



## زمین‌شیمی و سنگ‌شناسی گابرو دیوریت‌های منطقه پلنگ‌در (شمال شرق دامغان)

علی اکبر دعایی<sup>۱</sup>، قاسم قربانی\*<sup>۱</sup>، محمود صادقیان<sup>۲</sup>

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۹/۹، نسخه نهایی: ۹۸/۱۱/۱۹)

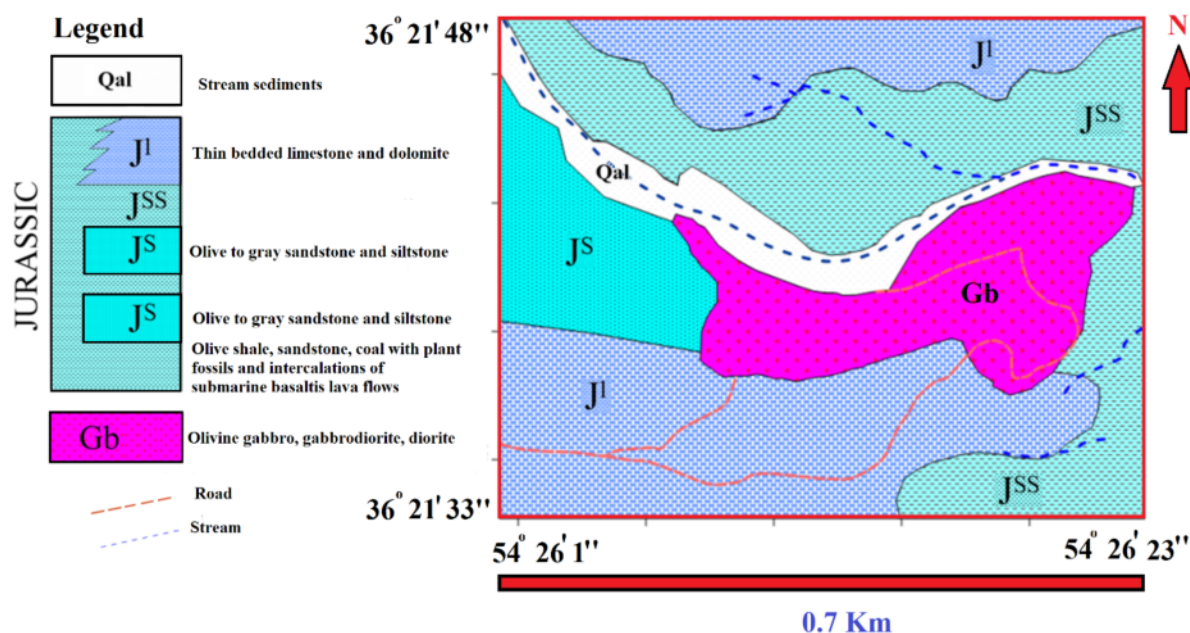
**چکیده:** توده گابرو دیوریتی پلنگ‌در در شمال شرق دامغان و در بخش شرقی پهنه ساختاری البرز واقع است. سنگ‌های مورد بررسی به صورت چند توده کوچک گابرو دیوریتی و دایک‌های دیابازی به سن ژوراسیک میانی به درون شیل و ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های آهکی سازند شمشک نفوذ کرده‌اند. بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری شواهدی از جدایش از اولیوین گابرو تا گابرو، پگماتوئید گابرو دیوریت و دیوریت را در این توده نفوذی نشان می‌دهد. نفوذ این توده به درون کربنات‌های میزبان با دگرگونی مجاورتی و مرمرزایی همراه بوده است. الیوین، پیروکسن (از نوع اوژیت)، هورنبلند سبز تا قهوه‌ای، پلاژیوکلاز، و بیوتیت کانی‌های اصلی، روتیل، اسفن، آپاتیت، مگنتیت و زیرکن کانی‌های فرعی و کلریت، اپیدوت، اسفن ثانویه و اکسیدهای آهن کانی‌های ثانویه موجود در گابرو دیوریت‌ها و فراورده‌های جدایش یافته آنها هستند. این سنگ‌ها ماهیت قلیایی تا آهکی قلیایی داشته و بر اساس نمودارهای تفکیک محیط زمین‌ساختی، در گستره بازالت‌های وابسته به محیط‌های کششی درون قاره‌ای (حوضه‌های پشت کمانی) قرار دارند. بررسی الگوهای فراوانی عناصر خاکی نادر و نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه نشان می‌دهد که آنها از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و عناصر سنگ‌دوست بزرگ یون (LILE) غنی‌شدگی و از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) و عناصر با قدرت میدانی بالا (HFSE) تهی‌شدگی دارند. با توجه به بررسی‌های زمین‌شیمیایی و سنگ‌زایی انجام شده، ماگمای سازنده سنگ‌های گابرو دیوریتی پلنگ‌در از ذوب‌بخشی درجه پایین حدود ۱۰ درصدی یک منبع گوشته‌ی سنگ‌کره‌ای زیرقاره‌ای دگرنهاده با ماهیت اولیه گارنت - لوزولیتی در اعماق حدود ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتری در یک محیط کششی درون قاره‌ای (حوضه پشت کمانی) ناشی شده‌اند. شواهد زمین‌شیمیایی نشان‌دهنده آرایش ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های گابرو دیوریتی منطقه پلنگ‌در با پوسته‌ی بالایی طی صعود ماگما و جای‌گیری است. این فعالیت‌های ماگمایی بخشی از فعالیت‌های همزمان با کشش و گسترش حوضه پشت کمانی ژوراسیک البرز بوده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** گابرو دیوریت؛ گارنت پریدوتیت؛ حوضه پشت کمانی؛ ژوراسیک میانی؛ پلنگ‌در؛ دامغان.

### مقدمه

سنگ‌ها از جذابیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند راهنمای ما را در شناخت فعالیت‌های ماگمایی در ژوراسیک منطقه مورد نظر باشد. وجود نهشته‌های زغالسنگی در رسوب‌های تریاس پسین - ژوراسیک پیشین (گروه شمشک) ایران سبب گردیده است تا این نهشته‌ها از دیدگاه چینه‌شناسی، دیرینه‌شناسی و به‌ویژه از نظر اقتصادی مورد توجه بیشتری قرار گیرد و کمتر به سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین آنها پرداخته شود [۳، ۴]. از پژوهش‌های پیشین قابل توجه پیرامون سنگ‌های آذرین قاعده

منطقه پلنگ‌در در ۳۰ کیلومتری شمال شرق دامغان واقع است. این منطقه در گستره نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان [۱] و ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان [۲] قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه، رخنمون‌هایی از توده‌های نفوذی با ترکیب الیوین گابرو تا دیوریت دیده می‌شود که مساحت بزرگترین آنها به حدود ۲ کیلومتر مربع می‌رسد. از آنجا که تاکنون پژوهش جامعی پیرامون این منطقه انجام نشده است، بررسی دقیق این



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی توده نفوذی پلنگ در و سنگ‌های دربرگیرنده آن. این نقشه بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، پیمایش‌های زمین‌شناسی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان تهیه شده است (برگرفته از مراجع [۱، ۲]).

برآمده از اثر کوهزایی آلپ است. این رشته‌کوه از شمال به قطعه فروافتاده خزر و از جنوب به فلات مرکزی ایران محدود است. واحدهای سنگی ژوراسیک در بیشتر بخش‌های منطقه پلنگ در رخنمون دارند و شامل توالی کنگلومرا، شیل، ماسه سنگ، آهک، ماسه‌سنگ آهکی و بازالت هستند. لایه‌های زغالدار شمشک در منطقه تالو در حال استخراج هستند. توالی آهک نازک‌لایه دلیچای و سپس آهک ضخیم‌لایه لار روی شمشک آشکارا در منطقه قابل مشاهده است. سنگ‌های آذرین در این منطقه به طور پراکنده و به شکل استوک‌های کوچک، دایک و گاهی سیل با گسترش کم در سازند شمشک حضور دارند (شکل‌های ۲ الف و ب). شواهدی از جمله آثار پختگی و خردشدگی در سطوح تماس یا مناطق مرزی دیده می‌شود. بخش مرکزی توده دانه‌درشت است و به سمت لبه، دانه‌ها ریزتر می‌شوند (شکل‌های ۲ پ و ت). آثار دگرگونی در محل تماس توده با توالی کربناتی به صورت بازتبلور و مرمری شدن آهک نمایان است (شکل ۲ ث). بررسی‌های صحرایی این سنگ‌های آذرین نشان دهنده یک سری جدایشی از اولیوین‌گابرو تا دیوریت است. اولیوین‌گابروها حالت انباشتی دارند و در اثر جدایش و تهنشست اولیوین از ماگمای اولیه ایجاد شده‌اند. حضور بلورهای درشت هورنبلند در برخی نمونه‌های دیوریتی نشانگر آبدار بودن ماگما، جدایش آن و تشکیل ساخت

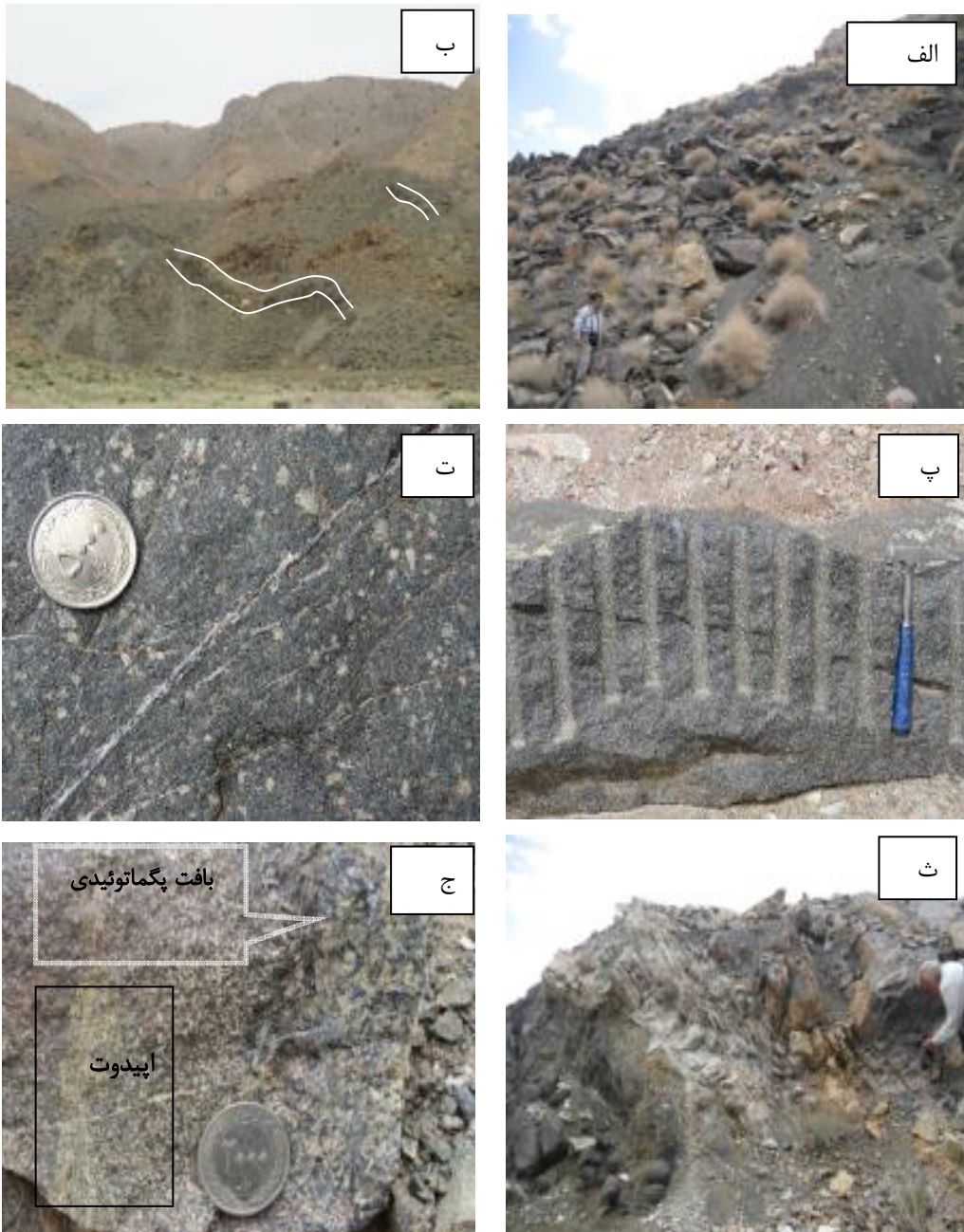
شمشک در منطقه مورد بررسی، می‌توان به کارهای مقدسی [۵] و جمشیدی [۶] اشاره کرد که در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده‌اند. آنها برخی از برنزدهای سنگ‌های آذرین مافیک قاعده سازند شمشک در منطقه‌های شه‌میرزاد، چشمه‌علی، طزره و قشلاق پیرامون شاهرود و دامغان را بررسی کرده و رخداد آنها را به صورت گدازه‌های بازالتی (در شه‌میرزاد و چشمه‌علی) و دایک و سیل (در طزره و قشلاق) تأیید نمودند. نامبردگان با بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی نشان دادند که این سنگ‌ها همه ماهیت قلیایی داشته و در یک جایگاه کششی درون صفحه‌ی قاره‌ای تشکیل شده‌اند. از این رو در این پژوهش، زمین‌شیمی و سنگ‌شناسی گابرو-دیوریت‌های منطقه پلنگ در و همچنین ارتباط زایشی آنها با توده‌های مشابه در منطقه‌های اطراف بررسی شد.

#### زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در شمال دامغان و ناحیه‌ی خوش‌یلاق واقع است و از نظر ساختاری بر اساس تقسیم‌بندی اشتوکلین [۷]، در پهنه البرز شرقی قرار دارد. رشته‌کوه البرز به عنوان بخشی از نوار کوهزایی شمالی آلپ - هیمالیا بوده و در نتیجه برخورد خردهورقه‌های ایران و توران طی فاز کوهزایی سیمیرین پیشین در تریاس پسین تشکیل شده و ساختار کنونی آن

ضخامت چند سانتی‌متر تا یک و نیم متر نیز رخنمون دارند (شکل ۲ ب). برخی از این دایک‌ها را می‌توان تغذیه‌کننده اصلی این توده‌های گابرویدیوریتی به شمار آورد. سنگ‌های میزبان این توده‌های گابرویدیوریتی سنگ‌های شیلی، ماسه-سنگی و دلومیتی سازند شمشک هستند.

پگماتوئیدی در آنهاست (شکل ۲ ج). این درشت بلورها اغلب به طور بخشی به اپیدوت دگرسان شده‌اند که با رنگ زرد در نمونه دستی قابل مشاهده است (شکل ۲ ج). آثار کانه‌زایی الیژیست بر سنگ‌های گابرویی در برخی نقاط دیده می‌شود. در مناطق همجوار گابرویدیوریت‌ها، دایک‌هایی گابرویی (دیابازی) با



شکل ۲ الف) نمایی نزدیک از توده و قطعه‌های واریزه گابرویدیوریت‌های پلنگ‌در (دید به سمت جنوب شرق)، (ب) دورنمایی از دایک‌های دیابازی قطع‌کننده توده نفوذی پلنگ‌در، (پ) تصویری از گابروهای درشت‌بلور، کورگیری و قطعه‌های استخراجی برای سنگ‌نما، (ت) تصویری از گابروهای دانه‌ریز در بخش لبه‌ای توده نفوذی پلنگ‌در، (ث) نمای نزدیک از سنگ‌های مرمری در کنار توده گابرویدیوریتی پلنگ‌در و (ج) تصویری از بافت پگماتوئیدی و اپیدوت‌زایی در گابرویدیوریت‌های پلنگ‌در.



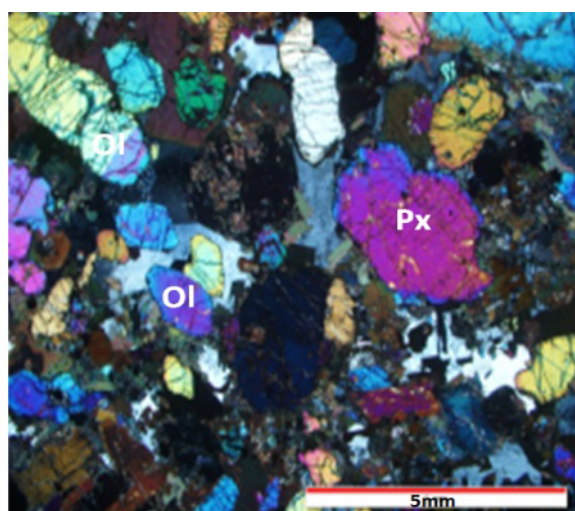
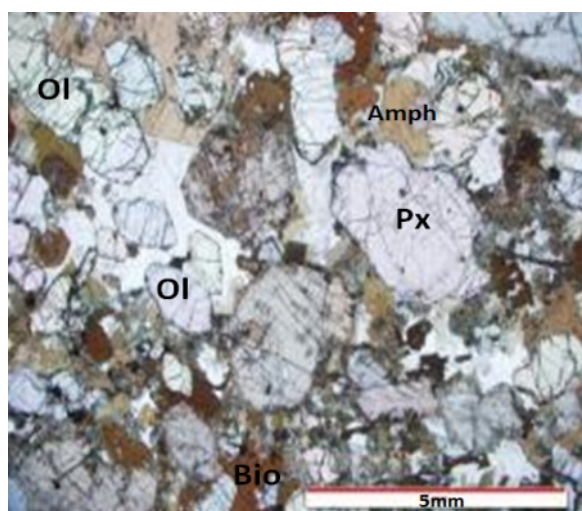
## روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری، ۱۰ نمونه از سنگ‌های با کمترین دگرسانی و تنوع ترکیبی انتخاب شده و برای تعیین مقدار عناصر اصلی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و عناصر کمیاب و خاکی نادر توسط طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه زمین‌شیمی زرآرما تجزیه شدند. سپس نتایج بدست آمده توسط نرم افزارهای مختلف سنگ‌شناسی مانند IGPE و GCDKIT پردازش گردیدند.

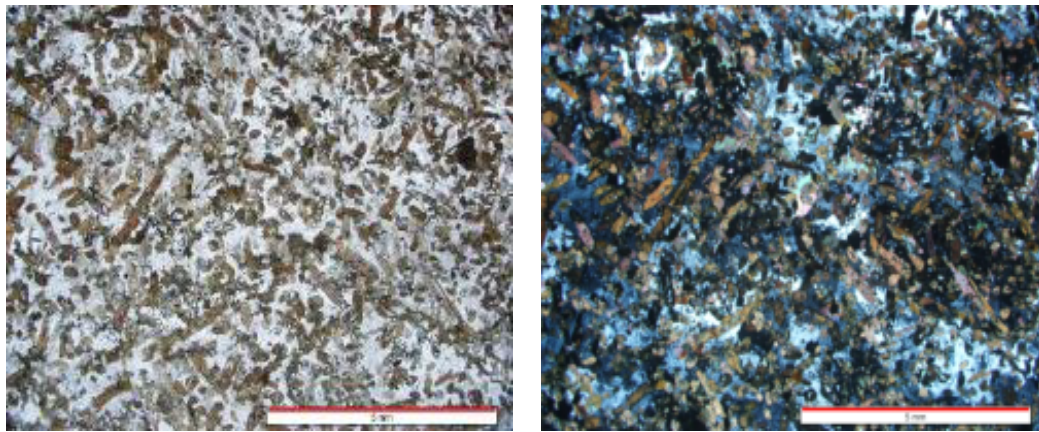
## سنگ‌نگاری

سنگ‌های سازنده توده نفوذی پلنگ در را می‌توان از نظر اندازه کانی‌های سازای آنها به سه دسته دانه‌درشت تا دانه‌متوسط، دانه‌ریز و بسیار دانه‌درشت یا پگماتوئیدی تقسیم کرد. بخش دانه‌درشت دارای بلورهای با اندازه چند میلیمتر تا حدود ۲ سانتیمتر است که از کانی‌های مافیک تیره رنگ سرشار بوده و دارای ظاهری بسیار تیره رنگ هستند. رنگ تیره این سنگ‌ها به دلیل مقدار کم پلاژیوکلاز و حضور مقادیر بالایی از کانی‌های سیلیکاتی مافیک چون الیون، پیروکسن، هورنبلند قهوه‌ای و بیوتیت و همچنین کانی‌های تیره یا کدر مانند مگنتیت است (شکل ۳). بخش دانه‌ریز دارای دانه‌های بسیار ریزتر از پیکره اصلی توده نفوذی پلنگ در است و اغلب بخش‌های لبه‌ای توده

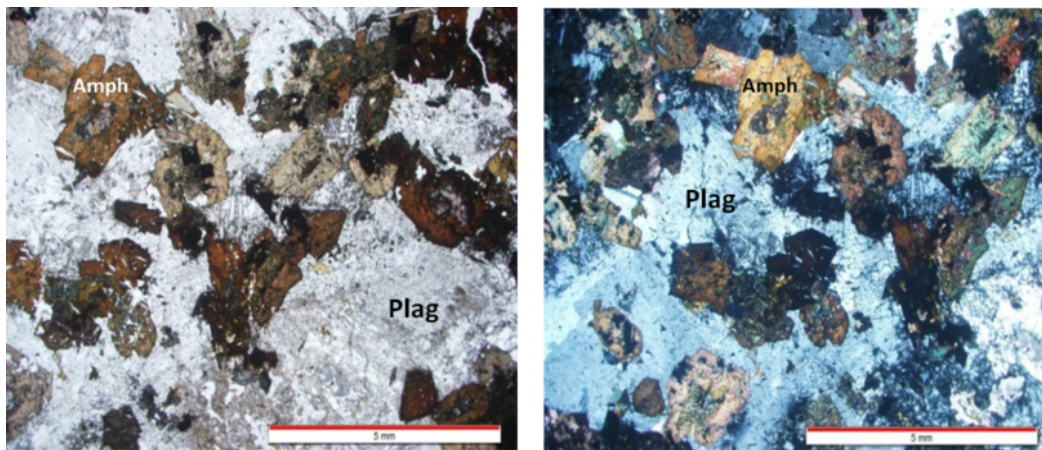
نفوذی پلنگ در را شامل می‌شود و می‌توان آنها را در قالب رخساره لبه‌ای یا دایک‌های جانبی مانند آنچه در بخش جنوبی و غربی این توده نفوذی دیده می‌شود به حساب آورد. اندازه دانه‌های سازنده سنگ‌های این بخش کمتر از ۰/۰۵ میلی‌متر است. در این سنگ‌ها، فراوانی پلاژیوکلاز بیشتر از بخش دانه‌درشت است ولی به علت دانه‌ریز بودن، در مجموع چندان روشن‌تر به چشم نمی‌آیند. در این سنگ‌ها، اغلب الیون حضور ندارد، در حالی که هورنبلند قهوه‌ای از فراوانی بیشتری برخوردار است (شکل ۴). پیروکسن‌های بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار با فراوانی کم در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. کانی‌های کدر (بیشتر شامل اکسیدهای آهن، آهن و تیتانیم) به‌وفور حضور دارند، با این وجود در حالت کلی، از نظر فراوانی به عنوان بخشی از کانی‌های فرعی در نظر گرفته می‌شوند. بافت‌های موجود در این سنگ‌ها شامل دانه‌های نیمه‌خودریخت، خال‌خال، پورفیری، ریزدانه‌ای و پوست‌ماری هستند. سنگ‌های پگماتوئیدی کم‌ترین فراوانی را دارند و به صورت رگه‌های بخش اصلی توده نفوذی پلنگ در را قطع می‌کنند. آنها در نمونه دستی نسبت به توده اصلی گابروئیدی مورد بررسی روشن‌تر هستند، زیرا دارای مقدار پلاژیوکلاز بیشتری هستند و در مقابل کانی‌های سیلیکاتی مافیک آنها کم‌تر است (شکل ۵).



شکل ۳ اولیون‌گابرو با حضور فراوان دانه‌های الیون که با شکستگی‌های نامنظم به‌روشنی از سایر کانی‌ها قابل تشخیص بوده و بیشتر دارای رنگ تداخلی آبی مایل به صورتی هستند. پیروکسن، هورنبلند سبز، بیوتیت و پلاژیوکلاز سایر کانی‌های سازنده این سنگ‌ها هستند (تصویر سمت راست در نور قطبیده متقاطع، XPL، و تصویر سمت چپ در نور قطبیده صفحه‌ای، PPL، ثبت شده‌اند).



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های سازنده بخش‌های لبه‌ای توده و حضور هورنبلندهای قهوه‌ای کوچک سوزنی شکل و پلاژیوکلاز و کمی پیروکسن در گابرویدیوریت‌های دانه‌ریز منطقه پلنگ‌در. (تصاویر سمت راست و چپ به ترتیب در نور XPL و PPL، ثبت شده‌اند.)



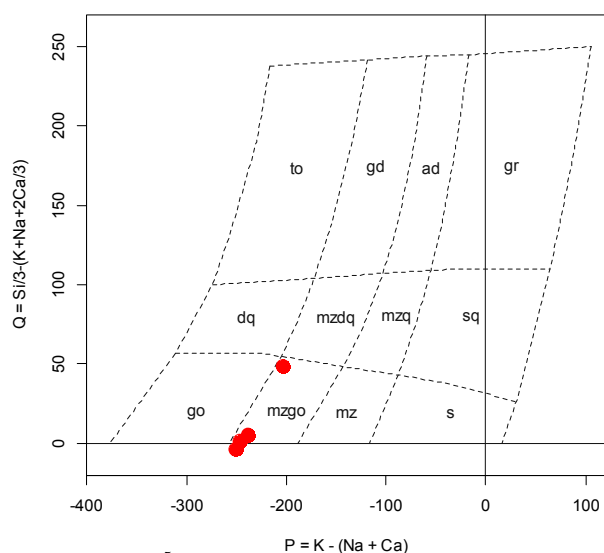
شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از گابروهای پگماتوئیدی بسیار دانه‌درشت. حضور پلاژیوکلاز با ماکل چندریخت همراه با میانبارهایی از هورنبلند قهوه‌ای، پیروکسن و آپاتیت قابل توجه هستند. بلورهای آپاتیت به صورت چند تیغه کوچک با رنگ خاکستری روشن درون هورنبلند قهوه‌ای به روشنی دیده می‌شوند. (تصاویر سمت راست و چپ به ترتیب در نور XPL و PPL، ثبت شده‌اند.)

#### زمین‌شیمی و سنگ‌زایی

و آمفیبول در دگرگونی‌های ماگمایی آنها را نشان می‌دهد [۱۰]. برای بررسی الگوی تغییرات عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت از نمودارهای چندعنصری ناکامورا [۱۱] (شکل ۷) استفاده شد. سنگ‌های گابرویدیوریتی پلنگ‌در به طور کلی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE)، کمی غنی‌شدگی و از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE)، کمی تهی‌شدگی نشان می‌دهند. LREE‌ها نسبت به فازهای بلوری اولیه مانند اولیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز ناسازگارند و در نتیجه طی جدایش به طور فزاینده‌ای در مایعات دگرگونه‌تر متمرکز می‌شوند [۱۲]. الگوی تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۱۳] تمرکز بالایی از عناصر سنگ‌دوست بزرگ یون (LILE) چون  $\text{K}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Th}$  و تا حدی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند  $\text{Ti}$  و  $\text{Nb}$  را نشان می‌دهد

سنگ‌های آذرین مورد بررسی براساس ترکیب کانی‌شناسی و نوع بافتی به گروه‌های گابرویدیوریتی دانه‌درشت تا دانه‌ریز تقسیم می‌شوند. در نمودارهای شیمیایی مختلف [۸، ۹] نیز نمونه‌های سنگی مورد بررسی در گستره بازالت (گابرو) قرار دارند و ماهیت قلیایی تا کمی نیمه‌قلیایی نشان می‌دهند (شکل ۶). در نمودارهای تغییرات عناصر سازگار نسبت به هم ( $\text{Sc-V}$  و  $\text{Co-V}$ )، عناصر ناسازگار نسبت به هم ( $\text{U}$ ،  $\text{Y-Zr}$ ،  $\text{Th}$ ،  $\text{Zr-Hf}$  و  $\text{Zr-Ce}$ ) و در نمودارهای تغییرات نسبت‌های عناصر ناسازگار نسبت به عناصر ناسازگار ( $\text{Ba/Y}$ ) نسبت به  $\text{Ba}$  و  $\text{Zr/Ba}$  نسبت به  $\text{Ba}$  (نشان داده نشده‌اند) اغلب روندی خطی و صعودی دیده می‌شود. روند پیوسته و خطی در این نمودارها نقش مؤثر فرآیند تبلور جدایشی کانی‌های پلاژیوکلاز

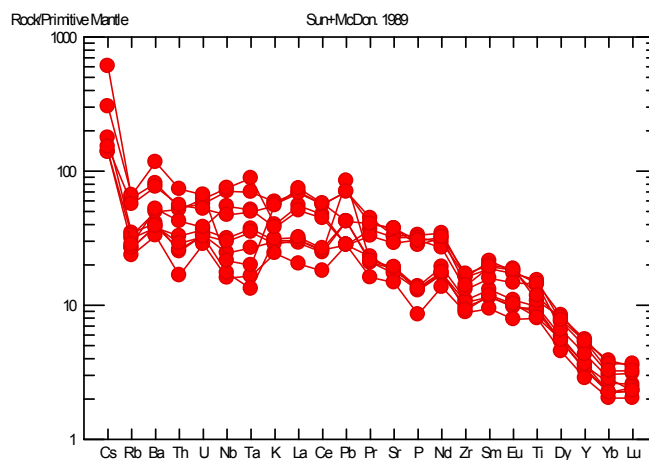
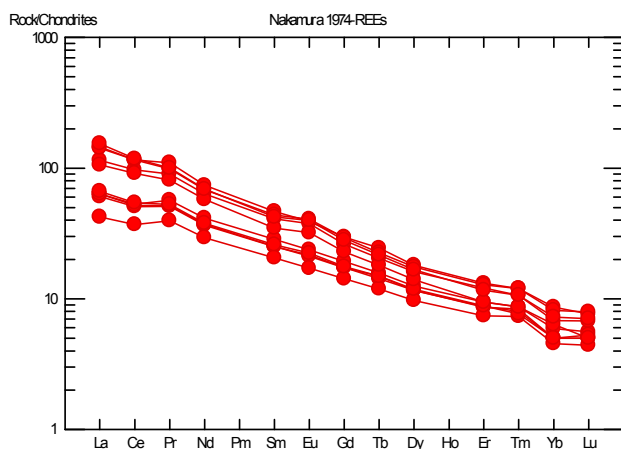
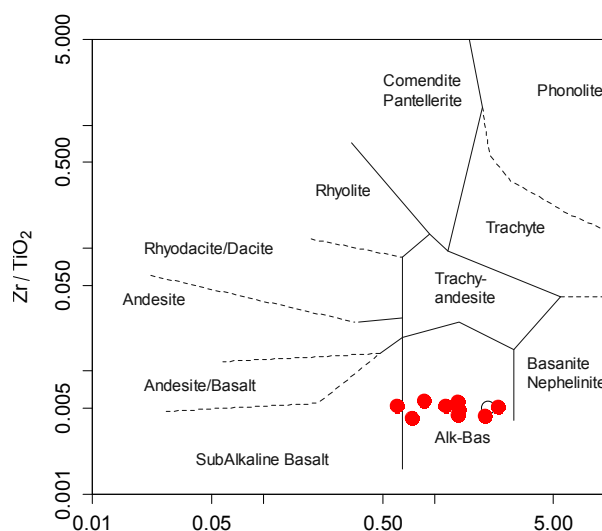
نمودارهای  $Ti/Y-Nb/Y$  [۱۵]،  $Zr/Y-Zr$  [۱۵] و  $Th-Zr-Nb$  [۱۶]، نمونه‌های گابرویدوریتی ژوراسیک میانی پلنگ در بیشتر در گستره درون صفحه‌ای و یک نمونه در گستره بازالت‌های کمان قرار دارند (شکل ۸). بازالت‌های درون ورقه‌ای در مقایسه با سایر بازالت‌ها از نسبت‌های  $Ti/Y$  و  $Zr/Y$  بالاتری برخوردار هستند [۱۶]. این امر بیانگر یک خاستگاه گوشته‌ای غنی شده برای سنگ‌های گابرویدوریتی است. سری ماگمایی آنها نیز بر اساس نمودار  $Ti/Y-Nb-Y$  [۱۵] قلیایی تا سری انتقالی است (شکل ۸). در نمودارهای  $Zr$  نسبت به  $Ti/Zr$  [۱۷] و  $V$  نسبت به  $Ti/1000$  [۱۸] (شکل ۹)، نمونه‌های گابرویدوریتی ژوراسیک میانی پلنگ در گستره بازالت‌های پشت کمانی واقع شده‌اند.



شکل ۶ نمودارهای  $Zr/TiO_2$  نسبت به  $Nb/Y$  [۸] و  $Q$  نسبت به  $P$  [۹] و جایگاه نمونه‌های منطقه مورد بررسی بر آنها.

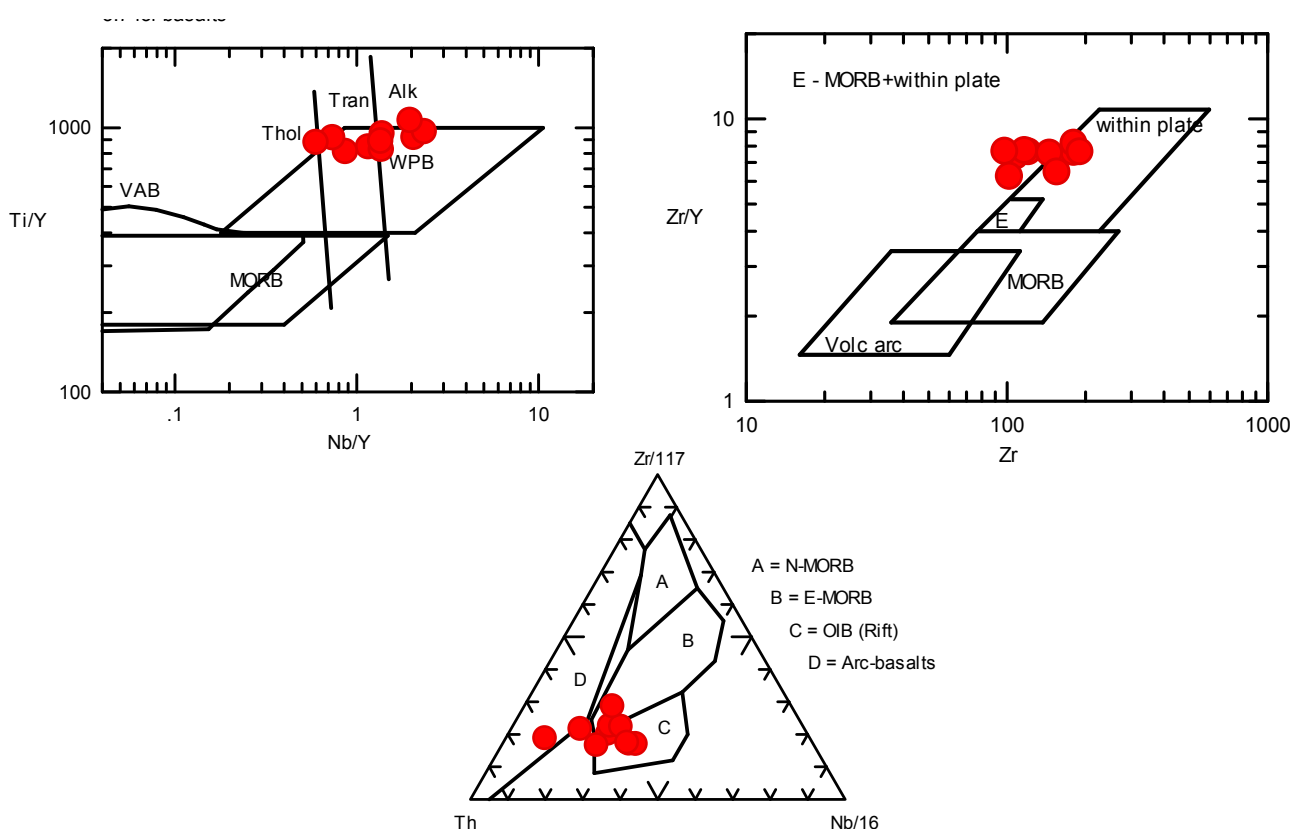
که از ویژگی‌های بازالت‌های درون صفحه‌ای هستند [۱۲]. سنگ‌های مورد بررسی اغلب نسبت به  $Pb$  غنی‌شدگی نشان می‌دهند. با توجه به حضور گسترده کانی‌های پتاسیمی مافیک به ویژه بیوتیت در گابروها و دیوریت‌ها و نبود برونوم‌های با ماهیت پوسته‌ای در این سنگ‌ها، می‌توان گفت که غنی‌شدگی سنگ‌های مورد نظر از سرب، بیشتر از آنکه ناشی از آرایش ماگمایی باشد، با ذوب‌بخشی با نرخ کم یک خاستگاه گوشته‌ای دگرنهاد در ارتباط است [۱۴].

عناصر HFSE مانند  $Th, Hf, Nb, Y, Zr$  و  $Ti$  طی دگرسانی و دگرگونی درجه پایین نامتحرک هستند و از این رو، استفاده از آنها برای تفکیک محیط زمین‌ساختی مفید است [۱۵]. در نمودارهای مختلف زمین‌ساختی‌ماگمایی برای مثال

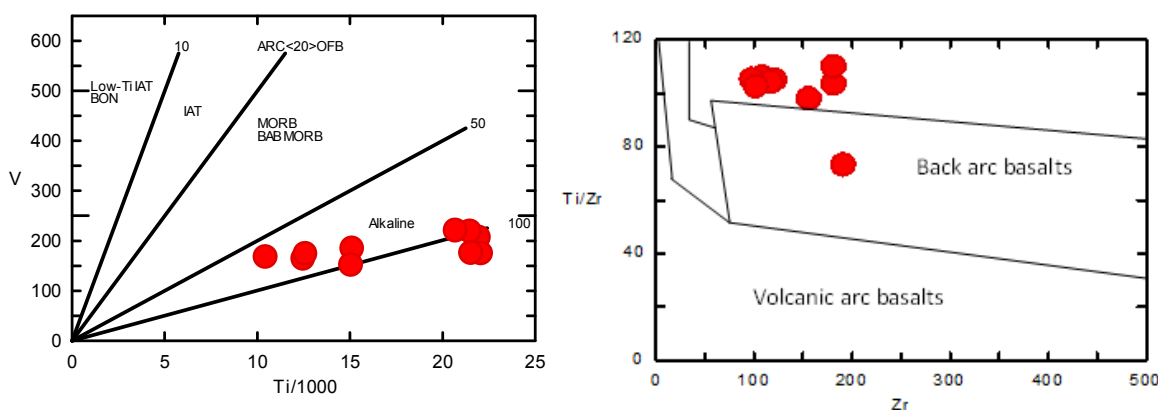


شکل ۷ الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت [۱۱] و نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۱۳]، برای نمونه‌های سنگی منطقه پلنگ در.





شکل ۸ موقعیت نمونه‌های گابرو دیوریتی پلنگ در نمودار تمایز محیط زمین ساختی  $Zr/Y-Zr$  [۱۵]، نمودار  $Ti/Y-Nb/Y$  [۱۵] و نمودار تمایز محیط زمین ساختی  $Th-Zr-Nb$  [۱۶].



شکل ۹ موقعیت نمونه‌های گابرو دیوریتی پلنگ در الف - نمودار  $Ti/Zr-Zr$  [۱۷] و ب - نمودار  $Ti-V$  [۱۸] که در گستره پشت کمان واقع هستند.

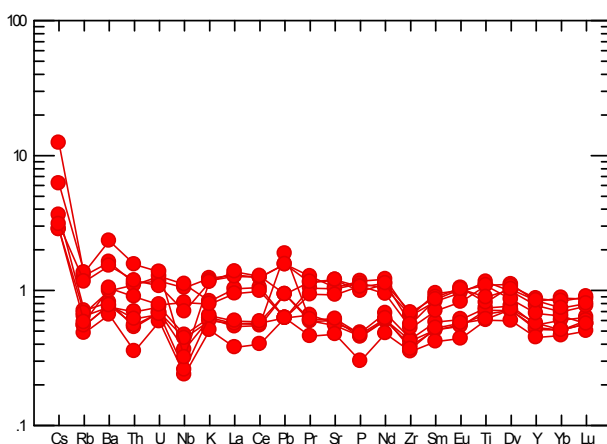
نشان‌دهنده خاستگاه سنگ‌کره‌ای و نسبت‌های بالا شاخص خاستگاه سست‌کره‌ای هستند [۱۳]. میانگین نسبت  $Nb/La$  در گابرو دیوریت‌های ژوراسیک میانی منطقه پلنگ در ۰/۴۹ است که نشان می‌دهد که ماگماهای سازنده گابرو دیوریت‌های منطقه پلنگ در از یک منبع گوشته‌ای با ترکیب مشابه با گوشته محل منبع بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی غنی شده

در نمودار چندعنصری بهنجار شده نسبت به بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) [۱۳] (شکل ۱۰)، میزان غنی‌شدگی سنگ‌های مورد بررسی نزدیک به یک است که این امر می‌تواند بیانگر خاستگاه مشابه با جزایر اقیانوسی باشد. از نسبت  $HFSE/LREE$  نیز به عنوان معیاری برای تعیین خاستگاه گدازه‌های بازالتی استفاده می‌شود. نسبت‌های کمتر از یک

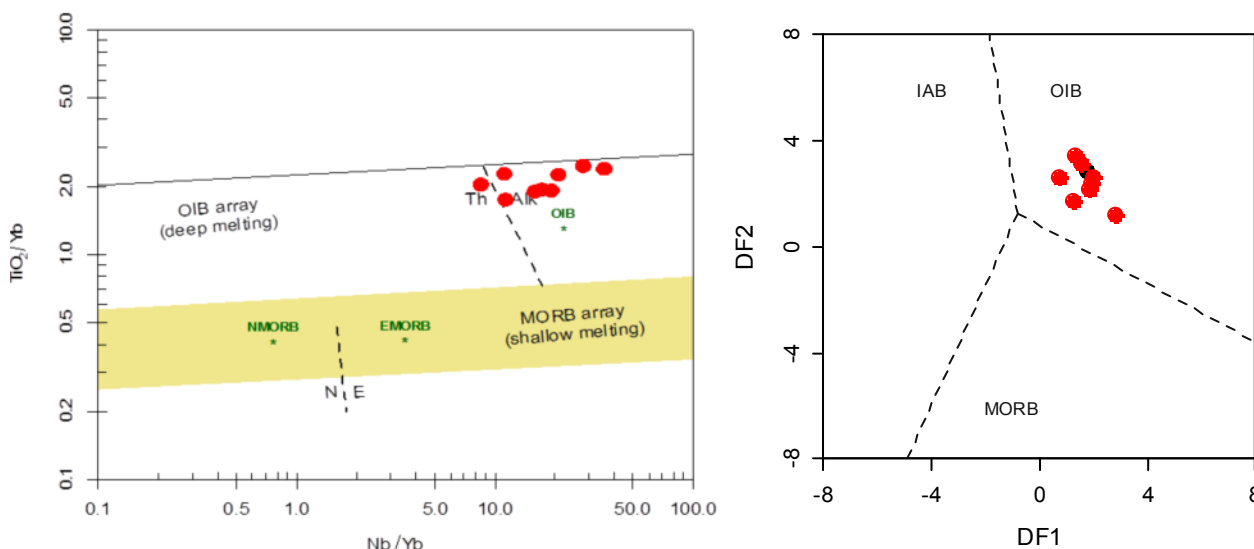
متوسط و سنگین است و همچنین به حضور گارنت در خاستگاه نسبت داده می‌شود. بنابراین تغییرات  $Sm/Yb$  اشاره به مذاپ در حال تعادل با باقیمانده گارنت لرزولیتی یا بدون گارنت دارد (شکل ۱۲). نمونه‌های گابرویدیوریتی ژوراسیک میانی منطقه پلنگ در در گستره خاستگاه دارای گارنت قرار دارند. در نمودار  $(Tb/Yb)_N$  نسبت به  $(La/Sm)_N$  [۲۲] که عناصر نسبت به کندریت [۲۳] بهنجار شده‌اند، نمونه‌های گابرویدیوریتی ژوراسیک میانی منطقه پلنگ در در گستره گارنت‌پریدوتیت قرار دارند (شکل ۱۲).

(EMORB) و گوشته محل منبع یا منشاء ماگماهای سازنده بازالت‌های جزایر اقیانوسی شکل گرفته‌اند [۱۴]. آنها در نمودارهای  $TiO_2/Yb$  نسبت به  $Nb/Yb$  [۱۹] و  $DF2$  نسبت به  $DF1$  [۲۰] نیز در گستره بازالت‌های جزایر اقیانوسی قرار دارند و سری ماگمایی آنها نیز قلیایی تا انتقالی است (شکل ۱۱).

از نمودار تغییرات  $Ce/Sm$  نسبت به  $Sm/Yb$  [۲۱] برای تعیین ترکیب خاستگاه تولید ماگما و تشخیص حضور یا نبود گارنت در خاستگاه سنگ‌های مورد بررسی استفاده شد. تغییرات نسبت  $Sm/Yb$  نشان‌دهنده حضور عناصر خاکی نادر

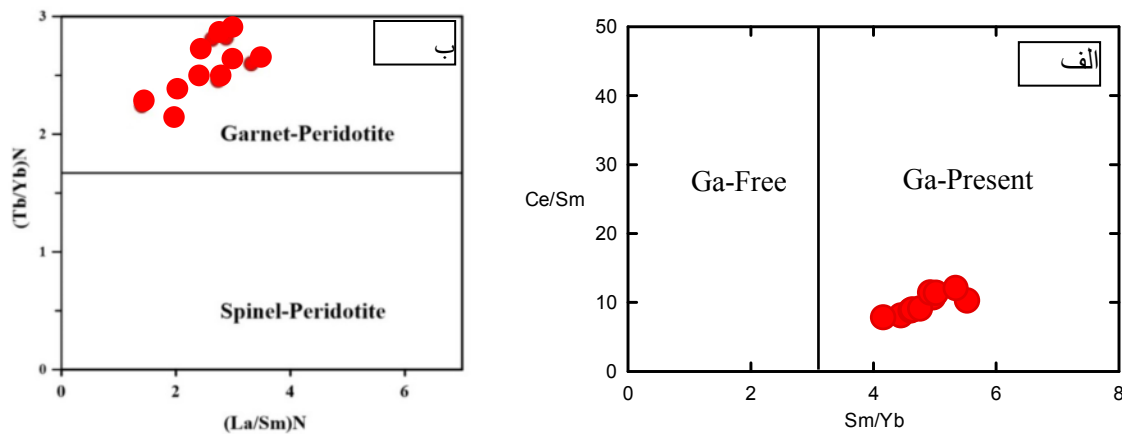


شکل ۱۰ موقعیت نمونه‌های گابرویدیوریتی ژوراسیک میانی منطقه پلنگ در در نمودار مرجع [۱۳] که نسبت به بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) بهنجار شده‌اند.



شکل ۱۱ نمودار  $TiO_2/Yb$  نسبت به  $Nb/Yb$  [۱۹] و نمودار  $DF2$  نسبت به  $DF1$  [۲۰] و جایگاه نمونه‌های پلنگ در بر آنها که همه در گستره OIB قرار دارند.

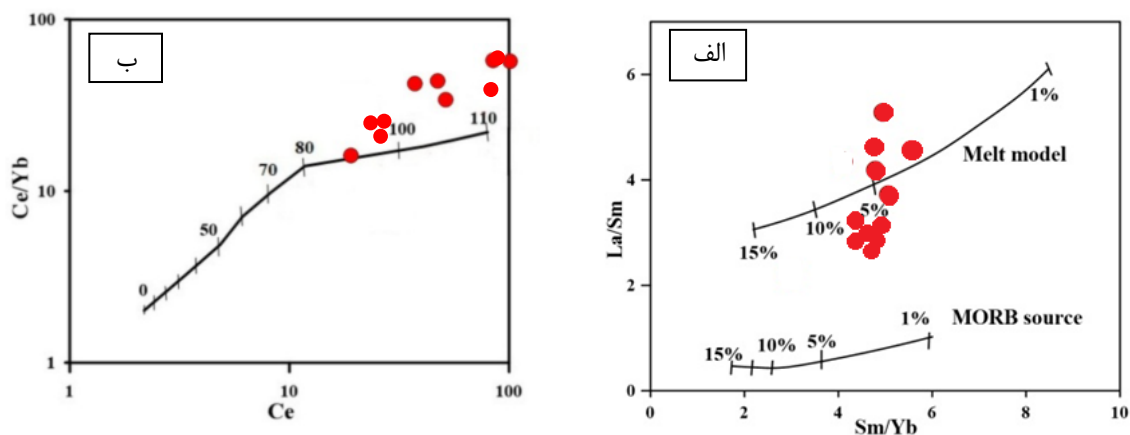




شکل ۱۲ موقعیت نمونه‌های گابرویدیوریتی ژوراسیک میانی منطقه پلنگ‌در در الف - نمودار  $Ce/Sm-Sm-Yb$  [۲۱] و ب- نمودار  $(Tb/Yb)N-(La/Sm)N$  [۲۲].

برای تعیین درجه ذوب بخشی خاستگاه تشکیل ماگماهای سازنده گابرویدیوریت‌های پلنگ‌در، از نمودار تغییرات  $La/Sm$  نسبت به  $Sm/Yb$  [۲۴] استفاده شد (شکل ۱۳). این نمودار افزون بر تعیین درجه ذوب بخشی خاستگاه، ترکیب کانی‌شناسی مودال خاستگاه را نیز نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که گابرویدیوریت‌های پلنگ‌در بیشتر از ذوب بخشی حدود ۳ تا ۷ درصدی یک خاستگاه گارنت لرزولیتی سرچشمه گرفته‌اند. به طور کلی، اعتقاد بر این است که اسپینل تا عمق ۸۰ کیلومتری پایدار است، ولی فاز گارنت می‌تواند تا بخش‌های عمیق‌تر گوشته نیز حضور داشته باشد. نمودارهای مورد استفاده برای گابرویدیوریت‌های پلنگ‌در نشانگر حضور گارنت در خاستگاه ماگمای سازنده سنگ‌های منطقه هستند و می‌توان عمق شکل‌گیری ماگمای تشکیل دهنده این سنگ‌ها را

دست کم حدود ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتر در نظر گرفت. در نمودار  $Ce/Yb$  نسبت به  $Ce$  [۲۵] (شکل ۱۴)، ذوب‌بخشی در اعماق ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتر از سطح زمین صورت گرفته و از سوی دیگر نشان‌دهنده ذوب یک ستون گوشته‌ای عمیق است. با توجه به نمودارهای تعیین جایگاه محیط زمین‌ساختی، ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه و دگرگونی‌های زمین‌ساختی ایران در دوره‌های زمانی تریاس و ژوراسیک در مناطق مختلف و گزارش‌های قاسمی و همکاران [۲۶]، بلوچی [۲۷] و ویس‌کرمی [۲۸] و این پژوهش، بهترین جایگاه پاسخگویی محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌های آذرین بازی - حدواسط اواخر تریاس - ژوراسیک میانی منطقه پلنگ‌در حوضه‌های پشت کمانی درون قاره‌ای است (جدول ۱).



شکل ۱۳ الف- موقعیت نمونه‌های گابرویدیوریتی ژوراسیک میانی منطقه پلنگ‌در در الف) نمودار  $La/Sm-Sm-Yb$  [۲۴] و ب- نمودار  $Ce/Yb-Ce$  [۲۵].

جدول ۱ چکیده‌های از نتایج خام تجزیه شیمیایی سنگ کل نمونه‌های سنگی مربوط به توده گابرو-دیوریتی پلنگ در.

نمونه	4-C-1	PD17-11	PD17-6	PD17-13	PD17-1	PD17-24
اکسید عناصر اصلی (%wt)						
SiO <sub>2</sub>	۴۲,۴۲	۴۵,۱۳	۴۶,۲۵	۴۶,۳۱	۴۸,۲۸	۴۹,۴۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸,۸۹	۱۵,۹۵	۱۳,۸	۱۷,۱	۱۴,۳۸	۱۳,۷
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۴,۴۵	۱۲,۵	۱۴	۹,۳	۱۳,۶۲	۹,۸۴
K <sub>2</sub> O	۰,۹۴	۲,۱۱	۱,۰۶	۲,۰۲	۲,۱	۱,۴۱
Na <sub>2</sub> O	۱,۹۱	۴,۱۸	۲,۷۹	۴,۸۴	۲,۵۲	۲,۵۸
CaO	۱۰,۶۲	۸,۶۹	۱۱,۴۱	۹,۲۵	۹,۷۶	۱۱,۵۵
MgO	۱۶,۳۵	۴,۵	۶,۰۱	۴,۴۴	۴,۹۲	۶,۷۹
MnO	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۹	۰,۱۵
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰,۳۲	۰,۸۲	۰,۲۲	۱,۲۱	۰,۲۵	۰,۲۳
SO <sub>3</sub>	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۲	۰,۰۵	۰,۲۲	۰,۴۶
TiO <sub>2</sub>	۲,۴۰	۳,۳۱	۲,۵۹	۲,۴۹	۲,۳۶	۲,۰۳
L.O.I. مواد فرار	۱,۵۸	۲,۴۵	۱,۴۸	۲,۶۵	۱,۴	۱,۷۴
مجموع	۹۹,۳۷	۹۹,۸۴	۱۰۰	۹۹,۷۹	۱۰۰,۰۱	۹۹,۹۱
عناصر کمیاب (ppm)						
As		۰,۷	۱,۲	۱,۳	۲	<۰,۱
Ba	۲۶۲,۴۹	۲۷۲	۳۴۸	۸۱۶	۱۱۲	۲۳۳
Be	0.83	1	1.7	2	0.7	0.8
Ce	۵۰,۴۱	۴۷	۸۴	۱۰۰	۱۹	۳۷
Co	۶۷,۴۶	۷۶,۵	۳۴,۵	۴۶,۵	۴۰	۸۳,۸
Cr	۷۰۷,۸۸	۴۹۳	۴۱	۵	۱۶۳	۷۳۴
Cs	۰,۳۸	<۰,۵	۱,۱	۲,۴	<۰,۵	۱,۲
Cu	۵۳,۷۹	۶۳	۴۷	۵۶	۷۴	۴۱
Dy	۴,۰۰	۴,۰۶	۵,۵۳	۶,۰۱	۳,۹	۳,۶۲
Er	۱,۷۶	۱,۹۹	۲,۷۳	۲,۸۸	۲,۰۲	۱,۷۹
Eu	۱,۷۱	۱,۷۲	۲,۹	۳,۱۴	۱,۲۹	۱,۴۵
Gd	۵,۲۹	۴,۸۷	۷,۲۳	۸,۱۲	۳,۶۹	۴,۳۹
Hf	۴,۰۹	۲,۵۸	۴,۴۲	۴,۶۶	۰,۸۷	۲,۱۲
La	۲۴,۹۶	۲۲	۳۸	۴۷	۸	۱۷
Li	۵,۳۰	۴	۸	۱۲	۷	۱۰
Lu	۰,۲۰	۰,۱۸	۰,۲۳	۰,۲۷	۰,۱۹	۰,۱۶
Nb	۲۷,۲۲	۱۲,۴	۵۳,۴	۱۵,۳	۷,۲	۴,۳
Nd	۲۶,۵۱	۲۳,۹	۴۰	۴۳,۱	۱۳,۶	۲۰,۴
Ni	۳۰۹,۳۶	۳۵۱	۴۴	۳۸	۸۸	۴۴۸
Pb	۲,۵۸	۳	۲	۵	۲	۳
Pr	۶,۵۷	۵,۹۲	۱۰,۱	۱۱,۰۹	۳,۱۱	۴,۸۶
Rb	۲۱,۳۶	۱۷	۲۱	۴۲	۶	۱۶
Sc	۳۱,۲۷	۳۳	۱۶,۳	۱۵	۲۹,۷	۳۵
Se		۰,۷	۱,۱۳	۱,۱۵	۰,۹۳	۰,۷۵
Sm	۵,۷۴	۵,۲۶	۸,۳۲	۸,۹	۳,۵۹	۴,۵۶
Sr		۴۰,۶۲	۶۷۷,۱	۷۸۸,۶	۳۶۰,۱	۲۸۸,۵
Ta	۱,۸۷	۰,۵۴	۳,۶	۰,۸۱	۰,۳	۰,۱۷
Tb	۰,۷۸	۰,۷	۰,۹۶	۱,۰۶	۰,۶۱	۰,۶۳
Th	۳,۱۲	۲,۴۶	۴,۳۹	۶,۲۴	۰,۴	۱,۵۳
Tm	۰,۲۴	۰,۲۳	۰,۳۲	۰,۳۶	۰,۲۷	۰,۲۳
U	۰,۶۵	۰,۶۸	۱,۳	۱,۴	۰,۲	۰,۵
V	۲۱۴,۴۰	۱۵۰	۲۱۷	۱۷۳	۱۴۸	۱۱۷
Y	۱۶,۶۲	۱۶,۶	۲۲,۴	۲۵,۳	۱۶,۸	۱۴,۸
Yb	۱,۴	۱,۱	۱,۵	۱,۸	۱,۲	۰,۹
Zn	۹۸,۸	۱۰۱	۶۲	۹۷	۵۶	۹۵
Zr	۱۴۴,۵۲	۱۰۳	۱۸۲	۱۹۲	۵۹	۷۲

## برداشت

بر پایه داده‌های زمین‌شیمیایی، ماگمای سازنده سنگ‌های گابرویدیوریتی ژوراسیک‌میانی منطقه پلنگ‌در در نمودارهای تعیین سری ماگمایی ماهیت قلیایی نشان می‌دهد. روند موازی تغییرات عناصر خاکی نادر و بالا بودن مقادیر LILE در نمودارهای عنکبوتی چند عنصری بهنجار شده به کندریت و گوشته اولیه، به همراه طرح‌های موجود در نمودارهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی، ناسازگار و سازگار نسبت به هم بیانگر خاستگاه واحد سنگ‌های گابرویدیوریتی منطقه و نقش تبلور جدایشی در دگرگونی ماگمای سازنده سنگ‌های گابرویدیوریتی است. در نمودار چندعنصری بهنجار شده به OIB، میزان غنی‌شدگی نمونه‌های منطقه نزدیک به یک بوده و بیانگر سرچشمه گرفتن آنها از ذوب گوشته غنی‌شده مشابه خاستگاه گوشته‌ای بازالت‌های جزایر اقیانوسی است.

## مراجع

- [9] Debon F., Le Fort P., "A Chemical-Mineralogical Classification of Common Plutonic Rocks and Associations". Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, (1983) 73, 135-149.
- [10] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamoun area, North Turkey". Journal Contribution to Mineralogy and Petrology, (1976) 58, pp63-81.
- [11] Nakamura N., "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites", Geochim. Cosmochim. Acta, (1974) 38, pp 757-775.
- [12] Rollinson H.R. "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation". Longman, Singapore, (1993) 397 pp.
- [13] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes". Geological Society of London, special publications, (1989) 42, pp 313-345.
- [14] Wilson M., *Igneous petrogenesis, a global tectonic approach*. Unwin Hyman, London. (1989) pp466.
- [15] Pearce J.A., Cann J.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses". Earth and Planet. Sci. Lett, (1973) 19, pp 290-300.
- [16] Wood D. A., Joron J. L., Treuil M., "Re-appraisal of the use of elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings". Journal of Earth Planet. Sci. Lett., (1979) 45, pp 326-336.
- [17] Bagas, L., Bierlein, F. P., English, L., Anderson, J. A., Maidment, D., & Huston, D. L., "An example of a Paleoproterozoic back-arc basin: Petrology and geochemistry of the ca. 1864Ma Stubbins Formation as an aid towards an improved understanding of the Granites-Tanami Orogen, Western Australia". Precambrian Research, (2008) 166 (1), 168-184.
- [18] Shervais J.W., "Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas". Earth Planet. Sci. Lett, (1982) 59, pp 101-118.
- [19] Pearce J.A., "Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust". Lithos, (2008) 100, pp 14-48.
- [20] Agrawal, S., Guevara, M., Verma, S.P., "Tectonic discrimination of basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of
- [1] Alavi M., Salehi Rad R., "Geological map of Damghan sheet, scale 1:100000". Geological Survey of Iran, (1993).
- [2] Salehi Rad R., "Geological map of Gorgan sheet, scale 1:1250000". Geological Survey of Iran, (1993).
- [3] Hossani A., "The study of planet fossils of Shemshak formation in Tazareh region. M.Sc. thesis, (2001), Faculty of Earth Sciences, Tehran University, Tehran, Iran.
- [4] Mirbagheri R., "The stratigraphic sequence of Shemshak formation in Khoshyailagh. M.Sc. thesis", (2007), Faculty of Earth Sciences, Tehran University, Tehran, Iran.
- [5] Moghaddasi S., "Petrology, petrogenesis and stratigraphy of Jurassic volcanic rocks in east Alborz". M.Sc. thesis, (2003), Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
- [6] Jamshidi Kh., "Investigation of magmatism of base of Shemshak formation, east of Alborz zone". M.Sc. thesis, (2007), Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
- [7] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran, A review". American Association Petrol. Geology, (1968) 7: 1229-1258.
- [8] Winchester J.A., Floyd P.A., "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements". Chem. Geol., (1977) 20, 325-342.



- [25] Ellam R.M., "Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry". *Geology*, (1992) 20 pp 153- 156.
- [26] Ghasemi H., Rostami Hossuri M., Sadeghian M., "Basic magmatism in extensional back-arc basin of the Lower-Middle Jurassic at the Northern edge of Central Iran, South of Eastern Alborz zones, Shahrood-Damghan. *Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES*, 2018, Vol. 27, No. 107, p.123-136.
- [27] Baluchi S., "Petrology, geochemistry and isotope geology of Jandagh-Arousan metamorphic-igneous complex. *Ph.D. Thesis in petrology*", Shahrood University of Technology, Faculty of Earth Sciences, 2019, pp 403.
- [28] Veiskarami M., Sadeghian M., Ghasemi H., Shah Vali Kuh Shouri P., Zhai. M., "Majerad gabbrodiorites in the southeast of Shahrood: An evidence to the starting of opening of the supra-subduction basin of the Sabzevar Neotethyan branch in the middle Jurassic". *Iranian Society of Crystallography and Mineralogy*, 2020, In press.
- immobile trace elements". *International Geology Review*, (2008)50, 1057-1079.
- [21] Coban H., "Basalt magma genesis and fractionation in collision and extension-related provinces: A comparison between eastern, central western Anatolia". *Earth Sciences review*, (2007) 80, 219-238.
- Goss A.R., and Kay
- [22] Wang K, Plank T, Walker J.D. and Smith E.I., "A mantle melting profile across the basin and range, SW USA". *Journal of Geophysical Research ECV*, (2002) 5, pp 1–21.
- [23] Boynton W.V., "Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed), *Rare Earth Element Geochemistry*". Elsevier, Amsterdam, (1984) pp 63–114.
- [24] Kuepouo G.T., Chouankoue J.P., Nagao T. and Sato H., "Transitional-tholeiitic basalts in the Tertiary Bana volcano-plutonic complex, Cameroon Line". *Journal of African Earth Sciences*. (2006) 45, pp 318-332.