

جایگاه ژئودینامیکی محدوده معدن مس و شنوه واقع در جنوب شرقی کهک (جنوب قم)

زهره محمدی اصل^۱، عبدالله سعیدی^۲، مهران آرین^۳، علی سلکی^۴ و طاهر فرهادی نژاده^۵

^۱دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲استاد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۴استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۵استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۵

چکیده

محدوده مورد مطالعه در بخش کوچکی از پهنه ساختاری کمان ماگمایی ارومیه- دختر در فاصله ۶۰ کیلومتری جنوب قم و ۱۲ کیلومتری جنوب خاوری کهک واقع شده است. از آنجا که پهنه در دو بر گه زمین شناسی کهک و آران به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ واقع شده است در آغاز نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و واحدهای سنگی مشترک تفکیک شد. در مرحله بعدی طی چند مرحله برداشت های میدانی ۱۷ نمونه از سنگ های ولکانیکی منطقه جهت آنالیزهای شیمیایی XRF و ICP-MS برداشت و اکسیدهای اصلی، عناصر سنگین و کمیاب آن مشخص شد. بیشتر نمونه های آنالیز شده در سری های کالک آلکان و نمونه های کمتری در سری های توله ایی جای گرفته اند. این نمونه ها همچنین در نمودارهای سنگ شناسی به ترتیب در محدوده سنگ های آندزیتی، داسیت، تراکی آندزیت و ریولیت قرار می گیرند. با توجه به بی هنجاری و میزان Nb در نمونه های منطقه می توان شکل گیری آنها را مربوط به فرایند فرورانش دانست. از سوی دیگر تهی شدگی از Nb و Ti نیز ویژه ماگماتیسیم در رابطه با فرورانش است، چرا که در مناطق فرورانش سیالات آزاد شده از لیتوسفر فرورونده که از LILE غنی هستند، در گوه گوشته ای افزایش می یابند. از آنجا که در منطقه مورد بررسی سنگ ها ویژگی کالک آلکان پتاسیم متوسط تا بالا نشان می دهند، می توان نتیجه گرفت که سنگ های منطقه مربوط به حاشیه فعال قاره ای مرتبط با فرورانش هستند.

کلیدواژه ها: ارومیه- دختر، جایگاه ژئوشیمیایی، عناصر کمیاب، فرورانش، مس.

*نویسنده مسئول: عبدالله سعیدی

E-mail: abdollahsaidi@yahoo.com

۱- پیش نوشتار

در مطالعه ژئوشیمی سنگ های آذرین یک منطقه که رابطه خویشاوندی آنها به کمک بررسی های صحرایی و پتروگرافی تأیید شده است، به طور معمول دو هدف اصلی دنبال می شود. هدف نخستین، شناخت فرایندهای مؤثر در تشکیل ماگمای اولیه و جایگزین شدن آنها در پوسته و هدف دوم، شناسایی عوامل و پدیده های مؤثر در تحول ماگماست که سبب بروز اختلال در ترکیب می شود. از آنجا که تبلور و انجماد ماگما تحت تأثیر پدیده های گوناگونی است که تنها به کمک شواهد پتروگرافی قابل درک نیست، استفاده از ترکیب شیمیایی سنگ های دارای بیشترین شباهت به ماگمای مادر خود، ضروری به نظر می رسد. ویژگی های شیمیایی کانی ها و خمیره، که اجزای تشکیل دهنده سنگ های آتشفشانی هستند، به ترکیب ماگماها و تاریخچه تکوین آنها بستگی دارد. به طور کلی تاریخچه تکوین سنگ ها را می توان به دو مرحله اصلی تقسیم کرد. مرحله آغازی، شامل تشکیل مذاب از سنگ یا سنگ های منشأ است و مرحله دوم به فرایندهایی مربوط می شود که در طی بالا آمدن ماگما از محل تشکیل تا سطح زمین، ماگما را تحت تأثیر قرار می دهند (McBirney, 1993). متغیرهای مرحله اول شامل ترکیب سنگ منشأ، حرارت و فشار حاکم، درجه ذوب بخشی سنگ منشأ و شرایط تکتونیکی حاکم هستند. متغیرهای مرحله دوم شامل فرایندهای تفریق از طریق تبلور بخشی، اختلاط، هضم، آلیش، سرعت صعود ماگما و ویژگی های تکتونوماگمایی حاکم بر محیط نفوذ یا فوران این مواد در سطح زمین است. هر کدام از این عوامل و فرایندها سبب تغییری در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ماگمای پدید آورنده سنگ ها هستند، که به ما در درک تاریخچه حقیقی شکل گیری آنها کمک خواهد کرد.

جهت انجام مطالعات ژئوشیمیایی سنگ های آذرین منطقه مورد مطالعه، پس از مطالعات صحرایی و شناخت رخساره های سنگی ۱۷ نمونه از سنگ های آذرین و دایک های دارای تنوع سنگ شناسی، گسترش جغرافیایی مناسب با منطقه مورد مطالعه و نیز دارای کمترین درجه هوازدگی برداشت شد. نمونه های برداشت شده

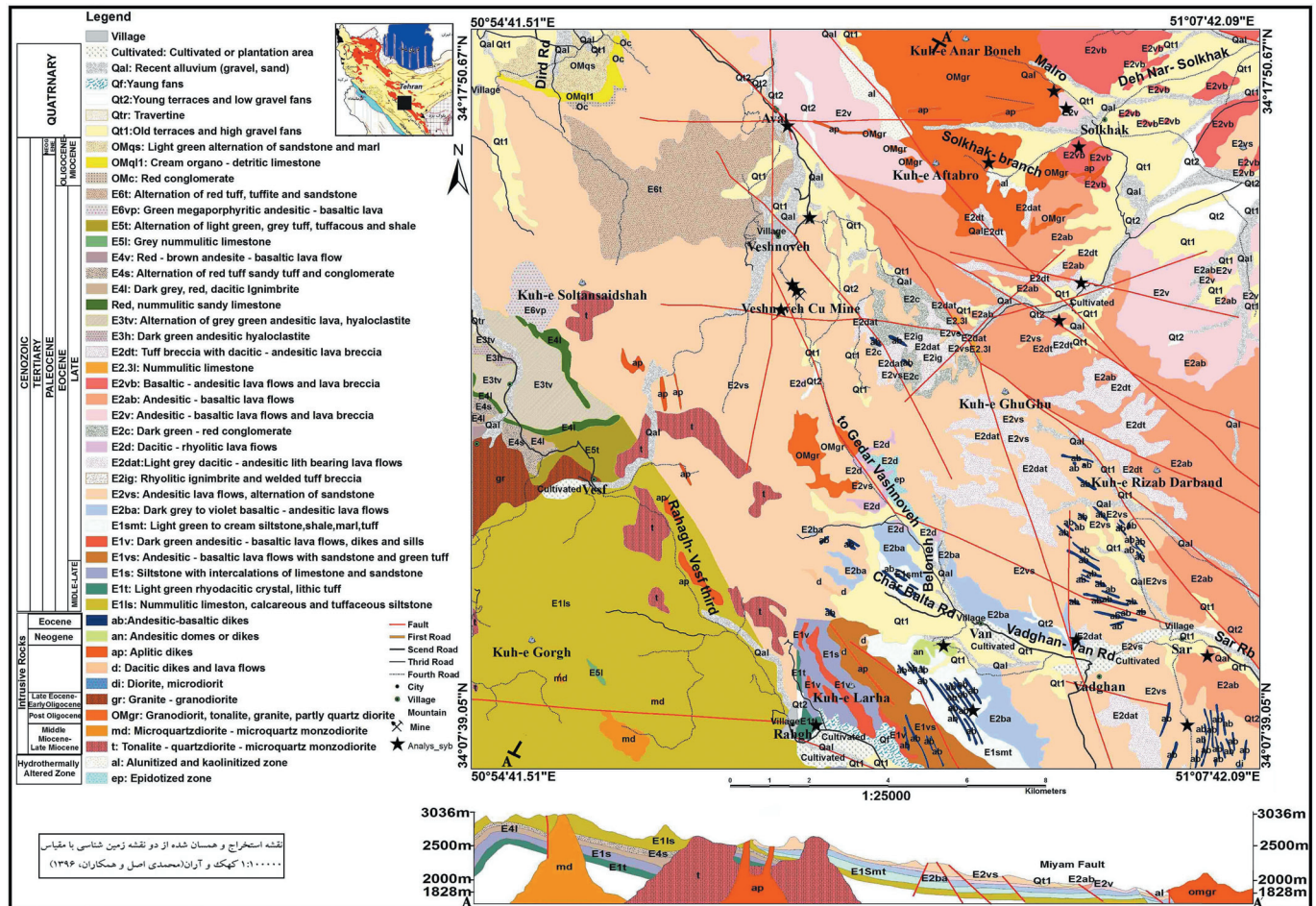
جهت آنالیز به آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین شناسی ایران ارسال شده اند. میزان اکسیدهای اصلی به روش XRF به درصد وزنی و عناصر فرعی و خاکی نادر به روش ICP-MS به ppm اندازه گیری شده اند. برای پردازش داده ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای گوناگونی چون Corel draw و Excel (2013) و GCDkit2. 1. 1 استفاده شده است. با توجه به موارد بیان شده در بالا، داده های ژئوشیمیایی و تجزیه و تحلیل تغییرات موجود در آنها می تواند به پژوهشگر در مطالعه شرایطی دخیل در پیدایش و تکوین نمونه های مورد آزمایش کمک کند. در این پژوهش افزون بر استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی، روند تفریق و توزیع عناصر و اکسیدهای مختلف در سنگ ها مورد بررسی قرار گرفته است تا بدین صورت دید بهتری از شناخت فرایندهای ماگمایی این سنگ ها به دست آید.

۲- جایگاه زمین شناسی

گستره مورد مطالعه بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر، ساختاری ناشی از همگرایی دو صفحه قاره ای عربی و ایران و فرورانش پوسته اقیانوسی تیس جوان به زیر حاشیه جنوبی بلوک ایران است. کهن ترین واحد سنگی در این پهنه دارای سن ائوسن پیشین است (شکل ۱). در درازای زمان تکاپوی این کمان، فعالیت های آتشفشانی گسترده ای در منطقه رخ داده است. توالی های آتشفشانی و آتشفشانی- ولکانیکی رسوبی با ترکیب شیمیایی متفاوت از بازیک تا اسیدی در گستره وسیعی تشکیل شده است. در حوضه رسوبی به وجود آمده پس از شکل گیری کمان ماگمایی درشت کمان (Central Iran Back Arc Basin) و تأثیر فاز آلپ میانی، نهشته های سرخ رنگ مارن، ماسه سنگ همراه با گچ در یک محیط رسوبی کم ژرفای درون قاره ای به سن الیگوسن به نام سازند سرخ زیرین (Lower Red Formation) رسوب کرده است. با ادامه فاز فشاری آلپی در الیگوسن پسین و میوسن (آلپ پسین) و بارگذاری نهشته های با منشأ قاره ای در حوضه، بستر حوضه دچار فرونشست

قاره‌ای به نام سازند سرخ بالایی (Upper Red Formation) در چینه‌شناسی ایران شناخته شده و از پایان میوسن پوسته ایران زمین ریخت کنونی خود را پیدا کرده است. اگر چه فرایندهای فرسایشی پس از کوهزایی تا زمان کنونی، چهره شکل گرفته پایان میوسن را کمی تغییر داده است. نهشته‌های کواترن در بخش‌های پست میان رشته‌کوه‌ها، نهشته‌های آبرفتی و دشت‌های سیلابی را به وجود آورده‌اند (سعیدی، ۱۳۹۶).

(Subsidence) شده و بر ژرفای آن افزوده شده است. نتیجه این فرایند نهشته شدن ردیف رسوبی کرناتی، مارنی و گچ سازند قم بوده است. در میوسن پسین که فاز آلپ پایانی به نهایت درجه پوسته ایران را تحت تأثیر گذاشته، نهشته‌های انباشته شده در حوضه پشت کمان و حوضه جلو کمان (سندج- سیرجان و زاگرس) به شدت چین خورده و دچار بالآمدگی شده است. نهشته‌های این زمان شامل ماسه‌سنگ، مارن و گچ و نمک سرخ رنگ با رخساره تبخیری و



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی آران (امامی و امینی، ۱۳۷۵) و کهنک (قلعماش و همکاران، ۱۳۷۵) با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

۳-۱. ژئوشیمی

جهت نام‌گذاری با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌ها از نمودار Cox et al. (1979) استفاده شد که بر اساس این نمودار نمونه‌ها بیشتر در محدوده تراکی‌آندزیت، آندزیت و بازالت جای گرفته‌اند. نمونه‌های آندزیت بازالتی در نمودار تشخیص داده نشده‌اند (شکل ۳- الف). که دلیل آن می‌تواند حفره‌های موجود در نمونه‌ها باشد که به صورت ژئود در سنگ‌ها دیده می‌شود که با سیلیس پر شده‌اند و آنها را در محدوده آندزیت‌ها جای داده‌اند.

در نمودار Winchester and Floyd (1977) که بر اساس SiO_2 در محور قائم و Zr/TiO_2 در محور افقی است، بیشتر نمونه‌ها در محدوده تراکی‌آندزیت و ساب‌آندزیت-بازالت و آندزیت قرار می‌گیرند (شکل ۳- ب) و در نمودار سه‌متغیره Al, Fe^{+2}, Ti, Mg (Jensen, 1976) بیشتر نمونه سنگ‌ها در محدوده آندزیت و داسیت واقع شده‌اند و در محدوده‌های ریولیت و بازالت-توله‌ایت با آهن بالا نیز یک نمونه قرار گرفته است (شکل ۳- پ).

۳-۲. بحث و بررسی

در تقسیم‌بندی ذخایر مس ایران توسط Bazin and Hubner (1969) کانسار مس وشونه در ایالت مس مرکزی ایران در ناحیه کاشان و پهنه همدان-کاشان- ابرکوه جای گرفته است. کهن‌ترین مجموعه سنگی در محدوده شامل توالی گدازه‌های آندزیتی-بازالتی با سن ائوسن پسین است که با رنگ تیره گسترده‌ترین مجموعه سنگی منطقه را تشکیل می‌دهد (شکل ۲- الف). این توالی از کهن به جوان شامل گدازه‌های آندزیت بازالتی، آندزیتی و تراکی‌آندزیتی همراه با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های اسیدی با ترکیب داسیتی تا ریولیت و گاهی سنگ‌های آهکی نومولیت‌دار است (شکل ۲- پ). کانی‌سازی مس به‌طور انحصاری در گدازه‌های آندزیت بازالتی این مجموعه سنگی رخ داده است (سامانی و همکاران ۱۳۹۱). از ویژگی‌های مهم این گدازه‌ها می‌توان به حضور دایک‌های آندزیت-بازالت، آمیگدال‌ها و حفره‌های فراوان در آنها اشاره کرد که این حفرات توسط کانی‌های مس‌دار مانند کالکوسیت و مالاکیت و نیز کانی‌های ثانویه مانند کلریت، اپیدوت و کلسیت پر شده است (شکل‌های ۲- ب و ت).

بی‌هنجاری منفی Nb شاخص سنگ‌های قاره‌ای است و می‌تواند نشان‌دهنده مشارکت پوسته‌ای در فرایندهای ماگمایی باشد (Rollinson, 1993; Reichow et al., 2005). میزان Nb منطقه بین ۱ تا ۱۸ ppm است که با توجه به اینکه Nb کمتر از ۷۰ ppm با پهنه فرورانش مرتبط است (Green, 2006)، می‌توان آنها را به فرایند فرورانش مرتبط دانست. از طرفی تهی‌شدگی از Nb و Ti ویژه ماگماتیسم در پهنه فرورانش است، چرا که در مناطق فرورانش، سیالات آزاد شده از لیتوسفر فرورونده که از LILE غنی هستند، در گوه گوشته‌ای افزایش می‌یابند (Wilson, 2007; Borg et al., 1997). غنی‌شدگی K و تهی‌شدگی Nb و Ti شباهت چشمگیری با سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان کمان‌های آتشفشانی نواحی کوهزایی قدیمی دارد. فراوانی پایین HFSE مانند Ti و Nb نسبت به عناصر لیتوفیل درشت‌یون (LILE) را می‌توان به یک ماگمای تغییر یافته به وسیله متاسوماتیسم نسبت داد که شامل ذوب آب‌دار گوه گوشته‌ای است (Keleman et al., 1993).

از ویژگی‌های فرایند فرورانش غنی بودن از عناصر Rb و K و همچنین غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE و HFSE است (Sajona et al., 1996). تهی‌شدگی تیتانیوم بیشتر به محیط‌های وابسته به فرورانش نسبت داده می‌شود. این آنومالی با وارد شدن Ti به ساختمان کانی‌هایی مانند تیتانومگنتیت در مراحل اولیه تفریق ایجاد می‌شود. این آنومالی همچنین می‌تواند منعکس‌کننده نقش اکسیدهای Fe-Ti باشد (Rollinson, 1993).

غنی‌شدگی Th و U در نمودارهای چند عنصری نشانه اضافه شدن نهشته‌های پلاژیوک و یا پوسته اقیانوسی دگرسان شده به منبع ذوب‌شدگی است (Fan et al., 2003). Moghazi (2003) وجود تهی‌شدگی Ba را در ارتباط با تشکیل فلدسپارها می‌داند، به این صورت که Ba جایگزین K در فلدسپارها شود. وجود غنی‌شدگی Cs می‌تواند نشانه آرایش ماگما توسط مواد پوسته‌ای باشد و این به دلیل تمرکز بالای این عنصر در پوسته قاره‌ای از این عنصر است. برای بهنجارسازی عناصر REE نمونه‌های سنگی محدوده مورد مطالعه از روش بهنجارسازی نسبت به کندریت (Boynton (1983) استفاده شده است (شکل ۵-پ).

۲-۳. تعیین سری‌های ماگمایی

برای تعیین ماهیت ماگمای مولد سنگ‌های آذرین و یا به عبارتی تعیین سری ماگمایی آنها تاکنون نمودارهای گوناگونی بر اساس عناصر آلکان، عناصر فرومیزین و یا عناصر کمیاب ارائه شده که در اینجا برخی از آنها برای سنگ‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفته است.

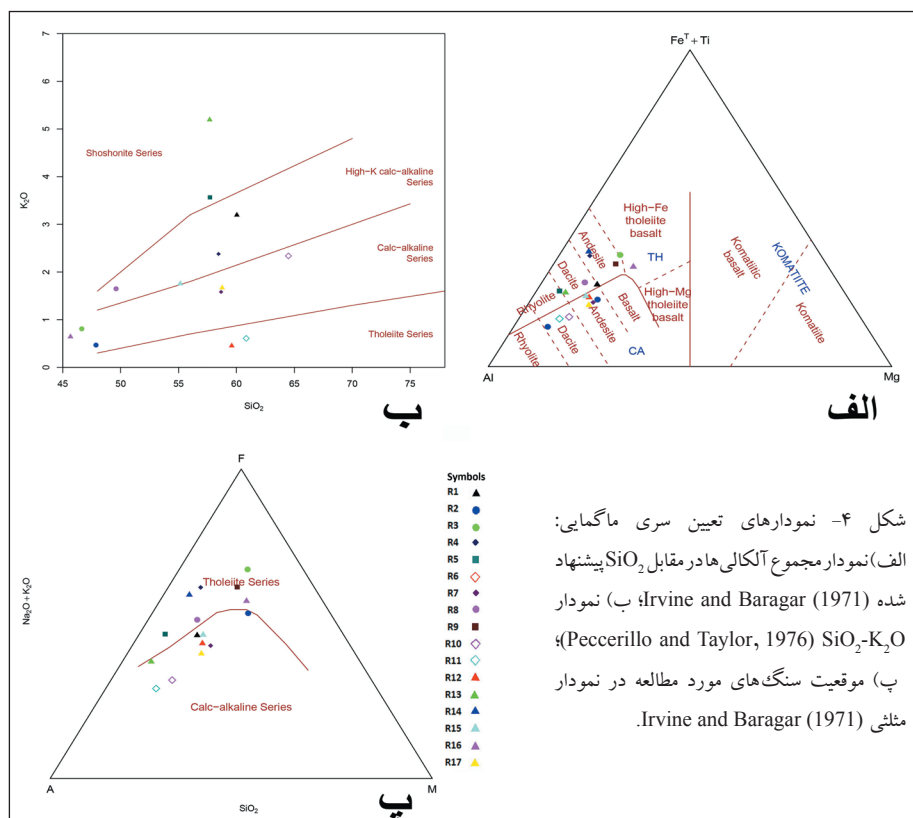
در نمودار $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Irvine and Baragar, 1971) که بر پایه تغییرات مجموع آلکان در مقابل سیلیس است، بیشتر سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار در محدوده ساب‌آلکان و ۴ نمونه از سنگ‌ها در محدوده آلکان قرار دارند (شکل ۴-الف). در دیاگرام (Peccerillo and Taylor (1976) که بر پایه K_2O در مقابل SiO_2 رسم شده، بیشتر نمونه‌ها در منطقه کالک‌آلکان، تعدادی در منطقه باپتاسیم بالا تا کالک‌آلکان، ۲ نمونه در منطقه توله‌ایتی و ۲ نمونه نیز در منطقه شوشونیتی جای می‌گیرند (شکل ۴-ب).

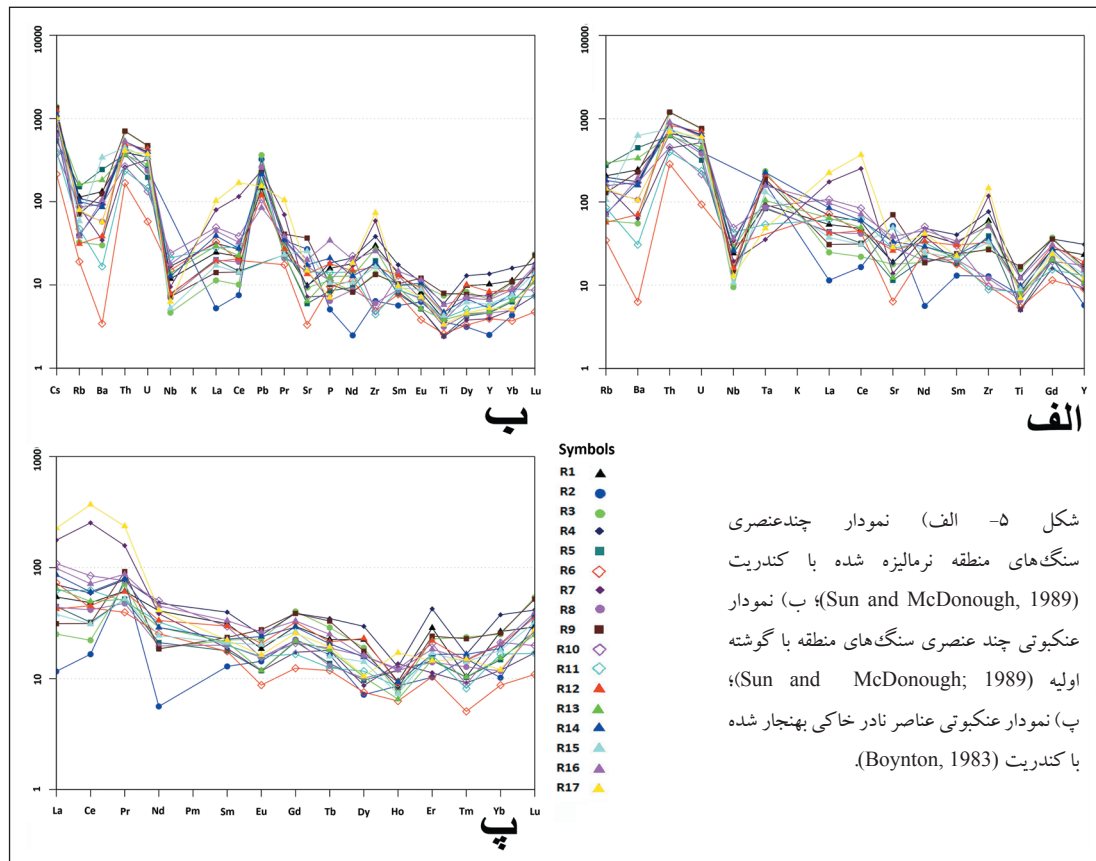
در نمودار مثلثی AFM (Irvine and Baragar, 1971) نمونه‌ها بیشتر در سری ماگمایی کالک‌آلکان و تعدادی نیز در محدوده توله‌ایتی جای می‌گیرند (شکل ۴-ب). در دیاگرام AFM سری‌های توله‌ایتی در مراحل اولیه تفریق خود غنی‌شدگی از آهن را نشان می‌دهند. در حالی که سری‌های کالک‌آلکان به خاطر تبلور اکسیدهای آهن و تیتان، این غنی‌شدگی را نشان نمی‌دهند.

۳-۳. بهنجارسازی نمودارهای چندعنصری برای سنگ‌ها

جهت بهنجارسازی نمونه‌های منطقه از دیاگرام چندعنصری بهنجار شده با کندریت (Sun and McDonough (1989) استفاده شده است. در این نمودارها عناصر Ba، Nb، Sr، Ti و Y تهی‌شدگی و عناصر Gd، Th، Nd، U، Ta، Zr غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۵-الف). به باور (Pearce (1982) وجود این ویژگی‌ها در سنگ‌های آتشفشانی دلیل مشخصی بر ارتباط آنها با پدیده فرورانش است.

در بررسی الگوی تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوه اولیه برای نمونه‌های مورد مطالعه از نمودار (Sun and McDonough (1989) استفاده شده است. در این نمودار عناصر Th، U، Pb، Zr، Ti و Ba، Nb، Sr، P، Eu تهی‌شدگی و عناصر K و Cs غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۵-ب).





ذوب در ژرفای زیاد انجام می‌شود به دلیل وجود گارنت در منشأ، این کانی عناصر HREE را جمع و از ورود آن به مایعات حاصل از ذوب بخشی جلوگیری می‌کند. بنابراین نسبت LREE/HREE در فاز تفاله کاهش می‌یابد. زیرکن دارای اثراتی شبیه گارنت است و سبب فقیرشدگی HREE می‌شود (Rollinson, 1993). MacDonal et al. (2000) نیز معتقدند که گارنت، عناصر HREE را در خود تغلیظ می‌کند. بنابراین ماگماهایی که از ذوب بخشی گارنت پریدوتیت‌ها ایجاد می‌شوند نسبت بالایی از LREE را به همراه خواهند داشت که گارنت در آن یک فاز بر جای مانده است. بنابراین ذوب بخشی به‌طور ترجیحی منجر به حرکت LREE‌ها شده است. نظیر گوشته تهی شده که دارای نسبت پایینی از LREE/HREE است.

افزون بر آن می‌توان گفت که هماهنگی توزیع REE و عناصر ناسازگار بین نمونه‌ها بیانگر ارتباط زایشی این سنگ‌ها با یکدیگر است. وجود چنین ویژگی‌هایی از ویژگی‌های بارز ماگماهای کالک‌آلکال کمان‌های حاشیه قاره‌ای بوده که فرآیند فرورانش در تشکیل آن نقش اساسی داشته است (Notsu et al., 1995). بی‌هنجاری Eu دیده شده در الگوی عناصر کمیاب در سنگ‌های منطقه، مربوط به جدایش پلاژیوکلاز در طول تفریق بلوری است و نشان می‌دهد که فلدسپاها یک فاز مهم هستند که در طول تفریق بلوری تکامل یافته‌اند (Dark, 1975; Dark and Weill, 1975).

۳-۴. جایگاه تکنیکی و پتروژنز

در نبود روش‌های ایزوتوپی، بهترین روش برای تعیین محیط ژئودینامیکی به طریق شیمیایی استفاده از عناصر نادر و تعدادی از عناصر اصلی است. این امر موجب شده است بسیاری از دانشمندان دیگرام‌هایی برای تعیین محیط ژئودینامیکی سنگ‌های آذرین ارائه کنند. در این نمودارها سعی شده از عناصری استفاده شود که نسبت به فرایندهای ثانویه غیر حساس هستند و اندازه‌گیری آنها، حتی در سطح غلظت پایین به وسیله روش‌های تجربی ساده، با دقت امکان‌پذیر باشد (Gupta and Yagi, 1980). برای سهولت در ک نمودارهای متمایز کننده، بیشتر این نمودارها به جای مجموع چند عنصر، از عناصر منفرد به عنوان تابع متمایز کننده استفاده می‌کنند. در بررسی‌های

پدیده غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE می‌تواند نشانه وجود گارنت در محل منشأ باشد که با حفظ HREE در ساختمان خود باعث تهی‌شدگی این عناصر در ماگما می‌شود. از سویی این تفریق‌یافتگی عناصر LREE نسبت به HREE ممکن است به دلیل وجود الیومین، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن نیز باشد (Rollinson, 1993). به عقیده Sirvastava and Singh (2004) غنی‌شدگی بیشتر عناصر کمیاب خاکی سبک ممکن است در اثر دو عامل درجات کم ذوب بخشی (> ۱۵٪) منبع گوشته‌ای و یا آرایش ماگما به وسیله مواد پوسته‌ای ایجاد شده باشد. برای غنی‌شدگی نمونه‌ها از عناصر LREE نسبت به HREE عوامل دیگری نیز می‌توان بیان داشت:

۱) عناصر LREE به دلیل اختلاف ناچیز اندازه یون‌ها نسبت به HREE‌ها ناسازگارتر هستند (Killops and Killops, 2013). بنابراین در طی روند تحولات ماگمایی در سنگ‌های تحول یافته تمرکز می‌یابند.

۲) تشکیل این سنگ‌ها در مناطق فرورانش عامل دیگر است که سبب غنی‌شدگی LREE در سنگ‌های یک منطقه می‌شود. به عبارت دیگر عناصر HREE و HFSE کم‌تحرك بوده‌اند و در صفحه فرورانده باقی می‌مانند در حالی که عناصر LREE دارای تحرك بیشتری هستند و از طریق ذوب‌شدگی یا از دست دادن آب، به ماگمای تولید شده در مناطق فرورانش افزوده می‌شوند (Pearce and Peate, 1995; Pearce and Norry, 1979).

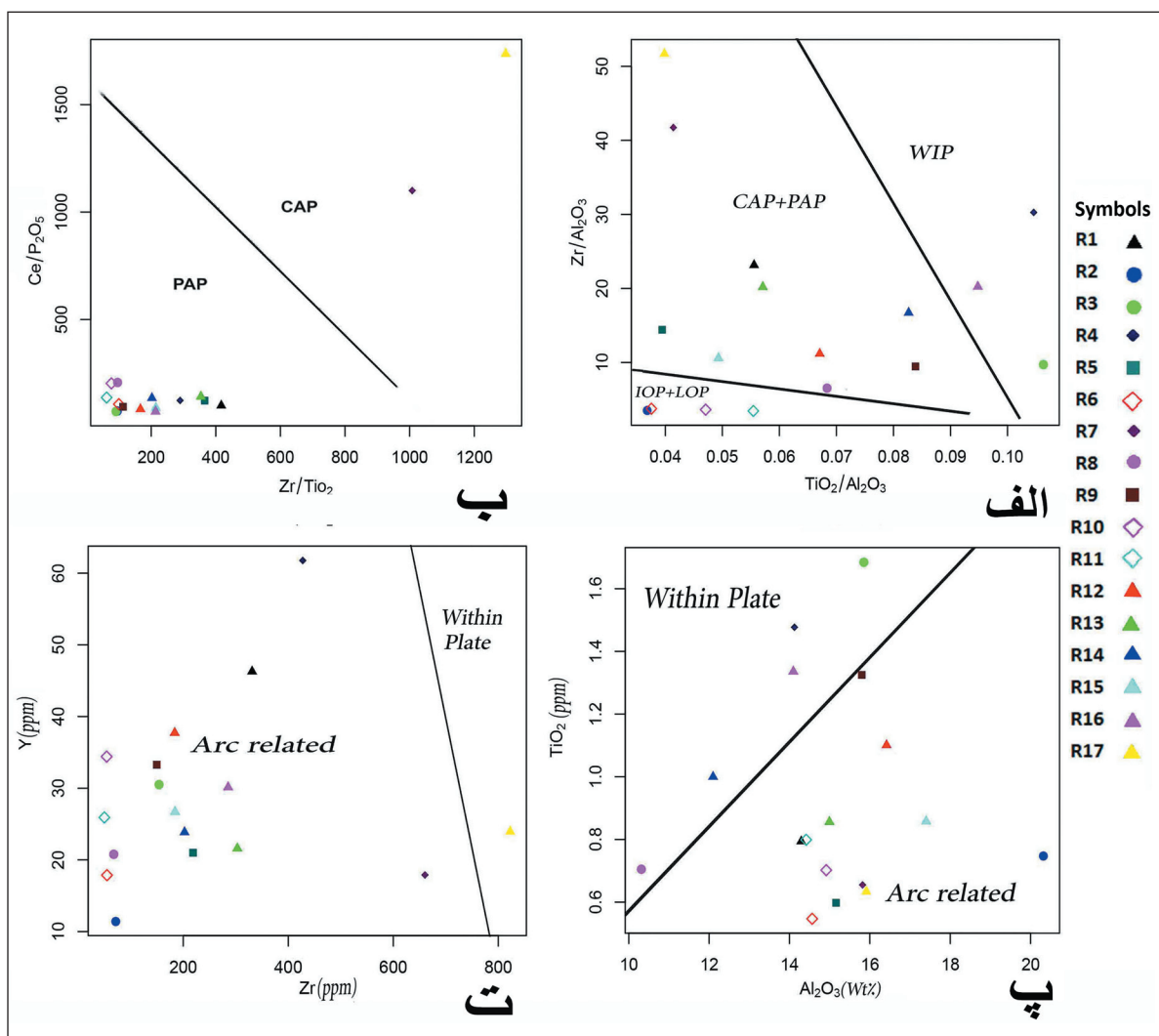
۳) غلظت عناصر LREE به دلیل تحرك زیاد تابعی از نحوه رفتار فاز سیال است (Rollinson, 1993). ولی از آنجایی که این عناصر در پوسته قاره‌ای متمرکز شده‌اند، ممکن است غلظت زیاد آنها در ماگما نشانگر آرایش به وسیله مواد پوسته‌ای (Sirvasta and Singh, 2004) باشد. در صورتی که غلظت عناصر HREE به وسیله شیمی سنگ منشأ و فرایندهای بلور- مذاب حین تشکیل سنگ کنترل می‌شود (Rollinson, 1993).

۴) بالا بودن نسبت LREE/HREE در مذاب، نشان‌دهنده بالا بودن نسبت CO_2/H_2O در منشأ، ژرفای بیشتر تولید ماگما، یا منشأ گارنت لرزولیتی است. زمانی که

در مجموع دو نوع کمان آتشفشانی وجود دارد، یکی کمان‌های ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی (مانند حاشیه فعال قاره‌ای) و دیگری کمان‌های پس از برخورد. بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار Zr/Al_2O_3 - TiO_2/Al_2O_3 در محدوده محیط‌های حاشیه‌های فعال قاره‌ای و کمان‌های پس از برخوردی واقع شده و تنها ۴ نمونه در منطقه کمان اقیانوسی ابتدایی و ۳ نمونه در منطقه درون صفحه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۶- الف و ب). برای تفکیک دو محیط حاشیه‌های فعال قاره‌ای و کمان‌های پس از برخورد از نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Ce/P_2O_5 استفاده شده است که نشان‌دهنده وابستگی سنگ‌ها به محیط کمان بعد از برخورد (PAP) است (شکل ۶- ب). در نمودار $Zr-Y$ و $Al_2O_3-TiO_2$ (Muller et al., 1992) نمونه‌های منطقه مطالعاتی بیشتر در محدوده کمان قاره‌ای جای گرفته‌اند و تنها چند نمونه در نمودار $Al_2O_3-TiO_2$ در منطقه درون صفحه‌ای واقع شده است (شکل‌های ۶- پ و ت).

انجام شده، عناصر Sr، Ti، Zr، Y، Nb به‌عنوان شاخص‌های مهم در تعیین محیط‌های تکنونیک مختلف به کار گرفته شده‌اند. اهمیت ویژه عناصر کمیاب، غیر متحرک بودن آنها در بیشتر شرایط گرمایی است. به‌طور کلی جایگاه تکنونیک، نوع ماگما و روند تکامل آن تأثیر بسزایی بر روی شیمی عناصر خواهد داشت و غلظت عناصر در سنگ‌های آذرین تابعی از غلظت این عناصر در گوشته اولیه، درصد ذوب بخشی، فرایند تبلور تفریقی و تأثیر آرایش پوسته‌ای است.

برای تمایز محیط تکنونیک سنگ‌های منطقه از نمودارهای مختلفی استفاده شده است. در نموداری که به وسیله Muller et al. (1992) جهت شناخت محیط تکنونیک سنگ‌های آذرین پتاسیک ارائه شده است، پنج محیط تکنونیک کمان قاره‌ای (CAP)، کمان اقیانوسی ابتدایی (IOP)، کمان اقیانوسی انتهایی (LOP)، کمان بعد از برخورد (PAP) و داخل صفحه (WIP) قابل تمایز است.



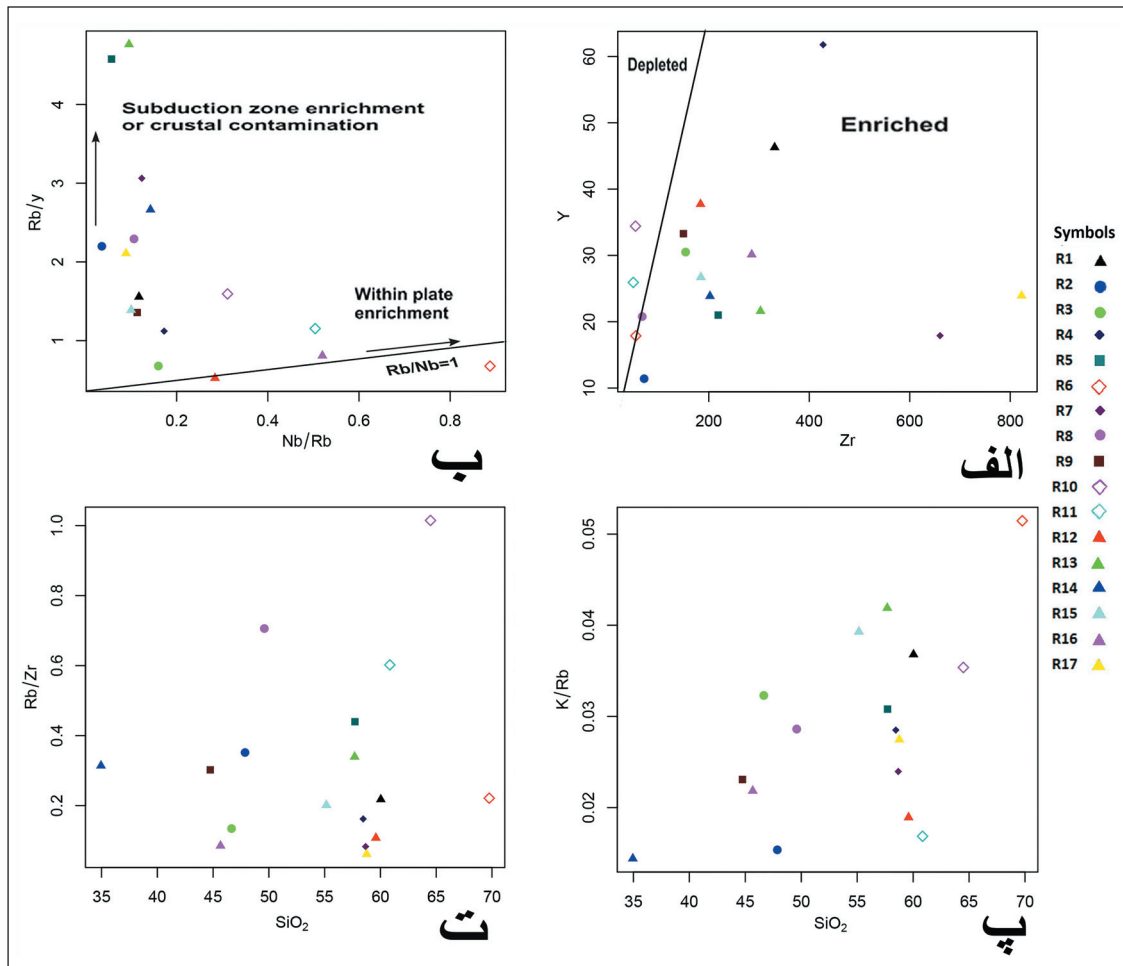
شکل ۶- نمودارهای نشان‌دهنده محیط‌های تکنونیک: الف) تفکیک کمان‌های اقیانوسی ابتدایی و انتهایی از حواشی فعال قاره‌ای و کمان‌های پس از برخورد و درون صفحه‌ای؛ ب) تفکیک حاشیه فعال قاره‌ای از کمان‌های پس از برخورد؛ ج) نمودار $Al_2O_3-TiO_2$ ؛ د) نمودار Zr/Y جهت تفکیک محیط درون صفحه‌ای از محیط مرتبط با کمان (Muller et al., 1992).

غنی‌شدگی و تهی‌شدگی آن در اختیار قرار دهند (Tatsumi et al., 1986). در بررسی سنگ‌های منطقه نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های حاصل از یک گوشته غنی شده قرار می‌گیرند و تنها ۲ نمونه در محدوده گوشته فقیر شده قرار گرفته‌اند (شکل ۷- الف).

نمودار Zr در مقابل Y (Sun and McDonough, 1989) برای نشان دادن غنی‌شدگی و تهی‌شدگی نسبی از عناصر جزئی و اصلی موردی مناسب است. عناصر Zr و Y در مقابل سیالات غیر متحرک هستند و قادرند که اطلاعاتی در مورد منبع گوشته‌ای و میزان

بین Rb و Nb نشان داده می‌شود که در آن نسبت Rb/Nb برابر با یک است (Temel et al., 1998). در نمودار Davidson et al. (1988) که در آن Rb/Zr در مقابل K/Rb و SiO₂ در مقابل Rb/Zr جای می‌گیرد، تغییرات در نسبت‌های Rb/Zr و K/Rb طی تبلور تفریقی، نشانگر آلاینش پسته‌ای است (Davidson et al., 1988) (شکل‌های ۷- پ و ت).

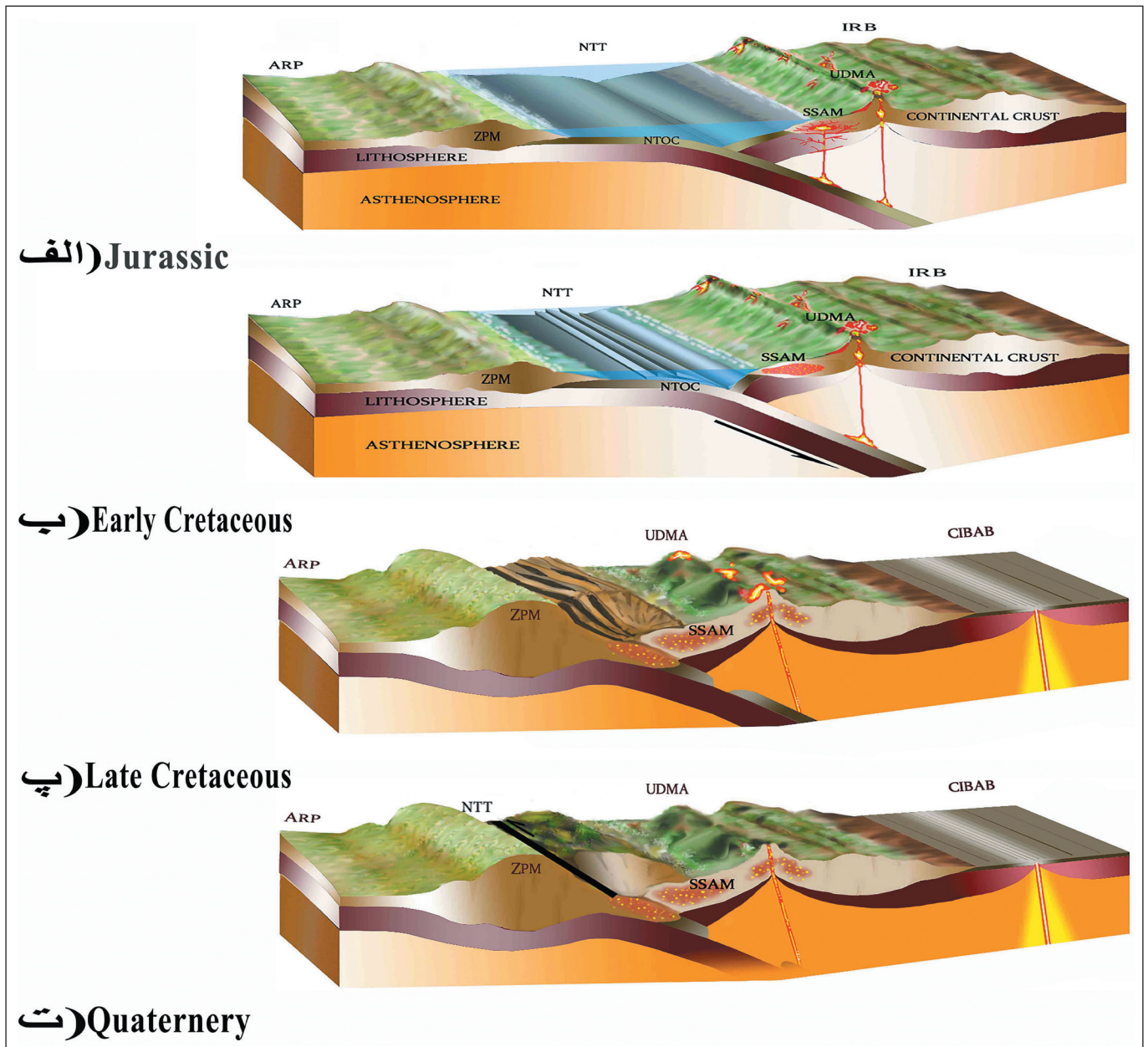
از نمودار Rb/Y-Nb/Rb (Temel et al., 1998)، برای تشخیص غنی‌شدگی به وسیله سیالات در پهنه فرورانش یا آلودگی پسته‌ای و غنی‌شدگی در موقعیت صفحه‌ای استفاده شده است (شکل ۷- ب). روندهای قائم در این نمودار در نتیجه غنی‌شدگی در پهنه فرورانش به وجود می‌آید. در نتیجه میزان Rb در نسبت Rb/Y بالا می‌رود. در صورتی که در موقعیت غنی‌شدگی درون صفحه‌ای روندی مثبت



شکل ۷- نمودارهای بررسی گوشته: الف) نمودار تفکیک منشأ غنی‌شده و تهی‌شده نمونه‌ها (Sun and McDonough, 1989)؛ ب) نمودار Rb/Y در مقابل Nb/Rb (Davidson et al., 1988)؛ پ و ت) نمودارهای موقعیت نمونه‌ها جهت نشان دادن آلاینش پسته‌ای (Temel et al., 1998).

ذوب بخشی، کمان ماگمایی ارومیه- دختر فعال بوده است، نهشته‌های بستر اقیانوس فشرده شده و چین خورده و به صورت برش‌های گسلی روی هم رانده شده‌اند، این حالت تا زمانی ادامه می‌یابد که این مواد به حاشیه قاره‌ای افزوده شوند (شکل ۸- ب). در اواخر کرتاسه صفحه عربی با صفحه ایران برخورد کرده و سبب دگرشکلی و چین خوردن پسته قاره‌ای و نهشته‌های بستر اقیانوسی شده و رانده شدن در دو سو بر روی پسته قاره‌ای شده است. در این زمان فعالیت کمان ارومیه- دختر کماکان ادامه داشته است. کشش ناشی از این همگرایی در محیط اقیانوسی سبب ایجاد کشش در پشت کمان و شکل‌گیری یک حوضه رسوبی در پشت کمان (ایران مرکزی) شده است (شکل ۸- پ). در کواترنری همگرایی صفحه ایران و صفحه عربی ادامه دارد و فعالیت کمان ماگمایی ارومیه- دختر پایان می‌یابد (شکل ۸- ت).

روند عمودی نمونه‌های منطقه غنی‌شدگی به وسیله سیال‌ها در پهنه فرورانش یا آلودگی پسته‌ای را نشان می‌دهد. موقعیت نقاط بر روی نمودار می‌تواند مربوط به تهی‌شدگی از HFSE باشد که به طور معمول در گدازه‌های مربوط به محیط فرورانش دیده می‌شود. در محیط‌های فرورانش HFSE مانند Ti در صفحه فرورونده باقی می‌ماند و LILE به راحتی به قسمت بالایی گوشته منتقل می‌شود (Pearce, 1983). در ژوراسیک سیستم گسترش بستر اقیانوسی در نئوتتیس تغییر کرده و به یک سیستم همگرایی تغییر ماهیت داده است، در نتیجه پسته اقیانوسی نئوتتیس می‌شکند و به زیر پسته ایران فرورانش می‌کند که این فرایند آغاز ذوب بخشی و بالا آمدن توده‌های نفوذی به داخل پسته در پهنه سنندج- سیرجان و شکل‌گیری کمان ماگمایی ارومیه- دختر است (شکل ۸- الف). در ابتدای کرتاسه در تداوم همگرایی و



شکل ۸- مدل ژئودینامیکی کمان ماگمایی ارومیه-دختر.

۴- نتیجه گیری

کالک آلکالن با مناطق فرورانش یک رابطه ژنتیکی وجود دارد، اما ممکن است ماگماهای کالک آلکالن جوان منطقه در ارتباط با فرایندهای فرورانش نباشند، بلکه نتیجه مستقیمی از فرایندهای سیستم باز متأثر از ماگماهای بازالتی هستند؛ به طوری که واکنش بین ماگماهای بازالتی سیلابی و مذاب‌های پوسته‌ای تکامل یافته \pm جذب پوسته بالایی، قالبی کلی برای تولید ماگمای توله‌ایتی و کالک آلکالن حد واسط ایجاد کرده است.

فوران سنگ‌های پتاسیم بالا و کالک آلکالن ممکن است در ارتباط با فعالیت‌های بعد از فرورانش و حرکات کششی یا مرتبط با گسل‌های امتدادلغز رخ داده باشد.

با توجه به فراوانی سنگ‌های ولکانیکی حد واسط آندزیتی، تراکی آندزیتی و داسیتی و فقدان سنگ‌های بازالتی در منطقه و درصد بالای SiO_2 می‌توان گفت که سنگ‌های آتشفشانی سنوزوییک منطقه، با ویژگی‌های حاشیه قاره‌ای فعال همخوانی بیشتری نشان می‌دهند. هر چند از انوسن میانی به بعد، تکاپوی ماگمایی بیشتر از نوع آلکالن است، ولی همچنان گدازه‌ها و توده‌های نفوذی کالک آلکالن وجود دارند که به دلیل خاتمه فرورانش، ماگماهای کالک آلکالن پس از انوسن میانی، بیشتر باید نتیجه ذوب بخشی گوشته بالایی باشد.

با وجود اینکه سنگ‌های با ویژگی کالک آلکالن شاخص مناطق حاشیه فعال قاره‌ای یا آتشفشان‌های جزایر کمانی هستند و بین ماگماتیسیم پتاسیم بالا و

کتابنگاری

- امامی، م. ه. و امینی، ب.، ۱۳۷۵- نقشه زمین شناسی چهارگوشه آران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- سامانی، م.، زرنوچه، ع. ا.، هاشمی، ع. و نزالکتی، س.، ۱۳۹۱- گزارش اکتشاف تکمیلی زمین شناسی و لیئوژئوشیمیایی کانسار و شنوه، شرکت گسترش صنایع معادن و ذوب فلزات رنگین مرکزی، تهران، ۴۴ ص.
- سعیدی، ع.، ۱۳۹۶- کتاب ژئودینامیک ایران، زیر چاپ.
- قلمقاش، ج.، بحرودی، ع. و فنودی، م.، ۱۳۷۵- نقشه زمین شناسی چهارگوشه کهک، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- محمدی اصل، ز.، ۱۳۹۶- نقش کنترل کننده های ساختاری در کانی زایی معدن مس و شنوه و رابطه جایگزینی این کانی ها با فرآیندهای ژئودینامیکی، پایان نامه دکترا، گروه زمین شناسی دانشگاه علوم و تحقیقات. تهران.

References

- Bazin, D. H. and Hubner, H., 1969- Copper deposits in Iran; Ministry of Economy, Geology Survey of Iran, v.13, 232p. gs.gsi.ir/Files/Journal/1_2013-11-24_10.21.20_7-Ranjbar.pdf.
- Borg, L. E., Clyne, M. A. and Bullen, T. D., 1997- the variable role of slab derived fluids in the generation of a suite of primitive calc- alkaline lavas from the southernmost cascades, California. *Canadian Mineralogist*, v. 35, p. 425- 452. <https://pubs.geoscienceworld.org/canmin/article-abstract/35/2/425/12856/The-variable-role-of-slab-derived-fluids-in-the?redirectedFrom=fulltext>.
- Boynton, W. V., 1983- Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies, In: Henderson P. (ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, and Amsterdam, p.63- 114. <https://arizona.pure.elsevier.com/en/publications/cosmochemistry-of-the-rare-earth-elements-meteorite-studies>.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R., 1979- *The interpretation of Igneous rocks*, London, George Allen and Unwin, 450 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3373-1>.
- Dark, M. J., 1975- The oxidation state of europium as an indicator of oxygen fugacity, *Geochemical Acta*, v. 39, p.55- 64. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703775901842>.
- Dark, M. J. and Weill, D. F., 1975- Partition of Sr, Ba, Ca, Y, Eu+2, Eu+3 and other REE between plagioclase feldspar and magmatic liquid: an experimental study, *Geochem. Acta*, v. 39, p. 689- 712. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703775900113>.
- Davidson, J. P., Ferguson, K. M., Colucci, M. T. and Dungan, M. A., 1988- The origin and evolution of magmas from the San Pedro- Pellado volcanic complex, S. Chile: multicomponent sources and open system evolution, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, V.100(4), p. 100- 429. https://www.researchgate.net/publication/226165054_The_origin_and_evolution_of_magmas_from_the_San_Pedro-Pellado_volcanic_complex_S_Chile_multicomponent_sources_and_open_system_evolution.
- Fan, W. M., Gue, F., Wang, Y. J. and Lin, G., 2003- Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 121, p. 115- 135. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027302004158>.
- Green, N. L., 2006- Influence of slab thermal structure on basalt source regions and melting conditions: REE and HFSE constraints from Garibaldi volcanic belt, northern Cascadia subduction system, *Lithos*, v. 87, p. 23- 49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493705001349>.
- Gupta, A. K. and Yagi, K., 1980- *Petrology and Genesis of Leucite-Bearing Rocks*, Springer-verlag Berlin. Heidelberg. New York, p. 254. DOI: 10.1007/978-3-642-67550-8.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Science*, v. 8, p.523-548. <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/e71-055>.
- Jensen, L. S., 1976- A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks. *Ont. min. Nat.resourMisc*, p. 22-66. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10013553315/>.
- Keleman, P. B., Shimizu, N. and Dunn, T., 1993- Relative depletion of niobium in some arc magmas and continental crust: partitioning of K, Nb, La, and Ce during melt/rock reaction in the upper mantle: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 120, p. 111- 134. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0012821X9390234Z>.
- Killops, S. D. and Killops, V. J., 2013- *Introduction to organic geochemistry*. John Wiley and Sons, p. 408. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=EzHISDDOXoC&oi=fnd&pg=PT7&dq=Introduction+to+geochemistry.&ots=wnxOil5k10&sig=h4EgcebqnfW5VyUer70T2f0sEJs#v=onepage&q=Introduction%20to%20geochemistry.&f=false>
- MacDonald, R., Hawkesworth, C. J. and Heath, E., 2000- The lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism: *Earth Science Reviews*, v. 49, p. 1-76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825299000690>.
- Mcbirney, A. R., 1993- *Igneous petrology*, Second edition, Jones and Bartlett Publishers, Boston, London, p. 511. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=Ni73ymr7cgIC&oi=fnd&pg=PR6&dq=Igneous+petrology&ots=Qmk5IZjgyB&sig=fLWH2aSyVMJualTN7MDbQecImnU#v=onepage&q=Igneous%20petrology&f=false>

- Moghazi, A. M., 2003- Geochemistry and petrogenesis of a high-K calc-alkaline Dokhan Volcanic suite, South Safaga area, Egypt: the role of late Neoproterozoic crustal extension. *Precambrian Research*, v.125, p. 161- 178. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926803001104>.
- Muller, D., Rock, N. M. S. and Groves, D. I., 1992- Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic setting: A Pilot Study, *Mineralogy and Petrology*, v. 46, p. 259- 289. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01173568>.
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Mutsuda, J. and Ercan, T., 1995- Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 64, p. 171- 191. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037702739400077T>.
- Pearce, J. A. and Norry, M. J., 1979- Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks, *Contributions to mineralogy and petrology*, V.69, p. 33- 47. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00375192>.
- Pearce, J. A., 1982- Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (eds.) *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*, Chichester: Wiley, p. 525- 548. https://www.researchgate.net/profile/Julian_Pearce2/publication/304749002_Trace_Element_Characteristics_of_Lavas_from_Destructive_Plate_Boundaries/links/00b7d536a0f74ab495000000/Trace-Element-Characteristics-of-Lavas-from-Destructive-Plate-Boundaries.pdf
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth C.J. and Norry M. J., (eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths*. Nantwich, Cheshire: Shiva Publications, p. 230-249. ISBN: 978-0906812341, <http://orca.cf.ac.uk/8626/>.
- Pearce, J. A. and Peate, D. W., 1995- Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas: *Annual Review of Earth and Planetary Science Letters*, v. 23, p. 251- 285. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ea.23.050195.001343?journalCode=earth>.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 58, p. 63- 81. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00384745>.
- Reichow, M. K. and Suaunders, A. D., White, R. V., AlMukhamedov, A. I. and Medvedev, A. Ya., 2005- Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of Permo Triassic Siberian Traps, Russia: *Lithos*, v. 79, p. 425- 452. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493704003172>.
- Rollinson, H. R., 1993- *Using Geochemical Data: Evolution, Presentation, and Interpretation*, Routledge Taylor & Francis Group, London and New York, p. 352. ISBN 13:978-0-582-06701-1(pbk).
- Sajona, F. G., Maury, R. C., Bellon, H., Cotten, J. and Defant, M., 1996- High Field Strength Element Enrichment of Pliocene—Pleistocene Island Arc Basalts, Zamboanga Peninsula, Western Mindanao (Philippines), *V. 37, P. 693- 726*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8202951/authors#authors>.
- Sirvastava, R. V. and Singh, R. K., 2004- Trace element geochemistry and genesis of Precambrian sub-alkaline mafic dikes from the Central Indian Craton: evidence for mantle metasomatism: *Asian Earth Science*, v. 23, p. 373- 389. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912003001500>.
- Sun, S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: A. D. N. Saunders, M.J. (Editor), *Magmatism in the Ocean Basins: Geological Society of London Special Publication*. V. 42, p. 313-345. <https://sp.lyellcollection.org/content/42/1/313.short>.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D. L. and Nesbitt, R. W., 1986- Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high pressure experiments and natural rocks: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 29, p. 293- 309. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377027386900491>.
- Temel, A., Gondogdu, M. N. and Gourgaud, A., 1998- Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 85, p. 327- 354. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377027398000626>.
- Wilson, M., 2007- *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*, London, Chapman and Hall, Springer, 466p. https://books.google.com/bookshl=en&lr=&id=JR7UBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=igneous+petrogenesis+wilson&ots=4T5oZ22052&sig=PZby9N_JI1tSVj1AjA91b7JA7G4#v=onepage&q=igneous%20petrogenesis%20wilson&f=false
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: *Chemical Geology*, v. 20, p. 325-343. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0009254177900572>.

Veshnovah Cu mine located in Kahak South-east geodynamic place (South of Qom)

Z. Mohammadyasl¹, A. Saidi^{2*}, M. Arian³, A. Solgi⁴ and T. Farhadinejad⁵

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran

²Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran

⁵Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center of Lorestan, Khoramabad, Iran

Received: 2017 June 12

Accepted: 2017 September 06

Abstract

The Studied area is located in the small part of the structural zone of Urumieh- Dokhtar Magmatic Arc, at 60km far from south of Qom and 12km far from south east of Kahak. In the beginning, 1:25000 map of the area was prepared, because, region is located in two 1:100000 scale map sheet of Kahak and Aran, and more rock units were separated. In the next step, in several field investigations, 17 samples of regional volcanic rocks were taken for XRF and ICP chemical analysis, and they main Oxides, heavy metals and rare elements were identife. Most of the samples have been located in the Calk- alkaline series, and some in the Tulleit series. In the lithology diagrams, these samples respectively are arranged in the range of Andesite, Dacite, Trachy Andesite and Rhyolite Rocks. Due to the anomalies and the amount of Nb in the samples of the region, they formation can be related to the subduction zone. On the other hand, the depletion of Nb and Ti is special in magmatism in the subduction zone. Because in the subduction regions released fluids from floating lithospheric rich in LILE, increases in the mantle wedge. Since in the study area rocks exhibit calc- alkaline with moderate to high potassium, it can be concluded that the stones are related to active continental margin associated with subduction.

Keywords: Urumieh- Dokhtar, Geodynamic place, Rare elements, Subduction, Copper.

For Persian Version see pages 175 to 184

*Corresponding author: A. Saidi; E-mail: abdollahsaidi@ yahoo.com