورت گرفت، تا ارتباط ساختاری و کانیایی آنها مشخص گردد. بر اساس این مطالعه، در نمونه های فیروزه ناخالص میانبارهایی از سنگ میزبان آلونیت مشاهده می گردد. تغییر تدریجی فیروزه به سنگ میزبان دگرسان شده (کائولینی و آلونیتی) با کاهش عنصر Si و افزایش نسبی عناصر Fe, P, Cu و Al همراه است. افزایش تدریجی این عناصر به گرهکها و رگه های آلومین دار تشکیل تدریجی فیروزه را باعث شده است. نتایج نسبی به دست آمده از SEM در جدول ۶ مشاهده می گردد.



جدول ۶: نتایج نسبی به دست آمده از مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی.

ELE.	N1	N1	N1	N2	N3	N3	N4	N5	N5	N9	N9
Si	۴۵/۴۳	۵۱/۶۴	۶۰/۳۸	---	۲۵/۶۵	۳۲/۸۲	---	۱۹/۳	۳۴/۳۶	۵۵/۵۷	۳۴/۴۴
Al	۱۸/۴۲	۱۵/۶۷	۹/۰۱	۳۲/۶۲	۲۵/۳۱	۲۴/۹۶	۳۷/۹۲	۳۵/۳۳	۳۴/۰۰	۲۵/۷۹	۲۷/۹۰
Fe	۴/۱۴	۳/۳۳	۲/۷۷	۱۲/۰۷	۱/۵۹	۰/۶۴	۱۱/۹۹	۰/۸۶	۰/۳۹	۰/۹۵	۰/۸۶
Cu	۱۶/۴	۱۱/۱۶	۹/۲۱	۲۵/۰۷	۲۱/۰۵	۱۵/۳۵	۲۱/۶۹	۱۹/۷۰	۱۱/۴۴	۱۸/۰۵	۲۰/۱۶
Zn	---	۰/۰۵	---	۰/۱۴	---	---	---	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۲	---
P	۱۲/۶۴	۹/۵۷	۸/۶۳	۲۴/۱۱	۲۳/۰۴	۱۱/۰۰	۲۴/۳۴	۲۱/۶۰	۱۰/۸۰	۱۳/۲۳	۱۵/۴۸
Ti	۰/۰۱	۰/۳۳	---	---	---	---	---	---	۰/۴۶	---	---
Ca	---	۳/۱۴	۲/۸۴	---	---	---	۰/۳۴	۱/۳۱	۲/۶۱	---	---
K	---	۲/۹۰	۲/۲	---	۱/۰۱	۲/۴۲	---	---	۳/۱۰	۰/۱۹	---
Na	---	---	---	---	۰/۶۰	۲/۲۳	---	---	---	---	---
Cr	---	۰/۰۶	---	---	---	---	---	---	---	---	---
S	---	---	---	---	۰/۳۴	۷/۰۸	---	---	---	---	---

منطقه و به ویژه رگه های کوارتز-آلومینی و دانه های پراکنده آلونیت، به عنوان مهم ترین عامل تشکیل فیروزه در منطقه باغو، در نظر گرفته شد.

در شکل ۹، به طور شماتیک مدل تشکیل کانسار فیروزه باغو نشان داده شده است (نجانان ۱۳۷۹). در این شکل تحولات و تبادلات کانیایی و زون های مختلف فرایند سوپرژن و فرمول های شیمیایی تحولات کانیایی تا رسیدن به کانی فیروزه قید شده است. در این مدل زون گوسان یا کلاهک آهنی نشان داده نشده است. به طور خلاصه، مهم ترین مراحل تشکیل کانسار فیروزه در این مدل به شرح زیر است:

فرایندهای زون اکسیدی: تاثیر آب های جوی بر سولفیدهای فلزی (به خصوص پیریت و کالکوپیریت و تشکیل سولفات های آهن و مس) (Guilbert & Park 1986).

فرایندهای زون سوپرژن: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت ها کانی فیروزه به صورت تدریجی و از حاشیه به سمت مرکز گرگه های آلومین دار (به ویژه آلونیت ها) تشکیل میشود.

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون اکسیدی: تاثیر آب های جوی بر سولفیدهای فلزی (به خصوص پیریت و کالکوپیریت و تشکیل سولفات های آهن و مس) (Guilbert & Park 1986).

فرایندهای زون سوپرژن: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت ها کانی فیروزه به صورت تدریجی و از حاشیه به سمت مرکز گرگه های آلومین دار (به ویژه آلونیت ها) تشکیل میشود.

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

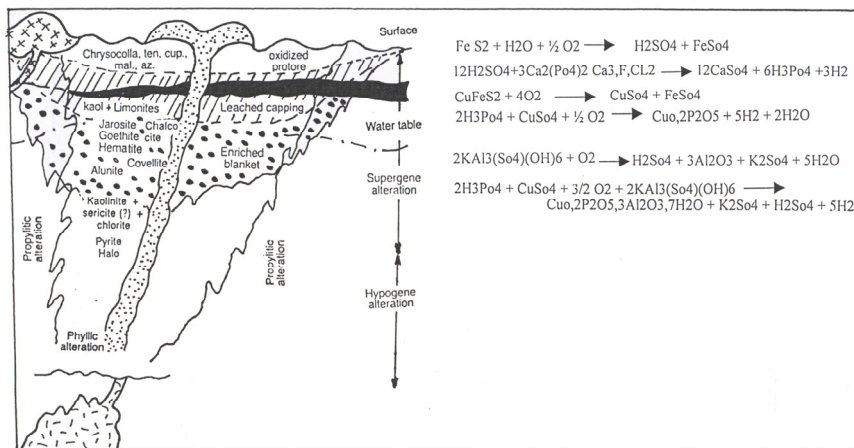
فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:

فرایندهای زون پروکلیت: تشکیل سولفات های آهن و مس و فسفر بر آلونیت های مس تاثیر می گذارد:



شکل ۱۰: مدل پیشنهادی در مورد تشکیل فیروزه باغو (نجانان ۱۳۷۹).

## تشکر و قدردانی

در این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد محسن نجاران (۱۳۷۹) اقتباس گردید.

در انجام این تحقیق از امکانات و تجهیزات دانشگاه شیراز استفاده گردید که بدین وسیله قدردانی می گردد. قسمتی از اطلاعات موجود

## منابع:

- پورحسینی ف. ۱۳۶۲: پژوهشی در منشاء توده های آذرین ایران با بررسی ژرف توده های نفوذی نطنز و بزمان. گزارش ۵۳ سازمان زمین شناسی کشور.
- جعفریان ع. ۱۳۶۸: بررسی پترولوژیکی قوس ولکانو-پلوتونیک رشته کوه زر-ترود و انجمن های کانه زایی وابسته واقع در چهارگوش نقشه ترود (استان سمنان). مجموعه مقالات دومین همایش زمین شناسی ایران. ۱۱۵-۱۱۸
- خاکزاد الف. ۱۳۶۷: بررسی اجمالی زمین شناسی اقتصادی استان سمنان. دانشکده علوم زمین، دانشگاه بهشتی. چاپ نشده.
- درویش زاده ع. ۱۳۷۰: زمین شناسی ایران. نشر دانش امروز. انتشارات امیرکبیر. ۹۰۱ صفحه.
- رشیدنژاد عمران ن. ۱۳۷۱: بررسی تحولات سنگ شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی سازی طلا در منطقه باغو (جنوب-جنوب شرق دامغان). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران. ۲۵۴ صفحه.
- هوشمندزاده ع. علوی نائینی. م، حقی پور ۱۳۵۷: تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه ترود از پرکامبرین تا عهد حاضر. سازمان تحقیقات زمین شناسی و معدنی کشور. گزارش ۱۱۵.
- نجاران محسن. ۱۳۷۹: مطالعه ژئوشیمیایی و چگونگی تشکیل کانسار فیروزه باغو (دامغان). پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه زمین شناسی. دانشگاه شیراز. ۱۵۰ صفحه.
- Brookins D.G. 1989: Aqueous geochemistry of rare earth elements in geochemistry and mineralogy of rare earth elements (editors lipin, B.R. & Mokage, G. A) 12: 201-225.
- Clark A.M. 1996: Mineralogy of the Rare Earth Element, in Rare Earth Geochemistry. ELSEVIER. 509p.
- Craig J.R., Vaughan D.J. 1981: Ore Microscopy & Ore Petrography. Wiley, 406p.
- Guilbert J.M., Park C.F. 1986: The Geology of Ore Deposits, W. H. Freeman. 985p.
- Henderson P. 1984: Rare Earth Elements Geochemistry. ELSEVIER. 509p.
- Irvine T.N., Baragar W.R.A. 1971: A guide chemical classification of the common volcanic rock. *Canada J. Earth Sci.* **8**: 523-548.
- Movvahed A. 1968: Nishabur Turquas Mine. G.S.I. 6P.
- Pearce J.A., Cann J.R. 1973: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.* **19**: 290-300.
- Romdor P. 1984: The ore minerals and their intergrowths, copy right Akademik- VerlasBerlin.
- Vander M., Beutelspacher 1976: Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their admixtures. Pub. Elsevier Sci. 150p.
- Wilson M. 1989: Igneous Petrology. London. 300p.