

تأثیر دوگانه چینه‌نگاری سکانسی بر کیفیت مخزنی رسوبات کربناته، مطالعه موردی: سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی

وحید توکلی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۶

چکیده

اصلی‌ترین کاربرد چینه‌نگاری سکانسی، جدایش واحدهای مخزنی و غیرمخزنی در سازندهای هیدروکربنی است. با توجه به اینکه انتخاب مدل تأثیر زیادی در نتیجه به‌دست آمده دارد، تعیین بهترین مدل جهت انجام این نوع مطالعات ضروری است. به سبب سهولت کاربرد، اغلب مدل پیش‌رونده-پس‌رونده جهت انجام فرآیند چینه‌نگاری سکانسی استفاده می‌شود. در این مطالعه چینه‌نگاری سکانسی سازندهای کربناته-تبخیری دالان بالایی و کنگان در میدان گازی پارس جنوبی بر اساس مدل اکسون انجام شده است. در مجموع تعداد چهار سکانس رده سوم تعیین شد و هریک از سکانس‌ها به سه سیستم تراز پایین، پیش‌رونده سریع و تراز بالا تقسیم گردید. در سکانس‌های سازند کنگان (KS1, KS2) و سکانس پایینی عضو دالان بالایی (UDS2)، روند تغییرات کیفیت مخزنی شبیه به یکدیگر است. به‌طوری که سیستم تراز پایین همواره دارای کیفیت مخزنی ضعیفی است، در حالی که سیستم پیش‌رونده سریع، کیفیت مخزنی خوبی دارد. این امر به سبب تنه‌شست انیدریت در بخش‌های پایین این سکانس‌ها است. در سیستم تراز بالا به سبب نزدیک شدن به مرز سکانسی و حضور مجدد انیدریت، کیفیت مخزنی کاهش می‌یابد. در سکانس بالایی عضو دالان بالایی (UDS1)، این روند معکوس است به‌طوری که سیستم پیش‌رونده دارای کیفیت مخزنی ضعیفی است، در حالی که سیستم تراز بالا به سبب انحلال جوی، تخلخل و تراوایی مناسبی دارد. این امر به سبب تأثیر پایین‌آمدگی قابل ملاحظه سطح آب دریا در پایان پرمین است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل انتخاب شده توانایی قابل ملاحظه‌ای در زون‌بندی مخزنی سازندهای کربناته-تبخیری دارد.

کلمات کلیدی: چینه‌نگاری سکانسی، کیفیت مخزنی، کنگان، دالان و پارس جنوبی

مقدمه

در خصوص تغییرات سطح آب دریا در سکانس‌های پرمین-تریاس خلیج فارس نیز این مدل جهت توجیه تغییرات کیفیت مخزنی استفاده شده است. این مدل اولین بار توسط متخصصان شرکت توتال بر روی رسوبات کربناته-تبخیری سازندهای کنگان و دالان به کار برده شد [۳] و پس از آن مطالعات بعدی همگی از این سیستم پیروی نمود [۴-۶]. هرچند این امر تطابق سکانس‌ها را در مطالعات مختلف ساده نمود، اما سبب گردید تا مدل‌هایی که پس از آن ارائه شد، در این میدان به کار برده نشود. این مطالعه برای اولین بار کاربرد مدل اکسون را در این سازندها مورد بررسی قرار می‌دهد و از این مدل به منظور توجیه تغییرات کیفیت مخزنی استفاده می‌نماید. الگوی ارائه شده و تطابق موجود بین سکانس‌های تعیین شده و تغییرات کیفیت مخزنی، می‌تواند به عنوان نمونه‌ای برای تغییرات کیفیت مخزنی سازندهای کربناته در جهان به کار رود.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای و چینه‌شناسی

میدان گازی پارس جنوبی، بزرگ‌ترین میدان گازی جهان، در آب‌های خلیج فارس بر روی خط مرزی مشترک ایران و قطر به فاصله ۱۰۰ km از بندر عسلویه در ساحل جنوبی ایران، ۱۰۵ km شمال شرقی شبه جزیره قطر و ۳۳۰ km شمال غربی شهر دبی واقع شده است. وسعت این میدان ۷۰۰ km² است و بین طول‌های شرقی ۵۱° ۵۰' تا ۴۰° ۵۲' و عرض‌های شمالی ۲۶° ۲۵' تا ۲۷° ۰۵' واقع شده است [۷].

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی حوضه رسوب‌گذاری منطقه مورد مطالعه دربرگیرنده رسوبات و وقایعی از زمان پرکامبرین تا زمان حال است. تصور بر این است که شیل‌های سیلورین، سنگ منشأ ذخایر نفتی و گازی عظیم پالئوزوئیک در این حوضه رسوبی می‌باشند [۷].

یکی از اصلی‌ترین کاربردهای علم چینه‌نگاری سکانسی، در اکتشاف و ارزیابی مخازن هیدروکربنی است. با توجه به اینکه واحدهای سکانسی همواره از دیدگاه زایشی از یکدیگر مجزا می‌شوند، رسوباتی در یک واحد قرار می‌گیرند که از نظر شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی در شرایط یکسانی نهشته شده‌اند. در نتیجه اغلب دارای خصوصیات مخزنی شبیه به هم می‌باشند. با توجه به مشابه بودن این خصوصیات در واحدهای سکانسی، فرآیندهای دیاژنزی نزدیک به محیط رسوب‌گذاری نیز اغلب به صورت یکسان در این واحدها عمل می‌نماید. بنابراین، در مخازن هیدروکربنی تغییرات کیفیت مخزنی معمولاً از واحدهای سکانسی تبعیت نموده و مرزهای این واحدها، مرزهای مخزنی خواهند بود. ارتباط بین کیفیت مخزنی و واحدهای سکانسی در محیط‌های رسوبی گرم و خشک و مرطوب با یکدیگر متفاوت است [۱].

در صورتی که رسوبات تبخیری نیز همراه با این واحدها نهشته شوند، این شرایط سبب تغییر در ته‌نشست این رسوبات می‌گردد. در نتیجه کیفیت مخزنی به نحو چشمگیری تغییر می‌یابد. با توجه به اینکه رسوبات تبخیری در شرایط پایین رفتن سطح آب تشکیل می‌گردد، اغلب در این زمان‌ها، کیفیت مخزنی کاهش می‌یابد.

تاکنون مدل‌های مختلفی برای بررسی تغییرات سطح آب دریا ارائه شده است، اما هنوز توافقی کلی در خصوص استفاده از یک مدل خاص در همه شرایط رسوب‌گذاری و محیط‌های رسوبی حاصل نشده است [۲].

به نظر می‌رسد که در شرایط مختلف، مدل‌های گوناگون می‌توانند تغییرات کیفیت مخزنی را توجیه نمایند. ساده‌ترین این مدل‌ها، مدل پیش‌روی-پس‌روی^۱ است که در بسیاری از موارد برای سازندهای ایران و جهان به کار رفته است.

1. Transgressive-Regressive

بوده است. با توجه به اهمیت بررسی کیفیت مخزنی در این مطالعه، تأکید مطالعات دیاژنزی بر نوع و مقدار انواع تخلخل‌ها می‌باشد. نام‌گذاری ریزرخساره‌ها با استفاده از روش دانه‌ام [۹] انجام شد. با توجه به در دسترس بودن مقادیر کافی داده‌های معمول مغزه (CCAL) سعی گردید تمرکز اصلی بر روی نوع تخلخل بوده و در موارد مورد نیاز جهت تعیین میزان تخلخل از داده‌های آنالیز معمول استفاده گردد. نمونه‌برداری جهت انجام آزمایشات معمول مغزه در بخش‌های مختلف در فواصل ۳۰ cm تا ۱ m انجام شده است. داده‌های معمول شامل مقدار تخلخل، تراوایی و دانسیته دانه از این نمونه‌ها در دسترس بوده و مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

ریزرخساره‌ها^۳

با توجه به اینکه بررسی رخساره‌ها اولین و اساسی‌ترین مرحله در تعیین تغییرات سطح آب دریا می‌باشد، بررسی رخساره‌های موجود جهت تعیین سکانس‌ها و تعیین مرزها ضروری است. رخساره‌های موجود در سازندهای کنگان و دالان تا کنون در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [۸، ۱۰ و ۱۱]. مجموعه این مطالعات نشان می‌دهد که این رسوبات در چهار مجموعه رخساره‌ای شامل مجموعه رخساره‌های جزر و مدی^۴، مجموعه رخساره‌های لاگون و رمپ میانی^۵، مجموعه رخساره‌های سدی^۶ و مجموعه رخساره‌های منطقه عمیق (رمپ خارجی)^۷ نهشته شده است (جدول ۱).

در این مطالعه با استفاده از مجموع مقاطع نازک مطالعه شده و جمع‌بندی مطالعات قبلی، در مجموع تعداد ۱۲ رخساره برای این سازندها ارائه گردید.

این ذخایر شامل مخزن گازی دالان و کنگان در میدان عظیم پارس جنوبی، گنبد شمالی قطر، کنگان، نار و دیگر میداین گازی در جنوب و جنوب غرب ایران است. از پرمین میانی به بعد صفحه کوچک ایران مرکزی از بلوک اصلی جدا شده و به سمت شمال حرکت می‌کند که بین آنها اقیانوس نئوتتیس به وجود می‌آید.

در بخش شرقی صفحه عربی حوضه رسوبی خلیج فارس (جنوب نئوتتیس) رسوب‌گذاری دریایی با فوران‌های ضعیف در طول پالئوزوئیک بالایی، مزوزوئیک و ترشیری ادامه می‌یابد. در زمان پرمین پایانی آب و هوا به تدریج گرم‌تر و خشک‌تر شده و پلتفرم کربناته- تبخیری را به وجود آورده است. در اوایل تریاس وضعیت آب و هوایی گرم و خشک پایداری در تمام منطقه وجود داشته است [۸].

طی رسوب‌گذاری توالی پرمین- تریاس، جدایش پشت کمانی^۱ در انتهای شمالی صفحه عربی دیده می‌شود. در این زمان دریای کم عمق پرمین بر روی حاشیه فعال شمال شرقی پیش‌روی^۲ می‌کند. ضخامت کربنات‌ها و تبخیری‌های حاصل در مناطق مختلف متغیر است که این امر نشان‌دهنده رسوب‌گذاری همزمان با فعالیت‌های تکتونیکی در این منطقه می‌باشد. سازند دالان (پرمین فوقانی) و سازند کنگان (تریاس زیرین)، معادل سازند خوف، با توالی کربناته- تبخیری به‌عنوان اصلی‌ترین مخازن گازدار به حساب می‌آیند.

مواد و روش‌ها

مطالعات پتروگرافی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان جمعاً بر روی ۱۳۰۰ m مغزه از ۵ چاه انجام شد (۱۸۰۰ مقطع). یک سوم از هر مقطع با آلزارین قرمز رنگ آمیزی گردید. فواصل تهیه مقاطع در اغلب بخش‌ها در هر متر ۲ نمونه بود. موارد استخراج شده از مقاطع نازک شامل ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی سنگ‌های رسوبی

1. Back-Arc Rifting
2. Transgression
3. Microfacies
4. Tidal Facies
5. Lagoon and Mid-Ramp
6. Shoal
7. Basin and Outer Ramp

جدول ۱ رخساره‌های ارائه شده در این مطالعه.

گروه رخساره	کد رخساره	توصیف	محیط	توضیح	رخساره همجوار	کمربند رخساره‌ای
انیدریت	F1	انیدریت توده‌ای، نودولی و لایه‌ای	سابخا	بافت قفس مرغی	F2	جزر و مدی
گل پش‌تیبان	F2	گل سنگ، گل سنگ دولومیتی با انیدریت	کفه جزر و مدی	با انیدریت سوزنی	F1, F3	جزر و مدی
	F3	گل سنگ و گل سنگ دولومیتی با ساخت فنسترال	کفه جزر و مدی، لاگون محدود	ترک‌های گلی، انیدریت	F2, F4	جزر و مدی
	F4	وکستون/پکستون	لاگون	قطعات پوسته جانوران، دولومیتی، پلوئید، انکوئید، میکرایتی شدن	F3, F5	لاگون و رمپ میانی
	F5	وکستون/پکستون همراه با زیست‌آشفتگی	رمپ میانی تا خارجی	قطعات پوسته جانوران	F4, F6	لاگون و رمپ میانی
	F6	گل سنگ تیره فسیل‌دار	رمپ خارجی	همراه با مواد اواری، دانه‌های ریز، سوزن اسفنج	F5	دریای باز و حوضه
دانه پش‌تیبان	F7	پکستون/گرینستون	سمت خشکی سد	دانه ریز، پلوئید، قطعات پوسته جانوران	F4, F8	سد
	F8	گرینستون ائیدی	سد	لایه‌بندی متقاطع، تخلخل قالبی	F7, F9	سد
	F9	گرینستون بایوکلاستی/ اینتراکلاستی	سمت دریای سد	دانه درشت	F8, F5	سد
	F10	گرینستون اینتراکلاستی پیشرونده	جزر و مدی	فقط بالای مرز پرمین-تریاس، فقط در سازند کنگان	F1, F2, F3	جزر و مدی
رخساره میکروبی	F11	باندستون استروماتولیتی	جزر و مدی	رشته‌های میکروبی	F1, F2, F3	جزر و مدی
	F12	باندستون ترومبولیتی	زیر جزر و مدی	فقط در کنگان		جزر و مدی

در مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی قابل توجه است را پوشش می‌دهد. هریک از رخساره‌های به‌دست آمده شاخص نوع خاصی از محیط رسوبی می‌باشد (جدول ۱).

مطالعه رخساره‌های چاه‌های مختلف دربرگیرنده سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان گازی پارس جنوبی نشان داد که محیط رسوبی این سازندها در زمان ته‌نشینی یک رمپ کربناته بوده است.

با توجه به شباهت رخساره‌ای در این دو سازند، می‌توان از این رخساره‌ها (به جز رخساره‌های ۱۰ و ۱۲) در هر دو سازند استفاده نمود. رخساره‌های ۱۰ و ۱۲ فقط به سازند کنگان تعلق دارند. همان‌گونه که ذکر گردید، رخساره‌های همراه نیز در کنار هر یک از رخساره‌های مذکور آمده تا کار شناسایی راحت‌تر گردد. این تقسیم‌بندی علاوه بر محدود نمودن تعداد رخساره‌ها، کلیه رخساره‌های موجود در سازندهای کنگان و دالان بالایی که تعداد آنان

پکستونی می‌گردد. در ادامه و در اغلب بخش‌های واحد K1 رخساره‌های کم‌عمق بخش رو به ساحل سد و رخساره‌های گل پشتیبان منطقه جزر و مدی دیده می‌شود. مجموعه این رخساره‌ها در نهایت به رخساره‌های شیلی آغار، ختم می‌گردد.

دیاژنز

پس از ته‌نشینی رسوبات، فرآیندهای ثانویه شروع به تغییر رسوبات می‌نماید. فرآیندهای دیاژنزی تأثیر بسیار زیادی بر روی کربنات‌ها دارند تا آنجا که بررسی کیفیت مخزنی این سازندها بدون بررسی خصوصیات دیاژنزی امکان‌پذیر نیست. این امر در مورد سازندهای کنگان و دالان بالایی با شدت بالای دیاژنز بیشتر مورد توجه است. مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی که روی کیفیت مخزنی تأثیر دارند، عبارتند از: ۱- سیمانی شدن (کلسیتی و انیدریتی)، ۲- فشردگی (مکانیکی و شیمیایی)، ۳- انحلال و ۴- دولومیتی شدن. این فرآیندها توسط سایر محققین نیز بررسی شده و در مورد تغییر کیفیت مخزنی در این سازندها به اثبات رسیده است [۱۸].

سایر فرآیندهای دیاژنزی نیز در این سازندها دیده می‌شوند که تأثیر چندانی بر روی کیفیت مخزنی ندارند (مانند نوشکلی). بررسی‌های انجام شده در سازندهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان گازی پارس جنوبی در هر سه محیط دیاژنزی دریایی، متئوریک و دفنی قرار داشته‌اند. با توجه به اینکه دیاژنز این سازندها در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته، در ادامه توضیح مختصری در این خصوص ارائه می‌گردد.

دیاژنز دریایی

به‌طور کلی تأثیرات دیاژنز اولیه دریایی در سازندهای مورد مطالعه به‌صورت میکرایتی شدن، سیمان‌های دریایی و فشردگی اولیه دیده می‌شود.

دلایل این امر شامل عدم وجود رخساره‌های سدی با گسترش فراوان، تبدیل تدریجی رخساره‌ها به یکدیگر، عدم وجود رسوبات لاگونی با ضخامت زیاد و پیوسته، ساختار یک لایه‌ای این سازندها و عدم وجود رسوبات واریزه‌ای^۱ می‌باشد. در مطالعات قبلی نیز این محیط رسوبی برای این سازندها در نظر گرفته است [۱۲-۱۷]. در این رمپ کربناته پشتیها گسترش فراوانی دارد که آثار آن به‌صورت گسترده در ثبت رسوبی دیده می‌شود.

توالی رخساره‌های سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان گازی پارس جنوبی با رخساره‌های گل پشتیبان قاعده دالان بالایی پس از ته‌نشست انیدریتی‌های عضو نار آغاز می‌گردد. این رخساره که در محیط جزر و مدی نهشته شده است، به سرعت به رخساره‌های دانه‌پشتیبان تبدیل می‌شود. این رخساره‌ها که اغلب در محیط‌های سدی با برتری آئیده‌ها تشکیل یافته‌اند، نشان دهنده سدهای نزدیک به ساحل می‌باشند.

حضور سیمان انیدریتی در بین آلوکم‌ها مشخصه این توالی است. پس از این رخساره‌ها، رخساره‌های لاگونی دولومیتی‌شده و سپس رخساره‌های سدی دور از ساحل دیده می‌شود. پایان واحد K4 با برتری مجدد مادستون‌ها و وکستون‌ها همراه با سیمان انیدریتی مشخص است. در واحد K3 رخساره‌های لاگونی برتری داشته و اغلب بخش‌های این واحد را تشکیل می‌دهند.

در زیر مرز پرمین-تریاس رخساره‌های دانه‌پشتیبان با برتری آئیده‌ها و پلوئیده‌ها مشخص است. پس از گذر از مرز و در قاعده واحد K2، رخساره زیستی ترومبولیتی دیده می‌شود که حدود ۵ m ضخامت دارد. از این پس و تقریباً در تمام طول واحد K2، رخساره‌های آئیدی و بایوکلاستی دانه‌پشتیبان دیده می‌شود. قاعده واحد K1 با رخساره‌های مادستون و وکستون همراه با نودول‌های انیدریتی مشخص است که به تدریج تبدیل به رخساره‌های

1. Talus

به میزان کمتر در سازندهای مورد مطالعه دیده می‌شود. سیمان حاشیه‌ای بر روی برخی از دانه‌ها به صورت کلسیت هم‌بعد رشد نموده است.

دیاژنز دفنی

تبلور مجدد و فشردگی شیمیایی نشانه‌های اصلی دیاژنز تدفینی می‌باشد. شاخص‌های پتروگرافی این قلمرو دیاژنزی شامل موزاییک کلسیت‌های دانه‌درشت با خاموشی موجی، تشکیل استیلولیت‌ها، سطوح تماس محدب و مقعر بین دانه‌ها، شکستگی‌ها و حفره‌های انحلالی در طول استیلولیت‌ها می‌باشد. فشردگی، سیمانی‌شدن و فرآیندهای انحلالی در سازندهای کنگان و دالان طی دیاژنز تدفینی دیده می‌شود. نمونه‌هایی با سیمان حاشیه‌ای اولیه، اغلب مقاوم‌تر از نمونه‌هایی هستند که این نوع سیمان را ندارند. این نمونه‌ها کمتر تحت تأثیر فشردگی شیمیایی قرار می‌گیرند و همچنین دارای سطوح تماسی محدب و مقعر کمتر می‌باشند. تخلخل در چنین نمونه‌هایی بهتر از سایر نمونه‌ها حفظ شده است.

چینه‌نگاری سکانشی

جهت تعیین نوع سکانشی‌ها مدل‌های متفاوتی وجود دارد. اما در تقسیم‌بندی سکانشی‌ها به سیستم تراکت‌ها، هدف از انجام تقسیم‌بندی باید مد نظر قرار گیرد [۱۹]. مفاهیم اساسی چینه‌نگاری سکانشی اولین بار توسط محققین شرکت اکسون تعریف شد و سپس توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفت [۲۰-۲۴] در اینجا هدف اصلی ایجاد ارتباط بین تغییرات سکانشی در واحدهای رسوبی و کیفیت مخزنی بر اساس مفاهیم پایه‌ای چینه‌نگاری سکانشی است و مدل ارائه شده توسط شرکت اکسون به این منظور استفاده می‌گردد. در مدل در نظر گرفته شده سه سیستم تراکت تراز پایین^۱، سیستم تراکت پیش‌رونده سریع^۲ و تراز بالا^۳ وجود دارد.

1. Lowstand Systems Tract (LST)
2. Transgressive Systems Tract (TST)
3. Highstand Systems Tract (HST)

محصولات پتروگرافی در این بخش دیاژنز شامل سیمان‌های فیبری، میکرایتی شدن خرده‌های اسکلتی، جهت‌یابی دانه‌های کشیده، سیمانی‌شدن انیدریتی اولیه و دگرشکلی ذرات اولیه است. علاوه بر سیمانی‌شدن، میکرایتی‌شدن زیستی نیز از فرآیندهای رایج دیاژنز دریایی در سازندهای کنگان و دالان می‌باشد. در گرینستون، پکستون و وکستون‌های موجود، دانه‌ها با میکرایت پوشیده می‌شود. در برخی از موارد با وجود آنکه دانه حل شده و از بین رفته، پوشش میکرایتی همچنان دیده می‌شود.

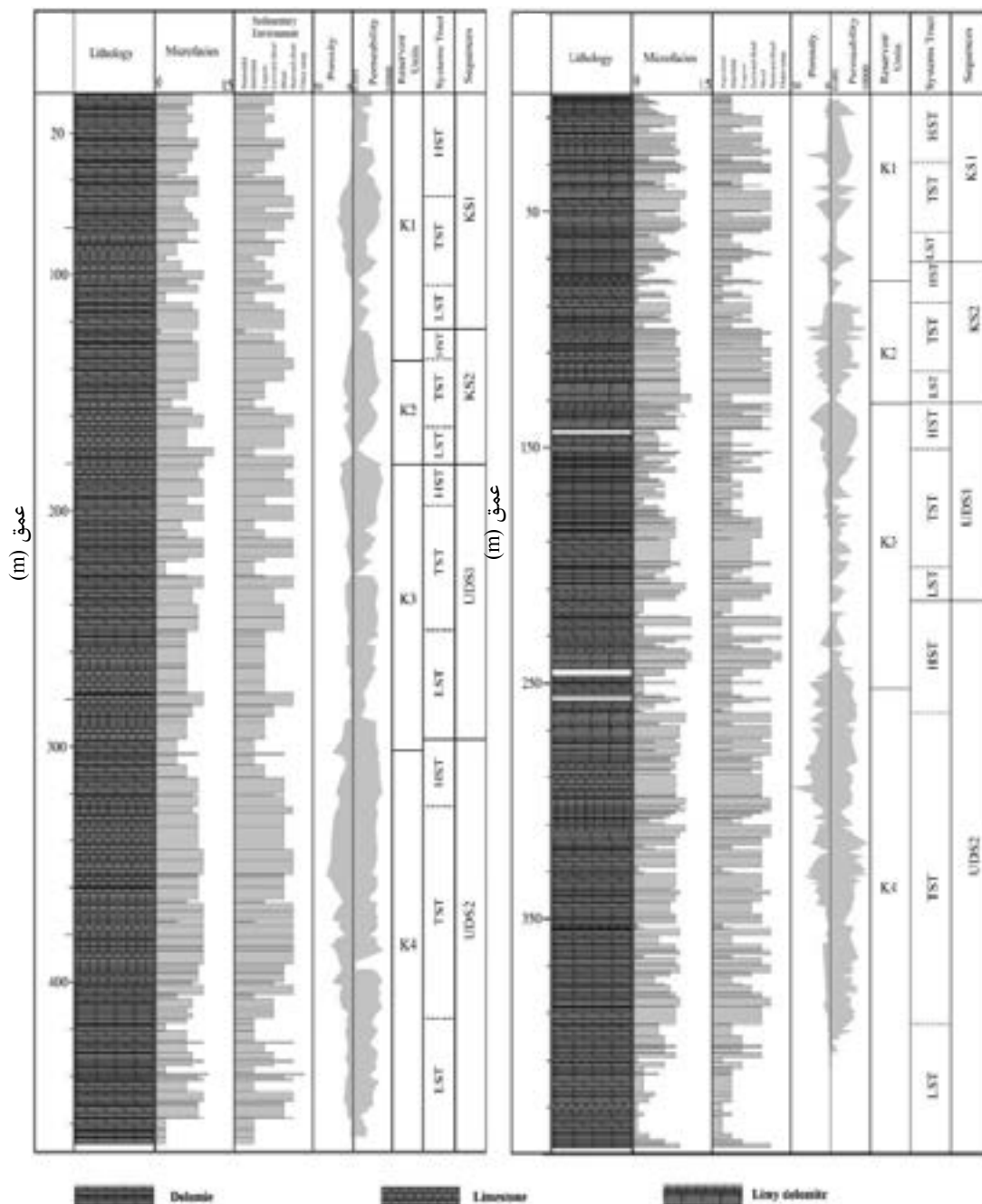
فاز اصلی دولومیتی‌شدن در دفن کم‌عمق اتفاق افتاده است. شواهد پتروگرافی که این نظریه را تأیید می‌کند، شامل تشکیل دولومیت‌های ریزبلور اولیه در تخلخل‌های اولیه، حفظ خصوصیات اولیه رسوب‌شناسی و دیاژنزی اولیه با وجود دولومیتی‌شدن (مانند آثار زیست‌آشفستگی، میکرایتی‌شدن و سیمانی‌شدن اولیه دریایی) می‌گردد. قطع شدن این دولومیت‌ها با استیلولیت‌ها و شکستگی‌ها دلیل دیگری بر اولیه بودن این دولومیت‌ها می‌باشد. سطوح تماس کمی فشرده در دانه‌های دولومیتی شده نیز از شواهد پتروگرافی موجود می‌باشد. برخی دولومیت‌ها در محیط دیاژنزی دفنی، رشد داشته‌اند.

دیاژنز متئوریک

دیاژنز سازندهای مورد مطالعه با دیاژنز متئوریک ادامه می‌یابد. در این مرحله، دانه‌های اسکلتی و غیراسکلتی ناپایدار انحلال یافته و تخلخل‌های انحلالی ثانویه را ایجاد می‌کنند. اصلی‌ترین شاخص شناسایی این نوع دیاژنز شامل سیمان‌های شاخص متئوریک، انحلال و دگرشکلی کانی‌های دریایی اولیه می‌باشد. شواهد پتروگرافی شاخص در این بخش عبارتند از: سیمان‌های کلسیتی هم‌بعد، سیمان‌های کلسیتی محیط غیراشباع، تخلخل‌های درون‌دانه‌ای و بین‌دانه‌ای حاصل انحلال، حفرات بزرگ شده بر اثر انحلال و سیمان‌های ثقلی که

تراوایی دیده می‌شود (شکل ۱). رسوبات بخش LST سکانس UDS2 مقادیر قابل ملاحظه‌ای انیدریت دارد. آخرین لایه انیدریتی به‌عنوان مرز TS این سکانس در نظر گرفته شده است. مرز MFS این سکانس با رخساره‌های F5 و F6 شناسایی می‌گردد. این بخش در پایین دولومیتی و در بالا آهکی است اما نوع دولومیت‌های آن با دولومیت‌های UDS2-LST متفاوت است.

این سه سیستم تراکت توسط مرز سکانسی در بخش پایینی LST، مرز TS بین LST و TST و مرز MFS در بخش بالایی TST مشخص می‌گردد. با توجه به موارد ذکر شده، سطوح اصلی سکانس در سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی شناسایی گردید. نتایج مطالعات سکانسی در چاه‌های SP-A و SP-B به همراه جنس سنگ، رخساره‌های رسوبی، محیط رسوبی، تخلخل و



شکل ۱ نتایج مطالعات سکانسی در چاه‌های SP-A و SP-B به همراه جنس سنگ، رخساره‌های رسوبی، محیط رسوبی، تخلخل و تراوایی.

دید می‌شود و تخلخل‌های قالبی را ایجاد نموده است.

مجموعه رخساره‌های تشکیل دهنده ابتدای تریاس (KS2-HST) رخساره‌های کم‌عمق (بیشتر F3 و F4) می‌باشد که در برخی موارد تا رخساره‌های سدی را نیز شامل می‌گردد. لیتولوژی این بخش در اغلب چاه‌های مورد مطالعه، آهکی است. رخساره باندستون ترومبولیتی در بخش‌های ابتدایی تا میانی این سیستم تراکت دیده می‌شود. واحد TST این سکانس اغلب از رخساره‌های سدی تشکیل می‌شود. اصلی‌ترین فرآیندهای دیاژنزی انحلال در بخش‌های پایینی و دولومیتی‌شدن در بخش‌های بالایی است. مرز انتهایی این سکانس در چاه‌های مطالعه شده با رخساره‌های جزر و مدی و بالای جزر و مد به خوبی مشخص است.

مرز TS بالای واحد KS2-LST با پایان رخساره‌های کم‌عمق (رخساره‌های F3 و F4) در چاه‌های مختلف شناسایی می‌گردد. در این واحد رخساره‌ها از بین جزر و مدی در مرز سکانسی پایین واحد آغاز شده و به سمت بالا عمیق می‌شوند به طوری که در برخی چاه‌ها تا رخساره‌های سمت ساحل سد نیز در این واحد مشاهده می‌گردد. تشکیل سیمان‌های انیدریتی و دولومیتی، اصلی‌ترین فرآیند دیاژنزی در این بخش محسوب می‌شود. مرز MFS این سکانس در اغلب چاه‌ها با حضور رخساره سمت دریای سد (F9) شناخته می‌شود. رخساره‌های غالب در سیستم تراکت TST شامل F7، F4 و F8 می‌باشد که محیط‌های رسوبی از لاگون تا سمت دریای سد را در بر می‌گیرد. پایان سکانس KS1 نیز با ته‌نشست رسوبات دانه‌ریز آواری (شیل‌های آغار) شناخته می‌شود.

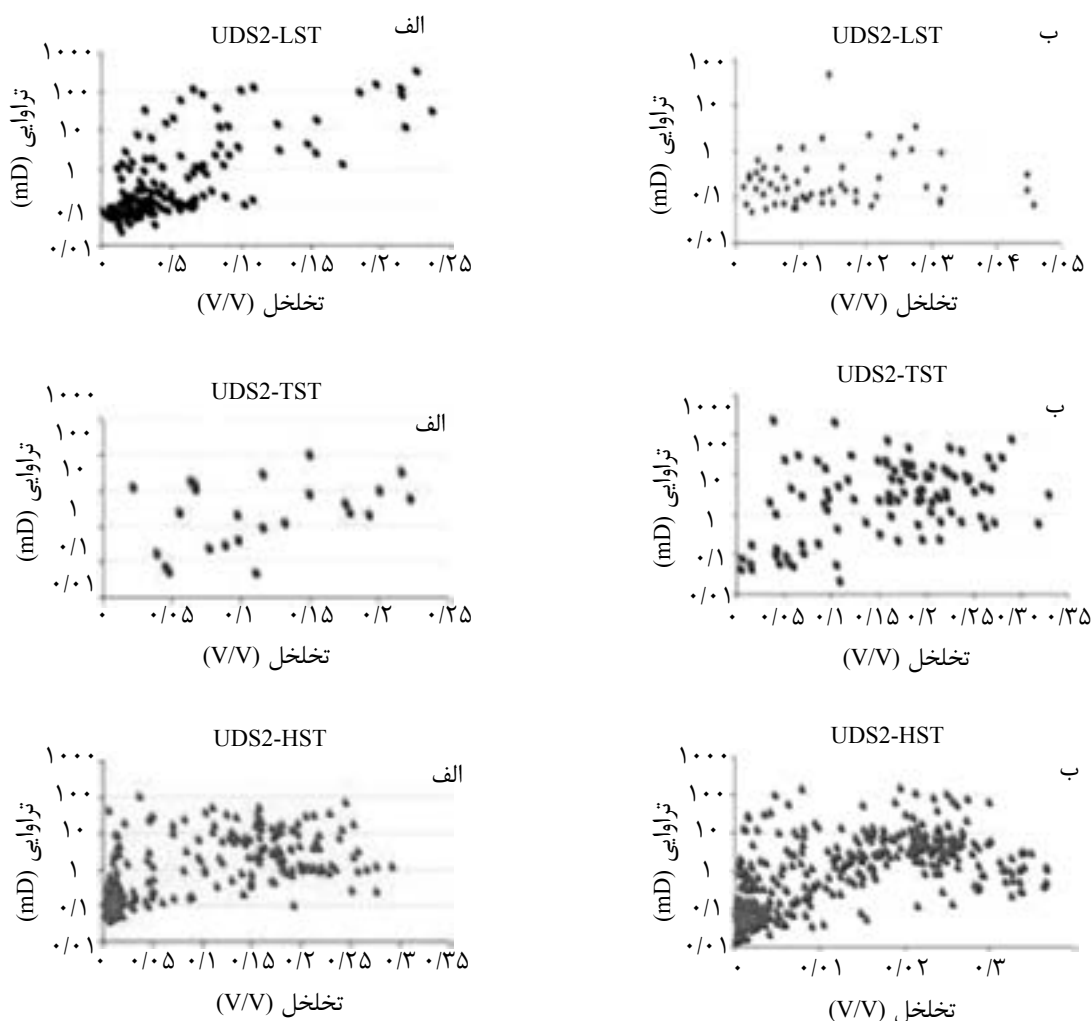
توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی و نمودارهای مربوطه در واحد UDS2-LST (پایین‌ترین بخش واحد مورد مطالعه) نشان می‌دهد که مقادیر اصلی شاخص‌های کیفیت مخزن در این واحد پایین است.

دولومیت‌های این بخش بلوری و درشت بوده و تخریب‌کننده تا تبعیت‌کننده از فابریک می‌باشند. تشکیل این دولومیت‌ها سبب گردیده تا علاوه بر افزایش تخلخل، تراوایی نیز در این بخش به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. همزمان با بالا رفتن سطح آب دریا، میزان انیدریتی‌شدن در این بخش کاهش یافته و انیدریت‌ها گاهی به صورت سیمان‌های پراکنده دیده می‌شوند که تأثیر چندانی بر تغییرات کیفیت مخزنی ندارند. مرز سکانسی بالایی این سکانس با تشکیل یک لایه انیدریتی ضخیم مشخص می‌گردد. اغلب بخش‌های پایینی HST این سکانس آهکی است و دولومیتی‌شدن چندانی در آن اتفاق نیفتاده است. انحلال در بخش‌های میانی از فابریک سنگ تبعیت می‌کند و اغلب فسیل‌ها و آئیده‌های موجود را حل کرده و تخلخل قالبی ایجاد نموده است. مرز TS سکانس UDS1 با رخساره‌های لاگونی (F4) تا بخش سمت دریای سد (F7) مشخص می‌شود. رخساره‌های غالب در این سیستم تراکت رخساره‌های کم‌عمق جزر و مدی، لاگونی (F2 to F5) و در برخی موارد تا رخساره‌های سمت ساحل سد (F7) دیده می‌شود. اغلب این رخساره‌ها گل پشتیان است و در برخی موارد در رخساره‌های جزر و مدی انیدریت نیز می‌باشد. فرآیندهای دیاژنزی گسترش یافته در بخش UDS1-LST همگی نشان‌دهنده آن است که آب‌های جوی نقش چندانی در دیاژنزی این واحد نداشته و از مدل دیاژنزی محیط رمپ در شرایط آب و هوای گرم و خشک تبعیت می‌کند [۱].

سیستم تراکت TST در این سکانس تقریباً به‌طور کامل از رخساره‌های پرانرژی سد و حاشیه سمت ساحل سد تشکیل می‌شود و بر همین اساس تشخیص مرز MFS در این واحدها با تشکیل رخساره‌های عمیق رمپ خارجی همراه است. مطالعات بسیاری در خصوص مرز سکانسی بین رسوبات پرمین و تریاس انجام شده است [۱۰ و ۲۵]. مهم‌ترین تغییر دیاژنزی در بخش انتهایی این سکانس انحلال است که در بخش بالایی به فراوانی

و تراوایی اغلب بالاتر از 0.1 md است. این سیستم تراکت در واقع بخش مخزنی پایینی و میانی واحد K4 می‌باشد (شکل ۲). با گذر از واحد UDS2-TST، واحد UDS2-HST ظاهر می‌شود. در تمامی چاه‌های مورد مطالعه این سیستم تراکت رفتار دوگانه‌ای در مورد خواص مخزنی از خود نشان می‌دهد. بدین ترتیب که در ابتدای واحد UDS2-HST، تخلخل و تراوایی زیادی مشاهده می‌گردد. به تدریج و با کاهش عمق، از مقادیر تخلخل و تراوایی کاسته می‌شود. شاخص‌ترین مرز موجود برای این تغییرات را می‌توان مرز واحد K3 و K4 در نظر گرفت. این تغییر در نمودارهای تخلخل و تراوایی نیز دیده می‌شود.

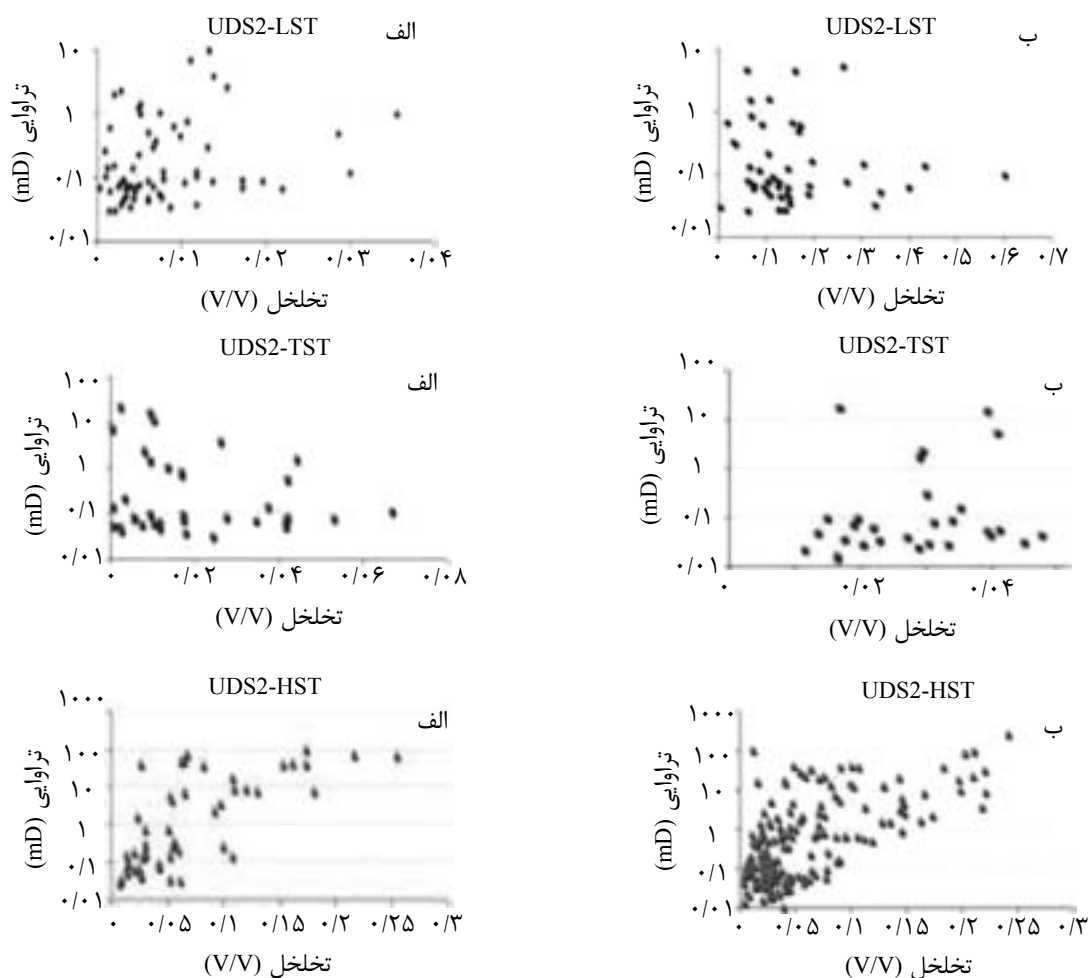
به عبارت دیگر این بخش با توجه به مقادیر تخلخل و تراوایی، کیفیت مخزنی مناسبی ندارد. بیشتر تخلخل‌ها در واحد UDS2-LST کمتر از 0.5 می‌باشد. تراوایی در این واحد اغلب در محدوده 0.1 میلی‌داری می‌باشد. باید به این نکته توجه نمود که در مخازن گازی، این اعداد برای مخزن بودن یک واحد کافی است. اما هدف در اینجا مقایسه بخش‌های مختلف مخزنی و معرفی بهترین واحد در قالب تغییرات چینه‌نگاری سکansı است (شکل ۲). در این سکانس برخلاف واحد UDS2-LST، واحد UDS2-TST در واحدهای مورد مطالعه از کیفیت مخزنی مناسبی برخوردار است. رسم داده‌های تخلخل در مقابل تراوایی در این سیستم تراکت نشان می‌دهد که تخلخل در این بخش بین 10 تا 30% متغیر بوده



شکل ۲ نمودار توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی (الف) در چاه SP-A و (ب) در SP-B در سکانس UDS2.

LST دارای کیفیت مخزنی بسیار ضعیفی است. این وضعیت بر روی لاگ چاه‌ها و نمودارهای تخلخل و تراوایی واحد UDS2-HST نیز دیده می‌شود. تخلخل در این سیستم تراکت کمتر از ۲٪ و میزان تراوایی اغلب کمتر از ۰/۱ md است. این سیستم تراکت در چاه‌های مختلف منطبق بر بخش پایینی تا میانی واحد K3 است (شکل ۳). واحد UDS1-TST مقادیر بالاتری از تخلخل را نسبت به واحد پیشین نشان می‌دهد. در این واحد تخلخل‌ها بین ۱ تا ۵٪ و میزان تراوایی حدود ۰/۱ md است. هرچند در مقایسه با واحدهای مخزنی مانند بخش پایینی UDS2-HST، این بخش مخزن مناسبی نیست، اما نسبت به واحد LST پایین‌تر، کیفیت مخزنی بهتری دارد. تغییرات تخلخل و تراوایی در طول این بخش تقریباً ثابت است (شکل ۳).

بر روی نمودارهای مربوط به تغییرات تخلخل در مقابل تراوایی این واحد می‌توان دو دسته داده‌ها را از یکدیگر متمایز نمود. دسته اول که مربوط به بخش پایینی واحد UDS2-HST می‌باشد، دارای تخلخل و تراوایی بالایی است. مقادیر تخلخل و تراوایی در بخش پایینی بین ۲۰ تا ۳۰٪ متغیر است. این در حالی است که همین مقادیر در بخش بالایی واحد بین ۰ تا ۵ تغییر می‌کند. تغییرات میزان تراوایی نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد. میزان تراوایی در بخش‌های بالایی، پایین است و به ندرت از ۰/۱ md تجاوز می‌کند. در بخش‌های پایینی، میزان تراوایی بین ۱ تا ۱۰۰ md متغیر است و در مجموع کیفیت مخزنی بهتری را برای این بخش به وجود می‌آورد. باید به این نکته توجه نمود که بخش پایینی واحد UDS2-HST منطبق بر بخش بالایی واحد K4 است (شکل ۲). با عبور از مرز سکansı بین سکانس‌های UDS1 و UDS2،

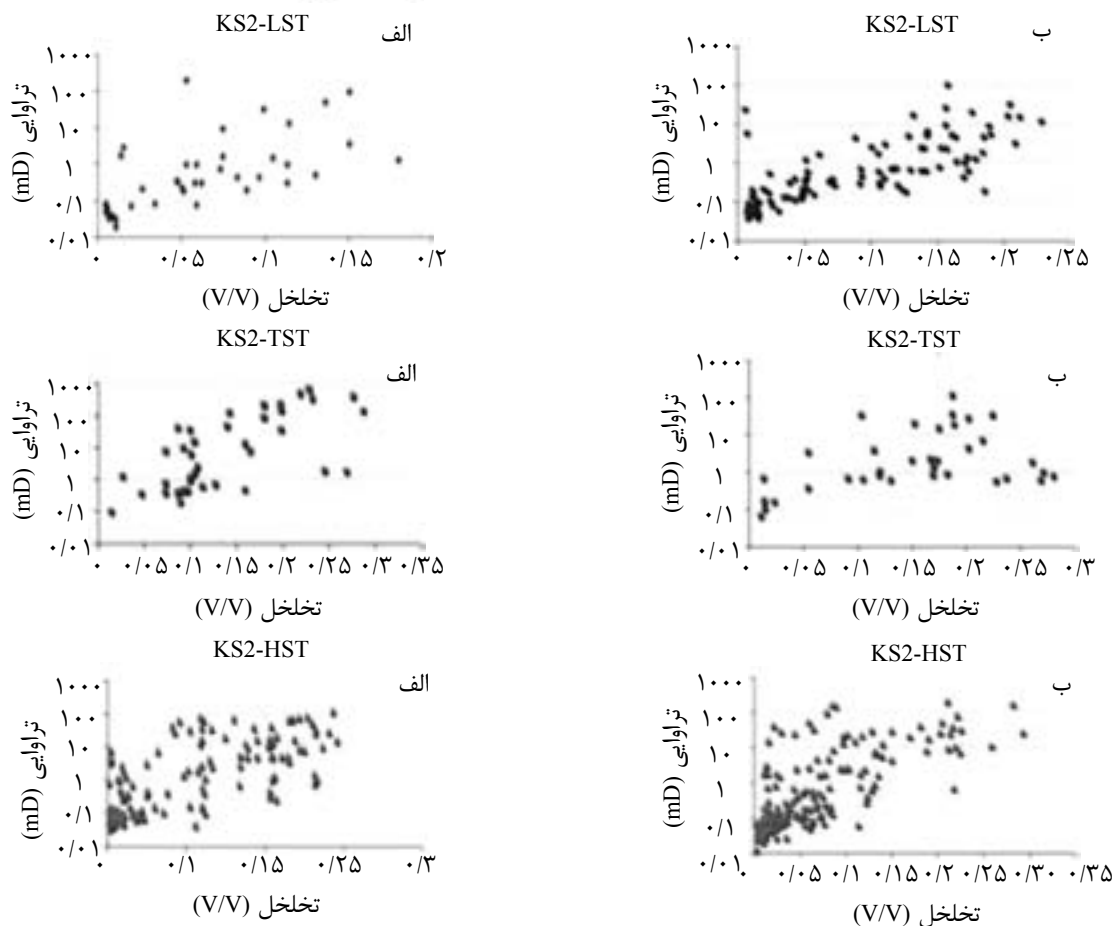


شکل ۳- نمودار توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی (الف) در چاه SP-A و (ب) در SP-B در سکانس UDS1.

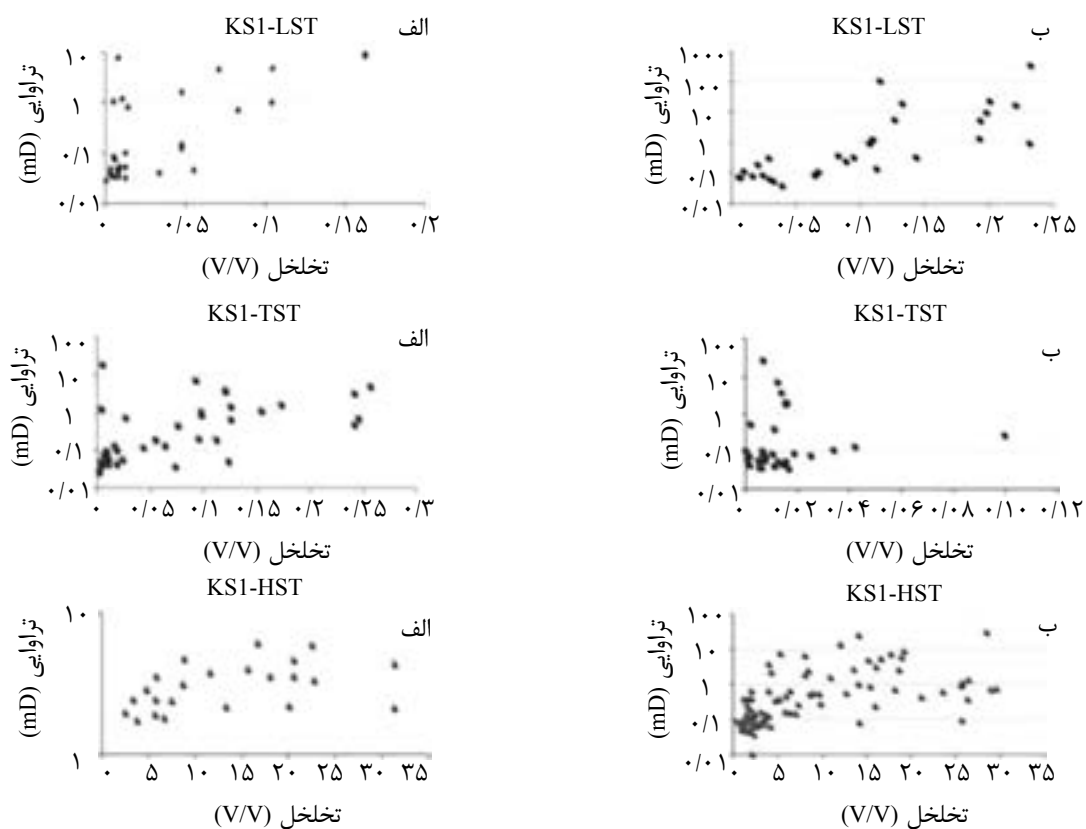
پایینی نزدیک به مرز سکانشی و بخش بالایی به مرز پیش‌رونده نزدیک‌تر است. در بخش نزدیک به مرز سکانشی واحدهای KS2 و UDS1، مقادیر تخلخل و تراوایی بالایی دیده می‌شود. این مورد در گرینستون‌های پس از مرز پرمین-تریاس به خوبی مشخص است. بلافاصله پس از گذر از مرز، تخلخل و تراوایی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. کیفیت مخزنی این سیستم تراکت در بخش بالایی آن به تدریج رو به بهبود می‌رود و این روند در سیستم تراکت پیش‌رونده سریع نیز ادامه می‌یابد (شکل ۴). واحد TST در تمامی چاه‌های مورد مطالعه در سکانشی KS2، کیفیت مخزنی خوبی دارد. این بخش مطابق با بخش مخزنی بالایی واحد K2 در واحدهای مورد مطالعه است و تنها سیستم تراکتی است که تغییرات کیفیت مخزنی در تمام ضخامت آن تقریباً ثابت است. این سیستم تراکت در بیشتر چاه‌ها از آهک تشکیل شده است (شکل ۴). واحد HST در سکانشی KS2 نیز تقریباً از روند سیستم تراکت مشابه در سکانشی‌های دیگر واحدهای مورد مطالعه پیروی می‌کند. در این سیستم تراکت، مقادیر تخلخل و تراوایی در ابتدای واحد کم بوده و به تدریج به سمت انتهای آن افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که کیفیت مخزنی به طور کلی در واحدهای K1 و K3 نسبت به واحدهای K2 و K4 پایین‌تر است. در نتیجه به طور میانگین در هر سیستم تراکت مربوط به سکانشی‌ها مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه در سکانشی KS1 روند مشابهی نسبت به سایر سکانشی‌ها دیده می‌شود، از توضیح این بخش صرف‌نظر می‌گردد (شکل ۵). ستون رخساره‌ای ایده‌آل به همراه فرآیندهای دیاژنزی سیستم تراکت‌های سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی در شکل (۶) دیده می‌شود.

واحد UDS2-HST روند معکوسی نسبت به واحد مشابه در سکانشی UDS2 از خود نشان می‌دهد. هرچند در این واحد تغییرات به شدت واحد قبلی نیست. به عبارت دیگر این سیستم تراکت نیز به دو بخش ابتدایی و انتهایی تقسیم می‌گردد. در بخش پایینی، مقادیر تخلخل و تراوایی نسبت به بخش پایینی بیشتر است. این تغییرات و ایجاد دو بخش بر روی لاگ‌ها و نمودارهای تخلخل-تراوایی این سیستم تراکت در چاه‌های مختلف به خوبی مشخص است. در بخش پایینی سیستم تراکت، مقادیر تخلخل در گوشه پایینی سمت چپ نمودار دوگانه تخلخل-تراوایی دیده می‌شود. این بدان معنی است که مقادیر تخلخل در این سیستم تراکت اغلب کمتر از ۵ بوده و مقادیر تراوایی نیز کمتر از ۰/۱ md است. سایر داده‌ها که مربوط به بخش بالایی این واحد می‌باشد، در بخش‌های بالاتر قرار می‌گیرند. در این قسمت مقادیر تخلخل از ۵ تا ۲۵٪ و مقادیر تراوایی از ۰/۱ تا ۱۰۰ md متغیر است (شکل ۳).

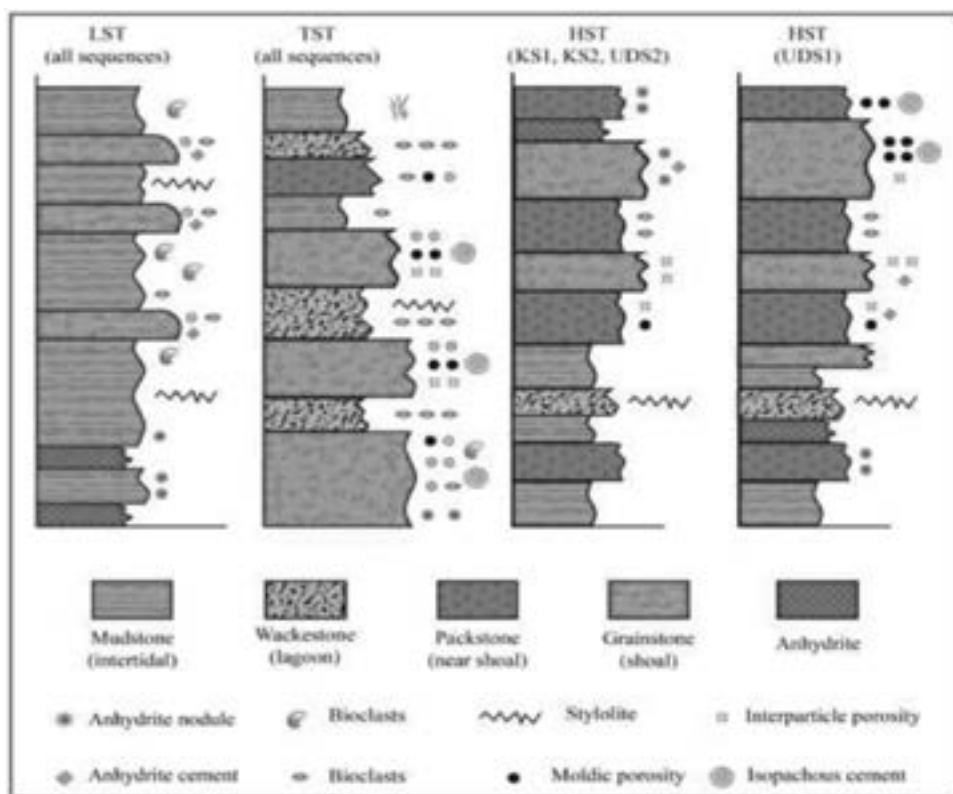
واحد KS2-LST در چاه‌های مورد مطالعه کیفیت مخزنی پایین‌تری نسبت به سیستم تراکت پیش‌رونده سریع پس از خود دارد. به عبارت دیگر با توجه به اینکه میزان تخلخل و تراوایی به طور کلی در واحد K2 و K4 از واحدهای K1 و K3 بیشتر است، بخش LST این واحدها در مقایسه با بخش TST، کیفیت مخزنی کمتری دارد. در این سیستم تراکت، میزان تخلخل و تراوایی از مقادیر خیلی کم آغاز می‌گردد و به تدریج به سمت بالا افزایش می‌یابد. با وجود آنکه سکانشی KS2 نسبت به سکانشی UDS1 و UDS2 کوچک‌تر است، بخش LST این واحد ضخامت کمتری از رسوبات را شامل می‌گردد. با این وجود می‌توان این سیستم تراکت را به دو بخش پایینی و بالایی تقسیم نمود. بخش



شکل ۴ نمودار توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی در چاه SP-A (الف) و SP-B (ب) در سکناس KS2.



شکل ۵ نمودار توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی در چاه SP-A (الف) و SP-B (ب) در سکناس KS1.



شکل ۶ توالی ایده آل سیستم تراکت‌های سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی به همراه فرآیندهای اصلی دیاژنزی مؤثر بر کیفیت مخزنی.

مخزنی خوب آن همواره حفظ شده است. به عبارت دیگر کیفیت مخزنی این سیستم از ابتدا خوب بوده و دولومیتی شدن هیچگاه نقش مخرب در آن نداشته است. بلکه در مواردی که وجود داشته، سبب افزایش آن شده است. واحدهای HST پیچیده‌ترین رفتار را از نظر تغییرات کیفیت مخزنی در واحدهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. این سیستم تراکت در تمامی چاه‌های مورد مطالعه رفتار دوگانه‌ای دارد. در سکانس‌های KS1، KS2 و UDS2 در بخش‌های پایینی این سیستم تراکت کیفیت مخزنی مطلوب بوده و همواره به سمت مرز سکانسی از کیفیت مخزنی آن کاسته می‌شود. این رفتار به سبب آن است که با کاهش عمق در این سازندها رسوبات تبخیری فرصت ته‌نشست پیدا کرده و تخلخل‌های اولیه را مسدود نموده‌اند. با توجه به اینکه دو عامل اصلی تغییرات کیفیت مخزنی در این سازندها یعنی دولومیتی شدن و انحلال هردو در مراحل اولیه

نتیجه‌گیری

مقایسه کیفیت مخزنی و سیستم تراکت‌های تعیین شده نشان می‌دهد که LST در همه سکانس‌های تعیین شده دارای کیفیت مخزنی ضعیفی است. این سیستم تراکت در واحد K4 رفته رفته با نزدیک شدن به مرز دالان پایینی، مقادیر تخلخل و تراوایی کمتری را نشان می‌دهد. سیمانی شدن انیدریتی اصلی‌ترین شاخصه دیاژنزی این واحد است. با تبدیل این سیستم تراکت به سیستم TST، فرصت برای انحلال فراهم شده و به همین سبب بلافاصله پس از پایان این مرحله و آغاز مرحله TST، کیفیت مخزنی در همه چاه‌ها و همه سکانس‌ها افزایش یافته است. سیستم تراکت TST در همه چاه‌های مورد مطالعه، کیفیت مخزنی خوبی را نشان می‌دهد. در این مرحله سدها به سرعت به سمت بالا حرکت کرده و در نتیجه تخلخل اولیه آنان به خوبی حفظ شده است. این سیستم تراکت در برخی سکانس‌ها، آهکی و در برخی دیگر دولومیتی است، اما کیفیت

طولانی‌تر برونزد مرز پرمین-تریاس در سازندهای مورد بررسی عادی است. در نتیجه فرآیند انحلال فرصت یافته تا میزان تخلخل را در پایین این مرز افزایش دهد. بلافاصله پس از مرز، حضور رخساره دانه‌درشت پیش‌رونده سبب گردیده تا در بخش نازکی کیفیت مخزنی افزایش یابد، ولی مجدداً به سبب حضور لایه ترومبولیتی، کاهش شدید در خصوصیات مخزنی دیده می‌شود.

دیاژنزی رخ داده است، رسوب تبخیری‌ها سبب شده هیچ‌یک از این دو عامل نتوانند در زیر مرزهای سکانسی مؤثر باشند. این امر با افزایش انیدریت در زیر مرز سکانسی بین سکانس‌های KS1 و KS2 و نیز بین UDS1 و UDS2 مشخص است. در سکانس UDS1 روند معکوسی دیده می‌شود. به این ترتیب که در این سیستم تراکت، در بخش پایینی کیفیت مخزنی پایین بوده و رفته رفته به سمت بالا (مرز سکانس) افزایش می‌یابد. این امر با توجه به زمان

مراجع

- [1]. Moore C. H., Wade W. J., "Carbonate Reservoirs, Porosity and diagenesis in a sequence stratigraphic framework," 2nd ed., Elsevier, 2013.
- [2]. Catuneanu O., Abreu V., Bhattacharya J.P., Blum M.D., Dalrymple R.W., Eriksson P.G., Fielding C.R., Fisher W.L., Galloway W.E., Gibling M.R., Giles K.A., Holbrook J.M., Jordan R., Kendall C.G.St.C., Macurda B., Martinsen O.J., Miall A.D., Neal J.E., Nummedal D., Pomar L., Posamentier H.W. Pratt B.R. Sarg J.F., Shanley K.W., Steel R.J., Strasser A., Tucker M.E., Winker C., "Towards the standardization of sequence stratigraphy," Earth-Science Reviews, Vol. 92, No. 1, pp. 1-33, 2009.
- [3]. Total, "Sedimentological study of the cored Kangan/Dalan Formation in SP-5 Well, South Pars Field, Iran," Unpublished Report, 1996.
- [4]. RIPI, "Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Reservoir Characterization of the Upper Dalan and Kangan Formations in the South Pars Field, Persian Gulf, (SP-13 Well)," Unpublished Report, 2004.
- [5]. RIPI, "Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Reservoir Characterization of the Upper Dalan and Kangan Formations in the South Pars Field, Persian Gulf, (SP-14 Well)," Unpublished Report, 2006.
- [6]. RIPI, "Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Reservoir Characterization of the Upper Dalan and Kangan Formations in the South Pars Field, Persian Gulf, (SP-15 Well)," 2007.
- [7]. نجم‌آبادی، س.، "گزارش نهایی زمین‌شناسی چاه شماره ۱ میدان گازی پارس جنوبی. گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران." چاپ نشده، ۱۳۷۲.
- [8]. Insalaco E., Virgone A., Courme B., Gaillot J., Kamali M., Moallemi A., Lotfpour M., Monibi S., "Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture," GeoArabia, Vol. 11, pp. 75-176, 2006.
- [9]. Dunham R. J., "Classification of carbonate rocks according to depositional texture," in: Ham W. E. (Ed.), Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, pp. 108-121, 1964.
- [۱۰]. توکلی، و.، "نگاره انحراف معیار گاما: ابزاری جدید جهت جدایش واحدهای سکانسی در توالی‌های کربناته با مثالی از سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی،" پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۵۴، شماره ۱، صفحات ۹۷-۱۱۰، ۱۳۹۳.

- [11]. Rahimpour-Bonab H., Asadi-Eskandar A., Sonei A., "Controls of Permian-Triassic Boundary over Reservoir Characteristics of South Pars Gas Field, Persian Gulf," Geological Journal, Vol. 44, pp. 341–364, 2009.
- [12]. Alsharhan A. S., "Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the middle Permian to Early Triassic Khuff Formation, United Arab Emirates," GeoArabia, Vol. 11, pp. 121–158, 2006.
- [13]. Strohmenger C. J., Alway S., W., Broomhall R.H. R., Hulstrand R. F., Al-Mansoori A., Abdalla A. A., Al-Aid-arous A., "Sequence stratigraphy of the Khuff Formation comparing subsurface and outcrop data (Arabian plate, U.A.E.)," Society of Petroleum Engineers, SPE Paper 78535, 2002.
- [14]. Al-Jallal I. A., "Diagenetic effects on reservoir properties of the Permian Khuff Formation in eastern Saudi Arabia," Society of Petroleum Engineers 6th Middle East Oil Show, pp. 465–476, 1987.
- [15]. Al-Jallal I. A., "The Khuff Formation: Its regional reservoir potential in Saudi Arabia and other Gulf countries, depositional and stratigraphic approach," in: Al-Huseini, M. I., (Ed.), Geo'94, Middle East petroleum geosciences: Bahrain, Gulf PetroLink 1, pp. 103–119, 1995.
- [16]. Sharland P. R., R., Archer D. M., Casey R. B., Davies S. H., Hall A. P., Heward A. D., Horbury M. D., Simmons A., "Arabian plate sequence stratigraphy," GeoArabia Special Publication 2, 2001.
- [17]. Burchette T.P., Wright V.P., "Carbonate ramp depositional systems," Sedimentary Geology, Vol. 79, pp. 3–57, 1992.
- [۱۸]. رحیم‌پور بناب ح، "بررسی محیط‌رسوبی و دیاژنز سازندهای کنگان و دالان در میدان گازی پارس جنوبی و ارتباط آن با کیفیت مخزنی". گزارش داخلی شرکت نفت و گاز پارس، چاپ نشده، ۱۳۸۶.
- [۱۹]. امینی ع، "مبانی چینهنگاری سکانسی"، دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
- [20]. Posamentier H. W., James D. P., "Sequence stratigraphy – uses and abuses," in: Posamentier H. W. Summerhayes C. P. Haq B. U. Allen G. P. (Eds.), Sequence Stratigraphy and Facies Associations. International Association of Sedimentologists Special Publication 18, pp. 3–18, 1993.
- [21]. Galloway W. E., "Accommodation and the sequence stratigraphic paradigm," Canadian Society of Petroleum Geologists, Vol. 31, pp. 9–10, 2004.
- [22]. Posamentier H.W., Vail P.R., "Eustatic controls on clastic deposition. II. Sequence and systems tract models," in: Wilgus C.K., Hastings B.S., Kendall C.G.St.C., Posamentier H.W., Ross C.A., Van Wagoner J.C. (Eds.), Sea Level Changes—An Integrated Approach, Vol. 42, SEPM Special Publication, pp. 125–154, 1988.
- [23]. Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R., "Eustatic controls on clastic deposition. I. Conceptual framework," in: Wilgus C.K., Hastings B.S., Kendall C.G.St.C., Posamentier H.W., Ross C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), Sea Level Changes—An Integrated Approach, Vol. 42, SEPM Special Publication, pp. 110–124, 1988.
- [24]. Vail P. R., Todd R. G., Sangree J. B., "Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 5. Chronostratigraphic Significance of Seismic Reflections," Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation Memoir 26, pp. 99 – 116, 1977.
- [25]. Tavakoli V., "Uranium depletion across Permian-Triassic boundary in Persian Gulf and its implications for paleoceanic conditions," Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Vol. 351, pp. 101-113, 2012.