

## استفاده از مطالعات ایزوتوپ استرانسیوم بر روی تراشه‌های حفاری چاه سولابدر-۳ در دزفول شمالي به منظور تطابق چينه‌اي در مقیاس جهانی

نصرالله افتخاری<sup>\*</sup>، محمد رضا کمالی

پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز مطالعات و پژوهش‌های اکتشاف و تولید، تهران، ایران

<sup>\*</sup>مسئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: [eftekharin@ripi.ir](mailto:eftekharin@ripi.ir)

(دریافت: ۸۵/۱۰/۱۷؛ پذیرش: ۲۶/۲/۸۶)

### چکیده

تغییرات نسبت ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در اقیانوسها محسوس نیست. زیرا این نسبت به آرامی در میلیون‌ها سال تغییر می‌نماید. استرانسیوم در پوسته آهکی جانوران دریایی وجود دارد. نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  اقیانوسها در زمانهای زمین‌شناسی گذشته را می‌توان در پوسته جانوران آن زمان برآورد کرد. سنگ‌های رسوبی، دارای تجمعی از فسیل‌های حاوی پوسته آهکی جانوران هستند. از اندازه‌گیریهای نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  می‌توان به جوابهای مشابهی رسید که دیگر تکنیکها در رابطه با ارتباط سازی سنی بکار می‌برند همچنین استفاده از این روش بسیار دقیق، زمین‌شناسان، اقیانوس‌شناسان، و ژئوشیمیست‌ها را قادر ساخته است که به پاسخ خیلی از سوالات و ابهامات دست یابند. در مطالعه حاضر تعداد ۲۰۱ نمونه (پالتوژن تا ژوراسیک) از چاه سولابدر-۳ واقع در جنوب حوضه دزفول شمالي مورد بررسی قرار گرفت و در نهايیت پروفیل نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  نمونه‌های کار شده با پروفیل جهانی مقایسه گردید. نتيجه مقایسه بين منحنی تکاملی نسبت ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  دریاهای فاروزوئیک و منحنی بدست آمده از اينتروال پالتوژن تا ژوراسیک چاه سولابدر ۳ در تطابق بسیار خوب با منحنی جهانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ایزوتوپ استرانسیم، تطابق، چینه‌شناسی، سولابدر، ایران.

استانهای بوشهر و فارس قرار دارد، ارتفاع آن از سطح دریا ۷۸۳ متر و عمق نهایی چاه ۳۶۷۴ متر می‌باشد. تعداد ۲۰۱ نمونه از سازندهای آسماری (الیگومیوسن) تا سورمه (ژوراسیک) مورد بررسی ایزوتوپی قرار گرفته است.

استفاده از ایزوتوپ‌های استرانسیوم در چینه‌نگاری نسبت ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در آب اقیانوس‌ها درنتیجه فعل و انفعال داخلی و وارد شدن استرانسیوم از منشاء‌های مختلف می‌باشد. اساساً منشاء استرانسیوم از منابع ذیل می‌باشد:

الف: استرانسیوم در نتیجه هوازدگی و فرسودگی کوهها توسط رودخانه و یا وزش باد و گرد و خاک انتقال پیدا می‌کند و نهایتاً در اقیانوسها سازبیر می‌شود.

ب: منشأ دیگر استرانسیوم از جبهه است که توسط فعل و انفعالات هیدروترمال درونی و بازالت کمرندهای اقیانوسی به آب دریاهای منتقل می‌شود.

نسبت استرانسیوم  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  منشاء گرفته از قاره‌ها، ۰/۷۱۱۹ می‌باشد و منشاء رادیوژنیک دارد (میانگین ترکیبات ایزوتوپی در جابجایی رسوبات رودخانه‌ای) (Bruke *et al.*, 1982).

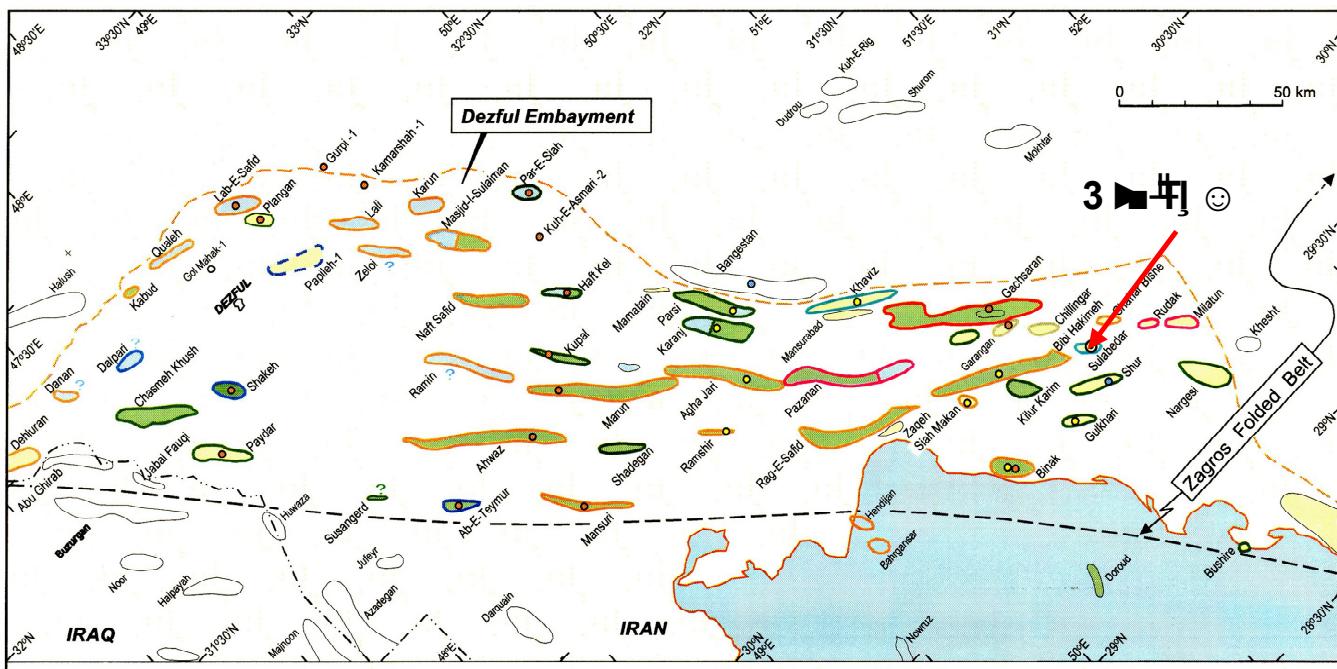
### مقدمه

پیش از این تحقیقات جامعی توسط Arthur Mc و همکارانش در سال ۲۰۰۱ میلادی در رابطه با استفاده از ایزوتوپ استرانسیوم برای استراتیگرافی و سن دقیق رسوبات دریائی زمان Phanerozoic انجام گرفته است. آنها اظهار نموده‌اند روند افزایش در نسبت‌های ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در رسوبات دریائی مرز کرتاسه - تریاسی و اوسن پسین ممکن است به علت واقعی چون فعالیت‌های ولکانیکی مانند جریان‌های بازالتی (Deccan Trap) باشد. هدف از این مطالعه اندازه‌گیری نسبت ایزوتوپ‌های  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در نمونه‌های چاه سولابدر شماره ۳ واقع در دزفول شمالي (حوضه زاگرس) به منظور دستیابی به روند تغییرات سطح آب دریا در ادوار مختلف زمین‌شناسی و تعیین سن دقیق سنگ‌های رسوبی نهشته شده در حوضه دزفول فرو افتاده می‌باشد.

### موقعیت جغرافیایی

محدهده مورد مطالعه دارای مختصات جغرافیایی "۵۹°۵۱' ۵۰° شرقی و ۵۲'۲۰" ۲۹° شمالي می‌باشد (شکل ۱).

این چاه در حدود ۶۰ کیلومتری شمال شرق بندر گناوه، در مرز



شکل ۱- موقعیت چاه سولابر-۳ در نقشه مناطق نفت خیز خوزستان.

### روش آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌های انتخاب شده از چاه سولابر شماره ۳ درآزمایشگاه مرکز ایزوتوپی رادیوژنیک دانشگاه کوئینزلند استرالیا مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند، برای توصیف کامل تجهیزات آزمایشگاهی ایزوتوپی رادیوژنیک، به (Collerson 1995) مراجعه شود.

ابتدا هر نمونه در زیر میکروسکوپ براساس روش کار موجود جدا سازی و انتخاب می‌شود، این روش کار به صورت اولویت بندی زیر می‌باشد.

۱- قطعات فرآمینیفر و خردہ دو کفهای ۲-آهک‌های گچی سفید تا قهوه‌ای خاکستری روشن و نرم ۳-آهک‌های خاکستری تیره تاقهوهای خاکستری تیره سخت ۴-آهک‌های شیلی ۵-آهک دولومیتی ۶-دولومیت ۷-ماسه سنگ آهکی ۸-شیل ۹-انیدریت. پس از اولویت بندی، نمونه‌ها درآزمایشگاه، طی روشی دور از هرگونه آلودگی، ابتدا با آب مقطر و حمام آلتراسونیک، ناخالصیهای سطحی حذف و سپس نمونه پودر می‌گردد. در ادامه مقدار ۵۰ میلی گرم از نمونه انتخاب نموده و به آن ۴ میلی لیتر اسید استیک ۱ نرمال اضافه می‌شود، پس از گذشت ۸ ساعت که فعل و انفعال کاملاً انجام شد، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۲۰۰۰ قرار داده می‌شود. آنگاه پس از انتقال ۳ میلی لیتر از مایع روئی توسط پیپت بر روی هیتر فرصت داده می‌شود تا دردمای ۱۲۰ درجه بمدت ۳ تا ۴ ساعت خشک گردد. بدین ترتیب رسوب سفید رنگی به صورت باقیمانده تشکیل می‌شود، سپس به آن رسوب ۲ میلی لیتر

در صورتی استرانسیومی که از جبهه و از طریق کمرندهای اقیانوسی وارد آب دریاها می‌شود ترکیبات غیر رادیوژنیکی دارد و نسبت آن ۰/۷۰۳ می‌باشد.

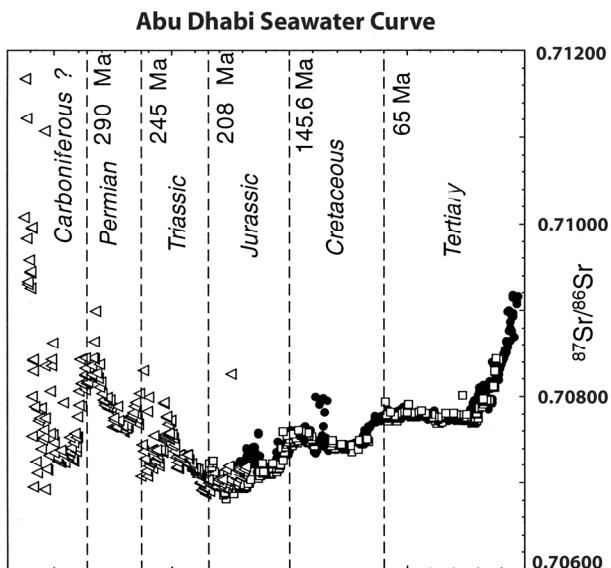
نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در دریاهای عهد حاضر و در دریاهای قدیمه بصورت همگن در مقیاس جهانی بوده است و مدت زمان ماندگاری آن در آب دریا ۲/۵ تا ۴ میلیون سال می‌باشد، از طرفی طول زمان چرخش آب اقیانوسها حدوداً هر ۱۰۰۰ سال یک بار می‌باشد (Broecker & Peng 1982).

بیشترین مقدار ایزوتوپ استرانسیوم در اقیانوسهای قدیمه در ساختمان کانیهای کلسیم دار نظیر کلسیت، آراغونیت، و آپاتیت، می‌باشد. همچنین تحقیقات جامع نشان داده است که به صورت سیستماتیک نسبت ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  از ۵۴۵ میلیون سال گذشته در آب دریاهای بین ۰/۷۰۶۸ تا ۰/۷۰۹۲ در نوسان بوده است (Collerson 1995, Howarth & Mc Arthur 1997, Palmer & Edmond 1989, Veizer 1989).

این نوسان منحنی آب دریا در طول فانزوژنیک بعلت تغییرات بوجود آمده در منشاء ترکیبات ایزوتوپیک استرانسیوم حمل شده به محیط دریایی می‌باشد.

در اکتشاف نفت، روش ایزوتوپ استرانسیوم روش مهمی برای تشخیص سن و مشخص کردن ساختمان‌های تکراری در اثر پدیده تکنونیکی می‌باشد.

تبخیری استخراج یافته است و منعکس کننده اختلاط استرانسیم رادیوژنیک (بانتسبت‌های بالا  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 1$ ) و استرانسیم غیر رادیوژنیک با نسبت‌های پائین  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 1$  می‌باشد. مرزهای بارز و قابل مشاهده در ادوار زمین‌شناسی که غالباً متاثر از سوابق دیرینه زیستی است با تغییرات مشبت و منفی ترکیب ایزوتوپی آب دریا همراه می‌باشند. این پدیده بیانگر تغییرات بوقوع پیوسته در بیوسفر است که به احتمال زیاد توسط عوامل محیطی بیرونی صورت گرفته است.



شکل-۲- منحنی نسبت ایزوتوپ استرانسیوم  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  آب دریای منطقه ابوظبی.

همچنین علائم مختلف روی روند منحنی این تصویر، وضعیت قرارگرفتن نمونه‌های چاه‌های مختلف را نشان می‌دهد (Kaneko *et al.* 2000). مهمترین نتیجه‌گیری از داده‌های به دست آمده از نمونه‌های چاه سولابر شماره ۳، وجود یک نبود رسوبی به مدت طولانی در بالای کرتاسه میانی (در دوره‌های Danian و Maastrichtian) می‌باشد ولی جهت مقایسه، اطلاعات آرشیو کامل فسیل‌شناسی در دست نمی‌باشد، در هر صورت یک کار فسیل‌شناسی دقیق می‌تواند برای اثبات این نتیجه‌گیری بسیار مفید باشد (شکل ۳). بر اساس مطالعات انجام شده توسط Nishioka و همکاران (Nishioka *et al.* 1991) بر روی سنگ آهک Akiyoshi در جنوب غرب ژاپن نسبت مقادیر ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  یک روند نزولی شدید را در کربونیfer پیشین نشان می‌دهد. در حالیکه در پرمین پیشین و میانی نسبت ایزوتوپی مذکور افزایش می‌یابد. برای تغییرات مذکور دو عامل اصلی شامل منشاء رسوبات تخریبی قاره‌ای و منشاء سنگهای آتشفسانی جوان (غالباً بازالت) ذکر شده است.

اسید‌کلریدریک ۶ نرمال اضافه نموده و پس از گذشت ۲ تا ۳ ساعت نمونه بر روی هیتر خشک می‌گردد. در ادامه به رسوب باقیمانده مجدداً ۳ میلی لیتر اسید‌کلریدریک ۱ نرمال اضافه می‌نماییم و بعد از ساعتها ۱ میلی لیتر نمونه را برداشته و آنرا مستقیماً وارد ستون رزین تبدال یونی می‌شود و در این مرحله استرانسیم آخرین مرحله آماده سازی خود را طی نموده و استحصلال می‌گردد.

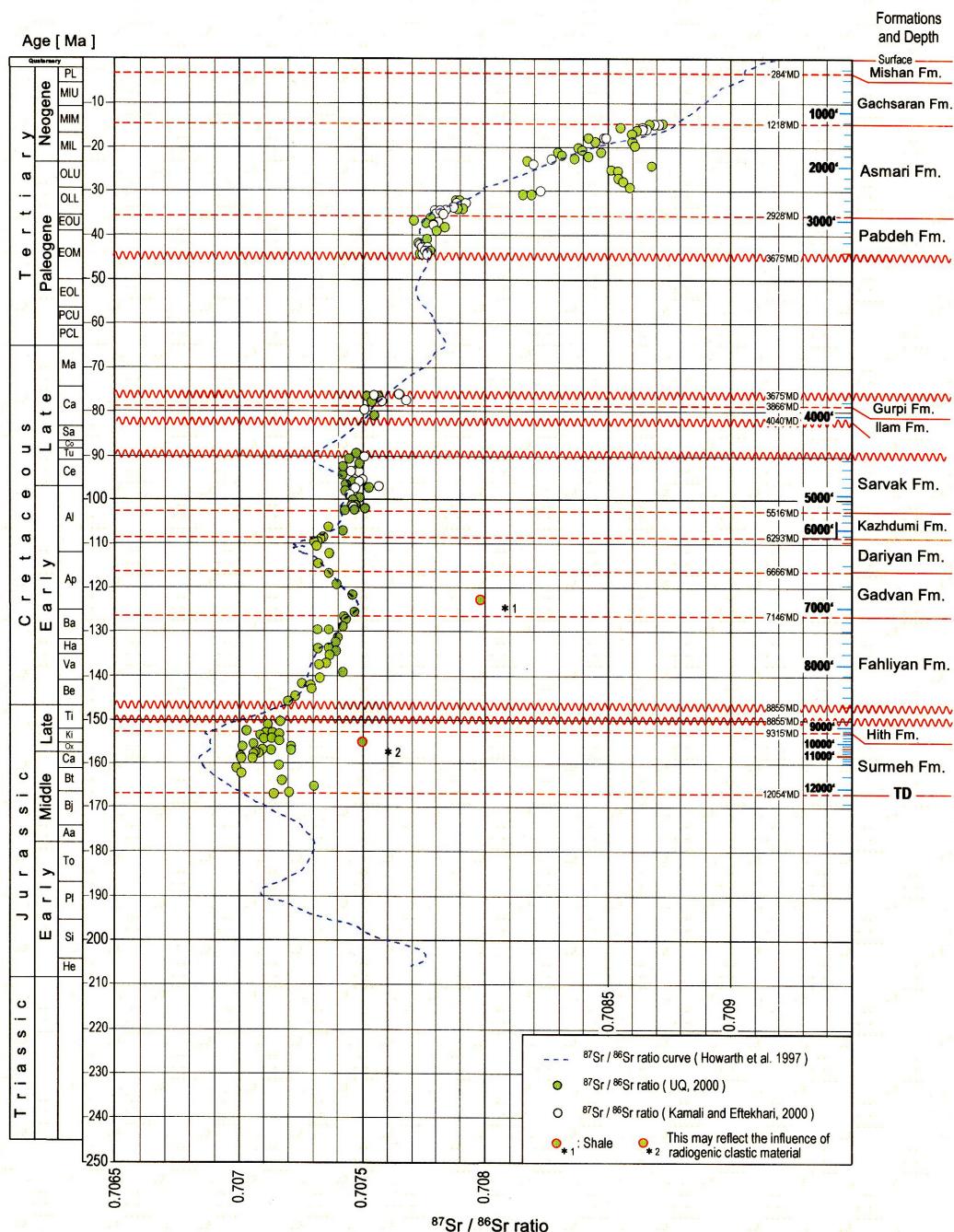
### طیف سنجی جرمی

استرانسیوم بدست آمده را با قطره‌ای اسید فسفریک مخلوط نموده و با میکروپیپت قطره‌ای از مخلوط را روی فیل آمنت فلز تانتالیم قرار داده و فیل آمنت را توسط جریان الکتریکی حرارت می‌دهیم، پس از ۵ ثانیه زمان گداختکی، حرارت را قطع نموده و در اینجا اکسید تانتالیم تولید می‌شود که باعث افزایش یونیزه شدن نمونه می‌شود و نهایتاً نسبت‌های ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  توسط ماس اسپکترومتری اندازه گیری می‌شود. میانگین دقت برای اندازه گیری نسبت ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  به صورت منفرد در این مطالعه کمتر از ۰.۰۰۰۰۰۸ + است. در این مطالعه از استانداردهای رایج  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  SRM NBS-987 با نسبت ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  برابر ۰.۷۰۹۱۷۷ و EN-1 با نسبت ایزوتوپی  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  برابر ۰.۷۱۰۲۴۹ استفاده گردید.

### بحث

تعداد ۲۰۱ نمونه از خرده‌های حفاری چاه سولابر-۳ مورد آزمایش ایزوتوپی قرار گرفتند. با توجه به اینکه اکثر چاه‌های حفاری شده، نمونه مغزه ندارند و یا نمونه مغزه از زونهای خاصی برداشت شده است، لذا بنچار از نمونه‌های خرده‌های حفاری استفاده گردید که وقت زیادی برای خالص سازی نمونه‌های نماینده هر لایه صرف گردید، با این وصف و با توجه به نمونه‌های خرده‌های حفاری، مقایسه بین منحنی تکاملی نسبت ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  دریاهای فانروزیک نمودار و Burke همکاران (Burke *et al.* 1982) و منحنی بدست آمده از اینترووال (Burke *et al.* 1982) و نتایج آن است که کار با دقت فراوان انجام گرفته نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  حاکی از آن است که کار با دقت فراوان انجام گرفته و نتایج آن روی منحنی جهانی کاملاً رضایت بخش می‌باشد. نتیجه دیگری که از این تحقیق بدست آمده، حاکی از مطابقت داده‌های سازند هیت در چاه سولابر-۳ با نتایج سازند هیت در ابوظبی می‌باشد (شکل ۳) (Kaneko *et al.* 2000).

در شکل ۳ ترکیب ایزوتوپی استرانسیم را از حدود ۷ میلیون تا حدود ۳۰۰ میلیون سال پیش نشان می‌دهد. نمودار فوق که نشان دهنده تکامل اقیانوس‌های دیرینه است، از آنالیز رسوبات کربناته و

شکل ۳- عمق در مقابل نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  برای نمونه‌های چاه سولابدر-۳.

دریا سنجیده می‌شود. با تعیین نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در آب دریاهای ادوار زمین‌شناسی و همینطور تعیین این نسبت در رسوبات دریائی میتوان از این نسبتها در تطابق رسوبات و تعیین سن نسبی آنها استفاده نمود. بنابراین هنگامیکه فسیل‌های شاخص وجود ندارند، عملاً روش فسیل‌شناسی غیر قابل استفاده می‌باشد، در این هنگام روش استرانسیوم کاربردی‌ترین روش محسوب می‌شود و بهمین دلیل این روش یکی از روشهای متداول امروزی می‌باشد. منابع مختلف عنصر

تغییرات جزئی در مقادیر ایزوتوپی در مجموعه داده‌های انفرادی ممکن است بعلت تایید فرآیندهای دیاژنیتیکی باشد. تغییرات نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در آب دریا با طول زمان توسط تجزیه ایزوتوپی کربنات‌ها، فسفات‌ها و تبخیریهای محیط دریائی نمونه‌های موجود تعیین و بررسی شده است. برای بدست آوردن سن نسبی نمونه‌های کربناته و فسفات و تبخیریهای با سن نامعلوم، ابتدا میزان نسبت  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  در آنها تعیین گردیده و سپس موقعیت آنها نسبت به منحنی استرانسیوم آب

دریائی تشکیل شده‌اند، امکان پذیر است. با تعیین موقعیت آنالیز انجام شده برروی منحنی استرانسیوم آب دریا می‌توان به سن نسبی رسوبات پی برد.

### نتیجه‌گیری

مقایسه بین منحنی تکاملی نسبت ایزوتوپ  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  دریاهای فانروزوئیک نمودار Burke و همکاران (Burke *et al.* 1982) و منحنی بدست آمده از اینتروال الیگومیوسن تا سازند سورمه چاه سولابدر-۳، بیانگر تطابق بسیار خوب و مطابق منحنی جهانی می‌باشد.

داده‌های ایزوتوپ استرانسیوم چاه سولابدر-۳ در صورت برهم نهی بر روی منحنی آب دریا گزارش شده از ابوظبی، انطباق خوبی را نشان می‌دهد. بطور ویژه داده‌های سازند هیت در چاه سولابدر-۳ با سازند هیت ابوظبی تطابق نمایانی را نشان می‌دهند. مهمترین نتیجه بدست آمده در این مقاله دلالت بر، وجود یک نبود رسوبی به مدت طولانی در بالای کرتاسه میانی (در دوره‌های Maastrichtian و Danian) می‌باشد.

استرانسیوم، در تعیین ترکیب ایزوتوپی آب دریا تاثیر فراوان دارد، بعنوان مثال سنگهای پوسته قاره‌ای باعث افزایش نسبت استرانسیوم ۸۷ در آب دریا می‌شوند در حالیکه ولکانیک و بازالت‌های کف اقیانوس باعث افزایش استرانسیوم ۸۶ و تغییر ترکیب ایزوتوپی استرانسیوم در آب دریا می‌شوند. اندازه گیریهای ایزوتوپی استرانسیوم در آب اقیانوس‌های امروزی نشان داده است که آب اقیانوس‌های عهد حاضر از نظر ترکیب ایزوتوپی استرانسیوم همگن می‌باشد. این موضوع به علت این است که مدت اقامت استرانسیوم در آب اقیانوس زیاد می‌باشد (۴ میلیون سال). در حالیکه چرخه آب اقیانوس بطور کامل در حدود ۱۰۰۰ سال می‌باشد، در نتیجه در مدت اقامت استرانسیوم در آب دریا، آب اقیانوس در حدود ۴۰۰۰ بار مخلوط و در نتیجه همگنی بوجود می‌آید. با وجود اینکه پراکنده‌گی نسبت  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  در عهد حاضر همگن است ولی این نسبت در طول تاریخ زمین‌شناسی تغییر کرده است، علت این تغییرات ورود استرانسیوم از منابع مختلف به آب دریا می‌باشد. منحنی ایزوتوپی استرانسیوم آب اقیانوس‌های ادور مختلف زمین‌شناسی می‌تواند به عنوان یک وسیله تعیین سن نسبی مورد استفاده قرار گیرد. این کار با آنالیز ایزوتوپی نمونه‌ها که در محیط

### منابع

- Mc Arthur J., Howarth R.J., Baily, T.R. 2001: Strontium Isotope Stratigraphy: LOWESS Version 3: Best Fit to the Marine Sr-isotope Curve for 0-509 Ma and Accompanying Look-up Table for Deriving Numerical Age. *Geological sciences*: 155- 166.
- Burke W.H., Denison E.A., Heatherington R.B., Koepnick Nelson H.F., Otto J.B. 1982: Variation of seawater  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  throughout Phanerozoic time. *Geology*. **10**: 516-519.
- Broecker W.S., Peng T.H. 1982: Tracers in the Sea. Eligio Press.
- Collerson K.D. 1995: Developments in radiogenic isotope geochemistry at the University of Queensland: Geochronological and geochemical applications. In: Johnson R.W., King C.R, Ed Queensland: The State of Science Proceedings, Brisbane. 15-16 July 1994: R Soc Queensl: 305-337.
- Howarth R.J., Mc Arthur J.M. 1997: Statistics for strontium isotope stratigraphy: A robust LOWESS fit to the marine Sr-isotope curve for 0 to 206 Ma, with look-up table for derivation of numeric age. *Journal of Geology*. **105**: 441-456.
- Kaneko M., Collerson K.D., Suzuki., Mal-Sswaidi A., Al Habshi R.A., Aziz s. 2000: Strontium isotope stratigraphy of Abu Dhabi: A precise record of the Late Permian to Recent seawater. *Geo Arabia J.Middle East Petroleum Geosciences*.**5**: 121.
- Palmer M.R., Edmond J.M. 1989: The strontium isotope budget of the modern ocean. *Earth and Planetary Science Letters*. **92**: 11-26.
- Veizer J. 1989: Strontium isotope in seawater through time. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. **17**: 141-167.
- Nishioka S., Arakawa Y., Kobayashi Y. 1991: Strontium isotope Pprofile of Carboniferous-Permian Akiyoshi Limestone in Southwest Japan .*Geochemical Journal*. **25**: 137 - 146.