

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

امین اله کمالی<sup>1</sup>، مسعود حیدری<sup>2</sup>، هادی پیروج<sup>1</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، پترولوژی، دانشگاه تبریز

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، ژئوشیمی، دانشگاه تبریز

### 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 خصلت کالک آلکان 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 نمونه های 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 سنگ های آتشفشانی منطقه بین 1/7 تا 6/06 و 2/66-6/29 است که نشان دهنده محیط فرورانش است. سنگهای منطقه از گوشته غنی شده و ذوب بخشی 1 تا 5 درصد گارنت لرزولیت شکل گرفته اند. نسبتهای Ba/La (18/20-26/08) و Ba/Ta (654-973) نشان دهنده کمناهی آتشفشانی است، و محیط تشکیل آنها حاشیه فعال قاره ای می باشد.

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

### مقدمه

ورود مکانیکی یک لیتوسفر اقیانوسی به زیر لیتوسفر دیگر (اقیانوسی، قاره ای و شبه قاره ای) در مناطق فرورانش، موجب بوجود آمدن تغییرات بسیار مهم در گوشته و خود صفحه ای فرورانده می گردد. بروز این تغییرات فیزیکو-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 قاره ای، باز نقش لیتوسفر فرورانده به هیچ وجه یک نقش ساده ای نیست. سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه بین طولهای جغرافیایی " 45° 8' 11" و " 48° 10' 23" شرقی و عرضهای " 39° 22' 50" و " 39° 24' 20" شمالی، بخش جنوبی نقشه چهار گوش (1:100000) میانه، در فاصله 20 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 9 نمونه سنگی انتخاب، توسط آسیاب آگات پودر و مقدار 30 گرم از هر نمونه جدا شد. این پودر به دو قسمت مساوی تقسیم شدند و 15 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 0/01 درصد وزنی و عناصر کمیاب و نادر خاکی بر اساس روش ME - MS 81 و با دقت برابر 0/01 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 ریوداست قرار می گیرند (شکل 1). 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 اکثراً در محدوده ساب آکالن قرار می گیرند.

به منظور تعیین برخی ویژگی های ژئوشیمیایی سنگ های مورد بررسی، آرایش عناصر کمیاب و اصلی نمونه های مورد نظر در دیاگرام های عنکبوتی مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه های نرمالیزه شده به گوشته اولیه (Wood et al (1979) برای سنگ های مورد مطالعه نشانگر آنومالی مثبت Th, K, Ba و آنومالیهای منفی مشخص (Ti, Ta, Nb(TNT) به همراه آنومالیهای منفی Rb, U, P, Hf می باشد. غنی شدگی عناصر Ba, Th, K می تواند در ارتباط با فرایند متاسوماتیسم گوشته یا آرایش پوسته قاره ای باشد. آنومالی منفی Ti, Nb در سنگ های منطقه تأثیر فرورانش بر منابع گوشته ای را نشان می دهد (Soesoo, 2000). در محیط های 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 سنگ های قاره ای است و ممکن است نشان دهنده شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد (Rollinson, 1993). به نظر (Ionov and Hofmann (1995) آلفیول کانی بسیار مناسبی برای نگهداری Nb و Ta در گوشته بالایی می باشد و می تواند آنومالی منفی Nb و Ta را در ماگماتیسیم مربوط به زون فرورانش کنترل کند. سنگ های منطقه، به کندریت (Sun and McDonough, 1989) نرمالیزه شده، الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در گدازه ها مختلف با هم موازیند و سنگ های منطقه از عناصر کمیاب سبک LREE غنی شدگی نشان می دهند. دیاگرام عناصر REE در نمونه های مورد مطالعه شیب منفی داشته و در آن LREE ها نسبت به MREE ها و HREE ها غنی شدگی مشخصی نشان می دهند. همچنین بر این اساس میزان غنی شدگی از عناصر LREE به طرف MREE و HREE کاهش می یابد. بالا بودن نسبت LREE/HREE نشان دهنده بالا بودن نسبت CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O در منشاء، عمق بیشتر تولید ماگما، منشاء گارنت لرزولیتی و یا پدیده تفریق می باشد. در الگوی عناصر کمیاب که به کندریت و گوشته اولیه نرمالیزه شده اند، ارتباط مشابهی بین همه نمودارها دیده می شود. 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 می تواند نتیجه آرایش پوسته ای باشد، وجود آنومالی منفی Nb در اثر محیط های ماگمایی فرورانش و یا آلودگی پوسته ای پایینی در سنگ های آتشفشانی است.

## پتروژنز

به منظور تعیین روند غنی شدگی عنصری سنگ های مورد بررسی در ارتباط با محیط های زمین ساختی از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y استفاده شده است (شکل 5). در این دیاگرام نمونه ها بالای خط Rb/Y=1 قرار می گیرند که نشان دهنده محیط های درون پلیت غنی شده و محیط فرورانش غنی شده یا آلودگی پوسته ای است که آرایه نمونه ها بیشتر با روند زون فرورانشی غنی شده یا آلودگی پوسته ای تطابق دارد نسبت Rb/Nb در سنگ های آتشفشانی منطقه بین 1/7 تا 6/06 است که نشان دهنده محیط فرورانش است. تغییرات Rb و Nb در سنگ های میانه حاصل غنی شدگی در زون فرورانش یا آرایش پوسته ای است. ماگماهایی که از گوشته منشا می گیرند، بوسیله پوسته قاره ای در حین بالا آمدن آلوده می شوند که از نشانه های آن آنومالی منفی Nb و Ta و آنومالی مثبت Th است (Thompson et al., 1983). بالا بودن نسبت LREE/HREE در سنگ های ولکانیکی منطقه شاخصی از گوشته غنی شده به وسیله فرورانش یا آلودگی پوسته ای است.

تغییرات نسبت Th/Yb در برابر Ta/Yb در سنگ های آتشفشانی منطقه را نشان می دهد همانطوری که در این شکل مشاهده می شود با استفاده از روند غنی شدگی نسبت های Th/Yb و Ta/Yb می توان به محیط تکنونیک حاکم در منطقه پی برد. قلمرو سنگ های جزایر قوسی و حاشیه فعال قاره ای (ACM) در روی نمودار مشخص شده است. نوار باریک محدوده ترکیبات مختلف گوشته را نشان می دهد و پیکان ها به ترتیب از پایین به بالا معرف روند غنی شدگی گدازه های مناطق فرورانش (Subduction)

(Enrichment می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود نسبت Ta/Yb در سنگ‌های مذکور تقریباً ثابت و در حدود (0/30 - 1/30) است در حالی که نسبت Th/Yb آنها بین (2/66-6/29) تغییر می‌کند. به عبارتی دیگر نحوه قرار گیری نمونه‌ها بر روی نمودار (6) خطی به موزات روند غنی شدگی گدازه‌های مناطق فرورانش است. نمونه منطقه مورد مطالعه در محدوده غنی شدگی از Th و تاثیر مواد فرورانشی است و مشخصه سنگ‌های کالک-آلکانل حاشیه فعال قاره را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سنگ‌های آتشفشانی میانه از لحاظ ژئوشیمیایی به سنگ‌های سری کالک-آلکانل محیط‌های فرورانش حاشیه فعال قاره ای تعلق دارند (Muller et al., 1997). ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های آتشفشانی در مناطق فرورانش معمولاً از گوه گشته‌ای، سیالات و مذاب‌های آبدار مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورو منشاء می‌گیرند (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 می‌شود عناصر Sr, Ba توسط سیالات مشتق شده از رسوبات آبدار و پوسته اقیانوسی منتقل شده و تولید ماگماهایی با Sr, Ba بالا می‌کنند (Morta and Aruirre, 2003). برای به دست آوردن ژنر سنگ‌های منطقه از نمودارهای ذوب مدل (Aldanmaz et al (2000). استفاده شده که خود این نمودارها از معادلات شاو (Shaw (1970) و الگوی تلفیقی از (McKenzie and O'Nions (1991, 1995) ساخته شده است. در این نمودار می‌توان از مقایسه ترکیب گدازه‌ها با ترکیب مذاب‌های منشأ گرفته از ذوب لرزونیت‌های اسپینل یا گارنت دار، می‌توان به درجه ذوب بخشی و ماهیت گوشته منشأ آن‌ها پی برد. نمونه‌های مورد بررسی در نمودار (Aldanmaz et al. (2000) از لحاظ فراوانی عناصر Sm, La و Yb همگی ترکیب مشابه با مذاب‌های مشتق شده از گوشته غنی شده را دارند و بر روی روند منطبق با حدود 1 تا 5 درصد ذوب بخشی گارنت لرزولیت قرار می‌گیرند.

سنگ‌های منطقه از لحاظ نسبت Ba/La (26/08-18/20) ویژگی‌های سنگ‌های آذرین مناطق کمان آتشفشانی را نشان می‌دهند. این نسبت برای NMORB بین 4 تا 10، برای EMORB و بیشتر بازالت‌های درون صفحه‌ای 10 تا 15 و برای سنگ-های آتشفشانی مرز صفحات همگرا بیش از 15 است (Wood, 1980). مقدار نسبت مذکور در کمان‌های آتشفشانی بیشتر از مناطق کششی و مناطق پشت کمان است. (Macdonald et al., 2001). بالا بودن نسبت Ba/La علامت غنی شدگی گوه گشته توسط سیال‌های منطقه فرورانش و ورود Ba از رسوبات اقیانوسی فرو رانده شده به ماگماست (Hole, 1984). نسبت Ba/Ta بالاتر از 450، از مهم‌ترین ویژگی‌های زمین شیمیایی ماگماهای کمان به شمار می‌رود (Macdonald et al., 2001). این نسبت در نمونه‌های منطقه قره زیارت بین 654-973 است. بالا بودن نسبت La/Ta=34-58 نیز از دیگر مشخصات مناطق کمان است (Trumbull et al., 1999) که در نمونه‌های منطقه حدود 26-52 است صدق می‌کند. همچنین برای تعیین محیط تکنونیکی از دیاگرام‌های (Muller and Groves 1997)، (Pearce and Norry, 1979) استفاده شد که سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده (continental Arc) واقع شدند (شکل‌های 8، 9). شواهد به دست آمده برای ماگماتیسیم آتشفشانی نظیر طبیعت انفجاری آتشفشان‌های اعم از وجود نهشته‌های برش 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 قاره ای غالب اند، وجود نهشته‌های ایگنمبریتی با ترکیب ریولیتی و ریوداسیتی در منطقه نشانگر یک کمان بالغ باشد (Wilson, 1989).

### نتیجه گیری

سنگ‌های آتشفشانی قره زیارت ترکیب بازالت آندزیتی، داسیت و ریوداسیت دارند. براساس تقسیم بندی زمین شناسی ساختاری جز زون ایران مرکزی محسوب می‌شود. الگوی پراکنده‌گی عناصر خاکی کمیاب در گدازه‌ها مختلف با هم موازیند و سنگ‌های منطقه از عناصر کمیاب سبک LREE غنی شدگی نشان می‌دهند. آنومالی منفی TNT شاخص سنگ‌های منطقه، که نشان

دهنده مناطق فرورانش است. به منظور تعیین روند غنی‌شدگی 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 گوشته غنی شده به وسیله فرورانش است. محیط تکتونیکی این سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کمان آتشفشانی قاره‌های و حاشیه فعال قاره قرار می‌گیرند. سنگ‌های آتشفشانی میانه از لحاظ ژئوشیمیایی به سنگ‌های سری کالک-آلکان محیط‌های فرورانش حاشیه فعال قاره ای تعلق دارند. شواهد به دست آمده از ماگماتیسم آتشفشانی نظیر طبیعت انفجاری آتشفشانهای اعم از وجود نهشته‌های برش آتشفشانی، آگلومرا، توفهای اسیدی، ایگنبریت فعال بودن حاشیه قاره‌ای را تایید می‌کند.

#### Reference

- 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 setting: a pilot study. *Mineral petrol*, No. pp. 259-287.
- Pearce J.A., Norry M.J., 1979. Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Con. Min. 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 margin. 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, Candon*, 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 systematic of basalt: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (Eds.), *Magmatism 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 petrogeneses 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.