

مطالعه ژئوشیمی، محیط زمین ساختی و سنگ نگاری توده گرانیتوئیدی آستانه اراک (جنوب باختری اراک)

عباس عسگری

۱- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد محلات Adel44372@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۷/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۰/۲۶

چکیده

توده گرانیتوئیدی مزبور در ۴۵ کیلومتری جنوب باختری اراک به سن کرتاسه میانی در زون ساختاری سنندج- سیرجان واقع شده است. این توده دارای طیف ترکیب سنگ شناختی شامل: کوارتز دیوریت، گرانودیوریت تونالیت و دایک های مونوزوگرانیتی می باشد که در سنگ های دگرگونی ناحیه ای (سریسیتوشیست) تزریق شده است.

قرار گرفتن نمونه ها در نمودارهای تمایز محیط زمین ساختی در محدوده گرانیت های کمان های آتشفشانی (VAG) و غنی شدگی نمونه ها از LILEs و تهی شدگی نسبی آنها از HFSEs و نسبت بالای $\frac{La}{Yb}$ و همچنین $\frac{Th}{Yb} > 5$ بیانگر ماگماتیسم متآلومین کمان های آتشفشانی (VAG) است، وجود آنکلاوهای سورمیکاسه (آندالوزیت، سیلیمانیت و ...) و مقدار نسبت ایزوتوپی

حاکمی از آلودگی شدید ماگمای حاصل از ذوب بخش گوه گوشته ای، پوسته اقیانوسی فرو رنده $\left(\frac{87Sr}{86Sr}\right)_I = 0.71044$

(بازالت دگرگون شده) با پوسته قاره ای می باشد، بنابراین احتمالاً ماگمای ایجاد کننده این توده وابسته به ماگماتیسم کمان های آتشفشانی حاشیه قاره ها و در اثر فروانش ورقه نئوتیس به زیر سکوی قاره ای ایران می باشد.

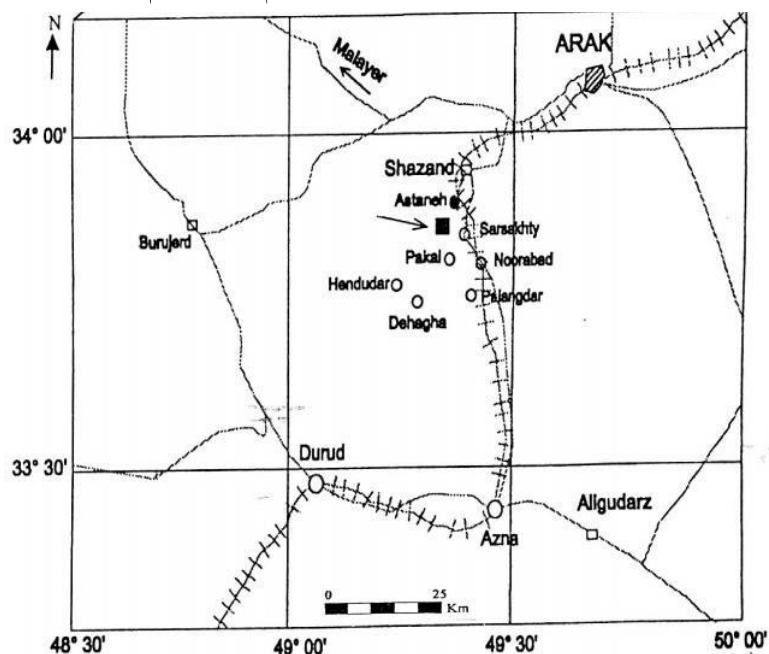
واژگان کلیدی: زون سنندج- سیرجان، آذرین نفوذی، آستانه، آنکلاو، گرانیت کمان آتشفشانی، آرایش

مقدمه

و دایک های مونوزوگرانیتی می باشد. این توده توسط رادفر (۱۳۶۶) و مسعودی (۱۹۹۷) و هاشمی (۱۳۸۰) [۶، ۲۳، ۲] مورد بررسی قرار گرفته است. سن این توده به روش روبیدیم- استرانسیوم ۹۹ میلیون سال قبل (کرتاسه بالایی) تعیین شده است [23]، اما با توجه به نبود داده های ژئوشیمیایی عناصر جزئی و ایزوتوپی منشأ و پتروژنز این توده به طور دقیق مشخص نشده است، عسگری (۱۳۸۷) نیز این توده را مورد بررسی

توده گرانیتوئیدی آستانه در محدوده طول های جغرافیایی ۴۹°،۰۰' تا ۴۹°،۳۰' شرقی و عرض ۳۳°،۴۵' تا ۳۴°،۰۰' شمالی در ۴۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان اراک و شش کیلومتری جنوب شازند واقع شده است مناسب ترین راه دسترسی به این توده راه اصلی اراک- شازند- آستانه می باشد (شکل ۱). این توده دارای طیفی از سنگ های آذرین نفوذی شامل: کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت

قرار داده و ماگمای تشکیل دهنده آن را از نوع کمان های آتشفشانی حاشیه قاره ای با آلودگی شدید روبیدیم- استرانسیم مشخص نموده است [۴].



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی توده مورد نظر و راه های دسترسی به توده گرانیتوئیدی آستانه [۲]

روش مطالعه

در آزمایشگاه دانشگاه دینامیک قاره ای شمال غرب شهر زیان چین (Continental Dynamic, Northwest university Xian - China) مورد تجزیه ایزوتوپی قرار گرفته است در همین راستا مقادیر نسبت $(\frac{87}{86}Sr)$ و $(\frac{143}{144}Nd)$ سه نمونه اندازه گیری شده است (جدول ۲).

در اینجا سعی شده است، تا با استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی کوهزائی و یا غیرکوهزائی بودن و نوع محیط زمین ساختی ماگمایی آن توده مشخص گردد.

در این تحقیق به منظور مطالعه دقیق ویژگی های این توده پس از مطالعات صحرائی و نمونه برداری ۸۵ مقطع نازک تهیه شد، پس از بررسی با میکروسکوپ پلاریزان و سنگ نگاری مقاطع نازک، ۱۶ نمونه از قسمت های مختلف توده برداشت و در آزمایشگاه سازمان زمین شناسی کشور به روش X.R.F و ۶ نمونه در آزمایشگاه ALS chemex شهر Vancouver کشور کانادا به منظور تعیین عناصر کمیاب به روش ICP-MS مورد تجزیه شیمیائی قرار گرفته است (جدول ۱) که با استفاده از نرم افزار های Minpet و Igpert پردازش و نتایج بر روی نمودارهای مختلف پیاده شده اند. به منظور دستیابی به اطلاعات ایزوتوپی تعداد ۳ نمونه از قسمت های مختلف توده به روش Rb-Sr کل سنگ

بحث

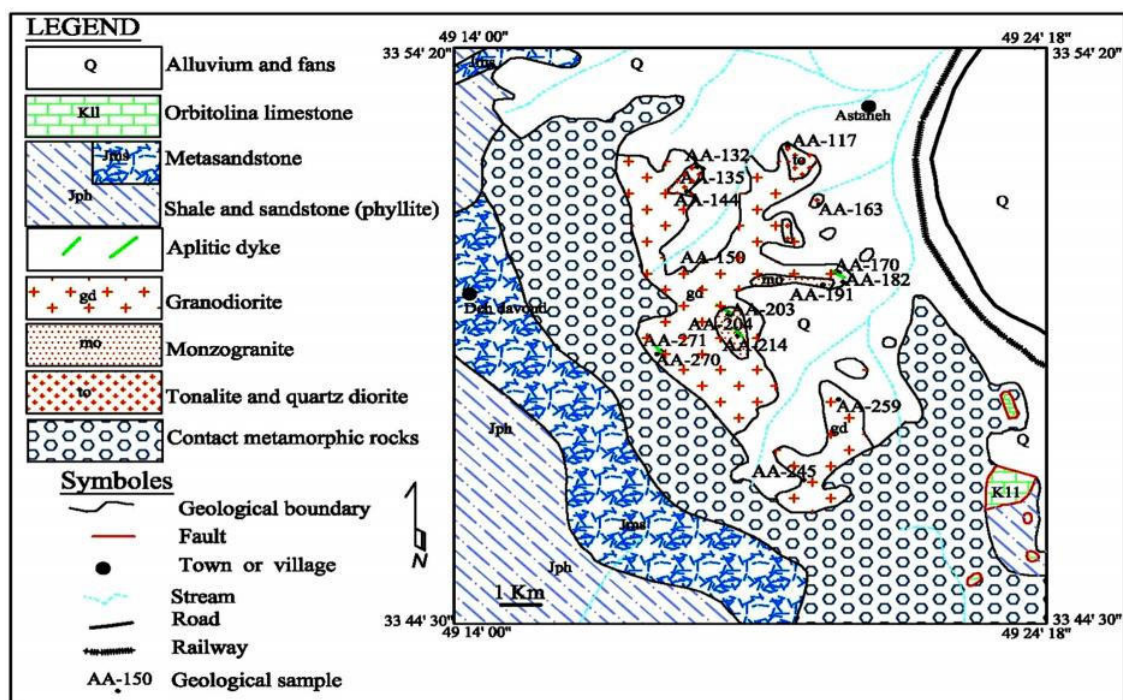
زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در قسمت میانی پهنه ساختمانی سنندج - سیرجان و در جنوب و جنوب باختری شهرستان شازند واقع شده است. علی رغم اینکه تکتونیک شدیدی که به صورت شکستگی، راندگی و چین خوردگی با چین های هم شیب با یال های جنوبی برگشته در منطقه حاکم بوده، پیچیدگی هایی در زمین شناسی منطقه به وجود آورده، ردیفی از سنگ های دگرگونی به سن پرمین تا ژوراسیک وجود دارد که در اطراف شهرستان شازند به طور ناپیوسته و پیشرونده به وسیله نهشته های کرتاسه پوشیده شده است [۲]. بیشتر سنگ های رخنمون یافته در زون سنندج - سیرجان مربوط به مزوزوئیک است و نهشته های مربوط به پالئوزوئیک به ندرت در قسمت شمال باختری و تا حدودی در قسمت جنوب خاوری گزارش شده است [۳].

در این زون، سنگ های دگرگونی با رخساره شیست سبز گسترش فراوانی دارند [۵]. پایین ترین و کهن ترین بخش ردیف سنگ های دگرگونی را واحد نسبتاً ضخیمی از سنگ های پیروکلاستیک و ولکانیک متوسط تا بازیک دگرگون شده تشکیل می دهد.

مجموعه کانی های دگرگونی این سنگ ها را کانی های ترمولیت، اکتینولیت، کلریت، اپیدوت کوارتز و آلبیت تشکیل می دهند و درجه دگرگونی در حد رخساره شیست سبز می باشد [۲]. در اثر گرمای ناشی از نفوذ این توده سنگ های مجاور تا حد رخساره آلبیت اپیدوت هورنفلس دگرگون شده اند

آثار دگرگونی مجاورتی در قسمت غربی و جنوبی توده (پیست اسکی پاکل) مشاهده می گردد و در قسمت شرقی دگرگونی مجاورتی مشاهده نمی شود که علت آنرا گسلی بودن این قسمت عنوان کرده اند [24]. در این توده زون های دگرسانی شامل: فلیک (سریسیتی)، کلریتی، پروپیلیتی، آرژیلیتی آلونیتی، هماتیتی، سیلیسی، تورمالینی تشخیص داده شده و رفتار عناصر کمیاب خاکی در زون های دگرسانی مورد بررسی قرار گرفته است [۱]. طهماسبی (۲۰۱۰) ضمن مطالعه این پلوتون ۵ نوع سنگ شامل: ۱- کوارتز دیوریت، ۲- گرانودیوریت، ۳- مونزو گرانیت ۴- آنکلاوهای میکروگرانولار، ۵- دایک های داسیتی را تشخیص و مورد بررسی قرار داده است و معتقد است ماگمای والد کوارتز دیوریتی آستانه به وسیله ذوب بخشی یک منشأ آمیخته عمدتاً مرکب از آمفیبولیت و رسوباتی که در خلال فرو رانش نئوتتیس به زیر سکوی ایران در دوره ژوراسیک میانی فرو رانده شده اند [33].



شکل ۲- نقشه زمین شناسی اصلاح شده توده گرانیتوئیدی آستانه و محل های نمونه برداری شده [۴]

سنگ نگاری

نمونه ها خاموشی موجی کوارتز ها نشانگر عملکرد فشارهای تکتونیکی بر روی این سنگ ها می باشد. زیرکن و آپاتیت، فراوان ترین کانی های فرعی این توده ها بوده و همچنین زیر کن با هاله پلئوکروئیک سیاه رنگ به صورت ادخال در بسیاری از بیوتیت های این سنگ ها یافت می شوند.

تونالیت و کوارتز دیوریت با رنگ تیره تر در این توده به فراوانی یافت می گردد که با درصد بیشتر پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول ها و درصد کمتر آلکالی فلدسپات از گرانودیوریت ها متمایز می گردند. بخش عمده ای از آنکلاوهای این توده، با ابعاد چند سانتیمتری تا ۲ متر با رنگ تیره و بافت میکرو گرانولار با ترکیب تونالیتی و کوارتز دیوریت (MME) می باشد.

توده گرانیتوئیدی آستانه با وسعت حدود ۳۰ کیلومتر مربع در جنوب غرب شهرستان اراک و در جنوب و جنوب غرب شهرستان آستانه قرار دارد و دارای روند تقریباً شمالی جنوبی می باشد. (شکل ۲). از نظر سنگ شناسی، این توده طیفی از سنگ های گرانیتوئیدی (کوارتز دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت مونزوگرانیت) را دارا می باشد [19,25] (شکل ۳) و ویژگی مهم آن وجود دو نوع آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک و آلومینوسیلیکاتی (سیلیمانیت و آندالوزیت) می باشد.

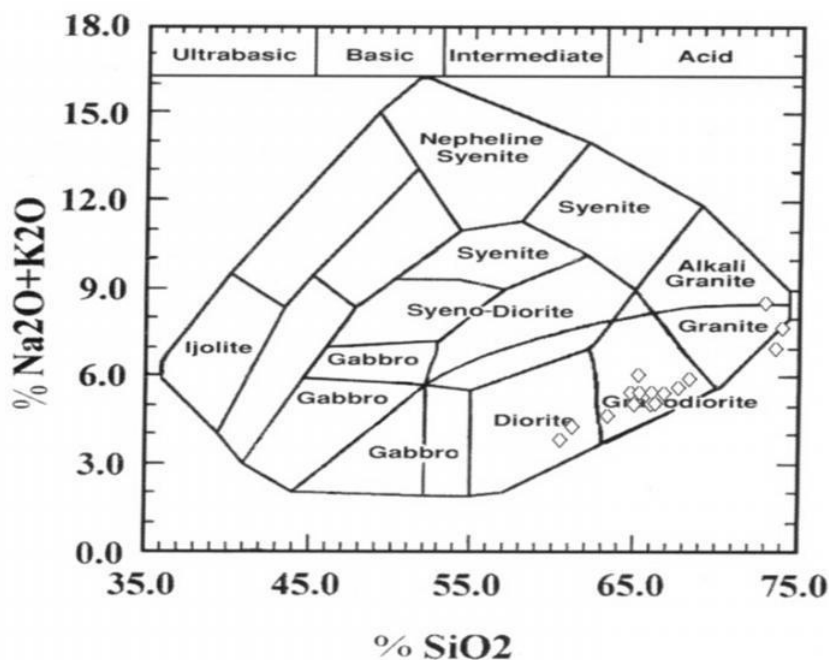
عمده ترین بخش توده آستانه را گرانودیوریت تشکیل داده که همگی تقریباً دارای بافت گرانولار متوسط دانه و همگن متشکل از کانی های پلاژیوکلاز، کوارتز بیوتیت، آلکالی فلدسپات می باشند. در بسیاری از

این کانی حدود ۵۰ درصد می باشد. کوارتز به صورت بلورهای بی شکل و اندازه آن بین ۲/۵ تا ۰/۵ میلیمتر و در صد حجمی آن ۹-۱۲ درصد می باشد، آمفیبول به صورت بلورهای درشت با اندازه ۱/۵-۰/۵ میلیمتر و با رخ های لوزی در صفحات (۰۰۱) که گاهاً به کلریت یا بیوتیت ثانوی تجزیه شده اند حدود ۱۵ درصد سنگ را تشکیل می دهند، بیوتیت به صورت اولیه و ثانوی (۱۲درصد) و کانی های فرعی نظیر آپاتیت، اسفن، کلریت و سربیسیت کانی های دیگر این می باشند (شکل ۶). توانالیت ها دارای بافت اصلی گرانولار دانه متوسط در بعضی نمونه ها دانه درشت می باشند، اندازه بلورها اکثر ۳-۱ میلی متر می باشد. در اکثر نقاط پلاژیوکلاز در داخل بلورهای کوارتز به صورت پوئی کیلیتیک به چشم می خورد بنابراین بافت فرعی را می توان پوئی کیلیتیک در نظر گرفت، ترکیب پلاژیوکلازها بر مبنای اندازه گیری زاویه خاموشی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان الیگوکلاز- آندزین و درصد حجمی آنها بین ۳۴ تا ۵۵ درصد متغیر می باشند، بلورهای کوارتز به صورت بی شکل ولی درشت و ادخال دار (پلاژیوکلاز) و خاموشی موجی مشاهده می گردد. همچنین به صورت بی شکل و ریزتر فضاهای خالی کوچک بین بلورها را پر می کند که می تواند حاصل تبلور مجدد باشد و مقدار آن بین ۲۲ تا ۳۲ درصد متغیر می باشد، آلکالی فلدسپار به صورت اورتوز و بعضی نمونه ها به صورت میکروکلین با مقدار ۴ تا ۱۲ درصد به صورت دگرسان شده به کانی های رسی و سربیسیت و بیوتیت به صورت بلورهای درشت و با تداخل های زیرکن و رتیل (تصویر ۷- a) و درصد حجم ۲۲ درصد

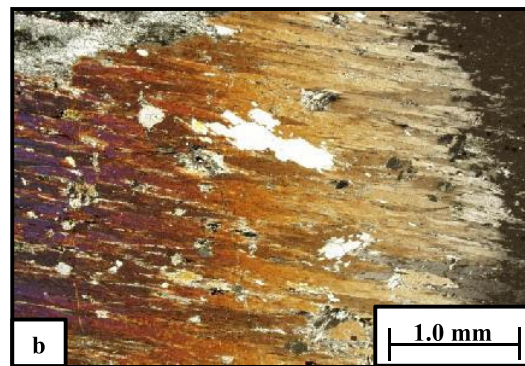
وجود آنکلاوهای آلومینوسیلیکاتی (سورمیکاسه) با اندازه ۲ تا ۱۰ سانتیمتر فراوان (از قبیل آندالوزیت) در این توده می تواند، تأثیر آلودگی پوسته فوقانی قاره ای را در این توده نشان دهد، این آنکلاوها (سورمیکاسه) احتمالاً رستیت های حاصل از ذوب سنگ های یا منشأ رسوبات پوسته ی قاره ای فوقانی می باشد (شکل ۴- a,b)، از طرف وجود آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک (MME) تصویر (۵- b,c) به صورت کوارتز دیوریت های با بافت غربالی در نمونه میکروسکوپی (شکل ۵- a) و با حاشیه واکنشی با بافت ریز دانه در محل تماس با سنگ درونگیر نشان دهنده آرایش و هضم سنگ های دربرگیرنده آنها می باشد. وجود آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک در توده های گرانیتوئیدی نشانه اختلال یا هضم ماگمایی در اثر نفوذ ماگما با منشأ گوشته ای (M) به درون پوسته و حضور آنکلاوهای سورمیکاسه به تنهایی بیانگر گرانیت با منشأ پوسته ای (S) و وجود آنکلاوهای آلومینوم دار غنی از میکا (سورمیکاسه) نظیر آندالوزیت همراه با آنکلاوهای مافیک ریزدانه (MME) گرانیت های با منشأ مشترک (پوسته ای + گوشته ای) را معرفی می کند [15]. کوارتز دیوریت ها در این توده فراوانی کمی دارند در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت تمام بلورین دانه متوسط و گاهی پوئی کیلیتیک و اندازه دانه ها دارای قطر ۰/۵ تا ۲/۵ میلیمتر است. پلاژیوکلازها به صورت نیمه شکل دار تا بی شکل با ماکل آلبیت و ساخت منطقه ای و بر مبنای اندازه گیری زاویه خاموشی بیشتر ترکیب آندزین دارند (۳۲-۲۷ درجه) و در خیلی از نمونه ها به شدت به اپیدوت و سربیسیت تجزیه شده اند، مقدار

و آمفیبول به صورت بلورهای بی شکل تا نیمه شکلدار با مقدار حدود ۹ درصد و کلریت و کانی های گروه اپیدوت از کانی های دیگر این سنگ می باشد. گرانودیوریت ها فراوانترین سنگ های موجود در توده گرانیتوئیدی آستانه می باشند، در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت گرانولار دانه متوسط با اندازه های نامساوی است و اندازه دانه ها حدود ۲/۵ میلیمتر می باشد، بافت فرعی این سنگ به دلیل وجود پلاژیوکلاز و بیوتیت در داخل کوارتز به صورت پوئی کیلیتیک می باشد (شکل ۷- b) در بعضی نمونه ها بافت گرافیک نیز مشاهده می گردد، این بافت تبلور اتکتیک، همزمان و آرام کوارتز و فلدسپارپتاسیک را از یک مذاب در حال سرد شدن در ژرفای کم و تحت فشار آب پایین را نشان می دهد [11] پلاژیوکلازها با ترکیب آندزین (۳۶ تا ۴۵ درصد) بیوتیت (۶۴ تا ۱۵ درصد) و کانی های کدر (مگنتیت)

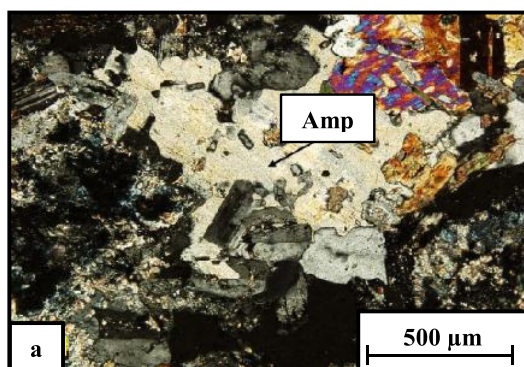
و آپاتیت از کانی های دیگر این سنگ هستند. مونوزوگرانیت ها و سینیوگرانیت ها اکثراً دارای بافت دانه متوسط با دانه های نامساوی و اندازه دانه ها ۱ تا ۳ میلیمتر هستند و در ضمن در بعضی از نمونه ها ترکیب دو نوع فلدسپار بافت پرتیتی ایجاد نموده است (شکل ۸)، بافت پوئی کیلیتیک بافت فرعی در بعضی نمونه ها می باشد به نحوی که اورتوزهای درشت در برگرفته کوارتز و پلاژیوکلازهای ریزتر می باشند در بعضی نمونه ها با هم رشدی کوارتز و آلکالی فلدسپارها بافت گرانوفیریک ایجاد شده که نشان دهنده نفوذ توده ماگمایی در عمق کم و تبلور سریع است. کانی های موجود در این سنگ ها شامل کوارتز (۳۲ تا ۳۴ درصد)، آلکالی فلدسپارها (۲۵ تا ۳۳ درصد) آمفیبول، بیوتیت، تورمالین، سیریسیت اپیدوت و کانی های رسی می باشند.



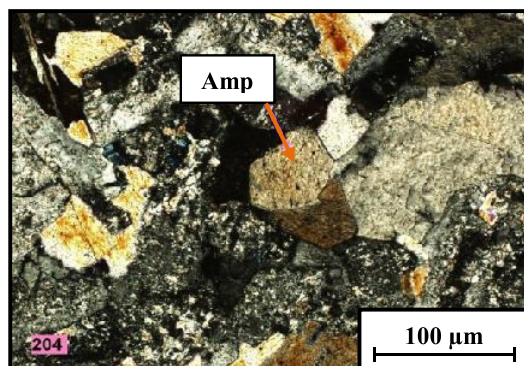
شکل ۳- طبقه بندی سنگ های آذرین درونی، TAS [24] و خط جدا کننده قلمرو آلکالن از ساب آلکالن [25]



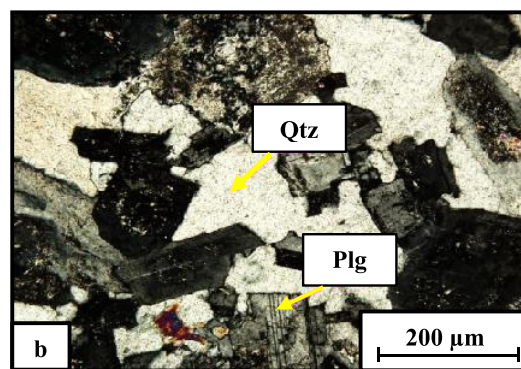
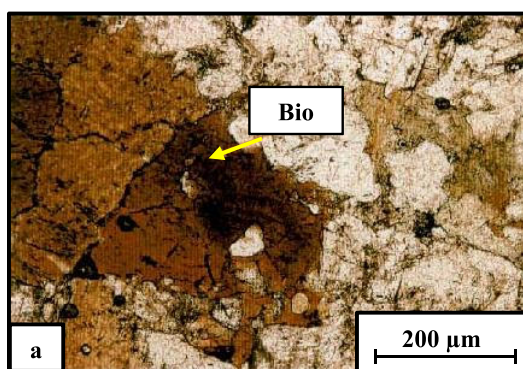
شکل ۴- (a, b): تصویر آنکلاوهای سورمیکاسه (آندالوزیت) موجود در توده گرانیتوئیدی آستانه (نمونه مشخص شده با رنگ قرمز سمت راست عکس ۷/۵ سانتیمتر). تصویر میکروسکوپی آندالوزیت های (سیلیمانیته شده) توده گرانیتوئیدی آستانه در نور XPL



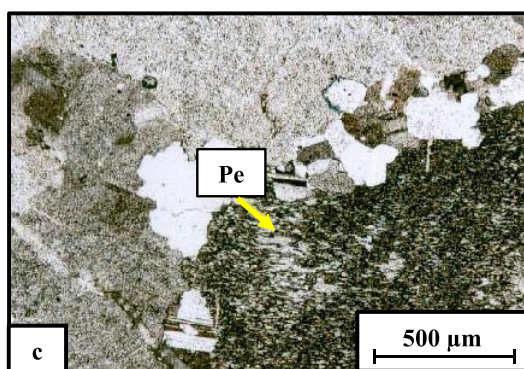
شکل ۵- (a, b, c): تصویر میکروسکوپی آنکلاو میکرو کوارتز دیوریتی (MME) با بافت غربالی آمفیبول و پلاژیوکلاز در توده گرانیتوئیدی آستانه، (b) تصویر آنکلاو میکروگرانولار مافیک (کوارتز دیوریت) با حاشیه واکنشی (بافت ریز دانه) با گرانودیوریت (c) تصویر آنکلاو میکروتونالیتی در توده آستانه.



شکل ۶- آمفیبول های با رخ لوزی و نیمه شکل دار در کوارتز دیوریت های توده آستانه



شکل ۷- (a, b) بیوتیت با ادخال های زیرکن و رتیل در تونالیت توده آستانه
(b) بافت پوئی کیلیتیک در گرانودیوریت های توده آستانه



شکل ۸- پرتیت های لکه ای در ارتوزهای مونزوگرانیت توده آستانه

ژئوشیمی و پتروژنز

که از Nb فقیر و از LILE غنی شده اند به گوه گوشته ای افزوده می شود [10]. بی هنجاری منفی Nb, Ti نشانگر نقش پوسته در تولید ماگماست و شاخص مراحل مرتبط با فرو رانش و حواشی فعال قاره ای می باشد [36]. در (شکل a-2-8) الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نمونه های منطقه نسبت به کندریت به هنجار شده است [32]. بر اساس این نمودار تمامی نمونه حدود 10 تا 100 برابر نسبت به کندریت از REE های سبک غنی شده اند که میزان غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) غنی شدگی بیشتری نسبت به انواع سنگین (HREE) نشان می دهند. ویژگی بارز الگوی عناصر نادر خاکی سنگ های این توده، مقادیر پایین Yb و Lu از گروه HREE است، کلینوپیروکسن و گارنت کانی هایی هستند که به طور انتخابی عناصر نادر خاکی سنگین را متمرکز نموده و باقیماندن این کانی ها در منشأ و یا جدا شدن ضمن تفریق می تواند جدایش این عناصر را توجیه نمایند [30]، از ویژگی های بارز دیگر این توده تهی شدگی Eu در تمامی نمونه ها است، تهی شدگی در سنگ های آذرین می تواند در اثر عواملی همچون جدایش پلاژیوکلاز، فوگاسیته بالای اکسیژن در محیط و یا باقیماندن پلاژیوکلاز غنی از کلسیم در تفالیه باشد با توجه به غالب بودن ترکیب سنگ شناسی گرانودیوریتی و تونالیت در این توده و فراوان بودن پلاژیوکلاز در این سنگ ها احتمال جدایش پلاژیوکلاز در این سنگ نمی رود و این بی هنجاری را می توان به باقیماندن پلاژیوکلاز در فاز تفالیه نسبت داد [20] از طرفی بی هنجاری منفی Ba، شاخص محیط های با

جدول (1) حاوی نتایج آنالیز ژئوشیمیایی نمونه های این توده گرانیتوئیدی می باشد. همانطور که در (شکل 3) مشاهده می گردد طیف سنگ شناختی نمونه های این توده در محدوده های گرانودیوریت گرانیت، دیوریت واقع شده اند. نمودارهای عنکبوتی و عناصر کمیاب خاکی به هنجار شده سنگ های این توده نسبت به کندریت [33,34] حاکی از غنی شدگی آنها از عناصر کمیاب خاکی سبک و عناصر لیتوفیل بزرگ یون و تهی شدگی از عناصر خاکی نادر سنگین و عناصر با شدت پایداری بالاست که شاخص ماگماهای کالک آلکالن مناطق فرورانش است (شکل 9-a, b) و می تواند بیانگر ماگمایی منتج از یک ورقه اقیانوسی فرورانده شده و گوه گوشته ای دگرسان شده روی آن، تحمل فرآیند تبلور بخشی و هضم و آغشتگی ماگما با مواد پوسته ای و باقیماندن عناصر نادر خاکی سنگی و عناصر شدت پایداری بالا در سنگ خاستگاه باشد و از طرفی حاکی از آغشتگی و آرایش ماگما با مواد پوسته ای حین صعود و جایگزینی آن در مناطق فرورانش باشد، ولی بسیاری از محققین تهی بودن سیالات دگرسان کننده گوه گوشته ای از این عناصر را ناشی از وجود فازهای دیر گداز حاوی این عناصر (نظیر رتیل، ایلمنیت آمفیبول پارگازیتی و آپاتیت و اسفن) در سنگ های اکلوزیتی ورقه اقیانوسی فرو رانده شده و یا گوه گوشته ای ذوب نشده می دانند، زیرا عناصر با میدان پایداری بالا (high field strength) در این فازها شدیداً سازگار می باشد [7,8]. در مناطق فرو رانش سیالات آزاد شده از بخش فوقانی لیتوسفر فرو رونده

در ارتباط با فرآیندهای کوهزائی صورت گرفته است یا خیر. بدین منظور از نمودارهای مانپار و پیکولی (۱۹۸۹) استفاده شده است [22]. که محیط تکنونیک سنگ های گرانیتوئیدی را به هفت گروه تقسیم نموده اند که از میان آنها گروه های POG, CCG, CAG, IAG از نوع کوهزائی و سه گروه RRG, CEUG, OP در رده گرانیتوئیدهای غیرکوهزائی قرار می گیرند. براساس نمودار K_2O در مقابل SiO_2 که گروه OP را به وضوح از سایر گروه ها متمایز می نماید توده گرانیتوئیدی آستانه خارج از محدوده OP قرار گرفته اند. (شکل ۱۱) در نمودار ($FeO^t + MgO$) در مقابل SiO_2 نیز تمام نمونه ها در محدوده کوهزائی قرار گرفته اند. همچنین تغییرات عناصر اصلی نمودار R1-R2 را به منظور تفکیک محیط زمین ساختی گرانیتوئیدها ارائه کرده اند [10]. در این نمودار، گرانیتوئیدها به گروه های گوشته ای، پیش از برخورد، پس از برخورد انتهایی کوهزائی، ناکوهزائی، همزمان با برخورد و پس از کوهزائی تفکیک شده اند. در نمودار (شکل ۱۲) تمام نمونه های مورد مطالعه در محدوده ۱ یعنی در قلمرو گرانیتوئیدهای با منشاء گوشته ای قرار گرفته اند. به منظور تعیین محیط زمین ساختی توده های گرانیتوئیدی، نمودارهای مختلفی بر اساس عناصر کمیاب توسط محققان ارائه گردیده است. یکی از رایج ترین این نمودارها، نمودار (Pierce, et al 1984) است [27]، که در آنها گرانیتوئیدها از لحاظ زمین ساختی به چهار گروه: گرانیتوئیدهای پشته میان اقیانوسی (ORG)، گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی (VAG)، گرانیتوئیدهای درون صفحه ای

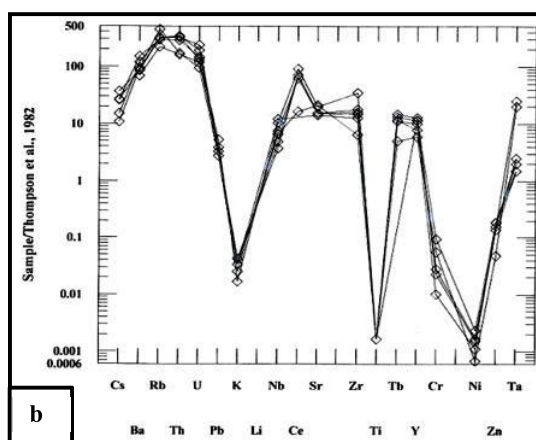
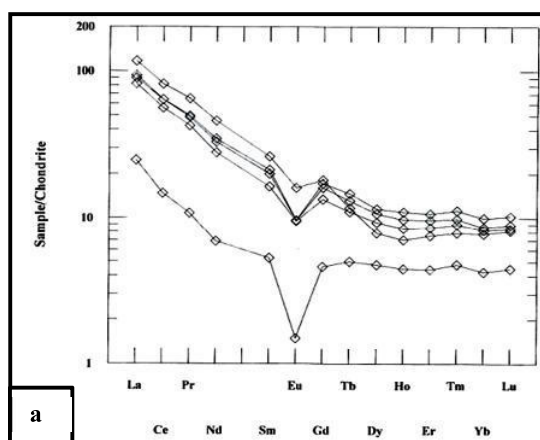
پتاسیم بالا (شکل ۲۱) بوده و خاص فازهای فلسیک است و از ویژگی های پوسته قاره ای فوقانی محسوب می شود [20]. داده های ایزوتوپی (جدول ۲) و سن سنجی توده مذکور به روش Rb-Sr سنگ کل سن توده مذکور $5/1 \pm 92/7$ میلیون سال قبل و نسبت $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ اولیه را $0/00033 \pm 0/710$ را به دست داده است [۴]، این نسبت می تواند بیانگر تأثیر شدید آلودگی پوسته ای یا نقش عمده پوسته در تشکیل ماگمای این توده باشد زیرا میزان $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ در گوشته پایین بوده (به علت پایین بودن مقدار Rb) و در پوسته قاره ای، سنگ هایی که میزان $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ I اولیه آنها کمتر از $0/707$ باشد به طور قاطع دارای منشأ گوشته ای است که می تواند در مسیر با پوسته آغشته ای پیدا نموده باشد و در صورتیکه نسبت $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ اولیه سنگ بیشتر از $0/710$ باشد می توان گفت قسمت بیشتر ماگما از پوسته قاره ای منشأ گرفته است و در مواردی که این نسبت در محدوده $0/710$ تا $0/707$ واقع شود از آمیختگی ماگمای گوشته ای و پوسته قاره ای به نسبت های مختلف خواهد بود [13]، تعداد سه نمونه از سنگ های توده آستانه از سه قسمت مختلف توده به منظور تعیین نسبت $\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd}$ و $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ انتخاب شدند، نتایج حاصله در جدول (۲) نشان داده شده است و موقعیت نمونه های انتخابی در (شکل ۱۰) مشخص شده، همانطور که مشاهده می گردد تمامی نمونه ها در قسمت پایین و سمت راست چهار گوش نمودار مربوطه واقع شده اند که نشان گر منشأ همه آنها از پوسته پایینی قاره ای می باشد [35]. در مرحله بعد برای تفکیک محیط تکتونوماگمایی، این توده گرانیتوئیدی ابتدا باید مشخص شود که آیا تشکیل آن

و سری های حد واسط (اقیانوس- قاره ای) در بالای محدوده VAG قرار می گیرند. همچنین سنگ های مربوط به ماگماتیسیم کمان نسبت به ماگماتیسیم حاصل از برخورد کمان - قاره (که نزدیک مرز - Syn COLG واقع می شوند)، در بخش های پایینی قلمرو VAG قرار می گیرند در نمودارهای پیرس و هریس (۱۹۸۴) [27]، بیشتر نمونه ها در نزدیک مرز Syn — COLG با مقدار بالای Rb قرار می گیرند که بیانگر نقش زیاد پوسته در فرآیند تولید ماگما و آلودگی شدید پوسته ای می باشد. همچنین وجود سنگ های با منشاء نابالغ و یا پایین بودن میزان تفریق ماگما باعث می شود که گرانیتوئیدهای - Syn COLG در محدوده VAG قرار گیرند. در رژیم های برخوردی کمان - قاره اگر تنش های کششی سنگ های قدیمی کمان را تحت تأثیر قرار دهند سنگ های حاصل ممکن است ویژگی های محیط VAG را نشان دهند، یا زمانی که رژیم کششی به حوضه پشت کمانی انتقال می یابد (درون قاره) سنگ ها در محدوده WPG قرار می گیرند. هریس و پیرس (۱۹۸۶) [18] با استفاده از عناصر فرعی توده های گرانیتوئیدی را از لحاظ محیط زمین ساختی تقسیم بندی نموده است، که در این نمودارها نیز تمامی نمونه ها در محدوده قوس آتشفشانی (فرورانش) و قوس حاشیه قاره ای قرار می گیرند (شکل ۱۷). بالا بودن نسبت های Th/Yb (>۵) همراه با بالا بودن نسبت های La/Yb (>۱۰) شکل ۱۸ نشان می دهند که این توده متعلق به ماگماهای فلسیک کمان قاره ای است [12] و نمودارهای Th/Ta در برابر Yb [17] و نسبت

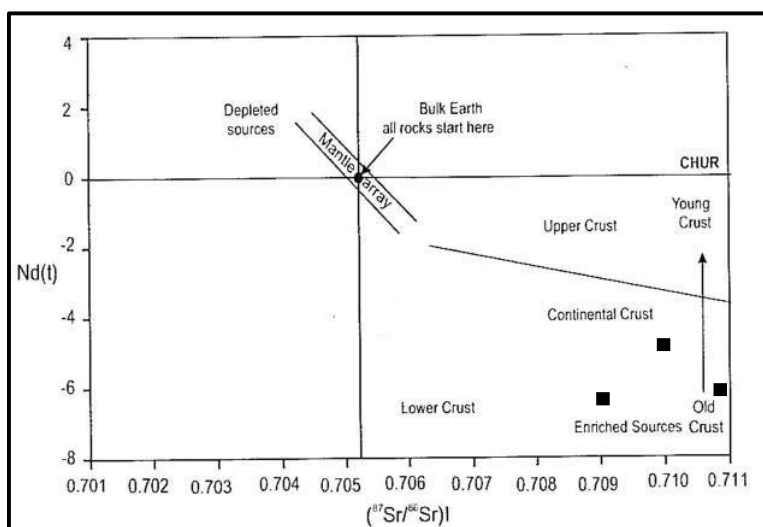
(WPG) و گرانیتوئیدهای همزمان با برخورد (Syn - COLG) تقسیم می شوند. همانطور که ملاحظه می شود در نمودار Y در برابر Nb (شکل ۱۳- a) سنگ های مورد مطالعه در محدوده مشترک VAG (گرانیت های کمان آتشفشانی) Syn - COLG همزمان با برخورد قرار می گیرند. برای تفکیک این دو از هم، نمودارهای Y + Nb در مقابل Rb (شکل ۲-b- ۱۲) و همچنین Yb+Ta در مقابل Rb و Yb در مقابل Ta استفاده شده (شکل ۱۴-a,b) و براساس آنها تقریباً تمامی نمونه های مورد مطالعه درون محدوده VAG واقع شده اند [27]. لذا با توجه به ویژگی های دیگر نظیر وجود بیوتیت و هورنبلند در سنگ های این توده به مقدار فراوان در نمودار شاخص آلومین قرار گرفتن در محدوده متآلومین تا کمی پراآلومین (شکل ۱۵) و داشتن ویژگی های نوع I و کالکو آکالن بودن [21] (شکل ۱۶)، این توده می تواند نشان دهنده محیط تکتونیکی قوس قاره ای در این منطقه باشد، علت قرار گرفتن تعدادی از نمونه ها در محدوده های مختلف در این نمودارها احتمالاً منشأ متفاوت یا آلیش و هضم ماگمای گوشته ای با مواد پوسته ای می باشد. در نمودارهای پیرس و همکاران (۱۹۸۴) [27] و دیگر نمودارهای ژئوشیمیایی که برای تعیین محیط تکتونوماگمائی استفاده می شود و عواملی مانند آلودگی و تحولات ماگمائی می تواند باعث شود بر موقعیت نمونه ها در محدوده های نمودارها تأثیرگذار باشد. بدین ترتیب که براساس مطالعات فورستر و همکاران (۱۹۹۷) [16] نمونه های متعلق به کمانه ای نابالغ در نیمه پایینی محدوده VAG

به نظر می رسد این توده گرانیتوئیدی در اثر فرو رانش یک ورقه اقیانوسی (نئوتیس) به زیر سکوی قاره ای ایران و ذوب ورقه فرو رانده شده و رسوبات همراه آن و غنی شدن ماگمای حاصل از عناصر LILE و متعاقب آن بالا آمدن ماگمای حاصل سبب ذوب پوسته تحتانی و نفوذ ماگما به پوسته فوقانی ضمن آرایش و ذوب سنگ های پوسته ای (وجود آنکلاو های فراوان) حادث شده باشد.

لگاریتمی Th/Yb در برابر نسبت لگاریتمی Ta/Yb [31] نیز بیانگر تشکیل این توده در محدوده حاشیه فعال قاره ای هستند (شکل ۱۹ و ۲۰)، بنا بر نظر ماترین و همکاران (۲۰۰۵) [24] در مناطق فرورانش ماگما از ذوب گوه گوشته ای، ورقه اقیانوسی فرو رانده شده رسوب های روی ورقه اقیانوسی فرو رانده شده پوسته قاره ای یا ترکیبی از موارد مذکور همراه با فرآیندهای تفریق، هضم و آرایش ایجاد می شوند لذا



شکل ۹- (a: b) نمودار عناصر نادر خاکی به هنجار شده به و کندریت [33]، (b) نمودارهای عنکبوتی به هنجار شده با کندریت برای نمونه های توده آستانه [35]



شکل ۱۰- نمودار نسبت های $Nd(t)$ اولیه در مقابل $(\frac{87Sr}{86Sr})_t$ برای نمونه های توده های گرانیتوئیدی آستانه [35].

مطالعه ژئوشیمی، محیط زمین ساختی و سنگ نگاری توده گرانیتوئیدی آستانه اراک ...

جدول ۱- نتایج تجزیه عناصر اصلی سنگ های نفوذی آستانه

نمونه جرم و وزن عناصر اصلی	A-A ۱۱۷	A-A ۱۳۲	A-A ۱۳۵	A-A ۱۴۴	A-A ۱۵۰	A-A ۱۶۳	A-A ۱۷۰	A-A ۱۸۲	A-A ۱۹۱	A-A ۲۰۴	A-A ۲۱۴	A-A ۲۰۳
	SiO ₂	۶۳/۲	۶۵/۲۲	۶۰/۲۸	۶۴/۳۹	۶۵/۸۱	۶۴/۳	۷۳/۷۱	۶۴/۱	۶۴/۸۸	۶۰/۷۶	۶۷/۷۸
Al ₂ O ₃	۱۴/۵۵	۱۳/۵۱	۱۲/۰۸	۱۳/۹۲	۱۳/۹۳	۱۳/۴۶	۱۴/۵	۱۲/۷۶	۱۳/۲۴	۱۲/۷۲	۱۳/۷	۱۴/۴۳
Fe ₂ O ₃	۶/۴۹	۶/۲۶	۸/۲۶	۶/۲۶	۵/۸۸	۶/۴۸	۷/۷۸	۷/۹۰	۶/۳۳	۸/۰۵	۴/۸۳	۱/۲۸
CaO	۵/۲۹	۵/۲۴	۷/۰۴۱	۵/۵۸	۴/۴۳	۵/۶۸	۷/۴۹	۴/۰۴	۴/۴۹	۷/۰۴	۳/۵۸	۷/۸۱
Na ₂ O	۱/۹۹	۲/۱۸	۱/۵۶	۱/۹۹	۲/۱۹	۲/۰۴	۳/۸۵	۲/۳۵	۲/۳۳	۲/۶۵	۲/۲۲	۷/۲۸
MgO	۲/۸۶	۲/۲۶	۴/۳۹	۲/۵۸	۲/۲۱	۲/۴۸	۷/۲۶	۲/۵۱	۲/۳۴	۳/۹۴	۱/۷۴	۷/۱۸
K ₂ O	۲/۵۲	۲/۰۱	۲/۲۸	۲/۶۶	۲/۶	۲/۴۴	۵/۰۲	۲/۵۵	۲/۶۴	۱/۷۷	۳/۵۲	۷/۴۴
TiO ₂	٪۶	٪۵۹	٪۴۸	٪۵۷	٪۵۵	٪۵۸	٪۱۱	٪۶۱	٪۶۱	٪۵۱	٪۳۹	٪۱
MnO	٪۱۱	٪۱	٪۱۸	٪۱۲	٪۱۱	٪۱۱	< ۱	٪۱۴	٪۱۲	٪۱۸	٪۱	< ۱
P ₂ O ₅	٪۱۲	٪۱۲	< ٪۰۱	٪۱۳	٪۱۱	٪۱۲	٪۱۹	٪۱۴	٪۱۲	< ٪۱	٪۱	٪۳۳
L.O.I	۱/۵۶	۱/۷۲	۲/۱۲	۱/۱۴	۱/۵۹	۱/۵۵	٪۵۳	۲	۲/۰۳	۱/۶۷	۱/۴۱	٪۵۴
A/C.N.K	٪۹۳	٪۸۷۷	٪۶۴۸	٪۸۴	٪۹۶	٪۸۲	۱/۴۷	٪۹۱	٪۸۸	٪۶۹	٪۹۸	۱/۰۳
A/N.K	۲/۴	۲/۳۴	۲/۳۹	۲/۲۲	۲/۱۸	۲/۳	۱/۶۲	۱/۹۴	۱/۹۷	۲/۲۸	۱/۸۴	۱/۱۵
نتایج تجزیه عناصر کمیاب سنگ های نفوذی آستانه (ppm)												
Rb	۱۰۳/۸	۸۸/۳	۷۲/۴	۱۰۳/۴	۱۰۴/۲	۱۰۳/۸	۲۰۰/۸	۱۰۲/۵	۱۰۰/۳	۸۱/۲	۱۶۵/۶	۳۷/۳
Sr	۱۴۸/۹	۱۹۵/۱	۱۵۰/۹	۱۷۹/۱	۱۸۹/۲	۱۸۱/۲	۷۶/۷	۲۳۲/۴	۱۹۶/۱	۲۰۰/۶	۱۶۴/۳	۱۴۴/۵
Y	۲۴/۳	۲۳/۸	۲۳/۲	۲۴/۶	۲۴/۹	۲۴/۲	۲۶/۱	۲۴/۳	۲۴/۶	۲۷	۲۶/۹	۲۲/۱
Zr	۵/۱۱۹	۱/۱۸۷	۷۹	۱۱۲/۱	۱۱۶/۸	۱۱۱/۱		۱۱۷/۸	۱۲۴/۵	۶۹	۱۰۳/۷	۶۹/۴
Mo	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲	< ۲
Sn	۵/۹	۶/۱	۵/۷	۵/۷	۵/۶	۶/۴	۴/۹	۵/۸	۶/۵	۵/۷	۶	۴/۵
Cs	۱۰	< ۱۰	۱۰/۱	< ۱۰	< ۱۰	< ۱۰	< ۱۰	۱۰	< ۱۰	۱۰	۱۰	< ۱۰
Ba	۳۸۵/۵	۳۶۸/۷	۲۹۴/۸	۳۷۶/۹	۴۱۲/۹	۳۹۰/۲	۳۹۷/۵	۴۸۲/۴	۳۹۱/۳	۲۵۵/۹	۴۱۰/۳	۱۶۵/۱
La	۱۵/۹	۱۸/۵	۲۹/۹	۱۶/۸	۳۸/۴	۳۷/۲	۲/۶	۳۵/۱	۹/۲	۱۷/۳	۲۰/۹	۱۴/۶
Eu	۲/۱	۲	۲/۵	۲/۱	۲	۲	۱/۲	۲/۲	۲	۲/۵	۱/۹	۱/۲
Sc	۱۷/۸	۱۸/۶	۲۳/۶	۱۹/۴	۱۵/۳	۱۸/۱	۴/۳	۱۴/۹	۱۷/۲	۲۵/۷	۱۳/۴	۴/۷
V	۹۶/۸	۸۵/۱	۱۱۹	۸۸/۶	۸۰/۸	۸۵/۱	۵/۵	۸۴	۸۶/۴	۱۳۲/۶	۵۷/۲	۵/۷
Cr	۹۶	۸۸/۴	۳۰۷/۷	۹۳/۲	۸۲/۳	۸۵	۸۳	۸۱/۶	۸۵	۹۱/۸	۶۲/۲	۸/۴
Co	۲۲/۳	۲۰/۷	۳۱/۵	۲۰/۶	۱۸/۲	۲۰/۸	< ۱	۲۵/۸	۲۱/۵	۲۹/۴	۱۳/۵	< ۱
Ni	۲۴/۱	۲۵/۷	۱۵/۶	۲۳/۲	۲۵/۲	۲۳/۲	۴۵	۲۱	۲۵/۵	۱۹/۶	۲۷/۶	۵۱/۲
Cu	۲۳/۲	۱۷/۴	۴۲/۳	۲۳/۵	۱۸/۵	۱۵/۴	۲۵/۳	۲۳/۹	۱۵/۴	۹۶/۵	۱۴/۳	۱۷/۷
Zn	۶۵/۱	۵۹/۷	۷۱/۹	۶۳/۴	۶۳/۲	۶۴/۷	۲۴/۷	۶۹/۳	۶۷/۴	۶۵/۷	۵۴/۲	۲۶/۲
Ga	۱۸	۱۷/۹	۱۳/۸	۱۷/۴	۱۹/۴	۱۹/۲	۲۲/۵	۱۷/۷	۱۸/۵	۱۶/۶	۱۸	۳۱/۳
W	٪۳۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
Ce	۵۳/۸	-	۳۵	-	-	۷۸/۱	-	-	-	-	-	-
Tb	٪۶۴	-	٪۶۷	-	-	٪۶۸	-	-	-	-	-	-
Yb	۲/۰۴	-	۲/۴۲	-	-	۱/۹۲	-	-	-	-	-	-
Hf	۳/۲	۶/۲	۲/۶	۳/۹	۵/۷	۶/۴	۵/۹	۶/۲	۶/۲	۳/۵	۵/۱	۶/۸
Pb	۱۷۸	۱۲/۱	۲۹/۳	۲۰/۸	۱۰/۹	۲۵/۹	۱۰/۶	۲۳/۸	۳۰/۳	۱۶/۸	۴۲	< ۵
Th	۸۱۷	۸/۴	۶/۶۷	۸/۴	۸/۳	۱۳/۸	۹/۲	۷/۸	۸/۶	۷/۷	۹/۴	۱۰/۱
Ag	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱
Ho	٪۷۲	-	٪۸۶	-	-	٪۶	-	-	-	-	-	-
Lu	٪۳۲	-	٪۳۸	-	-	٪۳۱	-	-	-	-	-	-
Nd	۱۹/۹	-	۱۵/۵	-	-	۳۲/۷	-	-	-	-	-	-

ادامه جدول ۱

نمونه درصد وزنی عناصر اصلی	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A	A-A
	۱۱۷	۱۳۲	۱۳۵	۱۴۴	۱۵۰	۱۶۳	۱۷۰	۱۸۲	۱۹۱	۲۰۴	۲۱۴	۲۰۳
Nb	۱۰/۵	-	۷/۵	-	-	۱۷/۹	-	-	-	-	-	-
Gd	۴/۱	-	۳/۸۸	-	-	۵/۵۵	-	-	-	-	-	-
Sm	۳/۷۹	-	۳/۴۵	-	-	۷/۶	-	-	-	-	-	-
Ta	۱/۱	-	۷/۹	-	-	۱/۲	-	-	-	-	-	-

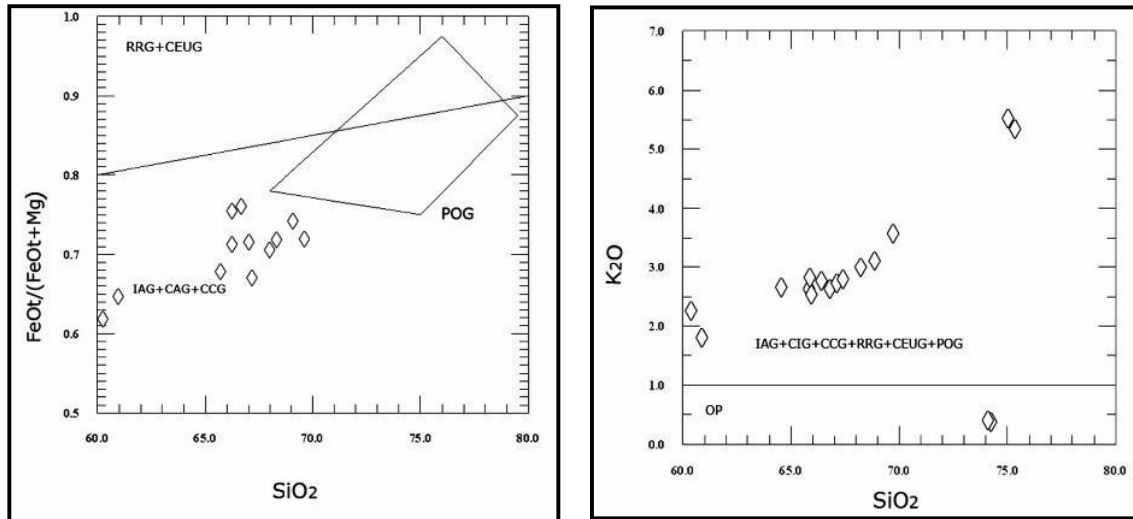
نمونه درصد وزنی عناصر اصلی	A-A	A-A	A-A	A-A
	۲۴۵	۲۵۹	۲۷۰	۲۷۱
SiO ₂	۶۵/۴۹	۶۶/۲۴	۶۴/۸۳	۷۰/۸۶
Al ₂ O ₃	۱۳/۹۳	۱۳/۵۶	۱۳/۱۷	۱۶/۳۹
Fe ₂ O ₃	۵/۲۲	۵/۷۵	۵/۸۹	۳/۰۷
CaO	۴/۰۶	۵/۵۸	۴/۲۹	۱/۷
Na ₂ O	۲/۳۴	۱/۹۹	۲/۱۵	۸۵/۳
MgO	۱/۶۷	۲/۳۶	۲/۱۴	۴/۰۵
K ₂ O	۲/۹۴	۲/۵۷	۲/۸۴	۱/۶۷
TiO ₂	٪۵۹	٪۴۹	٪۵۴	٪۲۸
MnO	< ٪۱	٪۱	٪۱۱	< ٪۱
P ₂ O ₅	٪۱	٪۱۱	٪۱۲	٪۱
L.O.I	۱/۴	۱/۲۶	۱/۷۰	۳/۱۳
A/C.N.K	٪۹۶	٪۸۳	٪۹۱	۱/۴
A/N.K	۱/۲۲	۱/۲۷	۱/۹۸	۲/۰۲
نتایج تجزیه عناصر کمیاب سنگ های نفوذی آستانه (ppm)				
Rb	۱۴۶/۲	۱۰۹	۱۱۲/۸	۸۲/۳
Sr	۱۸۳/۶	۱۸۷/۸	۱۷۹/۲	۸۷/۸
Y	۲۵/۷	۹۴/۷	۲۵/۲	۲۲/۳
Zr	۱۳۱/۲	۱۰۸/۹	۱۱۸/۳	۲۲۸
Mo	۵/۸	۵/۸	۶	۵/۳
Sn	۵/۸	۵/۸	۶	۵/۳
Cs	< ۱۰	۱۰	< ۱۰	< ۱۰
Ba	۴۱۹/۱	۳۷۵/۲	۴۱۱/۱	۴۱۵/۹
La	۲۹/۳	۲۲/۲	۳۲/۵	۱۴/۴
Eu	۱/۵	۱/۹	۲	۱/۴
Sc	۱۴/۸	۱۷/۱	۱۵/۵	۷/۲
V	۷۸/۴	۷۹/۷	۷۹/۹	۳۸/۹
Cr	۷۲/۳	۸۷	۷۹/۴	۱۰۷/۷
Co	۱۴/۵	۱۷/۱	۱۸/۵	۶/۳
Ni	۲۹/۳	۲۵/۲	۲۶/۲	۹۱/۵
Cu	۲۴/۷	۲۴/۳	۳۰/۸	۲۴/۴
Zn	۵۲/۹	۵۵/۸	۶۵/۸	۴۲/۹
Ga	۲۰/۱	۱۸/۴	۱۷/۵	۲۲/۸
W	۲	۲	۳	۲
Ce	-	۶۱/۳	۶۱/۳	-
Tb	< ۲	٪۷۶	٪۸۵	< ۲

ادامه جدول ۱

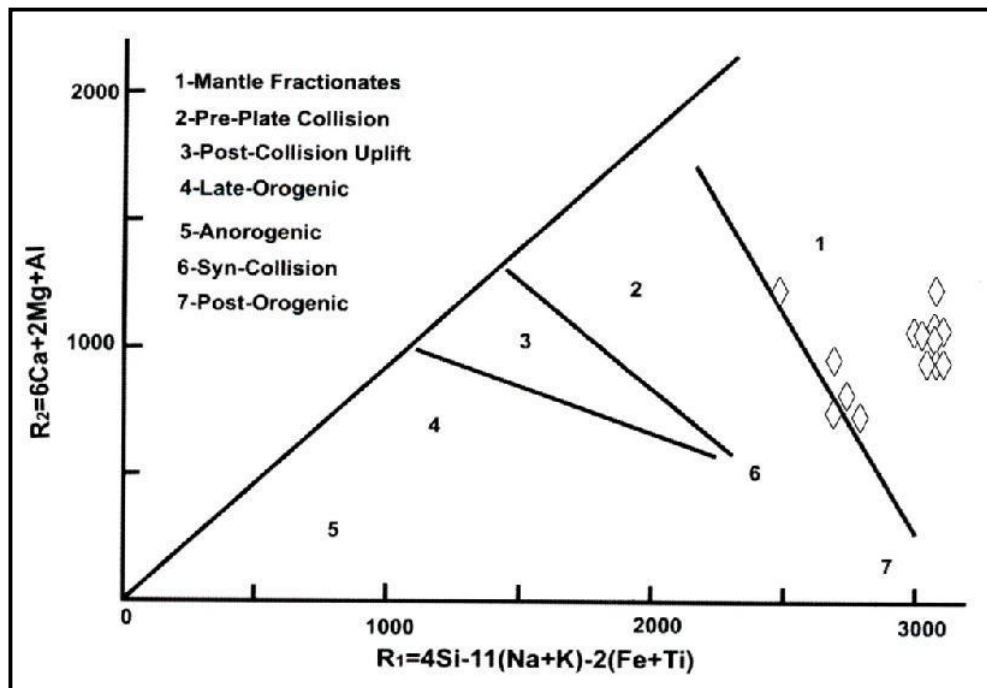
نتایج تجزیه عناصر کمیاب سنگ های نفوذی آستانه (ppm)				
Yb	-	۲/۱۳	۲/۴۷	-
Hf	۵/۳	۳/۵	۳	۳/۸
Pb	۱۸۳	۸/۸	۱۴	۳۰/۷
Th	۸/۶	۱۳/۳	۱۴/۱	۷/۷
Ag	< ۱	< ۱	< ۱	< ۱
Ho	-	٪۸۳	٪۹۴	-
Lu	-	٪۳۴	٪۳۹	-
Nd	-	۲۳/۵	۲۴/۶	-
Nb	-	۱۰	۱۰/۸	-
Gd	-	۴/۹۲	۵/۲۷	-
Sm	-	۴/۶۳	۴/۹۲	-
Ta	-	۱/۱	۱/۲	-
Yb	-	۲/۱۳	۲/۴۷	-
Tb	-	٪۷۶	٪۸۵	-

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی ایزوتوپی توده گرانیتوئیدی آستانه

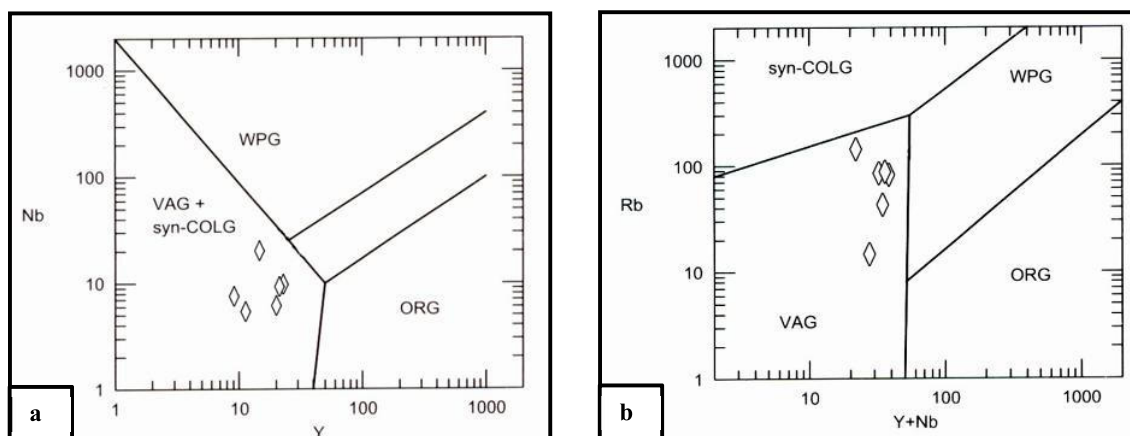
شماره نمونه	A-A ۱۱۷	A-A ۲۵۹	A-A ۲۷۰
نوع سنگ	گرانودیوریت	گرانودیوریت	تونالیت
Rb (ppm)	۱۰۱	۱۰۹	۱۰۹/۵
Sr (ppm)	۱۷۸/۵	۱۸۰	۱۶۷
$\frac{^{87}Rb}{^{87}Sr}$	۱/۶۳۵۸۳۹۲۲	۱/۷۵۰۶۶۱۱۱۱	۱/۸۹۵۹۵۸۰۸
$\frac{^{87}Sr}{^{87}Sr}$	۰/۷۱۲۶۲۱	۰/۷۱۱۷۷۵	۰/۷۱۳۶۷۸
$(\frac{^{87}Sr}{^{87}Sr})_t$	۰/۷۱۰۴۰۶۶۳	۰/۷۰۹۴۶۹۰۱۱	۰/۷۱۱۱۸۱۱۴
Sm (ppm)	۳/۷۶	۴/۶۳	۴/۹۲
Nd (ppm)	۱۹/۹	۲۳/۵	۲۴/۶
$\frac{^{147}Sm}{^{147}Nd}$	۰/۱۱۳۶۸۸۰۴	۰/۱۱۸۵۴۷۷۰۲	۰/۱۲۰۳۴
$\frac{^{147}Nd}{^{147}Nd}$	۰/۵۱۲۲۴۸	۰/۵۱۲۲۴۴	۰/۵۱۲۲۵۸
$(\frac{^{147}Nd}{^{147}Nd})_t$	۰/۵۱۲۱۷۹۰۵	۰/۵۱۲۱۷۲	۰/۵۱۲۱۸۵۰۲
$\epsilon Nd(0)$	-۷/۶۰	-۷/۶۸	-۷/۴۱
$\epsilon Nd(\tau)$	-۵/۲۸	-۶/۷۶	-۶/۵۱



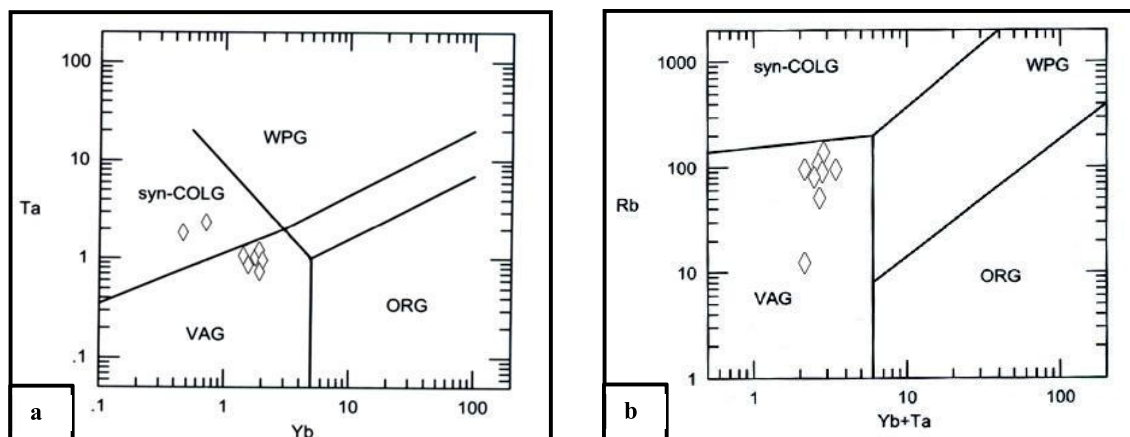
شکل ۱۱- تغییرات K_2O در مقابل SiO_2 و تغییرات $FeOt/(FeOt+MgO)$ در مقابل SiO_2 جهت تفکیک محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها، [22] و موقعیت نمونه های توده گرانیتوئیدی آستانه



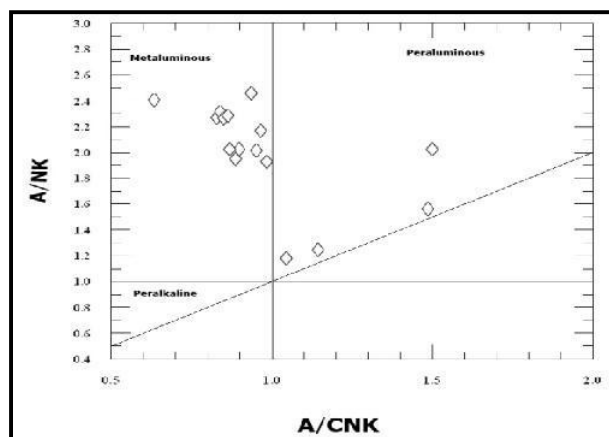
شکل ۱۲- تمایز انواع گرانیتوئید های کوهزائی و ناکوهزائی براساس پارامترهای چند کاتیونی R_1 و R_2 [22]. تقریباً همه نمونه ها در محدوده با منشا گوشته ای قرار گرفته اند



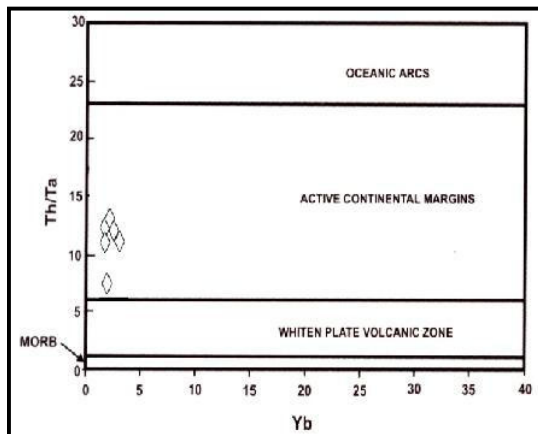
شکل ۱۳- (a) تغییرات Nb در مقابل Y (شکل a) و تغییرات Rb در مقابل Y+Nb (شکل b) جهت تفکیک محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها [27] و موقعیت سنگ های توده گرانیتوئیدی آستانه



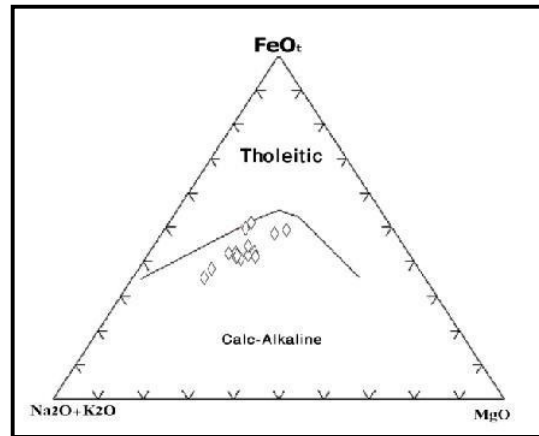
شکل ۱۴- (a) تغییرات Ta در مقابل Yb (شکل b) در مقابل Rb جهت تفکیک محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها [27] و موقعیت سنگ های نفوذی آستانه



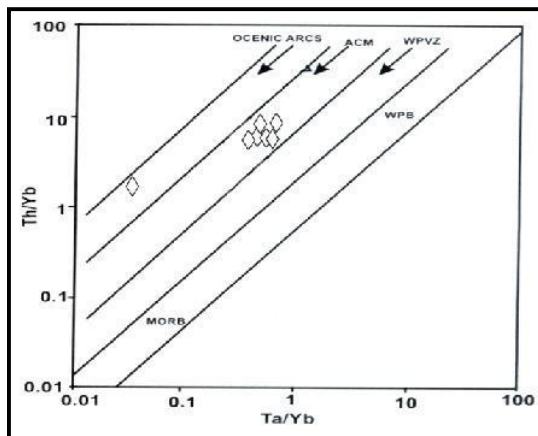
شکل ۱۵- نمودار شاخص اشباع از آلومینیوم در سنگ های گرانیتوئیدی آستانه، با استفاده از نمودار، [22] و بیشتر نمونه های توده آستانه در محدوده متآلومین، قرار گرفته اند



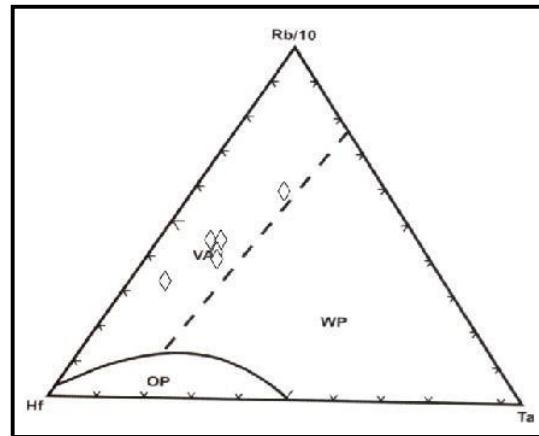
شکل ۱۹- نمودار Th/Ta در برابر Yb [17] نمونه های توده آستانه در محدوده حاشیه فعال قاره ای واقع شده اند



شکل ۱۶- نمودار مثلثی AFM برای نمونه های توده آستانه که در آن سری های کالکو آکالن از تولیتی جدا شده اند [19]



شکل ۲۰- نمودار نسبت لگاریتمی Th/Yb در مقابل نسبت لگاریتمی Ta/Yb [31] در این نمودار، تقریباً تمام نمونه های مورد مطالعه در محدوده فرورانش، قرار گرفته اند و در محدوده فعال قاره ای، قرار می گیرند



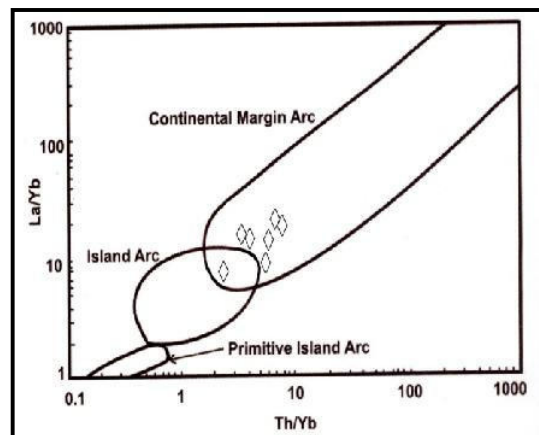
شکل ۱۷- تفکیک انواع گرانیتوئیدها براساس عناصر فرعی [18]، همانطور که ملاحظه می شود، بیشتر نمونه های توده آستانه در محدوده کمان آتشفشانی قرار می گیرند

WPB: بازالت های درون صفحه ای.

ACM: حاشیه فعال قاره ای.

WPVZ: مناطق آتشفشانی درون صفحه ای.

OCEANIC ARC: جزایر قوسی اقیانوسی.



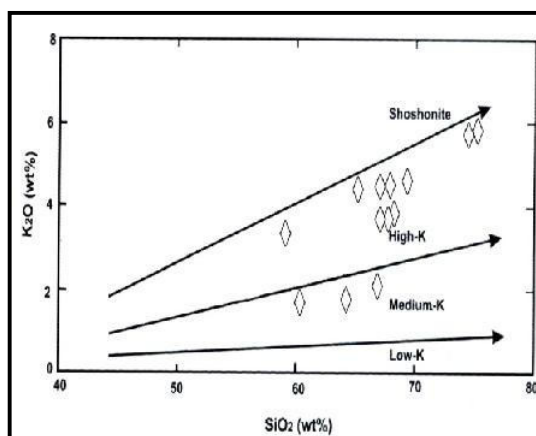
شکل ۱۸- La/Yb در برابر Th/Yb [12] بیشتر نمونه ها در محدوده کمان حاشیه قاره ای قرار می گیرند

از خود تهی شدگی نشان می دهند غنی شدگی از LILE می تواند به خاطر فرورانش رسوبات باشد که البته ترکیب این رسوبات در مکان های متفاوت متغیر می باشد.

به این ترتیب داده های ژئوشیمیایی، کانی شناسی و صحرایی موجود نشان می دهند که توده گرانیتوئیدی آستانه به گرانیت های مرتبط با فرورانش همراه با ذوب و آلودگی شدید پوسته قاره ای فوقانی (آنکلاوهای نظیر آندالوزیت) شباهت داشته و به نظر می رسد، در منطقه کمان آتشفشانی تشکیل شده باشد بنابراین احتمالاً در محیط کمان قاره ای شبیه کوه های آند تشکیل شده است. لذا با توجه به سن بدست آمده و ویژگی های تکنونوماگمائی و ژئوشیمیایی، چنین محیطی با مدل عمومی محجل و فرگوسن [26] مطابقت دارد به این ترتیب که در طی کرتاسه در حاشیه فعال ایران مرکزی (حاشیه شمال شرقی نئوتیس) یک کمان آتشفشانی (کمان ماگمائی کالک آلکالن سنندج - سیرجان) وجود داشته است و توده گرانیتوئیدی آستانه به احتمال زیاد در رابطه با فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتیس، به زیر پوسته قاره ای سکوی ایران و به صورت سن تکنونیک و در نتیجه عملکرد فاز کوهزائی کرتاسه فوقانی (لارامید) در طی کرتاسه میانی تا فوقانی حاصل شده است.

منابع

۱ - اسماعیلی د، افشونی س. ز، ولی زاده م و (۱۳۸۸)، "بررسی کانی شناسی و رفتار عناصر نادر خاکی (REE) در زون های دگرسان گرمایی توده گرانیتوئیدی آستانه (جنوب باختری اراک استان مرکزی)" مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، سال



شکل ۲۱- نمودار SiO₂ در مقابل K₂O با محدوده های پیاده شده بر اساس [36] بیشتر نمونه های توده آستانه در محدوده پتاسیم بالا قرار می گیرند

نتیجه گیری

با توجه به استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب فرایندها و مواد تشکیل دهنده گرانیتوئیدهای نوع I کالک آلکالن، پتاسیم بالا و با آلودگی شدید هنوز هم مبهم می باشد. به این ترتیب مدل زمین ساختی برای چنین گرانیتوئیدهایی، مانند توده گرانیتوئیدی آستانه که از نوع کالک آلکالن و با پتاسیم بالا [21] (شکل ۲۱ و ۱۶) و مکانیسم تشکیل آن فرورانش در محیط های کمان قاره ای می باشد [29] دو مدل زمین ساختی پیشنهاد شده است:

- ۱- مدل کمان قاره ای شبیه کوه های آند [28].
- ۲- مدل همزمان تا پس از برخورد مشابه کالدونیا [28]. با توجه به ویژگی های ژئوشیمیایی و نمودارهای تکنونوماگمائی برای این توده مدل ماگماهای حاشیه قاره ای یا کمان آتشفشانی پیشنهاد می گردد. زیرا در این گونه محیط های زمین ساختی، ماگماهای تولید شده نسبت به LILE غنی شدگی و در مقابل HFSE

- 14 -Cox K.G., Bell J.D., & Pankhurst R.J., (1979) "the interpretation of igneous rocks", Geoge allen and unwin, London,. 450 p.
- 15- Didier J., Duthou, J.L., and Lameyre J., (1982) "Mantle and crustal granites: genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves". J. volcano. Geotherm. Res, 14, pp 125- 132.
- 16- Forster H.J., Tischendorf G., & Trumbull R.B., (1997) "An evaluation of the Rb vs. (Y+Nb) discrimination diagram to infertectonic setting of silicic igneous rocks", Lithos 40, pp.261-293.
- 17- Gorton M.p., & Schandl E.S., (2000) "From continental to island arc: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within plate felsic to intermediate volcanic rocks", Canadian Mineralogist, Vol.38, pp.1065-1073.
- 18- Harris N.B.W., Pearce J.A., & Tindle A.G., (1986)"Geochemical characteristic of collision-zone magmatism.In:Coward,M.p.,Rise,A.C.(Ed s.) ,Collision Tectonic", Geological Society London ,Special Publication 19, , pp.67-81.
- 19- Irvine T.N., & Baragar W.R.A., (1971) "A guide to the chemical classification of the Common Volcanic Rocks", Canadian Journal of Earth Science 8, pp 523 – 48.
- 20- Kuscu G.G., Geneli F., (2008) "Review of post-collisional volcanism in the Central Anatolian Volcanic Province (Turkey), with special reference to the Tepekoy Volcanic Province", Int J Earth Sci,
- 21- Lemaitre R.W., (1989)"Aclassification of Igneous rocks and Glassory of terms Black well", Oxford. 193p.
- 22-Maniar P.D., & Piccoli P.M, (1989) "Tectonic discrimination of granitoids", Geological Society of American Bullecan 101, pp 635-643.
- 23-Masoudi F. (1997), "Contact Metamorphism and pegmatite development In the region SW of Arak, Iran", un published PhD thesis, Leeds university, UK.
- 24- Matrin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyer J.F., Champion D., (2005) "An overview of adakite, tonalite- trondhjemite- granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution", Lithos, 79, pp 1-24.
- 25-Miyashiro A., (1978) "Nature of alkalic volcanic rock series, contrib", Mineral. Petrol, 66, pp 91-104.
- هفدهم، شماره اول، ص ۶۶ تا ۸۲.
- ۲- رادفرج، (۱۳۶۶) "بررسی های زمین شناسی و پترولوژی سنگ های گرانیتوئیدی ناحیه آستانه- گوشه"، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
- ۳- سبزه بی م. (۱۳۷۱)، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ حاجی آباد"، سازمان زمین شناسی کشور.
- ۴- عسگری ع.، (۱۳۸۷)، "پترولوژی توده گرانیتوئیدی آستانه و مقایسه آن با توده های آذرین مجاور"، پایان نامه دکترای پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ۲۳۵ ص.
- ۵- نبوی م. (۱۳۵۵)، "دیبچه ای بر زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۰۹ص.
- ۶- هاشمی م. (۱۳۸۰)، " نحوه کانه سازی احتمالی طلا در توده آذرین آستانه اراک " پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- 7- Ayers J.c., Waston E.B, (1991) "Solubility of apatite, monazite, zircon, and rutite in super critical fluids with implications for subduction zone geochemistry", Phil. Trans. R. Soc. London A, 335, pp 365- 375.
- 8-Ayers J.C., (1998) "Trace element modeling for aqueous fluid- peridotite inter action in the wedge of subduction zones", Conti. Mineral. Petrol, 132, pp 390- 404.
- 9-Batchelor R.A., & Bowden p., (1985) "Petrogenetic Interpretation of granitoid Rock series using Multicationic parameters". Chem. Geol, 48, pp.43-55.
- 10-Borg L.E., Clyne M.A., Bullen T. D., (1997) "The variable role of slab derived fluid sin the generation of a suite primitive calc-alkaline lavas from the Southerumost Cascades, California". Con Min. 35, pp 425- 452.
- 11-Clarke D.B., (1992) "granitoid rocks", chapman and hall. Pub.
- 12- Condie K.C., (1989) "Geochemical changes In basalt and andesites across the Archean – Proterozoic boundary : Identification and significance", Lithos 23, pp. 1-18 .
- 13- Cousens B.I., Basu A., and Hart s., (1996) "Depleted and enriched upper mantle source for basaltic rocks from divers tectonic environments in the northeast Pacific Ocean: the generation of oceanic alkaline vs. tholeitic basalt", American geophysical union geophysical monograph 95, pp207-231.

- 26- Mohajjel m., Fergusson C.L., & Sahandi M.R., (2003) "Cretaceous – Tertiary Convergence and Continental Collision, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran", *Journal of Asian earth Science* 21, pp 397-412.
- 27- Pearce J.A., Harshe N.B.W., & Tindle A.G., (1984) "Trace element discrimination diagrams for the tectonic Interpretation of granitic Rocks" , *Journal of Petrology* 25, pp 956- 983.
- 28- Pitcher W.S., (1987) "Granites and yet more granites forty years on": *Geologische Rundschau*, vol.76, pp.51-79.
- 29- Roberts M.P. and Clemens J.D., (1993) "Origin of high- potassium, calc- alkaline, I-type granitoids", *Geology* 21, pp.825-828.
- 30- Rollinson H.R., (1993) "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation", Interpretation. Longman Scientific & Technical, 352 p,
- 31- Schandl E.S., & Gorton M.p., (2002) "Application of high field strength elements to discriminate tectonic setting in VMS environment", *Economic Geology*, Vol.97, pp.629-642.
- 32- Sun S.S., McDonough W.F., (1989) "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saundres. A.D., Norry, M.J., (Eds), *Magmatism in the Ocean Basins*". Geological Society of London Special Publication 42, pp 313- 345.
- 33- Tahmasbi Z., Castro A., Khalili M., Ahmadi Khalaji A., Rosa J., (2010) "Petrologic and geochemical constraints on the origin of Astanceh pluton, Zagros orogenic belt, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, pp 81-96.
- 34- Thompson, A.B., (1982) *Magmatism of the British Tertiary volcanic province*, *Scott. J. Geol.* 18, pp. 50-107.
- 35- Wasserburg, G.J., Jacobsen, S.B., Depalo, D.J., McCulloch, M.T., Wen, T., (1981) "Precise determination of Sm/Nd ratios, Sm and Nd isotopic abundances in standard solutions". *Geochimica ET Cosmochimica Acta* 45, pp 2311-2323.
- 36- Wilson M., (1989) " *Igneous petrogenesis*", Unwin Hyman London, 466 p.

