سال ۱۰، شماره ۳۸، تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۱۳- ۱۰۳

تعیین ماهیت و تحولات مذاب والد سنگ‌های آتشفشانی گسترهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی سر چاه (خراسان جنوبی) بر مبنای داده‌های ایزوتوپی

اسماعیل اله پور[۱و*]، منصور وثوقی عابدینی[۲] و سید محمد پورمعافی[۲]

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۷

چکیده

در گستره نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سر چاه در استان خراسان جنوبی و واقع‌بین '۵۹ °۳۰ تا °۶۰ طول شرقی و °۳۳ تا '۳۳ °۳۰ عرض شمالی طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی با تنوع ترکیبی بازیک تا اسیدی رخنمون دارند که ماهیت و تحولات مذاب سازنده آن‌ها به کمک مطالعات و اندازه‌گیری‌های ایزوتوپی مورد مطالعه قرارگرفته است.

بر ابن اساس سنگ‌های آذرین خروجی منطقه منشأ گرفته از گوشتهٔ متأثر از فرورانش ورقهٔ لیتوسفری و یا متاسوماتیزه شده توسط مواد پوسته‌ای می‌باشند و بایستی در مورد شکل‌گیری سنگ‌های داسیتی- ریولیتی نقش پارامترهایی چون آلایش پوسته‌ای را نیز برجسته دید. سنگ‌های ریولیتی در حد قابل توجهی از مواد پوسته‌ای تأثیر پذیرفته و با دارا بودن $^{87}Sr/^{86}Sr$ بالاتر و $^{143}Nd/^{144}Nd$ پایین‌تر به‌گونه‌ای شاخص متمایز شوند.

واژه‌های کلیدی: ایزوتوپی، بازی، خراسان جنوبی، ریولیتی، سر چاه، لوت، آتشفشانی.

مقدمه

مطالعهٔ نسبت‌های ایزوتوپی در ماگماتیسم از آن جهت حائز اهمیت است که این نسبت‌ها قادرند ویژگی‌های ناحیهٔ منشأ ماگما را مشخص کنند. زیرا به‌دلیل کوچک بودن تفاوت جرم بین هر جفت ایزوتوپ رادیوژنیک، جفت‌های ایزوتوپی نمی‌توانند به‌وسیلهٔ فرایندهایی که با تکامل بلور - مذاب کنترل می‌شوند، تفریق یابند و پیوسته در وقایع تفریق که تشکیل و تکامل ماگماها را کنترل می‌نمایند، باقی می‌مانند. بنابراین طی ذوب بخشی، ماگما ویژگی ایزوتوپی ناحیهٔ منشأ را حفظ کرده و این ویژگی طی فرایندهای تبلور بخشی بعدی همچنان ثابت می‌ماند. لازم به‌ذکر است که این موضوع مشروط به دو نکتهٔ زیر است:

۱. ماگماهای نشأت گرفته از ناحیهٔ منشأ با بخش‌هایی از ماگماهای دیگر با ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی متفاوت مخلوط نشده باشند.

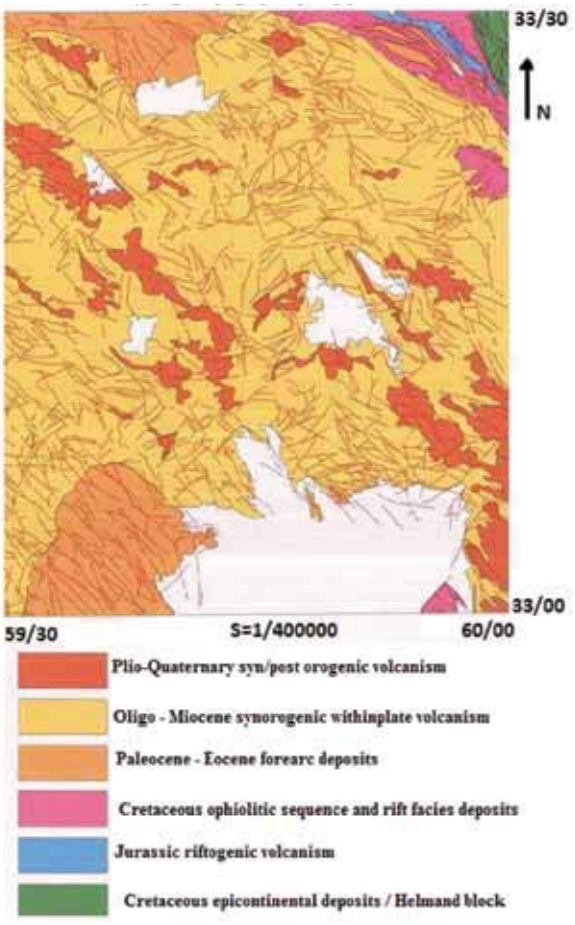
* نویسنده مرتبط Elahpour@pnu.ac.ir

۲. ماگماهـای اولیـه متأثر از سـنگ‌های مسـیر صعود و یا سـنگ‌های پوسـتهٔ قـاره‌ای آلایش نیافته باشـند (Rollinson،1997؛ Wilson،1989).

بـر این اسـاس بررسـی علائـم شـیمیایی و ایزوتوپی سـنگ‌های هر منطقه، محقق را قادر به شناسـایی ترکیب گوشـته و همین‌طور فرایندهایی چـون اختلاط، آلایش و هضم می‌نماید. برای مثال همهٔ بازالت‌های قاره‌ای و بیشتر بازالت‌های جزایر اقیانوسـی از عناصر کمیاب غنی‌شـدگی نشـان می‌دهند. این غنی‌شـدگی از عناصر ناسازگار اغلب متأثر از نفوذهای متاسوماتیک و یا تأثیرپذیری از مذاب‌های سـیلیکاته - کربناته بوده و یا با پذیرش اجزاء غنی‌شده مثل پوسته و یا لیتوسفر به‌وسیلهٔ استنوسفر و احجام گوشته‌ای فقیر شده توضیح داده می‌شود. ازجمله کاربردهای مطالعات ایزوتوپی تشخیص این‌گونه غنی‌شدگی‌هاست.

زمین‌شناسی منطقه

منطقهٔ مورد مطالعه بین '۳۰°۵۹ تا °۶۰ طول شـرقی و °۳۳ تا '۳۰°۳۳ عرض شـمالی و در بخش واسط بین پهنه جوش‌خوردهٔ سیسـتان در شـرق و پهنه لوت در غرب واقع شده اسـت. زمین‌شناسـی منطقه را می‌توان بازتاب تاریخ تکتونیکی شرق ایران دانست چنانکه بیش از دوسوم سطح منطقه زیرپوشش سنگ‌های آتشفشانی ترشیری تا پلیوکواترنر پهنه لوت اسـت و حضور نوار کمپلکس افیولیتی در شمال خاوری و بخش فیلیشی در جنوب و شمال باختری منطقه را می‌تـوان نتیجه رژیم تکتونیکی حاکم دانسـت. در بخش اعظم منطقه سنگ‌های آذرین خروجی حدواسط تا اسیدی قدیمی‌تر (عمدتاً پالئوژن) تشکیل‌دهنده بستر منطقه است و رخنمون‌های سنگ‌های آذرین خروجی بازیک (جوان‌تر) با روندی تابع روند کلی ساختاری حاکم بر منطقه (شمال غرب - جنوب شرق) درزمینه یادشده پراکندگی یافته‌اند (شکل۱).

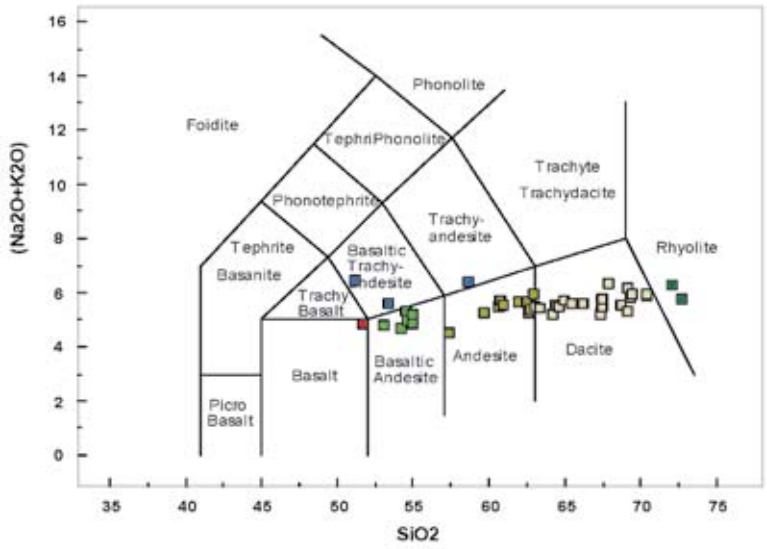


شکل ۱. شمای کلی از زمین‌شناسی چهارگوش سر چاه (اله پور، ۱۳۹۰)

سنگ‌شناسی

بر اســاس نمودار مجموع اکســیدهای پتاسیم و سدیم نســبت به سیلیس (شــکل۲) ســنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی را می‌توان به دو مجموعه بازی شامل بازالت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی و مجموعه حدواسط تا اسیدی شــامل آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت رده‌بندی کرد. بازالت‌ها و آندزیت‌هــای بازالتی به‌طور عام تیره‌رنگ و دارای بافت پرفیریک با مزوســتاز میکرولیتی تا شیشه‌ای - میکرولیتی هســتند. محتوی فنوکریســت در این سنگ‌ها اندک و مشــتمل بر الیوین، کلینوپیروکســن (دیوپســید، اوژیت دیوپســیدی و اوژیت) و پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط لابرادوریت و اکســیدهای آهن و تیتان است. بافت غالب در سنگ‌های مجموعه دوم (آندزیت‌ها، داسیت‌ها و ریولیت‌ها) که مشــتمل بر طیف گسترده‌ای از ســنگ‌های مزوکرات تا لوکوکراتند، پرفیریک اســت و فنوکریســت‌ها در مزوســتاز ریزبلور تا شیشــه‌ای پراکنده‌اند. فنوکریست‌های سنگ‌های آندزیتــی را به‌ترتیــب فراوانی ارتوپیروکســن (انســتاتیت)، کلینوپیروکســن (اوژیت)، پلاژیوکلاز (آندزین)، هورنبلند و اکســیدهای آهن و تیتان تشــکیل می‌دهند. بر این اساس اغلب سنگ‌های آندزیتی مورد بررسی پیروکسن آندزیت اند.

فراوان‌ترین فنوکریســت‌ها در ســنگ‌های داســیتی دارای بافت پرفیریک با مزوســتاز میکرولیتی - شیشه‌ای عبارتند از هورنبلنــد، بیوتیت و پلاژیوکلاز کــه با بلورهایی از جنس کوارتز، آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتان همراهی می‌شوند. بافت سنگ‌های لوکوکرات ریولیتی، پرفیریک با مزوستاز بارز شیشــه‌ای است و فراوان‌ترین فنوکریست‌ها در این سنگ‌ها مشــتمل بر بیوتیت، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم و کوارتز است که با بلورهای کوچک ایلمنیت و آپاتیت درون شیشه‌ی سیلیسی قرارگرفته‌اند.



شکل ۲. طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی موردبررسی بر اساس نمودار مجموع آلکالن در مقابل سیلیس (Le Maitre et al., 1989)

روش‌شناسی

مطالعات ایزوتوپــی Nd - Sr اهمیت ویژه‌ای در ردیابی پدیدهٔ آلایش ماگماها به‌وســیلهٔ ســنگ‌های پوستهٔ قاره‌ای دارد (Wilson،1989). در ایــن پژوهــش نظــر به عواملی مانند جایگاه ترکیبات ســنگی مختلف در بازسازی تاریخچه فرایندهای آتشفشانی منطقه، اعمال ضریب فراوانی و بحث انتخاب نمونه‌های با حداقل دگرسانی و حداکثر پارامترهای کیفی سنگ‌شناســی و نیــز محدودیت‌های ســخت‌افزاری نســبت‌های ایزوتوپــی Sr و Nd پانزده نمونه از ســنگ‌های آتشفشــانی گستره نقشه زمین‌شناسی سر چاه (شش نمونه از بازالت‌ها، موژه آریاها و آندزیت‌های بازالتی، شش نمونه از بنموریت‌ها و آندزیت‌ها، دو نمونه از داســیت‌ها و یک نمونه

ریولیتی)، مورداندازه‌گیری قرارگرفته و نتایج در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است (شش نمونهٔ اول در دانشگاه مونیخ آلمان و نه نمونهٔ دوم در پژوهشگاه وزوویان شهر ناپل ایتالیا). بدیهی است که در انتخاب نمونه سعی شده است با توجه به نقش سنگ‌های مختلف در بازســازی تحولات ماگمایی منطقه، نسبت‌های ایزوتوپی از ترکیبات مختلف تهیه شود.

جدول۱. ترکیب شیمیایی و موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه‌های مورد آزمایش قرارگرفته

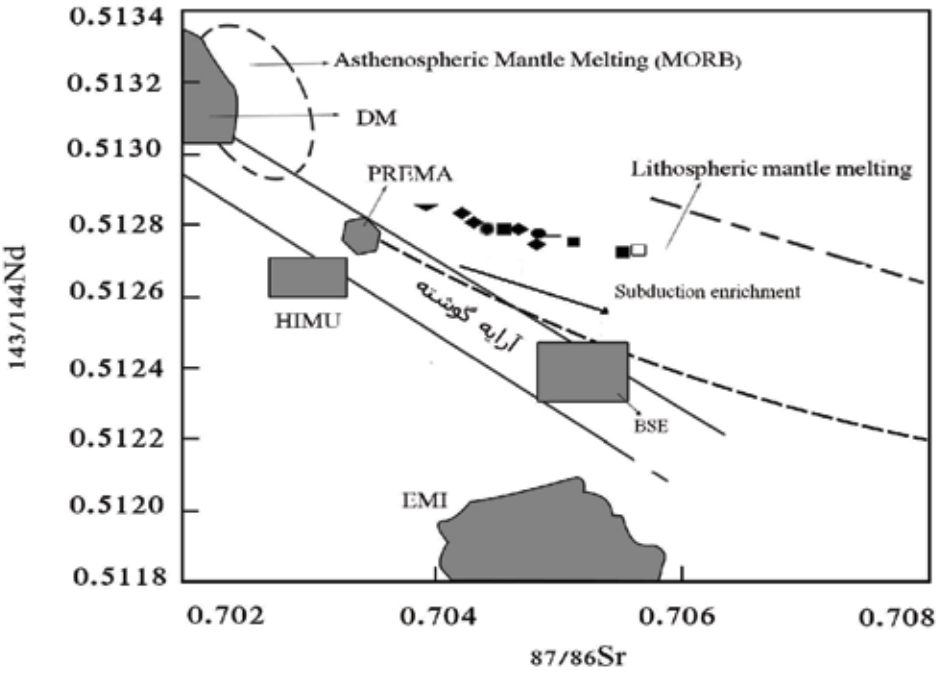
ردیف	کدنمونه	ترکیب شیمیایی	موقعیت جغرافیایی نمونه‌برداری
۱	۰۱۲۶۴	بازالت	ترانشه جاده سراب N33°/13′-E59°/55′
۲	۰۱۲۳۴	موژه آریت	بعدازدوراهی کبودان به سمت افین N33°/29′-E59°/46′
۳	۱۴۶۱۱	موژه آریت	جنوب شرق پایهان N33°/26′-E59°/48′
۴	۰۱۲۶۸	آندزیت بازالتی	شمال شرق خلف N33°/10′-E59°/55′
۵	۰۰۶۷۲	آندزیت بازالتی	جنوب آسو N33°/12′-E59°/29′
۶	۳۰۵۱۳	آندزیت بازالتی	خروجی شاخن به سمت مبارک‌آباد N33°/23′ -E59°/32′
۷	۳۰۵۱۰	بنموریت	مسیر ارتباطی واشان به شاخن N33°/19′.25 E59°/34′.038
۸	۰۳۰۵۹	آندزیت	حاشیه شرقی جاده واشان N33°/19′.2 - E59°/34′.05
۹	۲۷۵۶۲	آندزیت	بلندی تخت ملک، سرخنگ N33°/11′.5 - E59°/42′.4
۱۰	۱۴۶۱۰	آندزیت	جنوب شرق پایهان، حاشیه شرقی جاده N33°/26 E59°/49′
۱۱	۳۰۵۱۲	آندزیت	جنوب شاخن N33°/21′.7 - E59°/33′.188
۱۲	۰۱۴۶۳	آندزیت	جنوب شیرگ N33°/17′ - E59°/47′.28
۱۳	۰۱۴۶۷	داسیت	رودخانه زهان N33°/24′.8 - E59°/47′.6
۱۴	۰۱۳۶۷	داسیت	جنوب شرق نوغاب N33°/19′ - E59°/42′.05
۱۵	۰۱۳۶۵	ریولیت	شمال شرق خوان N33°/16′ - E59°/43′

جدول ۲. نتایج محاسبهٔ نسبت‌های ایزوتوپی سنگ‌های آتشفشانی گستره سر چاه

شماره نمونه	ترکیب شیمیایی	87Sr/86Sr	143Nd/144Nd
۱۴۶۳	آندزیت	0.704684	0.512851
۱۲۳۴	موژه آریت	0.703924	0.512852
۳۰۵۱۳	آندزیت بازالتی	0.704299	0.512792
۱۲۶۴	بازالت ساب آلکالن	0.704443	0.512791
۱۳۶۷	داسیت	0.705538	0.512725
۱۴۶۱۰	آندزیت	0.704828	0.512790
۱۲۶۸	آندزیت بازالتی	0.704207	0.512838
۱۳۶۵	ریولیت	0.705639	0.512731
۱۴۶۱۱	موژه آریت	0.704320	0.512792
۳۰۵۱۰	بنموریت	0.704559	0.512794
۱۴۶۷	داسیت	0.705127	0.512756
۳۰۵۹	آندزیت	0.704824	0.512746
۲۷۵۶۲	آندزیت	0.705078	0.512792
۶۷۲	آندزیت بازالتی	0.704828	0.512807
۳۰۵۱۲	آندزیت	0.704793	0.512782

بحث

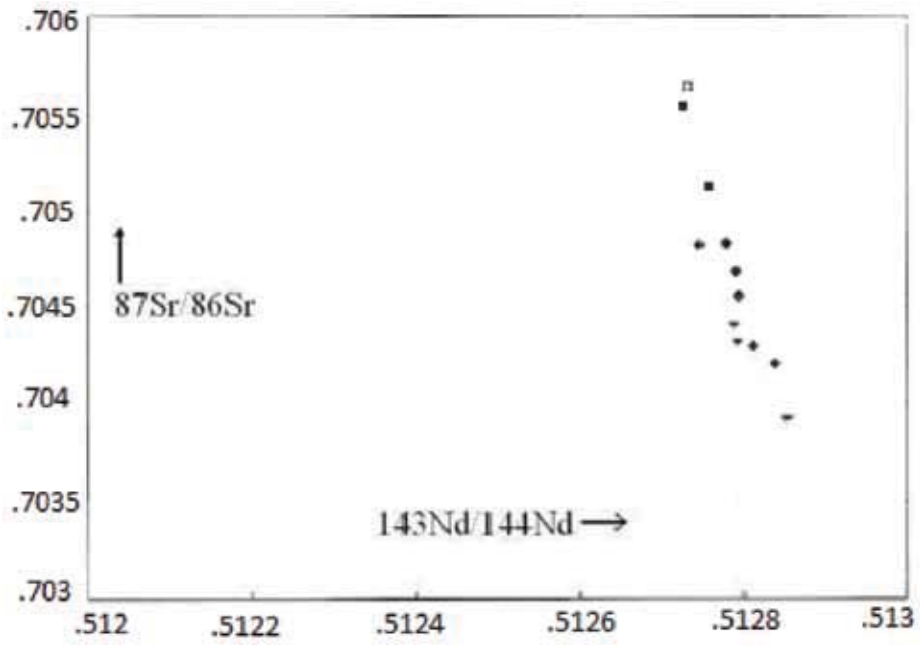
از آنجاکه در این نوشـــتار در نظر اســـت به‌صورت خاص بـــه کمک داده‌های ایزوتوپی ماهیـــت و تحولات مذاب والد مجموعه‌ای از ســـنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی قرار گیرد لازم اســـت در ابتدا با ذکر مـــواردی از مطالعات معطوف به نسبت‌های ایزوتوپی، نتایج ممکن‌الوصول ازاین‌گونه بررسی‌ها مشـــخص شـــود. Zindler و Hart (1986) با اســـتفاده از همبســـتگی ایزوتوپـــی $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابـــل $^{87}Sr/^{86}Sr$ (شکل۳) منابع اصلی گوشتهٔ اقیانوسی را نشان داده‌اند. در این نمودار که مقـــدار 87Sr/86Sr کل زمین را نیز می‌توان از آن نتیجه گرفت، منابع مختلف ماگمایی بر اســـاس مقدار نســـبت‌های ایزوتوپی رادیوژنیک شناسایی و معرفی‌شده‌اند. DM نشانگر گوشتهٔ تهی شده است که به‌وسیلهٔ نسبت بالای $^{143}Nd/^{144}Nd$ و نســـبت پایین $^{87}Sr/^{86}Sr$ مشخص می‌شود. گوشتهٔ تهی شده محیط مهمی برای نشأت گرفتن بسیاری از MORBs است.



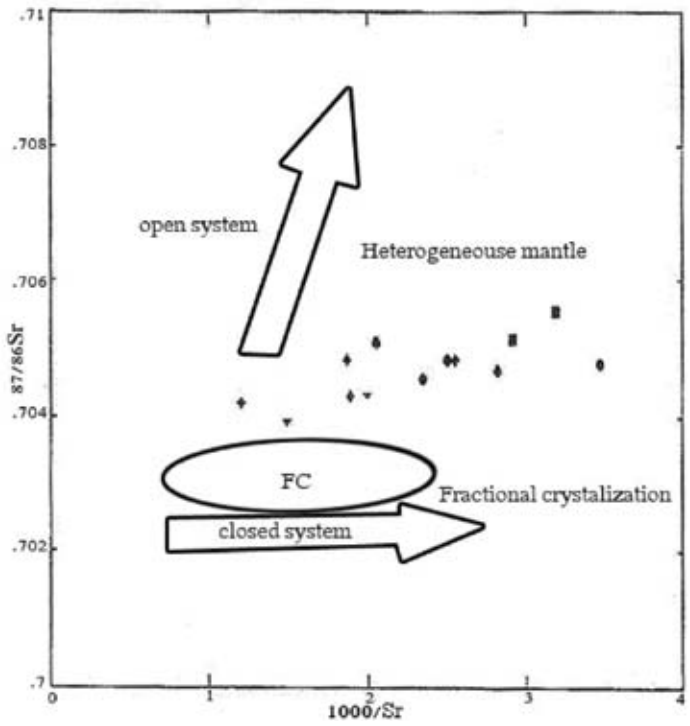
شـــکل۳. نمودار همبســـتگی ایزوتوپی $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابـــل $^{87}Sr/^{86}Sr$ (Zindler and Hart،1986)، ▼: موژه آریت و بازالت، ◆: آندزیت بازالتی، ●: آندزیت، ■ : داسیت، □: ریولیت

PREMA ترکیبی از گوشـــته اســـت که اغلب مشاهده می‌شـــود. فراوانی خیلی زیاد بازالت‌های جزایر اقیانوســـی، جزایر قوسی بین اقیانوســـی و مجموعه‌های بازالتی قاره‌ای بـــا نســـبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ = 5130/0 و $^{87}Sr/^{86}Sr$=7033/0 نشـــان می‌دهد که با این ویژگی ایزوتوپی یک تشکیل‌دهندهٔ گوشته‌ای قابل شناسایی است. HIMU نشانگر گوشتهٔ دارای نسبت بالای U/Pb است. این نماد نوعی از منشأ گوشته‌ای را نشان می‌دهد که مقدار U و Th آن نسبت به Pb افزایش یافته بدون آنکه افزایشـــی در Rb/Sr دیده شود. مدل‌هایی برای توضیح منشأ این منبع گوشته‌ای پیشنهاد شده‌اند که عبارتند از: اختلاط گوشته با پوستهٔ اقیانوسی دگرسان شده (که ممکن اســـت با آب دریا آلایش یافته باشد)، فرار سرب از بخشی از گوشته به داخل هستهٔ زمین و کاهش سرب (و روبیدیوم) به‌وسیلهٔ سیالات متاسوماتیک در گوشته. BSE برای نشان دادن منبع یکنواخت اولیه (کل زمین) به‌کاررفته است. این تشـــکیل‌دهندهٔ گوشـــته‌ای، دارای زمین‌شیمی ســـیلیکاته کلی (بدون هسته) اســـت. بعضی از بازالت‌های اقیانوســـی دارای نوعی ترکیب ایزوتوپی هســـتند که خیلی نزدیک به‌کل زمین است. EMI گوشتهٔ غنی شده با نسبت متوســـط $^{87}Sr/^{86}Sr$ و نســـبت پایین $^{143}Nd/^{144}Nd$ اســـت.

Zindler و Hart (1986) منشأ احتمالی این غنی‌شدگی را پدیدهٔ فرورانش می‌دانند که از طریق آن مواد پوسته‌ای به داخل گوشته تزریق می‌شوند. EMI با پوستهٔ تحتانی دارای قرابت (ازنظر ترکیب) است و ممکن است مواد بازیافت شدهٔ پوستهٔ تحتانی را نشان دهد. فرضیهٔ دیگری نیز وجود دارد که این غنی‌شدگی را متأثر از متاسوماتیسم گوشته می‌داند. Altunkaynakو Genc (2008) از این الگو برای مطالعه ولکانیسم قاره‌ای سنوزوئیک بیگا پنینسولا (شمال غرب آناتولی - ترکیه) استفاده کرده و سنگ‌های با نسبت La/Yb بیشتر از ۹ و نسبت‌های ایزوتوپی مشابه سنگ‌های آذرین خروجی گستره ۱/۱۰۰۰۰۰ سر چاه را منشأ گرفته از گوشتهٔ متأثر از فرورانش ورقهٔ لیتوسفری دانسته‌اند. Bianchini و همکاران (۲۰۰۸) مقادیر نسبت‌های $^{87}Sr/^{86}Sr$ بیشتر از ۰/۷۰۸ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ کمتر از ۰/۵۱۲۶ را نشانگر منبع پوستهٔ قاره‌ای دانسته‌اند. نظر به این‌که مقادیر نسبت‌های ایزوتوپی سنگ‌های منطقهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ ذوب گوشتهٔ لیتوسفری (شکل ۳) قرار داشته و تقریباً از روند نشان‌گر غنی‌شدگی از فرایند فرورانش تبعیت نموده و از طرف دیگر نسبت La/Yb آن‌ها بیش از ۹/۱۳ (در مقایسه با ولکانیک‌های شمال غرب آناتولی) می‌باشد، می‌توان ماگمای اولیهٔ آن‌ها را مذاب گوشته‌ای متأثر از فرورانش و یا متاسوماتیزه شده توسط مواد پوسته‌ای درنظرگرفت. در شکل ۴ نمودار تغییرات $^{87}Sr/^{86}Sr$/ در مقابل نوسانات $^{143}Nd/^{144}Nd$ ارائه شده است. منحنی تغییرات منفی و دارای شیب زیاد است و بیانگر آن است که سنگ‌های بازیک ماهیت گوشته‌ای دارند و از سوی دیگر سنگ‌های ریولیتی در حد قابل توجهی از مواد پوسته‌ای تأثیر پذیرفته‌اند. نمودار $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر Sr/0001 (شکل ۵) نمایانگر یک تکامل پتروژنتیک کمپلکس برای سنگ‌های مورد بررسی است. بر اساس این نمودار که توسط Benito و همکاران (۱۹۹۹) معرفی شده و Altunkaynak و Genc (2008) از آن برای بررسی ولکانیسم قاره‌ای سنوزوئیک شمال غرب آناتولی استفاده کرده‌اند، سیستم پتروژنتیک ولکانیسم گستره سر چاه را نمی‌توان به‌صورت مطلق از نوع باز یا بسته دانست بلکه فرایندی کمپلکس مشتمل بر تبلور تفریقی و آلودگی پوسته‌ای مسئول شکل‌گیری این مجموعهٔ سنگ‌شناسی بوده است. گرچه لازم به‌ذکر است که نقش آلایش پوسته‌ای مورد اشاره در ژنز سنگ‌های ریولیتی و متمایل به اسیدی چشمگیر بوده است.

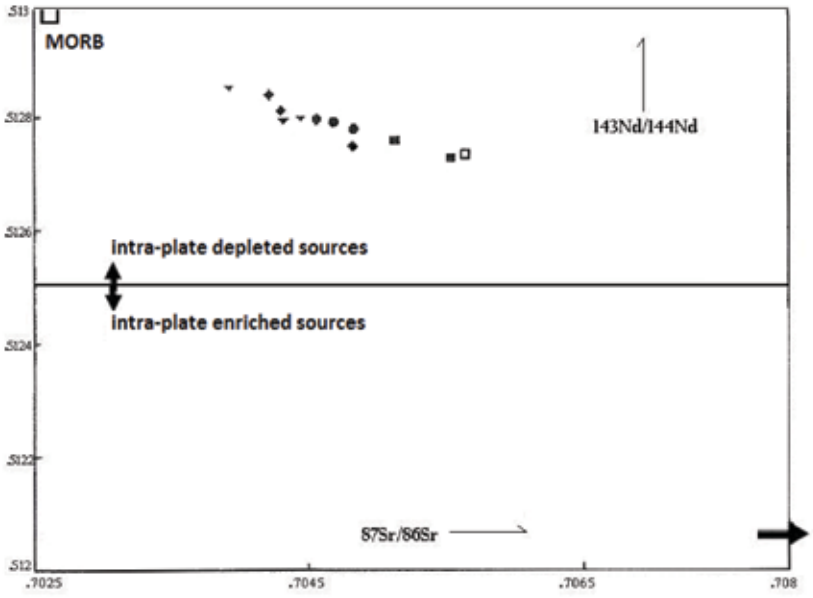


شکل۴. نمودار تغییرات $^{87}Sr/^{86}Sr$ در مقابل نوسانات $^{143}Nd/^{144}N$



شکل۵. نمودار $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر 1000/Sr (Benito et al.، 1999)

Benito et al.، (1999) از مفهوم گوشتهٔ ناهمگن برای توصیف ماهیت منشــأ در چنین وضعیتی استفاده کرده‌اند. Lucassen et al. (2007) از نمــودار $^{143}Nd/^{144}N$ در برابــر $^{87}Sr/^{86}Sr$ بــرای بررســی وضعیت منبع ماگماتیســم درون صفحه‌ای قبل از سنوزوئیک آند مرکزی (بین ۱۷ تا ۳۴ درجهٔ عرض جنوبی) استفاده کرده و منبع مولد ولکانیسم در این حاشــیهٔ فعال قاره‌ای را یک گوشتهٔ تهی شــده دانسته‌اند. شــکل۶ نشان می‌دهد که سنگ‌های آذرین خروجی منطقه نیز واجد یک منبع گوشته‌ای تهی شده می‌باشند.



شکل۶. نمودار $^{143}Nd/^{144}N$ در برابر $^{87}Sr/^{86}Sr$ (Lucassen et al،2007)

ایران‌نـژادی (۱۳۸۷) نمودار $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر نسـبت Zr/TiO2 را بـرای ردیابی فرایندهای مؤثر بر ماگمای مولد سـنگ‌های آذرین ترشـیری دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی (شـمال تهران) بکار برده است. استفاده از این الگو شکل۷ نشـان می‌دهد کـه تفریق بلـوری فرایند اصلـی در تکوین سنگ‌های آتشفشـانی مورد تحقیق اسـت و نقش آلودگی پوسـته‌ای را نیـز در ایـن رابطـه نباید ازنظر دور داشـت. Aldanmaz et al. (2000) از نمودارهـای $^{143}Nd/^{144}Nd$ در برابر درصد وزنی سـیلیس و $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر سـیلیس (به‌عنوان اندیـس تفریق) برای تعییـن پارامترهای مؤثر بر ماگمـای مولد ولکانیسـم پـس از برخورد ترشـیر پایانی و کواترنری منطقه غرب فلات آناتولی سـود جسته‌اند. از این نمودارها برای بررسـی پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی گستره سر چاه نیز استفاده کرده و در مطالعه حاضر این سنگ‌ها با گدازه‌های آلکالن میوسن پایانی و سنگ‌های آذرین خروجی کواترنری (آلکالن) آتشفشـان کولا (نشان داده شده با نماد TWAV) مقایسه شده است (شکل‌های ۸ و ۹). از مقایسه هردوی این نمودارها مشخص شود که:

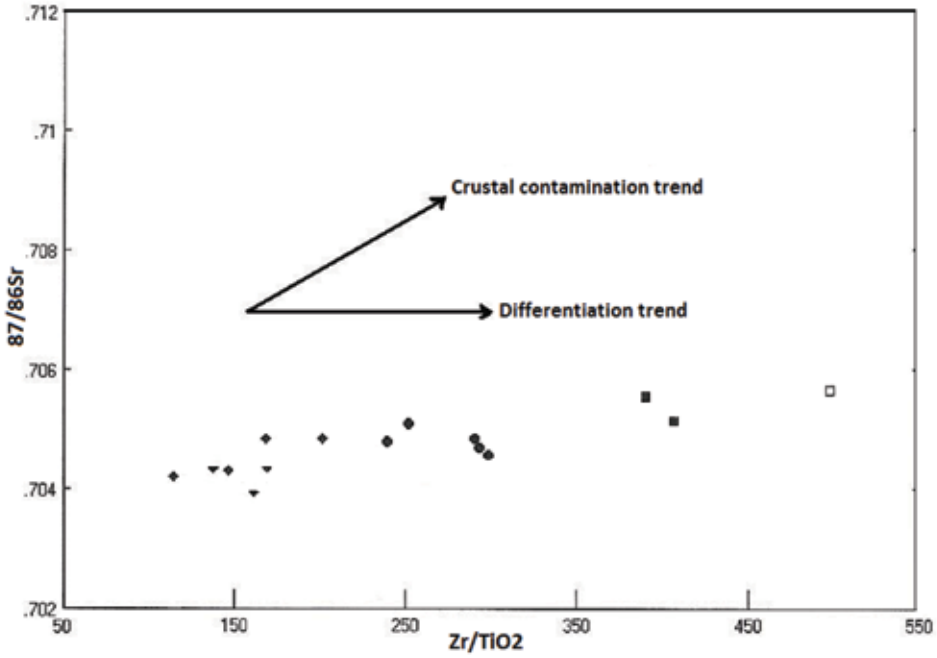
الف) تفریق فرایند اساسی در ژنز سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه می‌باشد.

ب) بین سـه طیف سـنگ‌های بازالتی، آندزیتـی و انواع داسیتی- ریولیتی ناپیوستگی و انقطاع مشاهده می‌شود.

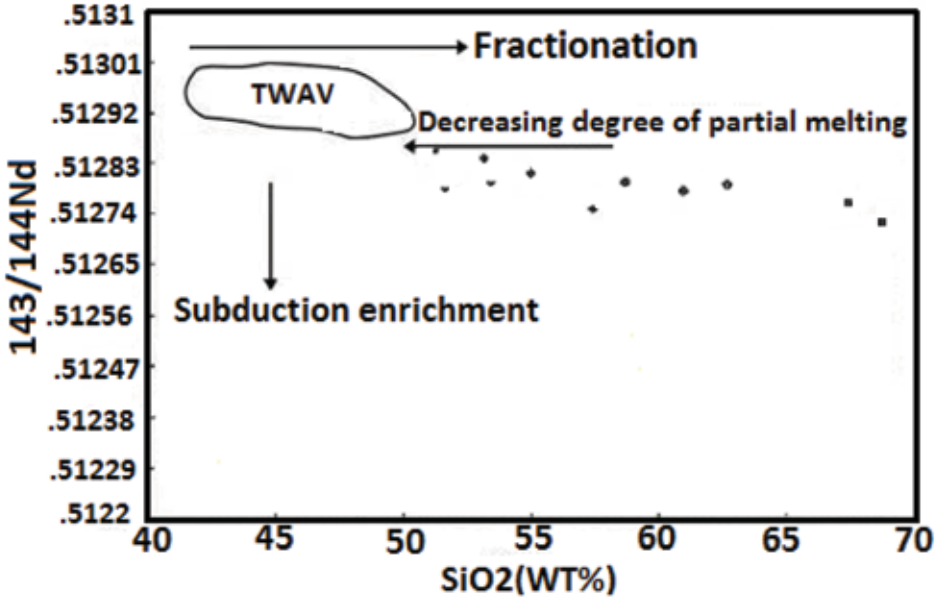
ج) از سمت سنگ‌های ریولیتی به‌طرف ترکیبات بازالتی با کاهش درجهٔ ذوب بخشـی همراه می‌باشد. این موضوع بروز شاخصهٔ آلکالن در سنگ‌های بازیک منطقه را توجیه کند.

د) سنگ‌های داسـیتی و ریولیتی از سایر سنگ‌ها به‌دلیل دارا بـودن $^{87}Sr/^{86}Sr$ بالاتـر و $^{143}Nd/^{144}Nd$ پایین‌تـر به‌گونه‌ای شاخص متمایز شوند (نمونهٔ ریولیتی به‌دلیل دارا بودن سیلیس بیش از ۷۰٪ نشان داده نشده است). این موضوع نشـانهٔ تأثیر پذیرفتن بیشتر این سنگ‌ها از پدیدهٔ آلایش پوسته‌ای است.

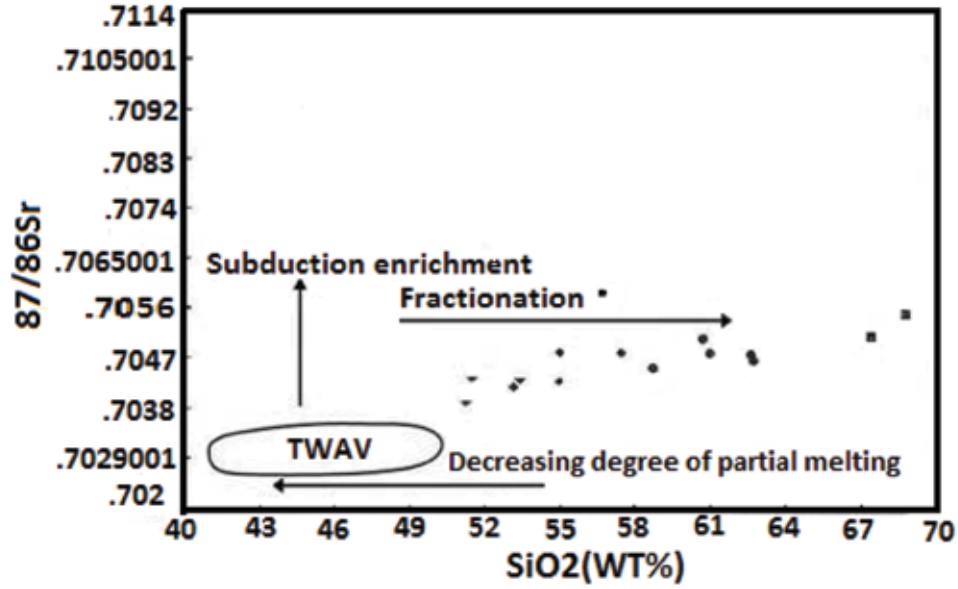
ه) سنگ‌های گستره‌ی سر چاه نسبت به انواع مورد بررسی از غرب آناتولی، از غنی‌شـدگی متأثر از فرورانش بیشتر تأثیـر پذیرفته‌اند. ایـن موضوع را ممکن اسـت بتوان این‌گونه تفسیر کرد که منبع گوشته‌ای مولد سنگ‌های خروجـی منطقهٔ مورد مطالعه غنی‌شـدگی متأثر از یک فرایند فرورانش قدیمی را تجربه کرده است.



شکل ۷ . نمودار $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر نسبت Zr/TiO_2 (Irannezhadi، 2008)



شکل ۸. نمودار $^{143}Nd/^{144}Nd$ در برابر درصد وزنی سیلیس (Aldanmaz et al.،2000)



شکل۹. نمودار $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر سیلیس (Aldanmaz et al.، 2000)

نتیجه‌گیری

از قیاس با نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{143}Nd/^{144}Nd$ در مقابل $^{87}Sr/^{86}Sr$ ارائه شده توسط Zindler و Hart (1986) نتیجه شود که سنگ‌های آذرین خروجی مورد مطالعه منشأ گرفته از گوشتهٔ متأثر از فرورانش ورقهٔ لیتوسفری و یا متاسوماتیزه شده توسط مواد پوسته‌ای می‌باشند. بعلاوه نمودار تغییرات $^{87}Sr/^{86}Sr$ در مقابل نوسانات $^{143}Nd/^{144}Nd$ بیانگر آن است که سنگ‌های بازیک ماهیت گوشته‌ای دارند و از سوی دیگر سنگ‌های ریولیتی در حد قابل توجهی از مواد پوسته‌ای تأثیر پذیرفته‌اند. بنابراین سیستم پتروژنتیک ولکانیسم گستره سر چاه را نمی‌توان به‌صورت مطلق از نوع باز یا بسته دانست بلکه فرایندی کمپلکس مشتمل بر تبلور

تفریقی و آلودگی پوسته‌ای مسئول شکل‌گیری این مجموعهٔ سنگ‌شناسی بوده است، گرچه تفریق بلوری را باید فرایند اصلی در تکوین سنگ‌های آتشفشانی منطقهٔ مورد تحقیق دانست و یادآور شد که نقش آلایش پوسته‌ای مورد اشاره در ژنز سنگ‌های ریولیتی و متمایل به اسیدی چشمگیر بوده است. این سنگ‌ها با دارا بودن $^{87}Sr/^{86}Sr$ بالاتر و $^{143}Nd/^{144}Nd$ پایین‌تر به‌گونه‌ای شاخص متمایز شوند. نمودار Lucassen et al. (2007) بر مبنای تغییرات نسبت‌های ایزوتوپی نیز نشان می‌دهد که این سنگ‌ها واجد یک منبع گوشته‌ای تهی شده می‌باشند. از نمودارهای $^{143}Nd/^{144}Nd$ در برابر درصد وزنی سیلیس و $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر سیلیس (Aldanmaz et al. 2000) این نتایج تکمیلی قابل اقتباس است که الف) بین سه طیف سنگ‌های بازالتی، آندزیتی و انواع داسیتی - ریولیتی ناپیوستگی و انقطاع مشاهده می‌شود.

ب) از سمت سنگ‌های ریولیتی به‌طرف ترکیبات بازالتی با کاهش درجهٔ ذوب بخشی همراه می‌باشد. این موضوع بروز شاخصهٔ آلکالن در سنگ‌های بازیک منطقه را توجیه کند.

ج) منبع گوشته‌ای مولد سنگ‌های خروجی منطقهٔ مورد مطالعه غنی‌شدگی متأثر از یک فرایند فرورانش قدیمی را تجربه کرده است.

Khorasani (1982) نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ آندزیت‌ها و داسیت‌های نزدیک بیرجند از قبیل مارکوه را بین ۰/۷۰۵۹ تا ۰/۷۰۴۷ گزارش کرده (که متوسط آن ۰/۷۰۵۳ بوده) و این نسبت را ناشی از آلایش گستردهٔ پوسته‌ای ماگمای والد آن‌ها دانسته است. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ داسیت‌ها و ریولیت‌های شمال شرق بیرجند از ۰/۷۰۵۱۲۷ تا ۰/۷۰۵۶۳۹ در تغییر بوده و میانگین این نسبت برای آندزیت‌ها ۰/۷۰۴۸۴۱ می‌باشد، عددی که باضخامت محاسبه شده برای پوسته در گسترهٔ شرق ایران (۴۵ تا ۴۸ کیلومتر، Dehghani and Makris، 1983) همخوانی دارد.

سپاسگزاری

لازم است از زحمات و همکاری بی‌شائبه پروفسور دکتر ثریا هویس آسبیشلر استاد دپارتمان مینرالوژی، پترولوژی و ژئوشیمی دانشگاه مونیخ آلمان و دکتر ایلنیا آرینزو متصدی آزمایشگاه وزوویان شهر ناپل ایتالیا برای مساعدت در انجام آنالیزها تشکر شود.

منابع

- ایران‌نژادی، م. ر.، ۱۳۸۷، پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی (شمال تهران)، رساله دکتری پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

- اله پور، ا.، ۱۳۹۰، پتروژنز و ارزیابی رابطه ژنتیک ولکانیک‌های ترشیری و بازالت‌های جوان منطقه شمال شرق بیرجند، رساله دکتری پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۶۵.

- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G. 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post - collision volcanism in western Anatolia (Turkey). Journal of Volcanology and geothermal research 102: 67 - 95.

- Altunkaynak, S., Can Genc, S. 2008. Petrogenesis and time - progressive evolution of the Cenozoic continental volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey). Lithos 102: 316 - 340.

- Benito, R., Lopez Ruiz, J., Cebria, J.M., Hertogen, J., Doblas, M., Oyarzun, R., Demaiff, D. 1999. Sr and O isotope constraints on source and crustal contamination in the high-K calc-alkaline and shoshonitic Neogene volcanic rocks of SE Spain. Lithos 46: 773-802.

- Bianchini, G., Beccaluva, L., and Siena, F. 2008. Post-collisional and intraplate Cenozoic volcanism in the rifted Apennines (Adriatic domain). Lithos 101:125-140

- Blackwell scientific publication, 193.

- Dehghani, G. and Makris, J. 1983. The gravity field and crustal structure of Iran, Institute of Geophysic, University of Hamburg.

- Khorasani, R. 1982. Petrographie und geochemie spaetkretazisch- alttertiaerer laven und

subvulcanite der noerdlichen lut (Ost Iran). Dissertation universitaet Humburg (in German).

- Le Maitre, R. W. et al. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms.

- Lucassen, F., Franz, G., Romer, R.L., Schultz, F., Dulski, P. and Wemmer, K. 2007. Pre - Cenozoic intra - plate magmatism along the central Andes (17-34 S): Composition of the mantle at an active margin. Lithos 99: 312 - 338.

- Rollinson, 1997. Using geological data, evolution, presentation and interpretation. John wiley and sons, 346.

- Wilson, M. 1989. Igneous petrogenesis. Unwin hyman Publication (London), 446.

- Zindler, A., Hart, S. 1986. Chemical geodynamics. Annual review of earth and planetary sciences 14: 493 - 571.