

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

رحیم کدخدائی ایلخچی<sup>۱</sup>، بیژن نوری<sup>۲</sup> و رعنا جدیری آقایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دکتر، شرکت توسعه انرژی نارگان آمیتیس، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دکتر، شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران، ایران

<sup>۳</sup>کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ایران

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

## چکیده

سازندهای دالان بالایی و کنگان با سن پرمین پسین - تریاس پیشین به عنوان سنگ‌های مخزن اصلی برخی میدانی خلیج فارس شناخته می‌شوند. این سازندها با توالی کربناته - تبخیری، متشکل از رخساره‌های پشته سدی، لاگون و پهنه کسندی 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 به صورت جانشینی و بخشی ناچیزی نیز به صورت سیمان گسترش دارند. دولومیت‌های جانشینی ریزبلور در رخساره‌های گل غالب پهنه کسندی، تحت شرایط تبخیر سطحی و تغلیظ آب‌های منفذی طی دیاژنز اولیه شکل گرفته‌اند. در صورتی که دولومیت‌های جانشینی در رخساره‌های دانه‌غالب، به صورت حفظ‌کننده و تخریب‌کننده فابریک بر اثر نفوذ شورابه‌های تبخیری طی دیاژنز تدفینی تشکیل شده‌اند. در این رخساره‌ها انیدریت به صورت سیمان کومه‌ای و فراگیر گسترش دارد. رخساره‌های دولومیتی با سیمان انیدریت فراگیر، مانند رخساره‌های ریزبلور پهنه کسندی 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 به صورت 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.

E- mail: rahimkadhodaee2005@yahoo.com

\*نویسنده مسئول: رحیم کدخدائی ایلخچی

## 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; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab, 2013; Mehrabi et al., 2016; Sfidari et al., 2014; Enayati-Bidgoli et al., 2014). 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 ۳۰/۵۰ 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 به ترتیب 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 دولومیتی شدن 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. به طوری که در بیشتر رخساره‌های دولومیتی شده مخزن، تبخیری‌ها (ژپس و انیدریت) حضور و گسترش دارند (کدخدائی ایلخچی و همکاران، ۱۳۹۰). همراهی دولومیت با انیدریت و ژپس بیانگر فراوانی سولفات در سیال‌های دولومیت‌ساز است (Warren, 2000; Machel, 2004). این فرایند هم به صورت 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 میدانی 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 آلزایرین رنگ آمیزی 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،

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 به صورت 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 به صورت 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 دولومیتی شدن رخ داده است. همچنین در این محیط‌ها، بلورهای تبخیری به صورت پراکنده حفرات فنسترال درون ساختارهای جلبکی هستند (شکل ۴-ث). در شورابه‌های لاگونی نیز همزمان با دولومیتی شدن زمینه و اجزای کربنات، ته‌نشینی گسترده انیدریت به صورت جانشینی و پراکنده 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 به صورت سیمان و جانشینی هستند که به‌طور بخشی 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 آهنی 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 کربنات رخساره‌های دانه‌عالم گریستونی 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 حفظ‌کننده و تخریب‌کننده فابریک درون مخزن رفتار کرده‌اند.

• **دولومیتی شدن به صورت جانشینی همراه با حفظ فابریک اولیه:** دولومیت‌های جانشینی به صورت حفظ‌کننده 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 آهنی را در آنها فراهم آورده است. به نظر می‌رسد که در این رخساره‌ها نیز گسترش انیدریت به صورت سیمان پراکنده 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 کربنات تجاوز نمی‌کنند؛ نسبت به دولومیت‌های پهنه کشندی درشت‌بلورتر هستند (شکل‌های ۵-الف و ب). تبخیری‌های همراه با این رخساره‌ها یا به صورت فراگیر همه منافذ را متأثر ساخته‌اند یا به صورت 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 به صورت جانشینی همراه با تخریب فابریک اولیه:** این نوع

در کنار مشخصه‌های بافتی، عوارض دیاژنزی مانند توزیع دولومیت، بافت‌های انیدریت و انحلال درون رخساره‌های مخزن بررسی شدند. در بررسی ویژگی‌های مغزنی، 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 (جدول ۱). این رخساره‌ها شامل رخساره‌های دانه‌عالم غالب گریستون و پکستون و رخساره‌های گل‌عالم و کستون و مادستون و رخساره باندستون استروماتولیتی هستند که همراه با میان‌لایه‌های تبخیری (انیدریت) درون توالی مخزن گسترش دارند. اجزای تشکیل‌دهنده این رخساره‌ها شامل انواع آلوم‌های غیراسکلتی (آئید، پلویید، اینتراکلت) 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 کربنات (رمپ داخلی) در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک ته‌نشین شده‌اند. انواع رخساره‌های کربنات در این محیط، در ارتباط با زیرمحیط‌های پشته‌های سدی (رخساره گریستون تا پکستون آئیدی-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 مغزنی 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 آهنک دولومیتی تشکیل شده است.

بررسی فرایندهای دیاژنزی نشان می‌دهد که رخساره‌های کربنات در سازندهای دالان بالایی و کنگان، تحت تأثیر فرایندهای مختلف دیاژنزی از زمان ته‌نشین شدن 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 مغزنی 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 مغزنی 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 مغزنی پرداخته می‌شود.

#### ۴- فرایند دولومیتی شدن درون مخازن کربنات دالان بالایی و کنگان

دولومیتی شدن در مخازن کربنات 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 مغزنی دالان بالایی و کنگان تحت تأثیر شرایط تبخیر محیطی و سیال‌های منفذی به‌ویژه در پهنه کشندی به صورت جانشینی تشکیل شده‌اند. این دولومیت‌ها که رخساره‌های مادستونی محیط میان‌کشندی و فراکشندی و نیز رخساره‌های وکستون و پکستونی شورابه‌های لاگونی را متأثر ساخته‌اند

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 (Numi 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 پرکننده 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 متوسط بلور هستند؛ بیشتر رخساره‌های دانه‌غالب گریستونی 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 چاه‌یابی، 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 گریستونی که همراه با گسترش دولومیت‌های بیشتر درشت بلور به‌صورت تخریب‌کننده فابریک بوده؛ نقش موثری در بهبود و افزایش کیفیت مخزنی داشته است. دولومیت‌های جانشینی ریز تا متوسط بلور به‌صورت حفظ‌کننده فابریک در رخساره‌های دانه‌غالب پکستونی و گریستونی 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 به‌عنوان سنگ مخزن کربناته مهمی در برخی میادین خلیج فارس به‌شمار 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 به‌عنوان 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 شوره‌های تخریبی طی مراحل مختلف دیاژنز بر رخساره‌های مخزن دارد. بیشتر دولومیت‌های جانشینی به‌صورت حفظ‌کننده فابریک

دولومیتی شدن 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 گسترده‌گی 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 دولومیتی‌کننده طی دیاژنز تدفینی شکل گرفته است. اگر چه منشأ سیال‌های دولومیتی‌کننده در این رخساره‌ها می‌تواند مستقل از شوره‌های تخریبی باشد؛ اما حضور بلورهای پراکنده تخریبی در برخی از آنها، نشان از تأثیر این شوره‌ها 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 به‌عنوان 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 به‌عنوان مجرای برای عبور سیال‌های دولومیتی‌کننده 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. به‌منظور 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 دولوکستون‌های 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 حفظ‌کننده فابریک

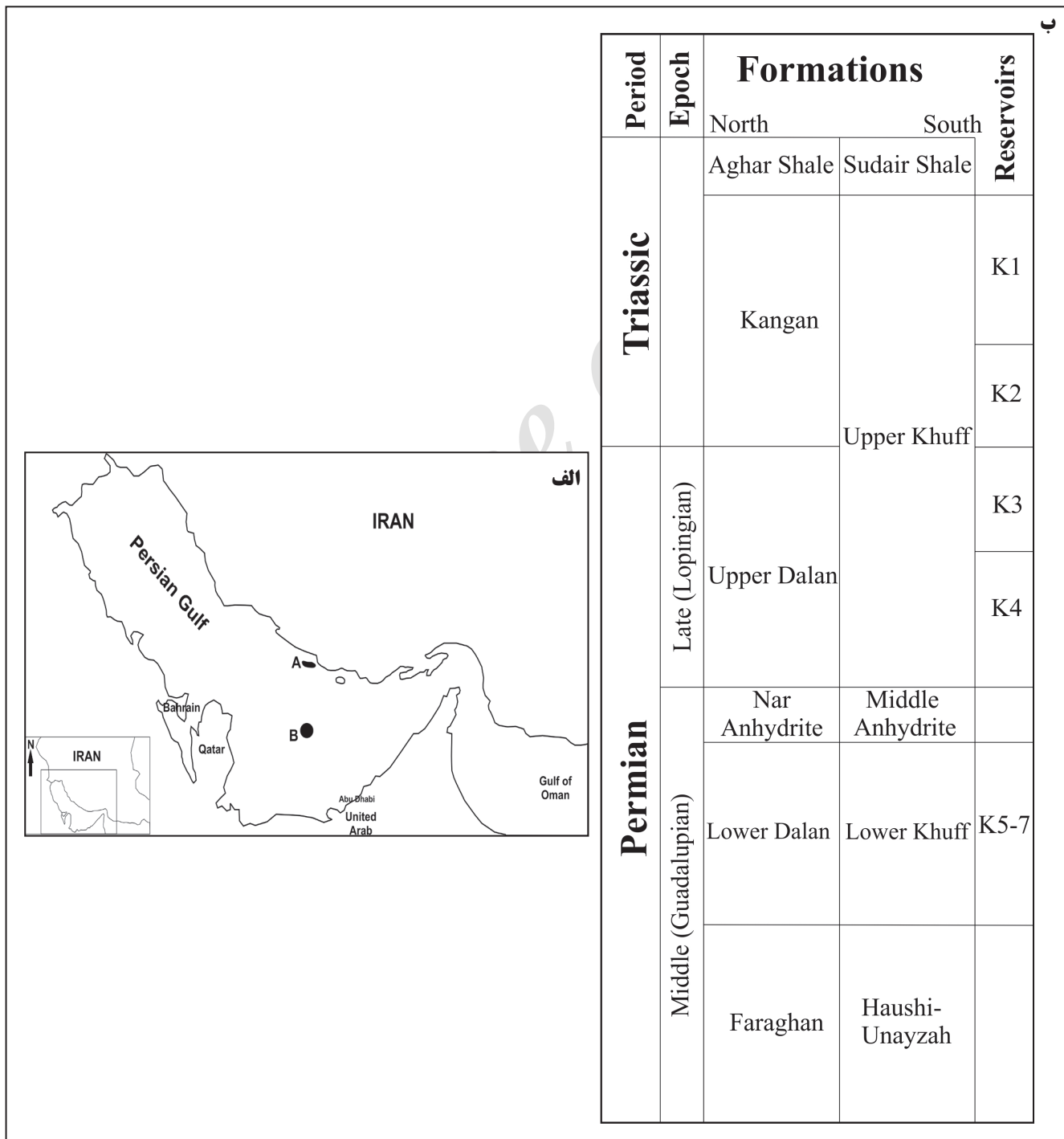
دولومیت‌های جانشینی ریز تا متوسط بلور به‌صورت حفظ‌کننده فابریک، از دید

مخزنی، ارتباط نزدیکی با نوع رخساره‌های مخزن و تأثیر برخی فرایندهای دیاژنی مانند سیمانی شدن انیدریت و انحلال دارد.

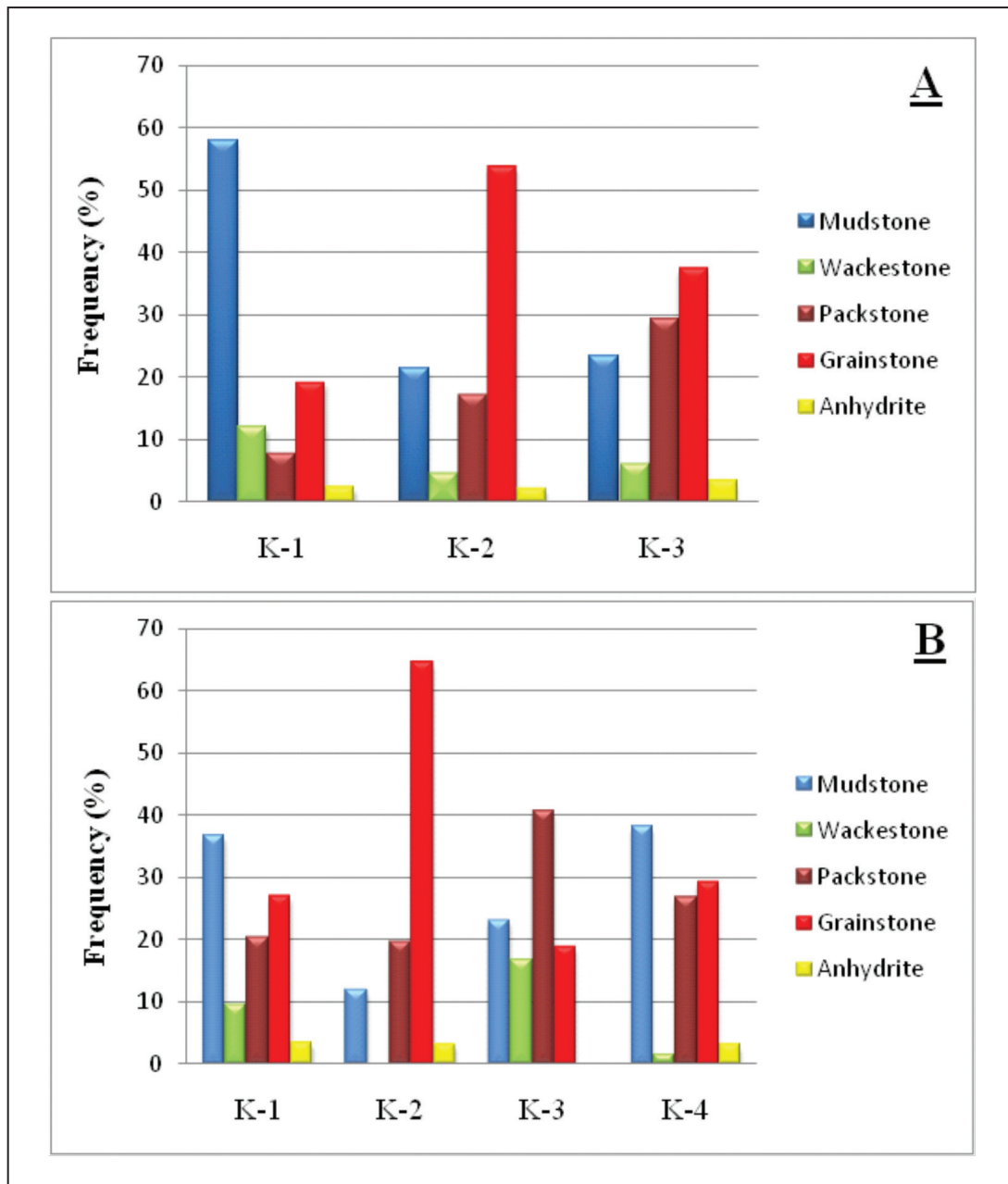
### سپاسگزاری

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.

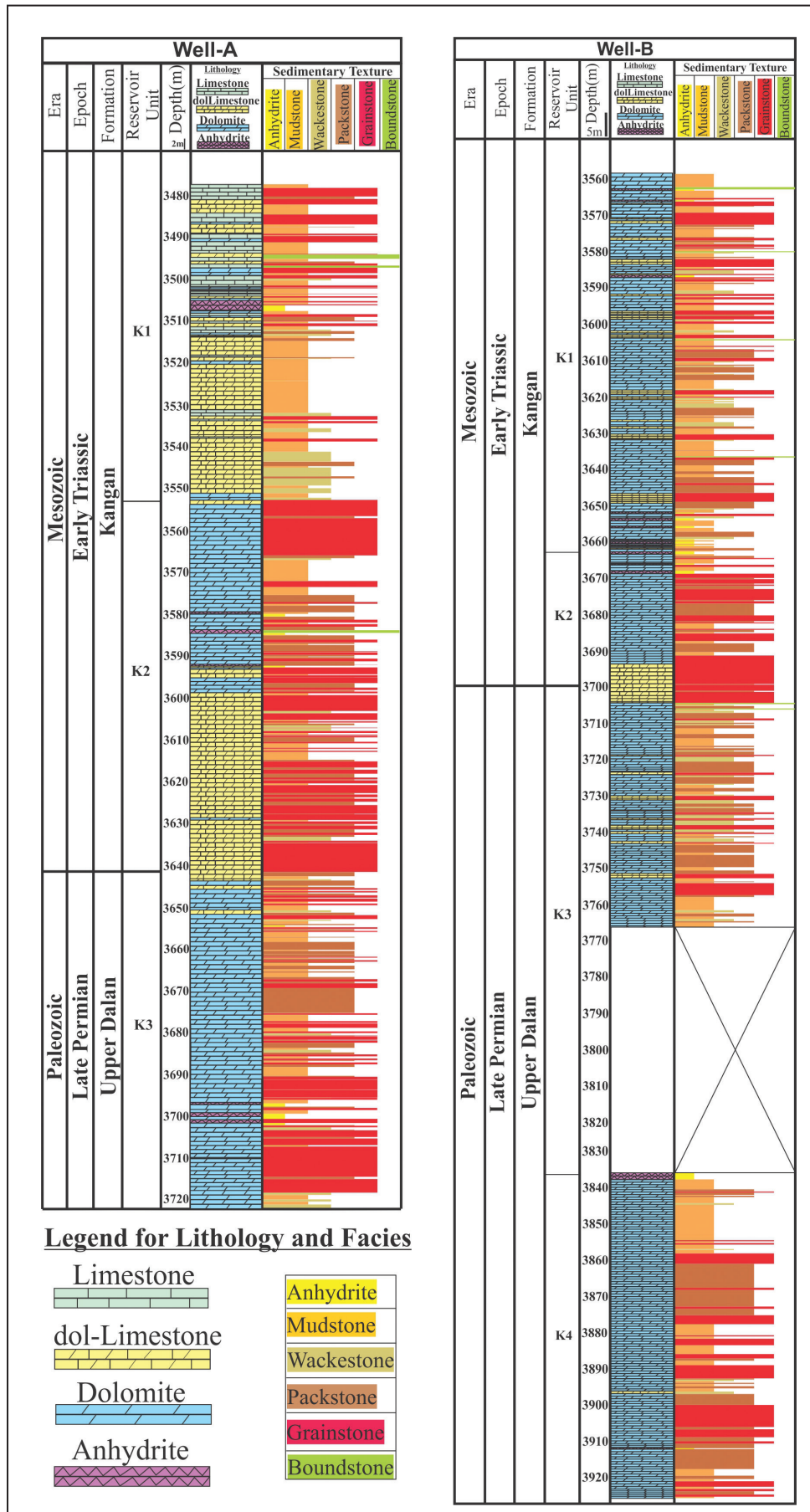
همراه با گسترش بلورهای تبخیری به صورت بافت‌ها و شکل‌های مختلف هستند. چنانچه دولومیت‌های جانشینی ریزبلور پهنه کشندی به همراه گرهک‌ها و بلورهای تبخیری پراکنده طی مراحل اولیه دیاژنز شکل گرفته‌اند. در برابر آن، دولومیت‌های متأثر از نفوذ شوره‌های تبخیری با گسترش سیمان تبخیری به صورت کومه‌ای و فراگیر بیشتر در رخساره‌های دانه‌غالب گرینستونی و پکستونی همراه بوده‌اند. در مواردی که دولومیت‌های جانشینی بر اثر تبلور دوباره طی تدفین به صورت تخریب‌کننده 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



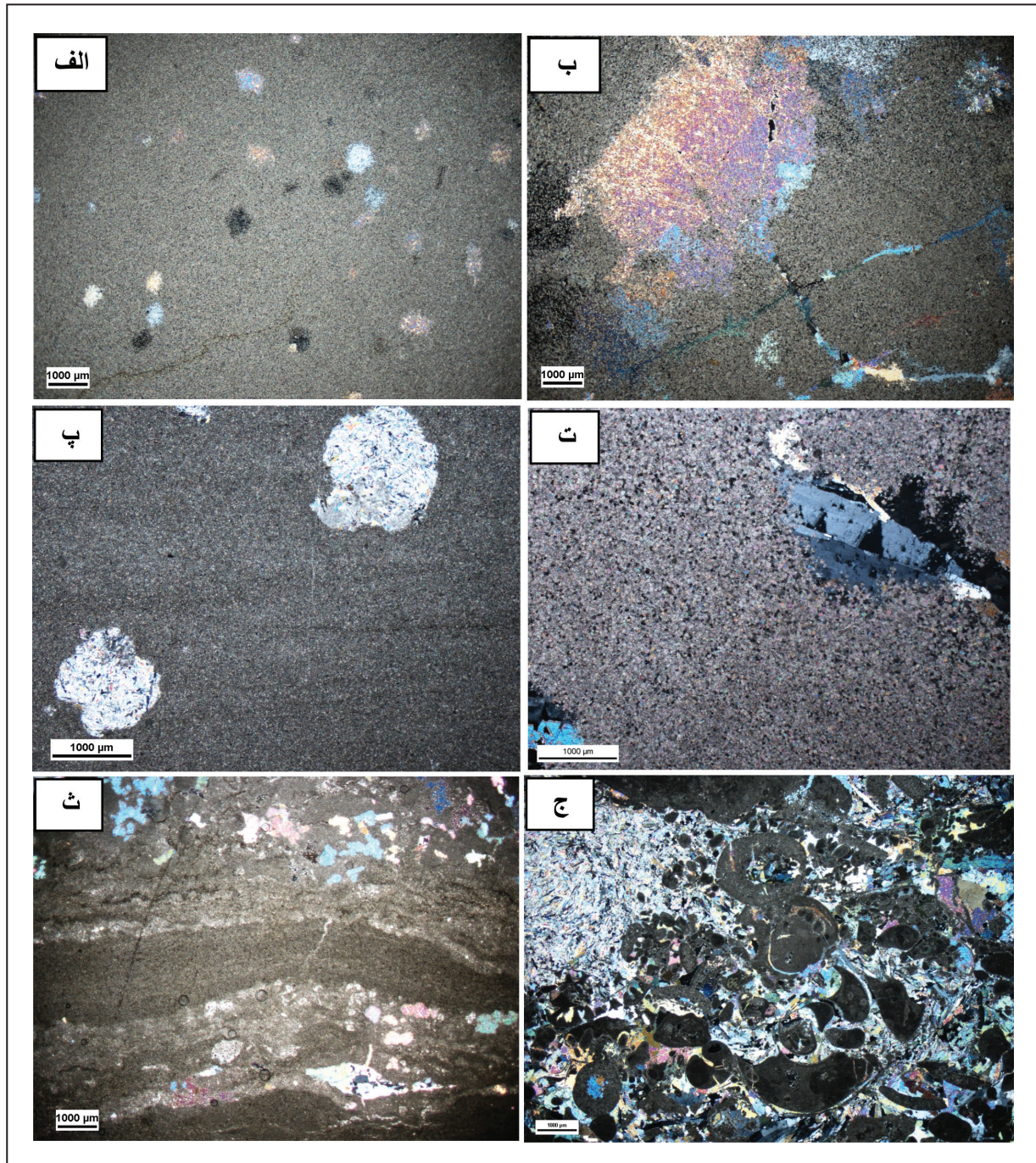
شکل ۱- الف) موقعیت دو میدان مورد مطالعه (A و B) در ناحیه جنوب خاور خلیج فارس؛ ب) ستون چینه‌شناسی سازندهای دالان و کنگان و معادل آنها (خوف) به همراه واحدهای مخزنی آنها (با تغییرات از Insalaco et al., 2006).



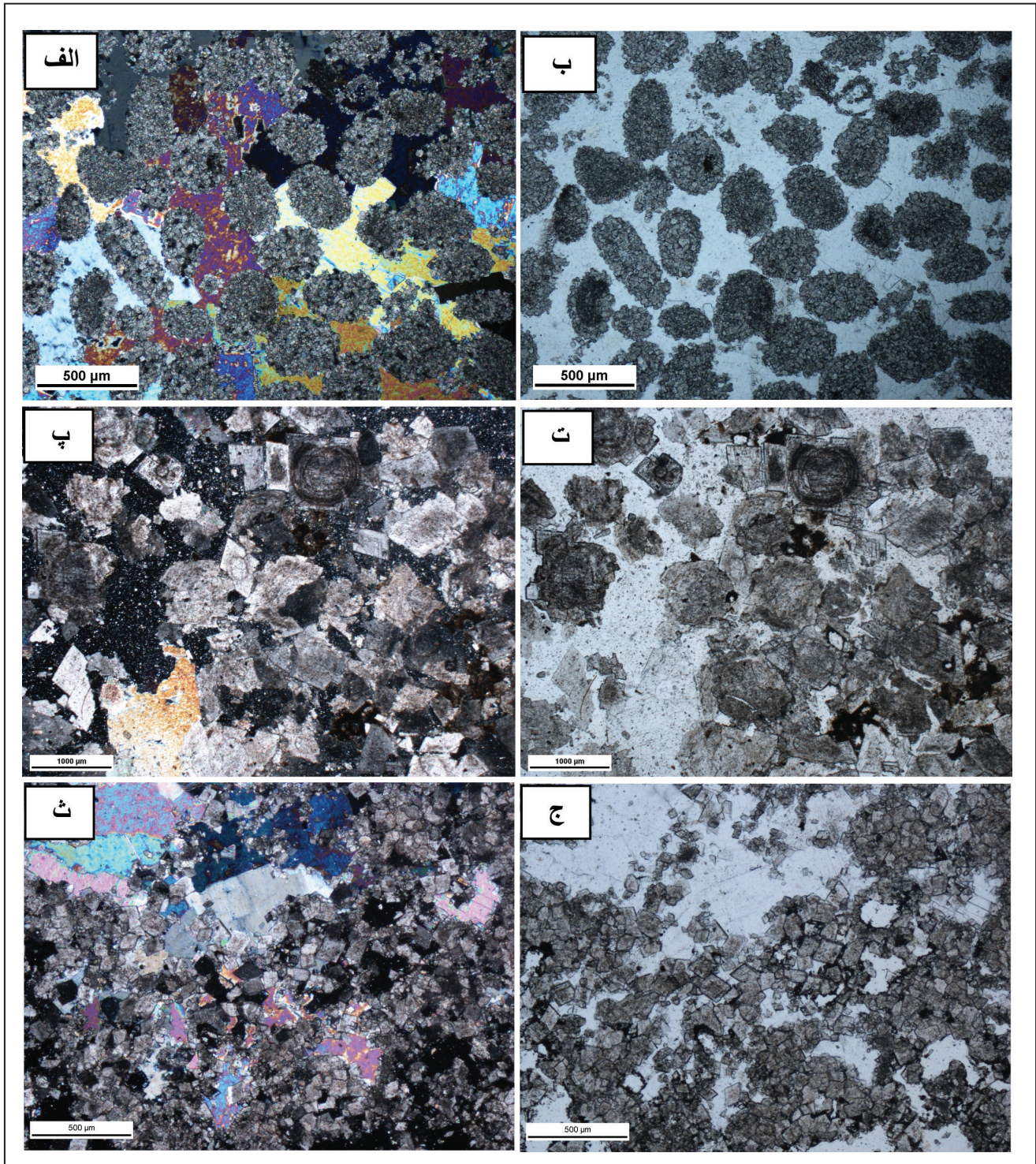
شکل ۲- نمودار ستونی فراوانی انواع رخساره‌های کربناته برای واحدهای مختلف مخزنی در میدان‌های مورد مطالعه (A و B).



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

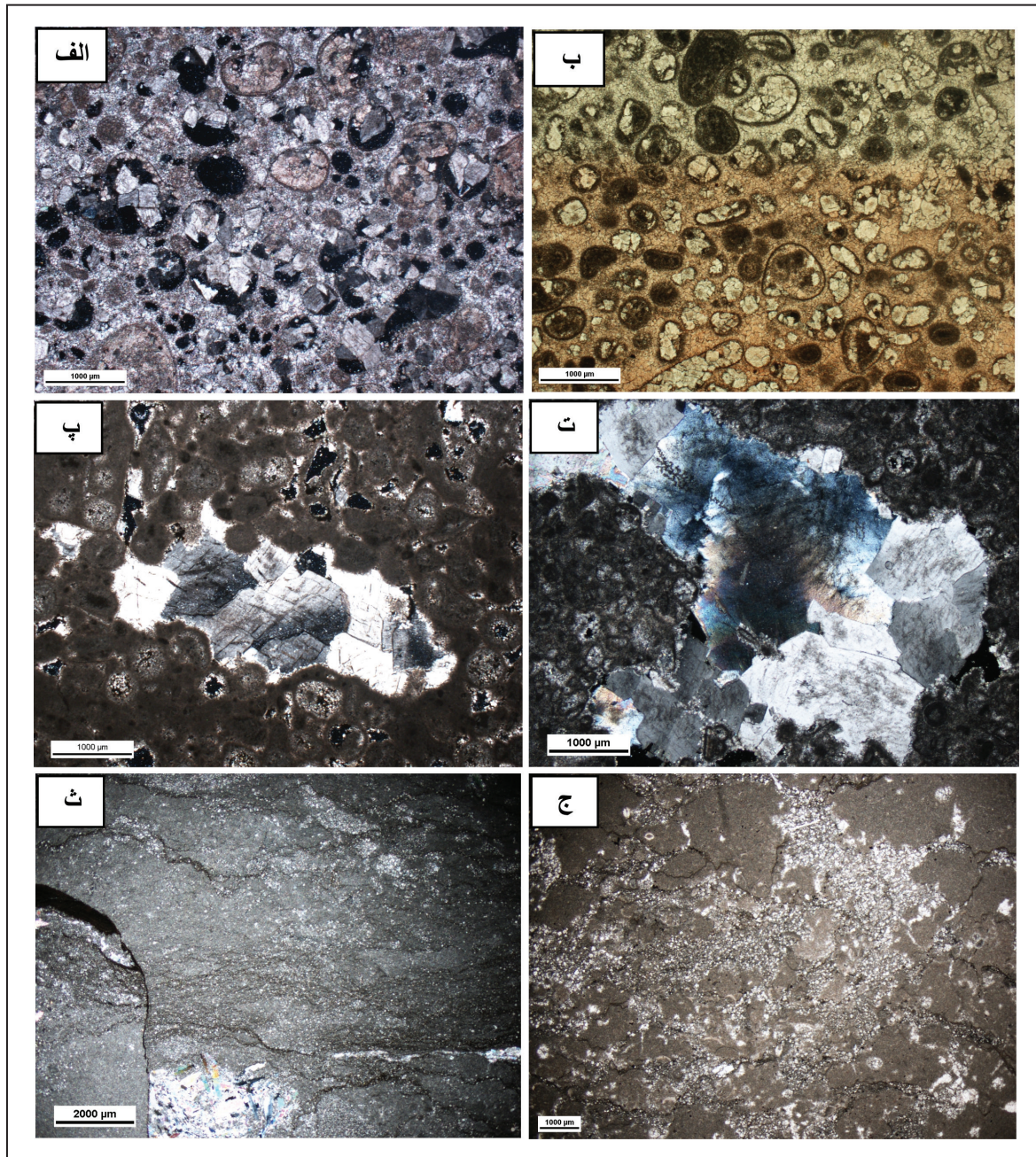


شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از انواع رخساره‌های دولومیتی شده در ارتباط با سیال‌های منفذی محیط پهنه کشندی. الف) دولومادستون با بلورهای ریز دولومیت و بلورهای پراکنده تبخیری؛ ب) دولومادستون ریزبلور با انیدریت درشت بلور به صورت جانشینی ماتریکس؛ پ) دولومادستون ریزبلور با گرهک‌های انیدریت؛ ت) دولومادستون با بلورهای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

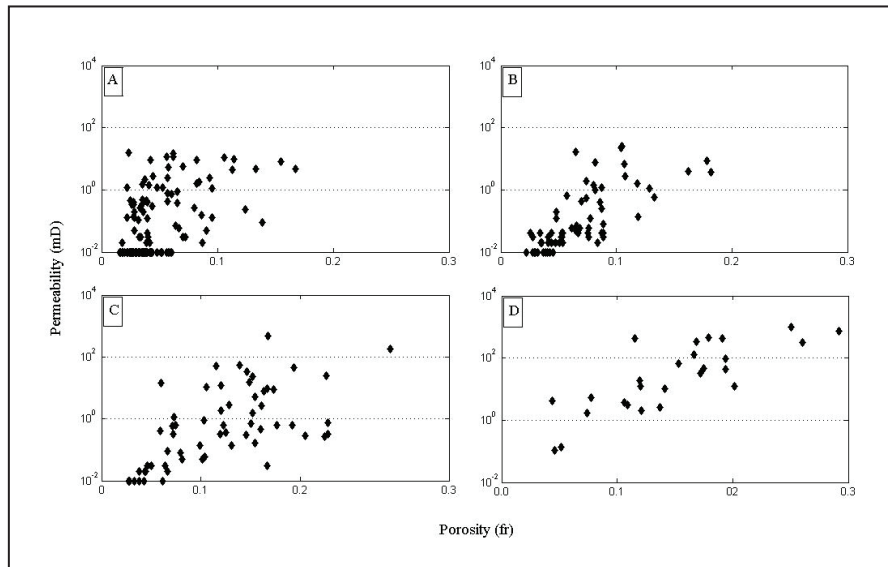


شکل ۵- تصاویر میکروسکوپی از رخساره‌های دولومیتی متأثر از نفوذ شورابه‌های تبخیری. الف) دولومیت جانشینی متوسط بلور به صورت حفظ کننده فابریک با سیمان انیدریت فراگیر؛ (ب) تصویر الف در نور طبیعی؛ پ) دولومیت جانشینی درشت بلور به صورت تخریب کننده فابریک با گسترش تخلخل میان بلوری و انحلالی؛ ت) تصویر پ در نور طبیعی؛ ث) دولومیت جانشینی درشت بلور به صورت تخریب کننده فابریک که گسترش سیمان انیدریت فراگیر موجب از بین رفتن تخلخل میان بلوری شده است؛ ج) تصویر ث در نور طبیعی.

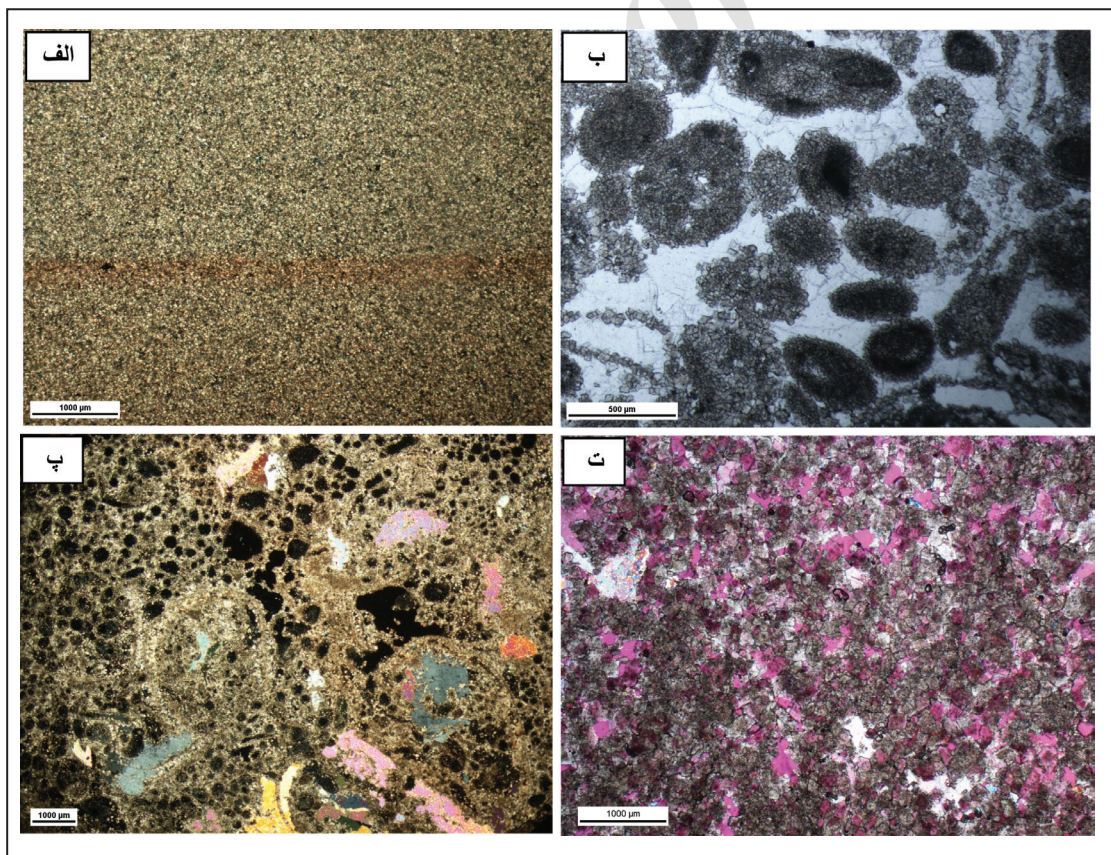




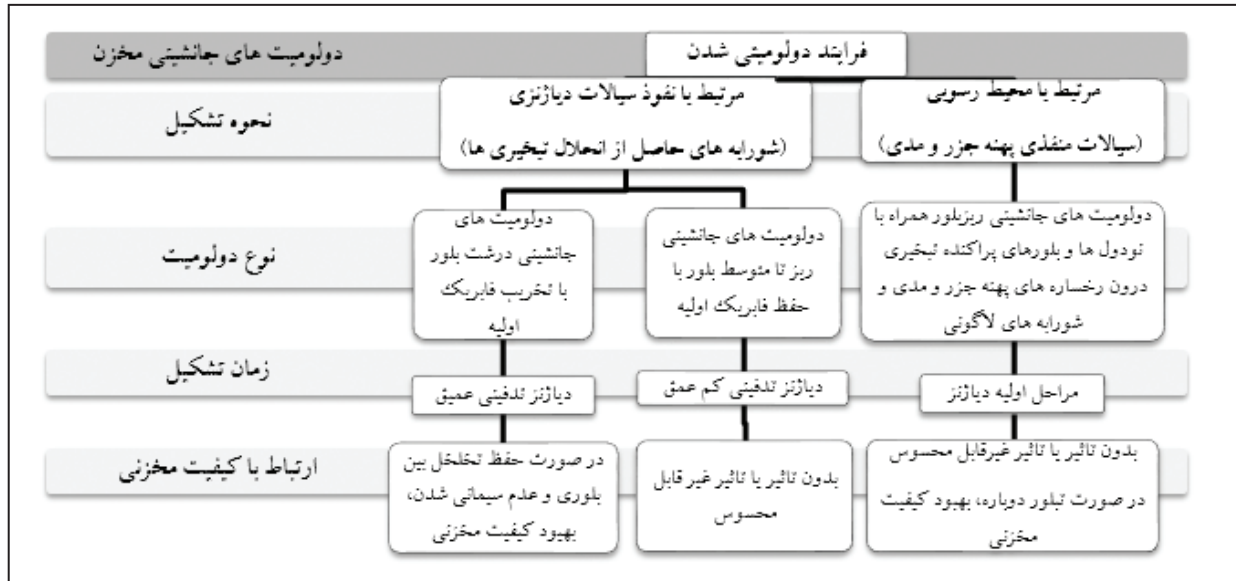
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از انواع سیمان‌های دولومیتی درون مخزن. الف) سیمان دولومیت درشت‌بلور که به صورت بخشی فضاهای تخلخل را پر کرده است؛ ب) سیمان دولومیت متوسط تا درشت‌بلور که به طور کامل فضای تخلخل را در یک رخساره گرنستونی پر کرده است؛ پ) سیمان دولومیت زین‌اسبی پرکننده حفره با بلورهای درشت، سطوح منحنی 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 به صورت حفظ‌کننده فابریک و دارای سیمان انیدریت فراگیر؛ (C) رخساره‌های با دولومیت جانشینی به صورت حفظ‌کننده فابریک و دارای سیمان انیدریت کومه‌ای؛ (D) رخساره‌های با دولومیت جانشینی درشت‌بلور به صورت تخریب‌کننده فابریک.



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



شکل ۹- نمودار نمادین فرایند تشکیل دولومیت های جانیشینی درون مخزن و ارتباط آنها با کیفیت مخزنی.

جدول ۱- رخساره های میکروسکوپی شناسایی شده در سازندهای مورد مطالعه به همراه مشخصه های رسوبی و دیاژنزی و سامانه منفذی آنها.

سامانه منافذ	عوارض دیاژنزی	محیط رسوبی	ویژگی های اصلی بافتی	رخساره میکروسکوپی
میاندهانه ای، قالبی، حفره ای	دولومیتی شدن، سیمانی شدن توسط کلسیت و انیدریت، انحلال	محیط پراترزی پشته سدی (Shoal)	بافت دانه غالب و چارچوب سیمانی شده با اجزاء آئیدی و اینتراکلسیتی و اسکلتی (دوگه ای)	گرینستون
قالبی، حفره ای	میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، سیمانی شدن توسط انیدریت، انحلال	محیط کامرزی پشت سدی تا لاگون (leeward Shoal-Lagoon)	بافت دانه غالب با زمینه گل با اجزاء آئیدی، پلوییدی و اسکلتی (گاستروپود، جلبک، میلیولید)	پکستون
حفرات فنسترال	دولومیتی شدن، سیمانی شدن توسط انیدریت، انحلال	پهنه میان کشندی	پوشش های جلبکی با لامیناسیون های موازی و نیمه موازی و حفرات فنسترال	باندستون استروماتولیتی
ماتریکس، حفره ای	دولومیتی شدن، جانیشینی انیدریت، انحلال، شکستگی	پهنه میان کشندی	گل غالب با بافت یکتواخت یا در مواردی با اجزای اسکلتی پراکنده (میلیولید، استراکود)	مادستون/وکستون
حفره ای	دولومیتی شدن، گسترش انیدریت، انحلال، شکستگی	بخش های بالای پهنه میان کشندی تا فراکشندی (سبخا)	بافت گل غالب که در مواردی در نتیجه به هم چسبیدن گرهک های تبخیری همراه با ساختمان قفس مراغی (Chickenwire structure) است.	مادستون با گرهک ها و بلورهای پراکنده تبخیری
-	تراکم، انحلال	محیط فراکشندی (سبخا)	میان لایه های با بافت تراکم	انیدریت
میان بلوری، حفره ای	دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن توسط انیدریت	دیاژنز تدفینی	بافت بلورین (بافت اولیه در اثر دولومیتی شدن و تبلور دوباره بلورهای دولومیت نامشخص است).	دولوستون

جدول ۲- مقادیر کمی لاگ برای انواع دولومیت های جانیشینی مخزن.

GR (API)	RHOB (g/cm <sup>3</sup> )	DT (μs/ft)	NPHI (v/v)	تراوایی (میلی داری)	تخلخل (درصد)	نوع دولومیت
۲۲/۷۶	۲/۷۴	۵۱/۷۷	۰/۰۳	۱/۱۹	۵	دولومیت جانیشینی ریز بلور (دولومادستون)
۲۶/۹۷	۲/۷۸	۵۱/۷۰	۰/۰۷	۲/۸۱	۸	دولومیت حفظ کننده فابریک با سیمان انیدریت فراگیر
۲۲/۲۷	۲/۷۱	۵۴/۱۴	۰/۰۶	۱۴/۱۲	۱۱	دولومیت حفظ کننده فابریک با سیمان انیدریت کومه ای
۱۵/۲۵	۲/۶۰	۵۹/۵۲	۰/۱۱	۱۵۹/۵۸	۱۵	دولومیت تخریب کننده فابریک

### کتابنگاری

- کدخدائی ایلخچی، ر.، ۱۳۸۶- بررسی اثرات دیاژنزی بر روی ویژگی های مخزنی بخش فوقانی سازند دالان و سازند کنگان با نگرشی ویژه بر اثر انیدریت بر کیفیت مخزنی در میدان پارس جنوبی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۷ ص.
- کدخدائی ایلخچی، ر.، رحیم پور بناب، ح. و کدخدائی ایلخچی، ع.، ۱۳۹۰- فاکتورهای کنترل کننده بافت های مختلف سیمان انیدریت و ارتباط آن با کیفیت مخزنی در مخازن کربناته دالان بالایی و کنگان، نشریه پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی 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 Memoir* 1:108-121.
- 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.
- Esfafili-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., Lotfipour, 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 Devonian 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. In: 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 in 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 foreereef 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., Esfafi-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 Esfafi-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 Feixianguan 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.