

ژئوشیمی و سنگ‌زایی سنگ‌های آتشفشانی و نیمه آتشفشانی نئوژن منطقه راه در کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر (ایران مرکزی)

رضا منصف^۱، محمد هاشم امامی^{۲*} و نعمت‌الله رشیدنژاد عمران^۳

^۱دکتر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، بخش زمین‌شناسی، تهران، ایران

^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران

^۳استادیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، بخش زمین‌شناسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۱۳

چکیده

سنگ‌های آتشفشانی منطقه راه با سن میوسن تا پلیوسن در امتداد کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر شمالی رخنمون یافته‌اند. سنگ‌های آتشفشانی نئوژن در این ناحیه به طور هم‌شیب بر روی سازند سرخ بالایی جای گرفته‌اند. دو فاز آتشفشانی بازی تا حدواسط (فاز یکم Ngv_1) و حدواسط تا نزدیک به اسیدی (فاز دوم Ngv_2) مراحل اصلی فوران هستند. در فاز اول فوران، مواد آتشفشانی از نوع گدازه‌های آندزیت بازالتی تا آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری وابسته و در فاز دوم، فوران سنگ‌های آندزیتی تا نزدیک به داسیتی با ساختار گنبدی دیده می‌شوند. با توجه به داده‌های ژئوشیمیایی، این نمونه‌ها سرشت ماگمایی را به سمت سری کلسیمی - قلیایی نشان می‌دهند. الگوهای عناصر جزئی و خاکی کمیاب، یک غنی‌شدگی را در عناصر LREE نسبت به HREE، تهی‌شدگی در Nb و Ti و همین‌طور نسبت‌های بالای Th/Nb و Th/Yb را در مقایسه با بازالتهای پشته میان اقیانوسی و بازالتهای درون صفحه‌ای نشان می‌دهند. شواهد سنگ‌شناختی مطالعه حاضر گویای آن است که ماگمای مادر سنگ‌های آتشفشانی راه، با ترکیب کلسیمی - قلیایی، از یک منشأ گوشته‌ای متاسوماتیزه، با تأثیر سیال‌ها و رسوبات حاصل از صفحه فرورانش، تشکیل یافته است. پس از برخورد صفحه عربی به بلوک ایران مرکزی در نئوژن، از جمله حوضه‌های محلی کششی در اوایل میوسن، تحت تأثیر سامانه‌های گسلی تراکشی تشکیل شده‌اند که به مدد دایک‌های تغذیه‌کننده، موجب فوران‌های آتشفشانی در منطقه تا اوایل پلیوسن شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: ایران مرکزی، راه، تراکشی، ارومیه - دختر، سنگ‌های آتشفشانی نئوژن.

* نویسنده مسئول: محمد هاشم امامی

E-mail: hashmemami@yahoo.com

۱- مقدمه

صورت محلی و ناحیه‌ای، رخساره‌های آتشفشانی نئوژن رخنمون یافته‌اند. کوه سخت حصار، در شمال باختر روستای راه، مثال خوبی از این دسته فوران‌های نئوژن است. مهم‌ترین و گسترده‌ترین مطالعات انجام شده در منطقه مورد نظر، شرح نقشه چهارگوش قم (Emami, 1991) به همراه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفچگان - خورهه (Alai Mahabadi, 2000) است. مطالعات پیشین انجام شده در منطقه نراق و بیدهند، به سنگ‌های آتشفشانی نئوژن مورد نظر اشاره داشته‌اند (Sojodi Keismi, 1993). همچنین مطالعات صحرایی و سنگ‌نگاری اولیه بر روی کوه سخت حصار توسط (Shahrokh, 1996) انجام شده است. مطالعات چینه‌شناسی و دیرینه جغرافیایی در منطقه تفرش نیز توسط حاجیان صورت پذیرفته است (Hajian, 1970; 1996).

سنگ‌های آتشفشانی منطقه راه، با سن میوسن تا پلیوسن، در شمال باختر روستای راه، در بین طول جغرافیایی $۵۰^{\circ} ۳۰'$ تا $۵۶^{\circ} ۴۵'$ خاوری و عرض جغرافیایی $۳۴^{\circ} ۱۵'$ تا $۳۴^{\circ} ۲۵'$ شمالی در امتداد کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر شمالی رخنمون یافته‌اند (شکل ۱). با توجه به کمبود مطالعات سنگ شناختی سیستماتیک بر روی سنگ‌های آتشفشانی میوسن - پلیوسن کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر، این نوشتار سعی بر آن دارد که نگاهی دقیق‌تر بر تشکیل و جایگیری رخساره‌های آتشفشانی نئوژن در زمان پس از برخورد داشته باشد. با توجه به این که سنگ‌های آتشفشانی منطقه راه، تاکنون مورد مطالعه سیستماتیک سنگ‌شناختی قرار نگرفته است، بنابراین بررسی آنها می‌تواند در شناخت الگوی ژئودینامیکی کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر در زمان نئوژن اهمیت داشته باشد.

۲- روش مطالعه

اهداف این مطالعه شامل بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری برای مطالعه سنگ شناختی این سنگ‌ها، به کارگیری ژئوشیمی کانیایی در تعیین نوع کانی‌های اصلی

در طی زمان پرمین، اقیانوس نوتتیس در بین دو بلوک عربی و ایران مرکزی شروع به باز شدن کرد. فرورانش اقیانوس نوتتیس به زیر بلوک ایران مرکزی، در امتداد حاشیه فعال قاره‌ای آن در طی زمان تریاس بالایی تا ائوسن ادامه یافته است (Berberian & King, 1981; Davoudzadeh et al., 1981). زمان برخورد میان بلوک عربی و ایران مرکزی مورد بحث‌های زیادی بوده و بر اساس اولین تئوری در طی کرتاسه پایانی - پالئوسن انجام شده است (Stocklin, 1977; Berberian & King, 1981). در مقابل، بر اساس نظر برخی دیگر، برخورد در طی زمان الیگوسن پسین (Agard et al., 2005) و یا حتی میوسن، (Jackson et al., 1995; Allen et al., 2004) رخ داده است. کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر یا سهند - بزمان به سن ائوسن تا پلیوکواترنری نشان‌دهنده شدیدترین فعالیت‌های ماگمایی در ایران مرکزی به‌ویژه در دوره ائوسن است. ماگماتیسم ائوسن که اصلی‌ترین رخنمون‌های آتشفشانی این کمر بند را تشکیل می‌دهند، تنوع ترکیبی را از انواع بازی تا اسیدی نشان می‌دهند. بدین گونه که ماگمای بازی، با منشأ گوشته‌ای، ضمن ذوب پوسته قاره‌ای، موجب تشکیل ماگمای اسیدی شده و در نتیجه ماگماتیسم دو قطبی (Bimodal) از ویژگی‌های شاخص این کمر بند آتشفشانی است. فوران‌های اولیه ائوسن در کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر از نوع کلسیمی - قلیایی و زیردریایی بوده که به تدریج در ائوسن بالایی به سمت قلیایی و قلیایی پتاسیم بالا میل کرده است (Hasanzadeh, 1978). کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر در داخلی‌ترین بخش بلوک ایران مرکزی قرار گرفته است. بررسی‌های ساختاری در پهنه ارومیه - دختر، شواهد ساختاری خمشی - برشی را در منطقه قم (Nogole Sadat, 1988) و کاشان - نظنز (Mohajjel et al., 2003) نشان داده که می‌تواند معرف وجود یک رژیم دگر شکلی ترافشارشی با مؤلفه فشارشی بزرگ‌تری نسبت به مؤلفه برشی باشد. بر روی این کمر بند، افزون بر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، در برخی مناطق، به

آنها از یک گوشته متاسوماتیکی است. این آمفیبول‌ها طی صعود و جایگیری در حجره ماگمایی با ماگمای در برگیرنده عدم تعادل شیمیایی نشان می‌دهند. برشی شدن سنگ‌های فاز دوم فوران حدواسط تا نزدیک به اسیدی می‌تواند متأثر از گسل خوردگی‌های دینامیکی در کوه سخت حصار باشد. در نهایت جوان‌ترین واحدهای منطقه شامل رسوبات مارنی، کنگلومرای و ماسه‌سنگ‌های پلیوسن هستند.

۴- سنگ‌نگاری و شیمی کانی

با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری، سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه را می‌توان به سنگ‌های بازالت آندزیتی، پارگازیت آندزیت و هیالوآندزیت تقسیم‌بندی کرد. نمونه‌های بازالت آندزیتی بافت‌های پورفیری با خمیره میکروولیتیک را نشان می‌دهند (شکل‌های ۳-الف و ب). درشت‌بلورها شامل کانی پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده که به صورت منفرد و تجمعات گلوپورفیری مشاهده می‌شوند (شکل ۳-الف). خمیره از بلورهای بی‌شکل کلینوپیروکسن، کانی‌های کدر (اپاک) و میکروولیت‌های پلاژیوکلاز همراه با کانی‌های ثانویه اپیدوت و کلریت تشکیل شده است (شکل‌های ۳-الف و ب).

پلاژیوکلازها در ابعاد ۰/۵ تا ۰/۹ میلی‌متر و برخی از بلورهای پلاژیوکلاز در مرکز به کانی‌های کلریت و سریست دگرسان شده‌اند (شکل ۳-ب). ترک خوردگی، ماکل‌های تکراری و منطقه‌بندی نوسانی، از ویژگی‌های این پلاژیوکلازها است (شکل‌های ۳-الف و ب).

کلینوپیروکسن‌ها به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار همراه با پلاژیوکلازها به صورت گلوپورفیری و همچنین با بلورهای منفرد دیده می‌شوند. در برخی از آنها خوردگی و حالت خلیجی در حاشیه همراه با دگرسانی به کلریت، اپیدوت و لوکوکسن مشاهده می‌شود. این بلورها دارای میان‌بارهایی از آپاتیت و پلاژیوکلاز هستند.

کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالت آندزیتی راوه با میزان پایین اکسید تیتانیم (۰/۱۵ تا ۰/۶۳ درصد وزنی) مشخص می‌شود. کلینوپیروکسن‌ها از نظر ترکیبی در نمودار ترکیبی ولاستونیت - فروسیلیت - انستاتیت (Deer et al., 1991)، در حوزه دیوپسید تا اوژیت‌های غنی از منیزیم واقع می‌شوند (شکل ۴). ترکیب ساختاری با فرض ساختار استیچیومتری (Stoichiometry) آن بر اساس چهار کاتیون و شش اکسیژن محاسبه شده است (Finger, 1979) و دارای فرمول ترکیبی $Wo_{41.2}En_{43.6}Fs_{15}$ تا $Wo_{44.1}En_{41.6}Fs_{14.2}$ هستند (جدول ۱).

در نمونه‌های پارگازیت آندزیت بافت پورفیری با خمیره ریزدانه مشاهده می‌شود (شکل ۳-ج). درشت‌بلورها شامل کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول نوع پارگازیت هستند. درشت‌بلورهای آمفیبول شکل‌دار، منشوری، سوزنی و ماکل‌دار بوده به صورت منفرد و تجمعات گلوپورفیری مشاهده می‌شوند (شکل ۳-ج). برخی بلورهای آمفیبول دارای میان‌بارهایی از کانی آپاتیت بوده و در حاشیه در حال تبدیل به لوکوکسن و اکسید آهن هستند، در برخی از آنها تیغه‌های اسکولوشن (Exsolution lamella) موجود است که می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل هم‌زمان آمفیبول و اکسیدهای آهن باشد. خمیره از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، فلدسپارقلیایی همراه با کانی فرعی تیتانومگنتیت تشکیل یافته است.

آمفیبول نوع پارگازیت یکی از مهم‌ترین کانی‌های سنگ‌های آندزیتی منطقه راوه است. این آمفیبول‌ها در نمودار نسبت $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ در برابر سیلیس تراهدری (TSi) (Leake et al., 1997)، ترکیب پارگازیتی دارند (شکل ۵). محاسبه کاتیون سدیم این آمفیبول‌ها (در سایت A) میزان ۰/۶۰ تا ۰/۶۹ را نشان می‌دهد. افزون بر این، میزان کاتیون‌های تیتانیم (در سایت C) و کلسیم (در سایت B) این آمفیبول‌ها نیز به ترتیب تغییراتی بین ۰/۱۱ تا ۰/۲۳ و ۱/۸۲ تا ۱/۸۶ را نشان می‌دهند (جدول ۲). سنگ‌های هیالوآندزیت بافت میکروولیتیک شیشه‌ای و میکروولیتیک جریانی را

تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها و استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی، جزئی و خاکی کمیاب در تعیین سرشت ماگمایی و محیط زمین‌ساختی - ماگمایی این سنگ‌های آتشفشانی است.

به منظور تعیین ترکیب ژئوشیمیایی کانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه، تجزیه الکترون میکروپروپ با استفاده از دستگاه JEOL 8200 در دانشگاه میلان ایتالیا صورت پذیرفته است. شرایط تجزیه شامل ولتاژ 12 kV و جریان پرتو 20 nA برای کانی‌های آمفیبول و کلینوپیروکسن و 10 nA برای بلورهای پلاژیوکلاز با زمان‌های شمارش ۳۰ ثانیه در پیک‌ها است (جدول‌های ۱، ۲ و ۳).

برای تعیین میزان اکسید عناصر اصلی و هم‌منظور عناصر جزئی و خاکی کمیاب تعداد ۱۳ نمونه سنگی که دگرسانی کمتری نشان می‌دادند، توسط آگات پودر شده و مورد تجزیه ژئوشیمیایی قرار گرفتند. تجزیه عناصر اصلی توسط دستگاه XRF و عناصر جزئی و خاکی کمیاب با استفاده از دستگاه ICP-MS در آزمایشگاه GENALYSIS کشور استرالیا انجام شد (جدول ۴).

۳- زمین‌شناسی

توالی سنگی منطقه مورد مطالعه به صورت ناحیه‌ای در مساحتی افزون ۴۵۰ کیلومتر مربع رخنمون یافته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مورد مطالعه شامل شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سیاه تا خاکستری ژوراسیک هستند که با سنگ‌های آتشفشانی نوژن هم‌مری گسلی دارند. سنگ‌های آتشفشانی نوژن در این ناحیه به سن میوسن تا پلیوسن، به طور هم‌شیب بر روی سازند سرخ بالایی جای گرفته‌اند (شکل ۱). به نظر می‌رسد فعالیت‌های زمین‌ساختی اوائل بوردیگالین سبب گسترده‌تر شدن دریا در منطقه شده، که در نتیجه آن، ته‌نشست‌های کولابی - آواری به رسوبات بیوشیمیایی تبدیل شده است. سپس، در اواخر میوسن زیرین دریا منطقه را ترک کرده و ته‌نشست‌های ژرف سازند قم رفته رفته جای خود را به رسوبات کولابی - آواری سازند سرخ بالایی می‌دهند که سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی نوژن بر روی آنها قرار گرفته‌اند (شکل ۲). این دسته سنگ‌ها وابسته به فعالیت‌های ماگمایی پس از آکی‌تاین و بوردیگالین هستند. فعالیت‌های آتشفشانی نوژن در ایران از نوع آتشفشان دهانه مرکزی همراه با تشکیل تعدادی آتشفشان چینه‌ای (استراتولکان) بوده که در مواردی نیز شکستگی‌های محلی خروج ماگما را کنترل می‌کنند (Emami, 1981). در منطقه سخت حصار دو فاز آتشفشانی بازی تا حدواسط (فاز اول Ngv1) و حدواسط تا نزدیک به اسیدی (فاز دوم Ngv2) مشاهده شد (شکل ۱). در فاز اول فوران مواد آتشفشانی از نوع گدازه‌های آندزیت بازالتی تا آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری وابسته و در فاز دوم فوران سنگ‌های آندزیتی تا نزدیک به داسیتی با ساختار گنبدی دیده می‌شوند. قطعاتی از این گنبدها در درون رسوبات آبرفتی کواترنری قدیمی مشاهده شده که با توجه به مطالعات چینه‌شناسی منطقه و استفاده از روش سن سنجی نسبی، سن پلیوسن برای این فازهای آتشفشانی تأیید می‌شود. شواهد صحرائی بر این نکته تأکید می‌کنند که گنبدها دارای فعالیت آتشفشانی انفجاری نبوده، بلکه فقط در مواردی برش‌های ریزشی در اطراف آنها مشاهده می‌شود. فازهای ماگمایی در کوه سخت حصار به صورت توده‌های کوچک رگه‌ای شکل، استوک، گنبد و دایک‌های فراوان سری‌های قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند. نفوذ برخی توده‌های استوانه‌ای شکل همراه با بالا آمدن ستون ماگمایی باعث ایجاد شکستگی‌های کششی در اطرافشان شده که پس از تزریق ماگما در درون آنها به صورت تجمعاتی از دایک‌های شعاعی در آمده‌اند (شکل ۲). در زیر گدازه‌های بازی تا حدواسط مربوط به فاز اول فوران توف‌های هیالوکلاستیک حاصل از فعالیت آتشفشانی ابتدایی میوسن وجود دارد. در برخی موارد، نیز گدازه‌های بازی تا حدواسط دگرسان شده‌اند که نشانگر تأثیر فاز دوم فوران بر روی فاز اولی است. وجود درشت بلورهای آمفیبول از نوع پارگازیت تا حد چند سانتی‌متر در این مجموعه آتشفشانی نشانگر مشتق شدن

امر به دلیل تفریق کانی‌های الیون و کلینوپروکسن در طی روند تفریق ماگمای سازنده این سنگ‌هاست. میزان اکسیدهای عناصر کلسیم و آلومینیم نیز با افزایش روند تفریق، کاهش را نشان داده که تفریق کانی‌های کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز در طی روند تفریق می‌تواند عامل و دلیل اصلی این روندها باشد. میزان اکسید تیتانیم با افزایش میزان سیلیس، کاهش نشان داده که این نیز، تفریق کانی تیتانومگنتیت در طی روند تفریق ماگمای سازنده این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. از طرفی میزان اکسید فسفر، با افزایش روند تفریق از نمونه‌های بازالت آندزیتی به سمت نمونه‌های پارگازیت آندزیتی افزایش را نشان می‌دهد که می‌تواند مرتبط با تبلور کانی آپاتیت در این نمونه‌ها باشد. افزایش میزان اکسید پتاسیم و سدیم در طی روند تفریق نیز به دلیل تفریق کانی پلاژیوکلاز در نمونه‌های مافیک‌تر و تبلور فلدسپار قلیایی در نمونه‌های پارگازیت آندزیتی است (شکل ۱۰).

۵-۲. ژئوشیمی عناصر جزئی و خاکی کمیاب

بر اساس نمودار عناصر خاکی کمیاب (بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه) (Sun & McDonough, 1989)، نمونه‌های نئوژن منطقه راه یک الگوی غنی شده در LREE را نسبت به HREE نشان می‌دهند (شکل ۱۱). نسبت $La_{(N)}/Yb_{(N)}$ در دایک‌های بازالت آندزیتی برابر ۳ تا ۴/۸، در گدازه‌های بازالت آندزیتی برابر ۴/۴ تا ۶/۱ و در سنگ‌های پارگازیت آندزیتی برابر ۴/۵ تا ۹/۷ در تغییر است (شکل ۱۱). در نمودار چند عنصری (بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه) (Sun & McDonough, 1989)، این نمونه‌ها در عناصری مانند $Rb + Ba + Th + U$ و Pb غنی‌شدگی و در عناصر Nb و Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند. نسبت $La_{(N)}/Nb_{(N)}$ در دایک‌های بازالت آندزیتی برابر ۳/۵ تا ۴/۳ در گدازه‌های بازالت آندزیتی برابر ۲/۵ تا ۴/۴ و در سنگ‌های پارگازیت آندزیتی برابر ۲/۶ تا ۴/۳ است (شکل ۱۲). بنابراین، این نمونه‌ها از نظر ژئوشیمیایی مشابه با سری کلسیمی قلیایی هستند.

میزان فراوانی عناصر کمیاب در نمونه‌های نئوژن منطقه راه برابر با $Nb \times 3.1-10.2$ P-mantle و $Yb \times 2.0-5.1$ P-mantle، $La \times 11.0-44.3$ P-mantle است. نمونه‌های بازالت آندزیتی بی‌هنجاری‌های مثبتی از Eu و مقادیر پایین‌تری از عناصر Rb و K را نسبت به نمونه‌های پارگازیت آندزیتی نشان می‌دهند که این امر تجمع کانی پلاژیوکلاز را در حین تحولات ماگمایی منعکس می‌کند. این نمونه‌ها، یک تهی‌شدگی جزئی را در عنصر زیرکنیم نشان می‌دهد که می‌توان آن را به تفریق زیرکن و آپاتیت نسبت داد. نمونه‌های پارگازیت آندزیتی، تهی‌شدگی جزئی از Eu و بی‌هنجاری‌های مثبتی از Rb ، Ba و K را نشان داده که این امر احتمالاً با تفریق پلاژیوکلاز و تبلور فلدسپار قلیایی همراه است. در همه نمونه‌ها، می‌توان یک تهی‌شدگی کلی را در عنصر تیتانیم مشاهده کرد که می‌توان آن را به جدایش کانی تیتانومگنتیت در حین فرایند تفریق ماگمایی و یا طبیعت ماگمای اولیه آنها نسبت داد. با توجه به نمودارهای عناصر خاکی کمیاب و چند عنصری، نمونه‌های منطقه راه نسبت به همدیگر ارتباط ژنتیکی نزدیکی داشته و از یک منبع گوشته‌ای واحد، به دست آمده‌اند.

۶- محیط زمین‌ساختی و سنگ‌زایی (پتروژن)

با استفاده از عناصر کمیاب به نسبت غیر متحرک، طبیعت ژئوشیمیایی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های نئوژن منطقه راه بر روی نمودارهای تفکیک، بررسی و مشخص شده‌اند.

در نمودار $La-Y-Nb$ (Cabanis & Lecolle, 1989)، همه سنگ‌های مورد مطالعه در عنصر La غنی‌شدگی و از عناصر Nb و Y تهی‌شدگی نشان داده و عمدتاً در محدوده بازالت‌های کلسیمی-قلیایی تصویر می‌شوند (شکل ۱۳).

در نمودار $Th-Hf-Nb$ (Wood, 1980)، همه نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های مرتبط با کمان‌های آتشفشانی تصویر شدند (شکل ۱۴). از آنجا که این نمونه‌ها در عنصر Th

نشان می‌دهند. این سنگ‌ها فاقد درشت‌بلور بوده و خمیره از بلورهای پلاژیوکلاز و شیشه کدر غنی از اکسید آهن تشکیل یافته است (شکل ۳-د).

کانی پلاژیوکلاز با ابعاد ۰/۵ میلی‌متر تا ۲ سانتی‌متر در برخی از نمونه‌های حد واسط بافت غربالی و در تعدادی از نمونه‌ها دارای حالت منطقه‌بندی هستند. این کانی‌ها، دگرسانی به کانی‌هایی مانند اپیدوت، کلینوزویت، زوئیزیت (سوسوریتی شدن)، کلریت و کربنات را نشان می‌دهند. در مواردی نیز حفره‌هایی دیده می‌شود که از پستازیت، کلینوزویت، زوئیزیت و کلسیت پر شده‌اند. به نظر می‌رسد تبلور این بلورها پیش از آمفیبول بوده، زیرا در درون بلورهای آن دیده می‌شوند. در تعدادی از آنها فلدسپار قلیایی شفاف حاشیه پلاژیوکلاز را احاطه کرده است. فلدسپارهای قلیایی (کمتر از ۵ درصد حجمی) به صورت بی‌شکل در پیرامون و بین بلورهای پلاژیوکلاز جای گرفته‌اند.

مقدار درصد وزنی اکسید پتاسیم در پلاژیوکلازهای منطقه، برابر با ۰/۶ تا ۰/۱ است. به طور کلی پلاژیوکلازها در نمودار آلپیت-آنورتیت-ارتوز (An-Or-Ab) (Deer et al., 1991)، در نمونه‌های بازالت آندزیتی و آنورتیتی راه دارای ترکیب بیتونیت با میزان درصد مولی آنورتیت (An%) ۷۰/۳ تا ۹۱/۵ هستند (شکل ۶). میزان مول درصد ارتوز (Or%) این پلاژیوکلازها از ۰ تا ۰/۶ در تغییر است. همچنین میزان مول درصد آلپیت (Ab%) در این پلاژیوکلازها از ۸/۴ تا ۲۹/۱ در نوسان است. ترکیب این کانی در دایک‌های حدواسط منطقه از نوع لابرادوریت و مقدار درصد مولی آنورتیت (An%) ۵۵/۵، مول درصد آلپیت (Ab%) در این پلاژیوکلازها ۴۲/۸ و ارتوز ۱/۶ مول درصد (Or%) تعیین می‌شود (جدول ۳).

۵- ژئوشیمی

با توجه به این که هدف اصلی از این مطالعه مقایسه ژئوشیمیایی سنگ‌های نئوژن منطقه راه، به منظور شناخت محیط زمین‌ساختی-ماگمایی این سنگ‌های آتشفشانی است، نمونه‌های انتخاب شده را می‌توان به سه گروه دایک‌های بازالت آندزیتی (SP17, SP4, SP7)، گدازه‌های بازالت آندزیتی (ISO-S1, ISO-S2, ST4) و گدازه‌های پارگازیت آندزیتی (SP1, SP11, SP13, SP5, SP14, SP3, ST3)، تقسیم‌بندی کرد (جدول ۴).

۵-۱. ژئوشیمی عناصر اصلی

از نظر طبقه‌بندی شیمیایی و سرشت ماگمایی، در نمودار $Zr/TiO_2^*0.0001$ در برابر Nb/Y (Winchester & Floyd, 1977)، نمونه‌های دایک‌های بازالت آندزیتی و گدازه‌های بازالت آندزیتی در محدوده بازالت تا آندزیت و نمونه‌های پارگازیت آندزیتی در محدوده آندزیت تصویر شده و در قلمرو بازالت نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۷).

در نمودار AFM (Kuno, 1968)، دایک‌های بازالت آندزیتی و گدازه‌های بازالت آندزیتی در محدوده حدواسط تولیت و کلسیمی-قلیایی (تحولی) قرار می‌گیرند. در حالی که نمونه‌های پارگازیت آندزیتی در محدوده کلسیمی-قلیایی واقع می‌شوند (شکل ۸).

در نمودار میزان اکسید پتاسیم (K_2O wt%) در برابر سیلیس (SiO_2 wt%) (Peccerillo & Taylor, 1976)، بیشتر نمونه‌های منطقه راه، گرایش به سری‌های کلسیمی قلیایی نشان می‌دهند (شکل ۹). گرچه در این نمودار نیز، برخی از نمونه‌ها از K_2O فقیر و سرشت تحولی دارند.

نمودارهای دو متغیره هارکر، برای نمایش میزان تغییرات عناصر اصلی در برابر سیلیس، در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. با دقت به نمودارهای هارکر می‌توان یک ارتباط ژنتیکی شیمیایی را میان نمونه‌های منطقه راه مشاهده کرد. در این نمودارها، میزان درصد اکسید عناصر اصلی آهن و منیزیم با افزایش روند تفریق از نمونه‌های بازالت آندزیتی به سمت نمونه‌های پارگازیت آندزیتی کاهش نشان می‌دهند که این

در نمونه‌های بازالت آندزیتی و آندزیتی راوه دارای ترکیب شیمیایی بی‌توتیت هستند (شکل ۶).

با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی سنگ کل، نمونه‌های منطقه راوه از نظر سرشت ماگمایی، گرایش به سمت سری کلسیمی - قلیایی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). تطابق میان اکسید عناصر اصلی در برابر سیلیس، بیانگر آن است که نمونه‌های منطقه راوه نماینده مذاب‌های گوشته‌ای بوده که تحولات تنوع ترکیبی را در حین فرایند تبلور تفریقی کسب کرده‌اند (شکل ۱۰).

بر اساس نمودارهای عناصر جزئی و خاکی کمیاب (بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه) این نمونه‌ها یک روند غنی شده در LREE همراه با غنی‌شدگی در LILE و تهی‌شدگی در Ta, Nb و Ti را نشان می‌دهند. از نظر ژئوشیمی عناصر کمیاب، این نمونه‌ها مشابه با سری‌های کلسیمی - قلیایی هستند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). این الگوهای کلسیمی - قلیایی می‌توانند به وسیله یک منشأ گوشته‌ای متاسوماتیزه و یا فرایند آلاش پوسته‌ای توضیح داده شوند.

با استفاده از نمودارهای زمین‌ساختی ماگمایی و سنگ‌زایی (شکل‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷)، نمونه‌های منطقه راوه تهی‌شدگی را در عناصر Ta, Nb, Y و غنی‌شدگی را در عناصر U, Th, Pb و همچنین نسبت‌های بالای Th/Nb و Th/Yb نسبت به MORB و OIB نشان می‌دهند. این الگوها حکایت از آن دارند که ماگمای مادر سنگ‌های آتشفشانی منطقه راوه، با سرشت کلسیمی - قلیایی، از ذوب بخشی یک منشأ گوشته‌ای متاسوماتیزه که تحت تأثیر رسوبات و سیال‌های حاصل از زون فرورانش نوتتیس قرار گرفته‌اند، به دست آمده‌اند.

با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی، جزئی و خاکی کمیاب و مطالعات کانی‌شناسی و شیمی کانی بر روی درشت بلورهای آمفیبول متاسوماتیک از نوع پارگازیت، سنگ‌های آتشفشانی منطقه راوه در ارتباط با پدیده متاسوماتیزم گوشته‌ای، ناشی از فرورانش اقیانوس نوتتیس به زیر گوه گوشته‌ای ایران مرکزی هستند. پس از برخورد صفحه عربی به بلوک ایران مرکزی در اوایل سنوزویک، با سبتر شدن پوسته منطقه و با باز شدن حوضه‌های محلی کششی در اوایل میوسن، سنگ‌های آتشفشانی منطقه راوه تحت تأثیر سامانه‌های گسلی تراکشی (Trans-tensional) شروع به جایگیری از طریق شکستگی‌های محلی کششی (دایک‌های تغذیه کننده) کرده‌اند. این فوران‌های آتشفشانی طی دو فاز تا اوایل پلیوسن ادامه یافته‌اند. ماگماهای فاز دوم حاصل از تفریق ماگمایی و احیاناً آلودگی‌های پوسته در فاز تأخیری (NgV_2) قرار گرفته‌اند. در نهایت ماگماتیسیم فاقد گاز به صورت تظاهرات گنبدی شکل (volcanic dome) در ترازهای مختلف ردیف‌های آتشفشانی نوژن جایگیر شده‌اند.

غنی و از عناصر Nb و Hf نسبتاً فقیر هستند و نسبت Hf/Th، در آنها کمتر از مقدار ۳ است ($\text{Hf/Th}=0.24-1.2$)، بنابراین، تعلق این سنگ‌ها به محیط کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای امکان‌پذیر است.

در نمودار Nb-Zr-Y (Meschede, 1986)، نمونه‌های منطقه از عنصر Nb تهی هستند و همگی در قطب Zr-Y در محدوده بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی تصویر می‌شوند (شکل ۱۵). گرچه، برخی نمونه‌های مافیک به سمت محیط مورب نرمال گرایش دارند.

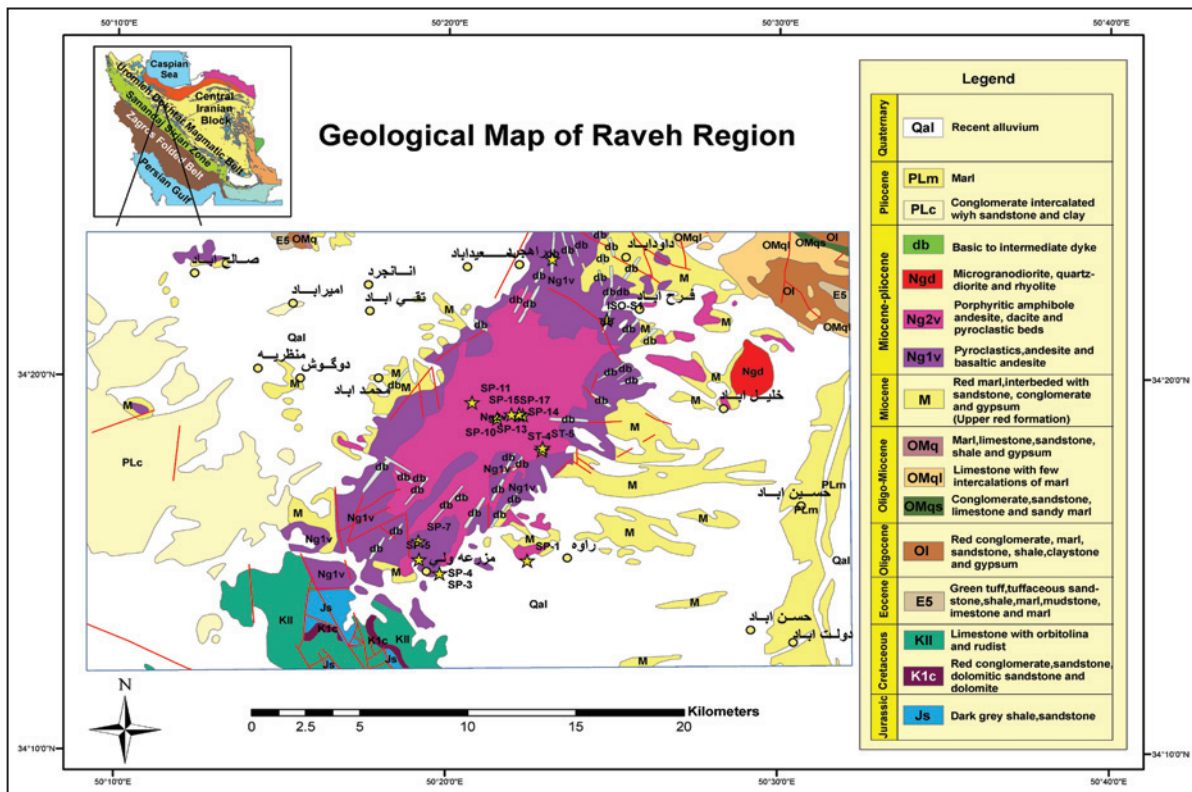
نسبت‌های عنصری می‌توانند اطلاعات کامل‌تری درباره منشأ و خاستگاه ژئوشیمیایی سری‌های مافیک منطقه راوه ارائه نمایند. در نمودار نسبت Th/Yb برابر Ta/Yb (Pearce, 1982)، نمونه‌های منطقه گرایش کلسیمی قلیایی را نشان می‌دهند. ماگمای مادر این نمونه‌ها، با توجه به این که از یک گوشته متاسوماتیزه تحت تأثیر سیال‌های حاصل از تیغه فرورانش قرار گرفته‌اند، به سمت یک مسیر متفاوت با مقادیر بالاتر Th نسبت به آرایش گوشته‌ای (Mantle array) یعنی محدوده بازالت کمان‌های آتشفشانی (VAB) تمایل نشان می‌دهند (شکل ۱۶).

در نمودار نسبت Ce/Nb در برابر Th/Nb (Saunders & Tarney, 1991)، دایک‌های بازالت آندزیتی، گدازه‌های بازالت آندزیتی و پارگازیت آندزیتی دارای نسبت Ce پایین برابر با ۳ تا ۱۱/۶ بوده و در محدوده بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی تصویر می‌شوند (شکل ۱۷). عناصر Th و Nb دو عنصر ناسازگار بوده و نسبت آنها بیانگر میزان این نسبت در ناحیه منشأ است. بنابراین، مقادیر بالای نسبت Th/Nb در این سنگ‌ها (برابر با ۰/۶ تا ۲/۴) نشان‌دهنده یک منشأ متاسوماتیزه در محیط فرورانش است.

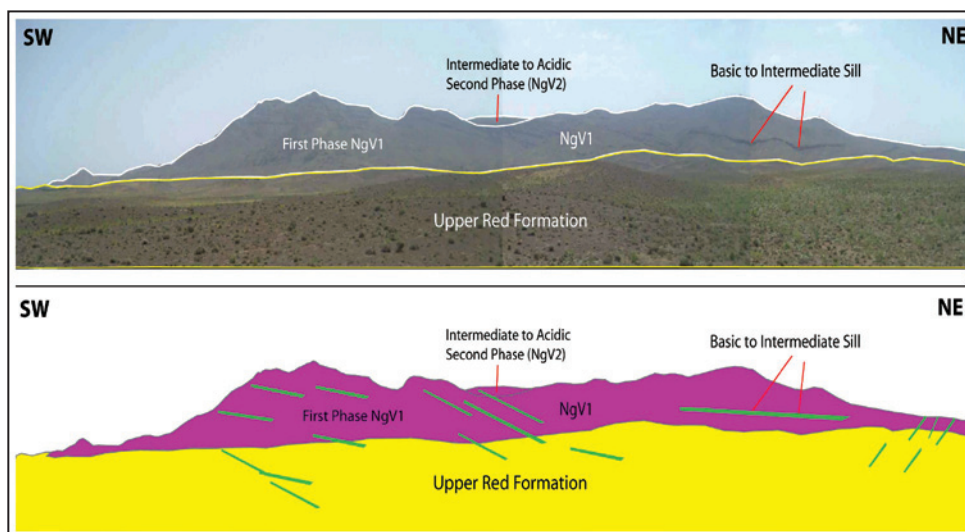
۷- نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی منطقه راوه با سن میوسن تا پلیوسن در امتداد کمربند ماگمایی ارومیه - دختر شمالی رخنمون یافته‌اند. توالی سنگ‌های آتشفشانی نوژن راوه شامل دایک‌های بازی، گدازه‌های با ترکیب بازی تا حدواسط و آذرآواری‌های وابسته هستند که به گونه پیوسته و هم‌شیب بر روی مارن‌های سرخ، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای سازند سرخ بالایی به سن میوسن قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱ و ۲).

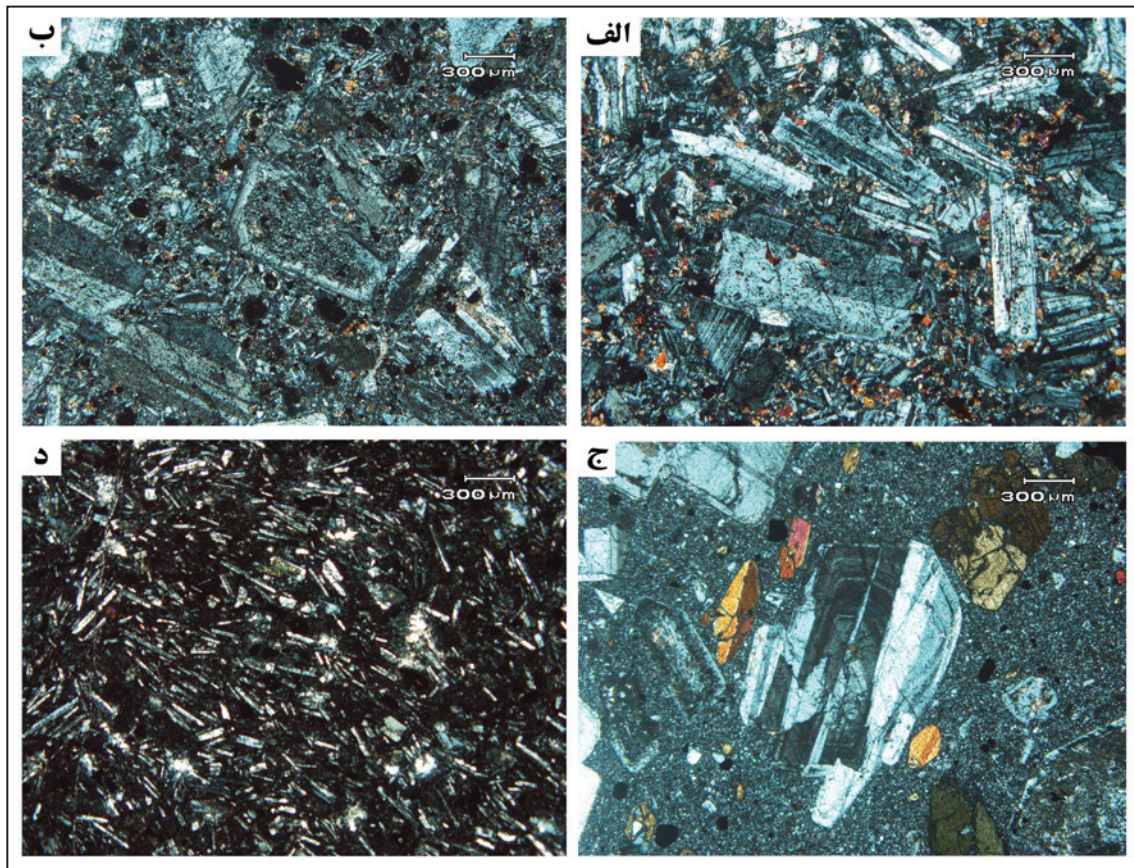
با توجه به مطالعات سنگ‌نگاری و شیمی کانی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه، به طور عمده از دایک‌های بازالت آندزیتی، گدازه‌های بازالت آندزیتی، پارگازیت آندزیتی و هیالوآندزیت تشکیل یافته‌اند (شکل ۳). کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالت آندزیتی دارای ترکیب دیوپسید تا اوژیت غنی از منیزیم است (شکل ۴). آمفیبول‌ها نیز در نمونه‌های آندزیتی منطقه ترکیب پارگازیت دارند (شکل ۵). پلاژیوکلازها



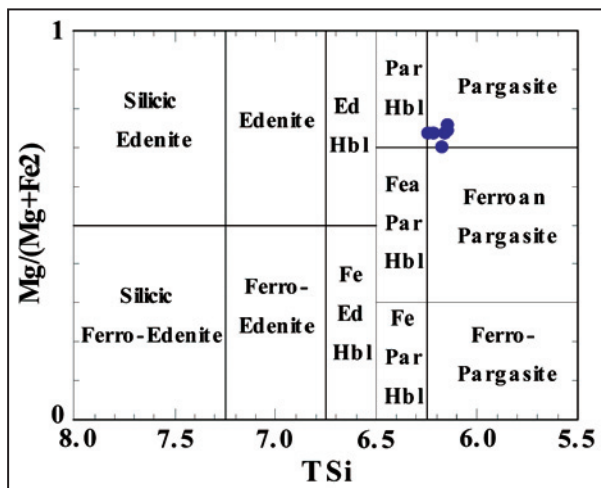
شکل ۱- نقشه زمین شناسی توالی سنگ شناسی منطقه راوله. محل نمونه برداری ها با علامت ستاره مشخص شده اند (Modified after Emami & Hajian, 1991).



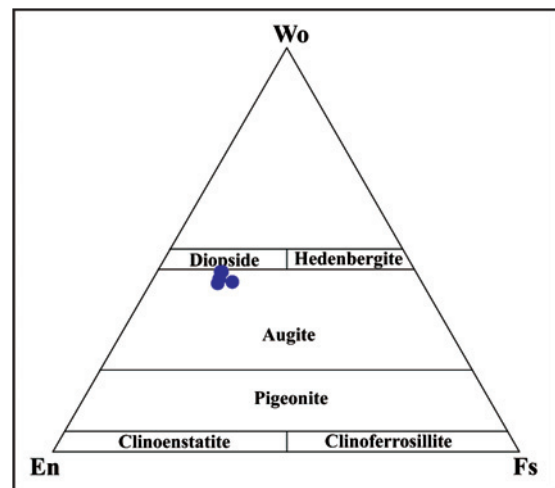
شکل ۲- رخنمون عرضی از واحد آتشفشانی و آذرآوری توژن که توسط دایک های با ترکیب مافیک تا حد واسط قطع گردیده اند. این واحد آتشفشانی به صورت هم شیب بر روی سازند بالای به سن میوسن قرار گرفته است.



شکل ۳- الف و ب) بازالت آندزیتی با بافت پورفیری و خمیره میکرولیتیک شامل درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز به صورت تجمعات گومروپورفیری. ترک‌خوردگی، ماکل‌های تکراری و منطقه‌بندی نوسانی، از ویژگی‌های این پلاژیوکلازها است. خمیره شامل کانی‌های کلینوپیروکسن، اپیدوت، کلریت و کدر در فضای میان میکرولیت‌های پلاژیوکلاز. ج) پارگازیت آندزیت با بافت پورفیری و خمیره ریزدانه دارای درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول پارگازیت. درشت‌بلورهای آمفیبول شکل‌دار و ماکل‌دار بوده و به صورت منفرد و تجمعات گومروپورفیری مشاهده می‌شوند. د) هیالوآندزیت با بافت میکرولیتیک شیشه‌ای - جریانی که خمیره از بلورهای پلاژیوکلاز و شیشه کدر تشکیل شده است. (میکروسکوپ در حالت با آنالیزور)

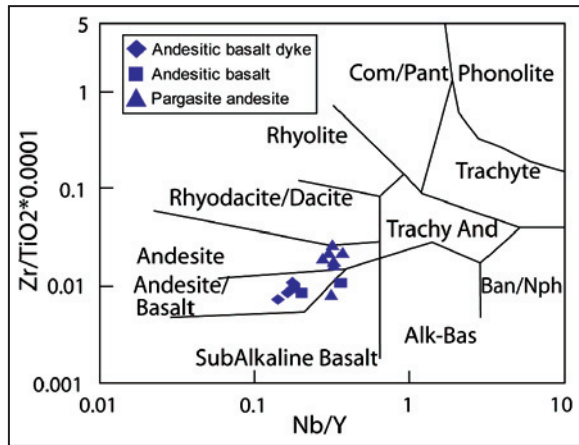
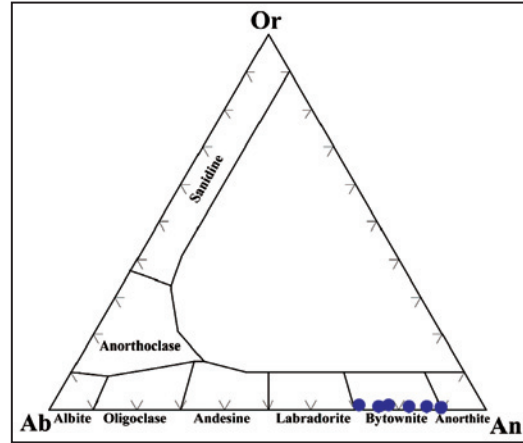


شکل ۵- نمودار $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ در برابر سیلیس تتراهدری (TSi) (Leake et al., 1997). آمفیبول‌ها در نمونه‌های آندزیتی نوژن راوه دارای ترکیب پارگازیت هستند.



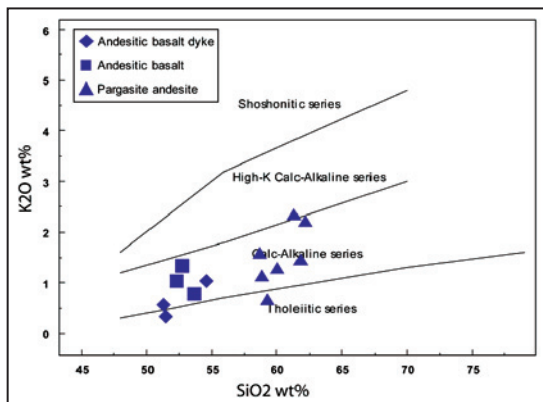
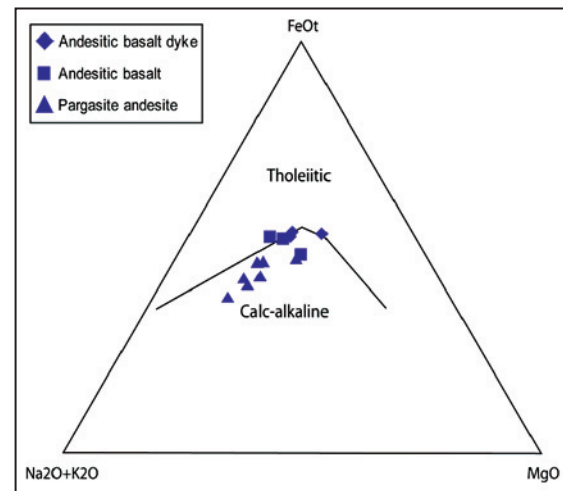
شکل ۴- نمودار ولاستونیت - فروسیلیت - انستاتیت (Deer et al., 1991) برای تعیین ترکیب شیمیایی کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالت آندزیتی نوژن راوه که در حوزه اوژیت‌های غنی از منیزیم تا دیوپسید واقع می‌شوند.

شکل ۶- نمودار آلپیت - آنورتیت - اورتوز
 برای تعیین ترکیب شیمیایی
 پلاژیوکلازها در نمونه‌های بازالت آندزیتی و آندزیتی
 نوژن راوه که دارای ترکیب بیتونیت هستند.

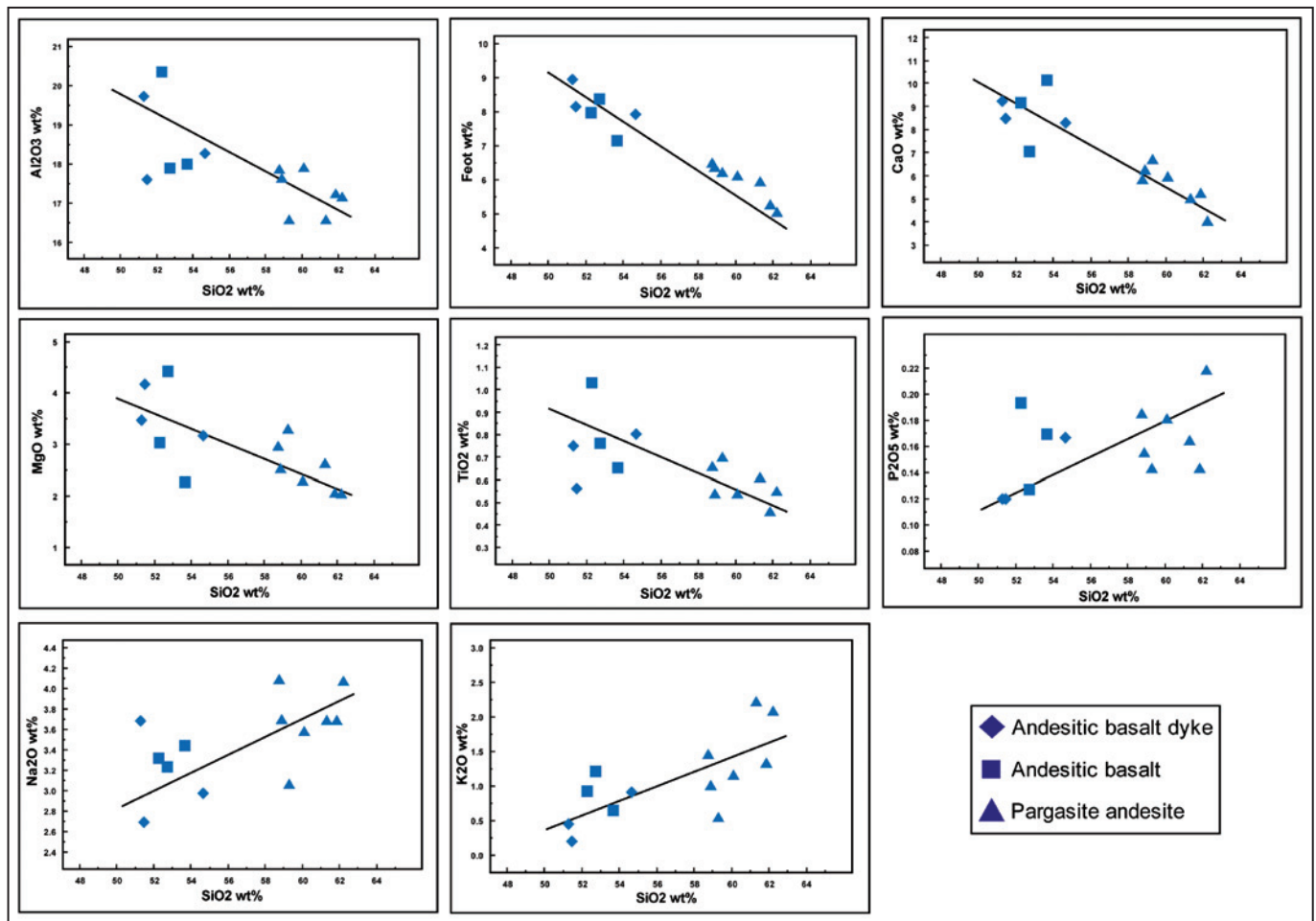


شکل ۷- نمودار $Zr/TiO_2 * 0.0001$ در برابر Nb/Y
 برای طبقه‌بندی
 شیمیایی و تعیین سرشت ماگمایی نمونه‌های نوژن منطقه
 راوه. نمونه‌های دایک‌های بازالت آندزیتی و گدازه‌های
 بازالت آندزیتی در محدوده بازالت تا آندزیت و نمونه‌های
 پارگازیت آندزیتی در محدوده آندزیت تصویر شده و
 همه نمونه‌ها در قلمرو بازالت نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند.

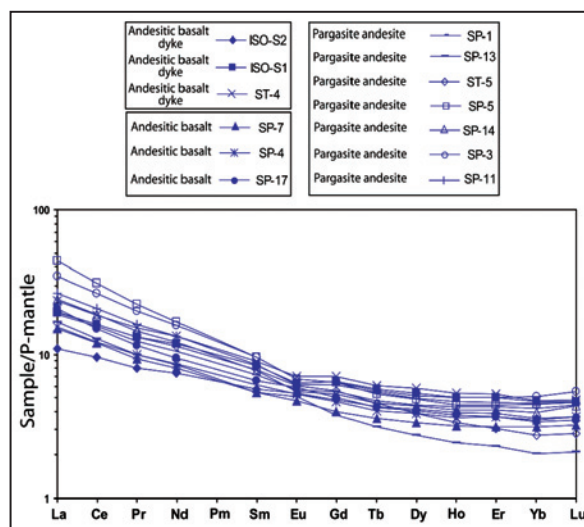
شکل ۸- نمودار AFM (Kuno, 1968)، برای تعیین
 گرایش ژئوشیمیایی نمونه‌های نیمه‌قلیایی نوژن منطقه
 راوه. نمونه‌های دایک‌های بازالت آندزیتی و گدازه‌های
 بازالت آندزیتی در محدوده حدواسط تولیتی و
 کلسیمی-قلیایی (تحولی) و نمونه‌های پارگازیت
 آندزیتی در محدوده کلسیمی-قلیایی واقع می‌شوند.



شکل ۹- نمودار K_2O در برابر SiO_2
 برای تعیین گرایش
 ژئوشیمیایی نمونه‌های نیمه‌قلیایی نوژن منطقه راوه.
 بیشتر نمونه‌ها گرایش به سمت سری‌های کلسیمی
 قلیایی را نشان می‌دهند.

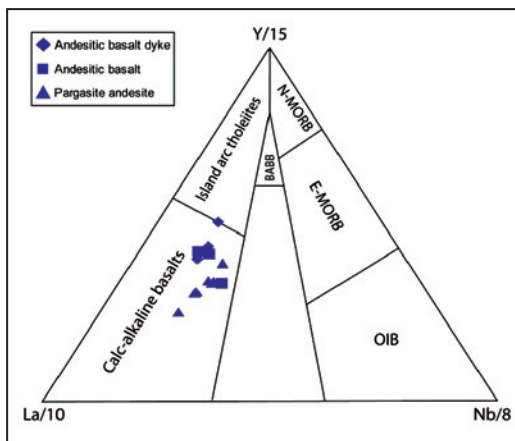
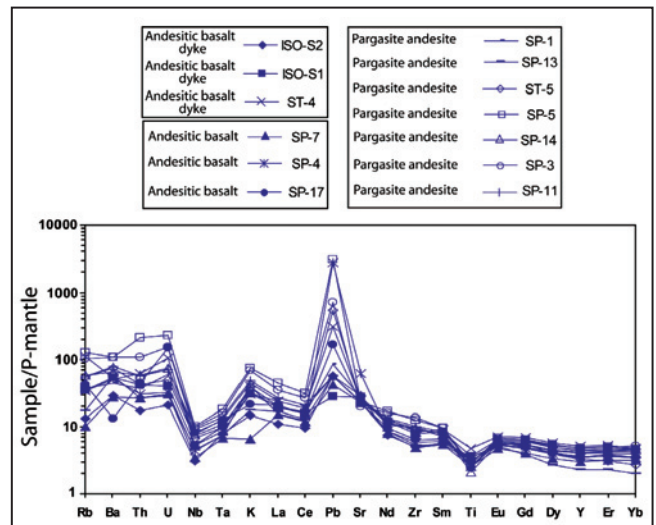


شکل ۱۰- نمودارهای دو متغیره هارکر، بیانگر تغییرات اکسید عناصر اصلی در برابر سیلیس برای نمونه‌های نوژن راه. این نمونه‌ها یک همبستگی شیمیایی را نشان داده که بیانگر تحولات ترکیبی در حین فرایند تبلور تفریقی است.



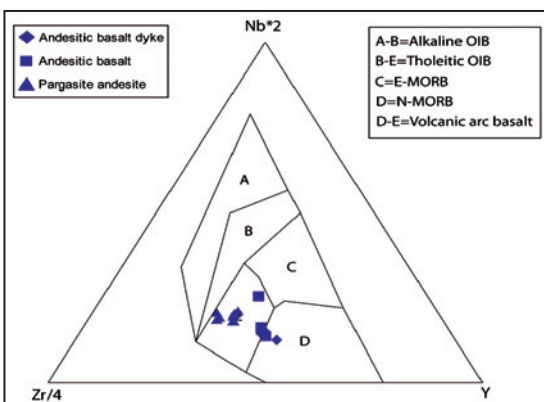
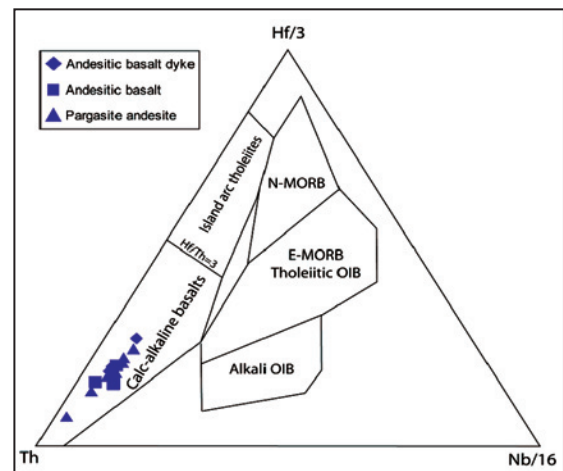
شکل ۱۱- نمودار عناصر خاکی کمیاب (به‌نحیث شده نسبت به گوشته اولیه) برای نمونه‌های نوژن منطقه راه. این نمونه‌ها یک الگوی غنی‌شده در LREE را نسبت به HREE ها مشابه با سری‌های کلسیمی - قلیایی نشان می‌دهند.

شکل ۱۲- نمودار عناصر کمیاب (بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه) برای نمونه‌های نتوژن منطقه راه. این نمونه‌ها الگوهای غنی‌شدگی در عناصر Rb، Ba، Th، U و Pb و تهی‌شدگی در عناصر Nb و Ti را نشان می‌دهند.



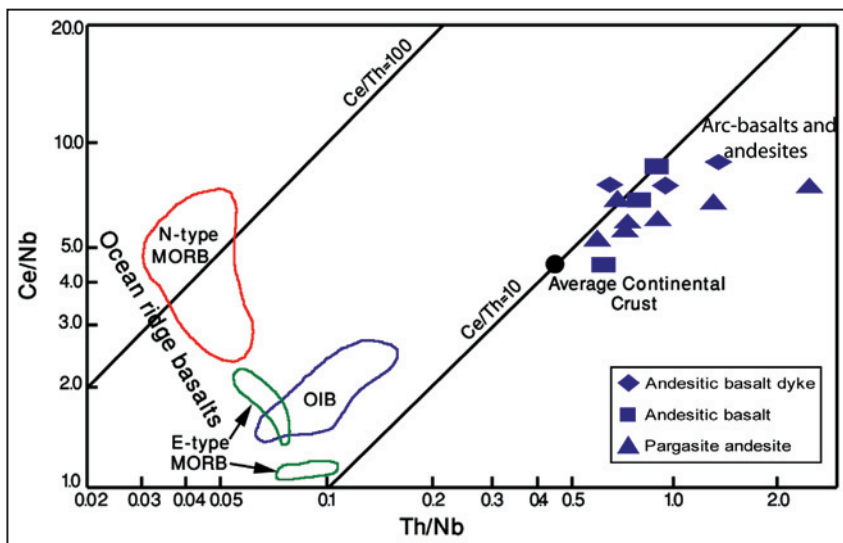
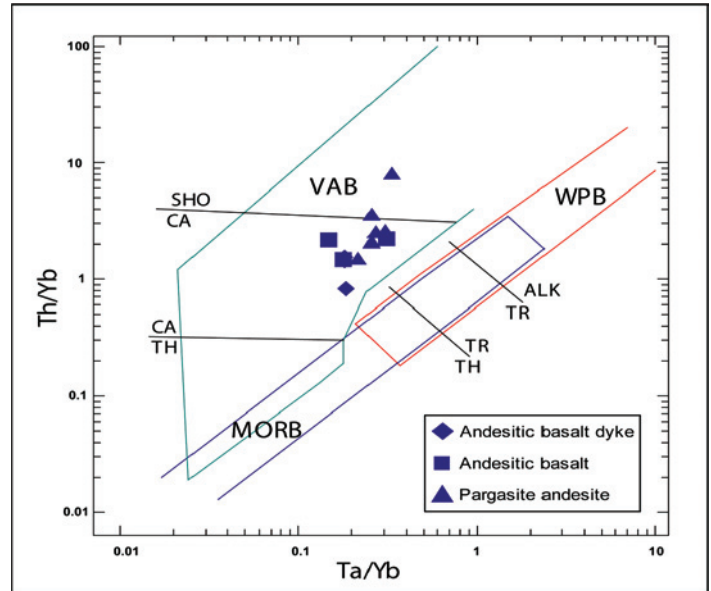
شکل ۱۳- نمودار La-Y-Nb برای تقسیم‌بندی محیط زمین‌ساختی نمونه‌های نتوژن منطقه راه. همان‌گونه که در این نمودار مشخص است همه نمونه‌ها مشخصاً در محدوده بازالت‌های کلسیمی - قلیایی تصویر می‌شوند.

شکل ۱۴- نمودار Th-Hf-Nb (Wood, 1980) برای تقسیم‌بندی محیط زمین‌ساختی نمونه‌های نتوژن منطقه راه. نمونه‌های دایک‌های بازالت آندزیتی، گدازه‌های بازالت آندزیتی و پارگازیت آندزیتی در محدوده بازالت‌های کلسیمی - قلیایی کمان‌های آتشفشانی تصویر می‌شوند.



شکل ۱۵- نمودار Nb-Zr-Y برای شناسایی محیط زمین‌ساختی نمونه‌های نتوژن منطقه راه. نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی تصویر می‌شوند.

شکل ۱۶- نمودار نسبت‌های Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce, 1982) برای شناخت محیط زمین‌ساختی نمونه‌های نوژن منطقه راوه. این نمونه‌ها، با توجه به این که از یک منشأ متاسوماتیزه به دست آمده‌اند، مقادیر بالاتر Th نسبت به آرایش گوسته‌های (MORB-OIB) را نشان داده و در محدوده بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی (VAB) تصویر می‌شوند.



شکل ۱۷- نمودار نسبت Ce/Nb در برابر Th/Nb (Saunders and Tarney, 1991) برای تقسیم‌بندی محیط زمین‌ساختی نمونه‌های نوژن منطقه راوه. این نمودار اطلاعات کامل‌تری درباره منشأ و خاستگاه ژئوشیمیایی محیط‌های زمین‌ساختی مختلف ارائه می‌دهد. در این نمودار نمونه‌های منطقه در محدوده بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی تصویر شده که نشان‌دهنده یک منشأ متاسوماتیزه در محیط فرورانش برای آنها است.

جدول ۱- تجزیه ژئوشیمی کانیایی، کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های آندزیت بازالتی نوژن منطقه راوه

Sample	Analysis	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
Iso-S1	1	52.088	0.244	1.26	9.85	0.031	0.34	14.72	20.33	0.3	0	99.16
Iso-S1	2	51.63	0.15	1.81	9.74	0.022	0.43	14.94	19.65	0.27	0	98.64
SP2	1	51.75	0.255	1.96	9.35	0.015	0.54	14.27	21.16	0.29	0.013	99.6
SP2	2	52.62	0.27	1.98	9.22	0	0.52	14.51	21.36	0.38	0.02	100.88
ST3	1	52.13	0.34	2.04	9.83	0	0.4255	14.9	20.35	0.2711	0.0056	100.29
ST3	2	51.37	0.6351	2.71	11.8	0.014	0.415	13.68	19.56	0.3652	0	100.55

Sample	Analysis	WO	EN	FS
Iso-S1	1	42.362	42.677	14.961
Iso-S1	2	41.272	43.661	15.068
SP2	1	44.081	41.363	14.556
SP2	2	44.106	41.688	14.207
ST3	1	42.119	42.909	14.971
ST3	2	41.439	40.325	18.235

جدول ۲- تجزیه ژئوشیمی کانیاپی، کانی آمفیبول در نمونه‌های آندزیتی نوژن منطقه راوه

Sample	Analysis	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
SP2	1	42.12	1	12.95	11.76	0	0.12	14.1	11.48	2.41	0.27	96.21
SP2	2	41.95	1.26	13.37	11.18	0.008	0.177	14.05	11.5	2.4	0.28	96.17
SP2	3	40.85	1.26	13.24	11.67	0.04	0.14	13.43	11.55	2.24	0.33	94.71
SP5	2	42.13	2.15	13.54	10.41	0	0.16	14.68	11.7	2.46	0.53	97.76
SP5	3	41.95	1.88	14.05	11.4	0	0.2138	13.43	11.67	2.13	0.64	97.36
SP5	4	42.06	2.16	13.38	9.91	0.15	0.13	14.95	11.75	2.44	0.54	97.32

Sample	Analysis	TSi	TAI	Sum-T	CAI	CCr	CFe ₃	CTi	CMg	CFe ₂	Sum-C	BFe ₂
SP2	1	6.232	1.768	8	0.489	0	0.314	0.111	3.11	0.976	5	0.165
SP2	2	6.205	1.795	8	0.533	0.001	0.239	0.14	3.098	0.988	5	0.155
SP2	3	6.146	1.854	8	0.492	0.005	0.355	0.143	3.012	0.993	5	0.12
SP5	2	6.138	1.862	8	0.461	0	0.136	0.236	3.188	0.979	5	0.154
SP5	3	6.16	1.84	8	0.59	0	0.108	0.208	2.94	1.154	5	0.137
SP5	4	6.135	1.865	8	0.434	0.017	0.149	0.237	3.251	0.912	5	0.148

Sample	Analysis	BMn	BCa	Sum-B	ANa	AK	Sum-A	Sum-cat
SP2	1	0.015	1.82	2	0.691	0.051	0.742	15.742
SP2	2	0.022	1.822	2	0.688	0.053	0.741	15.741
SP2	3	0.018	1.862	2	0.653	0.063	0.717	15.717
SP5	2	0.02	1.826	2	0.695	0.099	0.793	15.793
SP5	3	0.027	1.836	2	0.606	0.12	0.726	15.726
SP5	4	0.016	1.836	2	0.69	0.1	0.791	15.791

جدول ۳- تجزیه ژئوشیمی کانیاپی، کانی پلاژیوکلاز در نمونه‌های آندزیت بازالتی و آندزیتی نوژن منطقه راوه

Sample	Analysis	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
Iso-S1	1	49.74	0	31.15	0.62	0.0032	0.055	14.21	3.24	0.1006	99.12
Iso-S1	2	48.27	0	33.15	0.631	0.0226	0.0659	15.88	2.4462	0.1101	100.58
SP-10	1	46.49	0.0342	33.88	0.5444	0.0502	0.0431	17.61	1.44	0.0649	100.16
SP-12	1	49.71	0.0171	31.76	0.6782	0.0068	0.0931	15.28	2.68	0.0496	100.27
SP-12	2	47.3	0.0043	33.03	0.6757	0.0197	0.0882	16.87	1.93	0.0169	99.93
SP-2	1	44.64	0	34.36	0.38	0.02	0.02	18.64	0.95	0.01	99.02

Sample	Analysis	Ab	An	Or
Iso-S1	1	29.1	70.3	0.6
Iso-S1	2	21.7	77.7	0.6
SP-10	1	12.9	86.7	0.4
SP-12	1	24	75.7	0.3
SP-12	2	17.1	82.8	0.1
SP-2	1	8.4	91.5	0

جدول ۴- تجزیه ژئوشیمیایی سنگ کل نمونه‌های نوزن منطقه راهه

Series Name	Series No.	Sample-id	Total	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Feot	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Andesitic basalt dyke	1	ISO-S2	100.26	2.41	51.3	19.72	8.95	9.19	3.46	3.68	0.44	0.75	0.116	0.12
Andesitic basalt dyke	2	ST-4	100.51	2.03	52.31	20.34	7.97	9.12	3.03	3.31	0.92	1.03	0.088	0.193
Andesitic basalt dyke	3	ISO-S1	100.6	3.22	54.67	18.27	7.92	8.28	3.16	2.97	0.91	0.8	0.113	0.166
Andesitic basalt	4	SP-7	99.2	5.52	51.48	17.6	8.13	8.47	4.15	2.69	0.2	0.56	0.165	0.12
Andesitic basalt	5	SP-4	100.42	4.31	52.74	17.88	8.37	7.03	4.41	3.23	1.21	0.76	0.162	0.127
Andesitic basalt	6	SP-17	100.36	3.93	53.69	18	7.15	10.1	2.26	3.44	0.65	0.65	0.191	0.169
Pargasite andesite	7	SP-11	100.37	1.82	58.76	17.87	6.48	5.82	2.96	4.09	1.46	0.66	0.129	0.185
Pargasite andesite	8	SP-1	99.81	2.45	58.92	17.64	6.37	6.23	2.53	3.7	1.01	0.54	0.143	0.155
Pargasite andesite	9	SP-13	100.52	3.7	59.33	16.58	6.22	6.7	3.29	3.06	0.54	0.7	0.123	0.143
Pargasite andesite	10	ST-5	100.64	2.44	60.12	17.91	6.12	5.96	2.3	3.58	1.16	0.54	0.166	0.181
Pargasite andesite	11	SP-5	100.61	2.02	61.32	16.58	5.95	5.01	2.63	3.69	2.22	0.61	0.18	0.164
Pargasite andesite	12	SP-14	100.22	2.68	61.88	17.23	5.27	5.24	2.06	3.69	1.33	0.46	0.108	0.143
Pargasite andesite	13	SP-3	100.6	2.81	62.24	17.15	5.05	4.05	2.05	4.07	2.08	0.55	0.164	0.218

Series Name	Series No.	Sample-id	La	Lu	Nb	Nd	Pb	Pr	Rb	Sm	Sr	Ta	Tb	Th
Andesitic basalt dyke	1	ISO-S2	7.59	0.273	2.22	10.09	4	2.211	8.46	2.57	619.44	0.33	0.471	1.46
Andesitic basalt dyke	2	ST-4	16.32	0.356	3.78	18.09	22	4.275	21.69	4	516.29	0.35	0.658	5.18
Andesitic basalt dyke	3	ISO-S1	13.54	0.347	3.76	16.13	2	3.685	22.17	3.71	577.71	0.42	0.626	3.59
Andesitic basalt	4	SP-7	10.41	0.238	2.48	10.91	3	2.571	6.4	2.42	481.86	0.28	0.386	2.26
Andesitic basalt	5	SP-4	10.71	0.274	3.17	11.67	194	2.772	70.19	2.73	1305.9	0.31	0.438	2.57
Andesitic basalt	6	SP-17	14.4	0.259	5.9	12.91	12	3.2	26.92	2.91	464.22	0.52	0.465	3.77
Pargasite andesite	7	SP-11	18.27	0.343	6.57	18.17	4	4.465	35.43	3.76	475.3	0.58	0.589	4.81
Pargasite andesite	8	SP-1	13.16	0.331	5.17	14.36	6	3.42	23.5	3.21	585.44	0.45	0.518	3.15
Pargasite andesite	9	SP-13	11.6	0.155	3.26	11.59	4	2.767	11.09	2.43	479.78	0.31	0.337	2.25
Pargasite andesite	10	ST-5	13.64	0.208	4.81	15.57	39	3.677	35.46	3.49	506.3	0.41	0.492	3.55
Pargasite andesite	11	SP-5	30.49	0.344	7.32	22.82	218	6.159	81.93	4.29	494.82	0.75	0.571	18.19
Pargasite andesite	12	SP-14	16.69	0.327	5.51	16.47	4	4.042	37.1	3.42	486.78	0.53	0.495	5.01
Pargasite andesite	13	SP-3	24.09	0.41	6.93	21.59	51	5.532	65.78	4.25	418.5	0.65	0.603	9.15

Series Name	Series No.	Sample-id	Ba	Ce	Co	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho
Andesitic basalt dyke	1	ISO-S2	203.3	17.03	24.1	0.59	0	3.08	1.86	0.91	2.89	1.79	0.65
Andesitic basalt dyke	2	ST-4	359.8	33.56	21	0.48	0	4.28	2.54	1.19	4.18	3.15	0.88
Andesitic basalt dyke	3	ISO-S1	378.4	28.71	21.7	4.63	0	3.97	2.41	1.07	3.85	2.69	0.83
Andesitic basalt	4	SP-7	193.9	21.4	22.1	2.9	0	2.48	1.51	0.8	2.39	1.82	0.52
Andesitic basalt	5	SP-4	362.5	21.82	22.8	35.03	0	2.88	1.78	0.89	2.82	2.13	0.6
Andesitic basalt	6	SP-17	93.2	26.81	13.5	2.47	0	2.97	1.77	1	2.99	2.32	0.62
Pargasite andesite	7	SP-11	542.5	37.36	13.9	2.72	0	3.65	2.23	1.03	3.66	3.57	0.77
Pargasite andesite	8	SP-1	310.4	27.87	12.8	0.52	0	3.3	2.07	0.96	3.28	3.4	0.71
Pargasite andesite	9	SP-13	392.1	22.83	18.7	0.51	0	2.02	1.1	0.86	2.27	1.96	0.4
Pargasite andesite	10	ST-5	520.2	28.92	10.3	0.45	0	2.89	1.47	1.02	3.36	3.31	0.55
Pargasite andesite	11	SP-5	764.4	55.6	13.6	3.17	0	3.59	2.13	1.13	3.81	4.47	0.73
Pargasite andesite	12	SP-14	452.2	33.85	5.1	0.64	0	3.25	1.97	0.93	3.17	3.42	0.67
Pargasite andesite	13	SP-3	757.6	47.67	8.3	4.12	0	3.83	2.41	1.13	3.83	4.65	0.82

Series Name	Series No.	Sample-id	Tm	U	Y	Yb	Zr	Ti	K	P
Andesitic basalt dyke	1	ISO-S2	0.27	0.44	16.05	1.77	56.9	4495.493	3652.656	523.6584
Andesitic basalt dyke	2	ST-4	0.36	2.22	23.39	2.35	93.2	6173.81	7637.371	842.2173
Andesitic basalt dyke	3	ISO-S1	0.36	0.85	21.49	2.31	90.1	4795.192	7554.356	724.3941
Andesitic basalt	4	SP-7	0.23	0.64	13.79	1.55	55.4	3356.634	1660.298	523.6584
Andesitic basalt	5	SP-4	0.26	0.68	15.85	1.72	66.2	4555.432	10044.8	554.2051
Andesitic basalt	6	SP-17	0.26	3.13	16.43	1.68	71.1	3896.094	5395.969	737.4856
Pargasite andesite	7	SP-11	0.33	1.46	20.46	2.27	113.3	3956.033	12120.18	807.3067
Pargasite andesite	8	SP-1	0.31	1.26	18.97	2.09	108.4	3236.755	8384.505	676.3921
Pargasite andesite	9	SP-13	0.16	0.61	10.45	1	59.9	4195.793	4482.805	624.0263
Pargasite andesite	10	ST-5	0.21	1.03	14.81	1.35	101.1	3236.755	9629.728	789.8514
Pargasite andesite	11	SP-5	0.32	4.78	20.04	2.24	142.1	3656.334	18429.31	715.6665
Pargasite andesite	12	SP-14	0.29	1.56	18.38	1.95	106.5	2757.235	11040.98	624.0263
Pargasite andesite	13	SP-3	0.37	3.19	22.03	2.53	153.5	3296.695	17267.1	951.3128

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. & Mouthereau, F., 2005- Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation, *Int. J. Earth Sci*, 94: 401-419.
- Alaï Mahabadi, S., 2000 - Geological map of the Salafchegan-Khorhe, Scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Allen, M. B., Jackson, J. & Walker, R., 2004 - Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates, *Tectonics*, 23: 1-16.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Can. J. Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Cabanis, B. & Lecolle, M., 1989- Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale. *C.R. Acad. Sci.*, 309: 2023-2029.
- Davoudzadeh, M., Soffel, H. & Schmidt, K., 1981- On the rotation of the Central-East Iran microplate. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 3: 180-192.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J., 1991- An introduction to the rock-forming minerals, Longman Scientific Technical, New York, 528.
- Emami, M. H. & Hajian, J., 1991- Geological map of the Qom, Scale 1:250,000. Geological Survey of Iran, Sheet No. NI 39-6.
- Emami, M. H., 1991- Explanatory text of the Qom, quadrangle map 1:250,000. Geological Survey of Iran, 179 pp (in Persian).
- Emami, M. H., 1981 - Geologie de la region de Qom-Aran (Iran) contribution a l etude dynamique et geochemique du volcanisme tertiaire de l Iran Central, These Doctorat Etat Grenoble, 489 pp.
- Finger, L. W., 1979- The uncertainty in the calculated ferric iron content of microprobe analysis, *Carnegie Inst., Washington Yearb*, 71 : 600-603.
- Hajian, J., 1970- Geologie de la région d'e Tafresh (NW de l Iran Central). These Doctorat Etat, Lyon, 295 pp.
- Hajian, J., 1996- Paleocene – Eocene in Iran, Geological Survey of Iran. No. 28.
- Hasanzadeh, J., 1978 - Geology and petrology of igneous rocks in Ghamsar region south of Kashan (Central Iran). MS. Thesis, University of Tehran.
- Jackson, J., Hains, J. & Holt, W., 1995- The accommodation of Arabia-Eurasia plate. *J. Geophys. Res*, 100: 15,205-15,219.
- Kuno, H., 1968 - Differentiation of basaltic magma. In Hess, H.H., et Poldervaart, A., edit, *Basalts*, 2, 623-688.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V. G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W. V., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W. & Youzhi, G., 1997- Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names, *Mineralogical Magazine*, 61: 295-321.
- Meschede, M., 1986- A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, 56: 207-218.
- Mohajel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, sanandaj-sirjan zone, west Iran, *J. Asian Earth Sciences*, 21:397-419
- Nogole Sadat, M. A. A., 1988- Review of tectonosedimentary zonation in Iran. Abstract volume 29th International Geological Congress, Washington. Vol.2, 522.
- Pearce, J. A., 1982- Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R.S. (Eds.) *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*, Wiley, New York, 525-548 pp.
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.
- Saunders, A. & Tarney, J., 1991- Back-arc basins. In: Floyd, P.A. (Eds.), *Oceanic basalts*, Blackie and Son Ltd., 219-263.
- Shahrokh, J., 1996- Petrology and petrogenesis of Neogene volcanic rocks in Salafchegan - Ashtian region. MS. Thesis, University of Tarbiyat Moalem, 136 pp.
- Sojodi Keismi, H., 1993- Geology and petrology of igneous rocks in south of Qom (Naragh, Bidhand regions). MS. Thesis, University of Tarbiyat Moalem, 140 pp.
- Stocklin, J., 1977- Structural correlation of the Alpine range between Iran and Central Asia. *Memoire Hors-Serve No.8 dela Societe Geologique de France*, 8 : 333-353.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D. & Norry, M.J. (Eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ. London*. 313 – 345.
- 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.
- Wood, D. A., 1980- The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province, *Earth and Planetary Science Letters*, 50: 11-30.