

تعیین شرایط آب اقیانوس بر اساس کانی‌شناسی اولیه رسوبات کربناته در پرمین پایانی با استفاده از نگاره اورانیوم، بخش مرکزی خلیج فارس

وحید توکلی

دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران

نویسنده مسئول: vtavakoli@ut.ac.ir

دریافت: ۹۴/۲/۲۶ پذیرش: ۹۴/۹/۲

چکیده

در این مطالعه سازندهای کربناته-تبخیری دالان و کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس جهت تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر عناصر استرانسیوم و اورانیوم در نمونه‌های دو چاه با استفاده از پلاسمای زوج‌القایی تعیین گردید. این دو عنصر روند تغییرات یکسانی را در این دو چاه نسبت به یکدیگر نشان دادند. مقایسه این دو عنصر با داده‌های نگاره اورانیوم نیز روند مشابهی را نشان داد. با توجه به اینکه عناصر استرانسیوم و اورانیوم هر دو تمایل دارند تا در ساختمان کانی آراگونیت قرار گیرند، از این عناصر می‌توان برای بررسی تغییر کانی‌شناسی اولیه رسوبات استفاده نمود. نتایج نشان داد که در انتهای پرمین آب دریاها ابتدا یک دوره آراگونیتی را طی کرده است که در آن شرایط مناسب برای زیست موجودات آهکی وجود داشته است. در دوره بعدی کلسیت و آراگونیت در حالت تعادل رسوب نموده است. پس از این دوره در انتهای پرمین، دریا ترکیب اسیدی داشته و ادامه حیات برای موجودات آهکی را دشوار نموده است. مقایسه رسوبات این دوره با مقاطع کامل پرمین پایانی نشان داد که این رسوبات دارای یک ناپیوستگی هستند. با استفاده از نمودار سامانه کربن-هیدروژن-اکسیژن و اورانیوم، شرایط آب اقیانوس در انتهای پرمین به صورت اسیدی-احیایی تعیین شد. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیبی از شرایط اسیدی و احیایی در انتهای پرمین حیات موجودات در اقیانوس‌ها را با خطرات جدی مواجه ساخته است.

واژه‌های کلیدی: استرانسیوم، اورانیوم، انقراض پرمین، اسیدی‌شدن، دالان

مقدمه

و بر این اساس مقدار آن در آراگونیت بسیار بیش‌تر از کلسیت است. در نتیجه با توجه به میزان حضور این عنصر در رسوبات کربناته می‌توان به ترکیب کانی‌شناسی اولیه آنان پی‌برد. هر چند رسوبات کربناته در طول زمان اغلب به سرعت تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی قرار می‌گیرند، میزان عنصر استرانسیوم در آنان تغییر چندانی نمی‌کند [۳۲]. ته‌نشست کانی آراگونیت نشان‌دهنده شرایط مطلوب برای ته‌نشست کربنات است که در چنین شرایطی کانی ناپایدار آراگونیت نهشته شده است. در این شرایط، فشار پایین CO_2 در آب اقیانوس‌ها سبب شده است تا شرایط بازی ایجاد شده و کانی آراگونیت رسوب نماید. به عکس در شرایطی که فشار CO_2 بالا رفته و آب اسیدی‌تر شده است، کانی کلسیت با پایداری بیش‌تر نهشته شده است. با توجه به خصوصیات عناصر اورانیوم و استرانسیوم، این دو عنصر تمایل دارند تا در ساختار آراگونیت جانشین کلسیم شوند [۱۱ و ۱۵] و در نتیجه

رسوبات مرز پرمین-تریاس بزرگ‌ترین انقراض موجودات زنده بر روی کره زمین را ثبت نموده است. بر این اساس تاکنون مطالعات فراوانی بر روی این مرز از جنبه‌های گوناگون انجام شده است [۲۷ و ۵ و ۱ و ۲ و ۶ و ۱۲ و ۲۳ و ۲۵ و ۳۷ و ۳۸]. با توجه به اینکه بسیاری از مقاطع رسوبی که در این زمان نهشته شده‌اند کربناته هستند، درک ترکیب کانی‌شناسی اولیه این رسوبات می‌تواند داده‌های بسیار سودمندی را در خصوص تغییرات آب اقیانوس در زمان ته‌نشینی آنان در اختیار قرار دهد. این داده‌ها شامل تغییرات آب و هوا، فشار دی‌اکسیدکربن و شیمی آب اقیانوس می‌گردد و این تغییرات به نوبه خود می‌توانند اسرار بزرگ‌ترین انقراض موجودات بر روی کره زمین را آشکار نمایند. تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه در رسوبات کربناته عمدتاً به وسیله عنصر استرانسیوم انجام می‌شود. این عنصر می‌تواند به فراوانی در ساختار آراگونیت وارد شده و جایگزین عنصر کلسیم گردد [۳۱]

از پرمین میانی تا ژوراسیک پیشین افت حرارتی سریع حاشیه فعال جدید شمال شرق عربستان و ادامه اشتقاق قاره‌ای رو به شمال، موجب پیشروی آب دریا شده که در ابتدا سازندهای آواری و در نهایت سازندهای کربناته پرمین-تریاس را در منطقه ایجاد کرده است [۳۰]. سازندهای کربناته-تبخیری در ناحیه مورد بررسی در پرمین پایانی و تریاس آغازین به ترتیب از پایین به بالا دالان پایینی، بخش انیدریتی نار، دالان بالایی و سازند کنگان نامیده می‌شوند. سازند دالان بالایی به ترتیب از پایین به بالا به واحدهای مخزنی K4 و K3 و سازند کنگان به واحدهای K2 و K1 تقسیم می‌شوند. مرز پرمین-تریاس مرز سازندهای کنگان و دالان (مرز واحدهای K3 و K2) را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مطالعات زیادی تا کنون به بررسی رسوب‌شناسی، کیفیت مخزنی، فرآیندهای دیاژنزی و ژئوشیمی این رسوبات و به خصوص مرز پرمین-تریاس در این منطقه پرداخته است [۲۲، ۲۰، ۳۰ و ۲۹]. شکل ۱ موقعیت این منطقه را در زمان رسوب‌گذاری و نیز موقعیت فعلی آن را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در مجموع ۱۲۰۳ متر مغزه از سه چاه (چاه‌های A، B و C) از سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های طیفی اورانیوم نگاره گاما در این سه چاه جهت بررسی روند تغییرات عنصر اورانیوم استفاده شد. داده‌ها مطابق استاندارد برداشت داده‌های چاه‌پیمایی و برداشت در فواصل ۰/۱۵۲۴ متری انجام شده است. مقادیر عناصر استرانسیوم و اورانیوم از ۱۳۸ نمونه از دو چاه (۳۸ نمونه مربوط به چاه A و ۱۰۰ نمونه مربوط به چاه B) با استفاده از انحلال-هم‌جوشی و پلاسمای زوج القایی در دانشگاه یوسکوئیکر^۱ در کشور اسپانیا اندازه‌گیری شد (برای شرح روش مراجعه شود به [۱۹]).

نتایج

رخساره‌ها و محیط رسوبی

هرچند بررسی دقیق رخساره‌ها و محیط رسوبی سازندهای کنگان و دالان موضوع این مقاله نیست، همواره فهم تغییرات رخساره‌ها به درک صحیح‌تر

مقدار این دو عنصر در آراگونیت‌ها همواره بیش‌تر از کلسیت‌ها است. باید توجه داشت که عنصر اورانیوم از چرخه‌های بزرگ‌تر از تغییرات شرایط اکسیداسیون و احیا محیط نیز تأثیر زیادی می‌پذیرد [۳۴] و در نتیجه در تفسیر داده‌های مربوط به آن باید دقت زیادی اعمال گردد. با توجه به اینکه امروزه داده‌های اورانیوم به صورت نگاره چاه‌پیمایی در بسیاری از مخازن هیدروکربنی برداشت می‌گردد، این عنصر می‌تواند به منظور درک کانی‌شناسی اولیه در بسیاری از سازندهای مخزنی بدون نیاز به نمونه‌برداری مستقیم سنگ انجام شود. این مطالعه به بررسی تغییرات عناصر استرانسیوم و اورانیوم در توالی پرمین-تریاس بخش مرکزی خلیج فارس می‌پردازد و سپس از نتایج به دست آمده برای فهم تغییرات کانی‌شناسی اولیه و شیمی آب در مرز پرمین-تریاس استفاده می‌نماید. شیمی آب در انتهای پرمین و ابتدای تریاس در کربنات‌های کم‌عمق خلیج فارس می‌تواند نشان‌دهنده دلایل انقراض بزرگ موجودات بر روی کره زمین باشد.

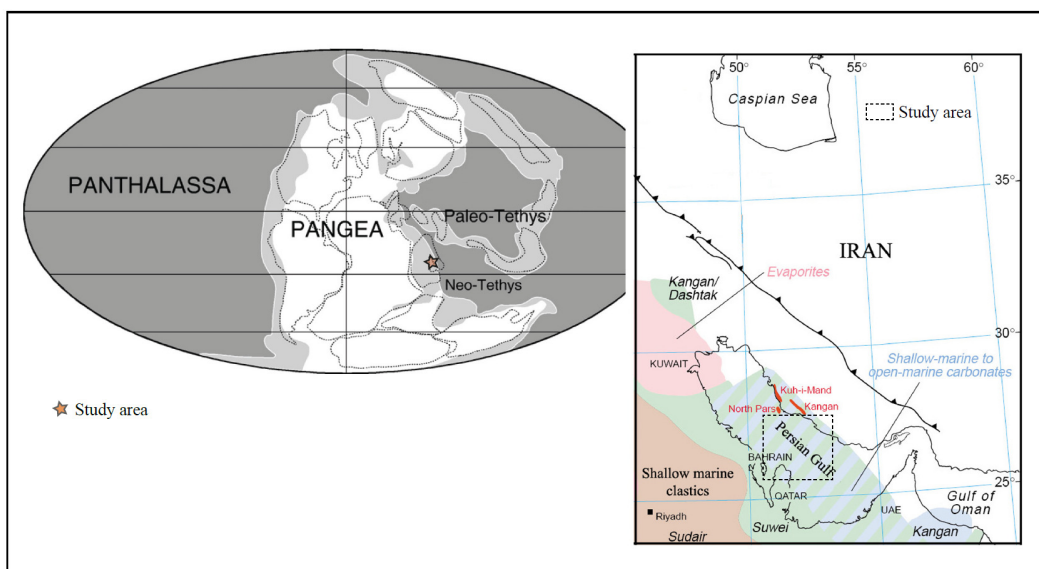
زمین‌شناسی منطقه

پلاتفرم کربناته پرمین-تریاس در بخش مرکزی خلیج فارس در حاشیه نئوتتیس گسترش داشته است. سازندهای دالان و کنگان حاصل یک واقعه عظیم تکنونیک-رسوبی هستند. آغاز فرونشینی در حاشیه غیرفعال نئوتتیس که همزمان با شروع گسترش بستر این اقیانوس در پرمین میانی بوده است، سبب ته‌نشست سازندهای کنگان و دالان در این منطقه شده است [۲۶]. در پرمین پایانی گسترش بستر اقیانوسی، فرونشینی حرارتی و پیشروی دریایی همراه با آن منجر به تشکیل پلاتفرم کم شیب بسیار گسترده شد که از جنوب ایران تا عربستان امروزی گسترش داشته است. این پلاتفرم عظیم دارای توپوگرافی ملایم و هموار بوده و لذا نهشته‌های بسیار عظیمی در آن تشکیل شده که عرض آن‌ها از ده‌ها تا صدها کیلومتر است [۲۶]. نتیجه تشکیل این چنین نهشته‌های عظیم در محیط‌های رسوبی با توپوگرافی ملایم این است که تغییرات رخساره‌ای در جهت عمود بر حوضه رسوبی بسیار تدریجی بوده و رخساره‌های مورد مطالعه تنوع کمی (حتی در نواحی وسیع) نشان می‌دهند.

¹Euskoiker

حدود ۲ تا ۵ متر ضخامت دارند و سپس با رخساره‌های آئیدی ادامه می‌یابد. این بخش نیز در بیش‌تر موارد آهکی است. بخش بالایی واحد K2 در اغلب موارد دولومیتی بوده و از رخساره‌های پکستون تا گرینستون تشکیل شده است. محیط رسوبی این واحدها از پایین به سمت بالا جزر و مدی، مدی، مدی و مجدداً محیط کم‌عمق جزر و مدی تا لاگون است. واحد K1 به طور غالب در یک محیط کم‌عمق نهشته شده است که در نهایت به شیل‌های آغار ختم می‌گردد. حضور فراوان استروماتولیت‌ها و انیدریت‌ها همراه با رخساره‌های مادستونی جزر و مدی، محیط کم‌عمق این بخش را تأیید می‌نماید. در مواردی که سطح آب دریا پایین رفته، رخساره‌های انیدریتی گسترش یافته است. این بخش‌ها شامل بخش پایینی واحد K4، مرز واحدهای K4 و K3، میان لایه‌هایی در واحد K3 (اغلب در بخش‌های پایینی) و میان لایه‌هایی با فراوانی بیش‌تر در واحد K1 می‌گردد. عدم حضور رخساره‌های مدی با گسترش فراوان، تبدیل تدریجی رخساره‌ها به یکدیگر، نزدیک بودن سازندهای مورد بررسی به مرز پرمین-تریاس و انقراض جمعی، وجود رخساره‌های مدی آئیدی با گسترش کم و به تعداد زیاد، عدم وجود رسوبات لاگونی با ضخامت بسیار زیاد و عدم وجود رسوبات واریزه‌ای (talus) با گسترش زیاد نشان می‌دهد که هیچ‌گونه تغییر شیب ناگهانی در حوضه رسوبی وجود نداشته است. در نتیجه این سازندها در یک محیط کم‌عمق رمپ کربناته ته‌نشین شده‌اند [۲۲].

متغیرهای محیطی کمک فراوانی می‌نماید و لذا در اینجا به طور خلاصه به بررسی رخساره‌ها و محیط رسوبی این سازندها در بخش مرکزی خلیج فارس پرداخته می‌شود. با توجه به اهمیت مخزنی این سازندها تاکنون مطالعات فراوانی بر روی رخساره‌ها و محیط رسوبی این سازندها انجام شده است ([۲۱] و منابع موجود در آن). نتایج حاصل از این مطالعه نیز مطالعات پیشین را تأیید می‌نماید. رخساره‌های غالب در بخش پایینی واحد K4 شامل رخساره‌های گل‌غالب (مادستون تا وکستون) است که به شدت دولومیتی شده‌اند. این رخساره‌ها با توجه به برتری میکرایت، حضور موجودات لاگونی و ته‌نشست بر روی واحد انیدریتی نار، در محیط جزر و مدی تا لاگونی نهشته شده‌اند [۲۰، ۲۹ و ۲۲]. به سمت بالا در بخش میانی این واحد، رخساره‌های پکستون تا گرینستون برتری دارند که در برخی موارد دولومیتی شده‌اند. انرژی بالاتر این رخساره‌ها، حضور آئیدها و فرام‌های کفزی با ابعاد بزرگ‌تر نشان می‌دهد که این رسوبات در حاشیه‌های یک سد کربناته تشکیل شده‌اند. بخش بالایی این واحد از گرینستون‌های آئیدی تشکیل شده است که سیمان دریایی اندک و ماهیت آهکی دارند. حضور این رخساره‌های گرینستونی بدنه اصلی یک سد کربناته را نشان می‌دهد. واحد K3 اغلب از رخساره‌های گل‌غالب تشکیل شده است که در محیط لاگونی تشکیل شده و در اغلب موارد دولومیتی هستند. واحد K2 با رخساره‌های باندستون ترومولیتی آغاز می‌گردد [۲۸ و ۲۹] که در



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در زمان پرمین پایانی و موقیت کنونی آن همراه با سنگ‌شناسی واحدها (نقشه پایه از [۳۷] و سنگ‌شناسی واحدها از [۲۳]).

فرآیندهای دیاژنزی

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که دیاژنز غالب در سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس انحلال و دولومیتی‌شدن است [۳۰]. نتایج حاصل از این مطالعه نیز این امر را تأیید می‌نماید. دیاژنز این سازندها در سه محیط دیاژنزی دریایی، جوی و عمیق اتفاق افتاده است. در محیط دیاژنزی دریایی، میکرایتی‌شدن اغلب تمام یا حاشیه دانه را تحت تأثیر قرار داده است. سیمان‌های دریایی به خصوص در رسوبات دانه غالب گسترش زیادی دارند. این سیمان‌ها در بخش‌های پایینی واحد K2 و بخش‌های بالایی واحد K4 گسترش بیش‌تری دارند. در بخش پایینی واحد K2 گسترش سیمان‌های دریایی بسیار قابل ملاحظه است. سیمان‌های دریایی در این بخش‌ها از تراکم رسوبات در بخش‌های عمیق جلوگیری کرده است. تشکیل سیمان‌های انیدریتی با فراوانی بالا در واحد K1 نیز در این محیط رخ داده است. این سیمان دلیل اصلی کاهش کیفیت مخزنی در سدهای چسبیده به ساحل در محیط کم‌عمق این واحد است [۲۰ و ۲۴].

اصلی‌ترین اثر محیط دیاژنزی جوی انحلال است که اغلب دانه‌های آلیید و بایوکلاست‌های آراگونیتی را تحت تأثیر قرار داده است. فرآیند انحلال نیز اغلب در بخش‌های پایینی واحد K2 و بخش‌های بالایی واحد K4 دیده می‌شود. این فرآیند در واحد K3 در زیر مرز پرمین-تریاس نیز به میزان کمتر قابل مشاهده است.

دیاژنز عمیق در سازندهای مورد مطالعه با حضور استیلولیت‌ها و شکستگی‌ها اثبات می‌گردد [۲۹]. نتایج حاصل از مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تولید هیدروکربن از سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس در اثر حضور شکستگی‌ها نیست [۱۳] اما شکستگی‌های پراکنده که اغلب با انیدریت ثانویه پر شده‌اند در بخش‌های مختلف این سازندها قابل مشاهده است. فراوانی استیلولیت‌ها در واحد K1 بیش از سایر واحدها است. این امر به سبب ورود بیش‌تر مواد آواری به این بخش به سبب افت سطح آب دریا است. در برخی موارد رگچه‌های انحلالی نیز مشاهده می‌گردد. این رگچه‌ها در بالای مرز دو سازند در قاعده واحد K2 افزایش می‌یابد. سایر آثار دیاژنزی عمیق شامل سطوح مقعر و محدب دانه‌ها در اثر فشار، کج‌شدگی دانه‌ها، انحلال فشاری و تشکیل سیمان‌های بلوکی است. با توجه

به برتری میکرایت و رخساره‌های گل غالب در واحد K3 این واحد کمتر تحت تأثیر دیاژنز قرار گرفته است و همانگونه که اشاره گردید دیاژنز غالب آن انحلال زیر مرز سازندهای کنگان و دالان است [۲۹].

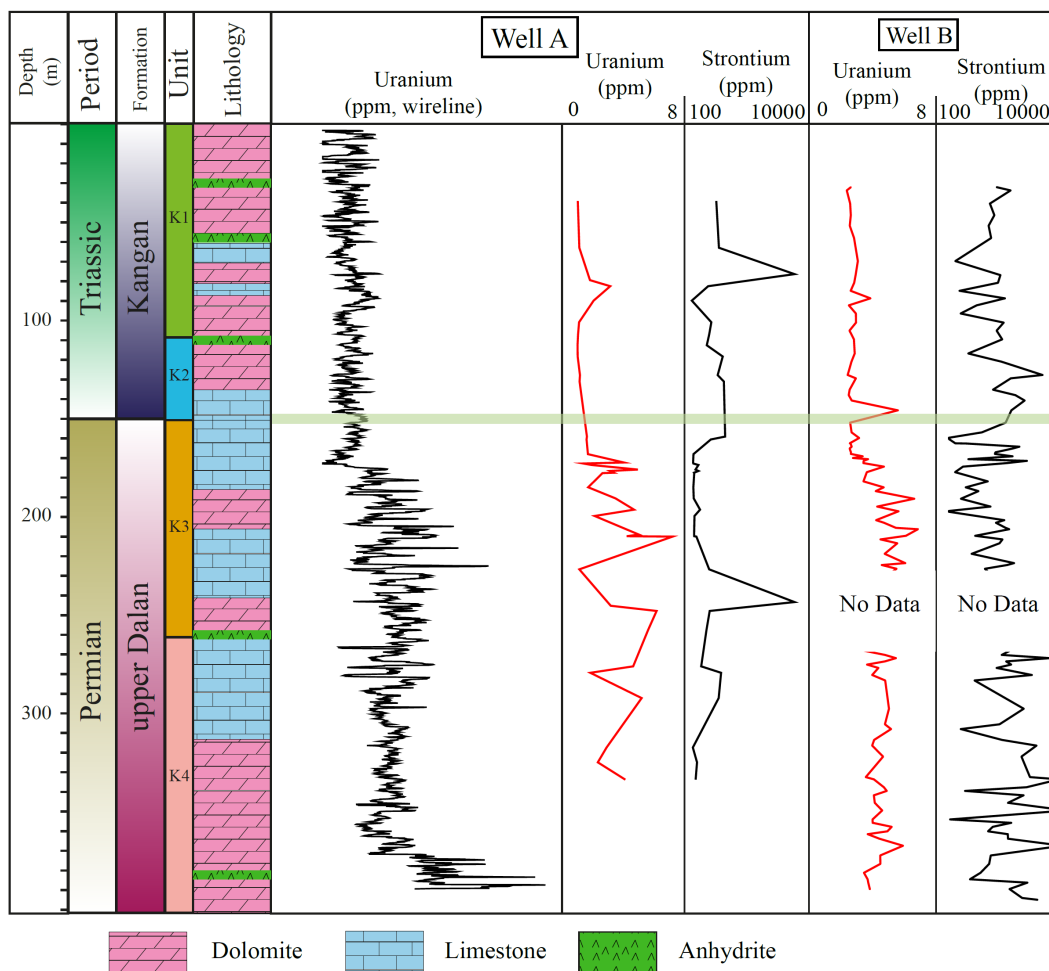
آنالیز عنصری

مقدار عناصر در واکنش به تغییرات محیطی ممکن است کاهش و یا افزایش پیدا کند و در نتیجه شاخص مناسبی جهت فهم تغییرات محیطی است. در محیط‌های رسوبی کربناته با توجه به تولید بخش اعظم رسوب در محل، این عناصر اطلاعات زیادی از شرایط محیط ته‌نشست خود را نشان می‌دهند. عناصر استرانسیوم و اورانیوم کاربرد زیادی در این خصوص در مطالعات رسوب‌شناسی محیط‌های کربناته دارند. هر دو این عناصر حساسیت زیادی به تغییرات محیطی و ورود رسوب همراه با آب‌های ورودی به حوضه دارند. بررسی روند تغییرات این دو عنصر در سازندهای مورد مطالعه در دو چاه (شکل ۲، جدول ۱) نشان می‌دهد که هر دو عنصر از بخش پایینی واحد K4 روند افزایشی را به سمت واحد K3 نشان می‌دهند. این روند در واحد K3 روند معکوس داشته و تا مرز پرمین-تریاس روند کاهشی هر دو عنصر قابل مشاهده است. پس از مرز نیز این روند کاهشی ادامه پیدا کرده و در بخش‌های پایینی واحد K1 این عناصر به حداقل میزان خود می‌رسند. پس از این مرحله، هر دو عنصر پیک مشخصی دارند و سپس به طور مجدد از مقادیر آنان کاسته می‌شود. هرچند روند تغییرات دو عنصر تقریباً یکسان است، تفاوت اندکی در نقاط عطف این داده‌ها مشاهده می‌گردد. بدین معنی که روند تغییرات این دو عنصر یکسان بوده اما نقاط چرخش روندهای افزایش و کاهش به طور دقیق بر هم منطبق نیست (شکل ۲).

آنالیز عنصری داده‌های بسیار دقیق و سودمندی را در اختیار محققان قرار می‌دهد اما این داده‌ها در اغلب موارد در دسترس نیستند. عدم وجود مغزه در اغلب مطالعات زیرسطحی و هزینه قابل‌ملاحظه این آنالیزها سبب گردیده است تا در بسیاری از موارد دسترسی به این داده‌ها مشکل باشد. بر خلاف این داده‌ها، داده‌های چاه‌پیمایی و به خصوص داده‌های چاه‌پیمایی معمول مانند نگاره گاما و نگاره‌های وابسته به آن از اغلب

نمی‌شود. از این پس تا مرز پرمین-تریاس روند کاهشی دیده می‌شود. پس از مرز پرمین-تریاس مقدار عنصر اورانیوم همواره کم بوده و در اغلب موارد بین ۲-۴ قسمت در میلیون در تغییر است. مقایسه این روند تغییرات با روندهای مشاهده شده در مقادیر اورانیوم و استرانسیوم به دست آمده از دستگاه آنالیز عنصری پلاسمای زوج القایی در همین فاصله، نشان می‌دهد که روندهای مشاهده شده بر یکدیگر منطبق است (شکل ۲). هرچند تعداد داده‌های نگاره بسیار بیش‌تر از نقاط آنالیز شده است، اما روند افزایش مقادیر این عناصر از حدود ۶۰ متری زیر مرز تا حدود ۳۵ متری مرز و سپس کاهش آن تا مرز بزرگ‌ترین انقراض موجودات بر روی کره زمین کاملاً مشخص است.

چاه‌های مخزنی در دسترس است. اگرچه این داده‌ها نیز با هزینه بالایی تهیه می‌شوند، کاربرد آنان در صنعت نفت و گاز سبب شده است تا در اغلب موارد به عنوان یکی از پرکاربردترین نمودارها در اغلب چاه‌های اکتشافی و توسعه‌ای موجود باشند. یکی از این نوع داده‌ها نگاره عنصر اورانیوم است که در برداشت نگاره گامای طیفی تهیه می‌گردد. دقت این ابزار در حد ۰/۵ قسمت در میلیون برای این عنصر است [۱۷]. تغییرات این نگاره در چاه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ دیده می‌شود. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، روند افزایشی میزان نگاره اورانیوم از حدود ۶۰ متری پایین مرز پرمین-تریاس آغاز می‌گردد. بین ۳۵ تا ۴۰ متر پایین‌تر از مرز این روند خاتمه می‌یابد و از این عمق تا حدود ۱۰-۱۵ متری زیر مرز تغییرات چندانی در روند مقادیر این عنصر دیده



شکل ۲. تغییرات عناصر اورانیوم و استرانسیوم در چاه‌های A و B به همراه تغییرات نگاره اورانیوم در چاه A. لیتولوژی کلی سازندهای کنگان و دالان همراه با واحدهای مخزنی در شکل دیده می‌شود.

جدول ۱. نتایج حاصل از آنالیز داده‌های استرانسیوم و اورانیوم در چاه‌های A و B در سازندهای مورد مطالعه

Well A			Well B								
Sample No.	U (ppm)	Sr (ppm)	Sample No.	U (ppm)	Sr (ppm)	Sample No.	U (ppm)	Sr (ppm)	Sample No.	U (ppm)	Sr (ppm)
1	0.039	2208	1	0.46	831.3	39	3	185.7	77	3.22	203.59
2	0.138	2443	2	0.15	1520.84	40	1.69	130.65	78	2.23	2693.21
3	0.789	23230	3	0.41	609.73	41	1.43	553.37	79	2.3	1353.41
4	2.032	1505.6	4	0.46	741.91	42	2.99	209.92	80	2.87	18000
5	1.015	70.4	5	0.38	575.61	43	2.37	367.76	81	2.13	105.23
6	0.122	1781	6	0.71	643.8	44	5.33	169.01	82	2.14	1561.41
7	0.054	1589	7	1	132.1	45	2.49	624.05	83	3.6	690.79
8	0.023	14360	8	0.83	967.66	46	4.12	86.46	84	3.27	560.96
9	0.033	2780	9	0.72	871.49	47	2.4	1147.65	85	1.76	1342.41
10	0.175	2331	10	0.45	159.56	48	3.01	793.84	86	2.66	1356.95
11	0.15	2882	11	1.97	1180.97	49	3.92	1220.56	87	4.47	15050.12
12	0.603	2985	12	0.31	339.42	50	5.61	1424.67	88	2.72	632.46
13	0.578	1739.2	13	0.85	167.1	51	4.69	318.52	89	2.73	589.82
14	0.662	216.2	14	0.86	1120.81	52	2.74	1062.6	90	1.47	403.15
15	2.866	182.7	15	0.36	820.14	53	4.03	931.41	91	1.75	252.37
16	0.384	204.1	16	0.7	1048.95	54	3.06	272.35	92	1.8	3188.74
17	0.905	2250.9	17	0.76	233.98	55	4.64	1768.29	93	1.92	1448.94
18	3.727	392.1	18	0.51	1017.64	56	2.84	1304.28	94	3.22	2539.03
19	2.028	643.7	19	0.22	6222.12	57	3.97	487.95	95	0.96	4938.19
20	2.262	260.8	20	0.85	1536.03	58	2.25	1320	96	2.69	5356.96
21	1.56	279.7	21	0.37	698.27	59	1.56	1578	97	1.56	719.62
22	0.681	200.6	22	0.3	1875.55	60	1.21	1561.14	98	2.96	3340.51
23	2.359	235.7	23	0.53	2827.4	61	3.08	1029.58	99	1.54	175.52
24	3.494	788.2	24	4.07	1575.08	62	3.92	8717.26	100	0.79	4379.34
25	1.076	298.6	25	0.41	1222.26	63	3.08	1245.57			
26	3.795	266.5	26	0.52	426.92	64	1.71	1560.44			
27	3.041	277.8	27	1.1	93.32	65	2.58	821.79			
28	5.858	474.2	28	0.38	131.88	66	2.1	3883.01			
29	0.132	1591	29	0.44	215.96	67	3.1	308.9			
30	2.064	21621.6	30	0.53	2236.36	68	3.39	2717.46			
31	4.881	1630.7	31	0.37	1687.41	69	3.08	931.23			
32	4.364	1355.3	32	0.47	779.36	70	3.55	168.49			
33	3.444	895	33	0.47	759.41	71	2.25	1043.53			
34	0.812	2632.7	34	1.37	1656.91	72	2.1	4781.86			
35	3.959	2425.6	35	0.63	546.07	73	2.94	2457.18			
36	1.805	164.2	36	1.78	235.82	74	1.61	3580.75			
37	1.27	525.1	37	1.44	3123.08	75	2.23	13003			
38	2.959	400.8	38	1.43	1288.99	76	3	3070.27			

بحث

حساس هستند، عنصر استرانسیوم تأثیر چندانی از فرآیندهای دیاژنزی نمی‌پذیرد. عنصر اورانیوم نیز شرایط مشابهی با عنصر استرانسیوم در خصوص حضور در کانی آراگونیت دارد. حضور این عنصر علاوه بر کانی‌شناسی اولیه، می‌تواند به مواردی مانند حضور ماده آلی، کانی‌های رسی و تغییرات رخساره‌ای نیز وابسته باشد اما مطالعاتی که در بخش مرکزی خلیج فارس بر روی عنصر اورانیوم در سازندهای کنگان و دالان انجام شده است نشان می‌دهد که این عنصر به هیچ‌یک از موارد فوق وابسته نبوده و تنها شرایط محیط ته‌نشست بر روی آن تأثیر داشته است [۲۹].

بررسی این دو عنصر در دو چاه مورد مطالعه در سازندهای کنگان و دالان نشان می‌دهد که روند تغییرات آنان با یکدیگر منطبق است. شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات

با توجه به ماهیت کربناته و رسوب‌گذاری درون حوضه‌ای سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس، این رسوبات برای مطالعات ترکیب شیمی آب دریاها بسیار مناسب هستند [۱۴ و ۱۶]. با توجه به حساسیت دو قطب کانی‌های کربناته اولیه (کلسیت و آراگونیت) به شرایط آب دریا در زمان ته‌نشینی، حضور هر یک از این دو کانی در زمان ته‌نشست رسوبات پرمین پایانی می‌تواند نشان دهنده شرایط آب دریای آن زمان باشد. با توجه به تمایل عنصر استرانسیوم برای قرارگیری در ساختمان آراگونیت، همواره مقادیر آن در این کانی بیش از کلسیت است و بنابراین حضور مقادیر بالاتر آن در کربنات‌ها اغلب نشان دهنده کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی است. اگرچه کربنات‌ها پس از ته‌نشست به فرآیندهای دیاژنزی بسیار

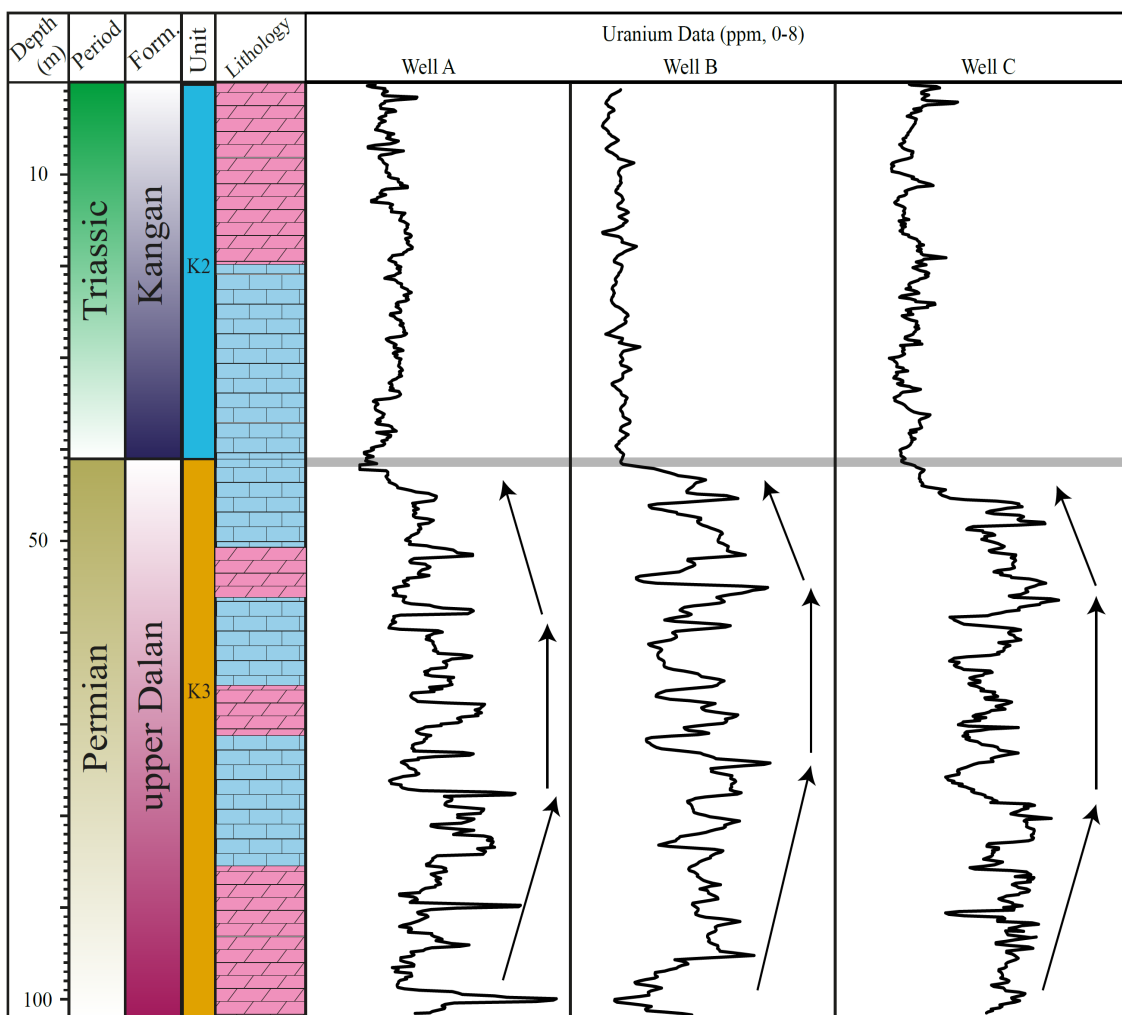
تغییرات عنصر اورانیوم به دست آمده از نگاره اورانیوم نیز روند یکسانی را با تغییرات دو عنصر یاد شده نشان می‌دهد. همانگونه که ذکر شد، نگاره اورانیوم اغلب از همه بخش‌های مخزنی سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس موجود بوده و در نتیجه می‌توان بر اساس این عنصر به بررسی کانی‌شناسی اولیه رسوبات پرداخت. نکته قابل‌ملاحظه در این خصوص آن است که پیش از استفاده از این عنصر باید به سایر عوامل تأثیرگذار بر آن نیز توجه ویژه نمود که این امر در خصوص سازندهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه پیش از این بررسی شده است.

بررسی دقیق عنصر اورانیوم در حدود ۶۰ متری زیر مرز سازندهای کنگان- دالان نشان می‌دهد که این عنصر سه فاز مشخص تغییرات را نشان می‌دهد که در مطالعات حیدری در مقطع شهرضا [۹] نیز به آن اشاره شده است. این تغییرات از پایین به بالا شامل حدود ۲۰-۲۵ متر افزایش در مقادیر اورانیوم است که این بخش به یک فاز آراگونیتی نسبت داده می‌شود. با توجه به اینکه پایداری آراگونیت در شرایط مطلوب رسوب‌گذاری کربناته یعنی در شرایط غیر اسیدی اتفاق می‌افتد، در این زمان آب دریاها از نظر شرایط اسیدی- بازی در شرایط بازی تا خنثی قرار داشته است که آراگونیت در آن پایدار بوده است. پس از این عمق، در حدود ۱۰-۱۵ متر روند تقریباً ثابتی (همراه با کاهش اندک) در مقادیر اورانیوم مشاهده می‌گردد. در این زمان آب دریا به تعادل رسیده است و به عبارت دیگر شرایط تقریباً خنثی داشته است. از این زمان به بعد و تا مرز انقراض، کاهش ناگهانی و شدیدی در میزان اورانیوم مشاهده می‌گردد که نشان دهنده رسوب کلسیت و در نتیجه پایین آمدن pH محیط و بالا رفتن فشار گاز دی اکسید کربن در آب دریاها و به تبع آن جو زمین است. با توجه به اینکه شرایط اسیدی در انتهای پرمین در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است و حتی در منطقه مورد مطالعه نیز پیش از این بر اساس داده‌های عنصر استرانسیوم به اثبات رسیده بود [۲۸]، این امر تأیید می‌گردد. زمان تغییرات یاد شده در فاز سوم در این منطقه در مقایسه با مطالعه حیدری بسیار کوتاه‌تر است. به عبارت دیگر فاز سوم تغییرات که درست در زیر مرز قرار دارد و نشان دهنده اسیدی شدن محیط ته‌نشست رسوبات است، بسیار کوتاه‌تر از مقاطع

این عناصر را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه هدف این مطالعه بررسی شرایط آب اقیانوس در انتهای پرمین است، تغییرات این بخش به طور دقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانگونه که مشاهده می‌شود، مقادیر استرانسیوم از حدود ۶۰ متری زیر مرز شروع به افزایش می‌کند که این امر نشان می‌دهد در پایان پرمین اندکی پیش از انقراض بزرگ موجودات، دریای آراگونیتی در بخش مرکزی خلیج فارس فعلی وجود داشته است. از حدود ۳۵ متری پایین‌تر از این مرز، روند کاهشی مقادیر استرانسیوم متوقف می‌شود که نشان می‌دهد فاز کانی کربناته پایدارتر می‌گردد و به تدریج از مقدار کانی آراگونیت کاسته می‌شود. از این عمق تا حدود ۱۵ متری زیر مرز شرایط تعادلی آب دریا سبب ته‌نشست همزمان کلسیت و آراگونیت شده است. از این عمق تا مرز انقراض، روند کاهشی مشخص عنصر استرانسیوم نشان می‌دهد که دریاها در این زمان به سمت مرز سازندهای کنگان و دالان کلسیتی شده‌اند. این امر پیش از این در مطالعات قبلی نیز در مقاطع کامل سازندهای کنگان و دالان در سایر مناطق ایران به اثبات رسیده بود [۸]. دولومیتی‌شدن در بخش‌های مختلف سازندهای کنگان و دالان روند تغییرات یون Mg را بسیار نامنظم ساخته است و در نتیجه نمی‌توان از این عنصر برای فهم تفاوت بین کانی‌شناسی اولیه کربنات با منیزیم کم و زیاد استفاده نمود. روند تغییرات عنصر اورانیوم نیز شباهت کاملی را با تغییرات عنصر استرانسیوم در هر دوچاه نشان می‌دهد اما این عنصر همواره چند متر زودتر از استرانسیوم تغییر می‌یابد و به عبارت دیگر هرچند روند تغییرات بر یکدیگر منطبق است، جابجایی عمقی مشخصی در تغییرات این دو عنصر نسبت به یکدیگر دیده می‌شود. به همین دلیل است که رسم داده‌های اورانیوم در برابر استرانسیوم ضریب برازشی بالایی را نشان نمی‌دهد (شکل ۴) و در نتیجه ارتباط این دو عنصر تا امروز کمتر شناخته شده است. این امر به سبب حساسیت بالای اورانیوم نسبت به شرایط محیطی است [۳۵]. به عبارت دیگر پس از تغییر در شرایط محیطی، مدت زمانی که عنصر اورانیوم به این تغییرات واکنش نشان می‌دهد کوتاه‌تر از زمان واکنش عنصر استرانسیوم است و در نتیجه بررسی کانی‌شناسی اولیه بر اساس تغییرات اورانیوم به زمان حقیقی تغییرات در زمان ته‌نشست رسوبات کربناته نزدیک‌تر است. روند

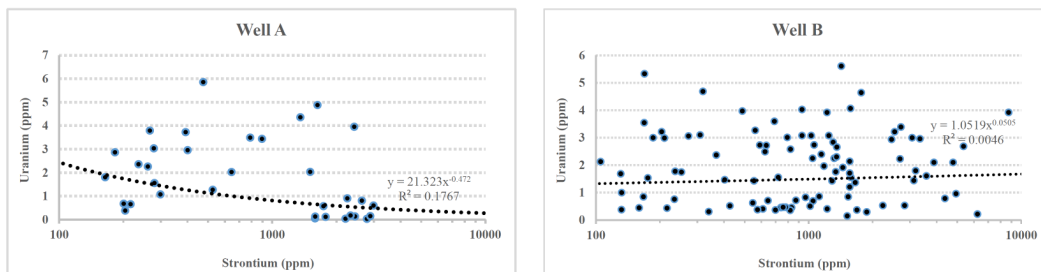
منطقه و مناطق مجاور انجام شده است، هیچ‌یک شرایط متفاوتی را از آب دریا در این زمان نسبت به سایر مناطق کره زمین نشان نداده است. دلیل دوم می‌تواند عدم رسوب‌گذاری و یا فرسایش پس از آن در انتهای پرمین در منطقه مورد مطالعه باشد. با توجه به اینکه پایین آمدن سطح آب دریا در بخش مرکزی خلیج فارس پیش از این به اثبات رسیده است [۲۸ و ۲۲] این امر می‌تواند توجیح کننده زمان کوتاه کاهش عنصر اورانیوم و دریا‌های کلسیتی در منطقه مورد مطالعه باشد. به عبارت دیگر پایین آمدن سطح آب دریا در انتهای پرمین در منطقه مورد مطالعه سبب شده است تا دوره رسوب کلسیت در این منطقه کوتاه‌تر از مناطقی باشد که رسوب‌گذاری کامل در آن اتفاق افتاده است.

کامل پرمین - تریاس رخ داده است. این زمان کوتاه‌تر ممکن است به دو دلیل دیده شود. اول اینکه انقراض موجودات در بخش مرکزی خلیج فارس در زمان انتهای پرمین در واقع بسیار سریع‌تر از بخش‌های مجاور آن اتفاق افتاد است. با توجه به اینکه پدیده انقراض پرمین - تریاس یک انقراض جهانی است و در بسیاری از مناطق مختلف جهان گزارش شده است، روند تقریباً یکسانی را در کل کره زمین داشته است و در نتیجه بسیار بعید است که دو منطقه مجاور هم تغییر زیادی را در زمان انقراض داشته باشند. هم‌چنین با توجه به اینکه ماهیت خود این تغییر ناگهانی است، فرض اینکه در برخی مناطق به این سرعت اتفاق افتاده باشد، بسیار دو از ذهن می‌نماید. علاوه بر این مطالعاتی که تا کنون در این

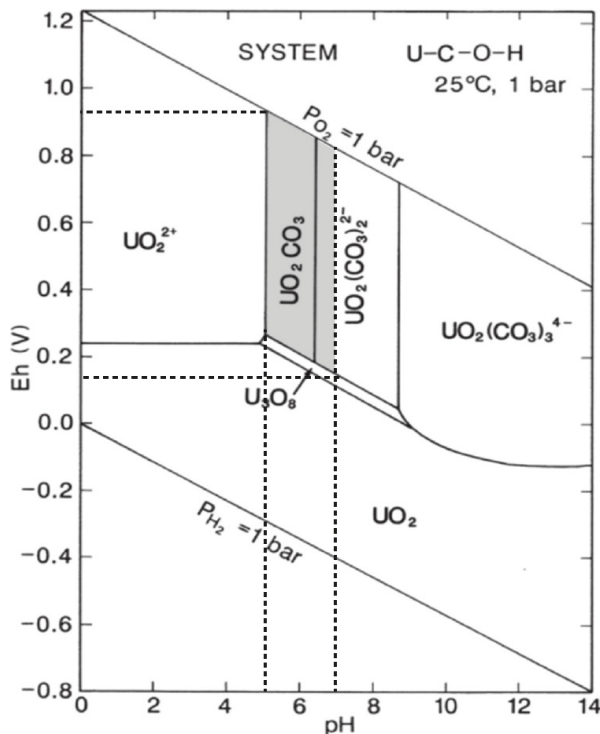


شکل ۳. تغییرات نگراره اورانیوم در سه چاه مورد مطالعه. سه روند بیان شده در متن با علامت پیکان نشان داده شده است. راهنمای ستون لیتولوژی شبیه شکل ۲ است.

ولت توان تنشست دارد، در این زمان با توجه به اعداد Eh، محیط در شرایط احیایی بوده است (برای محدوده پتانسیل اکسایش نگاه کنید به [۴]). متأسفانه با توجه به داده‌های موجود تا این زمان، نمی‌توان محدوده کوچک‌تری را برای پتانسیل کاهش برای محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت اما همین محدوده تعیین شده نیز شرایط احیا را در انتهای مرز پرمین و در زمان انقراض موجودات به اثبات می‌رساند. مطالعات بسیاری تاکنون چنین شرایطی را در انتهای پرمین در بخش‌های مختلف جهان به اثبات رسانده بودند [۷، ۳۶، ۱۸، ۱۰ و ۳۳].



شکل ۴. رسم داده‌های اورانیوم و استرانسیوم در مقابل یکدیگر در دو چاه A و B نشان می‌دهد که تغییرات این دو عنصر همزمان نیست و بنابراین ضریب برازشی پایینی برای هر دو چاه مشاهده می‌گردد.



شکل ۵. نمودار اسیدی-بازی در مقابل اکسید-احیا (Eh-pH) برای سامانه اکسیژن-کربن-هیدروژن و اورانیوم که در آن محدوده رسوبگذاری سازندهای کنگان و دالان به رنگ خاکستری دیده می‌شود. محدوده پایداری کربنات در این شرایط با خط چین نشان داده شده است. نمودار پایه از [۸].

موجودات سازنده کربنات می‌توانسته‌اند به حیاط خود ادامه دهند. در ادامه و با نزدیک شدن به انتهای پرمین، شرایط متعادلی در آب دریاها وجود داشته است که کربنات در آن به صورت کلسیت و آراگونیت رسوب می‌نموده است اما با تغییر در شرایط آب اقیانوس و افزایش فشار گاز دی‌اکسید کربن در آب‌ها، محیط ته‌نشست تنها برای رسوب‌گذاری کلسیت مناسب بوده است. در چنین شرایطی اورانیوم و استرانسیوم کمتری به رسوبات وارد شده است. در نتیجه این شرایط اغلب موجودات آهک‌ساز توانایی زیستن نداشته و نمی‌توانسته‌اند به حیات خود ادامه دهند. بررسی شرایط پتانسیل اکسایش محیط نیز نشان داد که در این زمان علاوه بر اسیدی بودن محیط، آب دریا در شرایط احیا بوده است و اکسیژن اندکی برای فرآیندهای زیستی در اختیار موجودات قرار داشته است. نتایج حاصل از این مطالعه علاوه بر فهم شرایط آب اقیانوس در انتهای پرمین نشان داد که می‌توان با استفاده از نگاره اورانیوم که از اغلب سازندهای مخزنی کشور موجود است، به درک شرایط حاکم بر محیط رسوب‌گذاری پرداخت و از این راه شرایط آب دریاها را در زمان رسوب‌گذاری بازسازی نمود.

منابع

- [1] Becker, L., Poreda, R.J., Hunt, A.G., Bunch, T.E., Rampino, M (2001) Impact event at the Permian-Triassic boundary: evidence from extraterrestrial noble gases in fullerenes. *Science*, 291: 1530–1533.
- [2] Bowring, S.A., Erwin, D.W., Jin, Y.G., Martin, M.W., Davidek, K., Wang, W (1998) U/Pb zircon geochronology and temp of the end-Permian mass extinction. *Science*, 280: 1039–1045.
- [3] Brookins, D. G (1988) Eh-pH Diagrams for Geochemistry. Springer –Verlag, Berlin. 176 p.
- [4] Delaune, R. D., and Reddy, K. R (2005) Redox Potential. In: Hillel, D., (ed). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Academic Press. 366–371.
- [5] Ellis, J., Schramm, D.N (1995) Could a nearby supernova explosion have caused a mass extinction. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 92: 235–238.
- [6] Erwin, D.H., Bowring, S.A., Yugan, J (2002) End-Permian mass extinction: a review. In: Koeberl, C., MacLeod, K.G., (eds.), *catastrophic events and mass extinctions: impacts and beyond*. Geological Society of America Special Paper 356: 363–383.
- [7] Golonka J., & Ford D.W (2000) Pangean (Late Carboniferous-Middle Jurassic) aleoenvironment

تغییرات سطح آب دریا از عواملی است که می‌تواند بر تغییرات عنصری و کانی‌شناسی رسوبات مؤثر باشد. به همین سبب لازم است تا این تغییرات در سازندهای مورد مطالعه با یکدیگر مقایسه گردد. تغییرات سطح آب دریا در سازندهای کنگان و دالان تا کنون در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۸] و منابع موجود در آن]. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که مرز بین واحدهای مخزنی K3 و K4، یک مرز سکانشی است. در ضمن مرز بین سازندهای کنگان و دالان نیز نشان‌دهنده حداکثر پایین آمدگی سطح آب دریا است که به عنوان یک مرز سکانشی در نظر گرفته شده است. بخش پایینی واحد K3 نشان‌دهنده شروع بالآمدگی آهسته سطح آب دریا بوده و سپس سطح آب با نرخ سریع‌تری بالا می‌آید تا جایی که در میانه واحد K3 به حداکثر خود رسیده و سپس کاهش می‌یابد تا در مرز پرمین و تریاس به پایین‌ترین مقدار خود می‌رسد. با توجه به این که در انتهای پرمین سطح آب دریا همواره در حال کاهش بوده است، نمی‌توان تغییرات عنصری مشاهده شده را به تغییرات سطح آب دریا در این زمان نسبت داد. با پایین رفتن سطح آب دریا فضای لازم برای رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد و در نتیجه رسوب کربنات کمتری نهشته می‌شود اما رسوب‌گذاری کربنات در دریای کم‌عمق آن زمان هم‌چنان ادامه یافته است.

نتیجه‌گیری

بررسی مقادیر استرانسیوم و اورانیوم عنصری در سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس نشان داد که مقادیر این دو عنصر به صورت یکنواخت اما با کمی تأخیر زمانی استرانسیوم نسبت به اورانیوم تغییر می‌یابند که این امر به سبب حساسیت بیش‌تر اورانیوم به شرایط محیطی است. با توجه به اینکه عناصر استرانسیوم و اورانیوم به طور ترجیحی وارد ساختمان کانی آراگونیت می‌شوند، در نتیجه می‌توان از این عناصر برای فهم تغییرات ترکیب کانی‌شناسی اولیه کربنات‌ها و سپس آب دریای گذشته استفاده نمود. بررسی روند تغییرات عنصر اورانیوم که از نگاره گاما به دست آمده بود سه مرحله تغییرات شیمی آب دریا را در انتهای پرمین نشان داد. در مرحله اول دریاها آراگونیتی بوده و در نتیجه فشار پایین دی‌اکسید کربن در آب‌ها، این کانی پایدار بوده است. در چنین شرایطی

- determination of major to ultratrace elements in geological samples by fusion-dissolution and inductively coupled plasma mass spectrometry techniques. *AnalyticaChimicaActa*, 625: 117-130.
- [20] Mohammadi Dehcheshmehi, S., Adabi, M. H., Hejazi, S. H (2013) Depositional facies and geochemistry of the Kangan formation in the South Pars Field, Persian Gulf (Iran). *Carbonates and Evaporites*, 28: 297-307.
- [21] Rahimpour-Bonab H., Enayati-Bidgoli, A.H., Navidtalab, A., Mehrabi, H (2014) Appraisal of intra reservoir barriers in the Permo-Triassic successions of the Central Persian Gulf, Offshore Iran. *GeologicaActa*, 12: 87-107.
- [22] Rahimpour-Bonab, H., Asadi-Eskandar, A., Sonei, R (2009) Controls of Permian-Triassic boundary over reservoir characteristics of South Pars Gas field, Persian Gulf. *Geological Journal*, 44: 341-364.
- [23] Renne, P.R., Zichao, Z., Richards, M.A., Black, M.T., Basu, A.R (1995) Synchrony and causal relations between Permian-Triassic boundary crises and Siberian flood volcanism. *Science*, 269: 1413-1416.
- [24] Retallack, G.J., Jahren, A.H (2008) Methane release from igneous intrusion of coal during Late Permian extinction events. *Journal of Geology*, 116: 1-20.
- [25] Retallack, G.J., Seyedolali, A., Krull, E.S., Holser, W.T., Ambers, C.P., Kyte, F.T (1998) Search for evidence of impact at the Permian-Triassic boundary in Antarctica and Australia. *Geology*, 26: 979-982.
- [26] Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., Simmons, M.D (2001) Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia Special Publication 2*, Gulf PetroLink, Manama: 372 pp.
- [27] Stanley, S.M (1988) Paleozoic mass extinctions; shared patterns suggest global cooling as a common cause. *American Journal of Science*, 288: 334-352.
- [28] Tavakoli, V (2015) Chemostratigraphy of the Permian-Triassic Strata of the Offshore Persian Gulf, Iran. In: Ramkumar, M., (ed.) *Chemostratigraphy: Concepts, Techniques, and Applications*. Elsevier: 373-393.
- [29] Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H (2012) Uranium depletion across Permian-Triassic Boundary in Persian Gulf and its implications for paleoceanic conditions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350: 101-113.
- [30] Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Esrafilidizaji, B (2011) Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars Gas field, an integrated approach. *ComptesRendus Geoscience*, 343: 55-71.
- and lithofacies. In: Stemmerik L.S., & Trappe J., (eds), *Pangea: The Late Carboniferous to Late Triassic interval*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161: 1-34.
- [8] Heydari, E., Arzani, N., Safaei, M., Hassanzadeh, J (2013) Ocean's response to a changing climate: Clues from variations in carbonate mineralogy across the Permian-Triassic boundary of the Shareza Section, Iran. *Global and Planetary Change* 105, 79-90.
- [9] Heydari, E., Hassanzadeh, J., Wade, W.J., Ghazi, A.M (2003) Permian-Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for the mass extinction: Part 1. *Sedimentology, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 405-423.
- [10] Hotinski, R.M., Bice, K.L., Kump, L.R., Najjar, R.G., and Arthur, M.A (2001) Ocean stagnation and end- Permian anoxia. *Geology*, 29: 7-10.
- [11] Hu, G., Jin, Z., Zhang, F (2008) Constraints of authigenic carbonates on trace elements (Sr, Mg) of lacustrine ostracod shells in paleoenvironment reconstruction and its mechanism. *Science China*, 51: 654-664.
- [12] Isozaki, Y (1997) Permo-Triassic boundary superanoxia and stratified superocean: record from the deep sea. *Science*, 276: 235-238.
- [13] Karimpouli, S., Hassani, H., Malehmir, A., Nabi-Bidhendi, M., Khoshdel, H (2013) Understanding the fracture role on hydrocarbon accumulation and distribution using seismic data: A case study on a carbonate reservoir from Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 96: 98-106.
- [14] Kidder, D.L., Worsley, T.R (2004) Causes and consequences of extreme Permo-Triassic warming to globally equable climate and relation to the Permo-Triassic extinction and recovery. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203: 207-237.
- [15] Kitano, Y., Oomori, T (1971) The coprecipitation of uranium with calcium carbonate. *Journal of Oceanography*, 27: 24-42.
- [16] Knoll, A.H., Bambach, A.K., Canfield, D.E., Grotzinger, J.P (1996) Comparative Earth history and Late Permian mass extinction. *Science*, 273: 452-457.
- [17] Krygowski, D., A (2003) *Guide to Petrophysical Interpretation*. Austin Texas USA. 147 p.
- [18] Kump, L.R., Pavlov, A., and Arthur, M.A (2005) Massive release of hydrogen sulfide to the surface ocean and atmosphere during intervals of oceanic anoxia. *Geology*, 33: 397-400.
- [19] Madinabeitia, S.G., Lorda, M.E.S., and Ibarguchi, J.I.G (2008) Simultaneous

- [31] Tucker, M. E (2001) Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks. Wiley-Blackwell; 3rd edition, 272 pp.
- [32] Veizer, J., Compston, W (1974) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ composition of seawater during the Phanerozoic. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 1461-1484.
- [33] Wignall, P.B., and Hallam, A (1992) Anoxia as a cause of the Permian/Triassic extinction: Facies evidence from northern Italy and the western United States. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 93: 21-46.
- [34] Wignall, P.B., and Twitchett, R.J (1996) Ocean anoxia and the end-Permian mass extinction. *Science*, 272: 1155-1158.
- [35] Wignall, P.B., Twitchett, R.J (2002) Extent, duration, and nature of the Permian Triassic superanoxia. In, Koeberl, C., MacLeod, K.G., (eds.), *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond*. Geological Society of America, Special Publication, 356: 395-423.
- [36] Winguth, A., and Winguth, C (2013) Precession-driven monsoon variability at the Permian-Triassic boundary-Implications for anoxia and the mass extinction. *Global and Planetary Change*, 105: 160-170
- [37] Wit, M.J., Ghosh, J.G., Villiers, S., Rakotosolof, N., Alexander, J., Tripathi, A., Looy, C (2002) Multiple Organic carbon isotope reversals across the Permian-Triassic boundary of terrestrial Gondwana sequences: clues to extinction patterns and delayed ecosystem recovery. *Journal of Geology*, 110: 227-240.
- [38] Ziegler, M (2001) Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and Its Hydrocarbon Occurrences. *GeoArabia*, 6: 445-504.