

زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین مافیک منطقه باغچه‌غاز (شمال شرق استان همدان): با تاکید بر منشأ و محیط تکتونیکی

سمیه اسدیگی^۱ و حسین شهبازی^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

نویسنده مسئول: *Shahbazi@basu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۶ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱

چکیده

توده نفوذی باغچه‌غاز، در استان همدان و در شمال شرق شهرستان فامنین در زون سنندج- سیرجان پروند دارد. بر اساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی نوع سنگ تشکیل دهنده توده گابرو می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیزهای زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها وابسته به سری ماگمایی کالکوالکان و تولیتی هستند. روندیابی تشکیل شده در نمودارهای هارکر و پیوستگی ژئوشیمیایی آن‌ها، الگوهای نمودارهای عنکبوتی و موازی بودن روند این نمودارها و وجود غنی‌شدگی در عناصر K و Pb و تهی‌شدگی در Nb خاستگاه مشترک نمونه‌ها را تأیید می‌نماید و نشانگر درگیری ماگما با پوسته‌ی قاره‌ای است. ماهیت و ترکیب شیمیایی سنگ‌های منطقه دستخوش فرایندهای ماگمایی چون تبلور تفریقی و آلاش شده‌اند. الگوی تغییرات عناصر خاکی نادر و کمیاب به‌نجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه نشان می‌دهند که مقادیر عناصر خاکی نادر LREE از عناصر خاکی سنگین HREE بیشتر است. نمودارهای مربوط به عناصر جزئی نشان می‌دهد ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین توده نفوذی باغچه‌غاز از گوشته با ترکیب اسپینل لرزولیت و با درجه ذوب بخشی کم تا متوسط (۵٪ تا حدود ۳۰٪) منشأ گرفته و در یک محیط فرورانش و قوس‌های آتشفشانی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: گابرو، زمین‌شیمی، سنگ‌شناسی، زون سنندج- سیرجان

۱- پیشگفتار

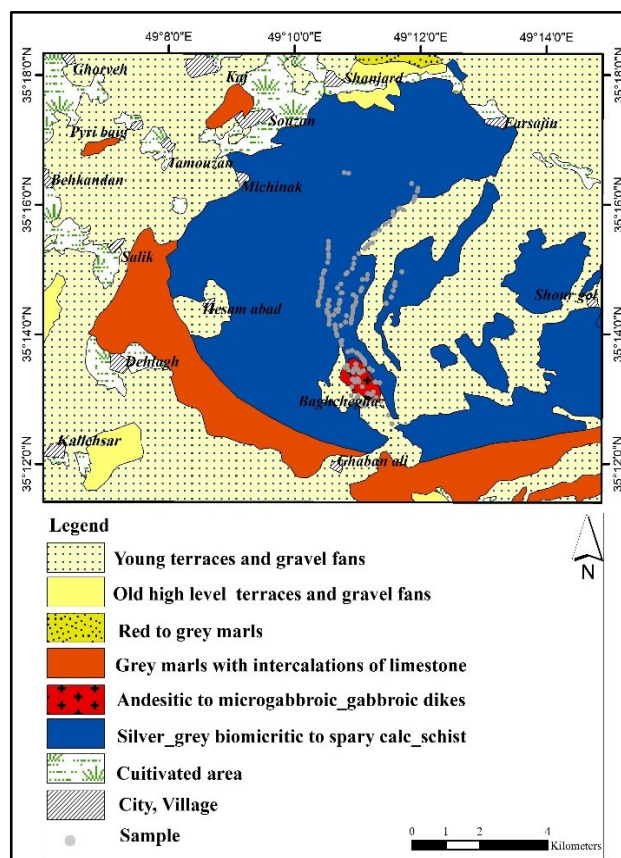
توده نفوذی باغچه‌غاز در ۹۵ کیلومتری شمال شرق همدان و در بخش شمالی زون سنندج - سیرجان واقع شده که به داخل سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک منطقه نفوذ کرده است، با توجه با اینکه این سنگ‌ها به داخل سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک نفوذ کرده‌اند و همچنین با توجه به اطلاعات مندرج در نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مبنی بر اینکه در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های قدیمی‌تر از تریاس وجود ندارد، بنابراین سن این سنگ‌ها را می‌توان معادل سنگ‌های گابروئیدی الوند به سن ژوراسیک میانی در نظر گرفت، ولی سن دقیق آن‌ها مشخص نیست و تعیین سن آن‌ها یکی از اهداف رساله دکتری نویسنده اول این مقاله است. توده‌های نفوذی متعددی در زون سنندج سیرجان مربوط به دوران مزوزوئیک (غالباً به مربوط به دوره ژوراسیک) با ترکیب بازیک و حدواسط یا به طور مستقل و یا همراه با توده‌های نفوذی اسیدی توسط پژوهشگران متعدد بررسی و گزارش گردیده‌اند که مواردی

از آن‌ها عبارت‌اند از: توده نفوذی چاه‌قندی نی‌ریز توسط مؤذن و همکاران (۲۰۰۶)، توده نفوذی بروجرد توسط احمدی‌خلجی و همکاران (۲۰۰۷)، توده نفوذی الوند توسط شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)، توده‌های نفوذی بخش شمالی زون سنندج- سیرجان توسط محمودی و همکاران (۲۰۱۱)، توده نفوذی الیگودرز توسط اثنی‌عشری و همکاران (۲۰۱۲)، توده نفوذی مریوان و گزارشی از توده‌های نفوذی زون سنندج- سیرجان توسط سپاهی و همکاران (۲۰۱۴)، توده نفوذی بوئین - میان‌دشت توسط توکلی و همکاران (۲۰۱۹)، توده نفوذی الوند توسط عزیزی و همکاران (۲۰۲۴). در این پژوهش توده نفوذی باغچه‌غاز مورد بررسی صحرایی، میکروسکوپی، ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن‌ها نشان می‌دهد، توده نفوذی باغچه‌غاز از گابرو تشکیل شده و فرآیندهای ماگمایی از قبیل تبلور بخشی، آلاش پوسته‌ای، نوع سنگ منشأ و درجه ذوب بخشی در تکوین توده نفوذی باغچه‌غاز نقش داشته‌اند.

۲- زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی

توده‌های نفوذی باغچه‌غاز در شمال‌شرق شهرستان فامنین در استان همدان و از نظر ساختاری در زون سنندج - سیرجان قرار دارد. زون سنندج - سیرجان تحت تاثیر پدیده‌های متنوعی از جمله: فعالیت‌های ماگمایی، تکتونیکی و پدیده‌های وابسته فعال و کارساز بوده که تاثیر بسزایی در سرنوشت و تکامل زمین‌شناسی منطقه داشته است، لذا به نظر می‌رسد که مطالعه پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین بازیک این منطقه جهت روشن شدن نوع این حوادث لازم می‌باشد. این توده بین روستاهای دهلق، حسام‌آباد، قباب‌قلی و شورگل قرار دارد. توده نفوذی باغچه‌غاز به‌داخل سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک منطقه نفوذ کرده است، با توجه به اینکه این سنگ‌ها به داخل سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک نفوذ کرده‌اند و همچنین با توجه به نقشه زمین‌شناسی که در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های قدیمی‌تر از تریاس وجود ندارد، بنابراین سن این سنگ‌ها را می‌توان معادل

سنگ‌های گابروئیدی الوند به سن ژوراسیک میانی در نظر گرفت ولی سن دقیق آن‌ها مشخص نیست. بر اساس شواهد زمین‌شناسی سنگ‌های آذرین منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ رزن از نوع دایک‌های آندزیتی تا میکروگابروبی - گابروبی معرفی شده‌اند (شکل ۱) که به‌صورت یک استوک در عمق زیاد تشکیل شده است. این توده نفوذی به‌صورت تپه‌ماهور بوده که در برخی قسمت‌ها رخنمون یافته و در سطح زمین اکثراً با سطح ورنی‌شده (آغشتگی به اکسید آهن) قابل مشاهده می‌باشند. نوع سنگ‌های آذرین، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی آن‌ها بر پایه بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی تعیین شده است. تبلور تفریقی، ذوب‌بخشی و آرایش عواملی هستند که در شکل‌گیری سنگ‌هایی با ترکیب مختلف از یک خاستگاه نقش دارند. در این پژوهش تاثیر فرایندهای نام برده در شکل‌گیری سنگ‌های آذرین توده آذرین باغچه‌غاز بررسی شده است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی رزن

Fig. 1. Geological map of the studied area based on the 1:100,000 geological map of Razi

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۰۰ نمونه طی ۶ روز عملیات صحرائی با رعایت اصول نمونه‌برداری چون تغییرات سنگ‌شناسی برداشت شد (شکل ۲). از این تعداد ۴۵ مقطع نازک میکروسکوپی در کارگاه مقطع‌گیری گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا تهیه گردید و توسط میکروسکوپ پلاریزان بررسی شدند. سپس تعداد ۱۲ نمونه

سنگی برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه شرکت مطالعاتی مواد معدنی زرا‌ما ارسال شد. مقادیر عناصر اصلی به روش ذوب قلیایی و توسط طیف‌سنج نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) و عناصر کمیاب توسط طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) اندازه‌گیری شدند. این داده‌ها توسط نرم‌افزارهای Excel, Photoshop, Arc GIS, Google Earth پردازش شدند.



شکل ۲. نقشه Google Earth منطقه مورد بررسی و موقعیت نمونه‌برداری
Fig. 2. Google Earth map of the study area and sampling location

۴- سنگ‌نگاری

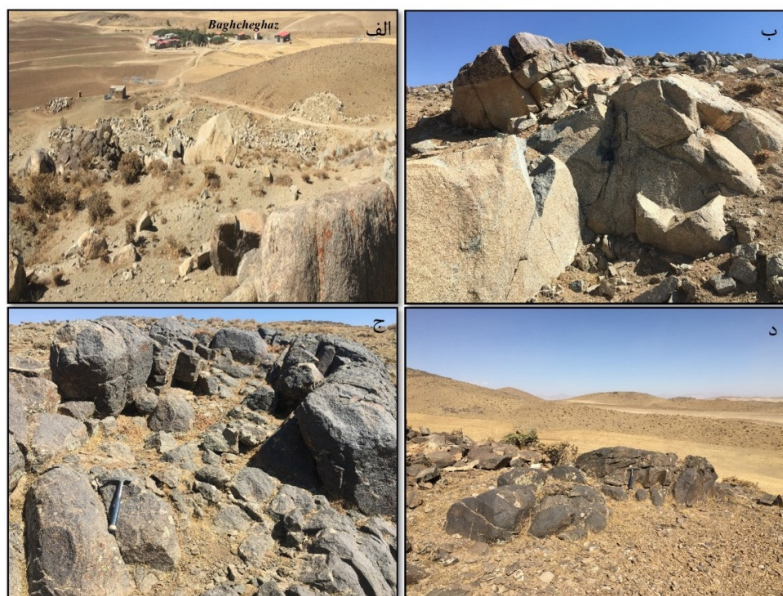
توده آذرین باغچه‌غاز از گابرو تشکیل شده که نمونه‌های گابروئی مطالعه شده دارای ساخت توده‌ای و از نظر ضریب رنگینی ملانوکرات تا مزوکرات و ندرتا به صورت لوکوکرات هستند و در نمونه دستی رنگ خاکستری تیره دارند و دارای دانه‌بندی ریز تا متوسط دانه و در برخی نمونه‌ها درشت دانه هستند (شکل ۳). بافت غالب در نمونه‌های مورد مطالعه گرانولار، افیتیک، ساب‌افیتیک می‌باشد (شکل ۴). کانی‌های اصلی و روشن عبارتند از: پلاژیوکلاز (۷۰-۵۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلازها نیمه‌شکل‌دار بوده و تکتونیزه شده‌اند، دارای ماکل پلی‌سنتتیک بوده و در برخی موارد اپیدوتی، کلریتی و سرسیتی شده‌اند که بیانگر حضور سیال می‌باشد. از کانی‌های روشن دیگر می‌توان به کوارتز اشاره کرد که به میزان کم وجود دارد. از کانی‌های فرومنیزین کلینوپیروکسن ۲۵ - ۵ درصد حجمی، اورتوپیروکسن ۵-۰ درصد حجمی می‌باشند، کلینوپیروکسن با توجه به مشخصات نوری آن شامل خاموشی مایل (با زاویه خاموشی حدود ۴۰ درجه)، رنگ تداخلی آن (سبز کم‌رنگ، چندرنگی سبز تا زرد و صورتی کم‌رنگ) احتمالاً از نوع اوژیت می‌باشد. کانی‌های پیروکسن بصورت نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شوند. از کانی‌های فرعی کانی‌های فلزی را می‌توان نام برد.

کانی‌های ثانویه شامل اپیدوت و کلریت می‌باشند که اپیدوت‌ها و کلریت‌ها از دگرسانی پلاژیوکلازها ایجاد شده‌اند که در اثر عملکرد سیالات گرمایی می‌باشد. از کانی‌های ثانویه دیگر می‌توان به کوارتز اشاره کرد که به میزان کم وجود دارد.

زمین‌شیمی: نتایج بررسی شیمیایی عناصر اصلی و جزئی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار SiO_2 نمونه‌ها از ۴۶/۳۵ درصد وزنی تا ۵۲/۳۹ درصد وزنی متغیر است و بیشتر سنگ‌ها بازیک و کمتر به سمت حدواسط کشیده شده‌اند. به منظور تعیین سری‌های ماگمایی منطقه از نمودارهای AFM استفاده شد. بر اساس نمودار AFM نمونه‌ها در گستره کالکوالکالن و تولیتی قرار گرفته‌اند (شکل الف ۵). در نمودار رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های آذرین بر اساس تغییرات $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 سنگ‌های نفوذی در گستره گابرو جای می‌گیرند. (شکل ب ۵). نمودارهای مربوط به تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در مقابل تغییرات MgO در تحولات ماگمایی، معروف به نمودارهای هارکر نشان می‌دهند که یک رابطه مستقیم بین تغییرات مربوطه مقادیر Al_2O_3 , CaO , Cr , Ni در مقابل تغییرات MgO وجود دارد. یعنی با کاهش مقدار MgO ، مقدار عناصر Al , Ca , Cr , Ni نیز کاهش پیدا

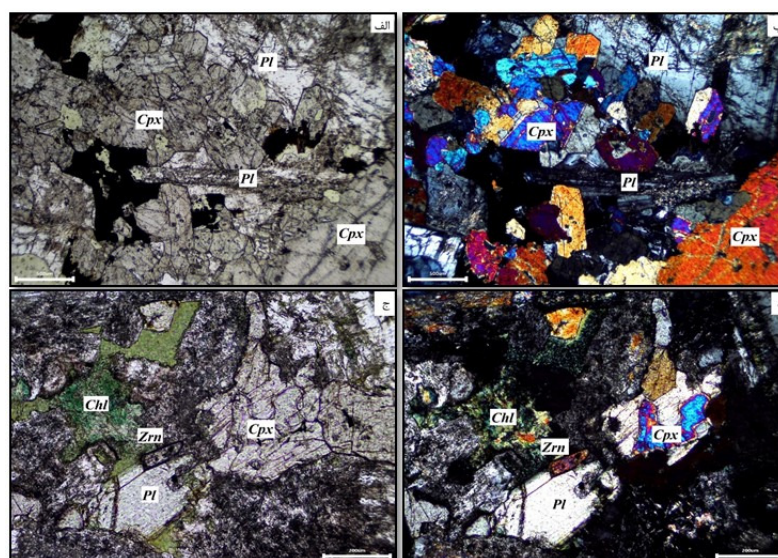
نادر خاکی (REE) به هنجار شده به مقادیر کندریت و گوشته‌ی اولیه نشان می‌دهد روند تغییرات در نمونه‌های مورد مطالعه کم و بیش به موازات هم هستند و تمامی نمونه‌ها نسبت به کندریت و گوشته‌ی اولیه غنی‌شدگی دارند (شکل‌های ۷ و ۸).

کرده‌است (شکل ۶). همچنین یک رابطه معکوس بین تغییرات مقادیر P_2O_5 , Na_2O , Ce, Ba در مقابل تغییرات MgO در نمودارهای مذکور دیده می‌شود. یعنی با کاهش مقدار MgO، مقدار عناصر P, Na, Ce, Ba افزایش پیدا کرده است (شکل ۶). نمودار الگوی عناصر جزئی و عناصر



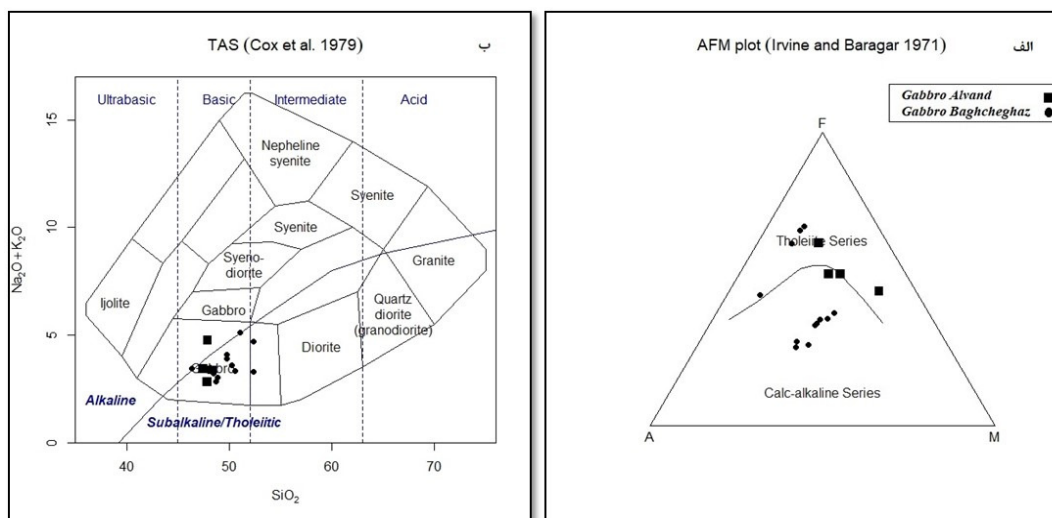
شکل ۳. تصاویر صحرایی منطقه باغچه‌غاز: الف: نمای کلی از روستای باغچه‌غاز دید به سمت جنوب، ب: گابرو منطقه باغچه‌غاز دید به سمت جنوب‌شرق، ج: گابرو منطقه باغچه‌غاز دید به سمت شمال‌شرق و د: دیوریت منطقه باغچه‌غاز دید به سمت شمال‌شرق

Fig. 3. Field images of Baghche-Ghaz region: A: General view of Baghche-Ghaz village looking towards the south, B: Gabbro of Baghche-Ghaz region looking towards the southeast, C: Gabbro of Baghche-Ghaz area looked towards the North-East, D: The Diorite of Baghche-Ghaz area looked towards the North-East



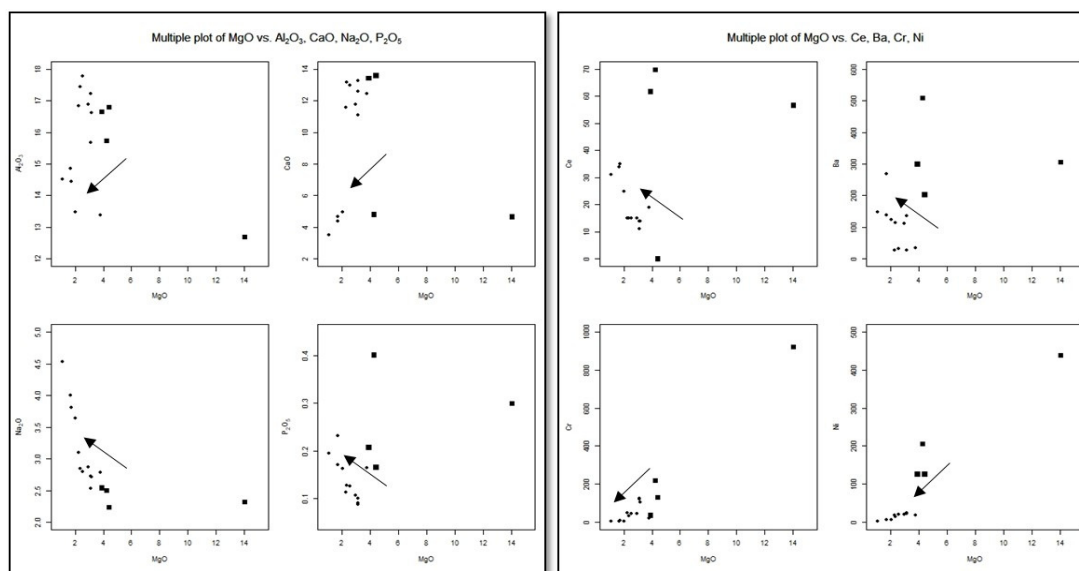
شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی گابرو منطقه باغچه‌غاز، الف: بافت گرانولار در سنگ گابرو در نور ppl، ب: بافت گرانولار در سنگ گابرو در نور xpl، ج: کانی زیرکن در سنگ گابرو در نور ppl، د: کانی زیرکن در سنگ گابرو در نور xpl

Fig. 4. Microscopic images of Gabbro in Baghche-Ghaz region, a: Granular texture in Gabbro rock in ppl light, b: Granular texture in Gabbro rock in xpl light, c: Zircon mineral in Gabbro rock in ppl light, d: Zircon mineral in Gabbro rock in xpl light



شکل ۵. الف: تعیین سری ماگمایی با استفاده از نمودار مثلثی AFM (ایروین و باراگار، ۱۹۷۱) و ب: نمودار رده‌بندی SiO_2 در مقابل $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ منطقه مورد مطالعه (کاکس و همکاران، ۱۹۷۹)، نماد دایره اقتباس از محمدی تبار (۱۳۹۷)، نماد مربع اقتباس از شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)

Fig. 5. A: Determination of the magmatic series using AFM triangulation diagram of Study area (Irvin and Baragar, 1971), b: Classification diagram of SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ of Study area (Cox et al., 1979). The circle symbol is adapted from Mohammadi Tabar (2019), the square symbol is adapted from Shabbazi et. al. (2010)



شکل ۶. نمودارهای هارکر عناصر اصلی و جزئی. نماد دایره اقتباس از محمدی تبار (۱۳۹۷)، نماد مربع اقتباس از شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)

Fig. 6. Harker diagrams of major and minor elements. The circle symbol is adapted from Mohammadi Tabar (2019), the square symbol is adapted from Shabbazi et. al. (2010)

۵- بحث

تفریق، مقدار عناصر Al ، Ca ، Cr ، Ni در ماگمای باقی‌مانده نیز کاهش پیدا کرده است (شکل ۶). همچنین یک رابطه معکوس بین تغییرات مقادیر P_2O_5 ، Na_2O ، Ce ، Ba در مقابل تغییرات MgO در نمودارهای مذکور دیده می‌شود. یعنی با کاهش مقدار MgO در طی فرایندهای تحول ماگمایی از قبیل تبلور و تفریق، مقدار عناصر P ، Na ، Ce ، Ba در ماگمای باقی‌مانده افزایش پیدا کرده است (شکل

نمودارهای مربوط به تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در مقابل تغییرات MgO در تحولات ماگمایی، معروف به نمودارهای هارکر نشان می‌دهند که یک رابطه مستقیم بین تغییرات مربوطه مقادیر Al_2O_3 ، CaO ، Cr ، Ni در مقابل تغییرات MgO وجود دارد. یعنی با کاهش مقدار MgO در طی فرایندهای تحول ماگمایی از قبیل تبلور و

نشان می‌دهند، که شاخص محیط‌های فرورانش است (شکل ۷ ب). در این نمودار مشاهده می‌شود که K و Pb دارای آنومالی مثبت و Nb دارای آنومالی منفی هستند، که این شاخصه‌ها در الگوی عناصر کمیاب بیانگر آغشتگی ماگما با پوسته قاره‌ای هستند (مک‌لنن و تیلور، ۱۹۸۵؛ هافمن، ۱۹۹۷)، همچنین غنی‌شدگی در عناصر LILE می‌تواند به دلیل آغشتگی ماگما با پوسته‌ی قاره‌ای باشد. بنابر عقیده‌ی ویلسون، چاپل و وایت (۱۹۸۹) آنومالی منفی Ba-Ti-Nb در سنگ‌های ماگمایی بیانگر تشکیل این سنگ‌ها در محیط فرورانش است. در این نمودار نمونه‌های مورد مطالعه یک غنی‌شدگی نسبی از LILE و یک تهی‌شدگی از HFS نشان می‌دهند که می‌تواند نشانگر این باشد که سنگ مادر ماگما دارای گارنت و پیروکسن بوده که در ذوب شرکت نکرده و عناصر جزئی سنگین را در گوشته‌ی دیر گداز نگه داشته‌اند (رولینسون، ۱۹۹۳). غنی‌شدگی از عناصر LILE نسبت به HFS و مقدار کم Nb، Ti و Zr وابستگی این سنگ‌ها را به سری کالک‌آلکالن نشان می‌دهد (نلسون، ۲۰۰۴ و ماچادو و همکاران، ۲۰۰۵). تفکیک و غنی‌شدگی عناصر REE سبک نسبت به سنگین در نمودار به هنجار شده عناصر REE نسبت به گوشته اولیه و کندریت می‌تواند بر اثر حضور ارتوپروکسن و کلینوپروکسن باشد و تفريق آن‌ها از ماگما در مراحل اولیه تبلور باشد (شکل ۸). در مایع‌های بازالتی و آندزیتی عناصر خاکی کمیاب در تمام کانی‌ها ناسازگارند و فقط اندکی تفکیک می‌شوند و تهی‌شدگی عناصر خاکی سنگین نسبت به سبک به احتمال زیاد نشان‌دهنده وجود گارنت در منشاء است. آنومالی منفی Pr از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) احتمالاً ناشی از آلیش ماگما به مواد پوسته‌ای با مقادیر کم از عنصر Pr نسبت داد. مضافاً اینکه به طور کلی عناصر دارای عدد اتمی فرد فراوانی کمتری نسبت به عناصر دارای عدد اتمی زوج هستند. نمودار تغییرات Y-Zr مبین نقش فرایند تبلور تفریقی در تکوین سنگ‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۹ الف). نمودار تغییرات Rb در مقابل Rb/Th ارائه شده توسط چامنی و همکاران (۲۰۰۶) و نمودار تغییرات نسبت La/Yb در مقابل La ارائه شده توسط پینتو-لینارس و همکاران (۲۰۰۸) گویای نقش تبلور تفریقی در تکوین ماگمای بازیک در سنگ‌های گابرونی مورد مطالعه می‌باشد (شکل‌های ۹ ب و ۹ ج). در نمودار تغییرات نسبت Ce/Pb در مقابل MgO (wt%) ارائه

۶). پدیده‌های مذکور را می‌توان به تبلور و تفريق کانی‌های کلینوپروکسن در مراحل ابتدائی تحولات ماگمایی نسبت داد. بطوری‌که همراه با خارج شدن عنصر Mg از ماگما توسط تبلور و تفريق کانی‌های کلینوپروکسن و کاهش مقدار آن در ماگمای باقی‌مانده، عناصر Cr, Ni نیز به طریق جایگزینی به جای Mg در ترکیب کلینوپروکسن و عناصر Al, Ca به طریق شرکت در شبکه بلور کلینوپروکسن از ماگما خارج شده و مقدار آن‌ها در ماگمای باقی‌مانده با کاهش Mg، کاهش پیدا نموده است. به تبع کاهش عناصر مذکور (Al, Ca, Cr, Ni) در اثر تفريق و تبلور کلینوپروکسن در مراحل ابتدایی تحولات ماگمایی و خارج شدن آن‌ها از ماگما، به طور نسبی مقدار عناصر P, Na, Ce, Ba در ماگمای باقیمانده افزایش پیدا کرده است، لذا در نمودار تغییرات عناصر مذکور (P, Na, Ce, Ba) در مقابل تغییرات MgO یک رابطه معکوس دیده می‌شود (شکل ۶). نمودار عناصر جزئی به هنجار شده به مقادیر کندریت نشان می‌دهد روند تغییرات در نمونه‌های مورد مطالعه کم و بیش به موازات هم است (شکل ۷ الف)، این پدیده حاکی از خاستگاه مشترک نمونه‌ها می‌باشد (هاربیش، ۲۰۱۰ و ماچادو، ۲۰۰۵). رولینسون (۱۹۹۳) معتقد است که شیب منفی در نمودارهای عناصر جزئی، از تفکیک کانی‌هایی که محتوی این عناصر هستند در مراحل اولیه تبلور حکایت دارد. آنومالی منفی Nb در مقایسه با سایر عناصر بسیار ناسازگار ممکن است بارزترین ویژگی ژئوشیمیایی ماگماهای تولید شده در زون فرورانش (حاشیه فعال قاره‌ای) باشد (رولینسون، ۱۹۹۳). افزون بر این آنومالی منفی Nb از ویژگی‌های آشکار سنگ‌های قاره‌ای است، بنابراین آنومالی منفی ماگماهای گوشته‌ای از این عنصر می‌تواند ناشی از آلیش این ماگماها با مواد پوسته‌ای در خلال صعود و جایگزینی باشد. همچنین در محیط‌های فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی به زیر پوسته‌ی قاره‌ای فازهای دیرگداز مانند ایلمنیت و روتیل در پوسته‌ی اقیانوسی دگرگونی فرورونده پایدار بوده، عناصر HFS مانند Nb و Ta را در خود نگه داشته و با جلوگیری از مشارکت آن‌ها در ماگماهای حاصل از این منابع، سبب ایجاد آنومالی منفی آن‌ها در ماگماهای حاصله می‌شوند (ناگودی و همکاران، ۲۰۰۳؛ رولینسون، ۱۹۹۳؛ بوگوچ و همکاران، ۲۰۰۲). نمودار به هنجار شده عناصر جزئی به گوشته اولیه نشان می‌دهد تمامی نمونه‌ها نسبت به گوشته‌ی اولیه غنی‌شدگی

(رادنیک و فونتاین، ۱۹۹۵). میانگین نسبت Ce/Pb در نمونه‌های مورد مطالعه در حدود ۲/۷ بوده لذا آرایش مذاب بازالتی تشکیل دهنده سنگ‌های گابروئی منطقه مورد مطالعه به مواد پوسته‌ای در ترکیب نهایی سنگ‌های منطقه نقش موثری داشته است.

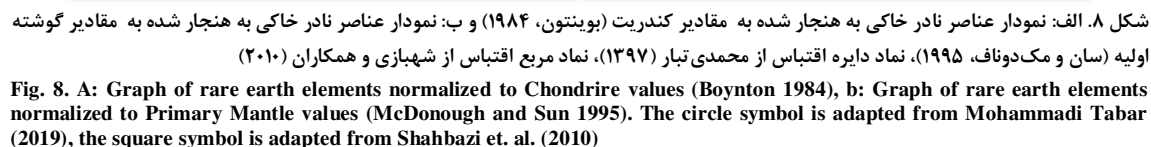
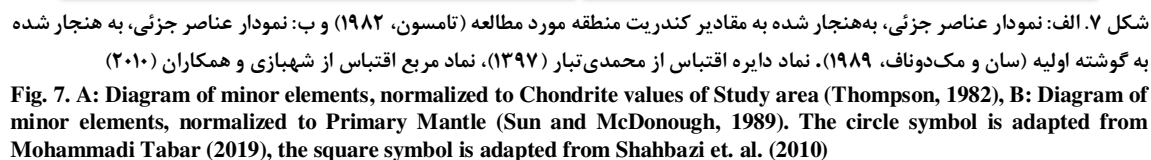
شده توسط فورمن (۲۰۰۷) نمونه‌های گابروئی منطقه مورد مطالعه در قلمرو ناحیه آرایش یافته با پوسته واقع شده‌اند (شکل ۹ د). میانگین نسبت Ce/Pb در مایعات بازالتی مشتق شده از گوشته در محدوده‌ی 25 ± 5 (هافمن و همکاران، ۱۹۸۶) و در پوسته‌ی قاره‌ای برابر ۳/۳ می‌باشد

جدول ۱. نتایج بررسی شیمیایی عناصر اصلی و جزئی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه، اقتباس از محمدی تبار (۱۳۹۷)

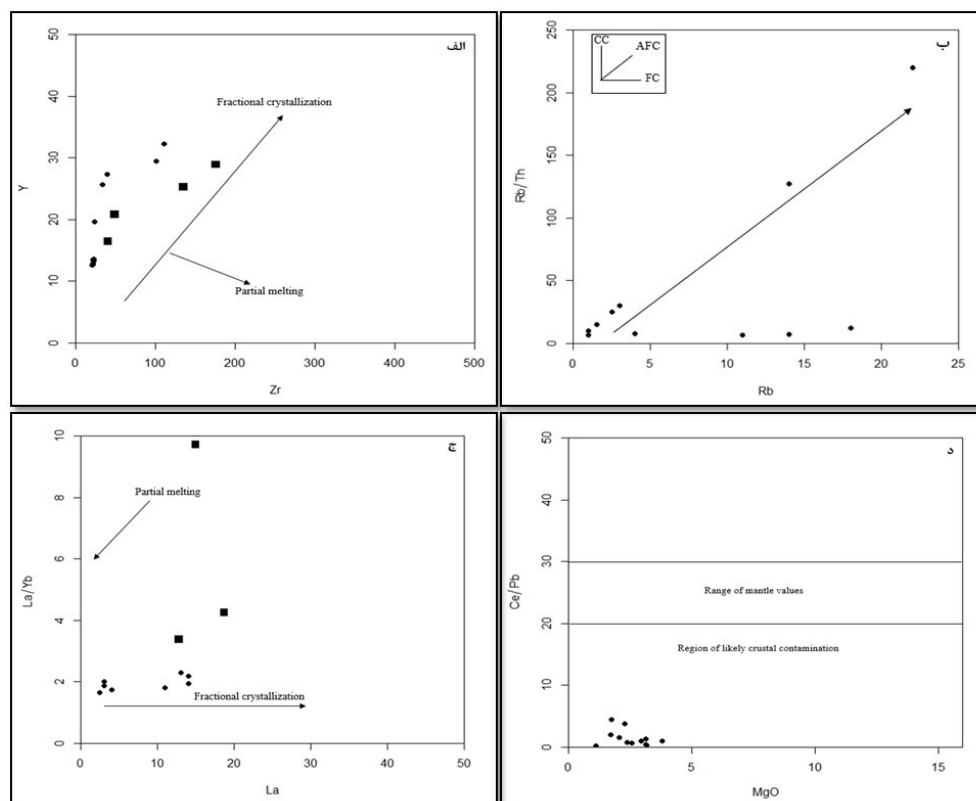
Table 1. The results of the chemical analysis of the main and minor elements of the sample, From Mohammadi Tabar (2019)

Lithological Composition	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro
N	13' 35°	35° 13'	35° 13'	13' 35°	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'
E	10.35"	3.97"	3.77"	3.97"	8.77"	40.1"	21.10"	45"	13.21"	12.77"	32.9"	12.11"
	49° 10'	49° 11'	11' 49°	11' 49°	49° 11'	49° 11'	49° 10'	49° 10'	49° 10'	49° 10'	49° 13'	49° 10'
	57.63"	3.03"	4.54"	9.72"	7.04"	16.6"	51.97"	56.67"	57.76"	52.51"	50.7"	51.62"
Samples	Jmt-104	Jmt-112	Jmt-113	Jmt-115	Jmt-118	Jmt-122	Jmt-125	Jmt-126	Jmt-142	Jmt-143	Jmt-144	Jmt-150
SiO ₂ (Wt %)	48.476	48.134	52.391	49.739	52.349	51.044	48.669	48.883	50.573	50.231	46.358	49.760
TiO ₂	1.047	1.089	1.042	4.186	2.417	1.601	1.084	1.117	1.057	1.117	1.139	1.716
Al ₂ O ₃	17.761	17.213	16.608	13.490	14.851	14.511	15.663	13.377	16.872	17.439	16.835	14.435
FeO	4.374	7.050	7.345	13.032	10.510	9.957	6.857	8.542	6.522	4.322	4.579	11.243
MnO	0.089	0.116	0.131	0.187	0.162	0.284	0.096	0.142	0.107	0.102	0.091	0.158
MgO	5.123	6.267	6.317	4.095	3.382	2.203	6.234	7.577	5.886	4.709	4.526	3.465
CaO	12.984	11.095	13.0264	9.906	9.360	7.023	12.564	12.410	11.767	13.138	11.585	8.786
Na ₂ O	2.792	2.724	2.709	3.639	4.003	4.529	2.527	2.782	2.863	2.85	3.103	3.812
K ₂ O	0.404	0.739	0.573	0.455	0.696	0.585	0.301	0.246	0.460	0.750	0.350	0.072
P ₂ O ₅	0.126	0.091	0.087	0.162	0.231	0.194	0.100	0.165	0.107	0.127	0.112	0.171
LOI	3.61	3.35	3.16	3.41	3.47	2.68	3.02	2.65	2.78	3.9	3.59	1.59
Total	96.786	97.868	103.908	102.301	101.431	94.611	97.115	97.891	98.994	98.685	92.268	95.208

Lithological Composition	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro	Gabbro
N	13' 35°	35° 13'	35° 13'	13' 35°	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'	35° 13'
E	10.35"	3.97"	3.77"	3.97"	8.77"	40.1"	21.10"	45"	13.21"	12.77"	32.9"	12.11"
	49° 10'	49° 11'	11' 49°	11' 49°	49° 11'	49° 11'	49° 10'	49° 10'	49° 10'	49° 10'	49° 13'	49° 10'
	57.63"	3.03"	4.54"	9.72"	7.04"	16.6"	51.97"	56.67"	57.76"	52.51"	50.7"	51.62"
Samples	SA-12	SA-29	SA-149	SA-168	SA-11	SA-15	SA-17	SA-66	SA-87	SA-93	SA-108	SA-129
V (ppm)	119	145	143	194	202	124	132	172	125	134	135	180
Cr	92	119	106	6	6	5	126	39	90	69	97	9
Co	21.7	26.3	24.8	35	26.6	24.1	24.6	30.9	22.7	20	21.7	28.8
Ni	41	47	44	12	11	3	48	38	42	30	36	6
Cu	45	57	59	30	20	10	49	62	48	42	45	19
Zn	40	52	103	108	83	431	37	54	45	46	40	82
Rb	6	22	14	8	18	11	2	2	5	22	3	14
Sr	351	464	443	210	584	346	329	550	408	343	359	403
Zr	45	42	44	66	101	79	46	47	46	44	44	111
Nb	8	7.5	8.7	3.2	8.5	3.6	7.9	9.3	8.5	7.9	8	3.1
Cs	4.9	8.8	7.8	1.3	2.6	1.4	3	1.4	9.3	7.2	3.4	2.3
Ba	63	135	137	123	268	147	55	69	111	115	54	139
Pb	24	29	59	17	17	240	11	21	16	19	4	8
Th	<0.1	<0.1	0.11	0.53	0.75	0.85	<0.1	0.32	<0.1	<0.1	<0.1	1.02
U	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4
Ta	0.6	0.57	0.71	0.27	0.43	0.27	0.65	0.72	0.65	0.6	0.63	0.26
Y	13.6	12.6	12.9	25.7	29.5	27.3	13.3	19.6	13.5	13.5	12.7	32.3
La	6	5	6	11	14	13	6	8	6	6	6	14
Ce	15	11	14	25	34	31	14	19	15	15	15	35
Pr	0.46	0.12	0.3	2.49	3.42	3.13	0.19	1.52	0.37	0.36	0.19	3.35
Nd	8	6.6	7.2	15.8	19.2	18.1	6.8	12.4	7.7	7.7	6.6	19.4
Sm	2.43	2.31	2.27	4.65	5.41	5.27	2.19	3.8	2.45	2.35	2.1	5.23
Eu	1	0.96	0.99	1.93	2.07	2.06	0.91	1.35	1.08	1.01	0.95	2.09
Gd	2.4	2.11	2.18	5.06	5.68	5.3	2.28	4.02	2.31	2.45	2.23	5.95
Tb	0.47	0.47	0.47	0.83	0.96	0.98	0.5	0.73	0.5	0.47	0.46	0.99
Dy	2.98	2.67	2.86	5.34	6.1	5.93	2.93	4.47	2.98	2.8	2.75	6.73
Er	1.8	1.61	1.73	3.3	3.73	3.51	1.73	2.67	1.72	1.7	1.56	4.11
Tm	0.22	0.24	0.26	0.49	0.55	0.51	0.23	0.39	0.25	0.25	0.22	0.61
Yb	1.5	1.5	1.6	3	3.2	2.8	1.6	2.3	1.5	1.5	1.5	3.6
Lu	0.25	0.25	0.25	0.48	0.51	0.47	0.25	0.39	0.26	0.23	0.22	0.56



محیط زمین‌ساختی: برای بررسی محیط زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از نمودارهای تفکیک زمین-ساختی مختلفی استفاده شد. همانطور که مشاهده می‌شود در نمودار مولن، $\text{MnO-TiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ ۱۹۸۳ نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی MORB و IAT واقع شده است (شکل ۱۰، الف). نمودار $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ (پیرس و همکاران، ۱۹۷۳)، که مرزهای متمایز کننده‌ی انواع جایگاه‌های زمین‌ساختی را بر پایه‌ی گستره ترکیب سنگ-های آتشفشانی امروزی نشان می‌دهد. با تصویر نمودن نمونه‌های مورد مطالعه بر این نمودار، نمونه‌ها در محدوده جزایر کمانی و حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرد (شکل ۱۰، ب). پیرس و گیل از این نمودار جهت تفکیک بازالت‌های درون صفحه‌ای از سایر انواع بازالت‌ها که

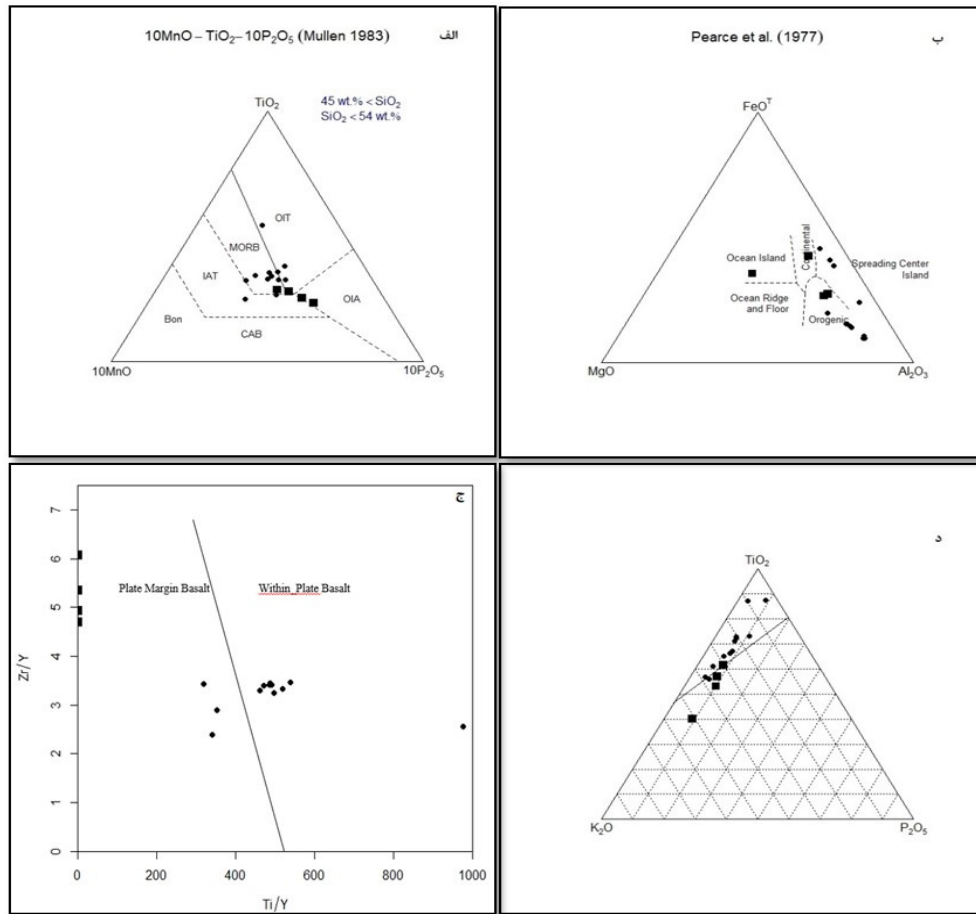


شکل ۹. الف: نمودار Y-Zr جهت بررسی روندهای ذوب بخشی و تبلور تفریقی در نمونه‌های مورد مطالعه، که روند خطی مثبت ایجاد شده در نمونه‌ها مبین نقش تبلور تفریقی در تکوین سنگ‌ها است (عبدالله و همکاران، ۱۹۹۷). ب: نمودار Rb/Th در مقابل Rb، چامنی و همکاران، (۲۰۰۶)، روند خطی با شیب مثبت نشانگر نقش تبلور تفریقی همراه با هضم و آلاش می‌باشد. CC=آلاش پوسته‌ای، AFC=تبلور تفریقی همراه با هضم و آلاش =FC=تبلور تفریقی. مقدار Rb بر حسب ppm می‌باشد، ج: نمودار La-La/Yb، (پینتو-لینارس و همکاران، ۲۰۰۸) نمونه‌ها تحت تأثیر تبلور تفریقی و ذوب بخشی مرتبط با منشأ هستند مقدار La بر حسب ppm می‌باشد. د: موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار Ce/Pb در مقابل MgO (فورمن، ۲۰۰۷) جهت تعیین نقش آلاش پوسته‌ای ماگمای آن‌ها، نماد دایره اقتباس از محمدی تبار (۱۳۹۷)، نماد مربع اقتباس از شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)

Fig. 9. a: Y-Zr diagram to investigate the processes of partial melting and fractional crystallization in the studied samples. that the positive linear trend created in the samples shows the role of fractional crystallization in the formation of rocks (Abdollah et al., 1997), b: The graph of Rb/Th vs. Rb, Techameni et al., (2006), a linear trend with a positive slope indicates the role of fractional crystallization along with digestion and contamination. CC=crustal contamination, AFC=fractional crystallization with assimilation and contamination, FC=fractional crystallization. The value of Rb is in ppm, c: Diagram La-La/Yb, Pinto Linares et al., (2008) The samples are affected by differential crystallization and partial melting related to the origin. The amount of La is in ppm, d: The position of the studied samples in the diagram Ce/Pb vs MgO (Furman, 2007) to determine the role of crustal contamination of their magma. The circle symbol is adapted from Mohammadi Tabar (2019), the square symbol is adapted from Shahbazi et. al. (2010)

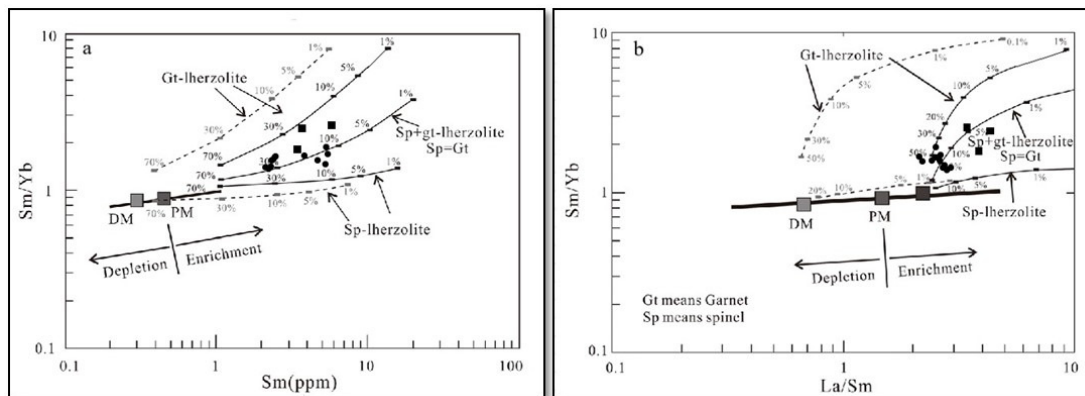
که در داخل یا نزدیک به ردیف گوشته معین شده (خط ضخیم) توسط ترکیبات گوشته‌ی مورب تهی شده (DMM) یا گوشته‌ی اولیه (PM) قرار خواهند گرفت. در مقابل ذوب بخشی با درجات کم (یا متوسط) یک منشأ گارنت لرزولیت (با گارنت باقی مانده) مذاب‌هایی را تولید می‌کند که به طور قابل توجهی دارای نسبت‌های بالاتر از ردیف گوشته (خط ضخیم) قرار می‌گیرد (آلدانماز و همکاران، ۲۰۰۰). با توجه به شکل ۱۱ ترکیب سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار مذکور در ناحیه‌ی اسپینل-گارنت لرزولیت با درجه ذوب بخشی کم تا متوسط (۱۰٪ تا حدود ۳۰٪) واقع شده است.

خاستگاه و درجه ذوب بخشی منشأ: می‌توان از نمودار نسبت Sm/Yb در مقابل Sm جهت مشخص نمودن تغییر در رژیم و درجه ذوب بخشی منشأ استفاده نمود (آلدانماز و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین نسبت‌های عناصر MREE/HREE در مقابل LREE/MREE برای مثال Sm/Yb در مقابل La/Sm استفاده شده است. وقتی یک منشأ اسپینل لرزولیت تحت ذوب بخشی قرار گیرد، گوشته و مذاب تولید شده نسبت‌های Sm/Yb یکسانی خواهند داشت. در حالی که نسبت‌های La/Sm با افزایش درجه ذوب بخشی کاهش می‌یابد. بنابراین، ذوب یک منشأ اسپینل لرزولیت یک روند افقی ایجاد خواهد کرد



شکل ۱۰. الف: نمودار $\text{MnO-TiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ (مولن، ۱۹۸۳). ب: نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ کل MgO (پیرس و همکاران، ۱۹۷۳). ج: نمودار Zr/Y-Ti/Y (پیرس و همکاران، ۱۹۷۷). د: نمودار $\text{TiO}_2\text{-K}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ (پیرس و همکاران، ۱۹۷۵). نماد دایره اقتباس از محمدی تبار (۱۳۹۷)، نماد مربع اقتباس از شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)

Fig. 10. a: Diagram of $\text{MnO-TiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ (Mullen1983), b: Diagram of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ total- MgO (Pearce et al., 1973), c: Diagram of Zr/Y-Ti/Y , Pearce and Gale (1977), d: Diagram of $\text{TiO}_2\text{-K}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ (Pearce et al., 1975). The circle symbol is adapted from Mohammadi Tabar (2019), the square symbol is adapted from Shahbazi et. al. (2010)



شکل ۱۱. نمودار نسبت Sm-Yb - Sm : A، Sm/Yb-La/Sm : B. (آلدانماز و همکاران، ۲۰۰۰) جهت مشخص نمودن ترکیب و درجه‌ی ذوب بخشی ماگمای منشاء نمونه‌های مورد مطالعه، نماد دایره اقتباس از محمدی تبار (۱۳۹۷)، نماد مربع اقتباس از شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)

Fig. 11. A: Ratio chart Sm/Yb-Sm , B: Sm/Yb-La/Sm , Aldanmaz et al., (2000) to determine the composition and partial melting degree of magma of the origin of the studied samples. The circle symbol is adapted from Mohammadi Tabar (2019), the square symbol is adapted from Shahbazi et. al. (2010)

- Bowden, P., Batchelor, R. A., Chappell, B. W., Didier, J., Lameyre, J (1984) petrological geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Phys. Earth Planet. In*, 35: 1-11.
- Boynton, W. V (1984) Cosmochemistry of the rare elements: meteorite studies in: Henderson, p. (ed) *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 63: 114.
- Cox, K. G. Bell, J. D. Pankhurst, R. J (1979) *the Interpretation of Igneous Rocks*. Allen and Unwin, London, pp. 450.
- Furman, T (2007) Geochemistry of East African Rift basalts: An overview. *Journal of African Earth Sciences*, 48: 147-160.
- Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafae, M., Ghorbani, M., Sepahi, A. A., Shang, C. K., and Vousoughi Abedini, M (2010) Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39(6): 668-683.
- Harker, A (1909) *the natural history of igneous rocks*. Methuen, London.
- Hofmann, A. M (1997) Mantle geochemistry: the message from ocean volcanism. *Nature*, 385: 219-229.
- Hofmann, A. M., Jochum, K. P., Seufert, M., and White, W. M (1986) Nd and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth and Planetary Science*, 79: 33-45.
- Irvine, T. N., Baragar, W. R. A (1971) Guide to the chemical classification on the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Science*, 8: 484-523.
- Machado, A., Lima, E. F., Chemale, J. F., Morta, D., Oteiza, O., Almeida, D. P. M., Figueiredo, A. M. G., Alexandre, F. M., Urrutia, J. L (2005) Geochemistry constraints of MesoCzoic-CenoCzoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica, *Earth Science. South American*, 18: 407-425.
- Middlemost, E. A. K (1985) *Magmas and magmatic rocks, an introduction to igneous petrology*, Longman: London.
- Mohajjel, M (1997) *Structure and tectonic evolution of PaleoCzoic-MesoCzoic rocks, Sanandaj-Sirjan Czone, western Iran*.-Ph. D. Thesis University of Wollongong, Wollongong, Australia.

۶- نتیجه‌گیری

- ✓ توده‌ی نفوذی باغچه‌غاز از سنگ‌های گابرو-گابرو نوریت است.
- ✓ بر اساس مطالعات پتروگرافی توده‌ی گابرویی از طیف ترکیبی گابرو، گابرونوریت تشکیل شده است که داده‌های ژئوشیمیایی نیز آن را تأیید می‌کند.
- ✓ تبدیل‌شدگی کانی‌های پلاژیوکلاز به اپیدوت و کلریت و کانی‌های رسی و نیز تبدیل پیروکسن و هورنبلند به کلریت دلیلی بر رخداد فرآیندهای دگرسانی از جمله دگرسانی گرمایی در منطقه می‌باشد.
- ✓ سنگ‌های مورد مطالعه دارای ماهیت کالک‌آلکان و تولیتی هستند.
- ✓ روندهای تشکیل شده در نمودارهای هارکر پیوستگی ژئوشیمیایی و برخورداری از منشاء یکسان و مشترک را برای نمونه‌های مورد مطالعه مورد تأیید قرار می‌دهد.
- ✓ در نمودارهای عنکبوتی موازی بودن روند این نمودارها در نمونه‌های گابرویی خاستگاه مشترک نمونه‌ها را تأیید می‌کند.
- ✓ با توجه به نمودارهای متمایز کننده‌ی محیط تکتونیکی تکوین و شکل‌گیری ماگما در محیطی وابسته به حاشیه‌ی ورقه و قوس آتشفشانی حاشیه‌ی فعال قاره‌ای را منعکس می‌کند و نیز در نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی این سنگ‌ها آنومالی منفی Nb، P و Ti دیده می‌شود که می‌تواند نشانگر محیط فرورانش و ماهیت کالک‌آلکان و تولیتی سنگ‌ها باشد و نظر به اینکه منطقه‌ی مورد مطالعه در زون سنندج- سیرجان واقع شده است که این زون دارای فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی می‌باشد لذا این مهم می‌تواند هم‌خوانی داشته باشد.
- ✓ با توجه به نتایج نمودارهای ارائه شده جهت تعیین نوع فرآیندهای مؤثر در تشکیل ماگمای والد سنگ‌های مورد مطالعه، روندهای تشکیل شدن سنگ‌ها احتمالاً تحت تأثیر تبلور تفریقی و آلیش ماگمایی بوده است.

References

- Abdallah, J. A. Said, A. Visona, D (1997) New geochemical and petrographic data on the gabbro-syenite suite between Hargeysa and Berbera-Shiikh(Northern Somalia). *Jour of African earth sciences*, 23 (3): 363-373.

- Mohammadi Tabar, S. J (2019) Petrology of leucocratic Intrusive Igneous rocks in the Baghcheh Ghaz area North-East of Famenin; (North-East Hamedan Province). BU-Ali Sina University, Faculty of Science, Department of Geology. Thesis of M. Sc.
- Nagudi, N. O., Koberl, C. H., Kurat, G (2003) Petrography and geochemistry of the Singo granite, Uganda and implications for its origin. *Journal of African earth sciences*, 35: 51-59.
- Nelson, S. A (2004) Magmatic Differentiation, Chemical variations in rock suites. Tulan University New Orleans, Louisiana, United States.
- Pearce, J. A., Gale, G. H (1977) Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks, 7: 14-24.
- Pearce, J. A (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margin. In: Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J. (Eds): *Cotinental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, 230-249.
- Pearce, J. A. Cann, J. R (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planet. Science Letters*, 19: 290-300.
- Pearce, J. A. Cann, J. R (1971) Ophiolite origin investigated by discriminate analysis using Ti, Zr and Y. *Earth Planet. Science Letters*, 12: 339-349.
- Pearce, J. A (1996) Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19: 120-125.
- Pearce, J. A., Kempton, P. D., Nowell, G. M., and Noble, S. R (1999) Hf-Nd element and isotope perspective on the nature and provenance of mantle and subduction components in western Pacific arc-basin systems. *Journal of Petrology*, 40: 1579-1611.
- Pinto-Linares, P. J., Levresse, G., Tritlla, J., Valencia, V. A., Torres -Aguilera, J. M., Gozalez, M., Estrada, D (2008) Transitional adakite-like to calcalkaline magmas in a continental extensional setting at La Paz Au-Cu skarn deposits, Mesa Central, Mexico: metallogenic implications, *Revista Mexicana de Ciencias Geological*, 25: 39-58.
- Rollinson, H (1993) Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation. Longman Scientific Technical, London.
- Rollinson, H (1997) Using geochemical datas, evaluation, presentation, John Wiley and sons, 346pp.
- Rudnick, R. L., and Fountain, D. M (1995) Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews of Geophysics*, 33: 267-309.
- Sun, S. S., Mc Donough, W. F (1989) Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D. and Norry, M. J. (Eds.): *Magmatism in ocean basins*. Geological Society of London, Special Publication, 313-345.
- Sun, S. S., McDonough, W. F (1982) Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D. Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Soc. London Spec. Publ, 42: 313-345.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M (1985) *the continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, England.

Geochemistry of mafic igneous rocks of Baghchehaz region (northeast of Hamedan province): with emphasis on origin and tectonic environment

S. Asadbeygi¹, H. Shahbazi^{2*}

1- Ph. D. student. Dept., of Geology, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

* Shahbazi@basu.ac.ir

Received: 2024.5.15 Accepted: 2024.9.22

Abstract

The Baghchehaz intrusive mass is exposed in Hamadan province and in the northeast of Famenin city in the Sanandaj zone of Sirjan. Based on petrographic and geochemical studies, the type of rock that forms the mass is gabbro. The results of geochemical analysis show that these rocks are related to calcalkaline and tholeiite magmatic series. The trends formed in the Harker diagrams and their geochemical continuity, the patterns of the spider diagrams and the parallelism of the trends of these diagrams and the existence of enrichment in K and Pb elements and depletion in Nb confirm the common origin of the samples and indicate the involvement of magma with the continental crust. The nature and chemical composition of rocks in the region have undergone magmatic processes such as fractional crystallization, and contamination. The pattern of changes of normalized rare earth elements compared to chondrite and primary mantle show that the values of rare earth elements LREE are higher than heavy earth elements HREE. The graphs related to the rare elements show that the magma forming the igneous rocks of the Baghchehaz intrusive mass originates from the mantle with the composition of spinel lherzolite and with a low to medium partial melting degree (5% to about 30%) and in a subduction environment and volcanic arcs are formed on the active continental margin.

Keywords: Gabbro, Geochemistry, Petrology, Sanandaj- Sirjan zone

Introduction

The Bagche-Ghaz intrusive mass is located 95 km north-east of Hamedan and in the northern part of Sanandaj-Sirjan zone, which has penetrated into the Jurassic metamorphic rocks of the region, considering that these rocks have penetrated into the Jurassic metamorphic rocks and also according to the information contained in the 1:100000 scale geological map that there are no rocks older than the Triassic in the studied area, so the age of these rocks can be equivalent to Alvand gabbroids were considered to be of middle Juassic age, but their exact age is not known and determining their age is one of the goals of the doctoral thesis of the first author of this article. Several intrusive masses in the Sanandaj-Sirjan zone related to the Mesozoic era (mostly related to the Jurassic period) with basic and intermediate composition either independently or together with acidic intrusive masses have been investigated and reported by many researchers, some of them are: Chahghandi Neyriz intrusion by Mouazen et al. (2006), Borujerd intrusive

mass by Ahmadi Khalaji et al. (2007), Alvand intrusive mass by Shahbazi et al. (2010), intrusive masses in the northern part of Sanandaj-Sirjan zone by Mahmoudi et al., Aligudarz intrusive mass by Esnaeshri et al. (2012), Marivan intrusive mass and a report of Sanandaj-Sirjan zone intrusive masses by Sepahi et al. (2014), Bouin-Miandasht intrusive mass by Tavakli et al. (2019), Alvand intrusive mass by Azizi et al. (2024). In this research, the Baghche-Gaz intrusive mass was subjected to field, microscopic, and geochemical investigation of the main and trace elements and the results show that the Baghche-Gaz intrusive mass is composed of gabbro and magmatic processes such as fractional crystallization, crustal contamination, type the source rock and degree of partial melting have played a role in the formation of Baghcheh Ghaz intrusive mass.

Materials and methods

In this research, 100 samples were taken during 6 days of field operations, following the

principles of sampling, such as lithological changes. Of these, 45 microscopic thin sections were prepared in the sectioning workshop of the Department of Geology of Bou Ali Sina University and were examined by a polarizing microscope. Then, 12 rock samples were sent to Zarazma Mineral Research Company Laboratory for chemical analysis. The amounts of major elements were measured by alkaline melting method and by inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) and trace elements by inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). These data were processed by Excel, Photoshop, GCD-kit, Arc GIS, Google Earth software.

Discussion

The diagrams related to the changes of the main and rare elements versus the changes of MgO in magmatic transformations, known as Harker diagrams, show that there is a direct relationship between the corresponding changes of Al_2O_3 , CaO, Cr, Ni versus the changes of MgO. That is, by reducing the amount of MgO during magmatic evolution processes such as crystallization and subtraction, the amount of Al, Ca, Cr, Ni elements in the remaining magma has also decreased. Also, an inverse relationship between the changes in P_2O_5 , Na_2O , Ce, Ba and MgO values can be seen in the mentioned chart. That is, by reducing the amount of MgO during magmatic evolution processes such as crystallization and subtraction, the amount of P, Na, Ce, Ba elements in the remaining magma has increased. The mentioned phenomena can be attributed to the crystallization and differentiation of Clinopyroxene minerals in the initial stages of magmatic evolution. So that along with the removal of Mg element from the magma by crystallization and subtraction of Clinopyroxene minerals and reducing its amount in the remaining magma, Cr and Ni elements are also substituted for Mg in the composition of Clinopyroxene and the Al, Ca elements are removed from the magma by participating in the Clinopyroxene crystal network, and their amount in the remaining magma has decreased with the decrease of Mg. As a result of the reduction of the mentioned elements (Al, Ca, Cr, Ni) due to the subtraction and crystallization of Clinopyroxene in the initial stages of magmatic evolution and their

removal from the magma, the amount of P, Na, Ce, Ba elements in the remaining magma has increased relatively. Therefore, an inverse relationship can be seen in the graph of the changes of the mentioned elements (P, Na, Ce, Ba) against the changes of MgO. The diagram of rare elements normalized to chondrite values shows that the change process in the studied samples is more or less parallel to each other, this phenomenon indicates the common origin of the samples. Rollinson (1993) believes that the negative slope in the diagrams of rare elements indicates the separation of minerals that contain these elements in the early stages of crystallization. The negative Nb anomaly compared to other highly incompatible elements may be the most striking geochemical feature of magmas produced in the subduction zone (active continental margin). In addition, the negative anomaly of Nb is one of the obvious features of continental rocks, so the negative anomaly of mantle magmas of this element can be caused by contamination of these magmas with crustal materials during ascent and replacement. Also, in subduction environments of the oceanic crust under the continental crust, refractory phases such as Ilmenite and Rutile are stable subducting metamorphism in the oceanic crust. It contains HFS elements such as Nb and Ta and by preventing their participation in magmas from these sources, they cause negative anomalies in the resulting magmas. The normalized diagram of rare elements to the primary mantle shows that all samples show enrichment relative to the primary mantle, which is an indicator of subduction environments. In this diagram, it can be seen that K and Pb have a positive anomaly and Nb has a negative anomaly, that these indicators in the pattern of trace elements indicate the contamination of magma with the continental crust (McLennan and Taylor, 1985, Hoffman, 1997), also, the enrichment in LILE elements can be due to the contamination of magma with the continental crust. According to Wilson, Chappell and White, 1989, the negative anomaly of Ba-Ti-Nb in magmatic rocks indicates the formation of these rocks in the subduction environment. In this graph, the studied samples show a relative enrichment of LILE and a depletion of HFS, which can indicate that the magma Source rock had Garnet and Pyroxene that did not participate in melting and heavy rare elements have been kept in the late magma mantle. The enrichment

of LILE elements compared to HFS and the low amount of Nb, Ti and Zr show the dependence of these rocks on the calc-alkaline series. Separation and enrichment of light compared to heavy REE elements in the normalized diagram of REE elements compared to primary mantle and chondrite can be due to the presence of Orthopyroxene and Clinopyroxene and their subtraction from magma in the early stages of crystallization. In basaltic and andesitic liquids, rare earth elements are incompatible in all minerals and are only slightly separated, and the depletion of heavy earth elements relative to light most probably indicates the presence of garnet in the origin. The negative Pr anomaly of light rare earth elements (LREE) was probably attributed to magma contamination to crustal materials with low amounts of Pr element. In addition, elements with odd atomic numbers are generally less abundant than elements with even atomic numbers. The graph of Y-Zr changes shows the role of the fractional crystallization process in the formation of rocks in the studied area. The graph of changes in Rb versus Rb/Th presented by Tschamni et al, (2006) and the graph of changes in the ratio of La/Yb versus La presented by Pinto-Linares et al, (2008) show the role of fractional crystallization in the formation of basic magma in the studied gabbroic rocks. In the graph of Ce/Pb versus MgO (wt%) ratio changes presented by Forman (2007), the gabbroic samples of the studied area are located in the territory of the crust-contaminated area. The average Ce/Pb ratio in basaltic fluids derived from the mantle is in the range of 25 ± 5 (Hoffman et al, 1986) and in the continental crust is 3.3. The average ratio of Ce/Pb in the studied samples was around 2.7, therefore, contamination of the basaltic melt forming the gabbroic rocks of the studied area with crustal materials has played an effective role in the final composition of the rocks of the area.

Conclusions

- Baghche-Gaz intrusive mass is gabbro, gabbro_norite rocks.
- Based on the petrographic studies of the gabbro mass, it is composed of gabbro,

gabbro_norite, which is confirmed by geochemical data.

- The transformation of plagioclase minerals into epidote and chlorite and clay minerals as well as the transformation of pyroxene and hornblende into chlorite is a proof of the occurrence of alteration processes including hydrothermal alteration in the region.
- The studied rocks are calc-alkaline and tholeiitic in nature.
- The trends formed in the Harker diagrams confirm the geochemical continuity and having the same and common origin for the studied samples.
- In the spider diagram, the parallel trend of these graphs in the gabbro samples confirms the common origin of the samples.
- According to the diagrams distinguishing the tectonic environment, the formation of magma in an environment dependent on the plate margin and the volcanic arc reflects the active continental margin, and in the spider diagrams of the trace elements of these rocks, negative anomalies of Nb, P and Ti can be seen, which can indicate the subduction environment and the calc-alkaline and tholeiitic nature of the rocks, and considering that the studied area is located in the Sanandaj-Sirjan zone, which has the subduction of the Neotethys oceanic crust under central Iran, so this can be consistent.
- According to the results of the graphs presented to determine the type of effective processes in the formation of the magma parent of the studied rocks, the rock formation processes were probably influenced by fractional crystallization and magmatic contamination.