فرایند دولومیتی‌شدن و ارتباط آن با رخساره‌های رسوبی و کیفیت مخزنی سازندهای دالان بالایی و کنگان در ناحیه جنوب خاور خلیج فارس

رحیم کدخدائی ایلخچی[1]*، بیژن نوری[2] و رعنا جدیری آقایی[3]

[1]دکترا، شرکت توسعه انرژی نارگان آمیتیس، تهران، ایران
[2]دکترا، شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران، ایران
[3]کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۴/ ۱۰/ ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: ۲۶/ ۰۱/ ۱۳۹۶

چکیده

سازندهای دالان بالایی و کنگان با سن پرمین پسین- تریاس پیشین به عنوان سنگ‌های مخزن اصلی برخی میادین خلیج فارس شناخته می‌شوند. این سازندها با توالی کربناته- تبخیری، متشکل از رخساره‌های پشته سدی، لاگون و پهنه کشندی هستند که در بخش‌های کم‌ژرفای یک محیط رمپ کربناته و در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک گسترش پیدا کرده‌اند. در این رخساره‌ها، دولومیتی شدن فرایند دیاژنزی متداولی است که از دید چگونگی تشکیل و توزیع و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در این نوشتار مطالعه و بحث شده است. این فرایند با توجه به ویژگی‌های بافتی اولیه و نیز تأثیر فرایندهای انحلال و سیمانی شدن انیدریت، تأثیر متفاوتی بر ویژگی‌های مخزن دارد. بیشتر دولومیت‌ها به‌صورت جانشینی و بخشی ناچیزی نیز به‌صورت سیمان گسترش دارند. دولومیت‌های جانشینی ریزبلور در رخساره‌های گل‌غالب پهنه کشندی، تحت شرایط تبخیر سطحی و تغلیظ آب‌های منفذی طی دیاژنز اولیه شکل گرفته‌اند. در صورتی که دولومیت‌های جانشینی در رخساره‌های دانه‌غالب، به‌صورت حفظ‌کننده و تخریب‌کننده فابریک بر اثر نفوذ شورابه‌های تبخیری طی دیاژنز تدفینی تشکیل شده‌اند. در این رخساره‌ها انیدریت به‌صورت سیمان کومه‌ای و فراگیر گسترش دارد. رخساره‌های دولومیتی با سیمان انیدریت فراگیر، مانند رخساره‌های ریزبلور پهنه کشندی کیفیت مخزنی پایینی دارند. رخساره‌های دولومیتی با سیمان انیدریت کومه‌ای و رخساره‌های با دولومیت جانشینی درشت‌بلور کیفیت مخزنی بالاتری دارند. نتایج نشان می‌دهد که فرایند دولومیتی شدن در صورتی که با ایجاد بلورهای درشت به‌صورت تخریب‌کننده فابریک به‌ویژه درون رخساره‌های دانه غالب همراه بوده، نقش مؤثری در بهبود کیفیت مخزنی داشته است.

کلیدواژه‌ها: دولومیتی شدن، شورابه‌های تبخیری، انیدریت، انحلال، کیفیت مخزنی، سازندهای دالان بالایی و کنگان.

***نویسنده مسئول:** رحیم کدخدائی ایلخچی
E- mail: rahimkadkhodaee2005@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

توالی‌های کربناته- تبخیری سازندهای دالان بالایی و کنگان و معادل آنها خوف در کشورهای هم‌جوار، به عنوان سنگ مخزن کربناته مهمی در خلیج فارس شناخته می‌شوند که در حال حاضر بیش از ۵۰ درصد ذخایر گاز کشف شده در این ناحیه را شامل می‌شوند (Sadooni and Alsharhan, 2004). بنابراین با توجه به اهمیت مخزنی آنها، مطالعات بسیاری روی این سازندها در خلیج فارس به‌ویژه در میدان پارس جنوبی صورت گرفته است (Insalaco et al., 2006; Ehrenberg, 2006; Bordenave, 2008; Moradpour et al., 2008; Rahimpour-Bonab et al., 2010; Tavakoli et al., 2011; Esrafili-Dizaji and Rahimpour-Bonab, 2013; Sfidari et al., 2014; Enayati-Bidgoli et al., 2014; Mehrabi et al., 2016). در این مطالعه نیز سازندهای یاد شده در دو میدان در ناحیه جنوب خاور خلیج فارس (میدان A و B) مورد مطالعه قرار گرفتند (شکل ۱-الف). در چاه مورد مطالعه در میدان A، ستبرای سازند دالان بالایی ۳۰۰/۵۰ متر و سازند کنگان ۱۹۷ متر و در چاه مورد مطالعه در میدان B، ستبرای این سازندها به ترتیب ۲۶۷ متر و ۱۸۵/۶۲ متر است. به لحاظ ویژگی‌های مخزنی، این سازندها به‌ترتیب به واحدهای مخزنی K1 و K2 در سازند کنگان و واحدهای مخزنی K3 و K4 در سازند دالان بالایی تفکیک می‌شوند (شکل ۱- ب). در طول زمان زمین‌شناسی، فرایندهای دیاژنزی مختلفی، ویژگی‌های بافتی و مخزنی این سازندها را متأثر ساخته‌اند. از جمله مهم‌ترین این فرایندها می‌توان تراکم، سیمانی شدن، انحلال و دولومیتی شدن را نام برد که این مطالعه روی فرایند دولومیتی‌شدن و چگونگی گسترش و توزیع آن درون مخزن و نیز تأثیر آن بر کیفیت مخزنی انجام شده است. دولومیتی شدن با توجه به فابریک و بافت اولیه رخساره‌های آهکی، محیط رسوبی و سازوکار دولومیتی شدن می‌تواند سبب افزایش، کاهش و یا حفظ تخلخل مخازن آهکی شود (Warren, 2000; Wang et al., 2015). در رخساره‌های کربناته سازندهای دالان بالایی و کنگان، فرایند دولومیتی شدن در کنار گسترش انیدریت، فرایند دیاژنزی معمولی است که بیشتر در ارتباط با نفوذ و تأثیر شورابه‌های تبخیری رخ داده است. به‌طوری که در بیشتر رخساره‌های دولومیتی شده مخزن، تبخیری‌ها (ژیپس و انیدریت) حضور و گسترش دارند (کدخدائی ایلخچی و همکاران، ۱۳۹۰). همراهی دولومیت با انیدریت و ژیپس بیانگر فراوانی سولفات در سیال‌های دولومیت‌ساز است (Warren, 2000; Machel, 2004). این فرایند هم به‌صورت جانشینی و هم سیمان، طی مراحل دیاژنز اولیه تا تدفینی، انواع رخساره‌های مخزن را متأثر ساخته است. دولومیتی شدن در رخساره‌های مخزن اگر چه به عنوان یک فرایند دیاژنزی شناخته می‌شود؛ اما این فرایند از دو جنبه ارتباط آن با بافت و محیط رسوبی و نفوذ سیال‌های دیاژنزی قابل بحث و بررسی است که بر این اساس می‌توان تأثیر آن بر کیفیت مخزنی رخساره‌های مخزن را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در واقع هدف از این مطالعه، بررسی انواع دولومیت‌های مخزن از دیدگاه دیاژنزی و چگونگی تشکیل و ارتباط آنها با بافت و محیط رسوبی رخساره‌های مخزن است که از نتایج آن می‌توان در بررسی ویژگی‌های مخزنی استفاده کرد.

۲- داده‌ها و روش مطالعه

در این پژوهش، ۱۸۰۰ مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از پلاگ مغزه مربوط به دو چاه از میادین مورد مطالعه (A و B) بررسی شدند. بر این اساس، رخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی سازندهای دالان بالایی و کنگان مورد مطالعه قرار گرفتند. به منظور تشخیص کلسیت از دولومیت، مقاطع نازک، به‌طور بخشی با محلول آلیزارین رنگ‌آمیزی شدند. مطالعه و توصیف رخساره‌های مخزن بر پایه رده‌بندی Dunham (1962) و تفسیر محیط رسوبی آنها با توجه به مشخصه‌های بافتی، فسیل‌شناسی و نیز رخساره‌های همراه صورت گرفته است. در مطالعات میکروسکوپی،

در کنار مشخصه‌های بافتی، عوارض دیاژنزی مانند توزیع دولومیت، بافت‌های انیدریت و انحلال درون رخساره‌های مخزن بررسی شدند. در بررسی ویژگی‌های مخزنی، از داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه و نیز لاگ‌های پتروفیزیکی مربوط به یک چاه استفاده شد.

۳- مشخصه‌های رخساره، محیط رسوبی و عوارض دیاژنزی سازندهای دالان بالایی و کنگان

بر پایه مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی در دو چاه میدان، رخساره‌های میکروسکوپی سازندهای مورد مطالعه در قالب ۷ رخساره اصلی میکروسکوپی شناسایی و توصیف شدند (جدول۱). این رخساره‌ها شامل رخساره‌های دانه‌غالب گرینستون و پکستون و رخساره‌های گل‌غالب وکستون و مادستون و رخساره باندستون استروماتولیتی هستند که همراه با میان‌لایه‌های تبخیری (انیدریت) درون توالی مخزن گسترش دارند. اجزای تشکیل‌دهنده این رخساره‌ها شامل انواع آلوکم‌های غیراسکلتی (اُاُاید، پلویید، اینتراکلست) و اسکلتی (گاستروپود، دوکفه‌ای، جلبک، میلیولید) هستند که با توجه به مشخصه‌های بافتی و رسوبی و رخساره‌های همراه بر پایه نتایج این مطالعه و نیز مطالعات پیشین در میدان‌های مجاور (برای نمونه کدخدایی ایلخچی، ۱۳۸۶)، در بخش‌های کم‌ژرفای یک محیط رمپ کربناته (رمپ داخلی) در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک ته‌نشین شده‌اند. انواع رخساره‌های کربناته در این محیط، در ارتباط با زیرمحیط‌های پشته‌های سدی (رخساره گرینستون تا پکستون اُاُایدی- اسکلتی)، لاگون (رخساره پکستون تا وکستون پلوییدی- اسکلتی) و پهنه کشندی (رخساره‌های استروماتولیت، مادستون و میان‌لایه‌های تبخیری) گسترش یافته‌اند. نمودار ستونی فراوانی انواع رخساره‌های میکروسکوپی برای واحدهای مختلف مخزنی در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۳ نیز ستون سنگ‌شناسی و توالی رخساره‌های شناسایی شده برای دو سازند دالان بالایی و کنگان در چاه‌های مربوط به میدان‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است؛ بیشتر توالی مخزن در چاه‌های مورد مطالعه، از دولومیت و آهک دولومیتی تشکیل شده است.

بررسی فرایندهای دیاژنزی نشان می‌دهد که رخساره‌های کربناته در سازندهای دالان بالایی و کنگان، تحت تأثیر فرایندهای مختلف دیاژنزی از زمان ته‌نشین‌شدن تا تدفین کم‌ژرفا و ژرف قرار گرفته‌اند. این فرایندها شامل میکرایتی شدن، سیمانی شدن، تراکم فیزیکی و شیمیایی، انحلال، دولومیتی شدن، گسترش انیدریت و شکستگی هستند. گسترش این فرایندها درون مخزن با توجه به مشخصه‌های بافتی و محیط رسوبی اولیه رخساره‌ها متفاوت بوده و تأثیر آنها بر ویژگی‌های مخزنی با توجه به نوع فرایند و گستردگی آن درون مخزن با تغییرات کمی (کاهش یا افزایش) و کیفی (تغییر نوع منافذ) در سامانه منافذ رخساره‌های مخزنی همراه بوده است. در این مطالعه با توجه به اهمیت و ارتباط تنگاتنگ میان دو فرایند دولومیتی شدن و گسترش انیدریت در سازندهای مورد مطالعه، به بررسی چگونگی گسترش آنها درون مخزن و نیز ارتباط آنها با کیفیت مخزنی پرداخته می‌شود.

۴- فرایند دولومیتی شدن درون مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان

دولومیتی‌شدن در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان با توجه به منشأ سیال‌های دولومیت‌ساز و نوع رخساره‌های رسوبی دارای مشخصه‌های متفاوتی از دید بافت و چگونگی توزیع آن درون رخساره‌های مخزن است که در بخش زیر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱. فرایند دولومیتی شدن در ارتباط با سیال‌های منفذی مرتبط با محیط رسوبی

بخشی از دولومیت‌های سازندهای مخزنی دالان بالایی و کنگان تحت تأثیر شرایط تبخیر محیطی و سیال‌های منفذی به‌ویژه در پهنه کشندی به‌صورت جانشینی تشکیل شده‌اند. این دولومیت‌ها که رخساره‌های مادستونی محیط میان‌کشندی و فراکشندی و نیز رخساره‌های وکستون و پکستونی شورابه‌های لاگونی را متأثر ساخته‌اند بیشتر ریزبلور (کوچک‌تر از ۲۰ میکرون) و با بافت یکنواخت هستند (شکل ۴). این دولومیت‌ها که در واقع طی مراحل اولیه دیاژنز تشکیل شده‌اند؛ با گذشت زمان و طی تدفین تمایل به تبلور دوباره دارند. در این محیط‌ها تحت تأثیر تبخیر محیطی و افزایش غلظت سیال‌های منفذی، دولومیتی شدن همراه با جانشینی منیزیم حاصل از آب دریا به جای کلسیم کربنات‌ها صورت می‌پذیرد. کلسیم آزاد شده نیز با سولفات سیال‌های تغلیظ شده واکنش می‌دهد و به‌صورت سولفات کلسیم (ژیپس و انیدریت) درون کربنات‌ها ته‌نشین می‌شود (Leary and Vogt, 1986; Machel, 1986; Fu et al., 2006; Warren, 2006; Amel et al., 2015). از این رو همراه با کربنات‌های دولومیتی شده (دولومادستون) این محیط‌ها، انواع بافت‌های تبخیری مرتبط با محیط رسوبی و سیال‌های منفذی به‌صورت بلورهای پراکنده در متن ماتریکس و گرهک‌های انیدریت دیده می‌شود (شکل ۴- الف تا ت). حضور و همراهی گرهک‌های انیدریت همراه با دولومیت‌های ریزبلور در این محیط‌ها نشان از تشکیل آنها طی مراحل اولیه دیاژنز دارد (Rahimpour-Bonab et al., 2009). در واقع تشکیل و گسترش این گرهک‌ها از شورابه‌های منفذی طی دیاژنز اولیه همزمان با دولومیتی‌شدن رخ داده است. همچنین در این محیط‌ها، بلورهای تبخیری به‌صورت پرکننده حفرات فنسترال درون ساختارهای جلبکی هستند (شکل ۴- ث). در شورابه‌های لاگونی نیز همزمان با دولومیتی شدن زمینه و اجزای کربناته، ته‌نشینی گسترده انیدریت به‌صورت جانشینی و پرکننده منافذ رخ داده است (شکل ۴- ج).

۴- ۲. فرایند دولومیتی شدن در ارتباط با نفوذ سیال‌های دیاژنزی

سیال‌های دیاژنزی که از حرکت و نفوذ شورابه‌های حاصل از انحلال لایه‌های تبخیری منشأ گرفته‌اند؛ برخلاف سیال‌های منفذی پهنه کشندی، طی مراحل بعدی دیاژنز، انواع رخساره‌های مخزن را متأثر ساخته‌اند. این سیال‌ها غنی از یون‌های سولفات و منیزیم هستند و رخساره‌های دولومیتی شده متأثر از آنها همراه با گسترش بافت‌های تبخیری درشت‌بلور به‌صورت سیمان و جانشینی هستند که به‌طوربخشی تا گسترده درون این رخساره‌ها شکل گرفته‌اند (Jones and Xiao, 2005). در این حالت یون منیزیم مورد نیاز برای فرایند دولومیتی شدن می‌تواند از خارج سیستم و همراه سیال دولومیت‌ساز (شورابه تبخیری) حاصل از انحلال لایه‌های تبخیری فراهم شود و یا از درون سامانه (سنگ میزبان) در ارتباط با اجزای آهکی با کانی‌شناسی کلسیت دارای منیزیم بالا تأمین شده باشد. اما تعیین دقیق منشأ منیزیم، نیازمند برخی مطالعات و تجزیه‌های ژئوشیمیایی است. در ادامه به توصیف انواع دولومیت‌های مرتبط با این سیال‌ها پرداخته می‌شود.

– **دولومیت‌های جانشینی:** دولومیت‌های جانشینی بیشتر اجزای کربناته رخساره‌های دانه‌غالب گرینستونی و پکستونی مرتبط با پشته‌های سدی تا محیط لاگون را متأثر ساخته‌اند. این دولومیت‌ها تحت تأثیر شرایط محیطی و نیز نوع رخساره‌ها، به دو صورت حفظ کننده و تخریب کننده فابریک درون مخزن رفتار کرده‌اند.

• **دولومیتی شدن به‌صورت جانشینی همراه با حفظ فابریک اولیه:** دولومیت‌های جانشینی به‌صورت حفظ کننده فابریک، بخش مهمی از رخساره‌های دانه‌پشتیبان مخزن را متأثر ساخته‌اند. منافذ میان‌دانه‌ای موجود در این رخساره‌ها پیش از تدفین ژرف و تراکم و سیمانی شدن، امکان نفوذ شورابه‌های تبخیری و دولومیتی شدن اجزای آهکی را در آنها فراهم آورده است. به نظر می‌رسد که در این رخساره‌ها نیز گسترش انیدریت به‌صورت سیمان پرکننده منافذ و نیز جانشینی، همزمان با تبادل یون‌های کلسیم و منیزیم و در پی آن دولومیتی شدن رخ داده باشد. دولومیت‌های جانشینی که از فابریک اولیه رخساره‌ها پیروی می‌کنند و از شکل اولیه اجزای کربناته تجاوز نمی‌کنند؛ نسبت به دولومیت‌های پهنه کشندی درشت‌بلورتر هستند (شکل‌های ۵- الف و ب). تبخیری‌های همراه با این رخساره‌ها یا به‌صورت فراگیر همه منافذ را متأثر ساخته‌اند یا به‌صورت محلی و کومه‌های پراکنده در بخش‌هایی از آنها گسترش دارند. در مواردی نیز این تبخیری‌ها تا حد قابل توجهی، از فرایند انحلال بعدی متأثر شده‌اند.

• **دولومیتی شدن به‌صورت جانشینی همراه با تخریب فابریک اولیه:** این نوع

دولومیتی‌شدن که به‌صورت جانشینی اجزای کربناته و همراه با تخریب فابریک اولیه رخساره‌های دانه‌پشتیبان است به تشکیل بلورهای درشت (بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرون) با تخلخل میان‌بلوری خوب در آنها انجامیده است. در واقع تبلور دوباره بلورهای جانشینی پیشین طی تدفین، عامل رشد و گسترش بلورهای بزرگ در این رخساره‌ها بوده است (Melim and Scholle, 2002). تخلخل میان بلورهای درشت در این رخساره‌ها در مواردی که همراه با یک فرایند انحلال نیز بوده؛ نقش مهمی در افزایش کیفیت مخزنی آنها داشته است (شکل‌های ۵- پ و ت). اما در مواردی نیز این تخلخل توسط سیمان انیدریت دفنی از بین رفته است (شکل‌های ۵- ث و ج).

– **سیمان دولومیتی:** سیمان‌های دولومیتی درون مخزن به گستردگی دولومیت‌های جانشینی نیستند و به‌صورت پرکننده حفرات (متوسط تا درشت بلور)، سیمان دولومیت زین اسبی و در امتداد استیلولیت گسترش دارند. این سیمان‌ها مانند سیمان‌های انیدریت و کلسیت نقش مؤثری در کاهش کیفیت مخزنی نداشته‌اند.

• **سیمان دولومیت پرکننده منافذ و حفرات:** این سیمان با بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در اندازه متوسط تا درشت مشخص می‌شود که به‌صورت بخشی تا کامل فضای درون منافذ و حفرات رخساره‌ها را پر کرده است (شکل‌های ۶- الف و ب). در واقع این رخساره‌ها بیشتر به‌صورت آهکی هستند و سیمان دولومیتی در آنها تحت تأثیر سیال‌های دولومیتی کننده، طی دیاژنز تدفینی شکل گرفته است. اگر چه منشأ سیال‌های دولومیتی کننده در این رخساره‌ها می‌تواند مستقل از شورابه‌های تبخیری باشد؛ اما حضور بلورهای پراکنده تبخیری در برخی از آنها، نشان از تأثیر این شورابه‌ها در فرایند دولومیتی شدن دارد.

• **سیمان دولومیت زین‌اسبی:** سیمان دولومیت زین اسبی، نوع خاصی از سیمان دولومیت تدفینی است که با اندازه بلورهای درشت، سطوح بلوری منحنی و خاموشی موجی درون حفرات مشخص می‌شود (شکل‌های ۶- پ و ت). این نوع سیمان اگر چه به عنوان پرکننده منافذ و حفرات درون مخزن بوده؛ اما فراوانی و اهمیت کمتری نسبت به دیگر سیمان‌های دولومیتی داشته است.

• **سیمان دولومیت در امتداد استیلولیت:** بخشی از سیمان دولومیتی به‌صورت بلورهای ریز تا متوسط در امتداد استیلولیت دیده می‌شود که بیانگر تشکیل آن طی دیاژنز تدفینی است (شکل‌های ۶- ث و ج). در این نوع دولومیتی شدن، استیلولیت می‌تواند به عنوان مجرایی برای عبور سیال‌های دولومیتی کننده رفتار کرده باشد. این نوع دولومیت‌ها فراوانی کمی درون مخزن دارند.

۵– دولومیتی شدن و ارتباط آن با کیفیت مخزنی

فرایند دولومیتی شدن هم به‌صورت جانشینی و هم سیمان می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کیفیت مخزنی رخساره‌های مخزن داشته باشد. اما تأثیر این فرایند در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان با توجه به ویژگی‌های بافتی رخساره‌های مخزن، منشأ و نوع دولومیت‌ها و نیز تأثیر برخی فرایندهای دیاژنزی مانند سیمانی شدن انیدریت و انحلال می‌تواند متفاوت، متغیر و حتی غیر قابل پیش‌بینی باشد. به منظور بررسی تأثیر فرایند دولومیتی شدن بر کیفیت مخزنی، توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی برای انواع رخساره‌های دولومیتی درون مخزن، روی نمودارهای شکل ۷ نشان داده شده است. جدول ۲ نیز مقادیر کمی لاگ را برای انواع این رخساره‌ها نشان می‌دهد. در ادامه به تفسیر ویژگی‌های مخزنی انواع این رخساره‌ها پرداخته می‌شود.

۵– ۱. رخساره‌های با دولومیت جانشینی ریزبلور مرتبط با پهنه کشندی

این رخساره‌ها بیشتر در ارتباط با دولومادستون‌ها و دولووکستون‌های پهنه کشندی هستند. در این رخساره‌ها کیفیت مخزنی تحت تأثیر بافت اولیه رخساره‌ها و نیز اندازه بلورهای دولومیت (کوچک‌تر از ۲۰ میکرون) پایین است (شکل‌های ۷- A و ۸- الف و جدول ۲). این رخساره‌ها بیشتر رخساره‌های دولومیتی درون واحد مخزنی K1 را تشکیل می‌دهند.

۵– ۲. رخساره‌های با دولومیت جانشینی به‌صورت حفظ کننده فابریک

دولومیت‌های جانشینی ریز تا متوسط‌بلور به‌صورت حفظ‌کننده فابریک، از دید کیفیت مخزنی، دو دسته متفاوت از رخساره‌های به‌طور چیره دانه‌غالب مخزن را شامل می‌شوند. دسته‌ای از این رخساره‌های دولومیتی به دلیل گسترش سیمان انیدریت فراگیر در آنها کیفیت مخزنی پایینی دارند و از این نظر شبیه به رخساره‌های دولومیتی ریزبلور پهنه کشندی هستند. بنابراین این رخساره‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی پایین مشخص می‌شوند (شکل‌های ۷- B و ۸- ب). در برخی از این رخساره‌ها گسترش تخلخل به‌صورت مجزا، در ارتباط با فرایند انحلال صورت گرفته است. این رخساره‌ها با مقادیر لاگ تخلخل و صوتی پایین و لاگ چگالی بالاتری نسبت به دیگر انواع رخساره‌های دولومیتی درون مخزن مشخص می‌شوند (جدول ۲). این رخساره‌ها بیشتر درون واحد مخزنی K3 گسترش دارند. در برابر آن، دسته دیگری از رخساره‌های دولومیتی که با سیمان انیدریت پراکنده و کومه‌ای همراه هستند؛ کیفیت مخزنی بالاتری دارند (شکل‌های ۷- C و ۸- پ). حضور سیمان انیدریت کومه‌ای، یک عارضه معمول در بسیاری از مخازن کربناته است (Nurmi et al., 1990). این رخساره‌ها در همه واحدهای مخزنی به‌ویژه واحد مخزنی K2 گسترش دارند. در این رخساره‌ها، بخشی از سامانه منافذ به‌صورت اولیه باقی مانده است؛ اما تخلخل در آنها بیشتر از نوع تخلخل‌های انحلالی مجزاست. همچنین در برخی از این رخساره‌ها که در واقع به‌طور بخشی دولومیتی شده‌اند؛ سیمان کلسیتی پر کننده منافذ نقش مهمی در کاهش کیفیت مخزنی آنها داشته است.

۵– ۳. رخساره‌های با دولومیت جانشینی به‌صورت تخریب‌کننده فابریک

این رخساره‌ها چنانچه از نمودار شکل ۷- D مشخص است؛ کیفیت مخزنی بالاتری نسبت به دیگر انواع رخساره‌های دولومیتی مخزن دارند. این نوع دولومیت‌ها که به‌صورت درشت تا متوسط‌بلور هستند؛ بیشتر رخساره‌های دانه‌غالب گرینستونی و پکستونی واحد مخزنی K2 را متأثر ساخته‌اند (شکل ۸- ت). در این رخساره‌ها حضور تخلخل‌های میان‌بلوری به هم مرتبط در کنار حفرات انحلالی، عامل مهمی در بالا بودن مقادیر تخلخل و تراوایی آنهاست. همچنین بر پایه داده لاگ‌های چاه‌پیمایی، این رخساره‌ها با مقادیر لاگ صوتی و نوترون بالاتر و لاگ چگالی و گامای کمتری نسبت به دیگر انواع رخساره‌های دولومیتی مشخص می‌شوند (جدول ۲).

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فرایند دولومیتی شدن و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی، ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های بافتی اولیه رخساره‌های مخزن و نیز تأثیر فرایندهای دیاژنزی بعدی مانند سیمانی شدن انیدریت و انحلال دارد. چنانچه این فرایند تنها در رخساره‌های دانه‌غالب پکستونی و گرینستونی که همراه با گسترش دولومیت‌های بیشتر درشت‌بلور به‌صورت تخریب‌کننده فابریک بوده؛ نقش موثری در بهبود و افزایش کیفیت مخزنی داشته است. دولومیت‌های جانشینی ریز تا متوسط‌بلور به‌صورت حفظ‌کننده فابریک در رخساره‌های دانه‌غالب پکستونی و گرینستونی و نیز دولومیت‌های ریزبلور مرتبط با رخساره‌های دولومادستونی در پهنه کشندی تأثیر محسوسی بر کیفیت مخزنی نداشته‌اند. در رخساره‌های مرتبط با این نوع دولومیت‌ها، کیفیت مخزنی بیشتر تحت کنترل ویژگی‌های بافتی اولیه و نیز تأثیر فرایندهای دیاژنزی دیگری مانند انحلال و سیمانی شدن انیدریت بوده است. شکل ۹ به‌طور خلاصه، فرایند تشکیل انواع دولومیت‌های جانشینی و ارتباط آنها با کیفیت مخزنی مخازن دالان بالایی و کنگان را نشان می‌دهد.

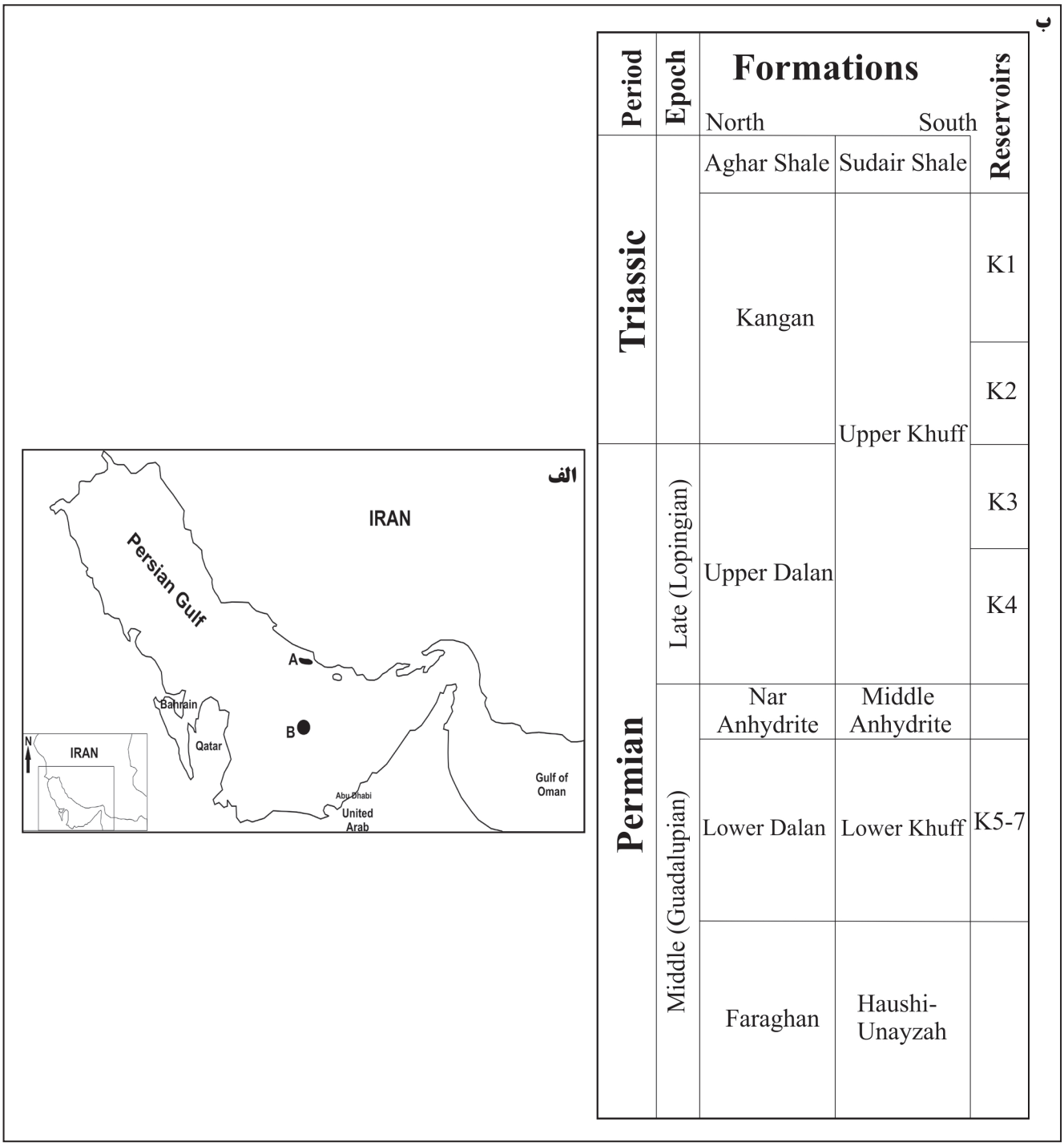
۶– نتیجه‌گیری

سازندهای دالان بالایی و کنگان به عنوان سنگ مخزن کربناته مهمی در برخی میادین خلیج فارس به شمار می‌روند. رخساره‌های کربناته در این سازندها در بخش‌های کم‌ژرفای یک محیط رمپ کربناته و بیشتر در ارتباط با پشته‌های سدی، لاگون و پهنه کشندی تحت شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک گسترش یافته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که فرایند دولومیتی شدن به عنوان یک فرایند مهم و معمول دیاژنزی، به‌طور چیره به‌صورت جانشینی در مخزن رفتار کرده است که ارتباط نزدیکی با شرایط محیط رسوبی اولیه و نیز تأثیر شورابه‌های تبخیری طی مراحل مختلف دیاژنز بر رخساره‌های مخزن دارد. بیشتر دولومیت‌های جانشینی به‌صورت حفظ کننده فابریک

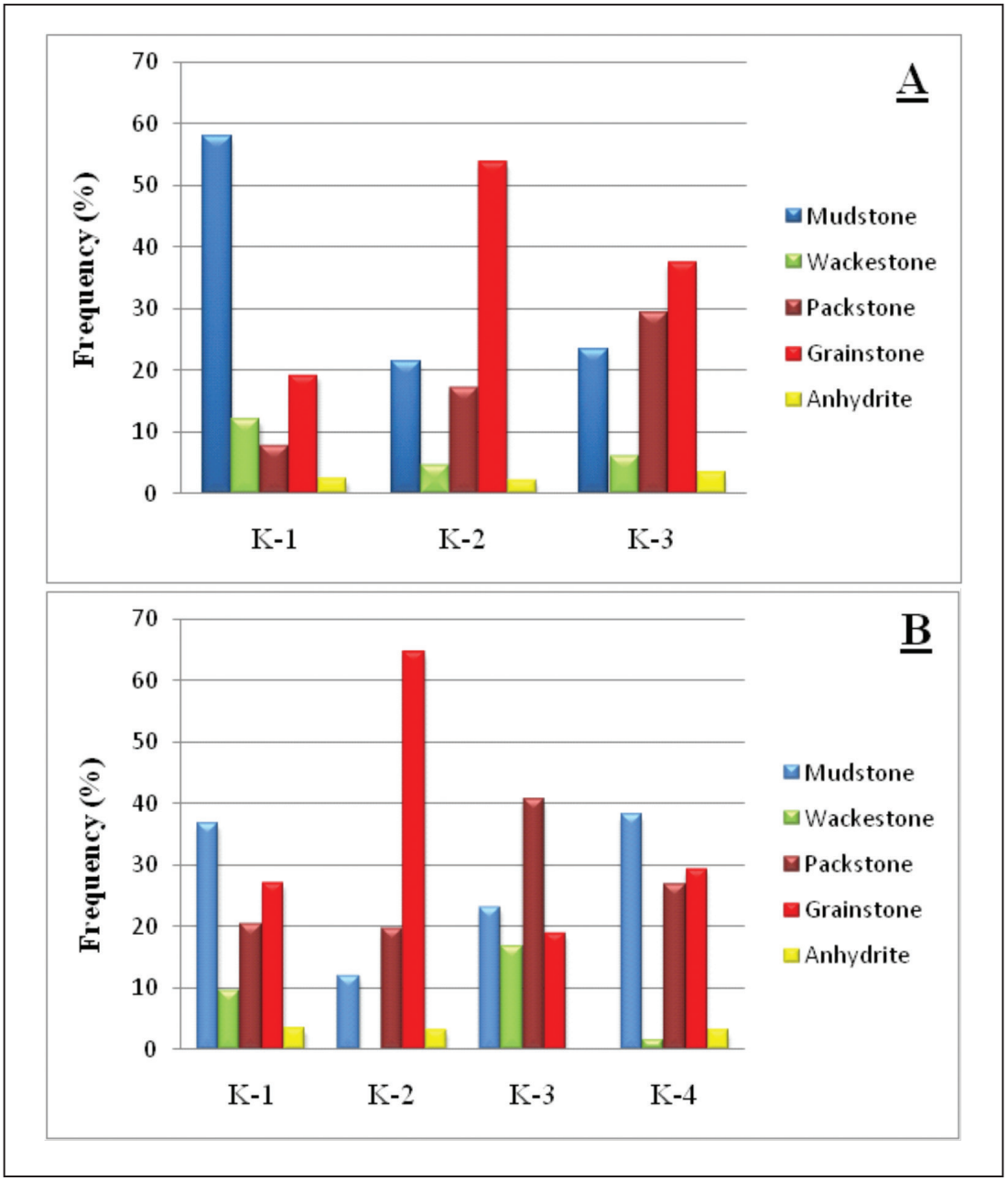
همراه با گسترش بلورهای تبخیری به صورت بافت‌ها و شکل‌های مختلف هستند. چنانچه دولومیت‌های جانشینی ریزبلور پهنه کشندی به همراه گرهک‌ها و بلورهای تبخیری پراکنده طی مراحل اولیه دیاژنز شکل گرفته‌اند. در برابر آن، دولومیت‌های متأثر از نفوذ شورابه‌های تبخیری با گسترش سیمان تبخیری به‌صورت کومه‌ای و فراگیر بیشتر در رخساره‌های دانه‌غالب گرینستونی و پکستونی همراه بوده‌اند. در مواردی که دولومیت‌های جانشینی بر اثر تبلور دوباره طی تدفین به‌صورت تخریب کننده فابریک به‌ویژه در رخساره‌های دانه‌غالب رفتار کرده‌اند؛ نقش مهمی در بهبود کیفیت مخزنی داشته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که فرایند دولومیتی شدن و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی، ارتباط نزدیکی با نوع رخساره‌های مخزن و تأثیر برخی فرایندهای دیاژنزی مانند سیمانی شدن انیدریت و انحلال دارد.

سپاسگزاری

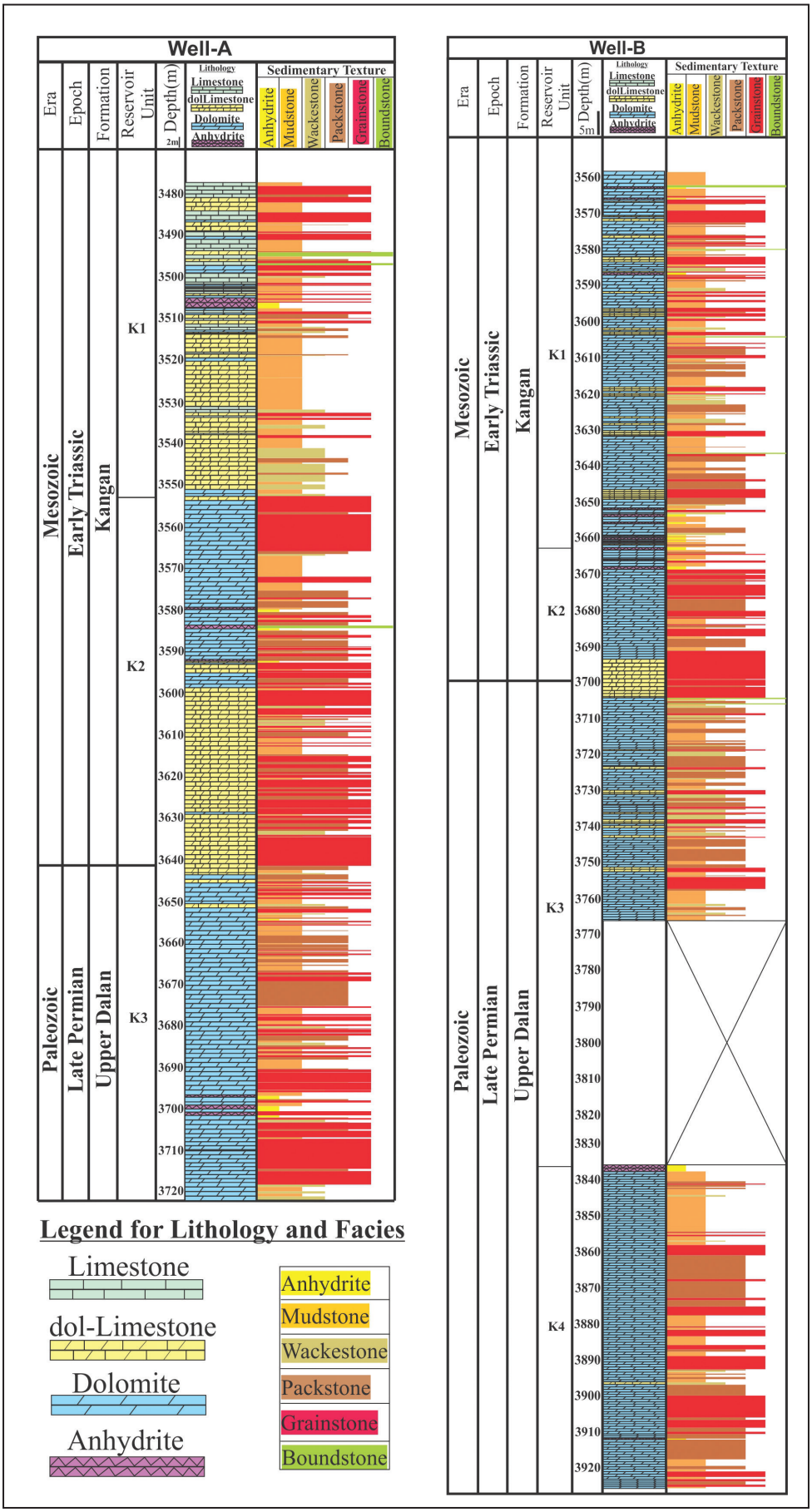
از واحد پژوهش و فناوری و اداره زمین‌شناسی شرکت نفت فلات قاره ایران، برای همکاری و کمک‌های لازم در فراهم کردن داده‌های مغزه، لاگ‌های چاه‌پیمایی و مقاطع نازک میکروسکوپی و نیز حمایت آنها در انجام این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.



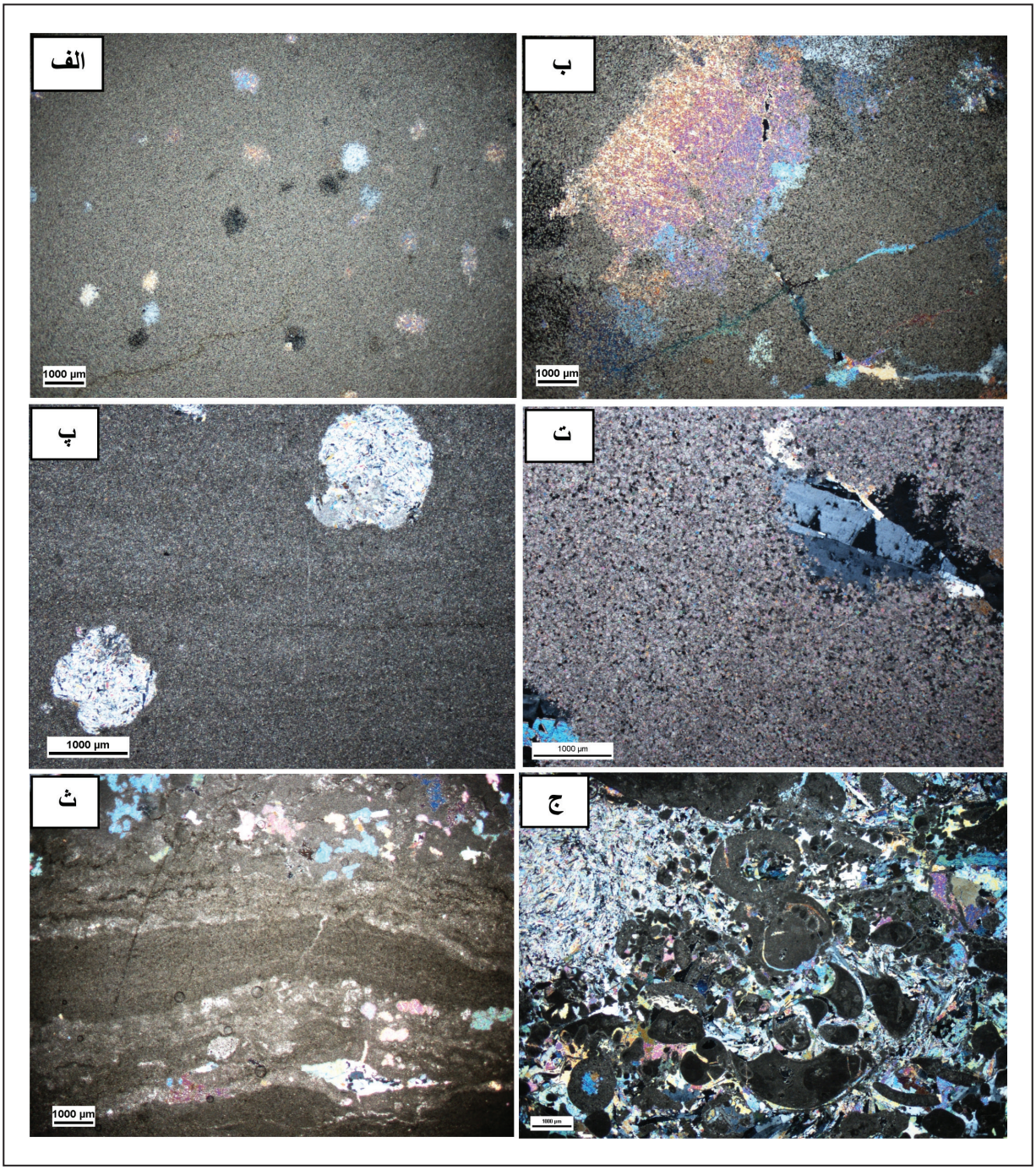
شکل ۱- الف) موقعیت دو میدان مورد مطالعه (A و B) در ناحیه جنوب خاور خلیج فارس؛ ب) ستون چینه‌شناسی سازندهای دالان و کنگان و معادل آنها (خوف) به همراه واحدهای مخزنی آنها (با تغییرات از Insalaco et al., 2006).



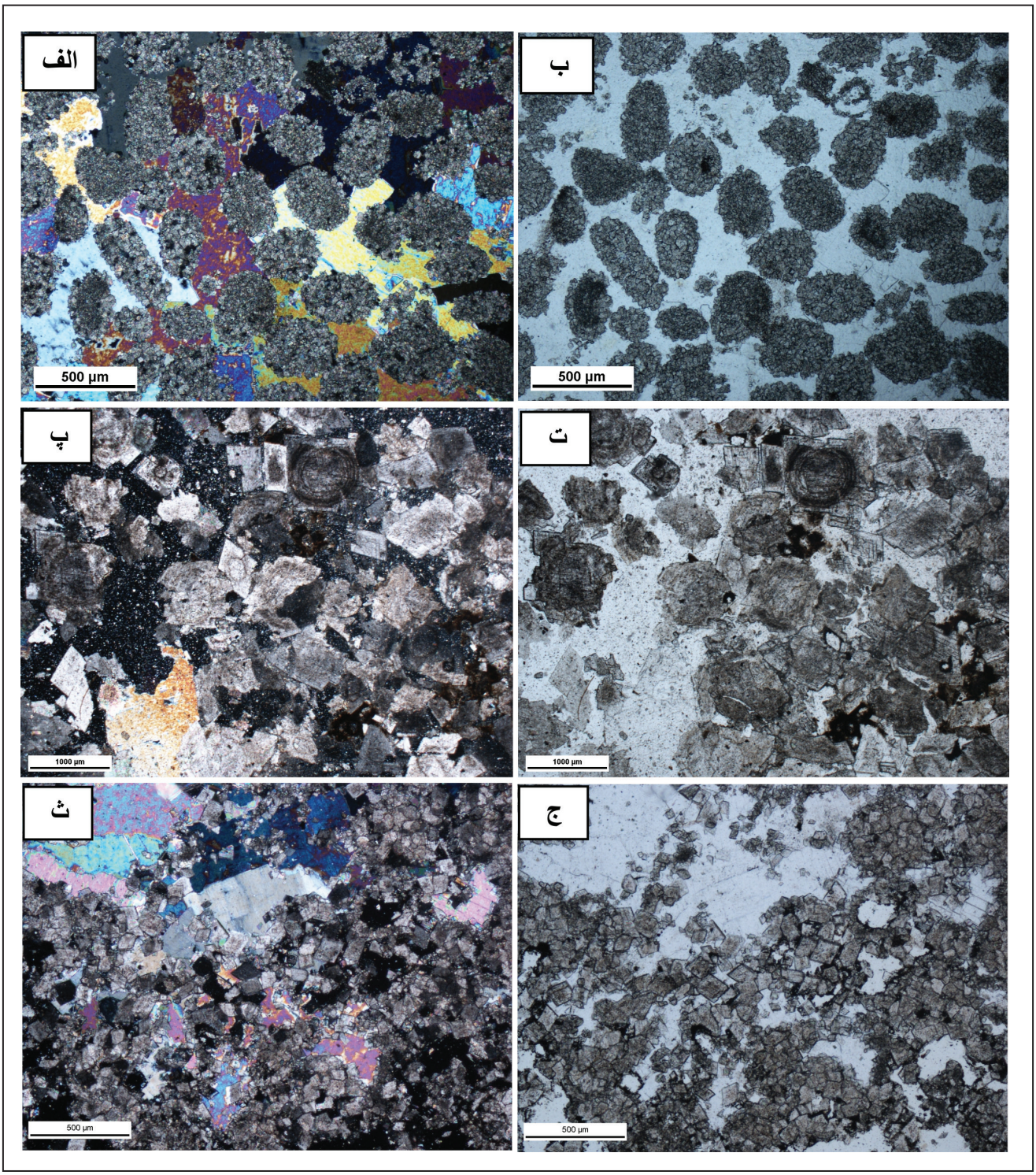
شکل ۲- نمودار ستونی فراوانی انواع رخساره‌های کربناته برای واحدهای مختلف مخزنی در میدان‌های مورد مطالعه (A و B).



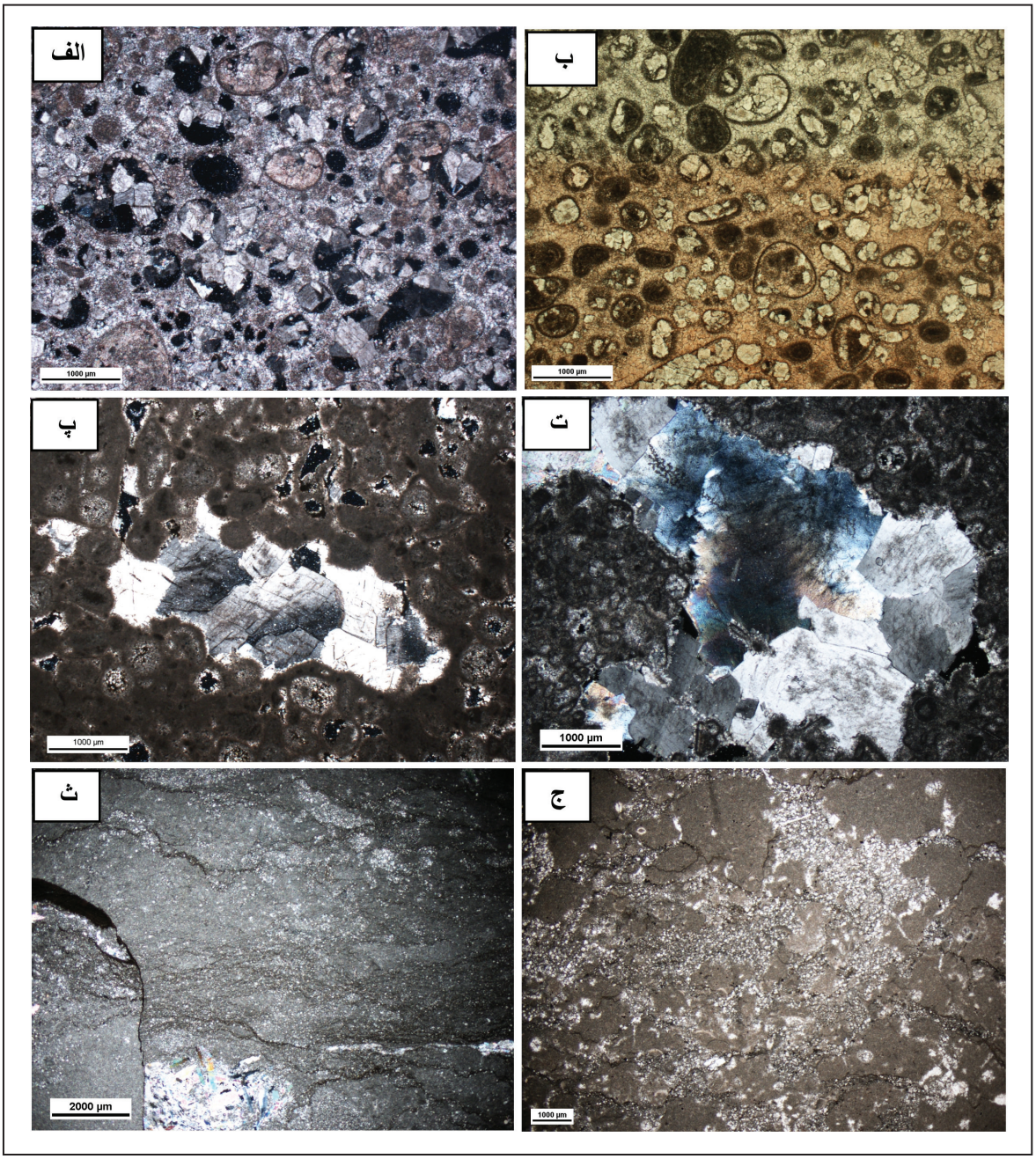
شکل ۳- توالی سنگ‌شناسی و رخساره‌ای سازندهای دالان بالایی و کنگان در چاه‌های مربوط به میدان‌های مورد مطالعه.



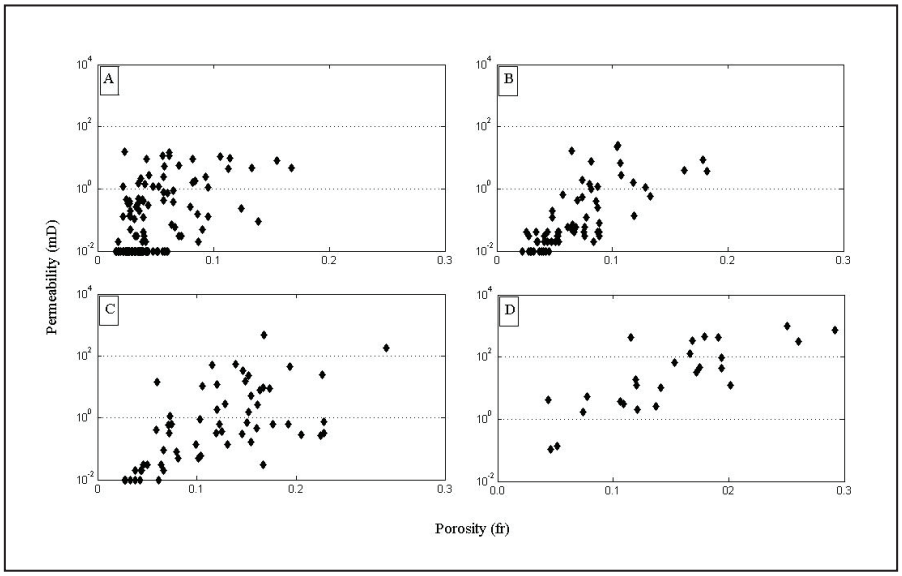
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از انواع رخساره‌های دولومیتی شده در ارتباط با سیال‌های منفذی محیط پهنه کشندی. الف) دولومادستون با بلورهای ریز دولومیت و بلورهای پراکنده تبخیری؛ ب) دولومادستون ریزبلور با انیدریت درشت‌بلور به‌صورت جانشینی ماتریکس؛ پ) دولومادستون ریزبلور با گرهک‌های انیدریت؛ ت) دولومادستون با بلورهای ریز تا متوسط با بلور تبخیری درشت به‌صورت جانشینی ماتریکس؛ ث) رخساره باندستون استروماتولیتی با حفرات فنسترال پر شده با سیمان انیدریت؛ ج) رخساره مرتبط با شورابه لاگون با جانشینی انیدریت به‌صورت فراگیر و گرهک انیدریت.



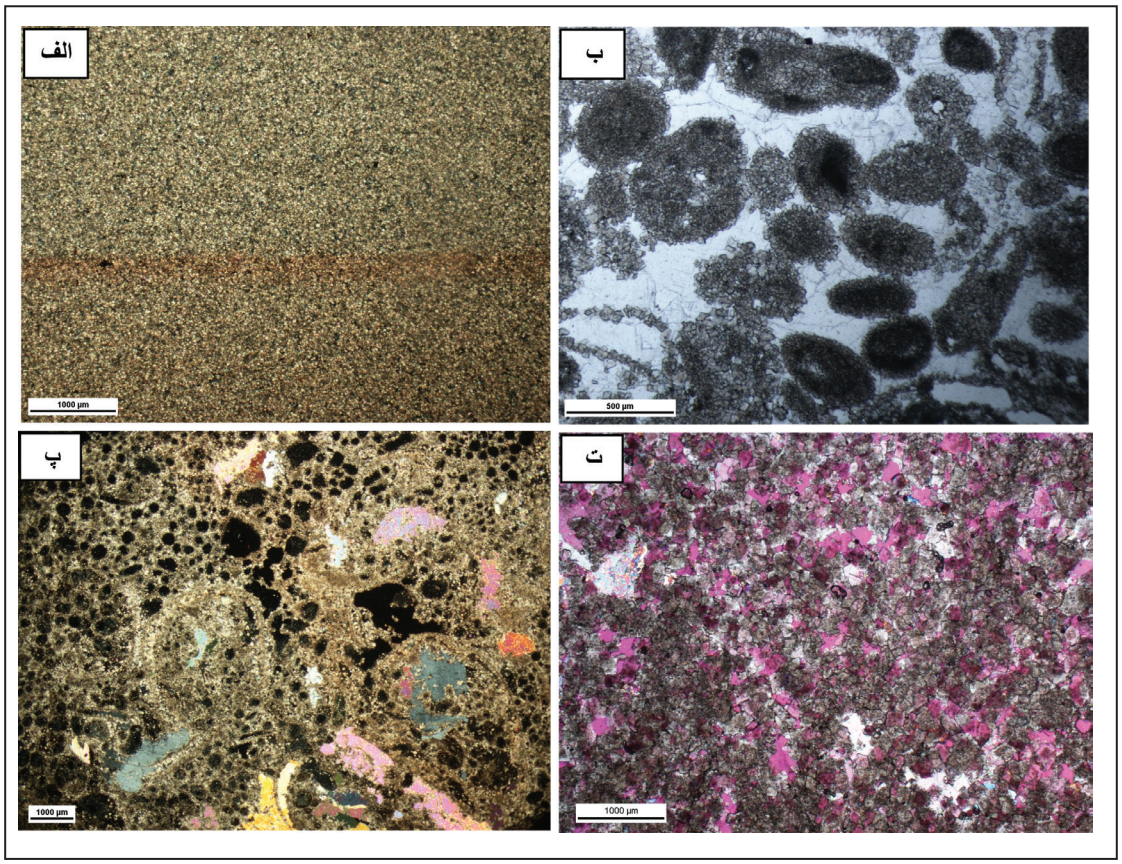
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از رخساره‌های دولومیتی متأثر از نفوذ شورابه‌های تبخیری. الف) دولومیت جانشینی متوسط‌بلور به‌صورت حفظ کننده فابریک با سیمان انیدریت فراگیر؛ ب) تصویر الف در نور طبیعی؛ پ) دولومیت جانشینی درشت‌بلور به‌صورت تخریب کننده فابریک با گسترش تخلخل میان‌بلوری و انحلالی؛ ت) تصویر پ در نور طبیعی؛ ث) دولومیت جانشینی درشت‌بلور به‌صورت تخریب‌کننده فابریک که گسترش سیمان انیدریت فراگیر موجب از بین رفتن تخلخل میان‌بلوری شده است؛ ج) تصویر ث در نور طبیعی.



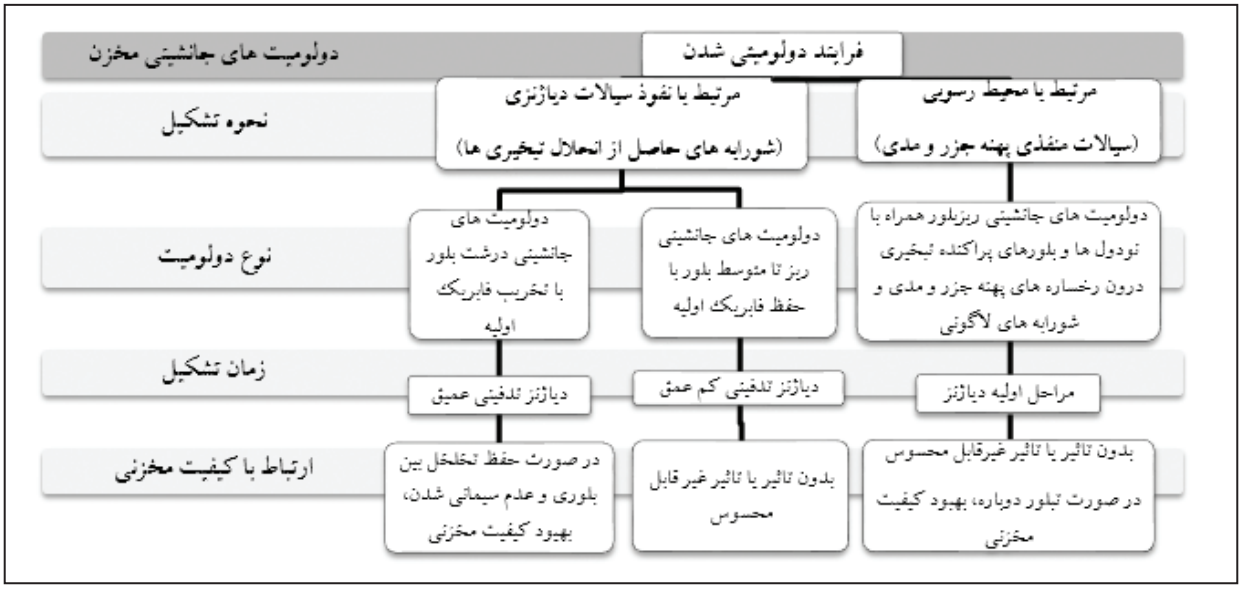
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از انواع سیمان‌های دولومیتی درون مخزن. الف) سیمان دولومیت درشت‌بلور که به‌صورت بخشی فضاهای تخلخل را پر کرده است؛ ب) سیمان دولومیت متوسط تا درشت‌بلور که به‌طور کامل فضای تخلخل را در یک رخساره گرینستونی پر کرده است؛ پ) سیمان دولومیت زین‌اسبی پرکننده حفره با بلورهای درشت، سطوح منحنی و خاموشی موجی؛ ت) سیمان دولومیت زین‌اسبی درشت‌بلور پرکننده تخلخل حفره‌ای؛ ث) سیمان دولومیت ریزبلور در امتداد استیلولیت؛ ج) سیمان دولومیت ریزبلور در امتداد استیلولیت.



شکل ۷- نمودار توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه برای انواع دولومیت‌های جانشینی درون مخزن. A) رخساره‌های با دولومیت جانشینی ریزبلور مرتبط با پهنه کشندی؛ B) رخساره‌های با دولومیت جانشینی به‌صورت حفظ‌کننده فابریک و دارای سیمان انیدریت فراگیر؛ C) رخساره‌های با دولومیت جانشینی به‌صورت حفظ‌کننده فابریک و دارای سیمان انیدریت کومه‌ای؛ D) رخساره‌های با دولومیت جانشینی درشت‌بلور به‌صورت تخریب‌کننده فابریک.



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از انواع رخساره‌های دولومیتی درون مخزن. الف) دولومادستون با بلورهای ریز دولومیت؛ ب) دولومیت جانشینی با بلورهای متوسط به‌صورت حفظ کننده فابریک. گسترش سیمان انیدریت فراگیر در این رخساره موجب از بین رفتن کیفیت مخزنی شده است؛ پ) رخساره گرینستونی با سیمان انیدریت کومه‌ای و تخلخل‌های قالبی و انحلالی؛ ت) دولومیت جانشینی به‌صورت تخریب کننده فابریک با بلورهای درشت و تخلخل میان‌بلوری.



شکل ۹- نمودار نمادین فرایند تشکیل دولومیت‌های جانشینی درون مخزن و ارتباط آنها با کیفیت مخزنی.

جدول ۱- رخساره‌های میکروسکوپی شناسایی شده در سازندهای مورد مطالعه به همراه مشخصه‌های رسوبی و دیاژنزی و سامانه منفذی آنها.

رخساره میکروسکوپی	ویژگی‌های اصلی بافتی	محیط رسوبی	عوارض دیاژنزی	سامانه منافذ
گرینستون	بافت دانه‌غالب و چارچوب سیمانی شده با اجزاء اُاییدی و اینتراکلستی و اسکلتی (دوکفه‌ای)	محیط پرانرژی پشته سدی (Shoal)	دولومیتی شدن، سیمانی شدن توسط کلسیت و انیدریت، انحلال	میاندانه‌ای، قالبی، حفره‌ای
پکستون	بافت دانه‌غالب با زمینه گل با اجزاء اُاییدی، پلوییدی و اسکلتی (گاستروپود، جلبک، میلیولید)	محیط کمانرژی پشت سدی تا لاگون (leeward Shoal-Lagoon)	میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیمانی شدن توسط انیدریت، انحلال	قالبی، حفره‌ای
باندستون استروماتولیتی	پوشش‌های جلبکی با لامیناسیون‌های موازی و نیمه‌موازی و حفرات فنسترال	پهنه میان‌کشندی	دولومیتی شدن، سیمانی شدن توسط انیدریت، انحلال	حفرات فنسترال
مادستون/وکستون	گل‌غالب با بافت یکنواخت یا در مواردی با اجزای اسکلتی پراکنده (میلیولید، استراکود)	پهنه میان‌کشندی	دولومیتی شدن، جانشینی انیدریت، انحلال، شکستگی	ماتریکس، حفره‌ای
مادستون با گرهک‌ها و بلورهای پراکنده تبخیری	بافت گل غالب که در مواردی در نتیجه به هم چسبیدن گرهک‌های تبخیری همراه با ساختمان قفس مراغی (Chickenwire structure) است.	بخش‌های بالایی پهنه میان‌کشندی تا فراکشندی (سبخا)	دولومیتی شدن، گسترش انیدریت، انحلال، شکستگی	حفره‌ای
انیدریت	میان لایه‌های با بافت متراکم	محیط فراکشندی (سبخا)	تراکم، انحلال	-
دولوستون	بافت بلورین (بافت اولیه در اثر دولومیتی شدن و تبلور دوباره بلورهای دولومیت نامشخص است).	دیاژنز تدفینی	دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن توسط انیدریت	میان‌بلوری، حفره‌ای

جدول ۲- مقادیر کمی لاگ برای انواع دولومیت‌های جانشینی مخزن.

نوع دولومیت	تخلخل (درصد)	تراوایی (میلی دارسی)	NPHI (v/v)	DT (μs /ft)	RHOB (g/cm۳)	GR (API)
دولومیت جانشینی ریزبلور (دولومادستون)	۵	۱/۱۹	۰/۰۳	۵۱/۷۷	۲/۷۴	۲۲/۷۶
دولومیت حفظ‌کننده فابریک با سیمان انیدریت فراگیر	۸	۲/۸۱	۰/۰۷	۵۱/۷۰	۲/۷۸	۲۶/۹۷
دولومیت حفظ‌کننده فابریک با سیمان انیدریت کومه‌ای	۱۱	۱۴/۱۲	۰/۰۶	۵۴/۱۴	۲/۷۱	۲۲/۲۷
دولومیت تخریب‌کننده فابریک	۱۵	۱۵۹/۵۸	۰/۱۱	۵۹/۵۲	۲/۶۰	۱۵/۲۵

کتابنگاری

کدخدائی ایلخچی، ر.، ۱۳۸۶- بررسی اثرات دیاژنزی بر روی ویژگی‌های مخزنی بخش فوقانی سازند دالان و سازند کنگان با نگرشی ویژه بر اثر انیدریت بر کیفیت مخزنی در میدان پارس جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۷ ص.

کدخدائی ایلخچی، ر.، رحیم‌پور بناب، ح. و کدخدائی ایلخچی، ع.، ۱۳۹۰- فاکتورهای کنترل‌کننده بافت‌های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان، نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، سال بیست و هفتم، شماره پیاپی ۴۲، شماره اول، صص. ۱ تا ۲۶.

References

Amel, H., Jafarian, A., Husinec, A., Swennen, R. and Koeshidayatullah, A., 2015- ¬Microfacies, depositional environment and diagenetic evolution controls on the reservoir quality of the Permian Upper Dalan Formation, Kish Gas Field, Zagros Basin. Marine and Petroleum Geology, 67: 57-71.

Bordenave, M. L., 2008- The origin of the Permo-Triassic gas accumulations in the Iranian Zagros foldbelt and contiguous offshore areas: a review of the Palaeozoic petroleum system. Journal of Petroleum Geology, 31(1): 3-42.

Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. AAPG Bulletin Memoir1:108-121.

Ehrenberg, S. N., 2006- Porosity destruction in carbonate platforms. Journal of Petroleum Geology, 29: 41-52.

Enayati-Bidgoli, A. H., Rahimpour-Bonab, H. and Mehrabi, H., 2014- Flow unit characterization in the Permian-Triassic carbonate reservoir succession at South Pars gasfield, offshore Iran. ¬Journal of Petroleum Geology, 37(3): 205-230.

Esrafili-Dizaji, B. and Rahimpour-Bonab, H., 2013- A review of Permo-Triassic reservoir rocks in the Zagros area, SW Iran: influence of the Qatar-Fars Arch,. Journal of Petroleum Geology, 36(3): 257-279.

Fu, Q., Qing, H. and Bergman, K. A., 2006- Dolomitization of the Middle Devonian Winnipegosis carbonates in south-central Saskatchewan, Canada, Sedimentology, 53: 825-848.

Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M. R., Moallemi, A., Lotfpour, M. and Monibi, S., 2006- Upper Dalan and Kangan formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. GeoArabia, Gulf PetroLink, Bahrain, 11(2): 75-176.

Jones, G. D. and Xiao, Y., 2005- Dolomitization, anhydrite cementation, and porosity evolution in a reflux system: Insights from reactive transport models. AAPG Bulletin, 89(5): 577-601.

Leary, D. A. and Vogt, J. N., 1986- Diagenesis of Permian (Guadalupian) San Andres Formation, Central Basin Platform, in Bebout, D. G., Harris, P. M., eds., Hydrocarbon reservoir studies, San Andres/Grayburg formations, Permian basin: Permian Basin Section. SEPM Publication, 86-26: 67-68.

Machel, H. G., 1986- Early lithification, dolomitisation and anhydritization of Upper Devonain Nisku buildups, subsurface Alberta, Canada, in J. H. Schroeder and B. H. Purser, eds., Reef diagenesis: Berlin, Springer-Verlag, 336-356.

Machel, H. ¬G., 2004- Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal. I n: Braithwaite, C.J.R., Rizzi, G. and Darke, G. (Eds.), The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs. Geological Society of London, Special Publication, 235: 7-63.

Mehrabi, H., Mansouri, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Hassanzadeh, M., Eshraghi, H. and Naderi, M., 2016- Chemical compaction features as potential barriers i n the Permian-Triassic reservoirs of South Pars Field, Southern Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering, 145: 95-113.

Melim, L. A. and Scholle, P. A., 2002- Dolomitization of the Capitan Formation forereef facies (Permian, west Texas and New Mexico): seepage reflux revisited. Sedimentology, 49: 1207-1227.

Moradpour, M., Zamani, Z. and Moallemi, S. A., 2008- Controls on reservoir quality in the Lower Triassic Kangan Formation, Southern Persian Gulf: Journal of Petroleum Geology, 31: 367-386.

Nurmi, R., Charara, M., Waterhouse, M. and Park, R., 1990- Heterogeneities in carbonate reservoirs: detection and analysis using borehole electrical imagery. Geological Society, London, Special Publications, 48: 95-111.

Rahimpour-Bonab, H., Asadi-Eskandar, A., Sonei, A., 2009- Controls of Permian-Triassic boundary over reservoir characteristics of South Pars Gas Field, Persian Gulf. Geol. J. 44, 341-364.

Rahimpour-Bonab, H., Esrafili-Dizaji, B. and ¬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.

Sadooni, F. N. and Alsharhan, A. S., 2004- Stratigraphy, Lithofacies Distribution and Petroleum Potential of the Triassic Strata of the Northern Arabian Plate. AAPG Bulletin, 88(4): 515-538.

Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bonab, H. and Soltani, B., 2014- A Hybrid approach for litho-facies characterization in the framework of sequence stratigraphy: A case study from the South Pars gas field, the Persian Gulf Basin. Journal of Petroleum Science and Engineering, 121: 87-102.

Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H. and Esrafili-Dizaji, B., 2011- Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gasfield, an integrated approach. Comptes Rendus Geoscience¬, 343: 55-71.

Wang, G., Li. P., Hao, F., Zou, H., Zhang, L., Yu, X., 2015- Dolomitization process and its implications for porosity development in dolostones: a case study from the lower Triassic Feixiianguan Formation, Jiannan area, eastern Sichuan Basin, China. Journal of Petroleum Science and Engineering, 131: 184-199.

Warren, J. K., 2006- Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. Springer-Verlag, Brunei, 1036p.

Warren, J., 2000- Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. Earth Sci. Rev.52: 1-81.

Dolomitization and its relationship with sedimentary facies and reservoir quality of the upper Dalan and Kangan formations in southeast district of the Persian Gulf

R. Kadkhodaie-Ilkhchi[1*], B. Nouri[2] and R. Jodeyri[3]

[1]Ph.D., NARGAN AMITIS Energy Development Company, Tehran, Iran

[2]Ph.D., Iranian Offshore Oil Company, Tehran, Iran

[3]M.Sc., University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2016 December 24 Accepted: 2017 April 15

Abstract

The Upper Dalan and Kangan formations with the late Permian- early Triassic age are considered as the main reservoir rocks of some fields in the Persian Gulf. These formations with carbonate-evaporate interval are composed of shoal, lagoon and tidal flat facies deposited in shallow parts of a carbonate ramp under the warm and arid climate condition. In these facies, dolomitization is a common diagenetic process which has been discussed in terms of the formation, distribution and its relationship with the reservoir quality. This process with regard to the original sedimentary properties, and also the effect of such diagenetic processes as dissolution and anhydrite cementation, has different effect on the reservoir characteristics. Dolomite has been mainly distributed as replacement with an insignificant part as cement. Fine crystalline replacive dolomites in mud dominated facies of tidal flats, have been formed by surface evaporation and pore water concentration in early diagenesis. In contrast, replacive dolomites in grain dominated facies, as fabric selective and non-fabric selective, have been developed by the effect of evaporate brines penetration during the burial diagenesis. In these facies, anhydrite has been formed as patchy and pervasive cement. Dolomitic facies with pervasive anhydrite, similar to fine crystalline facies of tidal flats, show low reservoir quality. Dolomitic facies with patchy anhydrite and also coarse crystalline replacive dolomites have higher reservoir quality. The results show that dolomitization when is associated with development of fabric destructive and coarse replacement dolomites, especially within the grain dominated facies, has an effective role on reservoir quality improvement.

Keywords: Dolomitization, Evaporate brines, Anhydrite, Dissolution, Reservoir quality, Dalan and Kangan formations.

For Persian Version see pages 231 to 242

*Corresponding author: R. Kadkhodaie-Ilkhchi; E-mail: rahimkadkhodaee2005@yahoo.com

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional