مطالعه پترولوژی، ژئوشیمیایی و ژنز فیروزه باغو-دامغان

ساسان لیاقت'، وحیدہ شیخی*'، محسن نجاران

^۱بخش علوم زمــین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران ^۲سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، تهران، ایران * مسئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: ۸۶/۹/۱۷ (دریافت: ۸۶/۹/۱۷ ؛ پذیرش:۸۷/۷/۴)

چکیدہ

کانسار فیروزه باغو واقع در کمربند آتشفشانی-نفوذی، ترود-چاه شیرین به سن ائوسن میانی تا میوپلیوسن است. واحدهای سنگ چینه ای منطقه شامل دو واحد رسوبی مارن دوظهیر و کنگلومرای فجن درزیر 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، ژوئوشیمیایی، طیف فروسرخIR و میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM صورت گرفت. مطالعات صحرایی و ساختمانی، نمیکروسکوپی و پتروگرافی، شکستگی های برشی ریدل و جایگیری فیروزه در شکستگی های دارای مؤلفه فشارشی (P) می باشد. مطالعات میکروسکوپی برروی مناختاری منطقه از الگوی شکستگی های برشی ریدل و جایگیری فیروزه در شکستگی های دارای مؤلفه فشارشی (P) می باشد. مطالعات میکروسکوپی برروی مقاطع نازک و صیقلی مخور 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 شکستگی های برشی ریدل و حایگیری فیروزه در شکستگی های دارای مؤلفه فشارشی (P) می باشد. مطالعات میکروسکوپی برروی مقاطع نازک و صیقلی شکستگی های برشی ریدل و حالا طی مراحل هیپوژن، هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت)، آنگازیت، کوپریت، مارکزیت، مالاکیت و آزوریت شد. پیریت، کالکوپیریت، گالن و طلا طی مراحل هیپوژن، هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت)، آنگازیت، کوپریت، مارکزیت، مالاکیت و آزوریت هر 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 RI و رانه داری به یروزه تمای ی دار را به اثبات رسازی شای سازی را ساس مطالعات صورت گرفته مدل تشکیل فیروزه در منطقه باغو ارائه شد.

واژههای کلیدی: باغو، فیروزه، گرانودیوریت، داسیت، آلونیت، ایران.

مقدمه:

کانی فیروزه (Turquoise) با فرمول شیمیایی

(Cu Al₆ (PO₄)₄ (OH)₈, 5H₂O) 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 برونزدهای آتشفشانی-نفوذی دامنه شمالی کوه ترود-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

(Movvahed 1968). هوشمندزاده و همکاران ۱۳۵۷به مطالعهٔ زمین شناسی و ژئو شیمی محدوده ترود – باغو پرداختند. آنها محدوده باغو را با روشهای IP و SP تحت اکتشاف ژئو فیزیکی قـرار داده و در پایان دو محدوده اصلی مس را در دره بازارها (جنـوب باغو) معرفی کـرده است. در سال ۱۳۶۲ پور حسینی به مطالعه پترومنشاء توده های نفوی ایران پرداخت، که در این بررسی، ایشان احتمال ارتباط تـوده های نفوذی منطقه ترود با فاز ماگمایی ائوسن پسین-الیگوسن را متذکر شد (جعفریان ۱۳۶۸). جعفریان در سال ۱۳۶۸ عنوان نمـود کـه سـنگهای آذرین محدوده ترود در منطقه باغو از نوع استوک ساب ولکانیک است و روند کانی سازی منطقه باغو در ارتباط با دگرسانی منطقـه ای قابل پیگیـری می باشـد (جعفریـان ۱۳۶۸). رشـید نـژاد (۱۳۷۱) در ایـن محدوده به بررسی تحولات سنگ شناختی و ماگمایی و ارتباط آن با کانه سـازی طلا پرداختـه اسـت (رشـیدنژاد عمـران ۱۳۷۱). نجـاران آن ارائه داده است.



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

شكل ۱- نقشه زمين شناسي منطقه مورد مطالعه.

و منگنز به طور رگه ای در میان سنگهای آتشفشانی ترشیاری با ترکیب کالکوزین، مالاکیت، کوپریت-کالکوپیریت، 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 ها ی پراکنده فیروزه محسوب می شوند. همچنین در سنگهای داسیتی و دیگر بخش های دگرسان شدهٔ منطقه، دانه های پراکنده فیروزه به چشم می خورد. کانی طلا و فیروزه 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.

زمين شناسي منطقه

رخنمون های منطقه باغو بخشی از کمان آتشفشانی-نفوذی ترشیاری است که بین دو گسل انجیلو در شمال و ترود 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 (ائوسن زیرین) و مارن دو ظهیر (لوتسین بالایی تا شروع ائوسن بالایی)، توده های دیوریتی تا گرانودیوریتی و بندرت گرانیتی (ائوسن پسین-الیگوسن) و دایک های بازیک و توده های نیمه عمیق پورفیریک (میوپلیوسن) می باشد (جدول ۱). سنگهای آتشفشانی ترکیب آندزیتی داشته و به مورت توالی ظعیفی 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

میکرودیوریتی و گرانودیوریتی به رنگ زرد روشن تا صورتی با ساختار پورفیری با طول مت. و شیب ۴۵ تا ۶۰ درجه به طرف جنوب شرقی. دایکهای آندزیتی به رنگ سبز و قی-جنوب غربی با ضخامت ۰/۵- ۱/۵و طول ۱۰/۱ متر تا بیش از ۸۰ متر.	ميو-پليوسن	
توده نفوذی گرانودیوریتی قاطع توده میکرودیوریتی به رنگ خاکستری روشن تا صورتی، سنگ میزان رگه سیلیسی طلا دار و دارای انکلاُوهایی در توده میکرودیوریتی توده ها، دایکها و استوکها ی میکرودیوریتی با روند شمال شرق-جنوب غرب با شیب ۲۰تا۴۵ به طرف جنوب شرق	توده های دیوریتی تا گرانودیوریتی و به ندرت گرانیتی (قاطع مجموعه پیروکلاًسیک ائوسن)	ائوسن پسين اليگوسن
لأستیک (گدازه های داسیتی تا آندزیتی + برونزدهای موضعی از لاوا-برش	ائوسن	
بهیر : مارن گچدار ، ماسه سنگ و کنگلومرا (علوی نائینی ۱۹۷۲)	لوتسين بالايي تا شروع ائوسن بالايي	
کنگلومرایی فجن دارای نومولیت و دیسکوسیکلینانه	ائوسن زيرين	

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

زمين ساختارى 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 (نجاران 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 تمركزعمده به مختصات 75SE،N65E و N58E ،55SE در این نمودار قابل تشخيص است (شكل-٢). اين دو سيستم كم وبيش 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 یی سنگی اصلی است و برای شکستگی های برشی R مخالف آن است. با توجه به شکل ۳ گسل های ترود 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 چبگرد در منطقه شدهاند. 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 ،R وY 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.



شکل۳: 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 شیراز مورد تجزیه قرار گرفت. علاوه برآن برای مطالعات ژئوشیمی دانشگاه شیراز مورد تجزیه قرار گرفت. علاوه برآن برای مطالعات عناصر خاکی نادر (REE) و عناصر کمیاب تعداد ۹ نمونه به صورت سیستماتیک از نوترونی و توسط آزمایشگاه راکتور مینیاتوری اصفهان تجزیه شدند. آزمایش طیف IR از کانی فیروزه به منظور اثبات روند تدریجی تبدیل آونیت به کانی فیروزه مورد استفاده قرار گرفت و نهایتاً مطالعات به وسیله دستگاه Stereo Scan مدل Leica Cambridge در بخش مواد دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز صورت پذیرفت (نجاران ۱۳۷۹).

پتروگرافی سنگ های آذرین منطقه

در بررسی پتروگرافی بیش از ۳۰ مقطع نازک از سنگهای منطقه که به طور سیستماتیک از قسمتهای 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 آنها از نوع پلاژیوکلاز آندزین–الیگوکلاز می باشد که اغلب به صورت مرسیتی شدن به طور گسترده و کربناتی شدن و سوسوریتی شدن با شدت کمتر در آنها اثر کرده است. بلورهای آمفیبول و بیوتیت اکثرا به آکسیدهای آهن و کلریت تجزیه شدهاند. از کانی فرعی آندزیت میتوان 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
<i>B4</i>	Clay Minerals(Kaolinite, Alunite)	Argilic
B5	Chlorit+Epidote+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B6	Chlorit+Epidote+Carbonate(Calcite)	Propylitic
B 7	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، اپيدوتي شدن، كربناتي شدن و نيز تشكيل كاني هاي اپاك ثانویه (بیشتر پیریت) می باشد. دگرسانی آرژیلیک با توسعه کانی های رسی بر اثر دگرسانی پلاژیوکلاًزها 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 گرمابی-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 گرهک 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 سنگهای حدواسط-اسیدی نقش مهمی بر تشكيل آلونيت منطقه باغو داشتهاند. مهمترين محصولات آلونيتي شدن، کانیهای آلونیت یا زاج سفید KAl₈(OH)₆(SO₄)₂، ژاروسیت KFe(OH)₆(SO₄)₂,12H₂O زاج پتاسیم دار KFe(OH)₆(SO₄)₂ NaAl(OH)₆(SO₄)₂ است. دگرسانی سرسیت با حضور کانیهای

به تورمالین اشاره کرد. سنگهای داسیت، عموماً دارای ساختار پورفیری می باشند و به طور وسیعی آرژیلی و سرسیتی شدهاند. پلاژیوکلاًزهای خودشکل سرسیتی شده و کلسیتی شده، و آمفیبول های تجزیه شده به اکسیدهای آهن وکلریت ازکانی 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، اکسیدآهن و ریز بلورهای آپاتیت است. ریولیت ها نیز به مانند دیگر سنگهای خروجی دارای بافت پورفیری می باشند. فنوکریست های خودشکل پلاژیوکلاًز با ساختارهای دو قلویی آلبیت تحت تاثیر فرایندهای دگرسانی و هوازدگی، به طور گسترده سرسیتی و آرژیلی شدهاند.

در سنگهای دیوریتی پلاژیوکلاًزهای خودشکل بیش از ۴۰٪ سنگ را در بر می گیرند. دگرسانی دیوریتها شامل سرسیتی شدن و تجزیهٔ آمفيبول ها به اکسيدهاي آهن و کلريت مي 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 می گیرد یلاژیوکلاًزهای 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 کوارتزدیوریت رخ داده است، از دیگر شاخص های این سنگها می باشد. تفکیک کوارتزدیوریت 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-پلاژیوکلاًزهای حدواسط تا اسیدی (الیگوکلاًز-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 آلکالن، و از کانی های فرعی اسفن و زیرکن تشکیل شدهاند. مطالعات دگرسانی

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

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 تودهٔ 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 طلادار مشاهده می شود.

مطالعات كانهزايي

بر اساس مطالعات انجام شده، در مجموع می توان کانـه زایـی منطقـه 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 گرمابی 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 یابند. گرچه نمی توان از نقش فشار هیدرواستاتیکی محلول های گرمابی نفوذکننده نیز غافل بود .فرایندهای کانه زایی هیپوژن که در منطقه باغو از الگوی رگه ای پیروی می کند، عمدتا به صورت شکافه پرکن (Open space filling) عمل کرده است که دارای ساختار داخلی لایه ای ریتمی (Comb structure 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 مالاکیت)، 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 جانشینی 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 آنگلزیت

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 شدهاند شامل کوولیت و کالکوسیت می باشد. در بسیاری از مقاطع جانشینی حاشیه ای کانی کالکوپیریت و کوولیت 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 فيروزه بصورت شكافه پركن و بعنوان آخرين فاز كانه زائي 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 میکروسکویی 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 ژئوشيمي

میانیات ریور 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 (شکل۴B).

بر اساس جدول ۳ و ۴ کلیه سنگ های منطقه، میزان تقریبا بالای جدول ۳ و ۴ کلیه سنگ های منطقه، میزان تقریبا بالای FeO3 ، Al₂O₃ مای Fe₂O₃ ، Al₂O₃ نفوذی نسبت به سنگهای خروجی نشان دهندهٔ اسیدی تر بودن چنین

نمونه(٪)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
SiO2	54/19	۶۰/۱۸	۵۷/۰۲	84/37	۵۸/۷۳	۵۷/۴۶	54/1	۶۴/۵۹	۵۸/۲۱	Δλ/ΔΥ	۲۳/۱
TiO2	۰/۶۸	۰/۳۶	٠/٢۴	۰/۴۵	۰/۶	۰/۶۸	٠/٧٢	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۶۷	•/1Y
Al2O3	۱۷/۰۲	۱۵/۲۶	18/04	۱۵/۶۹	۱۵/۹۸	18/15	۱۷/۰۳	17/87	۱۷/۸۹	۱۷/۵۷	18/84
Fe2O3	۲/۹۷	۵/۹۲	۳/۸۹	١/٨۴	٣/١۴	٣/٣٢	۲/۳۱	۲/۱۵	۲/۲۷	۲/۴۲	۱/۵۶
FeO	۴/۵۱	٠/۴٣	۲/۶۴	۲/۰۶	٣/•۶	٣/٢٨	41.4	۱/۹۵	۵/۱۶	۴/۵۴	•
MnO	۰/۱۶	۰/۰۱	٠/١٣	۰/۱۵	۰/۱۳	٠/٢٣	۰/۱۶	۰/۰۴	•/• 1	•/٢٢	۰/۰۴
Mg0	۵/۲۱	۰/۵۶	٣/۶۴	١/٩٩	۳/۵۳	۳/۶۵	۵/۰۰	١/۴٩	۴/۱۱	۴/۱۷	۰/۵۱
CaO	۵/۳۷	۰/۷۶	۶/۱۸	١/٠٩	۵/۹۳	۴/۲۸	۶/۴	۴/۷۶	۴/۴۹	٣/٢٩	۰/۸۵
Na2O	۴/۳۲	۰/۶۱	۴/۲۱	٣	٣/٩	٣/۶٩	٣/۴٢	۲/۷۲	٣/۶۴	۴/۱۳	۳/۸۵
K20	۱/۲۹	۵/۳۷	٣/٢۵	۴/۵۷	٣/١	٣/٩٩	۲/۵۱	۴/• ۹	۳/۷۶	۴/۲۳	٣/۵١
P2O5	۰/۳۰	•/۴۲	۰/۳۹	۰/۲۶	٠/٣	٠/٣٢	٠/٣	•/•A	٠/٣	۰/۲۴	•/•Y
H2O	۲/۴۳	٣/٣۴	۰/۸ ۸	۲/۱۵	۰/٨	۱/۲۶	۱/۴۳				
LOI	۲/۷۳	۶/۲۸	۰/۸۳	۲/۵۲	۰/٨	١/٢٢	۱/۵۸				
(ppm)	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
Sr	٨۴٠	۶ <i>۸</i> ۶	111	717	۹۲۸	٨٨٧	۷۵۳				
Rb	۴۷	۱۹۸	٩٠	۲۲۰	١٠٠	٦٠٣	۲١				
Zr	۱۰۸	٩٧	۱۵۵	140	129	۱۳۲	١٠١				
Nb	۲۳	71	۲۷	۳۰	74	۲۵	۲۳			7	

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

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

نمونه(٪)	i1	i2	i3	i4	<i>i5</i>	i6	i7	i8	i9	i10	i11	
SiO2	۶۵/۴۵	۶۰/۵۸	۶١/٩١	۵۴/۷۹	۶۵/۰۱	80/15	9N/99	68/6	۵۸/۰۸	۵۲/۶۹	۵۵/۳۱	
TiO2	۰/۸۳	۳/۶۶	٠/۵٢	• /YA	•/۴۴	۰/۴۵	•/٣٣	۰/۷۶	۰/۶۵	• /AY	٠/٩١	
Al2O3	18/91	۱۵/۴۵	۱۵/۲۳	۱۵/۵۵	۱۵/۱	1.0/1	14/77	18/14	18/01	۱۶/۷	۱۸/۴۳	
Fe2O3	۲/۵۳	۲/۸۷	۲/۲۹	۲/۶۸	۱/۵۸	۱/۸۳	1/14	۳/۵	۲/۴۷	۲/۵۹	۲/۶۳	
FeO	4/24	۲/۷۷	۲/۱۳	٣/۶۴	١/٧٨	N/Y	۱/۳۵	۲/۸۳	۲/۸۳	۳/۷۶	۴/۴۸	
MnO	٠/١٣	٠/١٢	۰/۰۷	•/1۴	•/•۴	.1.9	۰/۰۵	٠/١٣	•/ \ Y	٠/١٨	•/•۶	
Mg0	۱/۴۳	٣/٢	۲/۲۲	۵/۱۹	1/97	١/٩٢	١/٣۵	۳/۵	۳/۴۱	۵/۳۲	۳/۸۵	
CaO	۲/۲۹	۴/۶	٣/٠۴	۵/۹	۲/۸۴	۲/۶۲	۲/۹۴	۵/YY	۵/۴	۲ /۵۶	٧/۴	
Na2O	۴/۱۹	۴/۵	4/14	٣/۴۴	٣/٣٣	۴/۰۹	٣/٩٩	۴/۵۹	٣/٧٢	٣/٢٩	۱/۸۸	
K20	١/٢١	۲/۵۴	٣/٩	7/94	۳/۸۳	۳/۵۷	۳/۸۵	۲/۱۵	۳/۰۱	۲/۷	٠/٢٨	
P205	٠/۴	٠/۴	•/٢۴	•/۴٣	۰/۲۲	۰/۲۳	٠/١٨	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۳۳		
H2O		1/1	1/40	1/89	۱/۱۳	١/٣٣	۰/۵۶	• /YA	•/٩٩			
LOI		1/19	۲/۰۴	1/41	۱/۲۲	1/17	۰/۴۵	٠/٨۴	۱/۲۱			
(ppm)	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	
Sr		٨۵٧	689	۷۸۴	۵۴۵	۶۲۸	۵۰۶		٨٠٩			
Rb		٧۶	1	٩۶	17.	١٠٩	۱۱۳		٩۴			
Zr		180	149	١١٢	۱۳۵	۱۹۳	148		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).

توده هایی می باشد، گرچه میزان P_2O_5 در کلیه سنگهای منطقه تقریبا بالا است. به منظور بررسی سری سنگ های آذرین از دیاگرام ارائه شده توسط (Irvine & Baragar (1971) استفاده شد. این دیاگرام بر اساس درصد وزنی آلکالی ها (Na₂O+K₂O) و اکسیدهای آهن (FeO_t) و منیزیم (MgO) رسم شده است. بر این اساس نمونه های مورد مطالعه از روند تفریق ماگمایی کالک-آلکالن تبعیت می کنند (شکل-۵).



عناصر كمياب

به منظور مطالعهٔ 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 شدهاند. پس از مطالعه روند تغییراتREE برای هریک از نمونه ها و همچنین مقایسه روند تغییرات در فیروزه و سنگهای منطقه (شکل-۶)، مشخص می شود که روند تغییرات REE در کانی فیروزه و سنگهای مشخص می شود که روند تغییرات MEE در کانی فیروزه و سنگهای مشخص می شود که روند تغییرات MEE در کانی فیروزه و سنگهای یکسان شده منطقه (کائولینیتی شدن، آلونیتی شدن و ...) تقریبا 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، کائولینیتی شدن به کانی فیروزه افزایش نشان می دهد (شکل ۲).

با توجه به مطالعات بورکینز (1983) و کلاًرک (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

.(Clark 1996; Brookins 1989; Henderson 1984)



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





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 تجزیهٔ 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 شدهاند. همچنین می توان نتیجه گرفت که کاهش غلظت شده است.

طيف سنج فرو سرخ (IR)

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

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 کیلوبار، 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 دامنهٔ جذبی طیف ها نیز در جدول ۵ قرار گرفته شده است. چنانچه ملاحظه می گردد پس از مقایسهٔ طیف های فروسرخ و بررسی نتایج کمی دامنهٔ جذبی طیف به وضوح روند تبدیل کانی آلونیت به فیروزه مشخص می گردد.



شکل ۸: طیف های فروسرخ مربوط به کانی های؛ آلونیت استاندارد IMGT of)، فیروزه نابالغ و سبز رنگ (S.IR.Spectra of ALUNITE) منطقه باغو. 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، Du 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.

مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سیو چهارم (۱۳۸۷) شماره ۲

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 نتيجه گيري

رخنمون های باغو، بخشی از کمان آتشفشانی-نفوذی ترشیاری 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، آرژیلیک، 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 هیپوژن و ثانویه یا سوپرژن 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 کنکرسیونی و اسفروئیدی است که نشانگر ته نشست تدریجی فیروزه در یک محیط ثانویه هوازده می باشد (Pomdor 1984). مطالعات میکروسکوپی، MEX و طیف IR می باشد (۱۳۶4) وجود 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 سوپرژن)، بر سنگ های آلومین دار

ELE.	NI	NI	NI	N2	N3	N3	N4	N5	N5	N9	N9
Si	40/47	01/84	۶۰/۳۸		۲۵/۶۵	۳۲/۸۲		۱۹/۳	34/38	۵۵/۵۷	84/44
Al	۱۸/۴۲	10/87	۹/۰۱	87/87	۲۵/۳۱	24/98	۳۷/9۲	۳۵/۳۳	۳۴/۰۰	۲۵/۷۹	۲۷/۹۰
Fe	4/14	۳/۳۳	۲/۷۷	۱۲/۰۷	۱/۵۹	۰/۶۴	11/99	۰/٨۶	۰/۳۹	۰/۹۵	۰/٨۶
Cu	18/4	11/18	٩/٢١	۲۵/۰۷	۲۱/۰۵	۱۵/۳۵	51/89	۱٩/٧٠	11/44	۱۸/۰۵	۲۰/۱۶
Zn		۰/۰۵		٠/١۴				۰/۰۲	٠/٠٩	۰/۰۲	
Р	17/84	۹/۵۷	۸/۶۳	24/11	۲۳/۰۴	۱۱/۰۰	۲۴/۳۴	۲1/8۰	۱۰/۸۰	۱۳/۲۳	۱۵/۴۸
Ti	٠/٠١	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	٠/١٩	
Na					• / 9 •	۳۲/۲					
Cr		•/•9									
S					۰/۳۴	٧/•٨					

جدول ۶: نتايج نسبي به دست آمده از مطالعات ميكروسكوپ الكتروني روبشي.

منطقه و به ویژه رگه های کوارتز-آلونیتی 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 (نجاران 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 کلاًهک آهنی نشان داده نشده است. به طور خلاصه، مهم ترین مراحل تشکیل کانسار فیروزه در این مدل به شرح زیر است: فرایندهای زون /کسیدی: تاثیر آب های جوی بر سولفیدهای فلزی (به خصوص پیریت و کالکوپیریت و تشکیل سولفات های آهان و مس) (Guilbert & Park 1986).

 $2FeS_2+7O_2+2 H_2O \longrightarrow 2FeSO_4(Lq)+2H_2SO_4(Lq)$ $CuFeS_2+4O_2 \longrightarrow CuSO_4+ FeSO_4$

آهن و توده های پیریت توده ای ممکن است بدون باقی گذاردن هماتیت یا لیمونیت، زیاد شسته ویا خارج شود، چراکه وجود سولفوریک اسید، pH را پائین نگه داشته و ممکن است یک محیط کاهنده ایجاد کند که آهن را به صورت یون دو ظرفیتی محلول در

خود حفظ نموده و در نهایت منجر به ایجاد آغشتگی های آهن شود. از طرفی اکسایش کالکوپیریت و کالکوسیت نیز می تواند یون های مس را به صورت آزاد وارد محلول کند.

2CuFeS₂+17/2O₂+2H₂O → Fe₂O₃+2Cu+4SO₄+4H Cu₂S+4Fe+6SO₄ → 2Cu+4Fe+6SO₄+S(free) *مراحل حدواسط فیروزه زایی*: همان طور که قبلا نیزعنوان شد، فسفر (به صورت کانی آپاتیت) برخوردارند که از تاثیر سولفوریک اسید (حاصله از مراحل قبل) بر آن، فسفریک اسید ایجاد می شود. 12 H₂SO₄+3Ca₂ (PO₄)2Ca₃,F,Cl₂ → 12CaSO₄+ 6H₃PO₄+3 Hf+3/2 H₂+3Ca₂l₂ 12 k₁SO₄+3Ca₂ (PO₄)2Ca₃,F,Cl₂ → 12CaSO₄+ 6H₃PO₄+3 Hf+3/2 H₂+3Ca₂l₂ 2KAl₃(SO₄)(OH) ₆+O₂ → H₂SO₄+3Al₂O₃+ K₂SO₄+5H₂O و فسفریک اسید در نهایت بر سولفاتهای مس تاثیر می گذارد: 4 H₃PO₄+CuSO₄+H₂ → CuO,2P₂O₅+ H₂SO₄+6 H₂O در این مرحله از تاثیر محلول حاوی مس و فسفر بر آلونیت ها کانی فیروزه به صورت تدریجی و از حاشیه بـه سـمت مرکـز گرهـک های آلومین دار (به ویژه آلونیت ها) تشکیل میشود.



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

تشكر 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 اقتباس گردید. 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 منطقهٔ باغو (جنوب-جنوب شرق دامغان). پایان نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشکدهٔ علوم. دانشگاه تربیت معلم تهران. ۲۵۴صفحه.

هوشمندزاده ع. علوی نائینی. م، حقی پور ۱۳۵۷: تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه ترود از پر کامبرین 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: Aqueos 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 Akademic- 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.