



کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، سنگ‌های آتشفشانی گستره‌ی گل چشمه، جنوب نیشابور، شمال شرق ایران

اعظم انتظاری هرسینی^۱، سید احمد مظاهری^{*}، سعید سعادت^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۴/۶/۱، نسخه نهایی: ۹۴/۱۰/۵)

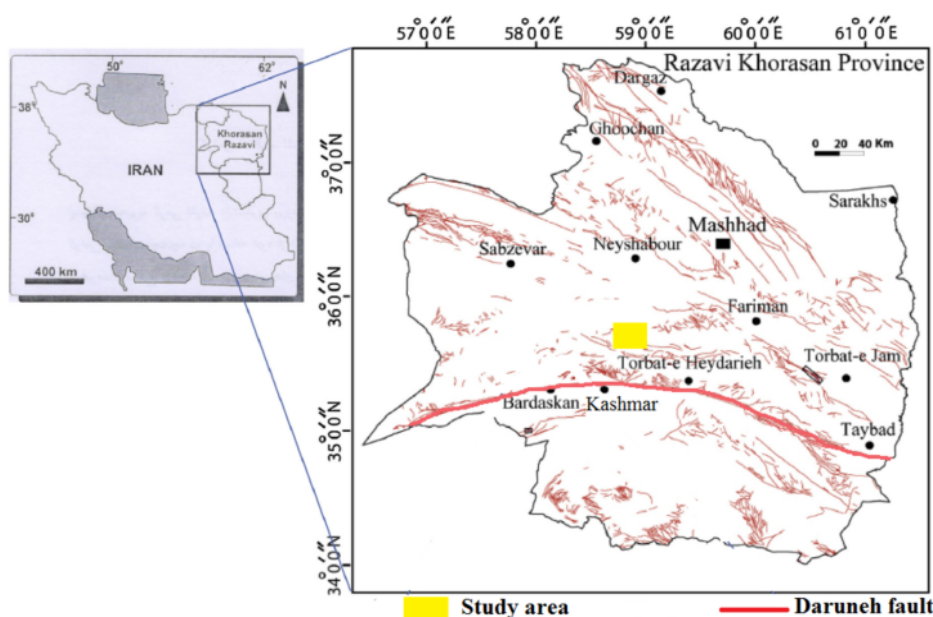
چکیده: گستره‌ی مورد بررسی در ۲۲۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد، و ۸۰ کیلومتری جنوب نیشابور و در گستره‌ای بین طول‌های شرقی "۳۰' ۴۰" الی "۳۰' ۴۴" و ۵۸° و عرض‌های شمالی "۳۰' ۴۷" الی "۰۰' ۵۲" ۳۵° قرار گرفته است و در پهنه‌ی ساختاری سبزووار قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی منطقه بیشتر شامل سنگ‌های آتشفشانی به سن ائوسن با ترکیب تراکیت، تراکی آندزیت و تراکی آندزیت بازالت بوده که در بعضی قسمت‌ها تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک، کربناتی و پروپیلیتیک قرار گرفته‌اند. فنوکریست‌های غالب در این سنگ‌ها کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، هورنبلند سوخته و پیروکسن است. بافت سنگ‌های آتشفشانی منطقه عمدتاً پورفیری با زمینه ریز دانه تا میان دانه است. تجزیه‌ی شیمیایی نشان دهنده‌ی ماهیت آهکی-قلیایی این سنگ‌هاست. غنی‌شدگی عناصر LILE (به غیر از Ba) و تهی‌شدگی عناصر HFSE در این سنگ‌ها قابل مشاهده است. غنی‌شدگی عناصر LREE نسبت به عناصر HREE نشانه‌ی تشکیل ماگما در محیط فرورانش است که این خصوصیت نیز در سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی گل چشمه به خوبی دیده می‌شود. نمودارهای زمین‌ساختی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه بیانگر محیط زمین-ساختی قوس آتشفشانی قاره‌ای است. نسبت پایین (La/Yb)_N (۳/۳-۵) و (Ce/Yb)_N (۲/۴ تا ۷) نشان دهنده‌ی ذوب بخشی پایین و عمق کم تشکیل ماگما و کم بودن گارنت در خاستگاه است. به نظر می‌رسد که گدازه‌های منطقه گل چشمه از ذوب بخشی حدود ۲ الی ۵ درصدی گوه گوشته‌ای در عمق اسپینل-گارنت لرزولیتی با مقدار گارنت پایین به همراه آلودگی کم با پوسته ریشه گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: گل چشمه، پهنه سبزووار، سنگ‌های آتشفشانی، ذوب بخشی، آهکی-قلیایی.

مقدمه

- غربی از سبزووار تا مرز افغانستان ادامه دارد. در این زیر پهنه سنگ‌های پالئوزوئیک و مزوزوئیک برونزد محدود دارند. برونزدهای سنگی مهم این زیر پهنه، مجموعه‌های افیولیتی سبزووار و تربت حیدریه‌اند که خاستگاه اقیانوسی دارند، این سنگ‌ها میزبان ذخایر گوناگونی از نوع کرومیت، منیزیت، هونتیت و غیره هستند. این مجموعه‌های آتشفشانی به اوایل ترشیری (ائوسن) در زون ساختاری سبزووار دیده می‌شوند که بیشتر از شمال بردسکن تا شمال تربت حیدریه و نزدیک مرز افغانستان (در

گستره مورد بررسی در ۲۲۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد، ۸۰ کیلومتری جنوب نیشابور و گستره‌ای بین طول‌های شرقی "۳۰' ۴۰" الی "۳۰' ۴۴" و ۵۸° و عرض‌های شمالی "۳۰' ۴۷" الی "۰۰' ۵۲" ۳۵° قرار گرفته است. این منطقه در شمال شرق پهنه‌ی ایران مرکزی و در زیر پهنه ساختاری سبزووار در شمال گسل درونه واقع شده است [۳-۱] (شکل ۱). زیرپهنه‌ی ساختاری سبزووار شامل گستره‌ای محدود بین گسل میامی - سنگ بست و گسل درونه است که در یک روند تقریبی شرقی



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه.

عناصر فرعی و خاکی نادر سنگ‌های آتشفشانی).

۵- بررسی نتایج حاصل از آنالیزهای فوق و استفاده از نرم-افزارهای GCDkit و ArcMap.

زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن قرار دارد، بر اساس نقشه‌ی یاد شده واحدهای سنگی منطقه به پالئوژن تعلق دارند. با توجه به بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، نقشه زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد که بر اساس این بررسی‌ها، سنگ‌های آندزیتی زیر مشخص شدند و معلوم شد که در منطقه علاوه بر سنگ‌های آندزیتی، توف و کربنات رخنمون دارند (شکل ۲).

- پیروکسن هورنبلند آندزیت: این واحد در بخش جنوبی منطقه مشاهده می‌شود، و دارای بافت پورفیری با زمینه ریز دانه تا میان بلور جریان است (شکل ۳ الف). که حاوی فنوکریست‌های شکل‌دار پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک (۸ الی ۱۷ درصد)، نیمه شکل‌دار، هورنبلند سوخته (۶ الی ۸ درصد) و پیروکسن (۱ الی ۲ درصد) است. که در زمینه‌ی بلورهای پلاژیوکلاز قابل مشاهده‌اند.

- هورنبلند پیروکسن تراکی آندزیت: واحد یاد شده در بخش مرکزی، جنوب شرقی و شمال منطقه‌ی مشاهده می‌شود.

شمال گسل درونه) رخنمون دارند، در این گروه سنگ‌ها ذخایری از مس (دهن قلعه، تکنار، سرب و روی (تکنار)، آنتیموان (چلیو) و طلا (ارغش، کوه زر) وجود دارند. هدف از این پژوهش بررسی‌های سنگ‌شناسی، تهیه‌ی نقشه‌ی زمین-شناسی دقیق، تولید داده‌های ژئوشیمیایی و جایگاه زمین ساختمانی سنگ‌های آتشفشانی منطقه است.

روش بررسی

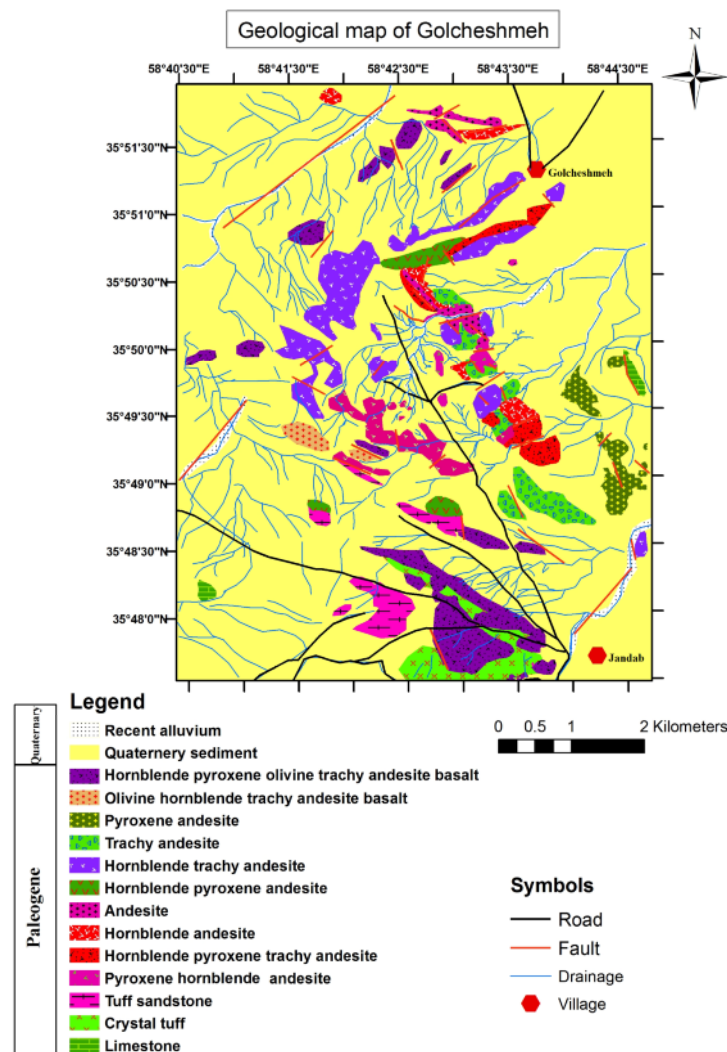
این مقاله به سنگ‌شناسی و ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه می‌پردازد که مراحل مختلف انجام شده شامل موارد زیرند:

۱- بازدید صحرایی، برداشت نمونه‌های سنگی از واحدهای مختلف منطقه و تهیه‌ی ۱۵۰ مقطع نازک میکروسکوپی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری.

۲- تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه‌ی مورد نظر بر مبنای پیمایش صحرایی و بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی.

۳- نمونه برداری و ۲۰ آنالیز XRF در شرکت کانساران بینالود ایران با یک دستگاه فیلیپس مدل PW 1480 برای اندازه-گیری اکسیدهای اصلی سنگ‌های آتشفشانی منطقه.

۴- ۲۰ آنالیز ICP-MS در آزمایشگاه ACME کانادا (آماده‌سازی نمونه‌ها به روش ذوب قلیایی برای اندازه‌گیری

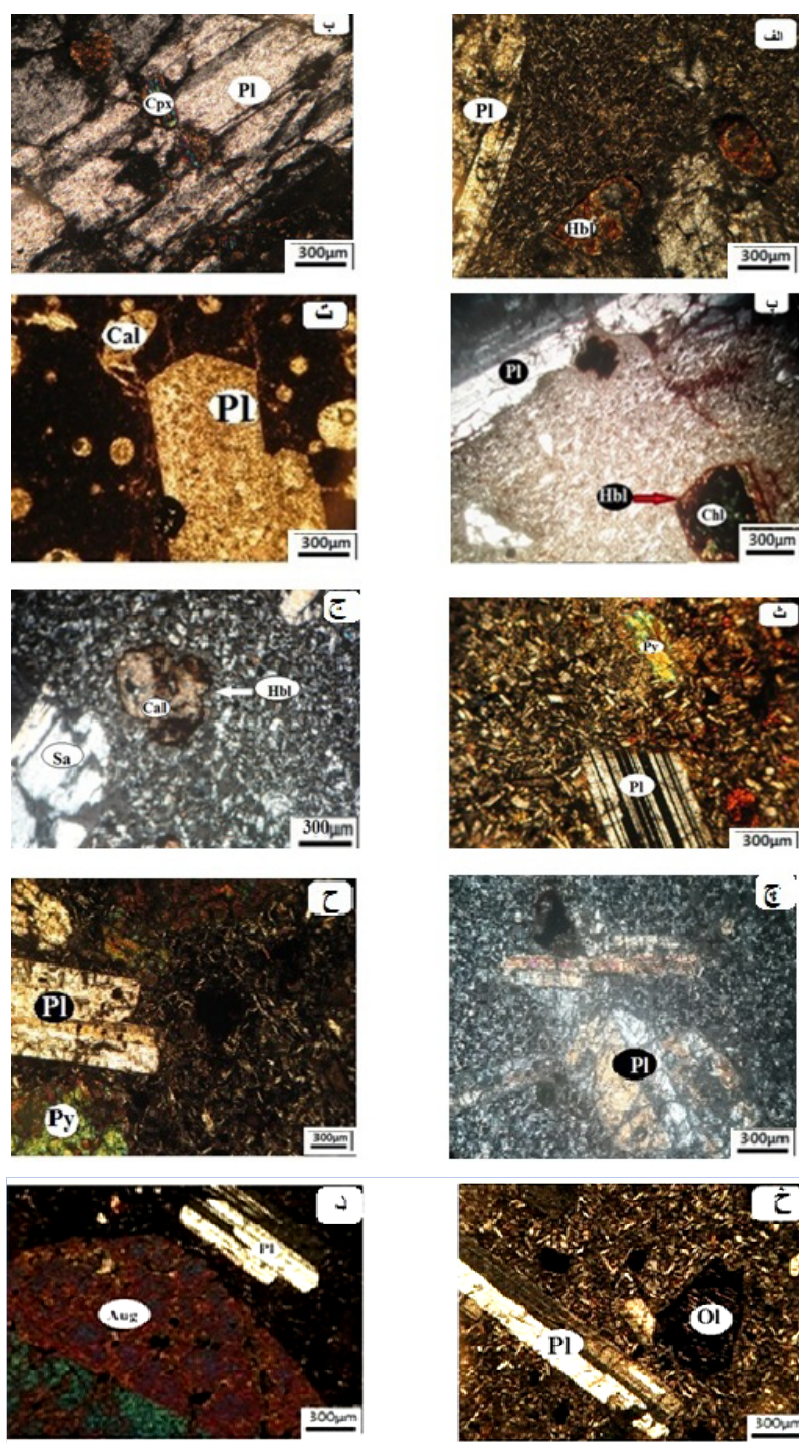


شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه‌ی مورد بررسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰.

واحد، پورفیری با خمیره ریزدانه تا میان بلور جریان‌ی است در بعضی بخش‌ها پلاژیوکلاز در زمینه قابل مشاهده است. بافت فرعی پویی کلیتیک و نیز بادامکی که حفره‌ها با اکسید آهن، کربنات و اپیدوت پر شده‌اند؛ در این واحد مشاهده می‌شوند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز شکل‌دار با رد پلی سنتتیک (۳ الی ۸ درصد) و نیمه شکل‌دار هورنبلند سوخته (۳ الی ۵ درصد) در این سنگ‌ها به خوبی قابل مشاهده‌اند. تبدیل پلاژیوکلاز و هورنبلند به کربنات، اپیدوت، کلریت و کانی‌های رسی (۲۵-۲۰ درصد) نیز مشاهده می‌شود. زمینه نیز در بعضی نقاط کربناتی و اپیدوتی شده است (شکل ۳ پ). دگرسانی کربناتی و آرژلیک با شدت متوسط در این واحد قابل مشاهده است.

• دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه تا میان دانه و ریزبلوری است. بافت پویی کلیتیک نیز در این واحد مشاهده می‌شود (شکل ۳ ب). که دارای فنوکریست‌های با شکل کامل، پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک (۲ الی ۷ درصد)، سانیدین با ماکل کالسباد (۳ الی ۵ درصد) و نیمه شکل دار، پیروکسن (۲ الی ۳ درصد) و هورنبلند سوخته (۱ الی ۲ درصد) است. تبدیل شدگی پلاژیوکلازها و هورنبلند به کربنات (۱۵-۱۰ درصد) و مقدار کمی اپیدوت را می‌توان در بعضی مناطق مشاهده کرد، که نشان دهنده‌ی دگرسانی کربناتی و پروپیلیتیک با شدت ضیف است.

• هورنبلند آندزیت: واحد هورنبلند آندزیت در بخش مرکزی، شمال و شمال‌غربی منطقه گسترش یافته است. بافت این



شکل ۳ تصاویر برگرفته از مقاطع نازک سنگ‌های آتشفشانی منطقه؛ (الف) فنوکریست پلاژیوکلاز در زمینه‌ی ریزبلور جریان‌ی در پیروکسن هورنبلند آندزیت. (ب) بافت پویی کلیتیک در هورنبلند پیروکسن آندزیت. (پ) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند در یک زمینه ریزدانه جریان‌ی در سنگ هورنبلند آندزیت که هورنبلند در مرکز به کلریت تبدیل شده است. (ت) فنوکریست پلاژیوکلاز در زمینه شیشه‌ای که تبدیل پلاژیوکلاز و زمینه به کربنات به همراه بافت بادامکی که حفره‌ها به وسیله‌ی کلسیت پر شده‌اند در سنگ آندزیت قابل مشاهده است. (ث) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در یک زمینه‌ی میان دانه در هورنبلند پیروکسن آندزیت. (ج) فنوکریست سانیدین و هورنبلند سوخته و تبدیل هورنبلند به کربنات در هورنبلند تراکی آندزیت. (چ) بافت گلوپورفیری در تراکی آندزیت (ح) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در زمینه‌ی ریزبلوری در پیروکسن آندزیت. (خ) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و الیوین ایدینگزیتی شده در سنگ الیوین هورنبلند تراکی آندزیت بازالت. (د) فنوکریست پلاژیوکلاز و پیروکسن اوژیت که رد اوژیتی نیز در سنگ هورنبلند پیروکسن الیوین تراکی آندزیت بازالت، قابل مشاهده‌اند.

• پیروکسن آندزیت: پیروکسن آندزیت در بخش شرقی منطقه گسترش دارد. این واحد دارای بافت پورفیری و گلومروپورفیری با زمینه ریز دانه تا میان بلور و در مناطقی بافت ریزبلوری است که در گاهی همراه با بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه، قابل مشاهده است. فنوکرست‌های پلاژیوکلاز شکل دار با رد چند ترکیبی (۳ تا ۱۲ درصد) و پیروکسن نیمه شکل-دار (۲ الی ۸ درصد) قابل مشاهده‌اند. در بعضی قسمت‌ها تبدیل فنوکرست پلاژیوکلاز و زمینه به کربنات و اپیدوت (۱۰-۵ درصد) مشاهده می‌شود (شکل ۳.ج).

• الیوین هورنبلند تراکی آندزیت بازالت: این واحد مورد بررسی در بخش جنوب غربی گسترش دارد، و دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی میان دانه است. فنوکرست‌های پلاژیوکلاز با شکل کامل و رد پلی سنتتیکی (۲۰ الی ۲۵ درصد)، سانیدین شکل دار با رد کالسباد (۵ الی ۷ درصد)، هورنبلند سوخته نیمه شکل‌دار (۷ الی ۱۰ درصد) و الیوین شکل دار (۳ الی ۵) دیده می‌شوند. در الیوین‌ها ایدنگزیتی شدن به روشنی مشاهده می‌شود (شکل ۳.خ).

• هورنبلند پیروکسن الیوین تراکی آندزیت بازالت: این واحد در بخش جنوب، شمال و شمال شرقی مشاهده می‌شود و دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی ریزبلوری است. فنوکرست‌های شکل‌دار، پلاژیوکلاز با رد پلی سنتتیک و در بعضی قسمت‌ها دارای منطقه‌بندی (۲۵ الی ۳۰ درصد)، سانیدین با رد کالسباد (۳ الی ۵ درصد)، الیوین (۱۵ الی ۲۰)، پیروکسن (حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد) و نیمه شکل‌دار هورنبلند سوخته (۸ الی ۱۰ درصد) دیده می‌شود. ایدنگزیتی شدن الیوین‌ها کاملاً مشهود و پیروکسن‌ها ماکل اوژیته را نشان می‌دهند (شکل ۳.د).

ژئوشیمی و سنگ‌زایی

از مجموع ۱۴۶ نمونه برداشت شده از سنگ‌های آندزیتی منطقه، بررسی سنگ‌نگاری انجام و با توجه به شواهد و روابط صحرایی ۲۰ نمونه با کمترین اثر دگرسانی‌های تأخیری، به منظور آنالیز عناصر اصلی، به روش XRF، انتخاب شد (موقعیت نمونه‌ها و نوع سنگ بر اساس بررسی‌های سنگ نگاری مقاطع نازک میکروسکوپی در جدول ۱ آمده‌اند). پس از بررسی نتایج آنالیز عناصر اصلی این نمونه‌ها، به منظور بررسی عناصر کمیاب و خاکی نادر به روش ICP-MS تجزیه شدند (جدول ۲).

• آندزیت: این واحد در بخش مرکزی و شمال منطقه قابل مشاهده است. بافت این واحد، پورفیری و گلومروپورفیری با زمینه ریزدانه تا شیشه‌ای است. در بیشتر مناطق علاوه بر بافت پورفیری، بافت فرعی بادامکی نیز مشاهده می‌شود. این حفره‌ها به‌وسیله‌ی کربنات، کلریت و یا سیلیس بی‌شکل پر شده‌اند. فنوکرست غالب موجود در این سنگ‌ها، پلاژیوکلاز با شکل کامل (۵ الی ۱۰ درصد) است، کمتر از دو درصد نیز هورنبلند سوخته یا پیروکسن دیده می‌شود. فنوکرست‌های پلاژیوکلاز و زمینه، تبدیل شدن به کربنات (۷۰-۵۰) را نشان می‌دهند (شکل ۳.ت). دگرسانی به شدت در این واحد دیده می‌شود.

• هورنبلند پیروکسن آندزیت: این واحد در بخش مرکزی شمال و غرب منطقه گسترش دارد، و دارای بافت پورفیری با خمیره‌ی دانه میان است که پلاژیوکلازها در زمینه قابل مشاهده‌اند. این واحد دارای فنوکرست‌های پلاژیوکلاز شکل‌دار با ماکل پلی سنتتیک (۱۵ الی ۳۰ درصد)، پیروکسن نیمه شکل‌دار (۲ الی ۸ درصد) و هورنبلند سوخته نیمه شکل‌دار (۵ الی ۱۰ درصد) است. تبدیل پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی و کربناتی، تبدیل پیروکسن و هورنبلند به کلریت قابل مشاهده است. دگرسانی کربناتی و پروپلیتیکی با شدت ضعیف در این سنگ‌ها دیده می‌شوند.

• هورنبلند تراکی آندزیت: واحد هورنبلند تراکی آندزیت در بخش مرکزی و شمال شرقی منطقه گسترش دارد. بافت این واحد، پورفیری با خمیره ریزدانه تا میان دانه و فنوکرست‌های با شکل کامل، پلاژیوکلاز با رد پلی سنتتیکی (۱۲ الی ۲۰ درصد)، سانیدین با ماکل کالسباد (۵ الی ۸ درصد) و نیمه شکل دار هورنبلند سوخته (۵ الی ۱۰ درصد) در آن دیده می‌شود. تبدیل هورنبلند به کربنات (۴۰-۳۵ درصد) به خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۳.ج). دگرسانی کربناتی با شدت متوسط قابل مشاهده است.

• تراکی آندزیت: تراکی آندزیت در بخش مرکزی و جنوب شرقی منطقه گسترش دارد. بافت قابل مشاهده در این واحد پورفیری با زمینه‌ی ریزدانه تا میان دانه و در بعضی بخش‌ها بافت گلومروپورفیری است (شکل ۳.چ). که در زمینه‌ی، بلورهای فلدسپات قلیایی و پلاژیوکلاز قابل دیدن است. فنوکرست‌های پلاژیوکلاز شکل‌دار با ردی پلی سنتتیکی (۷ الی ۱۰ درصد) و سانیدین شکل‌دار با رد کالسباد (۲ الی ۵ درصد) قابل رویت است. تبدیل پلاژیوکلازها به کربنات و رس (۱۰-۵ درصد) نیز مشاهده شد.

جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و نوع سنگ‌های تجزیه شده‌ی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب منطقه گل چشمه.

Sample	X	Y	Rock type
GCH۱۷۱	۶۵۷۲۲۸	۳۹۶۴۹۸۳	Pyroxene andesite
GCH۹۲	۶۵۷۲۶۵	۳۹۶۴۷۸۵	Pyroxene andesite
GCH۱۱۱۹	۶۵۶۱۱۹	۳۹۶۲۴۴۸	Hornblende pyroxene olivine trachy andesite basalt
GCH۱۵۳	۶۵۳۰۵۷	۳۹۶۸۴۲۵	Hornblende pyroxene olivine trachy andesite basalt
GCH۱۳۱	۶۵۳۷۶۸	۳۹۶۵۲۴۱	Olivine hornblende trachy andesite basalt
GCH۱۷۹	۶۵۲۶۷۱	۳۹۶۵۶۷۰	Olivine hornblende trachy andesite basalt
GCH۶۰	۶۵۴۷۷۳	۳۹۶۶۶۶۹	Pyroxene hornblende andesite
GCH۱۷	۶۵۵۳۵۲	۳۹۶۶۴۹۴	Pyroxene hornblende andesite
GCH۱۴۰	۶۵۴۳۶۵	۳۹۶۸۳۵۳	Hornblende trachy andesite
GCH۳۵	۶۵۴۹۹۴	۳۹۶۶۸۵۵	Hornblende trachy andesite
GCH۱۶۰	۶۵۲۹۷۰	۳۹۶۶۸۹۷	Hornblende trachy andesite
GCH۱۸۳	۶۵۵۶۳۸	۳۹۶۵۹۹۸	Hornblende trachy andesite
GCH۱۶	۶۵۵۴۱۶	۳۹۶۶۵۰۸	Trachy andesite
GCH۷۱	۶۵۵۷۳۷	۳۹۶۶۲۵۵	Trachy andesite
GCH۵۷	۶۵۴۶۳۲	۳۹۶۷۳۷۷	Hornblende pyroxene trachy andesite
GCH۸۶	۶۵۵۹۹۴	۳۹۶۵۴۱۷	Hornblende pyroxene trachy andesite
GCH۴۰	۶۵۵۲۶۹	۳۹۶۶۹۱۹	Trachy andesite
GCH۳۱	۶۵۵۰۹۲	۳۹۶۷۰۴۹	Trachy andesite
GCH۲۷	۶۵۵۴۴۱	۳۹۶۶۸۴۹	Andesite
GCH۴۹	۶۵۴۸۶۶	۳۹۶۷۲۶۰	Andesite

مقدار SiO_2 در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بین ۵۴ تا ۶۳ درصد متغیر است. برای نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی از نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 استفاده شد [۴]، که بنابر این نمودار، سنگ‌های آتشفشانی منطقه در گستره‌ی ترکیبی تراکی آندزیت بازالیت، تراکی آندزیت، تراکی داسیت و تراکیت قرار گرفته‌اند (شکل ۴). نمودار AFM، برای تشخیص روندهای جدایش تولییتی از آهکی-قلیایی به کار می‌رود [۵]، که معروف‌ترین نمودار مثلثی است و نام آن از اکسیدهای پیاده شده روی رأس‌های مثلث گرفته شده است. در این نمودار A شامل قلیایی‌ها ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)، F شامل اکسیدهای آهن ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) و M شامل MgO است. که روی این نمودار سنگ‌های آذرین گستره‌ی گل چشمه تماماً در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵). به منظور بررسی عناصر

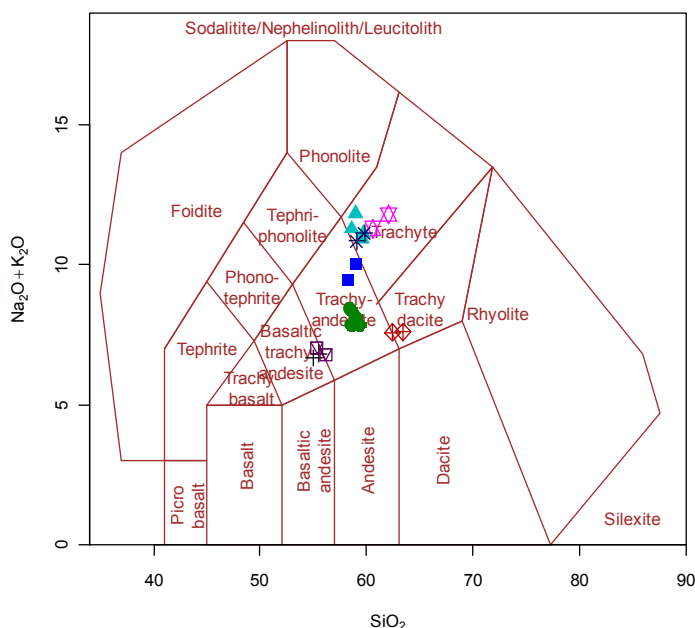
فرعی و کمیاب از نمودارهای عنکبوتی، که از نمودارهای معمول برای مقایسه الگوهای ژئوشیمیایی هستند استفاده شد [۶]. از این نمودارها برای تعیین کیفی نوع سنگ خاستگاه، کیفیت ذوب بخشی سنگ خاستگاه، تبلور جزئی ماگما و نیز جدایش سری‌های ماگمایی استفاده شد. بر این اساس نمودارهایی برای سنگ‌های منطقه ترسیم شدند که نسبت به گوشته اولیه [۷] و عناصر خاکی نادر نسبت به کندریت [۸] به هنجار شده‌اند (شکل ۶ الف و ب).

نمودارهای به هنجار شده نسبت به گوشته اولیه غنی شدگی LILE (به استثنای Ba و در سنگ هورنبلند پیروکسن تراکی آندزیت Sr) و تهی شدگی HFSE را در سنگ‌های منطقه نشان می‌دهند که از سرشتی‌های مهم ماگماهای وابسته به فروران‌ش هستند [۹-۱۱].

جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و خاکی نادر سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی گل چشمه.

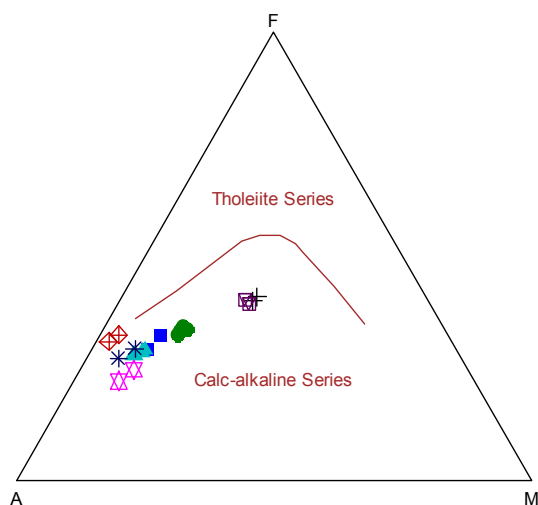
sample	GCH ۱۷۱	GCH ۹۲	GCH ۱۱۹	GCH ۱۵۳	GCH ۱۳۱	GCH ۱۷۹	GCH ۶۰	GCH ۱۷	GCH ۱۴۰	GCH ۳۵	GCH ۱۶۰	GCH ۱۸۳	GCH ۱۶	GCH ۷۱	GCH ۵۷	GCH ۸۶	GCH ۴۰	GCH ۳۱	GCH ۲۷	GCH ۴۹
SiO ₂	۶۲,۵۸	۶۱,۵۴	۵۴,۰۱	۵۴,۳۹	۵۵,۰۱	۵۴,۵۶	۵۷,۸۶	۵۷,۱۲	۵۷,۷۱	۵۷,۳۵	۵۸,۰۱	۵۷,۲۵	۵۷,۸۶	۵۷,۴۲	۶۰,۸۸	۵۹,۳۵	۵۸,۳۶	۵۸,۱۲	۵۵,۸۷	۵۵,۱۲
Al ₂ O ₃	۱۷,۶۹	۱۷,۵۹	۱۵,۹۱	۱۶,۰۵	۱۵,۸۶	۱۵,۶۲	۱۷,۹۹	۱۸,۰۳	۱۸,۲۴	۱۸,۳۵	۱۸,۰۲	۱۸,۴۲	۱۷,۰۸	۱۶,۸۹	۱۷,۵۲	۱۸,۱۳	۱۷,۶۳	۱۷,۵۱	۱۵,۲۴	۱۵,۳۵
FeO	۳,۵۰	۳,۸۲	۸,۲۱	۷,۹۲	۷,۵۳	۷,۴۵	۴,۸۰	۵,۳۵	۵,۱۹	۵,۱۲	۵,۲۳	۵,۱۷	۵,۲۱	۵,۳۴	۳,۷۳	۴,۲۲	۴,۸۵	۵,۰۱	۴,۲۶	۴,۷۸
CaO	۵,۲۷	۵,۹۲	۶,۸۷	۶,۵۲	۷,۰۲	۷,۲۹	۴,۲۶	۴,۶۲	۵,۱۷	۵,۲۱	۵,۲۴	۵,۲۷	۲,۸۶	۳,۴۲	۱,۶۸	۱,۸۹	۳,۰۱	۲,۹۷	۴,۹۸	۵,۰۲
Na ₂ O	۴,۴۸	۴,۵۳	۳,۵۶	۳,۴۵	۳,۲۹	۳,۳۵	۴,۳۴	۴,۱۲	۳,۹۴	۴,۱۵	۳,۵۹	۳,۷۵	۴,۷۵	۴,۲۵	۴,۲۶	۴,۱۲	۳,۸۷	۳,۶۷	۲,۹۸	۲,۸۷
K ₂ O	۳,۰۲	۲,۹۵	۲,۹۹	۳,۲۵	۳,۳۸	۳,۵۷	۵,۴۹	۵,۱۵	۴,۰۲	۳,۸۱	۴,۰۸	۳,۹۲	۶,۸۹	۶,۷۲	۷,۳۴	۶,۹۵	۷,۰۲	۷,۰۱	۷,۴۱	۷,۲۵
MgO	۰,۲۷	۰,۴۲	۵,۲۴	۵,۱۰	۴,۵۲	۴,۹۸	۱,۷۸	۱,۹۸	۲,۳۵	۲,۵۷	۲,۳۴	۲,۵۲	۱,۶۹	۱,۹۱	۱,۴۸	۱,۷۹	۱,۴۹	۱,۷۸	۰,۹۸	۱,۳۵
Cu	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۱۰	۰,۰۶	۱,۶۹	۱,۸۱
TiO ₂	۱,۴۲	۱,۳۵	۰,۸۹۱	۰,۸۵۴	۰,۸۴۰	۰,۹۱۵	۰,۹۶۸	۱,۰۷۱	۰,۸۶۹	۰,۸۶۴	۰,۸۶۷	۰,۸۶۲	۱,۰۱۱	۱,۰۰۹	۰,۹۱۴	۱,۰۵۰	۰,۹۱۸	۰,۸۹۹	۱,۱۵۴	۱,۳۴۰
MnO	۰,۰۸۰	۰,۰۶۹	۰,۱۱۲	۰,۱۳۱	۰,۰۹۸	۰,۰۷۸	۰,۰۶۹	۰,۰۵۹	۰,۰۴۵	۰,۰۴۸	۰,۰۴۲	۰,۰۴۶	۰,۱۲۴	۰,۱۰۵	۰,۰۴۰	۰,۰۵۱	۰,۰۷۸	۰,۰۸۷	۰,۰۶۳	۰,۰۸۷
P ₂ O ₅	۰,۳۳	۰,۳۹۲	۰,۳۴۱	۰,۳۱۳	۰,۳۶۲	۰,۳۳۳	۰,۴۵۴	۰,۵۲۱	۰,۴۱۸	۰,۴۵۵	۰,۴۱۸	۰,۴۲۸	۰,۷۳۲	۰,۷۹۲	۰,۳۳۳	۰,۳۵۵	۰,۵۱۳	۰,۵۳۲	۰,۴۶۸	۰,۴۲۳
S	۰,۰۰۹	۰,۰۰۸	۰,۰۵۴	۰,۰۵۷	۰,۰۰۹	۰,۰۰۸	۰,۰۱۲	۰,۰۱۳	۰,۰۱۲	۰,۰۱۵	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹	۰,۰۱۸	۰,۰۳۵	۰,۰۱۱	۰,۰۱۹	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹	۰,۰۱۷	۰,۰۱۷
L.O.I	۱,۰۴	۱,۲۵	۱,۶۲	۱,۷۸	۱,۸۷	۱,۵۵	۱,۷۳	۱,۷۶	۱,۶۶	۱,۵۷	۱,۸۵	۱,۸۷	۱,۴۳	۱,۶۶	۱,۵۱	۱,۷۲	۲,۰۳	۲,۱۰	۴,۴۰	۴,۶۵
Total	۹۹,۷۲	۹۹,۸۶	۹۹,۸۳	۹۹,۸۳	۹۹,۸۰	۹۹,۷۱	۹۹,۷۷	۹۹,۸۱	۹۹,۶۴	۹۹,۵۲	۹۹,۷۱	۹۹,۵۳	۹۹,۷۱	۹۹,۷۲	۹۹,۷۴	۹۹,۷۱	۹۹,۸۷	۹۹,۷۶	۹۹,۵۱	۹۹,۷۶
Ba	۲۸۷	۲۹۴	۳۸۳	۳۶۷	۳۷۶	۳۸۱	۵۱۵	۵۵۲	۴۸۲	۴۷۵	۴۵۱	۴۵۳	۵۵۱	۵۲۵	۴۸۵	۴۲۵	۵۷۰	۵۵۲	۴۹۷	۵۰۵
Be	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۲	۴	۳
Co	۴,۳	۵,۶	۲۷,۴	۲۸,۲	۲۸,۷	۲۹,۱	۹,۸	۱۰,۱	۱۲,۱	۱۲,۸	۱۲,۷	۱۳,۱	۸,۰	۹,۱	۴,۸	۵,۲	۷,۴	۶,۹	۶,۱	۵,۸
Cs	۱,۱	۱,۵	۱,۹	۲,۴	۲,۲	۲,۶	۲,۹	۳,۱	۱,۹	۱,۵	۱,۳	۱,۲	۳,۳	۲,۸	۳,۶	۳,۲	۳,۳	۲,۹	۳,۰	۲,۸
Ga	۱۹,۶	۱۸,۳	۱۶,۱	۱۵,۹	۱۵,۶	۱۶,۲	۱۵,۱	۱۵,۶	۱۸,۲	۱۸,۸	۱۷,۲	۱۶,۸	۱۵,۵	۱۶,۱	۱۶,۰	۱۵,۵	۱۵,۰	۱۴,۳	۱۳,۷	۱۴,۱
Hf	۷,۵	۷,۴	۲,۹	۲,۸	۲,۹	۲,۹	۳,۷	۳,۶	۳,۳	۳,۵	۳,۵	۳,۴	۳,۶	۳,۷	۴,۱	۴,۲	۳,۷	۳,۸	۳,۴	۳,۳
Nb	۲۷,۹	۲۶,۲	۹,۹	۱۰,۴	۱۱,۵	۱۰,۸	۱۵,۲	۱۵,۸	۱۴,۵	۱۴,۱	۱۴,۳	۱۴,۶	۱۶,۵	۱۶,۲	۱۹,۲	۱۸,۸	۱۵,۸	۱۵,۶	۱۵,۳	۱۵,۷
Rb	۶۸,۰	۷۳,۱	۷۰,۸	۷۲,۴	۷۴,۴	۷۹,۱	۱۳۵,۴	۱۴۲,۱	۹۷,۰	۱۱۰,۲	۹۶,۱	۸۲,۲	۱۶۰,۴	۱۵۵,۲	۱۸۲,۲	۱۷۳,۱	۱۵۸,۷	۱۴۸,۹	۱۴۴,۹	۱۴۵,۵
Sn	۳	۲	۲	۱	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱
Sr	۴۵۳,۹	۴۳۸,۲	۶۱۴,۸	۵۸۰,۳	۵۵۹,۸	۵۹۲,۲	۶۰۸,۶	۵۹۵,۱	۷۲۶,۷	۷۱۷,۳	۷۲۸,۷	۷۳۱,۲	۵۰۴,۷	۴۹۱,۲	۲۲۹,۱	۲۵۱,۲	۴۵۴,۳	۴۳۲,۱	۳۴۷,۲	۳۷۱,۱
Ta	۱,۸	۱,۶	۰,۶	۰,۷	۰,۷	۰,۸	۰,۹	۰,۸	۰,۸	۰,۹	۱,۰	۰,۸	۱,۱	۱,۰	۱,۲	۱,۱	۰,۹	۱,۰	۱,۰	۰,۹
Th	۹,۱	۹,۵	۳,۷	۴,۳	۴,۱	۴,۸	۶,۱	۶,۲	۴,۹	۵,۱	۵,۰	۴,۸	۷,۲	۶,۹	۷,۸	۷,۴	۶,۷	۷,۱	۶,۲	۶,۳
Nb	۲,۷	۲,۵	۱,۱	۱,۳	۱,۱	۱,۲	۱,۶	۱,۴	۱,۴	۱,۶	۱,۵	۱,۴	۲,۳	۲,۵	۱,۱	۱,۱	۲,۲	۲,۴	۲,۴	۲,۱
V	۱۱۲	۱۲۰	۲۵۹	۲۶۲	۲۵۲	۲۴۳	۲۹۸	۳۱۰	۲۶۵	۲۵۶	۲۶۹	۲۸۵	۳۹۵	۳۷۵	۲۲۳	۲۵۹	۳۶۱	۳۴۵	۲۷۹	۲۴۲
W	۱,۴	۱,۶	۱,۵	۱,۹	۲,۹	۳,۱	۱,۳	۱,۷	۱,۵	۱,۸	۱,۷	۱,۵	۱,۴	۱,۶	۲,۰	۱,۸	۱,۸	۱,۶	۳,۳	۲,۷
Zr	۳۰۶,۱	۲۹۷,۳	۱۰۸,۶	۱۲۱,۵	۱۱۹,۸	۱۰۹,۱	۱۵۷,۹	۱۴۹,۱	۱۴۲,۰	۱۳۸,۵	۱۴۰,۹	۱۳۵,۲	۱۶۷,۵	۱۵۹,۵	۱۹۳,۵	۱۸۵,۱	۱۶۰,۰	۱۶۳,۶	۱۴۸,۰	۱۵۲,۱
Y	۳۰,۸	۳۱,۲	۱۹,۳	۱۸,۹	۱۹,۴	۱۸,۸	۱۶,۹	۱۷,۱	۱۷,۱	۱۶,۸	۱۷,۹	۱۷,۲	۱۸,۶	۱۸,۳	۱۸,۰	۱۸,۵	۱۷,۴	۱۷,۱	۱۶,۷	۱۷,۲
La	۲۶,۳	۲۵,۲	۱۵,۴	۱۵,۸	۱۷,۱	۱۶,۸	۲۲,۶	۲۱,۷	۲۱,۳	۲۱,۵	۲۰,۹	۲۱,۲	۲۴,۷	۲۴,۱	۲۴,۱	۲۳,۲	۲۴,۱	۲۳,۸	۲۳,۳	۲۳,۹
Ce	۷۶,۹	۷۵,۲	۳۲,۰	۳۲,۲	۳۶,۰	۳۵,۲	۴۲,۶	۴۳,۲	۴۳,۶	۴۱,۹	۴۱,۶	۴۲,۳	۴۸,۳	۴۷,۹	۴۵,۶	۴۴,۹	۴۵,۷	۴۵,۲	۴۵,۸	۴۴,۹
Pr	۸,۹۶	۸,۵۲	۴,۳۵	۴,۷۱	۴,۶۲	۴,۴۴	۵,۳۵	۵,۳۷	۵,۲۴	۵,۱	۵,۱۴	۴,۹۳	۵,۷۱	۵,۵۴	۵,۳۶	۵,۵۹	۵,۷۲	۵,۴۵	۵,۵۱	۴,۸۹
Nd	۳۵,۸	۳۶,۴	۱۷,۷	۱۸,۱	۱۸,۶	۱۸,۴	۱۹,۹	۲۰,۲	۱۹,۲	۱۸,۸	۲۰,۲	۲۰,۴	۲۲,۳	۲۲,۶	۲۰,۶	۱۹,۹	۲۱,۴	۲۲,۳	۲۲,۳	۲۲,۵
Sm	۷,۱۴	۷,۰۱	۴,۱۲	۳,۹۳	۳,۸۸	۴,۰۷	۳,۷۵	۳,۸۳	۴,۱۱	۳,۹۵	۳,۹۹	۴,۰۵	۴,۳۹	۴,۰۹	۳,۷۱	۳,۹۱	۳,۸۶	۴,۰۱	۴,۰۰	۳,۸۹
Eu	۱,۶۹	۱,۵۸	۱,۲۲	۱,۱۷	۱,۱۵	۱,۱۱	۱,۰۵	۰,۹۸	۱,۱۵	۱,۱۹	۱,۱۵	۱,۱۳	۱,۱۱	۱,۱۵	۰,۹۱	۱,۰۸	۱,۱۸	۱,۲۱	۱,۰۹	۱,۱۲
Gd	۶,۶۹	۶,۳۵	۴,۱۲	۳,۹۳	۴,۲۲	۴,۱۷	۳,۵۳	۳,۶۱	۳,۷۳	۳,۶۸	۳,۸۰	۳,۷۵	۳,۶۷	۳,۸۶	۳,۳۳	۳,۵۲	۳,۴۹	۳,۶۲	۳,۵۷	۳,۴۹
Tb	۱,۰۴	۱,۱۱	۰,۶۱	۰,۵۶	۰,۶۵	۰,۶۱	۰,۵۷	۰,۵۹	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۹	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۶۳	۰,۵۱	۰,۵۶	۰,۵۸	۰,۵۷	۰,۵۴	۰,۵۵
Dy	۵,۶۴	۵,۲۳	۳,۴۴	۳,۶۱	۳,۷۴	۳,۵۴	۲,۹۱	۳,۱۱	۳,۳۶	۳,۲۱	۳,۲۳	۳,۳۹	۳,۵۱	۳,۳۳	۲,۹۷	۳,۰۸	۳,۳۲	۳,۴۵	۳,۰۱	۲,۹۶
Ho	۱,۱۰	۱,۰۵	۰,۷۴	۰,۷۲	۰,۷۵	۰,۷۳	۰,۶۰	۰,۶۲	۰,۷۳	۰,۶۸	۰,۶۹	۰,۷۲	۰,۶۵	۰,۶۳	۰,۶۵	۰,۶۹	۰,۶۳	۰,۶۶	۰,۶۱	۰,۶۷
Er	۳,۲۰	۳,۱۱	۱,۸۱	۱,۸۷	۱,۹۹	۱,۹۲	۱,۷۸	۱,۸۱	۱,۹۰	۱,۹۴	۱,۹۲	۱,۹۵	۱,۸۸	۱,۸۳	۱,۹۰	۱,۹۴	۲,۰۶	۱,۹۸	۱,۷۹	۱,۸۵
Tm	۰,۴۴	۰,۴۱	۰,۳۰	۰,۲۹	۰,۳۰	۰,۳۰	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۲۹	۰,۲۸	۰,۲۸	۰,۲۷	۰,۳۰	۰,۳۰
Yb	۲,۹۱	۲,۷۶	۱,۹۵	۱,۹۱	۱,۹۲	۱,۸۹	۱,۷۰	۱,۷۲	۱,۸۴	۱,۸۶	۱,۷۳	۱,۸۷	۱,۸۷	۱,۹۲	۱,۹۱	۱,۸۸	۱,۸۴	۱,۸۷	۱,۷۱	۱,۷۳
Lu	۰,۴۶	۰,۴۸	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۳۰	۰,۳۱	۰,۳۰	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۲۸	۰,۲۹

- ✕ Hornblende pyroxene trachy andesite
- ☒ Olivine hornblende trachy andesite basalt
- Pyroxene hornblende andesite
- ▲ Trachy andesite
- Hornblende trachy andesite
- + Hornblende pyroxene olivine trachy andesite basalt
- * Andesite
- ◆ Pyroxene andesite



شکل ۴ نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه گل چشمه [۴].

- ✕ Hornblende pyroxene trachy andesite
- ☒ Olivine hornblende trachy andesite basalt
- Pyroxene hornblende andesite
- ▲ Trachy andesite
- Hornblende trachy andesite
- + Hornblende pyroxene olivine trachy andesite basalt
- * Andesite
- ◆ Pyroxene andesite



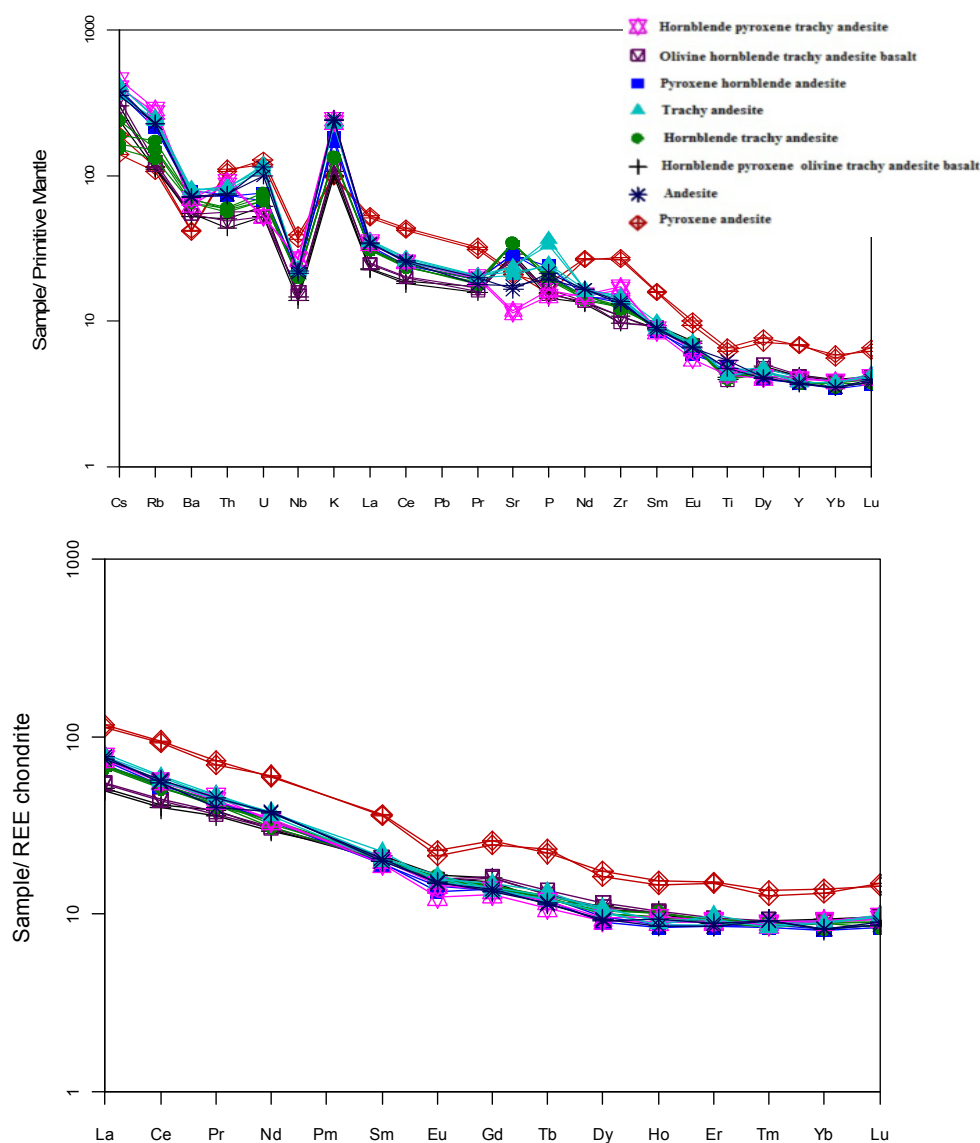
شکل ۵ تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه بر اساس نمودار AFM [۵].

لیتوسفر که از Nb فقیر و حاوی LILE بالایی هستند، به گونه‌ای گوشته‌ای افزوده می‌شوند [۱۵، ۱۶]. در انتهای دوره‌ی تریاس و آغاز ژوراسیک، صفحه‌ی ایران مرکزی به عنوان یکی از نواحی کیمبرین به صفحه توران (بخشی از ابر قاره‌ی اوراسیا) جوش خورده است. این حادثه در دوره‌ی کرتاسه سبب پایدار و باقی ماندن حرکت‌های زمین‌ساختی و تشکیل چندین حوضه با عمر کوتاه از جمله سبزووار، سیستان و نایین شده است [۱۷]. این حوضه‌ها با چندین گستره‌ی افیولیتی که ایران مرکزی را قطع کرده‌اند (سبزووار، سیستان و نایین - بافت) مشخص می-

ویژگی عناصر ماگماهای کمان می‌تواند در نتیجه ورود اجزای LILE موجود در پوسته‌ی فرورونده به درون گوشته‌ی بالای آن و دگرنهادی به وجود آید یا در اثر ذوب بخشی پایین گوشته غنی شده حاصل شود. غنی‌شدگی در عناصر LREE نسبت به عناصر HREE در تمامی سنگ‌های آتشفشانی منطقه از خصوصیات ماگماهای تشکیل شده در منطقه‌های فرورانش حاشیه قاره‌ای است [۱۱-۱۳]. بیهنجاری منفی عناصر Ti, Rb و Nb می‌تواند نشان از شکل‌گیری سنگ‌ها در منطقه فرورانش باشد [۱۱ و ۱۴]. در مناطق فرورانش شارهای آزاد شده از

بی‌هنجاری مثبت و کمتر از یک بی‌هنجاری منفی است [۱۹]. مقدار این نسبت برای سنگ‌های منطقه گل چشمه از ۰/۹۸-۰/۷۲ متغیر است وجود بی‌هنجاری منفی Eu از ویژگی‌های گدازه‌های آهکی-قلیایی وابسته به فرورانش است و بیانگر حضور پلاژیوکلاز در سنگ خاستگاه ماگماست [۹]. در نمودارهای عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت، غنی‌شدگی نسبی از عناصر خاکی نادر سبک نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین در تمام واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود (شکل ۶ ب).

شوند که نشان دهنده‌ی اقیانوس‌های کوچکی در آن (شاخه-هایی از اقیانوس نئوتتیس) است که سنگ‌های مورد بحث وابسته به فرورانش شاخه‌ای از اقیانوس نئوتتیس در این منطقه است. در سنگ‌های آتشفشانی منطقه، تهی‌شدگی عنصر Ba می‌تواند مستقل از درجه‌ی اشباع ماگمای آن‌ها از سیلیس و میزان ذوب باشد [۱۸]. غنی‌شدگی این سنگ‌ها از U و Th به علت آلودگی پوسته‌ای یا وابسته به سرشتی‌های خاستگاه است. در نمونه‌های منطقه مورد بررسی بی‌هنجاری منفی در عنصر Eu دیده می‌شود و مقدار Eu/Eu^* در همه‌ی نمونه‌ها کمتر از یک است. هرگاه مقدار Eu/Eu^* بیشتر از یک باشد



شکل ۶ الف) الگوی عناصر فرعی و خاکی نادر ناسازگار بهنجار شده نسبت به گوشته‌ی اولیه سنگ‌های آتشفشانی گستره گل چشمه داده‌های گوشته‌ی اولیه از [۷] ب) الگوی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت سنگ‌های آتشفشانی گستره گل چشمه داده‌های کندریت از [۸].

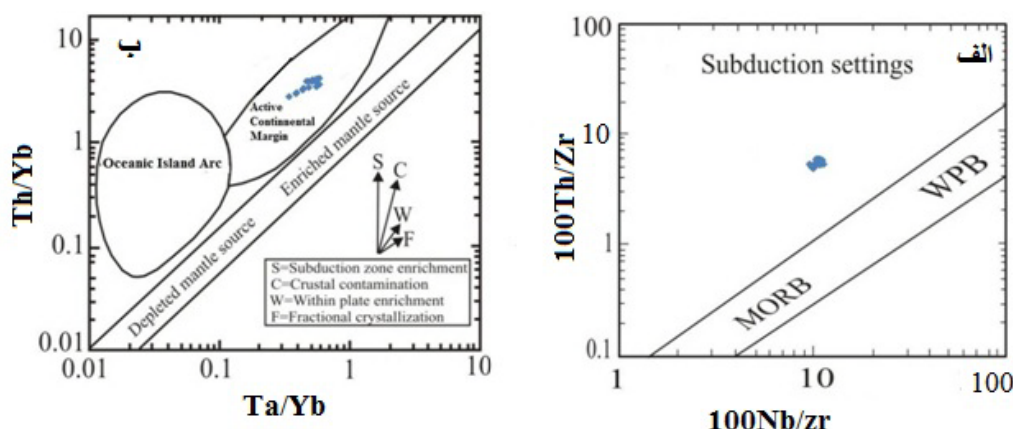
خاستگاه زمین‌ساختی

میزان عناصر اصلی و فرعی سنگ‌های آذرین در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف دارای تفاوت‌هایی هستند به همین دلیل جایگاه زمین‌ساختی در حل مسائل زایش سنگ‌ها اهمیت دارد. برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه از نمودارهای زیر استفاده شد. در نمودار 100 Th/Zr در مقابل 100 Nb/Zr [۲۰، ۲۱] نیز سنگ‌های منطقه در جایگاه فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۷ الف)، و نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb [۲۱ و ۱۶] پراکنش نمونه‌ها در گستره حاشیه قاره فعال قرار می‌گیرد (شکل ۷ ب)، این شکل همچنین نشان می‌دهد سنگ‌های منطقه از روند تبلور جدایشی پیروی می‌کنند که این می‌تواند دلیلی بر علت وجود سنگ‌های آتشفشانی منطقه از ترکیب تراکی آندزیت بازالت تا تراکیت در منطقه باشد. درجه‌ی ذوب بخشی پایین در گوشته اولیه، به وسیله تمرکز بالای عناصر فرعی ناسازگار و غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE تشخیص داده شد. همچنین با نسبت $(\text{La/Yb})_N$ می‌توان حضور گارنت و در نتیجه عمق ذوب را برآورد کرد. این نسبت در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بسیار پایین (حدود ۹/۳-۵/۳) است که کم بودن گارنت در خاستگاه ماگما را نشان می‌دهد. نسبت $(\text{Ce/Yb})_N$ نیز حکایت از عمق و نرخ ذوب ماگمای مادر دارد این نسبت نیز در نمونه‌های مورد بررسی پایین است (۴/۲ تا ۷) که نشان از نرخ ذوب پایین و عمق کم شکل‌گیری ماگما دارد [۲۲]. برای مشخص کردن نرخ ذوب و عمق شکل‌گیری ماگمای تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی از نمودار Sm/Yb-La/Sm نیز استفاده شد (شکل ۸). در واقع این نمودار به عنوان نمودار MREE/HREE در مقابل LREE/MREE بود که تضمین‌کننده‌ی خاستگاه ذوب گارنت-لرزلولیت یا اسپینل-لرزلولیت است. زمانی که اسپینل-لرزلولیت در معرض ذوب بخشی قرار می‌گیرد، گوشته و گدازه‌ی حاصل از گوشته، مقادیر یکسان Sm/Yb داشت، در حالی که مقدار La/Sm با افزایش درجه‌ی ذوب بخشی کاهش می‌یابد [۲۳]. از طرفی عنصر Yb دارای ضریب توزیع بالا در کانی گارنت نسبت به اسپینل است، بنابراین ذوب بخشی گوشته گارنت‌دار، روندی آنگونی تولید می‌کند که به‌طور مشخص، از روند گدازه‌ی گوشته اسپینل‌دار تمیز داده می‌شود. این پدیده با توجه به نمودار شکل ۸ خاستگاه ذوب بخشی اسپینل-گارنت لرزلولیت را برای این سنگ‌های آتشفشانی مشخص می‌کند [۲۴]. چنانکه مشخص است سنگ‌های

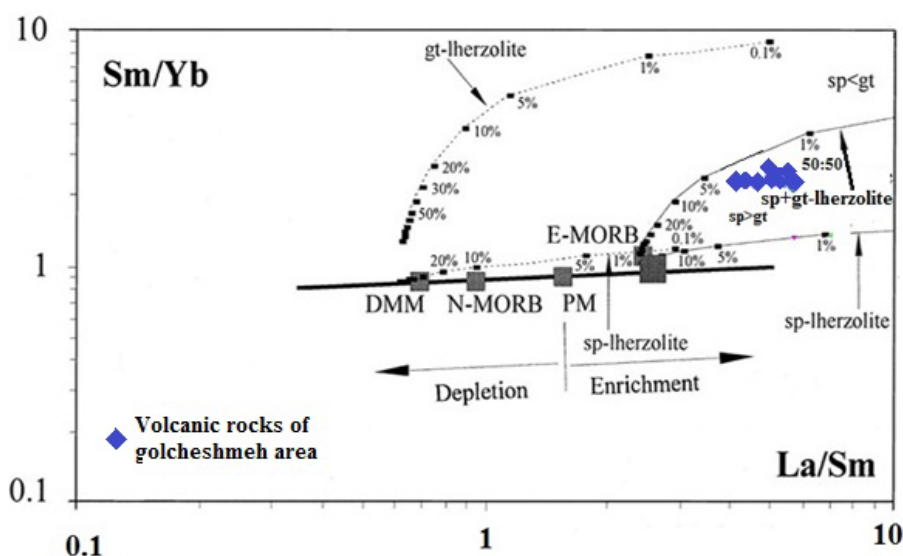
آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی دارای نرخ ذوب بخشی پایین از ۲ تا ۵ درصد بوده وجود اندک گارنت در خاستگاه با نسبت پایین $(\text{La/Yb})_N$ و $(\text{Ce/Yb})_N$ همخوانی دارد. بر این اساس نمونه‌های بررسی شده در منطقه‌ی گل چشمه در گستره‌ی اسپینل-گارنت لرزلولیتی گوشته‌ی غنی شده با ذوب پایین ۲ الی ۵ درصد قرار می‌گیرند بنابراین به نظر می‌رسد که گدازه‌ی منطقه گل چشمه از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای که در اثر تماس با شاره‌های مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورونده نئوتتیس، از عناصر کمیاب غنی شده است ریشه گرفته باشند.

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی گل چشمه مشتمل بر آندزیت، تراکی آندزیت و تراکی آندزیت بازالتی هستند که توف و سنگ آهک نیز در منطقه رخمون دارند. این سنگ‌ها دستخوش دگرسانی آرژیلیک، کربناتی و پروپلیتیک شده‌اند و بافت اصلی آن‌ها پورفیری با زمینه‌ی ریز دانه تا میان دانه و گاهی شیشه ای است که بافت‌های فرعی بادامکی، جریانی، پویی کلیتیک، گلومروپورفیری نیز در بعضی بخش‌ها قابل مشاهده است. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند سازندگان اصلی این سنگ‌ها هستند. براساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، سنگ‌های آتشفشانی محدود مورد بررسی جزء بافت آهکی-قلیایی محسوب می‌شوند. نمودارهای زمین‌ساختی و ژئوشیمی کل سنگ‌های منطقه بیانگر محیط زمین-ساختی قوس آتشفشانی قاره‌ای است. غنی‌شدگی در عناصر LREE نسبت به عناصر HREE در تمامی سنگ‌های آتشفشانی منطقه دیده می‌شود که از سرشتی‌های ماگمای تشکیل شده در منطقه‌های فرورانشی حاشیه‌ی قاره‌ای است. بیهنجاری منفی عناصر Ti ، Rb و Nb در سنگ‌های منطقه می‌تواند نشان از شکل‌گیری سنگ‌ها در منطقه‌ی فرورانش باشد. در مناطق فرورانش شاره‌های آزاد شده از لیتوسفر که از Nb فقیر و حاوی LILE بالایی هستند، به گوه‌ی گوشته‌ای افزوده می‌شوند. ماگمای تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های آتشفشانی در مناطق فرورانش معمولاً از گوه‌ی گوشته‌ای، شاره‌ها و گدازه‌های آبدار مشتق از پوسته اقیانوسی فرورو ریشه می‌گیرند [۲۵]. درجه‌ی ذوب بخشی پایین در گوشته به‌عنوان خاستگاه تشکیل دهنده‌ی ماگمای سنگ‌های منطقه، به وسیله‌ی تمرکز بالای عناصر فرعی ناسازگار و غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE تشخیص داده شد. بر اساس تجزیه شیمیایی،



شکل ۷ تعیین موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی گل چشمه الف) با استفاده از عناصر کمیاب Th/Zr نسبت به Nb/Zr نمونه-ها در گستره‌ی منطقه‌ی فروانش قرار می‌گیرند [۲۱، ۲۰]. ب) و در نمودار عناصر نادر Th/Yb نسبت به Ta/Yb در گستره‌ی حاشیه قاره فعال واقع می‌شوند [۲۱، ۱۶].



شکل ۸ نمودار Sm/Yb در مقابل La/Sm ، منحنی‌های ذوب در این نمودار براساس گوشته‌ی اسپینل-لرزلیتی و گوشته‌ی گارنت لرزلیتی محاسبه شده‌اند، نمونه‌های مورد بررسی در گستره اسپینل-گارنت لرزلیتی قرار می‌گیرند [۲۳].

[2] Berberian M., King G. C. P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Sciences, 18 (1981) 210-265.

[3] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East, scale 1:2,900,000", Geological Survey of Iran (1991).

[4] Middlemost E. A. K., "Naming materials in the magma igneous system", Earth-Science Reviews, 37 (1994) 215-224.

[5] Irvine T. N., Bargar W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, 8 (1971) 523-548.

سنگ‌های مورد بررسی دارای K_2O بالا و MgO پایین هستند، این ویژگی شیمیایی و نیز روند قرارگیری سنگ‌ها در نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb (شکل ۷ ب) می‌تواند نشانی از جدایش ماگمایی و تبلور جدایشی در سنگ‌های منطقه باشد. نتایج عناصر خاکی نادر نشان می‌دهد که ماگمای مولد سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نظر خاستگاه از اسپینل-گارنت لرزلیتی ریشه گرفت که مقدار گارنت آن کم و دارای آلودگی پایین پوسته‌ای است.

مراجع

[1] Ruttner A., Stöcklin J., "Geological map of Iran, scale 1:1000, 000", Geological Survey of Iran" (1967).

- bearing lithospheric mantle source, *Western Anatolia*", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 185(3) (2009) 181–202.
- [17] Sengor A. M. C., "A new model for the late Palaeozoic-Mesozoic tectonics evolution of Iran and implications for Oman. In: Robertson, A. H. F., Searle, M. P. and Ries, A. C. (Eds.) *the geology and tectonics of the Oman region*", Geological Society of London Special Publication 49(1990) 797-831.
- [18] Avanzinelli R., Elliott T., Tommasini S., Conticeli S., "Constraints on the genesis of potassium-rich Italian volcanic rocks from U/Th disequilibrium", Journal of petrology, 49 (2008) 195-223.
- [19] Taylor S. R., McLennan S. M., "The continental crust, its composition and evolution, an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks", Blackwell, Oxford (1985) 312 pp.
- [20] 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) Pp. 230-249.
- [21] Asiabanha A, Bardintzeff JM, Kananian A, Rahimi G., "Post-Eocene volcanics of the Abazar district, Qazvin, Iran: Mineralogical and geochemical evidence for a complex magmatic evolution", Journal Asian Earth Science, 45(2012) 79–94
- [22] Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G., "Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollision volcanism in western Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 102(2000) 67– 95.
- [23] Cotton J., Le Dez A., Bau, M., Caroff M., Maury R. C., Dulski P., Fourcade S., Bohn M., Brousse R., "Origin of anomalous rare earth element and yttrium enrichments in subaerially exposed basalts, evidence from French Polynesia", Chemical Geology, 119 (1995) 115-138.
- [24] Shaw D.M., "Trace element fractionation during anatexis", Geochim et Cosmochim. Acta, 34(1970) 237-243.
- [25] Pearce J.A., Peate D.W., "Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas", Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 23 (1995) 251-285.
- [6] Thompson R. N., "Magmatism of the British Tertiary volcanic province", Scottish Journal of Geology, 18(1982) 49-107.
- [7] Sun S.S., Mc Donough W.F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D., Norry M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean basins*", Geological Society of London special publication, 42 (1989) 313–345.
- [8] Boynton W.V., "Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies", P.Henderson, (Editor), Rare Earth Element Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, (1984) 63–114.
- [9] Yang W., Li Sh., "Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton", Lithos, 102 (2008) 88-17.
- [10] Kuscü G.G., Geneli F., "Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex", International Journal of Earth Sciences, 99 (2010) 593-621.
- [11] Rivera M., Thouret J.C., Gourgaud A., "The 2006–2009 activity of the Ubinas volcano (Peru): Petrology of the 2006 eruptive products and insights into genesis of andesite magmas, magma recharge and plumbing system", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 270 (2014) 122–141.
- [12] Brewer T. S., Daly J. S., Åhäll K.-I., "Contrasting magmatic arcs in the alaeoproterozoic of the south-western Baltic Shield", Precambrian Research, 92(1998) 297-315.
- [13] Kampunzu A. B., Tombale A. R., Zhai M., Bagai Z., Majaule T., Modisi M. P., "Major and trace element geochemistry of plutonic rocks from Francistown, NE Botswana: evidence for a Neoproterozoic continental active margin in the Zimbabwe canton", Lithos, 71(2)(2003) 431-60.
- [14] Wilson B. M., "Igneous petrogenesis a global tectonic approach", Springer, first edition, (2007) 485pp.
- [15] Borg L.E., Clyne M.A., Bullen T.D., "The variable role of slab derived fluids in the generation of a suite of primitive calcalkaline lavas from the Southernmost Cascades, California", Canadian mineralogist, 35(1997) 425–452.
- [16] Helvacı C., Ersoy E.Y., Sözbilir H., Erkül F., Sümer Ö., Uzel B., "Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole-