

ارتباط بین فاکتور شوری، رخنمون تحت‌الجوی و کیفیت مخزنی: مثالی از پرموتریاس

خلیج فارس

سجاد قره‌چلو، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران*

حسین رحیم‌پوربناب، استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه تهران

بهروز اسرافیلی دیزجی، دانشجوی دکترای دانشگاه تهران

حسن خاوش، دانشجو کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

چکیده

میدان گازی پارس جنوبی یکی از بزرگترین میادین گازی در جنوب ایران و خلیج فارس است که حاوی ۱۹ درصد از منابع گازی دنیا است. سازندهای دالان (به سن پرمین پسین) و کنگان (به سن تریاس پیشین) مهمترین سنگ مخزن میدان پارس جنوبی می‌باشد. در این مطالعه از فاکتور شوری^۱ بعنوان یک پارامتر قابل اعتماد در شناسایی مرز پرمین تریاس و تغییرات کیفیت مخزنی استفاده شده است. در این مقاله سعی شده است که از جنبه‌های مختلف تغییرات الگو رخساره‌ای، روند دیاژنزی، فاکتور شوری، تخلخل و تراوایی در مرز پرموتریاس و واحدهای مجاور آن نشان داده شود. فاکتور شوری در محدوده مرز پرموتریاس و بخصوص در واحدهای چند متر زیر مرز کم می‌شود (بیشتر از ۱۹۵- در هزار)، که این نشان‌دهنده قلمرو دیاژنزی جوی و انحلال در واحدهای دالان بالایی است. این تغییرات بخصوص در واحدهای زیرین مرز پرموتریاس به روشنی بیان کننده رخنمون تحت‌الجوی و وجود یک ناپیوستگی چینه‌شناسی در این افق می‌باشد. افزایش کیفیت مخزنی در مرز پرموتریاس قابل ملاحظه است اما در افق‌های دورتر از مرز کاهش می‌یابد. به طور کلی، این شواهد به همراه تغییرات رخساره‌ای (حضور رخساره ترومبولیتی در ابتدای تریاس سازند کنگان) دلالت بر اهمیت رخنمون تحت‌الجوی و مرز فرسایشی پرموتریاس در افزایش کیفیت مخزنی دارد.

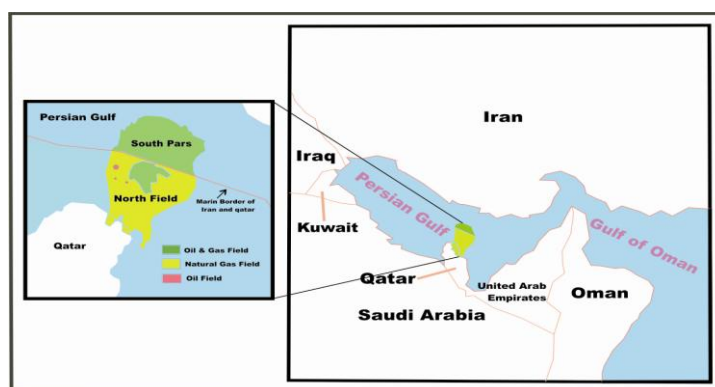
واژه‌های کلیدی: فاکتور شوری، کیفیت مخزنی، مرز پرموتریاس، سازند دالان و کنگان، پارس جنوبی، رخساره.

مقدمه

Bashari 2005, Alai et al. 2006, Insalaco 2006, Rahimpour-Bonab 2007, Rahimpour-Bonab et al. 2009, Rahimpour-Bonab et al. 2010).

میدان پارس جنوبی در موقعیت ۵۲ تا ۵۲/۵ درجه شرقی و ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه شمالی در حدود ۱۰۰ کیلومتری بندر عسلویه، ۱۷۵ کیلومتری کیش و ۱۰۵ کیلومتری سواحل قطر واقع شده است که سنگ مخزن اصلی آن سازند دالان و کنگان می‌باشند. وسعت این میدان بیش از ۶۰۰۰ کیلومتر مربع و دارای طولی تقریبی ۱۵۰ و عرض تقریبی ۷۰ کیلومتر است (شکل ۱).

سازندهای دالان و کنگان از مخازن اصلی گازی در خاورمیانه بوده و به عنوان یکی از اقتصادی‌ترین مخازن هیدروکربوری جهان شناخته شده‌اند. این دو سازند در خلیج فارس و میدان پارس جنوبی از نظر تأمین منابع انرژی بسیار حائز اهمیت هستند. همین‌طور به دلیل استراتژیک بودن سازند دالان و کنگان و معادل عربی آن (سازند خوف) تا کنون مورد توجه و مطالعه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Kashfi 1992, Alshahran and Narim 1997, Kashfi 2000, Bordenave 2002,



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی

وجود تأثیر این دو پدیده بر روی تخلخل همیشه مثبت نبوده به طوری که بسیاری از سنگ‌های کربناته که با رخنمون تحت الجوی مواجه بوده‌اند اما تخلخل و نفوذپذیری کمی دارند (Saller et al. 1999). ولی در میدان پارس جنوبی ناپیوستگی بین دو سازند تأثیر بسزایی در پتانسیل مخزنی واحدهای زیرین این سطح داشته است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر ناپیوستگی بین سازندهای دالان و کنگان بر روی روند تغییرات رخساره‌ای، دیاژنزی، ژئوشیمی و تخلخل و تراوایی (کیفیت مخزنی) می‌باشد. البته در این مطالعه تأکید بر روی، رابطه کاهش فاکتور شوری که نشان دهنده قلمرو دیاژنز جوی (انحلال) و افزایش تخلخل در واحدهای زیرین مرز و به تبع آن افزایش پتانسیل مخزنی است. با

در این مطالعه بررسی تغییرات فاکتور شوری، دیاژنزی، رخساره‌ای و کیفیت مخزنی در مرز بین دو سازند دالان و کنگان در یکی از چاه‌های میدان پارس جنوبی مورد توجه است. مجموع این پارامترها نشان می‌دهند که چگونه رخنمون تحت الجوی و دیاژنز موجب افزایش کیفیت مخزنی در سنگ‌های کربناته می‌شود. شناسایی این فاکتورها در اکتشافات هیدروکربنی نقش مهمی دارد. ناپیوستگی‌های مرتبط با سطوح رخنمون یافته تحت الجوی عموماً اثرات شدیدی را بر روی دیاژنز و کیفیت مخزنی واحدهای مرتبط بر جا می‌گذارد (Hurley et al. 1995, Wendt et al. 1995). رخنمون تحت الجوی و دیاژنز متتوریک نقش بسزایی در ایجاد و حفظ تخلخل در سنگ‌های کربناته دارند. با این

روند تغییرات آن با تغییرات تخلخل و تراوایی در محدوده مرز پرموتریاس و واحدهای بالا و پایین آن مقایسه شد.

مرز پرمین - تریاس در خلیج فارس

مرز پرمین - تریاس یک رخداد جهانی می‌باشد که به وسیله یک انقراض دسته جمعی شناخته شده است. در خلیج فارس نیز این مرز در بین سازند دالان و کنگان ثبت شده است که از مهمترین شواهد آن ظهور ترومبولیت‌ها در ابتدای تریاس می‌باشد و نشان دهنده یک رخداد پس از انقراض است (e.g Schubert and Bottjer 1992; Lehrmann 1999; Lehrmann et al. 2003). در مورد ماهیت مرز پرمین - تریاس در خلیج فارس نظرات مختلفی وجود دارد. روزن (Rosen 1979) معتقد است که بخشی از آشکوب جلفین در مرز پرمین - تریاس وجود دارد. اینسالاکو (Insalaco et al. 2006) پس از مطالعه مقاطع مختلف زیر سطحی در خلیج فارس به این نتیجه رسید که بین سازند دالان بالایی و کنگان پایینی رخنمون یافتگی طولانی مدتی رخ نداده است. به همین خاطر گذر پرمین - تریاس در خلیج فارس از نظر ژئوکرونولوژی، رسوب‌شناسی و دیاژنزی به صورت زیر می‌باشد (Rahimpour-Bonab et al. 2009):

۱) آپلیت ناحیه‌ای در انتها پرمین و پسروری آب دریا؛
 ۲) در ادامه رخنمون تحت‌الجوی و فرسایش کربنات‌های کم عمق و به دنبال آن دیاژنز متئوریک (میکرو کارست، سیمان کلسیت اسپارایت)؛
 ۳) پیشروی آب دریا در تریاس میانی و جابجایی رسوبات قدیمی تر و ته نشست آن به صورت رخساره قاعده‌ای پیشرونده؛
 ۴) شروع تشکیل یک پلاتفرم اپی ریک کربناته کم عمق که بطور متناوب تحت تأثیر دیاژنز جوی قرار می‌گرفت؛
 ۵) گسترش دیاژنز جوی در مدت زمان‌های کوتاهی که به صورت چرخه‌ای پلاتفرم اپی ریک کربناته را تحت تأثیر قرار می‌داد.

بررسی یک چاه در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پتروگرافی، داده‌های تخلخل تراوایی مغزه و داده ژئوشیمی می‌توان وجود ناپیوستگی چینه‌ای و رخنمون تحت‌الجوی و تأثیر آن بر روی کیفیت مخزنی در مرز این دو سازند را نشان داد.

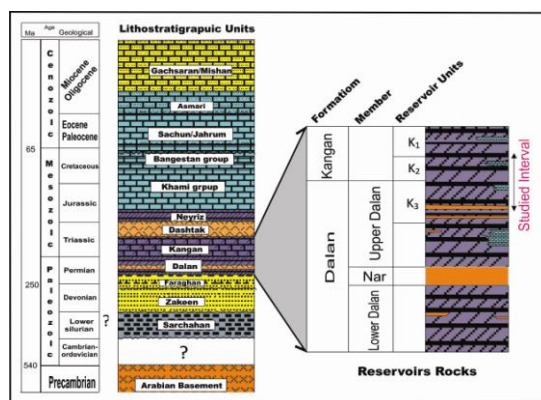
روش مطالعه

در این مطالعه با توجه به اهمیت مرز پرموتریاس حدود ۵۰ متر از رسوبات بالایی و ۵۰ متر از رسوبات پایینی مرز مورد بررسی قرار گرفت که ستون چینه‌شناسی واحدهای مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور شناسایی تغییرات رسوبی (لیتولوژی، رخساره، بافت، ساخت، نوع آلومک‌ها، فسیل‌ها) و تغییرات دیاژنزی (انحلال، سیمانی شدن، بلوری شدن دوباره، تراکم فیزیکی و شیمیایی و غیره) در این تحقیق، ۲۰۰ عدد مقطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفت و برای تفکیک رخساره‌های آهکی از دولومیتی بخشی از مقاطع نازک با محلول آلزارین قرمز رنگ آمیزی شدند (Dickson 1965). داده‌های تخلخل و تراوایی مربوط به آنالیز معمول مغزه^۱ می‌باشند.

همین‌طور برای بررسی فاکتور شوری در اطراف مرز پرموتریاس (عضوهای K_2 و K_3) از داده ایزوتوپ پایدار اکسیژن در این مطالعه استفاده شده است. برای انجام آنالیزهای ایزوتوپ پایدار ۱۱۲ نمونه از سازند دالان و کنگان و عضوهای K_2 و K_3 انتخاب شدند (جدول ۱). نمونه‌ها از مغزه یکی از چاه‌های میدان پارس جنوبی تهیه شده‌اند. تمامی نمونه‌ها بصورت پودر شده به منظور انجام آنالیز ایزوتوپ پایدار اکسیژن و کربن به آزمایشگاه دانشگاه تگزاس^۲ فرستاده شده‌اند. در این مطالعه ابتدا تغییرات رخساره‌ای و دیاژنزی رسوبات با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفت و در ادامه با استفاده از داده ژئوشیمی و محاسبه فاکتور شوری

¹ Conventional Core Analysis (CCAL)

² Texas A and M University's Laboratory



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی واحدهای مورد مطالعه

جدول ۱- مقادیر ایزوتوپ پایدار اکسیژن در یکی از چاه‌های میدان چارس جنوبی

Depth(m)	$\delta^{18}O(PDB)$	Depth(m)	$\delta^{18}O(PDB)$	Depth(m)	$\delta^{18}O(PDB)$	Depth(m)	$\delta^{18}O(PDB)$	Depth(m)	$\delta^{18}O(PDB)$	Depth(m)	$\delta^{18}O(PDB)$
2932.64	-2.71	2958.54	-3.02	2984.54	-3.43	3002.49	-5.86	3013.89	-5.72	3024.34	-0.13
2933.68	-2.46	2958.83	-3.05	2984.58	-2.86	3004.81	-5.63	3014.32	-5.93	3025.6	1.71
2935.13	-2.96	2959.26	-3.37	2985.2	-5.83	3005.57	-5.45	3014.53	-5.02	3026.31	-1.37
2936.31	-3.27	2968.86	-2.46	2985.53	-6.27	3006.91	-6.00	3015.27	-4.69	3027.55	0.08
2936.83	-2.61	2969	-2.46	2986.2	-4	3007.61	-5.33	3015.59	-4.12	3029.26	1.35
2938.35	-3.05	2970.5	-2.58	2987.61	-3.43	3007.83	-4.86	3016.21	-4.78	3030.2	1.16
2941.33	-2.60	2971.31	-2.39	2987.94	-3.20	3009.01	-4.33	3016.57	-5.08	3030.78	2.23
2941.91	-2.83	2973.65	-2.54	2988.56	-2.40	3009.41	-5.79	3017.3	-2.12	3032.91	1.32
2942.26	-3.01	2973.92	-2.62	2988.89	-5.39	3009.71	-5.66	3017.57	-1.92	3033.5	-1.35
2944.11	-3.00	2975.52	-2.30	2992.29	-5.46	3010.07	-5.22	3017.81	-4.70	3034.54	1.45
2947.5	-3.19	2977.23	-2.68	2993.87	-5.60	3010.41	-5.09	3017.88	-3.32	3035.3	1.47
2947.71	-2.92	2977.67	-2.43	2994.57	-5.38	3010.71	-5.39	3018.53	-4.94	3035.56	1.56
2948.14	-2.72	2981.51	-2.48	2995.52	-5.64	3010.88	-5.37	3019.16	-3.24	3035.9	3.26
2948.54	-2.21	2981.59	-2.44	2996.55	-5.85	3011.26	-5.39	3019.73	-2.95	3041.21	1.62
2950.26	-2.77	2981.83	-2.38	2997.58	-5.78	3011.57	-5.16	3020.21	-1.54	3042.61	2.48
2950.48	-3.01	2981.97	-5.77	2998.61	-5.47	3012.33	-5.23	3020.69	-0.23	3060.91	2.48
2950.82	-2.91	2982.24	-2.29	2999.85	-5.42	3012.53	-5.72	3021.57	0.65	3066.69	2.54
2951.94	-2.33	2983.85	-5.24	3000.53	-5.22	3013.33	-5.18	3022.61	-0.13		
2955.58	-2.23	2984.21	-2.20	3001.53	-5.70	3013.57	-4.97	3023.55	0.77		

تغییرات رخساره‌ای در مرز پرموتریاس

برای مطالعه دقیق مرز پرمین-تریاس و رسوبات بالا و پایین آن و همین‌طور به دلیل اهمیت مرز پرموتریاس و تنوع لیتولوژی و دیاژنزی، بررسی تغییرات رسوب‌شناسی از طریق مقاطع نازک به دست آمده از مغزه در مقیاس دسی‌متر انجام گرفت. براساس مطالعات قبلی (Insalaco et al. 2006; Rahimpour-Bonab et al. 2007; Rahimpour-Bonab et al. 2009) و مطالعه حاضر در میدان پارس جنوبی کمربندهای رخساره‌ای سازند دالان و کنگان در یک محیط دریای کم عمق و از نوع پلاتنفرم اپی ریک کربناته تشکیل شده است. در این مطالعه رسوبات بخش بالایی سازند دالان، مرز پرموتریاس و بخش پایینی سازند کنگان از نظر بافت، اندازه دانه، نوع آلوکرها، لیتولوژی و ساخت‌های رسوبی مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی رسوبات پرموتریاس در منطقه مورد مطالعه شامل دو سازند دالان و کنگان از گروه دهرم می‌باشند که از نظر لیتولوژی شامل تناوب سنگ آهک و دولومیت همراه با لایه‌هایی از ژپس و انیدریت تشکیل شده است. براساس مطالعات قبلی در این دو سازند پنج زیر محیط شامل بالای جزر ومدی، بین جزر ومدی، لاگون، شول و دریای باز شناسایی شده است (Alshahrani and Nairn Insalaco et al. 1997; 2006; Ehrenberg et al. 2007; Esrafil Dizaji and Rahimpour-bonab 2009; Rahimpour-Bonab et al. 2010).

تغییرات رخساره‌ای بر اساس پتروگرافی از واحدهای مجاور زیرین مرز تا واحدهای مجاور بالایی مرز مورد بررسی قرار گرفت که به این ترتیب می‌باشد:

دولومادستون، مادستون و وکستون

واحدهای انتها پرمین غالباً از رخساره دولومادستون، مادستون و وکستون هستند که در زیر محیط‌های زیر تا

بالای جزرومدی و لاگون تشکیل شده است و فاقد فونای لاگونی و زیست آشفته‌گی‌اند (شکل ۳A). دولومادستون‌ها دانه ریز با گرهک‌ها یا بلورهای انیدریتی همراه با لامینه‌های جلبکی و فیلامنت‌های میکروبی می‌باشند. یک رخساره مادستون دولومیتی (Flugel 2010) اغلب دارای فابریک فتسترال همراه با پلوئید است. ترک‌های گلی و دولومیتی شدن ابتدایی^۱ نیز در آن گسترش دارد. وجود مادستون دولومیتی با رخساره فتسترال به عنوان رسوب‌گذاری در پهنه بالای جزر و مدی تفسیر می‌شود (Adabi and Asadi 2008). فابریک فتسترال نوعی ساخت همزمان با رسوب‌گذاری است که می‌تواند در اثر خروج گاز از داخل رسوب، در بخش بالایی پهنه جزر و مدی تشکیل بشوند (Tucker and Wright 1990). شواهد بافتی و رسوب‌شناسی آن مبین تشکیل در محیط بین جزر و مدی تا بالای جزر و مدی (سبخائی) در اقلیم گرم و خشک است.

پکستون-گرین استون اوئیدی/بایوکلاستی/پلوئیدی

رخساره دانه غالب اوئید/بایوکلاست/پلوئید پکستون-گرین استون با بافت پکستونی تا گرین استونی در محیط شول‌های ماسه‌ای زیر جزر مدی گسترده شده است (شکل ۳B). اجزای اصلی این رخساره شامل پلوئیدها، ایده‌ها، خرده‌های اسکلتی از جمله فرامینیفرها، نرم‌تان و خرده‌های جلبک است. گرین استون‌های بایوکلاستی اینتراکلاستی درشت دانه شامل اینتراکلاست و بیوکلاست‌هایی نظیر بریوزوئر، جلبک سبز، براکیوپود، پلوئید و اوئید در یک زمینه فاقد گل و حضور سیمان دریایی از ویژگی‌های این رخساره می‌باشد. وجود گرین استون اینتراکلاستی اغلب به عنوان فرسایش توسط امواج طوفان و جریانات جزر و مدی و دوباره به حرکت درآمدن انواع مختلف رسوبات در یک محیط کم عمق

¹ Early Dolomitization

تریاس بین زمان‌های پرمین پسین^۲ تا تریاس میانی^۳ ادامه داشته است. در این رخساره لیتوکلاستها بطور وسیع انحلال پیدا کرده‌اند و تخلخل‌های نوع حفره‌ای و ائید قالبی^۴ و بین دانه ای نیز تشکیل شده است.

استروماتولیت‌ها و ترومبولیت‌های باندستونی این رخساره زیستی که در مرز سازندهای دالان و کنگان در واحد K₂ ملاحظه میگردد و بعنوان یک واحد کلیدی در سرتاسر حوضه رسوبی کنگان گسترش دارد. به نظر می‌رسد این رخساره بلافاصله پس از مرز پرموتریاس، بیان‌کننده شرایط خاص اکولوژیکی ایجاد شده پس از مرگ دسته جمعی موجودات در این مرز می باشد. استروماتولیت‌ها و ترومبولیت‌های باندستونی لایه‌ای را رخساره پس از انقراض نیز می‌گویند. استروماتولیتها و یا ترومبولیتها در اثر فعالیت میکروبی و به تله انداختن رسوبات توسط سیانو باکتری‌ها در یک محیط کم انرژی و کم عمق بین جزر و مدی تا بالا جزرو مدی تشکیل می‌شوند (Tucker and Wright, 1990; Flugel 1983) (شکل ۳c). ترومبولیت همانند استروماتولیت است، اما این گروه فاقد لایه بندی ظریف مشخصه استروماتولیت بوده و بافت اصلی آن فابریک لخته ای^۵ در مقیاس میکروسکوپی، است.

گرین استون دانه درشت بیوکلاستی/اولیتی/لیتوکلاستی پس از گسترش ترومبولیت‌ها شرایط پر انرژی بر محیط حاکم می‌شود که شامل رخساره گرین استون دانه درشت بیوکلاستی/اولیتی/لیتوکلاستی می‌باشد (شکل ۳D). این رخساره نشان دهنده پیشروی دوباره دریا در قاعده رسوبات سازند کنگان است. اوئیدها نیز در این رخساره فراوانند که از نظر گردش‌دگی، کاملاً کروی تا بیضوی شکل می‌باشند. هسته آنها از پلت یا اوئیدهای دیگر است. و به صورت تک لایه یا چند لایه بوده و

تفسیر می‌شود (Flugel 2010). مجموع این ویژگی‌ها یک محیط پر انرژی سد زیر آبی را نشان می‌دهد که در بعضی از مقاطع حضور ذرات آلومنی پر انرژی مانند اوئیدهای شناور در ماتریکس گلی نشان دهنده معکوس شدگی بافتی در این رخساره است (Wilson 1975; Flugel 2004). اوئیدها بیشتر تحت تأثیر فرایند دیاژنتیکی تراکم فیزیکی و شیمیایی نیز قرار گرفته‌اند.

وکستون/پکستون لاگون شلف

رخساره کم انرژی وکستون/پکستون همراه با لایه‌های نازکی از مادستون و دولومیتی شده که بر روی رخساره پر انرژی شول قرار دارد. لیتولوژی این رخساره از سنگ آهک تا دولومیت متغیر است. در محیط لاگون شلف بعلت گسترش نسبتاً مناسب آب دریا و ارتباط کم و بیش دائمی با دریای باز شرایط زیستی مناسبتری حاکم است که موجب تنوع زیستی بیشتر موجودات می‌گردد. ویلسون (Wilson 1975) این محیط را پلاتفرم باز و یا لاگون شلف نامید. این رخساره دارای خرده‌های اسکلتی و میکرو فونا و زیست آشفته‌گی می‌باشد. این رخساره بیشتر در واحدهای K₃ گسترش دارد.

گرین استون اوئیدی/لیتوکلاستی

رخساره پر انرژی گرین استون اوئیدی/لیتوکلاستی با ضخامت کم نشان دهنده پیشروی دریای تریاس میانی می‌باشد. از مشخصه‌های رسوب‌شناسی این واحد در محدوده مرز پرمین تریاس می‌توان به وجود بهم ریختگی^۱ در رخساره دانه درشت گرین استون اوئیدی/لیتوکلاستی اشاره کرد که نمایانگر شروع پیشروی دریا بر روی واحدهای زیرین است. البته پس از تشکیل رخساره پیشرونده، رخنمون تحت‌الجوی و یا احتمالاً فرسایش رخ داده است، که عدم رسوب‌گذاری در مرز پرمو

² Anisian

³ Late Djulfian

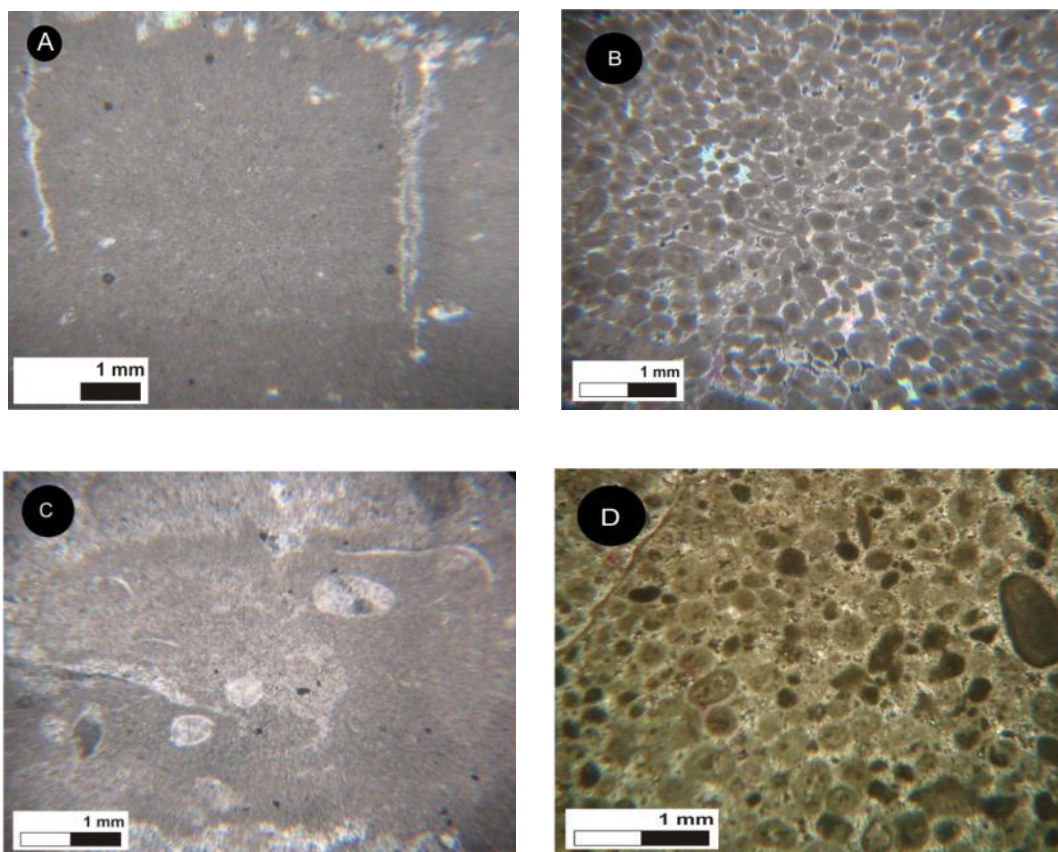
⁴ Oomldic

⁵ Clotted Fabric

¹ Reworking

پرموتریاس است. از مشخصات بارز رسوب‌شناسی در شناسایی این مرز نیز ظهور رخساره ترومبولیتی در ابتدای تریاس می‌باشد که به عنوان یک رخداد پس از انقراض شناخته شده است. (e.g. Schubert and Bottjer 1992; Lehrmann et al. 2003)

سیمان دولومیتی بین آلوکم‌ها را پر کرده است. این مجموعه مشخصات رسوب‌شناسی و کمربندهای رخساره‌ای در محیط اپی ریک کربناته در زمان پرمین-تریاس نشان‌دهنده پایین آمدن سطح آب دریا، رخنمون پیدا کردن پلاتفرم اپی ریک و تشکیل ناپیوستگی در مرز



شکل ۳- A) رخساره میکروسکوپی مادستون و دولومادستون زیر تا بالای جزرومدی که در بعضی قسمت‌ها حفرات توسط انیدریت پر شده‌اند (عمق ۳۰۳۷,۸۸ متری، XPL)؛ B) رخساره میکروسکوپی بایوکلاست / پلوئید پکستون-گرین استون در محیط شول‌های ماسه‌ای زیر جزر و مدی (عمق ۳۰۰۸,۱۱ متری، XPL)؛ C) رخساره میکروسکوپی ترومبولیتی در محیط‌های کم عمق بین جزرومدی تا بالای جزر و مدی (عمق ۲۹۹۹,۴۲ متری، XPL)؛ D) رخساره میکروسکوپی گرین استون بیوکلاستی / اولیتی / لیتوکلاستی (عمق ۲۹۹۲,۵۶ متری، XPL)

از مطالعات دقیق پتروگرافی قابل تشخیص است به طوری که در محدوده این مرز آثار دیاژنز جوی (انحلال گسترده قطعات فسیلی و ائیدها، سیمان شفاف و هم بعد) به خوبی دیده می‌شود. مرز پرموتریاس مادامی که

تغییرات دیاژنزی در مرز پرموتریاس در این مطالعه فرایندهای دیاژنزی در واحدهای مجاور زیرین و بالای مرز مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات دیاژنزی در محدوده مرز پرموتریاس با استفاده

سیمان کلسیت اسپاری دروزی^۵

این نوع سیمان عمدتاً پرکننده شکستگی‌ها و فضاهای خالی بین دانه‌ای است. این سیمان‌ها به دلیل داشتن ماکل و مرز سازشی از شاخص‌های محیط دفنی می‌باشد (شکل ۴C).

سیمان کلسیت موزاییکی هم بعد^۶

این نوع سیمان همانند سیمان‌های دروزی، در شکستگی‌ها و حفرات بین دانه‌ای و درون فسیلی جانشین شده است.

سیمان انیدریت سوزنی / پر مرغی^۷

این نوع سیمان در مادستون دولومیتی و دولومادستون فسترال دیده می‌شود (شکل ۴D). این فرایند دیاژنزی در محیط وادوز دریایی نشان‌دهنده آب و هوای گرم و خشک در پلاتفرم کربناته است که برخی از حفرات نیز توسط سیمان انیدریتی پر شده‌اند که این خود شاهدی بر نفوذ شورابه‌های فوق اشباع از سولفات کلسیم است.

انحلال^۸

انحلال یکی از مهمترین فرایندهای دیاژنزی است که در واحدهای زیر مرز پرموتریاس به وضوح دیده می‌شود. آب‌هایی با منشأ جوی، در موارد متعددی که توالی کربناته به سطح زمین نزدیک شده‌اند با عبور از واحدهای کربناته و بخصوص توالی‌های اوئیدی و بایو کلاستی گرینستونی موجب انحلال ذرات ناپایدار اوئیدی و بایوکلاستی که از جنس آراگونیت یا کلسیت پر منیزیم‌اند، شده است. از طرفی شورابه‌های تحت‌الشیاع از کربنات کلسیم در رخساره شول موجب انحلال اجزا ناپایدار شده و ایجاد تخلخل قالبی می‌کند که به خصوص در واحدهای زیرین مجاور مرز بخوبی دیده

تحت تأثیر رخنمون تحت‌الجوی قرار داشت باعث گسترش قلمرو دیاژنزی متئوریک و به خصوص فرایند انحلال در افق‌های زیرین نزدیک مرز شده است، البته گاهی هم نیز تحت نفوذ سیالات خیلی شور قرار گرفته که موجب گسترش سیمان انیدریتی شده است. از عوارض دیاژنزی بارز در این محدوده انواع سیمان‌ها (دریای، دفنی، متئوریک)، انحلال و استیلولیتی شدن را می‌توان نام برد که در زیر به مهمترین آنها اشاره می‌کنیم.

سیمان فیبری و تیغه‌ای حاشیه‌ای^۱

سیمان از جنس آراگونیت با بلورهای کشیده که عمود بر سطح دانه‌اند و در بسیاری موارد نیز از نوع حاشیه‌ای هم ضخامت است. این نوع سیمان نشانه محیط فریاتیکی دریایی است (شکل ۴A).

سیمان تیغه‌ای دندان سگی^۲

این نوع سیمان منحصر به محیط دیاژنزی فریاتیکی جوی است و عموماً در رخساره‌های پر انرژی حضور دارد. این سیمان‌ها توسط سیمان‌های بلوکی و بلوکی دروزی پوشیده می‌شوند که نشان دهنده محیط متئوریک است.

سیمان هم بعد بلوکی^۳

سیمانی که اکثر فضاهای خالی اولیه را پر می‌کند. رنگ شفاف این سیمان‌ها نشان‌دهنده منشأ جوی آن می‌باشد.

سیمان بلوکی دروزی^۴

در زون فریاتیکی در اثر پر بودن همیشگی حفرات از آب، سیمانی شدن آهسته است و بلورهای سیمان به خوبی رشد می‌کنند. فضای بین و درون دانه‌ای انحلالی اوئیدی/ بایوکلاستی توسط سیمان شفاف و بدون ماکل جوی پر شده‌اند (شکل ۴B).

⁵ Sparite Darrosy Calcite Cement

⁶ Equant Calcite Cement

⁷ Chicken Wire/Needle Anhydrite Cement

⁸ Dissolution

¹ Fibrous & Bladed Rimmed Cement

² Dog Tooth Cement

³ Equant Blocky Cement

⁴ Drusy Blocky Cement

است البته در این رخساره تراکم فیزیکی کم بوده ولی در مواردی که دانه‌ها سیمانی نشده باشند تماس دانه‌ها با یکدیگر باعث کج شدن یا شکسته شدن آئیدها (اوئیدهای اسپاستولیتی) شده است.

در این مطالعه، ژئوشیمی به عنوان یک ابزار قوی و دقیق در شناسایی مرز پرموتریاس و تغییرات دیاژنزی و به تبع آن تغییرات کیفیت مخزنی مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع در این مطالعه کاربرد ژئوشیمی در تفسیر دیاژنزی و کیفیت مخزنی استفاده شده است. مطالعات قبلی (Rahimpour-Bonab et al. 2009) نشان دادند که مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ در مرز پرموتریاس کم می‌شود. همین‌طور حیدری و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که تغییرات ایزوتوپی در مرز پرموتریاس ناشی از منشأ دیاژنزی است که مرتبط با پسروری آب دریا^۴ می‌باشد. در این مطالعه داده‌های ایزوتوپ اکسیژن که مربوط به کل سنگ^۵ و به غیر از انیدریت می‌باشند. به وسیله رابطه ارائه شده توسط تانل و همکاران (۱۹۸۸) (Thunell et al. 1988) که در اینجا به عنوان فاکتور شوری و مشخص کننده سیمان دریایی از جوی می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. در این رابطه فاکتور شوری براساس رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$S = 34.76 + (\delta_o / 0.29) - ((4.2 - \% 8.85 + 0.52 * T) / 0.08) \quad (1)$$

که در اینجا S مقدار شوری بر حسب در هزار (‰)، δ_o معادل مقدار $\delta^{18}\text{O}$ کلسیت (PDB) و T دما آب دریا بر حسب °C می‌باشد. با توجه به جغرافیا دیرینه سازند دالان و کنگان که خلیج فارس نیز در زمان انتها پرمین و ابتدا تریاس در عرض حدود ۱۷ تا ۲۵ درجه قرار داشته است، دما ۲۵ درجه در نظر گرفته شده است. از آنجایی که حال کلید گذشته است دما هم اکنون نیز در این عرض‌های جغرافیایی به طور متوسط ۲۵ درجه است. از طرفی فرایندهای دیاژنزی مانند انیدریت‌های پر کننده^۶ و

می‌شود (شکل ۴E). در توالی مورد مطالعه علاوه بر انحلال در محیط متئوریک، انحلال در تدفین عمیق نیز صورت گرفته است. انحلال در امتداد شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها، انحلال سیمان‌های کلسیتی و انیدریتی تشکیل شده در مراحل قبلی دیاژنزی همگی نشان دهنده انحلال در محیط تدفین است.

آشفستگی زیستی^۱

در رسوبات گل پشتیبان شامل رخساره مادستون، دولومادستون فنسترال و همین‌طور رخساره وکستون و پیکستون دیده می‌شود.

میکرایتی شدن^۲

یکی از رایج‌ترین پدیده‌ها در واحدهای مجاور مرز می‌باشد. به طوری که میکرایتی شدن تقریباً در اکثر رخساره‌های دانه پشتیبان که زمانی در شرایط آرام محیط رسوبی قرار گرفته‌اند اتفاق افتاده است.

تراکم فیزیکی و شیمیایی^۳

تراکم فیزیکی و شیمیایی یکی از فرایندهای دیاژنزی مهم در سازند دالان و کنگان می‌باشد که به خاطر فشردگی در رخساره‌های مختلف تأثیر زیادی در کاهش تخلخل و تراوایی داشته است. این فرایند دیاژنزی بیشتر در رخساره مادستونی و دولومادستونی دیده می‌شود (شکل ۴F).

تراکم فیزیکی و شیمیایی باعث ایجاد شرایط انحلالی- فشاری و تشکیل استیلولیت و رگه‌های انحلالی در رخساره مادستونی می‌شود. بیشتر استیلولیت‌ها نیز موازی با سطوح لایه‌بندی قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تأثیر فشار دوباره رسوبات می‌باشد. از دیگر رخساره‌ها که این فرایند دیاژنزی در آن رایج است رخساره گرینستونی

⁴ Regression

⁵ Bulk

⁶ Anhydrite plugging

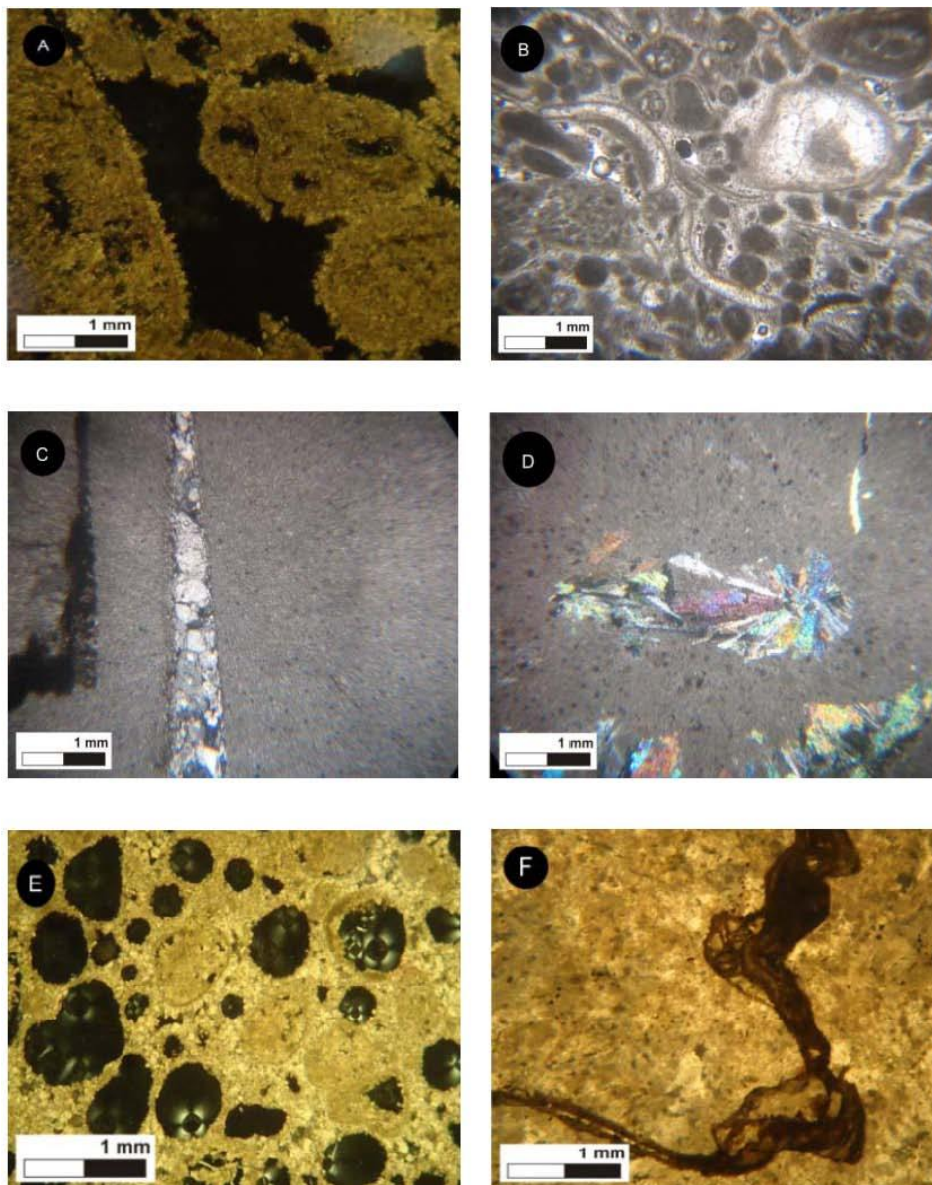
¹ Bioturbation

² Micritization

³ Physical & Chemical Compaction

سیستم رسوب‌گذاری این سازنده است (Rahimpour-
Bonab et al. 2010; Insalaco et al. 2006).

همین‌طور مدل‌های دولومیت‌زایی که برای این سازنده
ارائه شده نشان‌دهنده حاکم بودن اقلیم گرم و خشک بر



شکل ۴- A) سیمان فیبری و تیغه‌ای حاشیه‌ای تشکیل شده در محیط فریاتیک دریای که به صورت حاشیه‌ای و هم ضخامت اطراف دانه‌ها را پوشانده است (عمق ۳۰۱۰،۲۲ متر، XPL)؛ B) سیمان بلوکی دروزی شفاف در زون فریاتیک جوی که درون قطعات فسیلی انحلال یافته را پر کرده‌اند (عمق ۳۰۰۵،۳۱ متر، XPL)؛ C) سیمان کلسیت موزاییکی هم بعد که پرکننده شکستگی است (عمق ۳۰۴۲،۱۲ متر، XPL)؛ D) سیمان انیدریت سوزنی / پر مرغی در رخساره مادستون دولومیتی (عمق ۳۰۲۸،۷۸ متر، XPL)؛ E) انحلال در رخساره اویدی و بایو کلاستی گرینستونی / پکستونی که باعث ایجاد تخلخل قالبی شده است (عمق ۳۰۰۲،۵۴ متر، XPL)؛ F) تراکم فیزیکی و شیمیایی در رخساره مادستونی و دولومادستونی (عمق ۳۰۲۱،۳۳ متر، XPL)

منافذ تعیین‌کننده مقدار تخلخل و نحوه ارتباط آن نیز تعیین‌کننده مقدار تراوی است.

در واحدهای رسوبی دالان بالایی و به خصوص نزدیک مرز پرموتریاس در اثر رخنمون تحت‌الجوی و نفوذ سیالات آب شیرین باعث انحلال انتخابی در رخساره پکستون انیدی/ بایوکلاستی/ پلوئیدی شده است. این انحلال عمدتاً در آلوکم‌هایی که از کانی‌های ناپایدار تشکیل شده‌اند، روی داده است. این فرایند دیاژنزی موجب افزایش تخلخل قالبی شده به طوری که تخلخل در این واحد به ۲۸ درصد نیز می‌رسد (شکل ۶). از آنجایی که تخلخل از نوع قالبی است مقدار تخلخل نیز افزایش پیدا کرده است (۱۰ تا ۳۰ درصد). البته میزان انحلال بستگی به مدت زمان رخنمون^۳ دارد. اگر مدت زمان رخنمون یافتن کم باشد تخلخل ایجاد شده حفظ خواهد شد ولی در صورت طولانی شدن مدت زمان رخنمون سیمانی شدن موجب کاهش تخلخل می‌شود چون یون کلسیم و کربناتی که در نتیجه انحلال ایجاد می‌شود می‌تواند به عنوان سیمان کلسیتی فضای خالی اطراف دانه را اشغال نماید، بدین ترتیب در مواقعی که مدت زمان رخنمون تحت‌الجوی زیاد باشد پدیده انحلال انتخابی سبب افزایش تخلخل نمی‌شود (Lucia 1999). ولی در منطقه مورد مطالعه به دلیل کم بودن مدت زمان رخنمون تحت‌الجوی تخلخل قالبی از راه شبکه فضای خالی بین دانه‌ای، بین بلوری و ریز شکستگی‌ها با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند و موجب افزایش تراوایی تا حدود ۵۰ میلی داری می‌شود. در چرخه رسوبی بعدی رخساره پس از انقراض استروماتولیت/ ترومبولیت باندستون‌های محیط بین جزر و مدی موجب کاهش کیفیت مخزنی می‌شود، به طوری که تخلخل (۲ درصد) و تراوایی (۰,۰۱ میلی داری) مانند یک سد عمل می‌کند.

در این رابطه اگر فاکتور شوری کمتر از ۱۹۵- در هزار (شوری بیشتر) باشد سیمان کربناته در شرایط دیاژنزی دریایی تشکیل شده است ولی اگر بیشتر از ۱۹۵- در هزار (شوری کمتر) باشد، سیمان کربناته در شرایط دیاژنزی جوی تشکیل شده است. در این مطالعه آنالیز ۲۵ عدد از نمونه‌ها که در محدوده مرز پرمین-تریاس و واحدهای زیرین مرز (از عمق حدود ۲۹۹۵ تا ۳۰۰۸ متری) می‌باشند دارای فاکتور شوری بیشتر از ۱۹۵- در هزار است که این نشان دهنده قرار گرفتن این واحدها تحت تأثیر دیاژنزی جوی^۱ می‌باشد، ولی آنالیز بقیه نمونه‌ها در واحدهای مجاور بالایی و پایینی دارای فاکتور شوری کمتر از ۱۹۵- در هزار می‌باشند که این نشان‌دهنده قلمرو دیاژنزی دریایی است (شکل ۵). تغییرات در فاکتور شوری و به خصوص زیاد شدن این فاکتور (شوری کمتر) در مرز پرموتریاس و در واحدهای زیرین (چندین متر پایین‌تر از مرز) که قابل تطابق با تغییرات رسوبی، دیاژنزی و کیفیت مخزنی است به روشنی نشان‌دهنده رخنمون تحت‌الجوی^۲ و نفوذ سیالات آب شیرین و همین‌طور گسترش دیاژنزی جوی (انحلال) به خصوص در واحدهای زیرین مرز (حدود چند متر) می‌باشد.

روند تغییرات پتانسیل مخزنی در مرز پرموتریاس

کیفیت مخزنی نیز مانند پارامترهای قبلی (تغییرات رسوبی، دیاژنزی، فاکتور شوری) تغییرات قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد که البته روند تغییرات تخلخل و تراوایی در مرز پرموتریاس و واحدهای زیرین آن با دیگر پارامترها که در بخش‌های قبلی بحث شد قابل تطابق می‌باشد. در واقع کیفیت مخزنی نیز وابسته به پارامترهای قبلی (رخساره، دیاژنزی، ژئوشیمی سیال منفذی) می‌باشد. مجموع این تغییرات در نهایت نوع منافذ سنگ مخزن را کنترل می‌کند. به طوری که اندازه

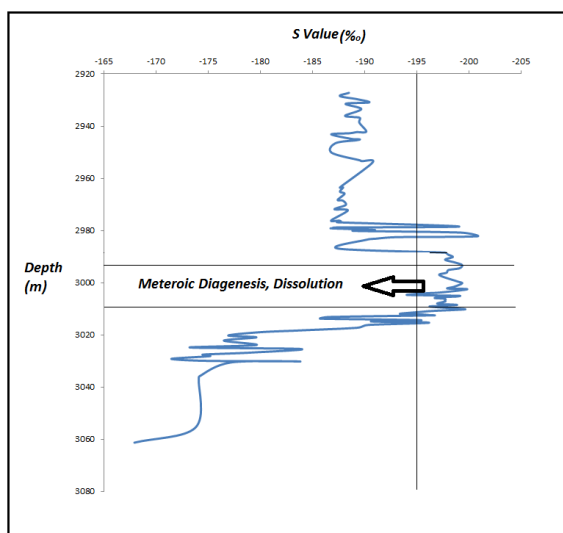
^۱ Fresh water

^۲ Exposure

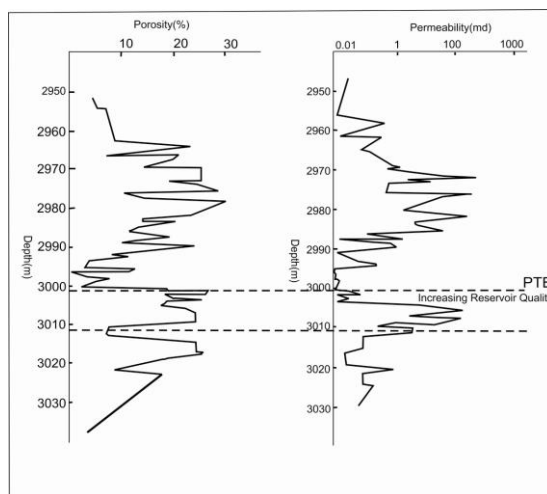
^۳ Exposure

می‌گیرد، همین‌طور از طرفی کیفیت مخزنی با نزدیک شدن به مرز پرموتریاس و واحدهای پس از انقراض (ترومبولیت باندستون) کم می‌شود.

در انتهای پرمین با پایین آمدن سطح آب دریا رخساره کم عمق/ کم انرژی زیر و بین جزرومدی بروی رخساره عمیق‌تر/ پر انرژی‌تر شول‌هایی کربناته قرار



شکل ۵- تغییرات فاکتور شوری در مرز پرموتریاس و واحدهای مجاور بالایی و پایینی



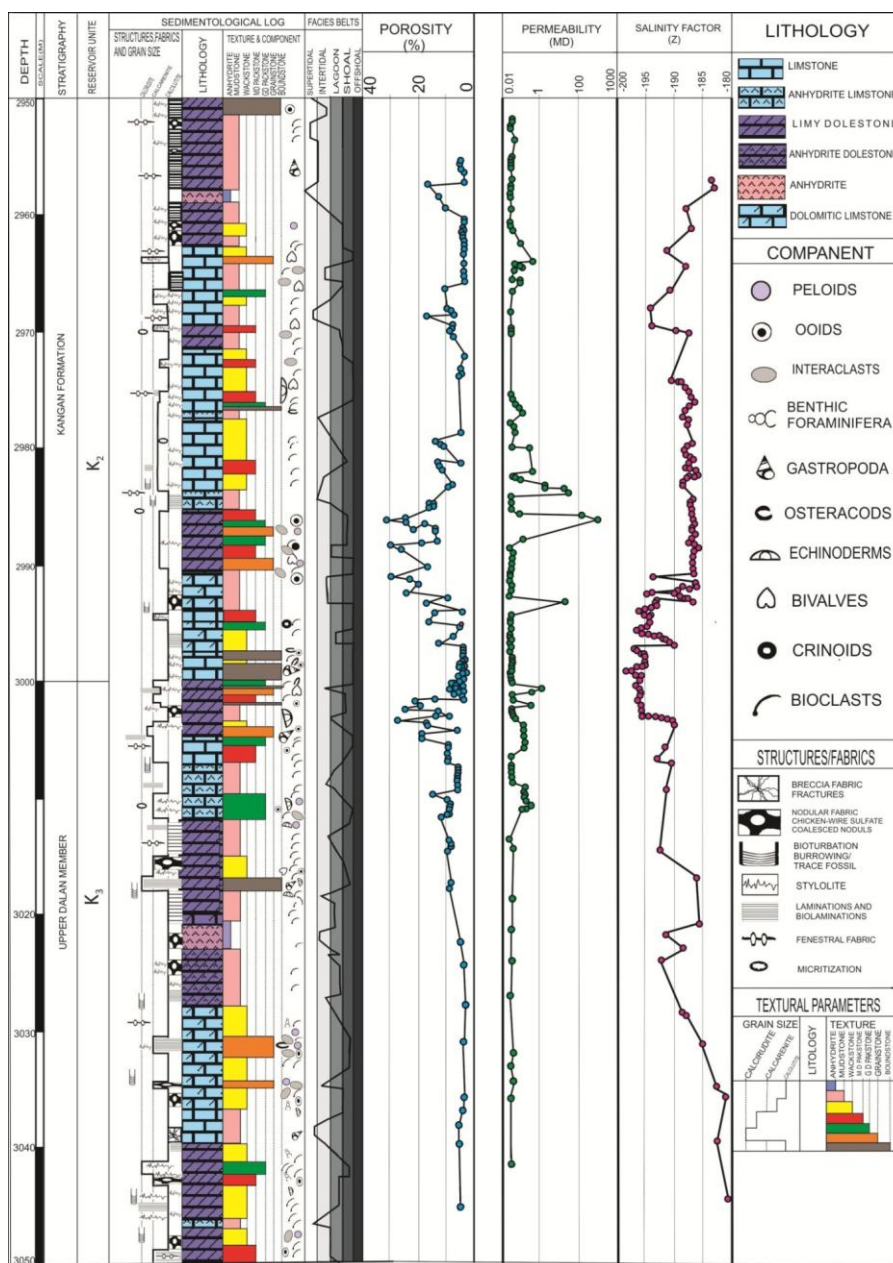
شکل ۶- تغییرات کیفیت مخزنی در محدوده مرز پرموتریاس و واحدهای مجاور بالایی و پایینی

(دریایی و تحت‌الجوی) و سیالات دیاژنزی با فاکتور شوری متفاوت باعث ایجاد تغییرات در کیفیت مخزنی در مرز پرموتریاس و واحدهای مجاور آن شده است. در شکل ۷ تمامی تغییرات رخساره‌ای (ساخت، بافت، ترکیب، کمربندهای رخساره‌ای)، فاکتور شوری و کیفیت

با پیشروی دوباره آب دریا در تریاس میانی رخساره متخلخل وابسته به شول‌های کربناته پدیدار شدند و کیفیت مخزنی نیز به تبع آن افزایش پیدا کرده است. در نهایت تغییرات سطح آب دریا و رخساره‌ها و همین‌طور قرار گرفتن رسوبات در قلمروهای مختلف دیاژنزی

همراه دیگر پارامترهای فوق الذکر به خوبی ماهیت مرز پرموتریاس و رخنمون تحت الجوی را نشان می دهند (شکل ۷).

مخزنی نشان داده شده است که تمامی این پارامترها در نزدیکی مرز پرموتریاس تغییر کرده و به خصوص فاکتور شوری و کیفیت مخزنی که از یک روند پیروی می کنند. همین طور تغییرات دیاژنزی و رخساره ای به



شکل ۷- روند تغییرات فاکتور شوری، کیفیت مخزنی و رخساره ای در محدوده مرز پرموتریاس (عمق ۳۰۰۰ متری) و واحدهای مجاور بالایی و پایینی

نتیجه‌گیری

براساس مطالعات پتروگرافی، پتروفیزیکی و ژئوشیمی در مرز پرموتریاس و واحدهای مجاور آن در میدان گازی پارس جنوبی نتایج زیر حاصل شد:

- از نظر محیط رسوبی با نزدیک شدن به مرز پرموتریاس تغییرات ناگهانی رخ داده است به طوری که از یک محیط شول کربناته پر انرژی به یک محیط کم انرژی بین جزر و مدی تبدیل شده است. این مطلب بیانگر پایین آمدن سطح آب دریا می‌باشد و در ادامه با پیشروی دوباره سطح آب دریا و بر جای گذاشتن رخساره دانه درشت گرین‌استون بایوکلاستی/ایتراکلاستی که گسترش آن محدود به مرز پرموتریاس می‌باشد نشان‌دهنده شروع پیشروی آب دریاست. به دنبال آن گسترش رخساره ترومبولیتی بر روی این واحدها از تغییرات بارز رسوبی مرز پرموتریاس می‌باشد.

- در واحدهای زیرین مرز پرموتریاس آثار دیاژنز جوی مانند انحلال گسترده و سیمان جوی پرکننده حفرات دیده می‌شود. آثار دیاژنز جوی در زیر مرز پرموتریاس نشان‌دهنده رخنمون تحت الجوی^۱ در مرز پرموتریاس می‌باشد. البته گسترش انحلال و حفظ شدن فضای خالی ناشی از آن نشان دهنده مدت زمان کم رخنمون تحت الجوی می‌باشد، چون افزایش مدت زمان رخنمون، باعث سیمانی شدن بیشتر و پر شدن فضاهای خالی می‌گردد.

- فاکتور شوری^۲ به عنوان یک پارامتر ژئوشیمی نشان‌دهنده یک ویژگی خاص در رسوبات مرز پرموتریاس و واحد زیرین آن می‌باشد. فاکتور شوری در محدوده رسوبات مرز پرموتریاس از ۱۹۵- در هزار بیشتر می‌شود که این نشان‌دهنده شرایط دیاژنز تحت الجوی و همین‌طور نفوذ سیالات جوی در این

محدوده می‌باشد. از طرفی فاکتور شوری نشان‌دهنده رخنمون یافتن مرز پرموتریاس در میدان پارس جنوبی است ولی مدت زمان این رخنمون کم می‌باشد و آن هم به دلیل کم بودن ضخامت رسوباتی که تحت تأثیر دیاژنز جوی قرار گرفتند (حدود ۱۰ متر از رسوبات دارای فاکتور شوری بیشتر از ۱۹۵- در هزار (شوری کمتر) می‌باشد). در واحدهایی که فاکتور شوری آن بیشتر از ۱۹۵- در هزار می‌باشد به دلیل قرار گرفتن در قلمرو دیاژنز جوی (انحلال) و گسترش تخلخل نوع قالبی^۳ در آن، کیفیت مخزنی به واسطه ریز شکستگی‌ها و مرتبط شدن این تخلخل‌ها با یکدیگر افزایش می‌یابد.

- این مطالعه نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به مرز پرموتریاس، تغییرات رخساره‌ای و تغییرات دیاژنزی از محدوده دریایی به تحت الجوی موجب تغییر در کیفیت مخزنی شده است. خصوصیات مخزنی در مرز پرموتریاس و واحدهای پس از انقراض (ترومبولیت‌ها) به شدت کاهش می‌یابد که نشان دهنده تغییرات رخساره‌ای در اثر کم عمق/ کم انرژی شدن محیط می‌باشد. ولی در واحدهای رسوبی زیر مرز پرموتریاس (حدود چند متر) افزایش کیفیت مخزنی به دلیل تخلخل قالبی و تأثیر دیاژنز تحت الجوی است که ناشی از رخنمون یافتن مرز پرموتریاس می‌باشد.

¹ Exposure

² S value

³ Molldic

- Aali, J., H. Rahimpour-Bonab, and MR. Kamali, 2006, Geochemistry and origin of natural gas in South Pars gas field: *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 50, p. 163–175.
- Adabi, M.H., and E., Asadi Mehmandosti, 2008, Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, S.W.Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 33, p. 267-277.
- Alsharhan, A.S., and A.E.M. Narin, 1997, *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*: Elsevier, Netherlands, 843 p.
- Bashari, A., 2005, Khuff formation Permian-Triassic carbonate in the Qatar-South Fars arch hydrocarbon province of the Persian Gulf: *First Break*, v. 23, p. 43–450.
- Bordenave, ML., 2002, Gas prospective areas in the Zagros domain of Iran and in the Gulf Iranian Waters: *American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting*, March 10–13, Houston, TX.
- Dickson, J.A.D., 1965, A modified staining technique for carbonate in thin section: *Nature*, v. 205.
- Ehrenberg, S.N., P.H. Nadeau, and A.A.M. Aqrabi, 2007, A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 86, p. 1709–1732.
- Esfarili-Dizaji, B., and H. RahimpourBonab, 2009, Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf: *Petroleum Geoscience*, v.15, p. 325-344.
- B. Esfarili-Dizaji, and H. Rahimpour-Bonab, 2013, A review of Permo-Triassic reservoir rocks in the Zagros area, SW Iran: influence of the Qatar-Fars arch: *Journal of petroleum geology*, v. 36, p. 257-279.
- Flügel, E., 1983, *Microfacies of the Pantokrator Limestones (Liassic) from Korfu, Greece [Mikrofazies der Pantokrator-Kalke (Lias) von Korfu, Griechenland]*: Springer-Verlag, v. 8, p. 263-299.
- Flügel, E., 2004, *Microfacies of Carbonate Rocks*: Springer-Verlag, 976 p.
- Flügel, E., 2010, *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*: Springer Verlag, Berlin, 984 p.
- Insalaco, E., A. Virgone, B. Coutme, J. Gaillot, M. Kamali, A. Moallemi, M. Lotfpour, and S. Monibi, 2006, Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture: *GeoArabia*, v. 11, p. 17–75.
- Heydari, E., J. Hassanzadeh, and WJ. Wade, 2000, Geochemistry of central tethyan upper Permian and lower Triassic strata, Abadeh region, Iran: *Journal of Sedimentary Geology*, v. 137, p. 85–89.
- Hurely, N.F, H.C. Tanner and C. Barcat, Unconformity related porosity development in Quintuco Formation (lower cretaceous) neuquen basin Argentina, *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 63, p.159-175.
- Keith, M.L., and JN. Weber, 1964, Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils: *Geochim.Cosmochim. Acta*, v. 28, p. 1787-1816.
- Kashfi, MS., 1992, Geology of the Permian ‘supergiant’ gas reservoirs in the greater

- Persian Gulf area: *Journal of Petroleum Geology*, v. 15, p. 465–480.
- Kashfi, MS. 2000, Greater Persian Gulf Permian-Triassic stratigraphic nomenclature requires study, *Journal of Oil and Gas, Tulsa* v. 6, p. 36–44.
- Lehrmann, DJ., 1999, Early Triassic calcimicrobial mounds and biostromes of the Nan Nanpanjiang Basin, south China: *Geology*, v. 27, p. 359–362.
- Lehrmann, DJ., J.L. Payne, S.V. Flix, and P.N. Dilllet, 2003, Permian-Triassic boundary sections from shallow marine carbonate platforms of the Nanpanjiang basin, South China: implications for oceanic conditions associated with the end Permian extinction and its aftermath: *Palaios*, v.18, p. 138–152.
- Lucia, F.J., 1999, Carbonate reservoir characterization: Springer, p. 266.
- Rahimpour-Bonab, H., 2007, A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity: *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v.58, p. 1–12.
- Rahimpour-Bonab, H., A. Asadi-Eskandar, and R. Sonei, 2009, Permian–Triassic boundary and its control over reservoir characteristics in South Pars gas field, Persian Gulf: *Geological Journal*, v. 44, p. 341–364.
- Rahimpour -Bonab, H., B. Esrafil-Dizaji, and V. Tavakoli, 2010, Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gas field, offshore Iran: controls on reservoir quality: *Journal of Petroleum Geology*, v. 33 Issue 1, p. 43 – 66.
- Rosen, R., 1979, Permo-Triassic Boundary of Fars-Persian Gulf area of Iran: *Journal of Paleontology*, v. 53, p. 992–997.
- Saller, A.H., D.A. Budd and P.M. Harris, 1994, Unconformities and Porosity Development in Carbonate Strata: Ideas from a Hedberg Conference: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 78, p. 857-872.
- Schubert, JK., and DJ. Bottjer, 1992, Early Triassic stromatolites as post-mass extinction disaster forms: *Geology*, v. 20, p. 883–886.
- Tavakoli, V., H. Rahimpour-Bonab, and B. Esrafil-Dizaji, 2011, Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach: *Comptes Rendus Geoscience*: v. 343, p. 55-71.
- Tucker, M.E., and V.P. Wright, 1990, *Carbonate Sedimentology*: Black well, London, 482 p.
- Thunell, R.C., S.M. Locke, and D.F. Williams, 1988, Glacioeustatic sea-level control on Red sea salinity: *Nature*, v. 334, p. 601-604.
- Wendte, J. and I. Muir, 1995, Recognition and significance of an internal unconformity in late Devonian swan hills reef complexes Alberta: *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 63.
- Wilson, J.L., 1975, *Carbonate facies in Geologic History*: Springer_Verlag, NewYork, 471 p.