

## مطالعه و بررسی ایزوتوپ های استرانسیوم - نئودیمیوم سنگ های آتشفشانی شمال میمه، استان اصفهان

محمدعلی علی آبادی<sup>۱</sup>، مهناز خدای<sup>۲</sup>

۱- مربی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد محلات

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد محلات

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۶/۱۷

### چکیده

سنگ های آتشفشانی به سن نسبی پلیوسن و جوانتر در ۱۲۰ کیلومتری شمال غرب اصفهان برونزد دارند. و متعلق به نوار آتشفشانی ارومیه - دختر در پهنه ایران مرکزی باشند. مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی نشان می دهد که جنس این سنگ ها ریوداسیت، داسیت و آندزیت و تراکی آندزیت است و متعلق به سری کالکوالکالن می باشند. جهت تفسیر نهایی پتروژنز و محیط نکتونیکی این سنگ ها از ایزوتوپ های پرتوزاد Sr و Nd استفاده شده است بیشتر داده های ایزوتوپی نشاندهنده یک منشاء نزدیک به آرایه گوشته و متمایل به گوشته غنی شده نوع EMII در محیط فرورانش برای ماگمای سازنده این سنگ ها است که به ماگماتیسیم کمان قاره ای شباهت دارد. غنی شدگی می تواند ناشی از دخالت پوسته یا متاسوماتیسیم منشا در اثر سیالات ناحیه فرورانش باشد. البته عدم افزایش محسوس در ایزوتوپ های نئودیمیوم و کاهش در ایزوتوپ های استرانسیوم نشاندهنده عدم آلودگی مذاب با لیتوسفری است که از میان آن عبور کرده است.

واژگان کلیدی: میمه، ایزوتوپ های پرتوزاد استرانسیوم، ایزوتوپ های پرتوزاد نئودیمیوم

### مقدمه

متعلق به نوار آتشفشانی ارومیه - دختر در پهنه ایران مرکزی است (شکل ۱).

پهنه ایران مرکزی در سنوزوئیک عرصه ماگماتیسیم گسترده ای بوده است [۱،۲،۳،۴]. این فعالیت ماگمایی از پالئوژن بصورت کالکوالکالن تا شوشونیتی شروع شده و بعد از یک وقفه زمانی در اولیگوسن پایانی از سر گرفته شده است.

سنگ های آتشفشانی به شکل گنبد، گدازه و سنگ های آذر آواری در ۱۲۰ کیلومتری شمال اصفهان، شمال شرق میمه (جوشقان، کامو، قهرود) و ۳۰ کیلومتری جنوب میمه (میمه کوه) برونزد دارند. جنس آن ها داسیت، ریوداسیت، تراکی آندزیت و آندزیت به سن نسبی پلیوسن می باشد. گستره مورد مطالعه از دیدگاه واحدهای زمین شناسی ساختاری

طی میوسن زیرین ترکیب این ماگماها از شوشونیتی تا کالکوالکالن تغییر می کند.

دراولیگوسن پایانی تا میوسن زیرین با شکل گیری شرایط دریایی سازند قم تشکیل شده و سپس در اواخر میوسن زیرین تا میوسن پایانی بعد از یک دوره آرامش ماگمایی، استراتوولکان های وسیع آندزیتی تا داسیتی ایجاد شده اند. میوسن پایانی با واحد تخریبی قرمز فوقانی در ایران مرکزی مشخص می شود.

بالاخره تولید مذاب کالکوالکالن و فعالیت آتشفشانی قاره ای در پلیوسن از سرگرفته شده که تا کواترنر ادامه می یابد [۱,۵,۶].

در ارتباط با پتروژنز مذاب های کالکوالکالن در ایران مطالعات زیادی صورت گرفته است، بسیاری از زمین شناسان ماهیت سنگ های ماگمایی این پهنه را مرتبط با فرورانش صفحه عربی به زیر اورازیا می دانند و یک مذاب اولیه حاصل از ذوب در پهنه فرورانش را برای تولید این ماگماها در نظر می گیرند [۱,۵,۶].

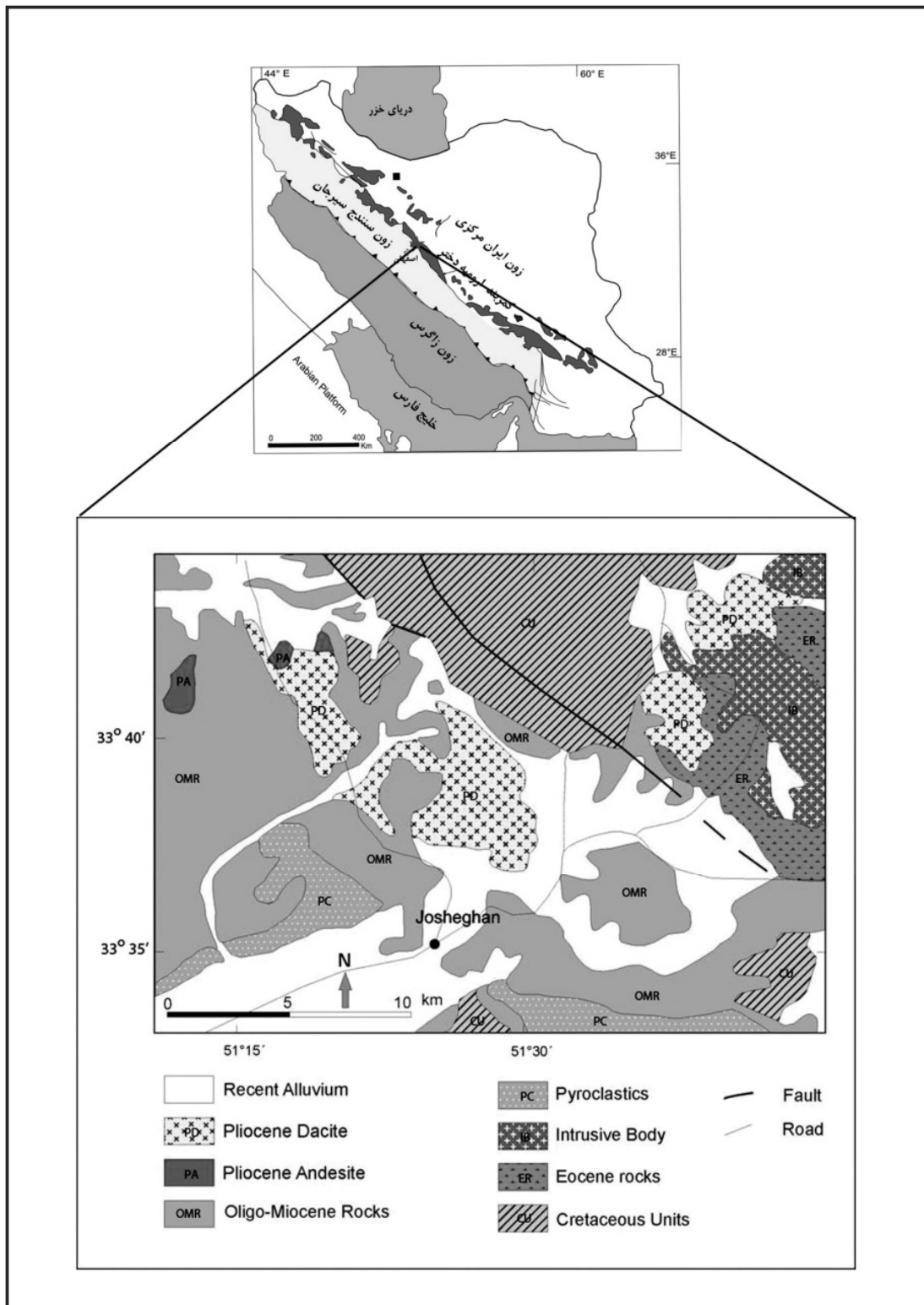
سنگ های آتشفشانی پلیوسن در حقیقت بخشی از ماگماتیسیم پس از برخورد پهنه ارومیه-دختر هستند. در محیط های پس از برخورد سرگذشت تحولات ماگمایی پیچیده تر بوده و شامل دوره های ماگمایی متعدد می باشد و تغییرات ضخامت لیتوسفر و ناهمگونی آن باعث تولید مذاب با گستره ترکیبی وسیع می گردد. از این رو استفاده از آنالیزهای ایزوتوپی بهترین روش تعیین دقیق منشا ماگماها است. بدین منظور از ایزوتوپ های پرتوزا استرانسیوم و نئودیمیوم در این پژوهش استفاده شده است.

این مقادیر در سنگ های مختلف آتشفشانی رژیم های مختلف تکتونیکی نیز متفاوت است و از سوی دیگر نسبت های ایزوتوپی نئودیمیوم در پوسته قاره ای بسیار کمتر از گوشته فوقانی است [14,15,16]. تلفیق نتایج حاصل از این دو برای تعیین ژنز سنگ های آتشفشانی منطقه قابل اعتماد است [9,12,17].

#### روش تحقیق

پس از مطالعات صحرایی و انتخاب رخنمون های مناسب و نمونه برداری، مطالعات پتروگرافی با میکروسکوپ پلاریزان زمین شناسی انجام و سپس بر روی تعدادی از آن ها که نماینده کل سنگ های منطقه به حساب می آمدند، آنالیزهای ICP-MS و ICP-ES انجام گردید. جدایش Rb-Sr و Sm-Nd توسط تکنیک تبادل یونی استاندارد صورت گرفت و آنالیزهای ایزوتوپی با استفاده از یک طیف سنج جرمی مدل VG354 در دانشگاه جیانچین انجام شده است.

کسرهای ایزوتوپی Sr و Nd نسبت به  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$  و  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$  تصحیح شدند. همه مقادیر  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  نسبت به  $2\sigma$  به  $0.710244 \pm$  برای استاندارد NBS987 بدست آمده است. همه مقادیر  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  نسبت به  $2\sigma$  به  $0.511825 \pm$  و  $0.511644 \pm$  برای استانداردهای جانسون-متیو BCR-2 بدست آمده است. و در نهایت از نرم افزارهای مرتبط برای ترسیم نمودارهای لازم استفاده شد.

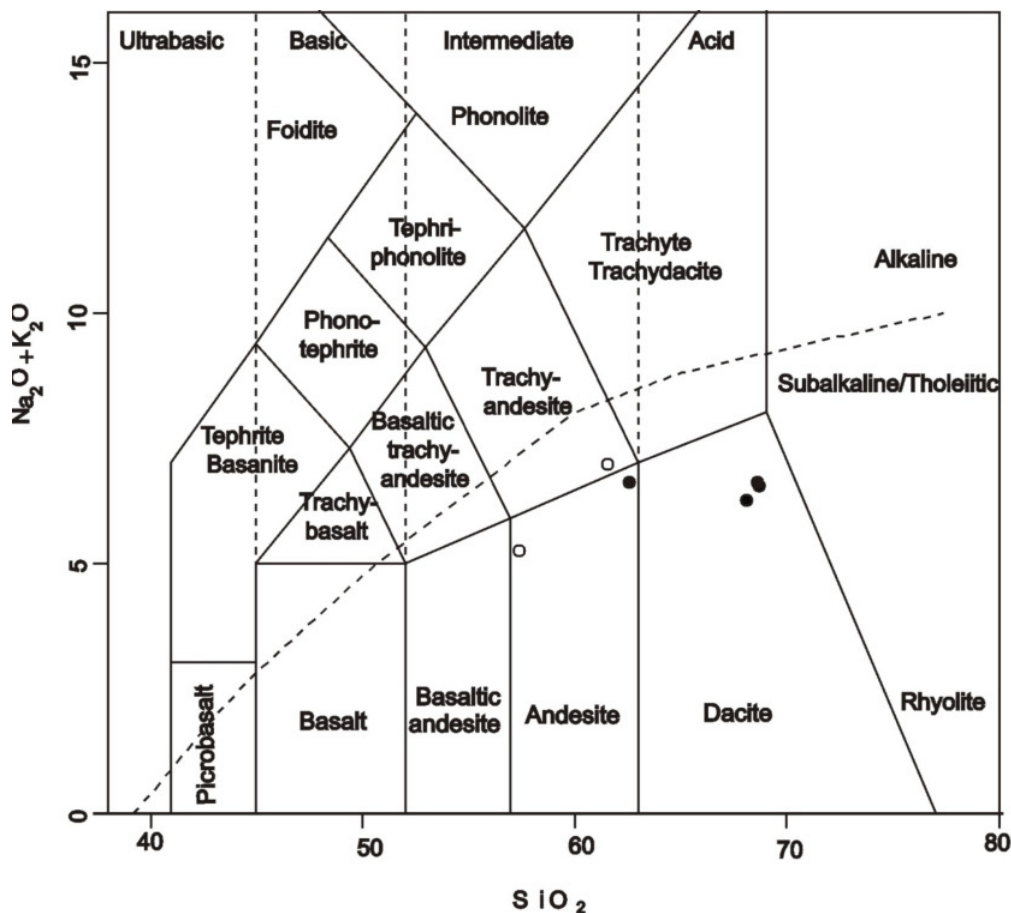


شکل ۱- موقعیت و نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه در شمال باختر اصفهان با تغییرات [۳]

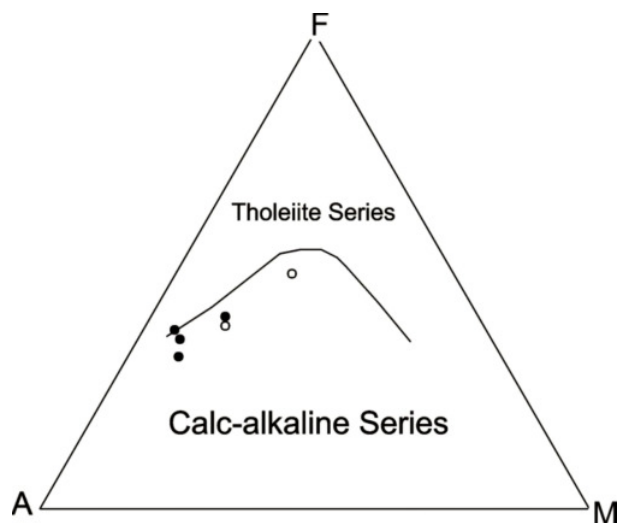
## نتایج

(شکل ۲) که ساب‌آلکان و از نوع کالکوالکان می باشند (شکل ۳) [10]. با توجه به داده های ایزوتوپی نمونه های آنالیز شده دارای نسبت ایزوتوپی اولیه استرانسیوم  $0.707712 - 0.705918$  و نسبت ایزوتوپی اولیه نئودیمیوم  $0.512537 - 0.512504$  می باشند (جدول ۱). نسبت های ایزوتوپی ایزوتوپ های استرانسیوم و نئودیمیوم این سنگ ها مشابه مذاب های کالکوالکان کمان های ماگمایی بینابین مورب و پوسته نزدیک ترکیب ایزوتوپی اولیه زمین و آرایه گشته می باشند. (شکل های ۴ و ۵).

بررسی های پتروگرافی نشان دادند که ترکیب اصلی سنگ های آتشفشانی منطقه را آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریوداسیت تشکیل می دهند که عمدتاً گنبد های ولکانیک و ساب ولکانیک و به مقدار کمتر جریان گدازه اند. برای پی بردن به رخدادهای پترولوژیکی که در سنگ های آتشفشانی منطقه رخ داده است علاوه بر بررسی های کانی شناسی مطالعات ژئوشیمیایی نیز انجام گرفت. در نمودار درصد وزنی سیلیس به کل آلکان له باس سنگ ها به داسیت تراکی آندزیت و آندزیت تقسیم بندی می شوند [11]



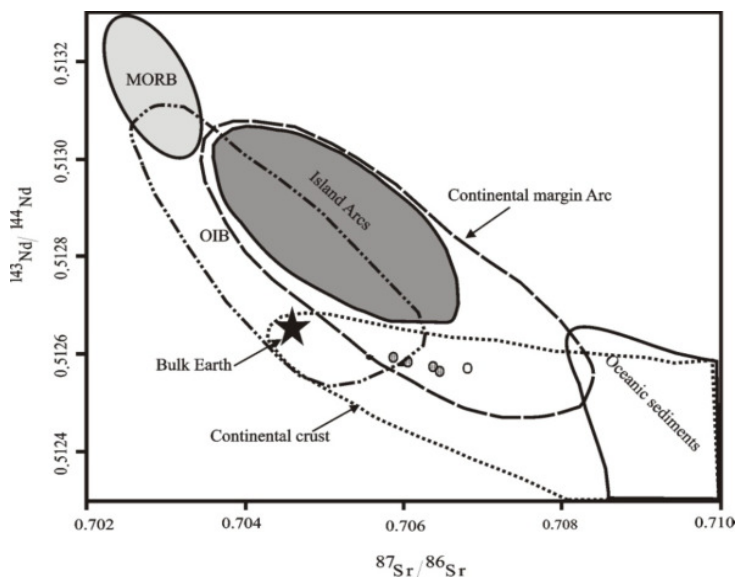
شکل ۲- نمودار له باس و محدوده قرارگیری نمونه ها در آن



شکل ۳- نمودار های تعیین کننده سری های ماگمایی و فرارگیری سنگ های آتشفشانی منطقه در محدوده کالکو آلكالن [10]

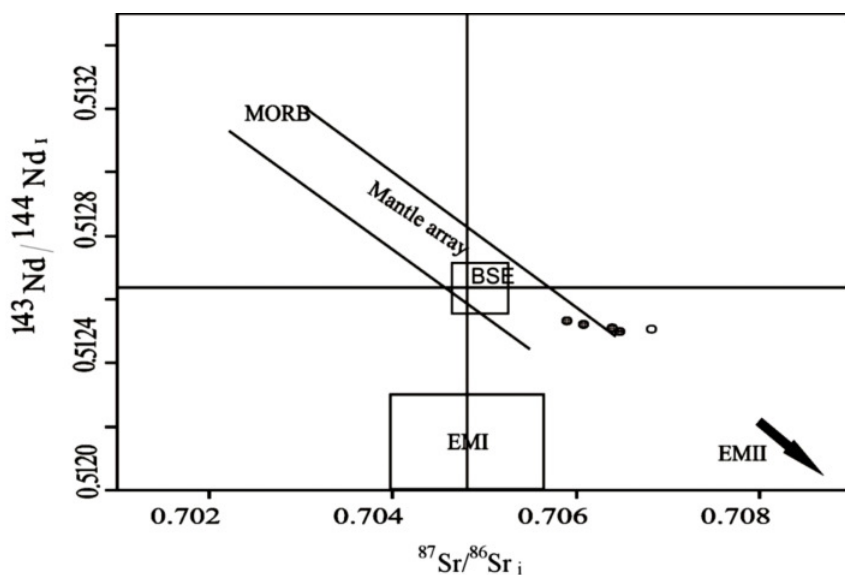
جدول ۱- داده های ایزوتوپی استرانسیوم و نئودیمیوم و مقادیر محاسبه شده برای سنگ های آتشفشانی منطقه

Sample	Rb	Sr	Nd	Sm	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
N1	52.4	633	22.5	4.3	0.707712	-
N3	78.2	483.7	25.2	3.5	0.706491	0.512504
N5	79.1	720.4	24.3	4.2	0.706818	0.512513
N6	84.1	493.9	26.3	3.3	0.706415	0.512516
N4	83.1	924	28.3	4.3	0.706066	0.512526
N7	80.1	511.8	19.6	3	0.705918	0.512537

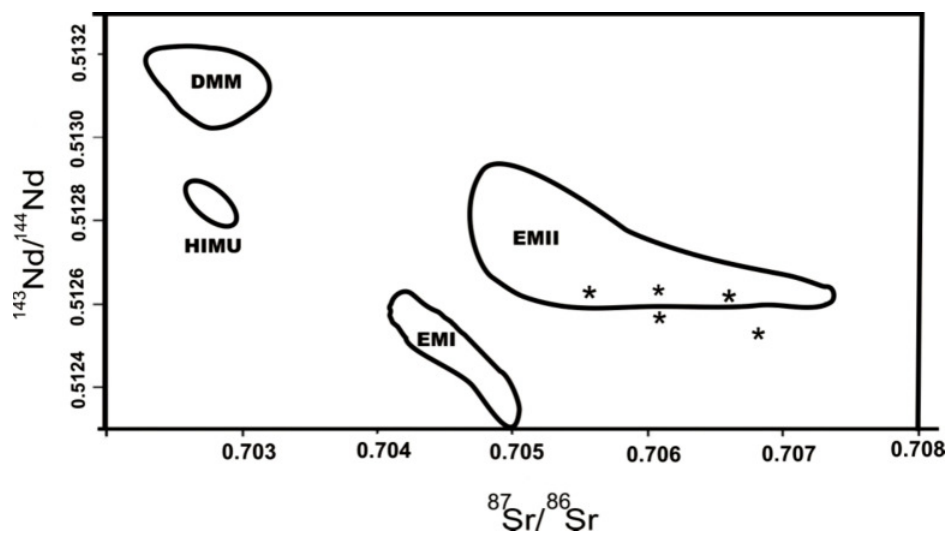


شکل ۴- نمودار همبستگی ایزوتوپی  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  در مقابل  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  که موقعیت نسبی بازالت میان اقیانوسی، جزایر قوسی، کمان

قاره ای و پوسته قاره ای را نشان می دهد [13]



شکل ۵- نمودار همبستگی ایزوتوپی  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  در مقابل  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  MORB بازالت پشته میان اقیانوسی  
BSE (Bulk Silicate Earth) ترکیب کل زمین سیلیکاته، EM I, EM II گوشته غنی شده، و موقعیت نمونه های منطقه [15,20]



شکل ۶- نمودار همبستگی ایزوتوپی  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  در مقابل  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ، DMM گوشته تهی شده EMI, EMII گوشته غنی شده  
HIMU گوشته دارای نسبت بالای U/Pb، و محل قرار گیری نمونه ها در نزدیکی گوشته غنی شده [15,20]

با این فرض کلی که تمام پوسته زمین در اوایل زمان زمین شناسی از گوشته تفریق شده است، انتظار می رود که رفتار Rb و Sr ضمن تفریق تفاوت مشخصی با یکدیگر داشته باشد. یون  $Rb^+$  بزرگ و دارای یک بار منفی باشد و بنابراین مانند خویشاوند نزدیک خود یعنی  $K^+$  در محصولات نسبتاً غنی از سیلیس فرایند تفریق که تشکیل دهنده پوسته هستند متمرکز می شود یون کوچکتر  $Sr^{2+}$  رفتار زمین شیمیایی مشابه با  $Ca^{2+}$  داشته و بنابراین بطور تصادفی بین گوشته و پوسته توزیع می شود. غلظت بیشتر Rb در پوسته نشان می دهد که تولید  $^{87}Sr$  در پوسته سریعتر از گوشته بوده است، و نمونه های سنگی که در بیشتر عمر خود بخشی از پوسته بوده اند، باید به طور کلی نسبتهای  $^{87}Sr/^{86}Sr$  بالاتری نسبت به نمونه هایی که مدت زیادی در گوشته بوده اند داشته باشد. بنابراین اگر در یک مجموعه سنگ آذرین نسبت  $^{87}Sr/^{86}Sr$  نزدیک به مقدار گوشته متناظر یا کمتر از آن باشد منطقی خواهد بود که بگوییم ماگما از راه تفریق یا ذوب جزئی مواد گوشته (یا از ذوب جزئی مواد پوسته که به تازگی از گوشته جدا شده است) حاصل شده است. اگر این مقدار خیلی بالاتر از مقادیر گوشته باشد، می توان نتیجه گیری کرد که ماگما از ذوب مواد پوسته یا هضم سنگهای پوسته در ماگما پس از تشکیل آن در گوشته به وجود آمده است. از نسبت های ایزوتوپی Nd می توان مانند نسبت های ایزوتوپی Sr برای نتیجه گیری درباره منشأ ماگمای آذرین استفاده کرد اما نتایج به ظاهر معکوس است. اگر نسبت ایزوتوپی اندازه گیری شده برای یک سنگ آذرین خالص بالا باشد این سنگ به احتمال زیاد از مذابی به وجود آمده است که مستقیماً از گوشته

حاصل شده است. اگر این نسبت پایین باشد منشاء پوسته ای را نشان می دهد. تفاوت جرم بین هر جفت ایزوتوپ پرتوزاد بعدی کوچک است که جفت ایزوتوپی نمی تواند به وسیله فرآیندهای کنترل کننده توزیع بین بلور- مذاب تفریق یابند، در نتیجه این نسبت ها در حین فرآیندهای تفریقی بعدی تغییر نمی یابند و در حین ذوب بخشی ماگما، ویژگی ایزوتوپی ناحیه ای که از آن نشأت گرفته را نشان می دهد [16,18].

نمودار همبستگی ایزوتوپی  $^{143}Nd/^{144}Nd$  در برابر  $^{87}Sr/^{86}Sr$  یکی از بهترین راه ها برای شناسایی شاخص های ایزوتوپی مهم سنگ ها در مقایسه با پوسته و گوشته است (شکل ۵). با توجه به ترکیب ایزوتوپی کل زمین این نمودار به چهار بخش تقسیم می شود.

مقادیر گوشته تهی شده DM که در بخش بالا و سمت چپ نمودار قرار می گیرد و با نسبت پائین  $^{87}Sr/^{86}Sr$  و نسبت بالای  $^{143}Nd/^{144}Nd$  مشخص می شود و بسیاری از بازالتهای پشته میان اقیانوسی MORB در این محدوده قرار می گیرند.

مقادیر گوشته غنی شده (Enriched mantle) با نسبت پائین  $^{143}Nd/^{144}Nd$  و مقادیر مختلف  $^{87}Sr/^{86}Sr$  در قسمت پائینی شکل قرار می گیرند و به دو نوع تقسیم می شود نوع EMI با نسبت  $^{87}Sr/^{86}Sr$  پائین که بیشتر با پوسته تحتانی، گوشته متازوماتیسم شده یا منابع حاصل از اختلاط آن ها نزدیکی دارد و نوع EMII با نسبت بالاتر  $^{87}Sr/^{86}Sr$  و نسبت پائین  $^{143}Nd/^{144}Nd$  که با پوسته قاره ای فوقانی از نظر ترکیب شباهت دارد و نشان می دهد غنی شدگی با دخالت پوسته قاره ای رسوبات مشتق از قاره، پوسته جزایر اقیانوسی و یا

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی شمال میمه را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

(۱) این سنگ ها عمدتاً بصورت گنبد، گدازه و سنگ های آذرآواری برونزد دارند و آندزیت، تراکی آندزیت و داسیت می باشند.

(۲) از نظر ژئوشیمیایی یک سری کالکوالکان هستند.

(۳) این سنگ ها دارای نسبت ایزوتوپی اولیه استرانسیوم  $0.707712-0.705918$  و نسبت ایزوتوپی اولیه نئودیمیوم  $0.512537-0.512504$  می باشند.

نسبت ایزوتوپی اولیه استرانسیوم متوسط و نسبت ایزوتوپی اولیه نئودیمیوم نسبتاً پائین با نماد اپسیلون کمی منفی، در نزدیکی ترکیب ایزوتوپی کل زمین و بیشتر در محدوده آرایه گوشته قرار دارند.

(۴) با توجه به نمودارهای ارائه شده و داده های ایزوتوپی نمونه های آنالیز شده منشأ نزدیک به مذاب های کمان ماگمایی داشته که در مناطق فرورانش یا پس از برخورد گزارش شده دارند.

(۵) مذاب های حاصل تاثیر زیادی از لیتوسفری که از میان آن عبور کرده اند نگرفته است و به همین دلیل افزایش محسوسی در ایزوتوپ های نئودیمیوم و کاهش در ایزوتوپ های استرانسیوم قابل مشاهده نیست.

(۶) فاصله گرفتن تعدادی از داده های ایزوتوپی از آرایه گوشته ای، الزاماً به آرایش با پوسته قاره ای مربوط نیست بلکه می تواند ناشی از متاسوماتیسم منشأ در اثر سیالات ناحیه فرورانش باشد.

پوسته اقیانوسی دگرسان شده و سیالات حاصل از آن صورت گرفته است.

ترکیب ایزوتوپی پوسته قاره ای بسیار متغیر است پوسته قاره ای فوقانی با نسبت  $Rb/Sr$  بالا و در نتیجه

$^{87}Sr/^{86}Sr$  بالا مشخص می شود و نسبت های ایزوتوپی نئودیمیوم نسبت به مقادیر گوشته پائین تر است. پوسته قاره ای میانی نسبت

$^{143}Nd/^{144}Nd$  پائین و نسبت  $^{87}Sr/^{86}Sr$  کمتر از پوسته فوقانی دارد در حالی که پوسته قاره ای تحتانی بشدت از سرب تهی شده و دارای نسبت  $^{87}Sr/^{86}Sr$  پائین است که با مقادیر گوشته امروزی تفاوت زیادی ندارد.

لیتوسفر زیر قاره ای نیز بسیار ناهمگن است و هر دو قلمرو گوشته غنی شده  $EMI$  و  $EM II$  را در بر می گیرد [15,20]. در نمودارهای نسبت های ایزوتوپی

استرانسیوم و نئودیمیوم، سنگ های این منطقه بیشتر در محدوده آرایه گوشته  $EM II$  قرار دارند (شکل ۶).

تعدادی از نمونه ها از آرایه گوشته فاصله می گیرند که در بیشتر ماگماهای مرتبط با فرورانش دیده می شود [18,19]. این موضوع الزاماً به آرایش با پوسته قاره ای مربوط نیست بلکه می تواند ناشی از متاسوماتیسم منشأ در اثر سیالات ناحیه فرورانش باشد.

در محیط های مرتبط با فرورانش و پس از برخورد در اثر دخالت سیالات مشتق از اسلب (قطعه فرورونده)

یا رسوبات همراه آن و حتی ذوب آنمتاسوماتیسم گسترده ای در گوشته لیتوسفری رخ می دهد که منجر به تغییراتی در خصوصیات ژئوشیمیایی و ایزوتوپی

مذاب های حاصل از این گوشته می شود [16].



- 11-Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., (1986), A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, pp745– 750.
- 12-Lide, D.R. and Frederikse, H.P.R., (1995), *Handbook of chemistry and physics*, 76th ed, CRC press, Boca Raton, Florida.
- 13-Nelson, S., (2003), web page at [www.tulane.edu/~sanelson/eens212](http://www.tulane.edu/~sanelson/eens212).
- 14- Robin, C., Eissen, J., Samaniego, P., and Martin, H., (2008), Evolution of the late Pleistocene Mojanda–Fuya volcanic complex (Ecuador), by progressive adakitic involvement in mantle magma sources, *Bulletin of Volcanology*, DOI 10.1007/s00445-008-0219-9
- 15-Rollinson, H., (1993), *Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical, UK, 344 p
- 16-Rosu, E., Seghedi, I., Downes, H., Alderton, D.H.M., Szakács, A., Pécskay, Z., Panaiotu, C., Panaiotu, C. E. and Nedelcu, L., (2004): Extension-related Miocene calc-alkaline magmatism in the Apuseni Mountains, Romania: Origin of magmas. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 84, 153–172.
- 17-Steiger, R. H. and Jager, E., (1977), Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmo chronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 36, 359–362.
- 18-Wilson, M., (1989), *Igneous petrogenesis, A global tectonic approach*. Chapman and Hall, London, 466 p.
- 19-Yang, W., Li, Sh., (2008), Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton. *Lithos*, 102, 88–117.
- 20-Zindler, A. and Hart, S.R., (1986), *Chemical Geodynamics. Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493–571.

## تشکر و قدردانی

این مقاله بر اساس نتایج حاصل از طرح پژوهشی با همین عنوان در دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات می باشد لذا جا دارد نویسندگان نهایت سپاس و قدردانی خود را از حوزه معاونت پژوهشی این واحد ابراز نمایند.

## منابع

- ۱- امامی، م.ه. (۱۳۷۰)، شرح نقشه چهارگوش قم ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور، ۱۷۹ ص.
- ۲- درویش زاده، ع. (۱۳۷۰)، زمین شناسی ایران، انتشارات امیر کبیر نشر دانش امروز، ۹۰۱ ص.
- ۳- زاهدی، م. (۱۳۷۰)، شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش کاشان ۱:۲۵۰۰۰۰، شماره ف ۷، سازمان زمین شناسی کشور ۹۸ ص.
- ۴- عمیدی، س. م. و زاهدی، م. (۱۳۷۰)، نقشه زمین شناسی چهارگوش کاشان ۱:۲۵۰۰۰۰، شماره ف ۷، سازمان زمین شناسی کشور.
- ۵- معین وزیری، ح. (۱۳۷۵)، دیباچه ای بر ماگماتیسم در ایران دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰ ص.
- 6-Amidi, S. M., (1977), *Etude Geologique de la region de Natanz-Nain-Surk, (Iran-central) stratigraphieetpetrologie*, Geological survey of Iran, report no. 42, 316 p.
- 7-Faure, G., (1986), *Principles of isotope geology*, 2<sup>nd</sup>edn. John Wiley, New York, 589 p.
- 8-Faure, G., (2001), *Origin of igneous rocks*. Springer-Verlag, Heidelberg, 496 p.
- 9-Faure, G. and Mensing, T.M., (2005), *Isotopes: principles and applications*. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 897 p.
- 10-Jensen, L.S., (1976), *A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks*. Ontario Division of Mines, MP 66, 22 p.

