Archive of SID

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال نوزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۹۰، از صفحهٔ ۲۵۱ تا ۲۶۲

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

ژئوشیمی و سنگ‌شناسی سنگ‌های آتشفشانی شمال‌شرق نراق: ماگماتیسم جزایر قوسی یا حواشی قاره‌ای فعال؟

شاهین شهریاری، محمدرضا قربانی*، رسول نصیری بزنجانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۸۹/۲/۲۵ ، نسخه نهایی: ۸۹/۶/۸)

چکیده: محیط‌های زمین ساختی ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف برای تعیین محیط زمین ساختی کمربند آتشفشانی- پلوتونیکی ارومیه- دختر شامل حاشیه‌ی قاره‌ای فعال، ریفت و پسا برخوردند. ولی به طور کلی بررسی‌های ژئوشیمی و زمین ساختی، وابستگی این مجموعه را به حاشیه‌های قاره‌ای فعال نشان می‌دهند. سنگ‌های آندزیت بازالتی، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت، داسیت و ریولیت‌های شمال شرق نراق واقع در کمان ماگمایی ارومیه- دختر با سن ائوسن از نظر ژئوشیمی عناصر اصلی و نادر همبستگی‌هایی را با جزایر قوسی آتشفشانی نشان می‌دهند. این سنگ‌ها در مقایسه با سنگ‌های جزایر قوسی مانند ماریانا و حاشیه‌ی قاره‌ای فعال مانند آند در گستره‌ی حد واسط بین این دو گروه سنگی قرار می‌گیرند. شرایط ویژه‌ی زمین‌ساختی و ضخامت کم پوسته‌ی ایران مرکزی حین فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به زیر آن، منجر به تشکیل سنگ‌هایی با همبستگی ژئوشیمیایی جزایر قوسی در منطقه‌ی شمال شرق نراق شده است.

واژه‌های کلیدی: *ژئوشیمی؛ سنگ شناسی؛ سنگ‌های آتشفشانی؛ جزایر قوسی؛ حواشی قاره‌ای فعال؛ نراق.*

مقدمه

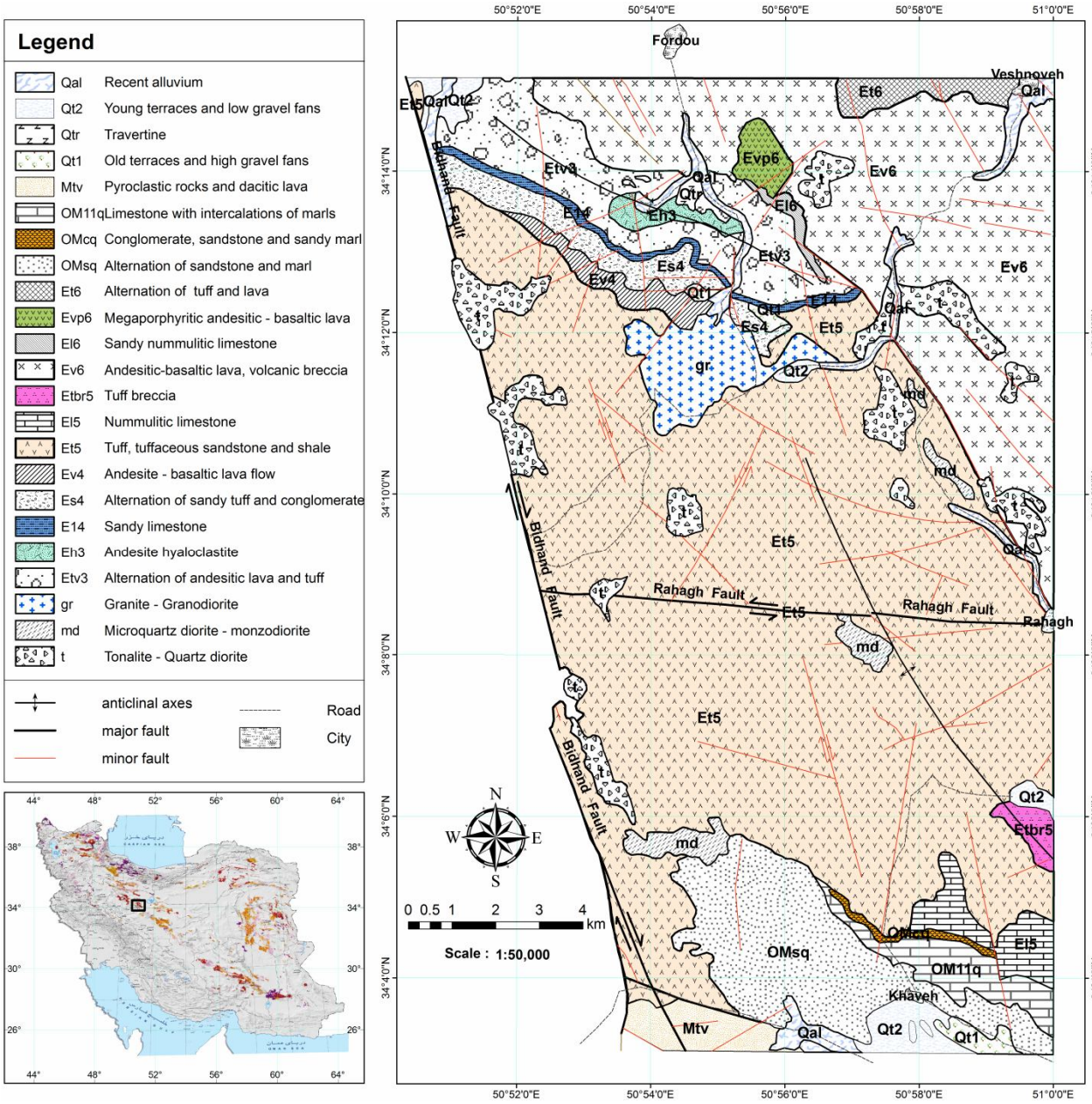
منطقه‌ی مورد بررسی در شمال شرقی نراق، ۲۰ کیلومتری شمال شرقی دلیجان و ۳۰ کیلومتری شمال غربی کاشان قرار گرفته و دارای مختصات جغرافیایی به طول ´۵۱ ،°۵۰ تا ´۰۰ ،°۵۱ و عرض ´۰۳ ،°۳۴ تا ´۱۵ ،°۳۴ است (شکل۱). منطقه‌ی مورد نظر، از نظر تقسیمات زون‌های ساختاری- رسوبی [۱] جزء کمان ماگمایی ارومیه- دختر و تقریباً در بخش میانی آن قرار گرفته است.

از نظر سنگ‌چینه‌نگاری (شکل۱)، این مجموعه شامل ۴ واحد سنگی E_3, E_4, E_5, E_6 است که با ویژگی‌های سنگ-شناسی و وجود برخی واحدهای کربناتی فسیل‌دار از یکدیگر جدا شده‌اند [۲]. پدیده‌ی آتشفشانی در گستره‌ی مورد بررسی گاه شدید و انفجاری بوده و انواع مواد آذرآواری را پدید آورده و گاه آهنگ ملایمی داشته و روانه‌های گدازه را ایجاد کرده است. در این مقاله نخست به سنگ‌نگاشتی و رده‌بندی ژئوشیمیایی و نامگذاری سنگ‌های منطقه، سپس به جزئیات ژئوشیمی عناصر اصلی و نادر، خاستگاه زمین ساختی ماگمایی و خاستگاه سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی می‌پردازیم.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۸۲۸۸۴۴۰۵ (۰۲۱)، نمابر: ۸۲۸۸۴۴۳۵ (۰۲۱) ،پست الکترونیکی:ghorbani@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی [۲].

موقعیت زمین‌شناسی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی

منطقه‌ی مورد بررسی دارای دنباله‌ای از مواد آتشفشانی است و در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده است. کمان ماگمایی ارومیه- دختر از سوی پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. برخی پژوهشگران با بررسی‌های ژئوشیمیایی گروه‌های مختلف سنگی، همچون سنگ‌های آهکی- قلیایی [۳-۵]، آهکی- قلیایی- تولئیتی [۶] و قلیایی [۷، ۸]، این سنگ‌های آتشفشانی را به سیستم‌های فروارنش وابسته می‌دانند. همچنین حسن‌زاده [۷] با بررسی سنگ‌های آذرین شهر بابک، این سنگ‌ها را به حاشیه‌های قاره‌ای فعال نسبت می‌دهد. قاسمی و تالبوت[1] [۹] محیط پسا برخورد را برای سنگ‌های آذرین ائوسن میانی به بعد پیشنهاد کرده‌اند. عمیدی [۱۰] و امامی [۱۱] سنگ‌های آتشفشانی قلیایی این کمان را به ریفت وابسته می‌دانند. بربریان [۱۲] با توجه به فوران گدازه‌های قلیایی در شمال‌غرب ایران که به دنبال سنگ-

1- Ghasemi and Talbot (2006)

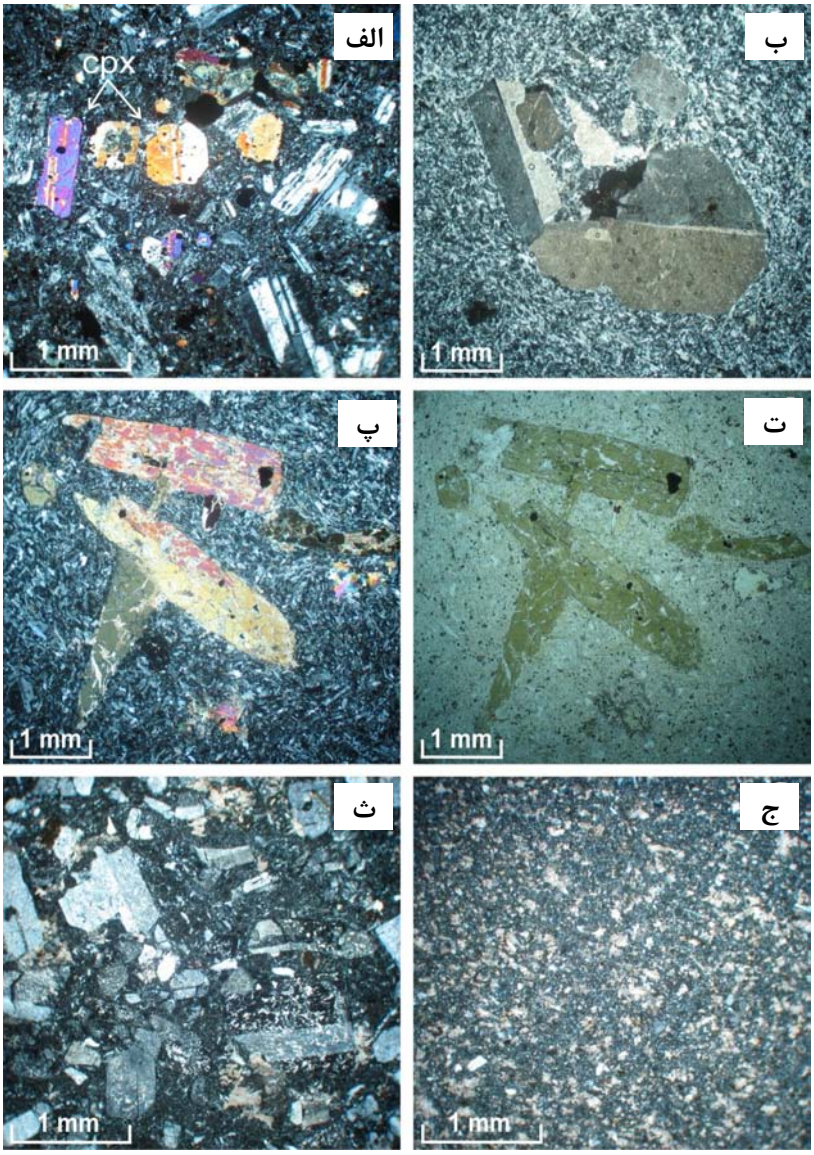
www.SID.ir

Archive of SID

های آهکی- قلیایی در زمان ۵ تا ۶ میلیون سال قبل رخ داده‌اند، معتقد است که این سنگ‌ها به رها شدن قطعات شکسته شدهٔ نهایی پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده و فرو رفتن آنها در گوشته وابستگی دارند.

سنگ‌نگاری سنگ‌های منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت بازالتی، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت، داسیت و ریولیت تشکیل شده است که به ائوسن میانی تا ائوسن پایانی وابسته‌اند [۲]. گدازه‌های منطقه دارای تنوع ساختی و بافتی زیادی بوده و بافت‌های، پورفیری، مگاپورفیری، پورفیری میکرولیتی و ویتروفیری، بافت‌های غالب در سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی هستند. سنگ‌های آذرآواری منطقه نیز شامل انواع توف بلوری (شکل ۲ ث)، توف شیشه‌ای (شکل۲ ج)، توف‌برش، آگلومرا و ایگنیمبریت بوده است. کانی-شناسی بیشتر سنگ‌های منطقه شامل بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول (شکل ۲ پ و ۲ ت)، کلینوپیروکسن (شکل۲ الف)، ارتوز (شکل۲ ب) و کوارتز هستند که به صورت فنوکریست در سنگ‌های آتشفشانی منطقه حضور دارند [۱۳].



شکل۲ الف) فنوکریست‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در یک آندزیت (XPL). ب) فنوکریست‌های فلدسپات قلیایی (ارتوز) با ماکل کارلسباد در یک نمونه‌ی تراکیت (XPL). پ) و ت) فنوکریست‌های آمفیبول در یک کوارتز تراکیت، شکل پ (XPL) و شکل ت (PPL). ث) تصویر میکروسکوپی از یک توف شیشه‌ای بلوردار (XPL). ج) تصویر میکروسکوپی از یک توف شیشه‌ای (XPL)، [۱۳].

www.SID.ir

Archive of SID

رده‌بندی شیمیایی و نامگذاری سنگ‌های منطقه

برای بررسی‌های ژئوشیمی و سنگ‌شناسی سنگ‌های منطقه، تعداد ۲۸ نمونه که دارای کمترین میزان هوازدگی و کمترین میزان فنوکریست بودند انتخاب شدند و در دانشگاه تربیت مدرس تهران به روش XRF تجزیه شیمیایی شدند. سپس بین این ۲۸ نمونه، تعداد ۱۰ نمونه بازی‌تر (SiO_2 کمتر از ۶۲ درصد وزنی) برگزیده و درآزمایشگاه Genalysis استرالیا به روش ICP MS آنالیز شدند. در آنالیز به روش ICP MS تنها عناصر نادر تجزیه شیمیایی شدند. لیست کامل نتایج این تجزیه‌های شیمیایی در جدول‌های شماره ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

جدول۱ مقادیر عناصر اصلی (برحسب درصد وزنی) سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی که به‌روش XRF آنالیز شده است.

unit	E6	E5	E3	E5	E5	E5	E5	E3	E5	E3	E5	E5	E6	E6	E5	E5	E5	E6
Sample	84.9.35	84.9.7	85.2..5	84.9.9	85.6.14	84.9.36	85.6.40	85.6.35	84.9.4	85.2.6	85.6.31	85.6.25	84.9.24	85.2.20	84.9.29	85.6.43	85.6.26	84.9.13
SiO_2	۵۲٫۷۶	۵۳٫۲۲	۵۳٫۶۵	۵۳٫۹۸	۵۴٫۳۶	۵۶٫۵۷	۵۷٫۴۷	۵۸٫۲۰	۶۰٫۷۵	۶۳٫۰۸	۶۴٫۴۳	۶۴٫۷۳	۶۴٫۸۲	۶۵٫۲۱	۷۰٫۹۹	۷۳٫۷۳	۷۴٫۰۹	۷۵٫۷۱
Al_2O_3	۱۶٫۳	۱۶٫۲۷	۱۴٫۲۷	۱۴٫۷۷	۱۷٫۰۷	۱۷٫۵۱	۱۴٫۹۵	۱۵٫۷۵	۱۶٫۰۵	۱۴٫۹۵	۱۴٫۰۵	۱۴٫۲۶	۱۳٫۸۵	۱۴٫۷۱	۱۴٫۷۳	۱۱٫۱۸	۱۳٫۲	۱۳٫۸۷
Fe_2O_3	۱۰٫۳۳	۱۰٫۸۵	۱۲٫۵۳	۱۱٫۵۱	۹٫۶۶	۷٫۲۲	۷٫۷۴	۸٫۳۷	۷٫۰۱	۶٫۴۲	۵٫۷۲	۵٫۲۴	۵٫۹۲	۶٫۳۹	۲٫۱۵	۰٫۶۶	۱٫۸۴	۰٫۴۵
MnO	۰٫۲۳۲	۰٫۳۷۳	۰٫۳۰۴	۰٫۲۳۸	۰٫۱۵۴	۰٫۱۳۷	۰٫۱۹	۰٫۲۷۷	۰٫۱۰۲	۰٫۲۲۵	۰٫۰۵۴	۰٫۰۸۶	۰٫۰۸۲	۰٫۲۰۱	۰٫۰۸۵	۰٫۰۲۷	۰٫۱۹۳	۰٫۰۰۷
MgO	۵٫۳۶	۴٫۵۹	۵٫۴۷	۴٫۳۵	۵٫۱۹	۳٫۲۴	۴٫۱۸	۳٫۸۱	۳٫۶۳	۲٫۴۷	۲٫۷۲	۱٫۳۷	۲٫۱۵	۲٫۴۱	۰٫۶۲	۰٫۰۲	۰٫۳۳	–
CaO	۵٫۲۸	۷٫۶۶	۷٫۹۳	۸٫۵۷	۵٫۹۱	۵٫۰۹	۴٫۵۲	۳٫۳۸	۲٫۷۲	۲٫۸۹	۵٫۷۱	۲٫۰۸	۲٫۶۹	۲٫۸۶	۱٫۹۴	۲٫۰۴	۱٫۰۵	۰٫۴۳
Na2O	۳٫۲۱	۲٫۸۴	۲٫۲۴	۲٫۷۷	۳٫۷۹	۴٫۰۲	۳٫۷۷	۴٫۶۸	۷٫۵۲	۴٫۲۲	۴٫۶۹	۴٫۶۳	۴٫۸۸	۵٫۲۹	۶٫۸۷	۰٫۵۴	۵٫۲۱	۹٫۴۹
K_2O	۱٫۹	۰٫۷۲	۰٫۷۲	۰٫۶	۰٫۲۹	۱٫۸۲	۰٫۸۱	۲٫۴۶	۰٫۱۳	۴٫۱	۰٫۹۷	۳٫۲۴	۱٫۶	۱٫۱۸	۰٫۴۹	۸٫۴۵	۱٫۴۶	۰٫۰۷
TiO_2	۰٫۸۴۱	۰٫۷۷۵	۱٫۱۴	۱٫۰۷۱	۰٫۷۰۶	۰٫۶۲۴	۰٫۵۰۸	۰٫۶۵۹	۰٫۵۹۲	۰٫۶۴۹	۰٫۷۴۱	۰٫۵۶۵	۰٫۵۲۹	۰٫۴۰۹	۰٫۱۷	۰٫۱۰۹	۰٫۱۳۹	۰٫۰۹۸
P_2O_5	۰٫۲۱۱	۰٫۰۷۷	۰٫۱۶۴	۰٫۱۲۹	۰٫۱۰۸	۰٫۱۴۵	۰٫۱۵۷	۰٫۱۵۴	۰٫۲۲۱	۰٫۱۵۱	۰٫۲۰۶	۰٫۱۷۱	۰٫۱۷۸	۰٫۱۸۲	۰٫۱۰۹	۰٫۰۳۶	۰٫۰۷۷	۰٫۰۹

جدول۲ مقادیر عناصر اصلی (برحسب درصد وزنی) سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی که به روش XRF و مقادیر عناصر نادر (برحسبppm) سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی که به روش ICP MS آنالیز شده‌اند.

unit	E3	E6	E6	E3	E6	E5	E6	E5	E6	E5
Sample	85.2.8	84.9.20	84.9.5	85.2..5	84.9.22	85.6.3	85.2.17	85.6.17	85.2.24	85.2.26
SiO2	۵۲٫۱۰	۵۲٫۳۱	۵۲٫۸۳	۵۳٫۶۴	۵۴٫۲۶	۵۴٫۶۵	۵۵٫۴۶	۵۶٫۵۷	۵۹٫۷۶	۶۰٫۰۰
Al2O3	۱۷٫۳۱	۱۶٫۱۶	۱۵٫۶۴	۱۴٫۷۱	۱۶٫۲۱	۱۵٫۸۹	۱۳٫۸۷	۱۵٫۱۷	۱۵٫۳۹	۱۴٫۵۴
Fe2O3	۱۰٫۵۸	۱۰٫۲۵	۹٫۴۶	۱۲٫۸۳	۹٫۱۶	۹٫۹۳	۱۰٫۷۷	۷٫۵	۸٫۹۳	۷٫۷۷
MnO	۰٫۲۴۸	۰٫۴۳۶	۰٫۱۷۳	۰٫۳۰۱	۰٫۲۳۷	۰٫۱۷۹	۰٫۰۹۶	۰٫۱۶	۰٫۲۸۸	۰٫۱۱۳
MgO	۳٫۳۶	۴٫۹۳	۵٫۲۴	۵٫۵۷	۵٫۷۱	۴٫۷۴	۵٫۶۸	۴٫۳۶	۳٫۱۷	۳٫۸۱
CaO	۸٫۶۷	۳٫۷۸	۹٫۹۸	۸٫۰۱	۷٫۰۹	۵٫۷۵	۶٫۲۵	۷٫۱۵	۴٫۰۷	۶٫۰۷
Na2O	۲٫۶۵	۰٫۹۸	۲٫۹۲	۲٫۲۳	۲٫۸	۳٫۲۷	۳٫۳۹	۳٫۴۹	۴٫۷۶	۲٫۹
K2O	۱٫۱۷	۶٫۵۵	۰٫۲۱	۰٫۷۱	۰٫۴۸	۰٫۸۷	۱٫۵۷	۱٫۰۶	۱	۱٫۵۶
TiO2	۱٫۱۶۴	۰٫۹۵۹	۰٫۸۷۴	۱٫۰۹۸	۰٫۷۱	۰٫۶۳۳	۱٫۱۳۸	۰٫۶۴۶	۰٫۸۵۷	۰٫۷۲۱
P2O5	۰٫۲۸۶	۰٫۱۴۸	۰٫۱۱۳	۰٫۱۶۵	۰٫۱۰۴	۰٫۱۶۸	۰٫۸۶۵	۰٫۱۰۶	۰٫۱۷۵	۰٫۰۹۶
Ba	۹۰۴٫۹	۲۳۸۶٫۲	۷۸٫۹	۲۸۶٫۲	۱۸۳٫۳	۳۱۹٫۵	۴۱۲٫۱	۴۴۵٫۵	۲۶۸٫۳	۳۰۸٫۸
Ce	۴۰٫۱۹	۲۳٫۱۱	۱۲٫۶۶	۱۲٫۸۸	۹٫۳۷	۲۳٫۲۹	۳۷٫۵۴	۳۰٫۷۲	۲۱٫۷۴	۲۴٫۸۳
Co	۲۹٫۱	۲۵٫۳	۳۳٫۷	۴۰	۲۳٫۳	۲۶٫۶	۱۶٫۴	۲۳٫۳	۱۶٫۶	۲۱
Cr	۷۳	۷۰	۱۳۱	۱۰۴	۷۱	۵۲	۱۳۸	۴۷	۳۴	۶۷
Cs	۲٫۲۵	۲٫۷۴	۱٫۳۱	۰٫۶۱	۱٫۷	۱٫۰۵	۲٫۱۷	۰٫۶۴	۰٫۳۸	۱٫۴۳
Dy	۶٫۶۴	۵٫۴۱	۴٫۰۲	۵٫۰۹	۳٫۲۳	۴٫۱۲	۶٫۳۵	۳	۵٫۱۸	۴٫۷۱
Er	۴٫۰۴	۳٫۱۷	۲٫۵۳	۳٫۱	۱٫۹۸	۲٫۴	۳٫۳	۱٫۷۸	۳٫۰۱	۲٫۸۶
Eu	۱٫۴۷	۱٫۴	۱	۱٫۱	۰٫۸۸	۱٫۱۹	۱٫۸۳	۰٫۹۹	۱٫۲۵	۱٫۰۴
Hf	۳٫۴۶	۲٫۵۵	۱٫۵۴	۱٫۲	۱٫۳۶	۲٫۲	۱٫۹۷	۲٫۳۵	۲٫۶۱	۳٫۰۶
La	۱۹٫۵۷	۱۰٫۱	۵٫۳۹	۵٫۴۷	۳٫۶۹	۱۰٫۸۷	۱۶٫۵۸	۱۶٫۲۶	۹٫۳۲	۱۱٫۱۷
Lu	۰٫۵۷	۰٫۴۱۷	۰٫۳۴۳	۰٫۴۳۲	۰٫۲۶۷	۰٫۳۲	۰٫۳۶۶	۰٫۲۵۸	۰٫۳۹۳	۰٫۴
Nb	۱۰٫۷۴	۳٫۷۴	۲٫۵۲	۳٫۱۱	۱٫۶۷	۴٫۶۴	۱۹٫۰۴	۳٫۳۱	۴٫۱	۵٫۲۱
Nd	۲۱٫۷۱	۱۴٫۹۴	۸٫۸۳	۹٫۵۸	۶٫۹۱	۱۳٫۲۵	۲۲٫۱۷	۱۴٫۴۲	۱۳٫۷۶	۱۴٫۳۸
Pb	۱۲۲	۲۳۲	–	۱۰	۶۲	۴	۵	۱۵	۵	۷
Pr	۵٫۰۸۸	۳٫۱۴۵	۱٫۸۱۵	۱٫۹۱۹	۱٫۴۰۴	۲٫۹۶۹	۴٫۹۹	۳٫۵۶۳	۲٫۹۵۲	۳٫۲۴۸
Rb	۳۴٫۲۴	۴۲۴٫۰۹	۵٫۰۸	۲۶٫۹۹	۱۷٫۶۷	۱۷٫۲۴	۶۰٫۲	۱۹٫۷۲	۲۹٫۴۸	۵۶٫۱۸
Sc	۲۷	۲۹	۴۲	۳۸	۲۲	۲۲	۲۳	۲۰	۲۰	۲۸
Sm	۵٫۱۵	۴٫۰۵	۲٫۵۹	۳٫۰۵	۲٫۱۲	۳٫۱۲	۵٫۶۷	۳٫۰۳	۳٫۷۲	۳٫۶۷
Sr	۵۹۸٫۶۱	۳۹۸٫۰۷	۳۱۲٫۵۸	۲۷۸٫۵۵	۶۷۱٫۹۸	۵۱۰٫۵۶	۶۱۲٫۹۳	۱۶۶۶٫۴	۳۳۱٫۵۴	۳۰۸٫۶۵
Ta	۰٫۷۱	۰٫۲۷	۰٫۱۸	۰٫۲	۰٫۱۵	۰٫۲۸	۰٫۹۴	۰٫۲۶	۰٫۲۳	۰٫۴
Th	۳٫۷۸	۱٫۶۲	۱٫۰۶	۰٫۷۱	۰٫۵۸	۰٫۹۸	۱٫۱۴	۵٫۵۳	۱٫۴۸	۴٫۶۶
U	۱٫۲۷	۰٫۸۴	۰٫۳۸	۰٫۲۴	۰٫۲۴	۰٫۳۷	۰٫۳۸	۲٫۱۷	۰٫۵۸	۵٫۷۳
Y	۳۵٫۸۷	۲۸٫۷۵	۲۱٫۹۴	۲۷٫۱	۱۷٫۱۲	۲۱٫۵۸	۳۲٫۳۹	۱۶٫۷۴	۲۶٫۸۹	۲۵٫۵۷
Yb	۳٫۷۹	۲٫۷۶	۲٫۲۷	۲٫۷۶	۱٫۶۸	۲٫۱۶	۲٫۷۴	۱٫۷۲	۲٫۶	۲٫۵۵
Zr	۱۰۸	۷۳٫۱	۴۴٫۱	۳۴٫۴	۴۰٫۳	۶۳	۷۷٫۲	۷۴٫۶	۸۰	۸۸٫۲
Ni	۵	۷	۲۳	۲۶	۵	۱	۳۳	۱	۱	۱
V	۲۰۹	۲۰۴	۲۴۹	۲۷۲	۱۴۷	۱۵۶	۱۷۴	۱۷۳	۱۰۲	۱۴۹

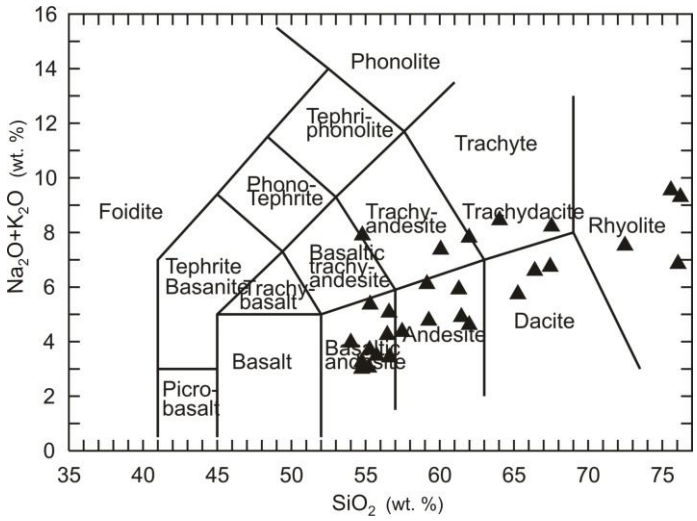
www.SID.ir

Archive of SID

نمودار TAS یکی از بهترین نمودارها برای مشخص کردن نام سنگ‌هاست که میزان کل قلیایی‌ها نسبت به سیلیس را نشان می دهد. نمونه‌های منطقه ی مورد بررسی در این نمودار در گستره‌ی آندزیت بازالتی، آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت، داسیت و ریولیت (شبه قلیایی) قرار می‌گیرند (شکل۳). از نظر ژئوشیمی عناصر اصلی، Na_2O و K_2O (عناصر قلیایی) که هر دو جزء اکسیدهای عناصر ناسازگاراند، به طوری کلی با افزایش سیلیس در نمودارهای هارکر، روندی افزایشی از خود نشان می‌دهند. در نمودار K_2O نسبت به SiO_2 (شکل۴)، این روند خیلی روشن و پیوسته نیست و نمونه‌ها پراکندگی زیادی نشان می‌دهند در حالی که صعودی و منسجم بودن روند تغییرات سدیم نسبت به سیلیس، به صورت کاملاً مشخص، در شکل (۴) نمایان است. به عقیده‌ی کِلمن [۱۴] میزان K_2O بیشتر تحت تأثیر فرایندهای جدایش ماگمایی است که ماگما حین صعود دستخوش آن گشته است. از جمله این فرآیندها می‌توان به تبلور بخشی، اختلاط ماگمایی و هضم اشاره کرد. به عبارتی می‌توان گفت این فرایندها موجب پراکندگی توزیع K_2O شده‌اند. این در حالی است که میزان Na ، خیلی کمتر تحت تأثیر این فرآیندها قرار می‌گیرد.

Al_2O_3 با افزایش سیلیس روندی کاهشی نشان می‌دهد (شکل۴). این کاهش به صورت دو روند متمایز از یکدیگر خودنمایی می‌کند، یکی با شیب تند در مقادیر SiO_2 کمتر از ۵۷ درصد و دیگری با شیب متوسط در مقادیر SiO_2 بیشتر از ۵۷ درصد. معمولاً کاهش آلومینیوم توأم با پیشرفت جدایش ماگمایی را به تبلور بخشی پلاژیوکلاز طی آن جدایش نسبت می‌دهند [۱۵]، هر چند مقداری آلومینیوم در ساختار پیروکسن‌ها نیز شرکت دارد. پیدایش روند با شیب تندتر را می‌توان به جدایش ماگما به واسطه‌ی تبلور بخشی مؤثرتر پلاژیوکلاز نسبت داد. CaO با افزایش SiO_2 روندی کاهشی دارد (شکل۴)، شیب این روند در نمونه‌های با SiO_2 بالا، هموار و ملایم می‌شود. تغییر شیب روند CaO در سنگهای منطقه را می‌توان به تغییر نسبت مجموعه کانی‌های در حال جدایش ماگمایی به خصوص نسبت پلاژیوکلازها به فلدسپات قلیایی (ارتوز) نسبت داد.

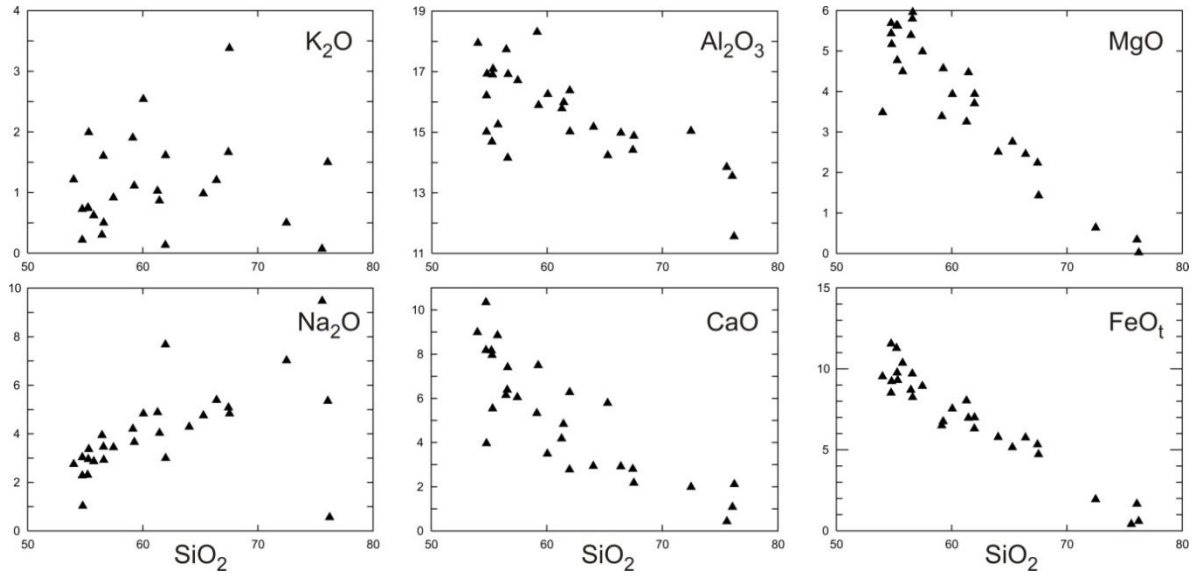
Mg از سازگارترین عناصر است به طوری که با افزایش میزان SiO_2 روند کاهشی یکنواختی از خود نشان می‌دهد (شکل۴)، این روند به این علت است که عنصر Mg از همان آغاز جدایش ماگما به طور پیوسته وارد کانی‌های الیوین و پیروکسن می‌شود. FeO_t نیز مانند MgO با افزایش میزان سیلیس، روند کاهشی دارد (شکل۴). علت آن، سازگار بودن عنصر Fe در طول جدایش ماگمایی است. این عنصر در طول جدایش در کانیهایی همچون الیوین، پیروکسن و مگنتیت جای می‌گیرد، بنابراین با زیاد شدن میزان SiO_2 در ماگما، FeO_t ، کمتر و کمتر می‌شود. به طور کلی روند عناصر اصلی نسبت به SiO_2 در نمودارهای هارکر بیانگر فرآیند جدایش از طریق تبلور بخشی است.



شکل۳ موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار TAS.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴ نمودار تغییرات میزان K_2O، Na_2O، Al_2O_3، CaO، MgO و FeOt نسبت به SiO_2 برای سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی. اکسیدها بر حسب درصد وزنی ترسیم شدند.

تعیین نقش نسبی اجزاء درگیر در ماگماتیسم منطقه مورد مطالعه

برای شناخت بهتر اجزاء و فرایندهای درگیر در تولید ماده‌ی مذاب (ماگما) و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق نراق (به عنوان بخش کوچکی از محور ارومیه- دختر) لازم است تا به بررسی برخی فاکتورهای اساسی و اجزاء اصلی درگیر منطقه‌ی مورد بررسی بپردازیم. گوه‌ی گوشته، پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده، رسوب‌های فرورونده، ضخامت پوسته و شیب فرورانش اجزاء اصلی کنترل کننده‌ی ماگماتسیم در کمان‌های ماگمایی هستند، که به تشریح برخی از این فاکتورها در منطقه‌ی مورد بررسی می‌پردازیم.

به منظور تعیین نقش احتمالی مذاب‌های حاصل از پوسته-ی اقیانوسی فرورونده در شکل‌گیری سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، از معیار Sr/Y نسبت به Y استفاده شد. براساس نمودار شکل۵، مقادیر پایین نسبت Sr/Y نشان دهنده‌ی این است که ماده‌ی مذاب حاصل از ذوب پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده، نقش به سزایی در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی شمال شرقی نراق نداشته است و به نظر می‌رسد جزءِ اصلی درگیر در تولید مذاب، گوه‌ی گوشته بوده و تأثیر پوسته اقیانوسی فرورونده کمتر است. معمولاً ماده‌ی مذاب‌بخشی حاصل از پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده چون در تعادل با مجموعه‌ی کانی-های با فشار بالا (اکلوژیت یا گارنت آمفیبولیت) است، از HREE و Y به شدت فقیر و به دلیل ناپایداری پلاژیوکلاز از Sr، به شدت غنی است [۱۶]. دو نمونه از سنگ‌های منطقه در نمودار مربوطه تمایل به سمت گستره‌ی آداکیتی دارند و تا حدودی طبیعت آداکیتی از خود نشان می‌دهند. این دو نمونه در شکل (۵) در گستره‌ی آداکیت و یا نزدیک به آن قرار می-گیرند. این سنگ‌ها ممکن است به سبب هندسه‌ی خاص فرورانش در این منطقه تشکیل شده باشند. لازم به یادآوری است که در برخی فرورانش‌ها پوسته‌ی اقیانوسی فرورانده شده در راستای گسل‌های تبدیل می‌تواند دستخوش بازشدگی شود (slab window). بنابراین در اینگونه مناطق قابلیت ذوب پوسته‌ی اقیانوسی افزایش یافته و می‌تواند منجر به تولید مذاب‌های آداکیتی به طور جزئی و مختصر شود [۱۷].

یکی دیگر از فاکتورهای موثر در تعیین ژنز سنگ‌های منطقه، رسوب‌های فرورانده شده هستند. عنصر Th در تعیین نقش رسوب‌های فرورونده در سیستم‌های کمان ماگمایی ناشی از فرورانش، از اهمیت به سزایی برخوردار است. این عنصر به شدت پابرجا یا ساکن[۲] بوده و در جریان آبزدایی پوسته‌ی اقیانوسی فرورانده وارد آبگون‌های غنی از عناصر متحرک مانند LILE نمی‌شود. بنابراین انتظار این است که در یک سیستم ماگمایی وابسته به فرورانش، نسبت عناصر LIL به Th، به-

2- Immobile

www.SID.ir

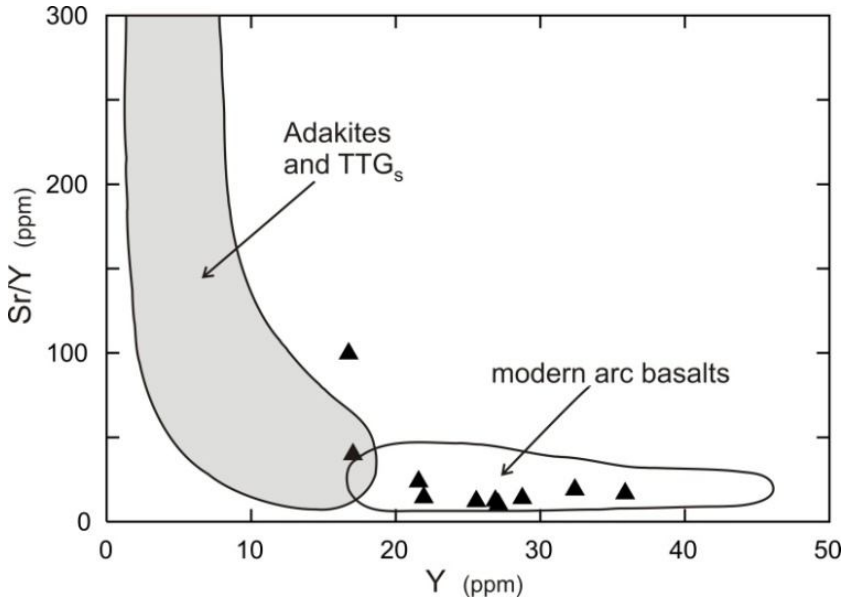
Archive of SID

شدت افزایش یابد. زیرا فرآیند غالب ذوب در این سیستم‌ها، آبزدایی پوستهٔ فرورانده و اضافه شدن آبگون‌های غنی از عناصر LIL به درون گوه‌ی گوشته است [۱۴، ۱۸-۲۰]. کوچک بودن نسبت این عناصر به Th، بیانگر نقش رسوب‌های فرورانده در تولید مذاب کمان‌ماگمایی است. حامل اصلی Th در سیستم-های فرورانش، کانی‌های آلانیت، فنژیت و هیدراکسیدهای آهن- منگنز هستند [۲۲،۲۱]. بنابر بررسی‌های ترنر، اِلیوت و هاوکس‌ورف [۲۳-۲۵] انتقال Th به درون گوه‌ی گوشته در اثر ذوب رسوب‌های فرورانده انجام می‌پذیرد. برای تعیین نقش رسوب‌های فرورانده شده از نمودار Ba/Th نسبت به Th استفاده شد (شکل۶). چنانکه این شکل نشان می‌دهد، تعداد ۷ نمونه که واجد نسبت بالای Ba/Th و میزان کم Th هستند و حاکی از نقش آبگون‌های آزاد شده از پوستهٔ فرورانده در تشکیل ماگمای مادر این دسته از سنگ‌های منطقه است [۲۶]. ولی ۳ نمونهٔ دیگر با نسبت پایین Ba/Th، میزان اندکی افزایش در Th را نشان می‌دهند که احتمالاً حاکی از مشارکت نسبی رسوب‌های فرورانده در تشکیل ماگمای مادر این سنگ‌هاست.

خاستگاه ماگمای مادر سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی

چنانکه پیشتر گفته شد، گوه گوشته نقش اصلی را در تولید ماگمای خاستگاه سنگ‌های آذرین منطقه دارد، در حالی که پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده و رسوب‌ها، نقش کمتری داشته‌اند. برای جدایش و شناخت بهتر نقش این دو فاکتور از یکدیگر [۲۷] سعی کرد تا با به‌کارگیری نسبت‌های عناصر نادر (Th/Yb و Ta/Yb) دو نکته را مورد توجه خاص قرار دهد. اول آنکه با قرار دادن Yb در مخرج کسر (برای هر دو محور قائم و افقی نمودار)، اثرهای ذوب‌بخشی و تبلوربخشی در شکل گیری مواد آذرین را به حداقل رساند. دوم آنکه با استفاده از دو عنصر بسیار ناسازگار در صورت کسر (برای هر دو محور قائم و افقی نمودار)، شاخص‌های خوبی برای غنی‌شدگی و تهی‌شدگی گوشته‌ی خاستگاه را ارائه کرد. به گونه‌ای که مشاهده می‌شود (شکل۷)، نمونه سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در گستره‌ی بین گوشته‌ی تهی‌شده و غنی‌شده قرار می‌گیرند.

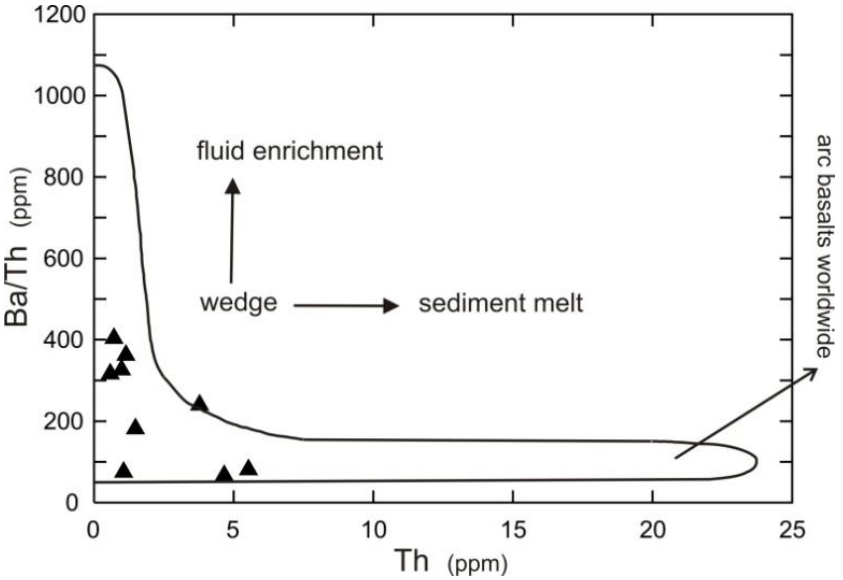
به‌هرحال مقادیر به نسبت بالای Th در این سنگ‌ها باعث شده که از روند تغییرات مواد وابسته به گوشته (mantle array) خارج و بین دو گستره‌ی جزایر قوسی و حواشی قاره‌ای فعال قرار گیرند. افزایش Th را می‌توان به دو عامل: ۱- تأثیر آلودگی ناشی از مواد پوسته‌ی فوقانی روی فراورده‌های ماگماتیسم (پیکان c) و ۲- تأثیر آبگون‌های آزاد شده از پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده (پیکان s) در شکل۷ نسبت داد. به طور کلی ماگماهای حواشی قاره‌ای فعال در مقایسه با ماگماهای جزایر قوسی، درجات بالاتر غنی‌شدگی از طیف کامل عناصر نادر ناسازگار را نشان می‌دهند که ممکن است بازتاب دهنده‌ی تأثیر مشترک جدایی از یک گوشتهٔ خاستگاه غنی‌شده و آلودگی پوسته‌ای باشد.



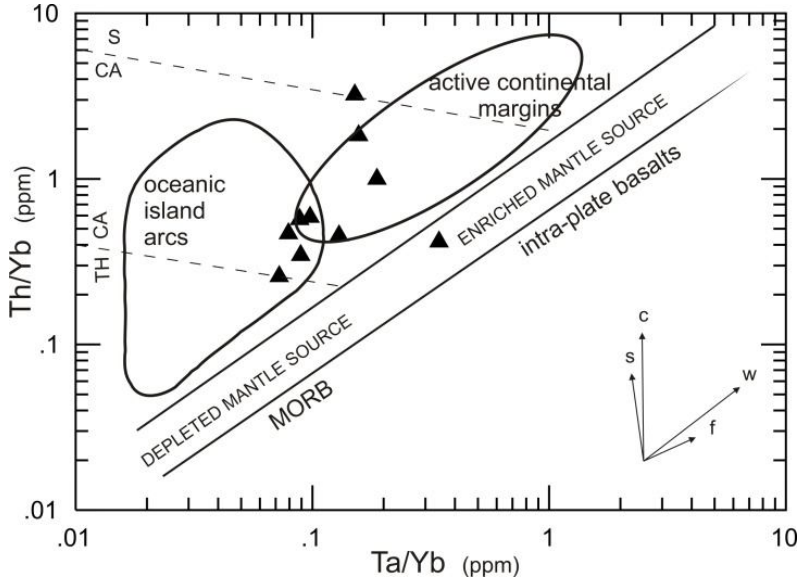
شکل۵ موقعیت سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی در نمودار، Sr/Y نسبت به Y [۳۲].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶ موقعیت نمونه سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی روی نمودار Ba/Th نسبت به Th [۲۳].



شکل۷ موقعیت سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی روی نمودار، Th/Yb نسبت به Ta/Yb [۲۷]. (s نشان دهنده‌ی نقش اجزاء درگیر در فرورانش، w غنی‌شدگی درون صفحه‌ای، c آلودگی پوسته‌ای، f تبلور بخشی و نقطه چین‌ها مرز جدا کننده‌ی، گستره‌ی تولئیت از آهکی- قلیایی و شوشونیت است).

موقعیت ژئودینامیکی منطقه‌ی مورد بررسی: جزایرقوسی یا حواشی قاره‌ای فعال؟

چنان‌که که در بخش قبل بحث شد، ویژگی‌های عناصر نادر سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی، دارای یک حالت حدواسط بین سنگ‌های جزایر قوسی و سنگ‌های حاشیه‌های قاره‌ای فعال است. در اینجا با استفاده از طیف گسترده‌ی عناصر نادر به بررسی آن می‌پردازیم.

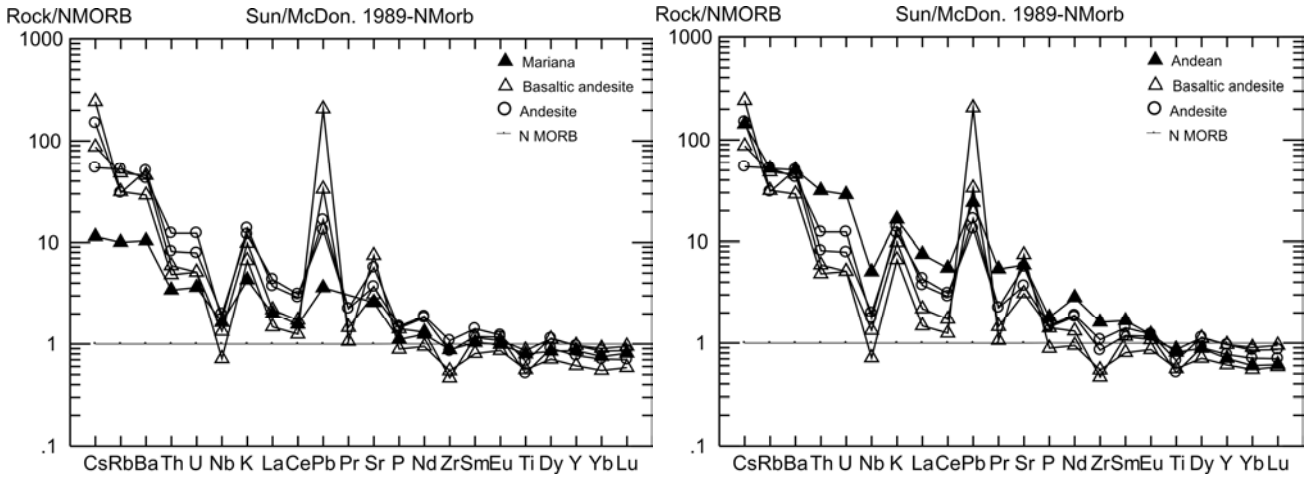
شکل۸ الگوی نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده به NMORB سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی را نمایش می‌دهد که با الگوی عناصر نادر سنگ‌های آتشفشانی ماریانا، به عنوان یک نمونه‌ی معروف از جزایر قوسی (ماریانا، غرب اقیانوس آرام) و نیز با الگوی عناصر نادر سنگ‌های آتشفشانی آند، به عنوان یک نمونه‌ی معروف از حاشیه‌های قاره‌ای فعال (غرب امریکای جنوبی) مقایسه شده‌اند. در مقایسه با نمودار عنکبوتی ماریانا،

www.SID.ir

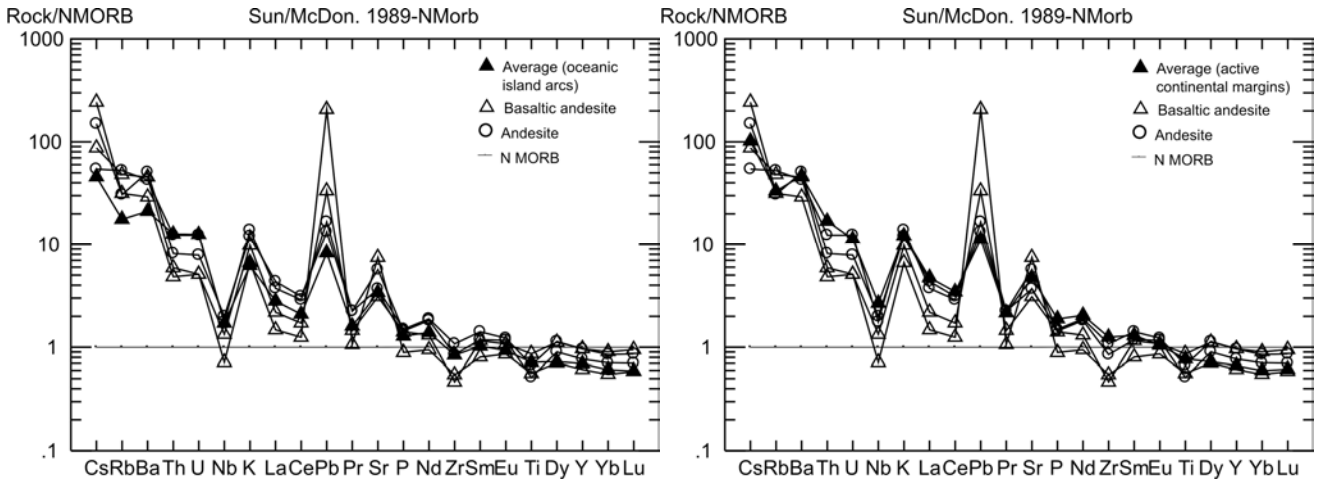
Archive of SID

سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی، غنی‌شدگی بیشتری از عناصر LIL نشان می‌دهند، ولی در دیگر عناصر تقریباً مشابه هستند. در مقایسه سنگ‌های آتشفشانی شمال شرقی نراق با نمودار عنکبوتی آند، بازالت‌های آند در عناصر Th، U، Nb، La، Ce، Pr، Nd و Zr غنی شدگی مختصری نشان می‌دهند. نگاهی دقیق به الگوهای نمایش داده‌شده روی شکل۸ نشان می‌دهد که الگوی عناصر نادر سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی، در موقعیت حدواسط بین الگوی عناصر نادر جزیرهٔ قوسی و حاشیه‌ی قاره‌ای فعال قرار دارد.

در شکل۹ الگوی نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده به NMORB سنگ‌های مورد بررسی را مشاهده می‌کنید که با الگوهای نمودار عنکبوتی، میانگین جزایر قوسی و میانگین حاشیه‌های قاره‌ای فعال مقایسه شده است. به‌گونه‌ای که مشاهده می‌شود، نمی‌توان به طور قطع گفت که الگوی سنگ-های منطقه‌ی مورد پژوهش به کدامیک از این دو الگو شباهت بیشتری دارد. ولی به نظر می‌رسد بلوغ (Maturity) کمان ماگمایی و ضخامت پوسته‌ی فرارونده (Overriding plate) از مهمترین کنترل کننده‌ها محسوب می‌شوند. گرچه شیب



شکل۸ مقایسه‌ی الگوهای بهنجار شده [۳۳] عناصر نادر آندزیت‌های بازالتی و آندزیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی با نمودارهای عنکبوتی ماریانا و آند [۱۴].



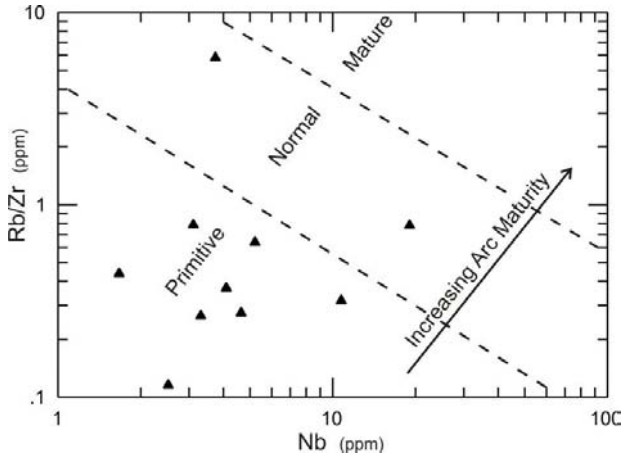
شکل۹ مقایسه‌ی الگوهای بهنجار شده‌ی عناصر نادر آندزیت‌های بازالتی و آندزیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی با نمودارهای عنکبوتی میانگین جزایر قوسی و میانگین حواشی قاره‌ای فعال [۱۴].

www.SID.ir

Archive of SID

فرورانش نیز می‌تواند تاثیر مهمی در ژنز این گونه سنگ‌ها داشته باشد. بر اساس نمودار برون[۳] [۲۸] که در آن نسبت لگاریتمی Rb/Zr نسبت به لگاریتم Nb آورده شده است غالب سنگ‌های منطقه در گستره‌ی کمان‌های ماگمایی جوان و نابالغ (Immature Arc) یا مراحل آغازین کمان ماگمایی قرار گرفته‌اند و چند نمونه هم در گستره‌ی کمان‌های عادی قرار گرفته‌اند (شکل۱۰). بررسی‌های مشابه انجام شده در ایران مانند بررسی‌های شهاب‌پور[۴] [۲۹] نیز موید این برداشتند. بنابراین کم بودن ضخامت پوسته‌ی ایران مرکزی هنگام فرورانش (حدود ۳۵ کیلومتر) می‌تواند نقش اصلی را در قرابت این سنگ‌ها با جزایر قوسی داشته باشد. بنا بر بررسی‌های فرناندز[۵] [۳۰] عمق موهو در حال حاضر حدود ۴۰ کیلومتر است، که در زمان ائوسن کمتر از این نیز بوده است. زیرا برخورد صفحه‌ی عربستان با ایران و رژیم زمین ساختی فشارشی منجر به تغییر عمق موهو و افزایش آن از ائوسن تا کنون شده است.

علی‌رغم شباهت‌های کمان‌های ماگمایی در چگونگی ماگماتیسم، تفاوت‌های سنگ‌شناسی خاصی بین فرورانش به زیر پوسته‌ی اقیانوسی و فرورانش به زیر پوسته‌ی قاره‌ای وجود دارد. کمان‌های آتشفشانی که روی پوسته‌ی ضخیم فوران می‌کنند، سرشت‌های ویژه‌ای دارد، مثلاً بیشتر سیلیسی بوده و به ازای میزان مشخص SiO_2 تحول یافته‌تر هستند. همچنین از عناصر LILE (به ویژه K، Rb، Ra، U و HREE) غنی‌ترند. ماگماها در حواشی قاره‌ای فعال بیشتر ترکیب آندزیتی-داسیتی داشته، از میزان SiO_2 بیشتری برخوردار بوده، میزان پتاسیم بالاتری دارند. ولی ماگماهای جزایر قوسی بیشتر ترکیب آندزیت بازالتی دارند و از میزان پتاسیم کمتری برخوردارند [۳۱]. تاثیرهای ژئوشیمیایی آلودگی پوسته ی قاره‌ای، روی ترکیب سنگ‌های آتشفشانی تا حدود زیادی شبیه به تاثیر آبگون‌های آزاد شده از پوسته‌ی فرورونده، است. به هر حال عدم مشاهده‌ی شواهد آلودگی پوسته‌ای، همچون حضور زنولیت‌های مشتق از پوسته، قضاوت در مورد نقش این عامل را با تردید مواجه می‌سازد. بررسی‌های ایزوتوپی پرتوزاد در تعیین نقش آلودگی پوسته، در شکل‌گیری سنگ‌های آتشفشانی، راهگشا خواهند بود.



شکل۱۰ موقعیت سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی در نمودار، Rb/Zr نسبت به Nb [۲۸].

برداشت

با توجه به شواهد موجود، به نظر می‌رسد ماگمای به وجود آورنده‌ی سنگ‌های آذرین منطقه‌ی مورد بررسی در اثر آبزدایی پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به درون گوه-ی گوشته در زیر صفحه‌ی ایران مرکزی تشکیل شده‌اند. گوشته‌ی خاستگاه سری‌های سنگی منطقه‌ی مورد بررسی به احتمال زیاد یک گوشته‌ی غنی‌شده بوده است. روند عناصر اصلی نسبت به SiO_2 در نمودارهای هارکر، بیانگر فرآیند جدایشی از طریق تبلور بخشی است. الگوی نمودارهای عنکبوتی نشانگر غنی‌شدگی این سنگ‌ها از عناصر LIL و LREE و تهی‌شدگی از عناصر HFS هستند. این الگو ویژگی شاخص کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش است. ژئوشیمی سنگ‌های آندزیت بازالتی و آندزیت‌های شمال نراق احتمالاً بیانگر شرایط تشکیل حد واسط[۶] بین حاشیه‌ی قاره‌ای فعال و جزایر قوسی و حاکی از فوران این گدازه‌ها در یک کمان ماگمایی نابالغ[۷] هستند. ضخامت تقریباً کم حدود ۳۵ کیلومتری صفحه ایران مرکزی در منطقه‌ی نراق، سبب نزدیکی الگوی عناصر نادر این سنگ‌ها با جزایر قوسی شده است.

قدردانی

این پژوهش با استفاده از اعتبارات و امکانات پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است. از نقطه نظرهای

3- Brown et.al (1984)
4- Shahabpour (2007)
5- Fernandez et.al (2003)
6- Transitional
7- Immature

www.SID.ir

Archive of SID

ارزشمند داوران محترم مجله‌ی بلورشناسی و کانی-شناسی ایران قدردانی می‌کنیم. از فرمانداری محترم کاشان که امکانات اقامت شبانه را طی عملیات صحرایی فراهم کرده‌اند نهایت سپاس را داریم.

مراجع

[۱] آقانباتی ع.، *"زمین‌شناسی ایران"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۵۸۶ صفحه.

[۲]قلمقاش ج.، باباخانی ع. ر.، *"نقشه زمین‌شناسی چهارگوش کهک"*، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۷).

[3] Forster H., Fesefeldt K., Kursten M., *"Magmatic and orogenic evolution of the central Iranian volcanic belt"*, 24th International Geology Congress 2 (1972) 198-210.

[4] Jung D., Kursten M., Tarkian M., *"Post-Mesozoic volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro-Arabian under the Eurasian plate. In: Pilger A., Rosler A., (Eds)., Afar between continental and oceanic rifting"*, Schweizerbartsche Verlagbuchhandlung Stuttgart (1976) 175-181.

[5] Berberian F., Muir I.D., Pankhurst R.J., Berberian M., *"Late Cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran"*, Journal of Geological Society of London 139 (1982) 605-614.

[6] Ahmad T., Posht Kuhi M., *"Geochemisty and petrogenesis of Urumiah-Dokhtar volcanics around Nain and Rafsanjan areas"*, Treatise on the Geology of Iran, Iranian Ministry of Mines and Metals (1993) 90pp.

[7] Hassanzadeh J., *"Metallogenic and tectonomagmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahre Babak area, Kerman Province)"*, Ph.D thesis, University of California Los Angeles (1993) 204pp.

[8] Moradian A., *"Geochemistry, geochronology and petrography of feldspathoid bearing rocks in Urumieh-Dokhtar volcanic belt, Iran"*, Ph.D thesis, University of Wollongong Australia (1997) 412 pp.

[9] Ghasemi A., Talbot C.J., *"A new scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran)"*, Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683-693.

[10] Amidi S.M., Emami M.H., Michel R., *"Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Iran and its geodynamic situation"*, Geologische Rundschau 73 (1984) 917-932.

[11] Emami M.H., *"Géologie de la région de Qom-Aran (Iran): Contribution a l'étude dynamique et géochimique du volcanisme Tertiaire de l'Iran Central"*, Ph.D thesis, University of Grenoble France (1981) 489pp.

[12] Berberian F., Berberian M., *"Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Gupta H.K., Delany F.M., (Eds)., Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution"*, American Geophysical Union, Washington DC (1981) 5-32.

[۱۳] شهریاری ش.، *"ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق نراق"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۶) ۹۶ صفحه.

[14] Kelemen P.B., Hanghoj K., Greene A.R., *"One View of the Geochemistry of Subduction-related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust"*, Treatise on Geochemistry 3 (2004) 593-659.

[15] Wilson M., *"Igneous Petrogenesis"*, A global Tectonic Approach, Unwin Hyman (1989) 466 pp.

[16] Munker C., Worner G., Yogodzinski G., Churikova T., *"Behaviour of high field strength elements in subduction zones: constraints from Kamchatka–Aleutian arc lavas"*, Earth and Planetary Science Letters 224 (2004) 275-293.

[17] Thorkelson D.J., Breitsprecher K., *"Partial melting of slab window margins: genesis of adakitic and non-adakitic magmas"*, Lithos 79 (2005) 25-41.

[18] Ulmer P., *"Partial melting in the mantle wedge - the role of H2O in the genesis of mantle-derived 'arc-related' magmas"*, Physics of the Earth and Planetary Interiors 127 (2001) 215-232.

[19] Peslier A.H., Luhr J.F., Post J., *"Low water contents in pyroxenes from spinel-peridotites of the oxidized, sub-arc mantle wedge"*, Earth and Planetary Science Letters 201(2002) 69-86.

[20] Turner S., Regelous M., Hawkesworth C., Rostami K., *"Partial melting processes above subducting plates: Constraints from 231Pa–235U disequilibria"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (2006) 480-503.

[21] Plank T., Langmuir C.H., *"The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle"*, Chemical Geology 145 (1998) 325-394.

www.SID.ir

Archive of SID

[22] Hermann J., *"Allanite: Thorium and light rare earth element carrier in subducted crust",* Chemical Geology 192 (2002) 289-306.
[23] Hawkesworth C.J., Turner S., Peate D., McDermott F., Calsteren P.van., *"Elemental U and Th variations in island arc rocks: implications for U-series isotopes",* Chemical Geology 139 (1997) 207-221.
[24] Elliott T., *"Fractionation of U and Th during mantle melting; a reprise",* Chemical Geology 139 (1997) 165-183.
[25] Turner S., Bourdon B., Hawkesworth C., Evans P., *"^{226}Ra-^{230}Th evidence for multiple dehydration events, rapid melt ascent and the time scales of differentiation beneath the Tonga-Kermadec island arc",* Earth and Planetary Science Letters 179 (2000) 581-593.
[26] Cameron B.I., Walker J.A., Carr M.J., Patino L.C., Matias O., Feigenson M.D., *"Flux versus decompression melting at stratovolcanoes in southeastern Guatemala",* Journal of Volcanology and Geothermal Research 119 (2002) 21-50.
[27] Pearce J.A., *"Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth C.J., Nurry M.L., (Eds)., Continental Basalts and Mantle Xenoliths",* Shiva, Nantwich (1983) 230-249.
[28] Brown G.C., Thorpe R.S., Webb P.C., "*The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources",* Journal of Geological Society London 141 (1984) 413-426.
[29] Shahabpour J., *"Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt",* Journal of Asian Earth Sciences 30 (2007) 652-665.
[30] Fernandez M., Ayala C., Skogseld J., Vergés J., Wheeler W., Karpuz R., *"Crustal and lithospheric structure in the Zagros folds and thrust belt: a geological and geophysical approach",* In: AAPG international conference & exhibition, Barcelona (2003).
[31] Stern R.J., *"Subduction zones",* Reviews of Geophysics 40, 4 (2002) 1-38.
[32] Drummond M.S., Defant M.J., *"A model for trondhjeimite– tonalite– dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons",* Journal of Geophysics 95, (B13) (1990) 21503-21521.
[33] Sun S., McDonough W.F., *"Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J., (Eds)., Magmatism in the Ocean Basins",* Special Publication 42, Geological Society of London (1989) 313-345.
[34]

www.SID.ir