

تعیین ماهیت و تحولات مذاب والد سنگ‌های آتشفشانی گستره نقشه زمین‌شناسی سرچاه (خراسان جنوبی) بر مبنای داده‌های ایزوتوپی

اسماعیل اله پور^(۱)، 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 سرچاه در استان خراسان جنوبی و واقع بین $30^{\circ}59'$ تا 60° طول شرقی و 33° تا $33^{\circ}33'$ 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 قرار گرفته است.

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

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

مقدمه

تفریق که تشکیل و تکامل ماگماها را کنترل می‌نمایند، باقی می‌مانند. بنابراین طی ذوب بخشی، ماگما ویژگی ایزوتوپی ناحیه منشأ را حفظ کرده و این ویژگی طی فرایندهای تبلور بخشی بعدی همچنان ثابت می‌ماند. لازم به ذکر است که این موضوع مشروط به دو نکته زیر است:

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

مطالعه نسبت‌های ایزوتوپی در ماگماتیسم از آن جهت حائز اهمیت است که این نسبت‌ها قادرند ویژگی‌های ناحیه منشأ ماگما را مشخص کنند. زیرا به دلیل کوچک بودن تفاوت جرم بین هر جفت ایزوتوپ رادیوژنیک، جفت‌های ایزوتوپی نمی‌توانند به‌وسیله فرایندهایی که با تکامل بلور - مذاب کنترل می‌شوند، تفریق یابند و پیوسته در وقایع

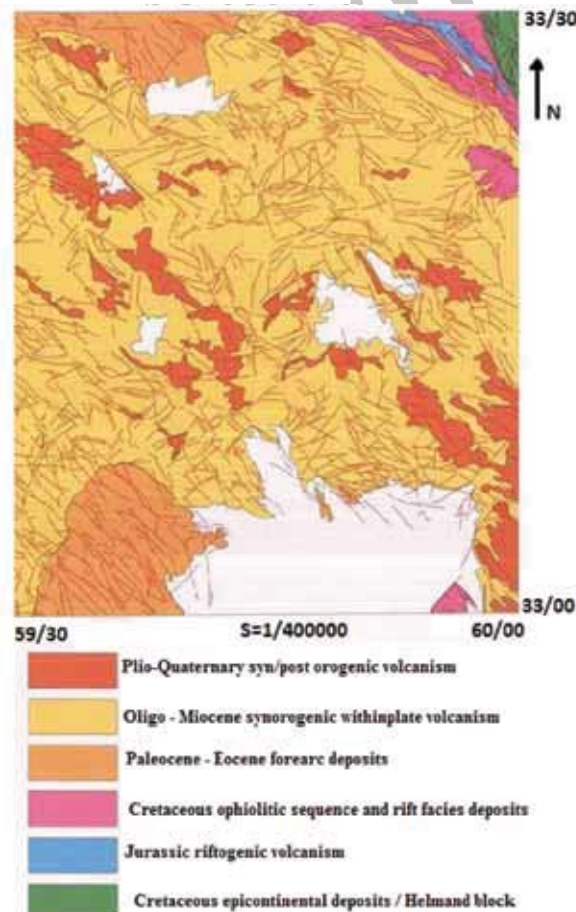
* نویسنده مرتبط Elahpour@pnu.ac.ir

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بین $59^{\circ}30'$ تا 60° طول شرقی و 33° تا $33^{\circ}30'$ عرض شمالی و در بخش واسط بین پهنه جوش خورده سیستان در شرق و پهنه لوت در غرب واقع شده است. زمین‌شناسی منطقه را می‌توان بازتاب تاریخ تکتونیکی شرق ایران دانست چنانکه بیش از دوسوم سطح منطقه زیرپوشش سنگ‌های آتشفشانی ترشیری تا پلیوکواترن پهنه لوت است و حضور نوار کمپلکس افیولیتی در شمال خاوری و بخش فیلیشی در جنوب و شمال باختری منطقه را می‌توان نتیجه رژیم تکتونیکی حاکم دانست. 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 (شکل ۱).

۲. ماگماهای اولیه متأثر از سنگ‌های مسیر صعود و یا سنگ‌های پوسته قاره‌ای آلیش نیافته باشند (Rollinson, 1997; Wilson, 1989).

بر این اساس بررسی علائم شیمیایی و ایزوتوپی سنگ‌های هر منطقه، محقق را قادر به شناسایی ترکیب گوشته و همین‌طور فرایندهایی چون اختلاط، آلیش و هضم می‌نماید. برای مثال همه بازالتهای قاره‌ای و بیشتر بازالتهای جزایر اقیانوسی از عناصر کمیاب غنی‌شدگی نشان می‌دهند. این غنی‌شدگی از عناصر ناسازگار اغلب متأثر از نفوذهای متاسوماتیک و یا تأثیرپذیری از مذاب‌های سیلیکاته - کربناته بوده و یا با پذیرش اجزاء غنی‌شده مثل پوسته و یا لیتوسفر به‌وسیله استنوسفر و احجام گوشته‌ای فقیر شده توضیح داده می‌شود. از جمله کاربردهای مطالعات ایزوتوپی تشخیص این‌گونه غنی‌شدگی هاست.

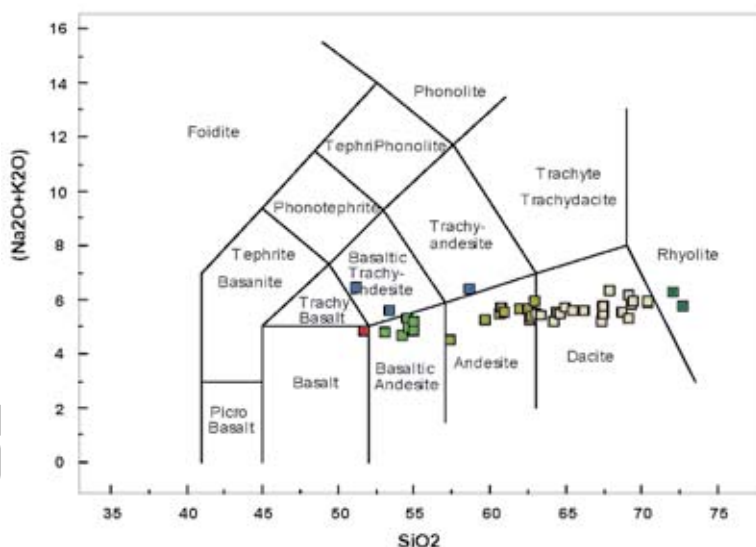


شکل ۱. شمای کلی از زمین‌شناسی چهارگوش سرچاه (اله پور، ۱۳۹۰)

سنگ‌شناسی

ریزبلور تا شیشه‌ای پراکنده‌اند. فنوکریست‌های سنگ‌های آندزیتی را به ترتیب فراوانی ارتوپروکسن (انستاتیت)، کلینوپروکسن (اوژیت)، پلاژیوکلاز (آندزین)، هورنبلند و اکسیدهای آهن و تیتان تشکیل می‌دهند. بر این اساس اغلب سنگ‌های آندزیتی مورد بررسی پیروکسن آندزیت‌اند. فراوان‌ترین فنوکریست‌ها در سنگ‌های داسیتی دارای بافت پرفیریک با مزوستاز میکروولیتی - شیشه‌ای عبارتند از هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز که با بلورهایی از جنس کوارتز، آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتان همراهی می‌شوند. بافت سنگ‌های لوکوکرات ریولیتی، پرفیریک با مزوستاز بارز شیشه‌ای است و فراوان‌ترین فنوکریست‌ها در این سنگ‌ها مشتمل بر بیوتیت، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم و کوارتز است که با بلورهای کوچک ایلمنیت و آپاتیت درون شیشه‌ی سیلیسی قرار گرفته‌اند.

بر اساس نمودار مجموع اکسیدهای پتاسیم و سدیم نسبت به سیلیس (شکل ۲) سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی را می‌توان به دو مجموعه بازی شامل بازالت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی و مجموعه حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت رده‌بندی کرد. بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی به‌طور عام تیره‌رنگ و دارای بافت پرفیریک با مزوستاز میکروولیتی تا شیشه‌ای - میکروولیتی هستند. محتوی فنوکریست در این سنگ‌ها اندک و مشتمل بر الیوین، کلینوپروکسن (دیوپسید، اوژیت دیوپسیدی و اوژیت) و پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط لابرادوریت و اکسیدهای آهن و تیتان است. بافت غالب در سنگ‌های مجموعه دوم (آندزیت‌ها، داسیت‌ها و ریولیت‌ها) که مشتمل بر طیف گسترده‌ای از سنگ‌های مزوکرات تا لوکوکراتند، پرفیریک است و فنوکریست‌ها در مزوستاز



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

انتخاب نمونه‌های با حداقل دگرسانی و حداکثر پارامترهای کیفی سنگ‌شناسی و نیز محدودیت‌های سخت‌افزاری نسبت‌های ایزوتوپی Sr و Nd پانزده نمونه از سنگ‌های آتشفشانی گستره نقشه زمین‌شناسی سرچاه (شش نمونه از بازالت‌ها، موژه آریاها و آندزیت‌های بازالتی، شش نمونه از بنموریت‌ها و آندزیت‌ها، دو نمونه از داسیت‌ها و یک نمونه

روش‌شناسی

مطالعات ایزوتوپی Sr - Nd اهمیت ویژه‌ای در ردیابی پدیده‌ی آلیش ماگماها به‌وسیله‌ی سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای دارد (Wilson, 1989). در این پژوهش نظر به عواملی مانند جایگاه ترکیبات سنگی مختلف در بازسازی تاریخچه فرایندهای آتشفشانی منطقه، اعمال ضریب فراوانی و بحث

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

جدول ۱. ترکیب شیمیایی و موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته

ردیف	کد نمونه	ترکیب شیمیایی	موقعیت جغرافیایی نمونه برداری
۱	۰۱۲۶۴	بازالت	ترانشه جاده سراب N33°/13'-E59°/55'
۲	۰۱۲۳۴	موژه آریٹ	بعد از دوراهی کبودان به سمت افین N33°/29'-E59°/46'
۳	۱۴۶۱۱	موژه آریٹ	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 و اشان به شاخن N33°/19'.25 E59°/34'.038
۸	۰۳۰۵۹	آندزیت	حاشیه شرقی جاده و اشان 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'

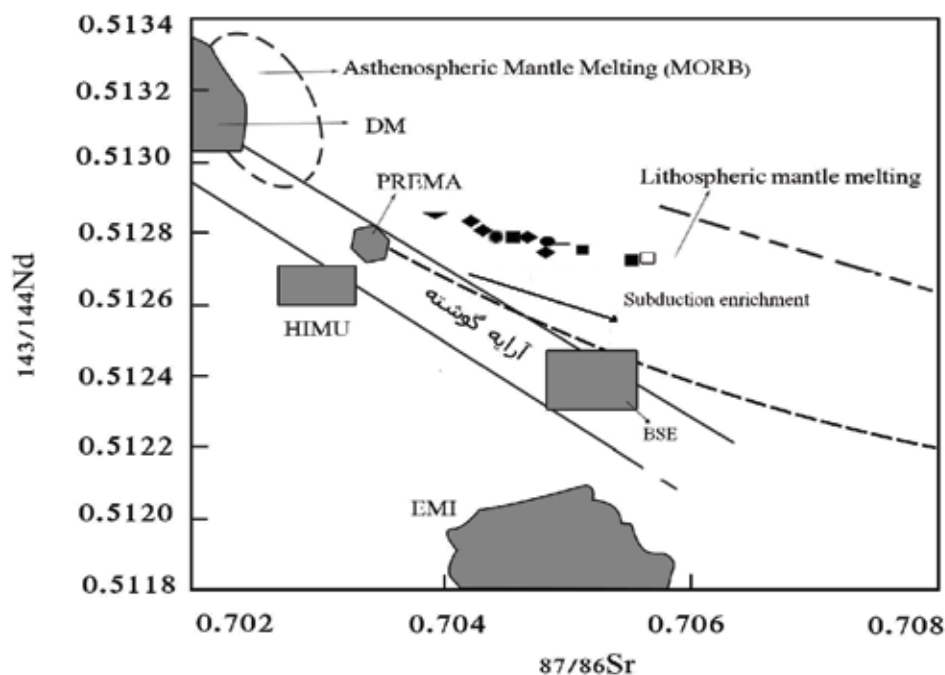
جدول ۲. نتایج محاسبه نسبت‌های ایزوتوپی سنگ‌های آتشفشانی گستره سر چاه

شماره نمونه	ترکیب شیمیایی	87Sr/86Sr	143Nd/144Nd
۱۴۶۳	آندزیت	0.704684	0.512851
۱۲۳۴	موژه آریٹ	0.703924	0.512852
۳۰۵۱۳	آندزیت بازالتی	0.704299	0.512792
۱۲۶۴	بازالت ساب آکالین	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 آریٹ	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

(شکل ۳) منابع اصلی گوشته اقیانوسی را نشان داده‌اند. در این نمودار که مقدار $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ کل زمین را نیز می‌توان از آن نتیجه گرفت، منابع مختلف ماگمایی بر اساس مقدار نسبت‌های ایزوتوپی رادیوژنیک شناسایی و معرفی شده‌اند. DM نشانگر گوشته تهی شده است که به وسیله نسبت بالای $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ و نسبت پایین $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ مشخص می‌شود. گوشته تهی شده محیط مهمی برای نشأت گرفتن بسیاری از MORBs است.

از آنجاکه در این نوشتار در نظر است به صورت خاص به کمک داده‌های ایزوتوپی ماهیت و تحولات مذاب والد مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی قرار گیرد لازم است در ابتدا با ذکر مواردی از مطالعات معطوف به نسبت‌های ایزوتوپی، نتایج ممکن‌الوصول از این گونه بررسی‌ها مشخص شود. Zindler و Hart (1986) با استفاده از همبستگی ایزوتوپی $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در مقابل $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$



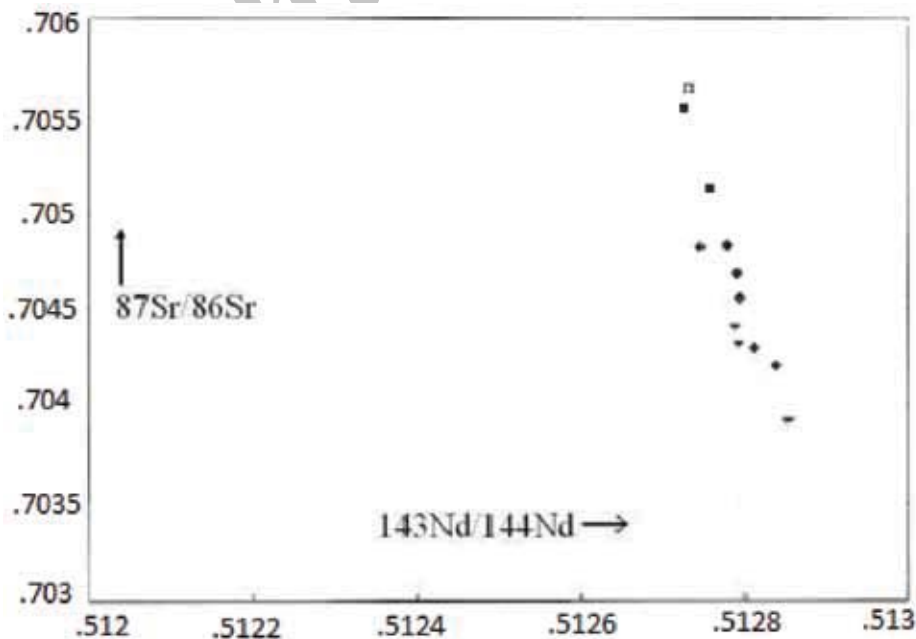
شکل ۳. نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در مقابل $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Zindler and Hart, 1986)، \blacktriangledown : موزه آریت و بازالت، \blacklozenge : آندزیت بازالتی، \bullet : آندزیت، \blacksquare : داسیت، \square : ریولیت

عبارتند از: اختلاط گوشته با پوسته اقیانوسی دگرسان شده (که ممکن است با آب دریا آرایش یافته باشد)، فرار سرب از بخشی از گوشته به داخل هسته زمین و کاهش سرب (و روبیدیوم) به وسیله سیالات متاسوماتیک در گوشته. BSE برای نشان دادن منبع یکنواخت اولیه (کل زمین) به کاررفته است. این تشکیل دهنده گوشته‌ای، دارای زمین‌شیمی سیلیکاته کلی (بدون هسته) است. بعضی از بازالت‌های اقیانوسی دارای نوعی ترکیب ایزوتوپی هستند که خیلی نزدیک به کل زمین است. EMI گوشته غنی شده با نسبت متوسط $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و نسبت پایین $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ است.

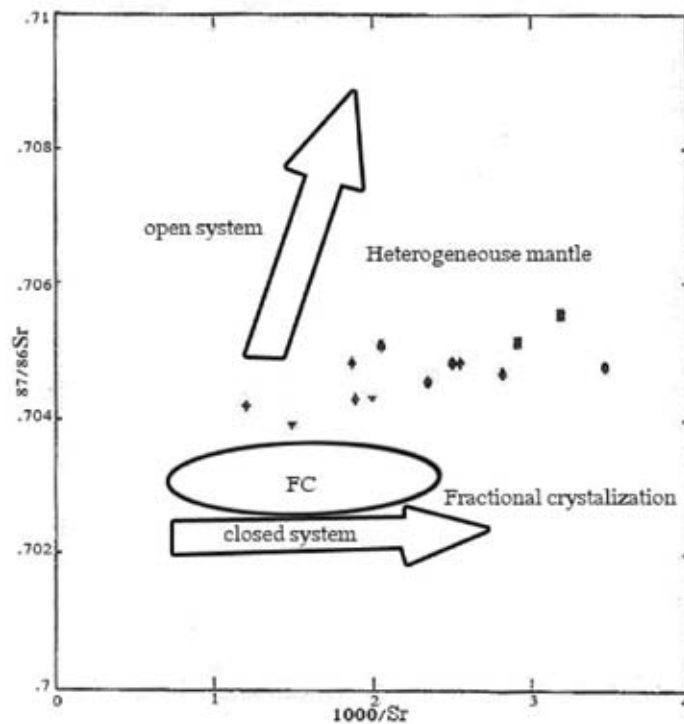
PREMA ترکیبی از گوشته است که اغلب مشاهده می‌شود. فراوانی خیلی زیاد بازالت‌های جزایر اقیانوسی، جزایر قوسی بین اقیانوسی و مجموعه‌های بازالتی قاره‌ای با نسبت $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 5130/0$ و $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 7033/0$ نشان می‌دهد که با این ویژگی ایزوتوپی یک تشکیل دهنده گوشته‌ای قابل شناسایی است. HIMU نشانگر گوشته 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 افزایشی در Rb/Sr دیده شود. مدل‌هایی برای توضیح منشأ این منبع گوشته‌ای پیشنهاد شده‌اند که

ماگمای اولیه آن‌ها را مذاب گوشته‌ای متأثر از فرورانش و یا متاسوماتیزه شده توسط مواد پوسته‌ای در نظر گرفت. در شکل ۴ نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در مقابل نوسانات $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 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 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر $\text{Sr}/0001$ (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 به صورت مطلق از نوع باز یا بسته دانست بلکه فرایندی کمپلکس مشتمل بر تبلور تفریقی و آلودگی پوسته‌ای مسئول شکل‌گیری این مجموعه سنگ‌شناسی بوده است. گرچه لازم به ذکر است که نقش آلیش پوسته‌ای مورد اشاره در ژنز سنگ‌های ریولیتی و متمایل به اسیدی چشمگیر بوده است.

Zindler و Hart (1986) منشأ احتمالی این غنی‌شدگی را پدیده فرورانش می‌دانند که از طریق آن مواد پوسته‌ای به داخل گوشته تزریق می‌شوند. EMI با پوسته تحتانی دارای قرابت (از نظر ترکیب) است و ممکن است مواد باز یافت شده پوسته تحتانی را نشان دهد. فرضیه دیگری نیز وجود دارد که این غنی‌شدگی را متأثر از متاسوماتیسم گوشته می‌داند. Altunkaynak و Genc (2008) از این الگو برای مطالعه ولکانیسم قاره‌ای سنوزوئیک بیگای پنینسولا (شمال غرب آناتولی - ترکیه) استفاده کرده و سنگ‌های با نسبت La/Yb بیشتر از ۹ و نسبت‌های ایزوتوپی مشابه سنگ‌های آذرین خروجی گستره $1/100000$ سرچاه را منشأ گرفته از گوشته متأثر از فرورانش ورقه لیتوسفری دانسته‌اند. Bianchini و همکاران (۲۰۰۸) مقادیر نسبت‌های $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ بیشتر از 0.708 و $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ کمتر از 0.5126 را نشانگر منبع پوسته قاره‌ای دانسته‌اند. نظر به این که مقادیر نسبت‌های ایزوتوپی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده ذوب گوشته 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 $9/13$ (در مقایسه با ولکانیک‌های شمال غرب آناتولی) می‌باشد، می‌توان

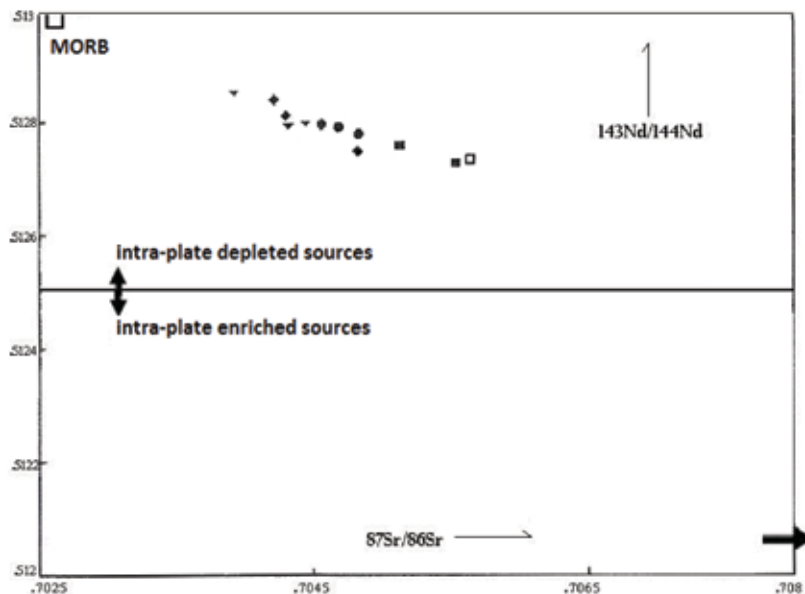


شکل ۴. نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در مقابل نوسانات $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$



شکل ۵. نمودار $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر $1000/\text{Sr}$ (Benito et al., 1999)

Benito et al. (1999) از مفهوم گوشته ناهمگن برای توضیح ماهیت منشأ در چنین وضعیتی استفاده کرده‌اند. شکل ۶ نشان می‌دهد که سنگ‌های آذرین خروجی منطقه نیز واجد یک منبع گوشته‌ای تهی شده می‌باشند. (Lucassen et al. (2007) از نمودار $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در برابر $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ برای بررسی وضعیت منبع ماگماتیسم درون صفحه‌ای قبل از سنوزوئیک آند مرکزی (بین ۱۷ تا ۳۴ درجه



شکل ۶. نمودار $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در برابر $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Lucassen et al., 2007)

ایران‌نژادی (۱۳۸۷) نمودار $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر نسبت Zr/TiO_2 را برای ردیابی فرایندهای مؤثر بر ماگمای مولد سنگ‌های آذرین ترشیری دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی (شمال تهران) بکار برده است. استفاده از این الگو شکل ۷ نشان می‌دهد که تفریق بلوری فرایند اصلی در تکوین سنگ‌های آتشفشانی مورد تحقیق است و نقش آلودگی پوسته‌ای را نیز در این رابطه نباید از نظر دور داشت. (Aldanmaz et al. 2000) از نمودارهای $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در برابر درصد وزنی سیلیس و $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر سیلیس (به‌عنوان اندیس تفریق) برای تعیین پارامترهای مؤثر بر ماگمای مولد ولکانیسم پس از برخورد ترشیر پایانی و کواترنری منطقه غرب فلات آتاتولی سود جسته‌اند. از این نمودارها برای بررسی پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی گستره سرچاه نیز استفاده کرده و در مطالعه حاضر این سنگ‌ها با گدازه‌های آکالن میوسن پایانی و سنگ‌های آذرین خروجی کواترنری (آکالن) آتشفشان کولا (نشان داده شده با نماد TWAV) مقایسه شده است (شکل‌های ۸ و ۹). از مقایسه هردوی این نمودارها مشخص شود که:

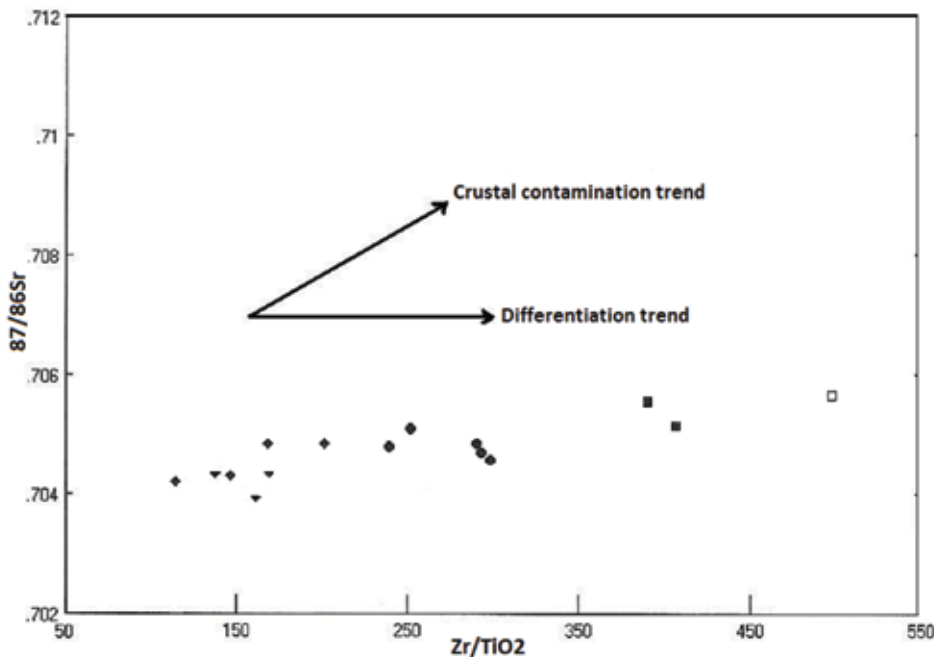
الف) تفریق فرایند اساسی در ژنز سنگ‌های آتشفشانی مورد

مطالعه می‌باشد.

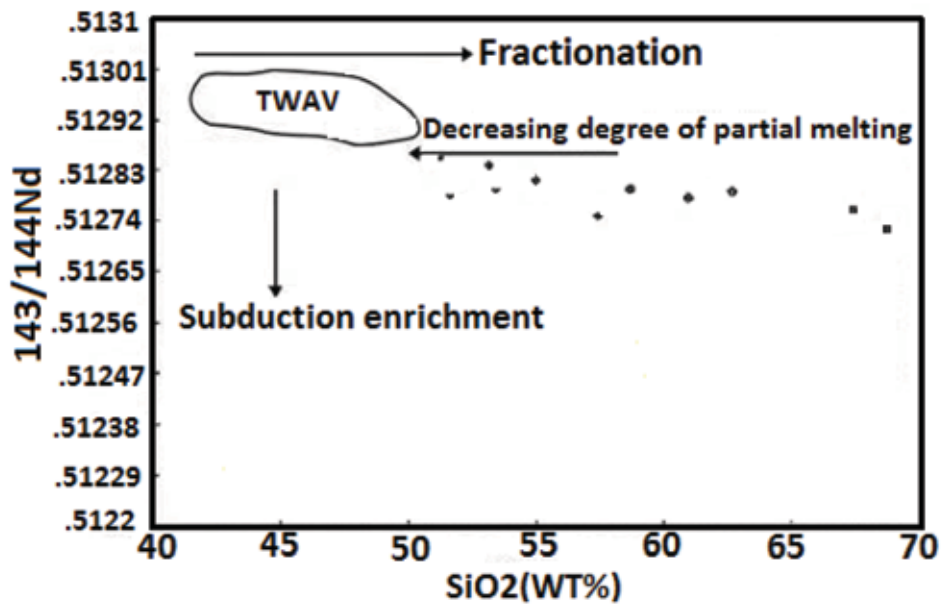
ب) بین سه طیف سنگ‌های بازالتی، آندزیتی و انواع داسیتی - ریولیتی ناپیوستگی و انقطاع مشاهده می‌شود. ج) از سمت سنگ‌های ریولیتی به طرف ترکیبات بازالتی با کاهش درجه ذوب بخشی همراه می‌باشد. این موضوع بروز شاخصه آکالن در سنگ‌های بازیک منطقه را توجیه کند.

د) سنگ‌های داسیتی و ریولیتی از سایر سنگ‌ها به دلیل دارا بودن $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ بالاتر و $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ پایین‌تر به گونه‌ای شاخص متمایز شوند (نمونه ریولیتی به دلیل دارا بودن سیلیس بیش از ۷۰٪ نشان داده نشده است). این موضوع نشانه تأثیر پذیرفتن بیشتر این سنگ‌ها از پدیده آلاینش پوسته‌ای است.

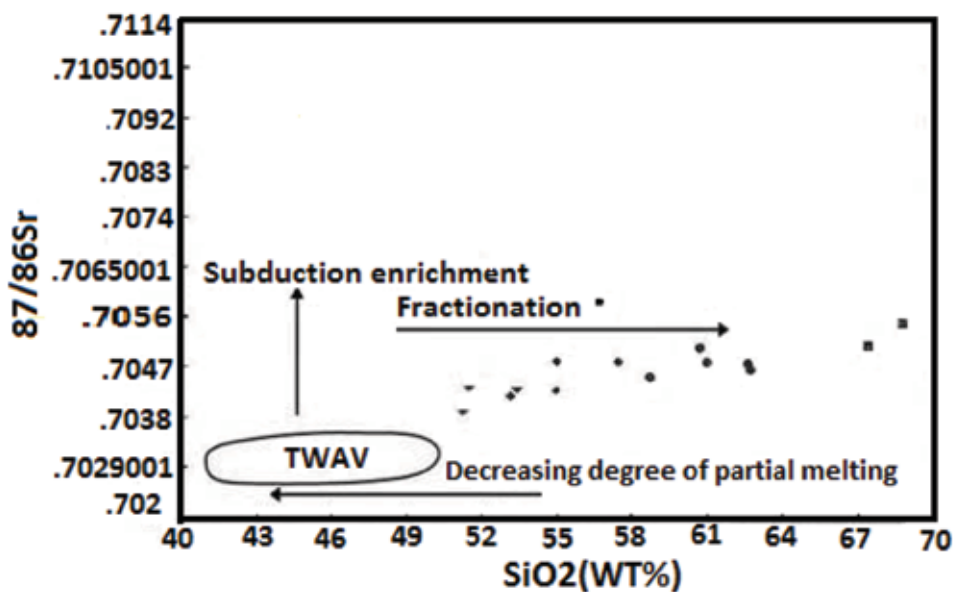
ه) سنگ‌های گستره‌ی سرچاه نسبت به انواع مورد بررسی از غرب آتاتولی، از غنی‌شدگی متأثر از فرورانش بیشتر تأثیر پذیرفته‌اند. این موضوع را ممکن است بتوان این‌گونه تفسیر کرد که منبع گوشته‌ای مولد سنگ‌های خروجی منطقه مورد مطالعه غنی‌شدگی متأثر از یک فرایند فرورانش قدیمی را تجربه کرده است.



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



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



شکل ۹. نمودار $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در برابر سیلیس (Aldanmaz et al., 2000)

نتیجه‌گیری

نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در مقابل نوسانات $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 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 به صورت مطلق از نوع باز یا بسته دانست بلکه فرایندی کمپلکس مشتمل بر تبلور

از قیاس با نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در مقابل $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ارائه شده توسط Zindler و Hart (1986) نتیجه شود که سنگ‌های آذرین خروجی مورد مطالعه منشأ گرفته از گوشته متأثر از فروانش ورقه لیتوسفری و یا متاسوماتیزه شده توسط مواد پوسته‌ای می‌باشند. بعلاوه

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

تفریقی و آلودگی پوسته‌ای مسئول شکل‌گیری این مجموعه سنگ‌شناسی بوده است، گرچه تفریق بلوری را باید فرایند اصلی در تکوین سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد تحقیق دانست و یادآور شد که نقش آلیش پوسته‌ای مورد اشاره در رزن سنگ‌های ریولیتی و متمایل به اسیدی چشمگیر بوده است. این سنگ‌ها با دارا بودن $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ بالاتر و $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ پایین‌تر به گونه‌ای 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 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ در برابر درصد وزنی سیلیس و $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 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 به طرف ترکیبات بازالتی با کاهش درجه ذوب بخشی همراه می‌باشد. این موضوع بروز شاخصه آکالن در سنگ‌های بازیک منطقه را توجیه کند.

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

Khorasani (1982) نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 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 آلیش گسترده پوسته‌ای ماگمای والد آن‌ها دانسته است. نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 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 با ضخامت محاسبه شده برای پوسته در گستره شرق ایران (۴۵ تا ۴۸ کیلومتر، Dehghani and Makris, 1983) همخوانی دارد.

سپاسگزاری

لازم است از زحمات و همکاری بی‌شائبه پروفیسور دکتر ثریا هویس آسبیشلر استاد دپارتمان مینرالوژی، پترولوژی و

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.

Archive of SID