

## ژئوشیمی و فاستگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی محدوده معدن بایچه‌باغ (زنجان)

مهرداد کریمی\*<sup>۱</sup> و ممد لطفی<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، mhk@iaushiraz.net

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

(\*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۸۹/۶/۱۸؛ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۲۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۱۱/۲۰

### چکیده

سنگ‌های آتشفشانی منطقه معدنی بایچه‌باغ در شمال تکاب، بخشی از فعالیت‌های آتشفشانی است که از قروه شروع و تا سهند به طور خطی ادامه دارد. سنگ‌های آتشفشانی منطقه را می‌توان به دو گروه قدیمی تر با ترکیب اسیدی و جوان تر با ترکیب حد واسط-بازیک تقسیم‌بندی کرد. گروه اسیدی شامل سنگ‌های ریولیت، ریوداسیت، لاتیت و بندرت آندزیت و گروه بازیک شامل سنگ‌های تراکی آندزیت، آندزیت تا بازالت است. تجزیه شیمیایی این سنگ‌ها نشان داد که ماگمای این سنگ‌ها از نوع کالکوالکالن می‌باشد. بر اساس نمودارهای تکتونوماگمایی، موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه بایچه‌باغ در ارتباط با جایگاه کمان‌های قاره‌ای می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** بایچه‌باغ، کالکوالکالن، کمان‌های حاشیه‌ی قاره‌ها.

### ۱- مقدمه

آلکالی پتاسیک بیجار را بین ۰/۵ تا ۱/۳ میلیون سال و گدازه‌های داسیتی- آندزیتی منطقه قروه-تکاب را بین ۸/۲ تا ۹/۲ میلیون سال تعیین کرده‌اند. معین‌وزیری و امین سبحانی (۱۳۶۴) اختصاصات شیمیایی آتشفشان‌های بین قروه تا تکاب و فعالیت‌های ولکانیکی شمال تکاب را بررسی نمودند. در این مطالعه طبق دیاگرام اشتريکایزن (Streckeisen 1979)، نمونه‌های منطقه قروه- تکاب در محدوده داسیت، لاتیت کوارتزدار، آندزیت کوارتزدار، لاتیت- آندزیت، تفریت و بازانیت قرار می‌گیرند. بر اساس پارامترهای لاکرویکس (Lacroix 1933)، سنگ‌های آتشفشانی این منطقه عبارتند از: ریوداسیت، داسیت، تراکیت آلکالن، تراکی آندزیت، تراکی بازالت و

منطقه معدنی بایچه‌باغ واقع در شمال تکاب، در فاصله ۱۶۵ کیلومتری غرب زنجان و ۱۳۰ کیلومتری جنوب غربی میانه قرار دارد. این منطقه در تقسیم‌بندی ساختاری ارائه شده توسط اشتوکلین (Stöcklin 1968) در زون دگرگونی سندانج- سیرجان قرار می‌گیرد. هم‌زمان با عملکرد فاز کششی در اواخر دوران سوم در ایران، در شمال تکاب نیز ولکانیسم شیاری رخ داده است. این فعالیت‌های ولکانیکی به صورت آتشفشان‌هایی از قروه شروع شده و تا سهند به طور خطی در امتداد جنوب شرق- شمال غرب ادامه می‌یابند. در این رابطه بوکالتی و همکاران (Boccaletti et al. 1977) سن بازالت‌های

- ۱- جمع‌آوری اطلاعات، گزارشات، نقشه‌ها و کارهای انجام شده‌ی قبلی.
- ۲- تهیه‌ی عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، به عنوان نقشه‌ی پایه جهت تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی.
- ۳- نمونه‌برداری از دگرسانی‌ها، سنگ‌های آذرین و سنگ‌های میزبان رگه‌های معدنی.
- ۴- نمونه‌برداری لیتولوژیکی و لیتوژئوشیمیایی برای تعیین توالی لیتواستراتیگرافی.
- ۵- مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و روش‌های تجزیه‌ای ایکس آر دی (XRD)، اتمیک ابزورپشن (AAS)، ایکس آر اف (XRF) و ... جهت تعیین ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین.

- ۶- تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها و تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی. در این پژوهش به منظور مطالعات سنگ‌شناختی ۴۰ مقطع نازک و جهت بررسی‌های پترولوژیکی و پتروژنز (براساس داده‌های ژئوشیمیایی از اکسیدها و عناصر فرعی و نادر) ۱۳ نمونه سنگ آذرین در منطقه‌ی بایچه‌باغ تهیه شده است. در تفسیر داده‌ها، از نرم‌افزار Min pet استفاده شده است.

بازانیت (Boccaletti et al. 1977). در مورد تشکیل سنگ‌های ولکانیکی خنثی تا بازیک، دو فرضیه‌ی تفریق ماگمایی و آلیش ماگمایی عنوان شده است که نظریه‌ی دوم مورد قبول‌تر به نظر می‌رسد (معین وزیری و امین سبحانی ۱۳۶۴). بر این اساس فرض شده است که ماگمای درحال عبور از سنگ‌های میوسن که عمدتاً از جنس توف اسیدی است، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن‌ها را هضم نموده است. این عمل موجب بالارفتن میزان سیلیس در این سنگ‌ها شده و توف‌های حدواسط را به وجود آورده است. در منطقه‌ی بایچه‌باغ، ولکانیسم ریولیتی تا بازالتی گسترش زیادی داشته که ماهیت گدازه‌ای تا آذرآواری را نشان می‌دهند (کریمی ۱۳۸۱).

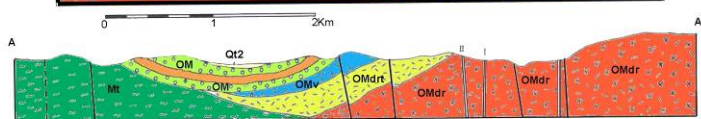
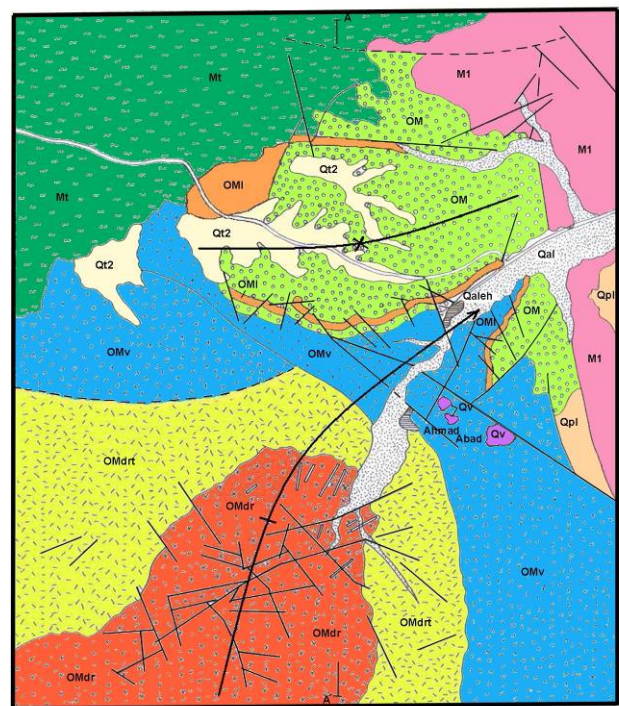
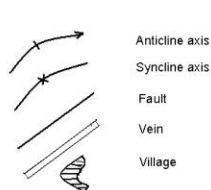
## ۲- روش مطالعه

در این پژوهش روش تحقیق شامل کارهای صحرائی (نمونه‌برداری از محل، تهیه‌ی نقشه و...) مطالعات آزمایشگاهی (آنالیزهای شیمیایی و روش‌های میکروسکوپی) و گردآوری اطلاعات به‌صورت میدانی بوده است. روند کلی کار به‌ترتیب زیر است:

### LEGEND

QUATERNARY		
	Qal	Recent alluviums
	Qt2	Young terraces and fanglomerates
	Qv	Grey, olivine basaltic andesite to basalts showing columnar structures
	Qpl	Cream to red, unconsolidated conglomerates and sandstones with colored mudstone and gritstone intercalations
TERTIARY		
MIOCENE	M1	Alternations of grey-green marls, red sandstones and conglomerates with gypsum interlayers (U.R.F., equal)
	OMo	Grey-green coloured alternated marls and limestone with thin gypsum layers
	OMI	Cream to light brown, fossiliferous, medium to thick bedded limestones and sandy limestones
OCEANE	OMv	Grey to green coloured, tuffs and andesitic agglomerates
	OMdr	White coloured, pumiceous tuffs and tuffites of acidic compositions
	OMdr	Rhyolite to andesite subvolcanic dome and its related acidic pyroclastics
PRECAMBRIAN		
	Mt	Gneisses, amphibolites, schists and ultramafic patches

### SYMBOLS



تصویر ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی بایچه‌باغ

### ۳- زمین‌شناسی

مارن و آهک معادل با سازند قم بوده و در قسمت میانی آن لایه‌های نازک و ضخیمی از آهک و ماسه آهکی فسیل‌دار ریفی (OMI) وجود دارد. وجود میکروفسیل‌های شاخص، سن اکتیانین- بوردیگالین را برای این واحد سنگی نشان می‌دهد. بر روی واحد (OM)، و با انفصال ناشی از تغییر رسوب‌گذاری، تناوب مارن‌های الوان، ماسه سنگ، کنگومرا و بین لایه‌های ژپس به عنوان سازند قرمز بالایی (MI) قرار می‌گیرد.

رسوبات پلیوکواترنری (Qpl) قدیمی‌ترین رسوبات دوران چهارم در منطقه بوده که بر روی واحد MI قرار می‌گیرند و شامل تناوب‌های کنگومرا و ماسه‌سنگ با سیمان سست است که می‌توان آن را هم ارز سازند هزار دره با سن پلیوسن- پلیستوسن دانست. در برخی نقاط، رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی تا آندزیت بازالتی جوان با ساخت ستونی (Qv) دیده می‌شود. پادگانه‌های آبرفتی (Qt2) و آبرفت‌های جوان رودخانه‌ای (Qal) جوان‌ترین رسوبات منطقه را تشکیل می‌دهند.

### ۴- سنگ‌نگاری

در منطقه‌ی معدنی بایچه‌باغ، سنگ‌های آذرین خروجی تنوع زیادی داشته و از سنگ‌های کاملاً اسیدی ریولیتی تا سنگ‌های بازیک بازالتی در یک گستره چینه‌ای شاخص حضور دارند. روند توزیع سنگ‌ها از قدیم به جدید یک تغییر تدریجی در اسیدیته را نشان می‌دهد. به‌طوری که به تدریج از حالت اسیدی به سمت بازیک میل می‌کند. براساس مطالعات سنگ‌نگاری می‌توان سنگ‌های آتشفشانی ناحیه‌ی بایچه‌باغ را به دو گروه عمده‌ی سنگ‌های قدیمی‌تر اسیدی با سن الیگومیوسن و سنگ‌های جوان‌تر حدواسط تا بازیک با سن کواترنری تقسیم نمود.

#### ۴-۱- سنگ‌های اسیدی

سنگ‌های آتشفشانی قدیمی‌تر با ترکیب ریولیتی تا داسیتی گسترش وسیعی را در جنوب ناحیه‌ی مورد مطالعه دارند و هسته‌ی یک گنبد آتشفشانی را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها عمدتاً از سنگ‌های ساب ولکانیک، برش‌های اتوکلاستیک، توف و گدازه‌های اسیدی تشکیل شده است. توف‌های سفید رنگ ریولیتی اغلب حالت پومیزی داشته و تا حدود زیادی به کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. در این توده‌گاه میان لایه‌هایی از گدازه‌های ریولیتی دیده می‌شود که از بلورهای کوارتز، فلدسپات آلکانل، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کمی تورمالین تشکیل شده‌اند (تصویر ۲). بلورهای کوارتز گاه دارای خوردگی خلیجی است و اغلب خرد شده و دارای لبه‌ها و حاشیه‌های تیز هستند که نشان‌دهنده‌ی شدت فوران و انفجار در خروج ماگمای غلیظ اسیدی بوده است.

منطقه‌ی معدنی بایچه‌باغ از نظر سنگ‌شناسی دارای تنوع زیادی است. قدیمی‌ترین واحد منطقه را پی‌سنگ‌های شمال تکاب با سن پرکامبرین با جنس گنیس و آمفیبولیت با میان لایه‌هایی از شیست و مرمر همراه با سنگ‌های اولترامافیک تشکیل داده است (Alavi et al. 1982). سنگ‌های این واحد (Mt) تا رخساره‌ی آمفیبولیت و گرانولیت دگرگون شده است. گنیس‌ها دارای رنگ روشن بوده و به علت سختی زیاد معمولاً در سطح زمین به خوبی رخنمون دارند. آمفیبولیت‌ها معمولاً دانه‌درشت و بسیار فشرده بوده و به رنگ سبز تیره هستند (تصویر ۱).

پس از یک نبود چینه‌ای (هیاتوس) طولانی، پیشروی دریای الیگومیوسن موجب تشکیل لایه‌های ضخیمی از سنگ‌های آذر آواری تا رسوبی شده است. این نبود چینه‌ای طولانی می‌تواند ناشی از موارد زیر باشد:

الف) عدم رسوب‌گذاری نهشته‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و بخش زیرین پالئوژن.

ب) آمیختگی خیلی زیاد پی سنگ، مانع از رسوب‌گذاری واحدهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و بخش زیرین پالئوژن بر روی پی سنگ شده است. به عبارت دیگر این واحدها یا رسوب نکرده‌اند یا پیشروی آن‌ها در مقابل آمیختگی پی سنگ آنقدر کم بوده که نبود آن‌ها در این منطقه بین واحدهای الیگومیوسن و پی سنگ آشکار است (کریمی ۱۳۸۱).

قدیمی‌ترین واحد سنگی الیگومیوسن را توده‌های ساب ولکانیک، توف و آگلومرای اسیدی با ترکیب داسیتی تا ریولیتی (OMdr) تشکیل داده است. این واحد، تشکیل‌دهنده‌ی سنگ میزبان اصلی رگه‌های معدنی بایچه‌باغ است، عبور رودخانه از میان این واحد (به دلیل ساختار آذرآواری این سنگ‌ها)، دره‌های ژرف با ریخت‌شناسی متنوعی را به وجود آورده است. بر روی واحد ریولیتی- داسیتی، واحدی سفید رنگ از جنس توف با ترکیب اسیدی (OMdrt) قرار گرفته است. بخش‌های زیرین این واحد، متخلخل بوده و حالت پومیزی دارند. حفره‌ها و فضاهای خالی موجود در این سنگ‌ها نشانه‌ی آتشفشانی غلیظ و انفجاری همراه با مقدار گاز زیاد بوده است. بخش‌های بالایی این واحد، بیشتر حالت توفی دارند. واحد توف سفید رنگ، در بالا، به مرور به توف سبز رنگ همراه با مجموعه‌هایی از آگلومرای آندزیتی (OMv) تبدیل گردیده است. واحد آگلومرای از تناوب‌های توف و کنگومرای آتشفشانی تشکیل شده است.

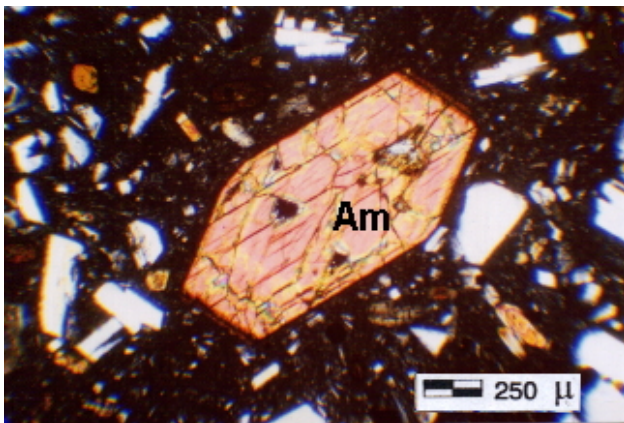
در قسمت‌های بالایی این واحد، ماهیت آذر آواری به تدریج کاهش یافته و به سمت رسوبی میل می‌کند و به آرامی لایه‌های شیل توفی، مارن و آهک الیگومیوسن (OM) بر روی آن قرار می‌گیرد. تناوب‌های



این سنگ‌ها از پلاژیوکلازهای آندزین تا لابرادوریت، آمفیبول از نوع اکسی هورنبلند، آلکالی فلدسپار و پیروکسن تشکیل شده‌اند و اغلب دارای منطقه‌بندی می‌باشند.

وجود بافت‌های نامتعادل مانند منطقه‌بندی ترکیبی در پلاژیوکلازها و آمفیبول‌ها، خوردگی حاشیه بلورها و حاشیه واکنشی مانند آمفیبول‌ها یکی از مشخصات سنگ‌های کمان آتشفشانی است (Shelly 1993, Best & Christiansen 2001). پیروکسن‌ها مونوکلینیک بوده و بیشتر از نوع اوژیت و دیوبسید می‌باشند که اغلب در سنگ‌های بازالتی تا آندزیتی‌های بازالتی قابل مشاهده می‌باشند.

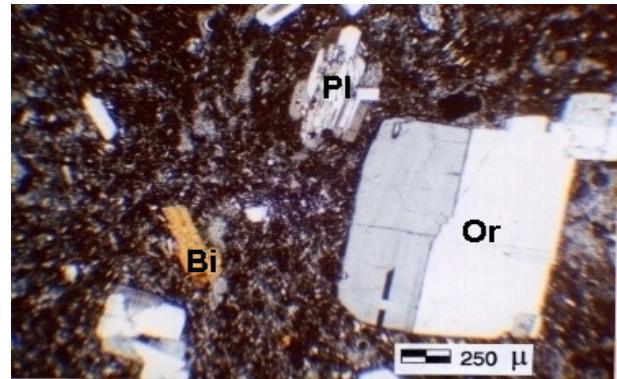
بلورهای هورنبلند با رنگ قهوه ای و پلی کروئیسیم شدید و اغلب خوددشکل در اکثر سنگ‌های این مجموعه حضور گسترده دارند که نشان‌دهنده‌ی ماهیت آبدار ماگماتیسیم و شکل‌گیری سنگ‌ها در کمان ماگمایی است (MacDonald et al. 2000) (تصویر ۴).



تصویر ۴- بلورهای شکل‌دار اکسی هورنبلند در آندزیت، نور XPL. (Am: Amphibol)

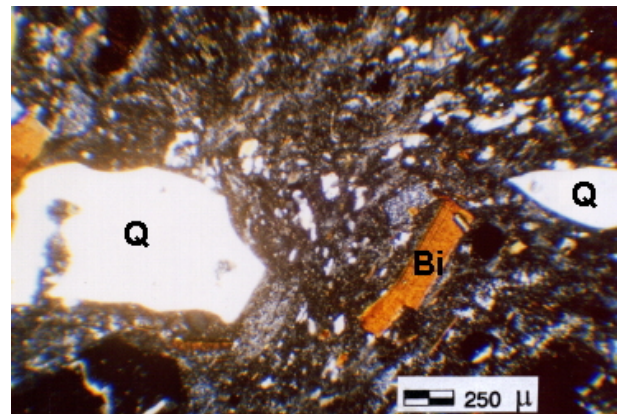
در این سنگ‌ها خمیره معمولاً از میکرولیت و شیشه تشکیل شده است و در برخی از نمونه‌ها خمیره شفاف است که این مسئله نشان‌دهنده‌ی بالا بودن درصد کانی‌های روشن و احتمالاً  $SiO_2$  در خمیره است، بنابراین سنگ به سمت لایتیت آندزیت کوارتزاردار میل می‌کند. برخی از این سنگ‌های آندزیتی، حاوی مقدار قابل توجهی بلورهای ارتوکلاز و سانیدین هستند که با افزایش فلدسپات‌های آلکالن کمی به قطب تراکیتی میل کرده‌اند.

قسمت فوقانی این مجموعه بیشتر ماهیت گدازه‌ای داشته و رنگ آن‌ها تیره‌تر و گاه همراه با حفره‌های کوچک می‌باشند که نشان‌دهنده‌ی خروج گاز در زمان تشکیل است. این سنگ‌ها ترکیبی بازیک‌تر داشته و دارای پلاژیوکلاز از نوع لابرادوریت هستند. همراه با پلاژیوکلاز، بلورهای پیروکسن و هورنبلند در خمیره‌ای از بلورهای ریزکانی‌های تیره و روشن و مقداری شیشه حضور دارند.



تصویر ۲- بلورهای خوددشکل ارتوکلاز در ریولیت پورفیری نور XPL، (Pl: Plagioclase, Bi: Biotite, Or: Orthos)

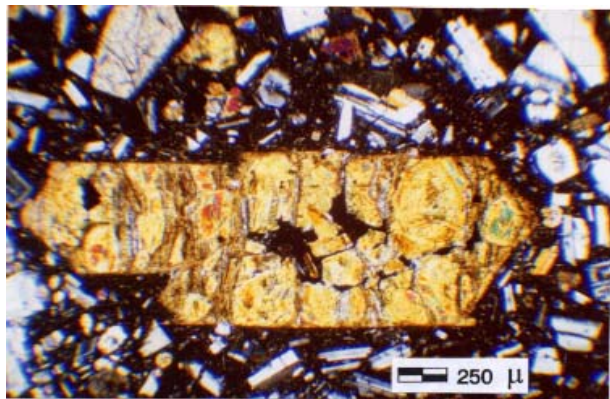
به همین دلیل بیشتر این سنگ‌ها به صورت توده‌های برشی اتوکلاستیک بوده که کاملاً به هم جوش خورده‌اند. ترکیب سنگ‌های این مجموعه از حد ریولیتی تا ریوداسیتی متغیر است و سنگ میزبان اصلی رگه‌های معدنی را تشکیل می‌دهند. در این مجموعه در برخی نواحی توده‌هایی شیشه‌ای با ترکیب ریولیتی قابل مشاهده می‌باشند که دارای بافت هیالوفیریک هستند و عمده‌ترین بخش سنگ شامل خمیره‌ای از شیشه، کانی‌های رسی و به مقدار کم اکسیدهای آهن می‌باشد (تصویر ۳). در مرکز این گنبد آتشفشانی سنگ‌ها گاه به سمت لایتیت تا آندزیت میل می‌کنند و خصوصیات سنگ‌های ساب ولکانیک را نشان می‌دهند.



تصویر ۳- بلورهای خرد شده و زاویه‌دار کوارتز در زمینه‌ای از شیشه و مواد دانه‌ریز، نور XPL، (Q: Quartz, Bi: Biotite)

#### ۴-۲- سنگ‌های آندزیتی تا بازالتی

سنگ‌های آندزیتی تا بازالتی، بر روی زمین به رنگ خاکستری تا سیاه دیده می‌شوند. این سنگ‌ها، عموماً به صورت ستون‌های گدازه‌ای و یا قطعات آذر آواری مشاهده می‌شوند و بیش‌ترین گسترش را در نواحی شمال و شرق منطقه دارند. ترکیب این سنگ‌ها آندزیت، تراکی آندزیت و بازالت آندزیتی است. تقریباً تمامی این سنگ‌ها دارای بافت پورفیریک می‌باشند و بافت جریان‌ی نیز گاهی در آن‌ها مشاهده می‌شود.

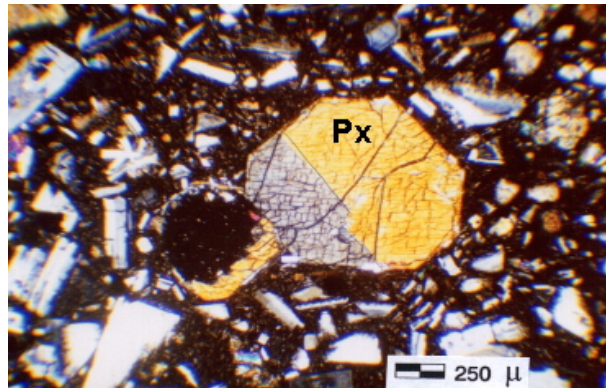


تصویر ۷- تصویر میکروسکوپی از تجزیه بلور الیون اولیه به ایدنگزیت در الیون آندزی بازال، نور XPL

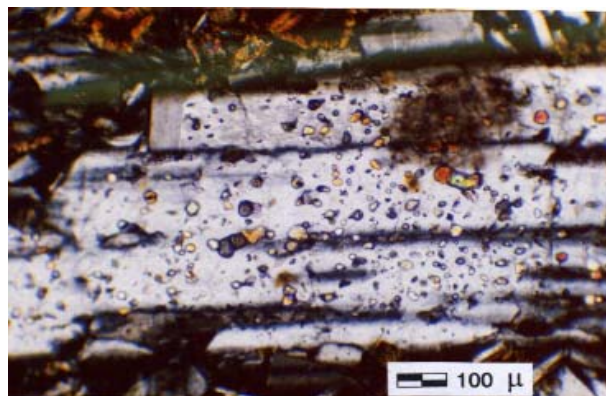
### ۵- ژئوشیمی و سنگ‌زایی

ماهیت ژئوشیمی و سنگ‌شناختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ، براساس نتایج حاصل از تجزیه ۱۳ نمونه از سنگ‌های منطقه (۱۰) اکسید اصلی و ۱۸ عنصر کمیاب) و براساس نمودارهای مربوطه تعیین گردید (جدول ۱). براساس نمودار درصد وزنی  $\text{SiO}_2$  در مقابل درصد وزنی آلکالی‌ها  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (Cox et al. 1979)، سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ در دو سری بیش‌ترین گسترش را دارند. سنگ‌های قدیمی‌تر اسیدی که با دایر توپر مشخص شده‌اند (تصویر ۸) تماماً در محدوده‌ی داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند. قسمت اعظم این نمونه‌ها در نزدیکی مرز ریولیت و داسیت می‌باشد، بنابراین به کار بردن نام ریوداسیت صحیح‌تر به نظر می‌رسد. سنگ‌های جدید بازیک‌تر که در نمودار با ستاره مشخص شده‌اند در محدوده‌ی آندزیت تا آندزی بازال قرار دارند (تصویر ۸). نتایج بدست آمده از این نمودار کاملاً با مطالعات میکروسکوپی مطابقت و هم‌خوانی دارد. چنانچه لگاریتم درصد وزنی  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Nb}/\text{Y}$  (Winchester & Floyed 1977) را برای نمونه‌های منطقه‌ی بایچه‌باغ استفاده نمایم نیز تقریباً همان نتایج تصویر ۸ به‌دست خواهد آمد بنابراین ۸ نمونه در محدوده‌ی ریوداسیت و نزدیک به مرز ریولیت قرار می‌گیرند و سنگ‌های حدواسط تا بازیک، در محدوده‌ی آندزیت و مرز بازال قرار دارند (تصویر ۹). نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقادیر لگاریتمی  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  و درصد وزنی  $\text{SiO}_2$  نمونه‌های مورد مطالعه، با نمودارهای قبلی یکسان می‌باشد. بنابراین، سنگ‌های اسیدی در محدوده‌ی ریوداسیت و داسیت و سنگ‌های آندزیتی در محدوده‌ی آندزیت تا تراکی آندزیت قرار می‌گیرند (تصویر ۱۰). در نمودار لومیت و همکاران (Le Maitre et al. 2005) که براساس مقادیر  $\text{P} \cdot \text{A} \cdot \text{Q}$  تنظیم شده نیز سنگ‌های اسیدی در محدوده‌ی ریوداسیت و سنگ‌های بازیک‌تر در محدوده‌ی تراکی آندزیت، آندزیت و بازال قرار دارند (تصویر ۱۱). سیر

در برخی از نمونه‌های بازالتی، بلورهای پیروکسن با مقدار کمی الیون همراه هستند و گاه به‌صورت بلورهای ریز ادخال‌گونه در متن فنوکریست‌های پلاژیوکلاز پراکنده‌اند و بافت پوئی کیلیتیک را نشان می‌دهند (تصاویر ۵ و ۶).



تصویر ۵- بلور خودشکل پیروکسن با ماکل کارلسباد در آندزیت بازالتی، نور XPL (Px: Pyroxene)



تصویر ۶- تصویر میکروسکوپی بلورهای نسبتاً ریز پیروکسن به‌صورت ادخال در متن فنوکریست پلاژیوکلاز، نور XPL

کانی‌های عارضه‌ای به‌صورت اکسیدهای آهن، کلسیت، کلریت، اپیدوت و کمی کانی‌های رسی است. در برخی از نمونه‌های آندزیتی آثاری از کانی‌های اوپاک و هیدروکربنات مس به‌صورت مالاکیت مشاهده شده است. این مسئله نشان‌دهنده‌ی نفوذ محلول‌های هیدروترمال به درون آندزیت‌ها است و شاید دلیلی بر ارتباط کانه‌زایی مس با آندزیت‌ها باشد. بازال‌ها (Qv) جوان‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها به شکل توده‌هایی با ساخت منشوری، رخنمون‌های کوچکی را تشکیل داده‌اند و شامل سنگ‌های بازال آندزیتی تا بازال‌های الیون‌دار می‌باشند. در بازال‌های الیون‌دار، بلورهای الیون که در مراحل اولیه‌ی تفریق شکل گرفته‌اند به‌طور کامل به ایدنگزیت تجزیه شده‌اند ولی هنوز قالب بلور اولیه را حفظ کرده‌اند (تصویر ۷).

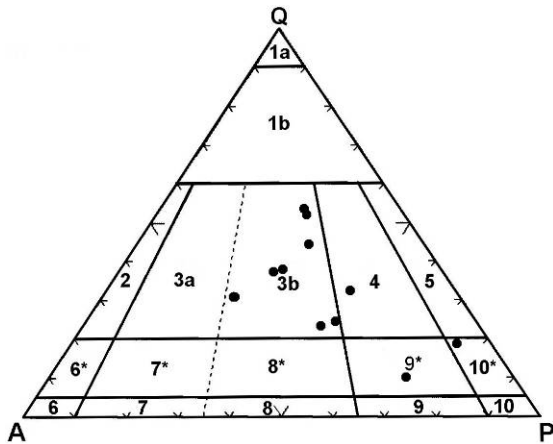


تدریجی تغییرات ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی از یک ماگما به ماگمای دیگر نشانه‌ی رابطه‌ی خویشاوندی آن‌ها با هم و منشاء گرفتن از یک منبع مشترک است (Blatt & Tracy 1996). طبق نظریه‌ی کونو (Kuno 1968) یک‌سری ماگمایی، مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی است که دارای ترکیب شیمیایی مختلف بوده و از یک ماگمای بازیک مادر در نتیجه‌ی تفریق حاصل شده باشد. طبق نمودار ایزوپل و باراگار (Irvin & Baragar 1971) که براساس نسبت  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  در مقابل درصد وزنی  $\text{SiO}_2$  تنظیم شده است، سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ در سری سنگ‌های ساب‌آلکانل قرار می‌گیرند. البته سنگ‌های آندزیتی و آندزی بازالتی به

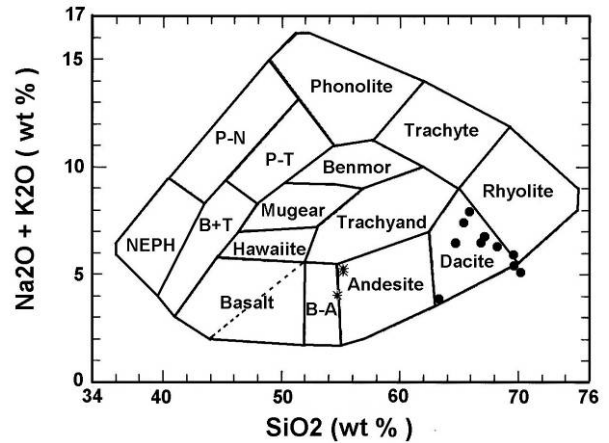
مرز آلکالیک نزدیک هستند (تصویر ۱۲). سری ساب‌آلکانل می‌تواند شامل سنگ‌های تولیتی و کالکوآلکانل باشد. برای جدایش بهتر سری تولیتی از سری کالکوآلکانل می‌توان از نمودار AFM استفاده کرد. در این نمودار مقادیر  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  در سه قطب مثلث قرار می‌گیرند. بر اساس این نمودار سه وجهی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ، در محدوده‌ی کالک آلکانل قرار می‌گیرند. سنگ‌های گروه بازیک در مرز تولیتی قرار گرفته‌اند اما از نظر مقدار پتاسیم بالاتراز سری تولیتی و در حد سری کالکوآلکانل می‌باشند و در کل روند تفریق ماگمای کالکوآلکانل را نشان می‌دهند (تصویر ۱۳).

جدول ۱- نتایج تجزیه‌ی شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب سنگ‌های آتشفشانی به ویژه سنگ‌های میزبان رگه‌های معدنی منطقه‌ی بایچه‌باغ به روش (XRF) (کریمی ۱۳۸۱)

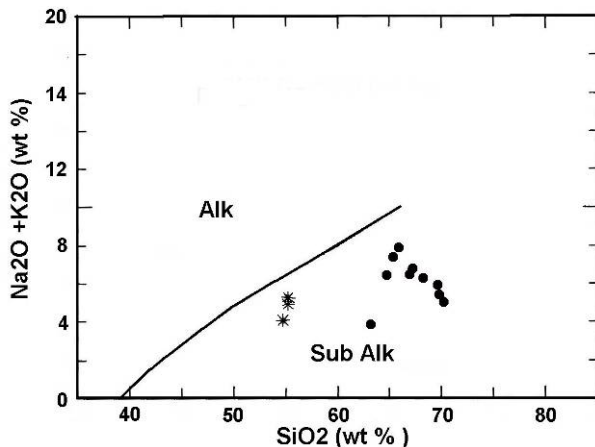
شماره‌ی نمونه	اسم سنگ	$\text{SiO}_2$ %	$\text{Al}_2\text{O}_3$ %	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ %	$\text{MgO}$ %	$\text{CaO}$ %	$\text{Na}_2\text{O}$ %	$\text{K}_2\text{O}$ %	$\text{MnO}$ %	$\text{TiO}_2$ %	$\text{P}_2\text{O}_5$ %	Cr ppm	Ni ppm	Rb ppm	Sr ppm
B1	بازالت آندزیتی	54.406	12.744	13.806	6.641	5.275	0.535	1.993	0.023	0.742	0.105	27.11	n.d	61.38	1240.94
B2	بازالت آندزیتی	54.342	12.269	12.321	3.365	7.535	3.168	1.902	0.177	2.183	0.382	n.d	n.d	64.86	665.336
B3	توف آندزیتی	54.146	12.262	11.962	3.427	7.514	3.266	1.907	0.180	2.262	0.384	n.d	n.d	65.10	1142.72
B4	توف داسیتی	62.774	15.664	5.892	6.862	3.880	1.670	2.176	0.023	0.865	0.067	n.d	n.d	76.16	1263.29
B5	ریوداسیت	65.590	15.200	4.128	2.480	3.830	3.203	4.704	0.034	0.640	0.199	n.d	n.d	87.79	1061.84
B6	ریوداسیت	68.937	15.836	4.945	1.217	2.84	1.570	3.796	0.023	0.787	0.121	41.81	n.d	65.05	856.170
B7	ریوداسیت	68.937	15.343	4.652	1.376	2.543	1.212	3.796	0.015	0.628	0.095	46.95	n.d	67.56	503.968
B8	ریوداسیت	66.196	13.571	5.362	1.763	4.785	1.360	5.284	0.031	0.729	0.104	44.98	21.38	94.16	871.576
B9	ریوداسیت	64.692	13.485	5.492	1.680	5.790	1.844	5.522	0.038	0.831	0.112	63.69	28.30	75.16	541.766
B10	داسیت	64.141	15.334	5.978	1.572	5.180	2.913	3.540	0.039	0.938	0.102	23.87	15.82	54.19	822.521
B11	ریولیت	67.692	14.777	3.160	2.410	4.350	0.775	5.466	0.011	0.670	0.106	5.000	n.d	62.35	702.001
B12	توف ریولیتی	69.254	14.147	6.285	0.552	3.189	1.488	4.412	0.014	0.610	0.078	9.209	n.d	87.73	714.741
B13	داسیت	66.236	14.362	5.452	2.227	3.891	1.081	5.367	0.031	0.781	0.108	13.47	n.d	78.43	965.517
شماره‌ی نمونه	اسم سنگ	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Ba ppm	La ppm	Ce ppm	Nd ppm	Sm ppm	Tb ppm	Yb ppm	Hf ppm	Ta ppm	Th ppm	Eu ppm
B1	بازالت آندزیتی	26.560	214.266	14.436	39.135	n.d	9.223	n.d	7.430	0.503	6.426	4.660	0.802	5.312	1.925
B2	بازالت آندزیتی	31.787	234.355	14.863	157.121	n.d	11.48	n.d	6.271	0.441	2.705	4.700	0.825	5.469	1.858
B3	توف آندزیتی	21.596	214.728	15.116	102.738	n.d	8.881	n.d	6.574	0.401	5.442	4.681	0.827	5.754	1.742
B4	توف داسیتی	49.566	309.685	14.900	n.d	n.d	6.684	n.d	6.546	0.416	4.118	4.662	0.823	5.657	1.828
B5	ریوداسیت	49.971	353.675	15.044	n.d	n.d	6.626	n.d	6.097	0.418	4.241	4.707	0.837	5.759	1.685
B6	ریوداسیت	26.148	217.621	15.629	114.982	3.295	23.87	12.85	4.460	0.786	6.230	5.496	1.040	6.679	1.229
B7	ریوداسیت	39.284	251.244	15.506	191.474	n.d	24.18	2.784	6.759	0.700	9.090	5.483	1.067	6.729	1.797
B8	ریوداسیت	55.556	387.387	15.243	676.038	14.20	35.59	15.39	8.481	0.705	4.282	5.343	1.003	6.342	2.527
B9	ریوداسیت	38.933	276.946	15.778	732.099	11.48	39.96	17.20	10.034	0.701	7.932	5.267	1.011	6.613	2.800
B10	داسیت	17.607	157.194	15.693	203.984	n.d	21.65	4.69	9.635	0.720	5.376	5.212	0.994	6.537	2.810
B11	ریولیت	15.675	190.423	15.378	169.177	n.d	16.93	n.d	9.984	0.515	6.920	5.282	1.036	6.458	2.821
B12	توف ریولیتی	76.410	397.572	15.172	599.204	n.d	30.58	n.d	10.945	0.652	7.944	5.056	0.944	6.022	3.029
B13	داسیت	40.435	301.236	15.182	629.063	n.d	30.20	n.d	8.257	0.637	7.119	5.064	0.965	6.039	2.254



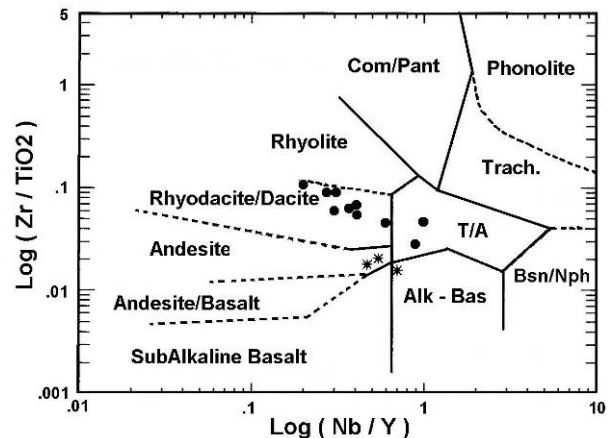
تصویر ۱۱- تقسیم‌بندی QAP سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه باغ (Le Maitre et al. 2005) سنگ‌های قدیمی در محدوده‌ی ریولیت تا داسیت و سنگ‌های جدیدتر در محدوده‌ی آندزیت و بازالت تا مونزوآندزیت و مونزوبازالت قرار دارند



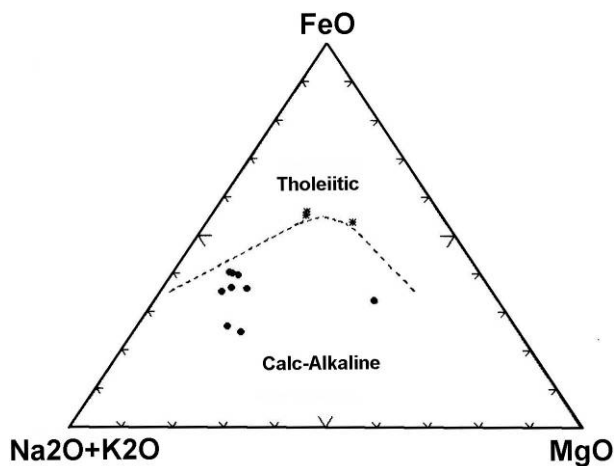
تصویر ۸- تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه باغ (Cox et al. 1979). سنگ‌های قدیمی در محدوده‌ی داسیت تا ریولیت و سنگ‌های جدید در محدوده‌ی آندزیت تا آندزی بازالت قرار می‌گیرند



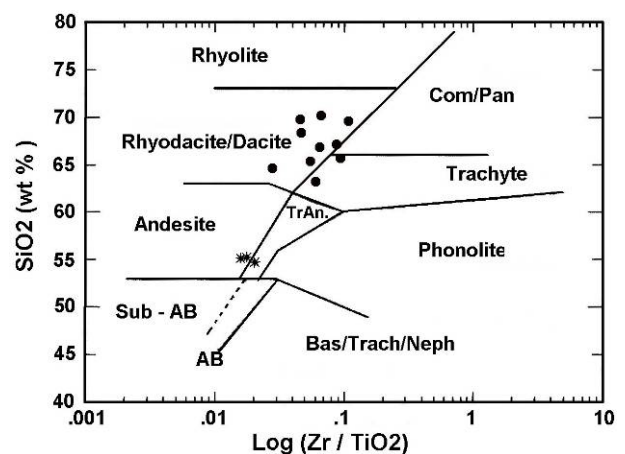
تصویر ۱۲- نمودار آلکان-سیلیس برای سنگ‌های آتشفشانی بایچه باغ. (Irvin & Baragar 1971) بر این اساس سنگ‌های منطقه در محدوده‌ی ساب آلکان قرار دارند. سنگ‌های آندزیتی به مرز آلکان نزدیک هستند



تصویر ۹- تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی بایچه باغ (Winchester & Floyd 1977). سنگ‌های قدیمی در محدوده‌ی ریوداسیت-داسیت و گاه تراکیت و سنگ‌های جدید در محدوده‌ی آندزیت قرار دارند



تصویر ۱۳- نمودار مثلی AFM برای سنگ‌های آتشفشانی بایچه باغ (Irvin & Baragar 1971) این نمودار روند تفریق سنگ‌های آتشفشانی قدیمی و جوان را مطابق با سری کالکو آلکان نشان می‌دهند



تصویر ۱۰- تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه باغ (Winchester & Floyd 1977). بر این اساس سنگ‌های قدیمی در محدوده‌ی ریولیت تا داسیت و گاه تراکیت و سنگ‌های جدید در محدوده‌ی آندزیت تا تراکی آندزیت قرار می‌گیرند

این نمودارها امروزه به‌صورت یکی از روش‌های مناسب جهت تشخیص جایگاه‌های تشکیل سنگ‌های آذرین به‌کار گرفته می‌شود. اساس این روش استفاده از تفاوت‌های عناصر جزئی بین سنگ‌ها در جایگاه‌های شناخته شده متفاوت، بر اساس یک اطلاعات پایه‌ای جامع است. عناصر نسبتاً غیرمتحرک (HFSE) عموماً مناسب‌ترین عناصر برای این نمودارها می‌باشند.

یکی از نمودارهای مورد استفاده نمودار سه عنصری Ti-Zr-Sr (Pearce & Cann 1973) است که بر اساس آن می‌توان بازالت‌های کف اقیانوس (OFB) را از بازالت‌های جزایر قوسی (IAB) و بازالت‌های کالکوآلکان (CAB) جدا نمود ولی این نمودار نمی‌تواند سنگ‌های آذرین مرتبط با فرورانش را از نوع درون صفحه‌ای (WIP) متمایز کند.

بر اساس این نمودار، سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ در محدوده‌ی بازالت‌های کالکو آلکان قرار می‌گیرند. سنگ‌های آندزیتی و آندزی بازالتی دقیقاً درون محدوده، اما سنگ‌های اسیدی ریولیتی تا داسیتی که به طور طبیعی دارای مقدار کمتری Ti هستند در این نمودار قابل بررسی نبوده و در زیر محدوده‌ی بازالت‌های کالکو آلکان قرار می‌گیرند، بنابراین در نمودار حذف شده‌اند (تصویر ۱۵).

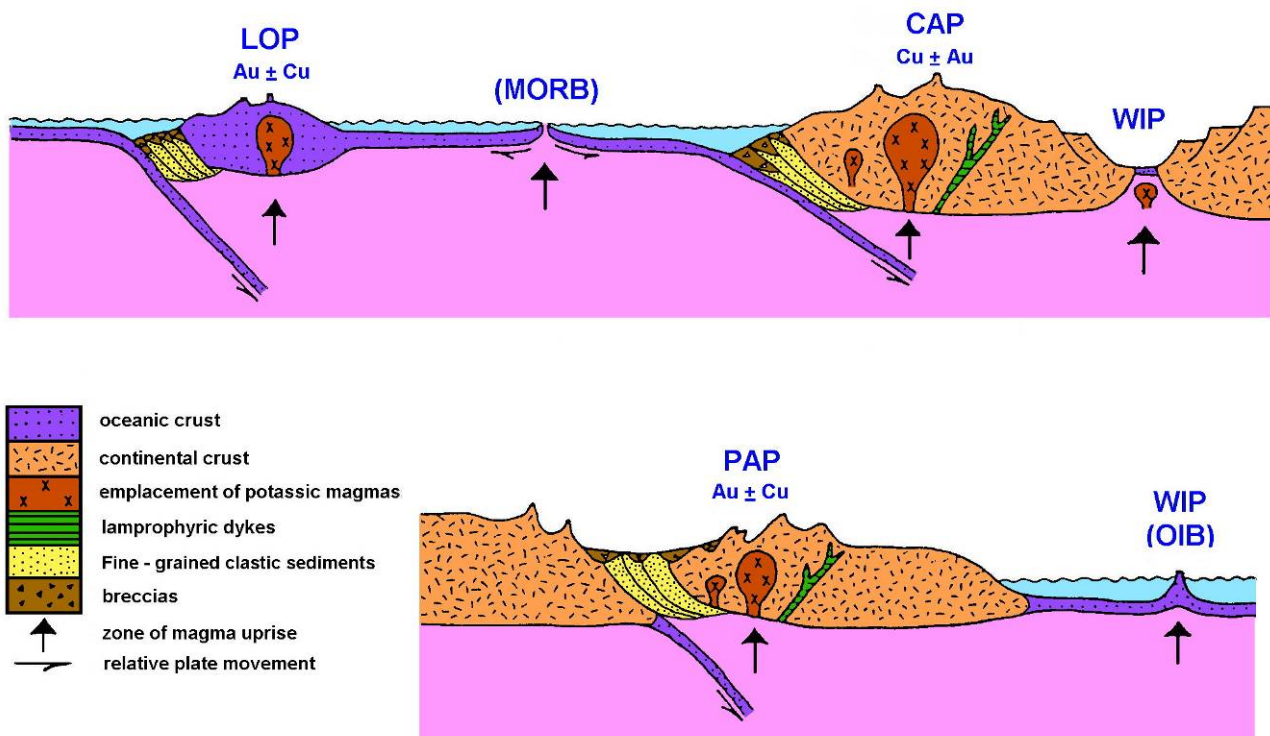
سری تولیتی نسبت به سایر سری‌ها از نظر سدیم و پتاسیم و از نظر آهن بسیار غنی تر از دیگر سری‌ها می‌باشد. سری کالکوآلکان نسبت به سری تولیتی آهن کم تر ولی از نظر عناصر قلیانی مانند  $K_2O, CaO, Na_2O$  غنی تر است. میزان پتاسیم در بازالت‌های تولیتی کمتر از ۰/۲ درصد می‌باشد (Jakes & White 1972) که این مقدار از میزان متوسط پتاسیم در بازالت‌های بایچه‌باغ بسیار کمتر است.

#### ۴- خاستگاه زمین‌ساختی

با توجه به اینکه سنگ‌های آذرین به وجود آمده در هر وضعیت زمین‌ساختی از نظر میزان عناصر اصلی و فرعی تفاوت‌هایی دارند لذا اطلاع از جایگاه زمین‌ساختی هر کانسار و بازسازی مدل‌های اکتشافی کانسارهای قدیمی می‌تواند راهگشای اکتشافات جدید و حل مسائل زایش سنگ‌ها و کانسارها باشد (تصویر ۱۴).

نمودارهای تشخیص ژئوشیمیایی به‌طور گسترده در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ در تشخیص جایگاه‌های زمین‌ساختی سنگ‌های آذرین به‌کار گرفته شده است. برای مثال:

Pearce et al. 1984, Pitcher 1983, Pearce & Cann 1973, Wood et al. 1979, Pearce & Gale 1977, Floyd & Winchester 1975, Mullen 1983, Shervais 1982, Pearce & Norry 1979, Muller & Groves 1997, Meschede 1989.



تصویر ۱۴- جایگاه‌های مهم زمین‌ساختی در تشکیل سنگ‌های آذرین و کانسارهای وابسته (Mitchell & Garson 1981)

MORB = Mid Oceanic basalt  
WIP = Within plate setting  
OIB = Oceanic Island Basal

PAP = Post Collisional Arc  
LOP = Late Oceanic Arc  
IOP = Initial Oceanic Arc



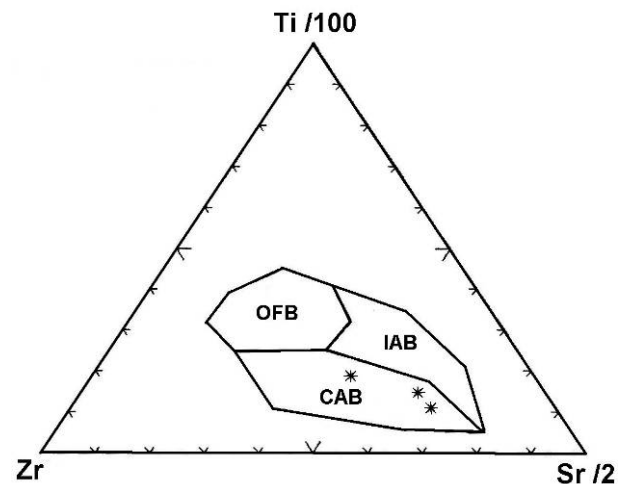
می‌توان جایگاه زمین‌ساختی این سنگ‌ها را تعیین نمود. غنی‌شدگی از عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب سنگین (HREE) یکی از خصوصیات بارز سنگ‌های کالکوالکالن مناطق فرورانش حاشیه‌قاره‌ای است (Wilson 2007, Brewer et al. 2003, Machado et al. 2005).

از سوی دیگر تهی‌شدگی ضعیف این سنگ‌ها از عناصر MREE، معرف جدایش تیتانیت از آن‌ها می‌باشد (Kuscu & Geneli 2008). همچنین ناهنجاری‌های منفی از عناصر Ti, Ta, Nb, P در روند تغییرات عناصر کمیاب، می‌تواند نشانگر شکل‌گیری سنگ‌ها در منطقه فرورانش باشد (Wilson 2007). در سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ، تهی‌شدگی از عنصر Ba نیز مشاهده شد. بررسی‌های جدید نشان داد که میزان تهی‌شدگی Ba در سنگ‌های آتشفشانی می‌تواند مستقل از درجه اشباع شدگی ماگمای آن‌ها از سیلیس و میزان شکل‌گیری آن باشد (Avanzinelli et al. 2008).

تصویر ۱۷ الگوهای نمودارهای عنکبوتی نرمالایز شده کندریتی را برای پنج جایگاه زمین‌ساختی نشان می‌دهد (Muller & Groves 1997). در تصویر ۱۸، بیش‌ترین شباهت بین نمونه‌های بایچه‌باغ با جایگاه کمان‌های قاره‌ای وجود دارد. سنگ‌های قدیمی‌تر ریولیتی تا داسیتی بیش‌ترین انطباق را با جایگاه کمان‌های قاره‌ای و سنگ‌های جوان‌تر آندزیتی تا آندزی بازالتی بیش‌ترین انطباق را با جایگاه بعد از برخورد نشان دادند.

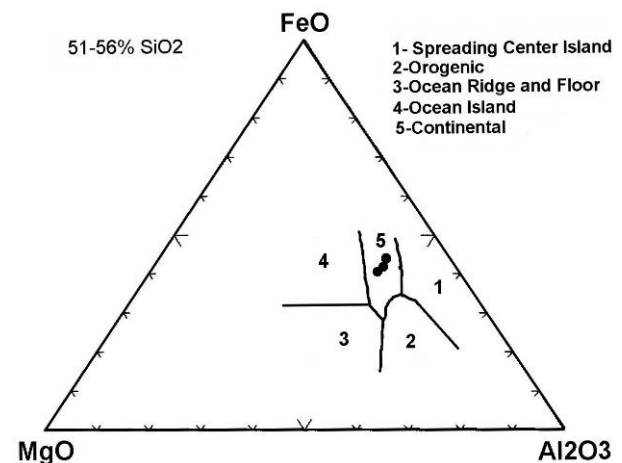
با توجه به عدم دقت بالای نمودارهای ساده‌ی قدیمی و عنکبوتی و عدم تفکیک دقیق جایگاه‌های زمین‌ساختی، مولر و گراوز (Muller & Groves 1997) روش‌های جدیدی را برای تفکیک دقیق‌تر جایگاه‌های زمین‌ساختی سنگ‌های آذرین ارائه دادند. مسئله‌ی اصلی، نمایش اختلاف جدایش‌های ژئوشیمیایی است که در جایگاه زمین‌ساختی لازم است، زیرا این فاکتورهای جدایش‌های ژئوشیمیایی، در جایگاه‌های زمین‌ساختی، ناشی از ماهیت زایشی و فرایندهای تولید ماگمای درون آن‌ها است. روش مولر و گراوز بهترین امکان جدایش را بر روی یک نمودار نشان می‌دهند که به صورت یک الگوی تشخیصی مرحله‌ای در اغلب جایگاه‌های زمین‌ساختی به کار می‌رود.

تصویر ۱۹، نمودارهای تشخیصی مرحله‌ای برای سنگ‌های آذرین از جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف را براساس نسبت‌های ساده‌ی عناصر غیرمتحرک نشان می‌دهد. با استفاده از این روش و به کمک این نمودارها می‌توان طی چند مرحله جایگاه‌های LOP، IOP، PAP، CAP و WIP را به راحتی از یکدیگر تفکیک کرد. با توجه به تصویر ۲۰A، سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ براساس نسبت‌های ساده‌ی عناصر غیرمتحرک، در محدوده‌ی CAP+PAP قرار می‌گیرند.



تصویر ۱۵- نمودار Ti/100 - Sr/2- Zr برای سنگ‌های آتشفشانی بایچه‌باغ (Pearce & Cann 1973). آندزیت‌ها و آندزی بازالت‌های جوان‌تر در محدوده‌ی بازالت‌های کالکوالکالن قرار گرفته‌اند.

در روش پیرس و همکاران (Pearce et al. 1977) بر اساس میزان  $MgO$ ،  $Al_2O_3$ ،  $FeO$  که برای طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین در محدوده‌ی  $SiO_2$  بین ۵۱ تا ۵۶ درصد به کار می‌رود، سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی تا آندزی بازالتی بایچه‌باغ در محدوده‌ی قاره‌ای قرار می‌گیرند (تصویر ۱۶).

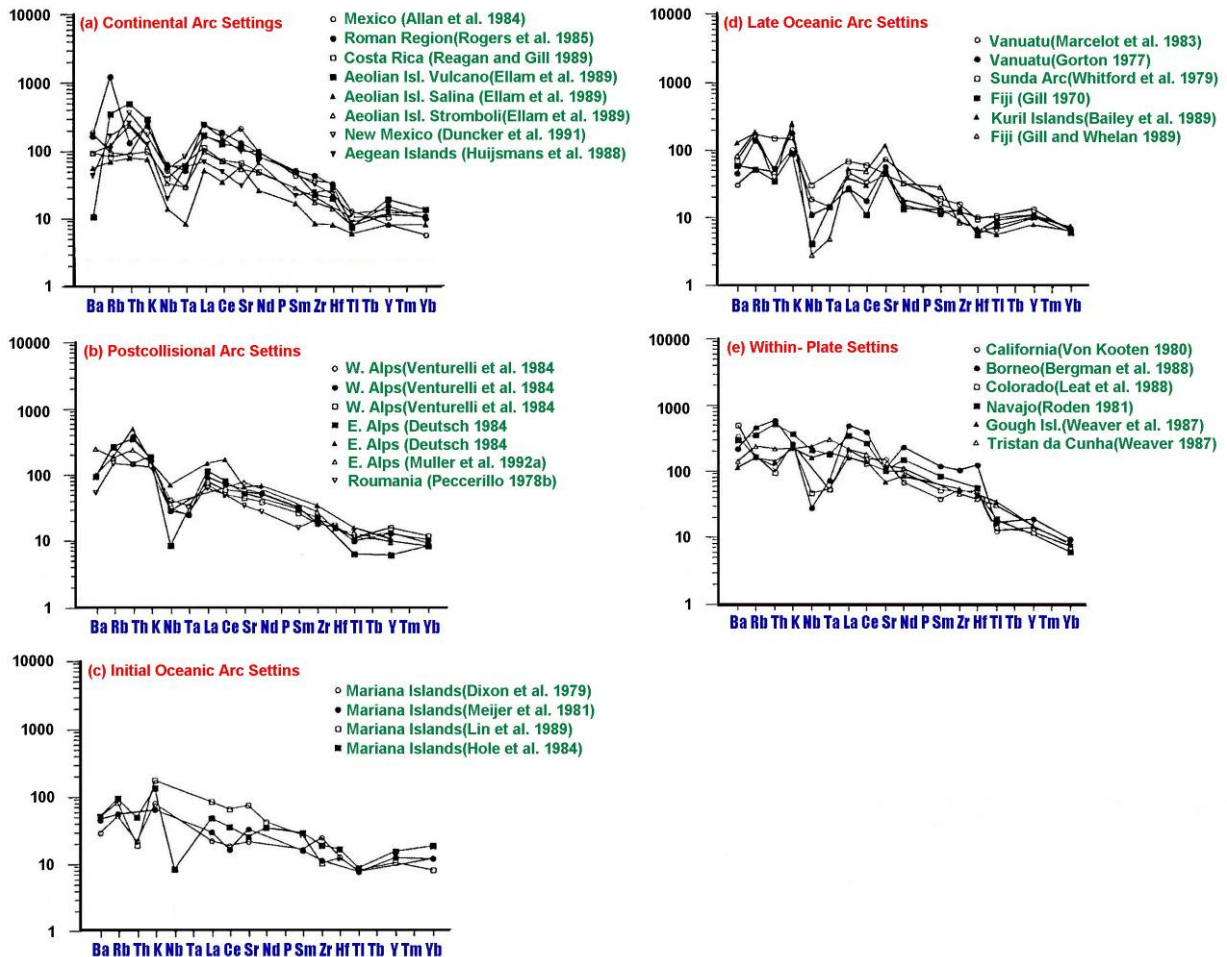


تصویر ۱۶- نمودار FeO-  $Al_2O_3$ -  $MgO$  برای سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی تا آندزی بازالتی (منطقه‌ی  $SiO_2=51-56\%$ ) بایچه‌باغ (Pearce et al. 1977). در این نمودار، سنگ‌ها در محدوده‌ی قاره‌ای قرار می‌گیرند.

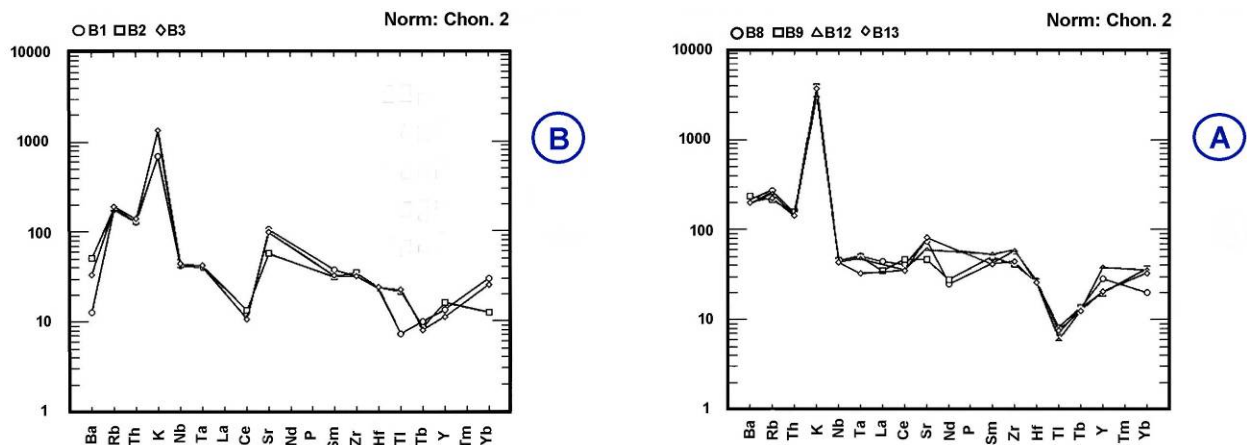
نمودارهای عنکبوتی از نمودارهای معمول جهت مقایسه الگوهای ژئوشیمیایی می‌باشند (Thompson 1982). این نمودارها نمی‌توانند به‌طور مؤثر در تفکیک سنگ‌های آذرین جایگاه‌های مختلف به کار روند. بر اساس تجزیه‌ی عناصر نادر و کمیاب سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ و با استفاده از نمودارهای عنکبوتی تا حدودی

از برخورد (PAP) قرار می‌گیرند. شاید بتوان دلیل مسئله را این‌گونه تفسیر کرد که سنگ‌های اسیدی در مرحله فرورانش و سنگ‌های بازیک‌تر جوان با پیشرفت فرورانش در مرحله پس از برخورد و ایجاد فاز کششی پس از آن تشکیل شده‌اند.

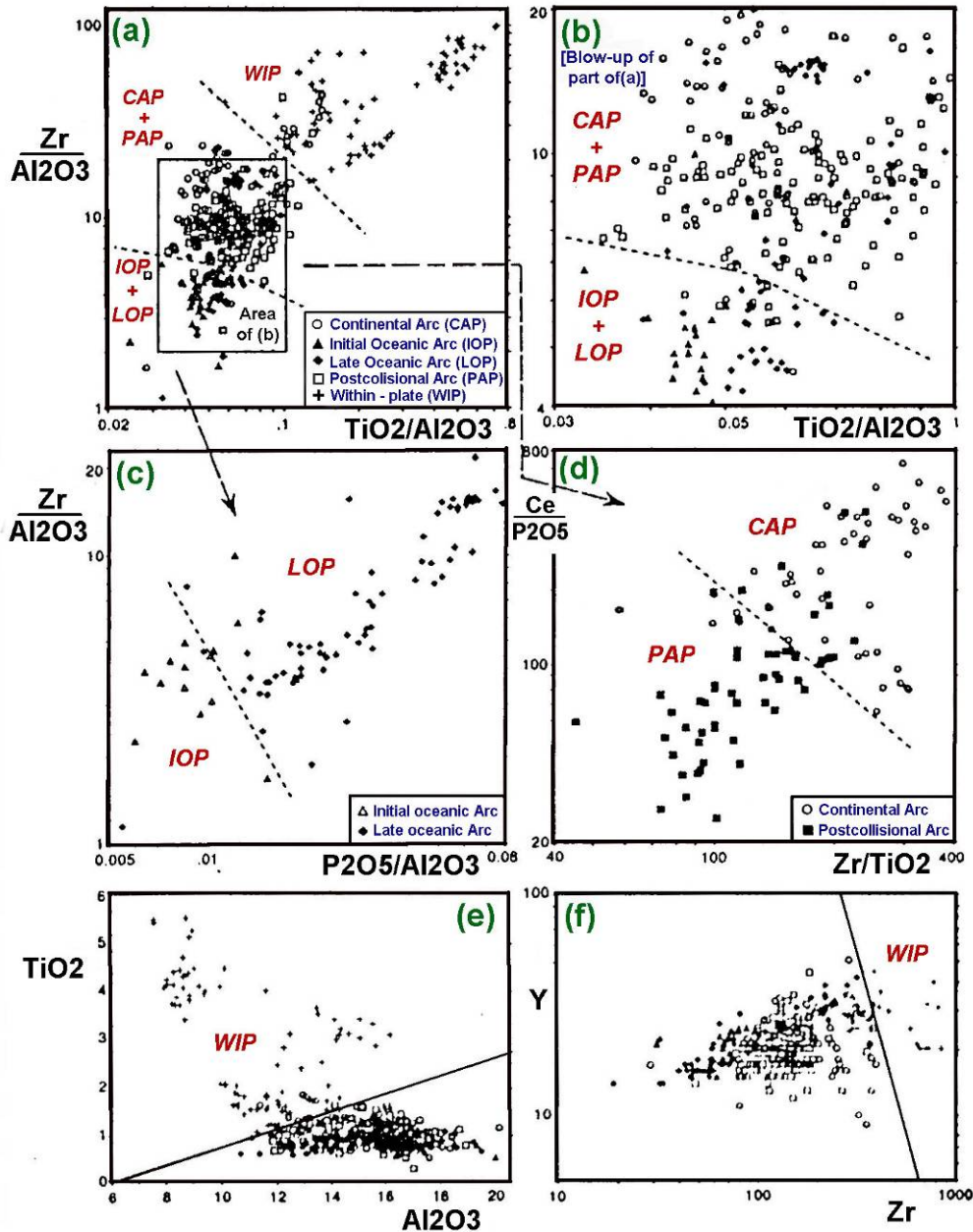
این مسئله نشان‌دهنده‌ی ارتباط و لکانیسم با کمان‌های قاره‌ای است. در تصویر ۲۰B براساس نسبت‌های لگاریتمی،  $Ce/P_2O_5$   $Zr/TiO_2$  و جایگاه PAP و CAP از یکدیگر تفکیک شدند. بر این اساس سنگ‌های اسیدی ریولیتی تا داسیتی قدیمی‌تر در قلمرو کمان‌های قاره‌ای (CAP) و سنگ‌های آندزیتی تا آندزی بازالتی جوان‌تر در قلمرو کمان‌های بعد



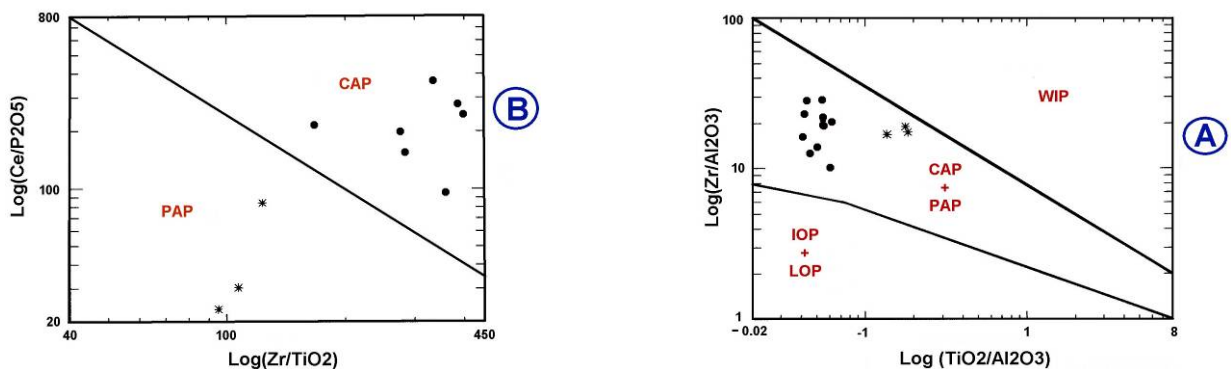
تصویر ۱۷- الگوهای نمودارهای عنکبوتی نرمالایز شده کندریتی برای سنگ‌های آذرین از پنج جایگاه زمین‌ساختی (Muller & Groves 1997)



تصویر ۱۸ - نمودارهای عنکبوتی برای عناصر کمیاب نرمالایز در سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ. (A) سنگ‌های ریولیتی تا داسیتی (B) سنگ‌های آندزیتی تا آندزی بازالتی



تصویر ۱۹- نمودارهای تشخیصی مرحله‌ای برای سنگ‌های آذرین از جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف براساس نسبت‌های ساده‌ی عناصر غیرمتحرک

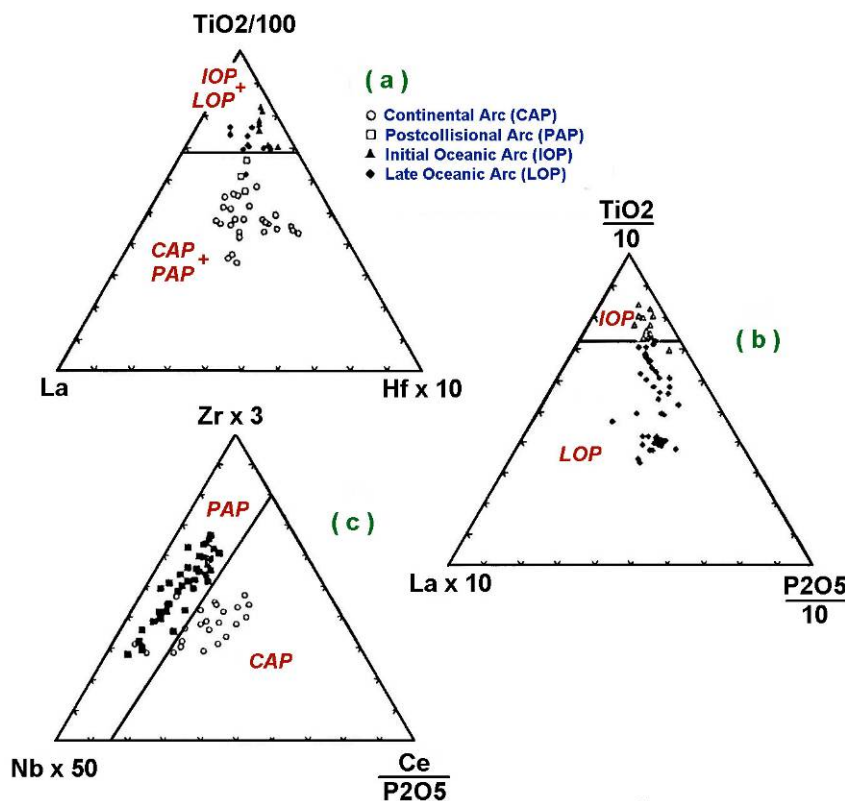


تصویر ۲۰- نمودارهای تشخیصی مرحله‌ای برای سنگ‌های آتشفشانی بایچه‌باغ براساس نسبت‌های ساده‌ی عناصر غیرمتحرک (Muller & Groves 1997). در تصویر A کلیه‌ی سنگ‌ها در قلمرو (CAP+PAP) قرار گرفته‌اند. در تصویر B سنگ‌های اسیدی در قلمرو CAP و سنگ‌های حد واسط تا بازیک در قلمرو PAP قرار دارند

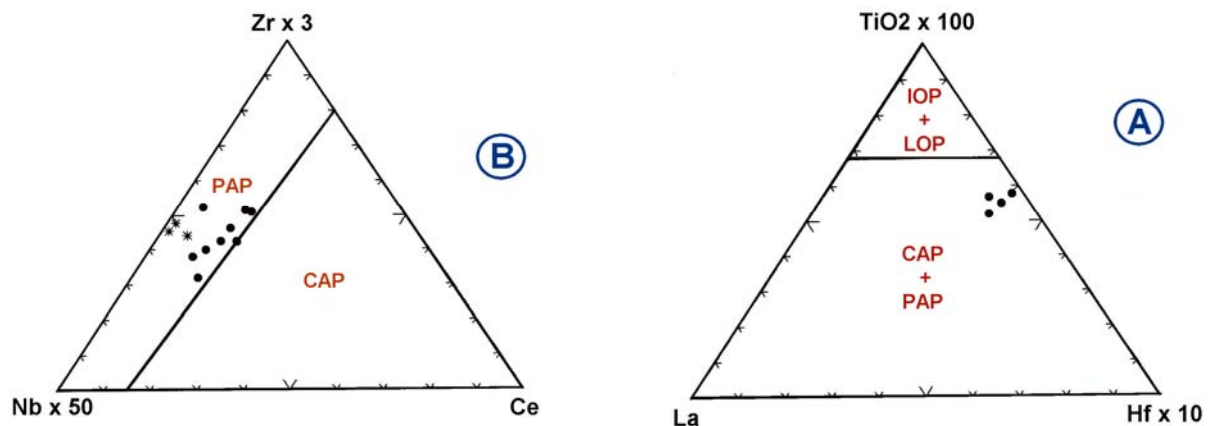


پایانی (LOP, IOP) نداشته بلکه در موقعیت کمان‌های قاره‌ای (CAP+ PAP) قرار می‌گیرند. بر اساس تصویر B ۲۲ و با توجه به تفکیک دو منطقه‌ی کمان‌های قاره‌ای (CAP) و کمان بعد از برخورد (PAP) کلیه‌ی نمونه‌ها در موقعیت PAP قرار می‌گیرند. البته سنگ‌های اسیدی قدیمی تر به مرز محدوده‌ی CAP نزدیک تر هستند، که بیانگر قدمت بیشتر تشکیل نسبت به سنگ‌های جوان تر بازیک در روند پیشرفت فرورانش به سوی زون برخورد است.

در روشی دیگر می‌توان از نمودارهای تشخیصی مرحله‌ای برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آذرین بر اساس عناصر کمیاب غیرمتعارف استفاده نمود (Muller & Groves 1997). در این روش می‌توان طی چند مرحله سنگ‌های آذرین را در موقعیت‌های LOP, IOP, PAP و CAP از یکدیگر تفکیک کرد. این نمودارها به صورت مثلی بوده که در هر مثلث از نسبت‌های متغیر عناصر کمیاب استفاده می‌شود (تصویر ۲۱). بر اساس تصویر ۲۲A، نمونه‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه باغ هیچ‌گونه ارتباطی با کمان‌های اقیانوسی آغازی و



تصویر ۲۱- نمودارهای تشخیصی برای سنگ‌های آذرین از جایگاه‌های زمین‌ساختی متفاوت بر اساس عناصر کمیاب غیرمتعارف (Muller & Groves 1997)



تصویر ۲۲- نمودارهای تشخیصی برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه باغ بر اساس عناصر کمیاب غیرمتعارف. در تصویر A نمونه‌ها در جایگاه زمین‌ساختی (CAP+PAP) قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده‌ی ارتباط این سنگ‌ها با جایگاه کمان‌های قاره‌ای است. در تصویر B نمونه‌ها در موقعیت زمین‌شناختی PAP قرار دارند

## ۷- نتیجه‌گیری

براساس داده‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی بایچه‌باغ در محدوده‌ی قاره‌ای قرار می‌گیرند و نمودارهای عنکبوتی نشان‌دهنده‌ی ارتباط آن با جایگاه کمان‌های قاره‌ای است. مولر و گراوز (Muller & Groves 1997) روش‌های جدیدی را برای تفکیک دقیق‌تر جایگاه‌های زمین‌ساختی ارائه داده‌اند. براساس این نمودارها که از نسبت‌های ساده‌ی عناصر غیرمتحرک استفاده شده سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بایچه‌باغ در قلمرو کمان‌های قاره‌ای قرار می‌گیرند به گونه‌ای که سنگ‌های اسیدی در قلمرو کمان‌های قاره‌ای (CAP) و سنگ‌های حد واسط تا بازیگ در قلمرو فاز کششی بعد از برخورد (PAP) قرار می‌گیرند.

## مراجع

- کریمی، م.، ۱۳۸۱، "مطالعه کانی‌شناسی، پتروژنز و نحوه تشکیل کانسار پلی متال بایچه‌باغ"، رساله دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۳۹۰ ص.
- معین‌وزیری، ح. و امین‌سبحانی، ا.، ۱۳۶۴، "آتشفشان‌های جوان منطقه‌ی تکاب و قروه"، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۴۸ ص.
- Alavi, M., Hajian, J., Amidi, M. & Bolourchi, H., 1982, "Geology of Takab-Saein Qaleh explanatory note of 1:250,000 map of Takab", *Geological Survey of Iran, Report No. 50, 99 pp.*
- Avanzinelli, R., Elliott, T., Tommasini, S. & Conticeli, S., 2008, "Constraints on the genesis of potassium-rich Italian volcanic rocks form U/Th disequilibrium". *Journal of petrology, Vol. 49: 195-223.*
- Blatt, H. & Tracy, R. J., 1996, "Petrology, Igneous, Sedimentary, and Metamorphic", 2<sup>nd</sup>, New York, Basingstoke: W. H. Freeman & Co., 529 pp.
- Best, M. G. & Christiansen, E. H., 2001, "Igneous Petrology", Oxford: Blackwell Science, 458 pp.
- Boccaletti, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Motamed, A., Pasquare, G., Radicati di Brozolo, F. & Amin Sobhani, E., 1977, "Neogene and quaternary volcanism of the Bijar Area (Western Iran)", *Bulletin of Volcanology, Vol. 40 (2): 121-132.*
- Brewer, T. S., Daly, J. S. & Åhäll, K.-I., 1998, "Contrasting magmatic arcs in the Palaeoproterozoic of the south-western Baltic Shield", *Precambrian Research, Vol. 92: 297-315.*
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J., 1979, "The interpretation of igneous rocks", *George Allen and Unwin, 464 pp.*
- Floyd, P. A. & Winchester, J. A., 1975, "Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements", *Earth Planet Sci Lett, Vol. 27: 211-218.*
- Irvin, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 8 (5): 523-548.*

در منطقه‌ی مورد مطالعه سنگ‌های آذرین نفوذی وجود ندارند ولی سنگ‌های آذرین خروجی حضور و تنوع گسترده‌ای دارند. روند توزیع این سنگ‌ها از قدیم به جدید نوعی تغییر تدریجی را در اسیدیته سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری نشان داد، و به تدریج از حالت اسیدی به سمت بازیگ پیش رفته‌اند این مسئله می‌تواند ناشی از گسترش فاز کششی بعد از برخورد باشد که در ابتدا، ماگمای اسیدی غلیظ خارج شده و به تدریج با باز شدن مسیر و کاهش هضم سنگ‌های مسیر، از غلظت ماگما کاسته شده و بازیگ‌تر شده است.

بنابراین سنگ‌های آتشفشانی را می‌توان به دو گروه قدیمی‌تر اسیدی و جدید بازیگ تقسیم‌بندی نمود. در هر دو گروه، فعالیت‌ها ابتدا به صورت انفجاری بوده که از حالت توفی و برشی اتوکلاستیک کم کم به سمت گدازه‌ای میل نموده است. گروه قدیمی دارای ترکیب ریولیتی تا داسیتی بوده و بیشتر در قسمت جنوبی منطقه گسترش دارند. این واحد عموماً از توف‌های سفید رنگ متخلخل تشکیل شده است. وجود میان لایه‌های گدازه‌ای و همچنین بافت جریان‌ی و شیشه‌ای در این گروه نشان‌دهنده‌ی دمای بالا و سرد شدن سریع گدازه‌ها و مواد آذرآواری داغ بوده و قطعات بلورین خرد شده و زاویه‌دار، بیانگر خرد شدن سریع و حالت انفجاری ماگمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها بوده است. گروه جوان‌تر ترکیبی آندزیتی تا بازالتی داشته و این گروه نیز از حالت آذرآواری تا گدازه‌ای دیده می‌شوند. وجود اکسی هورنبلند با حاشیه‌های تیره، نشان‌دهنده‌ی فشار بخار آب و دمای بالای ماگمای سازنده این سنگ‌ها است.

در سنگ‌های گدازه‌ای بافت جریان‌ی بیشتر دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در قسمت بالای توالی خود ماهیت گدازه‌ای بیشتری یافته به طوری که به سمت آندزی بازالت تا آندزی بازالت الیون‌دار میل می‌نماید. با افزایش الیون در سنگ معمولاً از میزان هورنبلند کاسته شده است که بیانگر کاهش مقدار آب و افزایش دمای ماگما می‌باشد. بر اساس تجزیه شیمیایی و نمودارهای پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را می‌توان به دو گروه ریولیتی-داسیتی و آندزیتی-آندزی بازالتی تقسیم نمود.

بنابراین نتایج مشابه در نمودارهای کاکس، وینچستر و لومیتز تأییدکننده‌ی مشاهدات میکروسکوپی است. نمودارهای ایروین و باراگار نشان می‌دهد که سنگ‌های آذرین منطقه‌ی بایچه‌باغ در محدوده‌ی سری کالکوالکالن قرار می‌گیرند. سنگ‌های قدیمی اسیدی از عناصر CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O غنی می‌باشند. سنگ‌های جدیدتر آندزیتی نیز آهن بیشتری داشته اما هر دو گروه روند تفریق سری کالکوالکالن را نشان می‌دهند.

- basic volcanic rocks determined using trace element analysis", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 19 (2): 290-300.
- Pearce, J. A., & Gale, G. H., 1977**, "Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks", *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 7: 14-24.
- Pearce, J. A., & Norry, M.G., 1979**, "Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variation in volcanic rocks", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 69 (1): 33-47.
- Pearce, T. H., Gorman, B. E. & Birkett, T. C., 1977**, "The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 36 (1): 121-132.
- Pitcher, W. S., 1983**, "Granite type and tectonic environment", In: Hsu, K. (ed.), *Mountain Building Processes*, Academic Press, London: 19-40.
- Shelly, D., 1993**, "Microscopic study of Igneous and Metamorphic rock", *Champan and Hall, London*, 184 pp.
- Shervais, J. W., 1982**, "Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. earth planet", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 59: 101-118.
- Stöcklin, J., 1968**, "Structural history and tectonics of Iran", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 52 (7): 1229-1258.
- Streckeisen, A., 1979**, "Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS subcommission on the systematics of igneous Rocks", *Geology*, Vol. 7 (7): 331-335.
- Thompson, R. N., 1982**, "Magmatism of the British Tertiary volcanic province", *Scottish Journal of Geology*, Vol. 18: 49-107.
- Wilson, B. M., 2007**, "Igneous petrogenesis a global tectonic approach", *Springer, 1<sup>edn</sup>*, 485 pp.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A. 1977**, "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical Geology*, Vol. 20: 325-343.
- Wood, D. A., Tarney, J., Varet, J., Saunders, A. D., Bougault, H., Joron, J. L., Treuil, M. & Cann, J. R., 1979**, "Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg 49: Implications for mantle heterogeneity", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 42 (1): 77-97.
- Jakeš, P. & White, A. G. R., 1972**, "Major and trace elements abundances in volcanic rocks of orogenic areas", *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 83 (1): 29-40.
- Kampunzu, A. B., Tombale, A. R., Zhai, M., Bagai, Z., Majaule, T. & Modisi, M. P., 2003**, "Major and trace element geochemistry of plutonic rocks from Francistown, NE Botswana: evidence for a Neoproterozoic continental active margin in the Zimbabwe canton", *Lithos*, Vol. 71(2): 431-460.
- Kuno, H., 1968**, "Differentiation of basalt magmas", In: Hess, H. H. & Poldervaart, A. A. (eds.), *Basalts: The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition*, New York: Interscience, Vol. 2: 623-688.
- Kuscu, G. G. & Geneli, F., 2008**, "Review of post-collisional volcanism in the Central Anatolian Volcanic Province (Turkey), with special reference to the Tepekoy Volcanic Complex", *International Journal of Earth Sciences*, Vol. 99 (3): 593-621.
- Lacroix, A., 1933**, "Classification des roches eruptives", *Laboratoire de mineralogie du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 206 pp.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B. & Bateman, P., 2005**, "Igneous rocks: A classification and glossary of terms: recommendations of the international union of geological sciences subcommission on the systematics of igneous rocks", *Cambridge University Press, 2<sup>nd</sup>*, 256 pp.
- Machado, A., Lima, E. F., Chemale, F. J., Morata, D., Oteiza, O. Almeida. D. P. M., Figueiredo, A. M. G., Alexandre, F. M. & Urrutia, J. L., 2005**, "Geochemistry constraints of Mesozoic- Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica", *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 18 (3-4): 407-425.
- MacDonald, R., Hawakesworth, C. J. & Heath, E., 2000**, "The lesser antilles volcanic chain: a study of arc magmatism", *Earth-Science Reviews*, Vol. 49 (1-4): 1-76.
- Meschede, M., 1989**, "A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram", *Chemical Geology*, Vol. 56: 207-218.
- Mitchell, A. H. G., & Garson, M. S., 1981**, "Mineral deposits and global tectonic setting", *Academic Press, London*, 427 pp.
- Mullen, E. D., 1983**, "MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 62 (1): 53-62.
- Muller, D., & Groves, D. I., 1997**, "Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", *Springer*, 238 pp.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984**, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal Petrology*, Vol. 25 (4): 956-983.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973**, "Tectonic setting of