



## ژئوشیمی و پتروژنز سنگهای آتشفشانی جنوب شرق میانه (شمال غرب ایران)

امین اله کمالی<sup>۱\*</sup>، مسعود حیدری<sup>۲</sup>، هادی پیروج<sup>۱</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، پترولوژی، دانشگاه تبریز

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، ژئوشیمی، دانشگاه تبریز

Aminkamali63@yahoo.com

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق شهرستان میانه، شمال غرب ایران و قسمتی از زون ایران مرکزی می باشد. سنگهای آتشفشانی این منطقه شامل بازالت آندزیتی، داسیت و ریوداسیت هستند، و خصالت کالک آلکالن دارند. آنومالی مثبت  $Th, K, Ba$  و آنومالیهای منفی  $TNT$  به همراه آنومالیهای منفی  $Rb, U, P, Hf$  از خصوصیات سنگهای منطقه می باشد. همچنین نمونه‌های مورد مطالعه  $LREE$  ها نسبت به  $MREE$  ها و  $HREE$  ها غنی شدگی نشان می دهند. نسبتهای  $Rb/Nb$  و  $Th/Yb$  به ترتیب در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بین  $1/7$  تا  $6/06$  و  $2/29-6/66$  است که نشان دهنده محیط فرورانش است. سنگهای منطقه از گوشته غنی شده و ذوب بخشی ۱ تا ۵ درصد گارنت لرزولیت شکل گرفته اند. نسبتهای  $Ba/La$  ( $18/20-26/08$ ) و  $Ba/Ta$  ( $654-973$ ) نشان دهنده کمانهای آتشفشانی است، و محیط تشکیل آنها حاشیه فعال قاره‌ای می باشد.

کلمات کلیدی: بازالت آندزیتی، میانه، فرورانش، حاشیه فعال قاره

### مقدمه

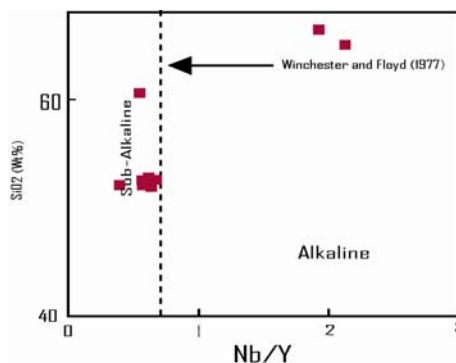
ورود مکانیکی یک لیتوسفر اقیانوسی به زیر لیتوسفر دیگر (اقیانوسی، قاره‌ای و شبه قاره‌ای) در مناطق فرورانش، موجب بوجود آمدن تغییرات بسیار مهم در گوشته و خود صفحه‌ی فرورانده می گردد. بروز این تغییرات فیزیکی-شیمیایی، به تشکیل ماگماهای متنوع در مناطق مذکور منجر می شود. علیرغم وجود ارتباط بسیار روشن بین فرورانش لیتوسفر اقیانوسی و تشکیل ماگما در جزایر قوسی و حواشی فعال قاره‌ای، باز نقش لیتوسفر فرورانده به هیچ وجه یک نقش ساده‌ای نیست. سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه بین طولهای جغرافیایی  $11^{\circ} 45'$  و  $23^{\circ} 10'$  شرقی و عرضهای  $29^{\circ} 22' 50''$  و  $29^{\circ} 24' 20''$  شمالی، بخش جنوبی نقشه چهارگوش (۱:۱۰۰۰۰۰) میانه، در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی میانه قرار دارد. این منطقه بر اساس تقسیم بندی ساختاری (Stocklin, 1968) در زون ایران مرکزی قرار می گیرد.

### مواد و روشها

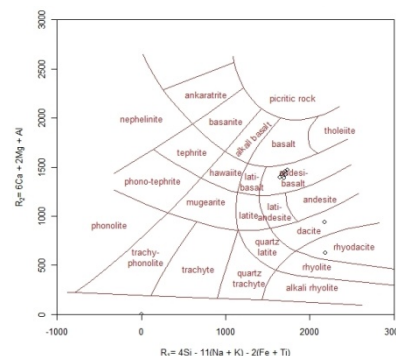
از نمونه های صحرائی تازه و سالم جمع آوری شده، تعداد ۹ نمونه سنگی انتخاب، توسط آسیاب آگات پودر و مقدار ۳۰ گرم از هر نمونه جدا شد. این پودر به دو قسمت مساوی تقسیم شدند و ۱۵ گرم از پودر هر نمونه در آزمایشگاه شرکت ALS - Chemex در کشور کانادا آنالیز گردیدند. آنالیز عناصر اصلی بر اساس روش ME - ICP 06 و با دقت برابر ۰/۰۱ درصد وزنی و عناصر کمیاب و نادر خاکی بر اساس روش ME - MS 81 و با دقت برابر ۰/۰۱ ppm انجام گرفته است.

### ژئوشیمی

برای نامگذاری سنگ های منطقه مورد مطالعه از دیاگرام R1-R2 (Dela Roche et al, 1980) استفاده شده است. در این نمودار، نمونه ها در محدوده سنگ های بازالتی - آندزیتی، داسیت و ریوداسیت قرار می گیرند (شکل ۱). برای مشخص کردن سرشت ماگمای مولد سنگ های منطقه از دیاگرام (Winchester and Floyd, 1977) از نمودار Nb/Y در مقابل SiO<sub>2</sub> استفاده شده که نمونه های ما اکثرا در محدوده ساب آلکالن قرار می گیرند (شکل ۲).

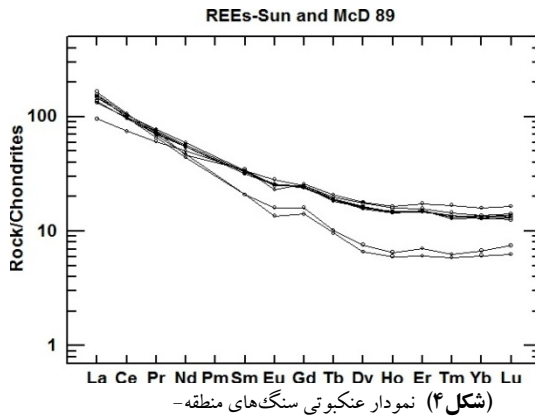


(شکل ۲) تعیین سرشت ماگمایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودار (Winchester and Floyd, 1977).

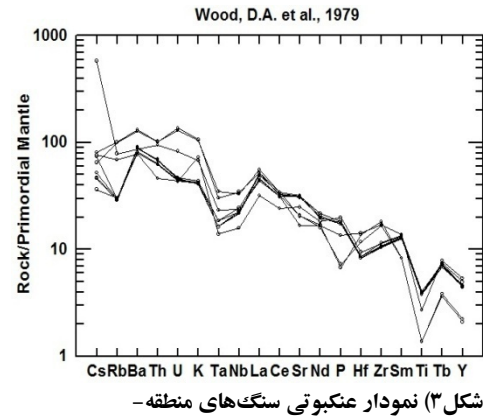


(شکل ۱) طبقه بندی سنگ‌های آذرین با استفاده از نمودار (De la Roche et al, 1980).

به منظور تعیین برخی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد بررسی، آرایش عناصر کمیاب و اصلی نمونه‌های مورد نظر در دیاگرام‌های عنکبوتی مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌های نرمالیزه شده به گوشته اولیه (Wood et al (1979) برای سنگ‌های مورد مطالعه نشانگر آنومالی مثبت  $Th, K, Ba$  و آنومالیهای منفی مشخص  $Ti, Ta, Nb(TNT)$  به همراه آنومالیهای منفی  $Rb, U, P, Hf$  می‌باشد (شکل ۳). غنی شدگی عناصر  $Ba, Th, K$  می‌تواند در ارتباط با فرایند متاسوماتیسم گوشته یا آرایش پوسته قاره‌ای باشد. آنومالی منفی  $Ti, Nb$  در سنگ‌های منطقه تأثیر فرورانش بر منابع گوشته ای را نشان می‌دهد (Soesoo, 2000). در محیط‌های فرورانشی عناصر  $Sm, P, Ce, Th, Ba, K, Sr$  ممکن متحرک شوند (Pearce, 1983). آنومالی منفی  $Ce$  در نمودار نرمالیزه شده به گوشته اولیه احتمالاً نتیجه متحرک بودن این عنصر در طی فرآیند فرورانش است. همچنین آنومالی منفی در  $Ti$  منعکس کننده نقش اکسیدهای  $Fe-Ti$  و آنومالی منفی  $Nb$  شاخص سنگ‌های قاره ای است و ممکن است نشان دهنده شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد (Rollinson, 1993). به نظر (Ionov and Hofmann (1995) آمفیبول کانی بسیار مناسبی برای نگهداری  $Nb$  و  $Ta$  در گوشته بالایی می‌باشد و می‌تواند آنومالی منفی  $Nb$  و  $Ta$  را در ماگماتیسیم مربوط به زون فرورانش کنترل کند. در شکل (۴) سنگ‌های منطقه، به کندریت (Sun and McDonough, 1989) نرمالیزه شده، الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در گدازه‌ها مختلف با هم موازیند و سنگ‌های منطقه از عناصر کمیاب سبک LREE غنی شدگی نشان می‌دهند. دیاگرام عناصر REE در نمونه‌های مورد مطالعه شیب منفی داشته و در آن LREE ها نسبت به MREE و HREE ها غنی شدگی مشخصی نشان می‌دهند. همچنین بر این اساس میزان غنی شدگی از عناصر LREE به طرف MREE و HREE کاهش می‌یابد. بالا بودن نسبت LREE/HREE نشان دهنده بالا بودن نسبت  $CO_2/H_2O$  در منشاء، عمق بیشتر تولید ماگما، منشاء گارنت لرزولیتی و یا پدیده تفریق می‌باشد. در الگوی عناصر کمیاب که به کندریت و گوشته اولیه نرمالیزه شده‌اند، ارتباط مشابهی بین همه نمودارها دیده می‌شود. به خصوص اینکه عناصر LILE غنی شدگی و عناصری مانند  $Nb$  و  $Ti$  تهی شدگی دارند که نشان دهنده حاشیه فعال قاره هستند. غنی شدگی عناصر  $Th$  و  $K$  می‌تواند نتیجه آرایش پوسته ای باشد، وجود آنومالی منفی  $Nb$  در اثر محیط های ماگمایی فرورانش و یا آلودگی پوسته ای پایینی در سنگ‌های آتشفشانی است.



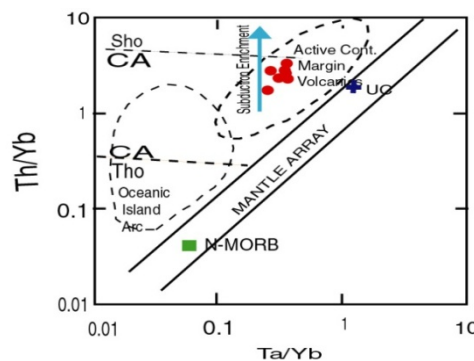
(شکل ۴) نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه -  
نرمالیز شده نسبت به کندریت (Sun & McDonough, 1989)



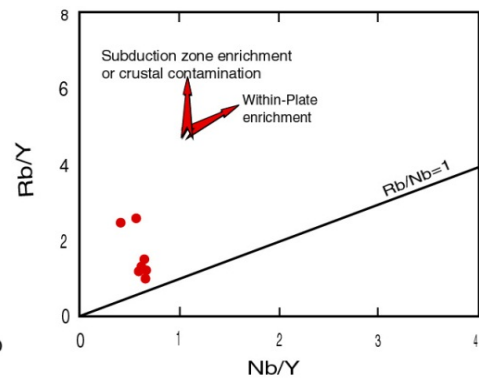
(شکل ۳) نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه -  
نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه (Wood, D.A. et al., 1979)

### پتروژنز

به منظور تعیین روند غنی‌شدگی عنصری سنگ‌های مورد بررسی در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y استفاده شده است (شکل ۵). در این دیاگرام نمونه‌ها بالای خط  $Rb/Y=1$  قرار می‌گیرند که نشان دهنده محیط‌های درون پلیت غنی شده و محیط فروانش غنی شده یا آلودگی پوسته‌ای است که آرایه نمونه‌ها بیشتر با روند زون فروانشی غنی شده یا آلودگی پوسته‌ای تطابق دارد نسبت Rb/Nb در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بین ۱/۷ تا ۶/۰۶ است که نشان دهنده محیط فروانش است. تغییرات Rb و Nb در سنگ‌های میانه حاصل غنی‌شدگی در زون فروانش یا آرایش پوسته‌ای است. ماگماهایی که از گوشته منشأ می‌گیرند، بوسیله پوسته قاره‌ای در حین بالا آمدن آلوده می‌شوند که از نشانه‌های آن آنومالی منفی Nb و Ta و آنومالی مثبت Th است (Thompson et al., 1983). بالا بودن نسبت LREE/HREE در سنگ‌های ولکانیکی منطقه شاخصی از گوشته غنی شده به وسیله فروانش یا آلودگی پوسته‌ای است (Fitton et al., 1991; Barragan et al., 1998).



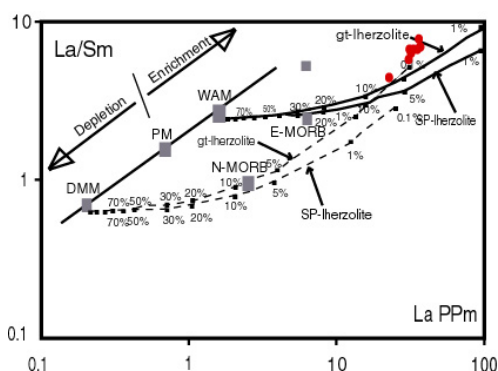
(شکل ۶) نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb (Pearce, 1983)



(شکل ۵) نمودار Nb/Y در برابر Rb/Y (Pearce, 1983)

شکل (۶) تغییرات نسبت Th/Yb در برابر Ta/Yb در سنگ‌های آتشفشانی منطقه را نشان می‌دهد همانطوری که در این شکل مشاهده می‌شود با استفاده از روند غنی‌شدگی نسبت‌های Th/Yb و Ta/Yb می‌توان به محیط تکتونیکی حاکم در منطقه پی برد. قلمرو سنگ‌های جزایر قوسی و حاشیه فعال قاره‌ای (ACM) در روی نمودار مشخص شده است. نوار باریک محدوده ترکیبات مختلف گوشته را نشان می‌دهد و پیکان‌ها به ترتیب از پایین به بالا معرف روند غنی‌شدگی گدازه‌های مناطق فروانش (Subduction Enrichment) می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود نسبت Ta/Yb در سنگ‌های مذکور تقریباً ثابت و

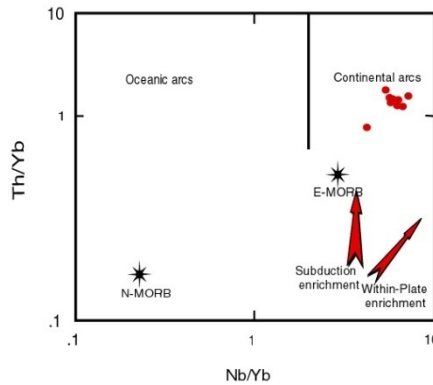
در حدود (۱/۳۰ - ۰/۳۰) است در حالی که نسبت  $Th/Yb$  آنها بین (۶/۲۹ - ۲/۶۶) تغییر می کند. به عبارتی دیگر نحوه قرار گیری نمونه ها بر روی نمودار (۶) خطی به موزات روند غنی شدگی گدازه های مناطق فرورانش است. نمونه منطقه مورد مطالعه در محدوده غنی شدگی از  $Th$  و تاثیر مواد فرورانشی است و مشخصه سنگ های کالک-آلکانل حاشیه فعال قاره را نشان می دهند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که سنگ های آتشفشانی میانه از لحاظ ژئوشیمیایی به سنگ های سری کالک-آلکانل محیط های فرورانش حاشیه فعال قاره ای تعلق دارند (Muller et al., 1997). ماگمای تشکیل دهنده سنگ های آتشفشانی در مناطق فرورانش معمولاً از گوه گوشته ای، سیالات و مذاب های آبدار مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورو منشاء می گیرند (Pearce and Peate, 1995). نسبت بالای  $Ba/Th$  اشاره به تأثیر رسوبات در ژنر ماگما دارد (Morta and Aguirre, 2003). هنگامی که پوشش رسوبی روی پوسته اقیانوسی فرورانده می شود عناصر  $Sr, Ba$  توسط سیالات مشتق شده از رسوبات آبدار و پوسته اقیانوسی منتقل شده و تولید ماگماهایی با  $Sr, Ba$  بالا می کنند (Morta and Aruirre, 2003). برای به دست آوردن ژنر سنگ های منطقه از نمودارهای ذوب مدل (Aldanmaz et al (2000). استفاده شده که خود این نمودارها از معادلات شاول (Shaw (1970) و الگوی تلفیقی از (McKenzie and O'Nions (1991, 1995) ساخته شده است. در این نمودار می توان از مقایسه ترکیب گدازه ها با ترکیب مذاب های منشأ گرفته از ذوب لرزونیت های اسپینل یا گارنت دار، می توان به درجه ذوب بخشی و ماهیت گوشته منشأ آن ها پی برد. نمونه های مورد بررسی در نمودار (Aldonmaz et al. (2000) از لحاظ فراوانی عناصر  $Sm, La$  و  $Yb$  همگی ترکیب مشابه با مذاب های مشتق شده از گوشته غنی شده را دارند و بر روی روند منطبق با حدود ۱ تا ۵ درصد ذوب بخشی گارنت لرزولیت قرار می گیرند (شکل های ۷).



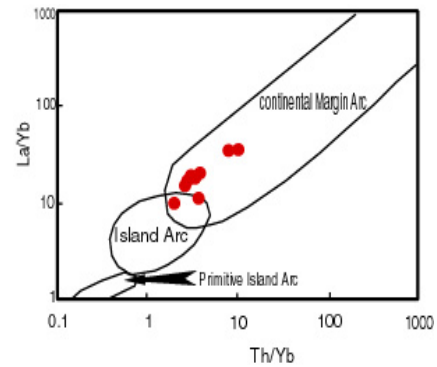
(شکل ۷) نمودار  $La/Sm$  در برابر  $La$  به منظور محاسبه میزان ذوب بخشی (Aldonmaz et al. (2000)

سنگ های منطقه از لحاظ نسبت  $Ba/La$  (۱۸/۲۰ - ۲۶/۰۸) ویژگی های سنگ های آذرین مناطق کمان آتشفشانی را نشان می دهند. این نسبت برای NMORB بین ۴ تا ۱۰، برای EMORB و بیشتر بازالت های درون صفحه ای ۱۰ تا ۱۵ و برای سنگ های آتشفشانی مرز صفحات همگرا بیش از ۱۵ است (Wood, 1980). مقدار نسبت مذکور در کمان های آتشفشانی بیشتر از مناطق کشتی و مناطق پشت کمان است. (Macdonald et al., 2001). بالا بودن نسبت  $Ba/La$  علامت غنی شدگی گوه گوشته توسط سیال های منطقه فرورانش و ورود  $Ba$  از رسوبات اقیانوسی فرو رانده شده به ماگماست (Hole, 1984). نسبت  $Ba/Ta$  بالاتر از ۴۵۰، از مهم ترین ویژگی های زمین شیمیایی ماگماهای کمان به شمار می رود (Macdonald et al., 2001). این نسبت در نمونه های منطقه قره زیارت بین ۶۵۴ - ۹۷۳ است. بالا بودن نسبت  $La/Ta=34-58$  نیز از دیگر مشخصات مناطق کمان است (Trumbull et al., 1999) که در نمونه های منطقه حدود ۲۶ - ۵۲ است صدق می کند. همچنین برای تعیین محیط تکتونیکی از دیگرام های (Muller and Groves 1997) ، (Pearce and Norry, 1979) استفاده شد که سنگ های منطقه مورد مطالعه در محدوده (continental Arc) واقع شدند (شکل های ۸، ۹). شواهد به دست آمده برای ماگماتیسم آتشفشانی نظیر طبیعت انفجاری آتشفشانهای اعم از وجود نهشته های یرش آتشفشانی، آگلومرا، توفهای اسیدی، ایگنمبریت و

عدد منیزیم پایین در سنگهای منطقه است فعال بودن حاشیه قاره‌ای را تایید می‌کند. از آنجا که آندزیتها و داسیتها در کمانهای بیشتر بالغ و روی حاشیه قاره‌ای غالب اند، وجود نهشته‌های ایگنمبریتی با ترکیب ریولیتی و ریوداسیتی در منطقه نشانگر یک کمان بالغ باشد (Wilson, 1989).



(شکل ۹) نمودار متمایز کننده انواع قوس‌های آتشفشانی (Pearce and Norry, 1979)



(شکل ۸) نمودار متمایز کننده انواع قوس‌های آتشفشانی (Muller and Groves 1997)

### نتیجه‌گیری

سنگهای آتشفشانی قره زیارت ترکیب بازالت آندزیتی، داسیت و ریوداسیت دارند. براساس تقسیم بندی زمین شناسی ساختاری جز زون ایران مرکزی محسوب می‌شود. الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در گدازه‌ها مختلف با هم موازیند و سنگ‌های منطقه از عناصر کمیاب سبک LREE غنی شدگی نشان می‌دهند. آتومالی منفی TNT شاخص سنگهای منطقه، که نشان دهنده مناطق فرورانش است. به منظور تعیین روند غنی شدگی عنصری سنگ‌های مورد بررسی از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y استفاده شده، محیط زون فرورانشی غنی شده دارند. بالا بودن نسبت LREE/HREE در سنگ‌های ولکانیکی منطقه شاخصی از گویشت غنی شده به وسیله فرورانش است. محیط تکتونیک این سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کمان آتشفشانی قاره‌ای و حاشیه فعال قاره قرار می‌گیرند. سنگ‌های آتشفشانی میانه از لحاظ ژئوشیمیایی به سنگهای سری کالک-آلکان محیط‌های فرورانش حاشیه فعال قاره‌ای تعلق دارند. شواهد به دست آمده از ماگماتیسیم آتشفشانی نظیر طبیعت انفجاری آتشفشانی اعم از وجود نهشته‌های برش آتشفشانی، آگلومرا، توفهای اسیدی، ایگنمبریت فعال بودن حاشیه قاره‌ای را تایید می‌کند.

### Refrence

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F. & Mitchell, J.G., 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, pp. 67-95.
- Barragan, R., Geist, D., Hall, M., Larson, P., Kurz, M., 1998. Subduction controls on the composition of lavas from the Ecuadorian Andes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 154, pp. 153-166.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. & Marchal, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* 29, pp. 183-210.
- Fitton, J.F., James, D., Leeman, W.P., 1991. Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the Western United States: compositional variations in space and time. *J. Geophys. Res.* 96, pp. 13693-13711.
- Ionov, D.A. and Hofmann, A.W., 1995. Nb-Ta rich mantle amphiboles and mica: implication for subduction-related metasomatic trace element fractionations. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 131, pp. 341-356.
- Macdonald, R., Hawkesworth, C.J. & Heath, E., 2001. The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. *Earth-Science Reviews*. 49, pp. 1-76.
- McKenzie, D.P., O'Nions, R.K., 1991. Partial melt distribution from inversion of rare earth element





- concentrations. *J. Petrol.* 32, pp. 1021-1991.
- McKenzie, D.P., O'Nions, R.K.**, 1995. The source regions of Ocean Island Basalts. *J. Petrol.* 36, pp. 133-159.
- Morata D., Aguirre L.**, 2003. Extensional lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range (29° 20' -30° S), Chile: geochemistry and petrogenesis. *J. South Amer. Earth Sci.* 16, pp. 459-476.
- Muller, D.**, Rock, N.M.S., Groves, D.I., 1997. Geochemical discrimination between shoshonitic potassic volcanic rocks from different tectonic settings: a pilot study. *Mineral petrol.* No. pp. 259-287.
- Pearce J.A., Norry M.J.**, 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.* 69, pp. 33-47.
- Pearce, J.A. and Peate, D.W.**, 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review Earth and Planetary Science Letters* 23, pp. 251-285.
- Pearce, J.A.**, 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, pp. 230-249.
- Shaw, D.M.**, 1970. Trace element fractionation during anatexis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 34, pp. 237-243.
- Soesoo, A.**, 2000. Fraction crystallization of mantle derived melt as a mechanism for some I-Type granite petrogenesis: An example from Iachlan fold belts, Australia. *Journal of the Geological Society, London*, pp. 157.
- Stocklin, J.**, 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7), pp. 1229-1258.
- Sun, S.S., and McDonough W.F.**, 1989. Chemical and isotopic systematics of basalt: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (Eds.), *Magma-tism in ocean basins*. *Geol. Soc. London. spec. pub.* 42, pp. 313-345.
- Thompson, R.N., Morrison, M.A., Dickin, A.P., Hendry, G.L.**, 1983. Continental flood basalts. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 158-185.
- Trumbull, R.B., Wittenbrink, R., Hahne, K., Emmermann, R., Busch, W., Gerstenberger, H. & Siebel, W.**, 1999. Evidence for Late Miocene to Recent contamination of arc andesites by crustal melts in the Chilean Andes (25-26°S) and its geodynamic implications. *Journal of South American Earth Science*. 12, pp. 135-155.
- Wilson, M.**, 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London, pp. 466.
- Winchester, J.A., Floyd, P.A.**, 1977. Geochemical discrimination of immobile elements. *Chemical Geology* 20, pp. 325-343.
- Wood D.A.**, 1980. 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. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50, pp. 11-30.
- Wood, D.A.**, 1979. Dynamic partial melting: its application to the petrogenesis of basalts erupted in Iceland, the Faeroe Islands, the Isle of Skye (Scotland) and the Troodos Massif (Cyprus). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, pp. 1031-1046.
- Rollinson, H.R.**, 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. John Wiley & Sons Inc., New York, pp.