



کانی‌شناسی، ژئوشیمی و منشأ سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق شهرستان بافت (جنوب کرمان): شاهدهی بر ماگماتیسیم کمانی در جنوب کمربند ماگمایی ارومیه - دختر

محسن چکنی مقدم*، زهرا طهماسبی، احمد احمدی خلجی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۲۶، نسخه نهایی: ۹۵/۳/۲۲)

چکیده: در بخش شمال تا شمال شرق شهرستان بافت، در جنوب کرمان، رخنمون‌های متعددی از سنگ‌های آتشفشانی به‌صورت گسترده وجود دارند که از نظر زمین‌شناسی در بخش شرقی نوار دهج - ساردوئیه که خود بخشی از جزایر قوسی ارومیه-دختر است قرار گرفته‌اند. بیشتر دنباله‌های آتشفشانی شامل آندزیت، آندزیت بازالت، داسیت و به مقدار اندک بازالت و ریولیت به سن ائوسن هستند که همراه با سنگ‌های آذرآواری و پیروکلاستیک شامل گدازه‌ها و روانه‌های ایگنیمبریتی قرار گرفته‌اند. کانی‌های اصلی آن‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و پیروکسن هستند و از جمله بافت‌های مهم در این واحدهای آتشفشانی می‌توان به انواع هیالوپورفیری میکرولیتیک، پورفیری و جریان‌های اشاره کرد. درشت بلورهای پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها بافت‌های غیرتعدالی چون منطقه-بندی نوسانی و بافت غربالی را نشان می‌دهند. بررسی‌های ژئوشیمیایی حاکی از این است که سنگ‌های منطقه در قلمرو آهکی قلیایی رده‌بندی می‌شوند. بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از نتایج آنالیزها، این سنگ‌ها از نظر LREE نسبت به HREE غنی‌شدگی از خود نشان می‌دهند و نیز بالا بودن مقدار عناصر ناسازگار LILE نسبت به HFSE و مشاهده‌ی بی‌هنجاری منفی در عناصری مثل Nb، Ti و P در گدازه‌ها، حاکی از یک محیط زمین‌ساختی فرورانشی است و مبین آن است که ماگمای مادر تشکیل دهنده احتمالاً از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای که خود در تماس با جریان‌های مشتق شده از پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده بوده و از عناصر کمیاب سبک (LREEها) غنی شده، ریشه گرفته است.

واژه‌های کلیدی: بافت پورفیری، دنباله‌ی آندزیتی، غنی‌شدگی LREE، قوس آتشفشانی، جنوب کرمان، کمربند/رومیه-دختر.

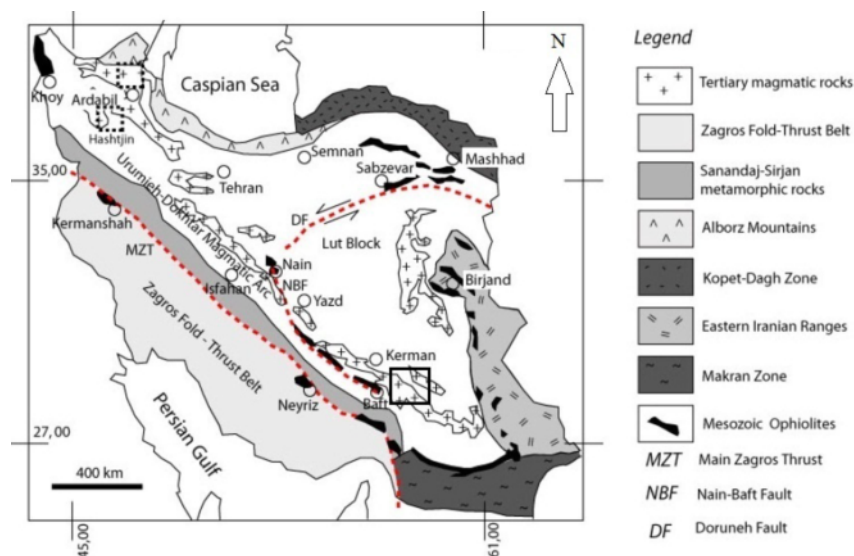
مقدمه

بدون شک چشمگیرترین فعالیت‌های آتشفشانی سرزمین ایران در زمان ائوسن به رخ داده است و آثار آن را می‌توان در تمام نقاط این سرزمین جز کپه داغ و زاگرس مشاهده کرد [۱]. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن دارای تنوع ترکیبی زیادی از اسیدی تا بازی بوده و اغلب به سری آهکی-قلیایی تعلق دارند. در این میان به سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌های البرز و ارومیه-دختر بیشتر توجه شده است و هر چند منطقه‌ی مورد بررسی به این نواحی تعلق دارد ولی بررسی‌های دقیقی نیز تاکنون روی آنها صورت نگرفته است لذا بررسی دقیق آن ضروری به

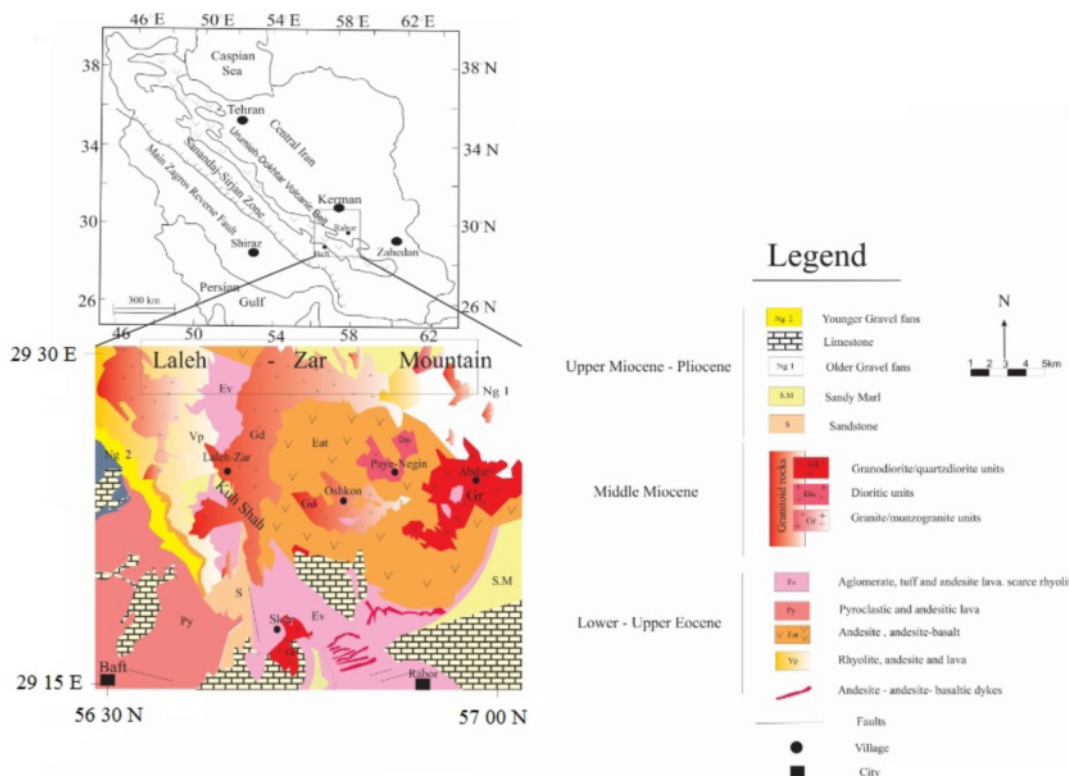
نظر می‌رسد. منطقه‌ی مورد نظر در جنوب کرمان قرار گرفته و گستره‌ای به طول چندین کیلومتر را پوشش داده است و بخشی از کمربند ماگمایی ارومیه دختر است [۲] که در استان کرمان با عنوان دهج - ساردوئیه نامیده می‌شود و سن سنگ-های آذرین آنها را منطبق بر شواهد چینه‌شناسی و روابط صحرایی به‌طور کلی ائوسن و پسا ائوسن می‌دانند [۳] (شکل ۱). این منطقه از نظر مختصات جغرافیایی بین طول‌های ۴۵° ۵۶' تا ۵۷° ۰۰' درجه شرقی و عرض‌های ۲۹° ۱۵' تا ۳۰° ۲۹' درجه شمالی واقع شده است (شکل ۲). از جمله اولین بررسی‌های سازمانی و اولیه در این منطقه را می‌توان به

عظیمی از توده‌های نفوذی جوان‌تر قطع شده‌اند (شکل ۲). در این پژوهش سعی بر آن است که ضمن بررسی سرشتی‌های میکروسکوپی و صحرایی سنگ‌ها، خصوصیات ژئوشیمیایی آنها نیز مورد بررسی قرار گیرد و جایگاه زمین‌شناسی آنها نیز مورد بحث و بررسی شود.

کارهای نقشه برداران یوگسلاوی [۴] در جهت تهیه نقشه‌ی زمین‌شناسی استان کرمان و از نظر بررسی‌های سنگ‌شناسی انجام شده به بررسی‌های [۵، ۶] اشاره کرد که به بررسی سنگ‌های آتشفشانی جنوب غرب بردسیر و جنوب شرق آن پرداخته‌اند و طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی منطقه را مورد بررسی قرار داده‌اند. این واحدهای آتشفشانی با حجم



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد نظر روی نقشه‌ی تفکیک کننده منطقه‌های ساختاری ایران (اقتباس از [۷]).



شکل ۲ تصویر نشان دهنده‌ی گستره‌ی مورد بررسی روی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ بافت [۸].

روش بررسی

برای رسیدن به اهداف این بررسی، پس از بازدیدهای میدانی و نمونه برداری‌های مختلف، ۱۰۰ مقطع نازک از سنگ‌های آتشفشانی متنوع منطقه تهیه شدند. در این میان نمونه‌های دگرسان شده و نادگرسان از هم تفکیک شده و تعداد ۱۰ نمونه

سالم برای تجزیه شیمی سنگ‌کل به آزمایشگاه ACME Lab کانادا ارسال شدند. تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی به روش ICP-AES و برای عناصر نادر و فرعی به روش ICP-MS انجام گرفته است (جدول ۱).

جدول ۱ نتایج آنالیزهای شیمیایی انجام شده به روش ICP-MS از سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق بافت.

شماره نمونه	AB58	AB62	AB141	AB149	ES20	ES49	ES76	DE1	DE2	AB 18
نام سنگ	آندزیت	آندزیت	داسیت	داسیت	بازالت	آندزیت	آندزیت/بازالت	آندزیت/بازالت	آندزیت/بازالت	آندزیت
SiO ₂ (wt%)	۶۱٫۵	۶۰٫۹	۶۷٫۱۱	۶۶٫۷۶	۴۸٫۳۲	۵۷٫۸۱	۵۴٫۲۴	۵۵٫۸۴	۵۵٫۹۲	۵۶٫۵۱
TiO ₂	۰٫۵۶	۰٫۶۱	۰٫۴	۰٫۴۱	۰٫۷۷	۰٫۶۳	۰٫۶۶	۰٫۷۶	۰٫۶۸	۰٫۵۶
Al ₂ O ₃	۱۷٫۷۴	۱۷٫۴۸	۱۶٫۱۶	۱۶٫۳۶	۱۶٫۸۷	۱۸٫۵۱	۱۸٫۳۷	۱۸٫۰۵	۱۸٫۱۸	۱۸٫۱۷
Fe ₂ O ₃	۵٫۰۹	۵٫۳۳	۲٫۸۸	۲٫۹۶	۱۰٫۲۴	۸٫۲۳	۷٫۹۲	۷٫۲۸	۶٫۰۸	۷٫۴۷
MgO	۲٫۱۰	۲٫۳۰	۱٫۰۸	۱٫۰۶	۴٫۵۸	۳٫۳۹	۱٫۹۶	۲٫۴۸	۲٫۵۱	۳٫۹۲
CaO	۵٫۶۵	۵٫۶۰	۳٫۸۲	۳٫۹۶	۱۰٫۳۱	۷٫۷۱	۶٫۴۶	۷٫۰۶	۷٫۳۷	۶٫۴۱
MnO	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۸	۰٫۱۴
Na ₂ O	۳٫۸۷	۳٫۸۳	۴٫۳۱	۴٫۳۲	۲٫۲۱	۳٫۲۵	۴٫۲۱	۳٫۰۸	۳٫۰۷	۳٫۲۴
K ₂ O	۲٫۴۲	۲٫۳۹	۱٫۹۴	۱٫۸۸	۳٫۱۶	۰٫۷۶	۱٫۲۴	۱٫۷۴	۱٫۷۳	۲٫۴۴
P ₂ O ₅	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۱۰
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	۳٫۵۴	۳٫۲۸	۵٫۶۱	۵٫۵۲	۱٫۶۵	۲٫۲۵	۲٫۳۲	۲٫۴۸	۳٫۳۰	۲٫۴۴
Sc	۱۰	۱۱	۴	۴	۱۶	۱۷	۲۰	۱۹	۲۱	۱۹
L.O.I	۱٫۲	۱٫۶	۱٫۵	۱٫۴	۱٫۶	۲٫۲	۱	۳٫۳	۳٫۲	۲٫۰
Total	۹۹٫۸۱	۹۹٫۸۲	۸۹٫۹۹	۹۹٫۷۴	۹۹٫۸۸	۹۹٫۷۶	۹۹٫۷۶	۹۹٫۸۰	۹۹٫۸۱	۹۹٫۸۳
Ba (ppm)	۳۸۴	۳۹۲	۵۱۱	۵۲۲	۱۴۶	۳۵۰	۶۳	۳۰۳	۳۱۴	۱۷۱
Co	۱۳٫۸	۱۶	۵٫۷	۷٫۳	۲۰٫۸	۱۳	۳۳	۲۰٫۳	۲۰	۱۹
Cs	۴	۳٫۹	۴٫۱	۴٫۲	۲٫۵	۱۲٫۲	۱	۲٫۷	۲٫۸	۱٫۱۲
Hf	۲٫۶	۲٫۶	۲٫۹	۲٫۸	۱٫۷	۵٫۵	۱	۲٫۹	۳٫۳	۱٫۸
Nb	۴۲۰	۴۸۰	۳۷۰	۴۰۰	۱۵۰	۶۰	۰٫۵	۳٫۶	۳٫۵	۲٫۳۱
Rb	۴۸۵۰	۵۲۴۰	۵۷۲۰	۵۸۰	۲۲۱۰	۱۴۷۰	۰٫۴	۵۰	۴۹۵۰	۳۶۵۱۰
Sr	۶۰۲	۵۹۱	۵۷۵	۵۷۳	۴۵۰	۲۹۷	۴۸۶	۴۲۴	۴۲۵	۴۰۲۵
Ta	۰٫۲۰	۰٫۲	۰٫۳	۰٫۴	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۵	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲۰
Th	۶	۶٫۵	۴٫۲	۴٫۶	۱٫۴	۱۲۸۰	۰٫۴	۵۲۰	۵۱۰	۲٫۶
U	۱٫۶۰	۱٫۶۱	۱٫۵	۱٫۳	۰٫۵	۳٫۲	۰٫۱	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۶۰
V	۱۱۴	۱۱۸	۶۶	۶۸	۱۸۰	۱۰۸	۲۵۷	۱۹۴	۱۶۵	۱۷۰
Zr	۹۵	۹۲	۱۰۶۷	۱۰۵۸	۶۳	۱۸۸	۲۸۶۰	۱۱۶	۱۱۳	۶۷۳
Y	۸۲۰	۸۴	۴۴	۵	۱۶	۳۲۵۰	۱۲۵۰	۳۰	۳۰	۱۳۰۰
La	۱۹۲۰	۱۹۴۱	۱۸۷	۱۸۷	۷۲۰	۲۰	۳۷۰	۱۳	۱۳٫۷	۱۰۴۳
Ce	۳۰۲۱	۳۴	۳۳٫۷	۳۴	۱۵۱۰	۴۰۹۰	۷۶۰	۲۶	۲۶۸۰	۱۷۹
Pr	۳۷۴	۳۹۴	۳۹۶	۳۹۱	۲۰۰	۴۹۰	۱٫۱۴	۲٫۳۷	۳٫۵۴	۲٫۳۴
Nd	۱۲۷۱	۱۴۵	۱۴۹	۱۵	۹۰۸	۱۹۷۱	۵۶	۱۴	۱۵	۹۰
Sm	۲۴۴	۲۵۶	۲۴۷	۲۲۶	۴۲۲	۱۸۱۶	۱٫۷۲	۳٫۱۹	۳٫۳۶	۱٫۸۱
Eu	۰٫۷۱	۰٫۷۵	۰٫۶۵	۰٫۶۳	۰٫۸۳	۰٫۹۲	۰٫۶۸	۰٫۹۴	۰٫۸۸	۰٫۶۶
Gd	۱٫۹۰	۲٫۱۸	۱٫۶۳	۱٫۵۷	۲٫۶۷	۴٫۲۹	۲٫۰۳	۳٫۵۵	۳٫۷۸	۲٫۱۱
Tb	۰٫۲۸	۰٫۳	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۴۵	۰٫۷۱	۰٫۳۸	۰٫۶	۰٫۶۴	۰٫۳۵
Dy	۱٫۴۸	۱٫۶۲	۰٫۸۶	۰٫۸۵	۲٫۸۴	۴٫۰۳	۲٫۲۵	۳٫۲۳	۳٫۶۰	۲٫۰۷
Ho	۰٫۴۸	۰٫۷۴	۰٫۶۶	۰٫۷۶	۰٫۶۵	۰٫۷۱	۰٫۴۸	۰٫۶۸	۰٫۷۶	۰٫۴۲
Er	۰٫۷۴	۰٫۶۲	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۱٫۳۵	۲٫۲۵	۱٫۷۰	۲٫۳۰	۲٫۰۵	۱٫۱۵
Tm	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۰۴۰	۰٫۰۵	۰٫۲۱	۰٫۳۳	۰٫۲۸	۰٫۳۴	۰٫۳۱	۰٫۱۸
Yb	۰٫۶۶	۰٫۷۶	۰٫۳۴	۰٫۲۵	۱٫۷۴	۲٫۳۳	۱٫۳۳	۱٫۸۸	۲٫۲۲	۱٫۳۴
Lu	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۲۶	۰٫۳۶	۰٫۲	۰٫۳۱	۰٫۳۶	۰٫۲۲
Nb.Y	۰٫۵۱	۰٫۵۷	۰٫۸۴	۰٫۸	۰٫۰۹	۰٫۲۷	۰٫۰۴	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۷
Nb.U	۲۶۳	۲۹۸	۲۴۷	۳۰۷	۳	۱۸۸	۵	۴۵	۴۴	۳۸۵
Nb.Th	۰٫۷	۰٫۷۴	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۱٫۲	۰٫۴۵	۰٫۸	۰٫۶۹	۰٫۶۸	۰٫۸۸
Th.La	۰٫۳۱	۰٫۳۳	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۱۹	۰٫۶۴	۰٫۱	۰٫۴	۰٫۳۷	۰٫۲۵
Ba.Nb	۸۲	۹۱	۱۳۰	۱۳۸	۹۷	۵۹	۱۲۶	۷۵	۷۸	۷۴
La.Sm	۷۸۶	۷۵۷	۷۵۷	۸۲۷	۰٫۱۷	۴۸	۲٫۱۶	۴۰٫۷	۴۰٫۷	۵۸
Zr.Y	۱۱۵۸	۱۰۹۵	۲۴	۲۱	۳۹۳	۸۵۴	۲٫۳۸	۵۸	۵۶۵	۵۱۷
Zr.Nb	۲۲٫۷	۱۹٫۱	۲۸٫۶	۲۶٫۲۵	۴۲	۳۱٫۳	۵۷٫۲	۳۲٫۲	۳۲٫۲	۲۹٫۱
Ce.Yb	۴۵	۴۴	۹۹	۱۳۶	۹	۱۸	۶	۱۴	۱۲	۱۵
La.Yb	۲۹	۲۵۵	۵۵	۷۵۵	۵	۸	۳	۷	۶٫۱۷	۸
Eu.Eu*	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱٫۰۲	۱٫۱۲	۱٫۲	۱٫۰۰	۰٫۸۵	۰٫۷۵	۱٫۰۳

ویژگی های سنگ شناسی واحدهای منطقه

منطقه مورد بررسی را سنگ های آتشفشانی، مواد آذرآواری و توده های نفوذی نیمه عمیق تشکیل داده اند. چینه شناسی منطقه مورد بررسی از قدیم به جدید شامل جریان های گدازه ای آندزیتی، آندزیت بازالت و پیروکلاستیک ها می شوند که به ترتیب از ائوسن زیرین تا فوقانی سن آن ها تعیین شده اند [۹] و در بخش شمال و غرب منطقه به فراوانی گسترش یافته اند. توده های متعدد نفوذی از جنس گرانودیوریت، کوارتز دیوریت و مونزوگرانیت به همراه دیوریت ها نیز رخنمون دارند که برای آن ها سن میوسن و الیگوسن را در نظر گرفته اند [۱۰] و همه ی آنها قطع کننده ی واحدهای آتشفشانی هستند. از واحدهای اصلی آتشفشانی شامل آندزیت، آندزیت-بازالت، داسیت و به مقدار کمتر بازالت و ریولیت تشکیل شده اند و مجموعه های رسوبی با گسترش زیاد شامل ماسه سنگ ها و کنگلومرا این واحدهای آتشفشانی را پوشانده اند.

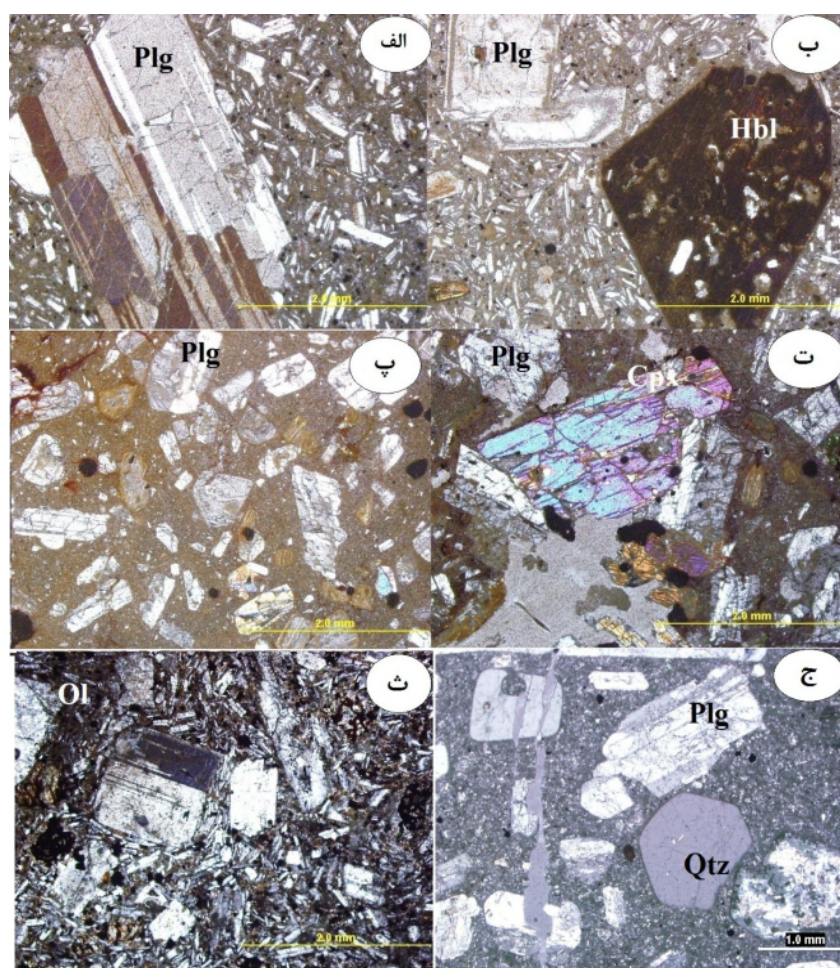
آندزیت ها

آندزیت ها فراوان ترین خانواده از سنگ های آتشفشانی منطقه بوده و به صورت مزوکرات دیده می شوند و رنگ های خاکستری و سبز روشن مشاهده می شوند. بافت غالب در آن ها پورفیری با خمیره ریزدانه تا شیشه ای بوده و برخی از آن ها بافت های جریان ی را از خود دارند. آندزیت ها حاوی بلورهای درشت پلاژیوکلاز با طول حداکثر ۲ میلی متر هستند. پلاژیوکلازها فراوانی بالایی داشته و به رنگ های سفید شکل دار و نیمه شکل دار با منطقه بندی نوسانی مشاهده می شوند و بافت پورفیری را در این سنگ ها شکل داده اند (شکل ۳ الف). درشت بلورهای نیمه شکل دار و شکل دار هورنبلند سبز همراه با پیروکسن ها از فراوانترین کانی های فرومنیزین در این واحدها هستند. هورنبلندها در حدود ۱۰ درصد حجمی آندزیت ها را تشکیل می دهند و آثار تحلیل یافتگی و سوختگی هم نیز در آنها مشاهده می شوند (شکل ۳ ب). این حالت سوختگی به دلیل غلبه اکسیژن و حالت اکسایش است که به دلیل عدم تعادل این کانی در محیط های آبدار و با دمای بالاست که به این حالت اصطلاحاً سوختگی آمفیبول اطلاق شده است [۱۱]. خمیره ی ریز دانه، بیشتر از میکروولیت های پلاژیوکلاز در آندزیت ها و در تراکی آندزیت ها از پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم تشکیل یافته است. پیروکسن ها در نمونه های سنگی با رنگ تیره خود دیده می شوند و فراوانی کمتری نسبت به پلاژیوکلازها دارند. در برخی از پیروکسن ها نفوذی هایی از

کهنسنگ های پلاژیوکلاز وجود دارند (شکل ۳ ب). پیروکسن ها با توجه به زاویه ی خاموشی از نوع اوزیتر تشخیص داده شده اند و گاهی در اثر گرمابها به کانی های تیره مثل اکسیدهای آهن تبدیل شده اند.

آندزیت بازالت ها

این نوع سنگ ها که بیشتر به صورت دایک در یک منطقه ی کوچک در منطقه رخنمون یافته اند که در نمونه ی دستی به رنگ قهوه ای مایل به سیاه دیده می شوند و بافت آنها پورفیری و جریان ی است. در مقطع میکروسکوپی این سنگ ها می توان کانی های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند و کانی های فرعی و ثانویه مثل کانی های تیره، اپیدوت و کلریت را مشاهده کرد. پلاژیوکلاز در این قبیل سنگ ها بصورت انواع شکل دار و نیمه شکل دار قابل تشخیص اند (شکل ۳ پ). این کانی در این دایک ها دارای رد پلی سنتتیک و بافت غربالی است و در برخی موارد به خوبی تجزیه آن به سریسیت مشاهده می شود. پیروکسن نیز از دیگر کانی های مهم این قبیل سنگ هاست که معمولاً به صورت درشت دانه در متن سنگ مشاهده می شوند. پیروکسن با درصد حجمی تقریبی تا ۱۰ درصد بصورت شکل دار و نیمه شکل دار از نوع کلینوپیروکسن است و در اندازه هایی در حدود ۲ میلی متر دیده می شوند. پیروکسن ها در برخی مقاطع دگرسان و تبدیل به کانی های اپیدوت، کلریت و کانی های تیره شده اند (شکل ۳ ت). هورنبلند با حجم تقریبی تا ۱۰ درصد نیز از دیگر کانی های مهم شناسایی شده در این سنگ هاست. در برخی از مناطق بلورهای سوزنی یا میله شکل هورنبلند به راحتی قابل تشخیص اند. این کانی در برخی از مقاطع آثاری از دگرسانی به کانی های ثانویه را از خود نشان می دهد. کانی های کدر با فراوانی تا ۵ درصد حجمی فراوانترین و مهم ترین کانی فرعی هستند. این بلورها بیشتر به حالت نیمه شکل دار بوده و با اندازه ای متوسط فضای بین زمینه ی سنگ را پر کرده اند. این کانی ها نیز به صورت ثانویه پیرامون کانی های بیوتیت و هورنبلند را پر کرده اند. در آندزیت بازالت ها بلورهای پلاژیوکلاز دارای بافت غربالی بوده و منطقه بندی از خود نشان می دهند که نشانگر عدم تعادل شیمیایی بین بلورها و گدازه است [۱۱]. منطقه بندی در این کانی ها به برقرار نبودن تعادل کامل در خلال تبلور وابسته است که این فرایند عدم تعادل به خوبی در کانی پلاژیوکلاز به ثبت می رسد [۱۱]. از طرفی وجود منطقه بندی در بلورها را می توان نشانه ای از اختلاط ماگمایی دانست که ترکیب متفاوت دارند [۱۳، ۱۲].



شکل ۳ تصاویر مختلف از مقاطع نازک سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد بررسی: الف) تصویری نشانگر بافت تراکیتی در سنگ‌های تراکی‌آندزیتی منطقه که در آن فنوکریست پلاژیوکلاز کاملاً مشهود است (XPL)، ب) تصویری از یک درشت بلور هورنبلند در یک آندزیت که در مرکز آن بلورهای ریز پلاژیوکلاز به صورت نفوذی مشاهده می‌شوند (XPL)، پ) تصویری از یک مقطع آندزیت-بازالتی که در آن کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز مشخص شده است (XPL)، ت) تصویری از یک مقطع آندزیت-بازالتی که در آن بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن دیده می‌شوند (XPL)، ث) تصویر یک مقطع بازالتی و تجزیه الیون به ایدنگسیت که در بالای تصویر سمت چپ قرار گرفته است (XPL)، ج) تصویری از طرح خلیجی کوارتز در یک سنگ داسیتی در منطقه‌ی (XPL).

بازالت‌ها

بازالت‌ها در منطقه‌ی شمال شرق بافت و در ناحیه‌ی مورد بررسی کمترین تنوع سنگ‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و همراه با دنباله‌های آندزیت-بازالتی دیده شده‌اند. در نمونه‌ی دستی، این سنگ‌ها به رنگ‌های خاکستری تیره و سیاه و اغلب بدون حفره مشاهده شده‌اند. در نمونه دستی الیون‌ها به رنگ سرخ دیده می‌شوند که نشانه‌ای از ایدنگسیتی شدن آنهاست. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها را می‌توان پلاژیوکلاز و پیروکسن و الیون قلمداد کرد که الیون‌ها به دلیل دگرسانی به ایدنگسیت تبدیل شده‌اند و شناسایی آنها دشوار شده است. بر پایه بررسی-

های میکروسکوپی، سنگ‌های بازالتی بیشتر آفانیتیک و دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند که در رده‌بندی بافتی، بافت‌های میکروولیتی پورفیریک را نشان می‌دهند (شکل ۳ ث). بافت گلومروپورفیریک که ناشی از پدیده تفریق ماگمایی است در این دنباله‌ها مشاهده شده است. پلاژیوکلازها هم به صورت درشت بلور و هم کشیده و میله‌ای شکل بیشتر متن سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. پیروکسن‌ها نیز با اندازه‌ای متوسط در حدود ۱ میلی متر پس از پلاژیوکلاز مهمترین کانی تشکیل دهنده این سنگ‌ها هستند که در برخی

از مقاطع آثار تجزیه شدن آنها به کانی‌های تیره از جمله مگنتیت مشاهده شده‌اند (شکل ۳ ث).

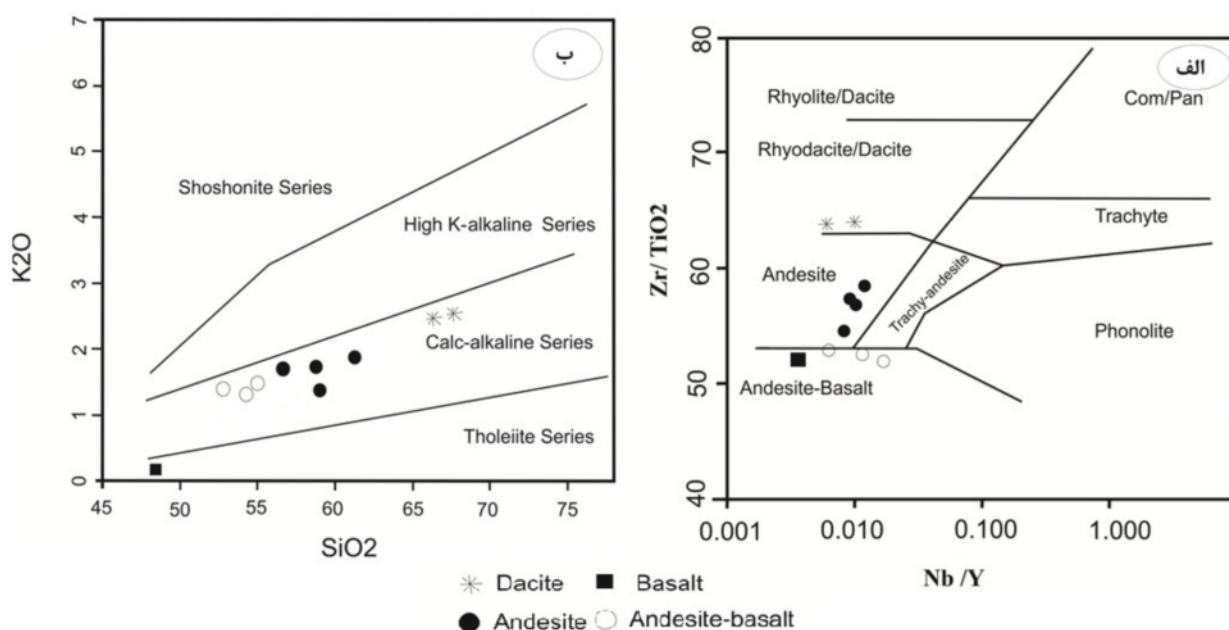
داسیت‌ها

داسیت‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی با ظاهری خاکستری در نمونه‌ی دستی مشخص و متمایز هستند. بافت اصلی آن‌ها هم پورفیری با خمیره‌ی دانه ریز و گاهی بافت پوئی‌کلیتیک است. درشت بلورهای شکل‌دار و دارای منطقه‌بندی نوسانی پلاژیوکلازها، فراوانترین تشکیل دهنده‌گان این واحدها هستند و برخی از آن‌ها کرانه‌های خلیجی شکل دارند (شکل ۳ ج). مهمترین کانی فرومنیزین در این سنگ‌ها درشت بلورهای هورنبلند سبز با حاشیه‌های واکنشی و گاهی بیوتیت‌ها هستند. کوارتز کمتر از ۲۰ درصد حجم این سنگ‌ها را بخود اختصاص داده است و به صورت بلورهای بی شکل هم بعد با اندازه‌های ۰/۵ تا ۲ میلی متر دیده می‌شوند. کانی‌های تیره آب‌دار همانند بیوتیت و هورنبلند نیز تا کمتر از ۱۰ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل داده‌اند و به شکل میکروفونوکریست و بلورهای ریز در متن سنگ حضور دارند. کانی‌های فرعی هم کمتر از ۵ درصد حجمی این سنگ‌ها را تشکیل داده‌اند که کانی‌های تیره مهمترین آنها هستند. این کانی‌ها بیشتر به صورت نیمه شکل-دار تا بی‌شکل بوده و به صورت منفرد در فضای بین

پلاژیوکلازها قرار گرفته‌اند.

ژئوشیمی و سنگ زایی

در نمودار نامگذاری Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۱۴] (شکل ۴ الف) نمونه‌های سنگی منطقه در گستره آندزیت تا آندزیت بازالت، تراکی‌آندزیت و داسیت قرار می‌گیرند. همچنین در نمودار تعیین سری ماگمایی با استفاده از مقدار K_2O نسبت به SiO_2 [۱۵] (شکل ۴ ب) نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی آهکی-قلیایی با پتاسیم متوسط قرار می‌گیرند. از سرشتی‌های مهم سنگ‌های آتشفشانی وابسته به جزایر قوسی، روند خطی و پیوسته‌ی مثبت در نمودار K_2O-SiO_2 است در حالی که در سنگ‌های آتشفشانی که در حواشی فعال قاره قرار دارند داده‌ها کمی پراکندگی دارند که این مورد در سنگ‌های تحت بررسی در منطقه شمال غرب بافت نیز مشاهده شده است که می‌توان یکی از احتمالات آن را به آغستگی ماگمای مادر با مواد پوسته-ای ربط داد [۱۱]. سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی بافت در استان کرمان با مقدار اکسید سیلیس برابر ۴۸/۳۲ تا ۶۱/۵۰ درصد وزنی مشخص شده‌اند. میزان K_2O و Al_2O_3 این گدازه‌ها نیز در حد متوسط بوده و مقادیر به ترتیب ۱۶/۱۶ تا ۱۸/۵۱ و ۰/۷۶ تا ۲/۴ درصد وزنی را نشان می‌دهند.

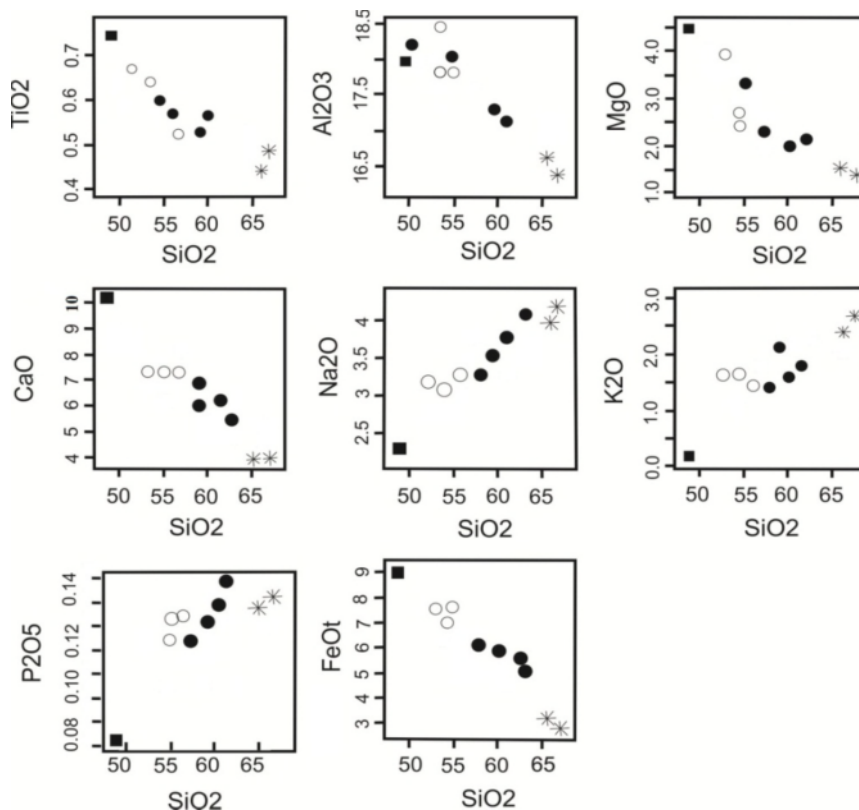


شکل ۴ الف) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی شمال شرق بافت در نمودار نامگذاری Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۱۴] (ب) تعیین سری ماگمایی گدازه‌های منطقه‌ی مورد بررسی با استفاده از نمودار K_2O نسبت به SiO_2 [۱۵].

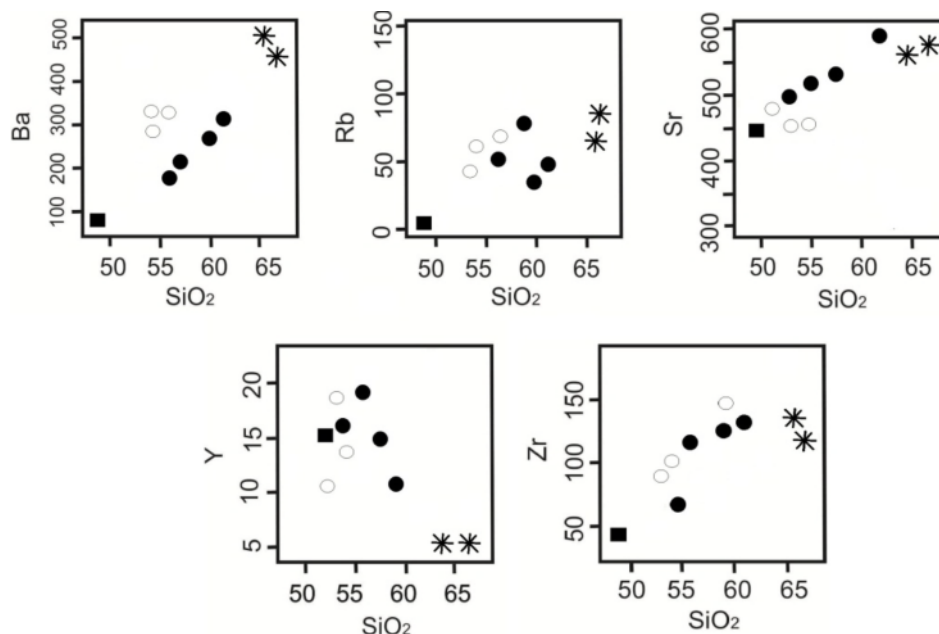
تبلور بخشی را بدون تحمل آرایش پوسته‌ای سپری می‌کنند داده‌های مربوط به تجزیه‌های شیمیایی آنها در نمودارهای هارکر یک روند خطی پیوسته را نشان می‌دهد. در شکل ۵ این روندهای خطی در مورد سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال غرب بافت دیده می‌شود که تقریباً روندی منظم دارند [۱۱]. در شکل ۷ که نمونه‌های سنگی منطقه نسبت به گوشته‌ی اولیه بهنجار شده‌اند [۱۸]، عناصر Ti ، Nb و بی‌هنجاری‌های منفی نشان می‌دهند در حالی که K ، Rb و Sr و Th غنی‌شدگی نسبی دارند. بی‌هنجاری منفی Ti و Nb همراه با غنی‌شدگی LREE و بی‌هنجاری مثبت K می‌تواند نشان دهنده‌ی یک محیط قوس قاره‌ای وابسته به فروانش باشد [۱۹] مقدار بالای LILE (U ، Pb ، Sr ، Ba ، K ، Rb) نسبت به HFSE (Nb ، Zr و Hf) و بی‌هنجاری منفی Ta ، Nb و Ti در آندزیت‌ها از ویژگی‌های گدازه‌های آندزیتی آهکی - قلیایی در حاشیه‌های قاره‌ای همگراست. چنین روندهایی توسط تعدادی از پژوهشگران در مجموعه آتشفشانی‌های آهکی-قلیایی آرکتن پسین در منطقه‌ی سازندهای کورنالی و گیندالبی در غرب استرالیا گزارش شده است [۲۰].

بررسی روند تغییرات در نمودارهای هارکر، نشان می‌دهد که با افزایش سیلیس اکسیدهای عناصر اصلی مانند Al_2O_3 ، CaO و Fe_2O_3 روندی نزولی و عناصری مانند Na_2O ، K_2O و P_2O_5 روندی صعودی مشخصی را نشان می‌دهند (شکل ۵). در نمودارهای هارکر روند عناصر فرعی و کمیاب مانند Zr ، Ba و Rb صعودی است و این روندها برای عناصری از قبیل Sr و Y نزولی است (شکل ۶). روندهای نزولی مشاهده شده در بعضی از این نمودارها (مانند نمودارهای CaO ، Al_2O_3 و Fe_2O_3) می‌تواند به علت تبلور پلاژیوکلاز کلسیک و کلینوپیروکسن باشد [۱۶].

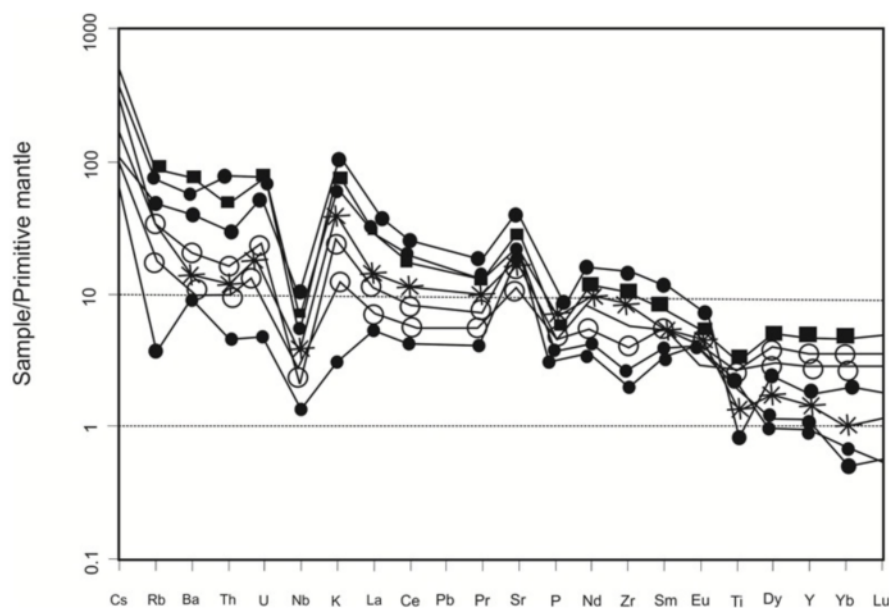
روندهای افزایشی مشاهده شده را در برخی نمودارها (مانند K_2O و P_2O_5) را می‌توان به این علت نسبت داد که این اکسیدها در مراحل اولیه جدایش به صورت ناسازگار عمل کرده و میل به باقی ماندن در فاز گدازه را از خود نشان داده‌اند و با بیشتر شدن روند تکامل ماگما وارد کانی‌های با دمای پایین می‌شوند [۱۷]. عدم تشکیل آپاتیت در مراحل اولیه تکامل ماگما سبب انباشت فاز فسفر در ماگما و بیشتر شدن تمرکز P_2O_5 در ماگمای اولیه می‌شود. زمانی که ماگماها فرآیندهای



شکل ۵ تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر درصد وزنی SiO_2 برای نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی (علائم مشابه شکل ۴).



شکل ۶ تغییرات عناصر کمیاب و عناصر فرعی در برابر درصد وزنی SiO_2 (علائم مشابه شکل ۴).



شکل ۷ نمودار عنکبوتی عناصر فرعی و کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته‌ی اولیه [۱۸] برای نمونه‌های برداشت شده از منطقه‌ی شمال شرق بافت (علائم مشابه شکل ۴).

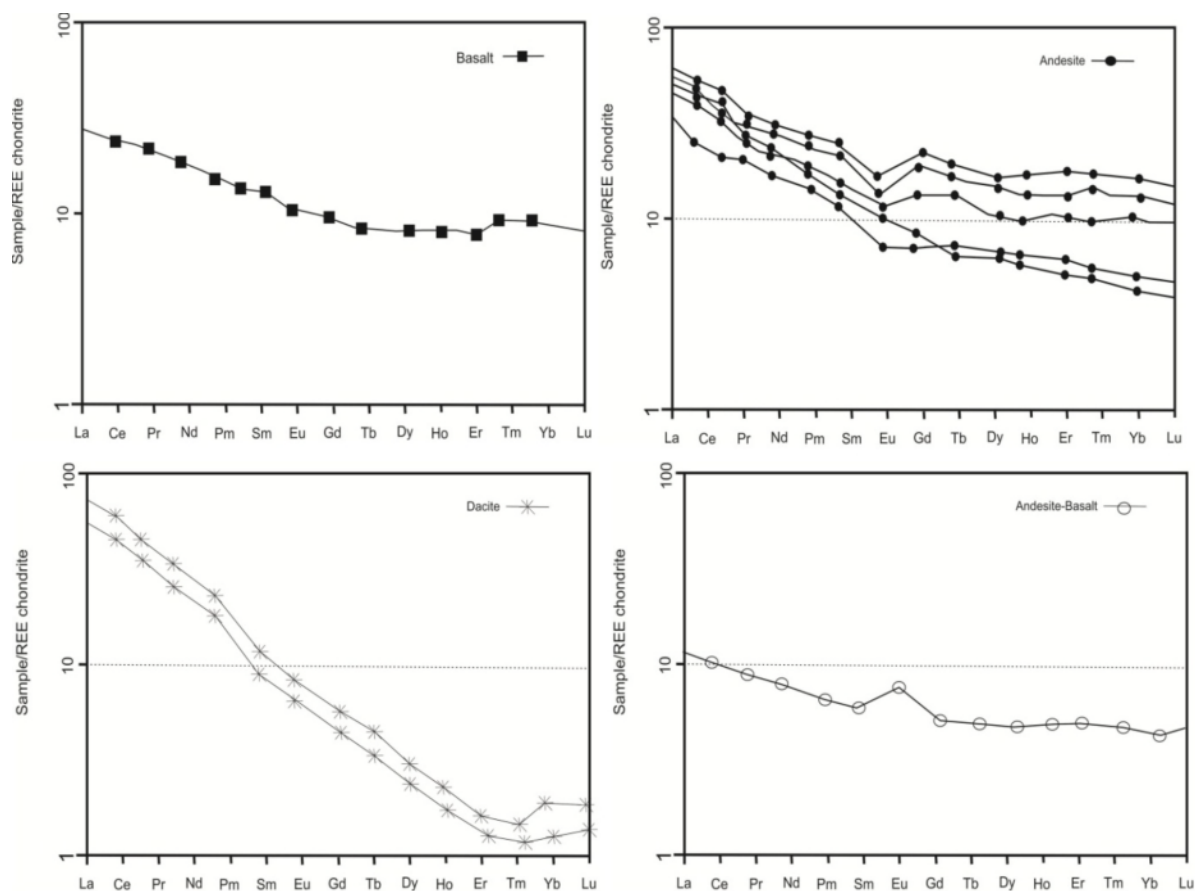
تقریباً مشابه یکنواخت و مسطح را نشان می‌دهند با این تفاوت که در آندزیت-بازالت‌ها غنی‌شدگی از Eu مشاهده می‌شود که علت آن را می‌توان به عدم تبلور پلاژیوکلاز در مراحل اولیه تبلور ماگما و انباشت Eu در فاز گدازه نسبت داد. در مقابل در واحدهای آندزیتی تهی‌شدگی از Eu مشاهده می‌شود که با مشاهده‌ی فراوان درشت بلورهای پلاژیوکلاز در مقاطع مشاهده

در شکل ۸ که الگوی عناصر خاکی نادر به هنجار شده نسبت به کندریت [۱۹] نشان داده شده است نمونه‌های سنگی منطقه به تفکیک نشان داده شده‌اند.

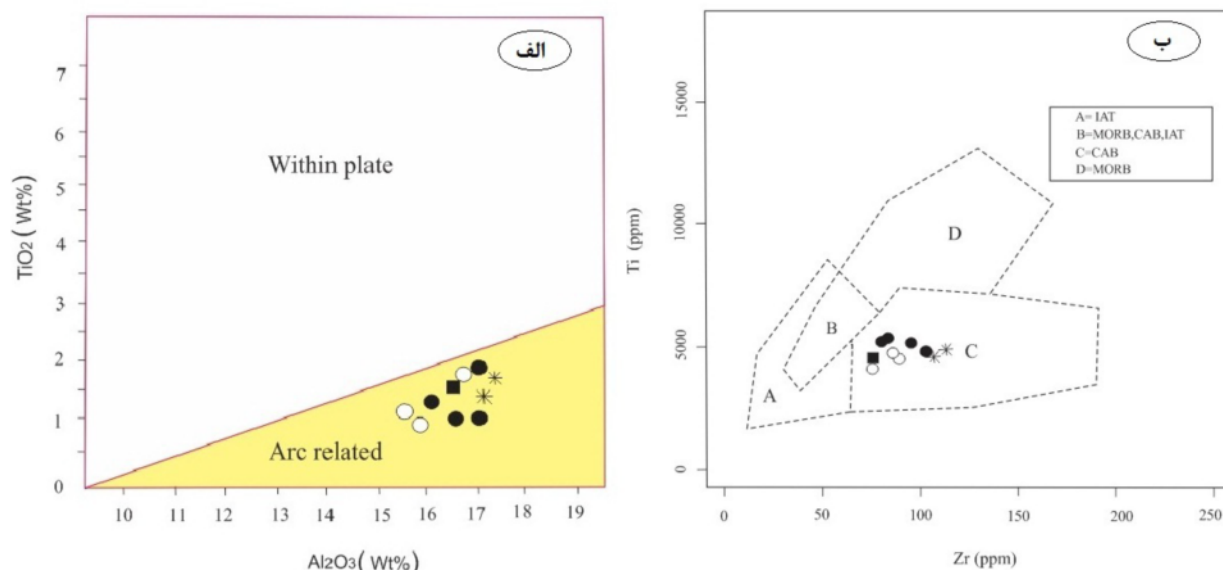
همخوان با این نمودار، مشاهده می‌شود که هر ۴ طیف سنگی بررسی شده در منطقه، روندهای خاصی را نشان می‌دهند. واحدهای بازالتی و آندزیت بازالتی منطقه یک الگوی

همچنین در نمودار Hf/3-Ta-Th [۲۳] (شکل ۱۰ الف) نمونه‌های مورد بررسی منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی انواع آهکی-قلیایی قوس آتشفشانی قرار می‌گیرند. در نمودار Ti-Zr-Y [۲۴] (شکل ۱۰ ب) نمونه‌های منطقه در گستره‌ی C قرار گرفته و به بازالت‌های آهکی-قلیایی نواحی فعال حاشیه‌ی قاره متمایل هستند. با توجه به (شکل ۱۰ پ) به نظر می‌رسد که کمان ماگمایی سازنده‌ی سنگ‌های منطقه‌ی ناشی از فرورانش یک پوسته‌ی اقیانوسی به زیر یک پوسته‌ی قاره ای بوده است. از نسبت عناصر کمیاب Zr/Y نیز می‌توان برای تشخیص محیط زمین‌ساختی بهره برد. به این صورت که اگر در گدازه‌ها نسبت Zr/Y بزرگتر از ۳ باشد به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای وابسته‌اند و اگر در آنها این نسبت کمتر از ۳ باشد به کمان‌های آتشفشانی اقیانوسی تعلق دارند. سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی دارای نسبت Zr/Y بالاتر از ۳ هستند (میانگین ۱۰) و در گروه قوس‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند [۲۵].

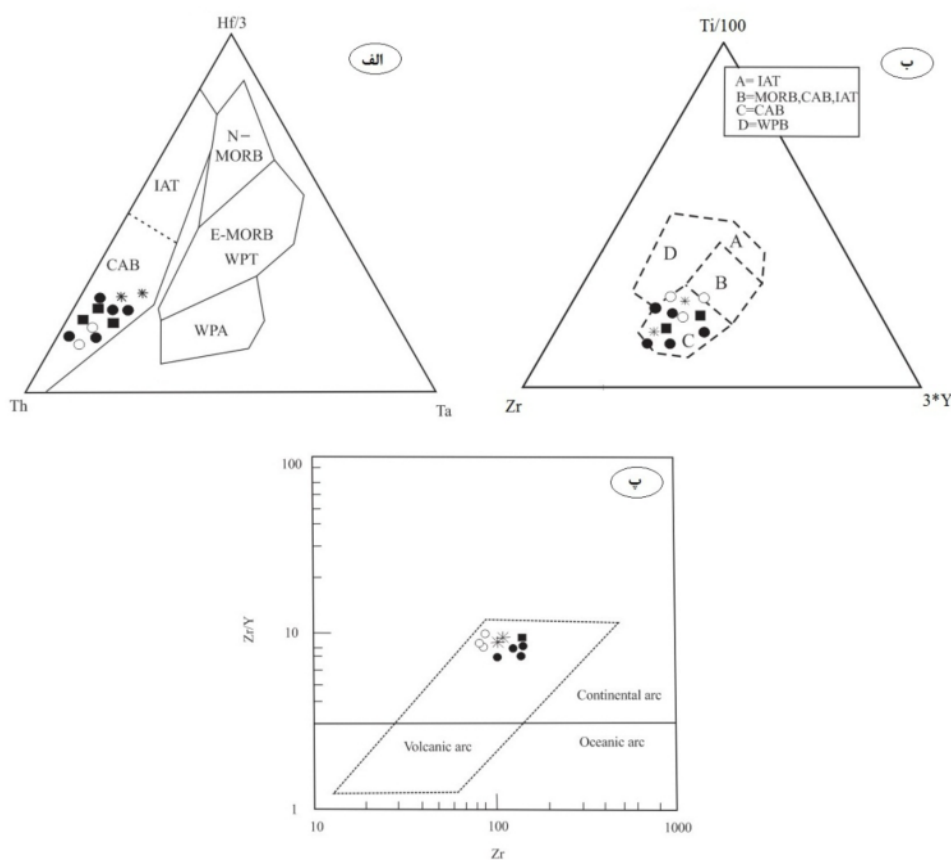
شده کاملاً سازگار و منطبق است. در تمام واحدها غنی شدگی LREE نسبت به HREE مشاهده شده است. سنگ‌های داسیتی منطقه نیز الگوی غنی شدگی عناصر LREE نسبت به MREE و HREE را نشان می‌دهند. تهی شدگی عناصر MREE در این نوع سنگ‌های منطقه را می‌توان با تبلور هورنبلند در این سنگ‌ها توجیه کرد که مهمترین حامل برای این عناصر تلقی می‌شود. در این نمودار عنصر Eu نسبت به عناصر پیرامون بیهنجاری منفی نشان می‌دهد (برای آندزیت-های منطقه نسبت Eu/Eu^* برابر با ۰٫۸۶ و برای آندزیت-بازالت‌ها نسبت آن ۱٫۰۴ است). در نمودار $TiO_2-Al_2O_3$ [۲۱] (شکل ۹ الف) نمونه‌های منطقه در گستره‌ی قوس ماگمایی ناشی از فرورانش قرار می‌گیرند. با ترسیم داده‌های نمونه‌های مورد بررسی در نمودار تمایزی [۲۲] مشخص شده است که نمونه‌های مورد بررسی در قلمرو سنگ‌های وابسته به محیط-های فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۹ ب) [۲۱، ۲۲].



شکل ۸. نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت [۱۹] برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی شمال شرق بافت (علائم مشابه شکل ۴).



شکل ۹ الف) موقعیت زمین ساختی گدازهای منطقه‌ی مورد نظر با استفاده از نمودار تغییرات TiO_2 نسبت به Al_2O_3 [۲۱]، ب) تعیین موقعیت زمین ساختی نمونه‌های مورد بررسی. منطبق بر نمودار Ti در برابر Zr [۲۲] منطبق بر این نمودار نمونه‌های منطقه مورد بررسی به کمان‌های آتشفشانی وابسته‌اند (علائم مشابه شکل ۴).



شکل ۱۰ الف) موقعیت زمین ساختی و جایگاه زمین ساختی سنگ‌های آتشفشانی شمال شرق بافت با بهره‌گیری از مثلث Hf-Th-Ta [۲۳]، ب) نمودار مثلثی Ti-Zr-Y [۲۴] که مبین وابستگی سنگ‌های مورد بررسی به گستره‌ی سنگ‌های جزایر قوسی در حاشیه‌ی فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند، پ) نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی بر روی نمودار Zr/Y-Zr [۲۵] که وابستگی این سنگ‌ها را به نواحی کمان‌های قاره‌ای آتشفشانی نشان می‌دهد (علائم مشابه شکل ۴).

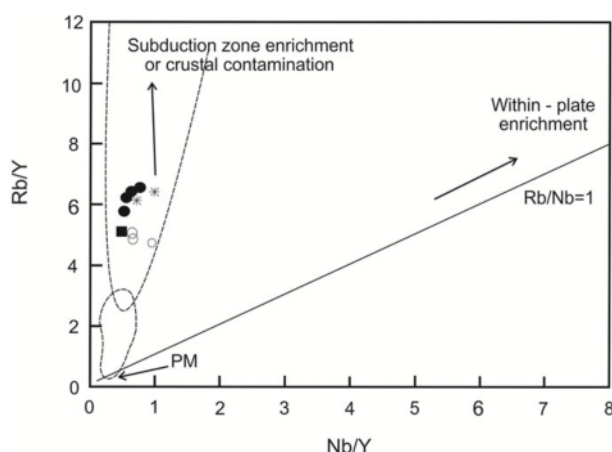
نسبت بین ۱/۶۵ و ۵/۶۱ تغییر می‌کند و به گروه انواع کوهزایی تعلق دارند. آندزیت‌های کوهزایی و سنگ‌های وابسته به آن‌ها بیشتر در دو محیط حاشیه‌ی فعال قاره و جزایر قوسی تشکیل می‌شوند که هر یک سرشتی‌های خاص خود را دارند. در جدول ۲ مقایسه‌ای میان سرشتی‌های انواع سنگ‌های آتشفشانی جزایر قوسی و حاشیه‌ی فعال قاره‌ای با سنگ‌های شمال شرق بافت و سنگ‌های آتشفشانی شمال بیرجند، تفتان و آندزیت-های شمال غرب ایران صورت گرفته است.

تعدادی از پژوهشگران [۲۹، ۳۰، ۳۱] سنگ‌های آتشفشانی واقع در کمر بند ارومیه-دختر را در ردیف انواع کمان‌های ماگمایی نابالغ و جوان قلمداد می‌کنند و منطقه مورد مطالعه هم به احتمال زیاد در چنین محیطی شکل گرفته است. برای بررسی شکل‌گیری ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه از مدل-سازی‌های گوناگون کمک گرفته شده است. یکی از این شبیه سازی‌ها در نمودار Rb/Y-Nb/Y (شکل ۱۱) آمده است [۳۲]. روندهای عمودی داده‌ها در این نمودار می‌تواند غنی‌شدگی منطقه فروران‌ش یا آلودگی پوسته‌ای را نشان دهد در حالی که غنی‌شدگی درون صفحه‌ای باعث به وجود آمدن نسبت‌های Nb/Rb مساوی یک می‌شود [۳۳]. در این نمودار نمونه‌های مورد بررسی به صورت عمودی آرایش یافته‌اند که می‌تواند نشانگر غنی‌شدگی منطقه‌ی فروران‌ش یا آلودگی پوسته‌ای این نمونه‌ها باشد. در نمونه‌های آندزیتی منطقه، نسبت Nb/Y پایین بوده (میانگین ۰/۲۹) و نشاندهنده‌ی تهی‌شدگی HFSE در این سنگ‌هاست. این حالت در اغلب سنگ‌های آتشفشانی وابسته به منطقه فروران‌شی مشاهده شده است [۳۴]. در منطقه‌ی فروران‌شی HFSE ها مانند Nb و Ti درون صفحه فرورونده باقی می‌مانند در حالی که عناصر LILE ها مثل Ba، K و Sr به راحتی به درون گوهی گوشه‌ای بالای صفحه فرورونده منتقل می‌شوند [۳۵، ۳۴]. مقایسه‌ی فراوانی عناصر خاکی نادر در گدازه‌های آتشفشانی منطقه با انواع شناخته شده‌ی آندزیت‌های جهان نشان می‌دهد که الگوی داده‌های عناصر خاکی نادر وابسته به گدازه‌های منطقه‌ی شمال شرق بافت، تشابه بالایی با روند عناصر خاکی نادر CAB (بازالت‌های آهکی-قلیایی شاخص نواحی قوس آتشفشانی) (شکل ۱۲) دارد، ولی این نمونه‌ها نسبت به LKT (تولیت‌های کم پتاسیم فقیر از عناصر ناسازگار) از LREE ها بسیار غنی‌تر بوده و حاوی مقادیر کمتری از HREE هستند.

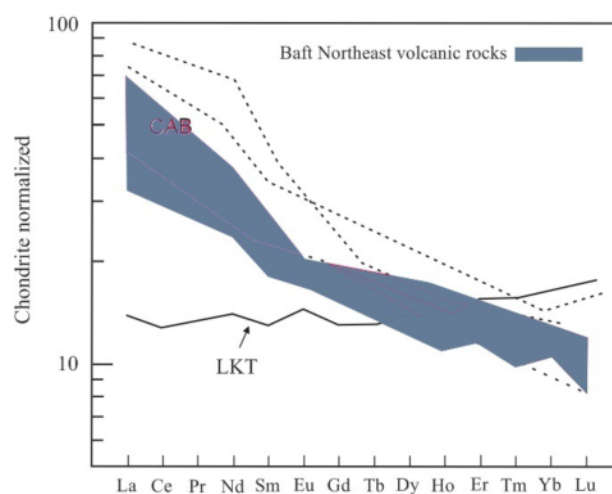
با توجه به نسبت‌های بالای Nb/U در منطقه‌ی (۵-۲/۶۳) و Nb/Th (۰/۶۸-۱/۲) در سنگ‌های منطقه و نزدیک بودن این اعداد به مقادیر گزارش شده به کمان‌های آتشفشانی (۱۱-۱/۶ و ۵/۲-۰/۳۶)، می‌توان گفت که ماگمای این سنگ‌ها شباهت زیادی به ماگماهای کمان آتشفشانی همراه با مقادیر بالایی از این نسبت‌ها دارد [۲۶]. علاوه بر این عقیده [۲۷] نسبت بالای Ba/Nb معرف ماگماتیسیم کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای است، که برای نمونه‌های مورد بررسی در شمال شرق بافت میانگین ۸۰ است. به نظر [۲۸] می‌توان ماگمای کمان آتشفشانی را بر حسب نسبت Ce/Yb به دو نوع غنی شده و اندکی غنی شده تقسیم کرد. اگر نسبت فوق بالاتر از ۱۵ باشد نشانگر کمان غنی شده و اگر کمتر از ۱۵ باشد معرف کمان کمی غنی شده است. به علاوه در ماگماهای کمی غنی شده این تغییرات دو عنصر با یکدیگر رابطه‌ی مستقیم دارد، در صورتی که در انواع قوس‌های غنی شده این نسبت‌ها نشانگر نسبت این عناصر در خاستگاه، میزان درجه‌ی ذوب بخشی و دخالت رسوب‌های فرورونده در تولید گدازه است. میانگین این نسبت در سنگ‌های شمال شرق بافت ۴۰ است که معرف همخوان آن با یک ماگمای کمان غنی شده است. این غنی‌شدگی می‌تواند ناشی از دگرنهادی شدید منبع گوشه‌ای و نرخ پایین ذوب بخشی خاستگاه باشد. همچنین سنگ‌های آذرین با نسبت پایین TiO_2 و غنی‌شدگی از عناصر LIL (شبیه نمونه‌های این بررسی) حاکی از دخالت رسوب‌های در یک خاستگاه ماگمایی دارند [۲۹] حال آنکه سنگ‌های آذرین غنی از تیتانیوم و نسبت‌های اندک Rb/Sr درون یک شکافت درون صفحه‌ای تشکیل شده‌اند. بر اساس نسبت Zr/Nb می‌توان مناطق وابسته به فروروانش کوهزایی را از انواع غیر کوهزایی تمیز داد. به این ترتیب که اگر نسبت Zr/Nb در سنگ‌های مورد بررسی از ۱۰ بزرگتر باشد نشان-دهنده ماگماتیسیم وابسته به یک خاستگاه تغییر یافته متناسب با فروران‌ش، و اگر این نسبت کمتر از ۱۰ باشد نشانگر یک خاستگاه غیر کوهزایی است [۲۶]. میانگین این نسبت در سنگ‌های منطقه ۳۲ است که نشاندهنده‌ی ارتباط سنگ‌های منطقه با محیط فروروانش است. یک روش مناسب دیگر برای تشخیص سنگ‌های آتشفشانی کوهزایی و غیر کوهزایی، استفاده از نسبت Al_2O_3/Fe_2O_3 است به طوریکه اگر این نسبت کمتر از ۲ باشد وابسته به انواع ناکوهزایی خواهند بود و نسبت‌های بزرگتر از ۲ به انواع کوهزایی. در سنگ‌های مورد بررسی، این

جدول ۲ مقایسه‌ی داده‌های شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی در محیط ناکوهزایی (جزایر قوسی) و کوهزایی (حاشیه‌ی قاره‌ای فعال) [۳۶] با آتشفشانی‌های بافت، بیرجند [۳۷]، تفتان [۳۸] و شمال غرب ایران [۳۹].

شاخص	جزایر قوسی	حواشی فعال قاره	تفتان	شمال بیرجند	شمال شرق بافت	شمال غرب ایران
SiO ₂	۵۰-۶۶	۵۶-۷۵	۵۷-۶۰٫۲	۵۵-۷۰	۴۸-۶۷	۵۳-۵۶
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	>۲	>۲	۲٫۶۲-۳٫۹۱	۲٫۶-۷٫۶۲	۱٫۶۵-۵٫۶۱	۳-۳٫۵
FeO/MgO	۲>	۲<	۱٫۶۷-۴٫۱۶	۱٫۳-۱۲٫۶	۱٫۸۱-۳	۲٫۱۷-۳
K ₂ O/Na ₂ O	۰٫۸	۱٫۱-۰٫۶	۰٫۴۷-۰٫۷۷	۰٫۴-۰٫۸	۰٫۵	۱٫۲
Rb (ppm)	۳۰-۴۵	۶۶-۱۰۸	۵۵-۳۴۰	۴۴-۲۴۵	۰٫۴-۵۷	۶۸-۱۵۸
Zr (ppm)	۱۰۰-۱۱۲	۱۸۴-۲۲۶	۹۵-۴۱۰	۲۳-۱۲۳	۲۸-۱۱۶	۱۳۱-۲۲۲
Sr (ppm)	۲۸۰-۴۶۰	۵۷۰-۸۶۰	۳۱۰-۷۶۳	۲۱۸-۱۱۴۸	۲۹۷-۶۵۲	۵۵۳-۸۳۳
لیتولوژی	بازالت، آندزیت، داسیت	آندزیت، ایگنمبریت، آذرآواری	بازالت، آندزیت، بازالت، آندزیت	داسیت، آندزیت، ریولیت و به ندرت آذرآواری	آندزیت، آندزیت‌بازالت، داسیت، اندک بازالت و ریولیت	آندزیت، تراکی آندزیت، توف
سری ماگمایی	بیشتر توله‌ایتی و به مقدار کمتر آهکی-قلیایی	بیشتر آهکی-قلیایی، و به مقدار کمتر توله‌ایتی	تماما آهکی-قلیایی و ندرتا آهکی	تماما آهکی-قلیایی	کالک‌آلکان و به ندرت توله‌ایتی	شوشونیتی



شکل ۱۱ نمودار Rb/Y در مقابل Nb/Y [۳۲] سنگ‌های منطقه مورد بررسی مشخص شده است که روند غالب در آنها به سمت غنی‌شدگی در منطقه‌ی فرورانشی و آرایش پوسته‌ای است (علائم مشابه شکل ۴).



شکل ۱۲ روند عناصر خاکی نادر پهنجار شده نسبت به کندریت نمونه‌های شمال شرق بافت در مقایسه با تولیت‌های فقیر از پتاسیم (LKT) و بازالت‌های آهکی قلیایی مناطق قوس آتشفشانی (CAB) (داده‌های CAB و LKT از [۲۳]).

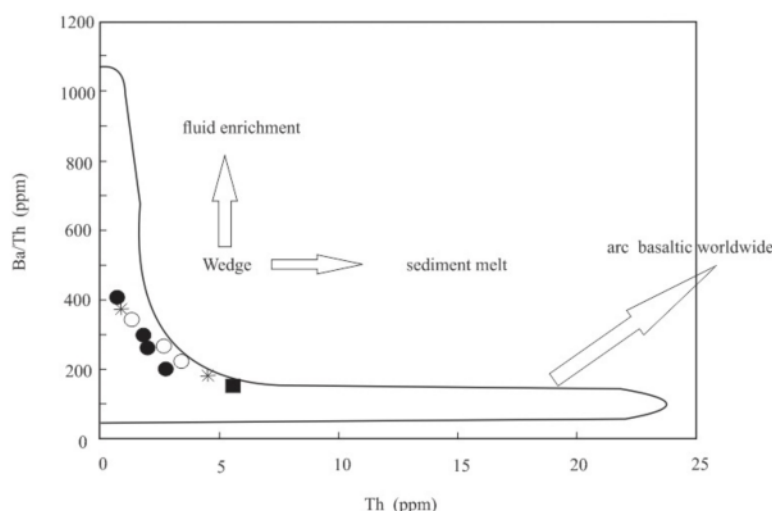
می‌شود، روند غنی‌شدگی واحدهای آتشفشانی منطقه همخوان با روند غنی‌شدگی همراه با منطقه‌ی فرورانش است. علاوه بر این سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی با یک روند افزایشی در نسبت Th/Yb و نسبت Nb/Yb مشخص می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تفاوت عملکرد نقش جدایش بلورین و یا غنی‌شدگی با درجات مختلف خاستگاه گوشته‌ای است. نسبت Nb/Y سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی بین ۰/۴ و ۰/۸ است. به طور کلی نقش خاستگاه استنوسفری یعنی یک خاستگاه غنی شده در مقابل خاستگاه لیتوسفری با نسبت Nb/Y بزرگتر از ۲ مشخص شده است [۴۲]. از طرف دیگر برای پی بردن به نقش رسوب‌ها در محل خاستگاه گوشته‌ای سازنده‌ی سنگ‌های آتشفشانی و پی بردن به نقش ذوب بخشی گوهی گوشته‌ای به تنهایی و یا همراه با رسوب‌های فرورانش شده در تشکیل گدازه‌های بازالتی نمودار Sm/La در برابر Th/La پیشنهاد شده است [۴۳]. به طور کلی نسبت Th/La در بازالت‌های اقیانوسی پایین بوده (کمتر از ۰/۲)، در حالی که در محیط‌های قاره‌ای این نسبت بالاست (بالتر از ۰/۲۵)، و در بازالت‌های قوس‌های آتشفشانی و رسوب‌های این میزان بین ۰/۴۰ و ۰/۰۹ متغیر است. سنگ‌های منطقه مورد بررسی روندی خطی را بین ترکیب رسوب‌های کمان و ترکیب گوشته را در نمودار (شکل ۱۴ ب) نشان می‌دهند. لذا ماگماهای کمان آتشفشانی سهم زیادی از نسبت Th/La خود را از رسوب‌ها به ارث می‌برند و این نسبت در گوهی گوشته‌ای و طی فرایند فرورانش به تنهایی و بدون دخالت رسوب‌ها نمی‌تواند مقادیر جدا شده‌ی بالا را نشان دهد.

بنابر نمودارهای بهنجار شده‌ی نمونه‌های آتشفشانی شمال شرق منطقه‌ی بافت که نسبت به کندریت [۱۹] و گوشته‌ی اولیه [۱۸] بهنجار شده‌اند غنی‌شدگی از Th در این سنگ‌ها مشخص شده است. مقادیر بالای توریم در این سنگ‌ها نقش رسوب‌های فرورانده شده طی فرورانش و مشارکت آن با ماگمای تولیدکننده‌ی سنگ‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد (شکل ۱۳) [۴۱، ۴۰]. افزایش توریم را می‌توان در این سنگ‌ها به ۲ عامل نسبت داد:

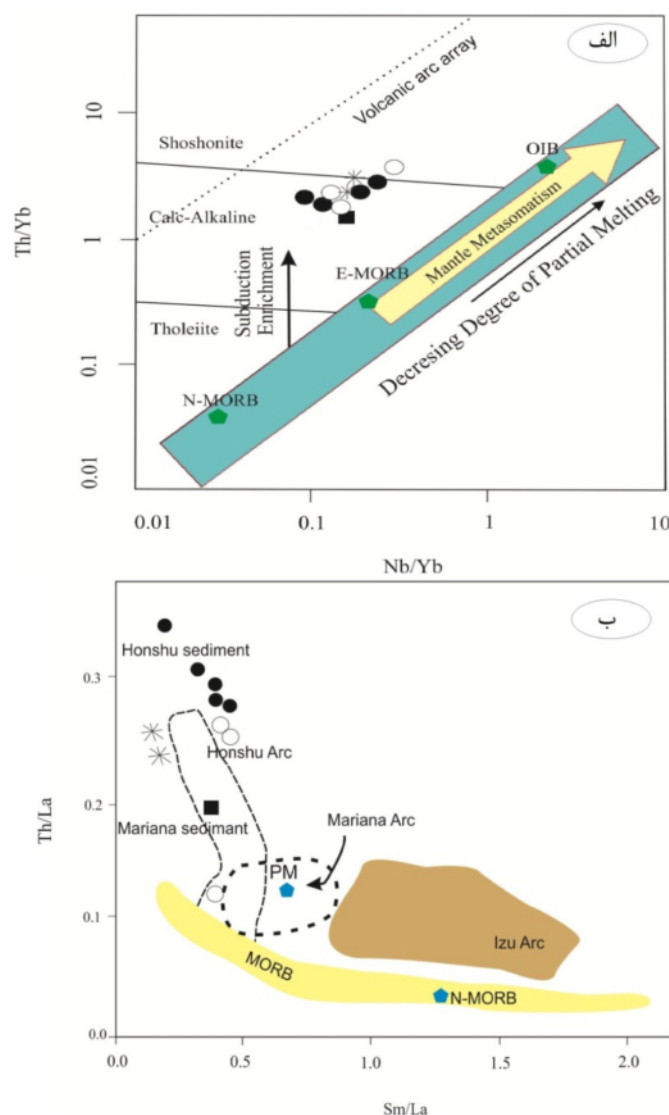
- ۱- تاثیر آلودگی ناشی از مواد پوسته‌ی فوقانی
 - ۲- تاثیر آبگون‌های آزاد شده از پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده.
- به طور کلی ماگماهای حواشی فعال قاره‌ای در مقایسه با ماگماهای جزایر قوسی درجات بالاتری از غنی‌شدگی عناصر سازگار را نشان می‌دهند که ممکن است نشان‌دهنده‌ی یک خاستگاه غنی شده و رخداد آلیش پوسته‌ای باشد [۴۰].

بحث و برداشت

به طور کلی نسبت‌های Th/Y نسبت به Nb/Y و Th/Yb می‌توانند اطلاعات جامعی از خاستگاه آتشفشانی‌های منطقه‌ی مورد بررسی فراهم کنند. غنی‌شدگی گوشته‌ای با افزوده شدن مقدار کمی از گدازه‌ای که در اعماق، با درصد پایین ذوب بخشی ایجاد شده‌اند، صورت گیرند که همراه با افزایش نسبت‌های Th/Y ، Th/Yb و یا Nb/Y باشد. اما از طرف دیگر غنی‌شدگی ناشی از شاره‌های منطقه‌ی فرورانش تنها به افزایش نسبت‌های Th/Y و Th/Yb به همراه کاهش نسبت Nb/Y صورت می‌گیرد. چنانکه در شکل (۱۴ الف) دیده



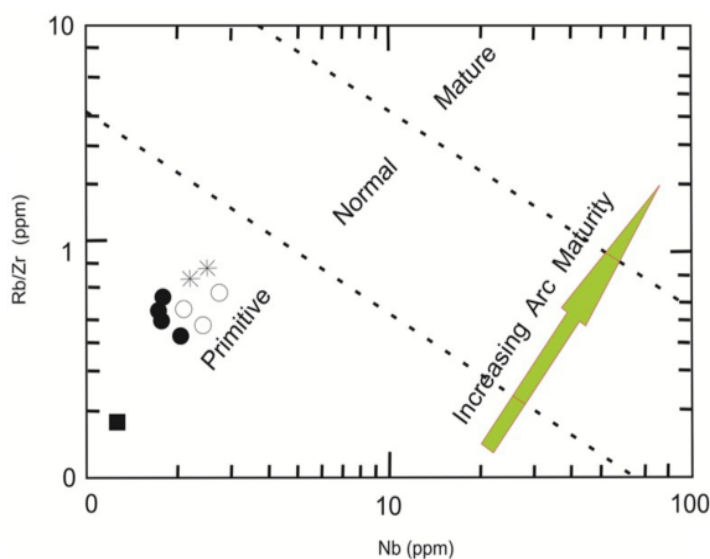
شکل ۱۳ موقعیت نمونه‌های مورد بررسی روی نمودار Ba/Th در برابر Th [۴۰] (علائم مشابه شکل ۴).



شکل ۱۴ الف) نمودار Nb/Yb در برابر Th/Yb برای سنگ‌های مورد بررسی [۴۲]، ب) نمودار Sm/La در برابر Th/La برای بازالت‌های قوس‌های آتشفشانی و سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی [۴۳]. هر قوس آتشفشانی روندی اختلاطی میان ترکیب گوشته‌ای و یک ترکیب رسوبی را نشان می‌دهد.

دیده شده و احتمال آمیختگی ماگماهایی با ترکیب تقریباً مشابه در سنگ‌ها وجود دارد [۱۲]. از نظر شیمیایی سنگ‌ها به انواع وابسته به بازالت‌های آهکی-قلیایی مناطق فرورانشی شبیه‌اند و منطبق بر نمودارهای عناصر نادر از قبیل Nb نسبت به Rb/Zr (شکل ۱۵) جزء سنگ‌هایی هستند که در کمان‌های ماگمایی جوان و نابالغ تشکیل شده‌اند. همچنین ماگماهای سازنده این سنگ‌ها آثار آلودگی یا ورود مواد پوسته‌ای از لیتوسفر فرورو را نشان داده و می‌توانند حاصل ذوب بخشی یک گوشته‌ی دگرنهاد شده باشند.

نسبت Th/La برای بیشتر گدازه‌های منطقه‌ی شمال شرق بافت بین ۰/۱ تا ۰/۳۷ متغیر است و بیشتر نمونه‌های مورد بررسی به قوس آتشفشانی Honshu تمایل دارند که معادل روند اختلاط میان یک مولفه‌ی گوشته‌ای و رسوب‌هاست. بنابراین آنچه که این شکل نشان می‌دهد تأثیر رسوب‌های فرورانده شده در خاستگاه سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی شامل تناوبی از گدازه‌ها و مواد آذرآواری بوده و گدازه‌ها بیشتر از نوع آندزیت، آندزیت بازالت و داسیت هستند. گدازه‌های مورد نظر از درشت بلورها غنی بوده و پلاژیوکلاز در آنها فراوان است. در مقطع نازک، آثار عدم تعادل در کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز



شکل ۱۵ نمودار جدایش محیط زمین‌ساختی برون [۴۴] که در آن از نسبت Rb/Zr در برابر Nb استفاده شده است و نشان‌دهنده وابستگی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد بررسی به کمان‌های آتشفشانی نابالغ و تکامل نیافته است (علائم مشابه شکل ۴).

منطقه‌ی فرورانش برای سنگ‌های منطقه، منطقی به نظر می‌رسد. بر اساس نمودار [۴۴] (شکل ۱۵) که در آن از نسبت لگاریتمی Rb/Zr نسبت به Nb استفاده شده است، غالب سنگ‌های منطقه در گستره‌ی کمان‌های ماگمایی جوان و نابالغ و یا در مراحل اولیه‌ی تکامل و گسترش کمان ماگمایی قرار گرفته‌اند. بررسی‌های مشابه صورت گرفته در ایران مانند شهاب‌پور [۳۱] نیز تایید کننده‌ی این برداشت است. بنابراین کم بودن ضخامت پوسته‌ی ایران مرکزی هنگام فرورانش (حدود ۳۵ کیلومتر) می‌تواند نقش اصلی را در وابستگی این سنگ‌ها با جزایر قوسی داشته باشد [۴۰]. بنابر بررسی‌های [۴۵]، عمق موهو در حال حاضر حدود ۴۰ کیلومتر است که در زمان ائوسن کمتر از این مقدار بوده است زیرا برخورد صفحه‌ی عربستان با ایران و غلبه‌ی رژیم فشارشی منجر به تغییر عمق موهو و بیشتر شدن ضخامت آن از ائوسن شده است. علی‌رغم همخوانی کمان‌های ماگمایی در چگونگی فوران ماگما، تفاوت‌های مهمی بین فرورانش به زیر پوسته‌ی اقیانوسی و فرورانش به زیر پوسته‌ی قاره‌ای وجود دارد. کمان‌های آتشفشانی که روی پوسته‌ی ضخیم فوران می‌کنند ماهیت ویژه‌ی خود را دارند مثلاً بیشتر سیلیسی بوده و به ازای مقدار معلوم SiO_2 تحول یافته‌تر می‌شوند. و نیز از عناصر LILE بویژه روبیدیوم، پتاسیم و اورانیوم غنی‌ترند. ماگما در حواشی فعال قاره‌ای بیشتر ترکیب آندزیتی - داسیتی داشته و پتاسیم بالایی دارد ولی ماگماهای جزایر قوسی بیشتر ترکیب آندزیت بازالتی دارند

تحرك عناصر کمیاب ناسازگار هنگام آب‌زدایی لیتوسفر اقیانوسی فرورونده فرآیندی است که احتمالاً در تشکیل ماگماهای آهکی-قلیایی موثر است و پژوهشگران و زمین‌شناسان متعددی بر این باورند که طی این شرایط عناصری مانند Sr ، K ، Rb و Ce می‌توانند همراه با شاره‌ها حرکت کرده و به سمت گوه‌ی گوشته‌ای صعود کنند و سبب دگرنهادی آن شوند [۳۵]. هر چند که در ماگماهای آندزیتی و بازالتی عناصر خاکی نادر در کانی‌های اولیه ناسازگار بوده و مقدارشان در گدازه بالاتر از کندریت است، ولی افزایش مقدار عناصر LREE نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین می‌تواند به علت تبلور پیروکسن و الیوین باشد چراکه ضریب توزیع REE در این کانی‌ها از La تا Lu افزایش می‌یابد و تبلور جدایشی این کانی‌ها می‌تواند گدازه‌ی باقیمانده را از LREE نسبت به HREE غنی سازد [۳۴]. آندزیت‌های آهکی-قلیایی نسبت به انواع سنگ‌های پشته‌ی میان اقیانوسی از عناصری که پتانسیل یونی پایینی دارند (Sr ، K ، Rb و Ba) غنی‌تر بوده و از عناصر با پتانسیل یونی بالا (مثل Yb ، Y ، Hf ، Ce ، Nb ، Ta و Sc) تهی‌ترند. غنی‌شدگی این سنگ‌ها از LREE‌ها به دگرنهادی منشأ گوشته‌ای آنها به‌وسیله‌ی شاره‌های آزاد شده از لیتوسفر فرورو، نسبت داده می‌شود. در مقابل پایین بودن فراوانی عناصر HFS را می‌توان به درجات بالاتر ذوب بخشی و پایداری این عناصر در فازهای دیرگداز ورقه فرورونده نسبت داد [۳۴]. به این ترتیب یک خاستگاه گوه‌ی گوشته‌ای دگرنهاد بالایی

[4] Dimitrijevic, M. D., Cvetic, S., and Djokovic, I., "Geology of Kerman region: institute for geological and mining exploration and institution of nuclear and other mineral raw materials, Scale: 1: 500000", Geological survey of Iran, Report Yu/52, 334 pp.1973.

[۵] احمدی مقدم، پ.، احمدی پور، ح.، "ژئوشیمی و پتروژنر سنگ‌های آتشفشانی کوه چهلتن، جنوب غرب بردسیر" مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۹۳)، صفحه ۳۷-۴۸

[۶] فاتحی ح.، مرادیان ع.، احمدی پور ح.، "ژئوشیمی، سنگ نگاری و خاستگاه زمین ساختی سنگ های آتشفشانی اتوسن دره زارچوئیه (جنوب شرق بردسیر)"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۹۱)، صفحه ۵۱۵-۵۳۲

[۷] آقانباتی ع.، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ صفحه. ۱۳۸۳

[8] Dimitrijevic M. D., Srdic A., Dimitrijevic M. N., "Geological map of Iran 1:100000 series Sheet 7348- Baft.", Geological survey of Iran. 1959.

[۹] درویش زاده ع.، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات دانش امروز، ۹۰۰ صفحه، ۱۳۷۰

[۱۰] معین وزیری ح.، "دیاچهای بر ماگماتیسزم در ایران"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، ۴۴۰ صفحه، ۱۳۷۵

[11] Eichelberger J. C., "Andesitic volcanism and crustal evolution. In: Izbekov. P.E., Eichelberger. J.C., Patino. L.C., Vogel. T.A., Iranov. B.V., 2002. Calcic cores of plagioclase phenocrysts in andesite from Karymsky volcano", Evidence for rapid introduction by basaltic replenishment. Geological society of America. v. 30; no. 9; p. 799-802

[12] Davidson J., Tepley F., III Palacz Z., Meffan-Main S., "Magma recharge, contamination and residence times revealed by in situ laser ablation isotopic analysis of feldspar in volcanic rocks. In: Izbekov, P.E., Eichelberger, J.C., Patino, L.C., Vogel, T.A., Iranov, B.V., 2002. Calcic cores of Plagioclase phenocrysts in andesite from Karymsky volcano", Evidence for rapid introduction by basaltic replenishment. Geological society of America. v. 30; no. 9; p. 799-802.

[13] Singer B. S., Dungan M. A., Layne G. D., "Textures and Sr, Ba, Mg, Fe, K and Ti compositional profiles in volcanic plagioclase: Clues to the dynamics of calc-alkaline magma chambers. In: Izbekov. P.E., Eichelberger. J.C., Patino. L.C., Vogel. T.A., Iranov. B.V., 2002. Calcic cores of plagioclase phenocrysts in andesite from Karymsky volcano", Evidence for rapid

و مقدار K_2O آنها پایین تا متوسط است [۴۶]. در جدول ۲ مقایسه‌ای میان سرشتی‌های انواع سنگ‌های آتشفشانی وابسته به محیط‌های کوهزایی جزایر قوسی و حاشیه‌ی فعال قاره‌ای با سنگ‌های شمال شرق بافت و سنگ‌های آتشفشانی شمال بیرجند، آتشفشانهای تفتان و آندزیت‌های شمال غرب ایران برای شناخت تفاوت‌های کلی میان آن‌ها صورت گرفته است.

برداشت

بنابر شواهد متعدد به دست آمده، معلوم شد که گدازه‌های منطقه‌ی شمال شرق شهرستان بافت و شمال غرب شهرستان رابر محصول جدایش ماگماهایی هستند که در آغاز از ذوب بخشی یک گوشته‌ی دگرنهاد در بخش بالایی منطقه‌ی فروورانشی ایجاد شده‌اند. گوشته‌ی خاستگاه رشته‌های سنگی منطقه به احتمال زیاد یک گوشته‌ی غنی‌شده بوده است. الگوی نمودارهای عنکبوتی نشانگر غنی‌شدگی این سنگ‌ها از عناصر LIL و LREE و تهی‌شدگی از عناصر HFS است. این الگو شاخص کمان‌های ماگمایی ناشی از فروورانش است. ژئوشیمی سنگ‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی در منطقه که طیف غالب واحدهای سنگی را به خود اختصاص داده است بیانگر شرایط تشکیل سنگ‌های مورد بررسی در یک جایگاه کمان آتشفشانی وابسته به حاشیه قاره‌ای فعال و حاکی از فوران این گدازه‌ها در یک کمان ماگمایی نابالغ است. ماگماهای مورد نظر حین صعود، در بخش‌هایی از پوسته توقف داشته و در اتاق ماگمایی ضمن تبلور کانی‌های آمفیبول و پلاژیوکلاز پیوسته مورد هجوم ماگماهای اولیه و اصیل‌تر قرار گرفته‌اند. تبلور جدایشی و آلودگی پوسته‌ای در ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها قابل ملاحظه است.

مراجع

- [1] Berberian F., "Petrogenesis of Iranian plutons: a study of the Natanz and Bazeman intrusive Complex", Ph.D Thesis. University of Cambridge, (1981) 300pp.
- [2] Jung D., Kursten M.O., Turkian M., "Post-Mesozoic volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro- Arabian under the Eurasian plate. Impilger & Rosler (Eds), After between continental and oceanic rifting. PP. 182-190. Intenational symposium on the Afra Region and Related Rift problems", Bad Bergzaben, (1975) Vol.2.
- [3] Dimitrijevic M. D., "Geology of Kerman Region", Geol. Sur. Iran, Yu. No.52 (1973).

- [23] 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 and Planetary Science Letters. 50 (1980) 11-30.
- [24] Pearce J. A., Cann J. R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses". Earth and Planetary Science Letters. 19 (1973) 290-300.
- [25] Pearce J.A., "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", In Hawkes worth C.J. and Norry, M.J., shiva, Nantwich, (1983) 230-249.
- [26] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes", In: A.D., Saunders, and A.M., Norry, (eds.), magmatism in ocean basins, Geol. Soc. London. Spec; (1989). Pub, 42, 313 – 345.
- [27] Pearce J.A., Harris N. B. W., Tindle A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks". Jour. Petrol, 25, 956 – 983; (1984).
- [28] Pearce J. A., Norry M. J., "Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rock. Contributions to Mineralogy and Petrology.", Vol 69 (1979), Pp 33-47.
- [29] Sommer C.A., Lima E.F., Nardi L.V.S., Liz J.D., Waichel. B.L., "The evolution of Neoproterozoic magmatism in Southernmost Brazil: shoshonitic, high- K tholeiitic and silica-saturated, sodic alkaline volcanism in post collisional basins". Anais da Academic Brasileira de Ciencias 78, 573-589; (2006).
- [۳۰] شهریار ش.، قربانی م.، نصیری بزنجانی ر.، "ژئوشیمی و سنگ شناسی سنگ های آتشفشانی شمال شرق نراق: ماگماتیسم جزایر قوسی یا حواشی فعال قاره‌ای؟"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۹۰) ص. ۲۵۱-۲۶۲
- [31] Shahabpour J., "Island - arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt", Journal of Asian Earth Sciences. 30,(2007) 652-665.
- [32] Chaffey D. J., Cliff R. A., Wilson B. M., "Characterization of the st. Helena magma source", In: Temel A., Gundogdu, A. Gourgaud. M.N., 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 85 (1989) 327-354.
- introduction by basaltic replenishment. Geological society of America. v. 30; no. 9; p. 799-802.
- [14] Pearce J. A., "A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Woman, D. A., (ed), Trace element geochemistry of volcanic rocks: Application for massive sulphide exploration", Geol. Assoc. Canada, short course notes. 12. 70-113.
- [15] Peccerillo A., Taylor S. R., "Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamoun area", northern Turkey. Contr. Mineralogy and Petrology. 58 (1976) 63-81.
- [16] Temel A., Gundogdu M.N., Gourgaud A., "Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya", Central Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 85, 327-354.
- [17] Sun S. -s., Mc Donough W. F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Schmidt. M.E. & Grunder. A.L., 2011. Deep Mafic Roots to Arc Volcanoes: Mafic Recharge and Differentiation of Basaltic Andesite at North Sister Volcano, Oregon Cascades", Journal of Petrology. v. 0; n.0, (1989) 1-39.
- [18] 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 and Planetary Science Letters. 50 (1980) 11-30.
- [19] Nicholson K. N., Black P. M., Hoskin P. W. O., Smith I. E. M., "Silicic volcanism and back-arc extension related to migration of the Late Cainozoic Astralian-Pacific plate boundary. In: Asiabanha. A., Ghasemi. H. and Meshkin. M., 2009. Paleogene continental-arc type volcanism in NorthQazvin, North Iran", facies analysis and geochemistry. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung. v. 186/2; (2004) p. 201-214.
- [20] Barley M.E., Brown S.J.A., Krapez B., Kositcin N., "Physical Volcanology and geochemistry of a late Archaean volcanic arc: Kurnalpi and Gindalbie Terranes, Eastern Goldfields Superterrane", Western Australia. Precambrian Research. 161 (2008) 53-76.
- [21] Muller D., Groves D. I., "Pottasic igneous and associated gold-copper mineralization. Springer-Verlag", (1997) 241p.
- [22] Perace J.A., "tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis". Earth planet Sci. Lett. 19 (1973) – 290-300

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۸۸)، ص ۲۰۲-۱۸۷.

[۳۹] کمالی ا.، عامری ع.، پیروج ه.، جهانگیری ا.، "ژئوشیمی و سنگ‌شناسی تراکی‌آندزیت‌های منطقه اردها، شمال بزووش، شمال غرب ایران"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران (۱۳۹۰)، ص ۳۲۴-۳۱۱.

[40] 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.

[41] Shahabpour J., "Island-arc affinity of the Central Iranian Volcanic Belt", Journal of Asian Earth Sciences 30 (2007) 652-665.

[42] Pearce, J. A. and Cann, J. R. "Tectonic Setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis". Earth and Planetary Science Letter (1973), 19: 290-300.

[43] Plank T., "Constraints from thorium/lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents", Journal of Petrology (2005), 4: 1-24.

[44] 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.

[45] 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).

[46] Stern R.J., "Subduction zones", Reviews of Geophysics 40, 4 (2002) 1-38.

[33] Edwards C., Menzies M., Thirlwall M., "Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. In: Temel. A., Gundogdu, A. Gourgaud. M.N., 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research. 85 (1991) 327-354.

[34] Pearce J. A., "Role of subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins: in continental basalts and mantle xenoliths. In: Temel. A., Gundogdu, A. Gourgaud. M.N.", 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 85 (1983) 327-354

[35] Briquet, et al?., "In: Temel. A., Gundogdu, A. Gourgaud. M.N., 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya", Central Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 85 (1991) 327-354.

[36] Jakes P., White A. J. R., "Hornblendes from calcalkaline volcanic rocks of island arcs and continental margins", Am. Mineral. 57(1972) 887-902.

[۳۷] یوسف زاده م.ح.، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترشیر منطقه بیرجند-خوسف"، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی ایران (۱۳۸۶).

[۳۸] بیابان‌گرد ح.، مرادیان ع.، "بررسی سنگ‌شناختی و ژئوشیمی کانی‌های اصلی سازنده سنگ‌های آتشفشانی تفتان"