

وجود هورنبلند و بیوتیت اوپاسیتی شده در داسیت و آندزیت‌های مورد مطالعه نقش کاهش ناگهانی فشار را در ایجاد این بافت محتمل تر می‌سازد (شکل ۳).

۵- ژئوشیمی

داده‌های ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی نوژن تل قربان- چاه برشک در جدول ۱ آورده شده‌اند. این سنگ‌ها دارای مقادیر SiO_2 میان ۵۹%-۷۳%، Al_2O_3 بیشتر از ۱۶ درصد وزنی در بیشتر نمونه‌ها به جز دو نمونه L2 و L10 و عدد منیزیمی (#Mg) ۲۲ تا ۴۸ هستند. این سنگ‌ها در نمودار رده‌بندی TAS (Le Bas et al., 1986) در گستره آندزیت و داسیت جای می‌گیرند. نمونه‌ها بیشتر ترکیب داسیتی دارند و درصد نمونه‌های آندزیتی کمتر هستند. بر پایه نمودارهای SiO_2 در برابر $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Irvine & Baragar, 1971) سنگ‌های ساب‌آلکانل جانمایی می‌شوند و در نمودارهای AFM (Irvine & Baragar, 1971) و SiO_2 در برابر K_2O (Le Maitre et al., 2002) ماهیت کالک‌آلکانل با پتاسیم متوسط را نشان می‌دهند. داسیت-آندزیت‌های نوژن مورد مطالعه در نمودار FeO^*/MgO در برابر TiO_2 (Miyashiro, 1974) نیز روند تفریقی سنگ‌های کالک‌آلکانل را دنبال می‌کنند. این سنگ‌ها غنی از Al_2O_3 هستند و در نمودار A/CNK در برابر A/NK (Maniar and Piccoli, 1989) در محدوده سنگ‌های پر آلومینوس جای می‌گیرند (شکل ۴).

بررسی نمودار تغییرات عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های آندزیتی- داسیتی نوژن تل قربان- چاه برشک نشان می‌دهد که با افزایش میزان SiO_2 ، اکسیدهای CaO ، FeO ، MgO و TiO_2 روند کاهشی دارند؛ این روند می‌تواند نتیجه تبلور و جدایش بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند و اکسیدهای آهن و تیتان باشد. اکسیدهای K_2O و Na_2O در این نمودارها توزیع پراکنده‌ای نمایش می‌دهند که نشانه آلیش پوسته‌ای در این سنگ‌هاست. وجود زئولیت‌ها در برخی رخنمون‌های داسیتی بر این موضوع تأکید دارد (شکل ۵).

الگوی چندعنصری داسیت و آندزیت‌های تل قربان- چاه برشک بهنجار شده با گوشته اولیه و MORB نشان می‌دهد این سنگ‌ها از عناصر ناساگار با شعاع یونی بزرگ (LILE) از جمله Ba ، Sr ، Rb غنی‌شدگی و از عناصر با میدان پایداری بالا (HFSE) مانند Ta ، Nb ، Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۶). تهی‌شدگی از عناصر HFS می‌تواند نتیجه باقی ماندن فازهای دیر گداز مانند روتیل، اسفن، آمفیبول پارگازیتی و آپاتیت در سنگ منشأ این سنگ‌ها باشد؛ زیرا این عناصر در این فازها به شدت سازگارند و در هنگام ذوب بخشی به مذاب وارد نمی‌شوند (Pearce, 1983; Seghedi et al., 2004; Wilson, 2007). اگر چه Pearce (1983) بر این باور است که بی‌هنجاری منفی عناصر Ta و Ti در نمودار عنکبوتی می‌تواند در اثر آلودگی توسط پوسته نیز ایجاد شود.

الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت در آندزیت و داسیت‌های نوژن تل قربان- چاه برشک همانند است و شیب نزولی یکسانی در هر دو گروه سنگی دارد. این همانندی نشانه فرایندهای زایشی یکسان این دو گروه سنگی است (شکل ۷). هر دو گروه سنگی از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) غنی شده‌اند و نسبت $(\text{La}/\text{Yb})_n$ در آنها میان ۱۸ تا ۳۵ است. داسیت‌ها در مقایسه با آندزیت‌ها از عناصر HREE تهی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند. الگوی شیب‌دار عناصر خاکی کمیاب در داسیت و آندزیت‌های چاه برشک و مقادیر $\text{Yb} < 1\text{ppm}$ در این سنگ‌ها نشان‌دهنده تشکیل این سنگ‌ها در ژرفای پایداری گارنت و باقی ماندن گارنت در منشأ به وجود آورنده این سنگ‌هاست (Machado et al., 2005). در الگوی عناصر خاکی کمیاب بی‌هنجاری منفی Eu دیده نمی‌شود و نبود این بی‌هنجاری در ارتباط با نبود پلاژیوکلاز در باقیمانده ذوب، جدا نشدن پلاژیوکلازهای کلسیک در طی مراحل تبلور این سنگ‌ها و یا فوگاسیته بالای اکسیژن ($f\text{O}_2$) در هنگام تبلور پلاژیوکلازهاست (Rollinson, 1993).

فعالیت آتشفشانی نوژن تل قربان- چاه برشک در مشاهدات صحرایی به دو صورت گنبدی و جریان گدازه بیرون‌زدگی دارند. ۱۳ گنبد گدازه‌ای با گسترده‌گی‌های گوناگون در یک امتداد خطی از چاه برشک به سوی تل قربان کشیده شده‌اند. این امتداد خطی بیانگر نقش گسل‌ها و شکستگی‌ها در شکل‌گیری این سنگ‌هاست (شکل ۲). گنبد‌های گدازه‌ای بیشتر داسیتی، به رنگ خاکستری روشن با بافت پورفیری و درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت است که می‌توان در نمونه دستی آنها را دید. در گنبد‌ها آکلاوهای به رنگ تیره‌تر و گرد شده متشکل از بلورهای آمفیبول و پلاژیوکلاز هم‌منشأ با گنبد دیده می‌شوند. در مواردی نیز زئولیت‌هایی از جنس آندزیت یا سنگ‌های آتشفشانی پیش از نوژن در این گنبد‌ها به چشم می‌خورد. در برخی رخنمون‌های از این نوع از جمله در تل قربان شدت دگرسانی بالاست. انواع جریان‌ی در مقایسه با انواع گنبدی، دارای ارتفاع کمتر و به رنگ خاکستری تا خاکستری تیره هستند، درصد درشت‌بلورهای آنها کمتر است، بیشتر ترکیب آندزیتی دارند و انواع آفانتیک نیز در آنها دیده می‌شود. این سنگ‌ها گاه با واحدهای آذرآواری همراه رخنمون دارند.

۳- روش مطالعه

به منظور مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های داسیتی- آندزیتی تل قربان- چاه برشک، پس از مطالعات صحرایی و تعیین روابط صحرایی سنگ‌ها، ۷۰ نمونه نازک برای مطالعات سنگ‌شناختی تهیه شد. در ادامه ۲۵ نمونه با کمترین دگرسانی انتخاب و در آزمایشگاه‌های دانشگاه پتسدام آلمان پس از آماده‌سازی، تجزیه شیمیایی شد. عناصر اصلی و برخی از عناصر کمیاب به روش XRF و دیگر عناصر فرعی و کمیاب به روش ICP-MS تجزیه شده‌اند. آنچه در این مقاله به نگارش در آمده، نتیجه به کارگیری و تفسیر داده‌های یاد شده است.

۴- سنگ‌نگاری

سنگ‌های آتشفشانی نوژن تل قربان- چاه برشک را در مشاهدات صحرایی می‌توان به دو گروه پورفیری با ترکیب داسیتی و آفانتیک با ترکیب آندزیتی تقسیم کرد. در مطالعه مقاطع میکروسکوپی این سنگ‌ها نیز ویژگی‌های متمایزی دیده می‌شود. **- داسیت:** این سنگ‌ها به رنگ روشن و با بافت پورفیری تشخیص داده می‌شوند. درصد درشت‌بلور در این سنگ‌ها میان ۴۰ تا ۶۰ درصد حجمی کل سنگ است. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز با ۳۰ تا ۴۰ درصد حجمی فراوان‌ترین درشت‌بلورهای موجود در این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند و ابعاد آنها به ۱۲ میلی‌متر نیز می‌رسد. کانی‌های تیره بیوتیت و هورنبلند با ۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی و درشت‌بلورهای کوارتز با کمتر از ۳ درصد حجمی دیگر درشت‌بلورها را شامل می‌شوند و ابعاد آنها تا ۵ میلی‌متر نیز می‌رسد. زمینه این سنگ‌ها کاملاً بلورین است و از بلورهای ریزتر از جنس درشت‌بلورها تشکیل شده‌اند. در زمینه، فلدسپار پتاسیم نیز دیده می‌شود (شکل ۳).

- آندزیت: این سنگ‌ها با بافت پورفیری و زمینه شیشه‌ای تا نهان‌بلورین تشخیص داده می‌شوند. درصد درشت‌بلورها در این گروه سنگی کمتر از ۲۵ درصد و اندازه آنها کمتر از ۲ میلی‌متر است. کانی‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند مهم‌ترین درشت‌بلورهای سازنده این سنگ‌ها هستند و گاه بلورهای بیوتیت نیز در آنها دیده می‌شود. این سنگ‌ها بدون درشت‌بلورهای کوارتز هستند (شکل ۳).

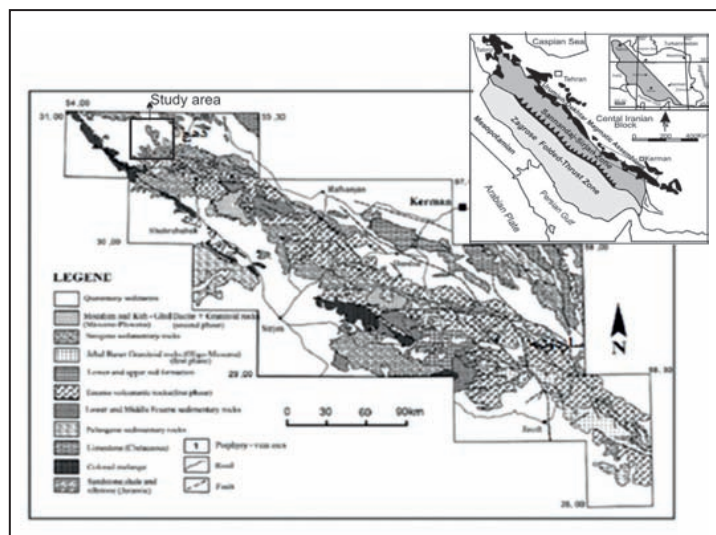
پلاژیوکلازهای موجود در داسیت و آندزیت‌های تل قربان- چاه برشک بافت غربالی و منطبقه‌بندی نوسانی دارند (شکل ۳). بافت غربالی از مهم‌ترین بافت‌های غیر تعادلی در سنگ‌های آتشفشانی مناطق کوهزایی به‌ویژه آندزیت‌ها و داسیت‌ها به شمار می‌آید (Gill, 1985) و در نتیجه آمیختگی ماگمایی و یا تغییر در متغیرهایی مانند فشار کل یا فوگاسیته آب در هنگام تبلور ماگمایی پدید می‌آید (Pearce and Kolishik, 1990; Nelson and Montana, 1992; Shelley, 1993).

۶- بحث و نتیجه گیری

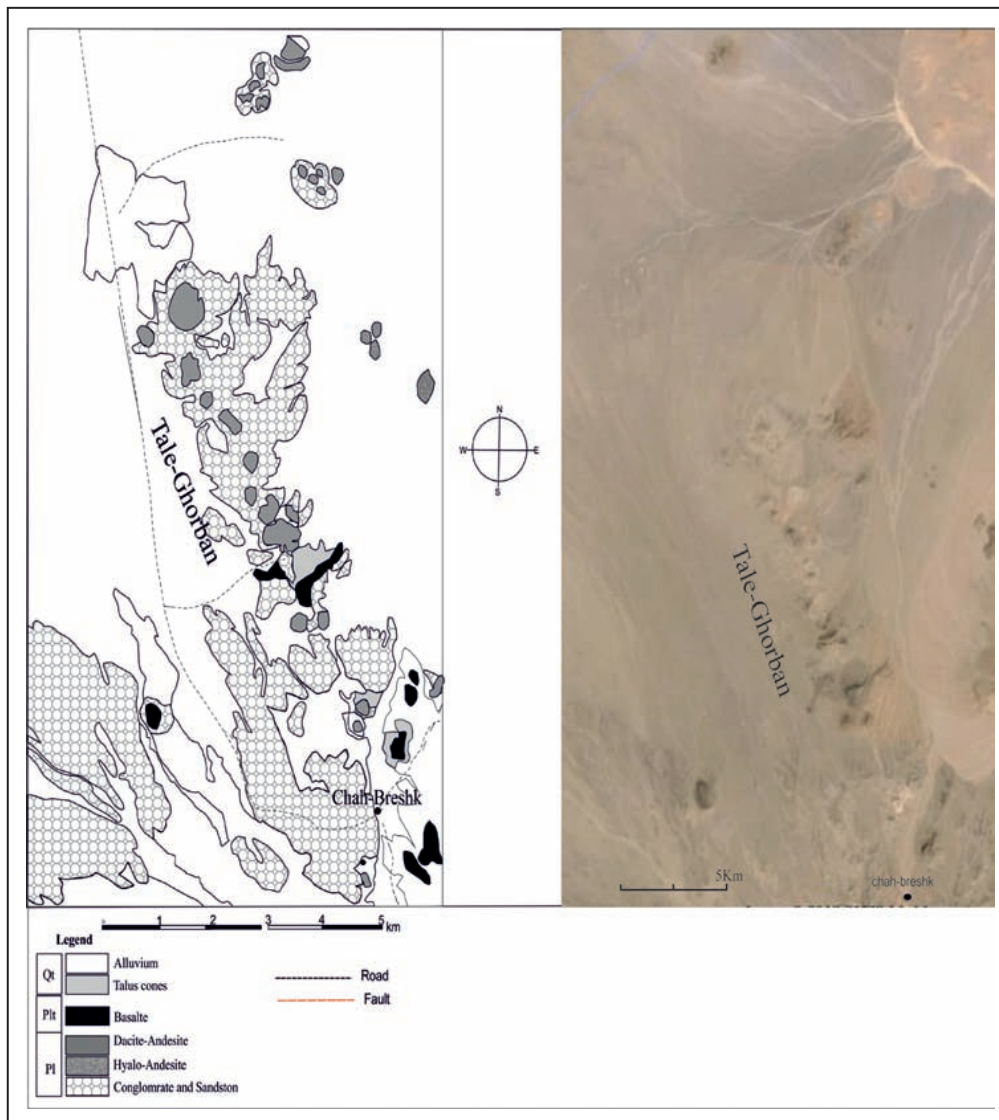
بودن نسبت Rb/Sr در اثر آلودگی‌های پوسته‌ای نیز ممکن است حاصل شود؛ ولی نمونه‌های منشأ گرفته از ذوب پوسته قاره‌ای با مقادیر MgO کمتر در مقایسه با انواع حاصل از ذوب صفحه فرورو مشخص می‌شوند (Whattam et al., 2012). از سوی دیگر نسبت‌های $Sr/Y > 70$ و $(La/Yb)_n > 18$ در آداکیت‌های نئوزن تل قربان-چاه برشک نیز منشأ این سنگ‌ها را ذوب بخشی صفحه فرورو نشان می‌دهند (Defant and Kepezhinskas, 2001). در نمودار $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ در برابر La/Yb (Yogodzinski and Kelemen, 1998) نیز آداکیت‌های مورد مطالعه در محدوده مذاب‌های حاصل از ذوب صفحه فرورو قرار می‌گیرند (شکل ۸).

تاریخچه زمین‌ساخت-ماگمایی ایران مرکزی به عنوان بخش میانی کمربند آلپ-همیالیا ارتباط تنگاتنگی با فرورانش نوتتیس به زیر ایران مرکزی دارد. فرورانش نوتتیس در پهنه ایران زمین در ابتدای ژوراسیک آغاز و سبب تشکیل سنگ‌های ماگمایی مرتبط با این فرورانش در نوار سندیج-سیرجان شد (معین وزیری، ۱۳۸۳؛ Berberian and King, 1981; Alavi, 2004). در کرتاسه بالایی با بسته شدن اقیانوسی نوتتیس، بخش‌هایی از پوسته اقیانوسی در قالب آمیزه رنگی ناین-بافت روی صفحه ایران مرکزی جای گرفته است (Berberian and King, 1981). اگر چه جایگزینی افولیت‌های ایران مرکزی سبب شد تا برخی پژوهشگران در ابتدا کرتاسه را پایان فرورانش بدانند؛ ولی مطالعات دو دهه اخیر و افزایش داده‌های علمی از سنگ‌های مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر به خوبی ادامه فرورانش صفحه اقیانوسی نوتتیس را مسئول فعالیت ماگمایی کالک‌آلکانل سترگ در ائوسن و الیگومیوسن در این ناحیه معرفی می‌کنند (Shahabpour, 2007; حسینی، ۱۳۹۵). (Shahabpour, 2005) و Mohajjel et al. (2003) بر پایه شواهد زمین‌شناسی زمان برخورد قاره‌ای میان صفحه ایران و عربستان را می‌یابند. به نظر می‌رسد در نتیجه برخورد قاره‌ای صفحه عربی به ایران مرکزی، پوسته اقیانوسی فرورو نوتتیس دچار گسیختگی به همراه شکستگی‌های بسیار، و با سقوط به درون سست کره سبب بالآمدگی سست کره داغ زیرین شده است. هم‌زمان با این فرایند، قطعات پوسته گسیخته شده در نتیجه بالآمدگی سست کره داغ دچار ذوب بخشی شده و مذاب‌های داسیتی-آندزیتی همانند داسیت آندزیت‌های تل قربان-چاه برشک تولید کرده است. هم‌زمان با فرایندهای رخ داده در گوشه، برخورد قاره‌ای سبب کوتاه‌شدگی و گسل‌خوردگی پوسته قاره‌ای ایران مرکزی شده و بالآمدگی این گدازه‌ها را در این ناحیه فراهم کرده است.

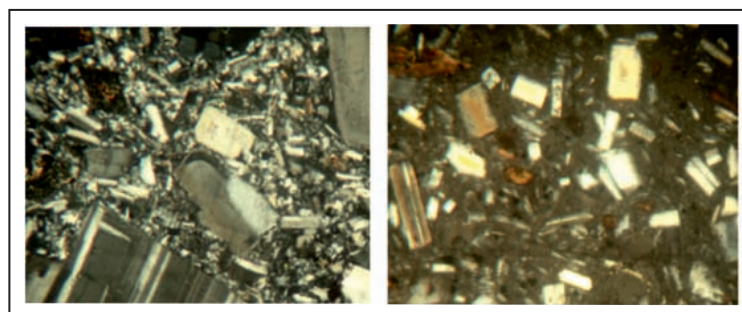
ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های داسیت-آندزیتی تل قربان-چاه برشک از جمله ماهیت کالک‌آلکانل، مقادیر $Al_2O_3 > 16$ در بیشتر نمونه‌ها، تهی‌شدگی از عناصر Ta, Nb و Ti در الگوهای چندعنصری این سنگ‌ها بر تشکیل آنها در یک پهنه فرورانشی در حال تبدیل به محیط برخوردی تأکید دارند. مقایسه ویژگی‌های ژئوشیمیایی (از جمله $Y < 11$ ، $Yb < 1.1$ و نسبت $(La/Yb)_n > 18$ ، $Sr/Y > 70$) سنگ‌های مورد مطالعه با ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های حدواسط و اسیدی عادی کالک‌آلکانل مناطق فرورانش و آداکیت‌ها نشان می‌دهد که داسیت-آندزیت‌های مورد مطالعه شباهت‌های بیشتری با نمونه‌های آداکیتی معرفی شده توسط Defant and Drummond (1990) و Castillo (2006) دارند. مقایسه مقادیر Sr و نسبت La/Yb سنگ‌های مورد مطالعه با مقادیر این عناصر در سنگ‌های آتشفشانی در جزایر آلوشین (Aleutians) نشان می‌دهد که داسیت و آندزیت‌های تل قربان-چاه برشک همانند آداکیت‌های اولیه در منطقه آلوشین هستند و با سنگ‌های کالک‌آلکانل عادی در آلوشین تفاوت دارند (Yogodzinski and Kelemen, 1998). همچنین الگوی شیب دار عناصر خاکی کمیاب در داسیت-آندزیت‌های مورد مطالعه و نبود بی‌هنجاری منفی Eu در این الگو با الگوی آداکیت‌ها همانندی بسیار دارد؛ در حالی که الگوی این عناصر در گدازه‌های حدواسط و اسیدی تیبیک کالک‌آلکانل با شیب ملایم‌تر و با بی‌هنجاری منفی Eu مشخص می‌شوند (Drummond et al., 1996). شواهد ژئوشیمیایی مانند $Y < 11$ ، $Yb < 1.1$ و نسبت $(La/Yb)_n > 18$ ، حضور گارنت را در فاز باقیمانده حاصل از ذوب بخشی در ناحیه منشأ آداکیت‌های تل قربان-چاه برشک نشان می‌دهد (Guo et al., 2006). با در نظر گرفتن شواهد ژئوزمین‌ساختی ایران مرکزی می‌توان دو مدل برای ایجاد آداکیت‌های مورد مطالعه بررسی کرد: الف) ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورو (Guo et al., 2006; Zhu et al., 2009; Yilmaz-Sahin et al., 2012) و ب) ذوب بخشی پوسته قاره ای زیرین با ستبرای بیش از ۴۰ کیلومتر (Hou et al., 2004; Topuze et al., 2011). شواهد ژئوشیمیایی از جمله نسبت Rb/Sr و مقادیر MgO در آداکیت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند که احتمال ذوب بخشی پوسته قاره‌ای زیرین ضعیف است؛ زیرا ماگمای حاصل از ذوب پوسته قاره‌ای زیرین دارای مقادیر Rb/Sr بیشتر از ۰/۰۵ هستند. حال آنکه نسبت Rb/Sr در بیشتر داسیت-آندزیت‌های تل قربان-چاه برشک، کمتر از ۰/۰۵ است و این نسبت به باور Drummond et al. (1996) با ذوب پوسته اقیانوسی فرورو سازگار است. اگر چه بالا



شکل ۱- پهنه‌های تشکیل‌دهنده کوهزایی زاگرس و نقشه زمین‌شناسی کمربند دهج-ساردوبیه و موقعیت منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Alavi (2004) و شفیع بافتی (۱۳۸۶)).

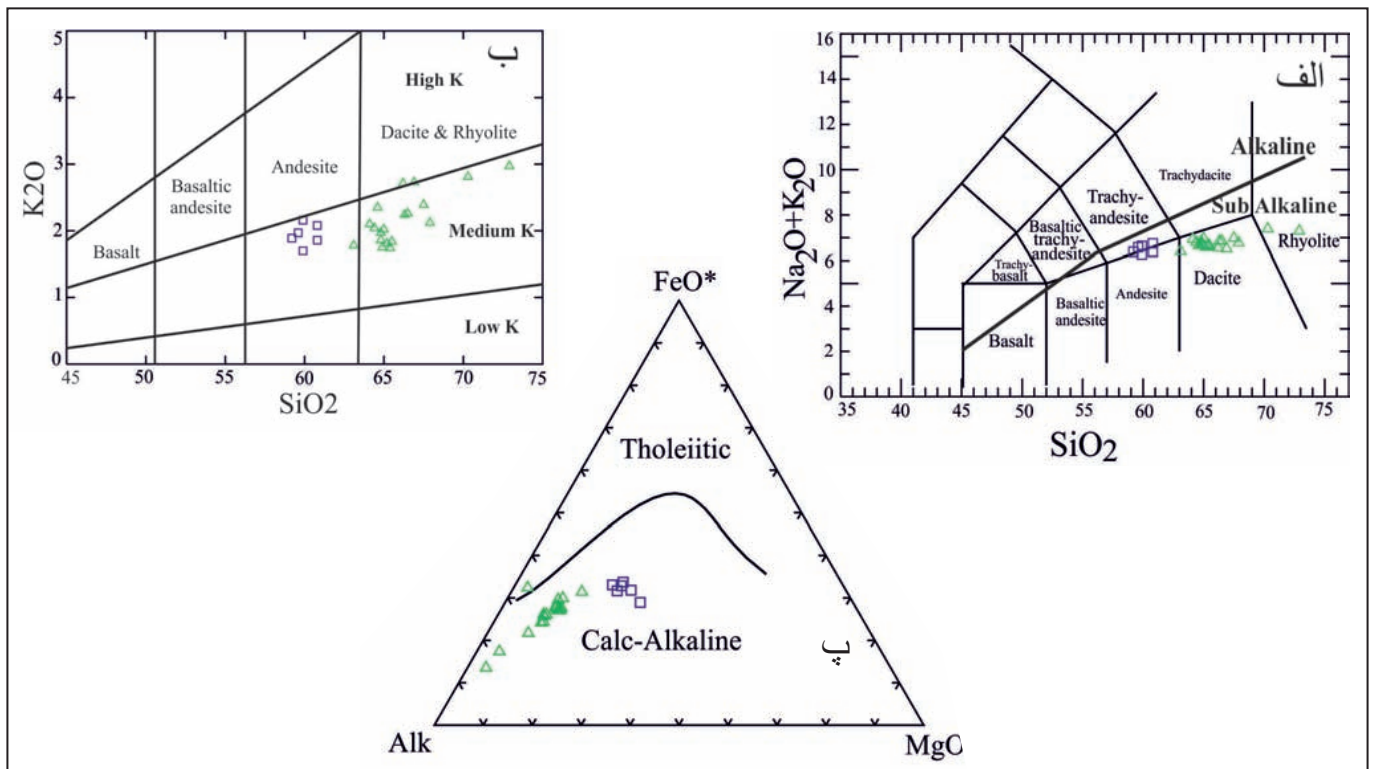
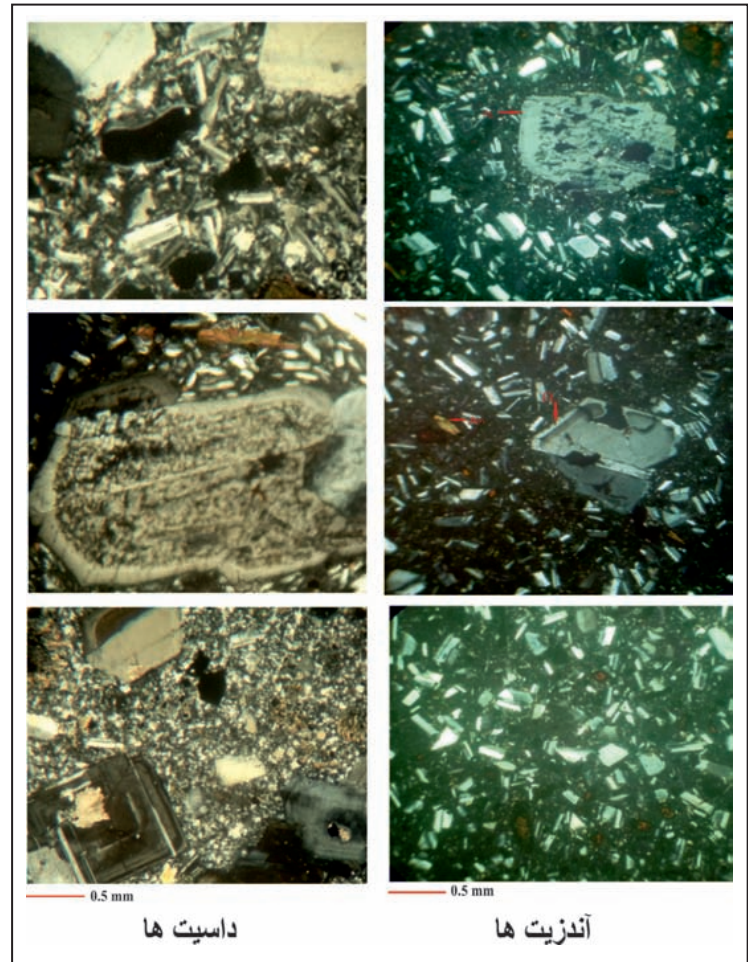


شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی سنگ‌های داسیت- آندزیتی دهج بر پایه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دهج (Dimitrijevic, 1973).

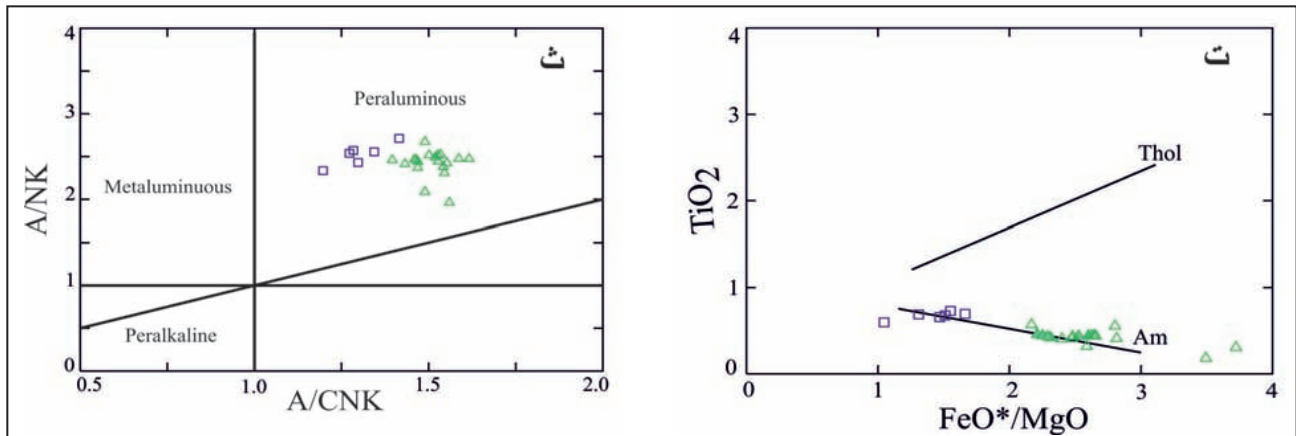


شکل ۳- تصویر میکروسکوپی از داسیت و آندزیت‌های تل‌قربان- چاه‌برشک در نور پلاریزه (XPL). تصاویر سمت چپ شکل، داسیت‌ها با زمینه کاملاً متبلور و میکرولیتی و تصاویر سمت راست شکل، آندزیت‌ها با زمینه شیشه‌ای میکرولیتی هستند (بزرگ‌نمایی 4X برای همه تصاویر).

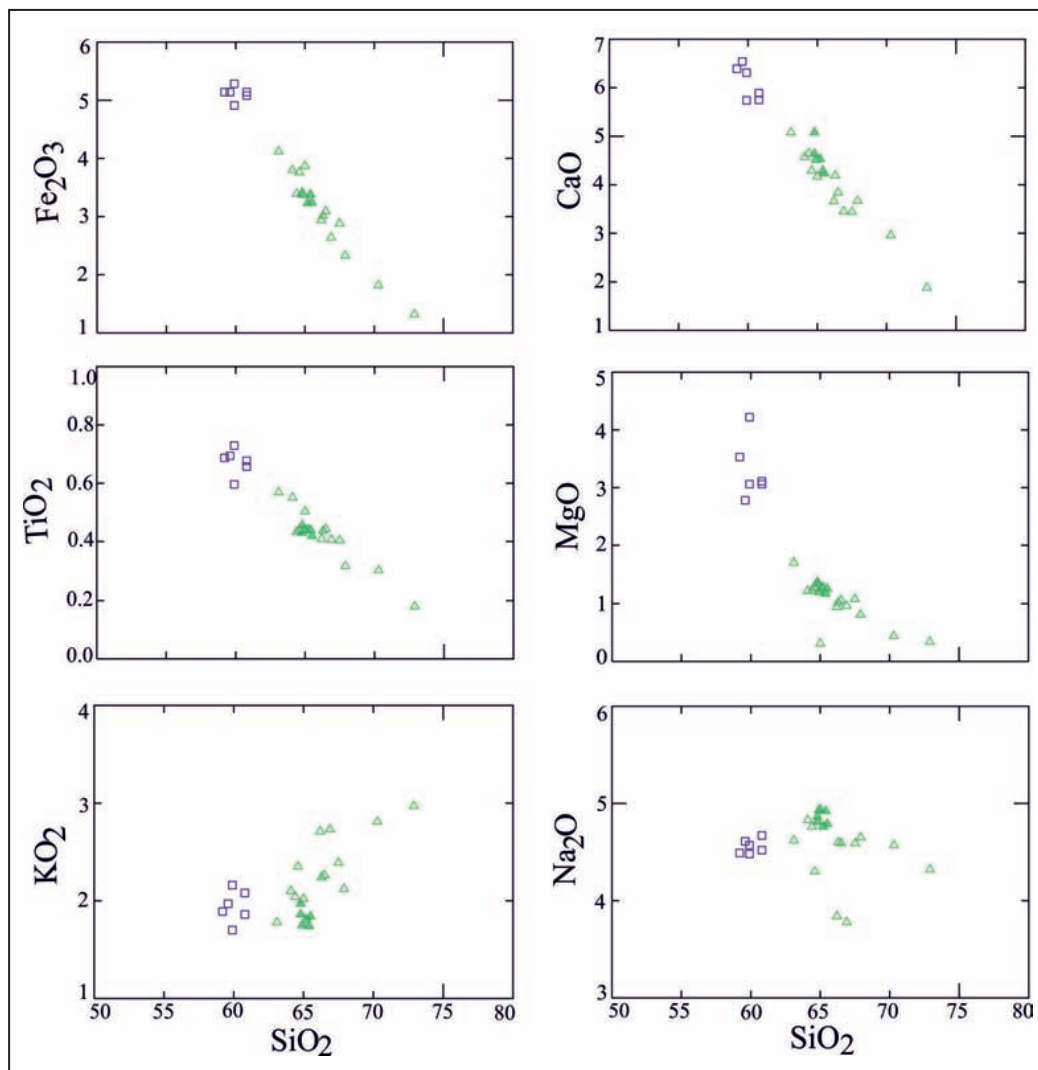
ادامه شکل ۳- تصویر میکروسکوپی از داسیت و آندزیت‌های تل‌قربان- چاه‌برشک در نور پلاریزه (XPL). تصاویر سمت چپ شکل، داسیت‌ها با زمینه کاملاً متبلور و میکروولیتی و تصاویر سمت راست شکل، آندزیت‌ها با زمینه شیشه‌ای میکروولیتی هستند (بزرگ نمایی 4X برای همه تصاویر).



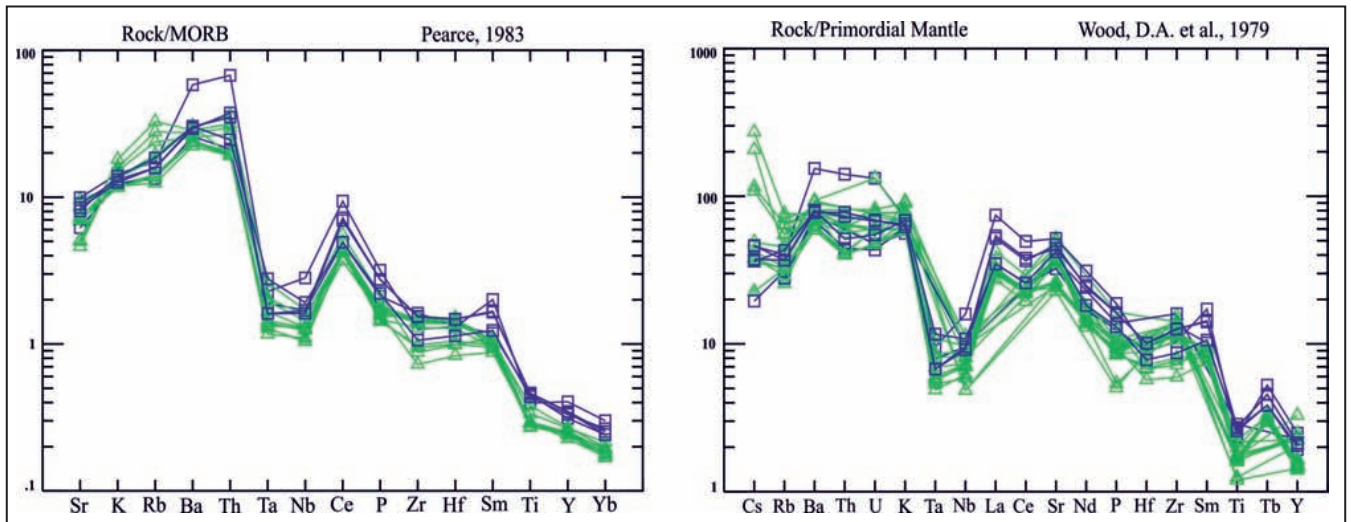
شکل ۴- الف) رده‌بندی سنگ‌های نئوژن تل‌قربان- چاه‌برشک در نمودار (Le Bas et al., 1986) Total Alkali / SiO_2 (TAS)؛ ب و پ) نمودارهای تعیین سری ماگمایی K_2O در برابر SiO_2 (Le Maitre et al., 2002) و نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971)



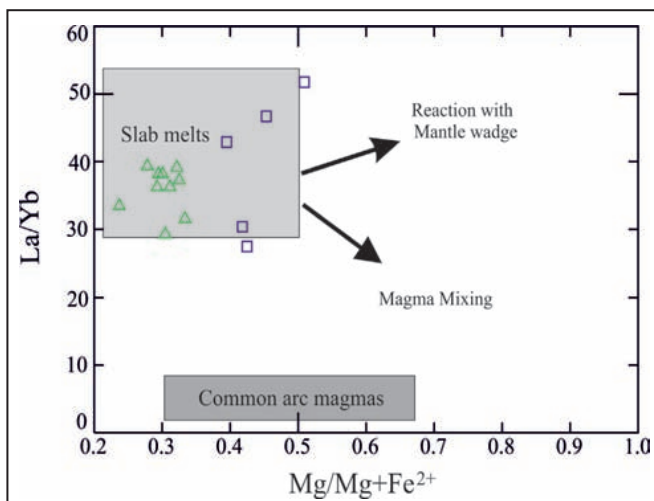
شکل ۴-ت) روند تبلور در سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار (Miyashiro (1974)؛ ت) تعیین درجه اشباع‌شدگی آلومین بر پایه نمودار $Al/(Ca+Na+K)$ در برابر $Al/(Na+K)$ (Maniar & Piccoli, 1989).



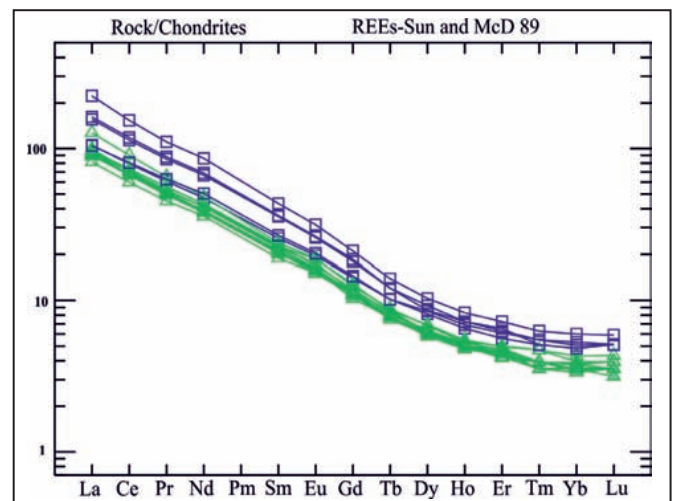
شکل ۵- نمودار تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به SiO₂ در داسیت و آندزیت‌های نوژن تل قریان- چاه برشک.



شکل ۶- نمودار چندعنصری داسیت- آندزیت‌های، تل‌قربان- چاه‌برشک ، بهنجار شده با گوشته اولیه (Wood et al., 1979) و میانگین بازالت‌های پشته اقیانوسی (MORB) (Pearce, 1983).



شکل ۸- نمودار La/Yb در برابر $Mg/Mg+Fe^{2+}$ (Yogodzinski and Kelemen, 1998).



شکل ۷- الگوی عناصر خاکی کمیاب (REE) داسیت و آندزیت‌های تل‌قربان- چاه‌برشک بهنجار شده با کندریت (Sun and Mc Donough, 1989).

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های شیمیایی داسیت- آندزیت‌های تل قربان- چاهبرشک.

Sample	Z-21	A24-1	A-4	A-6	A-7	AJ-1	AJ-2	AJ-3	B-6	B-7-1	L-10	L-2	L-4
SiO ₂	64.1	64.8	65.2	65.5	64.8	70.3	59.9	60.8	65.4	64.9	72.9	59.9	67.9
TiO ₂	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.7	0.7	0.4	0.4	0.2	0.6	0.3
Al ₂ O ₃	16.9	16.8	16.2	16.5	16.4	15.4	17.0	16.3	16.8	16.8	14.3	15.5	16.1
Fe ₂ O ₃	3.8	3.4	3.2	3.2	3.4	1.8	5.3	5.1	3.4	3.4	1.3	4.9	2.3
MnO	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
MgO	1.2	1.4	1.3	1.3	1.3	0.4	3.1	3.1	1.2	1.2	0.3	4.2	0.8
CaO	4.6	4.6	4.5	4.2	5.1	3.0	5.7	5.8	4.3	4.5	1.9	6.3	3.7
Na ₂ O	4.8	4.9	4.8	4.8	4.8	4.6	4.6	4.5	4.9	4.9	4.3	4.5	4.7
K ₂ O	2.1	2.0	1.8	1.8	1.9	2.8	1.7	1.9	1.7	1.8	3.0	2.2	2.1
P ₂ O ₅	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.4	0.1
H ₂ O	0.9	0.8	1.3	1.4	0.4	0.6	1.2	1.0	1.1	1.1	1.3	0.6	1.4
CO ₂	0.3	0.4	0.1	0.1	0.6	0.4	0.2	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2
Total	99.7	99.7	99.1	99.5	99.4	99.7	99.7	99.7	99.5	99.3	99.7	99.3	99.6
ppm													
Cr	36.0	26.0	29.0	25.0	24.0	18.0	81.0	164.0	21.0	23.0	14.0	149.0	20.0
Ga	19.0	22.0	20.0	21.0	23.0	21.0	23.0	22.0	24.0	22.0	20.0	21.0	21.0
Ni	34.0	26.0	<10	<10	<10	<10	34.0	57.0	<10	<10	<3	104.0	<3
V	90.0	77.0	69.0	68.0	54.0	38.0	125.0	124.0	61.0	68.0	17.0	180.0	46.0
Zn	48.0	52.0	61.0	63.0	69.0	47.0	76.0	71.0	68.0	64.0	42.0	68.0	52.0
Li			7.5		6.3			10.4	3.7	6.4	7.4	11.9	
Co			7.1		6.9			16.8	6.9	6.9	6.5	17.4	
Rb	39.0	30.0	28.4	22.0	27.7	55.0	24.0	26.7	28.7	27.4	33.9	34.7	36.0
Sr	1185.0	869.0	1155.0	794.0	823.0	519.0	880.0	743.0	840.0	896.0	854.0	1189.0	833.0
Y	11.0	11.0	6.8	11.0	7.2	7.0	11.0	9.4	7.4	7.2	7.2	12.1	10.0
Zr	155.0	134.0	136.0	156.0	127.0	171.0	176.0	146.0	132.0	130.0	108.0	114.0	137.0
Nb	6.0	6.0	3.6	5.0	4.4	3.0	6.0	5.9	4.5	4.5	4.0	9.9	6.0
Mo			1.2		0.4			1.0	0.8	1.0	0.9	0.5	
Cs			0.7		0.4			0.4	0.8	0.7	1.0	0.9	
Ba	698.0	577.0	481.0	510.0	478.0	615.0	567.0	518.0	481.0	470.0	601.0	1164.0	706.0
La			21.6		22.3			24.9	22.9	22.9	21.4	52.8	
Ce			41.4		43.4			48.6	44.7	44.8	40.7	93.9	
Pr			4.8		5.1			5.8	5.3	5.3	4.7	10.5	
Nd			17.9		19.2			22.0	20.1	20.0	17.7	40.2	
Sm			3.1		3.4			3.9	3.5	3.4	3.2	6.6	
Eu			0.9		0.9			1.1	1.0	1.0	0.9	1.8	
Gd			2.1		2.3			2.9	2.4	2.4	2.3	4.3	
Tb			0.3		0.3			0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	
Dy			1.5		1.6			2.1	1.6	1.6	1.5	2.6	
Ho			0.3		0.3			0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	
Er			0.7		0.7			0.9	0.7	0.7	0.8	1.2	
Tm			0.1		0.1			0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	
Yb			0.6		0.6			0.8	0.6	0.6	0.6	1.0	
Lu			0.1		0.1			0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	
Hf			3.6		3.4			3.2	3.5	3.4	2.9	3.1	
Ta			0.2		0.3			0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	
Pb			11.1		12.7			9.0	10.8	10.8	13.2	12.9	
Th			4.0		3.9			4.3	3.9	3.9	4.6	13.5	
U			1.6		1.3			1.2	1.3	1.3	1.9	3.6	

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه‌های شیمیایی داسیت- آندزیت‌های تل‌قران- چاه‌برشک.

Sample	L-9	P-2	P-5	Q-1	Q-2	Q-3	Q-4	Q-5	Q-6	R-2	V-2	V-6
SiO ₂	63.1	65.0	64.4	66.5	66.3	66.2	66.9	67.5	64.6	60.8	59.2	59.6
TiO ₂	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7
Al ₂ O ₃	17.1	17.0	16.4	16.6	16.2	16.2	16.1	16.1	16.7	16.4	16.4	16.7
Fe ₂ O ₃	4.1	3.9	3.4	3.1	3.0	2.9	2.6	2.9	3.8	5.1	5.1	5.1
MnO	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MgO	1.7	0.3	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	1.1	1.3	3.1	3.5	2.8
CaO	5.1	4.2	4.7	3.8	4.2	3.7	3.5	3.4	4.3	5.9	6.4	6.5
Na ₂ O	4.6	4.9	4.8	4.6	4.6	3.8	3.8	4.6	4.3	4.7	4.5	4.6
K ₂ O	1.8	2.0	2.0	2.3	2.2	2.7	2.7	2.4	2.4	2.1	1.9	2.0
P ₂ O ₅	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
H ₂ O	1.1	1.1	1.2	1.1	0.9	2.4	2.5	1.1	1.5	0.5	1.1	0.7
CO ₂	0.1	0.4	0.9	0.1	0.7	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
Total	99.6	99.6	99.7	99.8	99.8	99.7	99.8	99.8	99.6	99.6	99.4	99.5
ppm												
Cr	25.0	39.0	28.0	25.0	22.0	34.0	30.0	24.0	23.0	152.0	93.0	81.0
Ga	21.0	24.0	20.0	22.0	21.0	22.0	20.0	21.0	20.0	21.0	21.0	22.0
Ni	9.0	19.0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	68.0	63.0	54.0
V	86.0	82.0	73.0	71.0	68.0	66.0	59.0	63.0	81.0	114.0	127.0	125.0
Zn	69.0	58.0	56.0	56.0	55.0	49.0	49.0	56.0	64.0	96.0	76.0	75.0
Li	6.5	10.6	13.2	12.3		7.7		10.9		11.7	6.0	12.2
Co	10.0	10.0	7.3	6.8		5.7		7.0		16.4	16.5	16.6
Rb	24.9	36.1	38.9	47.6	48.0	65.4	61.0	55.7	47.0	36.9	31.7	31.7
Sr	1049.0	1022.0	864.0	600.0	603.0	611.0	568.0	554.0	817.0	966.0	1017.0	1078.0
Y	8.2	8.0	7.5	7.5	11.0	7.3	12.0	7.7	16.0	10.0	10.3	10.4
Zr	125.0	79.1	65.3	84.9	158.0	116.0	147.0	88.4	149.0	95.4	138.0	139.0
Nb	3.8	6.0	4.3	4.5	3.0	5.1	6.0	5.5	7.0	6.7	5.9	5.7
Mo	1.0	1.0	0.3	1.5		1.3		1.3		0.7	1.3	1.0
Cs	0.7	3.9	0.9	2.1		5.2		2.2		0.7	0.9	0.7
Ba	445.0	606.0	605.0	509.0	522.0	572.0	609.0	548.0	685.0	607.0	585.0	603.0
La	21.1	30.1	19.3	22.1		23.6		23.2		24.7	38.3	36.9
Ce	41.4	55.3	36.7	41.4		43.1		43.4		49.3	72.3	69.5
Pr	5.0	6.2	4.3	4.7		4.9		4.9		6.0	8.4	8.1
Nd	19.3	22.5	16.7	17.6		17.7		18.2		23.5	32.1	31.1
Sm	3.5	3.7	2.9	3.1		3.1		3.2		4.1	5.5	5.4
Eu	1.1	1.1	0.9	0.9		0.9		0.9		1.2	1.5	1.5
Gd	2.6	2.6	2.3	2.3		2.2		2.3		3.0	3.8	3.7
Tb	0.3	0.3	0.3	0.3		0.3		0.3		0.4	0.5	0.5
Dy	1.8	1.7	1.6	1.6		1.6		1.6		2.2	2.2	2.4
Ho	0.3	0.3	0.3	0.3		0.3		0.3		0.4	0.4	0.4
Er	0.8	0.8	0.8	0.7		0.8		0.8		1.0	1.1	1.0
Tm	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1		0.1		0.1	0.1	0.1
Yb	0.7	0.7	0.7	0.6		0.6		0.6		0.9	0.8	0.9
Lu	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1		0.1		0.1	0.1	0.1
Hf	3.3	2.4	2.0	2.4		3.1		2.5		2.7	3.5	3.5
Ta	0.2	0.5	0.3	0.3		0.4		0.4		0.5	0.3	0.3
Pb	10.0	10.8	11.1	12.3		13.4		13.5		11.4	11.6	11.4
Th	3.8	7.2	3.9	5.4		6.3		5.9		4.9	7.5	7.0
U	1.7	2.0	1.3	1.6		2.2		2.1		1.5	1.9	1.8

کتابنگاری

- آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و انتشارات معدنی کشور، ۵۰۶ ص.
- حسینی، س. ض.، ۱۳۸۸- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تحولات پتروژنتیکی ولکانیسم پس از تصادم پلیستوسن، شمال- شمال غرب شهر بابک. دانشگاه شهید باهنر کرمان، رساله دکتری زمین‌شناسی- پترولوژی، ۲۳۸ ص.
- حسینی، س. ض.، ۱۳۹۵- ژئوشیمی، پتروژنز و محیط تکتونیک جریانات گدازه‌ای مافیک ائوسن سرچشمه، جنوب غرب رفسنجان، فصلنامه علوم زمین، ش ۱۰۰، ص. ۲۲۰-۲۰۹.
- خلیلی میرهن، ش. و احمدی‌پور، ح.، ۱۳۹۴- مطالعات رخساره‌شناسی آتشفشان بیدخوان (استان کرمان)، فصلنامه علوم زمین، ش ۹۵، صص. ۱۱۱ تا ۱۲۲.
- شفیعی بافتی، ب.، ۱۳۸۶- الگوی فلز زایی کمر بند مس پورفیری کرمان و رهیافت های اکتشافی آن، کرمان: دانشگاه شهید باهنر کرمان، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، ۳۰۰ ص.
- معین‌وزیری ح.، ۱۳۸۳- چند نقطه عطف در تاریخچه تکتونوماگمایی ایران، فصلنامه علوم زمین ۵۰-۴۹.

References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, *Tectonophysics*, 229: 211-238.
- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution, *American journal of science*, v. 304, p. 1-20.
- Arvine, M. and Rostamizadeh, G., 2000- Geochemical and petrological characteristics of Deh Siah granite rocks, southwest of Kerman, Iran: data bearing on genesis. *J. Sci. I.R. Iran*, 11:117-126.
- 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. *J. Geol. Soc. London.*, 139: 605-614.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Can. J. Earth Sci.*, 18: 210-265.
- Castillo, P. R., 2006- An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin* 51, 257-267.
- Dargahi, S., Arvine, M., Pan, Y. and Babaei, A. 2010- Petrogenesis of post-collisional A-type granitoids from the Urumieh-Dokhtar magmatic assemblage, southwestern Kerman, Iran: Constraints on the Arabian-Eurasian continental collision. *Lithos* 115, 190-204
- Defant, J. and Drummond, S., 1990- Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 374, 662-665.
- Defant, M. J. and Kepezhinskas, P., 2001- Evidence suggests slab melting in arc magmas. *EOS Trans.*, 20, American Geophys. Union, Washington, DC., 82: 67-69.
- Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region. *Geol. Surv. Iran*, Yu/52, 334 pp.
- Drummond, M. S., Defant, M. J. and Kepezhinskas, P. K., 1996- Petrogenesis of slab-derived trondhjemite-tonalite-dacite/adakite magmas. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth and Environmental Science* 87: 205-215.
- Gahsemi, A. and Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for Sanandaj-Sirjan zone (Iran). *J. Asian Earth Sci.*, 26: 683-693.
- Ghadami, G., Moradian, A. and Mortazavi, M., 2008- Post-Collisional Plio-Pleistocene Adakitic Volcanism in Central Iranian Volcanic Belt: Geochemical and Geodynamic Implications. *Journal of Sciences, I. R. of Iran* 19(3): 223-235
- Gill, J. B., 1985- Orogenic andesites and plate tectonics, Springer Verlag, Berlin. 390p
- Guo, Z., Wilson, M., Liu, J. and Mao Q., 2006- Post-collisional, Potassic and Ultrapotassic Magmatism of the Northern Tibetan Plateau: Constraints on Characteristics of the Mantle Source, Geodynamic Setting and Uplift Mechanisms. *J. petrol.* 47: 1177-1220.
- Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectono-magmatic events in SE sector of the Cenozoic active continental margin of central Iran- Shahr- Babak, Kerman province, PHD thesis, University of California 201 p.

- Hosseini, S. Z., Arvin, M., Oberhansli, R. and Dargahi, S., 2009- Geochemistry and tectonic setting of Pleistocene basaltic lava flows in the Shahre-Babak area, NW of Kerman, Iran: Implication for the evolution of Urumieh- Dokhtar Magmatic Assemblage. *Journal of Sciences, I.R.of Iran* 20(4): 331-342
- Hou, Z. Q., Geo, Y., Qu, X. M., Rui, Z. Y. and Mo, X. X., 2004- Origin of adakitic intrusives generated during mid- miocene east-west extention in southern Tibet. *Earth plant.Sci.Lett.*, 220 139-155
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common rocks, *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-48.
- Kaviani, A. Paul, A. Bourova, E., Hatzfeld, D., Pedersen, H. and Mokhtari, M., 2007- A strong seismic velocity contrast in the shallow mantle across the Zagros collision zone (Iran), *Geophys.* doi: 10.1111/j.1365-246X .2007. 03535.x.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol*, 27: 745-750.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H. and Woolley, A. R., 2002- Igneous rocks: a classification and glossary of terms, recommendations of the international union of geological sciences, subcommission of the systematics of igneous rocks. Cambridge University Press 15: 521-662.
- Machado, A. T, Chemale, Jr. F., Conceicao, R. V., Kawaskita, K., Morata, D., Oteiza, O. and Schmus, W. R. V., 2005- Modeling of subduction components in the Genesis of the Meso-Cenozoic igneous rocks from the South Shetland Arc, Antarctica. *Lithos*, 82(3-4): 435-453.
- Maniar, P. D. and Piccoli, M., 1989- Teconic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 110: 6642.
- McQuarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C. and Wernicke, B. P., 2003- Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 30: 2036, doi: 10.1029/2003GL017992.
- Miyashiro, A., 1974- Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274, 321-355.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone wester Iran. *J Asian earth sci.*, 21: 387-412.
- Nelson, S. T. and Montana, A., 1992- Sieve- texture plagioclase in volcanic rocks production by rapid decompression. *Am. Min.*, 77: 1242 - 1279.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva, Cheshire, UK, pp. 230±249.
- Pearce, T. H. and Kolishik, A. M., 1990- Observation of plagioclase zoning using interference imaging. *Earth- Sci. Rev.*, 2: 9- 26
- Rollinson, H., 1993- Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman scientific and Technical, New York.325p
- Seghedi, I., Downes, H., Szakacs, A., Mason, P. R. D., Thirlwall, M. F., Rosu, E., PecsKay, Z., Marton, E., Panaiotu, C., 2004- Neogene- Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian-Pannonian region: a synthesis. *Lithos*. 72, 117-146.
- Shahabpour J., 2007- Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt, *Journal of Asian Earth Science*, v.30, 652-665
- Shahbpor, J., 2005- Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyrize, *J Asian earth sci.*, 24: 405-417
- Shelley, D., 1993- Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman and Hall, University Press, Cambridge, Great Britain, 445 pp
- Sun, S. S. and 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.).
- Topuze, G., Okay, A. I., Altherr, R., Schwarz, W. H., Siebel, W., Zack, T., Satlr, M. and Sen, C., 2011- Post - collisional adakite-like magmatism in the Agvanis massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos* 125: 131-150.
- Whattam, S. A., Montes, C., McFadden, R. R., Cardona, A., Ramirez, D. and Valencia, V., 2012- Age and origion of earliest adakitic-like magmatism in Panama: implication for the tectonic evolution of the Panamanian magmatic arc system. *Lithos* 142: 226-244
- Wilson, M., 2007- *Igneous Petrogenesis*. Springer Verlag, london, 466 pp.

- Wood, D. A., Joron, J. L. and Treuil, M., 1979- A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings Earth and Planet. Sci. Lett.,45: 326-336
- Yilmaz-Sahin, S., Aysal, N. and Gungor, Y., 2012- Petrogenesis of late Cretaceous adakitic magmatism in the Istanbul zone (Cavusbasi granodiorite, NW Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences 21: 1029-1045.
- Yogodzinski, G. M. and Kelemen, P. B., 1998- Slab melting in the Aleutians: implications of an ion probe study of clinopyroxene in primitive adakite and basalt. Earth and Planetary Science Letters 158 : 53–65
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Pan, G. T., Lee, H. Y., Kang, Z. Q., Liao, Z. L., Wang, L. Q., Li, G. M., Dong, G. C. and Liu, B., 2009- Early cretaceous subduction-related adakite-like rocks of the Gangdese Belt, southern Tibet: Products of slab melting and subsequent melt–peridotite interaction?, Journal of Asian Earth Sciences 34 : 298–309.

Petrogenesis of Neogene dacitic and andesitic volcanism in the Tel Gorban-Chah Breshk area North of Shahrebabak, Kerman-Iran

S. Z. Hosseini^{1*} and M. Arvin²

¹Assistant Professor, Department of Geology, Payam Noor University, Iran

²Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2015 December 05

Accepted: 2016 May 29

Abstract

Neogene volcanism in the Tel Gorban-Chah Breshk area, north of Shahre-Babak, occurs as dacitic to andesitic lava flows and domes. Petrographically the rocks consist of plagioclase, hornblende ±biotite and quartz phenocrysts setting in porphyritic and hyalopilitic matrix. Opacitization of hornblende and biotite and zoning and sieve texture in plagioclase are signatures of disequilibrium conditions through the magma cooling. Geochemical data and petrological diagrams show their medium potassic calc- alkaline nature. Enrichment in LILE's and depletion in HFSE's (eg. Nb,Ta,Ti) points to a subduction tectonic environment for Tel Gorban-Chah Breshk dacitic to andesitic rocks. Furthermore, their $Al_2O_3 > 16$, $Sr/Y > 80$ and chondrite normalize REE pattern are quite similar to dakites. Distinctive geochemical features such as $Rb/Sr < 0.04$, $La/Yb > 18$, $Yb < 1$, $(Sr/Y)_n > 80$, and $Y < 10$, suggest their derivation from partial melting of a subducted oceanic lithosphere with the garnet remains in the source region. They are emplaced along the faults and fractures in the post collisional tectonic regime in the Neogene time.

Keywords: Neogene, Tel Gorban, Chah Breshk, Dacite, Andesite, calc alkaline, Adakite.

For Persian Version see pages 11 to 22

*Corresponding author: S. Z. Hosseini; E-mail: z_hosseini@pnu.ac.ir