

# زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بزمان: جنوب خاوری ایران

کیوان شیعیان<sup>۱</sup>، جلیل قلمقاش<sup>۲</sup>، منصور وثوقی عابدینی<sup>۳</sup> و فریبرز مسعودی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران  
<sup>۴</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۷

## چکیده

آتشفشان بزمان در کمان ماگمایی مکران قرار دارد. سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای با ترکیب ریوداسیتی تا بازالتی با ماهیت کالک آلکالن در زمان کوتاه‌تری از دهانه‌های اصلی و جانبی این آتشفشان فوران کرده‌اند. نمودارهای چند عنصری بهنجار شده بر اساس ترکیب گوشه اولیه، غنی‌شدگی عناصر LIL نسبت به عناصر HFS و بی‌هنجاری منفی عناصر Nb و Ti را نشان می‌دهد. همچنین الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده بر پایه کندریت، غنی‌شدگی LREE نسبت HREE را با بی‌هنجاری منفی Eu نشان می‌دهد. این شکل‌های ژئوشیمیایی نشانگر آن است که سنگ‌های آتشفشانی بزمان، در یک موقعیت فرورانشی و از ذوب بخشی یک گوشه متازوماتیسم شده تشکیل شده‌اند. بر پایه نمودارهای La/Yb در برابر La/Sm و Dy/Yb در برابر Sm/Yb منشأ ماگمایی بزمان ترکیب فلوگوپیت اسپینل لرزولیت و یا فلوگوپیت گارنت لرزولیت داشته است.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی، پتروژنز، آتشفشان، فرورانش، کمان قاره‌ای، بزمان، سیستان، ایران.

\*نویسنده مسئول: جلیل قلمقاش

E-mail: ghalamghash@gsi.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

آتشفشان بزمان در پهنه مکران قرار دارد. این پهنه در جنوب خاوری ایران قرار و تا جنوب باختری پاکستان ادامه دارد. پهنه مکران شامل یک گودال اقیانوسی، گوه‌های افزایشی فعال و کمان ماگمایی است. این پهنه بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا است که از باختر اروپا شروع می‌شود و پس از گذر از ترکیه، ایران، افغانستان، تبت تا نزدیکی برمه و اندونزی ادامه دارد (Sengor & Kidd, 1979; Sebere et al., 1997; Glennie, 2000). این کمربند کوهزایی در اثر باز و بسته شدن اقیانوس تیتیس جوان (Neo-Tethys) پدید آمده است و محل برخورد دو بزرگ قاره اوراسیا و گندوانا است (Berberian & King, 1981; Agard et al., 2005). کمان‌های ماگمایی سندج-سیرجان و ارومیه-دختر در ایران در اثر فرورانش پوسته اقیانوسی تیتیس جوان به زیر ایران مرکزی پدید آمده‌اند (Berberian & King, 1981; Agard et al., 2005). ادامه فرورانش و برخورد قاره‌ای در پالئوژن فعالیت‌های گسترده آتشفشانی را از ترکیه تا بلوچستان پاکستان در زمان نوژن و کوتاه‌تری پدید آورده است (Glennie, 2000) که سبب تشکیل آتشفشان‌های جوان کوتاه‌تری چون آرارات در ترکیه (مجاور مرز ایران) و سهند و سیلان در شمال باختری ایران شده است (درویش‌زاده، ۱۳۶۵؛ Allenbach, 1966). همراه با بخش خاوری کمان ماگمایی ارومیه-دختر، ناحیه مکران که به صورت بخشی از یک گوه افزایشی است در نتیجه فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی دریای عمان به زیر پوسته قاره‌ای جنوب‌خاوری پهنه ایران مرکزی پدید آمده است. فرورانش پوسته اقیانوسی عمان از کرتاسه آغاز شده است و تا زمان حاضر ادامه دارد (Sillitoe, 1978; Dykstra, 1978; Britzman, 1979; Farah et al., 1984; Arthurton et al., 1982; Kazmi & Jan, 1997). که موجب تشکیل آتشفشان‌های بزمان، تفتان و کوه‌سلطان روی کمان ماگمایی مکران-چگای در منطقه مرزی ایران و پاکستان شده است (Bibangard & Moradian, 2008; Siddiqui et al., 2002).

با این که گزارشات متعدد در چهارچوب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی یکصد هزارم در مورد آتشفشان بزمان منتشر شده است ولی هنوز اطلاعات کاملی در مورد این آتشفشان در دست نیست. در این پژوهش تلاش شده است ضمن تهیه نقشه زمین‌شناسی دقیق این آتشفشان، واحدهای آن از قدیمی به جوان به طور کامل

بررسی و معرفی و ویژگی‌های پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز این آتشفشان ارائه شود.

## ۲- زمین‌شناسی آتشفشان بزمان

آتشفشان بزمان در محدوده کمان ماگمایی مکران-چگای، میان پهنه لوت، حوضه فلیشی مکران و فرونشست جازموریان قرار می‌گیرد. کمان مکران - چگای از بخش جنوب خاوری ایران تا جنوب باختری پاکستان کشیده شده است. این کمان خاوری-باختری ۵۰۰ کیلومتر طول و ۱۵۰ کیلومتر عرض دارد. مرز جنوبی پهنه مکران دارای تحدبی به سوی جنوب است که به یک گودال ناودیس‌ی ژرف به نام دالیند و منطقه فروافتاده جازموریان منتهی می‌شود.

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه بزمان واحدهای رسوبی-تخریبی کربنیفر و سازند کربناتی جمال باسن پرمین هستند که توسط توده گرانیتی بزمان باسن کرتاسه قطع شده است. واحدهای رسوبی-تخریبی ائوسن و میوسن به گونه کمربند چین‌خورده-گسلیده با روند شمال شمال باختری - جنوب جنوب خاوری در بخش خاوری آتشفشان بزمان رخنمون دارند. در بخش جنوبی آتشفشان، سنگ‌های آتشفشانی نوژن و کوتاه‌تری گسترش دارند. سنگ‌های آتشفشانی جوان به حالت افقی یا شیب کم روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. (خلقی خسرقی و محمدی گل، ۲۰۰۵). آتشفشان بزمان به گونه یک آتشفشان استراتوولکانو است که در زمان کوتاه‌تری فوران‌های انفجاری و غیرانفجاری داشته است. مواد و سنگ‌های آتشفشانی بزمان روی واحدهای آتشفشانی نوژن تشکیل شده‌اند. به این ترتیب و بر پایه مطالعات صحرایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه در دو گروه سنگ‌های آتشفشانی نوژن و سنگ‌های آتشفشانی کوتاه‌تری بررسی و نتایج آن ارائه شده است. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی آتشفشان بزمان که در مطالعات حاضر تهیه شده است به گونه ساده شده نمایش داده شده است.

## ۲-۱. سنگ‌های آتشفشانی نوژن

واحدهای آتشفشانی نوژن طیفی از سنگ‌های گدازه‌ای، پیروکلاستیک و نیمه ژرف هستند که به گونه چین‌خورده، سالم یا دگرسان در زیر واحدهای آتشفشانی جوان

و اسفن هستند. کانی‌های ثانویه به صورت اکسیدهای آهن، کربنات در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود.

### ۳-۲. سنگ‌نگاری واحدهای کواترنری

نمونه سنگ‌های مطالعه شده واحد Qt شامل گدازه و توف‌های داسیتی - آندزیتی است. که ویژگی‌های سنگی آنها به شرح زیر است:

گدازه‌های آندزیتی دارای بافت پورفیریک، میکروپورفیریک و تراکت می‌باشند. در متن این سنگ‌ها درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز، هورنبلند و پیروکسن وجود دارد. خمیره این گدازه‌ها از کانی‌های ریز پلاژیو کلاز، کوارتز، هورنبلند و شیشه پدید آمده است. کانی‌های فرعی شامل کانی‌های آپاتیت، کدر و زیرکن به مقدار کم و جزئی در متن سنگ حضور دارند. کانی‌های ثانویه به صورت اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی هستند.

توف‌های آندزیتی دارای بافت پورفیر و کلاستیک و سریت می‌باشند. قطعات سالم و شکسته بلورهای پلاژیو کلاز، کوارتز و هورنبلند به همراه شیشه در این سنگ‌ها دیده می‌شود (شکل ۲- پ). بر پایه اجزای تشکیل دهنده بیشتر توف‌های بزمان از نوع توف‌های بلورین - سنگی و برخی از آنها سنگی - بلورین - شیشه‌ای هستند.

نمونه سنگ‌های مطالعه شده از واحدهای Qa1 و Qa2 ترکیب آندزیتی تا داسیتی دارند. بافت این سنگ‌ها پورفیریک با خمیره میکرولیتیک تا شیشه‌ای است. در متن آنها درشت‌بلورهای فراوان پلاژیو کلاز نمایان است. در این سنگ‌ها به مقدار کمتری درشت بلورهای هورنبلند، پیروکسن و کوارتز وجود دارد که از نظر اندازه از درشت بلورهای پلاژیو کلاز کمتر هستند ترکیب آنها در حد لابرادوریت و آندزین است. خمیره از میکرولیت‌های پلاژیو کلاز و شیشه پدید آمده است.

ترکیب گدازه‌های واحد Qa3 در حد آندزیت بازالتی، بازالت آندزیتی و الیون بازالت است. بافت این گدازه‌ها از نوع پورفیریک و در برخی از سنگ‌ها تراکتی با خمیره میکرولیتی و شیشه‌ای است. در این سنگ‌ها پیروکسن، پلاژیو کلاز و الیون به صورت درشت‌بلور در متن سنگ حضور دارند. پیروکسن به گونه شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ۲۰ تا ۶۰ درصد حجمی درشت بلورها و الیون صفر تا ۳۰ درصد حجمی درشت‌بلورها را تشکیل می‌دهد. پلاژیو کلازها در صورت وجود، تا ۲۰ درصد حجمی درشت‌بلورها را تشکیل می‌دهند. خمیره از میکرولیت‌های پلاژیو کلاز، شیشه، پیروکسن و الیون پدید آمده است. آپاتیت و کانی‌های کدر، کانی‌های فرعی سنگ هستند. اکسیدهای آهن، کانی‌های رسی، سرسیت، اپیدوت کانی‌های ثانویه می‌باشند (شکل ۲- ث).

### ۴- ژئوشیمی

از بخش‌های مختلف آتشفشان بزمان ۴۰ نمونه برای مطالعات ژئوشیمیایی برداشت شده است (شکل ۱). تمام مراحل خردایش و پودر کردن نمونه‌های سنگی با آسیاب‌های کاربرد تنگستن باید انجام شد. ترکیب عناصر اصلی نمونه‌ها با XRF و ترکیب عناصر کمیاب با ICP - MS به ترتیب در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و مرکز پژوهش‌های کاربردی کرج تعیین شده‌اند. در جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب آورده شده است.

### ۴-۱. نامگذاری شیمیایی و ژئوشیمی عناصر اصلی

بر اساس نمودار نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی بر پایه  $SiO_2$  در برابر  $Zr/TiO_2$  (Winchester & Floyd, 1977) نمونه سنگ‌های واحد Qa3 آتشفشان بزمان در محدوده‌های ساب آلكالی بازالت و آندزیت قرار می‌گیرند. دیگر سنگ‌های آتشفشانی بزمان در محدوده‌های آندزیت و ریوداسیت قرار دارند (شکل ۳). بر پایه نمودار  $SiO_2$  در برابر  $K_2O$  (Rickwood, 1989) سنگ‌های آتشفشانی بزمان ماهیت کالک آلكال دارند؛ هر چند تعداد کمی از نمونه‌ها به ویژه سنگ‌های واحد Qa3 تمایلی به سری توله‌ای دارند (شکل ۴).

بزمان رخنمون دارند. واحدهای آتشفشانی نوژن از پایین به بالا شامل ۱) لایلی توف تا توف برش‌های صورتی (جنس قطعات و زمینه تقریباً متفاوت است)، ۲) توف برش به رنگ صورتی، خاکستری و قهوه‌ای (جنس قطعات و زمینه کاملاً یکسان است) و ۳) گدازه‌های آندزیتی با ستبرای ۳۰ تا ۱۰۰ متر (تقریبی) هستند.

### ۲-۲. توده‌های نیمه ژرف داسیتی

در بخش‌های مرکزی و خاوری آتشفشان بزمان، توده‌های نیمه ژرفی با ترکیب آندزیت - داسیت نمایان است. بر پایه ویژگی‌های صحرایی به نظر می‌رسد توده‌های نیمه ژرف در زیر سنگ‌های آتشفشانی کواترنری بزمان رخنمون دارند.

### ۲-۳. سنگ‌های آتشفشانی کواترنری بزمان

این سنگ‌های آتشفشانی از دهانه اصلی آتشفشان و یا دهانه‌های جانبی آتشفشان فوران کرده‌اند. بیشتر دهانه‌های جانبی آتشفشان در بخش شمالی و شمال خاوری آتشفشان تشکیل شده‌اند. سنگ‌های که از دهانه اصلی آتشفشان فوران کرده‌اند در پیرامون آن پراکنده شده و مساحتی بیش از ۳۰۰ کیلومتر مربع را پوشانده است. این واحدهای سنگی از قدیم به جدید شامل ۱) توف و برش‌های آتشفشانی (واحد Qt روی نقشه)، ۲) گدازه آندزیتی پورفیری صورتی - خاکستری رنگ (واحد Qa1)، ۳) گدازه آندزیتی خاکستری تیره تا سبز تیره (واحد Qa2) هستند. مجموعه یادشده توسط افقی از پومیس (واحد Qig) پوشیده شده است که به ویژه رخنمون مناسبی در دامنه‌های خاوری و جنوبی رأس قله دارد.

جوان‌ترین افق‌های آتشفشانی بزمان گدازه‌هایی است که از دهانه‌های جانبی فوران کرده‌اند که روی نقشه آتشفشانی بزمان با عنوان Qa3 نمایش داده شده است. در شمال خاوری قله بزمان دهانه آتشفشانی بزرگی وجود دارد که با عنوان "بزمان بچه" در منطقه معروف است. مجرای اصلی خروج مواد مذاب روی بخش جنوبی دهانه جانبی قرار دارد که از آن بیش از یک میلیون مترمکعب گدازه‌های آندزیتی خارج شده است. بافت گدازه‌های این دهانه جانبی پورفیری و رنگ آنها سرخ - قهوه‌ای است. افزون بر دهانه یادشده در شمال خاوری، در فاصله دورتری، سه دهانه آتشفشانی جانبی از نوع nder coneC وجود دارد که بیشتر مواد خروجی آنها با ترکیب بازالتی از نوع گدازه و اسکوری است. برخی از این دهانه‌های جانبی در دو مرحله فعالیت داشته است در مرحله اول مواد آتشفشانی اسکوری از آن خارج شده است و در مرحله دوم گدازه‌های با بافت حفره‌دار از دهانه آن خارج شده است (شکل ۱).

### ۳- سنگ‌نگاری

بر پایه مطالعات صحرایی سنگ‌های آتشفشانی بزمان در دو گروه سنگ‌های آتشفشانی نوژن و کواترنری طبقه‌بندی شده‌اند. در این بخش ویژگی‌های سنگ‌نگاری آنها نیز بر پایه طبقه‌بندی‌های صحرایی ارائه خواهد شد.

### ۳-۱. سنگ‌نگاری واحدهای نوژن

واحدهای آتشفشانی نوژن شامل گدازه‌های بازالت، آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت است. این سنگ‌ها بافت‌های پورفیریک، میکروپورفیری و تراکتی دارند. در متن آنها درشت بلورهای پلاژیو کلاز، آمفیبول، پیروکسن، به ندرت کوارتز به گونه شکل‌دار تا نیمه‌شکل وجود دارد (شکل‌های ۲ - الف و ب). خمیره گدازه‌های نوژن از میکرولیت‌های پلاژیو کلاز، پیروکسن، آمفیبول و شیشه پدید آمده است. میکرولیت‌ها حالت جریانی ضعیفی از خود نشان می‌دهند. کانی‌های کدر، کربنات و اکسیدهای آهن ثانویه نیز در برخی نمونه‌ها دیده می‌شود.

توده‌های نیمه ژرف نوژن در منطقه بزمان ترکیب داسیتی تا آندزیتی دارند. بافت این سنگ‌ها پورفیریک با خمیره میکرولیتیک و میکروگرانولار است. در متن این سنگ‌ها درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز، هورنبلند و کوارتز وجود دارد. خمیره شامل پلاژیو کلاز، کوارتز، هورنبلند و شیشه است. کانی‌های فرعی شامل کانی‌های اپاک

(شکل های ۶ و ۷) (Pearce et al., 1990). آلودگی پوسته‌ای می‌تواند همین ویژگی را ولی با تأثیرات کمتر نسبت به ترکیبات فرورانش در غنی‌شدگی عناصر LIL داشته باشد (Pearce et al., 1990).

ماگمای مادر بازالت‌های آمفیبول‌دار با ۵۱ درصد  $\text{SiO}_2$  در ژرفاهای زیاد، کانی‌های تفریق یافته‌ای شامل ۲۲ درصد کلینوپیروکسن غنی از Al، ۵ درصد اسپینل غنی از Al، ۵ درصد پلاژیوکلاز غنی از کلسیم را تشکیل می‌دهند (Mangan et al., 2009). با افزایش نسبت کلینوپیروکسن غنی از Al به ۲۵ درصد در فرایند تفریق ژرف، آندزیت بازالتی با ۵۳ درصد  $\text{SiO}_2$  به وجود می‌آید. این ترکیبات فرضی در سیستم بسته با تعادل دوباره به وجود می‌آیند. ترکیبات با  $\text{SiO}_2$  بیشتر، تقریباً از سیستم باز تفریق (آلودگی) در سطوح میانی و بالایی پوسته به وجود می‌آیند که به عنوان منشأ ماگماهای داسیتی و ریولیتی مطرح هستند (Mangan et al., 2009). به این ترتیب به نظر می‌رسد سنگ‌های بازیک آتشفشان بزمان در شرایط سیستم بسته و سنگ‌های میانه تا اسیدی در سیستم باز (دارای آلودگی) تشکیل شده‌اند. غنی‌بودن ماگمای اولیه از Al و عدم وجود غنی‌شدگی از عناصر آلکالین به صورت اولیه می‌تواند بیان‌کننده این مطلب باشد که سنگ‌های آتشفشانی بزمان مربوط به آخرین سری ماگمایی در زون فرورانش هستند.

جانمایی نمونه‌های آتشفشان بزمان روی در نمودار La/Yb در برابر Dy/Yb و نمودار La/Yb در برابر Yb نشانگر آن است که منشأ تشکیل دهنده آنها می‌تواند هم فلوگوپیت - اسپینل - لرزولیت و هم فلوگوپیت - گارنت - لرزولیت یا مخلوطی از آنها با درصد بیشتری از رخساره اسپینل باشد (شکل ۸) (Miller et al., 1999).

نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb (شکل ۸) ذوب بخشی و تشکیل ماگمای مادر سنگ‌های آتشفشانی بزمان از یک منشأ پریدوتیت اسپینل‌دار را تأیید می‌کند. در این نمودار نمونه‌های بزمان از روند منحنی ذوب اسپینل - لرزولیت پیروی می‌کنند. از سوی دیگر اگر گارنت یک فاز باقیمانده در سنگ منشأ باشد، مذاب از Y و M-HREE (Tb, Y, Yb) تهی خواهد شد. تبلور آمفیبول به صورت قابل توجهی مانع جابه‌جایی K, Y و M-LREE و به صورت محدود مانع جابه‌جایی Ta, Sm و Nb می‌شود (Mangan et al., 2009). با توجه به اینکه اکثر نمونه‌های مورد مطالعه تهی‌شدگی خاصی در عناصر Y و M-HREE نشان نمی‌دهند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گارنت فاز باقیمانده در منشأ نبوده بلکه دچار ذوب شده است. تغییرات کم موجود در عناصر K, Y و M-LREE سازگار با وجود آمفیبول در خمیره و درشت بلور است. در طول ذوب لرزولیت عناصر ناسازگار از Yb تا Th و Sr تا Th افزایش یافته‌اند.

#### ۵-۲. جایگاه زمین‌ساختی

بهترین روش در تعیین جایگاه زمین‌ساختی استفاده از سنگ‌های بازالتی است که کمترین آلودگی ماگمایی را متحمل شده‌اند به همین منظور در نمودارهای  $\text{Ti}/100\text{-Zr-Sr}/2$  و  $\text{Ti}/100\text{-Zr-Y}^{*3}$  (Pearce & Cann, 1973) و در نمودار Zr-Ti نقطه نمونه‌های بازالتی آتشفشان بزمان (واحد Qa3) جانمایی شده‌اند که تمام نمونه‌ها در محدوده CAB قرار می‌گیرند (شکل ۹). نمودار Th-Zr/117-Nb/16 جدایی موقعیت پیدایش واحد Qa3 از دیگر واحدها را نشان می‌دهد. ولی به هر حال پیشینه نمونه‌ها، بیان‌کننده منشأ گرفتن آتشفشان از بازالت‌های کالک آلکالین حاشیه فعال قاره‌ای است (Chatroodi et al., 2010). هر چند تعداد کمی از نمونه‌ها، در محدوده توله‌ایت‌های جزایر کمائی واقع می‌شوند. تمایل تعدادی از نمونه‌های واحدهای زمین‌شناسی بزمان به محدوده توله‌ایت می‌تواند مربوط به اولین مذاب‌های تشکیل شده در فرایند فرورانش و بیان‌کننده نزدیکی آتشفشان بزمان به زون فرورانش باشد.

نمودار Th/Yb در برابر Nb/Yb (شکل ۱۰) سنگ‌های ماگمایی مربوط به کمان قاره‌ای را از انواع مربوط به کمان اقیانوسی تفکیک می‌کند (Pearce & Peate, 1995). در این نمودار تمام نمونه‌های بزمان در محدوده کمان قاره‌ای واقع می‌شوند. نمونه‌های آتشفشانی یک روند خطی منفرد که معرف

در نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر سیلیس (Harker, 1909) ماگمای مادر واحدهای نوژن دارای ویژگی‌های شیمیایی یکسان هستند و به نظر می‌رسد دارای منشأ یکسانی باشند. در این نمودارها روند تفریق از Ngv به سوی Ngd و Ngd است. واحدهای آتشفشانی Qa1 و Qa2 دارای ویژگی‌های مشابه هستند و نمونه‌های واحد Qa3 به وضوح از آنها جدا می‌باشند. ماگمای اولیه سنگ‌های آتشفشانی Qa3 به احتمال دارای منشأ جداگانه‌ای (مخزن جداگانه یا مخزنی که پس از فوران Qa2 دوباره از مذاب جدید بازالتی تغذیه شده است) بوده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی Qa1 و Qa2 دارای منشأ یکسان هستند ولی سنگ‌های واحد Qa2 تفریق یافته‌تر از Qa1 هستند. بر پایه نمودارهای هارکر منشأ سنگ‌های Ngd، Ngv، Ngv، Ngd و Qa1 و Qa2 مشابه به نظر می‌رسد (شکل ۵).

#### ۴-۳. ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب

در نمودارهای چند عنصری (عنکبوتی) بهنجار شده بر اساس ترکیب گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)، سنگ‌های آتشفشانی بزمان غنی‌شدگی نسبی از عناصر LIL نسبت به عناصر HFS و بی‌هنجاری منفی Ta، Nb و Ti دارند. محتوای REE کل در سنگ‌های آتشفشانی نوژن نسبت به سنگ‌های آتشفشانی کواترنری در نمودارهای عناصر خاکی کمیاب مربوط به سنگ‌های آتشفشانی نوژن بهنجار شده بر پایه ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) بالاتر است. در این سنگ‌ها غنی‌شدگی نسبی LREE نسبت به HREE دیده می‌شود، به طوری که مقدار میانگین نسبت  $(\text{La}/\text{Yb})_n$  ۶/۱۲ است. تمام نمودارهای REE سنگ‌های آتشفشانی نوژن بی‌هنجاری منفی Eu دارند، ولی با توجه دامنه تغییرات نسبت  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ ، بی‌هنجاری آنها کوچک است. در نمودارهای مشابه عناصر خاکی کمیاب برای سنگ‌های آتشفشانی کواترنری، این سنگ‌ها نیز از LREE نسبت به HREE غنی هستند به طوری که نسبت  $(\text{La}/\text{Yb})_n$  در این سنگ‌ها از ۳/۰۶ تا ۹/۷۲ متغیر است و مقدار میانگین آنها ۶/۳۸۸ است. همچنین تمام نمودارهای REE در سنگ‌های آتشفشانی کواترنری بی‌هنجاری منفی Eu با دامنه تغییرات ۰/۶۸۴ تا ۱/۰۳۵ دارند. با توجه به ویژگی‌های یادشده، به دلیل همپوشانی در محتوای REE سنگ‌های آتشفشانی نوژن و کواترنری، الگوهای توزیع عناصر خاکی کمیاب سنگ‌های یادشده به دلیل نسبت‌های مشابه  $(\text{La}/\text{Yb})_n$  و  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  مشابه هستند (شکل‌های ۶ و ۷).

#### ۵-۵. بحث

##### ۵-۱. خاستگاه ماگمایی

سنگ‌های آتشفشانی بزمان ترکیب ریوداسیتی، آندزیتی تا بازالتی با ماهیت کالک آلکالین (به ندرت توله‌ایتی) دارند. غنی‌شدگی نسبی از عناصر LIL نسبت به عناصر HFS در نمودارهای چند عنصری و غنی‌شدگی نسبی LREE نسبت به HREE در الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب و وجود بی‌هنجاری‌های منفی Nb و Ti در سنگ‌های آتشفشانی بزمان سازگار با منشأ گوشته‌ای غنی‌شده در زیر کمان ماگمایی مرتبط با محیط فرورانش است. در الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب سنگ‌های آتشفشانی بزمان بهنجار شده نسبت به ترکیب کندریت بی‌هنجاری کوچک و منفی Eu وجود دارد. مقدار Eu به طور اساسی توسط فلدسپارها (به ویژه در ماگمای فلسیک) کنترل می‌شود.  $\text{Eu}^{+2}$  در ماگما با پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکالین سازگار است و تفریق آنها از مذاب و یا بر جای ماندن آنها در منشأ موجب تشکیل بی‌هنجاری منفی Eu خواهد شد (Rollinson, 1993; Henderson, 1984). این بی‌هنجاری می‌تواند به گونه یک ویژگی اولیه سنگ‌های منشأ تفسیر شود (شکل‌های ۶ و ۷).

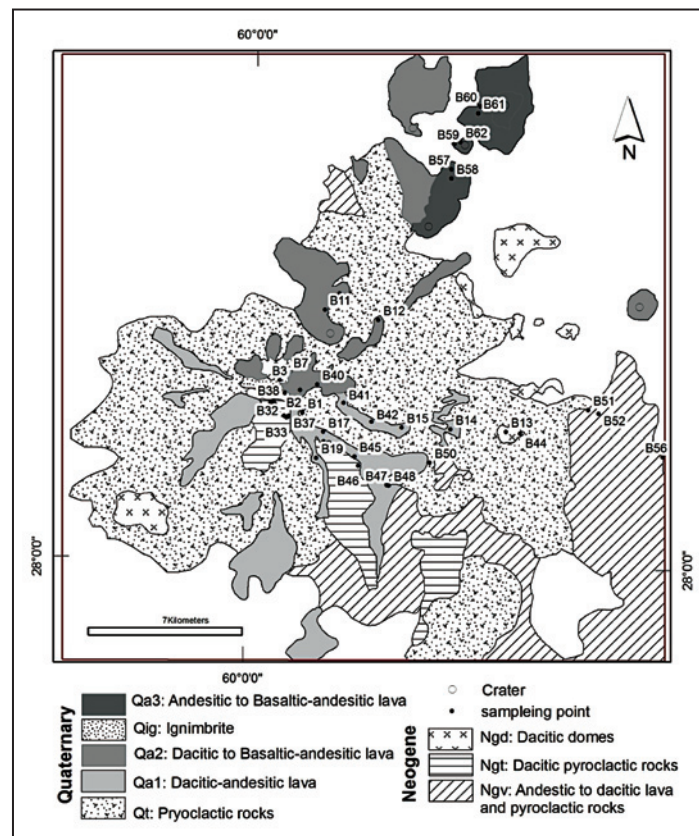
بازالت اولیه‌ای که از ذوب یک پلوم سست کره یا سنگ کره غنی توسط حجم کم ذوب سست کره به وجود می‌آید، الگوهایی از غنی‌شدگی با عناصر Th, Ba و عناصر ناسازگار ارائه می‌دهد، در مقابل بازالت‌های حاصل از گوشته غنی‌شده توسط محلول‌های منطقه فرورانش، غنی‌شدگی مشخصی از LILE و LREE دارند

### ۶- نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشان بزمان، با ترکیب ریوداسیت، آندزیت، آندزیت‌بازالتی و بازالتی به صورت جریان‌های گدازه و سنگ‌های آذرآری در اطراف دهانه‌های اصلی و جانبی گسترش دارند. سنگ‌های آتشفشان ماهیت کالک‌آلکالن و به ندرت توله‌ایتی دارند. نمودارهای چند عنصری بهنجار شده بر اساس ترکیب گوشته اولیه، غنی‌شدگی عناصر LILE نسبت به عناصر HFS را نشان می‌دهند. همچنین الگوی توزیع عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده بر پایه کندریت‌ها، غنی‌شدگی LREE را نسبت به HREE در نمونه‌های آتشفشان بزمان تأیید می‌کند که نشانگر منشأ ماگمای اولیه آتشفشان بزمان، از یک گوشته‌ای غنی از عناصر ناسازگار با ترکیب لرزولیت اسپینل‌دار است. ویژگی‌های ژئوشیمیایی یادشده به همراه بی‌هنجاری منفی عناصر Ti و Nb در نمودارهای چند عنصری بهنجار شده بر اساس ترکیب گوشته اولیه، تشکیل آتشفشان بزمان در محیط فرورانش را تأیید می‌کند که با سن و موقعیت ژئودینامیکی آن هماهنگی کامل دارد.

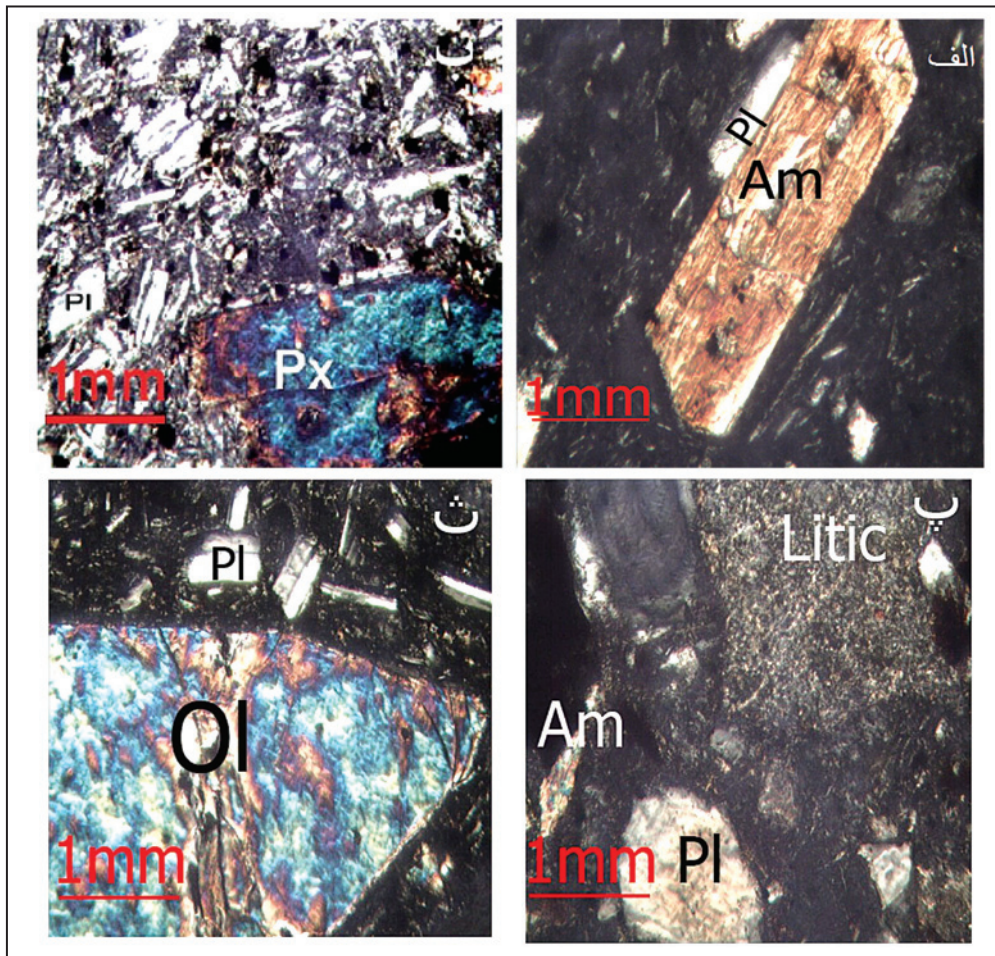
تغییرات کم ولی با نسبت‌های بالای Th/Yb مرتبط به حجم بالاتر Th و یا کمتر Yb است، نشان می‌دهد. چون اساساً Yb غیرمتحرک است. این نسبت‌های بالای Th/Yb احتمالاً نفوذ محلول‌های وابسته به فرورانش غنی در Th را منعکس می‌کند (Wang et al., 2007).

شواهد روی زمین و همچنین مطالعه مقاطع میکروسکوپی می‌تواند دلیلی دیگر بر تأثیر پوسته قاره‌ای باشد. وجود زئولیت‌ها در گدازه‌های آندزیتی به صورت قطعاتی از سنگ‌های درونی و همچنین وجود زئوکریست‌های کوارتز با حاشیه واکنشی موجود در برخی روانه‌های بازالتی، بیانگر این مسئله است که مذاب تشکیل دهنده بزمان در مسیر حرکت به سوی بالا تحت تأثیر پوسته قرار گرفته است. در روانه‌های گدازه‌ای دما بالا، زئولیت‌های قرار گرفته در مذاب دچار ذوب‌شدگی شده‌اند و برخی از زئوکریست‌های کوارتز باقی مانده‌اند. ولی در مذاب‌های دمای پایین‌تر، قطعات در مذاب دچار ذوب‌شدگی نشده‌اند و به صورت زئولیت دیده می‌شوند.

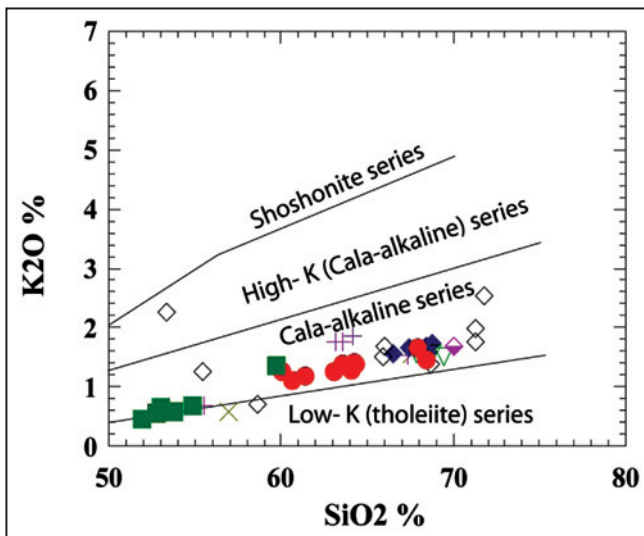


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده آتشفشان بزمان.

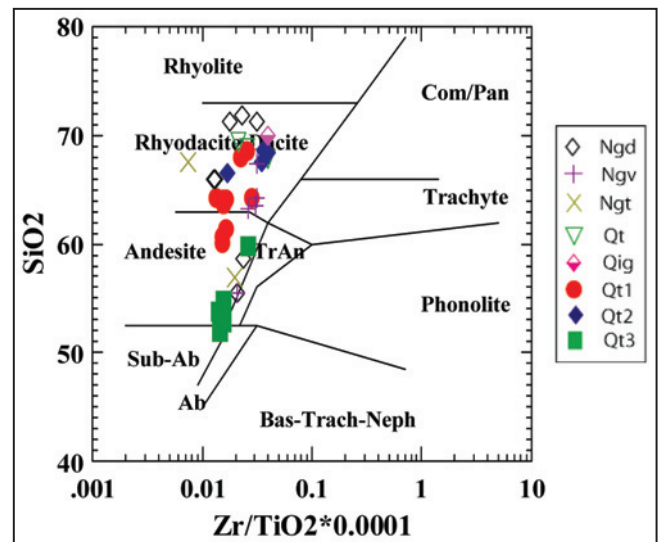




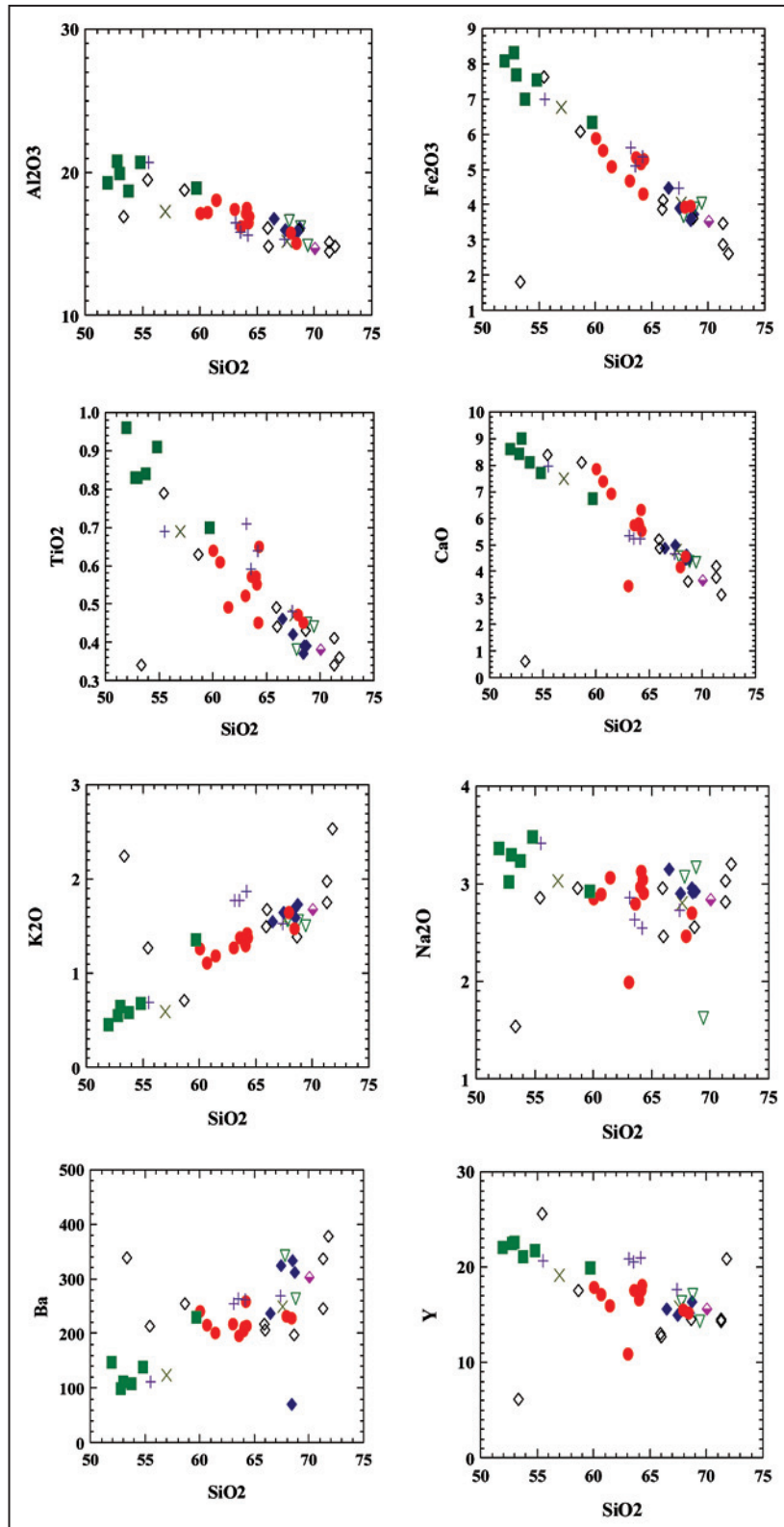
شکل ۲- الف) آندزیت با فنوکریست آمفیبول و خمیره شیشه‌ای؛ ب) بازالت با فنوکریست پیروکسن و خمیره میکرولیتی و شیشه‌ای؛ پ) لیتیک کریستال توف؛ ث) بازالت الیون‌دار با فنوکریست الیون و خمیره میکرولیتی و شیشه‌ای. تمام تصاویر در شرایط XPL عکسبرداری شده است.



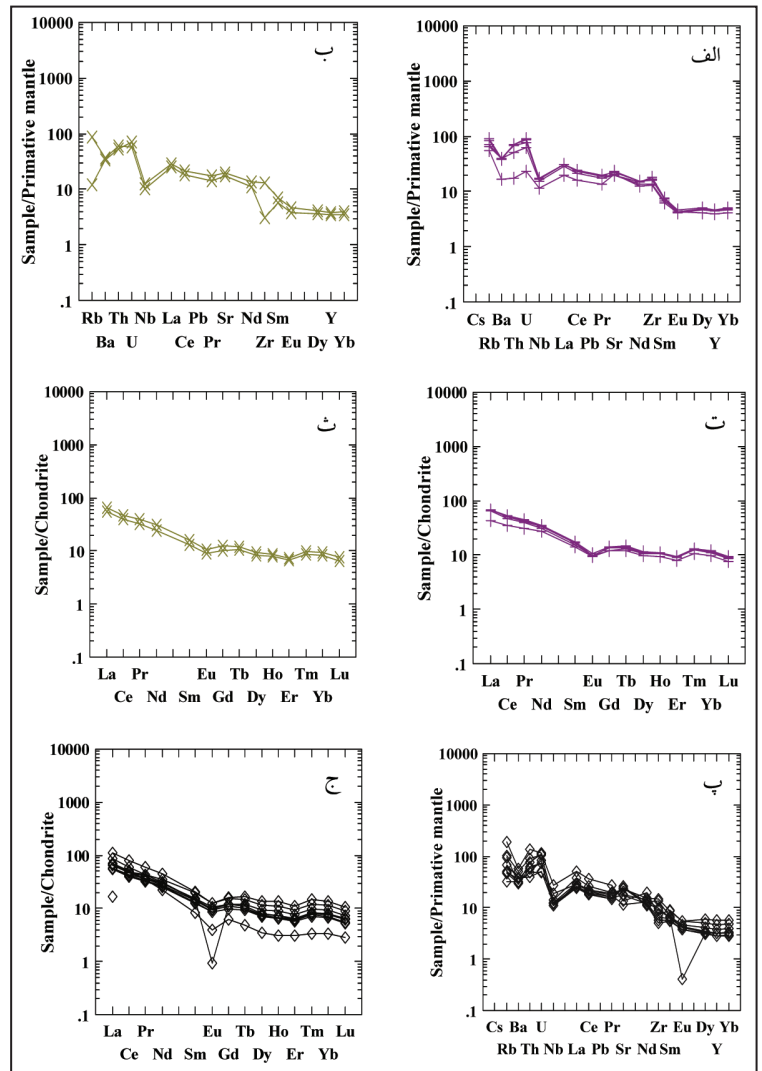
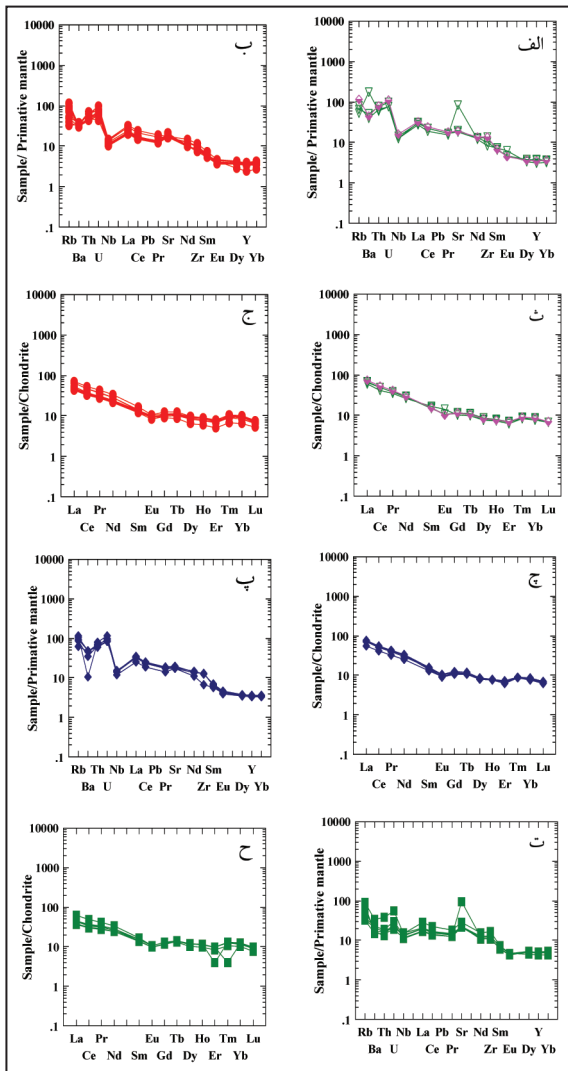
شکل ۴- تعیین سری ماگمایی در سنگ‌های آتشفشانی بزمان با استفاده از نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{K}_2\text{O}$  (Rickwood, 1989) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).



شکل ۳- نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی بزمان بر پایه نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $\text{Zr/TiO}_2$  (Winchester & Floyd, 1977).

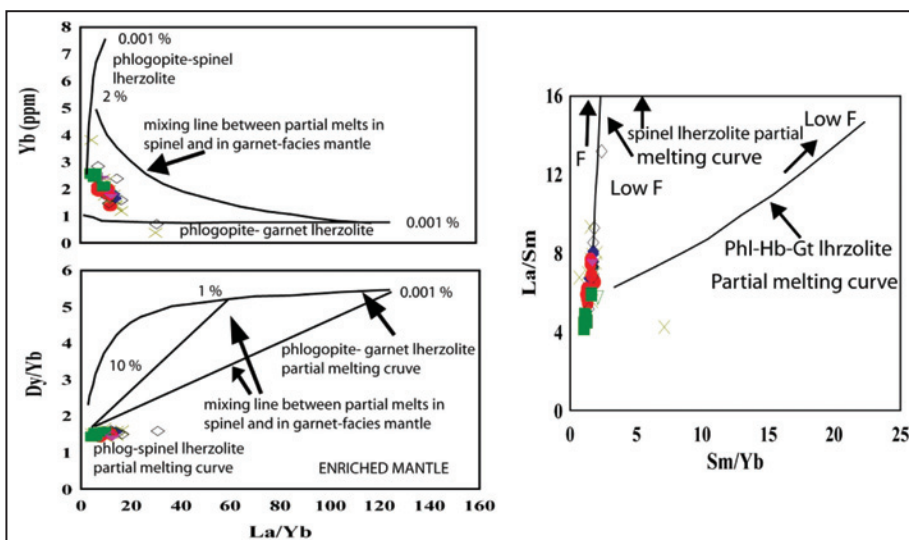


شکل ۵- تعدادی از نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در برابر سیلیس سنگ‌های آتشفشانی بزمان (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).



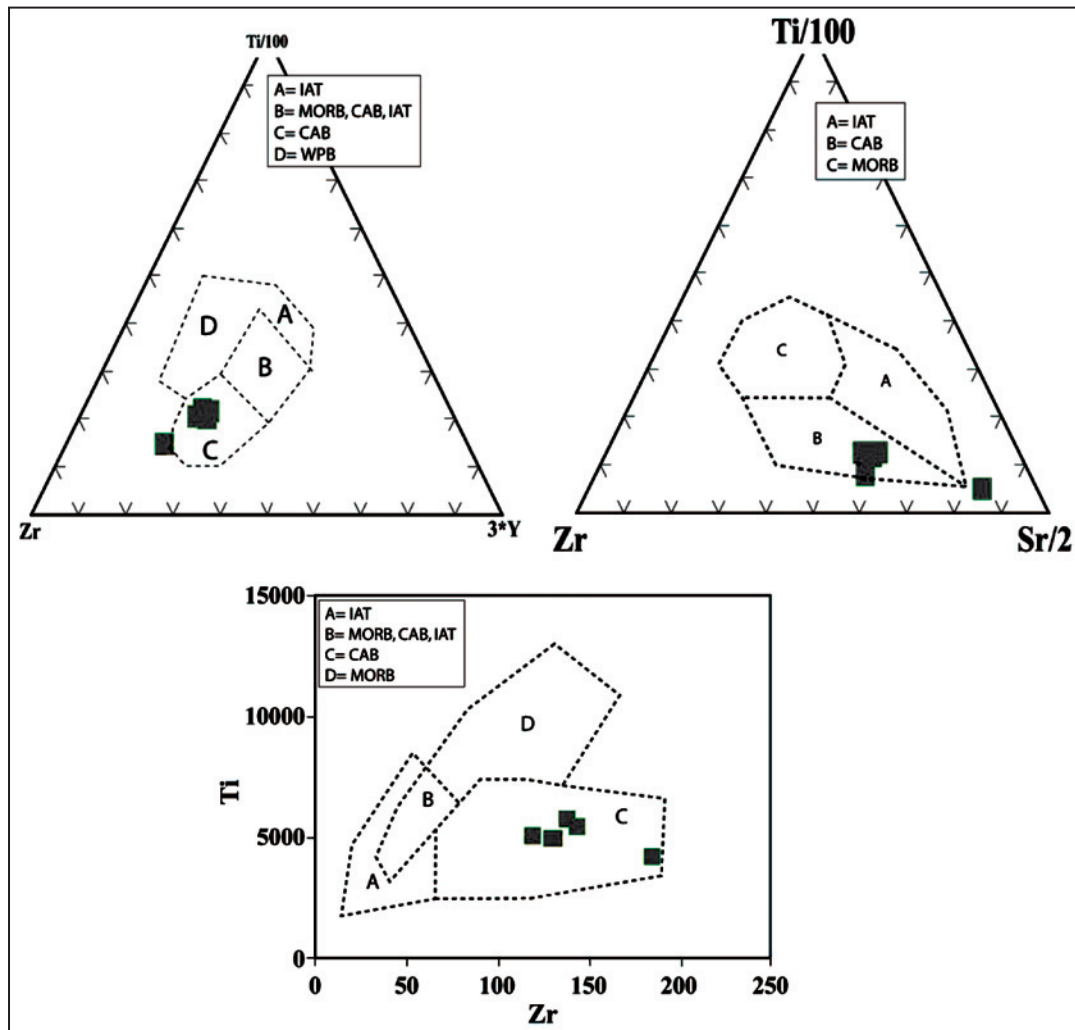
شکل ۷- الف، ب، پ و ت) نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های آتشفشانی کواترنری بهنجار شده بر اساس ترکیب گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)؛ ث، ج، چ و ح) الگوی توزیع عناصر خاکی کیمیا آتشفشانی کواترنری بهنجار شده بر اساس ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).

شکل ۶- الف، ب و پ) نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های آتشفشانی نوژن بهنجار شده بر اساس ترکیب گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)؛ ت، ث و ج) الگوی توزیع عناصر خاکی کیمیا آتشفشانی نوژن بهنجار شده بر اساس ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).

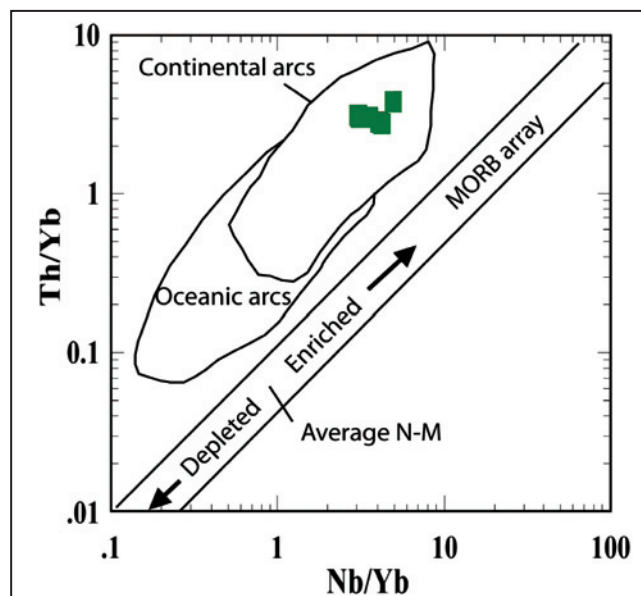


شکل ۸- نمودارهای  $La/Yb$  در برابر  $Dy/Yb$  و  $La/Sm$  در برابر  $Sm/Yb$  در دسته نمودارهای ذوب غیر معین را برای فلوگوبیت- اسپینل- لرزولیت و گارنت- اسپینل- لرزولیت نشان می‌دهند (Miller et al., 1999). نمودار  $La/Sm$  در برابر  $Sm/Yb$  برای فلوگوبیت- آمفیبول- گارنت- لرزولیت غنی شده و پریدوتیت اسپینل‌دار. بردارها معرف اثر کاهش ذوب بخشی است. F ترکیب پوسته بالایی قاره‌ای است که برای مقایسه آورده شده است (Taylor & McLennan, 1995; Zhang et al., 2008) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).





شکل ۹- تعیین جایگاه زمین‌ساختی برای سنگ‌های بازالتی بزمان بر پایه نمودارهای  $Ti/100-Zr-3Y$  و  $Ti/100-Zr-Sr/2$  و نمودار  $Ti$  در برابر  $Zr$  (Pearce & Cann, 1973) (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).



شکل ۱۰- تفکیک سنگ‌های ماگمایی وابسته به کمان قاره‌ای از انواع کمان اقیانوسی بر پایه نمودار  $Th/Yb$  در برابر  $Nb/Yb$  (Pearce & Peate, 1995; Wang et al., 2007). در این نمودار سنگ‌های آتشفشانی بزمان در موقعیت آتشفشان کمان قاره‌ای قرار دارند (نشانه‌ها مشابه شکل ۳ است).



Sample	B.1G	B.2G	B.4G	B.7G	B.10G	B.11G	B.12G	B.13G	B.14G	B.15G	B.16G	B.17G	B.18G	B.19G	B.20G	B.21G	B.22G	B.28G	B.38G	B.39G
SiO2	67.84	68.8	71.3	70.02	68.73	66.49	68.44	66	60.67	64.29	64.09	60.07	67.58	63.59	71.81	55.47	58.63	68.66	71.3	68.49
TiO2	0.38	0.45	0.34	0.38	0.39	0.46	0.37	0.44	0.61	0.65	0.55	0.64	0.47	0.57	0.36	0.79	0.63	0.43	0.41	0.39
Al2O3	16.63	16.15	15.09	14.67	16.11	16.76	15.72	14.78	17.19	16.9	17.47	17.12	15.2	16.19	14.84	19.49	18.72	15.95	14.48	15.82
Fe2O3	3.66	3.89	2.88	3.54	3.72	4.48	3.55	4.14	5.54	5.27	5.25	5.87	4.05	5.34	2.62	7.63	6.07	3.62	3.48	3.65
MnO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.14	0.13	0.11	0.13	0.10	0.11	0.10	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10
MgO	0.94	0.81	0.69	0.66	0.74	1.57	0.88	2.43	2.09	1.77	1.97	2.31	2.06	2.47	0.48	1.63	1.9	0.87	0.78	0.79
CaO	4.57	4.37	3.76	3.67	4.45	4.88	4.43	4.88	7.37	5.51	5.69	7.85	4.79	5.72	3.11	8.37	8.11	3.61	4.19	4.62
Na2O	3.08	3.17	3.03	2.84	2.92	3.15	2.96	2.46	2.89	2.9	3.13	2.85	2.81	2.8	3.2	2.86	2.96	2.56	2.82	2.91
K2O	1.56	1.56	1.98	1.68	1.73	1.55	1.69	1.68	1.11	1.38	1.29	1.26	1.57	1.38	2.54	1.27	0.71	1.39	1.75	1.59
P2O5	0.19	0.23	0.15	0.18	0.19	0.21	0.21	0.21	0.19	0.24	0.21	0.24	0.22	0.21	0.18	0.27	0.2	0.09	0.18	0.17
LOI	0.91	0.35	0.62	2.1	0.78	0.2	1.52	2.7	1.97	0.73	0.1	1.3	1.03	1.48	0.64	1.8	1.61	2.59	0.13	1.22
Total	99.86	99.88	99.94	99.84	99.86	99.86	99.87	99.83	99.77	99.77	99.86	99.64	99.88	99.86	99.88	99.72	99.64	99.87	99.62	99.75
Ba	343	263	337	303	311	236	71	207	215	214	212	240	249	196	378	214	254	197	245	333
Rb	42	50	64	73	39	54	74	60	73	59	64	34	55	25	119	32.1	42.41	29.75	30.93	68.89
Sr	386	418	380	395	376	366	371	547	376	374	420	455	370	376	287	484	512	241	365	412
Y	16.31	17.09	14.49	15.58	16.31	15.59	15.22	12.68	17.09	18.06	17.58	17.85	15.81	17.5	20.84	25.59	17.57	14.54	14.34	15.17
Zr	151.98	114.46	107.66	150.44	141.7	77	145.22	55.87	92.04	86.84	86.09	97.43	35.26	88.98	81.89	165.54	150.35	99.27	72.74	143.72
Nb	8.87	10.16	10.21	11.45	10.6	8.73	10.26	8.02	7.38	8.19	8.12	8.01	7.3	7.96	19.41	13.57	8.6	9.08	8	11.12
Th	6.62	5.55	7.75	6.93	5.94	5.63	6.91	4.9	4.3	4.23	4.17	3.84	5.09	4.12	11.83	4.08	3.38	6.59	5.31	5.5
Hf	4.15	3.56	3.2	4.36	4.16	2.59	4.29	1.99	2.89	2.81	2.7	2.81	0.52	2.73	3.12	4.57	4.09	3.23	2.59	4.03
Sc	14.42	12.79	9.54	10.86	11.89	17.05	10.42	10.84	20.44	22.27	20.55	19.82	15.66	19.16	8.39	30.81	22.1	10.4	10.46	8.91
Ta	0.86	0.86	0.94	1.06	0.94	0.82	1.02	0.69	0.63	0.66	0.66	0.66	0.7	0.67	1.51	0.94	0.56	1.07	0.61	1.12
U	2.08	1.6	2.26	2.34	1.88	2.03	2.41	1.56	1.43	0.91	1.29	1.19	1.22	1.26	2.45	1.04	1.06	2.33	1.55	1.72
W	0.98	0.63	0.64	0.6	1.3	0.97	1.01	0.97	1.2	0.26	0.4	0.51	1.32	1.06	1.1	1.01	0.23	0.78	0.65	0.38
La	21.13	20.44	26.43	22.68	24.03	17.23	21.95	16.97	13.86	15.22	15.02	13.85	17.1	14.71	34.81	19.85	17.82	20.88	19.95	22.48
Ce	39.1	38.97	47.65	42.83	44.6	33.06	41.41	32.27	26.76	29.7	29.2	27.35	32.55	28.82	64.29	40.22	35.44	39.53	37.6	42.44
Pr	4.61	4.67	5.37	5.02	5.33	3.97	4.91	4	3.34	3.72	3.65	3.48	3.92	3.61	7.46	5.21	4.49	4.82	4.48	5.04
Nd	16.87	17.68	18.9	18.21	19.96	15.2	18.21	15.25	13.2	14.29	14.31	13.39	14.73	13.85	27.22	21.2	17.88	17.74	16.5	19.24
Sm	2.87	2.96	2.84	2.96	3.18	2.57	3	2.45	2.43	2.69	2.58	2.53	2.59	2.54	4.06	3.85	3.05	2.89	2.73	2.82
Eu	0.77	0.79	0.07	0.75	0.79	0.68	0.76	0.63	0.65	0.74	0.7	0.68	0.65	0.67	0.91	0.92	0.77	0.71	0.7	0.66
Gd	2.84	2.98	2.84	3	3.22	2.75	3.08	2.51	2.67	2.86	2.72	2.67	2.68	2.7	4.05	4.13	3.13	3.1	2.83	2.76
Tb	0.5	0.53	0.48	0.51	0.56	0.51	0.53	0.44	0.52	0.55	0.53	0.52	0.5	0.51	0.71	0.79	0.57	0.52	0.48	0.5
Dy	2.61	2.77	2.41	2.67	2.79	2.68	2.68	2.28	2.86	3.08	2.9	2.87	2.7	2.87	3.73	4.42	3.06	2.6	2.51	2.56
Ho	0.54	0.57	0.49	0.55	0.58	0.57	0.55	0.47	0.62	0.66	0.62	0.62	0.57	0.61	0.79	0.96	0.65	0.52	0.52	0.54
Er	1.41	1.48	1.3	1.45	1.48	1.51	1.45	1.2	1.58	1.67	1.58	1.57	1.44	1.58	1.99	2.37	1.62	1.36	1.32	1.33
Tm	0.28	0.29	0.26	0.29	0.29	0.29	0.28	0.23	0.32	0.34	0.32	0.32	0.28	0.32	0.39	0.47	0.32	0.27	0.27	0.28
Yb	1.74	1.79	1.59	1.81	1.8	1.79	1.74	1.41	1.99	2.09	1.95	1.93	1.74	1.91	2.39	2.83	1.93	1.65	1.63	1.63
Lu	0.22	0.22	0.2	0.23	0.23	0.22	0.22	0.17	0.24	0.25	0.23	0.23	0.21	0.23	0.29	0.34	0.24	0.21	0.21	0.2

ادامه جدول ۱

Sample	B.40.G	B.43.G	B.44.G	B.45.G	B.47.G	B.48.G	B.49.G	B.50.G	B.51.G	B.52.G	B.53.G	B.54.G	B.55.G	B.56.G	B.57.G	B.58.G	B.59.G	B.60.G	B.61.G	B.62.G
SiO <sub>2</sub>	67.46	64.05	65.95	64.23	67.94	68.47	61.42	69.42	55.49	56.98	67.36	63.57	64.17	63.16	51.93	59.73	53	54.82	53.77	52.77
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.57	0.49	0.45	0.47	0.45	0.49	0.44	0.69	0.69	0.48	0.59	0.64	0.71	0.96	0.7	0.83	0.91	0.84	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.97	17.08	16.13	16.48	15.76	15	18	14.91	20.65	17.23	15.34	15.82	15.62	16.44	19.24	18.92	19.9	20.67	18.7	20.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.91	5.17	3.87	4.31	3.94	3.96	5.06	4.05	6.98	6.75	4.46	5.09	5.36	5.61	8.09	6.33	7.69	7.54	6.98	8.32
MnO	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10	0.14	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.11	0.19	0.16	0.16	0.17
MgO	0.88	1.66	1.73	1.02	1.24	1.57	1.94	2	3.27	4.58	1.43	2.97	2.23	2.18	3.2	1.63	3.42	3.41	5.16	3.66
CaO	4.97	5.8	5.2	6.3	4.15	4.56	6.92	4.35	7.94	7.48	4.65	5.23	5.25	5.35	8.59	6.75	8.99	7.69	8.09	8.41
Na <sub>2</sub> O	2.9	2.97	2.96	3.04	2.46	2.7	3.06	1.63	3.42	3.03	2.73	2.64	2.55	2.86	3.36	2.92	3.3	3.48	3.24	3.02
K <sub>2</sub> O	1.65	1.31	1.5	1.42	1.65	1.47	1.18	1.51	0.69	0.59	1.53	1.77	1.87	1.77	0.45	1.36	0.65	0.68	0.58	0.55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.22	0.22	0.25	0.18	0.19	0.18	0.2	0.36	0.27	0.22	0.21	0.22	0.27	0.25	0.3	0.33	0.4	0.35	0.25
LOI	1.38	0.94	1.3	2	2.05	1.4	1.41	1	0.22	1.52	1.56	1.8	1.84	1.32	2.11	0.96	1.06	0.04	1.79	0.84
Total	99.83	99.88	99.45	99.61	99.94	99.87	99.77	99.61	99.85	99.25	99.86	99.79	99.85	99.77	98.33	99.71	99.36	99.80	99.66	99.54
Ba	325	204	217	258	231	228	200	1154	112	123	268	263	261	254	148	229	112	138	108	98
Rb	59.63	44.86	20.69	49.46	20.26	52.02	30.87	33.45	35.38	4.25	57.68	45.8	41.24	53.98	24.31	58.03	46.11	21.67	41.49	20.42
Sr	419	357	507	369	339	353	408	1727	437	463	418	484	419	470	1967	606	474	471	463	456
Y	14.97	16.55	13.07	17.51	15.48	15.22	15.97	14.31	20.65	19.18	17.65	20.55	21.01	20.86	22.08	19.86	22.6	21.75	21.04	22.52
Zr	144.95	94.17	63.49	127.49	104.6	114.65	80.86	94.28	144.63	134.39	149.37	181.84	201.27	185.78	138.41	184.91	131.27	143.89	119.67	130
Nb	10.47	7.14	7.78	10.73	10.19	9.72	7.68	9.11	8.32	6.17	10.78	11.73	11.82	12.4	9.87	10.33	7.74	10.87	9.13	8.09
Th	5.05	3.64	4.18	5.35	5.94	5.36	4.1	5	1.46	1.05	4.35	5.79	5.96	6.05	1.58	3.24	1.12	1.43	1.5	1.27
Hf	4.19	2.98	2.15	3.96	3.19	3.4	2.67	2.85	3.89	3.87	4.32	5.35	5.7	5.52	3.83	4.92	3.57	3.97	3.41	3.54
Sc	9.7	18.93	11.54	13.77	12.93	12.77	18.23	12	28.26	23.46	15.07	17.68	18.44	22.95	25.03	19.2	27.72	31.28	27.97	27.1
Ta	1.19	0.77	0.99	1.16	1.11	1.15	1.1	1.16	0.78	0.5	1.05	1.07	1.45	1.24	0.9	0.86	0.64	0.84	0.54	0.66
U	1.76	1.22	1.77	2.04	1.6	1.71	1.53	1.63	0.48	0.49	1.3	1.59	1.9208	1.82	0.62	1.18	0.59	0.44	0.46	0.4
W	0.64	0.29	1.31	1.36	0.38	0.44	0.69	0.73	0.61	0.01	0.58	1.5	*	0.65	0.98	0.44	0.64	0.14	0.57	0.12
La	23.32	13.66	17.12	22.13	20.51	20.24	14.44	18.97	13.3	11.63	19.97	21.25	21.07	21.29	13.56	19.52	11.29	14.2	13.47	11.9
Ce	43.57	26.58	33.18	42.31	38.01	37.9	27.78	33.16	27.93	25.39	38.56	41.52	41.26	42.8	27.72	39.1	24.04	29.61	28.12	24.83
Pr	5.16	3.33	4.1	5.24	4.57	4.54	3.48	4.2	3.8	3.57	4.81	5.24	5.15	5.45	3.83	5.1	3.4	4.06	3.88	3.48
Nd	19.46	13.09	15.8	20.17	16.88	17.22	13.57	15.97	16.65	15.32	18.65	20.54	19.88	21.28	15.98	20.48	14.31	16.88	15.82	14.73
Sm	2.88	2.3	2.5	3.21	2.66	2.71	2.32	3.31	2.77	2.72	2.96	3.29	3.33	3.43	2.97	3.31	2.68	2.97	2.75	2.68
Eu	0.69	0.61	0.63	0.78	0.65	0.65	0.62	1.03	0.7	0.7	0.72	0.73	0.73	0.77	0.79	0.79	0.72	0.78	0.73	0.71
Gd	2.93	2.51	2.51	3.31	2.77	2.79	2.54	2.61	3.1	2.98	3.1	3.5	3.57	3.7	3.34	3.39	3.04	3.33	3.18	3.05
Tb	0.51	0.49	0.44	0.6	0.5	0.5	0.49	0.46	0.63	0.59	0.57	0.65	0.66	0.69	0.68	0.63	0.64	0.67	0.65	0.64
Dy	2.61	2.82	2.35	3.16	2.67	2.7	2.7	2.46	3.49	3.36	3.09	3.55	3.58	3.75	3.81	3.32	3.69	3.8	3.7	3.76
Ho	0.54	0.61	0.48	0.64	0.55	0.55	0.58	0.52	0.75	0.72	0.67	0.77	0.76	0.8	0.81	0.7	0.82	0.84	0.83	0.82
Er	1.35	1.54	1.25	1.67	1.43	1.43	1.47	1.31	1.9	1.81	1.64	1.91	1.98	2.01	2.02	1.76	2.08	2.06	0.832	2.06
Tm	0.28	0.33	0.25	0.34	0.29	0.29	0.31	0.27	0.4	0.38	0.35	0.4	0.4	0.42	0.41	0.35	0.13	0.43	0.43	0.43
Yb	1.67	1.96	1.47	2.01	1.76	1.74	1.89	1.61	2.34	0.3823	2.07	2.37	2.44	2.48	2.44	2.1	2.56	2.57	2.55	2.59
Lu	0.21	0.24	0.18	0.25	0.22	0.21	0.23	0.22	0.28	0.28	0.25	0.28	0.29	0.3	0.29	0.25	0.31	0.31	0.3	0.31

درویش زاده، ع.، ۱۳۶۵- اصول آتشفشان‌شناسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۹ صفحه.  
 خلقی خسرقی، م. ح. و محمدی گل، آ.، ۲۰۰۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اچاه سنگی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

## References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. & Mouthereau, F., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation: *International Journal of Earth Sciences*, v. 94, p. 401–419.
- Allenbach, P., 1966 - *Geologie und petrologie des Damavand und seiner Umgeburg (Zentral-Elburz), Iran*. Mitt. Geol. Inst. ETH Zurich, N.F., 63:1-144p.
- Arthurton, R. S., Farah, A. & Ahmed, W., 1982-The Late Cretaceous-Cenozoic history of western Balochistan, Pakistan – the northern margin of the Makran subduction complex. In Leggett, J K., (Ed.), *Trench Fore-Arc Geology*, Geological Society of London Special Publication, 10, 343-385.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210–265.
- Biabangard, H. & Moradian, A., 2008- Geology and geochemical evaluation of Taftan Volcano, Sistan and Baluchestan Province, southeast of Iran. *Chinese Journal of Geochemistry*, 27, 356–369.
- Britzman, L., 1979- Fission track ages of intrusives of Chagai District, Balochistan, Pakistan: unpublished M.A. thesis, Dartmouth College, Hanover, N. H., U.S.A.
- Chatroodi, A. Y., Karizaki, H. S. & Ghorbani, M., 2010- Petrology and Geochemistry of Volcanic Rocks in Hoz-e-Soltan Area. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 47.
- Dykstra, J. D., 1978- A geological study of Chagai Hills Balochistan, Pakistan using LANDSAT digital data. Unpublished Ph. D. Thesis, Dartmouth College, Hanover, N. H., U.S.A..
- Farah, A., Abbas, G., DeJong, K. A. & Lawrence, R. D., 1984 - Evolution of the Lithosphere in Pakistan. *Tectonophysics*, 105, 207-227.
- Glennie, K. W., 2000 - Cretaceous tectonic evolution of Arabia eastern plate margin of two oceanic, in *Middle East models of Jurassic/Cretaceous carbonates systems*, SEPM, Special Publications, Tulsa, USA, 69, 9-20.
- Harker, A., 1909- *The natural history of igneous rocks*. Mcmillan, New York, 384pp.
- Henderson, P., 1984 - *Rare Earth Element geochemistry*. Elsevier, PP 63-114.
- Kazmi, A. H. & Jan, M. Q., 1997- *Geology and tectonics of Pakistan*. Graphic Publishers, Karachi.
- Mangan, M., Miller, T., Waythomas, C., Trusdell, F., Calvert, A. & Layer, P., 2009- Diverse lavas from closely spaced volcanoes drawing from a common parent: Emmons Lake Volcanic Center, Eastern Aleutian Arc. *Earth and Planetary Science Letters*, 287, 363–372.
- Miller, C., Schuster, R., Klötzli, U., Frank, W. & Purtscheller, F., 1999 - Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *Journal of Petrology*, 40/9, 1399-1424.
- Nakamura, N., 1974 Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 775.757-
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973 - Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290–300.
- Pearce, J. A., Bender, S. E., DeLong, W. S. Kidd, F., Low, P. J., Guner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S., & Mitchell, J. G., 1990-Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *Journal of volcanology and Geothermal Research*, 44, 189-229.
- Pearce, J.A. & Peate, D.W., 1995 - Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 23, p. 251–285.
- Rickwood, P. C., 1989 - Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements, *Lithos* 22, 247-263.
- Rollinson, H. R., 1993 - *Using geological data, evolution, presentation, interpretation*, Longman Ltd. Publication, 214 pp.
- Sebere, D., Vallve, M., Sandvol, E., Steer, D. & Barazangi, M., 1997 - Middle East tectonics, applications of Geographic information systems (IGS), *Gas today* 7 (Z):1-6p.
- Sengor, A. M. C. & Kidd, W. S. F., 1979 - Post-Collision Tectonics of the Turkish and Iranian plateau and companions with Tibet. *Tectonophysics* 55:3261-376.
- Siddiqui, R. H., Khan, M. A. & Naseem, M., 2002 -Geology and petrogenesis of Pliocene to Pleistocene volcanic rocks from the Chagai arc Balochistan Pakistan. Published by the International Division, Geological Survey of India in the Vol. of Abstracts, Fourth South Asia Geological Congress (GEOSAS-IV).
- Sillitoe, R. H., 1978 - Metallogenic evolution of a collision mountain belt in Pakistan: a preliminary analysis. *Journal of Geological Society of London*, 125, 377-387.

- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989 - Chemical and isotopic systematics of ocean basalt, implication for mantle composition and processes. In Saunders, A.D., Torny, M.J. (Eds.), Magmatism in the ocean basins. Journal of Geological Society of London (Special Publication), 42, 313-345
- Taylor, S. R. & McLennan S. M., 1995 - The geochemical evolution of the continental crust. Rev. Geophys. 33, 241-265.
- Wang, B., Shu, L. S., Cluzel, D., Aure, M. F. & Charvet, J., 2007 - Geochemical constraints on Carboniferous volcanic rocks of the Yili Block (Xinjiang, NW China): Implication for the tectonic evolution of Western Tianshan. Journal of Asian Earth Sciences, 29(1), 148-159.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977 - Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 20, 325-343.
- Zhang, Z. Xiao, X. Wang, J., Wang, Y. & Kusky, T. M., 2008- Post-collisional Plio-Pleistocene shoshonitic volcanism in the western Kunlun Mountains, NW China: Geochemical constraints on mantle source characteristics and petrogenesis. Journal of Asian Earth Science Volume 31, Issues 4-6, 10 January, Pages.379-403.



## Geology, Geochemistry and Petrogenesis of Bazman Volcano, SE of Iran

K. Shiaian<sup>1</sup>, J. Ghalamghash<sup>2\*</sup>, M. Vosoughi Abediny<sup>3</sup> & F. Masoudi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Faculty of Basic Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University of Tehran, Iran

Received: 2013 May 19

Accepted: 2014 June 17

### Abstract

The Bazman volcano is located in the Makran Magmatic Arc. The pyroclastic rocks and lava with rhyodacitic to basaltic composition and calc-alkaline affinities erupted from the central and lateral craters of this volcano during the Quaternary period. The primitive mantle normalized Multi-elements diagrams show a relatively high abundance of LIL relative to HFS incompatible elements with negative anomalies of Nb and Ti. Their chondrite-normalized REE patterns are slightly enriched in LREE relative to HREE with negative Eu anomalies. These geochemical features suggest that the volcanic rocks of bazman formed in a subduction setting by partial melting of metasomatized mantle. On the base of La/Yb vs Dy/Yb and La/Sm vs Sm/Yb diagrams the sources of the magmas is phlogopite-spinel-lherzolite or/and phlogopite-garnet-lherzolite.

**Keywords:** Geochemistry, Petrogenesis, Bazman, Volcano, Subduction, Continental Arc, Bazman, Sistan, Iran.

For Persian Version see pages 99 to 110

\*Corresponding author: J. Ghalamghash; E-mail: ghalamghash@gsi.org.ir