

## ژئوشیمی و تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل توده گابرویی ورچه (استان مرکزی)

آذر محمد باقری، رضا زارعی سهامیه\*، احمد احمدی خلجی، فرهاد زال

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۷، نسخه نهایی: ۹۶/۳/۶)

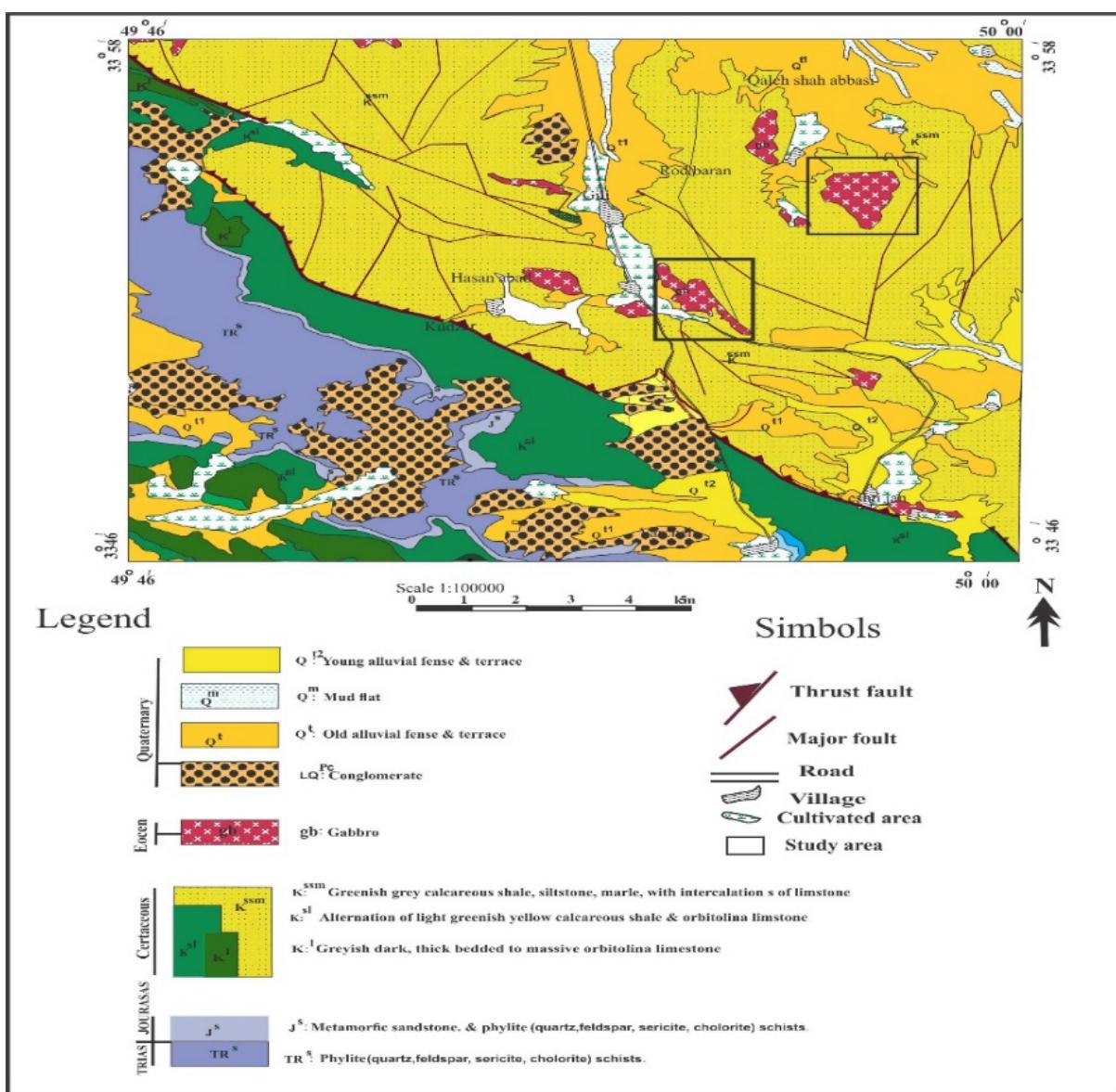
**چکیده:** توده‌ی گابرویی ورچه در استان مرکزی واقع شده و بخشی از منطقه سندنج - سیرجان است. به لحاظ سنگ‌شناسی این توده نفوذی دارای ترکیب گابرو، مونزوگابرو بوده و دارای سرشت ماغماتی آلکالن می‌باشد. براساس الگوی عناصر REE بهنجار شده با کندریت، غنی‌شدنگی از LREE (۱۰۰۱ برابر) و HREE (۱۰۰۰۱ برابر) و بر مبنای الگوی عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشته‌ی اولیه، غنی‌شدنگی از عناصر Zr, Ti, P و HFSE را نشان می‌دهد. عدم وجود بهنجاری منفی Nb نشانگر ماغماتیسم با ماهیت قلیایی است. براساس رفتار عناصر La, Sm, Zr, Nb, Yb می‌توان چنین استنباط کرد که ماغماتی مولد از گوشته‌ی غنی شده با ترکیب اسپینل - گارنت لرزولیت و درجه ذوب بخشی ۱۵-۱۵ درصد حاصل شده است. علت این ماغماتیسم را می‌توان به ایجاد گسل‌های عمیق و ضخیم - شدگی پوسن‌های در اثر فرورانش نئوتیس وابسته دانست. ترکیب پلازیوکلازهای توده گابرویی در گستره‌ی آندزین - لاپرادوریت بوده و کلینوپیروکسن‌های آن از نوع دیوپسید است. ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها ویژگی‌های سری ماغماتی آلکالن را نشان می‌دهند. براساس ژئترموبارومتری دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه‌سانتی‌گراد و فشار تشکیل‌شان بین ۳ تا ۷ براورد شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پلازیوکلاز؛ کلینوپیروکسن؛ گابرو؛ آلکالن؛ ورچه؛ سندنج-سیرجان.

سندنج - سیرجان قرار می‌گیرد [۷،۶]. در رابطه‌ی با جایگاه زمین‌ساختی ماغماتیسم سندنج - سیرجان اختلاف نظر وجود دارد به طوری که [۹،۸] معتقد به یک فعالیت ماغماتی آهکی - قلیایی حاشیه شیوه آند که بیشتر در نیمه دوم دوران دوم فعالیت داشته و به صورت تدریجی به سمت شمال انتقال یافته است بهنظر [۱۰] بیان کرد سنگ‌های آتش‌شانی کرتاسه گلپایگان بوسیله یک سیستم کششی محلی نزدیک یک حاشیه‌ی قاره‌ای فعال تشکیل شده است، آنها از نظر ترکیب قلیایی هستند و در حوضه گرابنیتی کم عمق فوران کرده‌اند. اکثر پژوهشگران که روی منطقه سندنج-سیرجان بررسی‌هایی کرده‌اند اعتقاد به بازشدگی، گسترش، فرورانش و در نهایت برخورد صفحه‌ی عربی به صفحه‌ی ایران مرکزی و بسته شدن نئوتیس دارند [۸، ۱۱-۱۳]. مهمترین حادثه‌ی دگرشکلی و

### مقدمه

بررسی روابط سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین که در جایگاه گوناگون زمین‌ساختی جایگیری کرده‌اند می‌تواند به شناخت روابط دما و فشار هنگام ذوب پوسته، گوشته و شکل‌گیری‌های زمین‌ساختی منجر شود [۱]. ماغماتیسم قلیایی در نواحی قاره‌ای که زمین‌ساختی کششی نشان می‌دهند به خوبی معرفی شده‌اند [۳،۲]. در منطقه فرورانش حاشیه قاره‌ها، ماغماتی قلیایی در مقایسه با ماغماتهای تولیتی و آهکی قلیایی از اعمق بیشتری (بیش از ۱۵۰ کیلومتر) ریشه می‌گیرد [۴]. حضور ماغماتی قلیایی در ابتدای منطقه‌ی فرورانش یک معنای اساسی است. منطقه مورد بررسی در نقشه زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) [۵] ورچه در استان مرکزی واقع شده است (شکل ۱). ورچه در تقسیمات واحدهای زمین‌شناسی و ساختاری ایران در پهنه



شکل ۱ نقشه‌ی زمین شناسی از منطقه مورد بررسی (بر گرفته از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورچه)، نواحی مورد بررسی در شکل مشخص شده است [۱].

قدیمی‌ترین بررسی‌ها است که در منطقه انجام شده و [۱۸] به نقشه در آمده است. همچنین [۱۹] توده‌ی گابروی خمین را به عنوان گابروی قلیایی نشان داده‌اند. [۲۰] بیان کرد که مagmaتیسم قلیایی در منطقه‌ی شمال گلپایگان در پهنه‌ی سنندج سیرجان و در ابتدای منطقه‌ی فروزانش اقیانوس نئوتیس به زیر صفحه ایران قرار دارد و شامل توده‌های نفوذی پتسیس به سن پالئوسن و نیز سنگ‌های آتشفسانی پتسیک و سدیک است. او این magmaتیسم را بسیار پیچیده دانسته به طوری که پهنه‌ی زمین درز پس از تشکیل پوسته بسیار ضخیم با فعالیت magmaتیم قلیایی پس از کوهزایی و پس از برخوردی و

دگرگونی که این پهنه را تحت تاثیر قرار داد، در ارتباط با حادثه‌ی زمین‌ساختی باز و بسته‌شدن نئوتیس است که در دوران دوم انجام گرفت [۱۲]. به‌طور کلی magmaتیسم مافیک به ویژه در بخش شمالی پهنه‌ی سنندج-سیرجان چندان پدیده‌ای رایجی نیست [۱۴] در پهنه‌ی سنندج سیرجان چندین توده‌ی قلیایی-باالت وجود دارند، برای مثال باالت‌های قلیایی کواترنری منطقه قروه تکاب که دارای خاستگاه گوشته‌ای و ماهیت درون صفحه‌ای است [۱۵]، همچنین [۱۶] توده‌ی گابروی خمین را قلیایی با ماهیت درون صفحه‌ای و با خاستگاه گوشته‌ای شکل گرفته معرفی کرده است. بررسی [۱۷] از

استفاده از ریزپردازنده الکترونی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با ریزپردازنده نقطه‌ای مدل Cameca SX10 ساخت شرکت Cameca فرانسه در شرایط ولتاژ ۱۵ و آمپرای ۲۰ nA مورد اనالیز قرار گرفتند.

#### سنگ نگاری

براساس مشاهدات صحرایی و ویژگی‌های کانی‌شناسی، توده‌ی نفوذی ورچه از سنگ‌های با ترکیب کلی گابرو تشکیل شده که به صورت توده‌ای و به رنگ خاکستری تا سبز تیره در منطقه دیده می‌شود. در بررسی‌های میکروسکوپی انجام بیشتر کانی‌های تشکیل دهنده این توده گابرویی از کانی پلاژیوکلاز و کانی کلینوپیروکسن بوده است (شکل ۲ الف و ب). پلاژیوکلاز مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی تشکیل دهنده سنگ‌ها محسوب می‌شود. این کانی حدود ۵۰ درصد حجم سنگ را شامل می‌شود و اغلب شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و به صورت تیغه‌های ریز تا درشت و با ماکل تکراری پلی سنتیک قابل تشخیص‌اند. کلریتی، سریسیتی و سوسوریتی‌شدن از جمله دگرسانی‌های قابل مشاهده در پلاژیوکلازها هستند. دگرسانی سریسیتی بیشتر در مرکز بلور رخ داده است که حاکی از منطقه‌بندی عادی پلاژیوکلاز و غنی‌تر بودن مرکز بلور از کلسیم نسبت به حاشیه بلور می‌تواند باشد. کلینوپیروکسن دومین کانی مهم این توده با فراوانی حدود ۴۰ درصد به صورت نیمه شکل تا شکل‌دار بوده و در بعضی موارد این کانی دستخوش دگرسانی کلریتی و اورالیتی (تبديل پیروکسن به آمفیبول از نوع ترمولیت - اکتینولیت) شده است (شکل ۲ پ). این مقاطع شامل کانی‌های کدر به صورت ریز تا درشت بلور و بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند. بافت غالب در این مقاطع افتیک بوده که معرف وجود بلورهای ریز پلاژیوکلاز در یک میزبان از جنس پیروکسن است. بافت ساب افتیک نیز قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲ ت). وجود بافت افتیک، بیانگر هسته‌زایی بیشتر پلاژیوکلاز نسبت به کلینوپیروکسن در سنگ‌های کم عمق می‌باشد [۲۱]. از لحاظ روابط بین دانه‌ای بافت تداخلی از نوع افتیک - ساب افتیک نشان دهنده تبلور هم زمان پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن می‌باشد [۲۲]. اسفن، آپاتیت و کانی‌های اپک جز کانی‌های فرعی در نمونه‌ها مورد مطالعه می‌باشند.

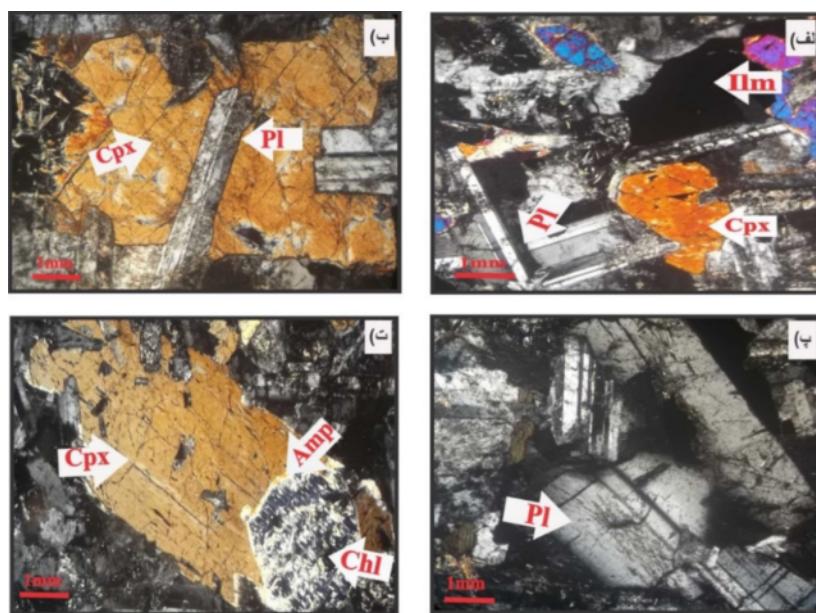
بالا آمادگی زمین‌ساختی همراه بوده است. او این ماقم‌اتیسم را ارنواع پس از کوه‌زایی و پس از برخورد و با شکستگی کششی پس از فاز کوه‌زایی وابسته می‌داند. هدف ما از این بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی سنگ کل و شیمی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی آن و استفاده از آنها در تعیین محیط تکتونوماگمایی توده است.

#### زمین‌شناسی عمومی

منطقه‌ی مورد بررسی با مختصات طول جغرافیایی  $46^{\circ}$  و  $49^{\circ}$  تا  $50^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $33^{\circ}$  و  $33^{\circ}$  تا  $58^{\circ}$  شمالی در نقشه زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) [۵] ورچه در استان مرکزی واقع شده است (شکل ۱). ورچه در تقسیمات واحدهای زمین‌شناسی و ساختاری ایران در پهنه‌ی سندج - سیرجان قرار می‌گیرد [۷,۶] در بخش مرکزی و شمال منطقه سنگ‌های آهکی ضخیم لایه با سن چینه‌شناسی کرتاسه پایینی با پایداری بیشتر در برابر عوامل فرسایش تشکیل کوهسارهای بلندی را داده‌اند. روند آن‌ها با ارتفاعات زاگرس همسو و NW-SE است. کهن‌ترین نهشته‌های موجود در این منطقه، اسلیت‌های زمان تریاپس - ژوراسیک است که در بخش‌هایی از شمال ناحیه بروندز کرده‌اند و به سبب پایداری ناچیز ساختار کم ارتفاعی را نسبت به سنگ‌های کرتاسه نشان می‌دهند. رسوب‌های کنگلومراپی با سن چینه‌شناسی پلوسن - کواترنر به صورت قله‌های کوتاه با شبیه ملایم و نزدیک به ۱۵ تا ۲۰ درجه دیده می‌شوند. در بخش‌هایی از این ناحیه، سنگ‌های آذرین درونی با ترکیب گابرویی به سن چینه‌شناسی اؤسن، سنگ‌های آهکی کرتاسه پایینی را قطع کرده‌اند [۱۸] و در سطح زمین ظاهر شده‌اند.

#### روش بررسی

پس از نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف منطقه، به منظور بررسی‌های زمین‌شیمیایی و سنگ‌شناسی، ۵۰ مقطع نازک سنگی تهیه شدند و پس از بررسی مقاطع تعداد ۱۰ نمونه از سنگ‌ها با حداقل دگرسانی انتخاب و به منظور تجزیه شیمیایی آنالیز عناصر اصلی به روش XRF و آنالیز عناصر فرعی به روش ICP-MS به شرکت Acme (کانادا) ارسال شدند. در ادامه به منظور بررسی شیمی کانی تعداد ۳۰ نقطه از کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز از نمونه‌های مورد بررسی، با



شکل ۲ (الف) پلازیوکلاز با ماکل تکراری پلی‌سنتتیک، (ب) ایلمینیت، پلازیوکلاز و پیروکسن دگرسان شده و تبدیل آن به آمفیبول و کلریت. (ت) بافت افتیک تمامی تصاویر در نور (XPL). عالیم اختصاری کانی‌ها (Px: پیروکسن، Pl: پلازیوکلاز، Ilm: ایلمینیت، Amp: آمفیبول، Chl: کلریت).

است که گدازه‌های آهکی-قلیایی با غنی‌شدگی LREE و تهی‌شدگی HREE و گدازه‌های قلیایی با غنی‌شدگی LREE HREE مشخص می‌شوند. [۳۰] الگوی موازی عناصر خاکی نادر خاستگاه مشترک و نقش تبلور تفریقی در شکل‌گیری سنگ را نشان می‌دهد این‌ها علائمی از ماهیت قلیایی مagma است [۳۱]. مقادیر  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  بین  $1/3$  تا  $1$  نمونه‌های مورد بررسی بیان کننده وجود بیهنجاری ضعیف Eu هستند، از آنجا که آمفیبول و ارتوپیروکسن در گدازه‌های مافیک دارای بیهنجاری منفی Eu و پلازیوکلاز دارای بیهنجاری مثبت Eu هستند تبلور هم زمان آمفیبول و یا پیروکسن با پلازیوکلاز می‌تواند باعث فقدان بیهنجاری Eu شود [۳۲]. الگوی مشاهده شده برای عناصر کمیاب نمونه‌های مورد بررسی در نمودارهای عنکبوتی بیهنجار شده نسبت به گوشه اولیه [۳۳]، (شکل ۳ ت) غنی‌شدگی ضعیفی از عناصر Zr - Ta - Ti - Nb - P دیده می‌شود، و از طرفی عناصری مثل Ba - Cs - Sr - K نیز دارای بیهنجاری‌های مثبت هستند. غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک و نبود بیهنجاری منفی عناصر با شدت میدان بالا مانند Zr, Nb, Ti, P و پایین بودن Rb از خصوصیات چشمگیر سنگ‌های آهکی است [۳۴] و مگماهی غنی از Ti, Nb اشاره به یک مگماهی قلیایی حاصل از پلوم دارد [۳۵]. در بازالت‌های قاره‌ای که دارای محتوی بالای عناصر بزرگ یون و تهی‌شدگی ضعیف

### ژئوشیمی توده گابروی

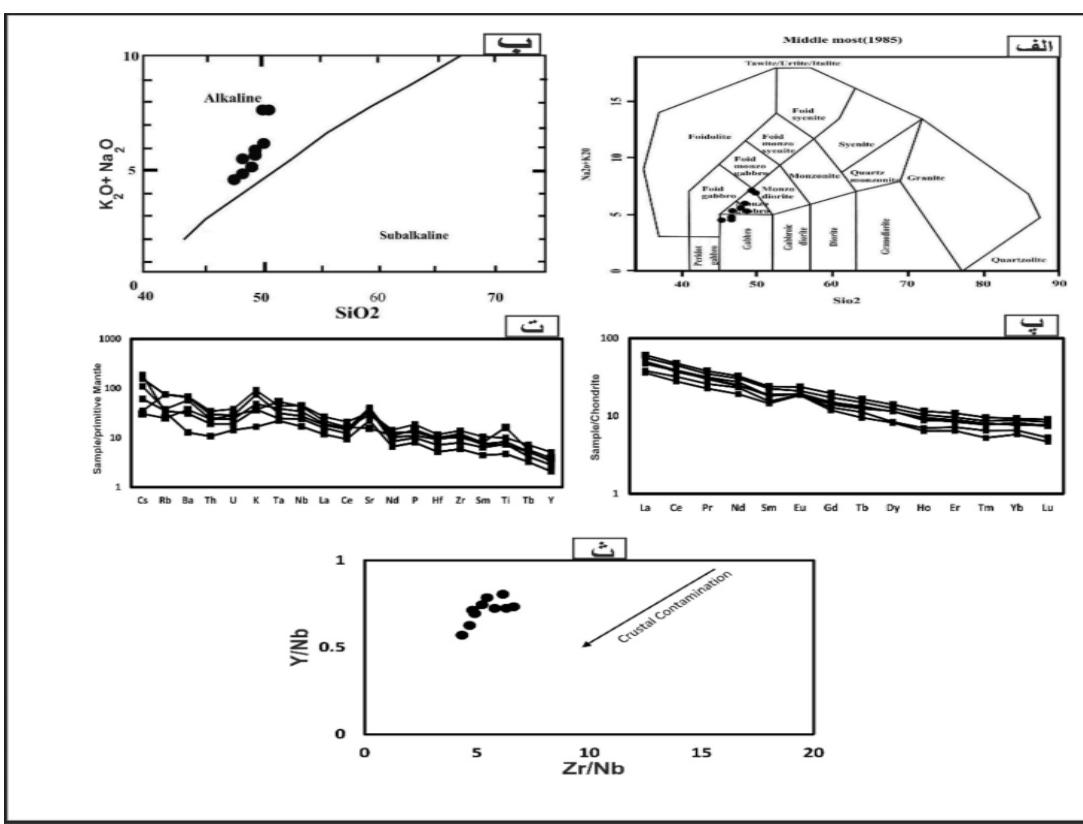
داده‌های مربوط به آنالیز توده گابروی در جدول (۱) ارائه شده است. نمونه‌های مورد مطالعه براساس نمودار مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس [۲۳] در محدود گابرو و مونزوگابرو (شکل ۳ الف) و در نمودار تعیین سری ماقمایی [۲۴]، نمونه‌ها در محدوده آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۳ ب). در الگوی عناصر خاکی نادر نسبت به کندریت [۲۵]، غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE دیده می‌شود (شکل ۳ پ)، [۲۶] دلیل این غنی‌شدگی را بالا بودن نسبت  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  در خاستگاه، عمق بیشتر تولید ماقما، درجه‌ی پایین ذوب‌بخشی، وجود گارنت باقیمانده سنگ خاستگاه و آغشتگی ماقما بیان کرد. در نمونه‌های مورد بررسی کاهش HREE با خاستگاه گارنت لرزولیتی (گارنت باقیمانده در خاستگاه) سازگار است از آنجایی که یکی از شرایط لازم برای تشکیل گارنت عمق مناسب است از همین رو ماقمای اولیه سنگ‌هایی که با عناصر کمیاب سبک بالا نسبت به عناصر سنگین دارند از اعمق بیشتری می‌آیند و دستخوش ذوب‌بخشی کمتری شده‌اند و گارنت به صورت فاز باقیمانده در خاستگاه مانده است [۲۷] عامل بعدی غنی‌شدگی از عناصر سبک در نمونه‌ها می‌تواند آلودگی به پوسته باشد [۲۸]. معتقد است که غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی (۱۰۰ برابر) و خاکی نادر سنگین (۱۰ برابر) نسبت به گوشه اولیه و کندریت بیانگر خاستگاه گوشه‌ای بازالت است. [۲۹] معتقد

مقدار در نمونه‌های مورد بررسی به طور میانگین ۳ است از طرفی [۳۹] معتقد است که با افزایش آلایش پوسته‌ای هر دو نسبت  $\text{Y}/\text{Nb}$  و  $\text{Zr}/\text{Nb}$  کاهش می‌یابد که این روند در نمونه‌های مورد بررسی نیز کاهش می‌یابد (شکل ۳ ث). غنی‌شدگی  $\text{Sr}$  در نمونه‌های مورد بررسی را می‌توان به حضور پلازموکلاز کلسیک در آنها نسبت داد زیرا  $\text{Sr}$  به سهولت جانشین  $\text{Ca}$  در ساختار بلوری پلازموکلاز می‌شود. بیهنجاری مثبت از  $\text{Cs}$  به علت نفوذ سیالات پوسته‌ای و یا هضم مواد پوسته‌ای به وسیله‌ی ماقما باشد [۴۰، ۴۱] به طور کلی [۴۲] معتقد است که آلایش پوسته‌ای برای ماقما بازالتی مشتق شده از گوشه که از میان پوسته قاره‌ای صعود می‌کند امری اجتناب ناپذیر است.

$\text{Nb}$  و غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک نسبت به سنگین دارند، نشان از آلایش پوسته‌ی قاره‌ای دارد. در نمونه‌ای مورد بررسی عناصر LFSE دارای غنی‌شدگی بیشتری نسبت به عناصر HFSE است این شرایط نشان از ماهیت قلیایی ماقما و آلایش پوسته‌ای دارد. همچنین بی‌نظمی عناصر بزرگ یون در نمودار نسبت به گوشه‌ی اولیه می‌تواند به دلیل دگرسانی و آلایش پوسته‌ای باشد. [۳۶] محتوی پایین Rb به سنگ‌های قلیایی نسبت داد و [۳۷] نسبت  $\text{Y}/\text{Nb} > 1$  را شاخص بازالت قلیایی می‌داند. در نمونه‌های مورد بررسی مقدار Rb پایین و بین ۰,۵۶ تا ۰,۸ است که این می‌تواند به دلیل آلایش با مواد پوسته‌ای باشد. به عقیده [۳۸] نسبت  $\text{Ba}/\text{Zr}$  در ماقما بازالت دستخوش آلایش پوسته‌ای شده بین ۵-۲ تغییر می‌کند که این

جدول ۱ نتایج حاصل از آنالیز سنگ کل گابروهای منطقه ورقه به روش (ICP-MS و ICP-ES).

Oxide	Vg-1	Vg-2	Vg-3	Vg-4	Vg-5	Vg-6	Vg-7	Vg-8	Vg-9	Vg-10
$\text{SiO}_2$	۵۰,۷۱	۴۹,۰۵	۵۰,۲۳	۴۸,۳۸	۵۰,۰۱	۴۷,۸۷	۴۸,۳۵	۴۹,۴۵	۴۵,۷۴	۴۹,۶
$\text{TiO}_2$	۲,۰۸	۱,۴۹	۲,۱۱	۱,۵۶	۱,۴۷	۱,۷۵	۳,۴	۱,۴۹	۰,۹۹	۱,۵۳
$\text{Al}_2\text{O}_3$	۱۷,۷۸	۱۷,۸	۱۷,۴۴	۱۸,۴۲	۱۸,۴۷	۱۵,۴۸	۱۷,۴۵	۱۹,۲۴	۱۲,۵۶	۱۹,۴
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	۸,۴۲	۹,۱۵	۸,۴۵	۸,۴۶	۷,۸	۱۰,۸۷	۸,۵۴	۷,۴۱	۱۱,۸۷	۷,۲۱
$\text{MnO}$	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱	۰,۱۵	۰,۱۳	۰,۱	۰,۱۹	۰,۱
$\text{MgO}$	۲,۹۸	۶,۴۹	۲,۹۹	۵,۶۳	۵,۹۶	۸,۴	۴	۵,۱۴	۱۲,۹	۴,۹۴
$\text{CaO}$	۵,۲۸	۷,۶۳	۵,۹۹	۸,۹۴	۶,۳۹	۷,۰۲	۸,۶	۸,۰۸	۸,۵۶	۷,۹۶
$\text{Na}_2\text{O}$	۴,۹	۳,۳	۴,۸۴	۳,۷۲	۴,۳۲	۳,۲۴	۴,۳۹	۳,۷۱	۲,۱۳	۳,۷۱
$\text{K}_2\text{O}$	۲,۷۴	۱,۸۷	۲,۸۳	۱,۱۳	۱,۷۷	۱,۴۵	۱,۱	۲,۰۱	۰,۵	۲,۲۴
$\text{P}_2\text{O}_5$	۰,۳۷	۰,۲۴	۰,۳۳	۰,۲	۰,۲۲	۰,۲۶	۰,۲۹	۰,۲۲	۰,۱۶	۰,۲۲
$\text{H}_2\text{O}$	۴,۴	۲,۵	۴,۹	۳,۱	۳,۱	۳,۱	۳,۵	۲,۸	۴	۲,۶
$\text{Ba}$	۴,۳۷	۴,۳۷	۵,۷	۲,۱۶	۴,۵۵	۴,۰۱	۲,۵۶	۴,۰۵	۵,۹	۴,۶۱
$\text{Rb}$	۴,۸	۳,۴۹	۴,۸۲	۲,۲۳	۳,۰۲	۲,۴۱	۱,۵۹	۴,۱۴	۲	۴,۷۴
$\text{Sr}$	۵۷۴,۷	۷۷۳,۸	۶۶۷,۳	۸۷۱,۳	۱۱۲۶,۶	۶۲۵,۱	۳۲۸,۵	۸۳۳,۱	۴۶۵,۴	۸۰۵,۱
$\text{Zr}$	۱۵۵,۷	۱۵۳,۴	۱۴۲۹	۸۹,۹	۱۵۱,۵	۱۱۳,۸	۱۳۴,۳	۱۱۱,۲	۶۶	۱۰,۲
$\text{Nb}$	۳,۲۴	۳,۴۳	۲,۶۱	۱,۷۲	۲,۲۸	۲,۴۳	۳,۰۹	۱۹,۲	۱۲,۱	۱۹,۵
$\text{Ni}$	۲۰	۹۰	۲۴	۶۵	۵۸	۱۵۶	۲۰	۵۶	۲۲۱	۵۲
$\text{Co}$	۲۰,۱	۳۶,۵	۲۰,۷	۳۰,۱	۳۱	۴۳,۵	۲۵,۳	۲۷,۸	۵۹,۷	۲۶,۵
$\text{Cr}$	۱۱۸,۲	۲۷۳,۷	۱۴۳,۷	۲۸,۰	۳۴۲,۱	۲۲۲,۸	۷۴,۹	۲۷۳,۷	۴۱,۰	۲۸۷,۴
$\text{La}$	۱,۸۸	۱,۵۵	۱,۷۲	۱۱,۱	۱۴,۵	۱۳,۶	۱۵,۵	۱۱,۸	۸,۳	۱۲,۸
$\text{Ce}$	۳۸,۴	۳۱,۲	۳۶,۳	۲۲,۵	۳۰,۷	۲۸,۵	۲۹,۹	۲۵,۹	۱۷,۲	۳۷,۱
$\text{Pr}$	۴,۶۱	۳,۸۴	۴,۲۴	۲,۷۵	۳,۶۴	۳,۲۷	۳,۱۶	۳,۱۶	۲,۰۵	۳,۳۴
$\text{Nd}$	۱,۹۶	۱,۶۴	۱,۸۳	۱۱,۵	۱۴,۶	۱۷,۳	۱۵	۱۳,۹	۹	۱۴,۱
$\text{Sm}$	۴,۶۶	۳,۵۳	۴,۳۸	۲,۸۲	۳,۶۶	۳,۳۵	۳,۵۳	۳,۰۱	۱,۹۷	۳,۳۳
$\text{Eu}$	۱,۷۴	۱,۴۲	۱,۵۴	۱,۳۶	۱,۴	۱,۱	۱,۴	۱,۳۷	۰,۸۷	۱,۴۳
$\text{Gd}$	۵,۰۵	۳,۸۸	۴,۴۶	۳,۰۷	۳,۶۵	۲,۶۴	۳,۹۲	۲,۳۲	۲,۱۳	۲,۲۵
$\text{Tb}$	۰,۷۸	۰,۶۳	۰,۷۱	۰,۴۵	۰,۵۶	۰,۵۷	۰,۶۲	۰,۵۳	۰,۳۵	۰,۵۶
$\text{Dy}$	۴,۵	۲,۶۴	۴,۰۴	۲,۶۳	۳,۷۲	۳,۱۲	۲,۶۹	۲,۶۹	۱,۹۶	۲,۰۲
$\text{Ho}$	۰,۸۳	۰,۶۸	۰,۷۴	۰,۴۶	۰,۶۳	۰,۵۵	۰,۶۵	۰,۵	۰,۳۵	۰,۵۵
$\text{Er}$	۲,۲۸	۱,۸۷	۲,۰۱	۱,۳۵	۱,۸۱	۱,۶۲	۱,۷۶	۱,۵۱	۰,۹۵	۱,۴۱
$\text{Tm}$	۰,۳۱	۰,۲۶	۰,۲۸	۰,۱۷	۰,۲۶	۰,۲۳	۰,۲۵	۰,۲۱	۰,۱۴	۰,۲۲
$\text{Yb}$	۱,۹۴	۱,۶	۱,۸۴	۱,۲۱	۱,۶۲	۱,۵	۱,۷۱	۱,۳۶	۰,۹۲	۱,۳۸
$\text{Lu}$	۰,۲۹	۰,۲۵	۰,۲۷	۰,۱۵	۰,۲۴	۰,۲۲	۰,۲۴	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۲۲
$\text{Y}$	۲۳,۱	۱۷,۸	۲۰,۲	۱۲,۸	۱۶,۷	۱۵,۲	۱۷,۸	۱۳,۹	۹,۵	۱۵,۷
$\text{Cs}$	۰,۸	۴,۹	۱,۱	۱,۴	۰,۸	۲,۵	۰,۷	۵,۴	۴,۳	۳,۶
$\text{Ta}$	۱,۸	۱,۶	۲	۱	۱,۶	۱,۶	۲,۲	۱,۴	۰,۹	۱,۳
$\text{Hf}$	۳,۶	۳,۶	۳,۳	۲,۲	۳,۵	۳	۳,۱	۲,۵	۱,۶	۲,۹
$\text{Th}$	۲,۹	۳	۲,۷	۱,۶	۲,۸	۲	۲	۱,۹	۰,۶	۲,۵
$\text{U}$	۰,۸	۰,۸	۰,۸	۰,۴	۰,۸	۰,۵	۰,۶	۰,۷	۰,۳	۰,۶
$\text{V}$	۱۶,۴	۱۲,۳	۱۸,۷	۱۴,۵	۱۷,۰	۱۴,۰	۲۶,۳	۱۴,۸	۹,۳	۱۵,۷
$\text{Sc}$	۲,۲	۱,۵	۲,۴	۱,۸	۲,۳	۱,۸	۳,۲	۱,۹	۱,۳	۲,۱



شکل ۳ (الف) رده‌بندی شیمیایی مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس، توسط [۲۳]، (ب) نمودار A/NK در مقابل A/CNK [۲۴]، (پ) الگوی مشاهده شده برای عناصر در نمودارهای بهنجار شده نسبت به [۲۵] (ت) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۳۳]، (ث) نمودار Y/Nb و Zr/Nb که این روند در نمونه‌های مورد مطالعه الیش را نشان می‌دهد [۳۹].

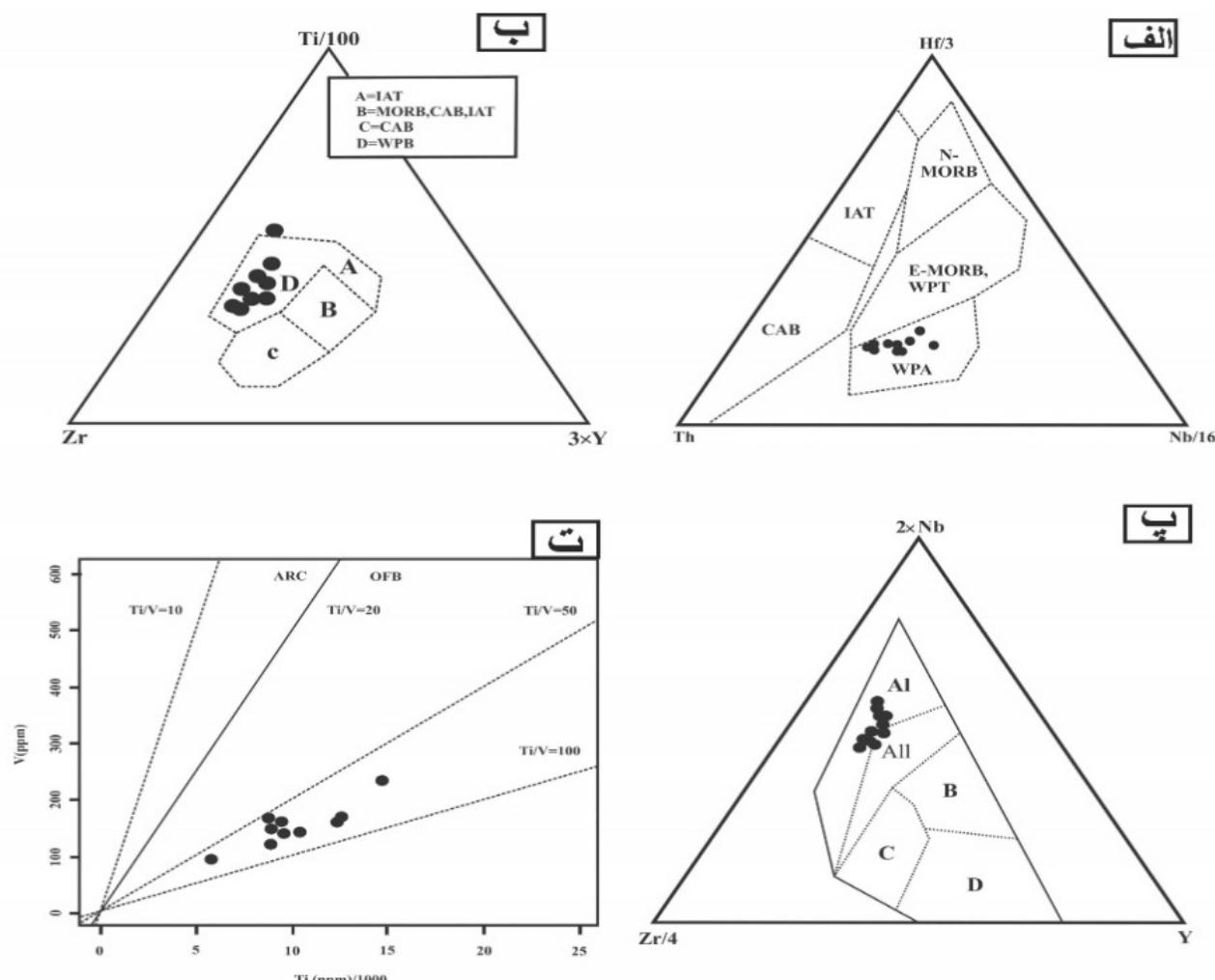
مورد بررسی از گوشته با درجه‌ی ذوب‌بخشی پایین و آلایش با پوسته‌ی قاره‌ای است. نسبت U/Nb در نمونه‌های مورد بررسی از ۰/۵ تا ۲۴ متغیر است که این نسبت پایین در نمونه‌ها ناشی از آلایش پوسته‌ای است. همچنین نسبت بالای Nb/Yb (۱۳-۱۶/۷)، Ti/Y (۱۱۶۰ - ۵۴۰)، La/Y (۲/۸ - ۲/۴) معقّدند که، منشأ پلوم گوشته‌ای می‌باشد (شکل ۵ ب). [۴۸] معتقدند که، نسبت n (La/Sm) در سنگ‌های پوسته بیش از ۴/۲۵ است و ولی مقدار (La/Sm)n در نمونه‌های مورد بررسی بین ۲/۸ تا ۲/۴ است که این نسبت می‌تواند بیان کننده‌ی ماهیت قلیایی نمونه‌ها و ریشه گوشته‌ای غنی‌شده و آلایش پوسته‌ای را نشان دهد. در نمودار Yb/Sm در برابر Sm [۴۹] که برای تمایز بین ذوب خاستگاه‌های گارنت و اسپینل لرزولیت ارائه شده است، نمونه‌های مورد بررسی دارای خاستگاه احتمالی، ماجمای مشتق شده از گوشته‌ی غنی شده اسپینل - گارنت لرزولیت با آهنگ

#### جایگاه زمین ساختی و تعیین خاستگاه

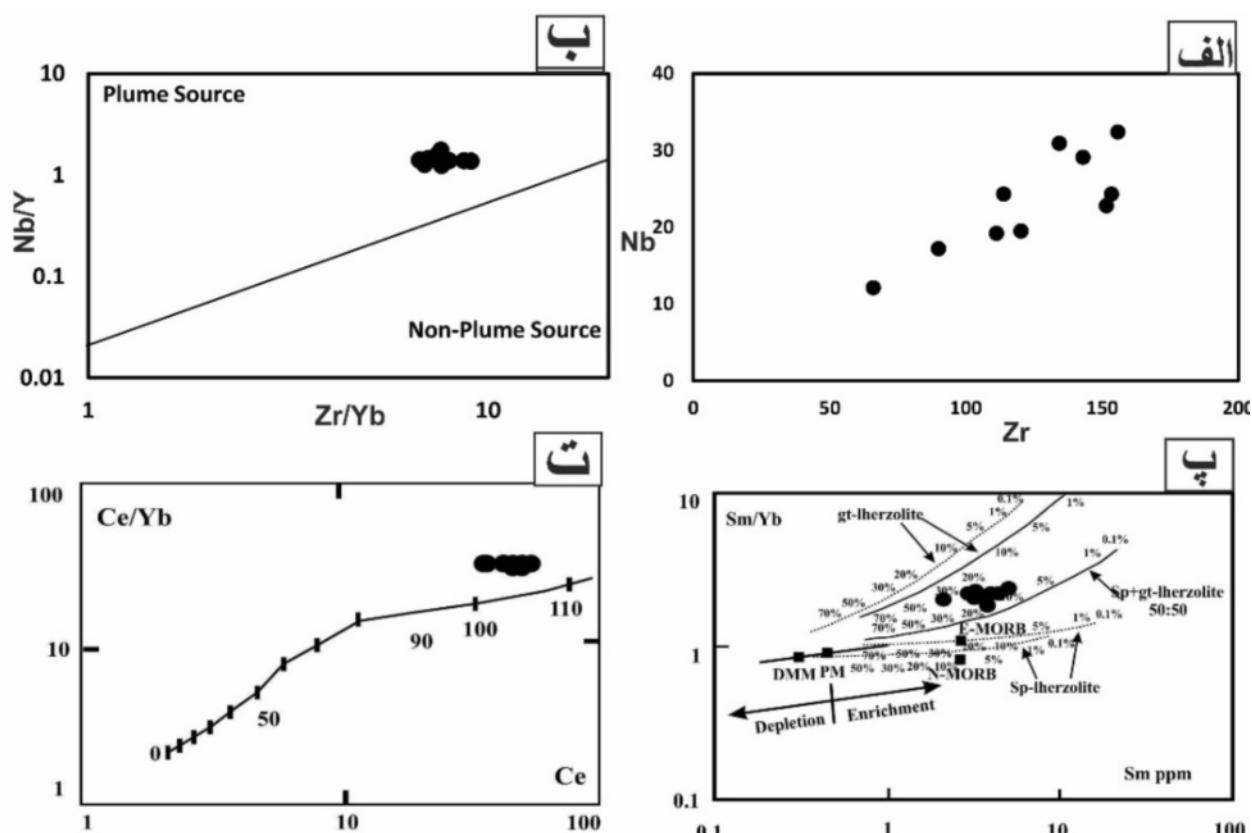
برای تعیین محیط تکتونیک‌گامایی نمونه‌های مورد نظر ما از نمودارهای [۳۷] بر پایه عناصر HFS نامتحرك (شکل ۴ (الف)، ۴ (ت)، Ta - Hf - Th - Zr - Ti) [۴۳]، بر پایه عناصر Y - Ti - Zr - Hf - Ta (شکل ۴ (ب)، نمودار [۴۴] (شکل ۴ (پ)، و نمودار [۴۵]، V - Ti) بر حسب (شکل ۴ (ت)، استفاده کردیم که در این نمودارها نمونه‌ها در گستره‌ی بازالت درون صفحه‌ای با ماهیت قلیایی قرار گرفتند. در نمونه‌های مورد بررسی Zr در مقابل Nb همبستگی مثبت دارد (شکل ۵ (الف)، [۴۶] معتقد است که روند خطی بین Zr و Nb نشان دهنده اشتراق ماجمای سازنده از یک خاستگاه گوشته‌ای و نقش تبلور تفریقی به عنوان فرایند غالب شکل - گیری ماجمای است. نسبت Zr/Nb در سنگ‌های پوسته بالایی در حدود ۲۲ تا ۲۵ گزارش شده، در نمونه‌های مورد بررسی مقدار Zr/Nb بین ۴/۳ تا ۶/۳ تا ۴/۳ متغیر است از این‌رو در ماجمای قلیایی با افزایش آلایش پوسته‌ی قاره‌ای نسبت Zr/Nb کاهش می‌یابد که این بیان کننده خاستگاه گرفتن سنگ‌ها منطقه‌ی

منطقه دو برابر مقدار معمول است، که این به دلیل روراندگی پوسته‌ی قاره‌ای ایران روی عربستان است [۵۴] از طرف دیگر [۵۵] پیداش مagma‌ای قلیایی را سرشتی نواحی لیتوسفر ضخیم دانسته که در این شرایط، ذوب فقط در اعماق زیاد امکانپذیر است. فشار بالا (منطقه بر ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر) قادر به تولید موادقلیایی است [۵۵] در نواحی مجاور حاشیه فعال قاره‌ای و پهنه برخورد قاره – قاره ممکن است پوسته به طور محلی دستخوش کشش و بازشدگی شود و گسل‌های عمیق فعال شوند. به این ترتیب magma‌ای به صورت درونی و بیرونی با حجم‌های متفاوت، از خلال شکستگی به بالا صعود می‌کنند [۲۳]. از این رو علت magma‌ای قلیایی در بررسی می‌تواند به دلیل ضخیم‌شدن پوسته و ایجاد گسل‌های عمیق در آن به دلیل فرورانش نفوذتیس باشد.

ذوب بین ۱۰ تا ۱۵ درصد بوده است (شکل ۵ پ). این درجه‌ی ذوب‌بخشی برای magma‌ای قلیایی بالاست مگر آنکه ذوب در اعماق بیش از ۶۰ کیلومتر رخ داده باشد [۵۰]. بر اساس نمودار Ce/Yb در مقابل Ce [۵۱] نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی پایداری اسپینل – گارنت لرزولیت با اعماقی بین (۱۰۰ تا ۱۱۰) را نشان می‌دهد. [۵۲] معتقد است که منطقه‌ی انتقالی اسپینل به گارنت در اعماق ۶۰ تا ۸۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است و اسپینل نهایت تا عمق ۸۰ کیلومتر پایدار است ولی گارنت تا بخش‌های عمیق‌تر نیر حضور دارد. بسیاری از گارنت لرزولیت‌ها در دماهای ۹۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه‌ی سانتیگراد و در اعماق ۱۲۰ تا ۱۷۰ کیلومتر پایدار هستند [۵۳]. ضخامت پوسته قاره‌ای در منطقه‌ی سنندج-سیرجان در حدود ۶۰ کیلومتر است [۵۴]. بر این اساس پوسته‌ی قاره‌ای در این



شکل ۴ (الف) نمودار برای تعیین محیط زمین‌ساختی [۳۷]، (ب) نمودار برای تعیین محیط تکتونیکی [۴۲]، (پ) نمودار برای تعیین محیط زمین‌ساختی [۴۴]. (ت) نمودار برای تعیین محیط زمین‌ساختی [۴۵].



شکل ۵ (الف) نمودار نشان دهنده روند خطی بین  $Zr/Y$ -Nb - در مقابل  $Zr$  و  $Nb$  [۴۶]. (ب) نمودار  $Y/Nb$  - در مقابل  $Zr/Yb$  ، همهی نمونه‌های نمودار گرفته و نشان دهنده خاستگاه پلوم گوشتهای هستند. [۴۷] (پ) موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در نمودار الف - Sm/Yb در برابر Sm - [۴۹] Sm/Yb در مقابله Ce/Yb، Ce [۵۱] در مقابله Ce/Yb.

گرفتند (شکل ۶ ب)، برای جدایش پیروکسن‌های گروه Ca-Mg-Fe از نمودار مثلثی Wo-En-Fs [۵۶] استفاده شد. چنانکه در نمودار Wo-En-Fs ملاحظه می‌شود، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های آنالیز شده از نوع دیوپسید است (شکل ۶ پ) که ترکیب اعضای انتهایی کلینوپیروکسن‌ها در این توده‌ها،  $Wo_{28.88-47.80}$ ,  $En_{38.78-47.80}$  و  $Fs_{5.98-23.69}$  هستند. برای تعیین میزان گریزندگی اکسیژن در پیروکسن می‌توان از نمودار  $Na + Al^{IV}$  در مقابل  $Cr + 2Ti + Al^{VI}$  نشان گر تشکیل کلینوپیروکسن‌ها در دو حالت گریزندگی اکسیژن، گریزندگی بالای اکسیژن، بالای خط  $Fe^{3+} = 0$  و حالت گریزندگی پایین اکسیژن در پایین خط  $Fe^{3+} = 0$  است [۵۸]. با توجه به این نمودار بیشتر پیروکسن‌های مورد بررسی در بالای خط  $Fe^{3+} = 0$  قرار گرفته‌اند که نشان دهنده گریزندگی بالای اکسیژن است (شکل ۶ ت).

### شیمی پلازیوکلاز

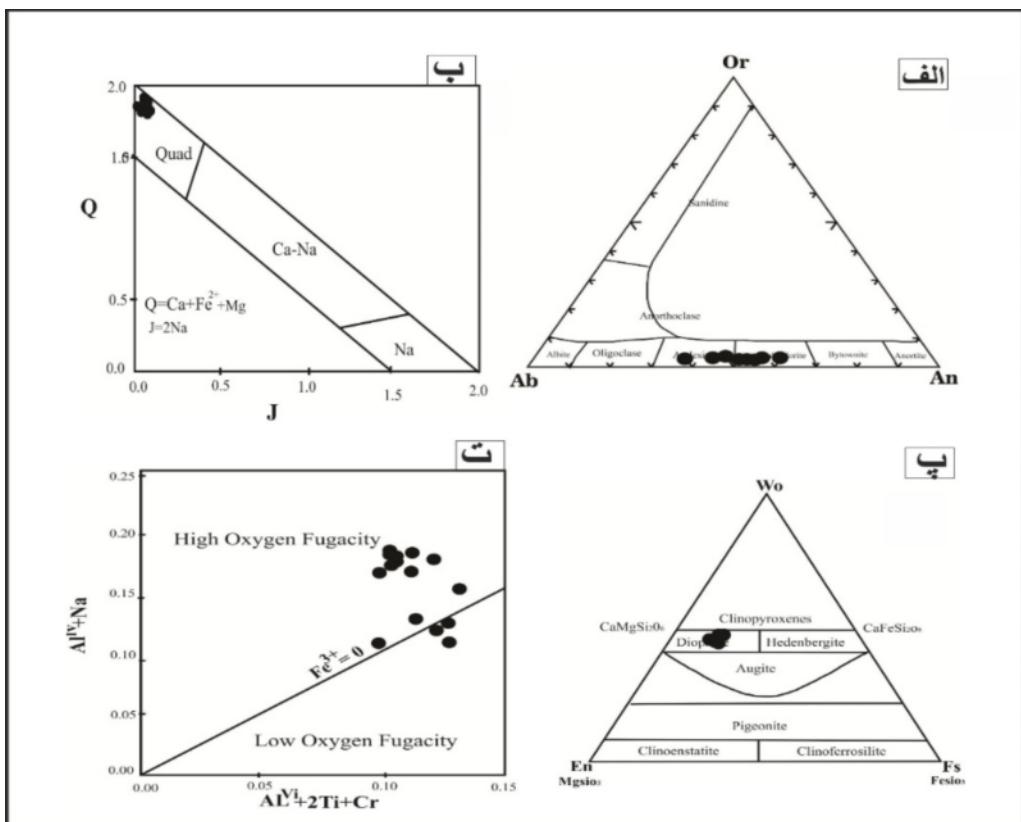
نتایج ریز کاوش الکترونی از پلازیوکلازهای توده‌های نفوذی ورچه در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های پلازیوکلاز نشان می‌دهد که محتوای  $An_{36.21-56.21}$ ,  $Or_{1.09-2.89}$  و  $Ab_{37.51-62.19}$  است. بر این اساس ترکیب کانی شناسی پلازیوکلازهای منطقه در نمودار  $Ab - An$  در گستره‌ی آندزین - لابرادوریت قرار گرفته‌اند (شکل ۶ الف).

### شیمی کانی پیروکسن

داده‌های وابسته به آنالیز میکروپرپ کانی پیروکسن در (جدول ۳) ارائه شده‌اند. پیروکسن‌ها در ردبهندی گستردگی به ۴ گروه: ۱-پیروکسن‌های (Quad) Ca-Mg-Fe، ۲-پیروکسن‌های (Other) Ca-Na، ۳-پیروکسن‌های Na, ۴-دیگر پیروکسن‌ها (Other) در ردبهندی می‌شوند [۵۷]. در مورد نمونه‌ی پیروکسن‌های مورد نظر پس از آنکه آنها در نمودار Q-J در بخش Quad قرار

جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای پلازیوکلازها و محاسبه فرمول ساختاری آن بر مبنای اتم اکسیژن می‌باشد.

Oxide	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
SiO <sub>2</sub>	۵۶/۲۳	۵۵/۱۶	۵۵/۰۷	۵۲/۱۲	۵۳/۱۳	۵۳/۳۲	۵۴/۵۲	۵۴/۳۶	۵۷/۴۳
TiO <sub>2</sub>	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۸/۰۴	۲۹/۰۶	۲۹/۲۳	۳۰/۱۳	۳۰/۵۲	۳۰/۵۵	۲۷/۳۲	۲۷/۲۸	۲۶/۸۰
FeO	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۲۲
MgO	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷
CaO	۹/۷۵	۱۰/۱۳	۱۰/۵۷	۱۱/۲۰	۱۲/۱۴	۱۱/۳۷	۱۰/۵۰	۹/۸۴	۷/۹۹
Na <sub>2</sub> O	۵/۸۶	۵/۲۱	۵/۰۳	۴/۵۷	۴/۱۳	۴/۶۷	۵/۸۳	۶/۸۰	۷/۴۸
K <sub>2</sub> O	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۶۶	۰/۲۰
Total	۱۰۰/۸۵	۱۰۰/۳۶	۱۰۰/۸۵	۱۰۰/۸۳	۱۰۰/۷۴	۱۰۰/۷۶	۹۸/۹۸	۱۰۰/۲۵	۱۰۰/۲۵
Si	۲/۵۱	۲/۴۸	۲/۴۷	۲/۴۳	۲/۳۹	۲/۳۹	۲/۴۷	۲/۲۱	۲/۵۵
Al	۱/۴۷	۱/۵۴	۱/۵۴	۱/۵۹	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۴۶	۱/۳۸	۱/۴۰
Fe <sup>2+</sup>	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Ca	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۳۸
Na	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۶۴
K	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱
An	۴۶/۵۱	۵۰/۸۰	۵۲/۶۵	۵۶/۲۲	۶۰/۶۸	۵۶/۰۵	۴۸/۷۵	۴۲/۹۱	۳۶/۷۱
Ab	۵۰/۰۹	۴۷/۲۸	۴۵/۳۴	۴۱/۵۱	۳۷/۳۶	۴۱/۶۶	۴۸/۶۸	۵۳/۶۶	۶۲/۱۹
Or	۲/۹۰	۱/۹۱	۲/۰۲	۲/۲۷	۱/۹۶	۲/۲۹	۲/۲۷	۳/۴۳	۱/۰۹



شکل ۶ (الف) ترکیب شیمیایی پلازیوکلازها در نمودار Or - An - Ab - Q - J [۵۶] در گستره‌ی آندزین - لابرادوریت قرار گرفته‌اند. (ب) بر اساس نمودار Q - J [۵۶] نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی Quad (Quad) قرار می‌گیرند. (پ) رده‌بندی کلینوپیرروکسن‌ها در نمودار مثلثی [۵۶] (پ) نمودار تغییرات AlIV+Na در برابر AlVI+2Ti+Cr [۵۸].

جدول ۳ نتایج تجزیه نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌ها و محاسبه فرمول ساختاری آن براساس ۶ اتم اکسیژن.

Oxide	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
SiO <sub>2</sub>	۵۰,۲۶	۵۰,۳۱	۵۰,۳۵	۴۹,۷۹	۵۰,۰۴	۵۰,۵۱	۵۰,۲۰	۵۰,۴۵	۵۰,۲۶
TiO <sub>2</sub>	۱,۸۹	۱,۶۹	۱,۹۰	۲,۰۸	۲,۶۱	۲,۰۴	۱,۹۰	۱,۸۱	۲,۲۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳,۶۵	۳,۹۶	۳,۵۰	۳,۴۵	۴,۱۵	۳,۱۹	۳,۴۶	۳,۰۵	۳,۴۰
FeO	۸,۳۲	۸,۸۲	۸,۱۵	۷,۵۹	۸,۰۵	۸,۴۸	۸,۳۶	۸,۴۳	۷,۷۹
MnO	۰,۱۸	۰,۱۷	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۱۷	۰,۱۹	۰,۱۷	۰,۲۰	۰,۱۵
MgO	۱۲,۷۷	۱۴,۸۳	۱۴,۸۹	۱۵,۲۹	۱۴,۰۹	۱۴,۰۳	۱۴,۳۲	۱۴,۱۴	۱۴,۲۴
CaO	۲۱,۵۵	۲۱,۲۸	۲۱,۴۸	۲۲	۲۱,۳۱	۲۲,۰۸	۲۱,۹۸	۲۲,۱۲	۲۲,۳۷
Na <sub>2</sub> O	۰,۴۲	۰,۵۳	۰,۳۹	۰,۴۸	۰,۴۳	۰,۴۷	۰,۴۷	۰,۴۹	۰,۴۰
K <sub>2</sub> O	۰,۰۳	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۱
Total	۹۹,۰۴	۱۰۰,۵۹	۱۰۰,۸۲	۱۰۰,۸۶	۱۰۰,۸۵	۱۰۰,۸۹	۱۰۰,۸۶	۱۰۰,۶۹	۱۰۰,۸۳
Si	۱,۹۰	۱,۸۵	۱,۸۵	۱,۸۲	۱,۸۵	۱,۸۶	۱,۸۵	۱,۸۶	۱,۸۵
Ti	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶
Al	۰,۱۶	۰,۱۳	۰,۱۵	۰,۱۵	۰,۱۸	۰,۱۳	۰,۱۵	۰,۱۳	۰,۱۵
Fe <sup>+3</sup>	۰	۰,۱	۰,۰۷	۰,۱۲	۰,۰۱	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۵
Fe <sup>+2</sup>	۰,۲۶	۰,۱۶	۰,۱۸	۰,۱۱	۰,۲۳	۰,۲۰	۰,۱۸	۰,۱۸	۰,۱۹
Mn	۰,۰۱	۰,۰۱	۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰
Mg	۰,۷۲	۰,۸۱	۰,۸۲	۰,۸۳	۰,۷۷	۰,۷۷	۰,۷۹	۰,۷۸	۰,۷۸
Ca	۰,۸۷	۰,۸۴	۰,۸۵	۰,۸۶	۰,۸۴	۰,۸۷	۰,۸۷	۰,۸۷	۰,۸۸
Na	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۳
Sum	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Al(iv)	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۲	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۰۹
Al(vi)	۰,۱۱	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۱۰	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۵	۰,۰۶
Mg#	۰,۷۳	۰,۸۲	۰,۸۲	۰,۸۸	۰,۷۶	۰,۷۹	۰,۸۲	۰,۸۱	۰,۸۰
Q	۱,۸۵	۱,۸۲	۱,۸۴	۱,۸۱	۱,۸۵	۱,۸۵	۱,۸۳	۱,۸۴	۱,۸۵
J	۰,۰۶	۰,۰۸	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۶
(Q+J)	۱,۹۱	۱,۹۰	۲,۴۰	۱,۸۸	۱,۹۱	۱,۹۱	۱,۹۰	۱,۹۱	۱,۹۱
Wo	۴۷,۰۴	۴۶,۲۰	۴۵,۶۱	۴۷,۸۰	۴۵,۵۱	۴۷,۲۶	۴۷,۴۲	۴۷,۹۷	۴۷,۷۲
En	۳۸,۷۸	۴۴,۷۹	۴۴,۲۸	۴۶,۲۲	۴۱,۸۷	۴۱,۷۸	۴۲,۹۹	۴۲,۴۰	۴۲,۲۷
Fs	۱۴,۱۸	۹,۰۱	۹,۸۱	۵,۹۸	۱۲,۶۲	۱۰,۹۶	۹,۵۹	۹,۹۳	۱۰,۰۱

توده‌های نفوذی و رچه در قلمرو بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷ ب). این نمودار قادر به تمایز بازالت‌های محیط‌های زمین‌ساختی مختلف نظیر VAB (بازالت‌های کمان آتشفسانی)، OFB (بازالت‌های بستر اقیانوسی)، WPT (بازالت‌های تولثی میان صفحه‌ای) و WPA (بازالت‌های قلایی میان صفحه‌ای) است.

$$F1: -0.012 * \text{SiO}_2 - 0.0807 * \text{TiO}_2 + 0.0026 * \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0012 * \text{FeO} - 0.0026 * \text{MnO} + 0.0087 * \text{MgO} - 0.0128 * \text{CaO} - 0.0419 * \text{Na}_2\text{O}$$

تعیین محیط زمین‌ساختی و سری ماگمایی کلینوپیروکسن دامنه‌ی گسترده‌ی ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در انواع سنگ‌های آذرین می‌تواند بیانگر سرشت خاستگاه ماگمایی این کانی‌ها باشد. با استفاده از داده‌های شیمی کانی کلینوپیروکسن می‌توان نوع ماگما و محیط ژئودینامیکی آن را تعیین کرد. در نمودار Ca-Nb نسبت به Ti + Cr [۵۹] کلینوپیروکسن‌ها محیط کششی را نشان می‌هند (شکل ۷ الف). در نمودار F1-F2 که بر پایه ترکیب تمام اکسیدهای عناصر اصلی برای تمایز محیط زمین‌ساختی طراحی شده [۶۰]، ترکیب کلینوپیروکسن‌های

XPPT:  $0.446\text{ SiO}_2 + 0.187\text{ TiO}_2 - 0.404\text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.346\text{ FeO}^{(\text{tot})} - 0.052\text{ MnO} + 0.309\text{ MgO} + 0.431\text{ CaO} - 0.446\text{ Na}_2\text{O}$

YPT:  $-0.369\text{ SiO}_2 + 0.535\text{ TiO}_2 - 0.317\text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.323\text{ FeO}^{(\text{tot})} + 0.235\text{ MnO} - 0.516\text{ MgO} - 0.167\text{ CaO} - 0.153\text{ Na}_2\text{O}$

ب): در دماسنجدی کلینوپیروکسن‌ها از فرمول ارائه شده به وسیله‌ی [۶۳] استفاده شده است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T(\text{K}) = [23166 + 39.28 P(\text{Kbar})] / [13.25 + 15.35\text{Ti} + 4.50\text{Fe} - 1.55(\text{Al} + \text{Cr} - \text{Na} - \text{K}) + (\text{Ln}\text{a}_{\text{en}}^{\text{cpx}})^2]$$

بر اساس این فرمول، میانگین فشار بین ۳ تا ۷ کیلوبار در نظر گرفته کرده، دماهای ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد و با نتایج حاصل از روش دماسنجدی [۶۲] همخوانی نزدیک دارد.

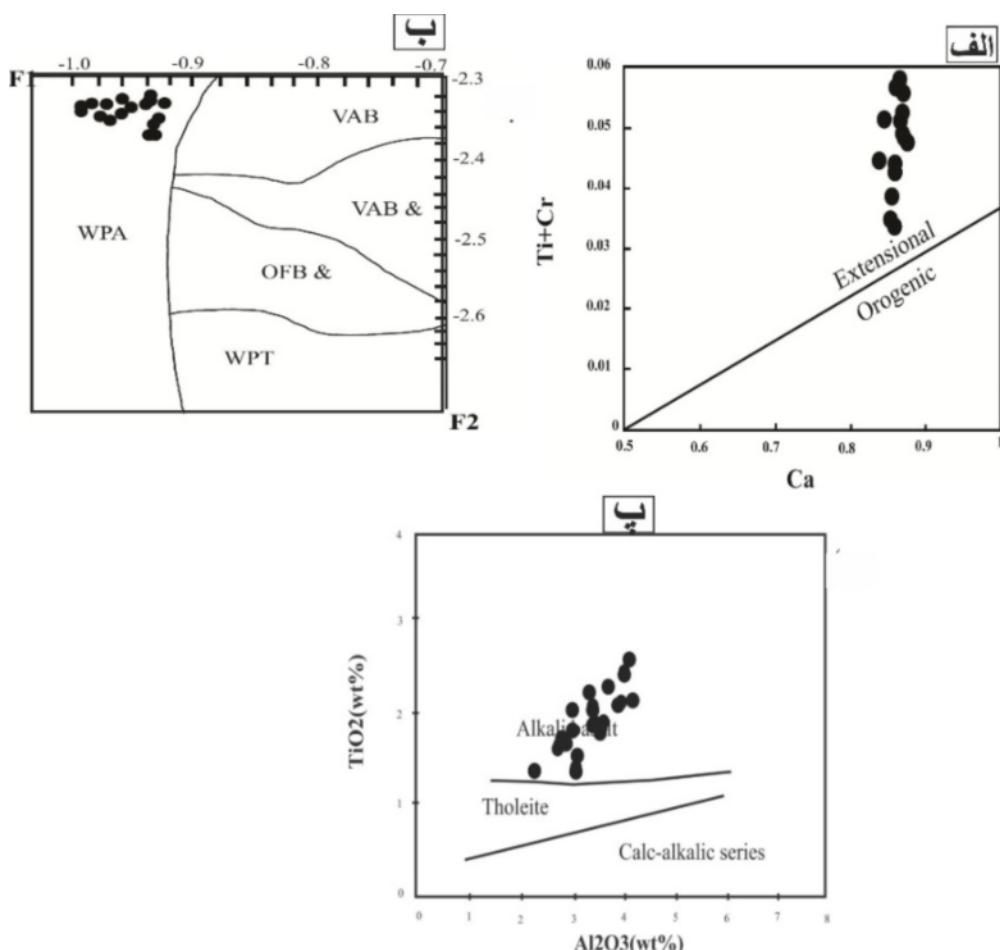
F2:  $-0.0469*\text{SiO}_2 - 0.0818*\text{TiO}_2 + 0.0212*\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0041*\text{FeO} - 0.1435*\text{MnO} + 0.0029*\text{MgO} + 0.0085*\text{CaO} - 0.0160*\text{Na}_2\text{O}$

برای تعیین سری ماقمایی با توجه به مقدار  $\text{TiO}_2$  در مقابل  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در نمودار [۶۱] کلینوپیروکسن‌های منطقه در گستره‌ی قلیایی قرار می‌گیرند که نشانگر ترکیب قلیایی نمونه‌های پیروکسن است (شکل ۷ ب).

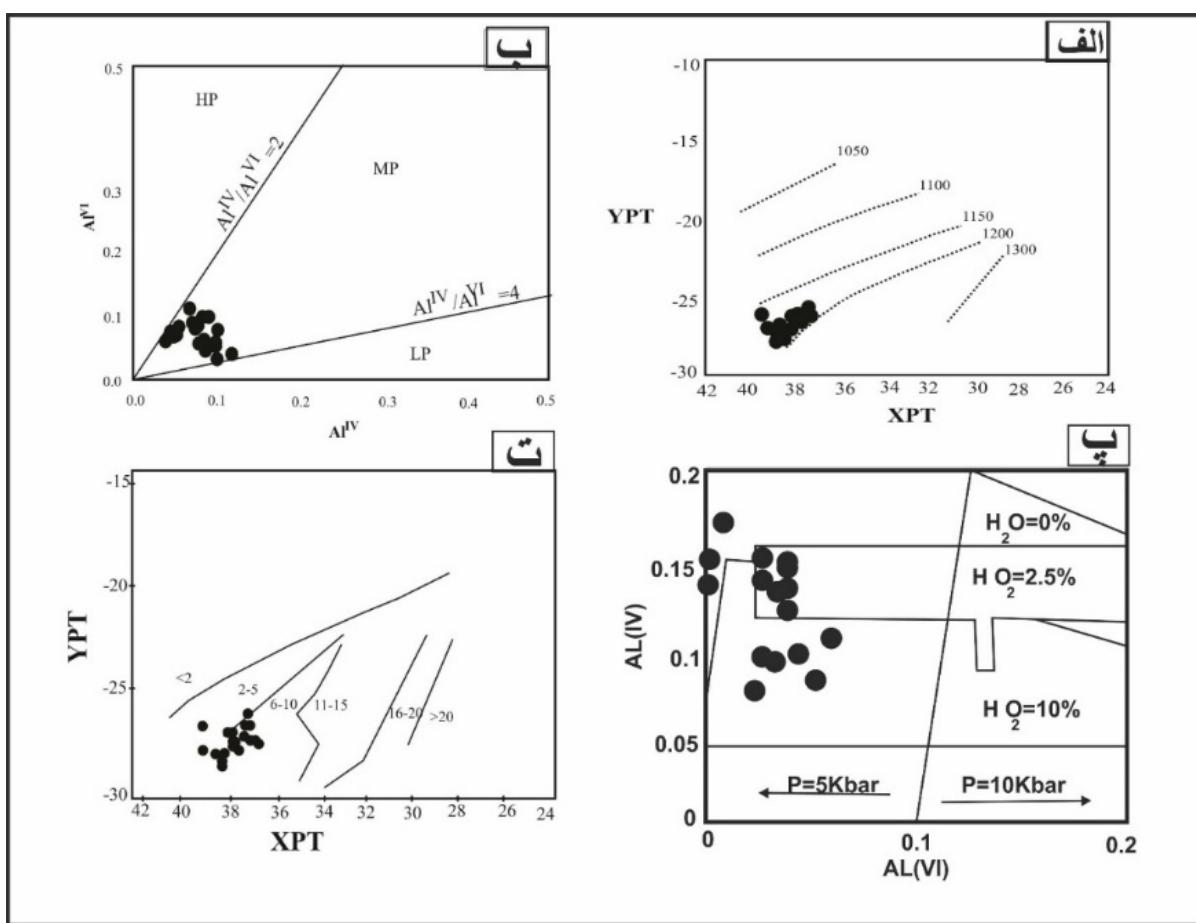
#### زمین دماسنجدی کلینوپیروکسن

برای بررسی دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها از دماسنجدی‌های زیر استفاده شده است:

الف: بر اساس شاخص‌های XPT و YPT که بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شوند [۶۲]. طبق این روش بر اساس دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها در توده‌های نفوذی ورچه بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ است (شکل ۸ الف).



شکل ۷ الف) نمودار  $\text{Ti}+\text{Cr}$  نسبت به  $\text{Ca}$  این کلینوپیروکسن‌ها محيط کششی را نشان می‌دهند [۵۹]. ب) نمودار F1-F2 تمایز محیط تکتونیکی کلینوپیروکسن در قلمرو WPA (باالت‌های قلیایی میان صفحه‌ای) قرار می‌گیرند [۶۰]. پ) تعیین سری ماقمایی کلینوپیروکسن‌ها با استفاده از نمودار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقابل  $\text{TiO}_2$  ماهیت آکالن را نشان می‌دهند [۶۱].



شکل ۸ الف) تعیین دمای کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۳۹] بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ است. ب) فشار حاکم بر محیط تبلور با استفاده از AIIV در مقابل AlVI [۴۳] بیانگر تشکیل در فشار های متوسط تا کم است. پ) نمودار [۴۱] توزیع آلومینیوم (نسبت AlIV به AlVI) میزان آب در مagma هنگام تبلور کمتر از ۱۰٪ و فشار ۵ کیلوبار است. ت) تعیین فشار کلینوپیروکسن با استفاده از روش [۳۹]

میزان آب موجود در محیط تبلور کلینوپیروکسن کاهش می- یابد که براین اساس نموداری را برای تعیین فشار و میزان آب ماگما حین تبلور ماگما را پیشنهاد کردند که بر اساس این نمودار میزان آب ماگمای تشکیلدهندها هنگام تبلور کمتر از ۱۰٪ و فشار ۵ کیلوبار را بیان می کند (شکل ۸ ب). در ادامه برای فشارسنجی کلینوپیروکسنها از نمودار [۶۲] استفاده کردیم که با استفاده از مقادیر XPT و YPT میزان فشار تبلور کلینوپیروکسن در توده های نفوذی ورقه بین ۳ تا ۷ کیلوبار برآورد شده است (شکل ۸ ت).

#### برداشت

بررسی های صحرایی این پژوهش نشان می دهد، توده های گابروی به صورت بیرون زدگی هایی کوچک و پراکنده با طیف ترکیبی از گابرو تا مونزو گابرو با ترکیب کانی شناسی بیشتر پلاژیوکلاز و

#### زمین فشارسنجی کلینوپیروکسن:

برای تعیین عمق مخزن magma از Al موجود در ساختار پیروکسن ها استفاده شد. توزیع آلومینیوم در موقعیت های چهاروجهی و هشتوجهی کلینوپیروکسن ها معیار مناسبی برای برآورد مقدار آب magma و میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل سنگ های آذرین است به طوری که کلینوپیروکسن های غنی از Al(vi) در فشار بالاتری نسبت به نمونه های فقیر از Al(vi) تشکیل شده اند [۶۴]. نمونه های غنی از Al کل نیز در فشار پایین تری نسبت به نمونه های فقیر از Al کل تشکیل می شوند [۶۵] پیشنهاد کرد که از نسبت Al(vi)/Al(iv) در پیروکسن ها می تواند به عنوان فشارسنج بکار گرفته شود بر اساس نمودار [۶۶] پیروکسن ها در فشار متوسط تا کم متبلور شده اند (شکل ۸ ب). به عقیده [۶۷] میزان Al(iv) به پیروی از افزایش

- Central, France", Journal of Petrology(1995a), 36, 1729-53.*
- [3] Ngounouno I., Moreau C., De'ruelle B., Demaiffe D., Montigny R., "Pe'trologie du complexe alcalin sous-sature' de okoumi (Cameroun)", Bulletin de la Socie'te' Ge'ologique de France (2001), 172, 675-686.
- [4] Nekvasil H., Dondolini A., Horn J., Filiberto J., Long H., Lindsley D.H., "The origin and evolution of silica-saturated alkalic suites:an experimental study", Journal of Petrolog(2004),45, 693-721.
- [5] Vaezipoor M.H., Khalqi M. H., "Geological Survey and Mineral Exploration of Iran", Geology Map 1: 100,000 Varche (1995).
- [6] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran; a review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7) (1968).1229-1258.
- [7] Stocklin J., "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia", Mem. Hors-serie Soc. Geol. Fr., 8(1977):333-353.
- [8] Berberian M., King G.C.P., "Toward the paleogeography and tectonic evolution of Iran.", Canadian jorinal of Earth Sciences, (1981).18,210-265.
- [9] Sengor A. M. C., "A new model for the late Palaeozoic-Mesozoi tectonic evolution of Iran and implications for Oman, in The Geology and Tectonics of the Oman Region", edited by Robertson, A. H. F., Searle, M. P. and Ries, A.C.: Geol. Soc. Spec. Publ.( 1990), 49, 797-831.
- [10] Ebrahimi M., "Survey of Geology and Petrology of the Igneous Rocks Golpayegan Mrq-White Springs", GraduateThesis, Tehran University, Tehran. (1991)
- [11] Moinvaziri H., "introduction on magmatism of Iran", Tarbiat Moallem University of Tehran (1996), P 440.
- [12] Alavi M., "Tectonic of Zagros Organic Belt of IRAN: New data and interpretations", tectonophysics, (1994) 299: 211-238
- [13] Mohajjal M., Fergusson C. L., Sahandi M. R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran", Journal asian earth sciences (2003) 21: 397-412.
- [14] Deevsalar R., Ghorbani M. R., Ghaderi M., Ahmadian J., Murata M., Ozawa H., Shinjo R., "Geoch-emistry and petrogenesis of arc-related to intraplate mafic magmatism from the Malayer-

کلینوپیروکسن و کانی‌های فرعی کانی کدر و اسفن با بافت‌های افتیک و شباهفتیک است. بیشتر دگرسانی‌های مشخص در این توده‌ها، دگرسانی‌های سرسیتی‌شدن، سوسوریتی‌شدن، اواریتی‌شدن و کلریتی‌شدن در پلازبیکلازها و کلینوپیروکسن‌ها قابل تشخیص‌اند. این توده براساس نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر عناصر قلیایی در محدود آلکالن قرار گرفت. الگوی عناصر REE بهنجار شده با کندریت، غنی‌شدگی از LREE (۱۰۰ برابر) و HREE (۱۰ برابر) و نشان می‌دهد و در الگوی عناصر کمیاب بهنجار شده با گوشه‌های اولیه، غنی‌شدگی ضعیفی از عناصر (Zr, Ti, P, Nb)HFSE مشاهده می‌شود که این می‌تواند به دلیل ماقماتیسم با ماهیت قلیایی باشد. براساس رفتار عناصر La, Sm, Zr, Nb, Yb ماقما مولد از گوشه‌های غنی‌شده با ترکیب اسپینل - گارنت لرزولیت و آهنگ ذوب‌بخشی ۱۵-۱۰ درصد حاصل شده است. این درجه‌ی ذوب‌بخشی برای ماقماتیسم قلیایی بالاست که در نمونه‌های گابروی مورد بررسی ذوب در اعمق ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتری رخ داده و بالا بودن درجه‌ی ذوب‌بخشی را توجیه می‌کند. براساس رفتار عناصر کمیاب، می‌توان گفت که ماقمای سازنده‌این توده حین تکامل و جایگیری گوش آلایش پوسته‌ای شده است. با توجه به بررسی‌های قبلی و این بررسی، می‌توان گفت که ماقماتیسم قلیایی در منطقه به دلیل ضخیم‌شدگی پوسته و ایجاد گسل‌های عمیق، حاصل شده است. ترکیب پلازبیکلازها توده‌ی گابروی در گستره‌ی آندزین - لابرادوریت و ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های گابروی دارای ترکیب یکسان و همه‌ی آن‌ها از نوع دیوپسیدند که در فوگاسیته بالای اکسیژن شکل گرفته‌اند. این کلینوپیروکسن‌ها همچنین ویژگی-های سری ماقمای آلکالن و محیط کششی درون قاره‌ای را نشان می‌دهند که دمای تشکیل آنها بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار تشکیل شان بین ۳ تا ۷ کیلوبار است.

#### مراجع

- [1] Wilson M., "Igneous Petrogenesis", Academic Division of Unwin Hyman Limited. (1989) P. 466.
- [2] Wilson M., DOWNES H., CEBRIA J.M., "Contrasting fractionation trends incoexisting continental alkaline magma series; Cantal, Massif

- [27] Morata D., Oliva C., Cruz R., Suarz M., "The bandurrias gabro: Late oligocene alkaline magmatism in the patagonian cordillera", Journal of South American Earth Sciences 18(2005) 147-162.
- [28] Nicholson K.N, Black P. M, Hoskin P.W.O, Smith I.E.M., "Silicic volcanism and back arc extension related to migration of the late Cenozoic Australian – Pacific plate boundary", Journal of volcano and Geotherm, Res, (2004) 131, 295 – 306.
- [29] Woodhead J. D., Eggins S. M., Johnson R. W., "Magma genesis in the New Britain island arc:further insight into melting and mass transfer processes", J Petrol (1998) 39:1641-1668.
- [30] Wilson M., "Igneous petrogenesis: a globaltectonic approach", Unwin Hyman, London, (1989) 466P.
- [31] Nicholson K.N, Black P. M, Hoskin P.W.O, Smith I.E.M., "Silicic volcanism and back arc extension related to migration of the late Cenozoic Australian – Pacific plate boundary. Journal of volcano and Geotherm", Res, 131 (2004) 295– 306
- [32] Martin H., "Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids", Lithos, 46(1999): 411–429.
- [33] Sun S., McDonough W., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: Implications for mantle composition and processes, Magmatism in the Ocean Basins", Geological Society Special Publications. 42 (1989) P. 313-345
- [34] Wang Z., Zhao Y., Zou H., Li W., Liu X., Wu H., Xu G., Zhang S., "Petrogenesis of the Early Jurassic Nandaling flood basalts in the Yanshan belt, North China Craton: A correlation between magmatic underplating and lithospheric thinning", Lithos ( 2007) 96, 543-566.
- [35] Xiao L, Xu Y.G, Mei H.J, Zheng Y.F, He B, Pirajno F., "Distinct mantle sources of Low Ti and High Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: implications for plume – lithosphere interaction, Earth and Planetary", Science Letters (2004) 228, 525-546.
- [36] Coleman R., McGuire A., "Magma systems related to the Red Sea opening", Tectonophysics (1988) 150:77 –100.
- [37] Pearce J. A., Cann J. R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace
- Boroujerd plutonic complex, northern Sanandaj-Sirjan magmatic zone, Iran", Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, (2014) 274 (1) P.81-120.
- [15] Haghnaz Sh., Malakutian S., Alahyari Kh., "Investigating of litologey, Mineralogy and Geochemistrys Characteristics in Javaherdasht Gabbro (East-Gilan)", Irans Crystallography and Mineralogy Society (2010) , No. 1: Page 141.
- [16] Akbari M., "Petrology and Geochemistry of intrusive in North Khomein and Study of Mineral Potential of that", Master's Thesis, Khorasan Azad University, Iran. (2010).
- [17] Thiele O., "Zum alter der metamorphose in Zentral Iran", Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien. 58 (1966) 87-101.
- [18] Mohajjal M., Eftekharnejad G., "Golpayegan Geological Map, scale 1: 100000", Geological Survey of Iran (1992).
- [19] Zamani Pedram M., Hosseini H., Sheikholslami M., "Mahallat Geology Map, scale of 1: 100000", Geological Survey of Iran (2007).
- [20] Sharifi M., "Investigation of Alkaline Magmatism in the North of Golpayegan", Ph.D thesis. Isfahan University (2008).
- [21] Wager L.R., "Anote on the origin of ophitic texture in the chilled olivine gabbro of the Skaergaard intrusion", Geological Magazine. 98(1960) P. 353 – 366.
- [22] Vernon, R.H., "A Practical guide to rock microstructure", Cambridge University Perss, United Kingdom. (2004) P. 594.
- [23] Middlemost E.A.K., "An introduction to Igneous petrology: Magmatic rocks", Long mans Ed., (1985) PP.266.
- [24] Irvine, T. N. and Barager, W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Science, V. 8, (1971) pp. 235-458.
- [25] Boynton W. V., "Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry, Ed. Henderson, R.", Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 2(1984): P. 89-92.
- [26] Romick J.D., Kay S.M., Kay R.M., "The influence of amphibole fractionation on the evolution of calc-alkaline andesite and dacite tephra from the central Aleutians, Alaska", Contributions to Mineralogy and Petrology, 112 (1992) 101–118.

- [47] Fitton-T.G., Hardarson B.S., Ellam K.M., Rogers G., "Sr-, Nd, and Pb-isotopic composition of volcanic rocks from the Southeast Greenland Margin at 63°N: temporal variation in crustal contamination during continental breakup", Insaunders, A.D., Larsen, H.C., and Wise, S.H.,(Eds) Proc.ODP.Sci.Results.152 (1998) 351-357.
- [48] Srivastava, R. K. and Singh, R., K. "Trace element geochemistry and genesis of Precambrian subalkaline mafic dikes from the Indian craton: Evidence for mantle metasomatism", Journal of Asian Earth Sciences 23(2004) 373-389.
- [49] Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J. G., "Petrogenetic evolution of late post Cenozoic, collision volcanism in western Anatolia, Turkey", Journal of volcanology and geothermal Research 102 (2000) 67-97.
- [50] Winter J.D., "An Introductioin to Igneous and Metamorphic Petrology: New Jersey", Prentice Hall, (2001) 697 p.
- [51] Ellam R. M., Cox K., "GA interpretation of Karoo picrate basalts in terms of interaction between asthenospheric magmas and the mantle lithosphere", Earth and Planetary Science Letters 150(. (1991): 330 - 342
- [52] Ellam R.M., "Lithospheric as a control on basalt geochemistry", Geology 20(1992): 153–156.
- [53] Gurney J.J., Harte B., "Chemical variations in upper mantle nodules from southern Africa kimberlites", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 297(1980) 273–293.
- [54] Giese P. J., Makris B., Akasheh P., Rower H., Letz, Mostaanpour M., "The crustal structure in southern Iran derived from seismic explosion data", Neues Jahrb. Geol. Palaontol. Abh, (1984) 168, 230–243.
- [55] Best MG., "Igneous and metamorphic petrology", Freeman, sanfrancisco.(1982)
- [56] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the Rock – forming minerals", Longman, London, (1991) 528 p.
- [57] Morimoto N., Kitamura M., "Q-J diagram for classification of pyroxenes", Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists (in Japanese) 78 (1983) 141.
- [58] Schweitzer E. L., papike J. J., bence, "A. Estatical analysis of clinopyroxenes from deep-sea element analyses", Journal Earth and Planetary science Letters. 19(1973) P. 290-300.
- [38] Larsen H.C, Saunders A.D., "Tectonism and volcanism at the Southeast Greenland riftedmargin: a record of plume impact and later continental rupture", in: Saunders, A.D., Larsen,H.C., and Wise, S.H., (ed) Proc.ODP.Sci. Results.152 (1998) 503-533
- [39] Dungan M.A., Lindstrom M.M., McMilan N.J., Moorbatn S., Hoefs S.J., Haskin L.A., J. Goophys. Res., 91 (1986).
- [40] Wayer S., Munker C., Mezger K., "Nb/Ta, Zr/Hf and REE in the depleted mantle: implications for the differentiation history of the crust-mantle system", Earth and Planetary Science Letters 205 (2003) 309-324.
- [41] Wang Y., Fan W., Guo F., "Geochemistry of early Mesozoic potassium-rich dioritesgranodiorites in southeastern Hunan Province, South China: Petrogenesis and tectonic implications", Geochemical Journal 37(2003) 427-448.
- [42] Castillo P., Janney P., Solidum R., "Petrology and geochemistry of Camiguin Island, southern Philippines: insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting", Contributions to Mineralogy and Petrology (1999) 134, 33-51.
- [43] Wood D. A., "The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province", Journal Earth and Planetary Science Letters. 42(1980) P. 77-97.
- [44] Meschede M., "A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb, Zr, Y diagram", Chemical Geology 56(1986) 207–218.
- [45] Shervais J., "Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas", Earth and Planetary Science Letters. 59(1982) P. 101-118
- [46] Alvaro J.J., Ezzouhairi H., Vennin E., Ribeiro M.L., Clausen S., Charif A., Ait Ayad N., Moreira M.E., "The early-Cambrian Boho volcano of the El Graraa massif, Morocco; Petrology Geodynamic setting and coeval sedimentation", Journal of African Earth Science. 44(2006) 396-410.

- [64] Foley S. F., Venturelli G., "High  $K_2O$  rocks with high  $MgO$ , High  $SiO_2$  affinities In: Crawford, A. J., (ED.) Boninites and Related Rocks.", Uniwin Hyman London 72-88 (1989).
- [65] Liu T.C., Chen B.R., Chen C.H., "Melting experiment of a Wannienta basalt in the Kuanyinshan area, northern Taiwan, at pressure up to 2 GPa", Journal of Asian Earth Sciences 18 (2000) 519–531.
- [66] Aoki, K.I., Shiba I., "Pyroxenes from Lherzolite Inclusions of Itinome-Gata", Japan. Lithos, 6, (1973) 41-51.
- [67] Helz R.T., "Phase relationships of basalts in their melting range at  $pH_2O = 5kb$  as a function of oxygen fugacity", Journal of Petrology (1973) 4 249-302.
- [68] Green T. H., "Crystallization of calc-alkaline andesite under controlled high pressure hydrous condition", Contributions to Mineralogy and Petrology 34(1972): 367-385.
- [69] basalts", American Mineralogist. NO.64, (1979) PP.501-513.
- [59] Letterrier J., Maury R. C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series", Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139–54.
- [60] Nisbet E. G., Pearce J. A., "Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic" Petrology 63 (1977) 161-173
- [61] LeBas N. J., "the role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", Am.J.Sci. No.260 (1962) PP.267-288.
- [62] Soesoo A. A., "multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations", Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen) 119(1997): 55-60.
- [63] Nimis, Taylor, "Single Clinopyroxene therombarometry for gamet peridotite I. calibration and testing of a cr-in-cpx thermometr – contrib – mineral.", Petrol.139, (2000) 541-554.