

# بررسی تغییرات رخساره ای، محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی موجود در مرزهای سکانسی سازند کنگان و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی، براساس طبقه بندی لوسیا، درمیادین سلمان و لاوان

مرجان محمدی<sup>۱</sup>، علی کدخدائی<sup>۲\*</sup>، حسین رحیم‌پور بناب<sup>۳</sup>، رحیم کدخدائی<sup>۴</sup>، محسن آل علی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۳- دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

## چکیده

سازند کنگان با سن تریاس بزرگترین ذخایر گازی در خاور میانه و جهان را دارا می‌باشد. این سازند در میدان سلمان (شامل ۱۸۷ m ضخامت در چاه 2SK-1 و ۱۸۹ m ضخامت در چاه 2SKD-1) و در میدان لاوان (شامل ۱۸۶ m ضخامت در چاه LN-3)، همراه با توالی کربناته، سنگ آهک، آهک دولومیتی، دولومیت به همراه میان لایه‌های انیدریتی، مارن و شیل (در مرز کنگان) می‌باشد. طبق مطالعات میکروسکوپی در چاه‌های مذکور، تعداد ۱۵ رخساره در قالب ۴ کمر بند رخساره‌ای سیخا، جزرومدی، لاگون و سد شناسایی شده است. بر اساس رخساره‌های شناسایی شده محیط رسوب‌گذاری این سازند را می‌توان یک رمپ کربناته معرفی کرد. فرآیندهای دیاژنزی شناخته شده در سازند کنگان که بر روی کیفیت مخزنی مؤثر می‌باشند، عبارتند از: تراکم مکانیکی و شیمیایی، سیمان انیدریتی و کلسیتی به عنوان کاهش‌دهنده کیفیت مخزنی و انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی را به عنوان افزایش‌دهنده کیفیت مخزنی نام برد. انواع تخلخل‌های مشاهده شده عبارتند از: تخلخل‌های درون دانه‌ای، قالبی، فنسترال، حفره‌ای، درون ذره‌ای و حاصل از شکستگی. تغییرات عمودی رخساره‌ها نیز نشان‌دهنده ۳ سکانس رسوبی رده سوم و ۵ سکانس رسوبی رده چهارم در میدان سلمان و لاوان است. هر سکانس از دو دسته رخساره TST (دربرگیرنده رخساره‌های پهنه جزر و مدی، لاگون، پشت سد) و HST (دربردارنده رخساره‌های جزرومدی و سدی) در واحدهای مخزنی K1 و K2 است. مطالعه کیفیت مخزنی در سکانس‌های سازند کنگان نیز با توجه به توزیع و تفکیک نمونه‌ها از لحاظ رخساره‌های دانه پشتیبان و گل پشتیبان، به سمت مرز MFS (حداکثر غرقابی) و ابتدا و انتهای سیستم تراکت HST (مربوط به محیط رسوبی لاگون تا سد)، با وجود سیمان‌های دولومیتی متوسط تا درشت بلور در مرز سکانس‌ها و تأثیر کمتر سیمان‌های انیدریتی و کلسیتی در تخلخل‌های به وجود آمده نشان‌دهنده قرار گیری واحدهای مخزنی سازند کنگان در کلاس ۱ و ۲ لوسیا می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** سازند کنگان، دیاژنزی، سکانس رسوبی، کیفیت مخزنی، لوسیا.

\*مسئول مکاتبات

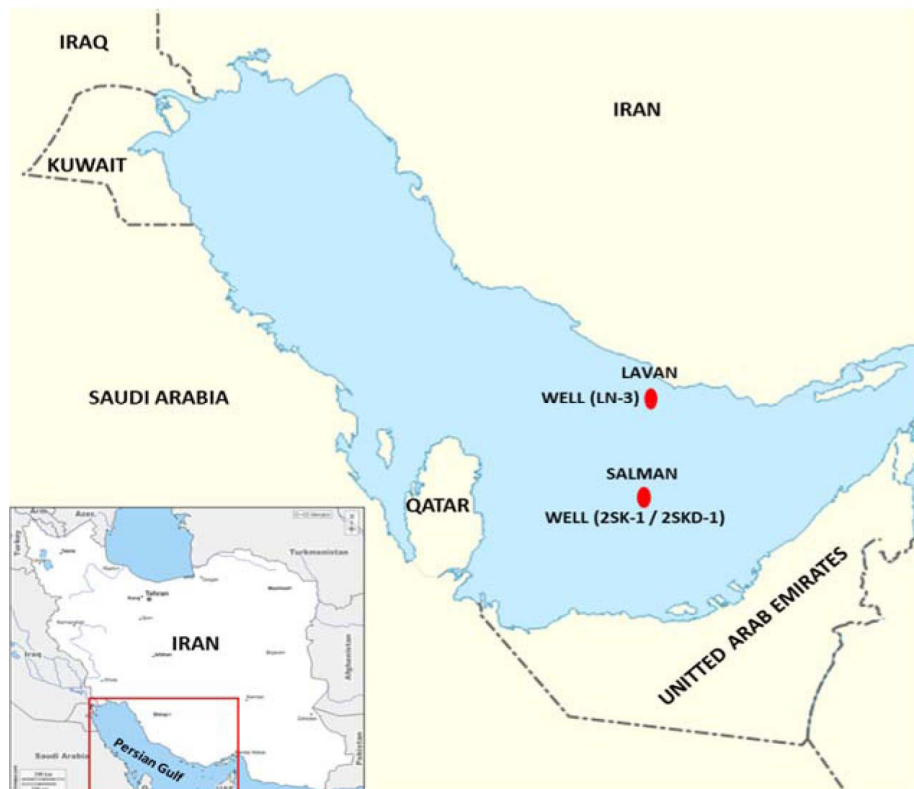
آدرس الکترونیکی Kadkhodaie\_ali@tabrizu.ac.ir

شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/pr.2023.5051.3257)

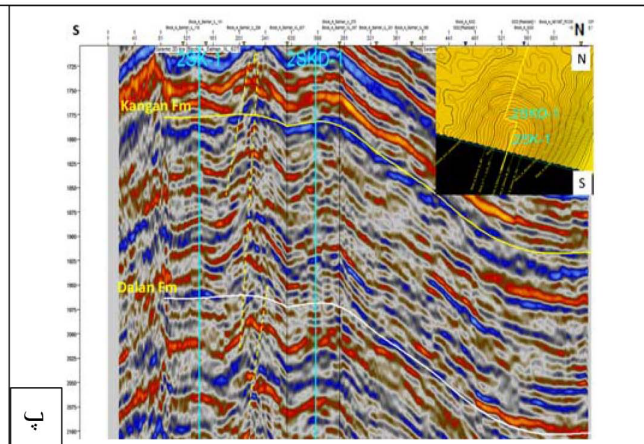
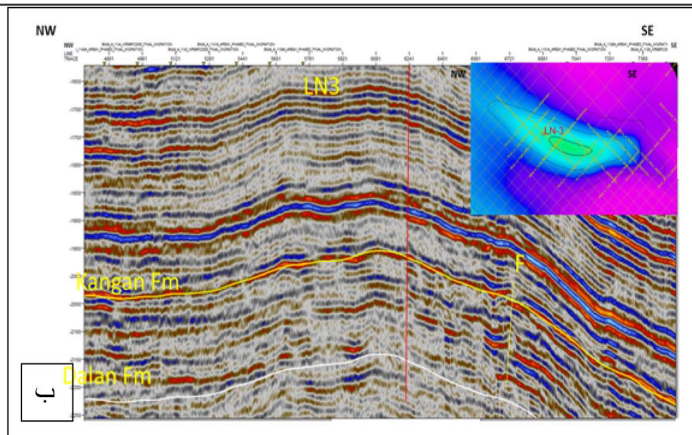
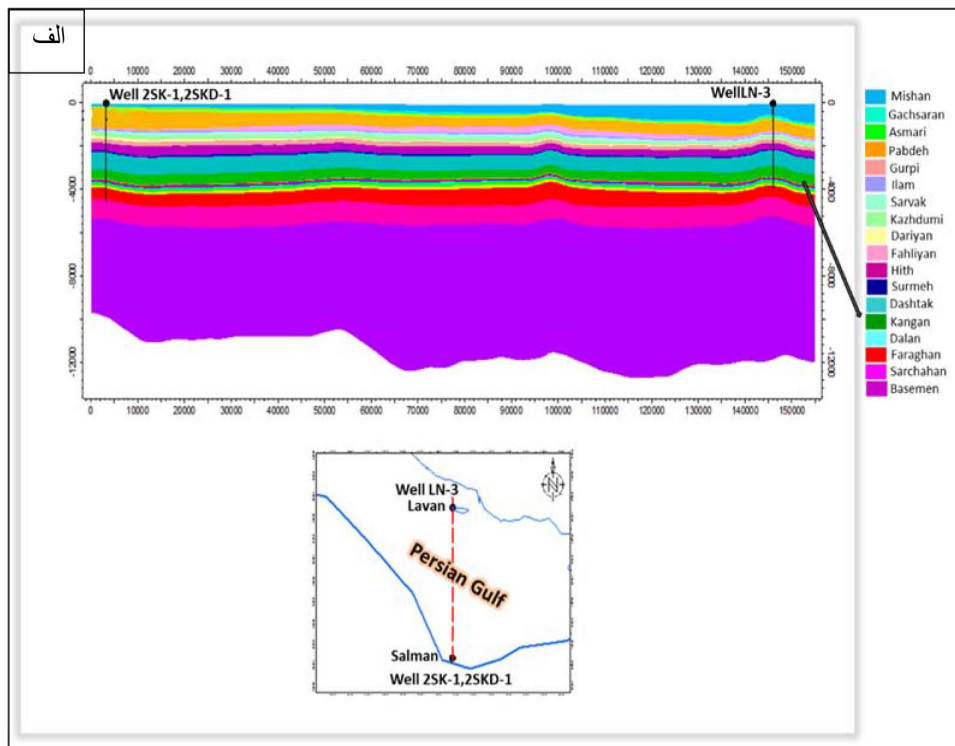
مقدمه

بالایی سازند کنگان نیز با شیل‌های عضو آغار سازند دشتک دارای ناپیوستگی می‌باشد [۳]. مدل زمین‌شناسی تهیه شده در امتداد شمالی- جنوبی بخش مرکزی خلیج فارس، حد فاصل چاه‌های گازی سلمان و لاوان نشان‌دهنده موقعیت سازندها و تغییرات جانبی رخساره‌ها بوده و بیانگر پیوستگی و گسترش ناحیه‌ای سازند کنگان در این منطقه می‌باشد. با توجه به موقعیت زمین‌شناسی و چین‌خوردگی رخساره‌ها در میداین مورد مطالعه، سازند کنگان در میدان سلمان دارای چین‌خوردگی و تغییرات جانبی شدیدتری نسبت به میدان لاوان است (شکل ۲). فرآیندهای مختلف دیاژنزی نیز در طول زمان بر کیفیت مخزنی سازند کنگان تأثیر گذاشته است [۷ و ۸]. هدف از این مطالعه شناخت رخساره‌ها و محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکansı و ارتباط آن با روندهای دیاژنزی و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند کنگان در چاه‌های مورد مطالعه میداین سلمان و لاوان می‌باشد.

سازند کنگان به سن تریاس پیشین بزرگترین ذخایر گازی در خاور میانه و جهان را دارا می‌باشد [۱ و ۲]. از این رو شناخت بهتر ویژگی‌های مخزنی سازند مذکور و ارائه تصویر مناسبی از محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی، همچنین مطالعه روندهای سکansı آن دارای اهمیت بسیار می‌باشد. سازند کنگان به همراه سازند زیرین خود (دالان) در گروه دهرم جای دارد. برش نمونه سازند کنگان در چاه شماره ۱ کوه سیاه (جنوب خاوری شهرستان بوشهر) قرار دارد [۳]. این سازند به همراه سازند دالان هم عرض سازند خوف در کشورهای عربی و حاشیه جنوبی خلیج فارس است [۴]. میداین سلمان و لاوان هم از میداین مهم گازی ایران در ناحیه خلیج فارس هستند (شکل ۱). سنگ مخزن این میداین، شامل سازند کنگان و متشکل از توالی‌های کربناته - تبخیری می‌باشد که با مرز سازند زیرین خود (دالان) به صورت ناپیوسته و فرسایشی قرار گرفته است [۴-۶].



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی میدان سلمان و لاوان (اقتباس از شرکت نفت).



شکل ۲ الف جایگاه چاه‌های LN-3، 2SKD-1، 2SK-1 بر روی پروفایل لرزه‌ای. ب) برش زمین‌شناسی شمالی، جنوبی از میدان سلمان در چاه‌های 2SK-1/2SKD-1 (ب) برش زمین‌شناسی شمال - غربی، جنوب - شرقی میدان لاوان در چاه LN-3 (اقتباس از شرکت نفت).

شماره ۳ لاوان که ۳۳۶ مقطع آن با آلیزاین رنگی توسط میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شده است. برای نام‌گذاری رخساره‌ها و سنگ‌های آهکی نیز از طبقه‌بندی سنگ‌های کربناته [۱۰] استفاده گردید. در پایان با تلفیق بررسی‌های انجام شده بر پایه اصول چینه نگاری سکansı و تغییرات عمودی رخساره و نوسانات محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی، به مطالعه کیفیت مخزنی و ارتباط آن با طبقه‌بندی لوسیا پرداخته شده است.

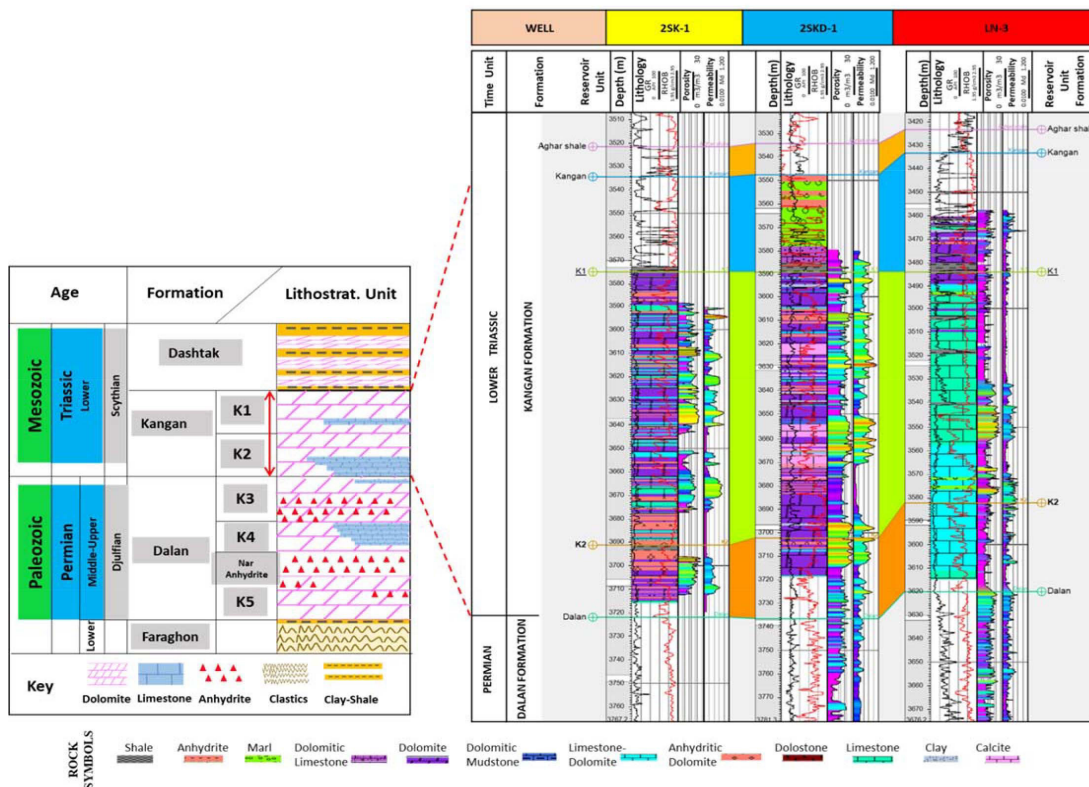
ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

در مطالعه سازند کنگان، دو چاه در میدان سلمان (2SK-1, 2SKD-1)، و یک چاه در میدان لاوان (LN-3)، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. ضخامت دو واحد مخزنی K1 و K2 در چاه‌های 2SK-1 و 2SKD-1 واحد 1 میدان سلمان به ترتیب برابر با ۱۴۶ m و ۱۴۷ m در چاه LN-3 میدان لاوان برابر با ۱۳۶ m ضخامت همراه با لیتولوژی سنگ آهک، دولومیت، انیدریت، است (شکل ۳).

موقعیت جغرافیایی و روش مطالعه

سازند کنگان با گسترش حدود ۲۵۰۰ km در خلیج فارس و نواحی اطراف آن گسترش یافته که به صورت نهشته‌های پس از کافت شدگی در حاشیه قاره‌ای غیر فعال در اقیانوس نئوتتیس تازه متولد شده و در دوره آرامش نسبی زمین ساختی و فرونشست یکنواخت شکل گرفته است [۹]. میدان سلمان به صورت یک تاقدیس گنبدی در ۱۴۱ km جنوب جزیره لاوان و در بخش مرکزی خلیج فارس واقع است. میدان لاوان نیز به عنوان بخشی از حوضه رسوبی فارس ساحلی در فاصله ۱۱۷ km جنوب خاوری عسلویه و ۱۴۷ km بخش باختری بندر لنگه جای دارد.

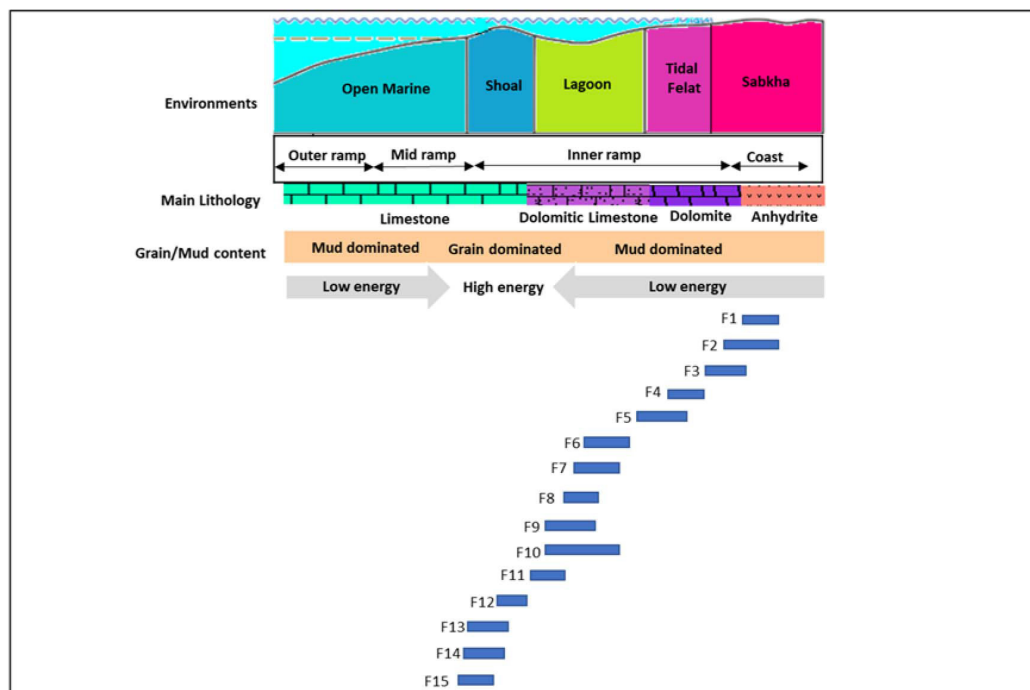
روش مطالعه در این پژوهش بیشتر بر پایه نمونه‌های مغزه و مطالعات میکروسکوپی است. در این تحقیق ۶۵۰ مقطع نازک از سازند کنگان مربوط به چاه‌های 2SK-1 و 2SKD-1 در میدان سلمان و ۷۷۸ مقطع نازک از سازند کنگان مربوط به چاه



شکل ۳ ستون چینه‌شناسی سازند کنگان در چاه‌های

ریزرخساره‌های محیط بالای جزرومدی<sup>۱</sup> لایه انیدریت به همراه رخساره مادستونی (F1)<sup>۲</sup> رخساره انیدریتی به صورت لایه‌ای یا توده‌ای از نهشته‌های تبخیری و نشان‌دهنده اقلیم گرم و خشک در زمان رسوب‌گذاری می‌باشد [۱۱-۱۳]. رخساره مادستونی در این مقاطع همراه با بلورهای ریز انیدریت بوده و به ندرت حاوی فسیل می‌باشد. در برخی موارد شکستگی‌ها زمین‌ها را قطع کرده‌اند. وجود ماتریکس و کستونی و مادستونی در اینگونه رخساره‌ها بیانگر نهشت در محیطی با انرژی پایین است. فرآیندهایی مانند دولومیتی و انیدریتی شدن همراه با تخلخل‌های بین بلوری و بین ذره‌ای باعث از بین رفتن کیفیت مخزنی در این رخساره گردیده است. این رخساره در واحد مخزنی K1 و K2 در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 قابل مشاهده است. (شکل ۶-الف).

تغییرات ضخامتی سازند کنگان در میدان سلمان از رأس ساختمان تاق‌دیس (چاه 2SK-1) به فاصله ۴۰۰۰ m در یال شمالی (چاه 2SKD-1) متفاوت می‌باشد. این بهم ریختگی رسوبی نشان‌دهنده تغییرات محیط رسوبی (شکل ۴) و گسل‌های عمیق موجود در منطقه می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل رخساره‌ها چندین پارامتر از جمله اجزای اسکلتی و غیر اسکلتی، بافت رسوبی، محتوای میکرایت، کانی شناسی یا سنگ‌شناسی و ویژگی‌های رسوبی در مقیاس میکروسکوپی بررسی شده است که در شکل ۵ منجر به شناسایی ۱۵ رخساره در چاه‌های مذکور، مربوط به محیط‌های سدی، لاگون، جزرومدی و تا حدودی سبخا گردید. جایگاه این رخساره‌ها در واحدهای K1 و K2 سازند کنگان مشخص شده است که به ترتیب از سمت خشکی به دریا در هر سه چاه به شرح زیر می‌باشد:

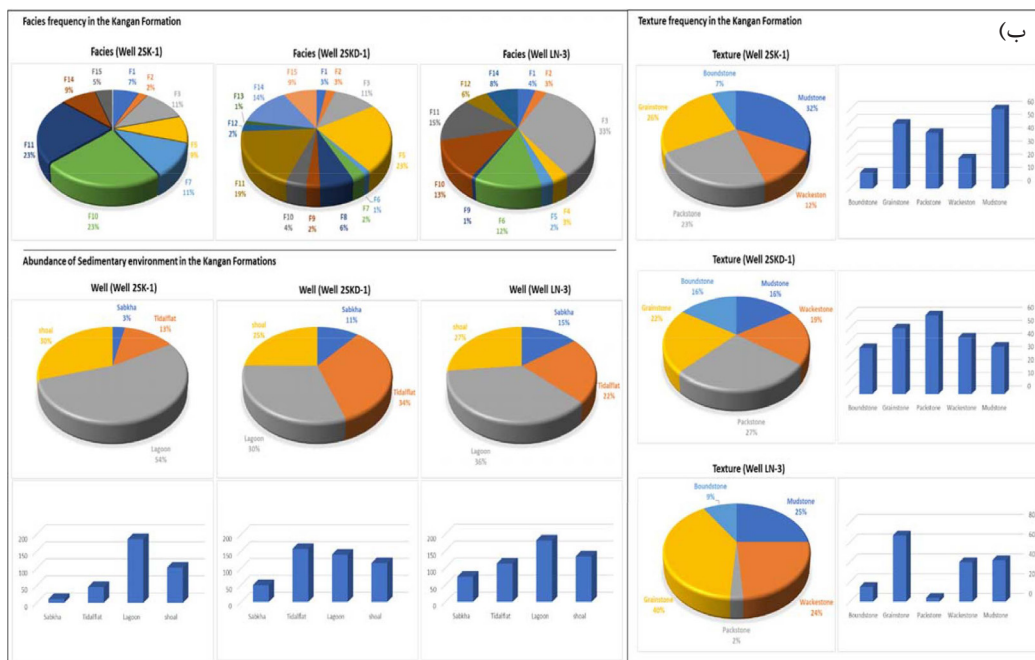
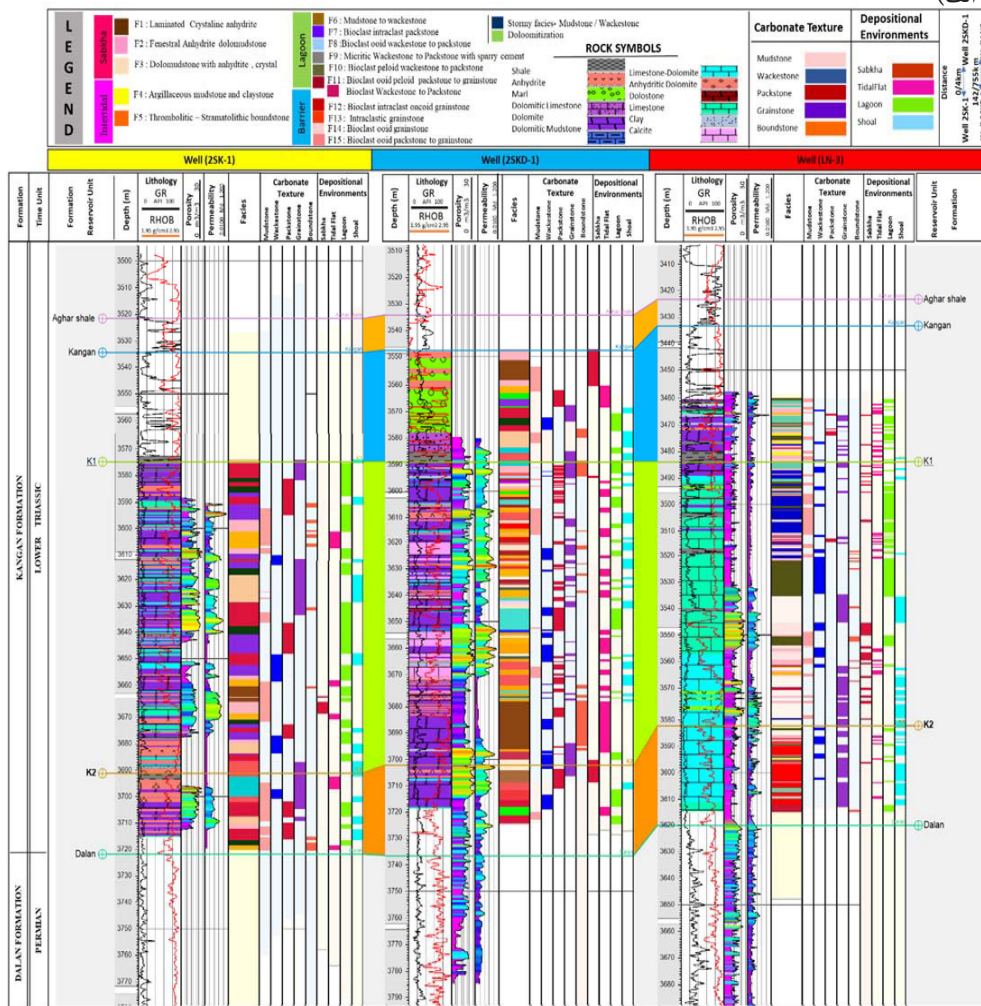


Facies		
F1 : Laminated Crystalline anhydrite	F6 : Mudstone to wackestone	F11 : Bioclast ooid peloid packstone to grainstone
F2 : Fenestral Anhydrite dolomudstone	F7 : Bioclast intraclast packstone	F12 : Bioclast intraclast ooid grainstone
F3 : Dolomudstone with anhydrite	F8 : Bioclast ooid wackestone to packstone	F13 : Intraclastic grainstone
F4 : Argillaceous mudstone and claystone	F9 : Micritic Wackestone to Packstone with sparry cement	F14 : Bioclast ooid grainstone
F5 : Thrombolitic – Stramatolithic boundstone	F10 : Bioclast peloid wackestone to packstone	F15 : Bioclast ooid packstone to grainstone

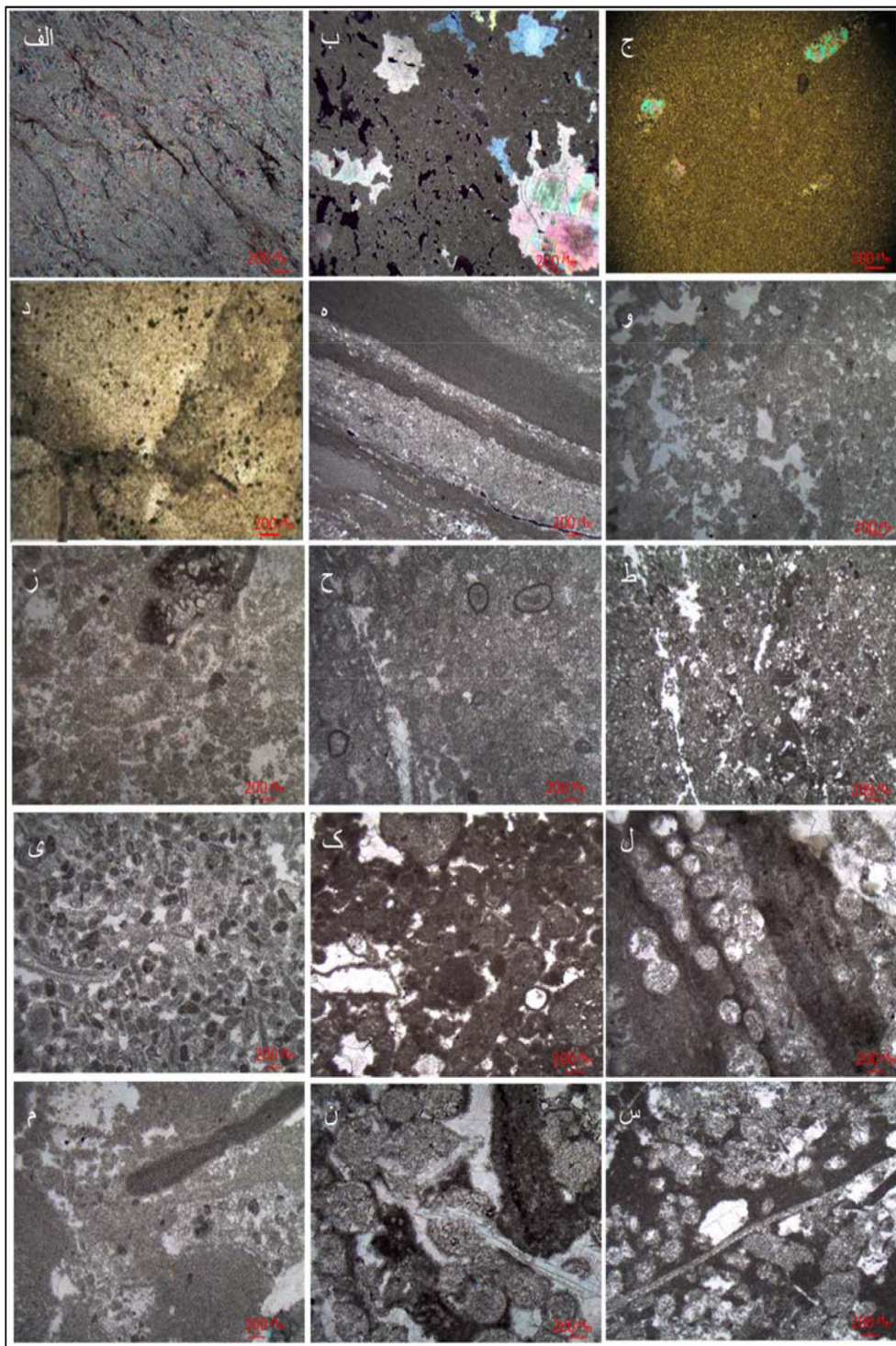
شکل ۴ مدل محیط رسوبی به همراه ریز رخساره‌های شناخته شده در چاه‌های مورد مطالعه از حوضه خلیج فارس.

1. Sabkha
2. Laminate Anhydrite with Mudstone

(الف)



شکل ۵ الف) ستون چینه‌شناسی به همراه، ریز رخساره‌ها، بافت، محیط رسوبی، ب) و میزان فراوانی رخساره‌ها در سازند کنگان، چاه‌های (2SK-1، 2SKD-1، LN-3)



شکل ۶ رخساره‌های شناسایی شده در میدان سلمان و لاوان، حوضه خلیج فارس

(الف): لامینیت انیدریت به همراه رخساره مادستونی (ب): فنسترال انیدریت دولومادستون (ج): دولومادستون به همراه بلورهای ژپیس وانیدریت (د): مادستون آرژلیتی، (ه): ترومبولیت-استروماتولیت باندستون، (و): مادستون تا وکستون همراه با رخساره های طوفانی، (ز): بایوکلست اینتراکلست پکستون، (ح): بایوکلست اوئید وکستون تا پکستون، (ط): بایوکلست پلوئید وکستون تا پکستون، (ی): وکستون تا پکستون میکریتی حاوی سیمان اسپاری، (ک): بایوکلست اوئید پلوئید پکستون تا گرینستون، (ل): بایوکلست اینتراکلست آنکوئید گرینستون، (م): اینتراکلست گرینستون، (ن): بایوکلست اوئید گرینستون، (س): بایوکلست اوئید پکستون تا گرینستون. مقاطع (الف، ب، ج) نور پلاریزان / مقاطع (د، ه، و، ز، ح، ط، ی، ک، ل، م، ن، س) نور معمولی

دولومیتی شده در پیرامون جزرو مدی محسوب می‌شود. رخساره استروماتولیتی با لامیناسیون‌های نواری موجی همراه با فیلامت‌های جلبکی در این رخساره می‌باشد. فابریک فنسترال با اشکال نامنظم تا لامینه‌ای و قالب‌های تبخیری و در برخی موارد شامل پلوئید، خرده‌های اسکلتی و لیتوکلاست است. این رخساره در طول پیشروی آب دریا با نرخ رسوب‌گذاری کم و متشکل از توالی تیره و روشن است که نشان‌دهنده عبور از مرز پرمین به تریاس می‌باشد [۱۶]. همچنین به دلیل وجود سیمان‌های انیدریتی، دولومیتی، تیغه‌ای و دفنی همراه با تخلخل‌های بین بلوری، در واحدهای مخزنی K1 و K2، در چاه‌های LN-3، 2SKD-1، 2SK-1 از کیفیت مخزنی خوبی برخوردار نمی‌باشد. (شکل ۶-ه).

ریزرخساره‌های محیط لاگون<sup>۶</sup>

مادستون تا وکستون همراه با رخساره‌های طوفانی (F6)<sup>۷</sup>

این رخساره به صورت بین انگشتی با رخساره دانه پشتیبان شاخص محیط Beach ridge قابل مشاهده است [۱۴]. در مقاطع مورد مطالعه سیمان‌های کلسیتی و انیدریتی پرکننده آلوکوم‌ها بوده و فرآیند دولومیتی شدن قابل توجهی همراه با تخلخل‌های درون دانه‌ای، درون ذره‌ای و قالبی در این رخساره مشاهده می‌شود. این رخساره در واحدهای مخزنی K1 و K2 در چاه LN-3 از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار است (شکل ۶-و).

بایوکلاست اینتراکلاست پکستون (F7)<sup>۸</sup>

این رخساره با ضخامت کم در واحد K1 و K2 سازند کنگان به صورت بین انگشتی با رخساره‌های بایوکلاست پلوئید گرینستون و اینتراکلاست گرینستون قرار گرفته است. بایوکلاست‌های موجود تقریباً بزرگ و دارای پوشش میکرایتی هستند [۱۴]. سیمان

1. Feneſtral Anhydrite Dolomudstone
2. Dolomudstone with Anhydrite Gypsum Crystal
3. Intertidal
4. Argillaceous Mudstone
5. Thrombolite-Stromatolite Boundstone
6. Lagoon
7. Mudstone to Wackestone with Stormy Facies
8. Bioclast-intraclast Packstone

دولومادستون انیدریتی شده با بافت فنسترال (F2)<sup>۱</sup>

از ویژگی این رخساره میکرایتی حضور فراوان ندول‌های انیدریتی است که نشان‌دهنده شوری بالا در محیط کم انرژی می‌باشد [۱۴]. بررسی‌های انجام شده در این رخساره نشان‌دهنده وجود بافت فنسترال و آلوکوم‌هایی شامل پلوئید و کمی آثار فسیلی است. با توجه به شرایط حاکم این رخساره از کیفیت مخزنی خوبی برخوردار نمی‌باشد. رخساره مذکور بیشتر در واحد مخزنی K1 و در چاه‌های 2SK-1، 2SKD-1 قابل مشاهده است. (شکل ۶-ب).

دولومادستون همراه با بلورهای ژپس و انیدریت (F3)<sup>۲</sup>

این رخساره در پهنه‌های تبخیری تا جزرو مدی و حتی به صورت جان‌شینی دیاژنزی اولیه قابل مشاهده است. وجود دولومیتی شدن‌های اولیه و همچنین قالب‌های تبخیری زیاد، نشان‌دهنده غلبه اقلیم گرم و خشک و شوری بالای محیط رسوبی می‌باشد [۲]. رخساره مادستونی در مقاطع مورد مطالعه از کیفیت مخزنی ضعیفی برخوردار بوده که علت آن درصد بالای انیدریت، پدیده دولومیتی شدن و ایجاد رگه‌های استیلولیتی است. این رخساره در واحد مخزنی K1، تا حدی K2، در چاه LN-3 قابل مشاهده است. (شکل ۶-ج).

ریزرخساره‌های محیط جزرو مدی<sup>۳</sup>

مادستون آرژیلیتی (F4)<sup>۴</sup>

این رخساره توده‌ای و فاقد ساخت مشخص است، بافت سنگ ریز دانه و وجود ترک گلی نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط محدود شده و کم انرژی دریا است [۱۵]. رخساره مذکور در مقاطع مورد مطالعه فاقد تخلخل در بخش مخزنی K1 می‌باشد. لکه‌های سیاه در این مقطع نشان‌دهنده آرژیلیت در شکستگی‌های موجود است. این رخساره در چاه LN-3 با وجود شرایط محیطی و ذرات ریز فاقد کیفیت مخزنی است (شکل ۶-د).

ترومبولیت - استروماتولیت باندستون (F5)<sup>۵</sup>

این رخساره میکروبیالی از لحاظ لیتولوژی یک آهک



هم در این رخساره دیده می‌شود. تحت تاثیر شرایط توفانی مقداری از رسوبات مربوط به مناطق ژرف‌تر به سمت لاگون حمل شده و رخساره‌های توفانی ۳ را ایجاد کرده‌اند [۱۴، ۱۷ و ۱۸]. با توجه به شواهد گوناگون مانند میکرایتی شدن دانه‌ها و آشفستگی زیستی می‌توان این رخساره را به محیط لاگون نسبت داد. این رخساره در واحدهای مخزنی K1 و K2 همراه با سیمان‌های دولومیتی و انیدریتی و تخلخل‌های قالبی و درون دانه‌ای قابل مشاهده است، و به دلیل میکرایتی شدن و سیمانی شدن از کیفیت مخزنی متوسط تا پایینی در چاه‌های LN-3، 2SKD-1، 2SK-1 برخوردار می‌باشد. (شکل ۶-ط).

#### بایوکلست الئید پلوئید پکستون تا گرینستون (F11) <sup>۴</sup>

بایوکلست‌ها در این مقطع شامل خرده خارپوست، گاستروپود، دوکفه‌ای، براکیوپود و جلبک می‌باشد. آلوکم‌ها تحت تأثیر سیمان‌های دولومیتی و انیدریتی، انحلال و میکرایتی شدن قرار گرفته و شامل تخلخل‌های فنسترال، انحلالی، حفره‌ای و قالبی می‌باشند. از جمله فرآیندهای مؤثر در اینگونه رخساره‌ها، دولومیتی شدن است. با توجه به نوع بافت، تنوع سیمان و اجزای تشکیل‌دهنده، کمربندهای رخساره‌های لاگون تا پشت سد برای محیط رسوبی این ریز رخساره پیشنهاد می‌شود [۱۹]. همچنین این رخساره از کیفیت مخزنی خوبی در واحدهای مخزنی K1 و K2 در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1، LN-3 برخوردار است [۱۴]. (شکل ۶-ک).

#### ریزر رخساره‌های محیط سدی <sup>۵</sup>

#### بایوکلست اینتراکلست آنکوئید گرینستون (F12) <sup>۶</sup>

این رخساره یک گرینستون اینتراکلستی همراه با

انیدریتی و دولومیتی به مقدار فراوان در این رخساره همراه با انحلال قابل مشاهده می‌باشد. به دلیل پر شدن تخلخل‌ها از جمله درون دانه‌ای و قالبی، توسط سیمان، این رخساره از کیفیت مخزنی پایینی در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 برخوردار است. (شکل ۶-ز).

#### بایوکلست الئید وکستون تا پکستون (F8) <sup>۱</sup>

این رخساره حاوی بایوکلست‌هایی از جمله خرده‌های براکیوپود، گاستروپود، دو کفه‌ای و جلبک می‌باشد که در بافت وکستونی قرار گرفته‌اند [۱۴] و در مقاطع مورد مطالعه به سمت بافت پکستونی، حاوی سیمان تیغه‌ای و تخلخل‌های بیشتری می‌باشد. میکرایتی شدن به همراه سیمان‌های انیدریتی و دولومیتی و تخلخل‌های درون دانه‌ای، قالبی، فنسترال و حفره‌ای در این رخساره قابل مشاهده است. به طور کل این رخساره از کیفیت مخزنی متوسط رو به پایینی در واحد مخزنی K1 مخصوصاً در مقاطع دانه پشتیبان در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 برخوردار می‌باشد. (شکل ۶-ح).

#### وکستون تا پکستون میکرایتی حاوی سیمان اسپاری (F9) <sup>۲</sup>

این رخساره در محیط کم انرژی لاگون، همراه با فسیل‌های استراکد، رخساره بایوکلستی ریز دانه پکستون تا وکستون که عمدتاً دولومیتی شده و از پلت، خرده‌های جلبک و صدف‌های مختلف تشکیل شده، دیده می‌شود. این رخساره با مترایژ کم در واحد مخزنی K1، همراه با میکرایتی شدن، دولومیتی شدن بایوکلست‌ها و تخلخل‌های قالبی، رگه‌ای و فنسترال به همراه سیمان‌های انیدریتی و دولومیتی قابل تشخیص می‌باشد. این رخساره به دلیل دولومیتی شدن و تخلخل‌های مفید از کیفیت مخزنی متوسط رو به پایین در چاه LN-3 برخوردار است (شکل ۶-ی).

#### بایوکلست پلوئید وکستون تا پکستون (F10) <sup>۳</sup>

این رخساره در مقاطع مورد مطالعه، زمینه میکرایتی داشته و بیشتر این بایوکلست‌ها را جلبک‌ها تشکیل داده‌اند همچنین خرده‌های خارپوست و دوکفه‌ای

1. Bioclast- ooid Wackestone to Packstone

2. Micritic Wackestone to Packstone with Sparry cement

3. Bioclast-Peloid Wackestone to Packstone

4. Tempestitute

5. Shoal

6 Bioclast-Intraclast-Oncoïd Grainstone

می‌باشد. بزرگی فسیل‌ها، شکستگی‌های موجود در بایوکلاست‌ها و ائیدها، مقدار گل کم، سیمان بالا، جورشدگی خوب، نشاندهنده محیط پر انرژی سد و جلوی سد همراه با کمی میکرایتی شدن است [۱۴]. تخلخل‌های مشاهده شده در اینگونه رخساره‌ها شامل: تخلخل‌های درون دانه‌ای، حفره‌ای، کانالی، قالبی و استیلولیتی به همراه سیمان‌های کلسیتی، انیدریتی، دولومیت‌های درشت تا دفرنی و فرآیند دولومیتی شدن می‌باشد. در جاهایی این رخساره به صورت بین انگشتی با دیگر رخساره‌های دانه غالب دیده شده است. این رخساره از کیفیت مخزنی متوسط تا خوب در واحدهای مخزنی K1 و K2 در چاه‌های LN-3، 2SKD-1، 2SK-1 برخوردار می‌باشد. (شکل ۶-س).

#### محیط رسوبی

بر اساس رخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده محیط رسوب‌گذاری سازند کنگان را می‌توان یک رمپ کربناته هم شیب معرفی کرد. به طور کلی سازند کنگان در میداین مورد مطالعه شامل چهار گروه رخساره‌ای سبخا، جزرو مدی، لاگون و سد می‌باشد (شکل ۴). دلایل معرفی رمپ کربناته در زیر ارائه شده است:

۱- مطالعات و بررسی‌های انجام شده بیانگر حضور گسترده رخساره‌های گرینستونی دانه غالب در بخش‌های پر انرژی حوضه، مخصوصاً در ناحیه سدی با انرژی بالا می‌باشد که دلیل آن رخساره‌های الوئیدی و پلوئیدی فرآوان در سراسر حوضه رسوبی است. با توجه به نادر بودن رخساره‌های دانه غالب در رمپ میانی و بیرونی (محیط‌های کم انرژی)، اینگونه از رخساره‌ها غالباً در رمپ داخلی تشکیل می‌گردند [۱۲ و ۱۴].

۲- تغییرات بسیار تدریجی رخساره‌های کم عمق

موجود در آلوک‌ها بیشترین نقش را در کنترل کیفیت مخزنی ایفا می‌کند. این رخساره در بخش‌های حاشیه پر انرژی سد نهشته شده [۲۰]، و به دلیل عدم وجود رسوبات گلی و تاثیر فرآیند دولومیتی و انیدریتی شدن، انحلال و تخلخل‌های موجود شامل درون دانه‌ای، قالبی و رگه‌های استیلولیتی، از کیفیت مخزنی خوبی در واحدهای مخزنی K1 و K2 در چاه LN-3 برخوردار است. به سمت میدان لاوان شاهد رسوبات دانه پشتیبان و کم شدن ضخامت لایه‌های رسوبی خواهیم بود. (شکل ۶-ل).

اینترکلاست گرینستون (F13) <sup>۲</sup>

خمیره اصلی این رخساره از کلسیت اسپاری با رنگ روشن و بدون گل است. به دلیل شرایط پر انرژی و چرخش مناسب آب سیمان‌های کلسیتی و انیدریتی گسترش یافته‌اند. در مقاطع مورد مطالعه این رخساره به دلیل جورشدگی و اندازه خوب ذرات به همراه تخلخل‌های بالا از کیفیت مخزنی خوبی در واحد مخزنی K1 در چاه‌های LN-3، 2SK-1، 2SKD-1 برخوردار است. به سمت میدان لاوان رسوبات گرینستونی بیشتر قابل مشاهده هستند. (شکل ۶-م).

بایوکلاست - ائید گرینستون (F14) <sup>۳</sup>

در مقاطع مورد مطالعه این رخساره همراه با قطعات درشت گاستروپود، براکیوپود و جلبک دیده شده و تحت تاثیر سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی بدون گل قرار گرفته است. سیمان‌های تیغه‌ای، فیبری و بلوکی هم در مقاطعی همراه با شکستگی دانه‌ها به دلیل شرایط پر انرژی قابل مشاهده می‌باشد. وجود جورشدگی خوب دانه‌ها و انحلال‌های گسترده سبب افزایش چشمگیر تخلخل و تراوایی [۲] همراه با کیفیت مخزنی خوب در واحدهای مخزنی K1 و K2 در چاه‌های LN-3، 2SKD-1 گردیده است. (شکل ۶-ن).

بایوکلاست الوئید پکستون تا گرینستون (F15) <sup>۴</sup>

این رخساره شامل خرده‌های خارپوست، گاستروپود، جلبک، براکیوپود و دوکفه‌ای با بافت گرینستونی و لیتولوژی دولومیتی یا آهکی در مقاطع مورد مطالعه

1. Seaward Shoal  
2. Intraclast Grainstone  
3. Bioclast-Ooid Grainstone  
4. Bioclast-Ooid Packstone to Grainstone

تراکم و شکستگی است (شکل‌های ۹ و ۱۰). همه فرآیندهای دیاژنزی شناسایی شده در (جدول ۱) نشان می‌دهد که توالی مورد مطالعه شامل سه محیط دیاژنزی دریایی، جوی و تدفینی است. انحلال و انواع سیمان‌های کلسیتی (به جز نوع بلوکی) بیشتر در طی دیاژنزی جوی ایجاد شده است. عموماً سیمان‌های انیدریتی و فرآیند دولومیتی شدن با محیط‌های دیاژنزی کم عمق در ارتباط هستند. این رخساره‌ها سپس تحت تأثیر محیط‌های دفنی عمیق طی فرآیندهای تبلور مجدد، تراکم شیمیایی، سیمانی شدن و دولومیت‌هایی از نوع زمین اسبی قرار گرفته‌اند. به طور کلی تنوعی از سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی را در بخش‌های مختلفی از سازند کنگان در مناطق یاد شده شاهد هستیم. فرآیندهای دیاژنزی به شرح زیر می‌باشد:

#### تراکم<sup>۱</sup>

تراکم در سازند کنگان به صورت تراکم فیزیکی (مکانیکی) و تراکم شیمیایی (انحلال فشاری) دیده می‌شود.

#### تراکم مکانیکی<sup>۲</sup>

تراکم مکانیکی در سازند کنگان به صورت فشرده شدن و نزدیک شدن آلوکوم‌ها بوده و در بعضی از مواقع باعث شکسته شدن فسیل‌ها به خصوص در رخساره‌های گرینستونی شده است. این فرآیند به دلیل فشرده شدن آلوکوم‌ها باعث کاهش کیفیت مخزنی می‌گردد. (شکل ۷-الف).

#### تراکم شیمیایی<sup>۳</sup>

از بین بافت‌های گوناگون تراکم شیمیایی، رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها در سازند کنگان دیده می‌شود. بیشترین بافت مشاهده شده در چاه‌های مورد مطالعه، استیلولیت‌هایی هستند که بیشتر در رخساره‌های گرینستونی و دولوگرینستونی محیط سدی دیده می‌شوند.

به انواع عمیق، انعکاسی از پیوستگی و ارتباط رخساره‌ای به هم و مورفولوژی حوضه در حین رسوب‌گذاری است که با رمپ‌ها همخوانی بیشتری دارد. بازسازی گسترش جانبی حوضه گذر رسوبات پهنه جزرو مدی از یک محیط کم عمق جزرو مدی و رسیدن به یک سد پر انرژی و سپس رخساره‌های عمیق‌تر را نشان می‌دهد که برای سیستم‌های رمپ توصیف شده است [۲۲ و ۲۳].

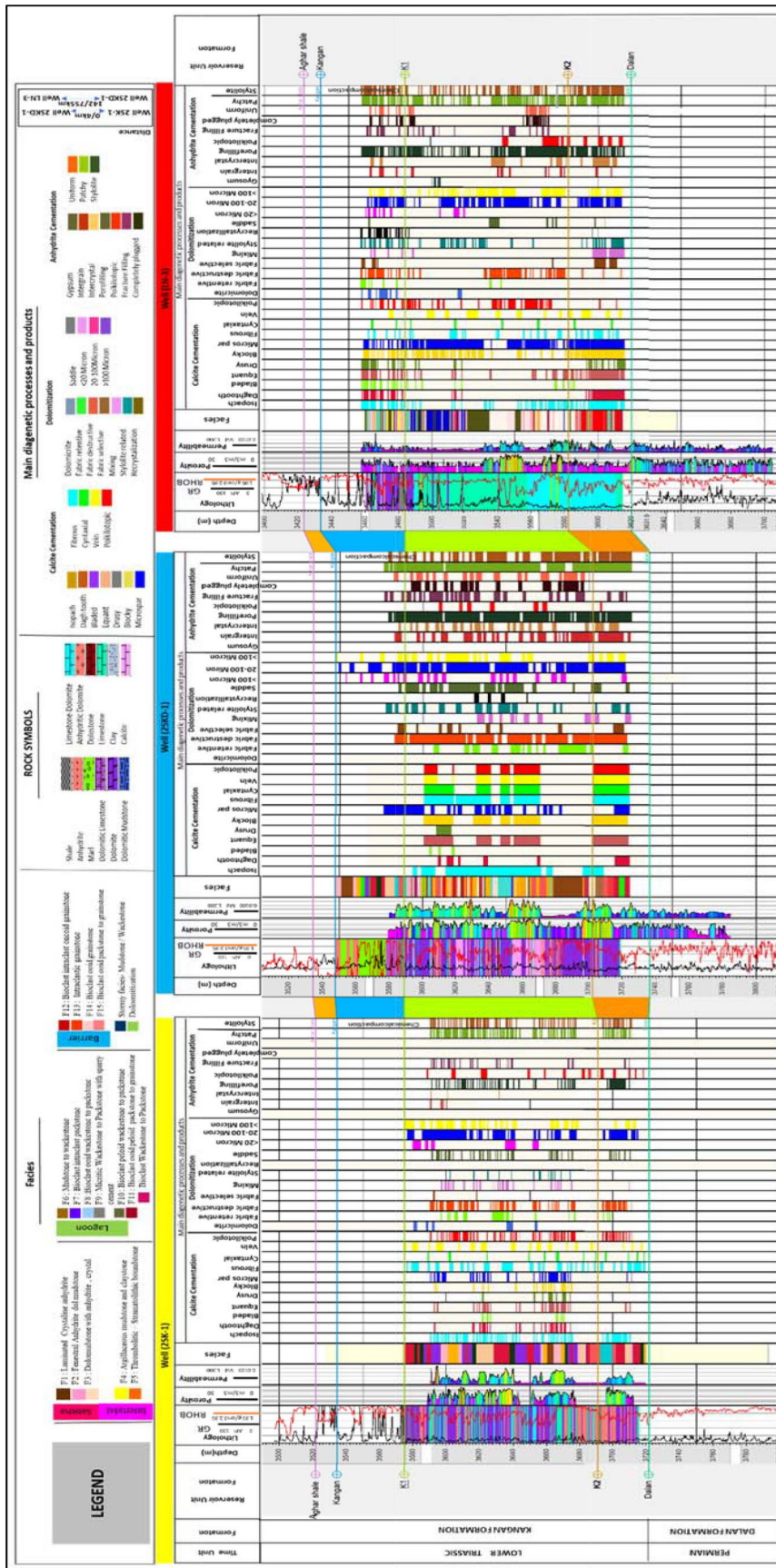
۳- تنوع کم رخساره‌ای (انیدریت، دولومادستون دارای گرگه‌های تبخیری)، فرآوانی بالای رخساره‌های کم عمق، مشخصه سیستم‌های رمپ هم شیب در یک اقلیم خشک و نیمه خشک است [۱۴].

۴- کاهش موجودات چارچوب‌ساز می‌تواند شرایط را برای گسترش رمپ کربناته هموار سازد. درصد فرآوانی رخساره‌های میادین مطالعه شده بر اساس تغییرات جانبی و بافت آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۶). به ترتیب فرآوانی رخساره‌ها در محیط لاگون و سد بیشتر و در محیط جزرو مدی و سبنا کمتر است. رخساره‌های گرینستونی نشان‌دهنده انرژی بالا در محیط سدی و رخساره‌های وکستون تا پکستون، محیط رسوبی کم انرژی و کم عمق لاگون را نشان می‌دهد، محیط‌های جزرو مدی و سبنا نیز شامل مقدار کمی از رخساره‌های مادستونی و باندستونی همراه با رسوبات تبخیری می‌باشد.

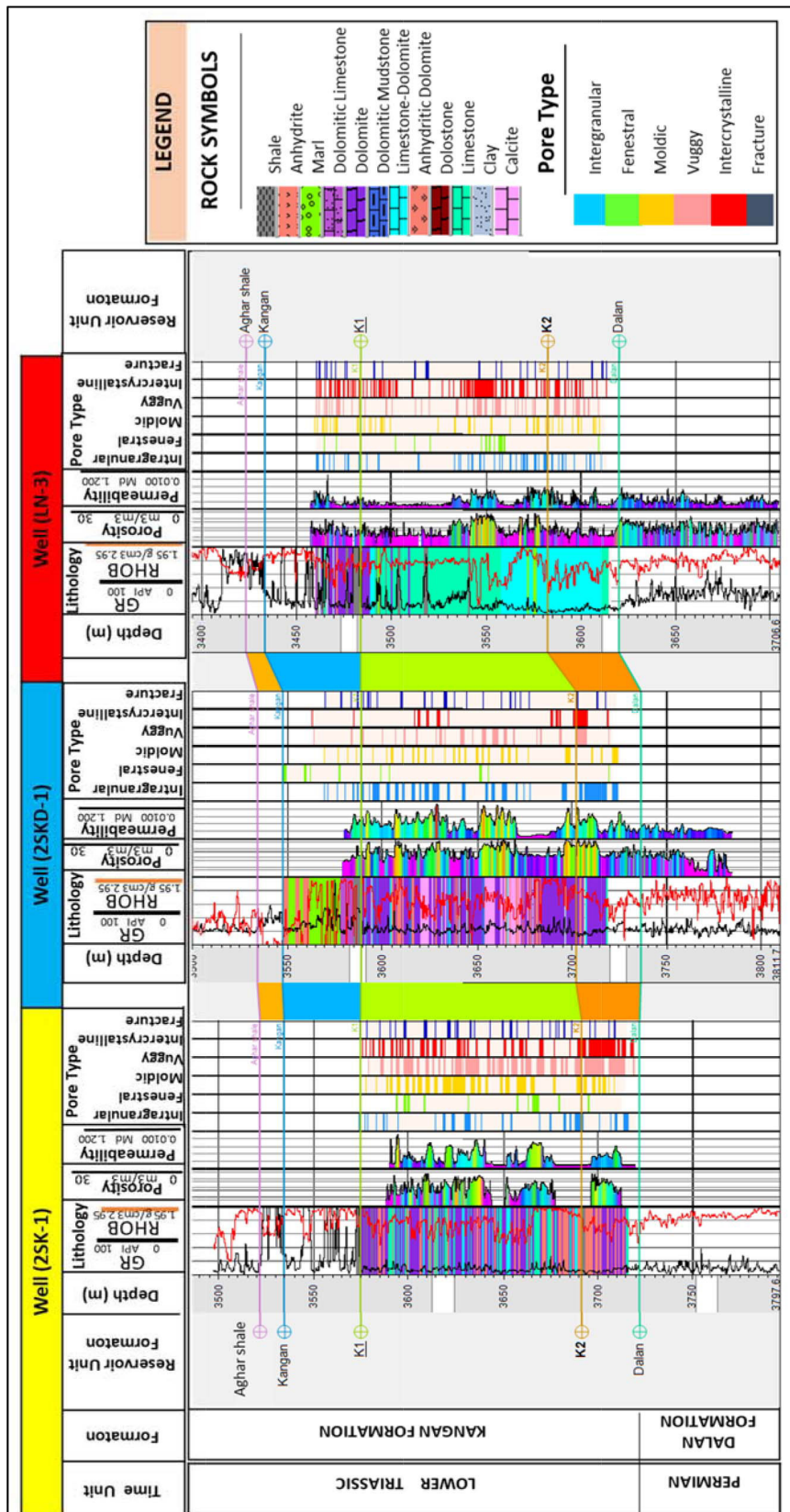
#### فرآیندهای دیاژنزی

فرآیندهای دیاژنزی غالب که به صورت مخرب و سازنده در محیط‌های نزدیک سطح دریا تا محیط‌های دفنی صورت می‌گیرد، نقش اساسی در کاهش یا افزایش تخلخل و تأثیر آن در کیفیت مخزنی ایفا می‌کنند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی انجام شده بر روی سازند کنگان در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 سلمان و LN-3 لاوان (شکل‌های ۷ و ۸)؛ فرآیندهای دیاژنزی، شامل انواع سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی، انیدریتی، انحلال،

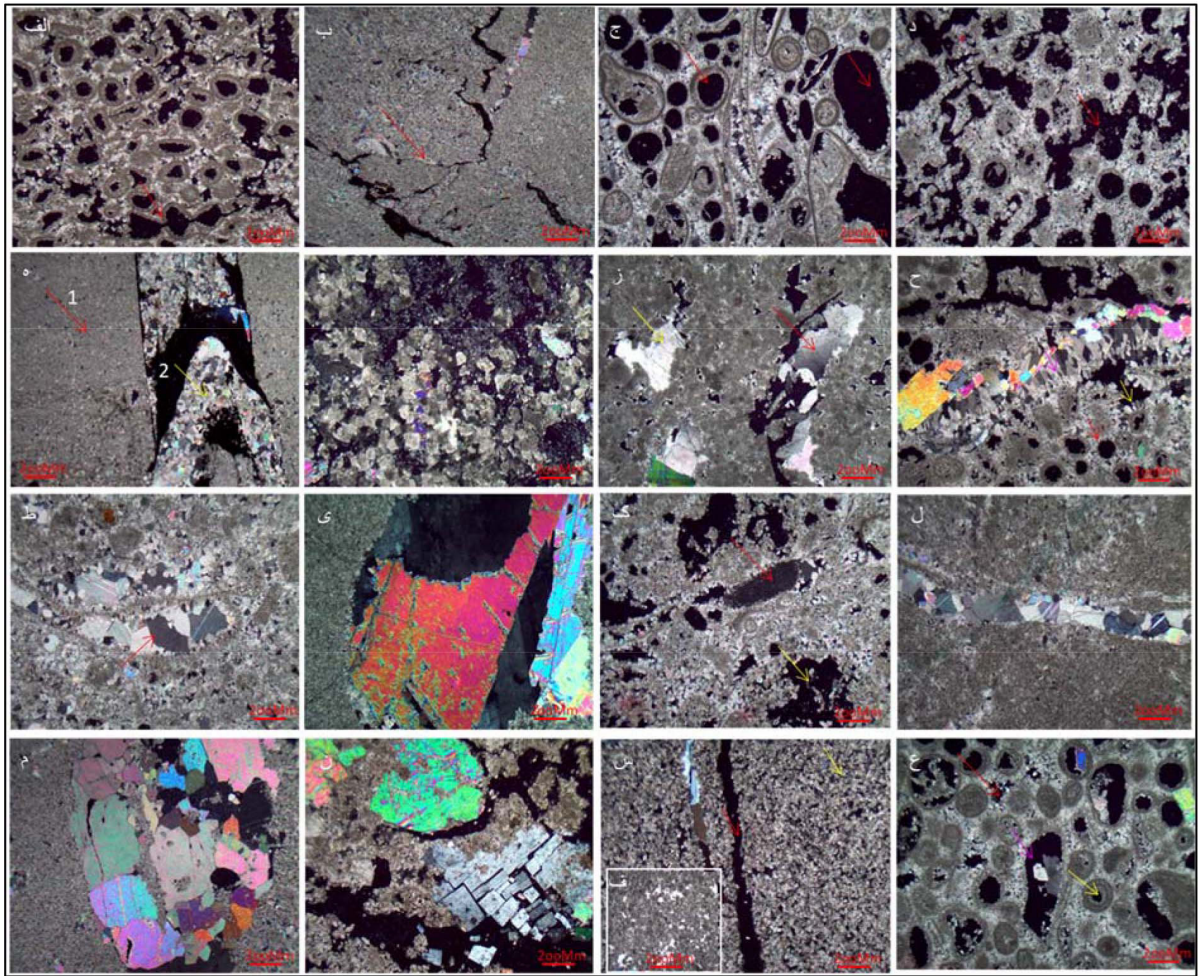
1. Compaction  
2. Mechanical Compaction  
3. Chemical Compaction



شکل ۹ انواع سیمان‌های شناسایی شده در چاه‌های 2SK-1، 2SKD-1، LN-3.

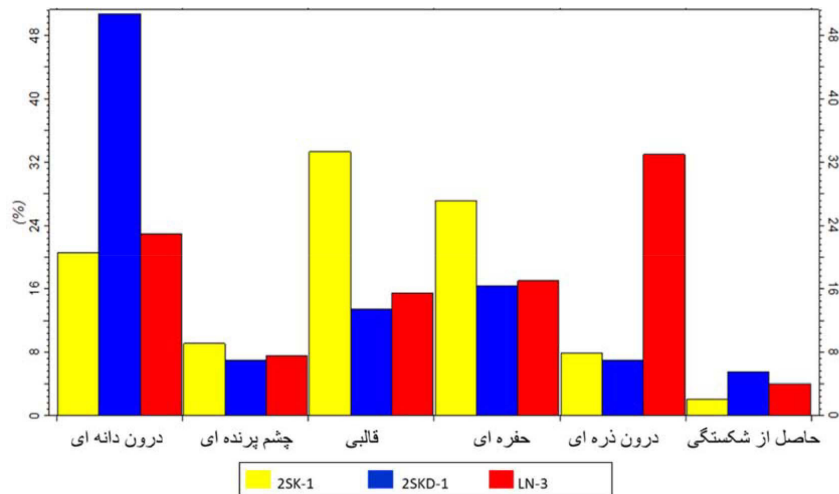


شکل ۱۰ انواع تخلخل‌های شناسایی شده در چاه‌های LN-3، 2SKD-1، 2SK-1.



شکل ۷ انواع فرآیندهای دیافانزی شناسایی شده در سازند کنگان در چاه‌های مورد مطالعه

(الف): تراکم مکانیکی، تخلخل حاصل از شکستگی (فلش قرمز)، (ب): استیلولیت، (ج-د): انحلال، (ه-و): دولومیت نوع ۱ و ۲، (ز): دولومیت زین اسبی و درشت بلور (فلش زرد)، (ح): سیمان هم بعد (فلش قرمز)، سیمان تیغه‌ای (فلش زرد)، سیمان فیبری (فلش صورتی)، (ط): سیمان دروزی، (ی): سیمان بلوکی، (ک): سیمان سین تکسیال (فلش قرمز)، سیمان حفره‌ای (فلش زرد)، (ل): سیمان پرکننده رگه، (م): سیمان پیکلوتاپیک، (ن): سیمان انیدریتی، (س): شکستگی، تخلخل بین بلوری (فلش زرد)، تخلخل کانالی (فلش قرمز)، (ع): تخلخل بین دانه‌ای (فلش قرمز)، تخلخل درون دانه‌ای (فلش زرد)، تخلخل قالبی (فلش صورتی)، (ف): تخلخل فنسترال. نور پلاریزان



شکل ۸ درصد فراوانی انواع تخلخل در زون‌های مخزنی سازند کنگان

جدول ۱ توالی پاراژنزی انواع فرآیندهای دیاژنزی

انواع	فرآیندهای دیاژنزی	اولیه	حدواسط	دفنی
سیمان کلسیتی	تراکم شیمیایی			
	پر کننده حفره			
	دندان سگی			
	تیغه‌ای			
	هم بعد			
	دروزی			
	بلوکی			
	میکروسپار			
	فیبری			
	سینتکسیال			
سیمان دولومیتی	درشت بلور			
	ریز بلور			
	نگهدارنده فابریک			
	مخرب فابریک			
	انتخاب کننده فابریک			
	ترکیبی			
	مرتبط با استیلولیت			
	جانشینی			
سیمان آپیدریتی	زین اسبی			
	ژپسی			
	پر کننده دانه			
	پر کننده ذره			
	پر کننده منافذ			
	درشت بلور			
	پر کننده رگه			
	جدا از هم			

### انحلال<sup>۱</sup>

فرآیند انحلال در سازند کنگان بیشتر در رخساره‌های پکستونی تا گرینستونی مشاهده شده است که به صورت تخلخل‌های درون دانه‌ای، فنسترال، قالبی، حفره‌ای، درون ذره‌ای و حاصل از شکستگی می‌باشد (شکل ۷-ج). انحلال در زون متئوریک و در چند متر اولیه تدفین بسیار معمول بوده و تأثیر بسیاری بر روی تخلخل و نفوذپذیری دارد [۲۶]. این انحلالات در ذرات ناپایدار اوئید و بایوکلست معمول است. فرآیند انحلال به سبب افزایش تخلخل‌ها و ارتباط آنها به یکدیگر، باعث افزایش نفوذپذیری و کیفیت مخزنی می‌گردد. (شکل ۷-د).

### دولومیتی شدن<sup>۲</sup>

دولومیت‌ها در اشکال و انواع مختلف مهم‌ترین جز سنگی تشکیل دهنده سازند کنگان به شمار می‌روند. دولومیت‌های تخریب کننده فابریک موجود در سازند کنگان تأثیر بسزایی در کیفیت مخزنی خواهد داشت. جهت نام‌گذاری دولومیت‌های سازند کنگان از مقاله [۲۷] استفاده شده است. بر این اساس دولومیت‌های شناخته شده در چاه‌های مورد مطالعه، ۵ نوع بوده که به شرح زیر می‌باشد:

### دولومیکرایت یا دولومیت‌های نوع ۱<sup>۳</sup>

این دولومیت‌ها بسیار ریز بلور، بی شکل تا شکل‌دار با مرزهای بلوری مسطح تا کمی منحنی می‌باشند. اندازه این بلورها کوچک‌تر از ۲۰ μ بوده (شکل ۷-ه) و در محیط‌های لاگون تا بالای جزرو مدی در چاه‌های مورد مطالعه قابل تشخیص می‌باشند [۲۷] همچنین مقدار این نوع دولومیت در چاه 2SKD-1 بیشتر از چاه‌های LN-3 و 2SK-1 است.

### دولومیکرواسپارایت یا دولومیت‌های نوع ۲<sup>۴</sup>

دولومیت‌های ریز تا متوسط بلور، بی شکل تا نیمه شکل‌دار دارای مرز بلوری مسطح می‌باشند.

محصولات تراکم شیمیایی نتیجه انحلال نسبی ذرات طی فشار در محیط دیاژنزی تدفینی با عمق متوسط تا عمیق است [۲۴ و ۲۵]. استیلولیت‌های مشاهده شده نیز مربوط به محیط دیاژنزی تدفینی می‌باشد. (شکل ۷-ب).

1. Dissolution  
2 Dolomitization  
3 Dolomicrite- type1  
4 Dolomicrosparite- type2

کلسیتی دریایی، متئوریکتی و تدفینی در سنگ مخزن می‌باشد.

سیمان دریایی شناخته شده شامل سیمان‌های تیغه‌ای (به صورت بلورهای کشیده)، سیمان فیبری (به صورت حاشیه‌ای متقارن با ضخامت یکسان در اطراف دانه‌ها)، سیمان هم بعد (که حفرات و فضای بین دانه‌ای را به صورت بلورهای موزاییکی پر کرده) می‌باشد (شکل ۷-ج) و باعث کاهش کیفیت مخزنی گردیده است.

سیمان‌های متئوریکتی شناخته شده شامل سیمان‌های کلسیتی که درون حفرات و دانه‌ها را پر کرده‌اند، سیمان دروزی (بین دانه و درون دانه‌ها را پر کرده‌اند و به طرف مرکز حفره درشت‌تر می‌شوند، اگر چه این سیمان در محیط دفنی عمیق هم وجود دارد [۱۴] (شکل ۷-ط)، سیمان بلوکی (به صورت بلورهای متوسط تا دانه درشت بوده و غالباً مرزهای بلوری مشخصی را نشان می‌دهند این نوع سیمان نیز با عوارض دیاژنزی عمیق مرتبط بوده و با پر کردن حفرات در حین شکستگی و استیلولیتی شده باعث کاهش کیفیت مخزنی می‌گردد) می‌باشند (شکل ۷-ی). سیمان سین تکسیال (در سازند کنگان رو رشدی هم محور در رخساره‌های حاوی خارپوست وجود دارد و عمدتاً در رخساره‌های پکستونی تا گرینستونی دیده می‌شود) (شکل ۷-ک). سیمان‌های دفنی شناخته شده نیز شامل سیمان‌های پر کننده رگه (که در مراحل آخر دیاژنز تشکیل شده که اغلب شکستگی‌ها و یا تخلخل‌های کانالی را پر کرده است) (شکل ۷-ل)، سیمان پوئیکیلوتوپیک (تمام فضای خالی را پر کرده و به دلیل سرعت کم هسته‌سازی و رشد آرام بلورها این نوع سیمان درشت بلور است. این سیمان شاخص محیط تدفینی بوده و به صورت سیمان

اندازه این بلورها بین ۲۰ μ تا ۱۰۰ μ بوده و گاهی بر اثر تبلور مجدد دولومیکرایت‌ها حاصل می‌شوند و از نظر بافتی دارای اندازه یکسان هستند [۲۷]. دولومیت‌های نوع دوم در چاه‌های مورد مطالعه فراوان بوده و در رخساره‌های وکستون تا پکستون و به صورت پراکنده در محیط‌های جزرو مدی، لاگون و سد قابل مشاهده می‌باشند. (شکل ۷-ه)

دولوسپارایت یا دولومیت‌های نوع ۳<sup>۱</sup>

این بلورها در اندازه مختلف و اندازه آنها بالاتر از ۱۰۰ μ متغیر است. این بلورها به صورت شکل دار با مرزهای مسطح و در برخی موارد تمام زمینه را پر کرده است (شکل ۷-و). از نظر بافتی این نوع دولومیت مخرب و محو کننده آثار دیاژنزی اولیه بوده و باعث شده بافت اولیه قابل تشخیص نباشد [۲۸]. این بلورها ظاهری تمیز و شفاف داشته و می‌تواند در امتداد استیلولیت تشکیل شود. این نوع دولومیت‌ها در رخساره‌های مرتبط با محیط سدی سازند کنگان، در مقاطع مورد مطالعه بیشتر قابل تشخیص می‌باشند.

دولومیت‌های زین اسبی یا دولومیت‌های نوع ۴<sup>۲</sup>

این دولومیت شامل موزاییک‌های به شدت متراکم و اغلب دارای مرزهای بین بلوری نامنظم و خاموشی موجی است. این دولومیت در طی مراحل نهایی دیاژنز تشکیل و مربوط به مراحل تدفین عمیق است [۲۹]. (فلش قرمز - شکل ۷-ز).

دولومیت‌های خیلی درشت یا سیمان دولومیتی نوع ۵<sup>۳</sup>

این دولومیت‌ها به صورت سیمان دولومیتی حفرات را پر کرده و مربوط به مراحل نهایی دیاژنز می‌باشد. ویژگی این دولومیت داشتن خاموشی مستقیم است (شکل ۷-ز).

سیمانی شدن<sup>۴</sup>

سازند کنگان شامل سیمان‌های:

سیمان کلسیتی<sup>۵</sup>

1. Dolosparite- type3  
2. Saddle Dolomite- type4  
3. Dolomite Cement- type5  
4. Cementation  
5. Calcite Cement

سیمان‌های کربناته غالباً در رخساره‌های سدی و لاگون توسعه یافته و شامل سه نسل سیمان



کمی از آنها حفظ شده‌اند. در مقاطع مطالعه شده این نوع تخلخل بیشتر در بایوکلس‌ها و دانه‌های اوئیدی مربوط به محیط سدی وجود دارد که در مقطعی توسط سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی پر شده‌اند. (شکل ۷-ع).

#### تخلخل قالبی<sup>۶</sup>

این نوع تخلخل گسترده‌ترین نوع تخلخل در رخساره‌های غنی از دانه در سنگ مخزن می‌باشد و بیشتر در رخساره‌های اولیتی دولومیتی شده و همچنین در ارتباط با انحلال بایوکلس‌ها در رخساره‌های وکستونی و پکستونی می‌باشد. این نوع تخلخل بیشتر به صورت قالب‌های اوئیدی مجزا و جزء تخلخل‌های غیر مفید است. در مقاطع مورد مطالعه سازند کنگان، اکثراً اطراف و داخل آلوک‌ها توسط سیمان کلسیتی پر شده است. ایجاد یک واحد مخزنی خوب، نتیجه ارتباط این تخلخل‌ها توسط فرآیند دولومیتی شدن و شکستگی می‌باشد. (شکل ۷-ع).

#### تخلخل فنسترال<sup>۷</sup>

این تخلخل شاخص محیط جزرو مدی بوده و به صورت کروی، عدسی و چشم پرنده‌ای دیده می‌شود. این نوع تخلخل بیشتر در رخساره‌های مادستونی و دولومادستونی وجود داشته و بیشتر با سیمان انیدریتی و ژپس پر شده‌اند. (شکل ۷-ف).

#### تخلخل بین بلوری<sup>۸</sup>

این نوع تخلخل معمولاً در رخساره‌های دولومیت ریز بلور با بلورهای خودشکل و هم بعدتوسعه پیدا کرده است. به دلیل ارتباط بین بلوری نفوذپذیری در این نوع تخلخل بالا بوده و در رخساره‌های گرینستونی موجب افزایش تراوایی می‌شود (شکل ۷-ص).

تبخیری، کلسیتی و انیدریتی در سازند کنگان دیده می‌شود. اگر این سیمان انحلال یابد و فضای خالی ایجاد شده مرتبط باشد از دیدگاه مخزنی حائز اهمیت است (شکل ۷-م).

#### سیمان انیدریتی Anhydrite Cement<sup>۱</sup>

تنوع این سیمان در چاه‌های LN-3 و 2SKD-1 بیشتر از 2SK-1 بوده، و عموماً این سیمان از انحلال انیدریت‌های توده‌ای منشأ گرفته و از لحاظ پدیده دیاژنزی بعد از دولومیتی شدن غالب‌ترین پدیده در سازند کنگان است. این نوع سیمان فضای بین آلوک‌ها، شکستگی‌ها، و انحلالات را پر کرده و یکی از فاکتورهای کنترل کیفیت مخزنی می‌باشد (شکل ۷-ن).

#### شکستگی‌ها<sup>۲</sup>

نفوذپذیری مخزن به ارتباط بین منافذ بستگی داشته و یکی از مهمترین فرآیندهای دیاژنزی در ایجاد تراوایی است. اگر این شکستگی‌ها که بیشتر در رخساره‌های دولومادستونی و گرینستونی وجود دارد با سیمان پر نشده باعث ایجاد تراوایی خوب در سنگ مخزن می‌گردد. (شکل ۷-س).

#### انواع تخلخل‌ها<sup>۳</sup>

تخلخل‌های موجود در میادین مورد مطالعه در سازند کنگان شامل:

#### تخلخل بین دانه‌ای<sup>۴</sup>

این نوع تخلخل در بین دانه‌های الئید، پلوئید و بایوکلس‌ها به خوبی گسترش پیدا کرده و در صورت ارتباط این منافذ باعث ایجاد تخلخل مفید شده و در کیفیت مخزنی تأثیر گذار است. این نوع تخلخل دارای منشأ اولیه بوده و حاصل فابریک رسوبی می‌باشد. (شکل ۷-ع).

#### تخلخل درون دانه‌ای<sup>۵</sup>

اکثراً تخلخل درون دانه‌ای در کربنات‌ها قبل از رسوب‌گذاری قطعات یا دانه‌های رسوبی تشکیل شده اند و اغلب با دانه‌های رسوبی پر شده و مقدار

1. Anhydrite Cement
2. Fractures
3. Types of Porosity
4. Interparticle Porosity
5. Intragranular Porosity
6. Moldic Porosity
7. Fenestral Porosity
8. Intercrystalline Porosity

مسیرهای بی قاعده و طویل و در اثر انحلال در نقاط ضعیف نظیر شکستگی‌ها و یا در نتیجه اتصال جانبی فضاهای خالی به یکدیگر ایجاد می‌شود. (شکل ۷-س).

چینه‌نگاری سکansı و ارتباط آن با رخساره‌ها و دیاژنز

بر اساس بررسی‌های انجام شده، تکرار و توالی رخساره‌ها و بررسی تغییرات محیطی سازند کنگان در میدین سلمان و لاوان، این سازند در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 و LN-3 دارای ۳ سکانس رسوبی رده سوم و ۵ سکانس رسوبی رده چهارم می‌باشد. این سکانس‌ها از دسته رخساره‌های HST (سیستم تراکت تراز بالا) و TST (سیستم تراکت پیشرونده) تشکیل شده است. (شکل ۱۱).

تخلخل حاصل از شکستگی<sup>۱</sup>

حرکات و کشش‌های تکتونیک در نمونه‌های آهکی موجب به وجود آمدن این نوع تخلخل می‌شود. بیشترین میزان شکستگی در چاه 2SK-1 بوده و گسترش چندانی در میدین مورد مطالعه ندارد. اما به دلیل افزایش تراوایی حائز اهمیت است. (شکل ۷-ف).

تخلخل حفره‌ای<sup>۲</sup>

این نوع تخلخل در سازند کنگان در رخساره‌های گرینستونی و مادستونی دیده می‌شود. غالباً این نوع از تخلخل‌ها به ندرت حفظ شده و اغلب توسط سیمان پر می‌شود (شکل ۷-ک).

تخلخل کانالی<sup>۳</sup>

این نوع تخلخل در طبقه‌بندی لوسیا ۱۹۹۵ به نام Solution-Enlarged معرفی گردیده و به شکل

شکل ۱۱ نمودار چینه‌نگاری سکansı در چاه‌های 2SK-1، 2SKD-1، LN-3

1. Fracture porosity
2. Vuggy porosity
3. Channel porosity

## سکانس رسوبی اول

اولین سکانس رسوبی در چاه‌های 2SK-1 با ضخامت (۴۲ m)، 2SKD-1 با ضخامت (۵۹/۷ m) و در LN-3 با ضخامت (۶۰ m)، بر روی ناپیوستگی نوع اول (SB1) [۱۴]، بین مرز سازندهای دالان و کنگان، قرار گرفته است (شکل ۱۱). این سکانس در برگرنده رخساره‌های نواحی سب‌خا تا سد به همراه رخساره‌های باندستونی در مرز (SB2) می‌باشد. لیتولوژی این بخش شامل سنگ آهک، دولومیت همراه با میان لایه‌های انیدریتی است. در سیستم تراکت پیشرونده (TST)، میزان سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی در بخش انتهایی (TST) کم و به سمت (MFS) (سطح حداکثر غرقابی) در رسوبات مادستونی تا پکستونی مربوط به محیط‌های لاگون تا سدی افزایش می‌یابد. در این محدوده تخلخل‌های درون دانه‌ای و درون ذره‌ای، حفره‌ای و رگه استیلولیتی نیز افزایش پیدا کرده است. در سیستم تراکت تراز بالا (HST)، رخساره‌های دانه پشتیبان در محیط‌های جزرو مدی تا سد گسترش یافته و شاهد میزان قابل توجهی از سیمان انیدریتی هستیم. دولومیت‌های این بخش بیشتر از نوع متوسط تا درشت بلور به همراه شکستگی‌ها و انواع تخلخل‌های مفید است. انتهایی سیستم تراکت تراز بالا (HST)، در چاه‌های مورد مطالعه، شامل رخساره‌های وکستون تا گرینستون، استروماتولیت-باندستون، مربوط به محیط‌های بالای جزرومدی تا سد است. در این بخش سیمان‌های انیدریتی کمتر از سیمان‌های دولومیتی و کلسیتی بوده و به سمت چاه LN-3 سیمان کلسیتی افزایش پیدا کرده است. اولین سکانس رسوبی رده سوم معادل دو سکانس رسوبی رده چهارم می‌باشد.

## سکانس رسوبی دوم

دومین سکانس رسوبی در چاه‌های 2SK-1 با ضخامت (۳۰ m)، 2SKD-1 با ضخامت (۴۹/۹۲ m) و در LN-3 با ضخامت (۳۹ m)، بین دو ناپیوستگی نوع دوم (SB2) در واحد مخزنی K1 قرار گرفته است

(شکل ۱۱). این سکانس عمدتاً از رخساره‌های نواحی انتهایی و بیشتر نواحی میانی پلاتفرم کربناته (جزرو مد تا سد) و شامل رخساره‌های وکستون تا گرینستون، باندستونی همراه با لیتولوژی آهکی و میان لایه‌های انیدریت می‌باشد. در سیستم تراکت پیشرونده (TST)، در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی بیشتر از چاه LN-3 بوده و به سمت میدان لاوان از میزان سیمان‌های کلسیتی و دولومیتی کاسته شده است. تخلخل‌های مفید به همراه رگه‌های استیلولیتی در رخساره‌های دانه پشتیبان این بخش قابل مشاهده می‌باشد. به سمت مرز (MFS) (سطح حداکثر غرقابی) رسوبات بیشتر از نوع ریزدانه، همراه با تخلخل‌های درون ذره‌ای می‌باشد. در سیستم تراکت تراز بالا (HST)، رخساره‌های وکستونی، پکستونی، گرینستونی و باندستونی مربوط به محیط‌های جزرو مدی تا سد قرار گرفته است. سیمان‌های این بخش بیشتر از نوع کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی بوده و شامل تخلخل‌های مفید از جمله درون دانه‌ای، قالبی، و حفره‌ای می‌باشد. آثار شکستگی و رگه استیلولیتی نیز در رسوبات دانه پشتیبان قابل مشاهده می‌باشد. دولومیت‌های این بخش بیشتر از نوع متوسط تا درشت بلور و از نوع تخریب کننده فابریک است. با توجه به بررسی‌های انجام شده تنوع سیمان‌ها و تخلخل‌ها به سمت چاه LN-3 کاهش پیدا کرده است. دومین سکانس رسوبی رده سوم معادل دو سکانس رسوبی رده چهارم می‌باشد.

## سکانس رسوبی سوم

سومین سکانس رسوبی در چاه‌های 2SK-1 با ضخامت (۷۴ m)، 2SKD-1 با ضخامت (۳۷/۸۴ m) و در LN-3 با ضخامت (۳۵ m)، بین دو ناپیوستگی نوع دوم (SB2) در واحد مخزنی K1 قرار گرفته است (شکل ۱۱). رخساره‌های این بخش شامل رسوبات مادستونی تا سدی به همراه رخساره‌های باندستونی، در مرز واحد مخزنی K1، مربوط به محیط‌های جزرو مدی تا سد می‌باشد. لیتولوژی

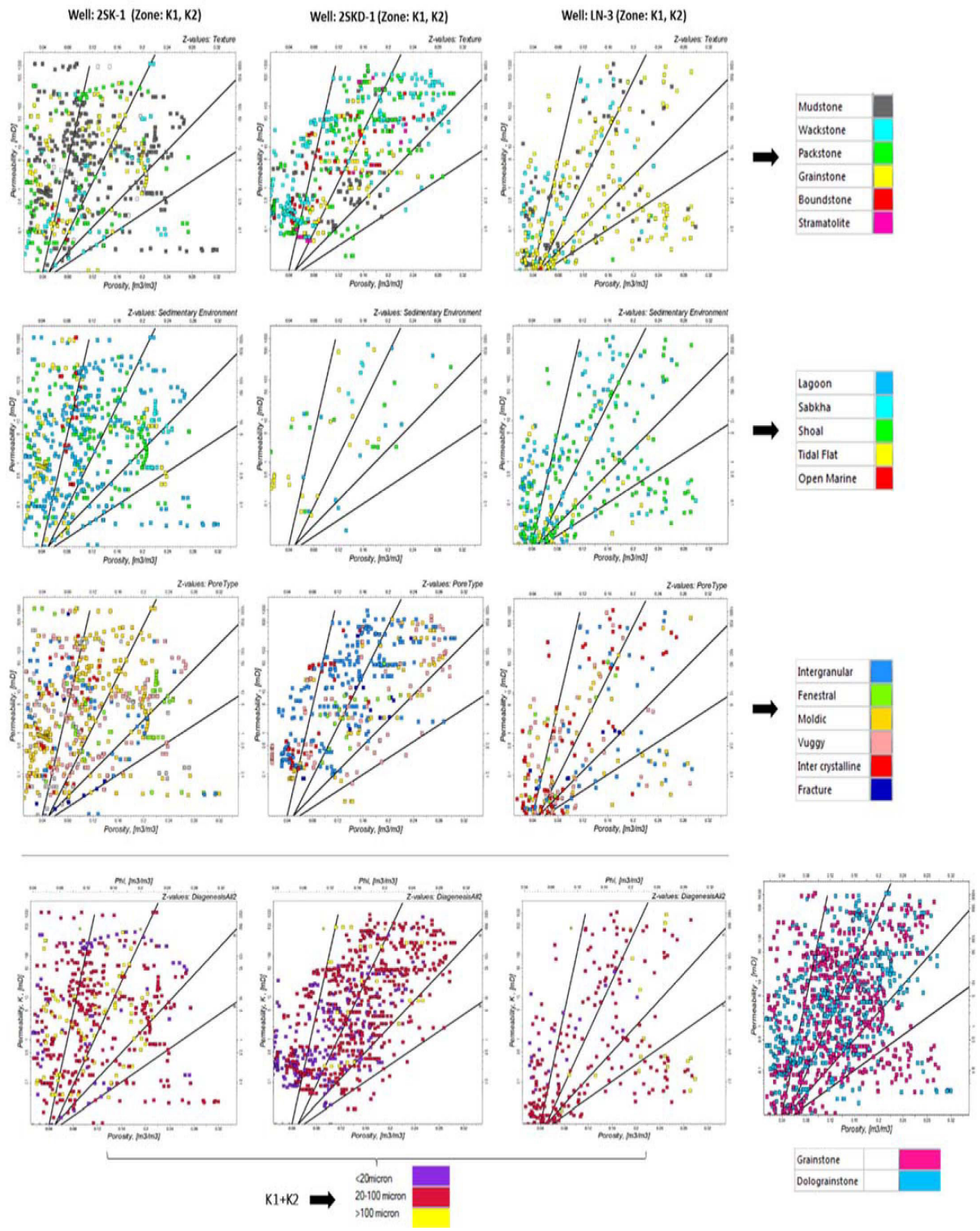
برداری‌های صورت گرفته، به تفکیک تخلخل‌ها، داده‌ها وارد نرم‌افزار (Petrel) شده و درصد و فراوانی تخلخل‌ها در توالی سازند کنگان و در زون‌های مخزنی برای چاه‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است. همچنین میزان ذرات گرینستونی و دولوگرینستونی و تنوع تخلخل‌های مفید که نشان‌دهنده کیفیت مخزنی خوب در چاه‌های مورد مطالعه می‌باشد در نمودار پتروفیزیکی لوسیا مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۲). برطبق داده‌های تخلخل و تراوایی، سازند کنگان به دو زون مخزنی تقسیم شده است: **واحد مخزنی K2**: این واحد مخزنی با ضخامت (۳۰ m) در چاه 2SK-1، (۳۵ m) در چاه 2SKD-1، و (۳۷ m) در چاه LN-3، شامل یک سیستم تراکت پیشرونده (TST1) و بخش اولیه سیستم تراکت تراز بالا (HST1) از اولین سکانس رسوبی رده سوم می‌باشد. این واحد مخزنی در میدان سلمان (چاه‌های 2SK-1 و 2SKD-1) حاوی سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی، انیدریتی همراه با تخلخل‌های درون دانه‌ای، درون ذره‌ای، حفره‌ای، قالبی و رگه‌های استیلولیتی است. همچنین این واحد مخزنی با توجه به میزان تخلخل و تراوایی موجود از کیفیت مخزنی متوسط در رخساره‌های دانه پشتیبان - نواحی سدی و لاگون برخوردار است (جدول ۲). در میدان لاوان چاه (LN-3)، این واحد مخزنی، شامل رخساره‌های وکستونی تا گرینستونی بوده و از حجم قابل توجهی از سیمان‌های کلسیتی، انیدریتی و دولومیت‌هایی با بلورهای متوسط برخوردار می‌باشد. ارتباط کمتر تخلخل‌های مفید، در رخساره‌های دانه غالب، باعث گردیده این واحد مخزنی از کیفیت مخزنی متوسط رو به پایینی برخوردار باشد (جدول ۲).

**واحد مخزنی K1**: این واحد مخزنی با ضخامت (۱۱۶ m) در چاه 2SK-1، (۱۱۲ m) در چاه 2SKD-1، و (۹۷ m) در چاه LN-3، شامل ادامه سیستم تراکت تراز بالا (سکانس اول) و سکانس‌های رسوبی دوم و سوم می‌باشد.

این بخش شامل دولومیت، سنگ آهک، انیدریت همراه با میان لایه‌های شیلی (در مرز واحد مخزنی K1 تا رأس سازند کنگان) می‌باشد. در سیستم تراکت پیشرونده (TST)، رسوبات از نوع مادستونی تا گرینستونی و مربوط به نواحی جزرو مدی و لاگون می‌باشد که به سمت مرز (MFS) (حداکثر سطح غرقابی) تبدیل به رسوبات مادستونی، مربوط به محیط لاگون شده است. میزان تخلخل‌ها و استیلولیت‌ها نیز در چاه‌های 2SK-1 و LN-3 کمتر از چاه 2SKD-1 است. دولومیت‌ها در این بخش از نوع درشت تا ریز بلور بوده و این نوع دولومیت‌ها بیشتر در مرز حداکثر غرقابی (MFS) قابل مشاهده می‌باشد. در سیستم تراکت تراز بالا (HST)، رسوبات از نوع مادستون تا باندستون و مربوط به محیط‌های جزرو مدی تا سد است. سیمان‌های این بخش از نوع کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی بوده و شاهد انواع تخلخل‌ها، شکستگی و رگه‌های استیلولیتی می‌باشیم. در این سیستم تراکت به سمت مرز واحد مخزنی (K1) از میزان سیمان‌های کلسیتی و دولومیتی و تخلخل‌های مفید کاسته شده است. دولومیت‌ها در این بخش بیشتر از نوع متوسط تا درشت بلور است. در مرز واحد مخزنی (K1) رخساره‌های دانه پشتیبان مربوط به محیط‌های لاگون تا سد قابل مشاهده است. سومین سکانس رسوبی رده سوم معادل سه سکانس رسوبی رده چهارم می‌باشد.

کیفیت مخزنی و ارتباط آن با سکانس

پتانسیل مخزنی یک سنگ توسط پارامترهای تخلخل و تراوایی اندازه‌گیری می‌شود، از داده‌های تخلخل‌های مفید و میزان نفوذپذیری جهت بررسی مخزنی سازند کنگان در واحدهای مخزنی (K1) و (K2) استفاده شده است. در این مطالعه پس از بررسی کیفیت مخزنی، نقش عوامل دباژنزی، نوع بافت رسوبی و شرایط محیطی به عنوان عوامل اصلی بر کیفیت مخزنی بررسی شده است. پس از شناسایی انواع تخلخل‌ها در مقاطع میکروسکوپی و عکس



شکل ۱۲ کراس پلات تخلخل در مقابل تراوایی برای بافت، محیط رسوبی و انواع تخلخل‌های مفید در رخساره‌های گرینستونی و دولوگرینستونی دانه غالب، و بررسی اندازه بلورهای دولومیت مرتبط با واحد های مخزنی (K1-K2) سازند کنگان در طبقه‌بندی لوسیا چاه‌های (2SK-1، 2SKD-1، LN-3).

جدول ۲ میزان تخلخل و تراوایی در الف) واحدهای مخزنی و ب) سکانس رده سوم و چهارم سازند کنگان در چاه های مورد مطالعه

سکانس رده سوم (ب)			واحدهای مخزنی سازند کنگان (الف)		
چاه	سکانس رسوبی	تخلخل	چاه	زون مخزنی	تخلخل
2SK-1	اول	۰/۰۹۷۱	2SK-1	کنگان	۰/۱۰۰۱
	دوم	۰/۱۱۹۰۵		K1	۰/۱۰۸۲
	سوم	۰/۱۱۰۳		K2	۰/۰۹۲۰
2SKD-1	اول	۰/۱۱۳۱	2SKD-1	کنگان	۰/۱۳۸۰
	دوم	۰/۱۵۰۰۵		K1	۰/۱۴۵۰
	سوم	۰/۱۴۸۳		K2	۰/۱۳۱۰
LN-3	اول	۰/۱۴۰۲۵	LN-3	کنگان	۰/۱۴۴۸
	دوم	۰/۱۳۸۹		K1	۰/۱۲۱۴
	سوم	۰/۰۴۸۸۵		K2	۰/۱۶۸۲

سکانس رده چهارم (زون های زمین شناسی مخزنی).

سازند	چاه	زون زمین شناسی	تخلخل	تراوایی
کنگان	2SK-1	۷	۰/۷۷۵۰	۰
		۶	۰/۰۷۷۵	۷۲/۲۵۵۰
		۵	۰/۰۸۳۹	۷۶/۳۸۹۲
		۴	۰/۱۲۶۲	۲۱/۲۴۶۳
		۳	۰/۱۰۴۴	۵/۶۹۲۸
		۲	۰/۰۱۳۵	۱۳/۹۷۸۰
		۱	۰/۳۵۶۶	۴۸/۷۳۷۸
	2SKD-1	۷	۰/۰۹۰۲	۴۲/۶۶۹۴
		۶	۰/۰۶۵۳	۷۹/۴۸۱۹
		۵	۰/۰۸۷۵	۱۲/۸۴۶۵
		۴	۰/۰۸۷۹	۲۵/۳۰۰۵
		۳	۰/۰۹۲۲	۱۲۷/۱۵۴
		۲	۰/۰۴۵۱	۵۳/۸۷۲۸
		۱	۰/۱۰۸۳	۱۲۸/۹۲۴۷
	LN-3	۷	۰/۰۳۳۳	۰/۷۰۷۲
		۶	۰/۰۳۰۲	۲/۲۱۷۱
		۵	۰/۱۸/۰	۲۱۲۲/۰
		۴	۰/۱۶۰/۰	۵۰۱۶/۷
		۳	۰/۹۹۵/۰	۷۰۶/۱۹۷
		۲	۰/۹۸۳/۰	۰/۹۱۴/۹۸
		۱	۰/۷۴۹/۰	۲۳۱۷/۱

استیلولیت‌ها در این بخش باعث شده این سکانس رسوبی از کیفیت مخزنی خوبی برخوردار باشد (جدول ۲). سکانس رسوبی سوم در چاه 2SKD-1 و LN-3، شامل رخساره‌های مادستونی تا گرینستونی نواحی جزرو مدی تا سد می‌باشد. انواع سیمان به همراه دولومیت‌های ریز تادرشت بلور باعث از بین رفتن منافذ موجود گردیده و این امر نشان‌دهنده کیفیت مخزنی متوسط تا پایین در رسوبات دانه پستیان این بخش شده است. تنها در مرز و بالای واحد مخزنی K1 به دلیل وجود شیل‌های زیاد فاقد کیفیت مخزنی می‌باشد (جدول ۲).

#### طبقه‌بندی لوسیا

با توجه به طبقه‌بندی لوسیا، سه کلاس پتروفیزیکی در سازند کنگان بر اساس میزان تخلخل و تراوایی موجود در حوضه خلیج فارس نسبت به دانه‌بندی و اندازه بلورهای دولومیتی مورد بررسی قرار گرفته است. طبقه‌بندی بین ذره‌ای لوسیا شامل دو گروه دانه افزون و گل افزون می‌باشد که گروه دانه افزون شامل رسوبات گرینستونی، پکستونی با بلورهای درشت تا متوسط دولومیت و گروه گل افزون شامل رسوبات پکستونی، وکستونی و مادستونی همراه با بلورهای ریز دولومیت است [۳۰]. بررسی گرینستون‌ها و پکستون‌های دانه غالب مربوط به محیط سدی در نمودار لوسیا بیانگر وجود این دسته از رخساره‌ها در کلاس ۱ و ۲ لوسیا است. اینگونه از رخساره‌ها از سیمان کم و تخلخل و تراوایی بالاتری برخوردار هستند. رخساره‌هایی که نشان‌دهنده تخلخل و تراوایی پایین در این محدوده و یا خارج از این محدوده می‌باشند، نشان‌دهنده وجود سیمان‌های انیدریتی و کلسیتی بوده که باعث از بین رفتن فضاهای خالی بافتی شده است. ارتباط تخلخل‌ها و شکستگی‌های حاصله بیانگر تخلخل و تراوایی بهتر در رخساره‌های دانه پستیان است. بیشترین تخلخل‌ها مربوط به رخساره‌های گرینستونی در این محدوده و مربوط

اولین سکانس رسوبی در چاه 2SK-1، درمرز واحدهای مخزنی K1-K2، شامل رسوبات دانه پستیان مربوط به محیط‌های لاگون تا سد است. سیمان‌های موجود در این بخش نسبت به تخلخل‌های درون دانه‌ای، درون ذره‌ای، حفره‌ای و قالبی و حاصل از شکستگی کمتر بوده و این امر باعث گردیده این سکانس رسوبی از کیفیت مخزنی متوسطی در واحدهای مخزنی کنگان برخوردار باشد (جدول ۲). مرز واحدهای مخزنی K1-K2 در چاه‌های 2SKD-1 و LN-3 همراه با رخساره وکستون تا گرینستون مربوط به محیط‌های جزرو مدی تا لاگون است. این بخش با داشتن مقدار کمی از سیمان‌های کلسیتی نسبت به انیدریتی و دولومیتی (از نوع بلورهای متوسط تا درشت و تخریب کننده فابریک)، و وجود تخلخل‌های مفید به همراه رگه‌های استیلولیتی، در رخساره‌های دانه پستیان از کیفیت مخزنی متوسط تا خوبی برخوردار می‌باشد (جدول ۲).

سکانس رسوبی دوم در چاه 2SK-1، شامل رخساره‌های وکستون تا پکستون مربوط به محیط جزرو مدی تا جلوی سد است، سیمان کلسیتی در این بخش بیشتر از سیمان‌های دولومیتی و انیدریتی بوده، همچنین تخلخل‌های مفیدی در این قسمت تقریباً با سیمان پر شده‌اند. در نتیجه سکانس مربوطه از کیفیت مخزنی متوسط تا پایین برخوردار است (جدول ۲). این سکانس در چاه 2SKD-1 و LN-3، شامل رخساره‌های وکستون تا گرینستون مربوط به محیط‌های جزرو مدی تا سد است، این سکانس با داشتن انواع سیمان‌ها و تخلخل‌های مفید و رگه‌های استیلولیتی، در رخساره‌های دانه پستیان، مخصوصاً در چاه LN-3 از کیفیت مخزنی متوسط تا خوبی برخوردار می‌باشد (جدول ۲).

سکانس رسوبی سوم در چاه 2SK-1، بیشتر شامل رخساره‌های دانه پستیان نواحی سدی است. وجود انواع سیمان‌ها و دولومیت‌های متوسط تا درشت بلور، به همراه تخلخل‌های مفید، و همچنین ارتباط منافذ حاصل از شکستگی‌ها و

در سازند کنگان در میادین مورد مطالعه مربوط به تخلخل‌های درون دانه‌ای، حفره‌ای، قالبی و حاصل از شکستگی بوده و در کنار رخساره‌های گرینستونی و دولوگرینستونی در کلاس ۲ لوسیا نشان‌دهنده بیشترین میزان تخلخل و تراوایی می‌باشد (شکل ۱۲).

#### نتیجه‌گیری

در پایان از بررسی و پژوهش در زمینه سازند کنگان در مناطق مورد مطالعه نتایج زیر به دست آمده:

۱- سازند کنگان با سن تریاس پیشین، در میدان سلمان در چاه‌های 2SK-1 با (۱۸۷ m) ضخامت و در چاه 2SKD-1 با (۱۸۹ m) ضخامت شامل تناوبی از سنگ آهک، دولومیت و انیدریت، و در میدان لاوان، چاه LN-3 با (۱۸۶ m) ضخامت دارای بیشترین رسوبات آهکی است. به دلیل وجود گسل و موقعیت قرارگیری چاه در رأس ساختمان و یا یال‌های ساختمان ضخامت واحدهای رسوبی در چاه‌های مختلف و در سازندهای مختلف، متغیر است. در مرز و بالای واحد مخزنی K1 به دلیل تناوبی از شیل و مارن، فاقد کیفیت مخزنی می‌باشد.

۲- تجزیه و تحلیل رخساره‌های رسوبی سنگ مخزن میادین سلمان و لاوان نشان می‌دهد که سازند کنگان در این میادین شامل ۱۵ ریز رخساره مربوط به محیط‌های سب‌خا تا سد و نشان‌دهنده یک رمپ کریناته کم ژرفا است.

۳- کمترین میزان سیمان‌ها نیز در توالی سازند کنگان دربرگیرنده لیتولوژی مارن و میان لایه‌های انیدریتی می‌باشد. سیمان‌های موجود در توالی سازند کنگان، میدان سلمان، نشان‌دهنده تنوع کم سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی در مرز پرمین-تریاس، در واحد مخزنی K2 است. در واحد مخزنی K1 تنوع سیمان‌ها و تخلخل‌ها به همراه فرآیند استیلولیتی شدن رو به افزایش رفته و در مرز واحد مخزنی K1 از تنوع سیمان‌ها مخصوصاً سیمان‌های کلسیتی کاسته شده است.

به قسمت مرکزی خلیج فارس است که کیفیت مخزنی بهتری را در این بخش نشان می‌دهد. رخساره‌های پکستونی، وکستونی و مادستونی گل پشتیان در سازند کنگان، حوضه خلیج فارس، مربوط به کلاس ۲ و ۳ لوسیا می‌باشد. همچنین رخساره‌های باندستونی نیز در کلاس ۳ لوسیا با درصد قابل توجهی از سیمان‌ها قرار گرفته است. در صورت وجود شکستگی‌ها و ارتباط تخلخل‌ها این دسته از رخساره‌ها نشان‌دهنده تخلخل و تراوایی بهتر در محدوده کلاس‌های تعریف شده در نمودار لوسیا می‌باشند. دولومیتی شدن نیز می‌تواند تاثیر متفاوتی بر روی میزان تخلخل و تراوایی داشته باشد. دولومیتی شدن در رخساره‌های دانه غالب همراه با اندازه بلورهای متوسط تا درشت بلور و عدم سیمان انیدریتی، نمایانگر کلاس پتروفیزیکی ۱ و ۲ لوسیا است. در صورت قرارگیری این رخساره‌ها به همراه دولومیت‌ها در خارج از کلاس‌های مذکور، نشان‌دهنده حضور سیمان انیدریتی در فضاهای خالی می‌باشد و در صورتی این دسته از رخساره‌ها تخلخل و تراوایی بهتری را نشان می‌دهند که به همراه شکستگی و ارتباط منافذ باشند که این موضوع نیز در مورد مادستون‌هایی که در کلاس ۱ لوسیا قرار گرفته‌اند نیز صادق می‌باشد. به طور کلی نمونه‌های دولومیتی در مقایسه با رخساره‌های دانه غالب دارای تراوایی بالا می‌باشند. بدین ترتیب که در رخساره‌های گرینستونی و پکستونی به همراه دولومیت‌های متوسط تا درشت بلور (بیش از  $100 \mu$ ) باعث حفظ تخلخل‌ها و ایجاد طبقات مخزنی در سازند کنگان، حوضه خلیج فارس شده است. با توجه به مطالعات انجام شده در این ناحیه، در واحد مخزنی سازند کنگان (K1) شامل دولومیت‌های متوسط تا درشت بلور، و در واحد مخزنی (K2) بیشتر شاهد دولومیت‌های متوسط بلور هستیم. با توجه به دولومیت‌های موجود در واحدهای مخزنی سازند کنگان، در حوضه خلیج فارس شاهد کیفیت مخزنی خوب در قسمت‌های مختلفی از هر دو واحد مخزنی ذکر شده می‌باشیم. بر اساس داده‌های موجود، در نمودار لوسیا بیشترین تخلخل‌های موجود



دولومیتی (متوسط تا درشت بلور، از نوع تخریب کننده فابریک) می‌باشند. با وجود تخلخل و تراوایی بهتر در شرایط ذکر شده، کیفیت مخزنی متوسط تا خوبی را در واحدهای مخزنی K1 و K2 شاهد هستیم. در طول توالی سکansı وجود سیمانی شدن و تراکم به عنوان عوامل کاهش دهنده و دولومیتی شدن، تخلخل‌های مرتبط و شکستگی‌ها به عنوان افزایش دهنده کیفیت مخزنی در بخش‌های ذکر شده در توالی سکansı سازند کنگان است. به سمت مرز کنگان و دشتک وجود رسوبات شیلی و مارنی باعث از بین رفتن کیفیت مخزنی شده است.

۶- با استفاده از نرم‌افزار پترل، نمودارهایی از میزان درصد تخلخل‌ها در دو زون K1 و K2 ترسیم شده است. استفاده از این داده‌ها در نمودار لوسیا و بررسی میزان تخلخل‌ها نسبت به تراوایی، بیانگر مقدار قابل توجهی از تخلخل‌های درون دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای و حاصل از شکستگی در کلاس ۲ لوسیا می‌باشد. همچنین وجود رخساره‌های دانه غالب همراه با بلورهای درشت دولومیت و عدم حضور سیمان انیدریتی در کلاس ۱ لوسیا، نشان‌دهنده تخلخل و تراوایی بالا و بیانگر کیفیت مخزنی خوب در واحدهای مخزنی سازند کنگان است.

### تشکر و قدردانی

با سپاس از اساتید راهنما و مشاور، و همچنین از واحد طرح‌های اکتشافی و زمین‌شناسی شرکت نفت فلات قاره ایران برای همکاری و کمک‌های لازم در فراهم کردن مقاطع نازک میکروسکوپی، داده‌های مغزه و لاگ‌ها، و نیز حمایت آنها در انجام این پروژه صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

دولومیت‌های موجود نیز در این واحدهای مخزنی بیشتر از نوع متوسط تا درشت بلور و تخریب کننده فابریک می‌باشد. اما در میدان لاوان، سازند کنگان در واحد مخزنی K2، شامل تنوع بیشتر سیمان‌های کلسیتی نسبت به سیمان‌های دولومیتی و انیدریتی است و در واحد مخزنی K1 از تنوع سیمان‌ها مخصوصاً سیمان دولومیتی کاسته شده است. دولومیت‌ها در این بخش از نوع مخرب، جان‌شینی همراه با بلورهای متوسط تا درشت بلور به همراه رگه‌های استیلولیتی است. در هر دو میدان بیشترین انحلالات مربوط به تخلخل‌های حفره‌ای، قالبی و درون دانه‌ای و حاصل از شکستگی بوده که در کیفیت مخزنی تأثیرگذار هستند.

۴- سازند کنگان در میدان سلمان و لاوان شامل ۳ سکانس رسوبی رده سوم و ۵ سکانس رسوبی رده چهارم می‌باشد، تعداد سکانس‌های رده چهارم به سمت مرز K1 با توجه به تغییرات محیط رسوبی، و تنوع رخساره‌ها افزایش پیدا کرده است. مرزهای سکانس‌های رسوبی در چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 و LN-3 از نوع ناپیوستگی درجه اول (SB1) بوده و در شروع سکانس رسوبی اول این ناپیوستگی، منطبق بر مرز پرمو-تریاس در حدفاصل سازند کنگان و دالان می‌باشد.

۵- واحدهای مخزنی شناخته شده در سازند کنگان در میادین مورد مطالعه شامل دو زون متخلخل و مخزنی K1 و K2 بوده که توسط یک لایه آهکی فاقد کیفیت مخزنی و تخلخل از هم جدا شده‌اند. این دو زون مخزنی، در سکانس‌های اول تا سوم چاه‌های 2SKD-1، 2SK-1 و LN-3 شامل رخساره‌های دانه پشتیبان مربوط به محیط سدی است. سیمان‌های مربوطه نیز از انواع انیدریتی،

### مراجع

- [1]. Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., & Kamali, M. R. (2006). Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 50(3-4), 161-175, doi.org/10.1016/j.Petrol.2005.12.004.
- [2]. Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., & Monibi, S. (2006). Upper dalan member and kangan formation between the zagros mountains and offshore Fars, Iran: depositional system,

- Biostratigraphy and Stratigraphic Architecture, *GeoArabia*, 11(2), 75-176, doi.org/10.2113/geoarabia110275.
- [3]. Szabo, F., & Kheradpir, A. (1978). Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-west Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 1(2), 57-82, doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00611.x.
- [4]. Peyravi, M., Kamali, M. R., & Kalani, M. (2010). Depositional environments and sequence stratigraphy of the Early Triassic Kangan Formation in the northern part of the Persian Gulf: implications for reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Geology*, 33(4), 371-386, doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00485.x.
- [۵]. لاسمی، ی. (۱۳۷۹). رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چین‌نگاری سکانس نهشته سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزوئیک، ۷۸، ۱۸۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ایران، ..sid.ir/paper/458383/fa.
- [۶]. پیروی، م. (۱۳۸۵). محیط رسوبی و چین‌نگاری سکانسی سازند کنگان.
- [7]. Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., & Tavakoli, V. (2010). Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gasfield, offshore Iran: controls on reservoir quality, *Journal of Petroleum Geology*, 33(1), 43-66, doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00463.x.
- [8]. Martin, A. Z. (2001). Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6(3), 445-504, doi.org/10.2113/geoarabia0603445.
- [9]. Stampfli, G. M., & Borel, G. D. (2002). A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1-2), 17-33, doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X.
- [10]. Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in: classification of carbonate rocks, Ham, W. E (ed.), American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 08-121.
- [11]. Warren, J. K. (2006). *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*, Springer Science & Business Media, .
- [12]. Tucker, M.E., 2001- *Sedimentary petrology*, Third edition, Blackwell, Oxford, 260.
- [13]. Lucia, F. J., Kerans, C., & Jennings Jr, J. W. (2003). Carbonate reservoir characterization. *Journal of Petroleum Technology*, 55(06), 70-72, doi.org/10.2118/82071-JPT.
- [14]. Flügel, E., & Munnecke, A. (2010). *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*, 976(2004), Berlin: Springer.
- [15]. Flügel, E. (2004). *Microfacies of carbonate rocks*. Berlin, Springer, 976.
- [۱۶]. لطف‌پور، م.، آدابی، م. ح.، و قوبدل سیوکی، م. (۱۳۸۳). بررسی رخساره‌های میکروبی (استروماتولیتی و ترومبولیتی) قاعده سازند کنگان با نگرشی ویژه بر گذر پرمو-تریاس در ناحیه زاگرس، ۲ (۱۳۳۴). *مجله علوم دانشگاه تهران*.
- [17]. Tucker, M.E., Wright, V.R., 1990, *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science, Oxford, 482.
- [18]. Maurer, F., Martini, R., Rettori, R., Hillgärtner, H., & Cirilli, S. (2009). The geology of Khuff outcrop analogues in the Musandam Peninsula, United Arab Emirates and Oman. *GeoArabia*, 14(3), 125-158, doi.org/10.2113/geoarabia1403125 .
- [19]. Abdolmaleki, J., & Tavakoli, V. (2016). Anachronistic facies in the early Triassic successions of the Persian Gulf and its palaeoenvironmental reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 446, 213-224, doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.01.031.
- [20]. Rasser, M. W., Scheibner, C., & Mutti, M. (2005). A paleoenvironmental standard section for Early Ilerdian tropical carbonate factories (Corbieres, France; Pyrenees, Spain). *Facies*, 51, 218-232.
- [21]. Reading, H.G. (1996), *Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy*, Blackwell Science, Inc. 688p. Slowakiewicz, M., Mikołajewski, Z., 2011, Upper Permian dolomite microbial carbonates as potential-source-rocks-for hydrocarbons (W Poland). *Marine and Petroleum Geology*, xxx. 1-20.
- [22]. Ahmad, A. H. M., Bhat, G. M., & Khan, M. H. A. (2006). Depositional environments and diagenesis of the Kuldhar and Keera Dome carbonates (Late Bathonian–Early Callovian) of Western India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(6), 765-778, doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.06.013.
- [23]. Martini, R., Cirilli, S., Saurer, C., Abate, B., Ferruzza, G., & Lo Cicero, G. (2007). Depositional environment and biofacies characterisation of the Triassic (Carnian to Rhaetian) carbonate succession of Punta Bassano (Marettimo Island, Sicily). *Facies*, 53, 389-400.
- [24]. Tucker, M.E., Wright, V.R. (1990). *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science, Oxford, 482.
- [25]. James, N. P., Choquette, P. W., McIlreath, I. A., & Morrow, D. W. (1990). Limestones—the meteoric diagenetic environment. *Diagenesis*, 4, 35-74.
- [۲۶]. پورامینی بزنجانی، س.، (۱۳۹۲) تأثیر دیاژنز بر کیفیت مخزنی سازند کنگان در میدان لاوان، خلیج فارس،

- نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [27]. Adabi, M. H. (2009). Multi-stage dolomitization of upper jurassic mozduran formation, Kopet-Dagh Basin, ne Iran. Carbonates and Evaporites, 24(1), 16-32.
- [28]. Melim, L. A. and Scholle, P. A., 2002- Dolomitization of the Capitan Formation foreereef facies (Permian, west-Texas.and-New-Mexico): 1207-1227.
- [29]. Warren, J., 2000, Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations. Earth Science-Reviews, v :52, 1-81.
- [30]. Lucia, F.J. (1995) Rock- fabric petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization. AAPG. Bull. 79,1275-1300.



# Study of Facies Changes, Sedimentary Environment and Diagenetic Processes in Sequence Boundaries of Kangan Formation and its Effect on Reservoir Quality According to Lucia's Classification, in Salman and Lavan Fields

Marjan Mohammadi<sup>1</sup>, Ali Kadkhodaie<sup>\*2</sup>, Hossain Rahimpour Bonab<sup>3</sup>, Rahim Kadkhodaie<sup>2</sup>, Mohsen Aleali<sup>1</sup>

1. Department of Earth Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Earth Science Department, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

3. Department of Geology, University College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Kadkhodaie\_ali@tabrizu.ac.ir

DOI:10.22078/pr.2023.5051.3257

Received: March/14/2023

Accepted: May/28/2023

## Introduction

Kangan formation to the Early Triassic age has the largest gas reserves in the Middle East and the world [1,2]. Kangan Formation along with its underlying formation (Dalan) is located in Dahram Group. Salman and Lavan fields are important gas fields of Iran in the Persian Gulf region. The reservoir rock of these fields includes the Kangan Formation and consists of carbonate-evaporite sequences which with the boundary of its underlying formation (Dalan), It is discontinuous and erosion. (Fig. 1)

The upper boundary of the Kangan formation has a discontinuity with the shales of the Aghar member of the Dashtak Formation. Various diagenetic processes have also affected the reservoir quality of Kangan Formation over time [3]. The purpose of this study is to know the facies and sedimentary environment, sequence stratigraphy and its relationship with diagenesis processes and its effect on the reservoir quality of Kangan formation in the studied wells of Salman and Lavan fields.

## Materials and Methods

### Study of Microfacies and Sedimentary Environment

In the study of Kangan Formation, two wells in Salman field (2SK-1), (2SKD-1) and one well in Lavan field (LN-3) have been investigated and compared. Identified lithology includes limestone, dolomite, anhydrite. To analyze the facies, several parameters including skeletal and non-skeletal components, sedimentary texture, micrite content, mineralogy or lithology and sedimentary characteristics have been investigated on a microscopic scale, which led to the identification of 15 microfacies in the mentioned wells, related to shoal, lagoon, tidal flat and Sabkha environments (Fig. 2).

According to Facies and facies belts have been identified, the sedimentation environment of the Kangan formation can be introduced as a carbonate ramp.

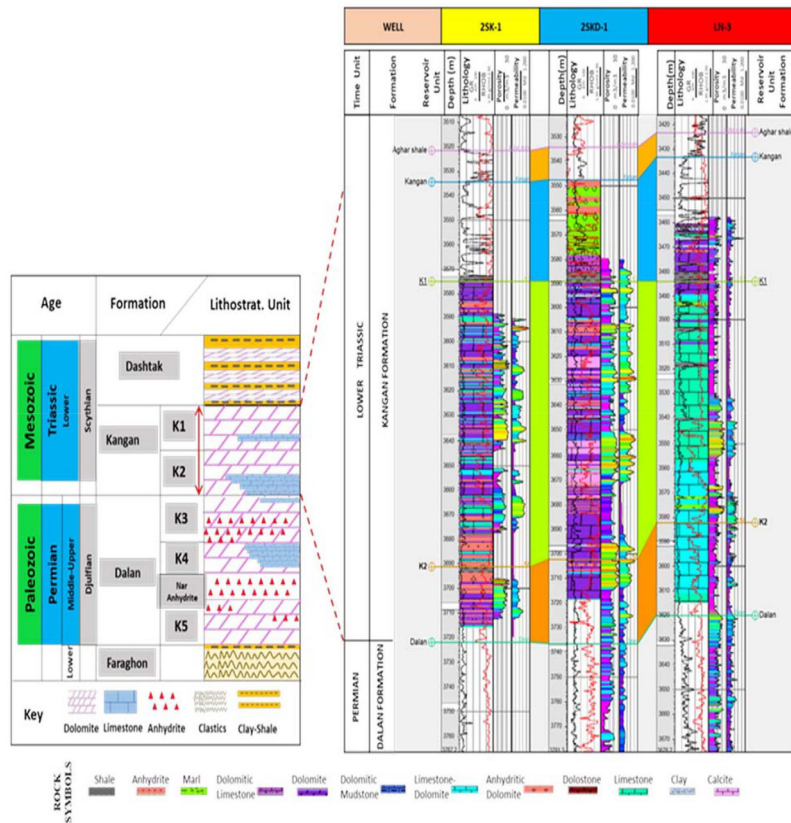


Fig. 1 Stratigraphic column of Kangan Formation in wells 2SK-1, 2SKD-1, and LN-3.

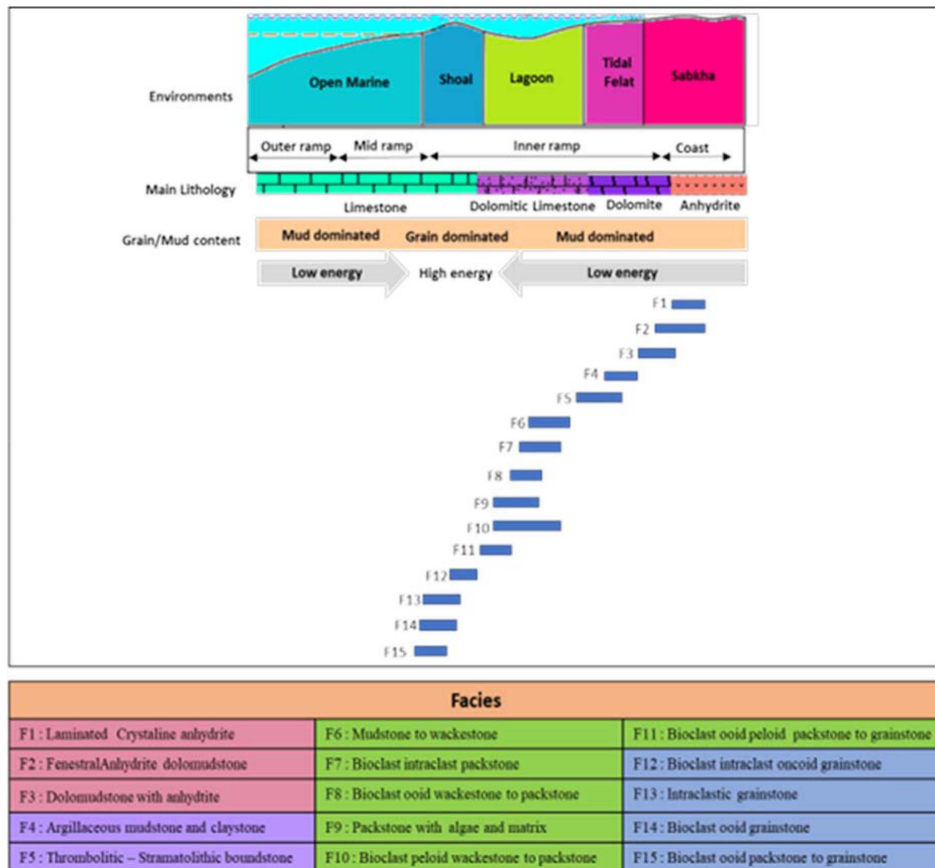


Fig. 2 Sedimentary environment model with microfacies.

**Identified Diagenetic Processes**

Diagenetic processes perform Fundamental role in reducing or increasing porosity and its impact on reservoir quality.

According to the microscopic studies on Kangan Formation in 2SK-1, 2SKD-1 and LN-3 wells, diagenetic processes, include types of calcites, dolomite, anhydrite, dissolution, compaction and fracture cements.

All diagenetic processes identified in (Table 1) show that the studied sequence includes three diagenetic environments: marine, meteoric and burial. A variety of calcite, dolomite and anhydrite cements in different parts of the Kangan Formation in the mentioned areas is observed. Known diagenetic processes include: compaction, dissolution, dolomitization, Cementation

and Fractures. and porosity types include: Interparticle porosity, Intragranular, Moldic, Fenestral, Vuggy, Channel.

**Sequence Stratigraphy and Relationship with Facies and Diagenesis**

Kangan Formation in wells 2SK-1, 2SKD-1 and LN-3 has 3 sedimentary sequences of the third orders and 5 sedimentary sequences of the fourth orders.

The first sedimentary sequence: located on the first type discontinuity (SB1) between the border of Dalan and Kangan formations [2]. This sequence includes the facies of the Sabkha to shoal with the boundstone facies in the boundary of SB2. The lithology of this section includes limestone, dolomite with anhydrite layer.

**Table 1** Types of diagenesis processes.

Type	Diagenetic Events	Early	Middle	Late
Compaction	Chemical compaction			
Calcite cementation	Isopachous fibrous cement			
	Dog tooth cementation			
	Bladed calcite cementation			
	Equant calcite cement			
	Drusy calcite cement			
	Blocky calcite cement			
	Microspar			
	Fibrous cement			
	Syntaxial cement			
	Poikilotropic cement			
	Dolomitization	Dolomicrite		
Fabric retentive dolomitization				
Fabric destructive dolomitization				
Fabric selective dolomitization				
Mixing dolomitization				
Stylolite related dolomitization				
Dolomite recrystallization				
Saddle dolomite				
Anhydrite cementation	Gypsum cementation			
	Intergrain anhydrite cement			
	Intercrystalline anhydrite cement			
	Pore- filling anhydrite cement			
	Poikilotropic anhydrite cement			
	Fabric filling cement			
	Sparse and isolated cement			

### The second sedimentary sequence:

It is located between two discontinuities of the first and second type in the reservoir unit K1. This sequence mainly consists of the facies of the end areas and most of the middle areas of the carbonate platform (Tidal flat to shoal) and includes wackestone to grainstone, and boundstone facies with Limestone lithology and anhydrite layers. The third sedimentary sequence:

It is located between two discontinuities of the second grade (SB2) in the reservoir unit K1. The facies of this section include Mudstone to shoal sediments with Boundstone facies, on the border of K1 reservoir unit, and related to tidal flat to shoal. The lithology of this section includes dolomite, limestone, anhydrite with shale layers (at the border of the K1 reservoir unit to the top of the Kangan Formation).

In Salman field, In the reservoir unit K1, cements, porosity and stylolite are increasing, and at the border of the reservoir unit K1, the variety of calcite cements has decreased. Dolomites are mostly of medium to coarse type and destroy the fabric. In the Lavan field, the Kangan Formation in the K2 reservoir unit contains a variety of calcite cements compared to dolomite and anhydrite cements. In the reservoir unit K1, the variety of dolomite cement has decreased. Dolomites in this part are destructive type, replacement with medium to coarse crystals along with stylolite veins. In both fields, the most dissolutions are Intergranular, Moldic, Vuggy, Intercrystalline and fracture, which have an impact on reservoir quality (Fig. 3).

### Results and Discussion

Reservoir Quality and Relationship with the Sequence Kangan Formation includes two reservoir zones K1 and K2, which are separated by a limestone layer lacking reservoir quality and porosity. These two reservoir zones, in the first to third sequences, include facies related to shoal environment. Despite the cements, porosity and permeability, we see average to good reservoir quality in K1 and K2 reservoir units. (Fig. 4).

The first sedimentary sequence in reservoir unit K2: in Salman field, despite the presence of cements and porosity in the facies of the shoal to lagoon, it has

a good reservoir quality. But in Lavan field, it has a lower reservoir quality due to the lack of porosity in the wackestone to grainstone facies.

The second sedimentary sequence in reservoir unit K1: It includes the high level tract system (first sequence) and the second and third sedimentary sequences. The first sedimentary sequence in this unit in Salman field, has lower reservoir quality, but towards well LN-3, the reservoir quality has increased. The second sedimentary sequence in Salman field includes all kinds of calcite cements and the reservoir quality has decreased. But towards well 3, despite the presence of cements in shoal to lagoon facies, it has a good reservoir quality.

The third sequence in both fields has medium to good reservoir quality. But at the border of Kangan Formation, it lacks reservoir quality due to Aghar shale (Table 2).

### Classification of Lucia

According to Lucia's classification, three petrophysical classes in the Kangan formation have been investigated based on the porosity and permeability in the Persian Gulf basin in relation to the grain size and size of dolomite crystals.

Study of grainstone and peckstone related to the shoal environment in the Lucia diagram indicates the presence of this facies in Lucia class 1 and 2. Such facies have low cement and higher porosity and permeability. The most porosities are related to the grainstone facies in this area and related to the central part of the Persian Gulf, which shows a better reservoir quality in this part. Dolomitization can also have a different effect on porosity and permeability. Dolomitization in the dominant grain facies along with medium to coarse crystal size and absence of anhydrite cement represents the petrophysical class 1 and 2 of Lucia.

According to the studies in Lucia's chart, the most porosities in the Kangan Formation in the studied fields are related to Intragranular, Vuggy, moldic, and fracture porosities, in grainstone and dolograinstone facies in Class 2, and it indicates the highest porosity and permeability (Fig. 5).

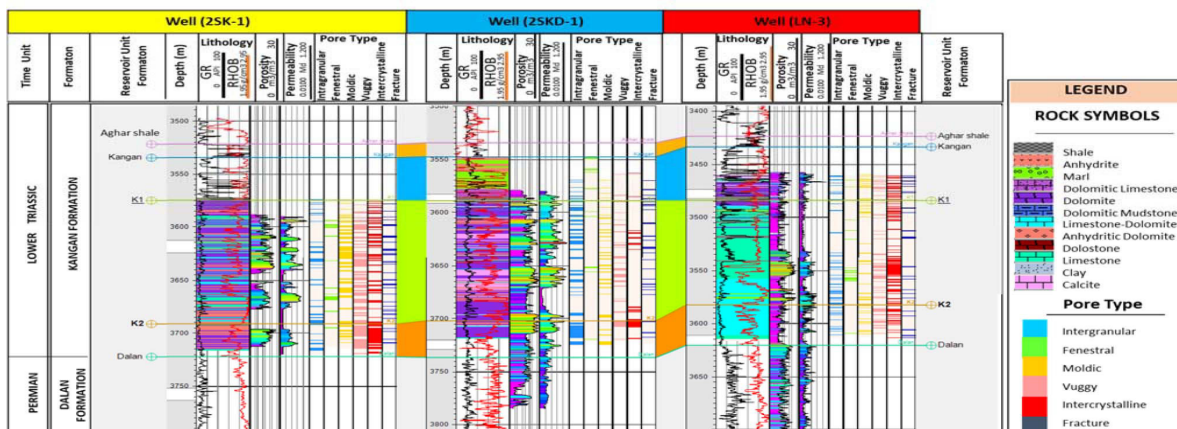


Fig. 3 Types of porosity identified in 2SK-1, 2SKD-1, LN-3.

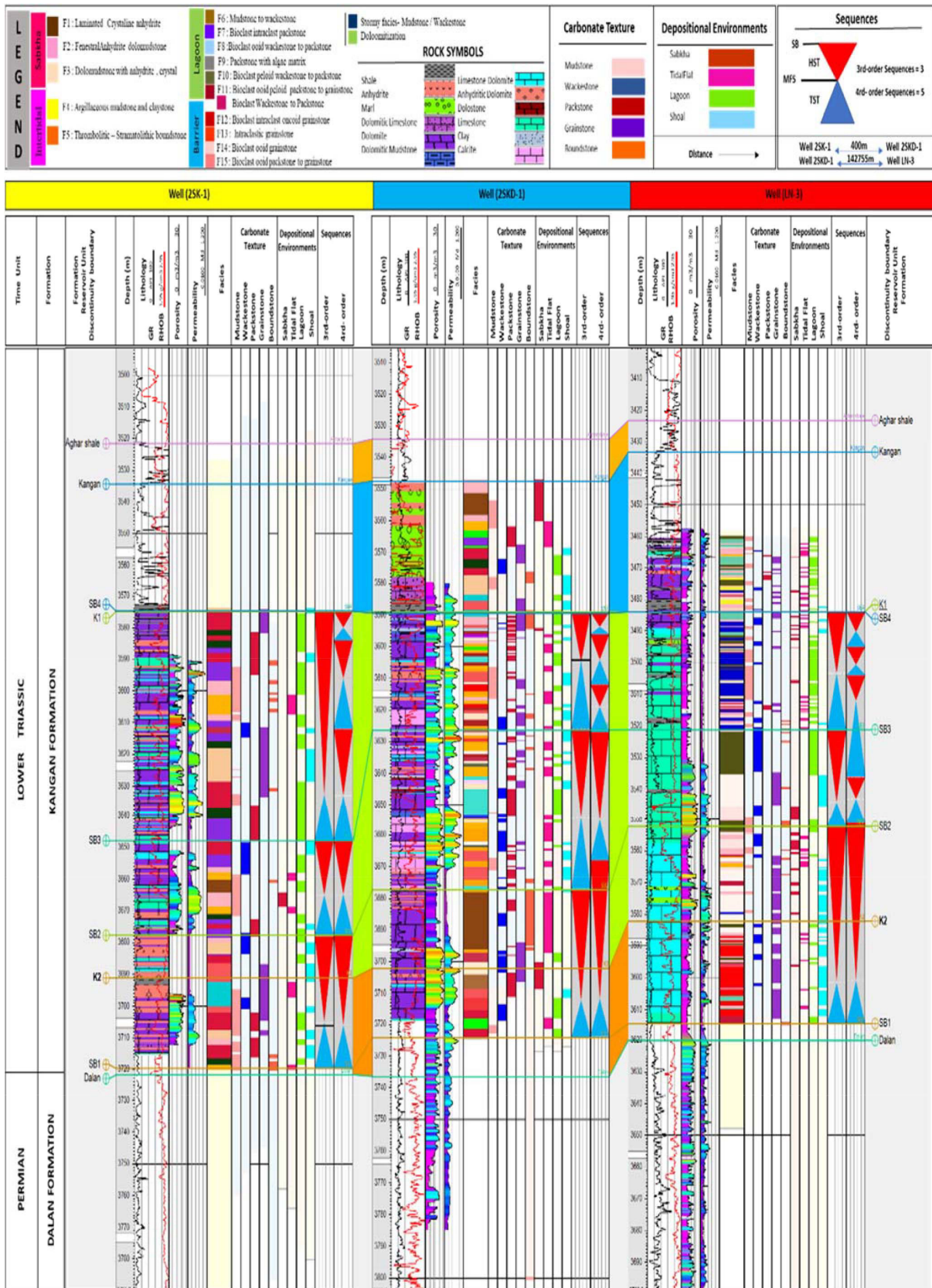


Fig. 4 Sequence stratigraphic diagram in wells 2SK-1, 2SKD-1, LN-3.



**Table 2** Porosity and permeability in the reservoir units and sequence of the third and fourth order of the Kangan Formation in the studied wells.

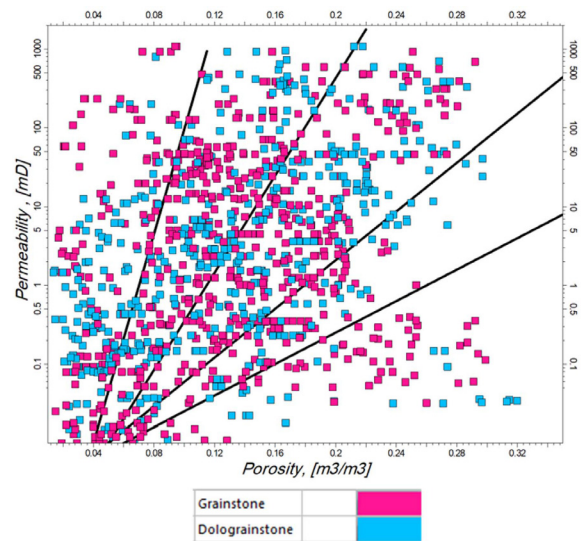
Well	Zone	PHIE
2SK-1	Kangan	0/1001
	K1	0/1082
	K2	0/0920
2SKD-1	Kangan	0/1380
	K1	0/1450
	K2	0/1310
LN-3	Kangan	0/1448
	K1	0/1214
	K2	0/1682

Formation	Well	Sequence Stratigraphy	PHIE
Kangan	2SK-1	KS-1	0/0971
		KS-2	0/11905
		KS-3	0/1103
	2SKD-1	KS-1	0/1131
		KS-2	0/15005
		KS-3	0/1483
	LN-3	KS-1	0/1425
		KS-2	0/1389
		KS-3	0/04885

Formation	Well	Sequence Stratigraphy	PHIE	K
Kangan	2SK-1	KS-7	0/0577	0
		KS-6	0/0775	27.0552
		KS-5	0/0839	76.3892
		KS-4	0/1262	21.2436
		KS-3	0/1044	5.6928
		KS-2	0/0135	13.9780
		KS-1	0/3566	48.7378
	2SKD-1	KS-7	0/0902	42.6694
		KS-6	0/0653	79.4819
		KS-5	0/0875	12.8465
		KS-4	0/0879	25.3005
		KS-3	0/0922	127.154
		KS-2	0/0451	53.8728
		KS-1	0/1083	128.9247
	LN-3	KS-7	0/0333	0.7072
KS-6		0/0302	2.2171	
KS-5		0/018	0.2122	
KS-4		0/0160	7.5016	
KS-3		0/0995	197.706	
KS-2		0/0983	98.0914	
KS-1	0/0749	1.2317		



**Fig. 5** Cross plot of porosity and permeability in grainstone and dolograins facies.

### Conclusions

- 1- The Kangan Formation with Triassic age, including a sequence of limestone, dolomite and anhydrite. Because of the fault and placing the well at the top and crest of building, the thickness of sedimentary units varies in different wells and in different formations.
- 2- The Kangan Formation in these fields includes 15 microfacies related to sabkha to shoal environments and indicated a shallow carbonate ramp.
- 3- In Salman field, the Reservoir zone K1, calcite cement is low, in Lavan field, the Reservoir zone K2, calcite cement has increased. In both fields, the most dissolutions are related to Vuggy, Moldic, intergranular porosity and fracture, which have an impact on reservoir quality.
- 4- The vertical changes of the facies indicate three third-order depositional sequences and five fourth-order depositional sequences in Salman and Lavan fields.
- 5- The known reservoir units in the Kangan Formation in the studied fields include two reservoir zones K1 and K2, which are separated by a limestone layer lacking reservoir quality and porosity.
- 6- Study of porosity and permeability, in Classification of Lucia, Contains Intragranular, Moldic, Vuggy and fracture are in Lucia class 2. The presence of coarse-grained facies along with large dolomite crystals and the absence of anhydrite cement in Lucia Class 1 indicates high porosity and permeability and indicates a good reservoir quality in the Kangan Formation reservoir units.

### References

1. Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., & Kamali, M. R. (2006). Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering, 50(3-4),

- 161-175, doi.org/10.1016/j.petro.2005.12.004.
2. Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., & Monibi, S. (2006). Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture, *GeoArabia*, 11(2), 75-176, doi.org/10.2113/geoarabia110275.
  3. Martin, A. Z. (2001). Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia*, 6(3), 445-504, doi.org/10.2113/geoarabia0603445.