

# ژئوشیمی و جایگاه تکنوماگمایی گدازه‌های ترشیری منطقه عباس آباد (شمال خاور سریشه)، خراسان جنوبی

مرضیه ابادری<sup>۱</sup>، سید سعید محمدی<sup>۲\*</sup> و ملیحه نغعی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵

## چکیده

منطقه عباس‌آباد در شمال خاور سریشه، در بخش شمالی زمین‌درز سیستان و در استان خراسان جنوبی واقع شده است. در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی ترشیری با ترکیب حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت رخمون دارند. کانی‌های تشکیل‌دهنده در سنگ‌های آندزیت بازالتی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیون، در آندزیت‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، پیروکسن و در داسیت‌ها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند هستند. سنگ‌های مورد مطالعه ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم متوسط تا بالا دارند. اغلب نمونه‌ها غنی‌شدگی در LILEs (K, Rb, Sr, Cs) (به استثنای Ba) نسبت به HFSEs (Y, P, Ti, Ta, Nb) نشان می‌دهند که بیانگر وابستگی این سنگ‌ها به محیط فرورانش و حاشیه قاره‌ای فعال است. مقادیر نسبتاً پایین  $(La/Yb)_N$  (۷/۶۷ تا ۱۳/۴۸) و  $Dy/Yb$  (کمتر از ۲) در گدازه‌های عباس‌آباد، نشان‌دهنده رخداد ذوب بخشی گوشه در منطقه انتقالی ذوب بخشی اسپینل‌گارت لوزولیت است. بر اساس غلظت عناصر کمیاب Ce, Yb و Sm، ماگما از عمق حدود ۹۵ تا ۱۰۵ کیلومتری منشأ گرفته است.

**کلیدواژه‌ها:** آندزیت، کالک‌آلکان، حاشیه فعال قاره‌ای، عباس‌آباد، زمین‌درز سیستان.

\* نویسنده مسئول: سید سعید محمدی

E-mail: ssmohammadi@birjand.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

گستره مورد بررسی در ۱۵ کیلومتری شمال خاور سریشه در منطقه عباس‌آباد و در جنوب باختری نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی گزیک (Guillou et al., 1981) بین طول‌های جغرافیایی "۰۰' ۰۰' ۶۰" تا "۰۰' ۰۶' ۶۰" خاوری و عرض‌های جغرافیایی "۲۴' ۳۵' ۳۲" تا "۳۰' ۳۸' ۳۲" شمالی در استان خراسان جنوبی قرار گرفته است. این منطقه از لحاظ تقسیم‌بندی ساختاری ایران، در بخش شمالی زمین‌درز سیستان (Tirrul et al., 1983) واقع شده است. زمین‌درز سیستان به عنوان بقایایی از یک سنگ‌کره اقیانوسی بوده که بین بلوک افغان و پهنه لوت وجود داشته است. این باریکه اقیانوسی به عنوان یکی از سرشاخه‌های نئوتتیس مطرح بوده که بین زمان‌های کرتاسه پیشین تا پالئوژن شکل گرفته و قبل از ۸۶ میلیون سال پیش بسته شده است (Zarrinkoub et al., 2010; Babazadeh, 2013). به باور Bröcker et al. (2013)، زمان فرورانش زون جوش خورده سیستان، کرتاسه پایانی معرفی شده است. در منطقه مورد مطالعه، واحدهای گدازه‌ای شامل سنگ‌های آتشفشانی ترشیری (اوسن-الیگوسن تا پلیوسن) با ترکیب حد واسط تا اسیدی رخمون دارند. در گذشته، پژوهش‌هایی توسط محققان مختلف پیرامون پتولوژی برخی توده‌های آتشفشانی منطقه سریشه انجام شده است (مکی‌پور، ۱۳۹۱؛ پارسایی، ۱۳۹۱؛ گودرزی، ۱۳۹۱؛ ملکیان دستجردی و همکاران، ۱۳۹۵؛ واحدی طیس و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ بهاروندی و همکاران، ۱۳۹۶)، اما گدازه‌های منطقه عباس‌آباد تا به حال مورد بررسی پتولوژیکی قرار نگرفته است. هدف این پژوهش، مطالعه سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و موقعیت تکنوماگمایی تشکیل آنهاست، که این امر به تکمیل نتایج حاصل از بررسی‌های قبلی و همچنین شناخت ماهیت ماگماتیسیم خاور ایران کمک خواهد کرد.

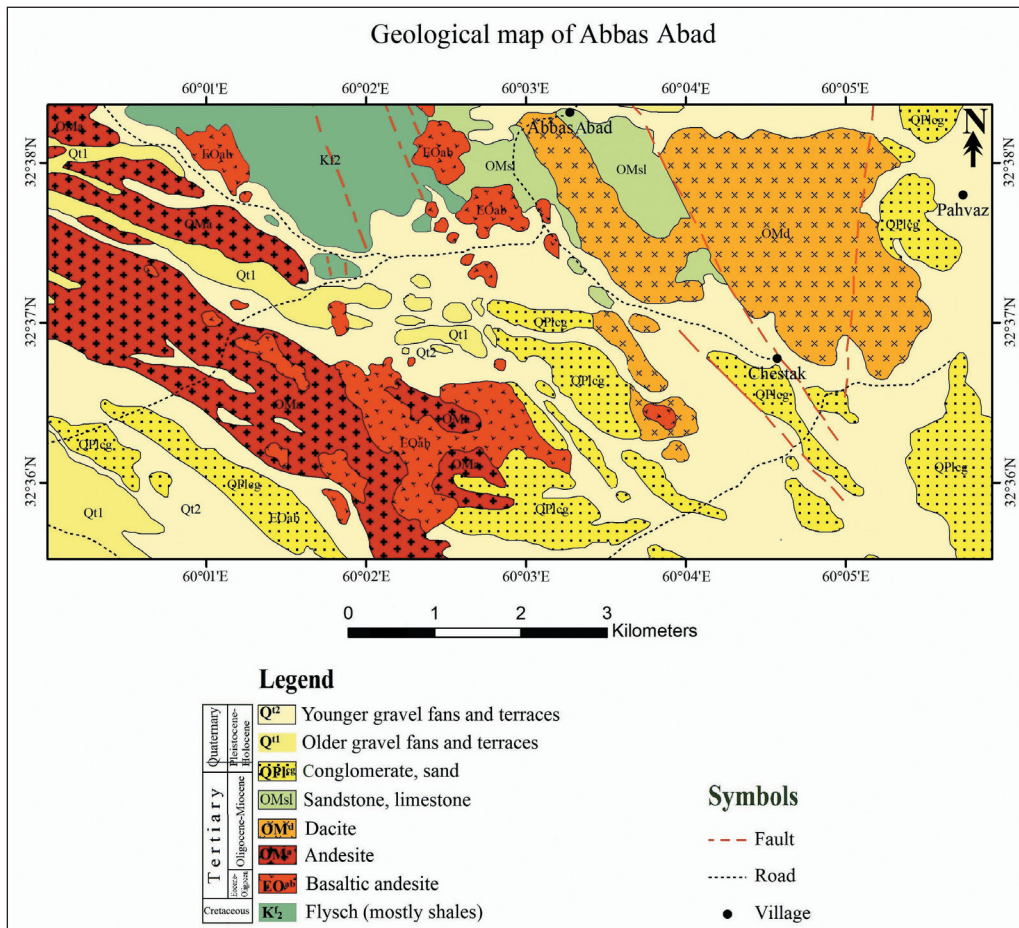
شامل گدازه‌های آندزیت بازالتی است که کمترین گستردگی را در منطقه مورد مطالعه دارد (شکل ۱) و در بخش جنوبی محدوده مطالعاتی واقع شده است. این واحد سنگی ظاهری تقریباً یکنواخت به رنگ سیاه تا خاکستری تیره دارد. میزان هوازدگی و خردشدگی در برخی از رخمون‌های این واحد بالاست و اغلب به صورت تپه‌های کم ارتفاع مشاهده می‌شود. در بخش باختری و جنوب باختری منطقه مورد بررسی، واحد OMA شامل آندزیت رخمون دارند (شکل ۱) که در زمره فراوان‌ترین سنگ‌های گدازه‌ای منطقه عباس‌آباد هستند. رنگ این واحدها از قرمز و قهوه‌ای متمایل به قرمز تا خاکستری متغیر بوده و در مناطقی که هوازدگی و دگرسانی کمتر رخ داده است، به شکل گنبد‌های منفرد دیده می‌شود. بافت‌های حفره‌ای و حفره‌ای بادامکی در نمونه‌های صحرایی دیده می‌شود. واحد گدازه‌ای OMD شامل داسیت است و به صورت گسترده در بخش خاوری منطقه رخمون دارد (شکل ۱). این واحد سنگی به صورت گنبد‌های مرتفع و بعضاً منفرد دیده می‌شود و در نمونه دستی رنگ روشن دارد. در برخی نقاط به دلیل عملکرد نیروهای تکنونیک، فرسایش شدید در گدازه‌ها رخ داده است و سنگ‌ها خرد شده هستند. به دلیل خردشدگی واحدها، مرز گدازه‌های اسیدی و حد واسط مشخص نیست. همچنین واحد OMSl شامل ماسه‌سنگ و آهک بوده و بر روی گدازه‌ها واقع شده است (شکل ۱). سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در اثر دگرسانی دستخوش تغییراتی شده و پهنه‌های دگرسان را تشکیل داده‌اند. از دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه عباس‌آباد می‌توان به کرناتی شدن، سریسیستی شدن، آرژیلیک، پروپلیتیک و کلریتی شدن اشاره کرد.

## ۲- روش پژوهش

پس از برداشت‌های صحرایی و نمونه‌برداری، ۶۵ مقطع نازک تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان به دقت بررسی شد. سپس ۱۲ نمونه از سنگ‌های دارای حداقل دگرسانی، انتخاب و در شرکت Acme کانادا عناصر اصلی به روش ICP-AES و عناصر کمیاب به روش ICP-MS تجزیه شدند. در تفسیر نتیجه آنالیزها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای GCDKit و Corel Draw استفاده و ترسیم نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS انجام شده است.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه عباس‌آباد در خاور ایران، در محدوده زمین‌درز سیستان و در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گزیک (Guillou et al., 1981) واقع شده است. سن واحدهای سنگی منطقه بر اساس نقشه اشاره شده، از اوسن-الیگوسن تا پلیوسن معرفی شده است. در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی شامل آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت به همراه واحدهای رسوبی شامل شیل و ماسه‌سنگ رخمون دارند. واحد آتشفشانی EOab



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه عباس آباد بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گزریک (Guillou et al., 1981) با تغییرات.

#### ۴- سنگ نگاری

واحدهای گدازه‌ای منطقه عباس آباد شامل سنگ‌های آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت هستند که در ادامه به بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی آنها پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۱. آندزیت بازالتی

بافت‌های غالب موجود در این سنگ‌ها شامل پورفیری با خمیره میکرولیتی-شیشه‌ای و گلومروپورفیری هستند (شکل‌های ۲- الف و ب). تجمع بلورها و کانی‌ها، فرایندی مهم در تحول بافت‌ها و تاریخچه تبلور سنگ‌های آتشفشانی است (Jerram and Cheadle, 2000, Higgins, 2006). پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی روشن در سنگ‌های آندزیت-بازالتی است. این کانی به میزان ۵۵ تا ۶۵ درصد از حجم سنگ را به خود اختصاص داده است که به دو صورت فنوکریست با اندازه ۰/۷۵ تا ۲ میلی‌متر و میکرولیت دیده می‌شود. دامنه ترکیب فنوکریست‌های پلاژیوکلاز با توجه به زاویه خاموشی اندازه‌گیری شده (۳۰ تا ۵۰ درجه) آندزین تا لابرادوریت است. در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز اغلب ماگل پلی‌سنتیک، بافت غربالی و منطقه‌بندی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۲- پ و ت). عوامل اصلی ایجاد بافت غربالی شامل تغییر ترکیب ماگمای در حال تبلور، کاهش فشار و افزایش دما هستند (Renjith, 2014). در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، مهم‌ترین سازوکار تشکیل بافت غربالی، با توجه به وجود بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز در خمیره سنگ، افت فشار است، اما عامل تغییر ترکیب ماگمای در حال تبلور را نمی‌توان نادیده گرفت (Renjith, 2014). بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار کلینوپروکسن یکی از سازنده‌های اصلی این سنگ هستند. خمیره سنگ بیشتر از پلاژیوکلاز و پروکسن‌های ریز تشکیل شده است. بلورهای کلینوپروکسن ۲۵ تا ۳۰ درصد از حجم سنگ را به

خود اختصاص داده‌اند. الیون به مقدار کم به صورت درشت‌بلور گرد شده و گاهی خودشکل به دو صورت سالم (غیردگرسان) و ایدنگزیتی شده (شکل ۲- ث) دیده می‌شود. کلریت، سرسیست و ایدنگزیت از جمله کانی‌های ثانویه موجود در این سنگ‌ها هستند که به ترتیب از دگرسانی کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز و الیون به وجود آمده‌اند.

#### ۴-۲. آندزیت

مطالعات میکروسکوپی نشان داد که بافت غالب آندزیت‌ها، پورفیری با خمیره میکرولیتی است. دیگر بافت‌های موجود در این سنگ‌ها شامل گلومروپورفیری، جریانی، حفره‌ای و حفره‌ای بادامکی هستند. در نمونه‌های دارای بافت بادامکی، حفرات به وسیله کانی‌هایی مانند کلریت و کلسیت پر شده‌اند. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پروکسن و آمفیبول‌های اپاسیته شده (شکل ۲- ج) است. پلاژیوکلاز از نوع آندزین تا الیگوکلاز فراوان‌ترین کانی موجود در آندزیت‌هاست و به صورت فنوکریست و میکرولیت گاهی تا ۶۵ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز عموماً شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و اغلب دارای منطقه‌بندی هستند. رخداد منطقه‌بندی را می‌توان به تغییرات بزرگ‌مقیاس در پارامترهای دما، فشار، میزان H<sub>2</sub>O و ترکیب مذاب نسبت داد که احتمالاً با ورود مذاب جدید به آشیانه ماگمایی همراه است (Foley et al., 2012). آمفیبول فراوان‌ترین کانی فرومیزین در آندزیت‌های منطقه مورد بررسی است که حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از حجم سنگ را در بر می‌گیرد. آمفیبول موجود در این سنگ‌ها از نوع هورنبلند است که بیشتر به صورت فنوکریست و کمتر به صورت ریزبلور در زمینه سنگ دیده می‌شود. اندازه آنها از ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر متغیر است و به صورت شکل‌دار

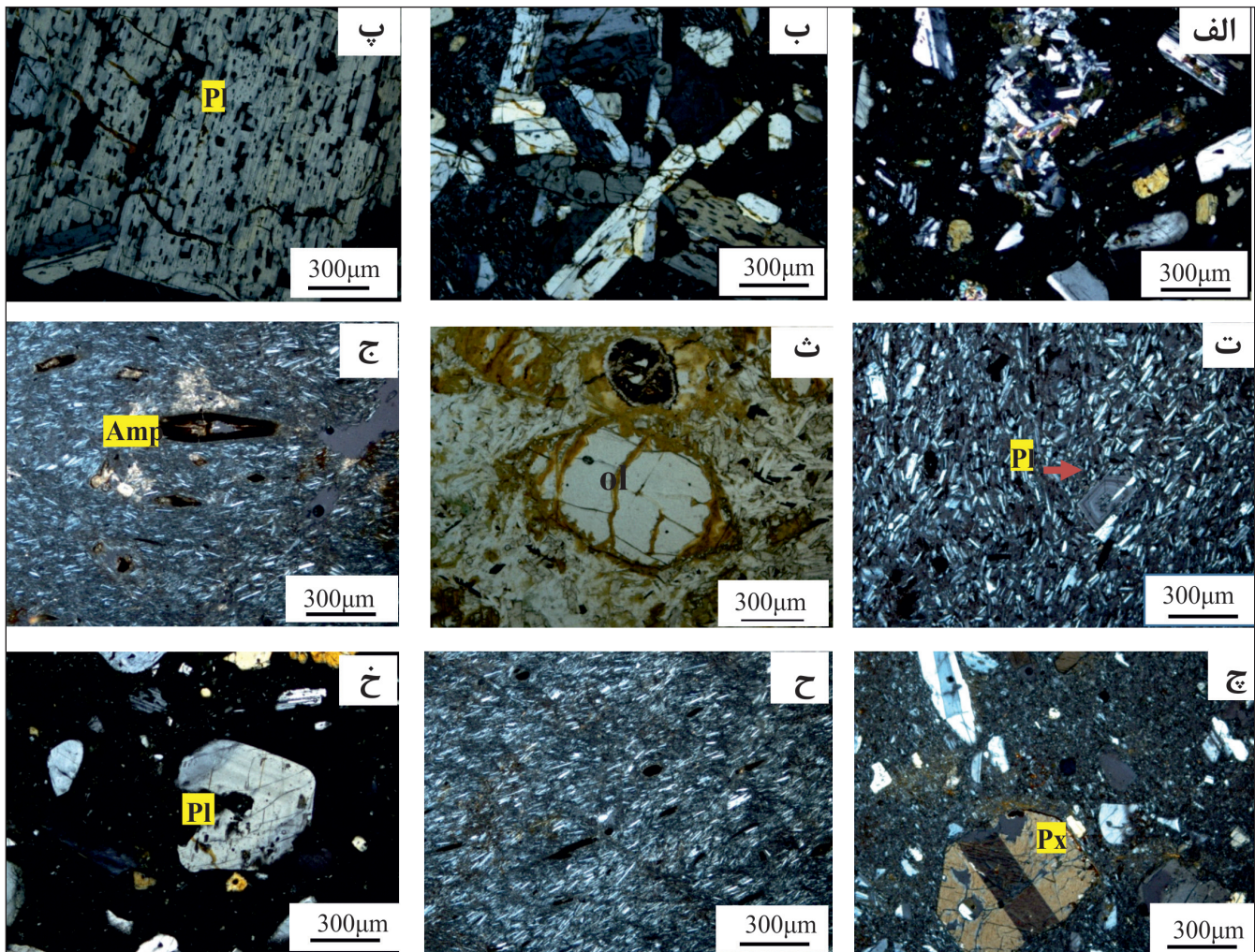


(شکل ۲- ح). فنوکریست‌ها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند هستند. از خصوصیات مشترک داسیت‌ها و آندزیت‌های منطقه عباس‌آباد، وجود بافت غربالی در پلاژیوکلازها و اپاسیته شدن کانی‌های مافیک است. وجود حاشیه خلیجی در اطراف پلاژیوکلاز، نشان‌دهنده عدم تعادل هنگام تشکیل این کانی است (شکل ۲- خ). فنوکریست‌های پلاژیوکلاز گاهی دارای حاشیه‌های گردشده و غبارآلود هستند. پلاژیوکلاز با حاشیه غبارآلود می‌تواند نتیجه اختلاط ماگمایی، هضم بلور پلاژیوکلاز سنگ دیواره توسط ماگمای نفوذ کننده و یا برداشته شدن ناگهانی فشار و تغییر در فشار بخار آب حین صعود ماگما باشد (Gioncada et al., 2006).

تا نیمه‌شکل‌دار حضور دارند. فنوکریست‌های پیروکسن شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار از نوع کلینوپروکسن، گاهی دارای ماکل (شکل ۲- چ) و حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد هستند. کلریت و کلسیت در این سنگ‌ها به عنوان کانی‌های دگرسانی حضور دارند. در برخی نمونه‌های آندزیت، در زمینه سنگ مقدار ساندین وجود دارد که سبب تمایل آن به تراکی آندزیت شده است.

#### ۴-۳. داسیت

بافت اصلی این سنگ‌ها، پورفیری با زمینه ریزدانه و گاهی مگاپورفیری است. زمینه سنگ متشکل از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، ریزبلورهای کوارتز و شیشه، حدود ۷۰ درصد حجم سنگ را تشکیل و گاهی بافت جریان‌ی نشان می‌دهد



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی از: الف) بافت پورفیری با خمیره میکروولیتی- شیشه‌ای در سنگ‌های آندزیت بازالتی؛ ب) بافت گلوپورفیری در سنگ‌های آندزیت بازالتی؛ پ) بافت غربالی در پلاژیوکلاز؛ ت) پلاژیوکلاز دارای منطقه بندی در آندزیت بازالتی؛ ث) ایدنگریتی شدن الیون در آندزیت بازالتی؛ ج) آمفیبول با حاشیه سوخته در آندزیت‌ها؛ چ) پیروکسن با ماکل تکراری در آندزیت؛ ح) میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و بافت جریان‌ی در داسیت؛ خ) پلاژیوکلاز با حاشیه خلیجی در داسیت. نور در تمام شکل‌ها XPL است (علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010).

#### ۵- ژئوشیمی

و داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۳- الف). همچنین نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس نمودار Th در مقابل Co (Hasti et al., 2007) در محدوده کالک‌آلکانل و از نظر ترکیبی در محدوده آندزیت بازالتی- آندزیت و داسیت واقع شده‌اند (شکل ۳- ب).

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های منطقه عباس‌آباد در جدول ۱ آورده شده است. برای نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد از نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y (Pearce, 1996) استفاده شده است. سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس این نمودار در محدوده آندزیت بازالتی- آندزیت، تراکی آندزیت

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی گدازه‌های منطقه عباس‌آباد. عناصر اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب برحسب ppm است (BA: آندزیت بازالتی، A: آندزیت، D: داسیت).

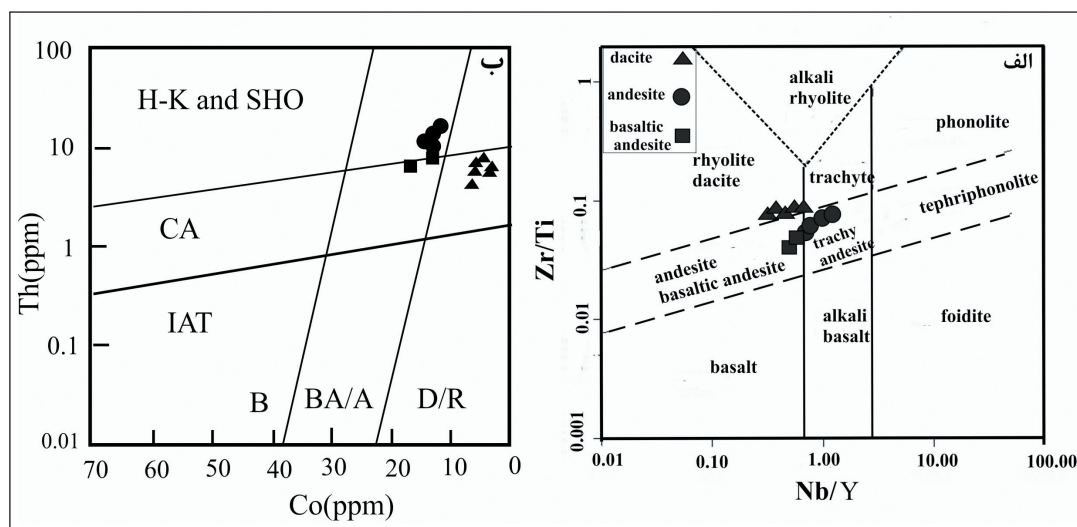
Sample No.	42	43	10	32	41	36
Rock Type	BA	BA	A	A	A	A
Location	N32° 38' 24"	N32° 36' 32"	N32° 36' 4"	N32° 38' 1"	N32° 38' 49"	N32° 36' 16"
	E60° 2' 00"	E60° 3' 37"	E60° 3' 14"	E60° 2' 26"	E60° 3' 37"	E60° 2' 37"
SiO <sub>2</sub> (wt%)	۵۹/۱۱	۵۸/۹۶	۵۹/۵۵	۵۹/۰۳	۵۹/۸۵	۶۱/۲۸
TiO <sub>2</sub>	۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۰۸	۱/۰۲	۰/۹۵	۰/۷۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۷/۵۸	۱۷/۹	۱۸/۰۱	۱۷/۹۸	۱۸/۰۰	۱۷/۳۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	۵/۵۶	۴/۹۰	۴/۴۲	۴/۵۵	۴/۸۹	۴/۱۴
MnO	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴
MgO	۲/۴۸	۲/۴۲	۲/۴۵	۲/۱۷	۱/۸۷	۱/۸۴
CaO	۶/۱۹	۶/۳۷	۶/۱۶	۶/۳۸	۶/۳۹	۴/۹۲
Na <sub>2</sub> O	۳/۵۲	۳/۶۵	۳/۵	۳/۶۶	۳/۶۸	۳/۹۹
K <sub>2</sub> O	۲/۱۰	۱/۹۸	۲/۰۵	۲/۰۱	۲/۱۰	۲/۴۳
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۱
LOI	۱/۹	۲/۲	۲/۲	۲/۶	۱/۷	۲/۸
Sum	۹۹/۸۳	۹۹/۸۳	۹۹/۸۳	۹۹/۸۳	۹۹/۸۴	۹۹/۸۳
Ni(ppm)	۴۴	۳۳	۲۹	۳۴	۳۸	۳۳
Sc	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۱	۱۰
Ba	۳۰۷	۳۰۴	۳۲۱	۳۲۱	۳۱۷	۴۹۱
Co	۱۷/۴	۱۲/۶	۱۲/۹	۱۳	۱۳/۵	۱۱/۶
Cs	۴/۴	۵/۳	۶/۲	۶/۰	۴/۰	۶/۵
Ga	۱۴/۸	۱۴/۴	۱۵/۲	۱۵/۷	۱۵/۱	۱۳/۳
Hf	۴/۳	۴/۵	۴/۸	۴/۷	۴/۳	۴/۸
Nb	۹/۵	۹/۷	۱۰/۹	۱۰/۰	۹/۶	۱۲
Rb	۶۸/۸	۷۷/۵	۱۰۷/۷	۷۸/۷	۷۲/۷	۹۲/۳
Sr	۴۵۰/۶	۴۴۷/۹	۴۵۱/۱	۴۵۰/۸	۴۷۶	۴۸۸/۹
Ta	۰/۶	۰/۸	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۱
Th	۹/۶	۹/۸	۱۰/۴	۱۱/۰	۹/۴	۱۶/۸
U	۱/۶	۱/۸	۲	۲/۲	۱/۵	۳/۲
V	۱۲۵	۱۱۷	۱۲۲	۱۱۷	۱۱۷	۸۴
Zr	۱۹۱/۴	۱۹۹/۳	۲۰۶/۹	۲۱۲/۵	۱۹۲/۷	۲۱۸/۱
Y	۱۹/۸	۱۹/۱	۲۰/۶	۱۹/۳	۱۸/۳	۱۸/۷
La	۲۷/۱	۲۷/۷	۲۹/۹	۲۸/۸	۲۸/۲	۳۳/۱
Ce	۵۰/۲	۵۱/۶	۵۵/۹	۵۳/۴	۵۳/۵	۵۹/۳
Pr	۵/۵۴	۵/۷۶	۶/۱۳	۶/۰۳	۵/۶۸	۶/۳۱
Nd	۲۰/۷	۲۱/۴	۲۳/۲	۲۲/۲	۲۰/۷	۲۱/۶
Sm	۳/۹۸	۴/۳۶	۴/۵۱	۴/۳۵	۴/۱۸	۳/۷۸
Eu	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۷	۱/۲۷	۱/۱۳	۱/۰۳
Gd	۳/۹۷	۴/۰۰	۴/۱۹	۴/۲۶	۴/۰۳	۳/۷۰
Tb	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۵۶
Dy	۳/۵۸	۳/۹۲	۳/۷۳	۳/۴۶	۳/۷۳	۳/۲۳

Sample No.	42	43	10	32	41	36
Rock Type	BA	BA	A	A	A	A
Ho	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۷۰
Er	۲/۲۹	۲/۱۱	۲/۳۴	۲/۱۴	۲/۰۵	۱/۹۳
Tm	۰/۳۲	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۶
Yb	۲/۲۱	۲/۰۲	۲/۱۱	۲/۰۳	۲	۱/۸۷
Lu	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۳	۰/۳	۰/۲۸	۰/۲۹
Eu/Eu*	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۹۰	۰/۸۴	۰/۸۴
(La/Yb) <sub>N</sub>	۸/۲۷	۹/۲۵	۹/۵۵	۹/۵۶	۹/۵۱	۱۱/۹۳

Sample No.	6	15	16	29	11	18
Rock Type	D	D	D	D	D	D
Location	N32° 37' 49" E60° 4' 15"	N32° 37' 45" E60° 2' 42"	N32° 37' 7" E60° 4' 51"	N32° 38' 3" E60° 3' 13"	N32° 38' 7" E60° 4' 36"	N32° 37' 5" E60° 3' 35"
SiO <sub>2</sub> (Wt%)	۶۶/۱۶	۶۶/۷۶	۷۱/۴۲	۶۵/۸۳	۶۵/۷۹	۶۸/۷
TiO <sub>2</sub>	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۴۴
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۶/۶۸	۱۶/۴۶	۱۴/۰۸	۱۶/۴۶	۱۶/۶۶	۱۵/۳۵
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	۳/۰۹	۳/۳۱	۳/۳۷	۳/۴۹	۳/۳۳	۳/۴۳
MnO	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۲/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳
MgO	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۱۵	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۳۷
CaO	۴/۱۱	۴/۲۴	۳/۷۷	۴/۱۴	۴/۱۴	۳/۶۹
Na <sub>2</sub> O	۴/۲۹	۳/۸۹	۳/۵۳	۴/۱۹	۴/۳۴	۳/۸۳
K <sub>2</sub> O	۲/۳۹	۲/۰۱	۱/۷۷	۲/۴	۲/۲۶	۲/۰۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۲	۰/۱۶
LOI	۱/۲	۳/۰	۱/۲	۲/۰	۱/۲	۱/۶
Sum	۹۸/۸۸	۹۹/۹	۹۹/۹۲	۹۹/۸۹	۹۹/۸۷	۹۹/۹
Ni(ppm)	۲۰	۳۲	۲۰	۲۲	۲۰	۲۹
Sc	۵	۷	۵	۶	۶	۶
Ba	۲۸۵	۲۵۹	۲۴۴	۲۶۶	۳۰۰	۲۵۹
Co	۶/۵	۷/۴	۴/۱	۵/۱	۴/۴	۴/۷
Cs	۴/۵	۳/۷	۳/۴	۹/۲	۳/۳	۳/۷
Ga	۱۳/۹	۱۳/۸	۱۱/۸	۱۳/۸	۱۳/۹	۱۳/۸
Hf	۴/۴	۴/۷	۴/۲	۴/۲	۴/۳	۵/۲
Nb	۱۵/۱	۸/۷	۷/۹	۱۳/۵	۱۵/۶	۹/۱
Rb	۶۷/۲	۶۸/۲	۶۰/۵	۸۱/۹	۶۳/۲	۷۲/۹
Sn	۲	۲	۲	۲	۲	۲
Sr	۳۷۸/۵	۲۷۰/۸	۲۶۶/۲	۳۴۰/۶	۳۷۸/۳	۲۸۳/۸
Ta	۱	۰/۸	۰/۷	۱/۲	۱/۱	۰/۷
Th	۷/۹	۹/۶	۸/۱	۷/۶	۸/۱	۹/۵
U	۲/۳	۱/۶	۱/۵	۲/۴	۲	۲
V	۶۸	۳۸	۲۷	۵۱	۴۷	۲۹

ادامه جدول ۱

Sample No.	6	15	16	29	11	18
Rock Type	D	D	D	D	D	D
Zr	۱۸۱/۷	۲۰۹/۵	۱۸۳/۱	۱۹۰/۵	۱۹۰/۳	۲۱۵/۸
Y	۱۶/۹	۲۰/۵	۱۶/۹	۱۸/۵	۱۴	۱۷/۶
La	۲۸/۵	۱۶/۹	۲۶/۹	۲۴/۴	۲۷/۴	۲۷/۶
Ce	۴۹/۹	۵۰/۳	۴۳	۴۳/۹	۴۸/۵	۴۹/۳
Pr	۵/۳۱	۵/۲۷	۴/۴۹	۴/۸۴	۵/۱۰	۵/۳۶
Nd	۱۷/۷۰	۱۹/۳۰	۱۵/۶۰	۱۷/۹۰	۱۷/۹۰	۱۸/۸۰
Sm	۳/۳۶	۳/۵۹	۳/۰۵	۳/۳۲	۳/۲۳	۳/۵۹
Eu	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۹۴
Gd	۳/۰۱	۳/۷۱	۲/۸۳	۳/۲۸	۲/۸۰	۳/۴۷
Tb	۰/۴۶	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۵۷
Dy	۲/۶۰	۳/۶۴	۲/۷۷	۳/۳۰	۲/۵۹	۳/۱۲
Ho	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۵۱	۰/۶۶
Er	۱/۷۳	۲/۲۹	۱/۸۲	۱/۹۱	۱/۵	۱/۸۸
Tm	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۲۸
Yb	۱/۷۰	۲/۳۶	۱/۷۷	۱/۷۹	۱/۳۷	۱/۸۷
Lu	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۲۹
Eu/Eu*	۰/۸۷	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۸۱
(La/Yb) <sub>N</sub>	۱۱/۳۰	۷/۶۸	۸/۷۵	۹/۱۹	۱۳/۴۸	۹/۹۵



شکل ۳- الف) نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996)؛ ب) نمودار Th در مقابل Co (Hasti et al., 2007) برای نامگذاری و تعیین سری ماگمایی گدازه‌های عباس آباد.



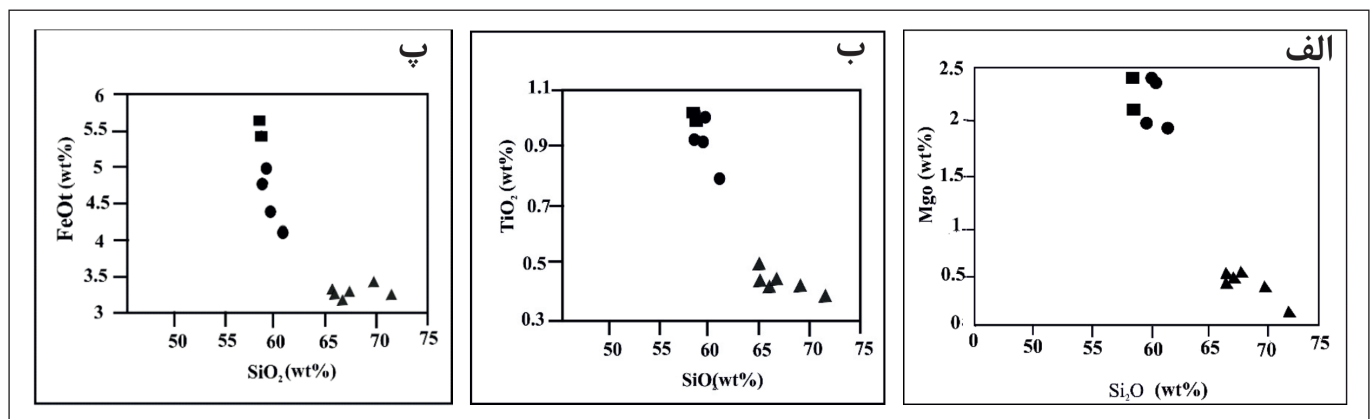
**۵-۱. عناصر اصلی**

مقادیر نسبتاً پایین  $(La/Yb)_N$  (۷/۶۷ تا ۱۳/۴۸) و  $Dy/Yb$  (کمتر از ۲) در گدازه‌های عباس‌آباد، نشان‌دهنده رخداد ذوب بخشی گوشته در منطقه انتقالی ذوب بخشی اسپینل-گارنت لرزولیت است (Barker et al., 1997). الگوی تغییرات عناصر کیمیا بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۵-ب آورده شده است. در این نمودار، روندی شبیه روندهای مشاهده شده در سنگ‌های کمان ماگمایی (Kazimoto and Ikingura, 2014) وجود دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اغلب نمونه‌ها غنی‌شدگی در LILEs (K, Rb, Sr, Cs) (به استثنای Ba) نسبت به HFSEs (Y, P, Ti, Nb) را نشان می‌دهند. غنی‌شدگی عناصر بزرگ‌یون (LILE) نسبت به عناصر با پتانسیل یونی بالا (HFSE) می‌تواند از ویژگی‌های ماگمای مربوط به محیط فرورانش (Wilson, 2007) (Winter, 2001; Gill, 2010) و از خصوصیات سنگ‌های آتشفشانی کالک آلکان باشد (Kuscu and Geneli, 2010). همچنین در این نمودار، آنومالی منفی Nb و Ti مشاهده می‌شود که ماگماتیسم وابسته به فرورانش را تأیید می‌کند (Briqueu et al., 1984; Guo et al., 2007; Shen et al., 2015). احتمالاً HFSE طی فرایند آزدایی، در صفحه فرورونده باقی می‌مانند، در حالی که LILE به سمت بالا حرکت می‌کنند (Temizel et al., 2016). غنی‌شدگی عناصر U و Th در نمودارهای عنکبوتی می‌تواند به علت آلودگی پوسته‌ای و یا وابسته به خصوصیات منشأ باشد (Kuscu and Geneli, 2010). نسبت  $Eu/Eu^*$  در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، به‌طور میانگین ۰/۷۴ تا ۰/۹ است که بی‌هنجاری منفی ضعیف Eu را نشان می‌دهد و می‌تواند بیانگر تبلور پلاژیوکلاز در حین صعود ماگما باشد (Senyah et al., 2016).

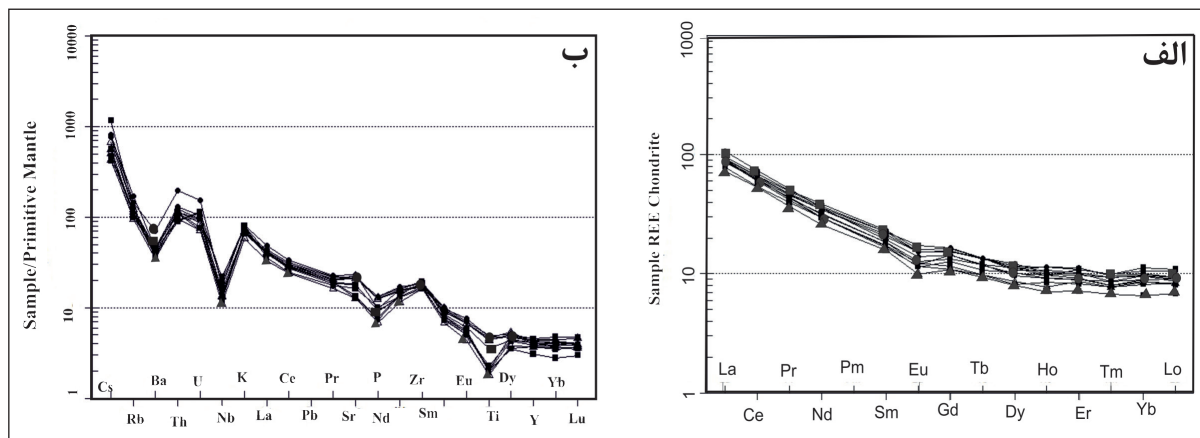
سنگ‌های آنالیز شده تغییراتی را در تمرکز عناصر اصلی نشان می‌دهند. میزان سیلیس در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه ۵۸/۹۶ تا ۷۱/۴۲ درصد است. میزان عناصر  $TiO_2$  و  $Fe_2O_3$  به ترتیب بین ۰/۱۵ تا ۲/۴۸، ۳/۰۹ تا ۵/۵۶ و ۰/۳۹ تا ۱/۰۸ متغیر است. این عناصر رابطه معکوسی با  $SiO_2$  نشان می‌دهند (شکل ۴). رابطه معکوس بین عناصر مافیک و  $SiO_2$  می‌تواند نشان‌دهنده تبلور فازهای مافیک، مثل الیون و پیروکسن باشد (Winter, 2001; Senyah et al., 2016). میزان  $Mg\#$  در نمونه‌های حدواسط بین ۴۲/۹۹ تا ۵۰/۸ متغیر است. مطالعات تجربی نشان می‌دهد  $Mg\#$  یک شاخص مفید برای جدایش مذاب‌های مشتق شده از پوسته و مذاب‌های گوشته‌ای است. به‌طور کلی مذاب‌های پوسته با  $Mg\#$  کمتر از ۴۰ و مذاب‌های درگیر شده با گوشته با  $Mg\#$  بالاتر از ۴۰ مشخص می‌شوند. میزان  $Mg\#$  در نمونه‌های حدواسط منطقه مورد مطالعه نشانگر نقش گوشته در تشکیل آنها است (Smithies and Champion, 2000; Zhang et al., 2016).

**۵-۲. عناصر کیمیا و خاکی کیمیا**

نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت (Boynnton, 1984) الگویی شبیه‌دار از سمت LREE به HREE نشان می‌دهد (شکل ۵-الف). این روندها نشان‌دهنده غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE در مقایسه با کندریت هستند. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE در این سنگ‌ها، ممکن است به دلیل باقی ماندن گارنت در منشأ باشد. گارنت با حفظ HREE در ساختمان خود این تهی‌شدگی را ایجاد می‌کند (Macdonald et al., 2000). محتوای LREE در مذاب به ذوب بخشی گارنت یا اسپینل پریدوتیت بستگی دارد و نسبت  $La/Yb$  وابسته به درجات ذوب است.



شکل ۴- نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به  $SiO_2$  در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه (علامه مشابه شکل ۳).



شکل ۵- الف) نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت (Boynnton, 1984)؛ ب) نمودار چندعنصری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای نمونه‌های منطقه عباس‌آباد (علامه مشابه شکل ۳).

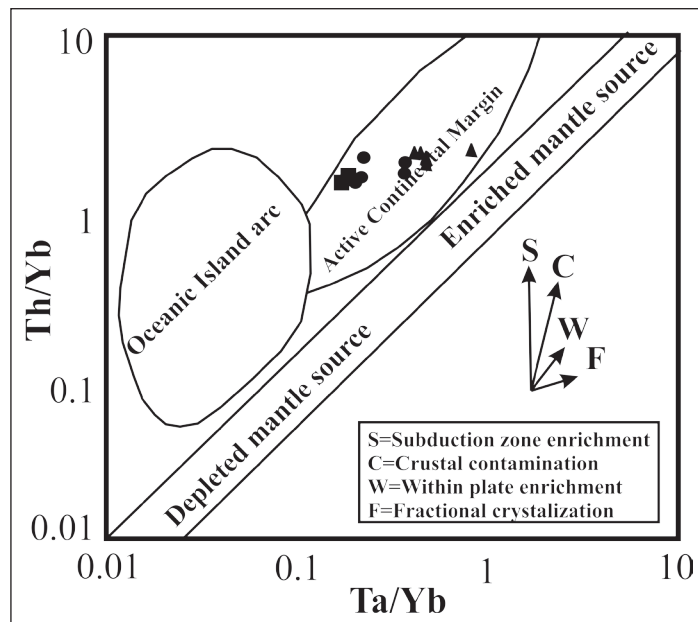
۶- بحث

۶-۱. محیط زمین‌ساختی و منشأ

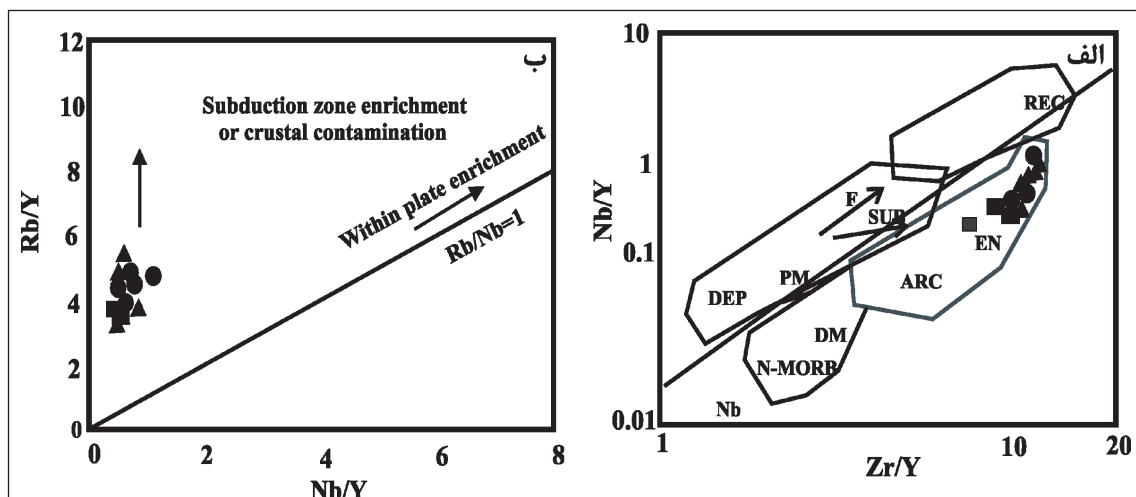
تمایز در ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی مانند عناصر HFS، عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) و همچنین عناصر کمیاب خاکی (REE) در محیط‌های تکتونیکی مختلف یک ابزار کلیدی در تعیین جایگاه تکتونیکی است (Condie, 2005, Seynah et al., 2016). برای تفکیک محیط تکتونیکی گدازه‌های عباس آباد، از نمودار نسبت‌های Th/Yb در مقابل Ta/Yb (Pearce, 1983) استفاده شد (شکل ۶). بر اساس این نمودار، سنگ‌های مورد بررسی متعلق به حاشیه قاره‌ای فعال هستند. ماگمای مادر این سنگ‌ها بر اثر ذوب بخشی در گوه گوشته‌ای وابسته به فرورانش به علت اضافه شدن اجزای متاسوماتیک آزاد شده از لیتوسفر اقیانوسی فرورونده به وجود می‌آید (Harangi et al., 2007).

سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار Nb/Y در مقابل Zr/Y در محدوده غنی شده (EN) و محیط کمان قرار می‌گیرند (شکل ۷- الف) که نشانگر

غنی‌شدگی منشأ آنها توسط پوسته قاره‌ای یا متاسوماتیسم طی فرایند فرورانش است (Condie, 2005). به منظور تعیین روند غنی‌شدگی عنصری گدازه‌های عباس آباد در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی، از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y (Edwards et al., 1991) استفاده شد (شکل ۷- ب). همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، تغییرات Rb و Nb در سنگ‌های منطقه مطالعاتی، حاصل غنی‌شدگی در پهنه فرورانش یا آرایش پوسته‌ای است. در محیط‌های درون صفحه‌ای، روند غنی‌شدگی متفاوت است و از روند خط  $Rb/Nb=1$  پیروی می‌کند (Edwards et al., 1991). نمونه‌های عباس آباد مقادیر پایین Nb/Y را نشان می‌دهند که می‌تواند مربوط به تهی‌شدگی از عناصر HFSE باشد زیرا در گدازه‌های مربوط به محیط‌های فرورانش، عناصر HFSE مانند Nb، Ti و Ta در صفحه فرورونده باقی می‌مانند و عناصر LILE مثل Sr، Rb، K، Ba به راحتی به قسمت بالایی گوشته منتقل می‌شوند (Pearce, 1983).



شکل ۶- نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb (Pearce, 1983) برای تشخیص جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه (علامه مشابه شکل ۳).

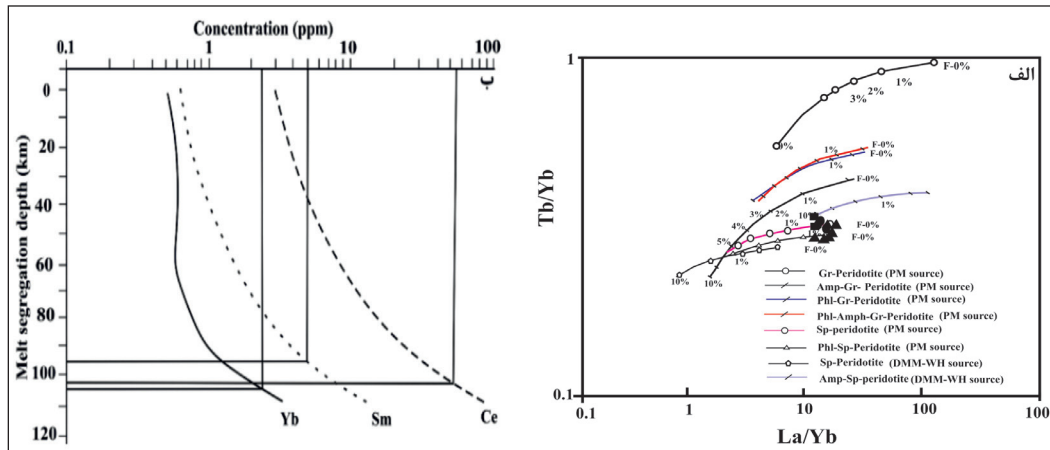


شکل ۷- الف) نمودار Zr/Y در مقابل Nb/Y. پیکان‌ها اثر ذوب تعادلی (F) و فرورانش SUB را نشان می‌دهند. DM = گوشته تهی شده کم‌عمق، EM: بخش غنی شده، REC: بخش بازیاقتی (Condie, 2005)؛ ب) نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y برای بررسی روند غنی‌شدگی نمونه‌های منطقه عباس آباد (Edwards et al., 1991) (علامه مشابه شکل ۳).



درجه ذوب کاهش می یابد (Oyan et al., 2017). بر اساس نمودار Tb/Yb در مقابل La/Yb، نمونه‌های مورد بررسی در منطقه اسپینل گارنت لرزولیت واقع شده‌اند (شکل ۸-الف). به منظور تعیین عمق خاستگاه ماگما، از نمودار میانگین غلظت عناصر کمیاب Yb، Ce و Sm در مقابل عمق تفکیک مذاب (Ellam, 1992) استفاده شد که بر اساس این نمودار، ماگما از عمق حدود ۹۵ تا ۱۰۵ کیلومتری منشأ گرفته است (شکل ۸-ب).

به منظور تعیین منشأ ماگمای مولد سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از نمودار Tb/Yb در مقابل La/Yb (Oyan et al., 2017) استفاده شد (شکل ۸-الف). عناصر REE در تعیین شرایط ذوب و میزان ذوب منبع ماگمای مولد بسیار مفید هستند. اگر گارنت به عنوان کانی باقیمانده در منبع گوشته وجود داشته باشد، نسبت LREE/HREE و MREE/HREE با کاهش درجه ذوب، افزایش می‌یابد. در مقابل، اگر اسپینل فاز باقیمانده در منبع گوشته‌ای باشد، نسبت LREE/HREE با افزایش



شکل ۸-الف) نمودار Tb/Yb در مقابل La/Yb برای تعیین خاستگاه ماگما (Oyan et al., 2017) (علامه مشابه شکل ۳)؛ ب) تعیین عمق خاستگاه ماگما با استفاده از نمودار میانگین غلظت عناصر کمیاب (Ellam, 1992).

## ۷- نتیجه گیری

و بافت غربالی در فنو کریست‌های پلاژیو کلاز نشان دهنده شرایط عدم تعادل در حین تبلور ماگماست. بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس آباد از یک ماگمای کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا حاصل شده‌اند. نمودارهای عناصر کمیاب گدازه‌های بررسی شده، خصوصیات ماگماهای وابسته به فرورانش را نشان می‌دهد. روند یکنواخت الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در گدازه‌های حدواسط و اسیدی، بیانگر ارتباط ژنتیکی آنها با یکدیگر از طریق تبلور تفریقی است. سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، غنی‌شدگی در پهنه فرورانش یا آلاش پوسته‌ای را تحمل کرده‌اند.

فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری در منطقه عباس آباد واقع در شمال خاور سریشه شامل سنگ‌های آتشفشانی حدواسط تا اسیدی آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت است که سنگ‌های آندزیت بازالتی قدیمی‌ترین و داسیت‌ها جوان‌ترین واحدهای سنگی منطقه هستند. بافت اصلی این سنگ‌ها شامل پورفیری با خمیره میکروولیتی-شیشه‌ای، گلومروپورفیری، حفره‌ای، حفره‌ای بادامکی و پورفیری با زمینه ریزدانه است. کانی‌های سازنده سنگ در واحد آندزیت بازالتی شامل پلاژیو کلاز، پیروکسن، پیروکسن، الیون، در واحد آندزیتی شامل پلاژیو کلاز، پیروکسن، آمفیبول و در واحد داسیت شامل پلاژیو کلاز، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول هستند. منطقه بندی، خوردگی خلیجی

## کتابنگاری

- بهاروندی، آ.، محمدی، س. س. و نخعی، م.، ۱۳۹۶- سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه بشگر (شمال باختر سریشه، خراسان جنوبی)، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۷، شماره ۱۰۶، صص. ۱۱۷ تا ۱۲۸.
- پارسایی، م.، ۱۳۹۱- مطالعه زمین‌شناسی، دگرسانی و پترولوژی سنگ‌های آذرین خاور مود (جنوب خاور بیرجند)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۱۵ ص. گودرزی، م.، ۱۳۹۱- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شرق سریشه (شرق ایران) با نگرشی بر پتانسیل اقتصادی آن‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۱۸ ص.
- محمدی، س. س.، بیانی، ر.، نخعی، م.، چانگ، س. ل. و زرین کوب، م. ح.، ۱۳۹۶- سنگ‌نگاری، شیمی کانی‌ها، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه شوشک (شرق سریشه)، خراسان جنوبی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۲۵، شماره اول، صص. ۱۶۷ تا ۱۸۶.
- مکی پور، م.، ۱۳۹۱- مطالعه زمین‌شناسی، دگرسانی و پترولوژی سنگ‌های آذرین منطقه گلاب (سریشه، شرق ایران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه بیرجند، ۱۱۷ ص.
- ملکیان دستجردی، م.، محمدی، س. س.، نخعی، م. و زرین کوب، م. ح.، ۱۳۹۵- ژئوشیمی و جایگاه تکنو ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه کنگان، شمال خاور سریشه، خراسان جنوبی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۸، شماره ۲، صص. ۵۵۳ تا ۵۶۸.
- واحدی طیس، ز.، محمدی، س. س. و زرین کوب، م. ح.، ۱۳۹۶- سنگ‌نگاری، شیمی کانی‌ها و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی پسا آفیولیتی در منطقه راتوک (جنوب گزیک، شرق ایران)، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۹، شماره ۲، صص. ۴۳۹ تا ۴۶۱.

## References

- Babazadeh, S. A., 2013- A note on stratigraphic data and geodynamic evolution of Sistan suture Zone (Neo- Tethyan margin) in eastern Iran. Geodynamics Research International Bulletin 1: 1- 7.
- Barker, A. J., Menzies, M. A., Thirlwall, M. F. and Macpherson, C. G., 1997- Petrogenesis of Quaternary intraplate volcanism, Sana'a, Yemen: Implications for plume-lithosphere interaction and polybaric melt hybridization. Journal of petrology 38: 1359- 1390.

- Boynton, W. V., 1984- Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In *Developments in geochemistry* 16: 63- 114.
- Briqueu, L., Bougault, H. and Joron, J. L., 1984- Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones: petrogenetic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 68: 297- 308.
- Bröcker, M., Rad, G. F., Burgess, R., Theunissen, S., Paderin, I., Rodionov, N. and Salimi, Z., 2013- New age constraints for the geodynamic evolution of the Sistan Suture Zone, eastern Iran. *Lithos* 170: 17- 34.
- Condie, K. C., 2005- High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes?. *Lithos* 79: 491- 504.
- Edwards, C., Menzies, M. and Thirlwall, M., 1991- Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. *Journal of Petrology* 32: 555- 592.
- Ellam R. M., 1992- Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry. *Geology* 20: 153- 156.
- Foley, F. V., Pearson, N. J., Rushmer, T., Turner, S. and Adam, J., 2012- Magmatic evolution and magma mixing of Quaternary adakites at Solander and little Solander Islands, New Zealand. *Journal of Petrology* 54: 703- 744.
- Gill, R., 2010- *Igneous rocks and processes*, Wiley-Blackwell, Malaysia, 428p.
- Gioncada, A., Hauser, N., Matteini, M., Mazzuoli, R. and Omarini, R., 2006- Mingling and mixing features in basaltic andesites of the Eastern Cordillera (Central Andes, 24° S): A petrographic and microanalytical study. *Periodico di Mineralogia* 76: 127- 140.
- Guillou, Y., Maurizot, P., Vaslet, D. and De la villeon, H., 1981- Geological map of Gazik, geological survey of Iran, Scale: 1:100000.
- Guo, Z., Wilson, M. and Liu, J., 2007- Post-collisional adakites in south Tibet: products of partial melting of subduction-modified lower crust. *Lithos* 96: 205- 224.
- Harangi, S., Downes, H., Thirlwall, M. and Gméling, K., 2007- Geochemistry, petrogenesis and geodynamic relationships of Miocene calc-alkaline volcanic rocks in the Western Carpathian arc, eastern central Europe. *Journal of Petrology* 48: 2261- 2287.
- 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 (12): 2341- 2357.
- Higgins, M. D., 2006- *Quantitative textural measurements in igneous and metamorphic petrology*. Cambridge University Press, 265p.
- Jerram, D. A. and Cheadle, M. J., 2000- On the cluster analysis of grains and crystals in rocks. *American Mineralogist* 85(1): 47- 67.
- Kazimoto, E. O. and Ikingura, J. R., 2014- Trace element geochemistry and petrogenesis of the granitoids and high-K andesite hosting gold mineralization in the Archean Musoma-Mara Greenstone Belt, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences* 91: 66- 78.
- Kuscu, G. G. and Geneli, F., 2010- Review of post-collisional volcanism in the Central Anatolian Volcanic Province (Turkey), with special reference to the Tepekoş Volcanic Complex. *International Journal of Earth Sciences* 99: 593- 621.
- Macdonald, R., Hawkesworth, C. J. and Heath, E., 2000- The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. *Earth-Science Reviews* 49: 1- 76.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V. A., Chugaev, A. V., Sharkov, E. V. and Ünal, E., 2017- Petrology and Geochemistry of the Quaternary Mafic Volcanism to the NE of Lake Van, Eastern Anatolian Collision Zone, Turkey. *Journal of Petrology* 58: 1701- 1728.
- 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.
- Pearce, J. A., 1996- A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A (Ed.), *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*, Short Course Notes. Geological Association of Canada 12: 79- 113.
- Renjith, M. L., 2014- Micro-textures in plagioclase from the 1994e 1995v eruption, Barren Island Volcano: Evidence of dynamic magma plumbing system in the Andaman subduction zone. *Geoscience Frontiers* 5: 113- 126.
- Senyah, G. A., Dampare, S. B. and Asiedu, D. K., 2016- Geochemistry and tectonic setting of the Paleoproterozoic metavolcanic rocks from the Chirano Gold District, Sefwi belt, Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 122: 32- 46.
- Shen, P., Pan, H., Seitmuratova, E., Yuan, F. and Jakupova, S., 2015- A Cambrian intra-oceanic subduction system in the Bozshakol area, Kazakhstan. *Lithos*, 224: 61- 77.
- Smithies, R. H., Champion, D. C., 2000- The Archaean high-Mg diorite suite: links to tonalite-trondhjemite-granodiorite magmatism and implications for Early Archaean crustal growth. *Journal of Petrology* 41: 1653- 1671.
- 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.
- Temizel, I., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E. and Ruffet, G., 2016- Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts. *Lithos* 258: 92- 114.
- Tirral, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. and Camp, V. E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 94: 134- 150.
- Whitney, D. and Evans, B., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist* 95: 185- 187.
- Wilson, B. M., 2007- *Igneous petrogenesis, a global tectonic approach*. Springer, Netherlands, 466p.
- Winter, J. D., 2001- *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, New Jersey, 697p.
- Zarrinkoub, M. H., Chung, S. L., Chiu, H. Y., Mohammadi, S., Khatib, M. and Lin, I. J., 2010- Zircon U–Pb age and geochemical constraints from the northern Sistan suture zone on the Neotethyan magmatic and tectonic evolution in eastern Iran. In *Abstract to GSA Conference on "Tectonic Crossroads: Evolving Orogens in Eurasia–Africa–Arabia* 520.
- Zhang, W., Chen, H., Han, J., Zhao, L., Huang, J., Yang, J. and Yan, X., 2016- Geochronology and geochemistry of igneous rocks in the Bailingshan area: Implications for the tectonic setting of late Paleozoic magmatism and iron skarn mineralization in the eastern Tianshan, NW China. *Gondwana Research* 38: 40- 59.

## Geochemistry and tectonic setting of Tertiary lavas in Abbas Abad area (Northeast of Sarbisheh), Southern Khorasan

M. Abazari<sup>1</sup>, S. S. Mohammadi<sup>2\*</sup> and M. Nakhaei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M. Sc., Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

Received: 2018 May 24

Accepted: 2018 November 26

### Abstract

Abbas Abad area is located in the northeast of Sarbisheh, in the northern part of Sistan suture zone and southern Khorasan province. In this area, Tertiary volcanic rocks with the composition of intermediate to acid, including basaltic andesite, andesite, and dacite are exposed. Constructive minerals of basaltic andesite include of plagioclase, pyroxene and olivine and in andesite consist of plagioclase, hornblende and pyroxene, and in dacite are plagioclase, quartz, biotite and hornblende. The studied rocks have medium to high-K calc-alkaline nature. Most samples show enrichment in LILEs (K, Rb, Sr, Cs) (except Ba) relative to HFSEs (Y, P, Ti, Ta, Nb), which indicates the relation of these rocks to subduction zone and active continental margin. The relatively low (La/Yb)<sub>N</sub> (7.67 to 13.48) and Dy/Yb (<2) in Abbas Abad lavas indicate that partial melting of mantle occurred in transitional zone of spinel-garnet lherzolite. Based on the concentration of trace elements such as Ce, Yb and Sm, magma originated from a depth of about 95 to 105 kilometers.

**Keywords:** Andesite, Calc alkaline, Active continental margin, Abbas Abad, Sistan suture zone.

For Persian Version see pages 41 to 50

\*Corresponding author: S. S. Mohammadi; E-mail: ssmohammadi@birjand.ac.ir