

ژئوشیمی و جایگاه تکتونوماگمایی گدازه‌های آندزیتی میوسن قزل‌داش‌داغی (شمال باختر مرنده) آذربایجان خاوری

اسماعیل خان چوبان^{۱*}، بهزاد حاج علی‌لو^۲، محسن مؤید^۳، محمدرضا حسین‌زاده^۳ و مروت فریدآزاد^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور ایران، ایران

^۳ استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۴ استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

چکیده

در منطقه قزل‌داش داغی رخنمون قابل توجهی از فعالیت آتشفشانی میوسن با ترکیب آندزیتی به همراه نهشته‌های آذرآواری شامل توف، برش و آگلومرا وجود دارد. بافت این سنگ‌ها پورفیری تا میکرو پورفیری بوده و درشت بلور ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و اندکی بیوتیت است. منطقه بندی بافت غربالی در دشت بلورهای پلاژیوکلاز این گدازه‌ها نشانه شرایط عدم تعادل حین انجماد ماگما است. این سنگ‌ها ماهیت کالک‌آلکان دارند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی گدازه‌های قزل‌داش داغی نظیر غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها و همچنین غنی‌شدگی عناصر LILE به همراه بی‌هنجاری‌های منفی Nb، Ti و P بیانگر وابستگی آنها به مناطق فرورانش است. این سنگ‌ها حاوی مقادیر بالای SiO_2 ، Sr، Sr/Y و La/Yb و مقادیر پایین تر Y ، MgO و Yb نسبت به سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان معمولی هستند و می‌تواند نشانگر ویژگی‌های آداکیتی گدازه‌ها باشد. بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی این گدازه‌ها در نتیجه ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورانده شده ایجاد شده‌اند. تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نشان‌دهنده یک فاز باقیماندی حاوی گارنت و هورنبلند در ناحیه منبع است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

آداکیت

آندزیت

میوسن

مرند

۱- پیش‌نوشتار

مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد کمان ماگمایی ارومیه- دختر معمولاً از سنگ‌های کالک‌آلکان مرتبط با فرورانش تشکیل شده است (Berberian et al., 1982). همچنین سنگ‌های آلکان در مناطقی مثل سنگ‌های فوق پتاسیک شبه جزیره اسلامی گزارش شده‌اند (احمدزاده، ۱۳۸۱؛ Moradian, 1997; Moayyed et al., 2008). پیشینه ماگماتسم حاشیه فعال قاره‌ای در ایران (نواحی البرز، ارومیه- دختر، سنج- سیرجان)- خاور ترکیه (توریدز- آتاتولی- پونیتد)، گرجستان- ارمنستان (قفقاز بزرگ) و ارمنستان- آذربایجان (قفقاز کوچک) از ژوراسیک تا سنوزویک است (Chiu et al., 2013; Neil et al., 2015). تصور بر این است سنگ‌های آتشفشانی ائوسن تا کواترنری در یک موقعیت پس‌برخوردی تشکیل شده‌اند (Sengor and Kidd, 1979; Chiu et al., 2013). در دوره پلیو- کواترنر تشدید فشردگی بین پوسته عربستان و اوراسیا موجب کوتاه‌شدگی و ضخیم‌شدگی قابل توجهی در پوسته ایران شد (Sengor and Kidd, 1979). سپس حرکات کششی و گسیختگی‌های محدود در طول گسل‌ها و شکستگی‌های عمیق موجب خروج گدازه‌ها و رخدادهای آتشفشانی شده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). از مهم‌ترین رخدادهای آتشفشانی در این دوران

می‌توان به فعالیت‌های آتشفشانی سهند (گدازه‌های آداکیتی) با ترکیب اسیدی تا حدواسط و گدازه‌های حدواسط تا اسیدی ولدیان، انامک و گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی پرسلیس زنجیره (عامل، ۱۳۷۳) و گدازه‌های حدواسط قزل‌داش داغی (خان‌چوبان، ۱۳۸۶) اشاره کرد. بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که زایش آداکیت‌ها در امتداد کمان ماگمایی ارومیه- دختر نتیجه ذوب صفحه اقیانوسی در زیر فلات ایران (Omran et al., 2008) و یا ذوب بخشی پوسته زیرین طی یا پس از تصادم فلات‌های ایران- عربی (پیرمحمدی‌علیشاه، ۱۳۹۴؛ Jamali and Mehrabi, 2015) یا جداشدگی صفحه فروانده شده نئوتیس و ذوب صفحه جدا شده و گواشته متاسوماتیزه شده (Jahangiri, 2007)، ذوب لیتوسفر قاره‌ای متاسوماتیزه شده (Torkian et al., 2018)، ذوب بخشی قطعه اقیانوسی فرورانده و رسوبات روی آن (مجرد، ۱۳۹۴؛ بدالهی و همکاران، ۱۳۹۴)، ذوب بخشی سنگ‌های مافیک پوسته قاره‌ای ستر شده (گرگری و همکاران، ۱۳۹۴) هستند. در این مطالعه، گدازه‌های آتشفشانی آندزیتی در شمال باختر مرنده کوه قزل‌داش داغی بررسی شد و داده‌های عناصر اصلی و جزئی سنگ کل در ترکیب با مطالعات اخیر زمین‌شناسی ناحیه‌ای

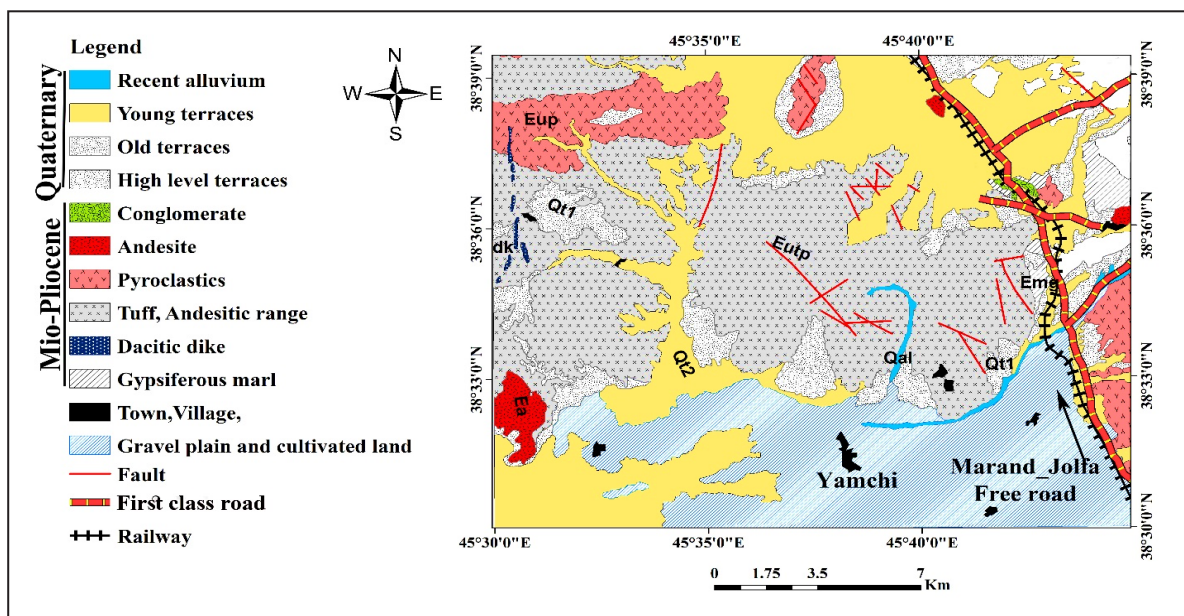
حدواسط- اسیدی شامل آگلومرا، برش آتشفشانی و توف هستند که گدازه‌هایی با همین ترکیب از داخل این مجموعه بصورت پراکنده و گاهی اوقات حجیم در مقیاس کیلومتری در بیشتر بخش‌های منطقه رخمون دارد که قدیمی‌ترین واحدها می‌باشند (شکل ۱، عبدللهی و حسینی، ۱۳۷۵). در پایین دست گدازه‌های آتشفشانی و با واحدهای آتشفشانی و توفی، رسوبات سرخ فوقانی به سن میوسن میانی تا بالایی وجود دارند که مجموعه آتشفشانی با ترکیب حدواسط- اسیدی منطقه روی آنها قرار می‌گیرند. با توجه به قرارگیری این روانه‌های گدازه روی واحدهای رسوبی تشکیلات قرمز فوقانی به سن میوسن (عامل و همکاران، ۱۳۸۶)، یعنی بر اساس شواهد چینه‌ای سن این گدازه‌ها جوان بوده و به احتمال زیاد مربوط به میوسن فوقانی هستند. خود این مجموعه گدازه‌های آتشفشانی حدواسط- اسیدی توسط دایک‌های با ترکیب اسیدی و آلکالین قطع شده است که نشان می‌دهد جوانترین واحد از نظر سنی و مربوط به پلیوسن- کواترنری هستند (احمدزاده، ۱۳۸۹).

از نظر زمین‌ساختی این گدازه‌ها به ترتیب در حد فاصل بین دو گسل راستگرد بزرگ میشو (ادامه گسل شمال تبریز) و گسل راستگرد دره- دریز با جهت جنوب خاوری- شمال باختری فوران کرده‌اند.

(احمدزاده، ۱۳۸۹) گزارش شده است. همچنین برای تبیین بهتر زایش این گدازه‌ها، نمونه‌های آداکیت‌های زون‌های مختلف در نمودارهایی با گدازه‌ها منطقه قزل‌داش داغی مقایسه شدند، داده‌های ما نشانگر نقش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس در زایش آداکیت‌های منطقه مورد مطالعه است. اگر تفاسیر ما درست باشد نشانگر نقش لیتوسفر نئوتیس پس برخوردی (Jahangiri, 2007) در زایش گدازه‌ها طی میوسن به بعد می‌باشد.

۲- زمین‌شناسی منطقه

مجموعه آتشفشانی شمال باختر مرند شامل یک مجموعه استراتوولکان است که در طول دوره‌های فوران و آرامش، سنگ‌ها و گدازه‌های با ترکیب حدواسط- اسیدی به شکل مجموعه‌های آذرآواری و گدازه‌های توده‌ای بیرون ریخته است (شکل ۱). گستردگی رخمون این مجموعه از ۲۰ کیلومتری شمال باختر مرند شروع شده و در امتداد شمال تا نزدیک‌های دره‌دیز جلفا و با روندی شمال خاوری- جنوب باختری تا سهراهی خوی ادامه می‌یابد. از نظر حجمی بیشترین حجم سنگ‌های این مجموعه سنگ‌های آذرآواری با ترکیب



شکل ۱- رخمون سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا (عبدللهی و حسینی، ۱۳۷۵).

۳- روش پژوهش

منطقه و مواد انفجاری حاصل از آنها به صورت مواد آذرآواری و توف به همراه رسوبان مارنی میوسن، دامنه‌ها و مناطق پایین دست این رشته کوه را پر می‌کنند که به‌طور همیشگی روی لایه‌های رسوبی بیشتر مارنی جای دارند (شکل ۲- الف و ب). این گدازه‌ها در رخمون‌ها و نمونه‌های دستی به رنگ خاکستری تیره تا روشن هستند و درشت بلورهای پلاژیوکلاز در آنها بوفور دیده می‌شود.

در رشته کوه قزل‌داش داغی گدازه‌های حدواسط آندزیتی همراه با مواد آذرآواری و توفی طی دوره‌های آرامش و فوران لایه‌بندی منظمی را ایجاد کرده‌اند و در جنوب باختری منطقه رخمونی از دایک‌ها با ترکیب داسیتی که به درون واحدهای آذرآواری تزریق شده‌اند مشاهده می‌شود. (شکل ۱). از نظر زایشی این گدازه‌های آندزیتی، قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در این ناحیه هستند (احمدزاده، ۱۳۸۱). سنگ‌های آذرآواری را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول آگلومراهایی هستند که بیشترین حجم مربوط به این سنگ‌ها را در منطقه دارند و رودخانه‌های فصلی که از درون واحدهای آتشفشانی گذر کرده‌اند رخمونی وسیعی را در ترانه‌های رودخانه‌ای آشکار ساخته‌اند (شکل ۲- پ). گروه دوم

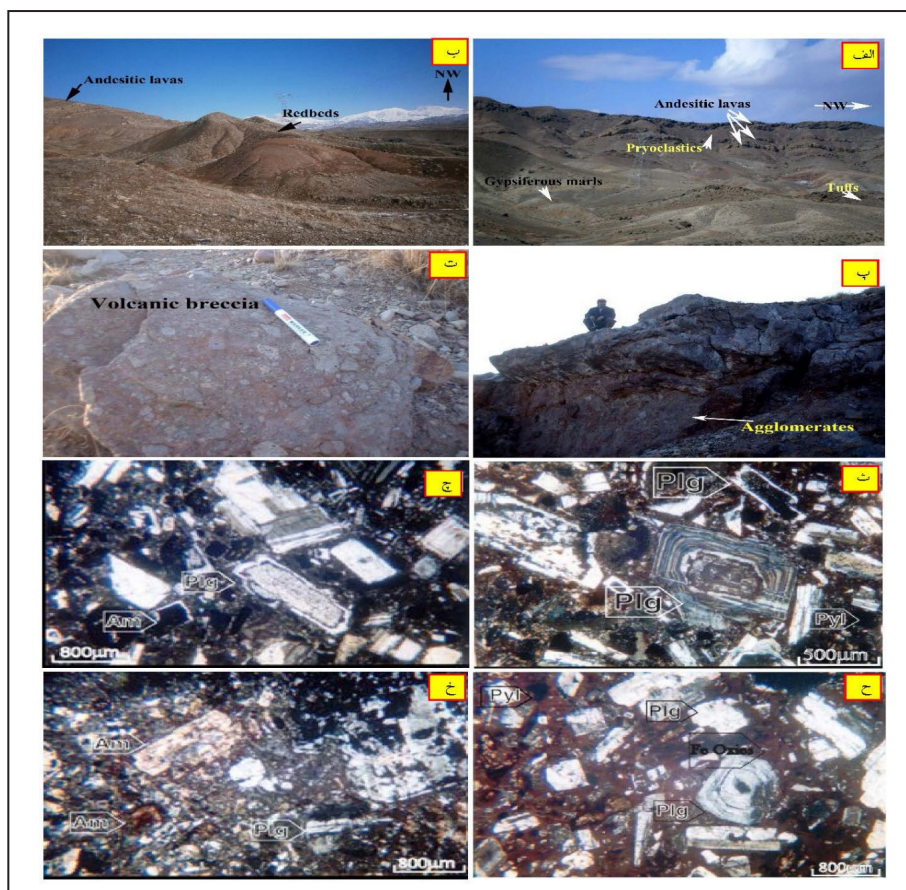
پس از بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری از سنگ‌های آندزیتی با توجه به هوازدگی شدید سطحی این گدازه‌ها، تعداد ۶۰ نمونه مقطع نازک تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان به دقت مورد مطالعه قرار گرفت تا نمونه‌های سالم و دگرسان نشده برای آنالیزهای ژئوشیمیایی انتخاب گردند. پس از بررسی مقاطع نازک، تعداد ۷ نمونه از سنگ‌های آندزیتی جهت آنالیز اکسیدهای اصلی روش XRF و تعداد ۷ نمونه جهت آنالیز عناصر جزئی به روش ICP-OES به ترتیب در شرکت کانساران پینالود و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز شدند (جدول ۱). همچنین تعداد ۷ نمونه با روش ICP-MS جهت تعیین مقدار عناصر کمیاب خاکی در شرکت کانساران پینالود آنالیز گردید (جدول ۱). داده‌های حاصل به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و تعیین جایگاه تکنونماگمایی گدازه‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزارهای مختلف ترسیم و سپس داده‌ها تفسیر شده‌اند.

۴- مطالعات میدانی و میکروسکوپی

واحدهای گدازه‌ای با ترکیب آندزیتی به صورت جریان‌ات گدازه‌ای در فرازهای

بلورهای درشت پلاژیوکلاز، بلورهای ریز این کانی در زمینه سنگ به فراوانی دیده می‌شود. این بلورها این بلورها شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و شکل الواری (تخت) دارند (شکل ۲-ث). بافت‌های مختلفی از جمله منطقه‌بندی نوسانی، غربالی، ماکل کارلسباد در مقاطع نازک دیده می‌شود (شکل ۲-ث، ج و چ). آمفیبول‌های هورنبلند به شکل درشت بلورهای لوزی شکل در زمین سنگ دیده می‌شود. در گدازه‌ها اکسی هورنبلند وجود دارد که نشانگر اکسیداسیون در حین فوران می‌باشد (شکل ۲-ح). آپاتیت و کانی‌های اوپاک (اکسید منگنز) و اکسید آهن به عنوان کانی‌های فرعی در زمینه سنگ دیده می‌شود که بسیار ریزبلور هستند.

مربوط به برش‌های آتشفشانی هستند که در ارتفاعات منطقه بیشتر دیده می‌شوند (شکل ۲-ت). سترای واحدهای توفی در محل رخنمون آنها تقریباً ۳ متر است. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد درشت بلورهای سنگ‌های آندزیتی کانی‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند و به مقدار اندک بلورهای بیوتیت هستند و همچنین زمینه سنگ از کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت و کمتر از ۵ درصد کوارتز و کلینوپیروکسن تشکیل شده است. با توجه به این مطالعات، بافت این سنگ‌ها میکرولیتیک و میکرولیتیک پورفیری است. پلاژیوکلاز کانی اصلی این سنگ‌ها بوده و بیش از ۵۰ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. افزون بر



شکل ۲- الف) رخنمون واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه؛ ب) قرارگیری گدازه‌های آندزیتی روی رسوبات مارنی؛ پ) برونزد آگلومراها در ترانشه رودخانه‌ای؛ ت) قطعه فرسایش یافته برش آتشفشانی در رسوبات آواری پایین دست منطقه؛ ث) بافت منطقه‌بندی نوسانی در زمینه سنگ (PPL)؛ ج) بافت غربالی در پلاژیوکلاز و جانشینی آمفیبول توسط اکسیدهای منگنز (PPL)؛ چ) ماکل کارلسباد در بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از اکسیدهای آهن- منگنز (PPL)؛ ح) بلورهای اکسی هورنبلند در کنار پلاژیوکلازهای جانشین شده با اکسیدهای منگنز (Pl = پلاژیوکلاز، Amp = آمفیبول. علائم اختصاری کانی‌ها از (Whitney and Evans, 2010).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب خاکی گدازه‌های آتشفشانی آندزیتی رشته کوه قزل‌داش‌داغی (A: آندزیت)

Sample	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
SiO ₂	۶۲/۴۳	۶۲/۱۷	۶۱/۳۱	۶۲/۴۹	۵۸/۹۴	۶۱/۳۷	۶۱/۹۵
Al ₂ O ₃	۱۷/۹۵	۱۴/۵۴	۱۶/۸۶	۱۵/۸۹	۱۴/۸۱	۱۲/۸۲	۱۵/۸۱
CaO	۴/۸۴	۶/۶۴	۴/۸۷	۶/۲۷	۷/۸۷	۶/۵	۵/۴
Fe ₂ O ₃	۵/۵۴	۴/۷۳	۷/۹۴	۶/۳۳	۷/۱۹	۶/۰۳	۵/۲۳
FeO	۴/۹۸	۴/۲۵	۷/۱۴	۵/۶۹	۶/۴۷	۵/۴۲	۴/۷
K ₂ O	۱/۴۹	۱/۳۶	۱/۱۸	۱/۳۶	۱/۰۸	۱/۸۵	۱/۴۵

ادامه جدول ۱-

Sample	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
MgO	۰/۲۹	۱/۲۹	۰/۵۵	۰/۸۹	۱/۶۴	۱/۹۴	۰/۹۴
MnO	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۰۴
Na ₂ O	۴/۱۶	۲/۶۵	۲/۸۶	۳/۲۲	۳/۱۲	۲/۸۲	۲/۹۶
P ₂ O ₅	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۲
TiO ₂	۰/۵۲	۰/۵	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۷۱	۰/۴۲	۰/۵
LOI	۱/۶۹	۵/۳۹	۳/۱	۲/۲۶	۳/۹	۵/۴۶	۴/۸۹
Total	۹۹/۲۳	۹۹/۵۹	۹۹/۴۲	۹۹/۴۳	۹۹/۸۴	۹۹/۵۸	۹۹/۵۳
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ba	۴۹۲	۲۲۶	۱۹۹	۴۵۰	۱۵۶	۲۳۵	۲۶۶
Co	۸	۱۱	۳	۱۰	۱۳	۲	۹
Cr	۶۸	۷۴	۶۷	۶۰	۳۳	۲۰	۹۰
Cu	۱۲	۲۲	۱۸	۲	۳۹	۳	۱۱
Ga	۲۰	۱۶	۲۴	۲۹	۳۴	۲۰	۱۸
Hf	۲۴	۲۰	۲۶	۲۸	۳۰	۲۵	۲۴
Mo	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Nb	۲	۱	۷	۴	۹	۷	۱۷
Ni	۲۰	۱۷	۲۲	۲۳	۲۲	۱۷	۱۷
Pb	۲۳	۳۷	۳۰	۱۹	۲۵	۴۴	۴۴
Rb	۹	۷	۲	۲۴	۱۱	۳۳	۵
Sr	۵۶۶	۴۱۸	۴۴۰	۶۱۳	۵۸۳	۵۸۴	۶۴۷
Ta	۱/۱	۱/۲	۱/۲	۰/۹	۱/۱	۰/۵	۱
Th	۲	۲	۲	۶	۲	۴	۱
U	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
V	۱۲۱	۱۳۲	۱۴۳	۱۲۸	۱۶۴	۱۲۳	۱۰۴
W	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Y	۳۱	۳۱	۳۱	۲۴	۳۰	۲۹	۳۱
Zr	۱۴۸	۱۱۸	۱۳۱	۱۵۹	۱۳۵	۱۴۷	۱۳۸
Zn	۳۶	۷۰	۷۰	۵۳	۵۰	۶۷	۳۳

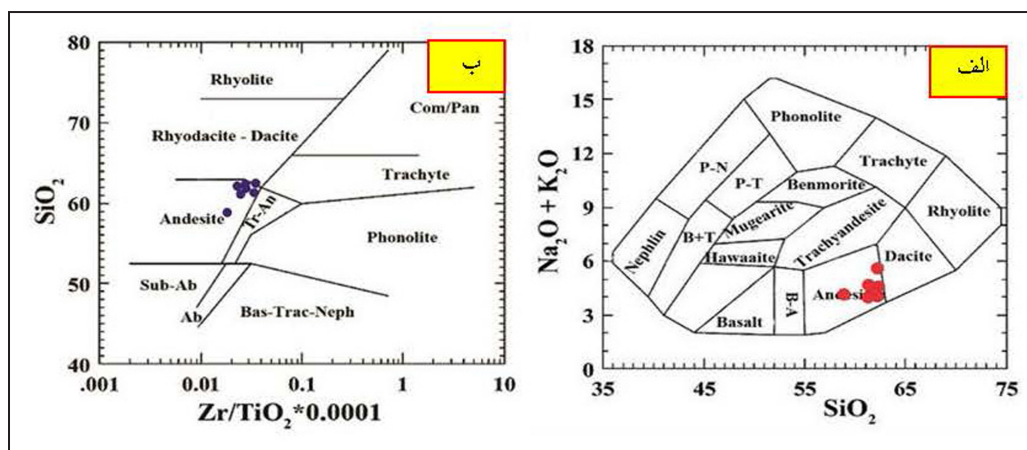
ادامه جدول ۱-

Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	(La/Yb) _N	Eu/Eu*
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A1	۷/۲۱	۱۵/۴۴	۱/۸۸	۶/۳۱	۰/۸۷	۳/۰۴	۱/۰۲	۰/۲۳	۱/۹۲	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۱۳	۱۴/۷۳	۰/۶۸
A2	۴/۹۸	۱۰/۱	۱/۱۱	۵/۳۶	۰/۳۲	۴/۴۷	۰/۶۷	۰/۲۱	۲/۳۵	۰/۳۵	۱/۳۲	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۰۴	۶/۴۶	۰/۹۷
A3	۴/۹۷	۷/۹۵	۰/۹۱	۴/۴۸	۰/۴۶	۳/۷۶	۰/۸۲	۰/۱۵	۱/۰۲	۰/۲	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۰۲	۱۵/۹۶	۰/۶۲
A4	۴/۲۶	۹/۱۵	۰/۸۳	۶/۴	۰/۱۹	۵/۲۹	۱/۱۲	۰/۲۵	۱/۴۸	۰/۱۶	۰/۵۶	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۴	۸/۹۸	۰/۸۲
A5	۷/۸۱	۱۶/۲۲	۱/۸۷	۱۰/۳	۲/۵۳	۷/۰۹	۱/۶۵	۰/۴۳	۱/۸۳	۰/۳۳	۱/۰۶	۰/۱۴	۰/۶۹	۰/۰۳	۷/۶۳	۰/۳۳
A6	۳/۸۲	۹/۰۳	۰/۹۷	۶/۲۹	۰/۱۳	۵/۳۱	۱/۳۳	۰/۰۲	۱/۳۶	۰/۲۴	۱/۰۹	۰/۰۶	۰/۸۵	۰/۰۹	۳/۰۳	۰/۹۷
A7	۴/۶	۸/۴۹	۱/۴۱	۴/۵۵	۰/۱۹	۳/۲۶	۰/۹۵	۰/۱۵	۱/۲۸	۰/۲۲	۰/۸۶	۰/۱۲	۰/۶۷	۰/۰۶	۴/۶۳	۰/۹۲

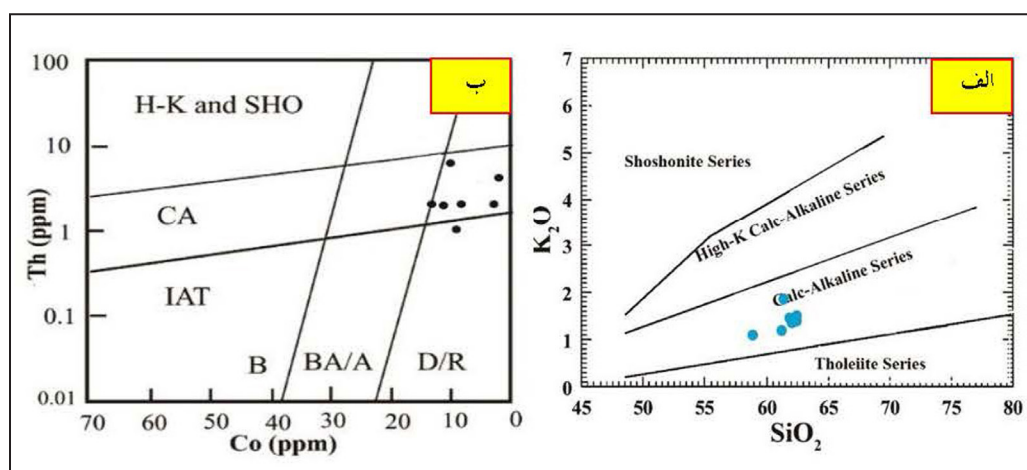
۵- ژئوشیمی

داده‌های شیمیایی ۷ نمونه از گدازه‌های رشته کوه قزل‌داش‌داغی در جدول ۱ فهرست شده است. مشخصه این گدازه‌ها مقادیر متوسط SiO_2 ۶۲/۴۹-۵۸/۶۴ درصد وزنی، Al_2O_3 زیاد (۱۷/۹۵-۱۲/۸۲ درصد وزنی) و MgO ، TiO_2 و P_2O_5 اندک هستند. مقادیر Na_2O بین ۲/۶۵-۴/۱۶ درصد وزنی بوده و نسبت‌های $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ بین ۰/۳۴-۰/۶۵ متغیر است. غلظت Sr در حد ۴۱۸ تا ۶۴۷ پی‌پی‌ام است، در صورتی که غلظت عناصری مثل Ba، Rb و Cs بسیار کمتر از مقادیر این عناصر در آندزیت‌های پوسته‌ای حواشی فعال قاره‌ای هستند (Willson, 2007) (جدول ۱). غلظت عناصر HFSE گدازه‌های قزل‌داش‌داغی مثل Ni، Cr و HREE (مثلاً Y و Yb) بسیار کم هستند (جدول ۱). برای نام‌گذاری این سنگ‌ها از نمودارهای Cox et al. (1979) و Winchester and Floyd (1977) استفاده شد. نمونه‌ها در

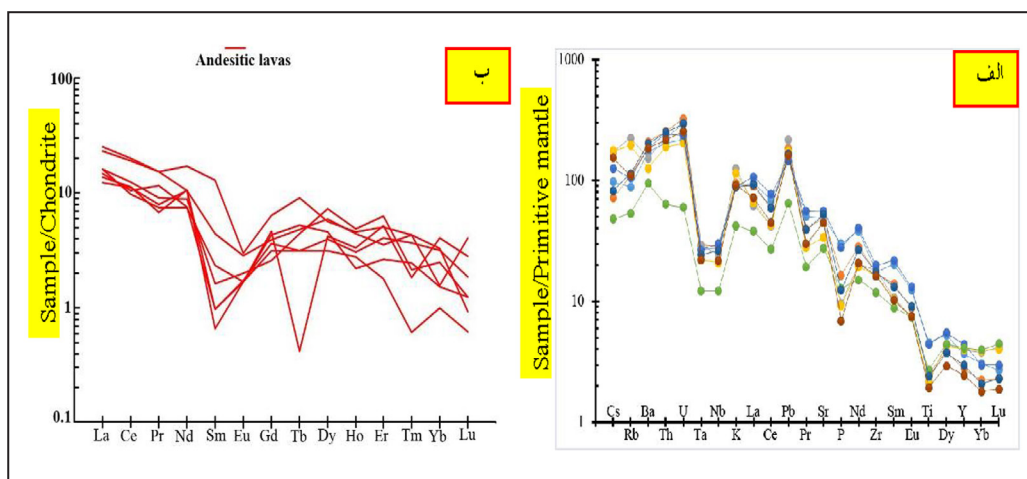
محدوده آندزیت پلات می‌شوند (شکل ۳- الف و ب) و آنها به ترتیب در نمودار آلکالی- سیلیس (Peccerillo and Taylor, 1976) و نمودار Th در مقابل Co (Hasti et al. (2007) گرایش کالک‌آلکان نشان می‌دهند (شکل ۴- الف و ب). نسبت‌های $(\text{La}/\text{Yb})_N$ و Sr/Yb گستره‌های وسیعی به ترتیب از ۳/۳-۱۵/۹۶ و ۶۸۷/۰۶-۲۰۹۵/۲۴ نشان می‌دهند. در نمودارهای $\text{Sr}/\text{Y}-\text{Y}$ و $(\text{La}/\text{Yb})_N-(\text{Yb})_N$ (شکل ۵- الف و ب)، نمونه‌ها در بخش آداکیت رسم می‌شوند. الگوهای بهنجار شده به کندریت و گوشته اولیه (هنجارسازی برطبق Sun and McDonough, 1989) (شکل ۶- الف و ب) غنی‌شدگی LREE و تهی‌شدگی HREE را نشان می‌دهد، آن‌گونه که در شیب منفی از La تا Eu و در روند افقی HREE نشان داده شده است.



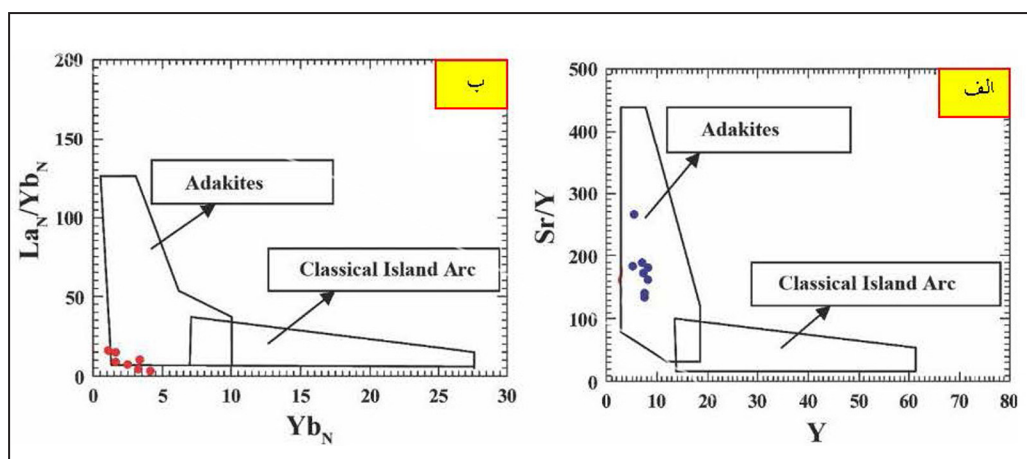
شکل ۳- الف) نمودار SiO_2 در برابر $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (Cox et al., 1979)؛ ب) نمودار Zr/TiO_2 در برابر SiO_2 (Winchester and Floyd, 1977). نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در بخش آندزیت قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- الف) نمودار K_2O در برابر SiO_2 نمونه‌های در محدوده کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند (Peccerillo and Taylor, 1976)؛ ب) نمودار Th در برابر Co (Hasti et al, 2007) نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در بخش کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند.



شکل ۵- نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی و کمیاب خاکی. (الف) نمونه‌های مورد مطالعه (احمدزاده، ۱۳۸۹) به گوشته اولیه بهنجار شده‌اند (Sun and McDonough, 1989) و (ب) نمونه‌ها به کندریت بهنجار شده‌اند (Sun and McDonough, 1989).



شکل ۶- نمودارهای متمایز کننده سنگ‌های کالک‌آلکان عادی از آداکیت‌ها برای گدازه‌های آندزیتی قزل‌داش‌داغی. (الف) نمودار Sr/Y در مقابل Y (Drummond and Defant, 1990)؛ (ب) La_N/Yb_N در مقابل Yb_N (Reich et al., 2003).

۶- بحث

۶-۱. سنگ‌زایی گدازه‌های آندزیتی

سنگ‌های آندزیتی منطقه مورد مطالعه دارای نسبت‌های Sr/Y زیاد (بطور میانگین = ۱۸/۸۵)، Y پایین (۳۱-۲۴ پی‌پی‌ام) و مقادیر La/Yb بالا (بطور میانگین = ۶۵/۱۱ پی‌پی‌ام، بطور میانگین شکل ۶- الف و ب؛ جدول ۲).

سنگ‌های آندزیتی منطقه مورد مطالعه دارای نسبت‌های Sr/Y زیاد (بطور میانگین = ۱۸/۸۵)، Y پایین (۳۱-۲۴ پی‌پی‌ام) و مقادیر La/Yb بالا (بطور میانگین = ۶۵/۱۱ پی‌پی‌ام، بطور میانگین شکل ۶- الف و ب؛ جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه داده‌های ژئوشیمیایی بین سنگ‌های مورد مطالعه و آداکیت‌ها (Castillo, 2012).

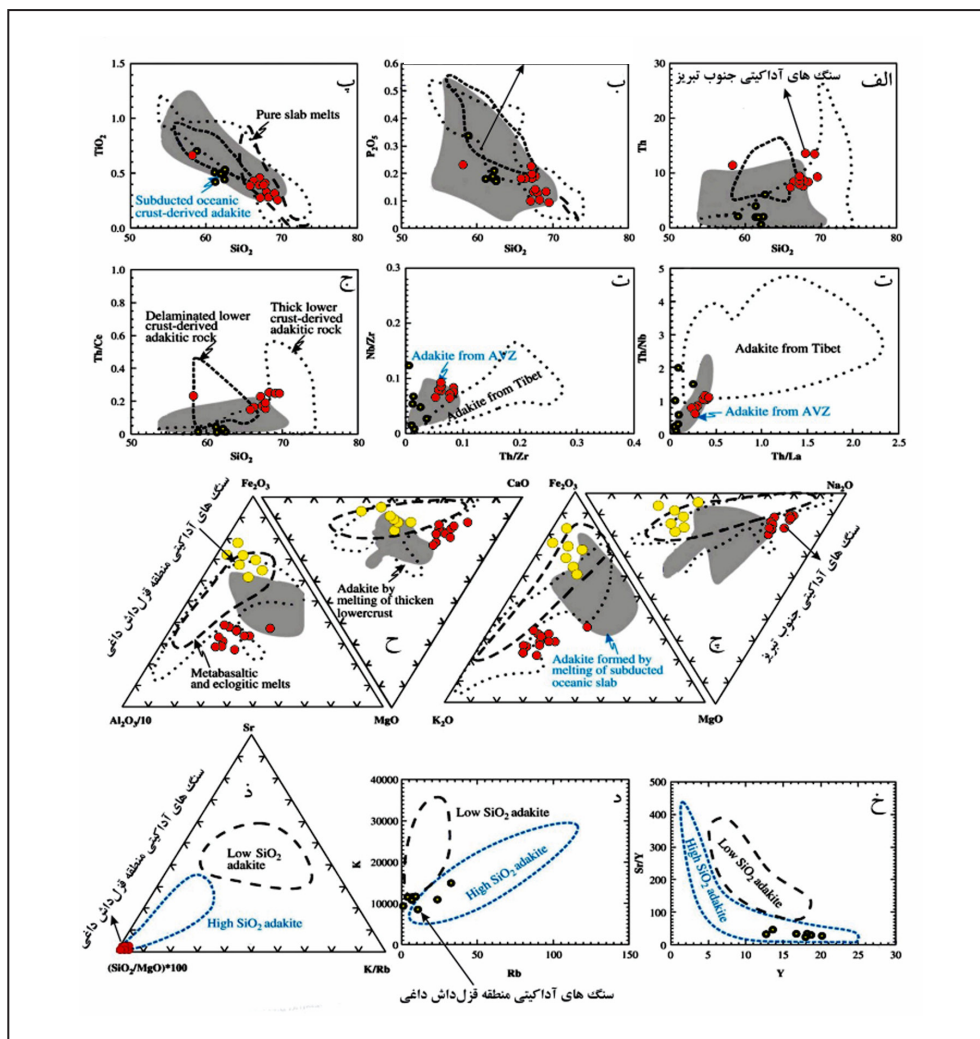
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Sr	Y	Yb	Sr/Y	La/Yb
Castillo (2012)	>۵۶ wt.٪	>۳ wt.٪	>۳ wt.٪	>۳۰۰ ppm	<۱۰ ppm	<۱ ppm	>۲۰ ppm	>۲۰ ppm
Study area	۶۴/۹۳-۴۶/۶۸	۱۹/۹۷-۱۲/۸۲	۴/۵۲-۲/۲۱	۱۱۶۷-۴۱۸	۳۱-۱۳	۵/۰-۱/۲۴	۶۴/۸۳-۱۳/۴۸	۱۷۴/۲۹-۲۲/۳۹

تفریقی (AFC) ماگماهای بازالتی والد (Macpherson et al., 2006)؛ (۳) ذوب بخشی سنگ‌های مافیک در بخش زیرین پوسته ستر شده (Xu et al., 2002)؛ (۴) ذوب بخشی لیتوسفر متوقف شده (یا ساکن) در گوشته (Zhao and Zhou, 2008)؛ (۵) ذوب بخشی پوسته زیرین دلامینه شده (Mungall, 2002; Qu et al., 2004)؛

سنگ‌زایی آداکیت‌ها هنوز مورد بحث است. مکانیسم‌های سنگ‌زایی متفاوتی برای منشأ آداکیت‌ها مطرح شده است که شامل: (۱) ذوب بخشی لیتوسفر اقیانوسی فرورانده شده (Drummond and Defant, 1990)؛ (۲) هضم پوسته‌ای و فرایند تبلور (Wang et al., 2007; Zhao and Zhou, 2008)؛

(Wang et al., 2005)، مقدار نسبت‌های Th/La ($0.41-0.22$) و Th/Zr ($0.04-0.11$) سنگ‌های آندزیتی قزل‌داش‌داغی کمتر است. با این حال، مقادیر این نسبت‌های فوق‌الذکر قابل مقایسه با نسبت‌های سنگ‌های آداکیتی زون آتشفشانی آسترال آند ($0.43-0.11$) Th/La و ($0.1-0.01$) Th/Zr هستند که تصور شده نتیجه ذوب بخشی لیتوسفر اقیانوسی فرورانده شده هستند (Stern and Kilian, 1996؛ شکل ۷-ث و ج). ترکیب عناصر اصلی (جدول ۳) نیز مؤید منشأ لیتوسفر اقیانوسی فرورانده شده برای سنگ‌های آندزیتی این مطالعه است (شکل ۷-ج و ح).

(Gao et al., 2004, 2007). آداکیت‌های با منشاهای گفته شده در بالا ویژگی‌های ژئوشیمیایی مختلفی مثل مقادیر P_2O_5 ، TiO_2 و Th و نسبت‌های Th/Ce ، Th/Zr ، Th/La متفاوتی نشان می‌دهند. سنگ‌های آندزیتی منطقه مورد مطالعه TiO_2 ($0.71-0.04$) درصد وزنی، P_2O_5 ($0.18-0.34$) درصد وزنی، مقادیر Th ($21.6-5.39$) درصد وزنی و نسبت‌های Th/Ce ($0.06-0.64$) پی‌پی‌ام قابل مقایسه با آداکیت‌های حاصل از لیتوسفر اقیانوسی فرورانده شده دارند (شکل ۷-الف-ت). الگوهای عناصر جزئی و REE نمونه‌های آنالیز شده در (شکل‌های ۵-الف و ب) ارائه شده است. علاوه بر این، در قیاس با آداکیت‌های تبت با منشأ پوسته دلامینه شده زیرین



شکل ۷- بر طبق نمودارهای ژئوشیمیایی گدازه‌های آندزیتی قزل‌داش‌داغی قابل مقایسه با آداکیت‌های حاصل از ذوب لیتوسفر اقیانوسی فرورانده شده هستند (الف-ج و ج-ح). داده‌های ژئوشیمیایی آداکیت‌های حاصل از لیتوسفر اقیانوسی فرورانده از (Defant and Drummond (1990؛ Wang et al. (2006)؛ Xu et al. (2002) و Drummond et al. (1996)؛ Stern and Kilian (1996)؛ Aguilón-Robles et al. (2001) and references therein آداکیتی حاصل از پوسته زیرین دلامینه شده از (Wang et al. (2006)؛ Kepezhinskis et al. (1995) و (Sorensen and Grossman (1989؛ Chung et al. (2003)؛ Hou et al. (2004)؛ Wang et al. (2005). سنگ‌های آداکیتی زون آتشفشانی آسترال آند (AVZ) از (Stern and Kilian (1996؛ خ-ذ) داده‌ها برای آداکیت‌های SiO_2 زیاد و کم از (Martin et al. (2005).

جدول ۳- مقایسه عناصر اصلی سنگ‌های مورد مطالعه و آداکیت‌های حاصل از لیتوسفر اقیانوسی.

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Austral volcanic zone (Stern and Kilian, 1996)	۱۶/۰۹-۱۸/۲۵	۳/۱-۴/۹۱	۱/۴۸-۲/۹۱	۳/۷۷-۵/۸۱	۳/۰۶-۴/۷۱	۰/۷۹-۲/۲
Central Mindano (Sajona et al., 2000b)	۱۴/۵۰-۱۶/۸۵	۴/۱۶-۹/۷۲	۰/۶۳-۹/۰	۳/۰۷-۹/۲۰	۲/۹۰-۴/۸۸	۰/۶۶-۴/۳۲
Gezel dash daghi (study area)	۱۲/۸۲-۱۷/۵۹	۴/۷۳-۷/۹۴	۰/۲۹-۱/۹۴	۴/۸۴-۷/۸۷	۲/۶۵-۴/۱۶	۱/۰۸-۱/۸۵

فرورونده با غنی‌شدگی عناصر کمیاب است. در نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb (شکل ۱۰؛ Helvacı et al., 2009) تفسیر بالا مورد تأیید قرار می‌گیرد. این تغییرات در این نمودار بیانگر تغییرات منشأ از جمله غنی‌شدگی، هضم و تفریق بلوری است. با توجه به این نمودار مقادیر نمونه‌های گدازه‌های آندزیتی به سمت مقادیر Th/Yb زیادتر جابه‌جا شده است.

۶-۲. موقعیت تکتونیکی و ارائه مدلی ژئودینامیکی برای زایش این سنگ‌های آتشفشانی

آندزیت‌ها در موقعیت‌های تکتونیکی مختلفی یافت می‌شوند اما رخداد این سنگ‌ها در مناطق کمان جزیره‌ای و حواشی فعال قاره‌ای مرتبط با فرورانش زیاد بوده و ترکیب گدازه‌ها معمولاً به فرایندهای درونی مرزهای همگرا وابسته است (Gill, 2010). گدازه‌های آتشفشانی قزل‌داش‌داغی در نمودارهای متمایزکننده 100 Th/Zr در مقابل 100 Nb/Zr (Pearce, 1983) در موقعیت فرورانش رسم می‌شوند (شکل ۹). افزون بر این، در نمودارهای طبقه‌بندی تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی (Schandl and Gorton, 2002) همه نمونه‌ها در بخش حاشیه فعال قاره‌ای رسم می‌شوند (شکل ۱۰).

ویژگی‌های ژئوشیمیایی گدازه‌های آتشفشانی قزل‌داش‌داغی مثل غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها و همچنین غنی‌شدن عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILEs) و بی‌هنجاری‌های منفی Ti، Nb و P در روند تغییرات این عناصر در نمودار عنکبوتی نشانگر مناطق فرورانشی بوده (Nicholson et al., 2004) و ماگمای تشکیل دهنده آنها گوشه لیتوسفری غنی شده است (Helvacı et al., 2009).

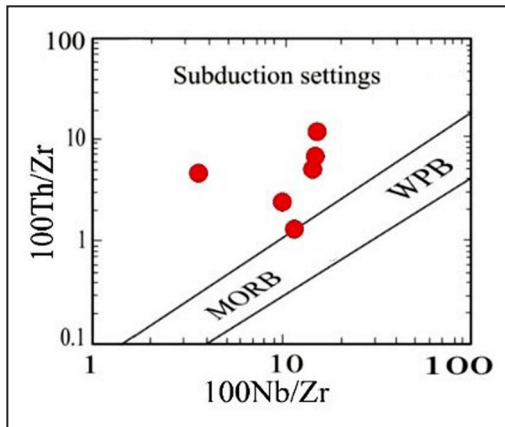
با توجه به مطالعه انجام شده توسط Lechmann et al. (2018) سنگ‌های آتشفشانی آداکیتی میوسن میانی - کواترنری با Cr، Mg# و Ni زیاد به منشأ گوشته‌ای اشاره دارند و مرتبط با فرورانش ثنوتیس نیستند (e.g. Horton et al., 2008). این محققین منشأ این آداکیت‌ها را به رخداد پیشین ماگمایی (احتمالاً ماگماتیسیم انوسن - الیگوسن مرتبط با فرورانش) یعنی دلاینه شدن کومولاهای پرفشار مافیک (اکلوژیستی یا گارنت - کلینوپیروکسن - هورنبلند) نسبت داده‌اند. این ذوب نتیجه فرورفتن و گرم شدن این سنگ‌های مافیک دلاینه شده در مرز لیتوسفر - آستنوسفر است. آذربایجان در شمال باختر ایران ستری لیتوسفری تقریباً ۱۰۰ کیلومتری (۳۸/۵ - ۴۸ کیلومتر، Taghizadeh-Farahmand et al., 2010) و گوشه داغ دارد. مطالعاتی که محققین قبلی در خصوص آداکیت‌های داسیتی در شمال باختر ایران انجام داده‌اند منشأ این آداکیت‌ها را به ذوب بخشی صفحه جدا شده نسبت داده‌اند (Jahangiri, 2007; Omrani et al., 2008). همچنین مطالعات Lechmann et al., (2018) و Pang et al. (2016) به ترتیب در شمال باختر ایران و کمان ماگمایی ارومیه - دختر مرکزی به‌طور قانع‌کننده نشان داده منشأ این آداکیت‌ها نه ذوب بخشی صفحه جدا شده بلکه سنگ‌های پوسته زیرین هستند که با مطالعه حال حاضر گدازه‌های آندزیتی قزل‌داش‌داغی با توجه به مطالب فوق و نمودارهای رسم شده همخوانی ندارد (شکل ۱۱).

بر طبق (Martin et al., 2005)، آداکیت به دو زیرگروه پرسیلیس و کم سیلیس تقسیم شده است. آداکیت پرسیلیس نسبت‌های SiO₂/MgO بالاتری دارند و نشانگر همکنش مذاب‌های لیتوسفر اقیانوسی با پریدوتیت به میزان متغیر است، در حالی که آداکیت کم سیلیس نسبت‌های SiO₂/MgO کمتری دارد و منطبق با مذاب‌های پریدوتیتی متاسوماتیزه شده با مذاب‌های فلیسیک لیتوسفر اقیانوسی است. سنگ‌های آندزیتی این مطالعه متعلق به گروه اول است (شکل ۷-خ-ذ) و تفسیر درست احتمالاً اینگونه است که مذاب‌های لیتوسفر اقیانوسی با پریدوتیت به میزان متغیر همکنش داشته‌اند.

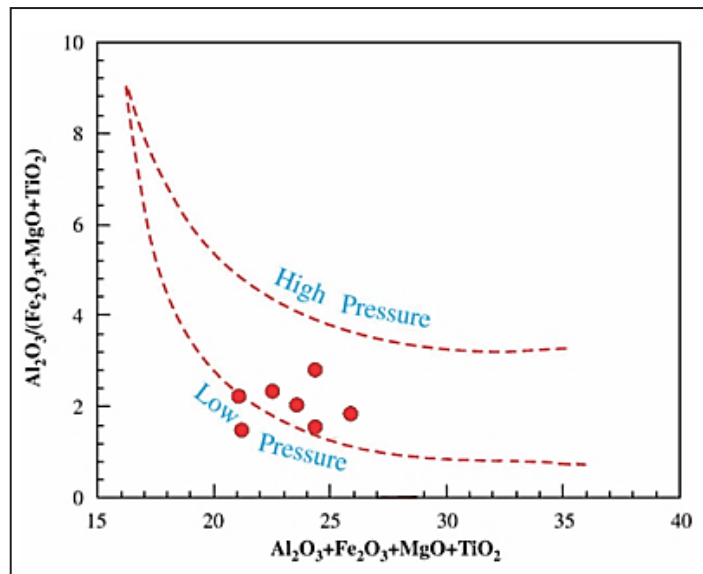
نسبت‌های بالای Mg#، Na₂O/K₂O و Sr/Y نشانگر ویژگی‌های آداکیتی برای ماگماتیسیم مرتبط با پهنه فرورانش است. مقدار Mg# گدازه‌های قزل‌داش‌داغی در حدود ۵/۵ تا ۲۶/۳۵ است. آندزیت‌های با عدد منیزیم بالا (Mg#) در حواشی فعال قاره‌ای در نتیجه ذوب بخشی رسوبات فرورانده شده و متاسوماتیسیم گوشته به وجود می‌آیند (Castro et al., 2013). با توجه به مطالعات تجربی انجام شده Mg# شاخص مفیدی در متمایز کردن مذاب‌های حاصل از پوسته و گوشته است. در مقایسه با مذاب‌های منشأ گرفته از گوشته (Mg# > ۴۰)، مذاب‌های پوسته پایینی با Mg# < ۴۰ مشخص می‌شوند (Geng et al., 2009). مطالعات انجام شده توسط Lechmann et al. (2018) در خصوص سنگ‌های آتشفشانی میوسن میانی - کواترنری و Pang et al. (2016) کمان ماگمایی ارومیه - دختر مرکزی منشأ آداکیت‌ها را ذوب بخشی سنگ‌های پوسته زیرین مشخص کرده است.

نمودار Al₂O₃/(Fe₂O₃+MgO+TiO₂) در برابر Al₂O₃+Fe₂O₃+MgO+TiO₂ (Geng et al., 2009) نشان می‌دهد که مذاب‌های تشکیل شده در شرایط فشار بالا دارای نسبت‌های بالاتر Al₂O₃/(Fe₂O₃+MgO+TiO₂) هستند؛ در حالی که مذاب‌های ناشی از برهمکنش گوشته - لیتوسفر در بین منحنی‌های فشار بالا و پایین جای می‌گیرند (Geng et al., 2009). نمونه‌های قزل‌داش‌داغی در محدوده میان منحنی‌های فشار بالا و فشار پایین جای می‌گیرند (شکل ۸) که نشان از برهمکنش گوشته - لیتوسفر موقع تشکیل آنها دارد.

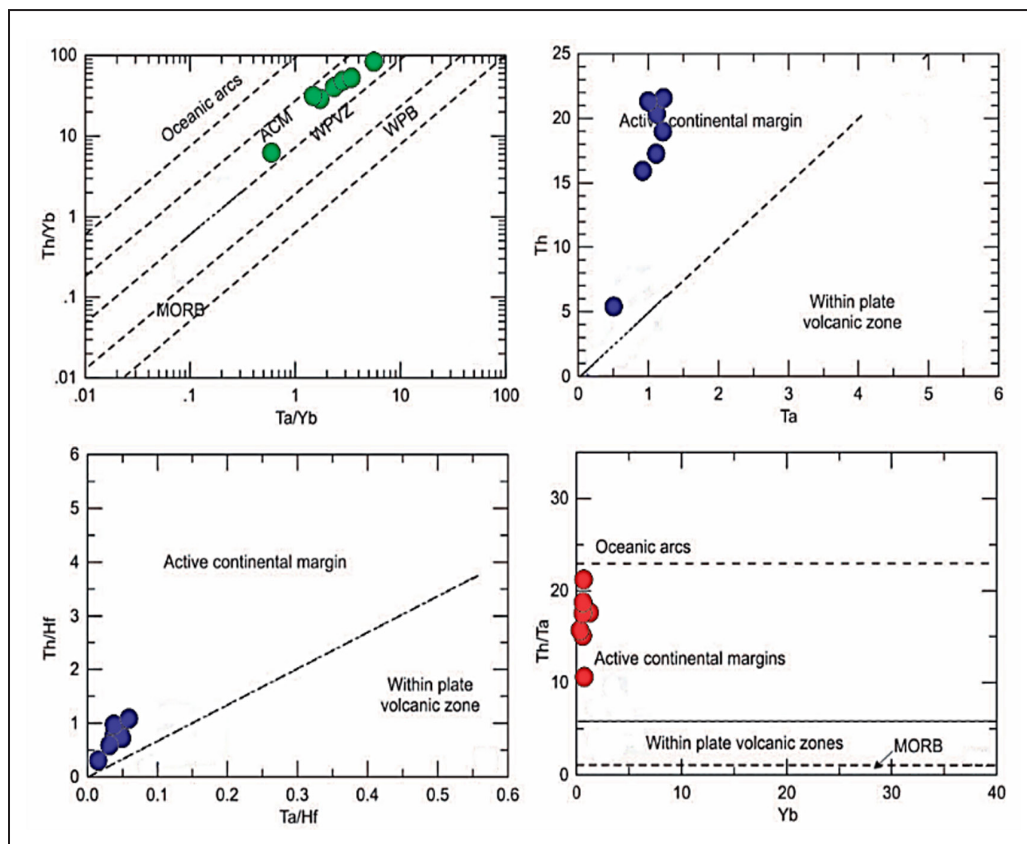
نسبت Sr/Y بیشتر توسط فراوانی نسبی گارنت، آمفیبول و پلاژیوکلاز در مذاب باقیمانده کنترل می‌شود؛ یعنی میزان بالای گارنت و مقادیر اندک آمفیبول و پلاژیوکلاز در مذاب باقیمانده موجب می‌شود نسبت Sr/Y در مذاب بالا باشد (Geng et al., 2009). گدازه‌های آندزیتی مورد مطالعه دارای نسبت Sr/Y نسبتاً بالا (به طور میانگین ۱۸/۸۵) بوده که بیانگر حضور پلاژیوکلاز در نمونه‌ها است. این امر بی‌هنجاری مثبت Eu و بی‌هنجاری مثبت Sr گدازه‌های قزل‌داش‌داغی را توضیح می‌دهد (شکل ۵-الف و ب). مقدار کل عناصر نادر خاکی در گدازه‌های منطقه قزل‌داش‌داغی ۱۱۰/۶۵ تا ۲۲۶/۵۲ پی‌پی‌ام بوده و الگوی تقریباً یکنواخت با غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE (La/Yb)_N = ۳/۳-۱۵/۹۶ و (Ce/Yb)_N = ۲/۷۵-۱۲/۱۰۰، طرح نسبتاً تخت عناصر نادر خاکی سنگین (Tb/Yb)_N = ۰/۸-۳/۴ و بی‌هنجاری منفی Eu (میانگین ۰/۷۶) دارند. از این رو این گدازه‌ها احتمالاً حاصل ذوب بخشی گوه گوشته‌ای با تأثیر سیالات پوسته



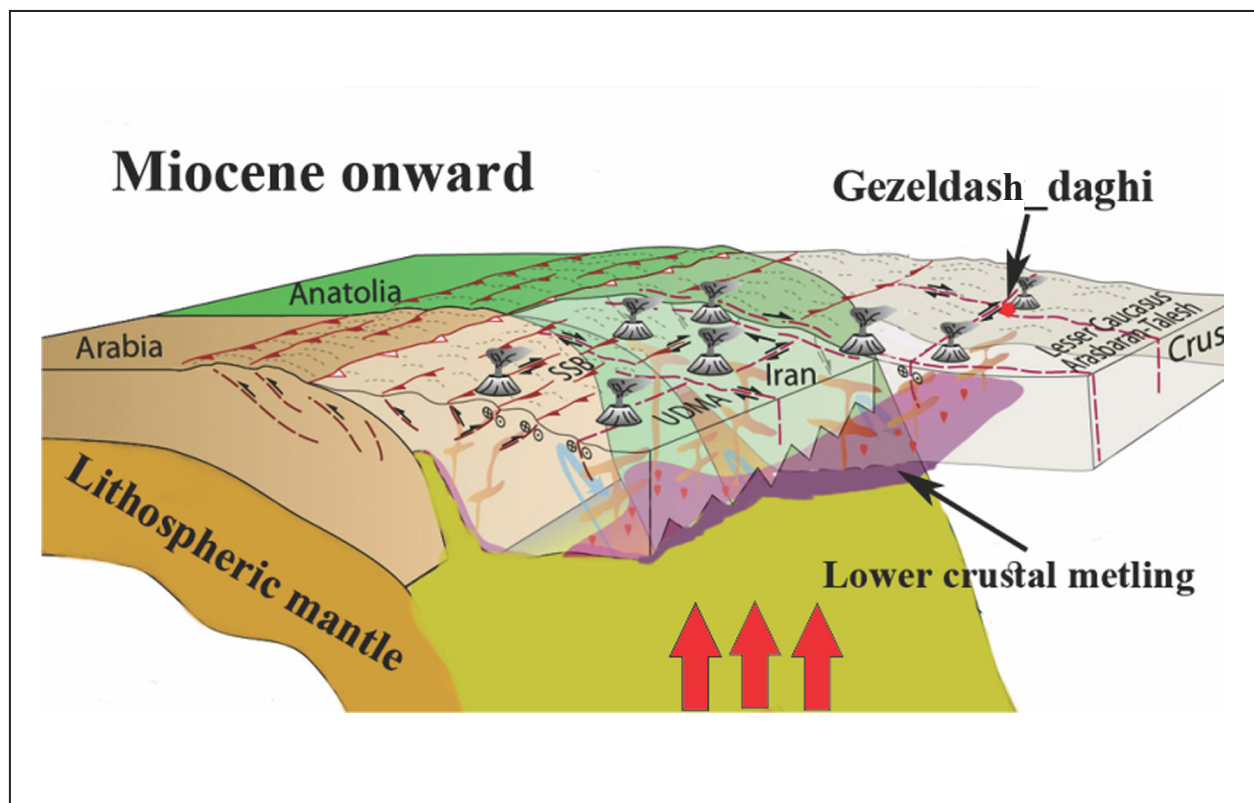
شکل ۹- نمودار متمایزکننده تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه قزل‌داش‌داغی. نمودار متمایزکننده تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه قزل‌داش‌داغی. نمودار 100 Th/Zr در مقابل 100 Nb/Zr با کمی تغییر (Pearce, 1983).



شکل ۸- نمودار عناصر اصلی برای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه. منطقه بین منحنی‌های پرفشار و کم فشار شامل اعماق مختلفی است که همکانش گشته و پوسته رخ می‌دهد (Patino douce, 1999).



شکل ۱۰- موقعیت نقاط داده‌ای سنگ‌های آتشفشانی قزل‌داش‌داغی روی نمودارهای موقعیت تکتونیکی (Schandl and Gorton, 2002).
ACM= حاشیه فعال قاره‌ای، MORB= بازالت پشته میان اقیانوسی، WPB= بازالت درون صفحه‌ای، wpvz= زون آتشفشانی درون صفحه‌ای.



شکل ۱۱- موقعیت گدازه‌های آندزیتی در بازسازی ژئودینامیکی زون تصادمی ترکیه-قفقاز-ایران کمربند تیتان (بر طبق Barrier et al., 2018).

۷- نتیجه‌گیری

- ۱- سنگ‌های آتشفشانی میوسن ناحیه قزل‌داش‌داغی طی میوسن پایانی نفوذ کرده‌اند. آنها بافت پورفیری و میکروپورفیری با درشت بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند نشان می‌دهند.
- ۲- سنگ‌های آتشفشانی میوسن مورد تحقیق در شمال باختر مرند یک سری ماگمایی کالک‌آلکالن هستند.
- ۳- این سنگ‌ها دارای مقادیر زیادی از Sr ، Sr/Y ، SiO_2 ، La/Yb و مقادیر پایینی از Y ، MgO و نسبت به سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکالن معمول هستند. با توجه به نمودار ترسیم شده برای عناصر نادر خاکی و نمودار عنکبوتی از عناصر LREE و LILE غنی‌شدگی و عناصری چون K ، Nb ، Ti و P فقیرشدگی نشان می‌دهند و بی‌هنجاری منفی یورومیم دیده نمی‌شود.
- ۴- با توجه به نمودارهای متمایزکننده سنگ‌های آداکیتی، این سنگ‌های در گستره آداکیتی و از نوع سیلیس بالا هستند. با توجه به مقادیر Y ، SiO_2 ، Sr و REE ها و نمودارها رسم شده برای نمونه‌های آنالیز شده می‌توان سنگ‌های آتشفشانی میوسن

- این منطقه را آداکیتی نام‌گذاری کرد.
- ۵- با استناد به داده‌های ژئوشیمیایی خاستگاه گدازه‌های آندزیتی-داسیتی، ماگمایی با ترکیب گارنت آمفیبولیتی تا اکلوژیتی اما عمدتاً اکلوژیتی به همراه یک فاز تیتانیم‌دار و احتمالاً هورنبلند است.
- ۶- منشأ سنگ‌های آداکیتی قزل‌داش‌داغی را با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و جزئی می‌توان به ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورانده شده نسبت داد.

۷- سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند، از این‌رو نهایت تشکر و قدردانی خود را از مسئولین مربوطه اعلام می‌دارند. همچنین نگارنده از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله نهایت قدردانی را دارد.

کتابنگاری

- احمدزاده، غ.، ۱۳۸۱- بررسی پتروگرافی و پترولوژی ولکانیت‌های شمال غرب مرند (شمال گله‌بان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۱۴ ص.
- احمدزاده، غ.، ۱۳۸۹- مطالعه پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی شمال غرب مرند با نگرشی ویژه به سنگ‌های آلکان منطقه، پایان نامه دکتری، دانشگاه تبریز، ۲۴۷ ص.
- پیرمحمدی علیشاه، ف.، ۱۳۹۴- پتروژنز سنگ‌های آداکیتی پس از تصادم پلیو کوآترنری در جنوب تبریز، پترولوژی، ۲۲، ۷۱-۹۰.
- خان‌چوبان، ا.، ۱۳۸۶- بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی اندیس معدنی قره‌تپه مرند، استان آذربایجان شرقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۸۶ ص.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر دانش امروز، تهران، ۹۰۱ ص.
- عامل، ن.، ۱۳۸۶- بررسی پترولوژی و پتروژنز سنگ‌های ماگمایی پلیو- کوآترنر آذربایجان- شمال غرب ایران، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، ۱۸۲ ص.
- عامل، ن.، ۱۳۷۳- مطالعه پترولوژی سنگ‌های ولکانیک منطقه منور با نگرشی ویژه به پتروژنز نوار ولکانیک شمال غرب ایران، حاشیه گسل تبریز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۶۷ ص.
- عبداللهی، م. و حسینی، م.، ۱۳۷۵- نقشه زمین‌شناسی جلفا ۱/۱۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران.
- گرگری، ف.، پورمعافی، م.، قربانی، م. و میرمحمدی، م.، ۱۳۹۴- بررسی ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی و سنگ‌زایی سنگ‌های آداکیتی جنوب شرق جلفا (شمال غرب ایران)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲، ۲۴۱-۲۵۶.
- مجرد، م.، ۱۳۹۴- ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی بزوداغی ارومیه ماگماتیسیم آداکیتی در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، پترولوژی، ۲۱، ۱۲۱-۱۳۸.
- یداللهی، ر.، کنعانیان، ع.، معانی‌جو، م.، سرجوقیان، ف. و حسن‌پور، ش.، ۱۳۹۰- خاستگاه ماگماتیسیم آداکیتی در منطقه مسجد داغی جلفای آذربایجان شرقی، بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲، ۲۹۷-۳۱۰.

References

- Barrier, E., Vrielynck, B., Brouillet, J. and Brunet, M., 2018- Paleotectonic Reconstruction of the Central Tethyan Realm. Tectonono-Sedimentary-Palinspastic maps from Late Permian to Pliocene. CCGM/CGMW, Paris. CCGM/CGMW Paris: France.
- Berberian, F., Muir, I. D., Pankhurst, R. J. and Berberian, M., 1982- Late Cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran. Journal of Geological Society of London 139, 605–614. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.5.0605>
- Castillo, P. R., 2012- Adakite petrogenesis, Lithos, 134316-304 :135-. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.09.013>.
- Castro, A., Vogt, K. and Gerya, T., 2013- Generation of new continental crust by sublithospheric silicic-magma relamination in arcs: A test of Taylor's andesite model. Gondwana Research, 23: 15541566-. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.07.004>.
- Chiu, H. Y., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S. S., Khatib, M. M. and 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. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.006>.
- Chung, S. L., Liu, D. Y., Ji, J. Q., Chu, M. F., Lee, H. Y., Wen, D. J., Lo, C. H., Lee, T. Y., Qian, Q. and Zhang, Q., 2003-Adakites from continental collision zones: melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. Geology 31: 1021–1024. <https://doi.org/10.1130/G19796.1>.
- Cox, K. G., Bel, G. D. and Pankhurst, R. G., 1979- The interpretation of igneous rocks, George Allen and Unwin, London.
- Defant, M.J., Drummond, M.S., 1990- Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature 347: 662–665. <https://doi.org/10.1038347662/a0>.
- Drummond, M. S. and Defant, M. J., 1990- A model for trondhjemitic-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting - Archean to modern comparisons. Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets 95: 21503–21521. <https://doi.org/10.1029/JB095iB13p21503>.
- Gao, S., Rudnick, R. L., Yuan, H. L., Liu, X. M., Liu, Y. S., Xu, W. L., Ling, W. L., Ayers, J., Wang, X. C. and Wang, Q. H., 2004- Recycling lower continental crust in the North China craton. Nature 432: 892–897. <https://doi.org/10.1038/nature03162>.
- Gao, Y., Hou, Z., Kamber, B. S., Wei, R., Meng, X. and Zhao, R., 2007- Adakite-like porphyries from the southern Tibetan continental collision zones: evidence for slab melt metasomatism. Contributions to Mineralogy and Petrology 153: 105–120. <https://doi.org/10.1007/s00410-9-0137-006>.
- Geng, H., Sun, M., Yuan, C., Xiao, W. J., Xian, W. S., Zhao, G. C., Zhang, L. F., Wong, K. and Wu, F. Y., 2009- Geochemical, Sr–Nd and zircon U–Pb–Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction? Chemical Geology. 266: 364–389. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.07.001>.
- Gill, R., 2010- Igneous rocks and processes, Wiley-Blackwell, Malaysia, 428p.
- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F., 2007- Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. Journal of Petrology, 48: 2341–2357. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm062>.

- Helvacı, C., Ersoy, E. Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö. and Uzel, B., 2009- Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185:181–202. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.05.016>.
- Hou, Z. Q., Gao, Y. F., Qu, X. M., Rui, Z. Y. and Mo, X. X., 2004- Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east – west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters* 220: 139–155. [https://doi.org/10.1016/S0012821-X\(04\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S0012821-X(04)00007-X).
- Jahangiri, A., 2007- Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: Geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 30, 433447-. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2006.11.008>.
- Jamali, H. and Mehrabi, B., 2015- Relationships between arc maturity and Cu–Mo–Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. *Ore Geology Reviews* 65, 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.06.017>.
- Kepezhinskas, P. K., Defant, M. J. and Drummond, M. S., 1995- Na metasomatism in the island arc mantle by slab melt-peridotite interaction: evidence from mantle xenoliths in the north Kamchatka arc. *Journal of Petrology* 36: 1505–1527. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.petrology.a037263>.
- Lechmann, A., Burg, J.-P., Ulmer, P., Guillong, M. and Faridi, M., 2018- Metasomatized mantle as the source of Mid-Miocene-Quaternary volcanism in NW-Iranian Azerbaijan: Geochronological and geochemical evidence. *Lithos* 304328-311 ,307-. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.01.030>.
- Macpherson, C. G., Dreher, S. T. and Thirlwall, M. F., 2006- Adakites without slab melting: high pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. *Earth and Planetary Science Letters* 243: 581–593. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.12.034>.
- Martin, H., Smithies, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F. and Champion, D., 2005- An overview of adakite, tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos* 79: 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.048>.
- Moayyed, M., Moazzen, M., Calagari, A., A., Jahangiri, A. and Modjarrad, M., 2008- Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy peninsula, NW Iran: implications for deep-mantle metasomatism. *Chemie der Erde* 68: 141157-. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2006.04.002>.
- Moradian, A., 1997- Geochemistry, Geochronology and Petrography of Feldspathoid Bearing Rocks in Urumieh-Dokhtar Volcanic Belt, Iran. Unpublished Ph.D thesis, University of Wollongong, Australia, 412pp.
- Mungall, J.E., 2002- Roasting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits. *Geology* 30: 915–918. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.12.009>.
- Neill, I., Meliksetian, K., Allen, M. B., Navasardyan, G. and Kuiper, K., 2015- Petrogenesis of mafic collision zone magmatism: The Armenian sector of the Turkish–Iranian Plateau. *Chemical Geology* 403: 24–41. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.03.013>.
- Nicholson, K. N., Black, P. M., Hoskin, P. W. O. and Smith, I. E. M., 2004- Silicic volcanism and back-arc extension related to migration of the Late Cainozoic Australian- Pacific plate boundary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 131: 295–306. [https://doi.org/10.1016/S03772-00382\(03\)0273-](https://doi.org/10.1016/S03772-00382(03)0273-).
- Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008- Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos* 106, 380398-. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>.
- Pang, K.-N., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M., Li, X.-H., Lee, H.-Y., Lin, T.-H. and Chiu, H.-Y., 2016- New age and geochemical constraints on the origin of Quaternary adakite-like lavas in the Arabia-Eurasia collision zone. *Lithos* 264, 348359-. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.08.042>.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental basalts and mantle xenoliths* (Eds. Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J.). Shiva, Nantwich: 230- 249.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc- alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contribution Mineralogy and Petrology*, 58: 6381-. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>.
- Qu, X. M., Hou, Z. Q. and Li, Y. G., 2004- Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau. *Lithos* 74: 131–148. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.01.003>.
- Reich, M., Parada, M., Palacios, C., Dietrich, A., Schultz, F. and Lehman, B., 2003- Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: metallogenic implications. *Mineral. Deposita*, 38: 876885-. <https://doi.org/10.1007/s001269-0369-003->.
- Schandl, E. S. and Gorton, M. P., 2002- Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology* 97: 629642-. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.3.629>.

- Sengör, A. M. C. and Kidd, W. S. F., 1979- Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics* 55: 361–376. [https://doi.org/10.1016/90184\(79\)1951-0040/](https://doi.org/10.1016/90184(79)1951-0040/).
- Sorensen, S. S. and Grossman, J. N., 1989- Enrichment of trace elements in garnet amphibolites from a paleo-subduction zone: Catalina Schist, southern California. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53: 3155–3177. [https://doi.org/10.10163-90096\(89\)7037-0016/](https://doi.org/10.10163-90096(89)7037-0016/).
- Stern, C. R. and Kilian, R., 1996- Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral volcanic zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123: 263–281. <https://doi.org/10.1007/s004100050155>.
- Sun, S. S. and McDonough, W. S., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications 42: 313- 345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>.
- Taghizadeh-Farahmand, F., Sodoudi, F., Afsari, N. and Ghassemi, M. R., 2010- Lithospheric structure of NW Iran from P and S receiver functions. *Journal of Seismology* 14, 823836-. <https://doi.org/10.1007/s109502-9199-010->.
- Torkian, A., Furman, T., Salehi, N. and Veloski, K., 2018- Petrogenesis of adakites from the Sheyda volcano, NW Iran. *Journal of African Earth Sciences* 150, 194204-. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.11.014>.
- Wang, Q., McDermott, F., Xu, J.F., Bellon, H. and Zhu, Y. T., 2005- Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting. *Geology* 33: 465–468. <https://doi.org/10.1130/G21522.1>.
- Wang, Q., Wyman, D. A., Zhao, Z. H., Xu, J. F., Bai, Z. H., Xiong, X. L., Dai, T. M., Li, C. F. and Chu, Z. Y., 2007- Petrogenesis of Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basalts in the Alatawarea, northern Tianshan Range (western China): implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia orogenic belt. *Chemical Geology* 236: 42–64. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.08.013>.
- Whitney, D. L. and Evans, E. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 95: 185187-. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Wilson, M., 2007- Active continental margins. In: *Igneous Petrogenesis*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9388-0_9388-010-94-978/.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325343-. [https://doi.org/10.10162-90057\(77\)2541-0009/](https://doi.org/10.10162-90057(77)2541-0009/).
- Zhao, J. H. and Zhou, M. F., 2008- Neoproterozoic adakitic plutons in the northern margin of the Yangtze Block, China: partial melting of a thickened lower crust and implications for secular crustal evolution. *Lithos* 104: 231–248. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.12.009>.

Original Research Paper

Geochemistry and tectono-magmatic setting of Gezeldash daghi Miocene andesitic lavas (NW Marand), Eastern Azerbaijan

Ismail Khanchuban^{1*}, Behzad Hajalilo², Mohsen Moayyed³, Mohammad Reza Hosseinzadeh³ and Morovat Faridazad⁴

¹M.Sc., Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, Payam Noor University of Iran, Iran

³Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

⁴Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 May 12

Accepted: 2021 June 27

Available online: 2021 December 22

Keywords:

Adakite

Andesite

Miocene

Marand

ABSTRACT

In the Gezeldash_daghi region, there is a significant outcrop of Miocene volcanic activity with andesitic composition associated with pyroclastic deposits including tuff, breccia and agglomerate. These rocks have porphyry to microporphyry texture with coarse crystals of plagioclase, and matrix includes plagioclase, hornblende and minor biotite. Zoning, sieve texture in the coarse crystals of these lavas is an indicative of unstable conditions during magma ascend. These lavas have calc-alkaline nature. The geochemical characteristics of Gezeldash_daghi lavas such as LREE enrichment than HREE as well as enrichment of LILE elements with negative Nb, Ti and P anomalies indicate their affiliation to subduction setting. These rocks contain high amounts of SiO₂, Sr, Sr/Y and La/Yb, and lower values of Y, MgO, and Yb than classic calc-alkaline volcanic rocks, and may indicate lava adakitic features. Based on the geochemical data, these lavas had formed partial melting of subducted oceanic crust. The depletion of rare earth elements indicates a residue containing garnet and hornblende in the source area.

* Corresponding author: Ismail Khanchuban; E-mail: ismail.tgeology@gmail.com

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2021.236969.1810

 dor: 20.1001.1.10237429.1400.31.4.2.1

