

تعیین محیط زمین ساخت - ماگمایی سنگ های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی بر پایه داده های ژئوشیمیایی

غزاله عباسی^۱، محمد ابراهیمی^{۲*}، مرتضی شریفی^۳، نرگس شیردشت زاده^۴ و جمشید احمدیان^۵

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۲ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
^۳ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
^۴ دکترا، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
^۵ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۵

چکیده

سنگ های آتشفشانی مورد مطالعه در شمال خاور تالاب گاوخونی جای دارند و شامل ریولیت، تراکی داسیت، تراکی آندزیت و سنگ های آذرآواری (توف خرده سنگی و برش آتشفشانی) هستند. سنگ های ریولیتی ساخت جریانی و بافت هیالوفیریک دارند. خمیره این سنگ ها، شیشه ای تا نهن بلور است و دارای بلورهایی از کوارتز و فلدسپار هستند. بافت چیره در سنگ های تراکی داسیتی و تراکی آندزیتی، بافت پورفیریتیک است و دارای بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کمتر ساینیدین در یک خمیره شیشه ای تا ریز بلور دارای میکروولیت های فلدسپار هستند. در تراکی داسیت ها، کوارتز به صورت ریز بلور در خمیره سنگ و کمتر به صورت ریز درشت بلور دیده می شود. بلورهای درشت پلاژیوکلاز در سنگ های تراکی داسیتی و تراکی آندزیتی به طور معمول بافت غربالی دارند. کانی های مافیک موجود در سنگ های مورد مطالعه، بیوتیت و آمفیبول هستند که از حاشیه و در مواردی به طور کامل اپاسیته و به اکسیدهای آهن و تیتانیم تبدیل شده اند. این سنگ ها دارای ماهیت کالک آلکانل پتاسیم بالا هستند. بررسی داده های ژئوشیمیایی سنگ های مورد مطالعه نشان دهنده تهنی شدگی این سنگ ها از عناصر با میدان پایداری بالا مانند Nb، Ti و Ta و غنی شدگی آنها از عناصر سنگ دوست با شعاع یونی بزرگ مانند Cs، K، Ba، Rb و Th است که از ویژگی های فعالیت ماگمایی مربوط به مناطق فرورانش است. بی هنجاری منفی Nb می تواند ناشی از مشارکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد. غنی شدگی این سنگ ها از عناصر Cs، Rb، Ba و Pb نشانه متاسوماتیسم منشأ در اثر سیال های آزاد شده از سنگ کره اقیانوسی در حال فرورانش است. بنابراین، آلایش ماگمایی و متاسوماتیسم گوشته بر ترکیب ماگمای مادر سنگ های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی تأثیر گذار بوده اند. فعالیت ماگمایی کالک آلکانل در شمال خاور تالاب گاوخونی همزمان با حرکات کوهزایی ناشی از بسته شدن اقیانوس نو تیتیس در ایران است.

کلیدواژه ها: سنگ های آتشفشانی، داده های ژئوشیمیایی، جایگاه زمین ساختی، تالاب گاوخونی.

*نویسنده مسئول: محمد ابراهیمی

E-mail: ebrahimi@znu.ac.ir

۱- پیش نوشتار

سنگ های آتشفشانی با ترکیب ریوداسیت و تراکی آندزیت در منطقه شمال خاور تالاب گاوخونی، یکی از موارد فعالیت ماگمایی کالک آلکانل پتاسیم بالا به شمار می روند. فعالیت ماگمایی کالک آلکانل در جزایر کمانی و بیشتر در کمان حاشیه پویای قاره در طی فرورانش رخ می دهد (Liégeois et al., 1998). افزون بر این، فعالیت ماگمایی کالک آلکانل در کافت های عریض نیز گزارش شده است (Price, 2001). تعیین منشأ ماگمایی سنگ های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی و تعیین موقعیت و جایگاه زمین ساختی آنها از اهداف این مطالعه است. بررسی ژئوشیمی این سنگ ها به منظور بررسی شرایط محیط تشکیل آنها در منطقه مورد مطالعه می تواند در راستای تعیین محیط ژئودینامیک پهنه ارومیه- دختر بسیار مهم باشد. برخی از پژوهشگران پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر را حاصل فعالیت های ماگمایی کالک آلکانل حاشیه پویای قاره (شبه آند) در نظر می گیرند که بیشتر در نیمه اول سنوزویک رخ داده و به صورت پیش رونده به سوی شمال انتقال یافته است (درویش زاده، ۱۳۷۰؛ Berberian & King, 1981).

۲- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در مرز میان دو نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و رزنه (نبوی و عمیدی، ۱۳۸۰) و سرو بالا (عمیدی و نبوی، ۱۳۸۰) جای گرفته است. زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بسیار ساده است؛ به گونه ای که مجموعه های رسوبی و واحدهای

منطقه مورد مطالعه در شمال خاور تالاب گاوخونی و به فاصله ۱۴۰ کیلومتری جنوب خاور شهر اصفهان، میان عرض های جغرافیایی ۱۳° ۳۲' تا ۱۴° ۳۲' شمالی و طول های جغرافیایی ۵۹° ۵۲' تا ۵۳° ۵۸' خاوری در نقشه زمین شناسی ناین به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ (نبوی و همکاران، ۱۳۵۷) جای دارد (شکل ۱). این منطقه در تقسیم بندی ساختاری- رسوبی ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳)، در پهنه آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد. پهنه نام برده به صورت نوار طولی به طول حدود ۱۷۰۰ کیلومتر از تبریز تا بزمان و به عرض تقریبی ۱۰۰ کیلومتر به موازات راندگی زاگرس و در فاصله ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتری از آن جای دارد (درویش زاده، ۱۳۸۶). بیشتر زمین شناسانی که روی پهنه ارومیه- دختر پژوهش کرده اند، پهنه نام برده شده را بخشی از کمربند کوهزایی زاگرس در نظر گرفته اند که حاصل فرورانش و برخورد میان صفحه عربی و صفحه ایران مرکزی است و ویژگی های یک کمان ماگمایی را دارد (Berberian & Berberian, 1981; Mohajjel et al., 2003; Alavi, 2004). شواهد زمین شناسی نشان می دهد که برخورد این دو صفحه در ائوسن بالایی- میوسن پایان یافته است؛ با این وجود فعالیت ماگمایی، پس از میوسن و حتی تا کواترنر ادامه یافته است (Berberian & King, 1981; Hassanzadeh, 1993; Ghasemi & Talbot, 2005). برخی پژوهشگران نیز زمان برخورد دو صفحه ایران و عربستان را در کرتاسه تا پالئوسن (Amidi, 1975) و فعالیت های ماگمایی سنوزویک را در یک فعالیت ماگمایی پس از برخورد می دانند.

کامل اپاسیته (شکل‌های ۳-ج و ح) و به اکسیدهای آهن و تیتانیم و پلاژیوکلاز تبدیل شده است (Best & Christiansen, 2001; Best, 2003). به باور (Best, 2003) اپاسیته شدن آمفیبول حاصل اکسایش هنگام فوران، کاهش فشار و جدا شدن یک فاز آب‌دار است. در مجموع، اپاسیته شدن کانی‌های مافیک ممکن است ناشی از کاهش فشار بخار آب (Best & Christiansen, 2001; Best, 2003)، آمیختگی ماگمایی (Shelley, 1993; Raymond, 2002; Browne et al., 2006)، کاهش فشار ناشی از بالا آمدگی سریع ماگما (Stephen & Nelson, 1992) و هضم (Shelley, 1993) باشد. کانی‌های کدر بیشتر نیمه‌خودشکل هستند و به دو صورت اولیه و ثانویه (محصول اپاسیته شدن بیوتیت و آمفیبول) در سنگ‌های مورد مطالعه وجود دارند. سنگ‌های آذرآواری شامل برش آتشفشانی و توف خرده‌سنگی هستند. در توف‌های خرده‌سنگی، قطعات خرده‌سنگی با ترکیب اسیدی تا حدواسط فراوان می‌باشند. در قطعات خرده‌سنگی، بافت‌های شیشه‌ای، جریان‌ی و هیالوفیریک دیده می‌شوند (شکل ۳-خ).

۵- ژئوشیمی

با توجه به نتایج تجزیه‌های شیمیایی (جدول ۱)، مقدار سیلیس سنگ‌های شمال خاور تالاب گاوخونی ۶۲ تا ۷۵ درصد وزنی است. بررسی میزان عناصر اصلی و کمیاب در سنگ‌های منطقه نشان می‌دهد که با افزایش مقدار سیلیس، مقادیر اکسیدهای عناصر کلسیم، منیزیم و آهن کاهش یافته است. در ادامه به بررسی دقیق‌تر ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه پرداخته می‌شود.

برای طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه از نمودار TAS (Le Maitre et al., 1989) استفاده شد (شکل ۴-الف). بر این اساس، نمونه‌ها در محدوده‌های ریولیت، تراکی‌داسیت و تراکی‌آندزیت جای می‌گیرند. به منظور تعیین سری ماگمایی این مجموعه آتشفشانی از نمودار تغییرات K_2O در برابر SiO_2 (Maury, 1993) استفاده شد. در این نمودار، سنگ‌های آتشفشانی منطقه بیشتر در سری کالک‌آلکانل پتاسیک جای می‌گیرند (شکل ۴-ب).

افزون بر این، در نمودار تغییرات مجموع آلکانل در برابر سیلیس (Irvine & Baragar, 1971)، سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی در محدوده ساب‌آلکانل (شکل ۵-الف) و در نمودار مثلثی AFM (Irvine & Baragar, 1971)، در محدوده کالک‌آلکانل جای می‌گیرند (شکل ۵-ب). همچنین، در نمودار تغییرات K_2O در برابر SiO_2 (Peccherillo & Taylor, 1976)، نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر در محدوده سری کالک‌آلکانل با پتاسیم بالا جای می‌گیرند (شکل ۵-پ).

۶- تعیین موقعیت زمین‌ساختی

۶-۱. داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل

بر پایه نمودار تغییرات TiO_2 در برابر Al_2O_3 و نیز نمودار تغییرات Zr/Al_2O_3 در برابر TiO_2/Al_2O_3 (Muller et al., 1992)، همه سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده سنگ‌های وابسته به کمان جای می‌گیرند (شکل‌های ۶-الف و ب). بر پایه نمودار تغییرات Zr/Al_2O_3 در برابر TiO_2/Al_2O_3 (شکل ۶-پ) و نیز نمودار سه‌تایی $(TiO_2 \times 100 - La - Hf \times 10)$ (Muller et al., 1992) که در شکل ۷-الف نمایش داده شده است، سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در محدوده مشترک سنگ‌های پتاسیک کمان قاره‌ای (CAP) و سنگ‌های پس از برخورد (PAP) جای می‌گیرند. برای تفکیک سنگ‌های پتاسیک کمان قاره‌ای (CAP) از سنگ‌های پس از برخورد (PAP)، از نمودار سه‌تایی $(Nb \times 50 - Zr \times 3 - Ce/P_2O_5)$ (Muller et al., 1992) استفاده شده است (شکل ۷-ب). در این نمودار، سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال خاور تالاب گاوخونی در محدوده سنگ‌های پتاسیک کمان قاره‌ای (CAP) جای می‌گیرند.

سنگی محدودی در این منطقه رخمون دارند. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخمون یافته در منطقه، سنگ‌های آتشفشانی مد نظر این پژوهش به سن ائوسن شامل ریولیت، تراکی‌داسیت، تراکی‌آندزیت، توف خرده‌سنگی و برش آتشفشانی هستند. به سوی شمال باختر و در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری، در منطقه کوه‌سیاه سنگ‌های آتشفشانی پلیو-پلئوسن شامل تراکی‌داسیت و تراکی‌آندزیت (نبوی و همکاران، ۱۳۵۷) پروتزد دارند. واحدهای رسوبی کواترنری، جدیدترین مجموعه رخمون یافته در منطقه و شامل تپه‌های ماسه‌ای، نهشته‌های دشت سیلابی و در پایان، پهنه‌های نمکی هستند (نبوی و همکاران، ۱۳۵۷).

در تالاب گاوخونی، نهشته‌های نئوژن و کواترنر انباشته شده‌اند که به علت تبخیر، آب تالاب شور و در زمان کنونی به صورت سرزمین کویری در آمده است. دیدگاه‌های مختلفی پیرامون چگونگی تشکیل و تکوین تالاب گاوخونی وجود دارد. منطقه مورد مطالعه در حاشیه شمال خاوری تالاب جای دارد و با توجه به ماسه‌های ساحلی موجود می‌توان گفت این منطقه نیز در زمان‌های گذشته بخشی از تالاب بوده است (شکل ۲).

۳- روش مطالعه

برای تعیین مقادیر عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب، ۶ نمونه از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه به وسیله شرکت زرآزما به آزمایشگاه Labwest در کشور استرالیا فرستاده و در آنجا به روش ICP-MS تجزیه شدند. همچنین، برای بررسی شیمی کانی‌های بیوتیت، از تجزیه ریزپردازشی استفاده شد. تجزیه‌های ریزپردازشی به وسیله دستگاه JEOL مدل JXA-8800R (WDS) با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ kV و جریان nA۱۵ در بخش علوم زمین دانشگاه ناروتو (Naruto) کشور ژاپن صورت گرفته است.

۴- سنگ‌نگاری

بر پایه مطالعه سنگ‌نگاری، سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه شامل ریولیت، تراکی‌داسیت، تراکی‌آندزیت، توف خرده‌سنگی و برش آتشفشانی هستند. سنگ‌های ریولیتی به رنگ قهوه‌ای مایل به سرخ و دارای ساخت جریان‌ی (شکل ۳-الف) و بافت هیالوفیریک هستند. خمیره این سنگ‌ها، شیشه‌ای تا نهران‌بلور است و دارای بلورهای ناخودشکل تا نیمه‌خودشکل از کوارتز و فلدسپار هستند. تراکی‌داسیت‌ها به رنگ سرخ مایل به خاکستری تا سرخ مایل به قهوه‌ای و دارای بلورهای درشتی از فلدسپار سفید رنگ هستند (شکل ۳-ب). این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیریتیک، گلومروپورفیریتیک و ویزیکولار هستند (شکل ۳-پ) و خمیره آنها شیشه‌ای تا ریزبلور است. در تراکی‌داسیت‌ها، بلورهای درشت بیوتیت، پلاژیوکلاز و کمتر ساندین در یک خمیره شیشه‌ای تا ریزبلور دارای میکروولیت‌های فلدسپار دیده می‌شود. همچنین، کوارتز به صورت بلور ریز در خمیره سنگ و کمتر به صورت ریزدرشت‌بلور (میکروفونوکریست) وجود دارد. پلاژیوکلازهای این سنگ‌ها به‌طور معمول غربالی شده‌اند. تراکی‌آندزیت‌ها به رنگ قهوه‌ای و دارای بافت‌های گلومروپورفیریتیک (شکل‌های ۳-ت، ث و ج)، کومولوفیریک و پورفیریتیک (شکل‌های ۳-چ و ح) هستند. خمیره این سنگ‌ها شیشه‌ای تا ریزبلور است و پلاژیوکلازهای آنها منطقه‌بندی (شکل ۳-ت) و ماکل تکراری (شکل ۳-ج) دارند. در مواردی پلاژیوکلازها توسط سریست و کانی‌های کربناتی جانشین شده‌اند (شکل ۳-ث). خوردگی، نفوذ خمیره سنگ (شکل ۳-چ) و بافت غربالی (شکل ۳-ج) در پلاژیوکلازهای سنگ‌های تراکی‌آندزیتی متداول است. خوردگی و بافت غربالی در بلورهای پلاژیوکلاز می‌تواند ناشی از آمیختگی ماگمایی باشد (Raymond, 2002; Tsuchiyama, 1985). کانی مافیک این سنگ‌ها به‌طور معمول آمفیبول است که به‌طور بخشی از حاشیه‌ها و یا به‌طور

از ۷۰ درصد وزنی سیلیس) همراه است، در صورتی که سنگ‌های با سیلیس بیش از ۷۰ درصد وزنی، در جزایر کمانی دیده نشده‌اند (Taylor & McLennan, 1969)؛ در نتیجه، گنبد‌های ریولیتی در منطقه شمال خاور تالاب گاوخونی با سیلیس ۶۱ تا ۷۵ درصد وزنی و نیز غنی‌شدگی عناصر سنگ‌دوست با شعاع یونی بزرگ (LILE)، مرتبط با آتشفشان‌های حاشیه پویای قاره‌ها هستند. وجود سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان، نشان‌دهنده مرزهای همگراست (Price, 2001).

در ایران، راندگی اصلی زاگرس مرز برخورد صفحه عربی با صفحه ایران است. در این منطقه، یک فرورانش میان پوسته اقیانوسی نئوتتیس و بلوک ایران از مزوزویک تا اواخر انوسن صورت گرفته است (Moine-Vaziri, 1985). فرورانش پوسته اقیانوسی تتیس جوان به زیر صفحه ایران مرکزی ناشی از سازوکار همگرایی صفحه عربی و بلوک ایران است. عمل فرورانش پوسته عربستان به زیر سنگ‌کره ایران در طول پالئوژن و شاید نئوژن سبب شده است که باقیمانده پوسته اقیانوسی همچنان به فرو رفتن در گوشه ادامه دهد. ادامه فرورانش پوسته اقیانوسی و اصطکاک دو پوسته قاره‌ای سبب فعالیت آتشفشانی ضعیف و فعالیت نفوذی نئوژن در محور ارومیه-دختر و ایران مرکزی شده است (Moine-Vaziri, 1985).

بر پایه Tatsumi (1989) و Tatsumi et al. (1986)، پوسته اقیانوسی همزمان با برون‌ریخت مواد ماگمایی در بستر اقیانوس و ورود به محیط آب اقیانوس، دگرسان می‌شود و در هنگام فرورانش، آب خود را از دست می‌دهد. در سیال‌های آزاد شده از سنگ‌کره اقیانوسی در حال فرورانش، عناصر ناسازگار با شعاع یونی بزرگ مانند Ba, K, Rb و همچنین کاتیون‌های بزرگ با ظرفیت بالا مانند Th و U، به حالت محلول وجود دارند. سیال‌های آزاد شده در اثر این فرایند، سبب متاسوماتیسم گوشه بالای منطقه فرورانش می‌شوند. سنگ‌کره در حال فرورانش، گوشه متاسوماتیسم شده را با خود به ژرفا می‌کشاند. آمفیبول نیز در ژرفای مناسب ناپایدار و سبب کاهش دمای ذوب گوشه و در نتیجه ایجاد فعالیت ماگمایی کالک‌آلکان می‌شود.

با استفاده از نسبت Ce/Yb می‌توان کمان‌های کمی غنی شده ($Ce/Yb < 15$) را از کمان‌های غنی شده ($Ce/Yb > 15$) جدا کرد (Taylor, 1985). این نسبت در بیشتر سنگ‌های مورد مطالعه کمتر از ۱۵ است و با مقادیر مربوط در سنگ‌های پتاسیک کمان‌های کمی غنی شده انطباق دارد. سنگ‌های پتاسیم بالای منطقه با سنگ‌های پتاسیک کمان قاره‌ای قابل مقایسه هستند (Joplin, 1968; Morrison, 1980; Muller et al., 1992). بیشتر پژوهشگرانی که روی پهنه ارومیه-دختر مطالعه کرده‌اند، باور به باز شدن، گسترش، فرورانش و در پایان برخورد و بسته شدن نئوتتیس دارند (Berberian & King, 1981; Hassanzadeh, 1993; Agard et al., 2005; Arvin et al., 2007; Chiu et al., 2013). به هر حال، منطقه مورد مطالعه به عنوان بخشی از پهنه ارومیه-دختر یکی از ساختارهای ناشی از برخورد قاره-قاره عربی-اوراسیاست و سرگذشتی همانند دیگر مناطق برخورد قاره‌ای جهان و از جمله کوه‌های آلپ دارد. در طول رشته کوه آلپ، از حاشیه باختری در اروپا تا حاشیه خاوری در آسیا، پیش از برخورد آفریقا و اوراسیا، فرورانش‌های گوناگون پشت سر هم رخ داده‌اند (Boccaletti, 1974; Adamia et al., 1980; Gromet et al., 1984). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت فعالیت ماگمایی کالک‌آلکان در شمال خاور تالاب گاوخونی شاید همزمان با حرکات کوهزایی ناشی از بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در ایران باشد.

۸- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعات سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی شامل ریولیت، تراکی‌داسیت و تراکی‌آندزیت و دارای ماهیت کالک‌آلکان هستند. این سنگ‌ها از عناصر سنگ‌دوست با شعاع یونی بزرگ مانند K, Cs, Rb, Ba و Pb و عناصر خاکی کمیاب سبک غنی و از عناصر با میدان

الگوی عناصر خاکی کمیاب به‌نچار شده با کندریت برای سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در شکل ۸- الف نمایش داده شده است. بر پایه این نمودار، عناصر خاکی کمیاب سبک نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین غنی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی عناصر خاکی کمیاب سبک نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین ممکن است ناشی از درجه پایین ذوب بخشی و یا غنی بودن منشأ از این عناصر باشد (Wilson, 1989; Rollinson, 1993). بی‌هنجاری منفی ضعیف Eu دیده شده در بیشتر نمونه‌ها می‌تواند به دلیل عملکرد فرایند تبلور تفریقی کانی پلاژیوکلاز باشد (Barnes et al., 2001). نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب به‌نچار شده با گوشه اولیه برای این سنگ‌ها (شکل ۸- ب)، نشان‌دهنده غنی‌شدگی از عناصر سنگ‌دوست با شعاع یونی بزرگ مانند K, Ba, Rb, Cs و Th و عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) و تهی‌شدگی از عناصر با میدان پایداری بالا مانند Nb, Ta, P, Ti است. تهی‌شدگی از عناصر با میدان پایداری بالا می‌تواند نشان‌دهنده مشارکت پوسته در فرایندهای ماگمایی (Leeman & Sisson, 1996; Kuster & Harms, 1998; Dostal et al., 2001; Nagudi et al., 2003; Shang et al., 2004) مرتبط با فرورانش (Hongyan et al., 2009) و یا فقر این عناصر در منشأ باشد (Wu et al., 2003). همچنین، غنی‌شدگی سنگ‌های مورد مطالعه از عناصر Cs, Rb و Ba، نشان‌دهنده متاسوماتیسم منشأ تحت تأثیر سیال‌های آزاد شده از سنگ‌کره اقیانوسی در حال فرورانش است (Sengör, 1990; Rollinson, 1993). افزون بر این، بی‌هنجاری مثبت Pb دیده شده می‌تواند ناشی از دخالت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد (Kamber et al., 2002).

۶-۲. داده‌های شیمیایی میکاها

در این بخش با استفاده از نمودارهای مختلف و ترکیب میکاها، نوع ماگما و محیط زمین‌ساختی ماگمای میزبان آنها بررسی می‌شود. ترکیب شیمیایی میکاهای موجود در سنگ‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به رده‌بندی میکاها (Nemec, 1972)، میکاهای سنگ‌های مورد مطالعه از انواع فلوگوپیت و بیوتیت هستند (شکل ۹).

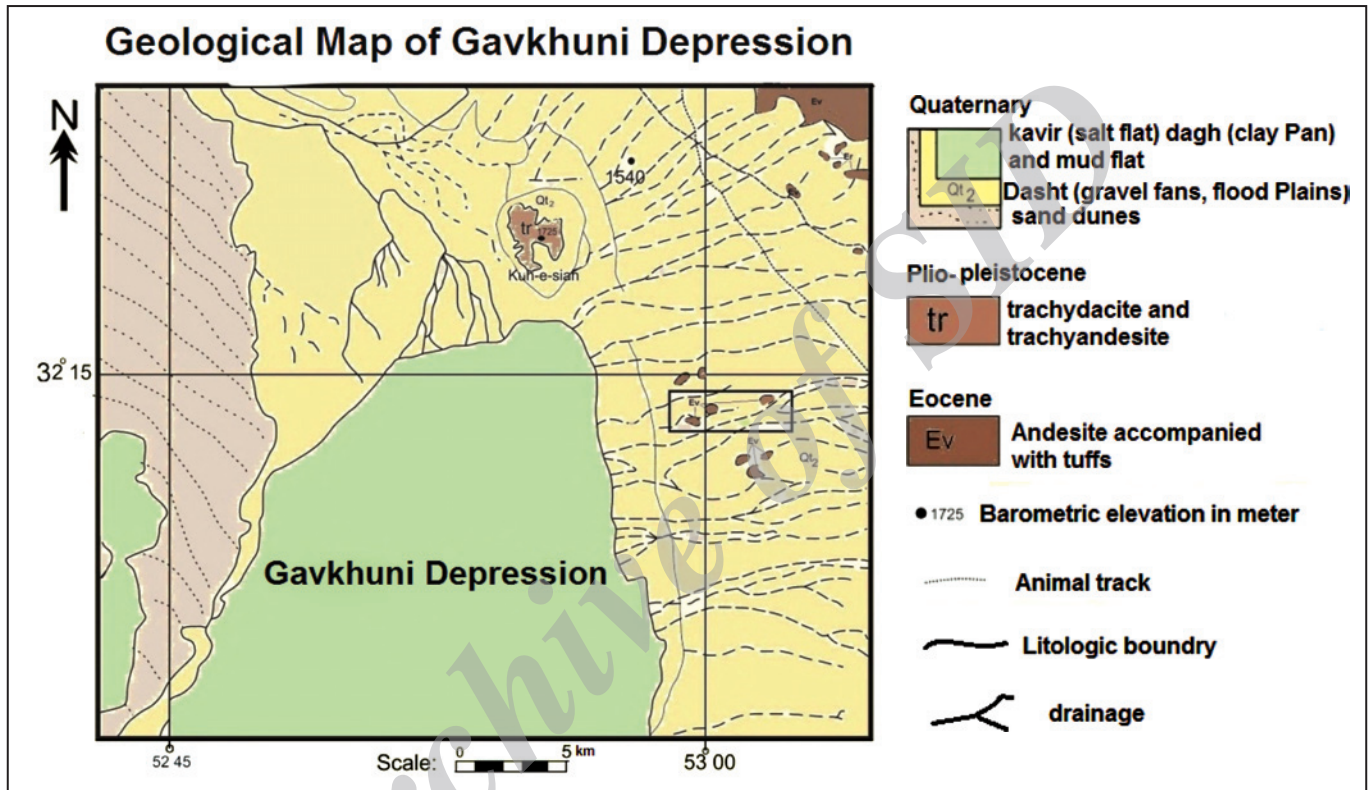
ترکیب میکاها در انواع سنگ‌های آذرین آلکان، پرآلومینوس و کالک‌آلکان توسط Abdel-Rahman (1994) مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهایی برای تعیین ماهیت ماگمای میزبان آنها ارائه شده است. بر پایه ترکیب شیمیایی میکاها، با توجه به نمودار سه‌تایی $MgO-FeO^*-Al_2O_3$ (شکل ۱۰- الف) و نمودار $FeO^*-Al_2O_3$ (شکل ۱۰- ب)، سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی دارای ماهیت کالک‌آلکان و مربوط به مناطق کوهزایی هستند.

۷- الگوی زمین‌ساختی

همچنان که پیش‌تر گفته شد، شواهد ژئوشیمیایی نشان‌دهنده تشکیل سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان پتاسیک مورد مطالعه در یک محیط زمین‌ساخت-ماگمایی حاشیه پویای قاره‌ای است. سری‌های کالک‌آلکان بیشتر ویژه مناطق فرورانش مانند جزایر کمانی و حاشیه پویای قاره‌ها هستند. ایگنیمبریت‌ها و گدازه‌های ریولیتی بیشتر با سری‌های کالک‌آلکان و شوشونیتی حاشیه پویای قاره همراه هستند و به‌طور معمول در جزایر کمانی دیده نمی‌شوند. بنابراین، به نظر می‌رسد که تشکیل آنها با پوسته قاره‌ای در ارتباط باشد (Price, 2001). ترکیب گدازه‌های کالک‌آلکان مناطق فرورانش در جزایر کمانی و حاشیه پویای قاره با هم تفاوت دارد (Taylor & McLennan, 1969). دامنه تغییرات SiO_2 در حاشیه پویای قاره‌ها میان ۵۶ تا ۷۶ درصد وزنی و در جزایر کمانی میان ۵۰ تا ۶۶ درصد وزنی است. به عبارت دیگر، ریولیت در حاشیه پویای قاره‌ها فراوان‌تر است. همچنین، گدازه‌های حاشیه پویای قاره‌ها از دید عناصر سنگ‌دوست با شعاع یونی بزرگ مانند K, Rb, Th, U و Ba غنی‌تر هستند. سری کالک‌آلکان حاشیه پویای قاره‌ها با گدازه‌های اسیدی (بیش

غنی شده به شمار می‌روند. با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه روی نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی، سنگ‌های آذرین پتاسیک شمال خاور تالاب گاوخونی متعلق به سری‌های کالک‌آلکالن کمان قاره‌ای هستند. به عبارت دیگر، ماگمای تشکیل دهنده این سنگ‌ها حاصل فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای بوده و در اثر بسته شدن حوضه اقیانوسی نئوتیس ایجاد شده است.

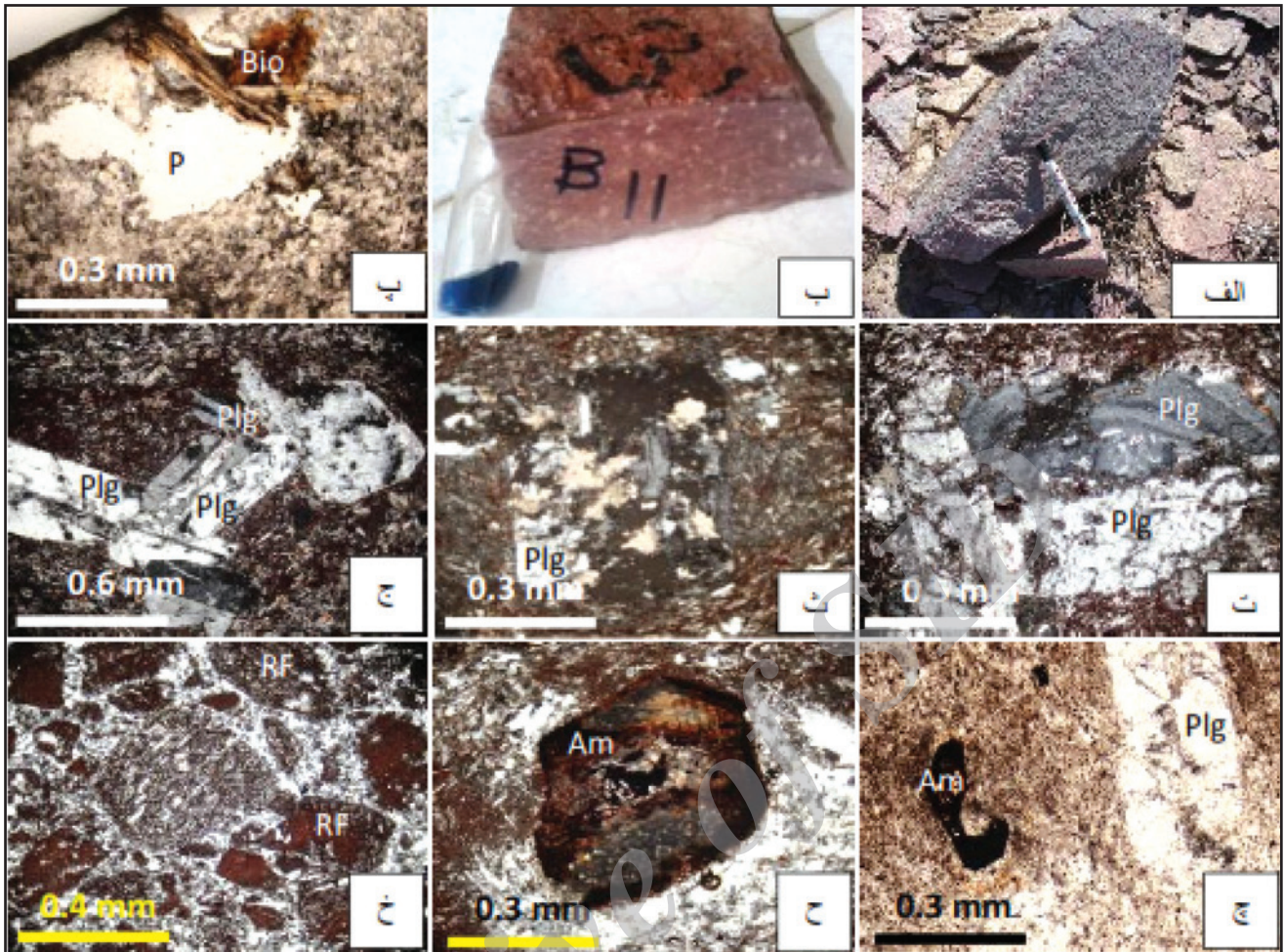
پایداری بالا مانند Ta، Nb، P و Ti تهی شده‌اند. این ویژگی‌های ژئوشیمیایی، از ویژگی‌های آشکار کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش است و می‌تواند ناشی از متاسوماتیسم شدید گوشته تحت تأثیر مواد فرار آزاد شده از سنگ‌کره در حال فرورانش و یا دخالت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد. بررسی نسبت Ce/Yb در سنگ‌های پتاسیک منطقه نشان می‌دهد که در همه سنگ‌های مورد مطالعه، Ce/Yb کمتر از ۱۵ است و بنابراین سنگ‌های پتاسیک منطقه جزو کمان‌های کمی



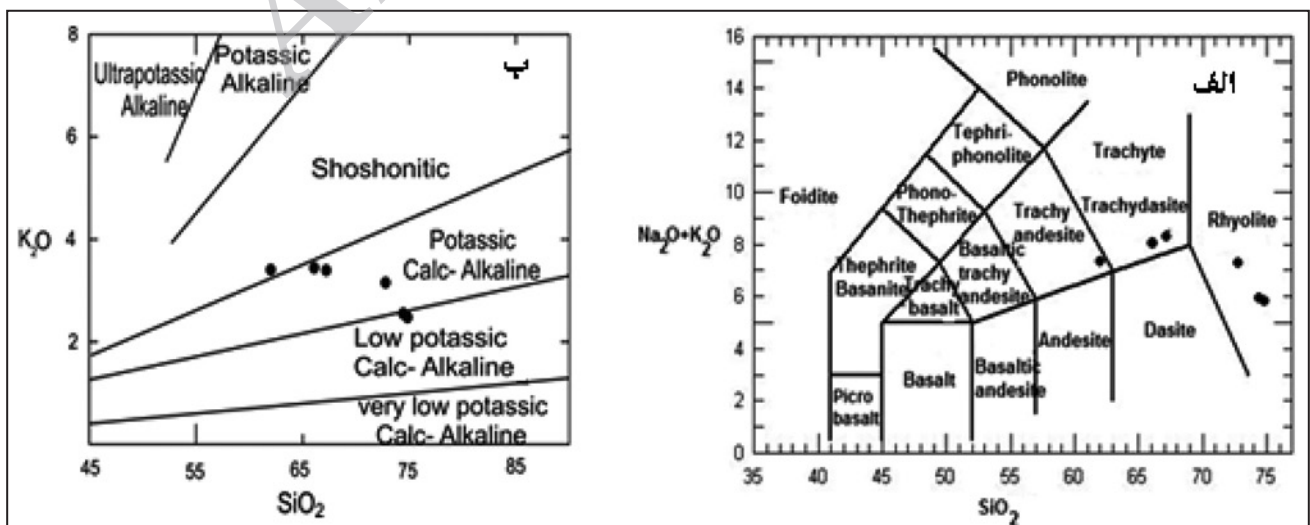
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، با اصلاحات برگرفته از نبوی و همکاران (۱۳۵۷).



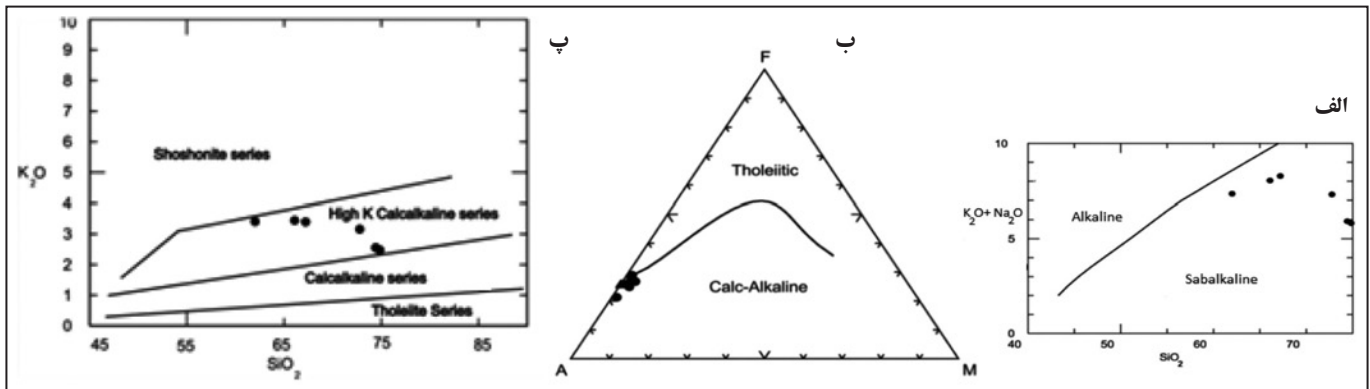
شکل ۲- رخنمون گنبد ریولیتی در حاشیه تالاب گاوخونی (دید به سوی باختر).



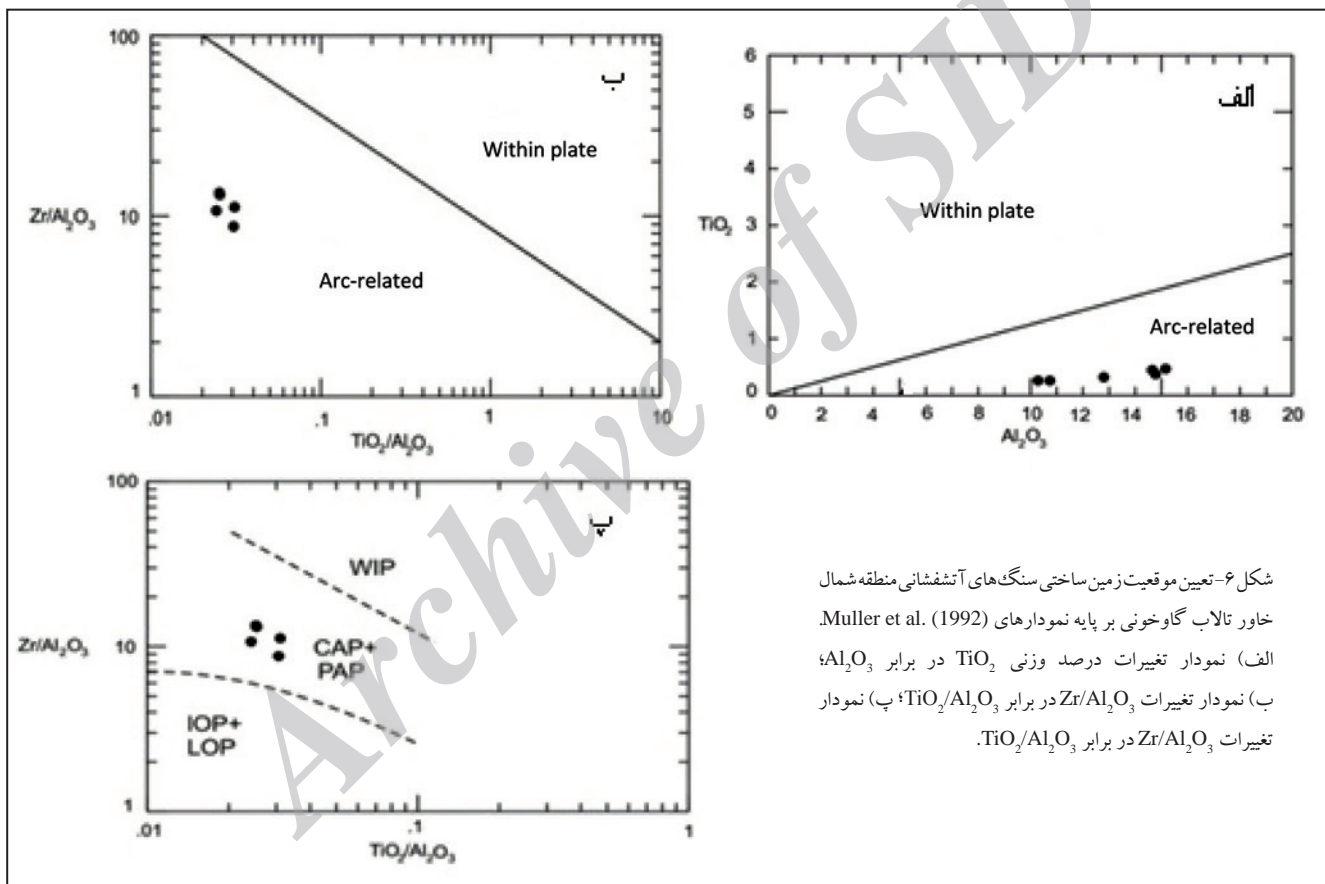
شکل ۳- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی. الف) ساخت جریانی در سنگ‌های ریبولیتی؛ ب) تصویر نمونه دستی از تراکی داسیت دارای درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز سفیدرنگ در زمینه دانه‌ریز تا شیشه‌ای؛ پ) بافت گلوپروپرفیروتیک (تجمع بلورهای بیوتیت) و بافت ویزیکولار در تراکی داسیت؛ ت) بافت گلوپروپرفیروتیک (تجمع بلورهای پلاژیوکلاز) در تراکی آندزیت؛ ث) جانیشینی بلورهای پلاژیوکلاز از حاشیه‌ها توسط کانی‌های کربناتی در تراکی آندزیت؛ ج) بلورهای درشت پلاژیوکلاز غربالی شده در تراکی آندزیت؛ چ) خوردگی خلیجی در بلور آمفیبول اپاسیته شده و نفوذ خمیره سنگ در بلور پلاژیوکلاز در تراکی آندزیت؛ ح) مقطع عرضی بلور آمفیبول خورده و اپاسیته شده در تراکی آندزیت؛ خ) قطعات خرده‌سنگی اسیدی تا حدواسط فراوان در توف خرده‌سنگی. تصاویر پ و چ در نور PPL و دیگر تصاویر میکروسکوپی در نور XPL گرفته شده‌اند: Bio: بیوتیت، P: حفره، plg: پلاژیوکلاز، Am: آمفیبول، RF: خرده سنگ آتشفشانی). نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از (Kretz (1983 گرفته شده‌اند.



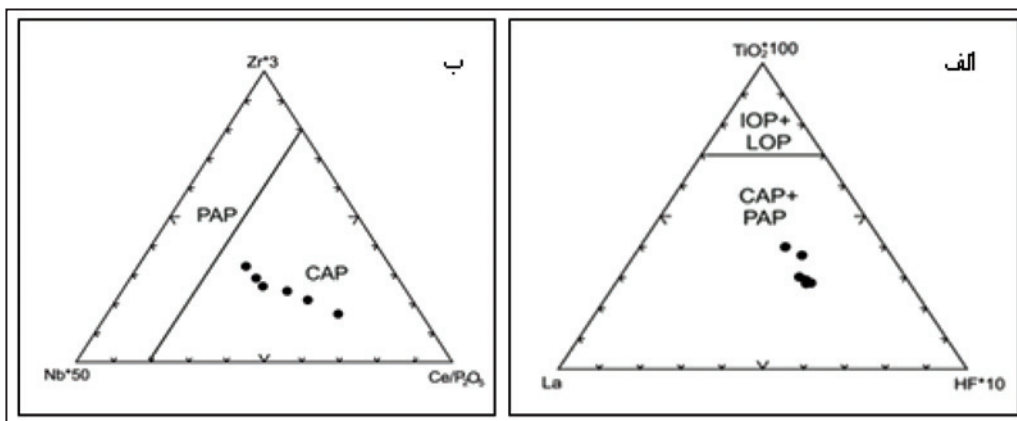
شکل ۴- الف) نمودار رده‌بندی TAS (Le Maitre et al., 1989) برای سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی؛ ب) نمودارهای تغییرات درصد وزنی K_2O در برابر SiO_2 (Maury, 1993) برای سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی.



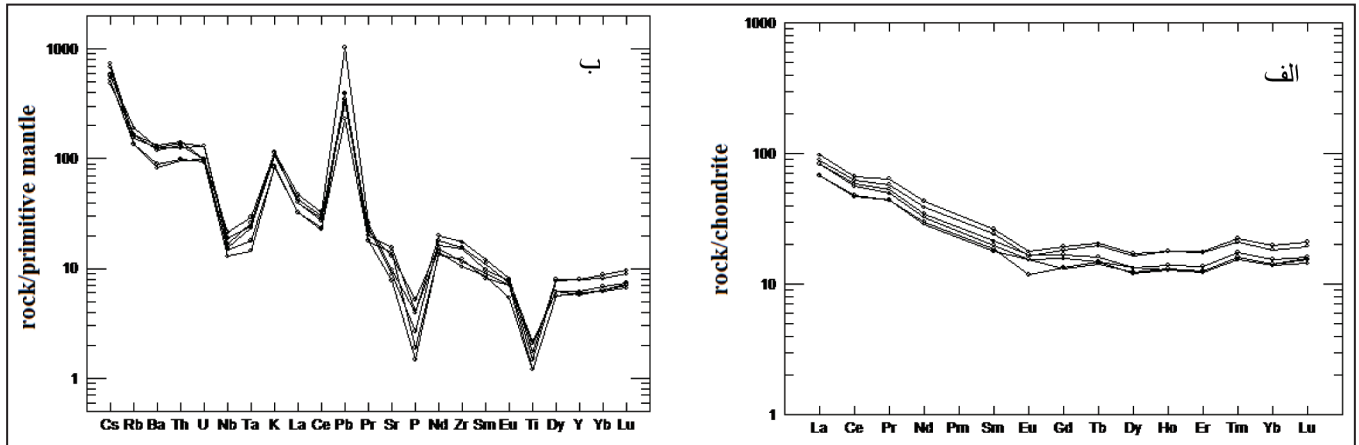
شکل ۵- نمودارهای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی: الف) نمودار تغییرات درصد وزنی مجموع آلکالن در برابر سیلیس (Irvine & Baragar, 1971)؛ ب) نمودار سه‌تایی AFM (Irvine & Baragar, 1971)؛ پ) نمودار تغییرات درصد وزنی K_2O در برابر SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976).



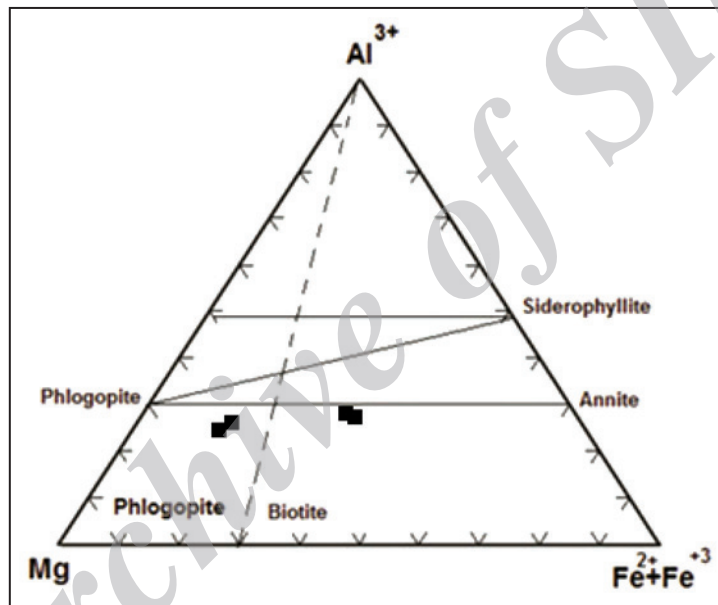
شکل ۶- تعیین موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال خاور تالاب گاوخونی بر پایه نمودارهای (Muller et al. 1992). الف) نمودار تغییرات درصد وزنی TiO_2 در برابر Al_2O_3 ؛ ب) نمودار تغییرات Zr/Al_2O_3 در برابر TiO_2/Al_2O_3 ؛ پ) نمودار تغییرات Zr/Al_2O_3 در برابر TiO_2/Al_2O_3 .



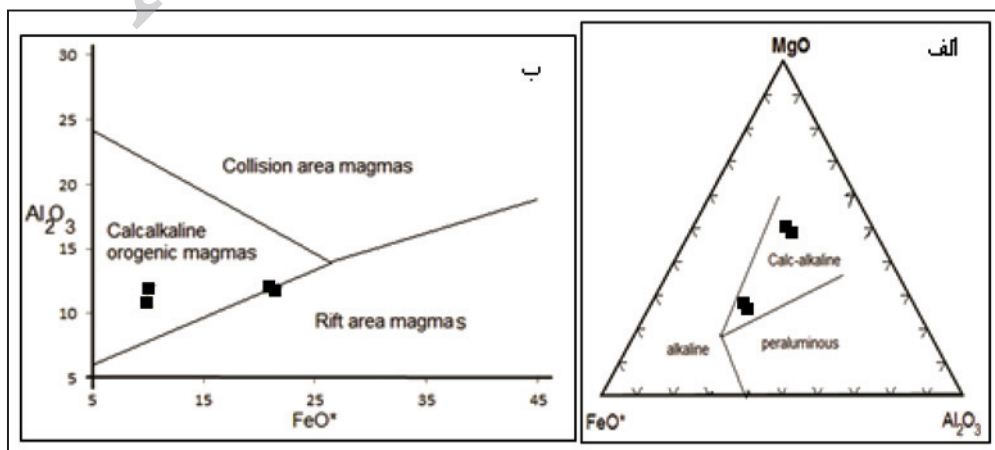
شکل ۷- تعیین موقعیت‌های زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال خاور تالاب گاوخونی بر پایه نمودارهای (Muller et al. 1992). الف) نمودار سه‌تایی $(TiO_2 \times 100 - La - Hf \times 10)$ ؛ ب) نمودار سه‌تایی $(Zr \times 3 - Nb \times 50 - Ce/P_2O_5)$.



شکل ۸- الف) الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده با کندریت برای سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه. بهنجار سازی با داده‌های (Nakamura (1974 انجام شده است؛ ب) نمودار چندعنصری بهنجار شده با گوشته اولیه برای سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه. بهنجار سازی با داده‌های (Sun & McDonough (1989 انجام شده است.



شکل ۹- نمودار سه تایی $Al^{3+} - Mg - Fe^{2+} + Fe^{3+}$ برای رده‌بندی میکاها (Nemec, 1972) که نمونه‌های مورد مطالعه روی آن جانمایی شده‌اند.



شکل ۱۰- تعیین سری ماگمایی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی شمال خاور تالاب گاوخونی با استفاده از ترکیب شیمیایی میکاها بر پایه (Abdel-Rhahman (1994. نمودار سه تایی $MgO-FeO^*-Al_2O_3$ ؛ ب) نمودار $FeO^* - Al_2O_3$.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی ICP-MS سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه. داده‌های عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب بر حسب بخش در میلیون (ppm) و دیگر داده‌ها بر حسب درصد وزنی (wt%) هستند.

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Feot	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Rb	Ba	Sr	U	Th
B1	۶۶/۰۹	۱۵/۱۶	۳/۴۷	۰/۰۵	۲/۴۷	۲/۵۰	۰/۲۰	۴/۶۰	۳/۴۵	۰/۱۱	۰/۴۷	۰/۰۶	۱۲۱	۸۷۶	۲۷۵	۲/۷۴	۱۱/۷
B9	۶۲/۰۱	۱۴/۴۶	۳/۰۶۳	۰/۰۵	۲/۱۸	۲/۷۰	۰/۳۴	۳/۹۴	۳/۴۱	۰/۰۹	۰/۴۵	۰/۰۱	۱۰۴	۸۴۳	۳۲۵	۲/۰۸	۱۱/۳
B12	۷۴/۸۳	۱۰/۲۹	۲/۲۷	۰/۰۳	۱/۶۱	۲/۳۵	۰/۱۲	۳/۳۴	۲/۴۸	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۰۵	۸۶/۲	۵۷۵	۲۹۸	۲/۰۵	۸/۲۱
B14	۶۷/۲	۱۴/۷۸	۳/۱۲۱	۰/۰۴	۲/۲۲	۲/۱۱	۰/۳۰	۴/۸۸	۳/۴۰	۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۰۶	۱۰۵	۹۱۶	۲۰۶	۲/۰۷	۱۲
B15	۷۲/۷۷	۱۲/۸۰	۲/۱۸۳	۰/۰۴	۲/۰۲	۱/۷۵	۰/۱۱	۴/۱۵	۳/۱۶	۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۰۴	۹۸/۶	۸۷۲	۱۸۸	۲/۷۴	۱۰/۶
B20	۷۴/۴۲	۱۰/۷۳	۲/۶۹	۰/۰۳	۱/۷	۱/۷۱	۰/۱۲	۳/۳۷	۲/۵۵	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۰۶	۴/۹۷	۶۲۶	۱۶۴	۱/۹۷	۸/۴

Sample	Cs	Nb	Ta	Pb	Sc	Zr	Hf	Ni	Co	V	Cr	Y	Se	Ga	Zn	Be	Sn
B1	۴/۵	۱۱/۹	۱/۰۵	۲۷/۴	۶	۱۷۰	۵/۱۷	۶	۲/۸	۱۸	۷	۲۸	۰/۱۴	۱۶/۴	۲۰۷	۱/۹	۲
B9	۴/۶	۱۱	۰/۹۵	۲۴/۶	۶	۱۲۸	۳/۹۹	۵	۴/۴	۱۶	۱۰	۲۶/۱	۰/۳	۱۶/۱	۱۵۳	۱/۸	۱/۷
B12	۵/۴	۱۰/۶	۰/۷۳	۲۸/۲	۴	۱۳۶	۴/۱۱	۵	۲/۳	۴	۹	۲۶/۶	۰/۲۶	۱۰/۷	۱۳۲	۱/۵	۱/۶
B14	۳/۸	۱۵/۲	۱/۲	۷۳/۳	۶	۱۹۴	۶/۳۶	۶	۲/۷	۸	۱۹	۳۶	۰/۱۸	۱۶/۴	۱۳۶	۲/۲	۳/۷
B15	۵/۸	۱۳/۴	۰/۹۷	۲۲/۹	۵	۱۷۲	۵/۳۸	۵	۱/۸	۶	۴	۳۶/۲	۰/۲۲	۱۴/۶	۱۲۶	۲	۲/۵
B20	۴/۱	۰/۷	۰/۵۹	۸۵/۳	۵	۱۱۵	۳/۷۹	۱۸/۹	۱/۸	۴	۵	۲۷/۴	۰/۲۱	۱۲	۱۰۹	۱/۵	۱/۵

Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
B1	۲۷/۵	۵۰/۳	۵/۹۷	۲۱/۸	۴/۳۱	۱/۳	۴/۶	۰/۷۶	۴/۵۳	۰/۹۷	۳/۰۷	۰/۵۲	۳/۳۸	۰/۵۵
B9	۲۷/۵	۴۸/۳	۵/۵۲	۲۰/۵	۴/۰۴	۱/۱۹	۴/۳۱	۰/۷	۴/۵۳	۰/۸۹	۲/۸۳	۰/۴۸	۳/۱۴	۰/۵۳
B12	۲۲/۲	۴۰/۱	۴/۸۸	۱۸/۱	۳/۵۸	۱/۱۹	۳/۶۴	۰/۶۷	۴/۱۹	۰/۹۲	۲/۸۳	۰/۴۸	۳/۱۴	۰/۵۲
B14	۳۲/۱	۵۷/۹	۷/۱۷	۲۷	۵/۳۲	۱/۳۶	۵/۳۷	۰/۹۶	۵/۸۶	۱/۲۵	۳/۹۷	۰/۶۷	۴/۳۳	۰/۷۱
B15	۲۹/۳	۵۳/۹	۶/۴۸	۲۴/۳	۴/۸۹	۱/۲۵	۵/۰۱	۰/۹۲	۵/۶۵	۱/۲۴	۳/۸۹	۰/۶۳	۴/۰۲	۰/۶۶
B20	۰/۰۱	۴۱/۴	۱۶/۳	۹/۲	۳/۷۷	۰/۹۱	۳/۶۷	۰/۶۹	۴/۱۴	۰/۰۵	۲/۷۷	۰/۴۶	۳/۰۳	۲/۴

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه نقطه‌ای میکاها در سنگ‌های ریولیتی و محاسبه فرمول ساختاری آنها بر پایه ۲۲ اتم اکسیژن.

Sample No.	B18/1	B18/2	B3/5.1	B3/5.2	Sample No.	B18/1	B18/2	B3/5.1	B3/5.2
SiO ₂	۳۷/۵۸	۳۷/۷۴	۴۰/۶۲	۴۰/۴۱	Al ^{vi}	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
TiO ₂	۱/۷۹	۱/۸۴	۲/۳۱	۲/۱۲	Ti	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۳
Al ₂ O ₃	۱۲/۰۸	۱۲/۰۹	۱۱/۰۷	۱۱/۸۲	Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Cr ₂ O ₃	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	Fe	۲/۷۰	۲/۶۶	۱/۱۹	۱/۱۹
FeO	۲۱/۳۰	۲۱/۰۲	۹/۹۸	۹/۹۴	Mn	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲
MnO	۰/۴۴	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۲۰	Mg	۲/۷۷	۲/۷۶	۴/۳۷	۴/۲۴
MgO	۱۲/۲۵	۱۲/۲۳	۲۰/۵۳	۱۹/۸۹	Ca	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
CaO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	Na	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰۳	۰/۰۴
Na ₂ O	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۱۱	۰/۱۴	K	۱/۹۲	۱/۸۵	۱/۷۸	۱/۸۷
K ₂ O	۹/۵۵	۹/۵۶	۹/۷۹	۱۰/۲۷	Ni	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
NiO	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	Total	۱۵/۷۱	۱۵/۶۳	۱۵/۳۲	۱۵/۳۶
Total	۹۶/۰۹	۹۵/۷۰	۹۴/۶۱	۹۴/۸۰	Al total	۲/۱۶	۲/۱۶	۱/۸۶	۱/۹۹
Si	۵/۷۰	۵/۷۲	۵/۸۰	۵/۷۸	Fe/Fe+Mg	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۲۲
Al ^{iv}	۲/۱۶	۲/۱۶	۱/۸۶	۱/۹۹					

کتابنگاری

- آقانیاتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۸۶ ص.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین شناسی ایران، نشر دانش امروز، ۹۰۱ ص.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۸۶- زمین شناسی ایران، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۷۱۹ ص.
- عمیدی، م. و نبوی، م. ح.، ۱۳۸۰- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سرو بالا، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م. ح. و عمیدی، م.، ۱۳۸۰- نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ورزنه، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م. ح.، عمیدی، م.، علوی تهرانی، ن.، داودزاده، م.، واله، ن. و آقانیاتی، ع.، ۱۳۵۷- نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ نایین، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Abdel-Rahman, A. M., 1994- Nature of biotites from alkaline, Calc-alkaline and peraluminous Magmas. *Journal of Petrology* 35(2): 525-541.
- Adamia, S., Bergougnan, H., Fourquin, C., Haghypour, A., Lordkipanidze, M., Ozgül, N., Ricou, L., E. & Zakariadze, G., 1980- The Alpine Middle East between the Aegean and the Oman traverses. 26th International Geological Congress Paris C 5: 122-136.
- 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* 94: 401-419.
- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Sciences* 304: 1-20.
- Amidi, S. M., 1975- Contribution à l'étude stratigraphique, pétrologique et pétrochimique des roches magmatiques de la région Natanz-Nain-Surk (Iran central). PhD diss., Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- Arvin, M., Pan, Y., Dargahi, S., Malekizadeh, A. & Babaei, A., 2007- Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: implication for initiation of Neotethys subduction. *Journal of Asian Earth Sciences* 30: 474-482.
- Barnes, S. J., Acterberg, E., Makovicky, E. & Li, C., 2001- Proton probe results for partitioning of platinum group elements between monosulphide solid solution and sulphide liquid. *South African Journal of Geology*, 104: 337-351.
- Berberian, F. & Berberian, M., 1981- Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Gupta H.K. and Delany F.M. (Eds.), *Zagros, Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution*, American Geophysical Union, Washington DC 5-32.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 210-265.
- Best, M. G. & Christiansen, E. H., 2001- *Igneous petrology*. Blackwell Science, 428 pp.
- Best, M. G., 2003- *Igneous and metamorphic petrology*. Blackwell Science, 729 pp.
- Boccaletti, N., 1974- Remnant arcs and marginal basins in the Cenozoic development of the Mediterranean. *Nature*, 252 (5478): 12-18.
- Browne, B. L., Eichelberger, J. C., Patino, L. C., Vogel, T. A., Uto, K. & Hoshizumi, H., 2006- Magma mingling as indicated by texture and Sr/Ba ratios of plagioclase phenocrysts from Unzen volcano, SW Japan. *Journal of volcanology and geothermal research* 154(1): 103-116.
- Chiu, H. Y., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S. S., Khatib, M. M. & Iizuka, Y., 2013- Zircon U-Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. *Lithos* 162-163, 70-87.
- Dostal, J., Church, B. N., Reynolds, P. H. & Hopkinson, L., 2001- Eocene volcanism in the Buck Creek basin, central British Columbia (Canada): transition from arc to extensional volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 170(1-3): 149-170.
- Ghasemi, A. & Talbot, C. J., 2005- A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran), *Journal of Asian Earth Sciences*, 26: 683-693.
- Gromet, L. P., Dymek, R. F., Haskin, L. A. & Korotev, R. L., 1984- The north American shale composite, its compilation, major and trace element characteristics. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 48: 2469-2482.
- Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Central Iran (Shahr e Babak area, Kerman Province). Ph.D thesis, University of California, Los Angeles, 204 pp.
- Hongyan, G., Sun, M., Yuan, C., Xiao, W., Zhao, G., Zhang, L., Wong, K. & Fuyuan, W., 2009- geochemical, Sr-Nd and Zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late-Subduction. *Chemical Geology*, 266: 364-398.
- Humphreys, M. C., Blundy, J. D. & Sparks, R. S. J., 2006- Magma evolution and open-system processes at Shiveluch Volcano: Insights from phenocryst zoning. *Journal of Petrology*, 47(12): 2303-2334.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Joplin, G. A., 1968- The shoshonite association, a review. *Journal of Geological Society of Austria*, 15: 275-295.
- Kamber, B. S., Ewart, A., Collerson, K. D., Bruce, M. C. & McDonald, G. D., 2002- Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implication for Archean crustal growth models. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144: 38-56.
- Kretz, R., 1983- Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68: 277-279.

- Kuster, D. & Harms, U., 1998- Post-collisional potassic granitoids form the southern and northwestern parts of the late Neoproterozoic East African Orogen: a review. *Lithos*, 45: 177-195.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolley, A. R. & Zanettin, B., 1989- A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Sub commission on the systematics of igneous rocks. Blackwell Scientific Publications 193 pp.
- Leeman, W. P. & Sisson, V. B., 1996- Geochemistry of boron and its implication for crustal and mantle processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 33(1): 645-707.
- Liégeois, J. P., Navez, J., Hertogen, J. & Black, R., 1998- Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids, the use of sliding normalization, *Lithos* 45: 1-28.
- Maury, R. C., 1993- Pleins feux sur les volcans. *Société géologique de France* 163: 39-55.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4): 397-412.
- Moine-Vaziri, H., 1985- Volcanisme tertiaire et quaternaire en Iran. PhD thesis d'Etat, University Orsay, France 290 pp.
- Morrison, G. W., 1980- Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13: 97-108.
- Muller, D., Rock, N. M. S. & Groves, D. I., 1992- Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic settings, a pilot study. *Mineralogy and Petrology* 46: 259-289.
- Nagudi, N. O., Koberl, C. H. & Kurat, G., 2003- Petrography and geochemistry of the Sing granite, Uganda, and implication for its origin. *Journal of African Earth Sciences*, 35: 51-59.
- Nakamura, N., 1974- Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary Chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 755-773.
- Nemec, D., 1972- Micas of lamprophyres of the Bohemian massif. *Neues Jahrbuch für mineralogie Abhandlungen* 1(7): 196-216.
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamanu area, northern Turkey. *Bulletin of Volcanology* 39: 557-569.
- Price, N. J., 2001- Major impacts and plate tectonics, a model for the Phanerozoic evolution of the earth's lithosphere. Routledge 354 pp.
- Raymond, L. A., 2002- The study of igneous, sedimentary and metamorphic rocks. McGraw-Hill 720.
- Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. New York, John Wiley and Sons 352 pp.
- Ruprecht, P., Bergantz, G. W., Cooper, K. M. & Hildreth, W., 2012- The crustal magma storage system of Volcán Quizapu, Chile, and the effects of magma mixing on magma diversity. *Journal of Petrology* 53(4): 801-840.
- Şengör, A. M. C., 1990- A new model for the Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implication for Oman. In: Robertson, A. H. F., Searle M. P. & Ries A. C. (Eds), the geology and tectonics of the Oman region. Geological Society of London, Special Publication 49: 791-831.
- Shang, G. K., Satir, M., Sieble, W., Nasifa, E. N., Taubuld, H., Liegeois, J. P. & Tchoua, F. M., 2004- Geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematic: case of the Sangmelima region, Ntem complex, southern Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, 40 (1-2): 61-79.
- Shelley, D., 1993- Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman and Hall, 445 pp.
- Stephen, T. & Nelson, A. M., 1992- Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist* 77: 1242-1249.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D. and Norry, M. J. (Eds.), magmatism in the ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications 42: 313-345.
- Tatsumi, Y., 1989- Migration of fluid phases and genesis of basalt magmas in subduction zones. *Journal of Geophysical Research*, 94(B4): 4697-4707.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D. L. & Nesbitt, R. W., 1986- Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high-pressure experiments and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 29: 293-309.
- Taylor, M. P., 1985- The oxygen isotope geochemistry of igneous rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 19 (1969): 1-71.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M., 1969- The continental crust: its composition and evolution. Blackwell 312 pp.
- Tsuyhama, A., 1985- Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89: 1-16.
- Wilson, M., 1989- Igneous petrogenesis: A global tectonic approach. Unwin Hyman Ltd, 466 pp.
- Wu, F., Jahnb, B., Wildec, S. A., Lod, C. H., Yuie, T. F., Lina, Q., Gea, W. & Suna, D., 2003- Highly fractionated I-type granites in NE China (II): isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic. *Lithos*, 67 (3-4): 191-204.