



Lithologic sequence and geochemical characteristics of Second phase of Paleogene volcanic rocks in Deylaman area, Western Alborz

S. Taki¹, A. Darvishzadeh², M. Ghaderi³, Kh. Khosrow Tehrani¹

1- Department of Geology, Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran (IAU)

2- Department of Mining and Geology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, (IAU)

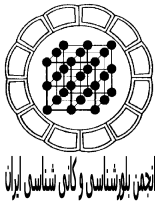
3- Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Email: Taki_Saeed2002@yahoo.com

(Received: 14/10/2008, in revised form: 29/1/2009)

Abstract: Deylaman area lies on Paleogene volcanic rocks in Western Alborz near the border between Central and Western Alborz structural zones. The succession of Paleogene rocks in the area is comprised of three separate phases each of which representing one stage of volcanic events. The main purpose of this paper is to study the lithologic sequence and geochemical characteristics of phase two volcanic rocks with Oligocene age (?). Rocks from the second phase are made of three separate parts (subunits) which by the order of age from the oldest to the youngest are; subunit one: basalts and basaltic andesite lavas, subunit two: coarse and fine grained tuffs and volcanic breccia, subunit three: andesitic tuffs with andesitic lenses. Geochemical studies on major and trace elements of lavas show that these rocks have calc-alkaline characteristic of volcanic arcs. Meanwhile, there are some similarities between REE patterns, for example LREE are more enriched, HREE have flat patterns as well as Eu negative anomalies. Therefore, the magmas of these rocks formed from a garnet-free but feldspar-bearing source. Immobile trace element data such as Cr and Th confirm their volcanic arc origin.

Keywords: Lithology, geochemistry, volcanic, Paleogene, Deylaman, Alborz.



توالی سنگ‌شناسی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوژن در منطقه دیلمان، البرز باختری

سعید تاکی^۱، علی درویش‌زاده^۲، مجید قادری^۳، خسرو خسروتهرانی^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- گروه زمین‌شناسی و معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان

۳- بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

پست الکترونیکی: Taki_Saeed2002@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۸۷/۷/۲۳، نسخه نهایی: ۸۷/۱۰/۹)

چکیده: منطقه دیلمان در البرز باختری و در نزدیکی مرز بین زون‌های ساختاری البرز مرکزی و باختری روی سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن قرار دارد. توالی پالئوژن در این ناحیه شامل سه فاز جداگانه است که هر کدام یک مرحله از فعالیت‌های آتشفشانی را به نمایش می‌گذارد. هدف اصلی این کار پژوهشی، بررسی توالی سنگ‌شناسی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی فاز دو با سن احتمالی الیگوسن است. سنگ‌های فاز دو در این ناحیه خود از سه بخش (زیرواحد) مجزا تشکیل شده است که از قدیمی ترین به جدیدترین عبارتند از: زیرواحد یک: گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی، زیرواحد دو: توف‌های درشت دانه و ریز دانه و برش آتشفشانی، زیرواحد سه: توف‌های آندزیتی همراه با عدسی‌های آندزیتی. بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب گدازه‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در قلمرو کالکوالکالین قرار می‌گیرند که بیشتر شاخص قوس‌های آتشفشانی هستند. در عین حال، شباهت‌هایی میان الگوهای REE آن‌ها وجود دارد، از جمله این که همه آن‌ها از نظر LREEها بسیار غنی شده‌ترند و HREEها نیز الگوهای تخت را به نمایش می‌گذارند، بی‌هنجاری منفی Eu نیز در همه الگوها مشترک است. بنابراین ماگماهای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها از یک خاستگاه مشترک فاقد گارنت ولی حاوی فلدسپات سرچشمه گرفته‌اند. داده‌های وابسته به عناصر کمیاب غیر متحرک مانند Cr و Th نیز وابستگی آن‌ها را به قوس‌های آتشفشانی تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌شناسی، ژئوشیمی، آتشفشانی، پالئوژن، دیلمان، البرز.

مقدمه

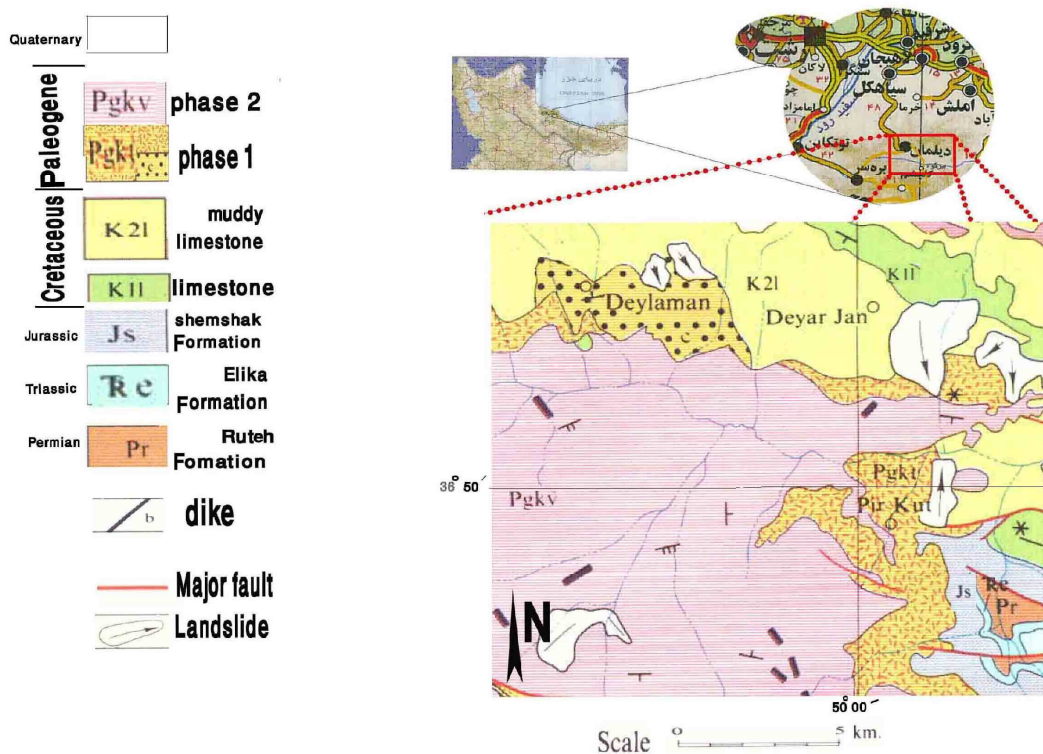
پالئوژئوئیک تا عهد حاضر است، ولی بیشترین گسترش به سنگ‌های پالئوژن مربوط می‌شود. هدف اصلی این کار پژوهشی بررسی بخشی از سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن است. آنلز و همکاران [۳] دنباله پالئوژن در چارگوش قزوین - رشت را در سه فاز جداگانه جای داده‌اند (جدول ۱). هر یک از فازهای یاد شده نیز مجموعه‌ای از لیتولوژی‌های متعدد و جدایی هستند که یک مرحله از فعالیت‌های آتشفشانی را نشان

منطقه دیلمان در رشته‌کوه‌های البرز در استان گیلان و تقریباً در حدود ۶۵ کیلومتری جنوب رشت و بین طول‌های ۵۳°، ۴۹° تا ۴°، ۵۰° خاوری و عرض‌های ۴۷°، ۳۶° تا ۵۵°، ۳۶° شمالی با مساحت تقریبی ۲۴۰ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱) و از نظر ساختاری در مرز البرز باختری و مرکزی قرار دارد [۱، ۲]. واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه شامل بر

در نواحی خاوری چارگوش زمین‌شناسی قزوین - رشت گهگاهی تدریجی است که در آنجا گدازه و توف به نسبت مساوی در یک منطقه تدریجی به ضخامت ۱۰۰ متر به صورت بین‌لایه‌ای ظاهر می‌شوند [۴].

نتایج به دست آمده از رسم مقاطع زمین‌شناسی و ستون‌های چینه‌شناسی (شکل ۲) حکایت از آن دارد که توالی فاز دوی گستره مورد بررسی در مکان‌هایی (مانند جنوب گرماور و لرود، شکل ۲ مقاطع E و F) روی آهک‌های کرتاسه فوقانی قرار می‌گیرد، در حالی که در مکان‌های دیگر (مثل باختر تنگه‌رود، شکل ۲ مقطع A) مستقیماً روی دنباله فاز یک می‌نشینند.

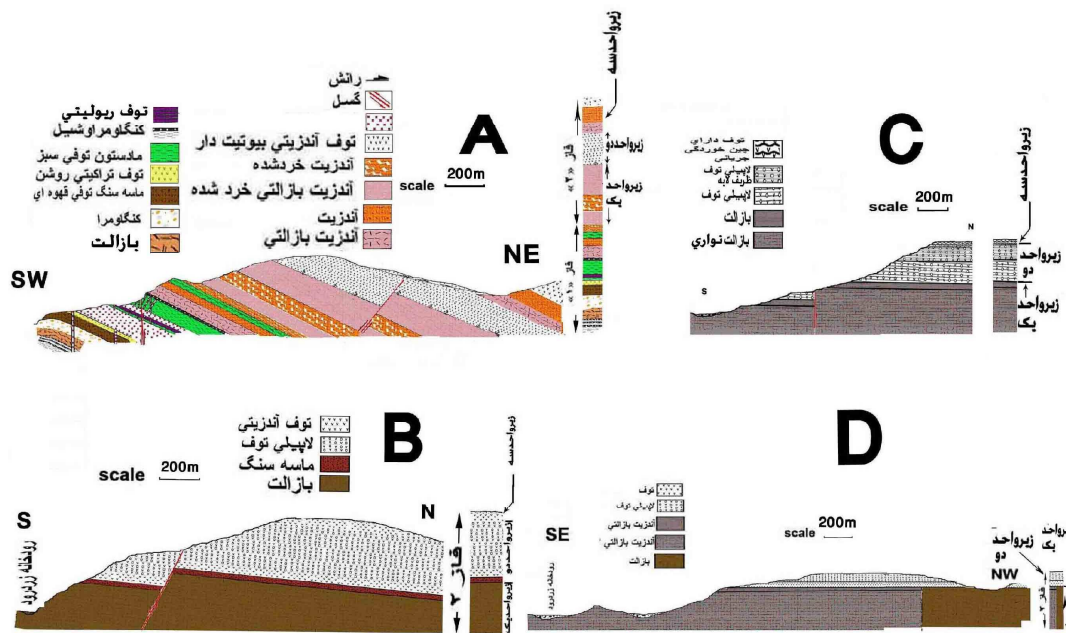
می‌دهند. این سه فاز، دستخوش تغییرات جانبی فراوانی شده اند. سنگ‌های فاز یک، بیشتر از توف‌ها (و گدازه‌ها)ی آندزیتی و اسیدی و گل‌سنگ‌های توفی تشکیل شده‌اند که سن احتمالی ائوسن [۳] را دارند و بخش بیشتر آن‌ها همسان سازند کرج است. سنگ‌های فاز دو و سه که احتمالاً وابسته به الیگوسن اند [۳]، به ترتیب از گدازه‌های بازی و گدازه‌های آندزیتی شیشه‌ای تشکیل شدند که در یک محیط خشکی (بدون آب) فوران کرده‌اند. در واقع، قاعده فاز دو به عنوان ترازوی شناخته می‌شود که خروج گدازه‌های بازی و گدازه‌های آندزیتی خشکی جایگزین انبوهه‌های دریائی توف‌های فاز یک می‌شود. این تبدیل در بیشتر بخش‌های کمربند پالئوژن دیده می‌شود، ولی



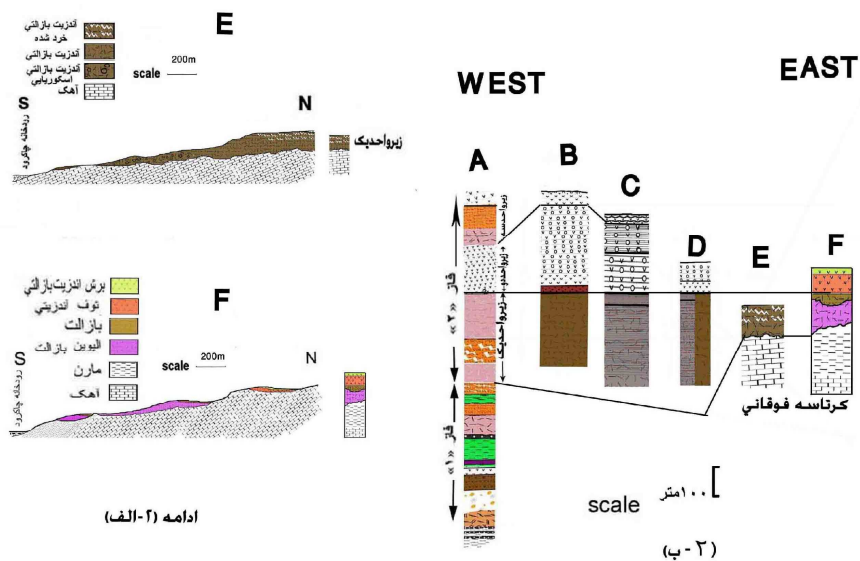
شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی و نقشه زمین‌شناسی آن [۳].

جدول ۱ فازهای پالئوژن زون البرز باختری بنا بر تقسیم‌بندی آنلز و همکاران [۳].

سن	فاز	لیتولوژی غالب
بیشتر الیگوسن؟	۳	بیشتر گدازه‌های آندزیتی شیشه‌ای
بیشتر ائوسن؟	۲	بیشتر گدازه‌های بازی
	۱	بیشتر توف‌های آندزیتی و اسیدی و گل‌سنگ‌های توفی



شکل ۲ الف) مقاطع زمین‌شناسی و ستون‌های چینه‌شناسی فاز دوی پالئوژن وابسته به (A) باختر تنگه‌رود، (B) یک کیلومتری خاور زرد رود، (C) جنوب گلک، (D) جنوب کارخانه سیمان، (E) جنوب خاوری گرماور، (F) جنوب لرو، (ب) تغییرات ضخامت و جنس دنباله زیرواحدهای فاز دو در طول منطقه مورد بررسی از باختر به خاور (برای تشخیص علائم و نشانه‌های به کار رفته به راهنماهای شکل ۲-الف مراجعه کنید.



راهنمای شکل ۲

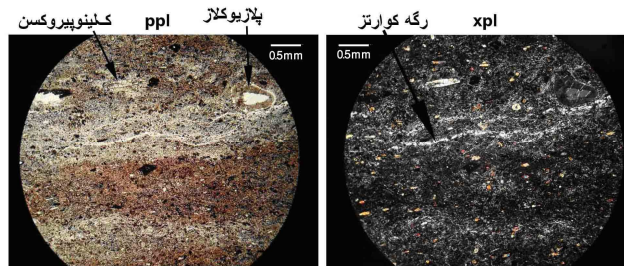
زیر واحد سه: فوران توف‌های آندزیتی همراه با گدازه‌های آندزیتی
 زیر واحد یک: زیر واحد یک که قدیمی‌ترین سنگ‌ها را در فاز دو تشکیل می‌دهند، غالباً از گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی تشکیل شده‌اند. ضخامت و ترکیب این زیر واحد در مکان‌های مختلف متغیر است، به نحوی که ضخامت آن در بخش باختری

مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که مجموعه سنگ‌های فاز دو در منطقه مورد بررسی، خود حداقل از سه زیر واحد تشکیل شده است:
 زیر واحد یک: فوران گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی
 زیر واحد دو: فوران لاپیلی توف‌های چند گن و توف‌های آندزیتی

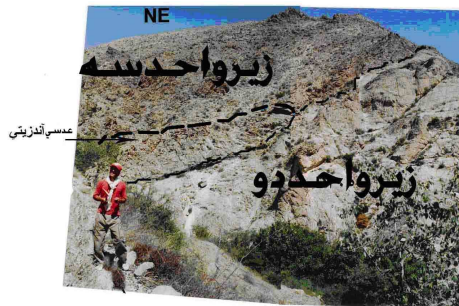
شده است. در بخش زیرین این زیرواحد گاهی چند لایه ماسه‌سنگی و کنگلومرایی به رنگ سرخ متمایل به بنفش دیده می‌شوند. ضخامت این زیرواحد در حدود ۳۰۰ متر است. زیرواحد سه: این زیر واحد از لحاظ دانه بندی همانند زیرواحد دو است. زیرواحد یاد شده غالباً از توف‌های آندزیتی کوارتزار با بافت اتاکسیتی، متمایل به سرخ تشکیل شده است. درون این زیرواحد، گدازه‌هایی از جنس آندزیت به صورت عدسی مانند دیده می‌شود. زیرواحد سه با یک مرز بسیار روشنی روی زیرواحد دو قرار می‌گیرد (شکل ۴). از ویژگی‌های این زیرواحد، چین‌خوردگی‌های جریانیه (شکل ۵) در آن است که در واقع نشانگر نوعی دگرذیسی (Rheomorphism) حاصل از روانی آن به هنگام جدایش و خروج گازهای محبوس در میان ذرات خاکستر ناپیوسته است [۵، ۶].

منطقه (شمال تنگه‌رود) بیشینه و به حدود ۳۰۰ متر می‌رسد (شکل ۲ مقطع A)، در حالی که در بخش خاوری (جنوب لرود) ضخامت تنها چند متر (حداکثر ۱۰ متر) است. در سمت خاوری، این گدازه‌ها بیشتر اسکوریائی می‌شوند. جریان‌های گدازه‌ای منفرد غالباً بین ۳ تا حدود ۵۰ متر ضخامت دارند و گاهی با افق‌های نازک خاک‌های قدیمی از هم تفکیک می‌شوند. بیشتر این جریان‌ها در بخش پائین خود حفره‌دار بوده و با لایه‌بندی ظریفی دیده می‌شوند که در واقع نشانگر نوعی جریان رگه‌ای (laminar flow) است (شکل ۳).

زیرواحد دو: زیرواحد دو که نسبت به دو زیرواحد دیگر بیشترین گسترش را دارد، غالباً از توف‌های لاپیلی نسبتاً درشت دانه و برش آتشفشانی همراه با توف‌های آندزیتی دارای بافت اتاکسیتی و به مقدار بسیار کمتر نیز گدازه‌های آندزیتی تشکیل



شکل ۳ تصویر میکروسکوپی بازالت نواری در ppl و xpl.



شکل ۴ برخوردگاه زیرواحد سه (بالا) و زیرواحد دو (پائین). نزدیک برخوردگاه عدسی‌های آندزیتی در زیرواحد سه دیده می‌شود (آبراهه جنوب میکل، دید به سمت خاور - شمال خاوری).



شکل ۵ چین‌خوردگی‌های جریانیه (flow folding) موجود در بخش فوقانی زیر واحد سه.

روش کار برای دستیابی به هدف‌های این کار پژوهشی سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوزن، در سه مرحله کتابخانه‌ای، عملیات صحرایی و آزمایشگاهی مورد بررسی‌های ژئوشیمیایی قرار گرفتند. از آنجا که بخش مهمی از سنگ‌های منطقه، واحدهای آذرآواری دارای لایه‌بندی مشخص است (که به صورت بین‌چینه‌ای با گدازه‌های مختلف همراهند)، لذا در عملیات صحرایی سعی شد تا نمونه‌برداری‌ها در مسیرهای مستقیم از محل‌های مختلف به گونه‌ای انجام شود تا در راستاهای مختلف عمود بر راستای لایه‌ها و لایه‌بندی باشد تا از یک طرف تنوع

ترمی سنگ‌های یاد شده مشخص شده و از طرفی دیگر تقدم و تأخر آن‌ها روشن شود. این گونه نمونه‌برداری در مسیرهای یاد شده منجر به رسم نیمرخ و روشن شدن ستون چینه‌شناسی شد. به دنبال نمونه‌برداری در مرحله عملیات صحرایی از نمونه‌ها مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شد. پس از بررسی سنگ‌شناختی مقاطع نازک، ده نمونه با کمترین دگرسانی برای تجزیه شیمیایی انتخاب و به آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا فرستاده شدند. تجزیه‌ها به روش ICP-AES برای عناصر اصلی و ICP-MS برای عناصر کمیاب صورت پذیرفت (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی (برحسب درصد) و عناصر کمیاب (برحسب ppm) سنگ‌های آتشفشانی فاز دو پالئوزن منطقه دیلمان.

	D ₃₂₇	D ₃₁₂	D ₃₀₆	D ₂₅₈	D ₂₅₇	D ₁₈₈	D ₁₆₈	D ₀₀₁	D ₁₀₀
SiO ₂	۵۴٫۳	۵۱٫۲	۵۱٫۵	۵۰٫۰	۵۰٫۷	۵۵٫۵	۴۵٫۰	۵۵٫۶	۴۶٫۶
Al ₂ O ₃	۱۴٫۵۵	۱۷٫۲۵	۱۶٫۴۵	۱۷٫۱۵	۱۶٫۹۵	۱۵٫۳	۱۶٫۱۵	۱۵٫۳	۱۱٫۵۵
Fe ₂ O ₃	۱٫۴۳	۱٫۵۳	۱٫۵۹	۱٫۷	۱٫۷۵	۱٫۱۸	۲٫۱۳	۱٫۴۷	۱٫۷۲
FeO	۶٫۱۵	۶٫۷۴	۷٫۱۱	۷٫۴۶	۷٫۷۴	۵٫۳۵	۸٫۵۶	۶٫۳۸	۷٫۸۱
CaO	۸٫۱۳	۷٫۵۷	۶٫۶۴	۹٫۲۵	۹٫۲۹	۷٫۸۷	۹٫۱۶	۷٫۵۶	۱۲٫۹
MgO	۴٫۴۷	۴٫۱۱	۳٫۸۲	۵٫۰۰	۴٫۴۶	۴٫۸	۵٫۹۸	۴٫۰۰	۱۰٫۶۵
Na ₂ O	۳٫۰۰	۳٫۹۱	۳٫۴۹	۲٫۹۱	۳٫۰۱	۳٫۰۲	۲٫۸۹	۲٫۸۸	۱٫۸۴
K ₂ O	۲٫۷۹	۲٫۶۱	۱٫۷۸	۱٫۱۸	۱٫۲۱	۱٫۴۷	۱٫۴۹	۲٫۱۶	۱٫۱۹
TiO ₂	۱٫۲۶	۱٫۱۸	۱٫۱۱	۱٫۳۵	۱٫۳۴	۰٫۷۴	۲٫۵۶	۱٫۲۶	۱٫۴
P ₂ O ₅	۰٫۲۸	۰٫۳۹	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۹۹	۰٫۲۰	۰٫۲۱
LOI	۲٫۰۵	۰٫۶۵	۳٫۷۹	۲٫۰۸	۲٫۱۱	۳٫۸۳	۳٫۵۳	۲٫۲۵	۳٫۰۸
La	۲۱٫۶	۳۴٫۸	۲۷٫۹	۲۱٫۱	۱۸٫۰	۲۲٫۳	۴۷٫۰	۲۳٫۰	۱۴٫۸
Ce	۴۴٫۴	۶۷٫۹	۵۴٫۵	۴۲٫۴	۳۷٫۴	۴۱٫۰	۹۳٫۶	۴۵٫۰	۳۰٫۸
Pr	۵٫۸۷	۸٫۶۴	۷٫۰۷	۵٫۳۴	۴٫۹۷	۴٫۶۹	۱۱٫۲۵	۵٫۴۸	۴٫۱۲
Nd	۲۱٫۴	۳۱٫۹	۲۶٫۷	۲۲٫۵	۱۹٫۷	۱۸٫۴	۴۵٫۰	۲۲٫۰	۱۸٫۴
Sm	۴٫۰۷	۶٫۰۲	۵٫۷۱	۵٫۰۱	۴٫۵۰	۳٫۶۷	۸٫۲۶	۴٫۷۵	۴٫۲۵
Eu	۱٫۲۵	۱٫۸۴	۱٫۷۳	۱٫۴۱	۱٫۴۱	۱٫۱۱	۲٫۵۹	۱٫۲۵	۱٫۲۲
Gd	۴٫۱۷	۶٫۰۶	۶٫۰۰	۴٫۹۳	۴٫۶۹	۳٫۸۸	۷٫۹۸	۴٫۷۵	۴٫۱۶
Tb	۰٫۶۸	۰٫۸۶	۰٫۹۴	۰٫۷۶	۰٫۷۹	۰٫۵۹	۱٫۰۶	۰٫۷۸	۰٫۶۱
Dy	۳٫۳۴	۴٫۱۳	۵٫۱۱	۴٫۴۰	۴٫۲۸	۳٫۳۱	۵٫۱۲	۴٫۵۳	۳٫۳۳
Ho	۰٫۶۹	۰٫۸۴	۱٫۰۶	۰٫۹۱	۰٫۹۰	۰٫۶۹	۱٫۰۱	۰٫۹۶	۰٫۶۶
Er	۱٫۸۴	۲٫۲۷	۲٫۸۳	۲٫۶۵	۲٫۳۵	۲٫۱۲	۲٫۷۲	۲٫۸	۱٫۸۵
Tm	۰٫۲۷	۰٫۳۳	۰٫۴۲	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۲۵
Yb	۱٫۶۸	۲٫۰۳	۲٫۵۴	۲٫۳۷	۲٫۲	۱٫۹۹	۲٫۱۸	۲٫۶۲	۱٫۶۱
Lu	۰٫۲۸	۰٫۳۲	۰٫۴۱	۰٫۳۳	۰٫۳۴	۰٫۳۰	۰٫۳۱	۰٫۴۰	۰٫۲۳
Zr	۱۴۶	۱۹۶	۲۲۹	۱۲۲	۱۱۵	۱۲۲	۲۴۲	۱۸۴	۸۲
Y	۱۸٫۳	۲۳٫۱	۲۷٫۶	۲۳٫۱	۲۳٫۹	۱۸٫۷	۲۴٫۷	۲۵٫۱	۱۶٫۹
Th	۴٫۸۲	۹٫۸۴	۶٫۰۵	۴٫۴۴	۴٫۰۲	۶٫۵۰	۴٫۱۱	۶٫۵۵	۲٫۴۲
Cr	۱۶۰	۱۰	۶۰	۱۰۰	۵۰	۱۸۰	۱۱۰	۱۰۰	۶۸۰
Hf	۴٫۱	۴٫۹	۵٫۶	۳٫۵	۳٫۲	۳٫۱	۵٫۲	۵٫۲	۲٫۳

سنگ‌شناختی

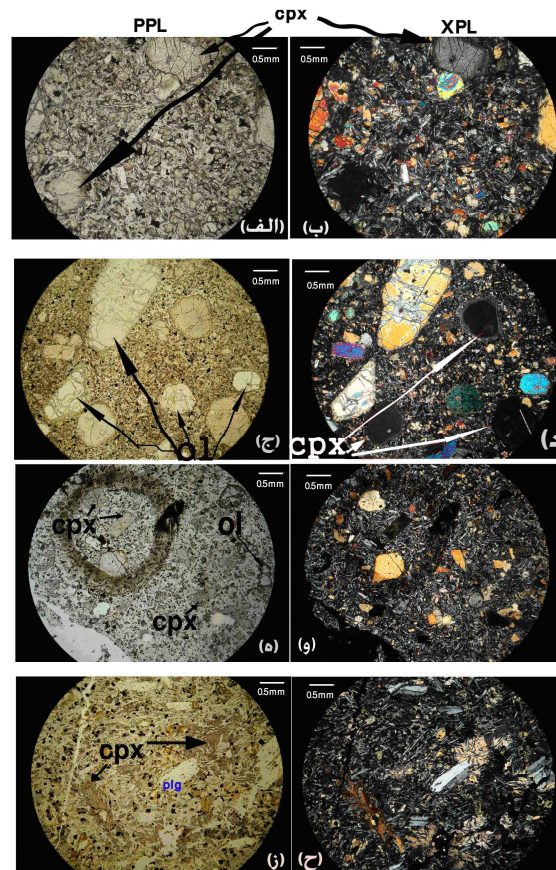
بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی فاز دو پالئوژن حکایت از آن دارد که غالب گدازه‌های این فاز، بازالت و آندزیت بازالتی‌اند، در حالی که توف‌ها که غالباً آندزیتی هستند که به شرح زیرند.

الف) بازالت: گدازه‌های بازالتی در دنباله فاز دو در پائین‌ترین بخش زیرواحد یک قرار دارند. در نمونه دستی، رنگ آن‌ها سبز تیره (و حتی نسبتاً سیاه) بوده و ساخت پورفیریتیک تا نهان بلورین دارند. گاهی ساخت‌های منشوری نیز در آن‌ها قابل

مشاهده است (شکل ۶). در زیر میکروسکوپ، بافت آن‌ها پورفیریتیک تا پورفیری میکرولیتی جهت‌یافته و گاهی نیز پوئی‌کیلیتیک و ساب‌افیتیک (شکل ۷) است. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و الیوین؛ کانی فرعی مگنتیت و کانی‌های ثانویه عبارتند از کلریت، گوئتیت، هماتیت و زئولیت. فنوکریست‌های این سنگ‌ها غالباً الیوین، کلینوپیروکسن و به مقدار بسیار کمی نیز پلاژیوکلازند که در خمیره‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، میکرو بلورهای کلینوپیروکسن و مگنتیت قرار گرفته‌اند.



شکل ۶ ساخت منشوری در بازالت‌های وابسته به فاز دوی پالئوژن منطقه مورد بررسی.



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی بازالت‌ها، الف، ب، ج، د) منطقه‌بندی هم مرکز در فنوکریستال‌های کلینوپیروکسن. حاشیه کلینوپیروکسن‌ها در نور عادی قهوه‌ای می‌شود (تیتان اوزیت). ه، و) وجود منطقه‌بندی قطاعی (sector zoning) در فنوکریستال‌های کلینوپیروکسن. ح، ز) هم‌رشدی‌های افیتیک و ساب‌افیتیک مابین پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن.

کانی‌های کدر، الیوین و زیرکن؛ و کانی‌های ثانویه شامل کلریت، اپیدوت و اکسید آهن‌اند. در همه این سنگ‌ها، پلاژیوکلاز از لحاظ فراوانی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده و وجود کلینوپیروکسن نیز در همه مشترک است، ولی مقدار کلینوپیروکسن در نمونه‌های گوناگون آندزیت بازالتی متفاوت بوده و گاهی فقط به صورت فنوکریست دیده می‌شود. از ویژگی‌های مشترک دیگر همه آندزیت‌های بازالتی، وجود آمفیبول در آن‌ها است که بعضی آمفیبول‌ها کاملاً کدر شده اند بوده، در حالی که برخی دیگر فقط پیرامون کدر دارند. در بعضی از نمونه‌ها، طول آمفیبول‌ها به ۳ سانتیمتر نیز می‌رسد (شکل ۸-الف). مقدار سیلیس این دسته از سنگ‌ها بین ۵۰ تا ۵۵/۶ درصد بوده و همه آن‌ها در نورم خود هیپرستن و کوارتز داشته و فاقد هر دو کانی الیوین و نفلین اند (غیر از نمونه D₃₁₂) (جدول ۲ و ۳).

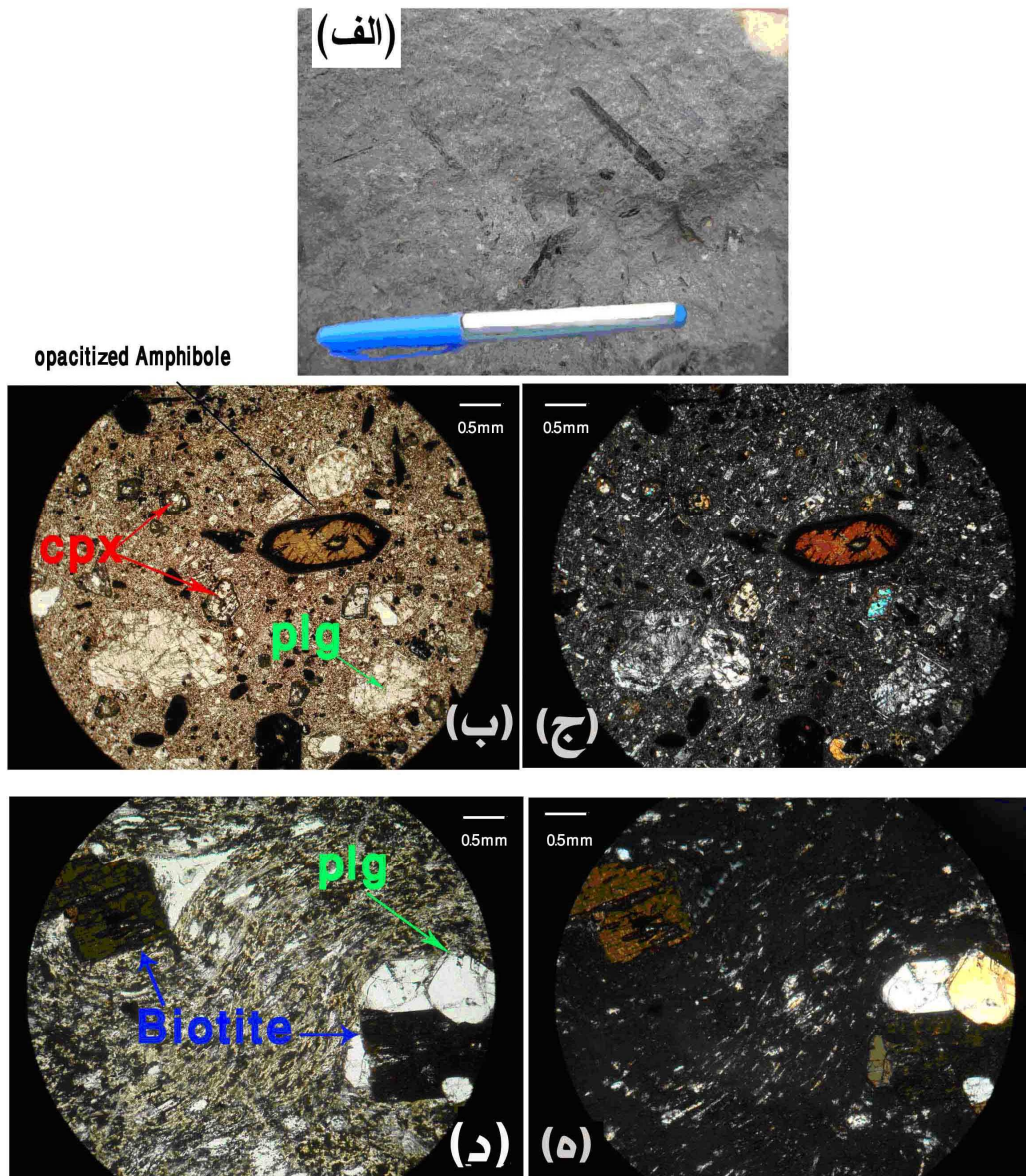
ج) توف آندزیتی: رنگ سطحی این توف‌ها سفید یا خاکی و گاهی متمایل به سرخ است. بیوتیت نمایان‌ترین بلوری است که در نمونه دستی آن‌ها قابل مشاهده است. در زیر میکروسکوپ، بافت این سنگ‌ها پورفیروکلستیک و اتاکسیتی بوده و در تقسیم‌بندی IUGS نوعی توف شیشه‌ای بلوری به شمار می‌روند. کانی اصلی این سنگ‌ها، پلاژیوکلاز، کانی‌های فرعی بیوتیت و مگنتیت است. فنوکریست‌هایی از جنس پلاژیوکلاز منطقه‌ای و بیوتیت همراه با مقادیر کمی میکروفنوکریست مگنتیت در خمیره‌ای متشکل از شیشه، میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و کانی‌های ریز نهان بلور قرار دارند (شکل ۸-د، ه).

الیوین‌ها غالباً در پیرامون دستخوش ایدنگسیتی (iddingsitization) شده‌اند. بنا به نظر دیر و همکاران [۷] فرایند ایدنگسیتی، یک تغییر و تبدیل پیوسته در ساختار الیوین است که در حالت جامد پدید می‌آید که در آن Mg، Fe²⁺ و Si از بلور خارج و در عوض Al، Fe³⁺ و Ca وارد شبکه می‌شوند. کلینوپیروکسن‌ها غالباً منطقه‌بندی مشخصی را نشان می‌دهند. این منطقه‌بندی به دو صورت ظاهر می‌شوند: الف) هم مرکز (شکل ۷-ج، د) و ب) قطاعی (شکل ۷-ه و و). در نور PPL معمولاً فنوکریست‌های کلینوپیروکسنی که دارای منطقه بندی به سمت کرانه‌های خود قهوه‌ای‌رنگ شده و در نور XPL به هنگام خاموشی، رنگ‌های تداخلی غیرعادی (آبی و قهوه‌ای چرمی) به خود می‌گیرند (تینان اوژیت) (شکل ۷-الف، ب). مقدار سیلیس این سنگ‌ها بین ۴۵ تا ۴۶/۶ درصد بوده (نمونه‌های D₁₀₀ و D₁₆₈ در جدول ۲) و در نورم خود حاوی الیوین هستند. در نورم نمونه‌ای از این بازالته‌ها، نفلین و در دیگری هیپرستن دیده می‌شود (جدول ۳ نمونه‌های).

ب) آندزیت بازالتی: گدازه‌های آندزیت بازالتی از لحاظ مکانی همراهی نسبتاً نزدیکی با بازالته‌ها دارند. رنگ آن‌ها نیز سبز نسبتاً روشن‌تر از بازالته‌هاست. ساخت آفانیتیک تا پورفیری داشته و بیشتر حفره‌ای و یا تا حدی بادامی هستند. زیر میکروسکوپ، بافت آن‌ها پورفیری میکروولیتی و جهت‌یافته (تراکیتی از نوع هیالوپلیتیک)، ریز پورفیریتیک تا ویتروفیری و گاهی نیز به صورت موضعی انبوهه‌های فنوکریستی به صورت گلومروپورفیریتیک در آن‌ها مشهود است. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن؛ کانی‌های فرعی، آمفیبول، بیوتیت،

جدول ۳ محاسبه نورم CIPW سنگ‌های آتشفشانی فاز دو پالئوژن منطقه دیلمان.

	Qz	Or	Ab	An	Di	Hy	Mt	Ilm	Ap	Ne	OI
D ₃₂₇	۳/۶۳	۱۷/۱۰	۲۶/۲۸	۱۸/۶۱	۱۷/۶۱	۱۱/۵۱	۲/۱۵	۲/۴۸	۰/۶۳	۰	۰
D ₃₁₂	۰	۱۵/۹۸	۳۳/۰۸	۲۲/۵۲	۱۱/۵۳	۰	۲/۳۰	۲/۳۲	۰/۸۸	۰/۶	۱۰/۷۸
D ₃₀₆	۲/۲۱	۱۱/۲۲	۳۱/۴۳	۲۲/۴۹	۶/۸۵	۱۷/۶	۲/۴۶	۲/۲۵	۰/۵۱	۰	۰
D ₂₅₈	۰/۲۶	۷/۲۴	۲۵/۵۲	۳۱/۳۵	۱۲/۲۹	۱۷/۵۶	۲/۵۶	۲/۶۶	۰/۵	۰	۰
D ₂₅₇	۱/۰۶	۷/۳۹	۲۶/۲۷	۳۰/۰۸	۱۳/۳۲	۱۶/۰۶	۲/۶۲	۲/۶۳	۰/۵	۰	۰
D ₁₈₈	۸/۶۷	۹/۱۰	۲۶/۷۱	۲۴/۹۲	۱۱/۹۱	۱۴/۹۳	۱/۷۹	۱/۴۷	۰/۵	۰	۰
D ₁₆₈	۰	۹/۲۷	۲۵/۶۹	۲۸/۰۳	۱۱/۱۶	۰/۱۲	۳/۲۵	۵/۱۲	۲/۲۷	۰	۱۵/۱۲
D ₀₀₁	۸/۲۶	۱۳/۱۸	۲۵/۱۱	۲۳/۱۱	۱۱/۸۴	۱۳/۳۸	۲/۲	۲/۴۷	۰/۴۵	۰	۰
D ₁₀₀	۰	۷/۳۶	۱۲/۳۸	۲۰/۶۰	۳۶/۲۸	۰	۲/۶۱	۲/۰۷	۰/۴۸	۲/۱	۱۶/۱۳



شکل ۸ الف) تصویر ماکروسکوپی نمونه‌ای از آندزیت بازالتی، طول بعضی از آمفیبول‌ها به ۳ سانتیمتر نیز می‌رسد. ب و ج) تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ای از آندزیت بازالتی. د، ه) تصاویر میکروسکوپی توف آندزیتی با بافت اتاکسیتی.

برای تجزیه شیمیایی انتخاب شده‌اند، ولی برای اطمینان بیشتر از نتایج به‌دست آمده از عناصر اصلی، عناصر کمیاب کم‌تحرک و غیرمتحرک‌ها مانند Y, Ni, Ti, V, P, Zr, Nb و عناصر نادر خاکی (REE) و نسبت‌های عنصری که در طی فرآیندهای هوازگی و دگرسانی تغییر چندانی نمی‌کند نیز به کار برده شدند.

بر اساس بررسی‌های نسبت Zr/Y در سری‌های تولییتی بین ۲ و ۴/۵، در سری تحولی ۴/۵ الی ۷ و در سری کالکوآلکان بیش از ۷ است. بر پایه نسبت این دو عنصر، غالب

ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی

داده‌های شیمیایی عناصر اصلی روی نمودارهای مجموع آلکالی-سیلیس (TAS) براساس [۸-۱۱] و AFM براساس [۱۰] (شکل ۹-الف، ب، ج) حکایت از آن دارد که این سنگ‌ها از نوع ساب آلکان و غالباً کالکوآلکان هستند.

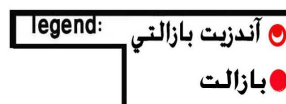
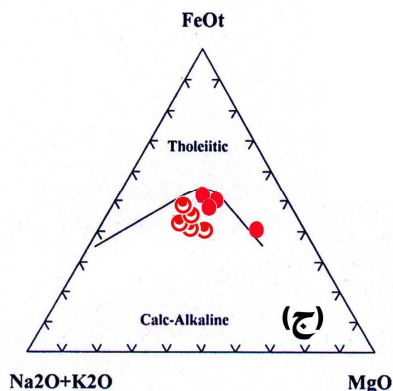
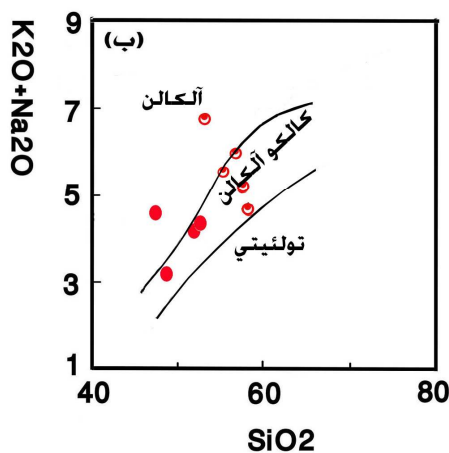
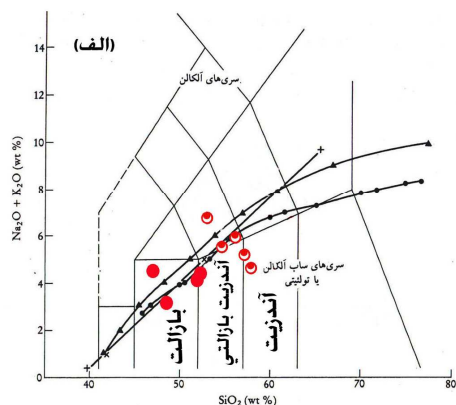
سنگ‌های پالئوژن در منطقه مورد بررسی با نفوذی‌های متعدد قطع شده‌اند. همین امر سبب شده است که برخی از آن‌ها دستخوش دگرسانی نیز بشوند. هر چند که از میان نمونه‌های برداشت شده، نمونه‌های دارای کمترین دگرسانی

(۱۱) دیده می‌شود که چند مورد از آن‌ها به شرح زیرند:

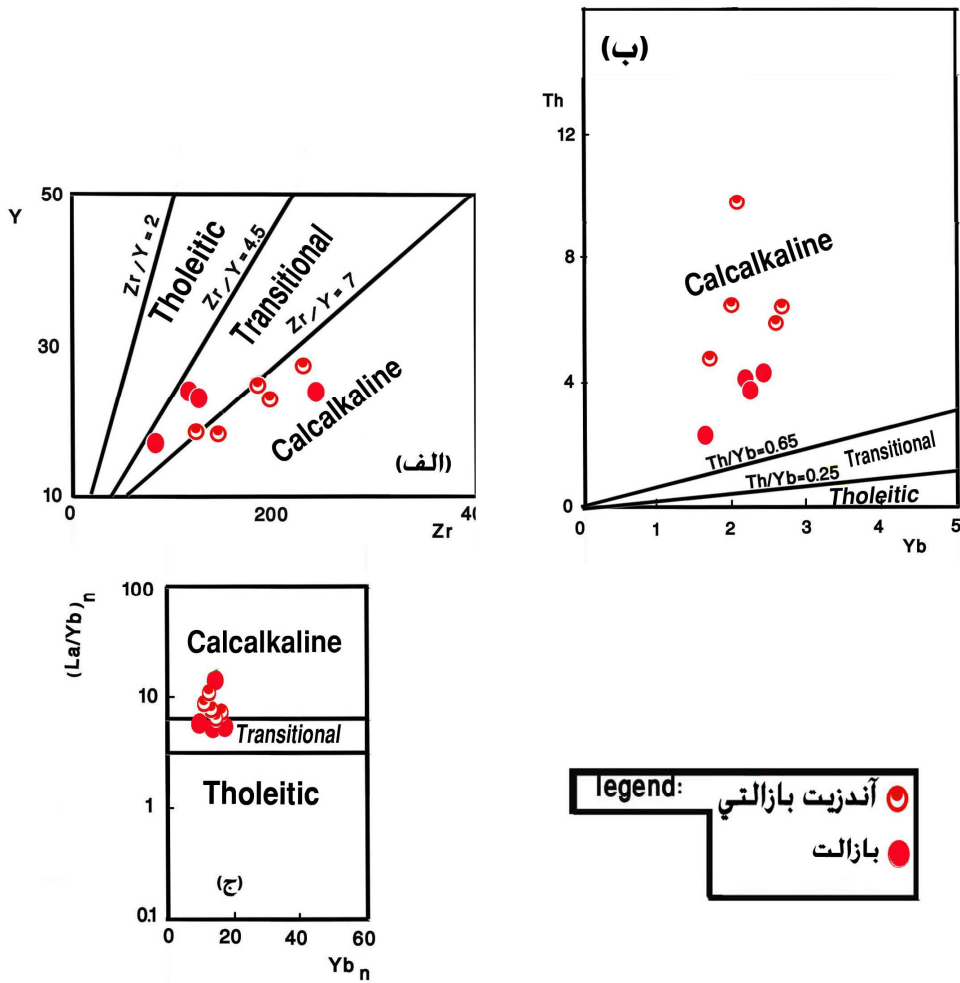
- ۱- در همه آن‌ها، جدایش مشخصی بین اجزای سنگین و سبک REE دیده می‌شود به نحوی که LREEها بسیار غنی‌شده‌ترند (درجه جدایش REE که از نسبت به‌دست آمده بین ۷/۶ تا ۱۸/۷ تغییر می‌کند).
- ۲- شیب الگوهای REE در سمت LREE تند و نزولی، ولی در سمت HREE تخت (flat) است.
- ۳- HREEها غالباً بیش از ده برابر از مقادیر کندریتی غنی‌شده‌ترند.
- ۴- بی‌هنجاری منفی Eu در همه دیده می‌شود (محاسبه بی‌هنجاری Eu با استفاده از میانگین هندسی پیشنهاد شده توسط [۱۵] به‌دست آمده است. اگر عدد حاصله زیر یک باشد، بی‌هنجاری منفی و بالای یک، مثبت خواهد بود). همه نمونه‌های آتشفشانی فاز دو از نظر Eu مقادیر زیر یک (اعداد بین ۰/۷۷ تا ۰/۹۸) را نشان می‌دهند.

سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوژن منطقه مورد بررسی در قلمرو کالکوالکالن و گاهی تحولی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰- الف). همچنین، نسبت‌های La/Yb و Th/Yb نیز می‌تواند متمایزکننده سری‌های کالکوالکالن و تولییتی باشد [۱۲]. این نسبت در سنگ‌های کالکوالکالن بیش از ۰/۶۵، در سنگ‌های تولییتی کمتر از ۰/۲۵ و در انواع دیگر بین آن دو است. نسبت‌های عنصری La_N/Yb_N که به مقادیر کندریتی ارائه شده توسط [۱۳] بهنجار شده‌اند، در انواع کالکوالکالن بالاتر از سری‌های تولییتی است. داده‌های وابسته به سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوژن منطقه غالباً در گستره کالکوالکالن و بعضی نیز در قلمرو تحولی قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱۰- ب و ج). بنابراین نتایج حاصل از عناصر اصلی (نمودارهای TAS و AFM) را تأیید می‌کنند.

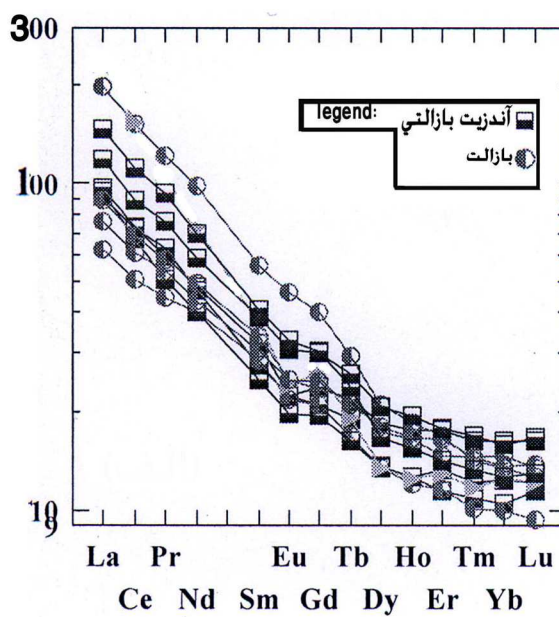
بررسی عناصر نادر خاکی نشان می‌دهد که مانستگی‌های زیادی بین الگوهای به‌دست آمده از عناصر نادر خاکی (REE) بهنجار شده به مقادیر کندریتی بر اساس داده‌های [۱۴] (شکل



شکل ۹ الف) تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی بر پایه نمودار TAS [۸] و داده‌های مربوط به سنگ‌های آتشفشانی فاز دو منطقه مورد مطالعه روی آن. منحنی‌ها، مرز جداکننده سنگ‌های آکالن و ساب آکالن و [۹] (دایره توپر)، [۱۰] (مثلث توپر)، [۱۱] (بعلاوه)، ب) تفکیک سری سنگ‌های آکالن و ساب آکالن (تولییتی و کالکوالکالن) بر اساس [۹]. ج) نمودار AFM خط جداکننده از [۱۰].



شکل ۱۰ داده‌های وابسته به سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوژن روی نمودارهای الف (Y-Zr، ب) Th-Yb، ج) $La_N/Yb_N - Yb_N$.



شکل ۱۱ الگوهای REE وابسته به سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوژن که نسبت به مقادیر کندریتی بر اساس [۱۴] بهنجار شده‌اند.

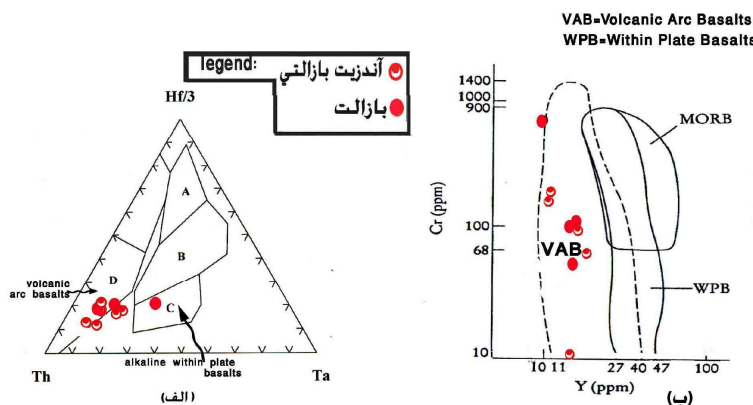
ناسازگارند. بنابراین جدا شدن فلدسپات از مذاب چه در اثر جدایش تفریق بلوری و چه به‌علت ذوب بخشی (که در آن فلدسپات در تفاله باقی می‌ماند)، باعث پیدایش بی‌هنجاری منفی Eu در مذاب می‌شود. شواهد سنگ شناختی مقاطع سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئون در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که فلدسپات جزء فازهای اصلی بیشتر این سنگ‌هاست. پس قاعداً جدایش بلوری فلدسپات نمی‌تواند عامل اصلی ایجاد بی‌هنجاری منفی Eu در این سنگ‌ها باشد، بلکه تعادل مذاب با سنگ خاستگاه حاوی فلدسپات عامل اصلی این بی‌هنجاری است.

داده‌های شیمیائی روی نمودارهای متمایز کننده محیط های زمین ساختی حکایت از وابستگی ماگمای تشکیل دهنده این سنگ‌ها به قوس‌های آتشفشانی قاره‌ای در ارتباط با فرورانش دارد. نمودارهایی که استفاده شده، بر پایه عناصر کمیاب غیرمتحرک بنا نهاده شده است، به عنوان مثال نمودار Th-Hf-Ta [۱۹] (شکل ۱۲- الف). نسبت Hf/Th مربوط به سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئون منطقه دیلمان پائین تر از ۳ است، بنابراین جزء بازالت‌های کالکوالکان قوس‌های آتشفشانی محسوب می‌شوند. این داده‌ها روی نمودار Cr-Y [۲۰] نیز در گستره قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲- ب).

بنابر بررسی انجام شده در منطقه یوزباشی‌چای در جنوب ناحیه مورد مطالعه و در کمر بند البرز بخش طارم سفلی [۲۱]، همین سنگ‌ها ماهیت کالکوالکان داشته، ولی بیشتر پر پتاسیم و شوشونیتی‌اند. نتیجه این کار پژوهشی، سنگ‌های یاد شده را به یک محیط فرورانش یا برخورد قاره‌ای حاصل از فرورانش نسبت داده است.

مانستگی‌های یاد شده دلالت بر هم خاستگاه بودن سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئون در منطقه مورد بررسی دارد. بنا به نظر [۱۶، ۱۷] جدایش LREE از HREE به صورت غنی‌شدگی LREE می‌تواند به دلیل تعادل مذاب با گارنت (به عنوان یک فاز تفاله‌ای در سنگ خاستگاه) باشد، ولی با توجه به اینکه اولاً فراوانی HREE بیش از ده برابر مقادیر کندریتی است، ثانیاً شیب الگوهای REE به سمت HREE کم شده و تخت (flat) می‌شود، وجود گارنت در خاستگاه تأیید نمی‌شود. بررسی سنگ‌های منطقه Biharipur هندوستان نیز به الگوهای مشابهی دست یافته و تخت‌بودن سمت HREE الگوها را دلیل بر نبود هورنبلند و گارنت تفاله‌ای در خاستگاه دانسته است [۱۸]. یادآوری این نکته لازم است که ضریب توزیع گارنت در عناصر نادر خاکی به صورت افزایشی و نسبتاً یکنواخت از La به Yb حاصل شده است. بنابراین اگر قرار باشد که گارنت موجب جدایش اعضای REE از یکدیگر شود، نمی‌تواند الگوهای HREE تخت ایجاد کند. از طرف دیگر چگونه ممکن است گارنت در خاستگاه خود باشد و ضریب توزیع آن نیز نسبت به HREEها بسیار بالاتر از یک باشد ولی با این حال منجر به غنی‌شدگی HREE (آن هم به مقدار بیش از ده برابر مقادیر کندریتی) شود. بنابراین در خاستگاه، گارنت نباید وجود داشته باشد، بلکه باید حداقل یوین و پیروکسن دیده شوند.

چنانکه گفته شد از جمله هماهنگی‌های دیگری که بین همه الگوها وجود دارد، بی‌هنجاری منفی Eu است. بی‌هنجاری منفی Eu اغلب به وسیله فلدسپات‌ها (به‌ویژه در ماگمای فلسیک) کنترل می‌شود، زیرا Eu^{2+} در پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم سازگار است، در حالی که REEهای سه‌ظرفیتی



شکل ۱۲ داده‌های وابسته به سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئون منطقه دیلمان روی نمودارهای: الف) Th-Hf-Ta [۱۹] ، ب) Cr-Y [۲۰].

برداشت

بررسی سنگ‌های آتشفشانی فاز دوی پالئوژن منطقه دیلمان نشان می‌دهد که آن سنگ‌ها غالباً گدازه‌های بازیکی و توف‌های آندزیتی فوران‌یافته در یک محیط خشکی (بدون آب) هستند که خود از سه بخش (زیرواحد) جدا از هم تشکیل یافته‌اند که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از:

- ۱- گدازه‌های بازالتی و آندزیت بازالتی (زیرواحد یک)
- ۲- توف‌های درشت و ریز غالباً آندزیتی همراه لنزهای گدازه-های عدسی با همین جنس (زیرواحد دو)
- ۳- توف‌های آندزیتی (زیرواحد سه).

داده‌های شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب حکایت از آن دارد که این گدازه‌ها و همچنین توف آندزیتی کوارتزار زیرواحد سه، غالباً کالکوالکالن بوده و بر روی نمودارهای متمایز کننده جایگاه زمین ساختی، در قلمرو قوس‌های آتشفشانی وابسته به فرورانش قرار دارند. الگوهای REE به دست آمده از این سنگ‌ها نیز یک خاستگاه مشترک فاقد گارنت ولی حاوی فلدسپات را برای آن‌ها پیشنهاد می‌کند.

مراجع

- [1] آقائاتی ع., "زمین‌شناسی ایران", وزارت صنایع و معادن, سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵) ۶۱۹ صفحه.
- [2] درویش‌زاده ع., "زمین‌شناسی ایران", مؤسسه انتشارات امیرکبیر (۱۳۸۰) ۹۰۱ صفحه.
- [3] Annells R.N., Arthurton R.S., Bazley R.A., Davies R.G., "Explanatory text of the Qazvin and Rasht Quadrangle Map", Geol. Surv. Iran, (1975), 94 p.
- [4] Stalder P., "Magmatismes tertiaire et subrecent entre Taleghan et Alamout", Elbourz Central (Iran), Schweiz Min. Petr. Mitt., (1971), v. 51, No. 1, p. 2-138.
- [5] Henry C.D., Wolf J.A., "Distinguishing strongly rheomorphic tuffs from extensive silicic lavas", Bull. Volcanol. (1992), v. 54, p. 171-186.
- [6] Wolf J.A., Wright J.V., "Rheomorphism of welded tuffs", J. Volcanol. Geotherm Res., (1981), v. 10, p. 13-34.
- [7] Deer W.A., Howie R.A., Zussmann J., "An introduction to rock-forming minerals", (1991) Longman, 528 p.
- [8] LeBas M.J., Le Maitre R.W., Strekeisen A., Zanettin B., "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali - silica diagram", J. Petrol., (1986), v. 27, p. 745-750.
- [9] Kuno H., "Differentiation of basalt magmas", In: Hess H.H. and Poldervaart A. (eds.), Basalts: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic compositions, vol. 2, Interscience, New York, (1968), p.623-688.
- [10] Irvine T.N., Baragar W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Can. J. Earth Sci., (1971), v.8, p. 523-548.
- [11] MacDonald G.A. and Katsura T., "Chemical composition of Hawaiian lavas", J. Petrol., (1964), v.5, p.83-133.
- [12] Barrett T.J., MacLean W.H., "Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks, in: Alteration and alteration processes", Lentz D.R. (ed.): Geological Association of Canada, Short Course Note 11, (1999), p. 433-467.
- [13] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes", In: Sunders A.D. and Norry M.J. (eds) magmatic in oceanic basins. Geol. Soc. London. Spec. Publication 42, (1989), p. 313-345.
- [14] McDonough W.F., Sun S.S., "Composition of the Earth", Chemical Geology, 120 (1995), 223-253.
- [15] Taylor S.R., McLennan S.M., "The continental crust: its composition and evolution", Blackwell, Oxford (1985).
- [16] Rollinson H.R., "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", Longman Scientific & Technical, (1993), 322 p.
- [17] Wilson M., "Igneous petrogenesis", Unwin Hyman, (1989), 421 p.
- [18] Kaur P., Chaudhri N., Okrusch M., Koepke J., "Paleoproterozoic A - type felsic magmatism in the Khetri copper belt, Rajasthan, northwestern India, petrologic and tectonic implication", Contr. Mineral. Petrol., (2006), v. 87, p. 81-122.

Thorpe R.S. (ed.), *Andesites*, Wiley Chichester, (1982), p. 525-548.

[۲۱] آسیابانها ع. ، "زمین‌شناسی و پتروژنز رخساره‌های آتشفشانی منطقه یوزباشی‌چای (غرب قزوین)". رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، (۱۳۸۰) ۳۲۱ صفحه.

[19] Wood D.A., "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 Planet. Sci. Lett.*, (1980), v. 50, p. 11-30.

[20] Pearce J.A., "Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries", In: