

سنگ‌شناسی سنگ‌های آتشفشانی جوان گستره‌ی دریاچه‌ی هامون (خاور ایران)

نرجس ملاشاهی*، محمدحسین زرین کوب، سیدسعید محمدی، محمدمه‌دی خطیب

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

(دریافت مقاله: ۸۹/۶/۱، نسخه نهایی: ۸۹/۹/۲۹)

چکیده: در حاشیه‌ی دریاچه‌ی هامون در جنوب باختری و شمال باختری زابل، در شرق ایران، برونزدهای پراکنده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی جوان دیده می‌شوند. شواهد میکروسکوپی و آنالیز شیمیایی این سنگ‌ها را الیوین بازالت، بازالت تا تراکی بازالت معرفی می‌کند. بافت‌های غالب این سنگ‌ها پورفیری، پورفیری میکرولیتی و حفره‌ای است. فنوکریست‌ها بیشتر از الیوین، کلینوپیروکسن (دیوپسید) و کمی پلاژیوکلاز (بیشتر لابرادوریت) تشکیل شده‌اند. بررسی‌های تکتونوماگمایی سنگ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در داخل صفحه‌ی قاره‌ای بلوک هلمند تشکیل شده و ماهیت آلکالن سدیک دارند. این سنگ‌ها می‌توانند محصول فرایند کششی رخ داده در خاور ایران پس از پایان فرایند فشارشی باشند. غنی‌شدگی عناصر LREE نسبت به HREE نشان می‌دهد که ماگمای مادر احتمالاً در درجه‌های پایین ذوب بخشی از یک خاستگاه گوشته‌ای گارنت لرزولیتی تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌شناسی؛ تکتونوماگمایی؛ آتشفشانی، قلیایی؛ گارنت لرزولیت؛ هامون؛ ایران.

مقدمه

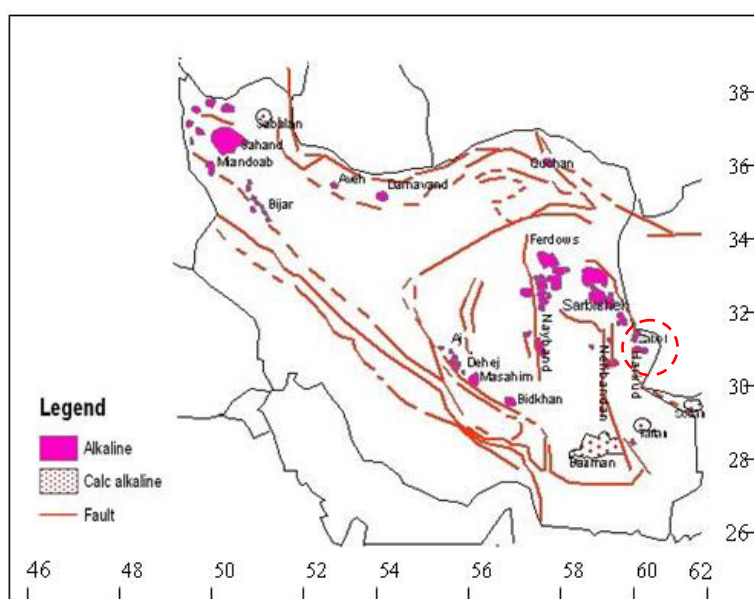
سنگ‌های آتشفشانی پلیو-کواترن در ایران در گستره‌های خاصی رخنمون دارند (شکل ۱). این سنگ‌ها بیشتر ارتباط نزدیکی با گسل‌های راستا لغز دارند [۱]. سه برونزد آتشفشانی جوان در حاشیه‌ی دریاچه هامون در خاور ایران گزارش شده-اند [۲] این رخنمون‌ها با نام‌های کوه خواجه، سم کوه و کوه-های جنوب خاوری بندان معرفی می‌شوند.

دریاچه‌ی هامون (دشت زابل) در گستره‌ی خاوری ایران و در حاشیه‌ی شرقی ایالت ساختاری سیستان قرار دارد و از نظر تقسیمات ساختاری در بخش غربی بلوک هلمند واقع شده است. مرز غربی دریاچه هامون گسل هریرود است و بخش بیشتر این گسل که در ایران قابل ردیابی است، جدا کننده‌ی هامون (دشت زابل) از ایالت ساختاری سیستان است [۳].

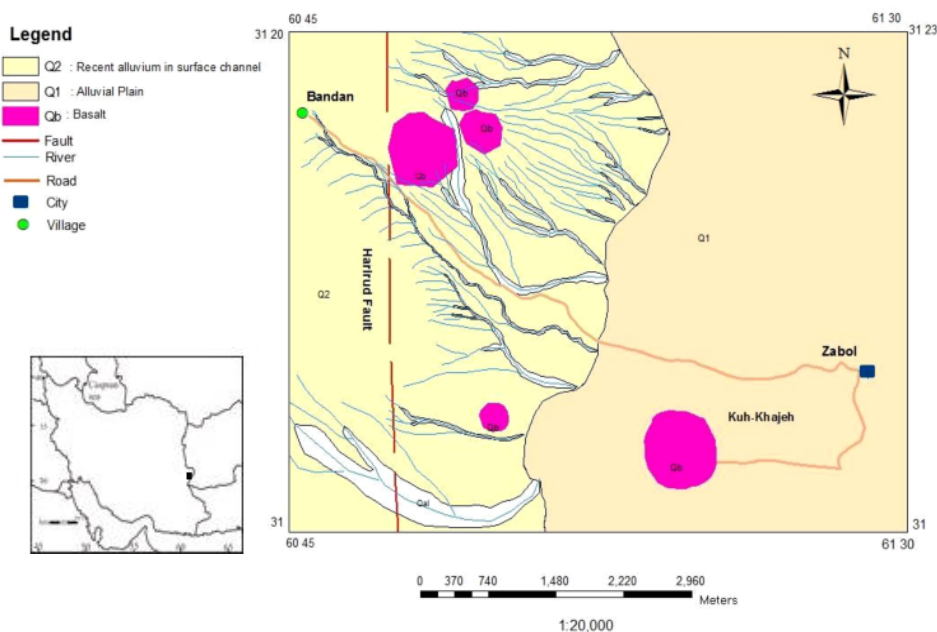
موقعیت زمین‌شناسی

کوه خواجه یک توده آتشفشانی با مساحت ۴۰۰۰ مترمربع و ارتفاع ۶۰۰ متر تنها رخنمون سنگی قابل توجه در حاشیه‌ی غربی دریاچه هامون است. این توده با موقعیت جغرافیایی $31^{\circ} 16' 57''$ عرض شمالی و $61^{\circ} 15' 19''$ طول خاوری در فاصله‌ی ۳۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان زابل قرار دارد. دو برونزد آتشفشانی دیگر به ترتیب در فاصله‌ی ۲۵ کیلومتری و ۵۳ کیلومتری و در حاشیه‌ی باختری و شمال باختری کوه خواجه و روی سیستم گسل هریرود قرار گرفته‌اند. توده‌های یاد شده به ترتیب دارای موقعیت‌های جغرافیایی $31^{\circ} 14' 14''$ عرض شمالی و $60^{\circ} 58' 58''$ طول خاوری، و $31^{\circ} 20' 20''$ عرض شمالی و $60^{\circ} 53' 19''$ طول شرقی قرار گرفته-اند (شکل ۲). کوه خواجه و دو رخنمون دیگر در نقشه‌های

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۶۱) ۲۵۰۲۰۴۵، نمابر: ۰۵۶۱) ۲۵۰۲۰۴۱، پست الکترونیکی: mollashahi.narjes87@yahoo.com



شکل ۱ فعالیت‌های آتشفشانی کواترنر در ایران [۵]، منطقه‌ی مورد بررسی روی نقشه با دایره نشان داده شده است.



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی دریاچه هامون.

زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰:۱ بندان [۴] و ۱:۱۰۰,۰۰۰:۱ جنوب شرقی ایران [۲] بازالت معرفی شده‌اند.

روش کار

تا کنون هیچ‌گونه کار صحرایی و ژئوشیمیایی روی این آتشفشان‌ها صورت نگرفته است، لذا بررسی صحرایی، سنگ-شناسی و ژئوشیمی این توده‌ها هدف این پژوهش بوده است. برای این منظور پس از تهیه‌ی عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰

تهیه شد. سپس نمونه برداری از سه رخنمون مجزا صورت گرفت. پس از تهیه‌ی مقطع نازک، بررسی مقاطع با میکروسکوپ قطبشی و تعیین جنس سنگ‌ها، با در نظر گرفتن عدم وجود دگرسانی در سنگ، تعداد ۱۰ نمونه‌ی سنگی برای تجزیه‌ی شیمیایی به روش ICP برای تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی و روش ICP-MS برای تعیین میزان عناصر نادرخاک انتخاب و پس از آماده‌سازی در شرکت SGS کانادا آنالیز شدند. تعداد ۶ نمونه از توده‌ی آتشفشانی کوه خواجه، ۳

است [۷]. وجود درشت بلورهای الیوین در این سنگ‌ها حاکی از جدایش بلورین جزئی ماگمای سازنده‌ی این سنگ‌هاست، بنابراین ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها باید به ترکیب شیمیایی اولیه ماگمای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها نزدیک باشد [۸].

بازالت

این سنگ‌ها که در کوه‌های خاور بندان دیده می‌شوند دارای بافت‌های پورفیری با خمیره‌ی میکرولیتی، پورفیری حفره‌ای و میان دانه‌ای هستند. درشت بلورهای این سنگ‌ها شامل پیروکسن و پلاژیوکلاز است. نوع پیروکسن با استفاده از آنالیز به روش XRD دیوپسید تعیین شد که به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و فاقد آثار دگرسانی هستند. پلاژیوکلازها که به صورت فنوکریست دیده می‌شوند، لابرادوریت‌اند، و انواع میکرولیتی آن‌ها حالت جریان‌ی دارند. کلیه پلاژیوکلازهای موجود در سنگ‌های بازالتی مورد بررسی کاملاً تازه بوده و هیچ‌گونه آثار دگرسانی و هوازدگی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود.

ژئوشیمی

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی در جدول ۱ آمده‌اند (نمونه‌های 1D-KH, 2F-KH, M-P-KH1, M-P-KH10, M-P-KH, M-06-KH, KH12, N-1F-KH به کوه خواجه، نمونه‌های M-08-KH, M-09-KH به توده‌ی جنوب خاوری بندان و نمونه‌ی D-N-KH به سم کوه تعلق دارند).

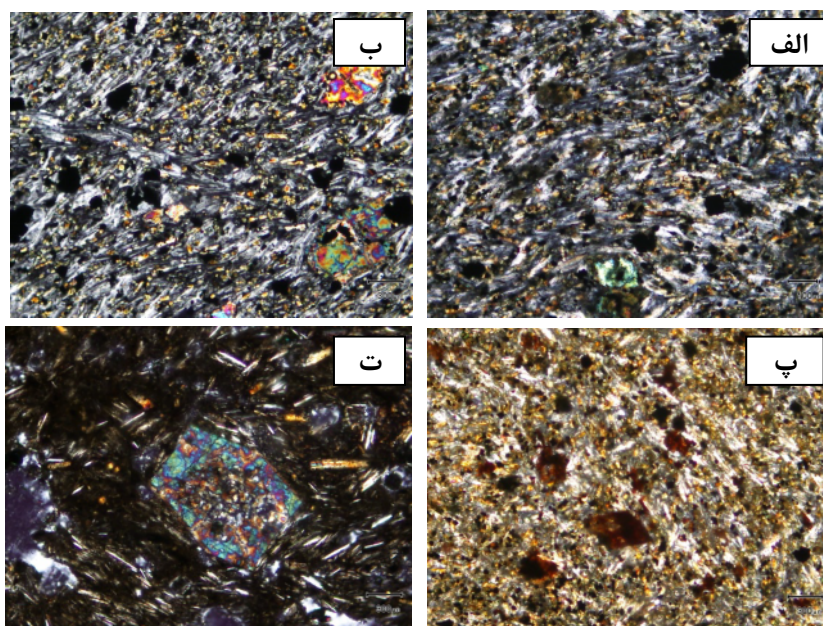
نمونه از توده‌ی جنوب خاوری بندان و ۱ نمونه از سم کوه انتخاب شدند.

بحث و بررسی

بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی نشان داد که سنگ‌های آتشفشانی کوه خواجه و سم کوه الیوین بازالت و سنگ‌های آتشفشانی کوه‌های جنوب خاوری بندان، بازالت و الیوین بازالت‌اند.

الیوین بازالت

این سنگ‌ها در هر سه رخمون سنگی مورد بررسی از فراوانی بالایی برخوردار بوده و از نظر صحرایی و میکروسکوپی به یکدیگر شبیه‌اند. بافت‌های غالب در این سنگ‌ها از بافت پورفیری با خمیره‌ی ریز بلوری، پورفیری حفره‌ای و میان دانه‌ای تشکیل شده‌اند (شکل ۳ الف و ب). درشت بلورهای خودشکل تا نیمه شکل‌دار الیوین ۱۰ تا ۳۰ درصد حجم این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند، که اغلب تازه و فاقد دگرسانی هستند ولی در برخی نمونه‌ها به ایدینگزیت دگرسان شده‌اند (شکل ۳ پ). میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و ریز بلورهای کلینوپیروکسن و الیوین زمینه‌ی سنگ‌های بازالتی مورد بررسی را تشکیل می‌دهند. حضور الیوین هم به صورت فنوکریست و هم به صورت بلورهای کوچک در زمینه یکی از مشخصات بازالت‌های قلیایی است [۶]. پدیده‌ی هضم الیوین توسط زمینه و عدم تشکیل حاشیه واکنشی در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳ ت) که یکی دیگر از مشخصات بازالت‌های قلیایی



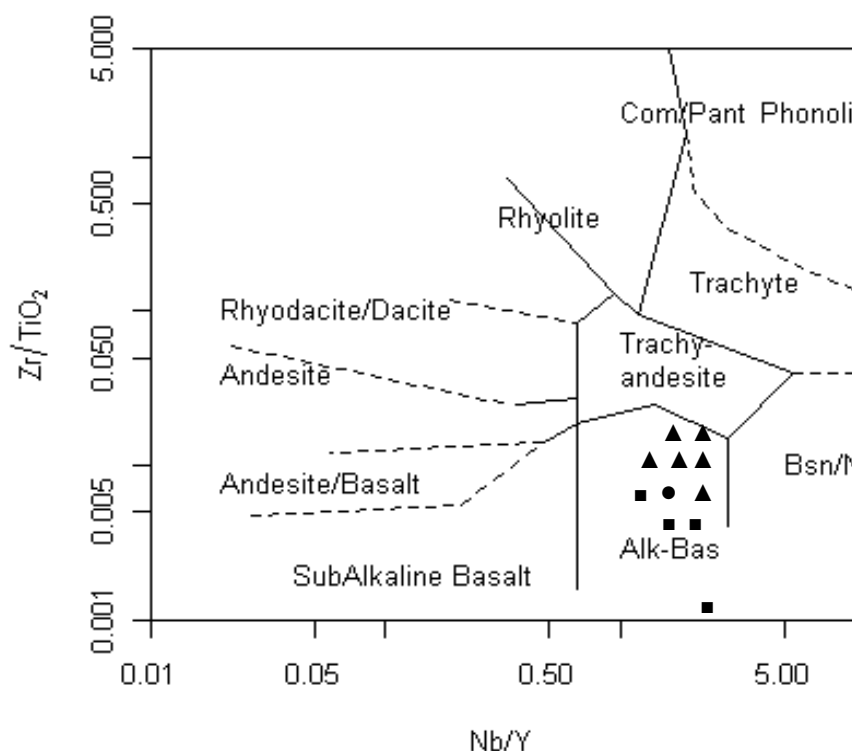
شکل ۳ الف) بافت حفره‌ای ریز بلوری در بازالت‌های خاور بندان، ب) بافت پورفیری ریز بلوری در الیوین بازالت‌های کوه خواجه، پ) ایدینگزیتی شدن در الیوین بازالت‌های کوه خواجه ت) پدیده‌ی هضم الیوین بدون ایجاد حاشیه‌ی واکنشی.

جدول ۱ تجزیه‌ی شیمیایی عناصر اصلی (بر حسب درصد اکسید) و عناصر فرعی (بر حسب ppm) به روش ICP و عناصر نادرخاکی (بر حسب ppm) به روش ICP- MS.

Sample	1D-KH	2F-KH	D-N-KH	M-06-KH	M-08-KH	M-09-KH	M-P-KH1	M-P-KH10	M-P-KH12	N-1F-KH
SiO ₂	۴۹,۱۳	۴۹,۲۱	۴۸,۵۳	۵۳,۷۶	۵۳,۵۶	۵۳,۴۵	۴۸,۴۴	۴۹,۴۷	۴۸,۸۵	۴۹,۵۵
TiO ₂	۲,۳۲	۲,۳۵	۲,۳	۱,۴۷	۱,۴۹	۱,۵۱	۲,۳۵	۲,۳۵	۲,۳۴	۲,۳۶
Al ₂ O ₃	۱۵,۷۶	۱۵,۹۱	۱۵,۶۵	۱۵,۷۳	۱۶,۹۹	۱۷,۱۲	۱۵,۹۸	۱۵,۹۱	۱۵,۶۱	۱۵,۷۷
Fe ₂ O ₃ t	۱۰,۰۹	۹,۹۶	۱۱,۶۴	۶,۲	۶,۱۹	۶,۳۵	۹,۹۸	۱۰	۱۰,۱۹	۱۰,۲۵
MnO	۰,۱۴	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۱۴	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۱۴
MgO	۵,۶۹	۵,۷۴	۵,۷	۵,۸۸	۵,۸۵	۴,۹۱	۵,۶۳	۵,۵۹	۵,۶۲	۵,۷۲
CaO	۸,۰۷	۸,۲	۷,۸۸	۷,۱۳	۶,۴۳	۸,۰۷	۸,۳۶	۷,۷۸	۸,۲۸	۸,۳
Na ₂ O	۵	۴,۸۸	۴,۶۹	۵,۳۱	۵,۰۷	۵,۲۵	۴,۹۴	۵,۰۵	۴,۸۵	۵,۴۲
K ₂ O	۱,۴۷	۱,۴	۱,۳۹	۱,۵۵	۱,۶۵	۱,۷۶	۱,۵	۱,۴۳	۱,۵۲	۱,۳۹
P ₂ O ₅	۱,۰۴	۱,۰۷	۱,۰۲	۰,۷۱	۰,۷۱	۰,۸۲	۱,۱۱	۱,۰۲	۱,۰۷	۱,۰۶
LOI	۱,۲۵	۱,۰۲	۱,۰۲	۱,۵	۱,۲۸	۱,۲۱	۱,۵۷	۱,۲۷	۱,۳۹	۱,۷
Sum	۱۰۰,۰۱	۹۹,۹۲	۱۰۰,۰۲	۹۹,۳۳	۹۹,۳	۱۰۰,۵۲	۱۰۰,۰۵	۱۰۰,۰۶	۹۹,۹۱	۱۰۱,۷
Ba	۳۱۰	۳۰۰	۲۸۰	۳۱۰	۳۱۰	۴۵۰	۳۲۰	۳۰۰	۳۲۰	۳۰۰
Rb	۲۰,۱	۱۷,۷	۱۹	۱۷,۵	۱۸,۹	۱۶,۷	۱۹,۱	۱۸,۷	۲۱,۵	۱۷,۸
Sr	۱۲۳۰	۱۲۵۰	۱۲۲۰	۱۳۷۰	۱۲۱۰	۱۸۰۰	۱۲۹۰	۱۲۵۰	۱۳۲۰	۱۲۶۰
Zr	۲۶۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۱۰	۲۶۰	۲۶۰	۲۶۰	۲۵۰
Nb	۴۰	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰	۲۰	۴۰	۳۰	۴۰	۳۰
Ni	۸۲	۷۴	۸۵	۳۷	۳۵	۳۹	۷۶	۶۷	۸۱	۷۴
Co	۳۰,۴	۲۹,۵	۳۰,۹	۱۶,۵	۱۶,۵	۱۷,۸	۳۱,۵	۲۹,۶	۳۲,۱	۳۱
Zn	۱۵۲	۱۴۱	۱۳۶	۹۷	۱۰۲	۹۸	۱۴۹	۱۴۲	۱۵۲	۱۵۶
La	۴۵,۸	۴۴,۶	۴۲,۶	۳۸,۲	۳۸,۲	۴۸,۳	۴۸,۴	۴۴,۹	۴۷	۴۳,۷
Ce	۱۰۲	۱۰۳	۹۸,۳	۸۰,۴	۸۱,۴	۹۷,۴	۱۱۰	۱۰۲	۱۰۷	۱۰۰
Pr	۱۲,۸	۱۲,۹	۱۲,۳	۹,۶۳	۹,۷۴	۱۱,۵	۱۳,۸	۱۲,۸	۱۳,۳	۱۲,۸
Nd	۵۰,۶	۵۰,۷	۴۸,۱	۳۶,۵	۳۶,۹	۴۲,۵	۵۴,۱	۵۰,۷	۵۱,۷	۵۰,۵
Sm	۹	۹,۳	۹	۶,۲	۶,۴	۷	۹,۵	۹	۹,۳	۹
Eu	۲,۶۴	۲,۶	۲,۵۵	۱,۷۶	۱,۸۲	۱,۹۲	۲,۷۳	۲,۶۱	۲,۷	۲,۶۳
Gd	۶,۷۹	۷,۰۲	۶,۸۳	۴,۳۷	۴,۶۱	۴,۸۴	۷,۵۱	۷,۲۵	۷,۳۱	۷,۱۷
Tb	۰,۹۸	۰,۹۸	۰,۹۲	۰,۵۸	۰,۶۳	۰,۶۲	۰,۹۸	۰,۹۳	۰,۹۹	۰,۹۳
Dy	۵,۱۱	۴,۸۵	۴,۷	۲,۷۷	۲,۸۲	۲,۹۲	۵,۰۹	۴,۷	۴,۸۵	۴,۸۷
Ho	۰,۹۱	۰,۹	۰,۸۸	۰,۵۲	۰,۵۳	۰,۵۳	۰,۸۹	۰,۸۹	۰,۹۱	۰,۸۵
Er	۲,۱۵	۲,۲	۲,۰۷	۱,۲۳	۱,۲۳	۱,۳۴	۲,۳	۲,۲۲	۲,۱۴	۲,۱۵
Tm	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۱۶	۰,۱۵	۰,۱۶	۰,۲۹	۰,۲۶	۰,۲۸	۰,۲۶
Yb	۱,۶	۱,۷	۱,۶	۱	۱	۰,۹	۱,۷	۱,۶	۱,۷	۱,۷
Lu	۰,۲۳	۰,۲۱	۰,۲	۰,۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۲۴	۰,۲۶	۰,۲۴	۰,۲۶
Y	۲۲,۱	۲۱,۷	۲۰,۸	۱۳,۶	۱۳,۵	۱۳,۸	۲۲,۶	۲۱,۷	۲۲,۳	۲۱,۴
Cs	۰,۸	۰,۷	۰,۸	۱	۱	۰,۷	۰,۸	۰,۶	۰,۸	۰,۶
Ta	۱,۵	۱,۶	۱,۴	۰,۵	۰,۵	۰,۶	۱,۶	۱,۵	۱,۵	۱,۴
Hf	۵	۶	۵	۵	۴	۴	۵	۶	۵	۵
Zr/TiO ₂	۱۱۲,۰۶	۱۰۶,۳۸	۱۰۸,۶	۱۴۹,۶۵	۱۴۷,۶۵	۱۳۹,۰۷	۱۱۰,۶	۱۱۰,۶	۱۱۱,۱	۱۰۵,۹
Nb/Y	۱,۸۰	۱,۳۸	۱,۴۴	۱,۴۷	۱,۴۸	۱,۴۴	۱,۷۶	۱,۳۸	۱,۴۹	۱,۴۰
Ti/Y	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۱
La/Yb	۲۸,۶۲	۲۶,۲۳	۲۶,۶۲	۳۸,۲	۳۸,۲	۵۳,۶	۲۸,۴۷	۲۸,۰۶	۲۷,۶۴	۲۵,۷
Dy/Yb	۳,۱۹	۲,۸۵	۲,۹۳	۲,۷۷	۲,۸۲	۳,۲۴	۲,۹	۲,۹۳	۲,۸۵	۲,۸۶

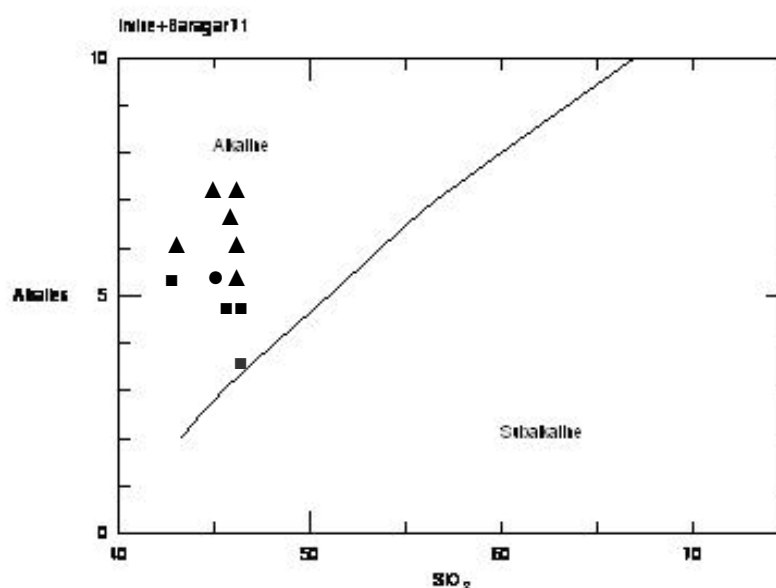
هستند (شکل ۶). این موضوع با نمودار کانی‌های نورماتیو آل‌بیت، آنورتیت و ارتوز [۱۰] نیز تایید می‌شود (شکل ۷). نتایج محاسبه‌ی کانی‌های نورماتیو در جدول شماره ۲ آمده‌اند.

نمونه‌های مورد بررسی در نمودار Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۹] در گستره‌ی بازالت قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۴). ماگمای سازنده‌ی سنگ‌های مورد بررسی در گستره‌ی سری ماگماهای قلیایی [۱۰] شکل ۵، از نوع سدیک [۱۱]

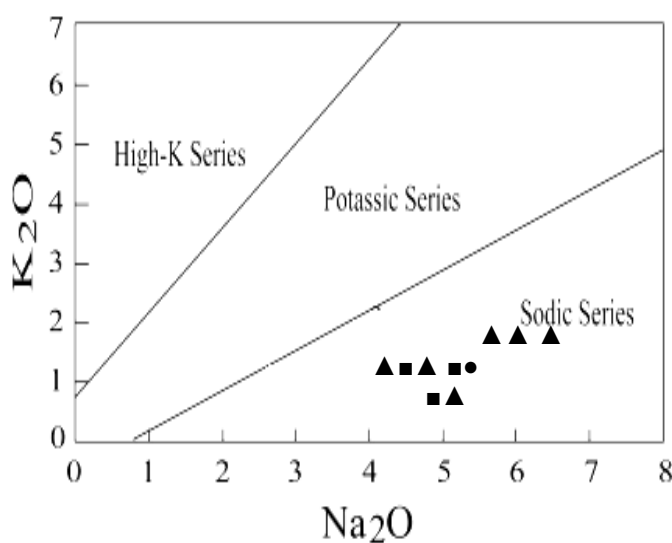


شکل ۴ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در نمودار Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۹]

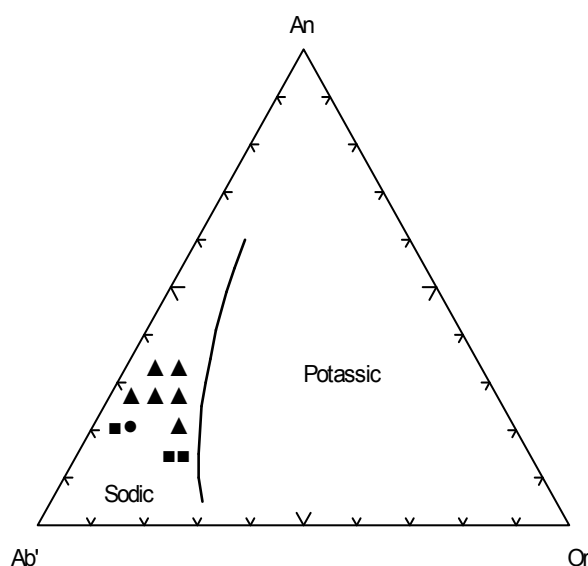
▲ نمونه‌های برداشت شده از کوه خواجه، ● نمونه‌ی برداشت شده از سم کوه ■ نمونه‌های برداشت شده از توده‌ی جنوب خاوری بندان



شکل ۵ تعیین سری ماگمایی سنگ‌های بازالتی گستره دریایچه‌ی هامون بر اساس نمودار اروین و باراگار، (۱۹۷۱) [۱۰] علائم مشابه شکل ۴ است.



شکل ۶ سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در نمودار $K_2O - Na_2O$ [۱۱] در گستره‌ی سری آلکان سدیک قرار می‌گیرند. علائم مشابه شکل ۴ است.



شکل ۷ ماگمای سنگ‌های قلیایی مورد بررسی بر اساس کانی‌های نورماتیو آلبت، آنورتیت و ارتوز [۱۰] در گستره‌ی آلکان سدیک قرار می‌گیرد. علائم مشابه شکل ۴ است.

جدول ۲ محاسبه‌ی کانی‌های نورماتیو به روش CIPW.

Sample	1D-KH	2F-KH	D-N-KH	M-06-KH	M-08-KH	M-09-KH	M-P-KH1	M-P-KH10	M-P-KH12	N-1F-KH
Or	۸٫۶۹	۸٫۲۷	۸٫۲۱	۹٫۱۶	۹٫۷۵	۱۰٫۴۰	۸٫۸۶	۸٫۴۵	۸٫۹۸	۸٫۲۱
Ab	۳۵٫۴۰	۳۶٫۱۷	۳۵	۴۴٫۹۳	۴۲٫۹۰	۴۲٫۶۶	۳۳٫۲۶	۳۷٫۴۳	۳۴٫۴۶	۳۴٫۶۹
An	۱۶٫۲۲	۱۷٫۳۷	۱۷٫۵۴	۱۴٫۵۱	۱۸٫۷۳	۱۷٫۹۵	۱۷	۱۶٫۵۲	۱۶٫۳۳	۱۴٫۶۰
Ne	۳٫۷۴	۲٫۷۶	۲٫۵۴	-	-	۰٫۹۶	۴٫۶۲	۲٫۸۷	۳٫۵۷	۶٫۰۵
Di	۱۴٫۵۷	۱۲٫۹۸	۱۲٫۰۱	۱۲٫۶۹	۶٫۶۷	۱۳٫۱۰	۱۳٫۷۱	۱۲٫۲۷	۱۴٫۱۶	۱۵٫۶۷
Ol	۸٫۱۱	۸٫۱۵	۱۰٫۶۰	۴٫۳۷	۲٫۶۸	۴٫۷۹	۷٫۷۵	۸٫۱۷	۷٫۸۵	۷٫۵۳
Mt	۵۵٫۴	۵۵٫۸	۵۵٫۱	۴۳٫۱	۴۳٫۴	۴۳٫۶	۵۵٫۸	۵۵٫۸	۵۵٫۷	۵۶٫۰
Il	۴٫۴۱	۴٫۴۶	۴٫۳۷	۲٫۷۹	۲٫۸۳	۲٫۸۷	۴٫۴۶	۴٫۴۶	۴٫۴۴	۴٫۴۸
Ap	۲٫۴۱	۲٫۴۸	۲٫۳۶	۱٫۶۴	۱٫۶۴	۱٫۹۰	۲٫۵۷	۲٫۳۶	۲٫۴۸	۲٫۴۶

پتروژنز سنگ‌های مورد بررسی

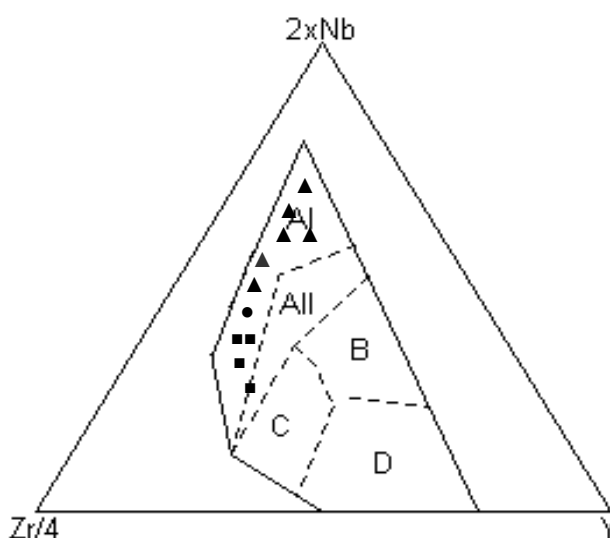
خاستگاه فعالیت آتشفشانی در داخل صفحات مختلف بوده و هنوز به خوبی درک نشده است. بیشتر آتشفشان‌های داخل صفحات به خاستگاه (الف) پلوم‌های گوشته و نقاط داغ (ب) ریف‌های قاره‌ای (پ) کشش پشت قوس (ت) لایه لایه شدن لیتوسفر (delamination)، نسبت داده شده است [۱۲]. در محیط‌های زمین‌ساختی کششی تولید ماگما به نازک شدن لیتوسفر وابسته است. میزان کشش و در نتیجه درصد کاهش فشار در تعیین ماهیت گدازه‌ی تولید شده نقش دارد به طوری که در کشش‌های کم، درصد ذوب بخشی کم بوده و گدازه‌ی تولید شده ماهیت قلیایی دارد و با افزایش کشش و در نتیجه افزایش درصد ذوب بخشی، ماهیت ماگما به سمت تحولی و نیمه قلیایی شدن پیش می‌رود [۱۳].

برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی آتشفشانی‌های محدوده‌ی دریاچه‌ی هامون از نمودارهای عناصر کمیاب نام‌تحرک استفاده شد. نمونه‌های مورد بررسی روی نمودارهای $Zr/4-2Nb-Y$ [۱۴] (شکل ۸) و نمودار $Ti/Y-Nb/Y$ [۱۵] (شکل ۹) در گستره‌ی قلیایی بازالت‌های درون صفحات قرار می‌گیرند.

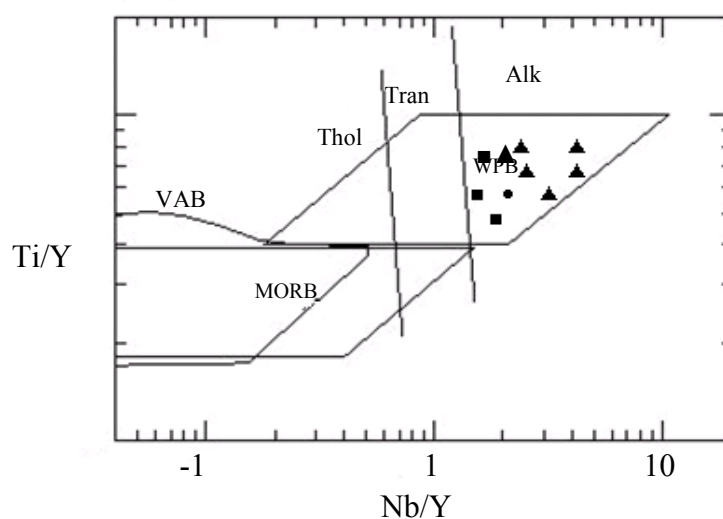
بررسی الگوهای عناصر کمیاب که نسبت به کندریت بهنجار شده اند [۱۶]، نشان دهنده‌ی غنی شدن عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) است (شکل ۱۰) و تعیین کننده‌ی وجود گارنت در خاستگاه است [۱۷]. نمودار نسبت Dy/Yb نسبت به La/Yb [۱۸] نشان می‌دهد (شکل ۱۱) که سنگ‌های بازالتی مورد

بررسی دارای خاستگاه گارنت لرزولیتی بوده که درجات پایین ذوب بخشی را تحمل کرده است. میزان غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE بسته به درجات ذوب بخشی تغییر می‌کند. در درجات ذوب بخشی پایین، شیب منحنی‌ها زیاد بوده و عناصر نادر خاکی سبک غنی‌شدگی بیشتری نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین نشان می‌دهند و با افزایش درجه‌ی ذوب بخشی شیب این منحنی‌ها کاهش یافته و از تفاوت غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر سنگین کاسته می‌شود [۱۹]. درجات ذوب بخشی پایین گوشته‌ی فوقانی (کمتر از ۱۰ درصد) منجر به تشکیل ماگماهای بازالت قلیایی و در نتیجه غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین می‌شود [۲۰-۲۲]. غنی‌شدگی LREE نبود بی‌هنجاری Eu در سنگ‌های بازالتی معرف ویژگی‌های آتشفشانی درون صفحه‌ای است [۲۳-۲۴] که در نمونه‌های مورد بررسی نیز صادق است.

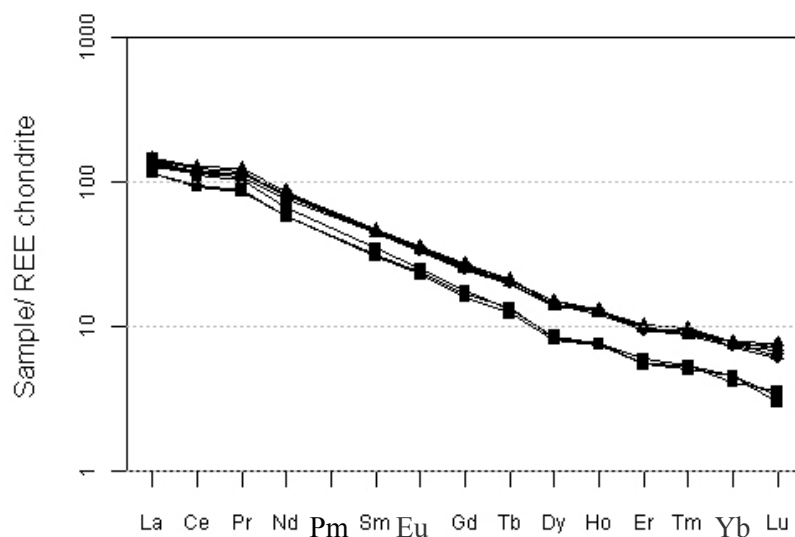
نقشه‌های ضخامت لیتوسفری مشتق شده از سرعت امواج برشی نشان می‌دهد که لیتوسفر در شرق ایران نازک است و فعالیت‌های آتشفشانی در طول گسل‌های راستا لغز رخ داده است [۱]. با توجه به مجموع داده‌ها می‌توان فعالیت آتشفشانی جوان رخ داده در منطقه‌ی هامون را وابسته به کشش‌های محلی که ضمن همگرایی بلوک لوت به سمت بلوک افغان و اعمال رژیم فشاری - برشی بر پوسته شرق ایران [۲۵] رخ داده، دانست.



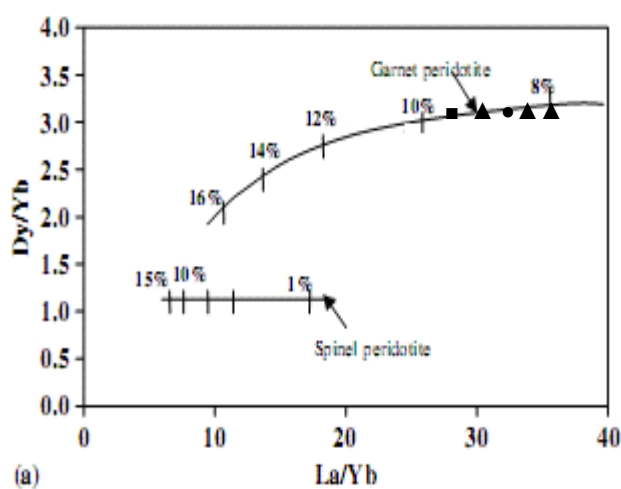
شکل ۸. نمونه‌های مورد بررسی روی نمودار $Zr/4-2Nb-Y$ [۱۴] در گستره‌ی بازالت قلیایی درون صفحات قرار می‌گیرند. علائم مشابه شکل ۴ است. A: بازالت‌های قلیایی درون صفحات، All: بازالت‌های قلیایی و تولیت درون صفحات، B: بازالت‌های E-MORB، C: بازالت‌های تولیت درون صفحات و بازالت‌های جزایر قوسی، D: بازالت‌های جزایر قوسی و بازالت‌های N-MORB.



شکل ۹: بازالت‌های مورد بررسی بر روی نمودار $Ti/Y-Nb/Y$ [۱۵] در گستره‌ی بازالت‌های قلیایی درون صفحات قرار می‌گیرند. علائم مشابه شکل ۴ است.



شکل ۱۰: نمودار عنکبوتی میانگین بازالت‌های گستره‌ی دریاچه‌ی هامون که با کندریت عادی سازی شده است [۱۶] علائم مشابه شکل ۴ است.



شکل ۱۱: نمودار نسبت Dy/Yb به نسبت La/Yb [۱۸] برای نمونه‌های مورد بررسی خاستگاه گارنت لروزلت را نشان می‌دهد. علائم مشابه شکل ۴ است.

برداشت

بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی گستره‌ی دریاچه‌ی هامون از نوع الیوین بازالت و بازالت‌های دارای ماهیت قلیایی سدیک است. الگوی تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی غنی‌شدگی LREE (عناصر نادر خاکی سبک) نسبت به HREE (عناصر نادر خاکی سنگین) را نشان می‌دهد که بیانگر خاستگاه گوشته‌ی گارنت لوزولیتی با درجه‌های پایین ذوب بخشی برای این سنگ‌هاست. غنی‌شدگی LREE و نبود بی‌هنجاری Eu در سنگ‌های بازالتی گستره‌ی دریاچه‌ی هامون معرف ویژگی‌های آتشفشانی درون صفحه‌ای است که در اثر کشش‌های محلی که ضمن همگرایی بلوک لوت به سمت بلوک افغان و اعمال رژیم فشاری - برشی بر پوسته‌ی شرق ایران رخ داده، تشکیل شده است.

مراجع

- [1] Walker R.T., Gans P., Allen M.B, Jackson J., Khatib M., Marsh N., Zarrinkoub M. H., "Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran", Journal of Geophysic (2009) 23P.
- [2] Huber H., "Geological map of South-East Iran", 1:1000,000 series (1977) Sheet No.6.
- [۳] آقاباتی ع، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۳۸۶ صفحه.
- [4] Alavi-Naini M., Lotfi M., "Geological map of Bandan", 1:100,000 series, 1980, sheet 8152.
- [۵] بربریان م، "پژوهش و بررسی لرزه زمین ساخت ایران"، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۵۲ (۱۳۶۲) ص ۶۰-۶۱
- [6] Shelley D., "Igneous and Metamorphic rocks under the microscope", Chapman and Hall, University press, Cabridge, Great Britain, (1993) 445.
- [7] Righter K., Rosas-Lguera J., "Alkaline Lavas in the Volcanic Front of the Western Mexican Volcanic Belt: Geology and Petrology of the Ayutla and Tapala Volcanic Fields", Journal of Petrology (2001) 2333-2361.
- [8] Nelson S.A., "magmatic differentiation", Petrology, Tulane University, 212(2010) 15P.
- [9] Winchester J.A., Floyd A., "Geochemical discrimination of different magma series and immobile element", Journal of Chemical Geology, Vol.20(1977) 325-343.
- [10] Irvine T., Barager W., "A guide to the chemical classification of the common rocks", Canadian Journal of Earth Science 8(1971) 523-548.
- [11] Middlemost E.A.K., "The basalt clan", Earth Science Reviews 11(1975) 337-364.
- [12] Chen Y., et al., "Geochemistry of Cenozoic basalts and mantle xenoliths in Northeast China", Lithos 96 (2007) 108-126.
- [13] Wilson M., "Igneous petrogenesis: A global tectonic approach", Springer (2007) 466P.
- [14] Meschede M., "A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram", Journal of Chemical Geology, 56 (1986) 207-218.
- [15] Pearce J.A., Cann J.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined, Using trace element analysis", Journal of Earth planet, 19(1973) 290-300.
- [16] Sun S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", In, Magmatism in the Ocean Basins (eds. A.D. Saunders and M.J. Norry) Journal of Geology, (1989) 313-345.
- [17] Schandle E.S., Gorton M.P., "Application of high field strength elements to discriminate tectonic setting in VMS environments", Journal of Economic Geology (2002) 629-642.
- [18] Kuepouo G., Tchouankoue J.P., Nagao T, Sato H., "Transitional tholeiitic basalts in the Tertiary Bana volcano-plutonic complex Cameroon Line", Journal of African Earth Sciences 45 (2006) 318-332.
- [19] Hirschman M.M., kodifo, T., daker M.B., "Calculation of Peridotite partial melting from thermodynamic models of minerals and melts", Journal of Petrology. 39 (1998) 1091-1115.
- [20] El-Hasan T., Al-Malabeh A., "Geochemistry, Mineralogy and Petrogenesis of El-Lajjoun Pleistocene Alkali Basalt of Central Jordan", Journal of Earth and Environmental Sciences (2008) 53-62.
- [21] Gourgaud A., Vincenet P.M., "Petrology of two continental alkaline intraplate Series at Emi

(Hatay), Turkey", Journal of Earth Sciences (1998) 53-61.

[24] Yang Z., Luo Z., Zhang H., Zhang Y., Huang F., Sun Ch., Dal J., "Petrogenesis and Geological Implications of the Tianheyong Cenozoic Basalts, Inner Mongolia China", Earth Science Frontiers 16 (2009) 90-106.

[25] Tirrul R., Bell L.R., Griffis R.J., Camp V.E., "The Sistan suture zone of eastern Iran", G.S.A. Bulletin, vol. 84, (1983) 134-140.

Koussi Volcano", Tibesti, Chad. Journal of Volcano Geology 129, (2003). 261-290.

[22] Shaw J., Baker J., Menzies M., Thirlwall B., Ibrahim K., "Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian plate (Jordan): a mixed lithosphere-asthenosphere source activated by lithosphere extension", Journal of Petrology 44(2003)1657-1679.

[23] Parlak O., Kop A., Onlogenc U., "Geochronology and Geochemistry of Basaltic Rocks in the Karasu Graben Around Kirikhan