

# پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی نوژن جنوب عرب آباد، بلوک لوت

مرتضی خلعت‌بری جعفری<sup>۱</sup>، نورمین بانه‌ای<sup>۲</sup>، محمد فریدی<sup>۳</sup> و مهدی مرادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز سندج، سندج، ایران  
<sup>۳</sup>دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸

## چکیده

سنگ‌های آتشفشانی نوژن، به صورتی گسترده در جنوب عرب آباد، بلوک لوت رخنمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، گدازه‌های آتشفشانی ائوسن، الیگوسن و نهشته‌های تبخیری نوژن را پوشانده‌اند. توالی آتشفشانی نوژن در قاعده شامل برش و توف است که به صورتی تدریجی توسط گدازه‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی و داسیتی پوشانده شده‌اند. این گدازه‌ها دارای بافت آفیریک-پورفیریک و خمیره میکرولیتی تا هیالومیکرولیتی هستند. شواهد عدم تعادل بافت غربالی در فلو کریست‌های پلاژیوکلاز و خمیره نامتجانس در آنها یافت شده است. این گدازه‌ها، گرایش ماگمایی کالک آلکان دارند. در الگوهای عناصر نادر و نمودارهای عنکبوتی، غنی‌شدگی از LREE و LILE در مقایسه با HREE داشته و تهی‌شدگی آشکار HFSE دارند، که مشابه ولکانیسم مناطق فرورانش است. در نمودارهای تکنونوماگمایی، این گدازه‌ها در قلمروی فرورانش و پس‌برخورد جای می‌گیرند. تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی دلالت بر آن دارد که گدازه‌های مورد مطالعه، احتمالاً حاصل ذوب بخشی گوشه لیتوسفری هستند که قبلاً توسط مؤلفه‌های فرورانش (سیالات و مذاب) رها شده از صفحه اقیانوسی فرورو غنی شده‌اند. ذوب بخشی پوسته احتمالاً در ژنز گدازه‌های اسیدی نقش داشته است. به نظر می‌رسد که طی نوژن، نازک‌شدگی لیتوسفر سبب ذوب بخشی گوشه لیتوسفری زیرقاره‌ای شده است. این فرایندها احتمالاً پیامد بالا آمدگی آستوسفر و قطعه‌شدگی لیتوسفر بوده است.

**کلیدواژه‌ها:** کالک آلکان، گوشه، لیتوسفر، پس‌برخورد، بلوک لوت.

\* نویسنده مسئول: مرتضی خلعت‌بری جعفری

E-mail: khalat1965@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

فراورده‌های آتشفشانی نوژن، در جنوب روستای عرب آباد، جنوب دیهوک، در خاور جاده فردوس-دیهوک-راوند رخنمون دارند. این سنگ‌ها، در شمال ورقه ۱:۲۵۰,۰۰۰ نای‌بندان (Kluyver et al., 1981)، و شمال خاوری ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ زونغان (فریدی، ۱۳۸۴)، در باختر بلوک لوت بروزند دارند. این منطقه در طول‌های جغرافیایی ۳۰° ۵۷' تا ۵۸° ۵۸' و عرض‌های جغرافیایی ۳۲° ۳۷' تا ۳۳° ۱۵' شمالی واقع است. در شمال ناحیه نای‌بندان، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، الیگوسن، نوژن و گدازه‌های بازالتی کواترنری گسترده هستند. در رابطه با ماگماتیسم بلوک لوت، دیدگاه‌های مختلفی منتشر شده است. Camp and Griffis (1982)، ادامه همگرایی و برخورد بین بلوک‌های لوت و افغان را موجب ولکانیسم طی الیگوسن، میوسن-میوسن پایانی و کواترنری در بلوک لوت دانسته‌اند، که از نظر پتروگرافی و ژئوشیمیایی با ماگماتیسم کمان ارومیه-دختر و البرز متفاوت است. Tarkian et al (1983) ترکیب گدازه‌های ائوسن، در باختر سه‌چنگی را از نوع آندزیتی و تراکی آندزیتی و Karimpour et al (2011)، ماگماتیسم ائوسن میانی-الیگوسن آغازین را با مناطق فرورانش مقایسه نموده‌اند. Pang et al (2012)، منشأ ولکانیسم ائوسن میانی-الیگوسن را در شمال بلوک لوت، از نوع گوشه‌ای و پیامد شکسته شدن لیتوسفر و جریان‌های رو به بالای آستوسفری فرض نموده‌اند. طبق نظر Pang et al. (2012, 2013)، سنگ‌های ماگمایی ائوسن-الیگوسن در بلوک لوت-سیستان، دارای منشأ گوشه‌ای بودند که با مواد پوسته‌ای قاره‌ای فوقانی آلاینش یافته‌اند. به باور کیلانی جعفری ثانی (۱۳۹۶)، منشأ گدازه‌های بازیک-حدواسط ائوسن در باختر سه‌چنگی (مجاور منطقه مورد مطالعه در این مقاله)، گوشه لیتوسفری زیر قاره بوده است که پیش از ذوب بخشی توسط ترکیبات فرورانش (سیالات و مذاب) رها شده از صفحه اقیانوسی فرورو غنی شده است. به نظر بانه‌ای (۱۳۹۶)، تشکیل گدازه‌های آتشفشانی الیگوسن در جنوب ده‌ته، پیامد نازک شدن لیتوسفر قاره‌ای، پس از ضخیم شدن آن طی ائوسن بوده است.

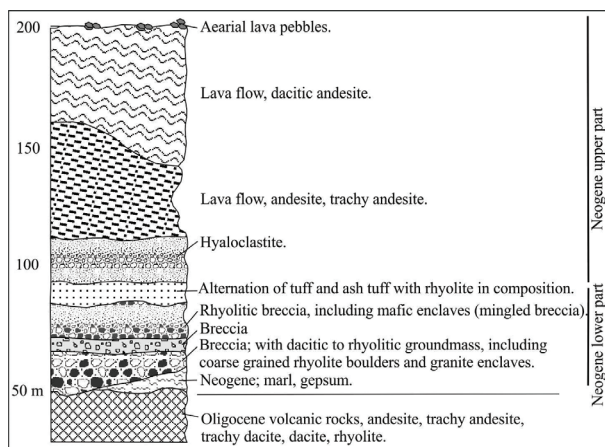
## ۲- اهداف و روش مطالعه

علیرغم انتشار نقشه‌های زمین‌شناسی و مقاله‌های Pang et al (2012, 2013)، از ولکانیسم شمال لوت، مطالعات جامعی بر روی فراورده‌های آتشفشانی نوژن جنوب عرب آباد منتشر نشده است. پس از بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از سنگ‌های آتشفشانی نوژن جنوب عرب آباد و مطالعات پتروگرافی، تعداد ۲۶ نمونه در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور (GSI) و آزمایشگاه SGS در کشور کانادا تجزیه شیمیایی شدند. در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی، اکسیدهای اصلی به روش XRF (با دقت ۰٫۱ درصد) و عناصر نادر و کمیاب (با دقت ppm) به روش ICP-OES اندازه‌گیری شدند. در آزمایشگاه ALS نیز اکسیدهای اصلی و عناصر نادر شامل Ba, Sr, Y, Zr, Zn با روش ICP-AES و سایر عناصر با روش ICP-Mass spectrometry تجزیه شدند. با کمک نرم‌افزارهای Excel و Corel DRAW X6 Igpct 2007 نمودارهای ژئوشیمیایی ترسیم و سپس در نرم‌افزار Corel DRAW X6 Igpct 2007 تجزیه شدند. در این مقاله نتایج بررسی‌های صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی از گدازه‌های آتشفشانی نوژن مورد بحث قرار گرفته است.

## ۳- زمین‌شناسی

شکل ۱، واحدهای آتشفشانی ترشیری و شکل ۲، ستون چینه‌نگاری شماتیک از سنگ‌های آتشفشانی نوژن را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این منطقه، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، دربرگیرنده ته‌نهشته‌های پیروکلاستیک و گدازه‌ای هستند. ترکیب آنها، بازالت، آندزیت بازالتی، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت، داسیت و ریولیت-ایگنمیریت است (کیلانی جعفری ثانی، ۱۳۹۶). گدازه‌های آتشفشانی الیگوسن، ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت، داسیت و ریولیت دارند (بانه‌ای، ۱۳۹۶). فراورده‌های آتشفشانی نوژن، در خاور (شکل ۳-الف)، جنوب باختری (شکل ۳-ب) و شمال محدوده مورد مطالعه (شکل ۱) گسترده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی نوژن در دو بخش دیده می‌شوند (شکل ۲). بخش زیرین، به‌طور عمده شامل برش و توف و بخش بالایی دربرگیرنده گدازه‌های آندزیتی-تراکی آندزیتی و داسیتی-آندزیتی در بالای توالی است. ۱۲۳

می‌رسد (شکل ۲)، درحالی که ضخامت این واحد در شمال منطقه، در حدود چند متر و در باختر منطقه نیز نایاب و یا پدیدار نشده است.



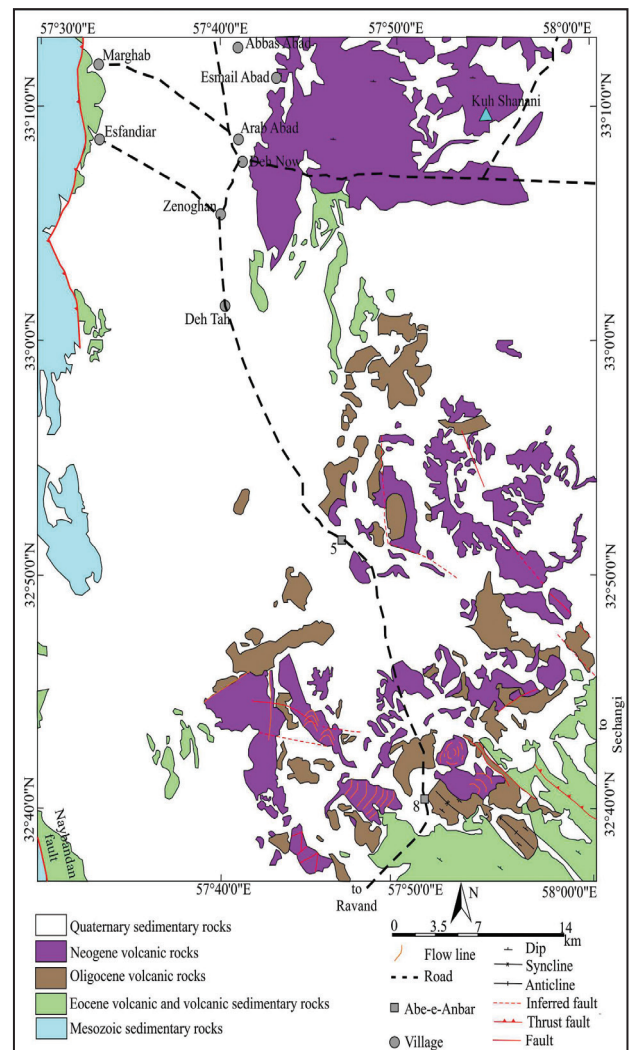
شکل ۲- ستون چینه‌نگاری شماتیک که موقعیت واحدهای زمین‌شناسی در آن نشان داده شده است.

همان‌طور که ذکر شد، بخش ولکانو کلاستیک زیرین در خاور منطقه، دربرگیرنده تناوبی از برش و توف است (شکل‌های ۳-ج و چ). این سنگ‌ها لایه‌بندی دارند (شکل‌های ۳-ج و چ) و بخش برشی آن دربرگیرنده قطعه‌هایی با ابعاد چند سانتی‌متر تا چند دسی‌متر است (شکل ۳-ح). قطعه‌های متنوعی در برش دیده می‌شوند و ترکیب آنها از بازالت تا آندزیت متفاوت است. قطعه‌های گرانیت دگرشکل نیز در آنها یافت شده است (شکل ۳-ح). تغییرات در اندازه قطعه‌ها و خرده‌های بلورین را می‌توان از قاعده تا بالای توالی دید (شکل ۳-چ). تغییرات در اندازه قطعه‌ها را می‌توان به فعالیت‌های انفجاری با شدت و ضعف متفاوت نسبت داد که حاصل آن لایه‌های با گرانولومتری متفاوت از قطعه‌ها و خرده‌های بلورین بوده است. قطعه‌های اسیدی نیز با حاشیه منحنی در خمیره‌های حدواسط، در افق‌های بالایی از بخش ولکانو کلاستیک زیرین یافت شده‌اند (شکل ۳-خ). وجود چنین لایه‌هایی و همچنین وجود قطعه‌های تیره رنگ با ترکیب آندزیتی و بازالتی که توسط خمیره‌های اسیدی احاطه شده‌اند، را می‌توان با آمیختگی ماگمایی در قاعده نئوژن توجیه نمود. اکثر قطعه‌ها، در برش‌های بخش زیرین، دارای حاشیه منحنی با خمیره هستند. این پدیده می‌تواند نشان از آن داشته باشد، که فعالیت‌های آتشفشانی در قاعده نئوژن، انفجاری بوده است، که در آن فرآورده‌های پیروکلاستیک ته‌نشست شده‌اند. نکته جالب توجه در بخش ولکانو کلاستیک نئوژن در منطقه مورد مطالعه، وجود آنکلاوهای گرانیتی در میان قطعه‌های برش است. شاید بتوان گفت، که بی‌سنگ منطقه، به احتمال گرانیتی بوده است، که هنگام عبور ماگما کنده شده‌اند.

به نظر می‌رسد، که فرآورده‌های پیروکلاستیک در خاور منطقه، در محیطی خشک نهشته شده‌اند. اما در شمال منطقه، در شمال جاده عرب آباد (شکل ۱)، توف‌های سبز و ارغوانی رنگ، به صورت لایه‌های متناوب دیده می‌شوند. در این محل، توف‌ها سرشار از کانی‌های سبز رنگ مانند اپیدوت و کلریت بوده و کانی‌های اکسید شده در آنها فراوانند. خرده‌های تخریبی و کربناته هم در آنها یافت شده است. اکسید شدن شدید و هیدراته شدن کانی‌ها در لایه‌های توف سبز، این حدس را تقویت می‌نماید، که این سنگ‌ها، در شمال منطقه مورد مطالعه، در محیطی آبدار ته‌نشست شده‌اند.

همان‌طور که ذکر شد، گدازه‌های آتشفشانی نئوژن که بر روی بخش ولکانو کلاستیک زیرین نهشته شده‌اند (شکل ۴-الف)، دارای ترکیب آندزیتی-تراکی آندزیتی در قاعده و داسیتی-آندزیتی در بالای توالی هستند. به نظر می‌رسد که برحسب محل رخنمون، نوع فعالیت آتشفشانی متفاوت بوده است. در خاور منطقه مورد مطالعه، گدازه‌های آندزیتی-تراکی آندزیتی به صورت مستقیم بر روی بخش

در رابطه با شواهد سنی نهشته‌های آتشفشانی مورد مطالعه، فسیل مشخصی در میان فرآورده‌های آتشفشانی نئوژن یافت نشده است. اما تعیین سن به روش آرگن/آرگن، از یک نمونه از گدازه آندزیتی در حوالی آب انبار شماره ۵ (شکل ۱) (در زیر نهشته‌های نئوژن)، سن الیگوسن تحتانی (۳،  $38.4 \pm 0.3$  میلیون سال) (Pang et al., 2013) به دست داده است. تعیین سن به روش پتاسیم/آرگن، بر روی گدازه‌ای با موقعیت چینه‌نگاری مشابه در خاور آب انبار شماره ۸ (شکل ۱)، سن ۳۴ میلیون سال را به دست داده است (Kluyver et al., 1981).



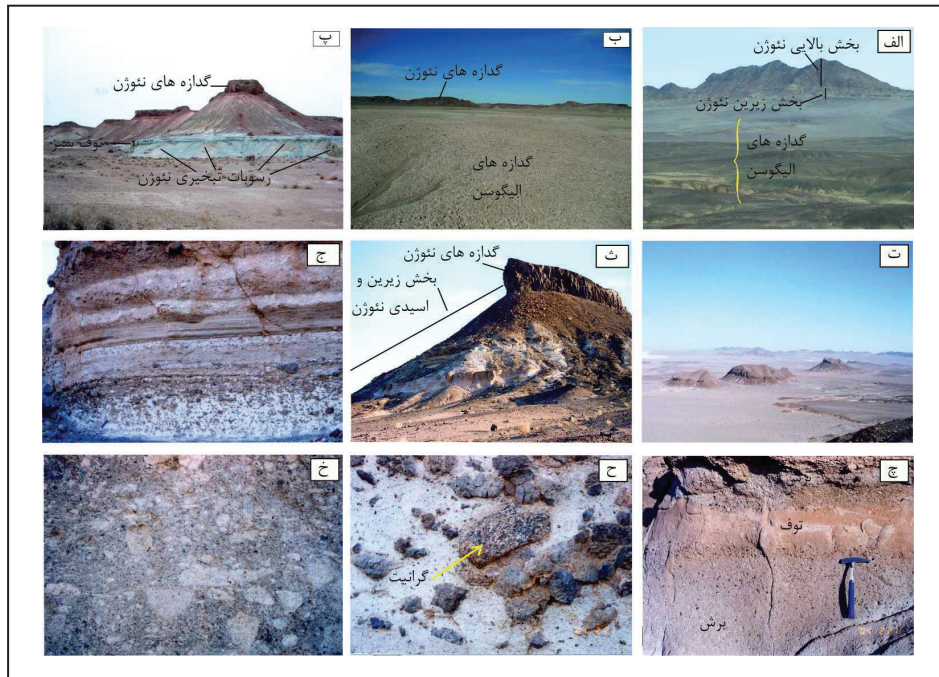
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده و شماتیک منطقه، بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ توخاغان (فریدی، ۱۳۸۴).

در خارج از منطقه مورد مطالعه، در حدود ۷۰ کیلومتری شمال آن در محدوده رباط خوشاب، گدازه‌های نئوژن بر روی مارن و ژئیس منسوب به نئوژن (شکل ۳-پ) ریخته شده‌اند (خلعت‌بری جعفری، ۱۳۷۹). فسیل مشخصی در میان این نهشته‌های تبخیری و مارن‌ها یافت نشده است. بنابراین بر اساس داده‌های چینه‌نگاری و ژئوکرونولوژی موجود می‌توان انتظار داشت که سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه در بازه زمانی نئوژن فوران یافته‌اند.

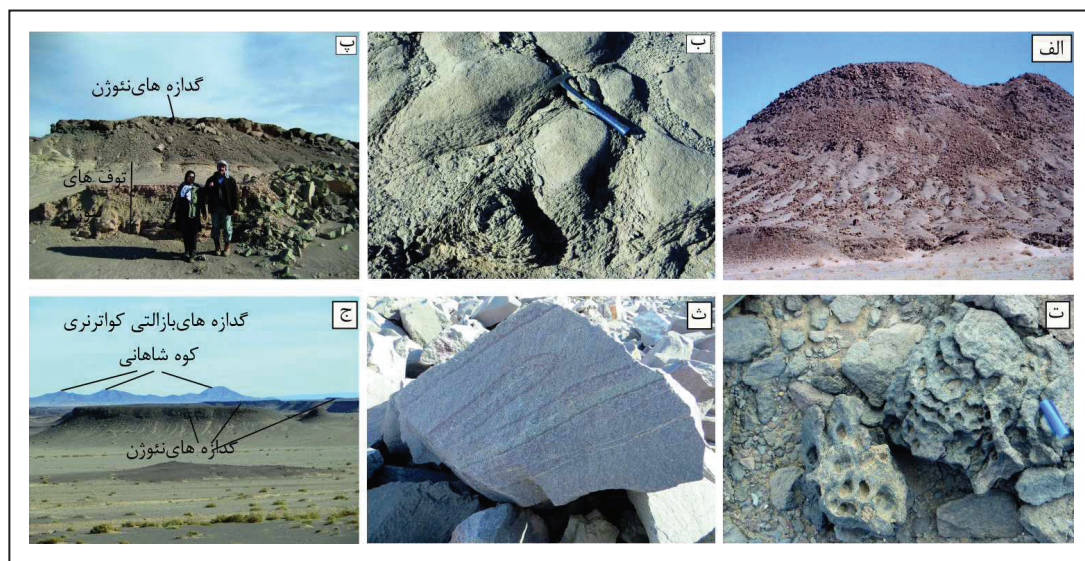
کامل‌ترین مقطع از فرآورده‌های آتشفشانی نئوژن در خاور منطقه و در یک کالدرای فرسایش یافته برونزد دارد. بخش خاوری کالدرای فرسایش یافته (شکل ۴-ت) اما بخش باختری آن به شکل نعل اسب در عکس‌های ماهواره‌ای پدیدار شده است. بخش ولکانو کلاستیک زیرین در ضخامت‌های متفاوتی در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد. در خاور منطقه، ضخامت بخش زیرین به حدود ۷۰ متر

هیاو کلاستیک زیرین نهشته شده‌اند. در ضخامتی حدود ۵۰ متر (شکل ۴- الف)، قاعده گدازه‌ها به شدت فرسایش پوست پیازی یافته است (شکل ۴- ب). به سمت بالای توالی آتشفشانی، گدازه‌ها شکلی شبیه بالش دارند و توسط ماتریکسی از هیاو کلاستیک و به ندرت سیمان کربناته، به هم متصل شده‌اند. با توجه به فراوانی

ولکانو کلاستیک زیرین نهشته شده‌اند. در ضخامتی حدود ۵۰ متر (شکل ۴- الف)، قاعده گدازه‌ها به شدت فرسایش پوست پیازی یافته است (شکل ۴- ب). به سمت بالای توالی آتشفشانی، گدازه‌ها شکلی شبیه بالش دارند و توسط ماتریکسی از هیاو کلاستیک و به ندرت سیمان کربناته، به هم متصل شده‌اند. با توجه به فراوانی



شکل ۳- الف) چشم اندازی از واحدهای آتشفشانی نوژن در خاور منطقه مورد مطالعه که بر روی گدازه‌های الیگوسن نهشته شده‌اند؛ ب) چشم اندازی از فرآورده‌های آتشفشانی نوژن در جنوب خاوری منطقه که گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی نوژن بر روی گدازه‌های الیگوسن نهشته شده‌اند؛ پ) گدازه‌های نوژن در منطقه رباط خوشاب، که بر روی نهشته‌های تبخیری جای گرفته‌اند؛ ت) خاور کالدرای فرسایش یافته؛ ث) گدازه‌های بخش بالایی و ولکانو کلاستیک‌های بخش زیرین در خاور منطقه؛ ج) تناوب برش و توف؛ چ) تغییرات گرانولومتری در بخش ولکانو کلاستیک زیرین؛ ح) قطعه گرانیتی و قطعه‌های تیره و بازیگ که توسط خمیره‌ای اسیدی و روشن رنگ محاط شده‌اند؛ خ) قطعه‌های روشن رنگ و اسیدی در خمیره‌ای با ترکیب حدواسط در بالای بخش ولکانو کلاستیک.



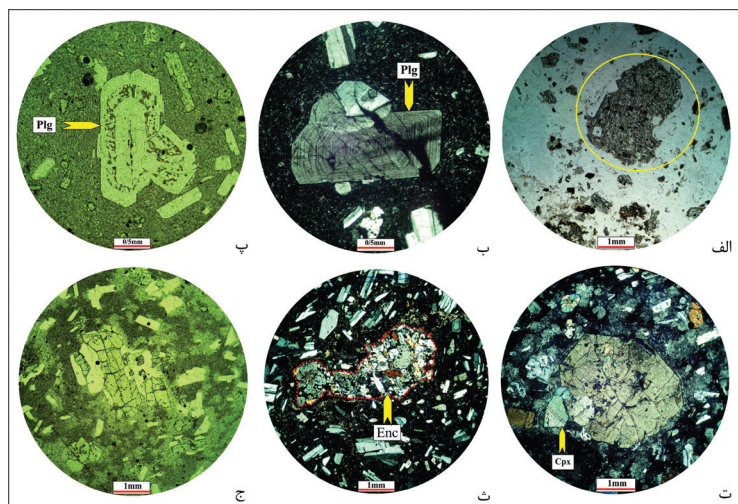
شکل ۴- الف) بخش قاعده‌ای و هیاو کلاستیک از گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی نوژن؛ ب) قطعه‌های دارای حاشیه منحنی که توسط هیاو کلاستیک احاطه شده‌اند؛ پ) گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی، در شمال جاده عرب آباد ریال که بر روی توف‌ها ته نهشت شده‌اند؛ ت) پرتابه‌های آتشفشانی حفره‌دار، در محل دکل مخابراتی؛ ث) قطعه‌ای از گدازه جریانی؛ ج) چشم اندازی دور از گدازه‌های بازالتی کواترنری در کوه شاهانی، که بر روی گدازه‌های نوژن ریخته شده‌اند.

در محل‌هایی، هیالو کلاستیت به مقدار ناچیز در قاعده گدازه‌ها یافت شده است. این شاهد می‌تواند، به عنوان عمق کم آب در حین فوران در شمال منطقه مورد مطالعه تلقی شود. در محل دکل مخبراتی، بین آب‌انباره‌های شماره ۵ و ۸ (شکل ۱)، گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی، بر روی گدازه‌های داسیتی، تراکی داسیتی و ریولیتی الیگوسن پرتاب شده‌اند (شکل ۴-ت). در این محل، می‌توان پرتابه‌های آتشفشانی را ملاحظه کرد که به صورتی نامرتب بر روی زمین پراکنده‌اند. این پرتابه‌ها، دارای حفره‌های خالی چند سانتی‌متری و بی‌شکل هستند. شکل خارجی آنها، این ذهنیت را تقویت می‌نماید، که دهانه فوران فاصله چندانی از محل برداشت پرتابه نداشته است. شاید بتوان گفت که گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی در محل دکل مخبراتی شرایط فورانی مابین فوران‌های هاوایی و پلنین داشته‌اند. به سمت بالای توالی، گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی و سپس آندزیتی- داسیتی نهشته شده‌اند. این گدازه‌ها، به صورت جریانی (شکل ۴-ث) و یا ورقه‌های نازک دیده می‌شوند و کانی‌های ریز و درشت به موازات این ورقه‌ها ردیف شده‌اند. گدازه‌های بخش بالایی توالی آتشفشانی نوژن، بافت آفیریک تا فیریک دارند. فنوکریست‌های پیروکسن در قاعده فراوان ترند ولی در سقف از مقدار آن‌ها کم شده است. میکرو آنکلاوهای سرشار از پیروکسن نیز با حاشیه منحنی، در میان جریان‌های گدازه‌ای یافت می‌شوند. در کوه شاهانی (شکل ۱)، گدازه‌های بازالتی کواترنری، بر روی گدازه‌های آندزیتی- تراکی- آندزیتی نوژن، ریخته شده‌اند (شکل ۴-ج).

#### ۴- پتروگرافی

بر اساس بررسی‌های پتروگرافی، سنگ‌های آتشفشانی نوژن، دارای ترکیب آندزیتی- تراکی آندزیتی، داسیتی- آندزیتی، داسیتی- ریوداسیتی و ریولیتی هستند. توف‌ها نیز دارای بافت لیتو کلاستیک تا کریستالو کلاستیک هستند. لیتو کلاست‌ها دربرگیرنده قطعه‌های سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی تا تراکی آندزیتی با حاشیه بینایی با خمیره‌اند (شکل ۵-الف). بعضی از این قطعه‌ها حفره دارند. خمیره در مواردی اکسیده شده است، اما به طور عمده، از خرده‌های بلورین پلاژیو کلاز و آمفیبول تشکیل شده است. بنابراین می‌توان آنها را لیتیک- کریستال توف نامید. گدازه‌های آندزیتی- تراکی- آندزیتی، دارای خمیره میکرو لیتی جریانی، شیشه‌ای و میکرو لیتی- هیالومیکرو لیتی هستند. در این گدازه‌ها، فنوکریست‌های پلاژیو کلاز، کلینوپیکروکسن و سانیدین دیده می‌شوند. فنوکریست‌های پلاژیو کلاز اغلب سالمند، و ترکیب آنها، از الیگو کلاز تا آندزین در تغییر است. دارای منطقه‌بندی کانیایی (شکل ۵-ب)، تلاطمی و گاهی بافت اسفنجی دارند (شکل ۵-پ)، به این صورت، که در امتداد منطقه‌بندی، دارای حفراتی هستند که توسط شیشه آتشفشانی پر شده‌اند. بعضی از مولفین (Deering et al., 2011; Winter, 2014; Kucu and Floyd, 2000):

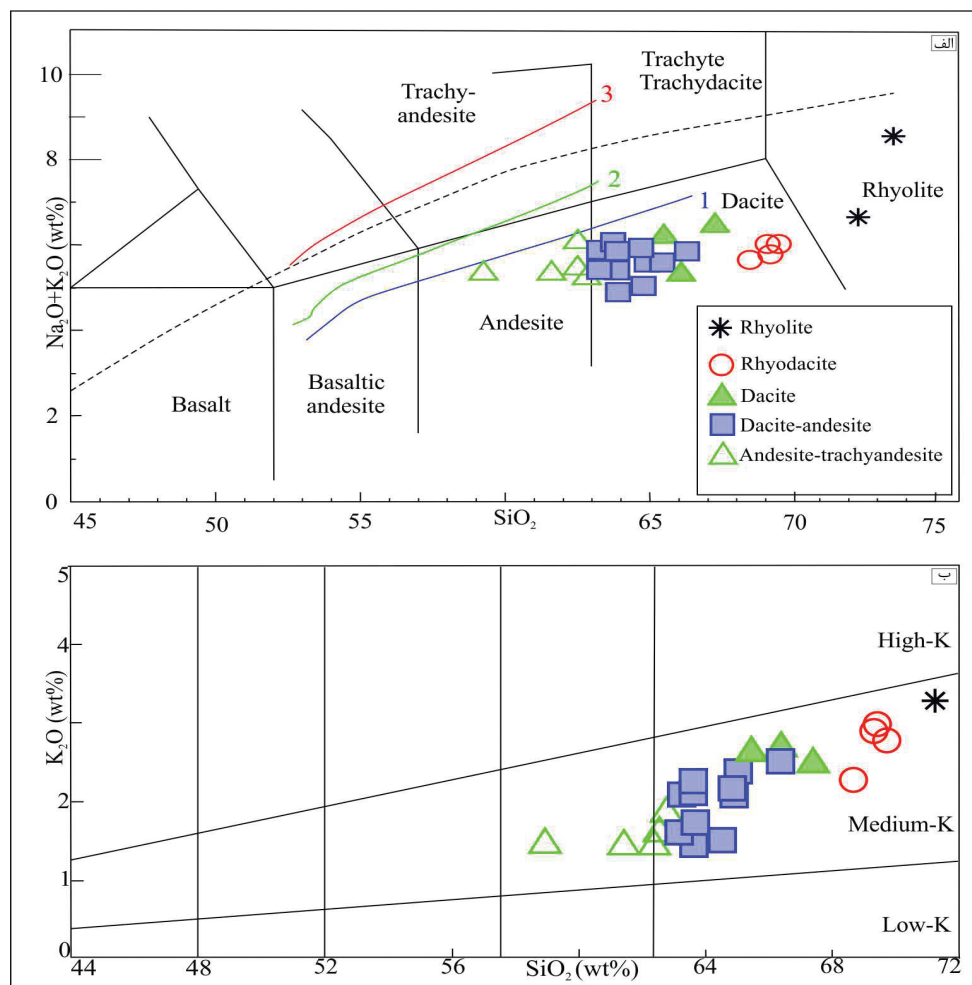
گدازه‌های داسیتی- آندزیتی نوژن دارای بافت پورفیریک با خمیره میکرو لیتی تا هیالومیکرو لیتی هستند. فنوکریست‌های پلاژیو کلاز، کلینوپیکروکسن (اوژیت) و به مقدار ناچیز ارتوپیکروکسن (آنستاتیت)، در آنها یافت شده است. گاهی فنوکریست‌های پلاژیو کلاز، همراه با کلینوپیکروکسن (اوژیت)، تشکیل گلو مروز کریست را داده‌اند. تجمع فنوکریست‌ها در کنار یکدیگر، به عنوان نشانه نقش تفریق ماگمایی تلقی شده است (Shelley, 1993). فنوکریست‌های پلاژیو کلاز، دارای ساختمان منطقه‌ای، ترکیب آندزین بوده و منطقه‌بندی تلاطمی در آنها مشاهده می‌شود. خمیره دربرگیرنده میکرو لیتی‌های پلاژیو کلاز، بلورهای ریز کوارتز و آلکالی فلدسپار است. خمیره نامتجانس است (شکل ۵-ج)، به طوری که بخش‌هایی از خمیره، تیره‌تر از بخش‌هایی دیگر است که می‌توان به اختلاف در ترکیب خمیره و آمیختگی ماگمایی نسبت داد. به عقیده (Sutcliffe et al., 1990)، در اختلاط ماگمایی، ماگمای بازیک در هنگام مواجه با ماگمای اسیدی، سریعاً سرد و منجمد می‌شود. از طرف دیگر، مواد اسیدی که توسط ماگمای بازیک گرم می‌شود، روان می‌شود. در نتیجه ضمن شکسته شدن مواد بازیک جامد، آن را در بر می‌گیرد. در مواردی، مواد بازیک، به درون ماگمای اسیدی روان شده و به صورت قطعه‌های با حاشیه منحنی (شکل ۵-ج) شکل می‌گیرند (Sutcliffe et al., 1990).



شکل ۵- الف) قطعه آتشفشانی با ترکیب آندزیتی در برش نوژن؛ ب) منطقه‌بندی در فنوکریست پلاژیو کلاز از گدازه آندزیتی- تراکی آندزیتی؛ پ) بافت اسفنجی در فنوکریست پلاژیو کلاز در گدازه آندزیتی- تراکی آندزیتی؛ ت) فنوکریست اوژیت در گدازه آندزیتی- تراکی آندزیتی؛ ث) گزنولیت سرشار از آمفیبول و پیروکسن؛ ج) خمیره نامتجانس و تجمع‌های کانی‌های پلاژیو کلاز و کلینوپیکروکسن به صورت گلو مروز کریست در گدازه داسیتی- آندزیتی. تصاویر الف، پ و ج در نور ppl و بقیه در نور xpl برداشته شدند.

گرفت. سپس، نمودارهای دوتایی، الگوهای عناصر نادر و نمودارهای عنکبوتی، جایگاه تکنونوماگمایی و منشأ این گدازه‌ها، مورد بحث قرار خواهند گرفت. جهت نامگذاری ژئوشیمیایی گدازه‌های نئوژن، از نمودار تغییرات  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  به  $\text{SiO}_2$  (Le Bas et al., 1986)، استفاده شد (شکل ۶- الف). طبق این نمودار، نمونه‌های مورد مطالعه، در محدوده‌های آندزیت و داسیت ترسیم شدند. خط چین جداکننده مرز سری آلکان و ساب آلکان از (Irvin and Baragar, 1971) اقتباس شده است. در این نمودار، خط‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب روندهای تبلور تفریقی در سری‌های ماگمایی کالک-آلکان، کالک آلکان پتاسیم متوسط را نشان می‌دهند (Beccaluva et al., 2013). بر این اساس روند چیدمان گدازه‌های نئوژن در جنوب عرب‌آباد، با روند تفریقی کالک-آلکان انطباق مناسب‌تری نشان می‌دهند. اما همان‌گونه که در بحث نمودارهای دوتایی خواهیم دید، تفریق، تنها عامل در تحولات ماگمایی جنوب عرب‌آباد نیست. جهت تعیین سری‌های ماگمایی از نمودار نسبت  $\text{K}_2\text{O}$  به  $\text{SiO}_2$  (Le Maiter, 2002) استفاده شد. طبق این نمودار سنگ‌های آتشفشانی نئوژن مورد مطالعه در قلمروی کالک آلکان پتاسیم متوسط ترسیم شده‌اند (شکل ۶- ب).

گدازه‌های داسیتی-ریوداسیتی و ریولیتی دارای بافت پورفیریک با خمیره میکرو کریستالین-میکروولیتی هستند. دربردارنده فنوکریست‌های بی‌شکل کوآرتز و پلاژیوکلاز بوده و آلکالی‌فلدسپار به ندرت دیده می‌شود. فنوکریست‌های کوآرتز، گاهی حاشیه خلیجی دارند، که ممکن است، طی صعود ماگما و در اثر برداشته شدن فشار از روی حجره ماگمایی ایجاد شده باشند (Mbowou et al., 2015; Shelly 1993). فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، دارای شکل بلورین تخته‌ای و ماگل‌های آلپیت و آلپیت-کارلسپار بوده اغلب به کانی‌های رسی و سرسیت جانشین شده‌اند. آلکالی‌فلدسپار نیز به کانی‌های رسی جانشین شده است. خمیره، دربردارنده بلورهای ریز از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوآرتز و آلکالی‌فلدسپار است. مقادیر این کانی‌ها، همانند مقادیر فنوکریست‌ها در مقاطع میکروسکوپی، متغیر است. به دلیل ریز بودن بلورهای تشکیل‌دهنده خمیره، امکان تشخیص و تفکیک آنها از یکدیگر دشوار است. همانند گدازه‌های تراکی آندزیتی، دربردارنده زئولیت‌های ریز سرشار از پیروکسن و آمفیبول هستند. با توجه به انجام تجزیه‌های شیمیایی از گدازه‌های آتشفشانی نئوژن، و لزوم تفسیر آنها، ابتدا نامگذاری ژئوشیمیایی و روندهای ماگمایی مورد بررسی قرار خواهند



شکل ۶- الف) نمودار تغییرات  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  به  $\text{SiO}_2$  (Le Bas et al., 1986) از گدازه‌های آتشفشانی نئوژن محدوده عرب‌آباد را نشان می‌دهد. خط چین جداکننده مرز سری‌های آلکان و ساب آلکان از (Irvin and Baragar, 1971) اقتباس شده است. خطوط ۱، ۲ و ۳ به ترتیب روندهای تبلور تفریقی را در سری‌های کالک آلکان، کالک آلکان پتاسیم متوسط را نشان می‌دهند (Beccaluva et al., 2013)؛ ب) نمودار تمایز ماگمایی بر پایه تغییرات  $\text{K}_2\text{O}$  به  $\text{SiO}_2$  (Le Maiter, 2002) که نمونه‌های مورد مطالعه در قلمروی کالک آلکان متوسط جای گرفته‌اند.

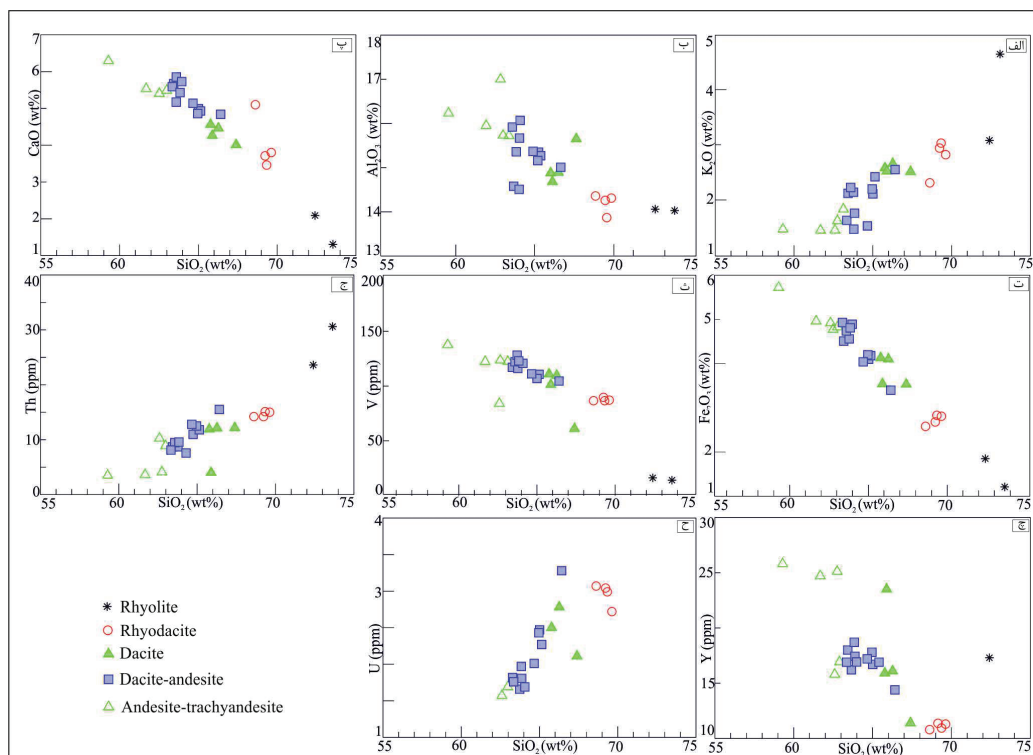
۵- بحث

از نمودارهای دوتایی جهت بررسی تغییرات عناصر اصلی، در سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه، به صورتی انتخابی (شکل ۷) استفاده شد. در بعضی از نمودارهای دوتایی (شکل ۷)، تغییرات از قطب حدواسط به قطب اسیدی پیوسته نیست و نمودارهای دوتایی، نمی‌توان تبلور تفریقی را به عنوان تنها عامل تحول ماگمایی در توالی آتشفشانی نوژن منطقه دانست. در نمودار تغییرات  $K_2O$  به  $SiO_2$  در گدازه‌های نوژن از آندزیت- تراکی- آندزیت به سمت ریولیت روند افزایشی دارد (شکل ۷- الف). تمرکز بالاتر  $K_2O$  در گدازه‌های ریوداسیتی و ریولیتی را نیز می‌توان، به تبلور آلکالی فلدسپار در این گدازه‌ها نسبت داد. در نمودار تغییرات  $Al_2O_3$  به  $SiO_2$  (شکل ۷- ب)، از گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی به سمت قطب اسیدی روند کاهشی دیده می‌شود.

تمرکز بالاتر و پراکندگی  $Al_2O_3$  در نمونه‌های حدواسط و سپس روند کاهشی آن به سمت قطب اسیدی، نتیجه فراوانی متغیر پلاژیوکلازها و تغییر در ترکیب آنهاست. تغییرات  $CaO$  نسبت به  $SiO_2$ ، از نمونه‌های حدواسط به سوی نمونه‌های اسیدی روندی کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۷- پ)، که می‌توان به تفریق کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز نسبت داد (Ayabe et al., 2012). کاهش  $FeO_t$  نسبت به  $SiO_2$ ، با جدایش اوژیت و هورنبلند در نمونه‌های بازیک- حدواسط و جدایش بیوتیت و اکسیدهای آهن- تیتان در نمونه‌های اسیدی قابل توجه است (شکل ۷- ت). و انادیموم جز عناصر سازگار است و در نمودار تغییرات  $V$  به  $SiO_2$  روند کاهشی دارد (شکل ۷- ث)، که می‌توان به تفریق مگنتیت نسبت داد

ایتریوم جز عناصر ناسازگار و غیر متحرک است. این عنصر، یک روند تقریباً کاهشی را با افزایش  $SiO_2$  نشان می‌دهد (شکل ۷- چ). در این نمودار، ایتریوم در مقادیر پایین از  $SiO_2$ ، به خصوص در گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی تمرکز یافته است که دلیل آن می‌تواند، مشارکت  $Y$  در ساختمان کانی‌هایی مانند آمفیبول باشد. در نمودار تغییرات  $U$  به  $SiO_2$  می‌توان روند افزایشی را از قطب حدواسط به سمت ریولیت شاهد بود (شکل ۷- ح). در این نمودار، روند تمرکز این عنصر در نمونه‌های اسیدی متفاوت از نمونه‌های حد واسط است. بالا بودن نسبی عناصری مانند  $Th$ ،  $U$ ،  $Si$ ،  $Sr$ ،  $Rb$ ،  $Th$  و  $U$  در نمونه‌های حد واسط را شاید بتوان به منشأ گوشته‌ای نسبت داد که پیش از ذوب بخشی، توسط مؤلفه‌های فرورانش دچار متاسوماتیسم و غنی شده است (Ashrafi et al., 2018; Erturk et al., 2017; Zhang et al., 2102).

شکل ۷- نمودارهای انتخابی از تغییرات اکسیدهای اصلی و عناصر نادر نسبت به  $SiO_2$  را در گدازه‌های آتشفشانی نوژن جنوب عرب آباد نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمودارهای انتخابی از تغییرات اکسیدهای اصلی و عناصر نادر نسبت به  $SiO_2$  را در گدازه‌های آتشفشانی نوژن جنوب عرب آباد نشان می‌دهد.

۵-۱. الگوهای عناصر نادر خاکی به هنجار شده با مقادیر کندریت

از گدازه‌های حدواسط (شکل ۸- الف) و اسیدی (شکل ۸- ب) و نمودارهای عنکبوتی به هنجار شده از همین سنگ‌ها با مقادیر گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) (شکل‌های ۸- پ و ت) نشان داده شدند.

الگوهای عناصر نادر به هنجار شده با مقادیر کندریت، دارای غنی‌شدگی LREE (از مرتبه ۱۵۰ الی ۲۵۰) در مقایسه با HREE (مرتبه ۷ الی ۲۰) هستند (شکل‌های ۸- الف و ب). در مورد گدازه‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی

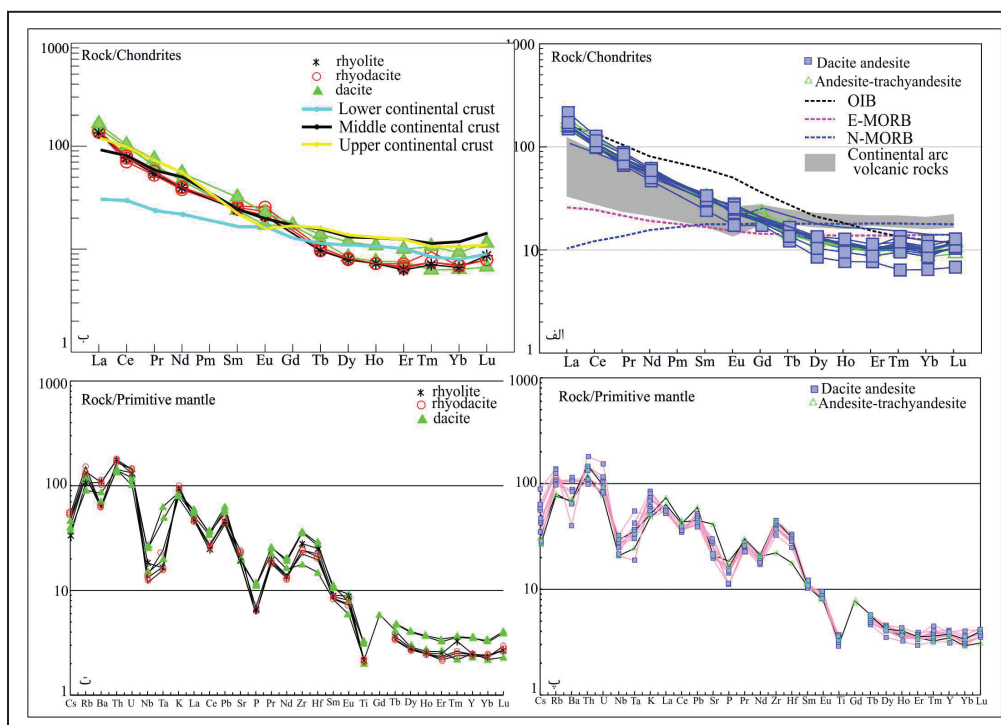
منشأ گوشته‌ای لیتوسفری نسبت داده شده است، که توسط مولفه‌های رها شده از صفحه فرورانش (سیالات و مذاب)، متاسوماتیزه شده است (Erturk et al., 2017; Zhang et al., 2012; Aldanmaz et al., 2000). الگوهای به‌هنجار شده با مقادیر کندریت از گدازه‌های اسیدی (شکل ۸-ب)، انطباق بهتری با الگوهای میانگین پوسته میانی و بالایی دارند، که می‌تواند به عنوان ذوب بخشی پوسته نیز تلقی شود. گدازه‌های اسیدی که از ذوب بخشی گوشته لیتوسفری زیرقاره حاصل شده‌اند، دارای همپوشانی ژئوشیمیایی با گدازه‌هایی هستند که از ذوب بخشی پوسته منشأ گرفته‌اند (Ersoy et al., 2008). بنابراین، می‌توان منشأ گوشته‌ای زیرقاره و یا ذوب بخشی پوسته را نیز به عنوان خواستگاه گدازه‌های اسیدی نوژن جنوب عرب آباد به حساب آورد.

نمودارهای عنکبوتی به‌هنجار شده با مقادیر گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) از گدازه‌های حد واسط (شکل ۸-پ) و اسیدی نوژن (شکل ۸-ت)، غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از HFSE را دارند که از ویژگی‌های مناطق فرورانش و پس‌برخورد است (Qiang et al., 2016; Gill, 2010; Andrew et al., 2005; Pfänder et al., 2002). به باور Rudnick and Gao (2003)، تهی‌شدگی این عناصر نشان‌دهنده آرایش ماگمای اولیه با پوسته زیرین است. یا اینکه مشابه گوشته لیتوسفری در مناطق پس‌برخوردی، منشأ پریدوتیتی گدازه‌ها، توسط مولفه‌های فرورانش متاسوماتیتی شده است (Erturk et al., 2018; Zhang et al., 2012; Aldanmaz et al., 2000). نمودارهای عنکبوتی (شکل‌های ۸-پ و ت)، غنی‌شدگی استرانسیوم در مقایسه با فسفر را می‌توان با تشکیل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز توجیه نمود (Martin, 1999). غنی‌شدگی سرب در این نمودارها را هم می‌توان به تأثیر سیالات بر گوه گوشته‌ای قدیمی، گوشته لیتوسفری زیرقاره (Ghorbani, 2006) و حتی آلودگی‌های پوسته‌ای نسبت داد، که به علت شباهت‌های ژئوشیمیایی نمی‌توان از یکدیگر تفکیک نمود. تهی‌شدگی خفیف Eu در نمودارهای عنکبوتی با جدایش تفریقی فلدسپار قابل توجیه است (Ersoy et al., 2008).

(شکل‌های ۶-الف و ب)، قلمروهای میانگین سنگ‌های آتشفشانی کمان قاره‌ای و الگوهای T-MORB، N-MORB و OIB از (Qian et al., 2015)، اقتباس شده است. در رابطه با گدازه‌های داسیتی، ریوداسیتی و ریولیتی (شکل‌های ۶-پ و ت)، الگوهای میانگین پوسته بالایی، میانی و زیرین نیز از (Li et al., 2014)، گرفته شده است.

در این نمودارها، توزیع REE قاشقی شکل است و HREE تمایل به صاف شدن دارند، که نشان از حضور کلینوپروکسن و هورنبلند در سنگ منشأ دارد (Gill, 2010; Thirlwall et al., 1994). همچنین این شواهد می‌تواند، نشانگر تبلور کانی‌ها در حجره ماگمایی آبدار در پوسته تلقی شود. در حجره ماگمایی کم عمق، ممکن است دو روند در تبلور کانی‌ها روی دهد: بی‌آب شدن حجره ماگمایی که در نتیجه آن پیروکسن و پلاژیوکلاز تبلور می‌یابند. یا آبدار شدن حجره که در نتیجه آن آمفیبول، پلاژیوکلاز و پیروکسن متبلور می‌شوند. با توجه به وجود فنوکریست‌ها و بلورهای ریز کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول در گدازه‌های آتشفشانی نوژن، می‌توان انتظار داشت که حجره ماگمایی آبدار بوده است. تهی‌شدگی از MREE و HREE و غنی‌شدگی از LREE در الگوهای به‌هنجار شده از عناصر نادر خاکی (شکل‌های ۷-الف و ب)، به عنوان ویژگی بارز ولکانیسم مناطق کمانی در نظر گرفته شده است (Omrani et al., 2008; Pfänder et al., 2002).

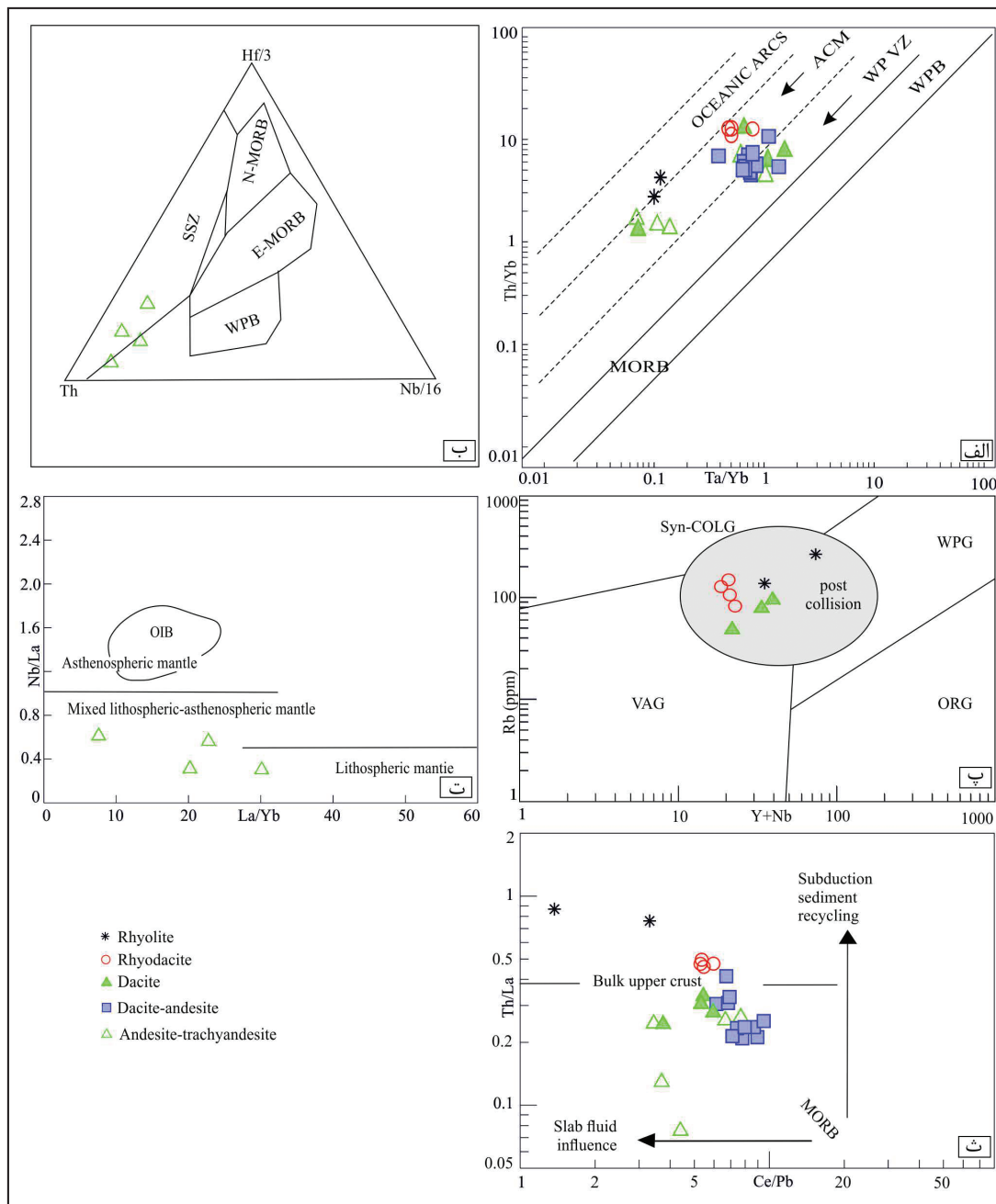
رفتار عناصر نادر خاکی در گدازه‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی (شکل ۸-الف)، انطباق مناسب‌تری با الگوی عناصر در OIB دارند. اگرچه غنی‌شدگی این گدازه‌ها از LREE (مرتب ۱۰۰ الی ۲۵۰) بیشتر است (شکل ۸-الف). الگوهای به‌هنجار شده از گدازه‌های داسیتی، ریوداسیتی و ریولیتی با مقادیر کندریت (Sun, and McDonough, 1989)، غنی‌شدگی از LREE (مرتب ۱۰۰ الی ۲۰۰) (شکل ۸-ب) در مقایسه با HREE (مرتب ۵ الی ۱۵) را نشان می‌دهند که قابل مقایسه با ولکانیسم مناطق فرورانش و پس‌برخورد است (Qiang et al., 2016; Gill, 2010; Andrew et al., 2005; Pfänder et al., 2002). به‌طور عمده، در ماگماتیسم مناطق پس‌برخوردی، غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از HFSE، به



شکل ۸-الف) الگوهای عناصر نادر خاکی به‌هنجار شده با مقادیر کندریت (Sun, and McDonough, 1989) از گدازه‌های حدواسط و ب) اسیدی نوژن را نشان می‌دهند. پ و ت) نمودارهای عنکبوتی به‌هنجار شده با مقادیر گوشته اولیه از همین سنگ‌ها هستند.

نمودار (شکل ۹-ب)، قلمروهای فرارانش (SSZ)، مورب عادی (N-MORB)، مورب غنی شده (E-MORB) و بازالت درون صفحه‌ای (WPB) از یکدیگر تفکیک شده‌اند. گدازه‌های حد واسط نئوژن، در قلمرو فرورانش (SSZ) ترسیم شده‌اند. به منظور درک بهتر محیط تکتونوماگمایی تشکیل گدازه‌های نئوژن جنوب عرب آباد، و ارتباط آنها با محیط‌های تکتونیکی حین برخورد (Syn-collision)، یا پسا برخوردی (Post-collision)، از نمودار نسبت Rb به Y+Nb (Pearce et al., 1984) استفاده شد (شکل ۹-پ). در این نمودار، قلمروهای کوهزایی، کماتی، درون قاره و پسا برخورد، در سنگ‌های اسیدی مجزا شده است. گدازه‌های اسیدی نئوژن جنوب عرب آباد، در قلمروی پسا برخورد ترسیم شده‌اند (شکل ۹-پ).

جهت تمایز محیط‌های تکتونوماگمایی گدازه‌های نئوژن منطقه جنوب عرب آباد، از چند نمودار استفاده شد. در نمودار  $Th/Yb$  نسبت به  $Ta/Yb$  (Gorton and Schandle, 2000)، قلمروهای کمان اقیانوسی (Oceanic Arc)، حاشیه فعال قاره‌ای (ACM)، مناطق آتشفشانی درون صفحه‌ای (WPVZ)، بازالت‌های درون صفحه‌ای (WPB) و بازالت پشته میان اقیانوسی (MORB) از یکدیگر تفکیک شده‌اند. بیشتر گدازه‌های آتشفشانی نئوژن منطقه جنوب عرب آباد در قلمرو حاشیه فعال قاره‌ای (ACM) ترسیم شده‌اند (شکل ۹-الف). نمودار تمایز ماگمایی  $Hf/3-Th-Nb/16$  بر پایه عناصر نامتحرک (HFSE) توسط Wood (1980) جهت تشخیص محیط تکتونوماگمایی پیشنهاد شده است. در این



شکل ۹- نمودارهای تکتونوماگمایی انتخابی جهت تمایز محیط تکتونیکی تشکیل گدازه‌های نئوژن جنوب عرب آباد؛ الف) نمودار نسبت  $Th/Yb$  به  $Ta/Yb$  از (Gorton and Schandle, 2000)؛ ب) نمودار تکتونوماگمایی سه تایی  $Hf/3-Th-Nb/16$  از (Wood, 1980)؛ پ) نمودار نسبت Rb به  $Y+Nb$  (Pearce et al., 1984)، که گدازه‌های اسیدی نئوژن، در قلمروی پسا برخورد ترسیم شده‌اند؛ ت) نمودار نسبت  $Nb/La$  به  $La/Yb$  (Pearce et al., 1984)، که گدازه‌های اسیدی نئوژن، در قلمروی پسا برخورد ترسیم شده‌اند؛ که گدازه‌های حدواسط مورد مطالعه در قلمروی گوشته لیئوسفری قرار گرفته‌اند؛ ث) نمودار نسبت  $Th/La$  به  $Ce/Pb$  (Plank., 2005; Wang et al., 2004)، که اهمیت مؤلفه‌های فرورانش (سیالات و مذاب) را در ژنر گدازه‌های نئوژن محدوده جنوب عرب آباد نشان می‌دهد.



## ۶- نتیجه‌گیری

فرآورده‌های آتشفشانی نئوژن، در محدوده جنوب غرب آباد، بلوک لوت، در دو بخش دیده می‌شوند. بخش زیرین، ویژگی‌های پیرو کلاستیک دارد و شامل برش و توف اسیدی است. تغییر در اندازه قطعه‌ها، شاید نشانی از تغییر در نرخ فعالیت‌های انفجاری بوده است. بعضی از قطعه‌های سازنده در برش‌ها، ترکیب گرانیته دارند و به احتمال، پی‌سنگ منطقه بوده‌اند، که در جریان عبور ماگما کنده شده‌اند. ترکیب بخش بالایی این توالی آتشفشانی، در قاعده آندزیتی- تراکی آندزیتی و به سمت بالا، داسیتی- آندزیتی است. با توجه به رخنمون هیالوکلاستیت و سپس گدازه، در بخش بالایی توالی آتشفشانی نئوژن، می‌توان گفت که فوران آتشفشانی این بخش، در محیط آبدار الی خشکی صورت گرفته است. در برش‌های بخش قاعده‌ای، قطعه‌های بازالتی و آندزیتی در خمیره‌ای روشن رنگ و اسیدی چیدمان شده‌اند. قطعه‌های اسیدی و روشن رنگ نیز با حاشیه‌ای منحنی در خمیره‌ای آندزیتی قرار گرفته‌اند. این شواهد را می‌توان، با پدیده آمیختگی ماگمایی توجه نمود. گدازه‌های نئوژن، دارای بافت پورفیریک با خمیره میکروولیتی و هیالومیکروولیتی و یا پورفیریک با خمیره شیشه‌ای هستند. فنوکریست‌ها، در گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی نئوژن، بیشتر از نوع پلاژیوکلاز و به مقدار کمتر از نوع کلینوپیروکسن (اوپت) و به ندرت ارتوپیروکسن (آنتستاتیت) هستند. در مقاطع میکروسکوپی گدازه‌های آتشفشانی نئوژن، خمیره شیشه‌ای نامتجانس و بافت الکی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز مشاهده شده است، که می‌توان به عنوان شواهد آمیختگی ماگمایی به حساب آورد. زلولیت‌های ریز و سرشار از آمفیبول، پیروکسن و کانی اپیک در گدازه‌های داسیتی نئوژن یافت شدند، که می‌تواند بقایای به جا مانده از گوشته لیتوسفری زیرقاره محسوب شوند. الگوهای عناصر نادر خاکی و نمودارهای عنکبوتی از گدازه‌های آتشفشانی نئوژن، غنی‌شدگی از Rb، Th، K، La، Pb را نشان می‌دهند. در الگوهای عناصر نادر خاکی به‌هنگار شده با مقادیر کندریت، و در نمودارهای عنکبوتی به‌هنگار شده با مقادیر گوشته اولیه، غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از HFSE دیده می‌شوند، که می‌توان خاستگاه این گدازه‌ها را گوشته لیتوسفری زیرقاره (SCLM) و قابل مقایسه با خاستگاه ولکانیسم مناطق پسا بر خوردی در نظر گرفت. همچنین، غنی‌شدگی از LILE در مقایسه با HFSE در نمونه‌های مورد مطالعه، نشان از متاسوماتیسم خاستگاه گوشته‌ای زیر قاره و غنی‌شدگی آنها توسط مؤلفه‌های فرورانش را دارد. در عین حال نقش ذوب بخشی پوسته را نیز نمی‌توان از نظر دور داشت. بررسی نمودارهای ژئوشیمیایی نشانگر نقش سیالات و مذاب‌ها شده از پوسته اقیانوسی فرورو بر روی گوشته لیتوسفری زیر قاره‌ای (SCLM)، در نمونه‌های حد واسط و اسیدی را دارد. الگوهای عناصر نادر خاکی از گدازه‌های اسیدی، دارای انطباق قابل توجه با الگوهای پوسته میانی و بالایی هستند، که می‌تواند نشانگر ذوب بخشی پوسته در ژنر این گدازه‌ها نیز است. با توجه به الگوهای عناصر نادر به‌هنگار شده با کندریت، تهی‌شدگی از MREE و HREE نشانه حضور پیروکسن و آمفیبول در خاستگاه این گدازه‌ها است. همچنین این شواهد می‌تواند، نشانگر تبلور کانی‌ها در حجره ماگمایی آبدار در پوسته تلقی شود. به نظر می‌رسد که ولکانیسم نئوژن در منطقه غرب آباد، در اثر نازک شدن لیتوسفر و در اثر قطعه‌شدگی لیتوسفر زیر قاره (Sub continental lithospheric delamination)، ایجاد شده است.

## سپاسگزاری

از مسئولین محترم پژوهشکده علوم زمین و سازمان زمین‌شناسی کشور، به خصوص آقایان مهندس حسینی اختیارآبادی و مهندس امینی آذر (به ترتیب روسای بازنتشته مراکز کرمان و تبریز)، در فراهم آوردن امکانات لجستیک صحرائی، تشکر و قدردانی می‌شود.

در نمودار نسبت Nb/La به Nd/La (Abdel-Fattah and Philip, 2004;) و نسبت‌های پایین Nb/La در گدازه‌های حد واسط نئوژن، نشانه‌ای از منبع گوشته‌ای لیتوسفری است. پوسته‌های اقیانوسی در منطقه جوش خورده خاور ایران و ناحیه مکران، طی کرتاسه بالایی- پائوسن بسته شدند (Camp and Griffis., 1982)، بنابراین، می‌توان انتظار داشت که ولکانیسم نئوژن در محیط برخوردی و یا پس‌برخوردی قاره‌ای صورت گرفته است. با این استدلال شاید بتوان منشأ گدازه‌های نئوژن در جنوب غرب آباد را از نوع گوشته لیتوسفری زیر قاره (Sub Continental lithospheric mantl) در نظر گرفت (شکل ۸-ت). در نمودار نسبت Ce/Pb به Th/La (Plank., 2005; Wang et al., 2004)، نسبت‌های پایین Ce/Pb نشان‌دهنده تأثیر سیالاتی است که در اثر آزدایی از صفحه اقیانوسی فرورو رها شده و بر روی گوشته لیتوسفری زیرقاره‌ای (SCLM) تأثیر گذاشته است (Hofmann et al., 1986). نسبت‌های بالای Th/La (شکل ۸-ت)، نیز می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر مذاب حاصل از ذوب بخشی رسوبات بالای صفحه فرورو و تأثیر آن بر گوشته لیتوسفری تلقی شود.

حوضه مدیترانه، خاور ترکیه، قفقاز و آذربایجان، نواحی هستند که در آنها، ماگماتیسم کالک‌الکان، کالک‌الکان پتاسیم بالا و الکان، در حوضه‌های پس‌برخوردی به وقوع پیوسته است (Aslan et al., 2013; Arsalan et al., 2013; Temizel et al., 2012; Coban et al., 2012; Dilek et al., 2010). در خاک ترکیه، ولکانیسم میوسن و جوان‌تر، در قالب ماگماتیسم ترشیری مورد بررسی قرار گرفته است (Coban et al., 2012)، که دارای شباهت‌هایی با ولکانیسم نئوژن در جنوب غرب آباد است. در خاور پونتید، در محدوده Gümüshan، قطعه‌شدگی لیتوسفری در حوضه پسا برخورد قاره‌ای، عامل ماگماتیسم، در میوسن به شمار آمده است (Aslan et al., 2013; Arsalan et al., 2013; Temizel et al., 2012). در باختر آناتولی، ولکانیسم میوسن زیرین- میانی، شامل گدازه‌های مافیک الکان و گدازه‌های کالک‌الکان پتاسیم بالا است (مانند جنوب ده ته)، و تشکیل آن به محیط کششی پسا‌کوهزایی و منشأ گوشته‌ای ناهمگن نسبت داده شده است (Coban et al., 2012). همچنین، در منطقه Selendi در باختر پونتید، باختر آناتولی، در میان فرآورده‌های آتشفشانی میوسن آغازین- میانی، واحدهای اسیدی، دارای گسترش بیشتری در مقایسه با گدازه‌های آتشفشانی مافیک و الکان هستند (Erosy et al., 2008). به سمت میوسن بالایی، از گسترش واحدهای اسیدی کم شده (مانند منطقه مورد مطالعه در این مقاله)، و گدازه‌ها ترکیب حد واسط و بازیک یافته‌اند. این تغییرات، به نازک‌شدگی لیتوسفر نسبت داده شده است. همانند منطقه سلندی، در باختر پونتید، فرآورده‌های آتشفشانی در قاعده توالی در منطقه غرب-آباد، رخنمون دارند، اما به سمت بالای توالی، گدازه‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی و داسیتی- آندزیتی نهشته شده‌اند. با توجه به شواهد ژئوشیمیایی مربوط به خاستگاه گوشته-ای لیتوسفری و ماهیت کالک‌الکان گدازه‌های نئوژن و مقایسه با جنوب خاوری ترکیه، به نظر می‌رسد که ولکانیسم نئوژن در منطقه غرب آباد، در اثر نازک شدن لیتوسفر روی داده است. به دنبال ضخیم شدن لیتوسفر در ائوسن و ماگماتیسم شوشونیتی (کیلانی جعفری ثانی، ۱۳۹۶)، نازک‌شدگی لیتوسفر و ماگماتیسم کالک‌الکان و کالک‌الکان پتاسیم بالا در الیگوسن اتفاق افتاده است (بانه‌ای، ۱۳۹۶). ادامه نازک‌شدگی لیتوسفر، سبب ماگماتیسم کالک‌الکان طی نئوژن، در جنوب غرب آباد شده است. با توجه به فاصله زمانی طولانی بین بسته شدن تئوتیس در کرتاسه بالایی و ولکانیسم مشابه با ولکانیسم مناطق پس‌برخوردی در نئوژن، شاید قطعه‌شدگی لیتوسفر زیر قاره (Sub continental lithospheric delamination)، عامل ژئودینامیکی مهمی در ولکانیسم نئوژن منطقه جنوب غرب آباد، بلوک لوت بوده است. هیپوتزی که نیاز به بررسی‌های صحرائی در مقیاس گسترده‌تر در پهنه لوت، داده‌های آزمایشگاهی بیشتر، تصاویر توموگرافی و نومریکال مدلینگ دارد.

**کتابخانه**

- بانه‌ای، ن.، ۱۳۹۶- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی الیگوسن و نوژن محدوده ده ته، جنوب دیهوک، بلوک لوت. پایانه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، ۱۰۲ص. فریدی، م.، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی زونغان با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه شماره ۷۵۵۵.
- کیلانی جعفری ثانی، ز.، ۱۳۹۶- پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی انوسن در باختر سه چنگی. پایانه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، ۱۳۲ص. خلعت‌بری جعفری، م.، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی رباط خوشاب با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه شماره ۷۵۵۷.

**References**

- Abdel-Fattah, M., Philip, E. N., 2004- Cenozoic volcanism in the Middle East: Petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon. *Geological Magazine* 141: 545-563.
- Abdel-Rahman, A. M., 2002- Mesozoic volcanism in the Middle East: geochemical, isotopic and petrogenetic evolution of extension-related alkali basalts from central Lebanon. *Geological Magazine* 139: 621-640.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G., 2000- Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102: 67-95.
- Andrew, G., Conly, J. M., Brenen, H. B. and Steven, D. S., 2005- Arc to rift transitional volcanism in the Santa Rosalia region, Baja California Sur Mexico. *Volcanology and Geothermal Research* 142: 303-341.
- Arslan, M., Temizel, I., Abdiog, E., Kolaylı, H., Yücel, C., Boztug, D. and Şen, C., 2013- 40Ar-39Ar dating, whole-rock and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of post-collisional Eocene volcanic rocks in the southern part of the Eastern Pontides (NE Turkey): implications for magma evolution in extension-induced origin. *Contrib Mineral Petrol*, 166: 113-142. DOI 10.1007/s00410-013-0868-3.
- Ashrafi, N., Jahangiri, J., Hasebe, N. and Eby, G. N., 2018- Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Eocene-Oligocene alkaline intrusions from the Alborz-Azerbaijan magmatic belt, NW Iran. *Chemie der Erde*, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2018.10.004>.
- Aslan, Z., Arslan, M., Temizel, I. and Kaygusuz, A., 2013- K-Ar dating, whole-rock and Sr-Nd isotope geochemistry of calc alkaline volcanic rocks around the Gümüşhane area: implications for post-collisional volcanism in the Eastern Pontides, Northeast Turkey, *Miner Petrol*, DOI 10.1007/s00710-013-0294-2.
- Ayabe, M., Takahashi, K., Shuto, K., Ishimoto, H. and Kawabata, H., 2012- Petrology and geochemistry of adakitic dacites and high-MgO andesites and related calc-alkaline dacites from the Miocene Okoppe volcanic field, N Hllaido, Japan. *Journal of Petrology* 53: 547-588.
- Bailie, R., Rajeshm, H. M. and Gutzmer, J., 2012- Bimodal volcanism at the western margin of the kaapvaal craton in the offer math of the collisional event during the Namaqua-Natal Orogeny: the Koras group, South Africa. *Precambrian research*, 200, 163-183. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8 (1971): 523-548.
- Beccaluva, L., Bianchini, G., Mameli, P. and Natali, C., 2013- Miocene shoshonite volcanism in Sardinia: Implications for magma sources and geodynamic evolution of the central-western Mediterranean. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2013.08.006>
- Camp, V. E. and Griffis R. J., 1982- Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, Eastern Iran. *Lithos*, 15, 221-239.
- Christansen, E. H. and McCurry, M., 2008- Contrasting origins of Cenozoic silicic volcanic rock from the western Cordillera of the United State. *Bulltain Volcanology* 70: 251-267. Doi:10.1007/s00445-007-0138-1.
- Coban, H., Karacık, Z. and Ece, O., 2012- Source contamination and tectonomagmatic signals of overlapping Early to Middle Miocene orogenic magmas associated with shallow continental subduction and asthenospheric mantle flows in Western Anatolia: a record from Simav (Kütahya) region. *Lithos* 140-141, 119-141.
- Deering C. D., Bachmann O., Dufek J. and Gravley D. M., 2011- Rift-related transition from andesite to rhyolite volcanism in the Taupo volcanic zone (New Zealand) controlled by crystal melt dynamics in mush zones with variable mineral assemblage. *Journal of petrology* 52: 2243-2263.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. and Altunkaynak, Ş., 2010- Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collisioninduced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review* 52 (4-6), 536-578.
- Ersoy, Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F. and Bozkurt E., 2008- A geochemical approach to Neogene-Quaternary volcanic activity of western Anatolia: An example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, Turkey. *Chemical Geology* 255: 265-282.
- Erturk, M. A., Beyarslan, M., Chung, S. L. and Lin, T. H., 2017- Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian orogenic belt: Magma genesis and tectonic implications. *Geoscience Frontiers*, doi: 10.1016/j.gsf.2017.09.008.

- Ghorbani, M. R., 2006- Lead enrichment in Neotethyan volcanic rocks from Iran: the implications of a descending slab. *Geochemical Journal* 40(6): 557-68.
- Gill, R., 2010- *Igneous rocks and processes: A practical guide*. Wiley Black well, 400p.
- Gorton, M. P. and Schandle, E. S., 2000- From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist* 38: 1065-1073.
- Hofmann, A.W., Jochum, K. P., Seuffer, M. and white, W. M., 1986- Nb and Pb in oceanic basalts: New constrains on mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters* 79: 33-45.
- Irvine T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Karimpour M. H., Stern C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekezadeh, A., 2011- Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, eastern Iran. *JGeope* 1 (1): 19-36.
- Kluyver, H. M., Tirrul, R., Chance, P. N., Johns. and Meixner, H. M., 1981- Explanatory text of the Naybandan Quadrangle map 1:250,000, 143p.
- Kuscu G. G. and Floyd, P. A., 2000- Mineral compositional and textural evidence for magma mingling in the Saraykent volcanic. *Lithos* 56: 207-230.
- Kuscu, G. G. and Geneli, F., 2010- Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekooy volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences* 99: 593-621.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R.W., Streckeisen A. and Zanettin B., 1986- A chemical of volcanic rocks classification based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology* 27 (3): 745-750.
- Li, H., Ling, M. X., Ding, X., Zhang, H., Li, C.Y., Liu, D.Y. and Sun, W. D., 2014- The geochemical characteristics of Haiyang A-type granite complex in Shandxong, eastern China. *Lithos*, 200-201, 142-156.
- Mbowou, G. I. B., Botelho, N. F., Lagmet, C. A. and Ngounouno, I., 2015- Petrology of peraluminous and peralkaline rhyolites from 1 the SE Lake Chad (northernmost Cameroon Line). *Journal of African Earth Sciences*, DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2015.09.015.
- Nelson, S.T. and Montana, A., 1992- Sieve-textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineral* 77: 1242-1249.
- 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: 380-398.
- Pang, k. N., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Khatib, M. M., Mohammadi, S. S., Chiu, H.Y., Chu, C.H., Lee, H.Y. and Lo, C. H., 2013- Eocene-Oligocene post collisional magmatism in the lut-sistan region, Eastern Iran: magma genesis and tectonic implication. *Lithos* <http://dx.dio.org/10.1016/j.lithos.2013.05.009>.
- Pang, k. N., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S.S., Yang, H. M., Chu, C.H., Lee, H.Y. and Lo, C. H., 2012- Age, geochemical characteristic and petrogenesis of late Cenozoic intraplate alkali basalt in the lut-Sistan region, Eastern Iran. *Geology*, [dio: 1016/j.chemgeo.2012.02.020](http://dx.dio.org/10.1016/j.chemgeo.2012.02.020).
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984- Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks, *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Pfander, J. A., Jachum, K. P., Kozakov, L., Kroner, A., and Todt, W., 2002- Coupled evolution of back arc and island arc-like mafic crust in the late-newprotrozoic Agardagh Tes-Chem ophiolite, central Asia: evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope data. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 143: 154-17.
- Plank, T., 2005- Constraints from Thorium /Lantanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the contients. *Journal of Petrology* 46: 921-944.
- Qian, X., Feng, Q., Yang, W., Wang, Y., Chonglakmani, C. and Monjai, D., 2015- Arc-like volcanic rocks in NW Laos: Geochronological and geochemical constraints and their tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 98, 342-357.
- Qiang, F., Zhao, Z.F. and Qun, L., 2016- Slab-Mantle Interaction in the Petrogenesis of Andesitic Magmas: Geochemical Evidence from Post collisional Intermediate volcanic rocks in the Dabie Orogen, China. *Dio: 10.1093/petrology/egw034*.
- Renjith, M. L., 2014- Micro-textures in plagioclase from 1994-1995 eruption, Barren Island Volcano: Evidence of dynamic magma plumbing system in the Andaman subduction zone. *Geoscience Frontiers*, 113-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2013.03.006>.
- Rudnick, R. L. and Gao, S., 2003- Composition of the continental crust. In the crust (ed. R. L. Rudnick), 3, *Treatise on Geochemistry* (eds. H. D. Holland and K. K. Turekian) [M]. Elsevier-pergamon, Oxford 3:1-64.
- Shelly, D., 1993- *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*, Chapman and hall, Landon, 445p.

- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological society of London, Special Publication 42: 313-345.
- Sutcliffe, R. H., Smith, A. R. and Doherty, W., 1990- Mantle derivation of Archaean amphibole-bearing granitoid and associated mafic rocks: evidence from the southern Superior Province, Canada. *Contrib. Min. Pet* 105: 255-74.
- Tarkian, M., Lotfi, M. and Baumann, A., 1983- Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (Geotraverse) in Iran, No. 51, 357-383.
- Temizel, I., Arslan, M., Ruffet, G. and Peucat, J. J., 2012- Petrochemistry, geochronology and Sr-Nd isotopic systematics of the Tertiary collisional and post-collisional volcanic rocks from the Ulubey (Ordu) area, eastern Pontide, NE Turkey: implications for extension-related origin and mantle source characteristics. *Lithos* 128:126-147
- Thirlwall, M. F., Smith, T. E., Graham, A. M., Theodorou, N., Hollings, P., Davidson, J. P. and Arculus, R. J., 1994- High field strength element anomalies in arc lavas; source or process? *Journal of petrology* 35: 819-838.
- Wang, K. L., chung, S. L., O'Reilly, S.Y., Sun, S. S., Shinjo, R. and Chen, C. H., 2004- Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the Northern Taiwan Region. *Journal of Petrology* 45: 975-1011.
- Winter, J. D., 2014- Principles of igneous and metamorphic petrology, Second edition, Pearson Education Limited, 737p.
- Wood, D. A., 1980- The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and planetary Sciences Letter* 50: 11-30.
- Zhang, S. H., Zhao, Y., Ye, H., Hou, K. J. and Li, C. F., 2012- Early Mesozoic alkaline complexes in the northern North China Craton: Implications for cratonic lithospheric destruction, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.009>.

## Petrology of the Neogene volcanic rocks in south Arab abad, Lut Block

M. Khalatbari Jafari<sup>1\*</sup>, N. Banehee<sup>2</sup>, M. Faridi<sup>2</sup> & M. Mehdi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>2</sup>M.Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Sanandaj Center, Sanandaj, Iran

<sup>3</sup>Ph.D., Geological Survey of Iran, Tabriz Center, Tabriz, Iran

Received: 2017 April 19

Accepted: 2017 December 09

### Abstract

The Neogene volcanic rocks are extensively exposed in south Arab abad, Lut block. The studied volcanic rocks covered Eocene and Oligocene volcanic lavas and Neogene evaporitic deposits. The base of the Neogene volcanic sequence made of breccia and tuff gradually covered by andesite, trachyandesite and dacitic lavas. These lavas have aphyric-phyric textures and microlitic to hyalomicrolitic in matrix. Some evidences of the disequilibrium have been found such as sieve texture in plagioclase phenocrysts and heterogeneous groundmass. These lavas show calc-alkaline magmatic trend. REE patterns and spider diagrams display enrichment in LREE and LILE relative to HREE and depletion in HFSE which like as subduction zone magmatism. In the tectonomagmatic diagrams they plot of subduction and post-collisions fields. Interpretation of the geochemical data indicates that the studied lavas probably produced from partial melting of lithospheric mantle which had previously enriched by subduction components (fluids and melt). Partial melting of crust, probably involved in generation of acidic lavas. It seems that in the Neogene period, lithosphere thinning induced partial melting of heterogeneous Sub Continental Lithospheric Mantle (SCLM). These processes consequently occurred by lithospheric delamination and asthenospheric upwelling.

**Keywords:** Calc-alkaline, lithosphere, mantle, post-collision, Lut block.

For Persian Version see pages 123 to 134

\*Corresponding author: M. Khalatbari Jafari; E-mail: [khalat1965@live.com](mailto:khalat1965@live.com)