

## ویژگی‌های ژئوشیمیایی بازالت‌های پیرامون اردبیل

علی درویش‌زاده<sup>۱\*</sup>، یوسف وثیق<sup>۲</sup>

۱- استاد پترولوژی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

۲- استادیار پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: am\_darvishzadeh@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۳/۲۷، پذیرش مقاله: ۹۱/۸/۱۰

### چکیده

در این مقاله ژئوشیمی سه ناحیه از بازالت‌های اطراف اردبیل، شامل منطقه حیران، رضی و صائین بررسی شده است که دو منطقه اول از نوع زبرداری با ساختار گدازه‌های بالشی به سن کرتاسه پسین- ترشیری پیشین و نمونه‌های منطقه صائین به سن کواترنری از نوع هوایی با ویژگی پلکانی از نوع تراپ (trapp) هستند. بازالت-های مناطق حیران و رضی از نوع اولیه و در محدوده گوشته سنگ‌کراهی زیر قاره‌ای و منطقه صائین از نوع تحول‌یافته هستند و منشأ عمیق‌تری نسبت به دو نمونه قبلی دارند. نمونه‌ها از نظر نسبت‌های ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در قلمرو OIB و از نظر نسبت ایزوتوپی Nd-Sr در قلمرو گوشته‌ای قرار دارند و در عین حال آغستگی شدیدی با مواد پوسته‌ای دارند.

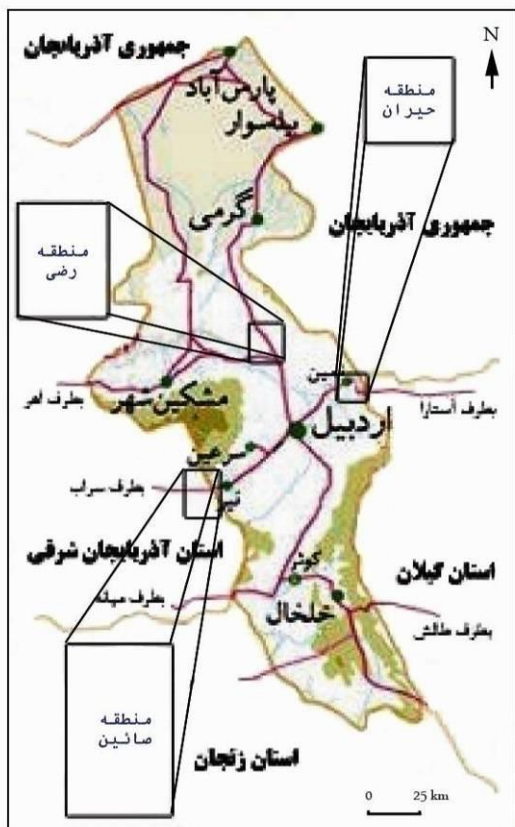
واژه‌های کلیدی: اردبیل، بازالت، گدازه بالشی، تراپ، گوشته سنگ‌کراهی، آغستگی

### ۱- مقدمه

سنگ‌های بازالتی سه منطقه از حوالی اردبیل شامل مناطق حیران، رضی و صائین با موقعیت جغرافیایی و سنگ‌شناسی متفاوت به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفت:

#### ۱-۱- منطقه حیران

این منطقه در ۳۰ کیلومتری شمال شرق اردبیل و ۵۰ کیلومتری غرب آستارا (شکل ۱) بین طول جغرافیایی  $48^{\circ} 26'$  تا  $48^{\circ} 36'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $38^{\circ} 23'$  تا  $38^{\circ} 31'$  شمالی قرار دارد. سنگ‌های بازالتی این ناحیه به سن کرتاسه پسین- ائوسن (وثیق، ۱۳۸۸) با گسترش تقریبی ۲۲۰ کیلومتر مربع ارتفاعات حاشیه‌ای دریای خزر را تشکیل می‌دهد که بخشی از آن به گردنه حیران معروف است. سنگ‌های این ناحیه عمدتاً از نوع بازالت‌های زبرداری با ساختار بالشی (شکل ۲ و ۳) و دایک‌های دیابازی است که در واقع بیانگر بخش بیرونی یک مجموعه افیولیتی است که در طول ارتفاعات حاشیه دریای خزر از چالوس (سازند چالوس؛ Cartier, 1971) تا املش - لاهیجان (صلواتی، ۱۳۸۷)، اسالم و گردنه حیران تا نمین (وثیق، ۱۳۸۸) قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه.

و رحیم زاده، ۱۳۶۷) با گسترش تقریبی ۲۷۰ کیلومتر مربع، جزو انتهایی ترین بخش البرز غربی به شمار می آید. رضی بزرگترین آبادی این ناحیه است که در شمال منطقه مورد مطالعه قرار دارد. سنگ‌های این ناحیه عمدتاً از بازالت‌های زیر دریایی با ساختار بالشی (شکل ۴) و به میزان محدود بازالت‌های قاره‌ای تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد گدازه‌های زیر دریایی این منطقه دنباله گدازه‌های منطقه حیران است که به سمت شمال غرب گسترش یافته است و می‌توان آنرا در ادامه مجموعه اقیولیتی حاشیه جنوبی دریای خزر در نظر گرفت (وثیق، ۱۳۹۱). سنگ‌های منطقه رضی از نظر ویژگی‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی شباهت زیادی به نمونه‌های منطقه حیران دارند. الگوی تغییرات عناصر کمیاب در سنگ‌های این دو منطقه نیز مشابه است و احتمال هم‌ماگما بودن آن‌ها و دارا بودن منشأ مشابه را نشان می‌دهد. مشابهت سنی این سنگ‌ها نیز این احتمال را تقویت می‌کند. تفاوت سنگ‌های این دو منطقه را صرفاً می‌توان در فراوانی نسبی درشت بلورهای الیوین در سنگ‌های منطقه رضی نسبت به منطقه حیران و آغستگی بیشتر گدازه‌های منطقه حیران با سنگ‌های پوسته نسبت به منطقه رضی عنوان کرد (وثیق، ۱۳۹۱).



شکل ۴- مقطع عرضی یک ساختار بالشی و شکستگی‌های انقباضی شعاعی شکل و هم‌مرکز در هسته آن در منطقه رضی.

### ۱-۳- منطقه صائین

این منطقه در ۴۵ کیلومتری جنوب غرب اردبیل و ۵۰ کیلومتری شرق سراب (شکل ۱) بین طول جغرافیایی ۴۹°، ۴۷° تا ۵۹°، ۴۷° شرقی و عرض جغرافیایی ۵۴°، ۳۷° تا ۰۶°، ۳۸° شمالی قرار دارد. سنگ‌های بازالتی این ناحیه به سن کواترنری (خدا بنده و امینی فضل، ۱۳۷۶) با گسترش تقریبی ۳۲۰ کیلومتر مربع ارتفاعات جنوبی دامنه سیلان را تشکیل می‌دهد که بخشی از آن به نام گردنه صائین معروف است. سنگ‌های این ناحیه از نوع بازالت‌های قاره‌ای با گسترش پلکانی (تراپ) (شکل ۵) بوده و حفرات فراوان، شرایط فوران هوایی حاکم بر خروج آن‌ها را نشان می‌دهد. این گدازه‌ها بر روی گدازه‌های سیلان قرار داشته و این موضوع سن کواترنری آن‌ها

در زیر میکروسکوپ، بافت عمومی این سنگ‌ها پورفیری است. خمیره اغلب میکروولیتی بوده و گاه حاوی مقدار اندکی شیشه است. کلینوپیروکسن، درشت بلور اصلی این سنگ‌هاست و پلاژیوکلاز و الیوین از مقادیر کمتری برخوردار هستند. سنگ‌های منطقه حیران از نظر شیمیایی اغلب در محدوده بازالت‌ها قرار دارند و تمایل آشکاری به سمت بازالت‌های قلیایی در آن‌ها مشاهده می‌شود. این سنگ‌ها در نمودارهای مختلف ژئوشیمیایی به سری قلیایی وابسته بوده و پتاسیم بالایی دارند. مشخصات ژئوشیمیایی گدازه‌های بازالتی حیران نشان‌دهنده اختصاصات بازالت‌های پشت کمانی بوده و احتمالاً در یک پشته در حال گسترش در حوضه حاشیه‌ای و در بالای یک زون فرورانش به وجود آمده‌اند (وثیق، ۱۳۹۱).



شکل ۲- رخنمون قابل توجه گدازه‌های بالشی در منطقه حیران، ابعاد ساختارهای بالشی با شکل گوشه چپ عکس قابل مقایسه بوده و اندازه ساختارهای بالشی در افق‌های پایین درشت‌تر از بخش‌های بالا هستند (نگاه به سمت شمال شرق).



شکل ۳- یک ساختار بالشی لوله‌ای بزرگ به طول بیش از ۴ متر در منطقه حیران با سطح چین و شکن دار و شیب‌دار، نشانه شیب بستر دریا در زمان خروج گدازه.

### ۱-۲- منطقه رضی

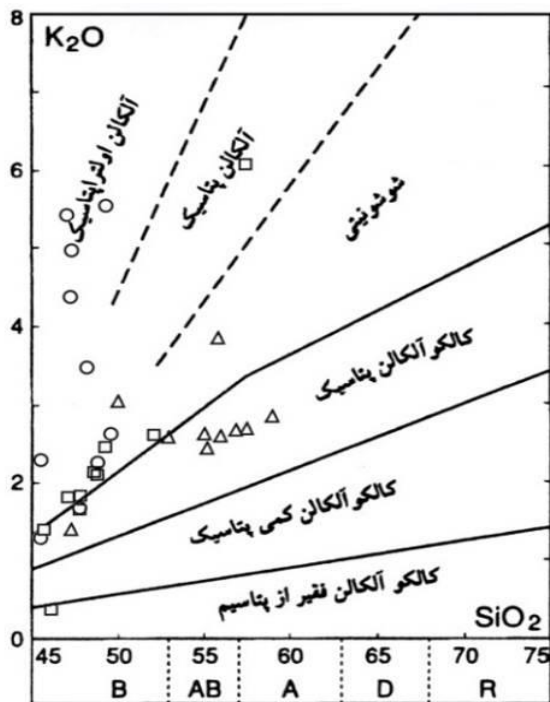
این منطقه در ۳۵ کیلومتری شمال اردبیل و ۶۰ کیلومتری جنوب گرمی (شکل ۱) و بین طول جغرافیایی ۰۰°، ۴۸° تا ۱۰°، ۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸°، ۳۸° تا ۳۸°، ۳۸° شمالی قرار دارد. سنگ‌های بازالتی این ناحیه به سن پالئوسن-ائوسن (باباخانی

احتمالاً در حوضه‌های کششی محلی pull-apart و در نتیجه کشش متعاقب حرکات فشاری، در امتداد گسل‌های امتدادلفز به سطح زمین راه یافته است (وثیق، ۱۳۹۱).

#### ۱-۴- ویژگی‌های ژئوشیمیایی بازالت‌های پیرامون اردبیل

این ویژگی‌ها به اختصار عبارتند از:

- نمونه‌های مناطق سه‌گانه در قلمرو بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی و جزء سری شوشونیتی و کلسیمی-قلیایی پتاسیمی (Maury, 1993) قرار می‌گیرند (شکل ۷).



شکل ۷- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در رده‌بندی ساده شده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی کمانی (Maury, 1993). B: بازالت، AB: آندزیت بازالتی، A: آندزیت، D: داسیت، R: ریولیت (نمونه‌های منطقه حیران با علامت دایره، منطقه رضی با مربع و منطقه صائین با مثلث مشخص هستند).

- از نظر مقادیر سیلیس، نمونه‌های منطقه حیران و رضی از نوع فقیر از سیلیس (کمتر از ۵۳ درصد) اما نمونه‌های منطقه صائین از نوع سیلیس‌دار (حدود ۵۵ درصد) به شمار می‌آیند.

- از نظر مقدار MgO، نمونه‌های حیران و رضی از نوع بازالت‌های اولیه (حدود ۸ تا ۱۲ درصد MgO) در حالی که بازالت‌های منطقه صائین از نوع تحول‌یافته (بین ۵ تا ۸ درصد MgO) به شمار می‌آیند.

را تأیید می‌کند. درزیر میکروسکوپ بافت عمومی این سنگ‌ها پورفیری و متمایل به آفیریک است. خمیره اغلب آن‌ها میکروولیتی و شیشه‌ای است. بیشتر درشت‌بلورها در حد درشت‌بلورهای کوچک هستند. کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز، درشت‌بلورهای اصلی این سنگ‌ها هستند و الیون نیز به صورت معدود دیده می‌شود (شکل ۶).



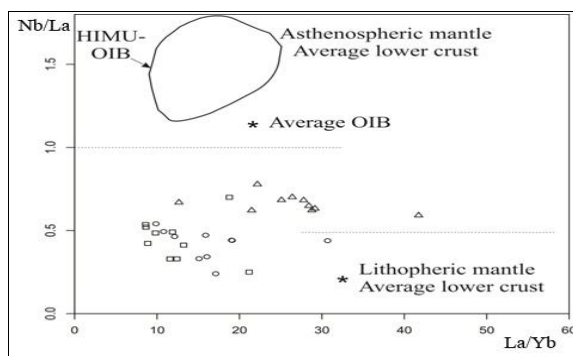
شکل ۵- منظره پلکانی از فوران هوایی گدازه‌های بازالتی کواترنری همراه با لایه‌های پالتوسل در حد فاصل بین لایه‌ها در منطقه صائین (نگاه به سمت شمال غرب).



شکل ۶- الیون‌های خودریخت و شش‌گوش تقریباً سالم در خمیره میکروولیتی (XPL).

سنگ‌های منطقه صائین از نظر ترکیب شیمیایی اغلب در محدوده بازالت و آندزیت بازالتی قرار داشته و تمایل آشکاری به سمت تراکی آندزیت‌ها دارند. این سنگ‌ها برخلاف ظاهر تیره‌ای که آن‌ها را جزو سنگ‌های بازی قرار می‌دهد، ترکیب حدواسط دارند. ماگمای سازنده سنگ‌های منطقه صائین به سری قلیایی وابسته بوده و روند تفریق و تبلور در آن‌ها با توجه به نمودارهای ژئوشیمیایی، حالت منظم و عادی دارد در حالی که در سنگ‌های مربوط به مناطق حیران و رضی، پراکندگی‌ها و بی‌نظمی‌های قابل توجهی مشاهده می‌شود. عدم آغستگی پوسته‌ای قابل توجه در گدازه‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های منطقه صائین، احتمالاً به دلیل صعود سریع ماگمای تشکیل‌دهنده آن‌ها از شکستگی‌های عمیق به سطح زمین است. اختصاصات ژئوشیمیایی گدازه‌های بازالتی صائین نشان‌دهنده اختصاصات ژئوشیمیایی بازالت‌های درون‌قاره‌ای بوده و

مناطق حیران و رضی ۰/۴۱۴ است که نشان‌دهنده منشأ گوشته سنگ‌کره‌ای ماگمای سازنده این سنگ‌هاست. از نظر منشأ، گدازه‌های منطقه صائین به گوشته سنگ‌کره‌ای وابسته بوده و این نسبت، حاکی از آن است که گدازه‌های این منطقه از عمق بیشتری نسبت به گدازه‌های دو منطقه حیران و رضی ناشی شده‌اند. نسبت  $Nb/La$  در گدازه‌های این منطقه به طور میانگین ۰/۶۸۲ است که اندکی بیش از مقادیر گدازه‌های حاصل از منبع گوشته سنگ‌کره‌ای (حداکثر ۰/۵) است. این موضوع نشانه عمق قابل توجه شکستگی‌های تشکیل‌یافته در منطقه است. ایجاد شکستگی‌های عمیق در صعود سریع گدازه و عدم آغستگی قابل توجه آن با سنگ‌های پوسته مرتبط بوده و مقادیر اندک درشت‌بلور و فراوانی ریزبلور و شیشه در خمیره سنگ، مبین این ادعاست. ضمن این که صعود سریع ماگما و کاهش فشار در شرایط آدیباتیک سبب خوردگی گوشه‌ها و حاشیه درشت‌بلورها نیز شده است.

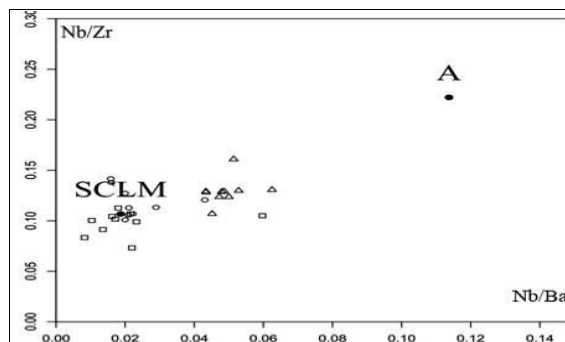


شکل ۹- نمودار تفکیک منشأ ماگما (Chen & Arculus, 1995 و fitton et al, 1991). نمونه‌های مناطق حیران و رضی در محدوده گوشته سنگ‌کره‌ای واقع شده‌اند، اما نمونه‌های منطقه صائین منشأ عمیق‌تری دارند (علائم مطابق شکل ۷ است).

## ۲- ژئوشیمی ایزوتوپی

اصولاً ترکیب ایزوتوپی هر بازالت نشان‌دهنده منبع گوشته‌ای است که از آن مشتق شده باشد به شرط آن که مذاب مورد نظر تحت تأثیر دگرسانی سطحی یا هیدروترمال قرار نگرفته و همچنین ماگمای مربوطه در هنگام بالا آمدن با توقف در اتاق‌های ماگمایی با سنگ‌های مجاور وارد واکنش نشده و تغییرات ژئوشیمیایی (آغستگی) تحمل نکرده باشد (Jutean & Maury, 1997). درویش‌زاده، (۱۳۸۱). براین اساس شش نمونه از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه (از هر منطقه دو نمونه) در آزمایشگاه دانشگاه کارلتون در کانادا به روش  $Sr-Nd$  و  $Rb-Sr$  تجزیه شدند. خلاصه نتایج این تجزیه در جدول ۱ و ۲ و به صورت کامل در پایان مقاله آمده است.

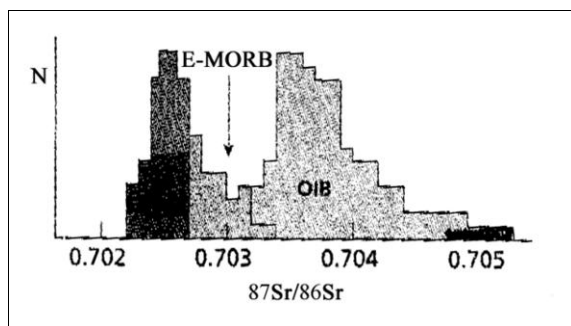
- در نمودار (Hooper et al (1993) که بر مبنای نسبت  $Nb/Ba$  در برابر  $Nb/Zr$  به منظور تفکیک منشأ سست‌کره‌ای (A) و گوشته سنگ‌کره‌ای زیر قاره (SCLM) رسم شده است بیشتر سنگ‌های مناطق حیران و رضی در محدوده گوشته سنگ‌کره‌ای زیر قاره قرار گرفته‌اند. نمونه‌های منطقه صائین به صورت مشخصی از نمونه‌های دو منطقه دیگر جدا افتاده‌اند و نسبت به آن‌ها منشأ عمیق‌تری را نشان می‌دهند (شکل ۸).



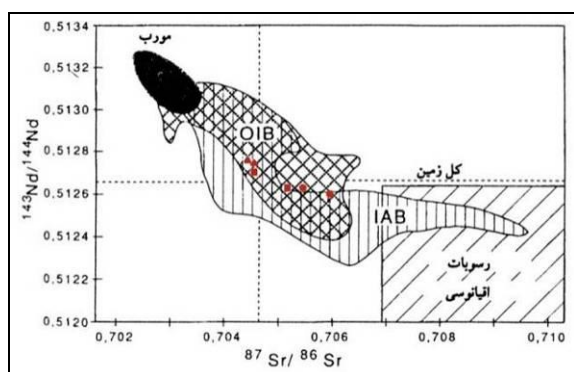
شکل ۸- نمودار تفکیک منشأ سست‌کره‌ای (A) و گوشته سنگ‌کره‌ای زیر قاره‌ای (SCLM) (ماگما Hooper et al, 1993). منشأ ماگمای سازنده سنگ‌های مناطق حیران و رضی در محدوده گوشته سنگ‌کره‌ای زیر قاره و نمونه‌های منطقه صائین نسبت به آن‌ها منشأ عمیق‌تری را نشان می‌دهند (علائم مطابق شکل ۷ است).

- همان‌گونه که در نمودار مشترک (Fitton et al (1991) و (Chen & Arculus (1995) مشاهده می‌شود، نسبت  $Nb/La$  برای گوشته سست‌کره‌ای بزرگ‌تر از ۱ و برای گوشته سنگ‌کره‌ای کوچک‌تر از ۰/۵ است. منشأ ماگمای سنگ‌های مناطق حیران و رضی در محدوده گوشته سنگ‌کره‌ای واقع شده‌اند. اما برای نمونه‌های منطقه صائین، این نسبت بین ۰/۵ و ۱ است که منشأ عمیق‌تر ماگمای این نمونه‌ها را نسبت به سنگ‌های دو منطقه دیگر نشان می‌دهد (شکل ۹).

- نمونه‌های حیران و رضی از عناصر LIL غنی هستند. این موضوع را می‌توان به انتقال سیالات غنی از LILE از صفحه فرورانش به سنگ‌کره‌ای (گوشته و پوسته) که فرایندی برگشت‌ناپذیر است (Fitton, 1995). مربوط دانست. بعضی از عناصر HFS مانند  $Nb$  در مذاب‌های سنگ‌کره‌ای مقادیر بسیار متفاوتی دارند. بنابراین، به عقیده بعضی از محققان (از جمله Abdel-Fattah et al, 2004) نسبت  $La/Nb$  می‌تواند متأثر از نحوه غنی‌شدگی متاسوماتیک باشد. (Bradshaw & Smith (1994) و Smith et al (1999) نشان داده‌اند که عناصر HFS مانند  $Nb$  نسبت به عناصر LRE مانند  $La$  در گوشته سنگ‌کره‌ای تهی شده هستند. بنابراین مقادیر بالای نسبت  $Nb/La$  (بزرگ‌تر از یک) نشانگر منبع گوشته سست‌کره‌ای و مقادیر پایین این نسبت (کمتر از ۰/۵) نشان‌دهنده منبع گوشته سنگ‌کره‌ای است. میانگین این نسبت در سنگ‌های



شکل ۱۰- هیستوگرام فراوانی ترکیب ایزوتوپی استرانسیم بازالت‌های اقیانوسی (Allegre, 2008)، نمونه‌های منطقه در قلمرو OIB قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱- ترکیب ایزوتوپی Nd-Sr ماگماهای اقیانوسی و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در آن (Hawkesworth, 1994) (سیاه: قلمرو مورب، شطرنجی: قلمرو OIB، هاشور قائم: قلمرو IAB، هاشور مورب: قلمرو رسوبات اقیانوسی (علائم مطابق شکل ۷ است).

۲-۲- براساس نمودار همبستگی ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در برابر  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (Zindler & Hart, 1986) (نمونه‌های منطقه در قلمرو ترکیب گوشته‌ای قرار داشته و متمایل به ترکیب کل زمین (BSE) هستند (شکل ۱۲). مقادیر نسبت ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در نمونه‌های منطقه حیران بیش از دو منطقه دیگر است که آن‌ها را موازی با محور افقی نمودار به خارج از محدوده گوشته‌ای رانده است. به‌طور کلی نسبت‌های پایین ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  نشان‌دهنده منشأ گوشته‌ای و نسبت‌های بالا بیانگر تاثیر آغشتگی‌های پوسته‌ای است. بنابراین تهی‌شدگی از مقادیر ایزوتوپی  $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$  و غنی‌شدگی از مقادیر ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در سنگ‌های منطقه حیران، می‌تواند ناشی از آلودگی پوسته‌ای باشد. این موضوع با بررسی‌های شیمی این سنگ‌ها که در ادامه آمده است، همخوانی مناسبی نشان می‌دهد. براساس مطالعات ایزوتوپی می‌توان سنگ‌های منطقه صائین را حیران را دست‌خورده‌ترین و سنگ‌های منطقه صائین را دست‌نخورده‌ترین نمونه‌های مورد مطالعه در نظر گرفت.

جدول ۱- نتایج تجزیه ایزوتوپی استرانسیم و روبیدیم سنگ‌های مناطق

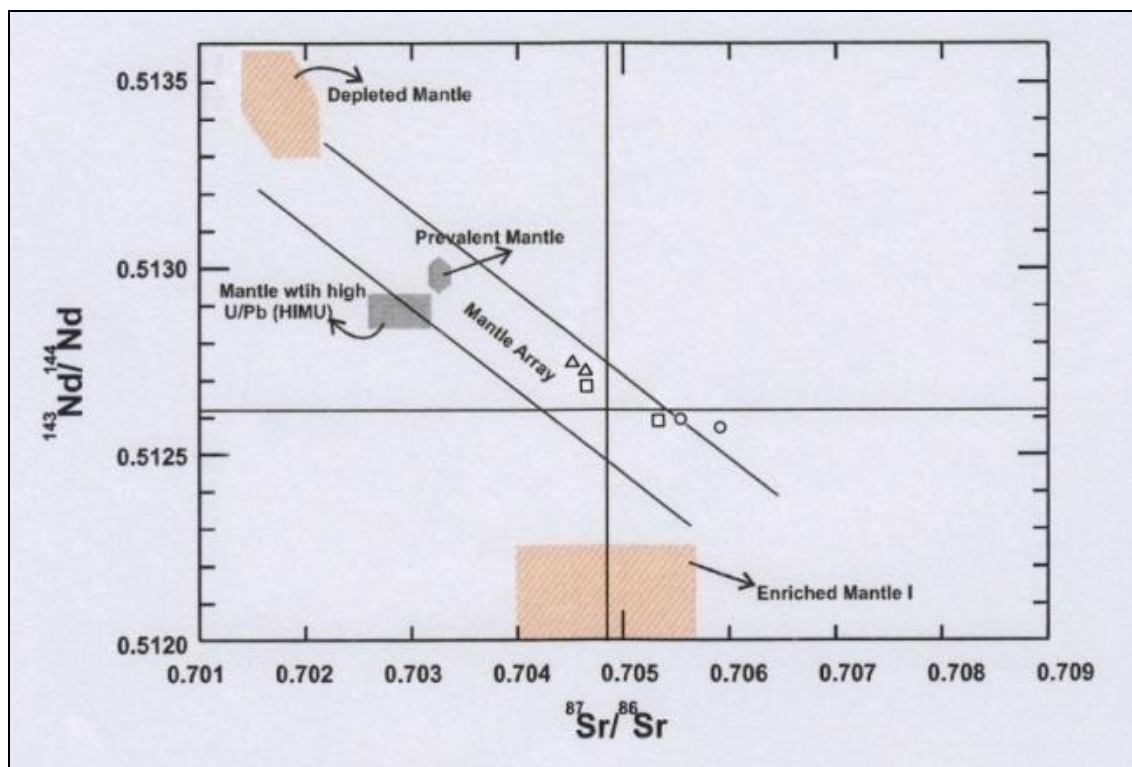
مورد مطالعه			
منطقه	شماره نمونه	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
حیران	H21	۰/۷۰۵۹۸۴	۰/۶۷۷۷۶۰
	H27	۰/۷۰۵۵۶۹	۰/۴۲۲۷۸۴
رضی	R27	۰/۷۰۵۳۳۱	۰/۳۷۴۳۶۸
	R45	۰/۷۰۴۶۲۸	۰/۲۱۷۰۹۵
صائین	S47	۰/۷۰۴۶۲۸	۰/۲۲۸۱۶۳
	S48	۰/۷۰۴۵۸۲	۰/۲۱۴۰۵۷

جدول ۲- نتایج تجزیه ایزوتوپی نئودیمیم و ساماریم سنگ‌های مناطق مورد

مطالعه				
منطقه	شماره نمونه	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}$
حیران	H21	۰/۵۱۲۵۸۵	۰/۱۳۷۸۵	-۱/۰۳
	H27	۰/۵۱۲۶۱۵	۰/۱۳۳۸۲	-۰/۴۵
رضی	R27	۰/۵۱۲۵۹۴	۰/۱۳۳۸۲	-۰/۸۶
	R45	۰/۵۱۲۶۸۶	۰/۱۳۵۴۰	۰/۹۴
صائین	S47	۰/۵۱۲۷۲۴	۰/۱۰۱۲۲	۱/۶۸
	S48	۰/۵۱۲۷۳۶	۰/۱۰۱۲۴	۱/۹۱

۲-۱- مقایسه ترکیب ایزوتوپی استرانسیم بازالت‌های مناطق سه‌گانه (جدول ۱) با بازالت‌های اقیانوسی زمین (Allegre, 2008)، نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه با نسبت ایزوتوپی بیش از ۰/۷۰۴۵ از ترکیب ایزوتوپی مورب نرمال (N-MORB) و غنی‌شده (E-MORB) دور بوده و در قلمرو بازالت‌های OIB (بازالت‌های جزایر اقیانوسی) قرار می‌گیرد (شکل ۱۰). این موقعیت در نمودار (Hawkesworth (1994) نیز مورد تأیید است (شکل ۱۱).

نسبت ایزوتوپی Nd در بازالت‌های مورب حدود ۰/۵۱۳۲ و در بازالت‌های OIB حدود ۰/۵۱۲۸ (Allegre, 2008) (که اگر با بازالت‌های منطقه مورد مقایسه قرار گیرد، شباهت آن‌ها با بازالت‌های OIB نمایان می‌شود، اما با توجه به این که در گرانتیت‌ها مقدار آن از ۰/۵۰۸ تا ۰/۵۱۱ (بر حسب سن گرانتیت) متغیر است، بنابراین آلودگی پوسته‌ای می‌تواند در کاهش این نسبت دخالت داشته باشد. در واقع بازالت‌های OIB از ذوب گوشته عمیق‌تری در مقایسه با مورب‌ها به وجود می‌آیند، اما با توجه به این که نمونه‌های منطقه حیران و رضی دارای ساختار بالشی، دایک‌های دیابازی و گدازه‌های دریاچه‌ای (وثیق، ۱۳۸۸) یعنی از نوع پوسته اقیانوسی هستند، بنابراین از نوع OIB به شمار نمی‌آید. این ناهمبستگی در ترکیب ایزوتوپی، بیانگر آلودگی آن‌ها با سنگ‌های پوسته‌ای و یا مربوط به ورود و گردش آب دریا به داخل بازالت‌ها و دگرسانی شدید این سنگ‌هاست.



شکل ۱۲- قرارگیری نمونه‌های مناطق مورد مطالعه در قلمرو ترکیب گوشته‌ای و متمایل به ترکیب کل زمین (Zindler & Hart, 1986) (علائم مطابق شکل ۷ است).

### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

مورد اشاره، نشانه آغشتگی ماگما با مواد پوسته‌ای است. در سنگ‌های بازالتی که تحت تأثیر آلودگی پوسته‌ای قرار گرفته باشند نسبت‌های  $K/P$ ،  $La/Ta$  و  $La/Nb$  به ترتیب بزرگ‌تر از ۷، ۲۲ و ۱/۵ هستند (Hart et al, 1989 و Abdel-Fattah et al, 2004). میانگین این نسبت‌ها در سنگ‌های بازالتی منطقه حیران به ترتیب ۱۳/۹۴، ۵۳/۸۱ و ۳/۰۱، منطقه رضی به ترتیب ۱۲/۷۱، ۴۴/۵۲ و ۲/۴۲ و در منطقه صائین به ترتیب ۱۰/۰۶، ۲۶/۰۹ و ۱/۵۲ است که نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه آلودگی پوسته‌ای در این سنگ‌ها، به‌ویژه در مناطق حیران و رضی است. به عقیده Fan et al (2003)، دامنه تغییرات نسبت‌های  $K_2O/P_2O_5$  و  $K_2O/TiO_2$  با مقدار آلودگی پوسته‌ای متناسب است. دامنه تغییرات نسبت‌های یادشده در گدازه‌های منطقه حیران به ترتیب ۱/۲-۶/۴۸ و ۳-۱۰/۱، منطقه رضی به ترتیب ۰/۷-۱۲/۰۸ و ۰/۷۳-۳۶/۲۴ و در منطقه صائین به ترتیب ۰/۷۴-۳/۴۸ و ۸/۶۹-۲/۴۹ است. تغییرات گسترده در دامنه این نسبت‌ها مبین نقش مهم آغشتگی پوسته‌ای در سنگ‌های بازالتی این مناطق به‌ویژه حیران و رضی است. تشابه ژئوشیمیایی و سنی سنگ‌های مناطق حیران (کرتاسه بالایی- ائوسن) و رضی (ائوسن) احتمال هم منشأ بودن و وابستگی آن‌ها به رخدادی مشابه را تقویت می‌کند. در این مورد مشخصات ژئوشیمیایی این مناطق، وابستگی آن‌ها به محیط‌های کم‌انی و به‌ویژه حوضه پشت‌کمانی مرتبط با پدیده فرورانش را نشان

سنگ‌های بازالتی مناطق مورد مطالعه نشانه‌های آرایش با پوسته را دارند، با این تفاوت که این آلودگی در مورد سنگ‌های منطقه حیران و رضی کاملاً مشهود بوده، اما در مورد سنگ‌های منطقه صائین چندان محسوس به نظر نمی‌رسد. صعود سریع گدازه به سطح زمین می‌تواند در کاهش آغشتگی موثر باشد. مقدار کمتر درشت‌بلور در سنگ‌های منطقه صائین در مقایسه با دو منطقه دیگر که می‌تواند نشانه سرعت صعود بیشتر ماگما یا توقف کمتر آن در درون زمین باشد، این موضوع را تأیید می‌کند. آلودگی با پوسته که در زمان صعود گدازه به سمت سطح زمین رخ می‌دهد، تغییراتی در شیمی سنگ به وجود می‌آورد. آغشتگی تنها ۲ درصد مواد پوسته با ماگمای حاصل از گوشته می‌تواند به بی‌هنجاری منفی Nb و Ta منجر شود (Winter, 2001). Fan et al (2003) معتقدند که غنی‌شدگی شدید از Th و U در نمودارهای عنکبوتی، بیانگر اضافه‌شدن رسوبات پلاژیک یا اضافه‌شدن پوسته اقیانوسی دگرسان‌شده در منبع ذوب‌شدگی است. همچنین اگر مقدار نسبت Nb/U کمتر از ۴۷ باشد، مشارکت مواد پوسته‌ای را در منشأ گدازه نشان می‌دهد (Hofmann et al, 1986). میانگین این نسبت در سنگ‌های منطقه حیران ۶/۴۴، منطقه رضی ۷/۹ و در منطقه صائین ۱۴/۰۵ است که با توجه به تفاوت چشمگیر با حد نصاب

نتایج تجزیه عناصر کمیاب

نمونه	H21	H27	R27	R45	S47	S48
Ba	۴۳۰	۳۶۰	۴۳۰	۵۰۰	۷۰۰	۷۲۰
Ce	۳۱/۹	۲۷/۳	۳۷/۶	۳۲/۶	۹۲/۲	۹۱
Co	۴۶/۱	۵۰/۲	۳۷/۴	۳۱	۲۰/۴	۱۹/۶
Cr	۸۲۱	۸۲۱	۲۰۵	۶۸	۱۳۷	۶۸
Cs	۳/۹	۱/۶	۱/۱	۲/۷	۱/۶	۱/۴
Dy	۳/۲۱	۲/۹۸	۴/۰۷	۳/۱۸۵	۳/۹۱	۲/۱۸۲
Eu	۱/۰۹	۰/۹۹	۱/۲۷	۱/۲۸	۱/۵۸	۱/۵۷
Gd	۳/۵	۳/۲۸	۴/۳۵	۳/۱۸۶	۴/۵۴	۴/۵۸
Hf	۲	۲	۳	۲	۶	۶
La	۱۹/۴	۱۴/۸	۲۰/۶	۱۷/۳	۵۲/۸	۵۴
Lu	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۹
Nb	۹	۸	۱۰	۹	۳۷	۳۵
Nd	۱۶/۶	۱۴/۴	۱۹/۸	۱۶/۹	۳۵/۱	۳۴/۵
Ni	۴۰۱	۴۸۷	۶۳	۴۳	۵۲	۵۴
Pr	۳/۹۹	۳/۵۱	۴/۷۵	۴/۰۹	۱۰	۹/۶۱
Rb	۹۶	۶۳/۷	۵۸/۲	۵۱	۶۷	۵۹/۹
Sm	۳/۸	۳/۲	۴/۴	۳/۸	۵/۹	۵/۸
Sr	۴۱۰	۳۹۰	۴۵۰	۶۸۰	۸۵۰	۸۱۰
Ta	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۲/۲	۲/۱
Th	۴	۳/۳	۳/۸	۳/۳	۹/۱	۹/۱
U	۱/۰۵	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۹۱	۲/۷۷	۲/۶۲
Y	۱۶/۶	۱۴/۸	۲۰/۵	۱۸/۴	۲۰	۱۹/۷
Yb	۱/۶	۱/۵	2/1	۲	۲	۱/۹
Zr	۸۵/۲	۷۴/۸	۱۰۱	۷۹/۹	۲۸۵	۲۷۱

## مراجع

- باباخانی، ع. ر. و رحیم‌زاده، ف.، ۱۳۶۷، "شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اردبیل (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰)" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خدابنده، ع. الف. و امینی فضل، ع.، ۱۳۷۶، "شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اردبیل (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۱، "زمین‌شناسی پوسته اقیانوسی (ترجمه)" انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۹ صفحه.
- صلواتی، م.، ۱۳۸۷، "پترولوژی و ژئوشیمی کمپلکس افیولیتی شرق گیلان" رساله دکترا، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، ۲۴۱ صفحه.
- وثیق، ی.، ۱۳۸۸ "مطالعه سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی منطقه حیران (شمال شرق اردبیل)" مجله زمین و منابع، سال دوم، شماره ۱: صفحه ۷۵-۸۳.

می‌دهد که به واسطه نسبت‌های بالای LILE/HFSE و LREE/HREE و تهی‌شدگی از عناصر P و Ta, Zr, Nb, Ti ویژگی محیط‌های بالای فرورانش را دارند. در حالی که سنگ‌های منطقه صائین (کواترنری) دارای ویژگی‌های بازالت‌های درون صفحه قاره‌ای هستند. منشأ ماگمای سازنده این سنگ‌ها با اختلاف عمق به گوشته سنگ‌کره‌ای مربوط است. ضمن این که نمودار همبستگی ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در برابر  $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$  نیز ترکیب گوشته‌ای و متمایل به ترکیب کل زمین (BSE) را آشکار می‌سازد. نتایج مطالعات ایزوتوپی با وجود نسبت‌های پایین ایزوتوپی  $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$  و نسبت‌های بالای ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  بیانگر بیشترین آغشتگی پوسته‌ای برای سنگ‌های منطقه حیران است. این شرایط برای نمونه‌های منطقه صائین نشاندهنده کمترین آلودگی پوسته‌ای است که می‌تواند با صعود سریع گدازه به سطح زمین توجیه شود. همچنین مطالعات عناصر کمیاب، پدیده تفریق را برای منطقه صائین و آرایش و اختلاط را برای مناطق حیران و رضی به عنوان مهم‌ترین عامل در تغییر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها مطرح می‌سازد.

نتایج تجزیه اکسیدهای اصلی

اکسید	H21	H27	R27	R45	S47	S48
SiO <sub>2</sub>	۴۹/۲	۴۸/۵	۴۸/۵	۴۷/۸	۵۵/۱	۵۵/۲
TiO <sub>2</sub>	۰/۸۸	۰/۸۷	۱/۰۴	۱/۰۸	۱/۰۳	۱/۰۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۳/۳	۱۲/۸	۱۵/۲	۱۸/۳	۱۷/۱	۱۷/۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۸/۷۴	۸/۹۶	۱۰/۳	۹/۸۸	۶/۴۷	۶/۵۳
MnO	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱
CaO	۷/۸۸	۷/۵۳	۹/۵۲	۹/۳۱	۶/۰۷	۶/۳۳
MgO	۱۲/۷	۱۴/۷	۷/۰۸	۴/۹۲	۳/۰۵	۳/۱۴
Na <sub>2</sub> O	۲/۲	۱/۹	۲/۲	۳	۴/۳	۴/۴
K <sub>2</sub> O	۲/۶۴	۲/۲۵	۲/۱۶	۲/۲	۲/۶۵	۲/۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۳	۰/۵۱	۰/۵۱

نتایج تجزیه ایزوتوپی ارسالی از آزمایشگاه دانشگاه کارلتون

نمونه	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}$
H21	۰/۷۰۵۹۸۴	۰/۵۱۲۵۸۵	۰/۱۳۷۸۵	-۱/۰۳
H27	۰/۷۰۵۵۶۹	۰/۵۱۲۶۱۵	۰/۱۳۳۸۲	-۰/۴۵
R27	۰/۷۰۵۳۳۱	۰/۵۱۲۵۹۴	۰/۱۳۳۸۲	-۰/۸۶
R45	۰/۷۰۴۶۲۸	۰/۵۱۲۶۸۶	۰/۱۳۵۴۰	۰/۹۴
S47	۰/۷۰۴۶۲۸	۰/۵۱۲۷۲۴	۰/۱۰۱۲۲	۱/۶۸
S48	۰/۷۰۴۵۸۲	۰/۵۱۲۷۳۶	۰/۱۰۱۲۴	۱/۹۱

- Hart, W. K., WoldeGabrie, G., Walter, R. C. and Mertzman, S. A., 1989, "Basaltic volcanism in Ethiopia: constraints on continental rifting and mantle interactions", *Journal of Geophysical Research*, 94: P.7731-7748.
- Hawkesworth, C.J., Gallagher, K., Herg t, J.M. and Mcdermott, F., 1994, "Destructive plate margin magmatism, geochemistry and melt generation", *Lithos*, 33: P.169-188.
- Hofmann, A. W., Jochum, K. P., Seufert, M. and White, W. M., 1986, "Nb and Pb in ocean basalts: new constraints on mantle evolution", *Earth and Planetary Science Letters*, 79: P.33- 45.
- Hooper, P. R. and Hawkesworth, C. J., 1993, "Isotopic and geochemical constraints on the origin and evolution of the Colombia River Basalts", *Journal of Petrology*, 34: P.1203-1264.
- Jutean, T. and Maury, R., 1997, "Geologie de lacroute oceanique petrologie et dynamique endogens", *Masson*, P.569.
- Maury, R.C., 1993, "Les series volcaniques", *Mem. Soc. Geol. France, Pleinsfeuxsur les volcans*, 163 :P.39-55.
- Smith, E. I., Sanchez, A., Walker, J. D. and Wang, K., 1999, "Geochemistry of mafic magmas in the hurricane Volcanic Field", *Utah: implications for small and large scale chemical variability of the lithospheric mantle. Journal of Geology*, 107: P.433-448.
- Winter, J. D., 2001, "An introduction to Igneous and Metamorphic petrology", *Prentice Hall*, P.697.
- Zindler, A. and Hart, S. R., 1986, "Chemical geodynamics", *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 14: P.493-571.
- وثیق، ی.، ۱۳۹۱، "پترولوژی بازالت‌های منطقه اردبیل" رساله دکترا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۳۴ صفحه.
- Abdel-Fattah, M., Abdel-Rahman, A. M. and Nassar, P. E., 2004, "Cenozoic Volcanism in the Middle East: Petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon", *Geol. Mag.*, 141(5): P.545-563.
- Allegre, C.J., 2008, "Isotope Geology", *Cambridge Univ. Press*, P.476.
- Bradshaw, T. K. and Smith, E. I., 1994, "Polygenetic Quaternary volcanism at Crater Flat", *Nevada. Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63: P.165-182.
- Cartier, E., 1971, "Die Geologie des Unteren Chalus Tals Zentral Alburz (Iran)", *Mitt. Geol. Inst. E.T.U.H., Zurich, N.S., N. P.164, 134.*
- Chen, W. and Arculus, R. J., 1995, "Geochemical and isotopic characteristics of lower crustal xenoliths", *San Francisco Volcanic Field, Arizona, U.S.A. Lithos*, 36: P.203-205.
- Fan, W. M., Gue, F. Wang, Y. G. and Lin, G., 2003, "Late Mesozoic alkaline volcanism of postorogenic extension in the Northern Da Hinggan Mountains, Northeastern China", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121:P.115-135.
- Fitton, J. G., 1995, "Coupled molybdenum and niobium depletion in continental basalts. Earth Science", 136: P.715-721.
- Fitton, J. G., James, D. and Leeman, W. P., 1991, "Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the western United States": *compositional variations in space and time. Journal of Geophysical Research*, 96:P.13693-13712.