

تأثیر کانی‌شناسی اولیه اجزای کربناته و ناهمگنی‌های ناشی از فرایندهای دیاژنزی در توزیع سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی، مطالعه موردی از توالی‌های پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی خلیج فارس

علی اسعدی، دانشجوی دکتری زمین‌شناسی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران*

حسین رحیم‌پوربناب، استاد، دانشکده علوم زمین دانشگاه تهران، ایران

علی کدخدائی ایلخچی، دانشیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز، ایران

علی ایمن دوست، کارشناس ارشد، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران

رحیم کدخدائی ایلخچی، دکتری زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران

چکیده

سازندهای دالان - کنگان و عرب به ترتیب با سن پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی، مخازن کربناته - تبخیری مهمی‌اند که با تأثیر از ناهمگنی‌های رخساره‌ای و دیاژنزی شکل گرفته‌اند. هدف اصلی این مطالعه، مقایسه کانی‌شناسی اولیه اجزا، سیستم منافذ غالب و تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر ویژگی‌های پتروفیزیکی و کیفیت مخزنی سازندهای دالان - کنگان و عرب در خلیج فارس است. برای رسیدن به این هدف، از تلفیق توصیف مغزه‌ها، مطالعات پتروگرافی و داده‌های تخلخل - تراوایی مغزه در دو میدان هیدروکربنی خلیج فارس استفاده شده است. مطالعه سیستم منافذ نشان داد انواع مختلفی از منافذ در جریان سیال و تولید هیدروکربن در سازندهای دالان - کنگان و عرب مشارکت داشته‌اند. این منافذ، تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، بین‌بلوری، حفره‌ای مرتبط و غیرمرتبط و ریزتخلخل‌ها هستند. کانی‌شناسی اولیه اجزا در توزیع سیستم منافذ و روند تغییرات دیاژنزی نقش مهمی داشته است. طی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی به ترتیب ترکیب آب اقیانوس‌ها برای نهشت اجزای غیراسکلتی با ترکیب آراگونیتی و کلسیتی مناسب بوده است. در سازندهای دالان و کنگان، تخلخل‌های قالبی و در مقابل در سازند عرب، تخلخل‌های بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای نوع سیستم منفذی غالب هستند. ریزتخلخل‌ها که عموماً در رخساره‌های گل غالب فراوانی بالاتری نشان می‌دهند، در سازندهای دالان - کنگان در مقایسه با عرب توسعه بیشتری دارند. مطالعات دقیق دیاژنزی نشان داد توالی‌های مطالعه‌شده در معرض فرایندهای انحلال، سیمانی‌شدن، کانی‌زایی تبخیری، دولومیتی‌شدن، تراکم فیزیکی و شیمیایی و شکستگی بعد از نهشته‌شدن قرار گرفته‌اند. در میان این فرایندها به نظر می‌رسد انحلال، سیمانی‌شدن و کانی‌زایی تبخیری مهم‌ترین نقش را در ویژگی‌های منافذ داشته‌اند. در حالت کلی، سازند عرب با تخلخل غالب بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای در مقایسه با سازندهای دالان - کنگان با تخلخل‌های عمدتاً قالبی کیفیت مخزنی بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: سیستم منافذ، سازندهای دالان - کنگان، سازند عرب، دیاژنزی، دریا‌های آراگونیتی و کلسیتی، کیفیت مخزنی

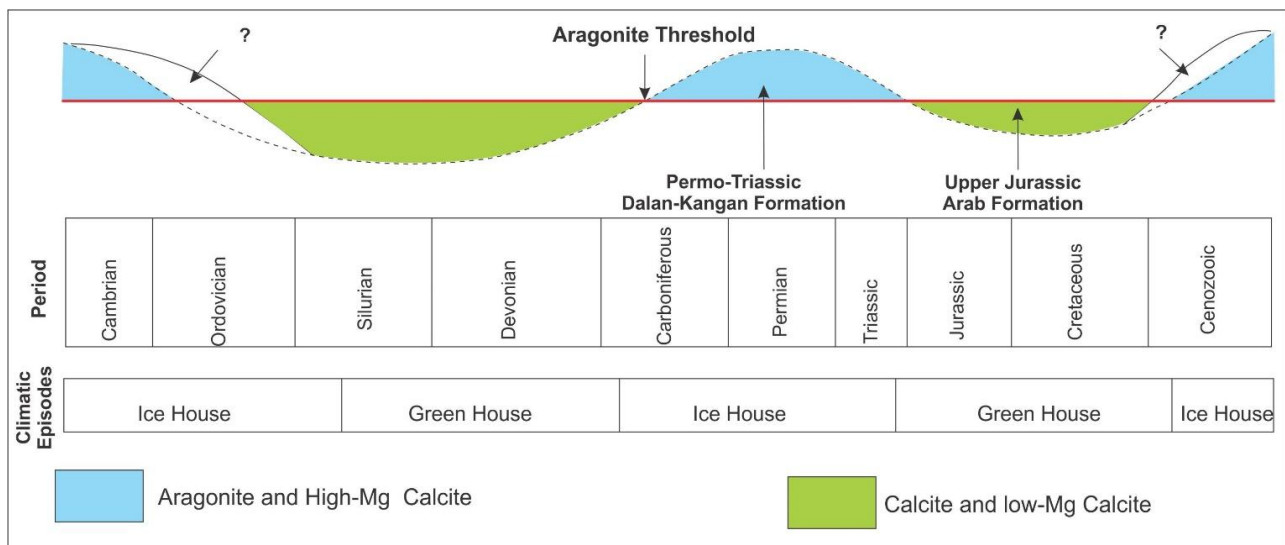
مقدمه

خدایی (۱۳۸۷) به منظور بررسی کانی‌شناسی اولیه و آب‌وهوای دیرینه، از مطالعات آنالیز عنصری و روند الگوی تغییرات کربن و اکسیژن استفاده کردند. نتایج نشان داد سازند کنگان در یک آب‌وهوای حاره‌ای و در محیط کم‌عمق تشکیل شده است و کانی‌شناسی اولیه آن آراگونیت بوده است. در سازندهای دالان - کنگان و عرب، اجزای غیراسکلتی از قبیل آئیدها و پلوئیدها در ایجاد رخساره‌های پراثری نقش مهمی داشته‌اند و در پلاتفرم‌های رمپ کربناته با آب‌وهوای گرم و خشک نهشته شده‌اند (Ziegler 2001; Ehrenberg et al. 2007). نوع سیستم منافذ غالب به‌عنوان نشانگر در شناسایی نوع کانی‌شناسی اولیه اجزا استفاده می‌شود. توسعه چشمگیر تخلخل‌های قالبی در توالی پرمو - تریاس در ارتباط با کانی‌شناسی آراگونیتی اجزا و توسعه دریا‌های آراگونیتی تفسیر می‌شود (Esrafil Dizaji and Rahimpour Bonab 2014). در مقابل، در طی دریا‌های کلسیتی (به‌ویژه در ژوراسیک) منافذ، بیشتر به‌صورت بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری هستند (Heydari 2003; Cantrell 2006). با وجود شباهت در هندسه پلاتفرم کربناته، شرایط آب‌وهوایی در طی زمان نهشت، نوع رخساره‌های غالب، الگوی دیاژنزی و نوع منافذ غالب تفاوت‌هایی دارد. این تفاوت در نوع و هندسه منافذ، در ارتباط با کانی‌شناسی اولیه اجزا، بافت رسوبی و تأثیر فرایندهای دیاژنزی ایجاد شده است. با توجه به اهمیت مخزنی توالی‌های کربناته - تبخیری دالان - کنگان و عرب در تولید هیدروکربن در بخش ایرانی خلیج فارس، مقایسه آنها از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی به شناخت و مدیریت کارآمدتر مخزن منجر می‌شود. در این ارتباط، جلیلیان (۱۳۹۳)، پتانسیل مخزنی بخش بالایی سازند سورمه (معادل با سازند عرب) و سازند دالان در دو میدان گازی تابناک و پارس جنوبی را مقایسه کرد. نتایج نشان داد از نظر مخزنی، سازند عرب با توجه به عمق تدفین کمتر، سیمانی شدن ناقص و تأثیر کمتر فرایندهای دیاژنزی مخرب در مقایسه با سازند دالان، تخلخل - تراوایی بالاتری دارد؛ با وجود این، به دلیل

توالی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی در خلیج فارس و نواحی اطراف آن به ترتیب سنگ مخزن میادین گازی و نفتی مهمی هستند (Cantrell and Hagerty 2003; Insalaco et al. 2006; Ehrenberg et al. 2007; Esrafil Dizaji and Rahimpour Bonab 2009; Tavakoli et al. 2011; Morad et al. 2012; Daraei et al. 2014). نوع و هندسه منافذ در توزیع تخلخل - تراوایی مخزن و قابلیت تولید هیدروکربن نقش مهمی دارد (Bliefnick and Kaldi 1996; Hollis et al. 2010; Rahimpour-Bonab and Aliakbardoust 2014). در مخازن کربناته به دلیل تنوع رخساره‌ها و تأثیر فرایندهای دیاژنزی مختلف، سیستم منافذ نسبت به آواری‌ها ناهمگن و پیچیده است (Anselmetti and Eberli 1999; Lucia 2007; Ahr 2008; Hollis et al. 2010). بیشتر موارد، نوع آب‌وهوا و اقلیم، کانی‌شناسی اولیه اجزا و بافت سنگ، الگوی تغییرات دیاژنزی در مخزن را کنترل می‌کنند (Ehrenberg et al. 2007; Honarmand et al. 2012; Moore and Wade 2013; Mehrabi et al. 2014). کانی‌شناسی اولیه اجزا، پارامتر مهم کنترل‌کننده در توزیع سیستم منافذ یک مخزن کربناته است (Ehrenberg et al. 2007; Tedesco and Major 2012; Honarmand et al. 2012). در طی زمان زمین‌شناسی، با توجه به تغییر شیمی آب دریاها در ارتباط با میزان ایجاد پشته‌های اقیانوسی و جریان هیدروترمال، یک روند چرخه‌ای برای ترکیب کانی‌شناسی اجزای غیراسکلتی ارائه شده است (Sandberg 1983; Demicco et al. 2005; Cantrell 2006) (شکل ۱)؛ بنابراین، انتظار می‌رود در زمان‌های مختلف زمین‌شناسی، اجزای غیراسکلتی، بیشتر ترکیب آراگونیتی یا کلسیتی داشته باشند. طی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی، ترکیب آب اقیانوس‌ها به ترتیب برای نهشت اجزای آراگونیتی و کلسیتی مناسب بوده است (Adabi, 2004; Cantrell 2006; Ehrenberg et al. 2007; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2014). براساس منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریا، طی پرمین بالایی - تریاس زیرین در مقایسه با ژوراسیک بالایی، سطح آب دریا پایین‌تر بوده و شرایط سردخانه‌ای حاکم بوده است (Cantrell 2006). آدابی و

گازی و نفتی خلیج فارس است. برای رسیدن به این هدف، بررسی نوع رخساره‌های اولیه و تأثیر فرایندهای دیاژنزی مختلف بر ویژگی‌های منافذ ضروری است. باتوجه به اهمیت این توالی‌های کربناته - تبخیری در تولید نفت و گاز خاورمیانه، نتایج حاصل از این پژوهش به درک بهتر ویژگی‌های مخزنی و مدیریت و توسعه میادین منجر می‌شود.

سنگ منشأ کارآمد سازند سرچاهان در مقایسه با سازند سورمه، از نظر تولید هیدروکربن، سازند دالان اهمیت مخزنی بالاتری دارد. هدف از این مطالعه، بررسی و مقایسه سیستم منافذ در توالی پرمو - تریاس (سازندهای دالان - کنگان) و ژوراسیک بالایی (سازند عرب) در ارتباط با کانی‌شناسی اولیه اجزا، تأثیر فرایندهای دیاژنزی و ویژگی‌های پتروفیزیکی آنها در دو میدان



شکل ۱- تغییرات ترکیب کانی‌شناسی اجزای غیراسکلتی در طی زمان زمین‌شناسی (با برخی تغییرات از Cantrell 2006; Sandberg 1983). کانی‌شناسی غالب اجزا در طی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی به ترتیب آراگونیت و کلسیت بوده است.

گازی و نفتی مطالعه‌شده در این پژوهش به ترتیب در بخش جنوب شرقی خلیج فارس و بلندای قطر - فارس واقع هستند (شکل ۲-۱). سازندهای دالان - کنگان و عرب در خلیج فارس و نواحی اطراف به‌عنوان توالی‌های کلاسیک کربناته - تبخیری، سنگ مخزن میادین گازی و نفتی مهمی را تشکیل می‌دهند. از لحاظ ضخامت و بازه زمانی، توالی پرمو - تریاس سه تا پنج برابر ضخامت و چهار تا هفت برابر بازه زمانی سازند عرب را شامل می‌شود (Ehrenberg et al. 2007). سازندهای دالان و کنگان با سن پرمین بالایی - تریاس زیرین با سازند خوف در صفحه عربی معادل هستند که به‌عنوان سکانس پیش‌رونده - پس‌رونده درجه دوم و در چارچوب بخش بالایی سکانس بزرگ مقیاس چینه‌شناسی - تکتونیکی AP6 شناخته میشوند (Sharland et al. 2001; Alsharhan 2006; Ehrenberg et al. 2007).

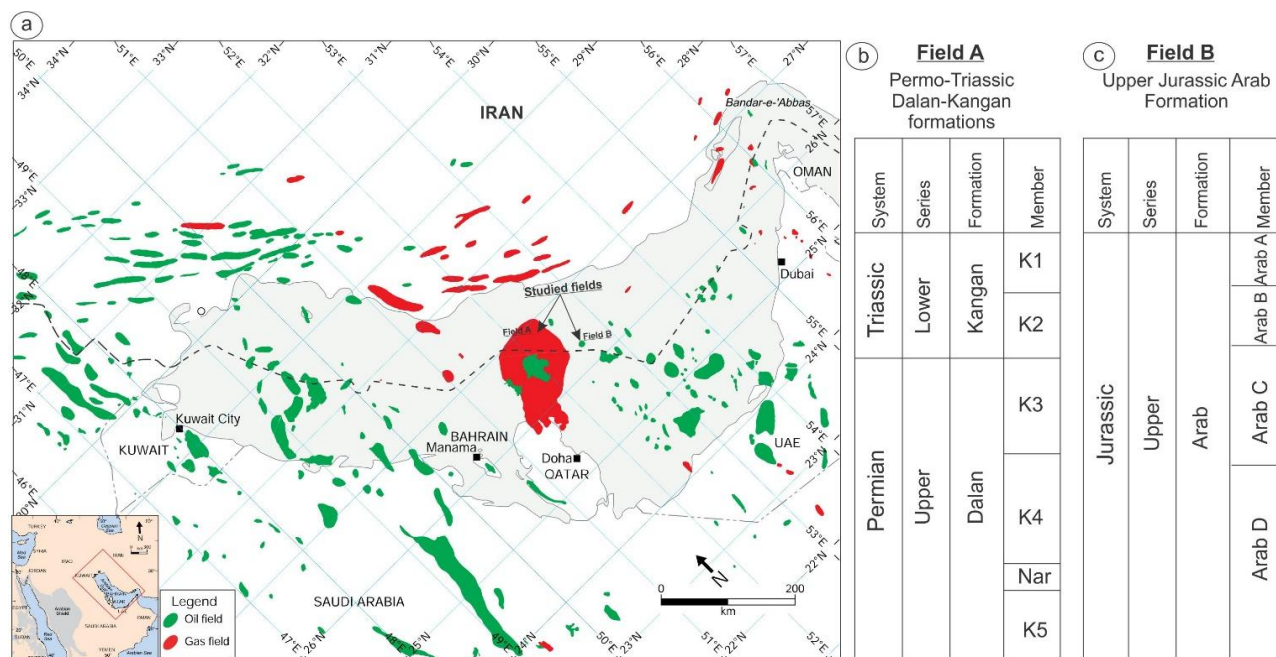
زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

خاورمیانه حدود ۶۵٪ نفت و ۳۵٪ گاز باقیمانده دنیا را در خود جای داده است (Sharland et al., 2001). خلیج فارس، بخش شمال شرقی صفحه عربی است که از نظر ساختاری، بخش پیش بوم^۱ کمربند زاگرس چین‌خورده - گسل‌خورده در نظر گرفته می‌شود (Perotti et al. 2011, 2016). این حوضه گوه‌ای شکل، با توالی ضخیم رسوبات از پروتروزوئیک پسین تا هولوسن مشخص می‌شود (Edgell 1996; Alsharhan and Nairn). بلندای قطر - فارس، ساختار مهم تکتونیکی با روند شمال شرق - جنوب غرب است که خلیج فارس را به دو بخش شمال غرب و جنوب شرق تقسیم می‌کند (Perotti et al. 2011). دو میدان

^۱ Foreland basin

چرخهٔ پسرونده به سمت بالا هستند و به صورت تغییر تدریجی از کربنات‌های کم‌عمق به تبخیری‌های دریایی حاشیه‌ای مشخص می‌شوند. این تبخیری‌ها اکنون به صورت انیدریت حفظ شده‌اند (Hughes 1996; Al-Husseini 1997). بالاترین لایهٔ انیدریت، سازند هیث نامیده می‌شود که بخش A را می‌پوشاند و آخرین چرخهٔ تکراری کربناته - تبخیری ژوراسیک بالایی است (Hughes 1996). در توالی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی، هر کدام از بخش‌ها ویژگی‌های مخزنی مشخصی را نشان می‌دهند. باتوجه به ماهیت کربناته - تبخیری این توالی‌ها، دولومیتی‌شدن و کانی‌زایی تبخیری همراه آن، بر سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی نقش مهمی داشته است.

بخش بالایی سازند دالان و کنگان به چهار واحد مخزنی اصلی شامل K1، K2، K3 و K4 تفکیک می‌شود (Szabo and Kheradpir 1978; Kashfi 1992; Rahimpour-Bonab et al. 2010) (شکل ۲-ب). سازند عرب با سن ژوراسیک بالایی (کیمبرجین - تیتونین)، همراه با انیدریت هیث، سکانس پیشرونده - پسروندهٔ درجه دوم شناخته می‌شوند که بخش بالایی سکانس بزرگ مقیاس چینه‌شناسی - تکتونیکی (AP7) را تشکیل می‌دهند (Sharland et al. 2001). سازند عرب با بخش بالایی سازند سورمه در حوضهٔ زاگرس و بخش‌هایی از خلیج فارس معادل است و به چهار بخش D-C-B-A از قدیم به جدید تقسیم می‌شود (شکل ۲-ج). هر کدام از این بخش‌ها یک



شکل ۲- (a) موقعیت میداین مطالعه شده در خلیج فارس مشخص شده است (با برخی تغییرات از Al-Husseini 2007). (b-c) چینه‌شناسی دو توالی پرمو - تریاس (سازند دالان - کنگان) و ژوراسیک بالایی (عرب) همراه با زون‌بندی ناحیه‌ای (با برخی تغییرات از Cantrell and Hagerty 2003; Rahimpour-Bonab et al. 2010).

مقاطع نازک میکروسکوپی، برش‌های مغزه، تصاویر میکروسکوپ الکترونی و داده‌های تخلخل - تراوایی مغزه استفاده شده است. از سازندهای دالان - کنگان و عرب، به ترتیب ۴۲۰ و ۲۵۰ متر مغزه، ۱۲۰۰ و ۵۰۰ مقطع نازک میکروسکوپی و ۳۴۰ و ۲۱۵ پلاگ تخلخل - تراوایی مغزه در

داده‌ها و روش مطالعه

در این مطالعه به منظور بررسی و مقایسهٔ سیستم منافذ در دو توالی پرمو - تریاس (دالان - کنگان) و ژوراسیک بالایی (عرب) در بخش جنوب شرقی خلیج فارس (دو میدان A و B)، از داده‌های چند چاه کلیدی با مجموعه‌ای از داده‌ها شامل

باتوجه به نوع سیستم منافذ غالب، روند توزیع تخلخل - تراوایی منافذ مختلف در سازندهای دالان - کنگان و عرب تعیین و تفسیر شد. در تعیین فراوانی و میانگین درصد تخلخل - تراوایی نمونه‌ها، باتوجه به نمونه‌گیری با فاصله تقریباً یکسان (حدود ۴/ متر)، فراوانی براساس تعداد نمونه متعلق در هر گروه منفذی تعیین شده است.

رخساره‌ها و بافت رسوبی

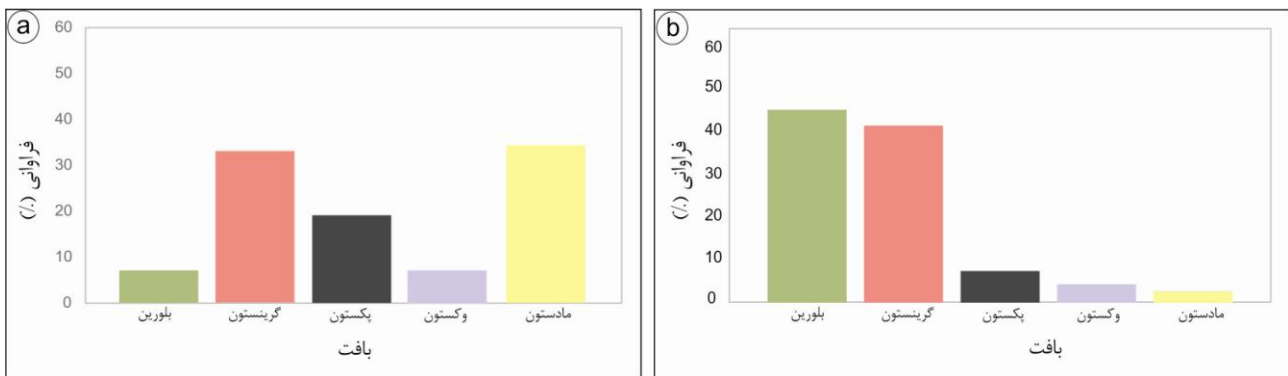
رخساره‌ها، محیط رسوبی چینه‌نگاری سکانشی و کیفیت مخزنی سازندهای دالان - کنگان و عرب در بخش‌های مختلف صفحه عربی و خلیج فارس در مطالعات گذشته بررسی و مشخص شده است (Alsharhan and Whittle 1995; Cantrell et al. 2001, 2004; Cantrell and Hagerty 2003; Swart et al. 2005; Vaslet et al. 2005; Eehrenberg et al. 2007; Koehrer et al. 2010; Rahimpour-Bonab et al. 2010; Morad et al. 2012; Daraei et al. 2014; Enayati-Bidgoli and Hossain 2016). همکاران (۱۳۹۱، ۱۳۹۲) براساس مقایسه ارتباط رخساره‌های رسوبی و الکتروفاسیس‌ها نشان دادند در توالی‌های کربناته - تبخیری همانند سازند عرب، به دلیل ماهیت لایه کیک می‌توان از تفسیر نتایج نمودارهای پتروفیزیکی در بررسی توزیع ویژگی‌های رخساره‌ای، دیاژنزی و واحدهای جریان‌ی به‌خوبی استفاده کرد. تلفیق مطالعات پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها نشان داد باتوجه به مشابهت اقلیم دیرینه، هندسه پلاتفرم و ویژگی‌های تکتونیکی، رخساره‌های مشابهی برای سازندهای دالان - کنگان و عرب معرفی می‌شود. در جدول (۱)، مهم‌ترین ویژگی‌های رخساره‌ای این سازندها به‌صورت خلاصه اشاره شده است. براساس مطالعات گذشته (Insalaco et al. 2006; Lindsay et al. 2006; Esrafil-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2009; Daraei et al. 2014) و توزیع رخساره‌ها، پلاتفرم‌های رمپ کربناته از نوع هم‌شیب برای نهشت رخساره‌ها در سازندهای مطالعه‌شده معرفی می‌شود. بافت رسوبی پارامتر مهمی در توزیع سیستم منافذ و روند فرایندهای دیاژنزی در مخزن است. فراوانی بافت‌های رسوبی در دو توالی

دسترس است. تمام مقاطع نازک با آلیزاین قرمز و فروسیانید پتاسیم تا نیمی از مقطع برای تفکیک کلسیت از دولومیت رنگ‌آمیزی شده‌اند. برای تسهیل شناسایی انواع مختلف منافذ، چسب اپوکسی به ۳۰۰ مقطع نازک، تزریق و تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ۱۵ نمونه تهیه شد. به‌منظور اندازه‌گیری تخلخل و تراوایی، پلاگ‌های انتخابی در شرایط استاندارد با قانون بویل، اندازه‌گیری و در تراوایی‌های محاسبه‌شده، اثر لغزش گاز با روش کلینکنبرگ اصلاح شد. ابتدا با هدف شناخت ویژگی‌های بافتی و رخساره‌ای، مطالعات دقیق پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها انجام شد. باوجود این، به دلیل گستردگی بحث، رخساره‌ها به‌صورت خلاصه، معرفی و فراوانی انواع بافت‌ها مشخص شد. انواع منافذ از طریق مطالعات پتروگرافی و تحلیل تصاویر، شناسایی و براساس فراوانی و ماهیت پتروفیزیکی در پنج گروه اصلی تفسیر شد که شامل ریزتخلخل‌ها، تخلخل بین‌دانه‌ای، بین‌بلوری، حفره‌ای غیرمرتبط و حفره‌ای مرتبط هستند. این تقسیم‌بندی براساس روش طبقه‌بندی لوسیا (۱۹۹۵، ۲۰۰۷) ارائه شده است که در این پژوهش، باتوجه به تفاوت عمده خصوصیات پتروفیزیکی منافذ ریزتخلخل با انواع بین‌دانه‌ای، به دو گروه تقسیم شده‌اند. باتوجه به پیچیدگی مخازن کربناته، در بسیاری از موارد، سیستم منافذ به‌صورت مرکب است؛ بدین‌صورت که عموماً یک نوع منفذی غالب است؛ اما سایر انواع منافذ نیز با درصد متفاوت مشاهده می‌شوند. در این مطالعه برای راحتی و امکان انجام مطالعه، تنها نوع منفذی غالب در نظر گرفته شده است. براساس مطالعات گذشته و شواهد پتروگرافی، کانی‌شناسی اولیه اجزا به‌عنوان پارامتر مهم در توزیع سیستم منافذ و توزیع فرایندهای دیاژنزی بررسی و تفسیر شد. باتوجه به تأثیر فرایندهای دیاژنزی عمده شامل انحلال، دولومیتی‌شدن، سیمانی‌شدن و تراکم بر سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی، این فرایندها در دو توالی پرمو - تریاس و عرب براساس مطالعات دقیق پتروگرافی، به‌صورت کیفی، بررسی و روند تغییرات آنها مشخص شد. در نهایت

مطالعه‌شده نشان می‌دهد فراوانی رخساره‌های گل غالب در مقایسه با سازند عرب بیشتر است. در مقابل، فراوانی رخساره‌های گریستونی و بافت کریستالین (در ارتباط با دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک) در سازند عرب بالاتر می‌شود. در شکل (۳)، فراوانی بافت‌های رسوبی مختلف نشان داده شده است.

جدول ۱- توصیف و تفسیر رخساره‌های سازندهای دالان - کنگان و عرب در میداین مطالعه‌شده در بخش جنوب شرقی خلیج فارس. علایم اختصاری: ف: فراوان، ر: رایج، ن: نادر.

ردیف	نوع رخساره	اجزا		نوع رخساره	نوع رخساره	نوع رخساره
		اسکلتی	غیر اسکلتی			
۱	انیدریت توده‌ای	-	-	انیدریت	دالان - کنگان، عرب	سبختا
۲	مادستون دولومیتی	استراکود (ر)، اسپیکول اسفنج (ر)	پلوئید (ن)	دولومیت	دالان - کنگان، عرب	بالای جزرومدی
۳	باندستون استروماتولیتی - ترومبولیتی	قطعات جلبک سبز (فراوان)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)	پلوئید (ر)	آهک - دولومیت	دالان - کنگان، عرب	بین جزرومدی
۴	وکستون بایوکلاستی	جلبک سبز (ر)، گاستروپود (ر)، دوکفه‌ای (ر)	پلوئید (ر)	آهک - دولومیت	دالان - کنگان، عرب	لاگون
۵	پکستون پلوئیدی - بایوکلاستی	گاستروپود (ف)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)	پلوئید (ر)	آهک - دولومیت	دالان - کنگان، عرب	لاگون
۶	گریستون گاستروپود - دار	گاستروپود (ف)، جلبک سبز (ر)، فرامینیفر بنتیک (ر)، دو کفه‌ای (ر)	پلوئید (ف)، ایتراکلیست (ن)	آهک - دولومیت	دالان - کنگان، عرب	بخش رو به خشکی شول
۷	گریستون پلوئیدی - آئیدی	فرامینیفرهای بنتیک (ر)	پلوئید (ف)، آئید (ر)، ایتراکلیست (ن)	آهک - دولومیت	دالان - کنگان، عرب	شول مرکزی
۸	گریستون آئیدی	-	آئید (ف)، پلوئید (ن)	آهک، دولومیت	دالان - کنگان، عرب	شول مرکزی
۹	گریستون بایوکلاستی - آئیدی	اکینودرم (ر)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)	آئید (ف)، پلوئید (ر)، ایتراکلیست (ر)	آهک، دولومیت	دالان - کنگان، عرب	شول رو به دریا
۱۰	گریستون بایوکلاستی - پلوئیدی	اکینودرم (ف)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)، دو کفه‌ای (ر) - جلبک سبز (ن)	پلوئید (ف)، ایتراکلیست (ر)	آهک - دولومیت	دالان - کنگان، عرب	شول رو به دریا
۱۱	پکستون بایوکلاستی	اکینودرم (ف)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)	پلوئید (ر)	آهک	دالان - کنگان	دریای باز کم عمق
۱۲	مادستون - وکستون بایوکلاستی	براکیوپود (ف)، اکینودرم (ر)، مرجان (ر)، فرامینیفرهای بنتیک (ر)	-	آهک	دالان - کنگان	دریای باز کم عمق



شکل ۳- فراوانی انواع بافت‌های رسوبی در دو توالی پرمو - تریاس (a) و ژوراسیک بالایی (b) در میداین مطالعه‌شده

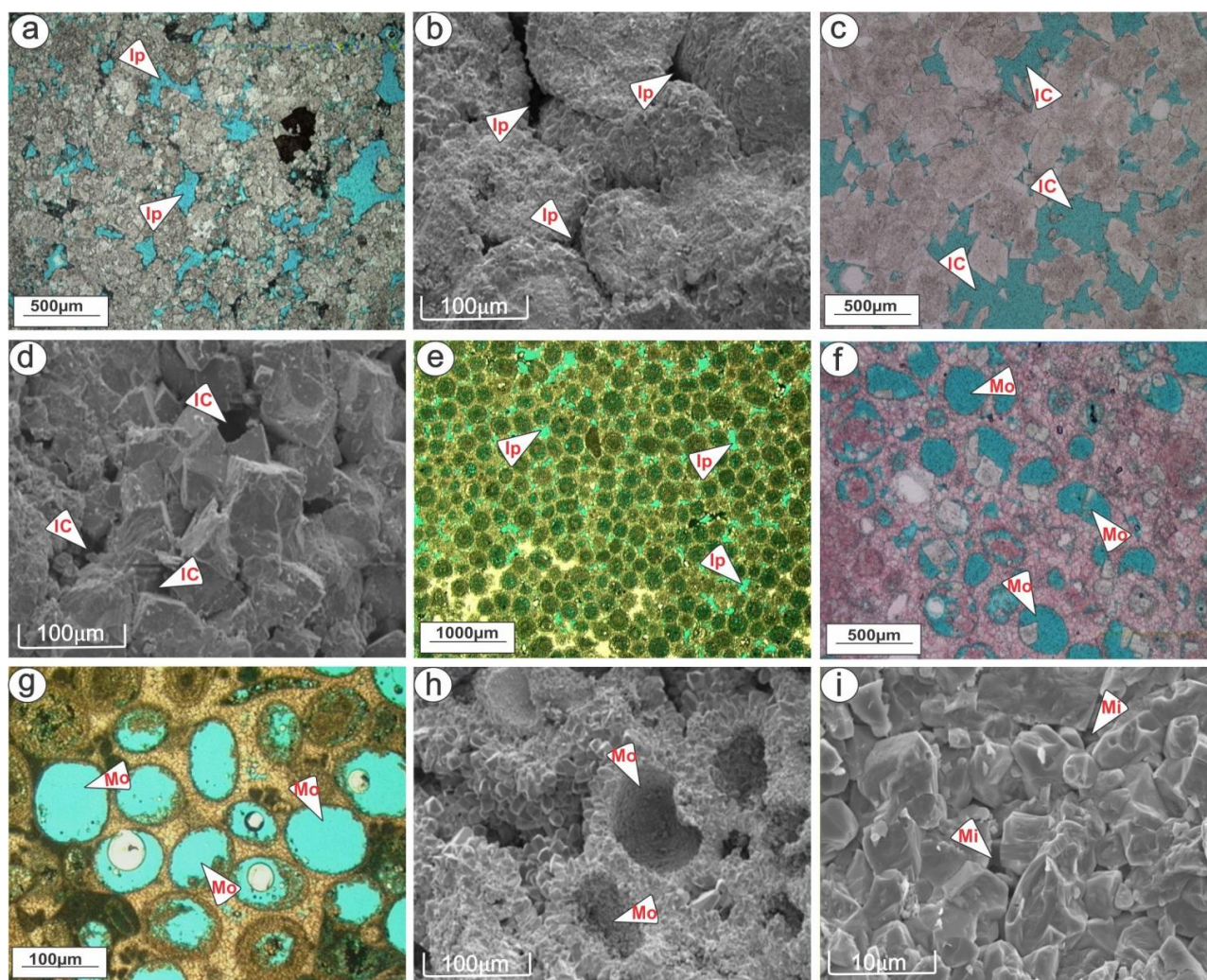
کانی‌شناسی و سیستم منافذ

باتوجه به فراوانی اجزای غیراسکلتی از قبیل آئیدها در رخساره‌های پارانرژی سازندهای دالان - کنگان و عرب، کانی‌شناسی اولیه در نوع منافذ غالب نقش مهمی داشته است. عموماً ترکیبات آراگونیتی به دلیل ناپایداری در مقایسه با اجزای کلسیتی، بیشتر مستعد تأثیر فرایندهای دیاژنزی هستند (Honarmand et al. 2012). براساس مطالعات پتروگرافی و توصیف مغزه‌ها انواع مختلفی از منافذ شامل بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، بین‌بلوری، درون‌بلوری، قالبی، حفره‌ای، کانالی، شکستگی و ریزتخلخل در سازندهای دالان - کنگان و عرب شناسایی شده است. این منافذ در پنج گروه اصلی شامل ریزتخلخل‌ها (تخلخل‌های مشاهده‌شده در ماتریکس سنگ و نیز در اثر نئومورفیسم میکرایت)، بین‌دانه‌ای (بین‌دانه‌ها)، بین‌بلوری (بین بلورهای دولومیت)، حفره‌ای غیرمرتبط (قالبی، درون‌فسیلی، چشم پرنده، درون‌بلوری، حفره‌ای) و حفره‌ای مرتبط (حفره‌ای، کانالی، شکستگی، غاری) تقسیم می‌شود. تصاویر مقاطع نازک، میکروسکوپ الکترونی و مغزه از انواع منافذ اصلی در سازندهای دالان - کنگان (شکل ۴) و عرب (شکل ۵) نشان داده شده است. برخی از تصاویر ارائه‌شده در شکل (۴) از گزارشات داخلی شرکت نفت ارائه شده است (Matthews et al. 2002; Slater 2002). در جدول (۲) نیز فراوانی هر کدام منافذ

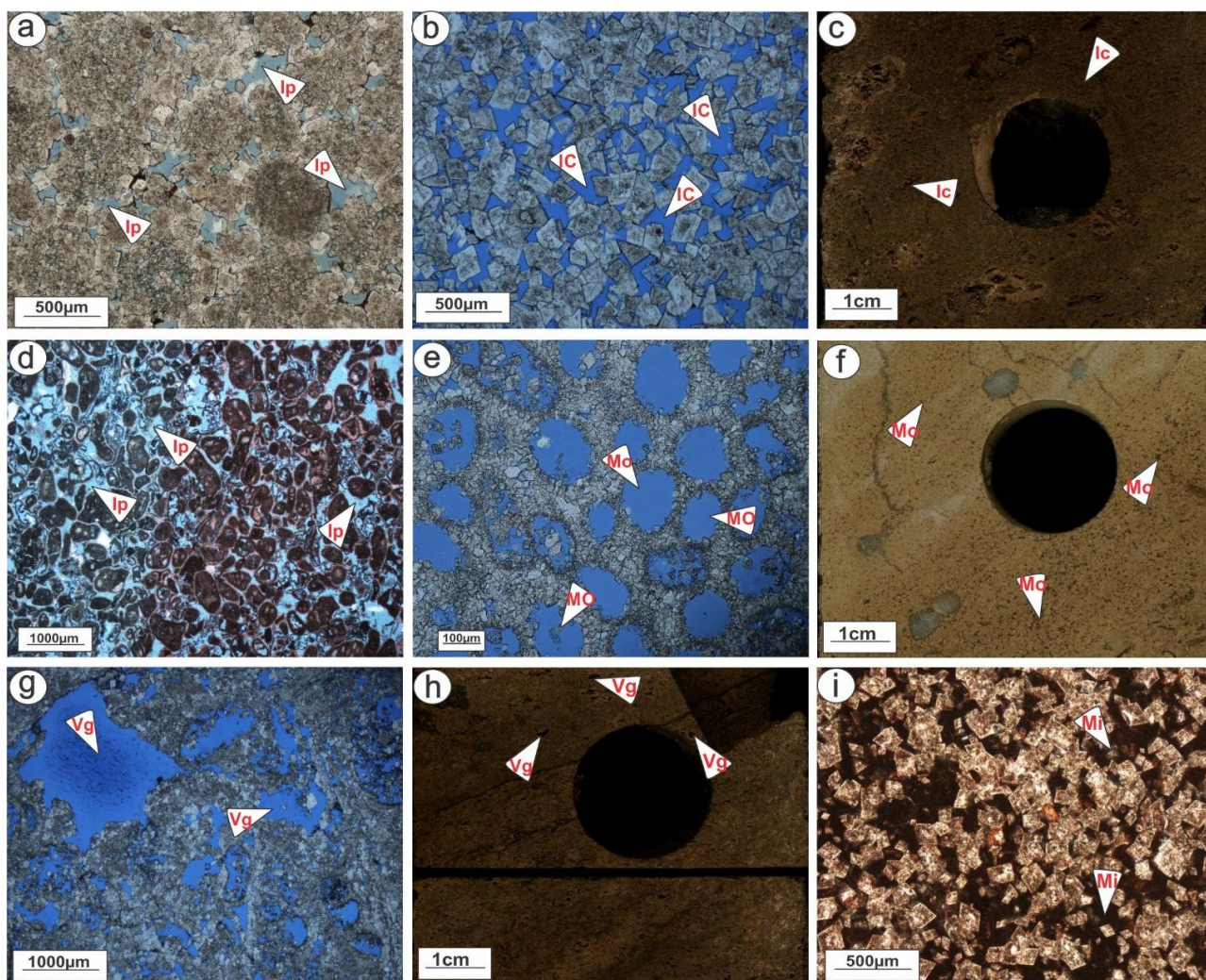
براساس مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک، تحلیل تصاویر و میانگین تخلخل - تراوایی آنها نشان داده شده است. در سازندهای دالان و کنگان مهم‌ترین منافذ، تخلخل‌های حفره‌ای غیرمرتبط (قالبی) است. نوع منفذی فراوان دیگر به صورت ریزتخلخل است که به دو صورت اولیه در ماتریکس سنگ و نیز دیاژنزی در ارتباط با نئومورفیسم و تبلور مجدد میکرایت مشاهده می‌شود. این تخلخل‌ها در توالی پرمو - تریاس به دلیل گل غالب تر بودن رخساره‌ها و تأثیر بیشتر فرایندهای دیاژنزی نئومورفیسم و تبلور مجدد در مقایسه با سازند عرب فراوانی بالاتری نشان می‌دهند. عموماً ریزتخلخل‌ها با مطالعات مرسوم پتروگرافی شناسایی نمی‌شوند و از طریق تقریق تخلخل کل از تخلخل قابل مشاهده محاسبه می‌شوند (Cantrell and Hagerty, 1999)؛ باوجوداین، تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری نیز فراوان است. در مقابل در سازند عرب، تخلخل‌های بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای نوع منفذی غالب هستند و انواع قالبی فراوانی کمتری دارند. توزیع سیستم منافذ در توالی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی و نیز تأثیر فرایند دیاژنزی مختلف، به‌ویژه انحلال و سیمانی‌شدن، به ترکیب اولیه اجزای اسکلتی و غیراسکلتی مرتبط است. فراوانی گسترده تخلخل‌های قالبی، نوع منفذی غالب در توالی پرمو - تریاس، با مهیا بودن شرایط برای نهشت آراگونیت در طی این زمان و تأثیر عمده فرایند

به صورت هم‌ضخامت و پرکننده تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری است. در مقابل در توالی پرمو - تریاس، سیمان پرکننده تخلخل‌های قالبی به صورت گسترده مشاهده می‌شود.

انحلال در ارتباط است. در مقابل در سازند عرب، نوع منفذی قالب بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری است که به دلیل کانی‌شناسی کلسیتی اجزا در طی این زمان است. سیمان‌های مشاهده‌شده در توالی سازند عرب، بیشتر



شکل ۴- تصاویر مقاطع نازک (a-c-e-f-g) و میکروسکوپ الکترونی (b-d-h-i) از انواع منافذ اصلی در توالی پرموتریاس: (a-b) دولوگرینستون با تخلخل بین‌دانه‌ای، (c-d) دولومیت درشت‌بلور با تخلخل بین‌بلوری، (e) گرینستون با تخلخل بین‌دانه‌ای، (f-g-h) گرینستون با تخلخل قالبی، (i) دولومادستون با ریزتخلخل. علائم اختصاری: Ip: تخلخل بین‌دانه‌ای، Ic: تخلخل بین‌بلوری، Mo: تخلخل قالبی، Vg: تخلخل حفره‌ای، Mi: ریزتخلخل.



شکل ۵- تصاویر مقاطع نازک (a-b-d-e-g-i) و مغزه (c-f-h) از انواع منافذ اصلی در سازند عرب: (a) گریستون آئیددار دولومیتی شده، با تخلخل بین‌دانه‌ای، (b-c) دولومیت درشت‌بلور با تخلخل بین‌بلوری، (d) گریستون با تخلخل بین‌دانه‌ای، (e-f) دولوگریستون با تخلخل قالبی، (g-h) دولومیت با تخلخل حفره‌ای، (i) مادستون دولومیتی با ریزتخلخل، برای علایم اختصاری به شکل (e) توجه کنید.

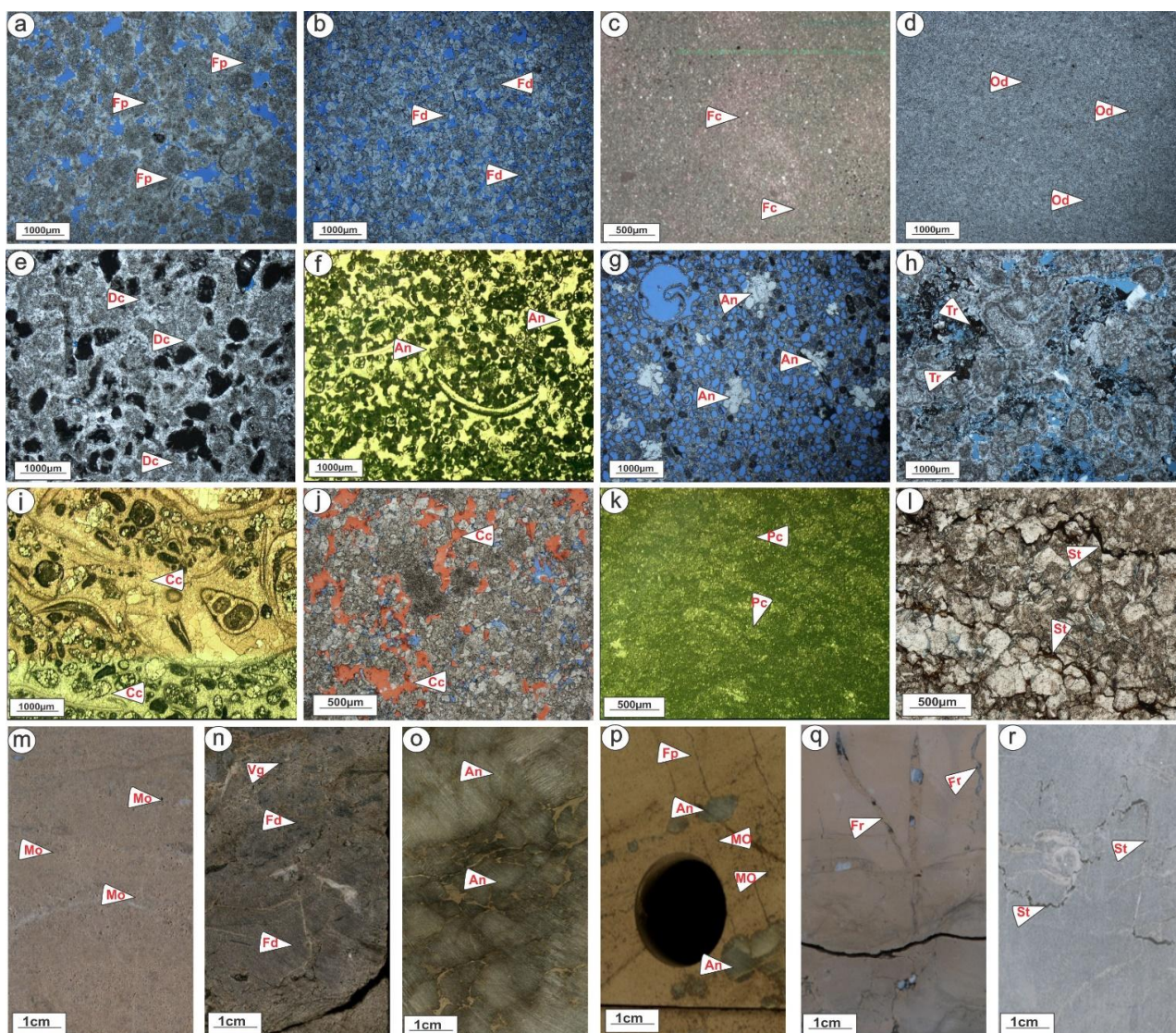
دیاژنز و سیستم منافذ (۱۳۹۵، ۱۳۹۲)؛ بنابراین در این میدان، تأثیر درخور توجهی بر ویژگی‌های مخزنی داشته است. در مقابل، فتحی و همکاران (۱۳۹۳) در میدان فردوسی واقع در بخش غربی بلندای قطر - فارس در خلیج فارس نشان دادند کیفیت مخزنی تأثیر گرفته از رخساره‌های رسوبی کنترل شده است و دیاژنز تأثیرات کمتری داشته است. در سازندهای دالان - کنگان و عرب، فرایندهای دیاژنزی مختلفی شامل انحلال، دولومیتی شدن، سیمانی شدن، کانی‌زایی تبخیری، تراکم، شکستگی و حضور هیدروکربن باقیمانده، با شدت و فراوانی مختلف بر ویژگی‌های منافذ و

دیاژنز و سیستم منافذ

در بخش‌های مختلف خلیج فارس، باتوجه به موقعیت جغرافیایی، ساختارهای ناحیه‌ای منطقه و شرایط تکتونیکی، میزان تأثیر فرایندهای دیاژنزی، انواع غالب آنها و کنترل دیاژنز بر کیفیت مخزنی متفاوت است؛ برای مثال، در میدان بلال در بخش شرقی بلندای قطر - فارس، دولومیتی شدن به میزان زیادی بر سازند عرب تأثیر گذاشته است و این فرایند همراه با کانی‌زایی تبخیری مرتبط با آن در تغییر ویژگی‌های مخزنی اولیه نقش مهمی داشته است (اسعدی و همکاران ۱۳۹۱،

تأثیر چشمگیری بر ویژگی‌های مخزنی اعمال نکرده است (شکل ۶-g). هیدروکربن‌های باقیمانده، نشان‌دهنده پشدگی مخزن با هیدروکربن، بخشی از تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری را مسدود کرده است (شکل ۶-h). سیمان‌های کلسیتی در کاهش انواع تخلخل در رخساره‌های آهکی و دولومیتی نقش مهمی داشته است (شکل ۶-i-j). تراکم به دو صورت فیزیکی و شیمیایی (شکل ۶-k-l) مشاهده می‌شود و عموماً تأثیر تراکم فیزیکی مهم‌تر بوده و در برخی موارد کیفیت مخزنی را به میزان چشمگیری کاهش داده است. برای درک بهتر تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر ویژگی‌های منافذ سازندهای دالان - کنگان و عرب، تصاویر مغزه از این فرایندها ارائه شده است (شکل ۶-m-r). نتایج ارائه شده در ارتباط با تأثیر فرایندهای دیاژنزی براساس مطالعات دقیق پتروگرافی مشخص شده است. در ارتباط با اهمیت تأثیر و شدت فرایندهای دیاژنزی، گفتنی است سیمان‌های کلسیتی در سازندهای دالان - کنگان در مقایسه با عرب تأثیر بیشتری بر کاهش ویژگی‌های مخزنی داشته است. همچنین، سیمان‌های انیدریتی در توالی پرمو - تریاس برخلاف ژوراسیک بالایی، بیشتر به صورت یکنواخت توزیع شده است و در مسدودکردن گلوگاه‌های تخلخل نقش مهم‌تری داشته است. دولومیتی شدن در سازند عرب گسترش بیشتری دارد و دولوگرینستون‌های با تخلخل بین‌دانه‌ای بالا و دولومیت‌های دانه‌شکری، زون‌های با تخلخل - تراوایی بالا در این سازند ایجاد کرده‌اند. تأثیر فرایند انحلال در هر دو توالی مهم بوده است و ایجاد تخلخل‌های دیاژنزی (بین‌بلوری، حفره‌ای مرتبط و غیرمرتبط و شکستگی) را سبب شده است و گلوگاه‌های تخلخل‌های بین‌دانه‌ای را نیز بزرگ‌تر کرده است. در حالت کلی گفتنی است فرایندهای دیاژنزی سیمانی شدن به‌عنوان مهم‌ترین فرایند کاهش کیفیت مخزنی و در مقابل، انحلال به‌عنوان فرایند بهبوددهنده ویژگی‌های مخزنی در توالی‌های کربناته - تبخیری دالان - کنگان و عرب در میادین مطالعه شده عمل کرده است.

کیفیت مخزنی تأثیرگذار بوده‌اند (شکل ۶). دولومیتی شدن باتوجه به نوع، شکل، اندازه بلور، میزان آن و نوع رخساره اولیه بر ویژگی‌های مخزنی تأثیرات متفاوتی اعمال کرده است. دولومیت‌های حفظ‌کننده فابریک که بیشتر در دولوگرینستون‌ها مشاهده می‌شود بر ویژگی‌های مخزنی تأثیر زیادی اعمال نمی‌کنند (شکل ۶-a). در این دولومیت‌ها، سیستم منافذ، بین‌دانه‌ای است که از محیط رسوبی اولیه به ارث رسیده است؛ باوجود این، انحلال با افزایش اندازه گلوگاه‌ها تخلخل - تراوایی را افزایش داده است. در دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، نمونه‌های با بلورهای درشت و خودشکل دولومیت کیفیت مخزنی بالایی دارند (شکل ۶-b). دولومیت‌های دانه شکری، زون‌های مخزنی متخلخل و تراوا در سازندهای دالان - کنگان و عرب محسوب می‌شوند (Cantrell et al. 2001, 2004; Rahimpour-). در مقابل، نمونه‌هایی با بلورهای ریز و بی‌شکل دولومیت، متراکم و ناتراوا هستند (شکل ۶-c). دولومیتی شدن بیش از حد به‌عنوان فرایند کاهش‌دهنده تخلخل - تراوایی در هر دو توالی مطالعه شده مشاهده می‌شود (شکل ۶-d). در این نمونه‌ها، دولومیتی شدن سبب از بین رفتن تخلخل‌های بین‌بلوری و تشکیل سدهای درون‌مخزنی شده است. سیمانی شدن، فرایند دیاژنزی مهم در سازندهای دالان - کنگان و عرب است که به سه گروه سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی تفسیر می‌شود. سیمان‌های دولومیتی فراوانی کمتری دارند و بیشتر تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری را مسدود کرده‌اند (شکل ۶-e). کانی‌زایی تبخیری به‌عنوان فرایند دیاژنزی مهم بر ویژگی‌های مخزنی سازندهای دالان، کنگان و عرب تأثیر گذاشته است (کدخدائی ایلخچی و همکاران ۱۳۹۰، اسعدی و همکاران ۱۳۹۵). انیدریت با چهار فابریک لایه‌ای، نودولار، پرکننده تخلخل و پویکیلوئوپیک و توزیع یکنواخت و پراکنده در مخزن مشاهده می‌شود. عموماً نمونه‌های با توزیع یکنواخت، متراکم و بدون کیفیت مخزنی هستند (شکل ۶-f). در مقابل، توزیع پراکنده،



شکل ۶- تصاویر مقاطع نازک (a-l) و مغزه (m-r) از انواع مختلف فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سیستم منافذ سازندهای دالان - کنگان و عرب در میداین مطالعه‌شده: (a-b) دولومیت حفظ‌کننده فابریک، (b) دولومیت تخریب‌کننده فابریک، (c) دولومیتی شدن بیش از حد، (d) دولومادستون با بلورهای متراکم، (e) سیمان دولومیتی پرکننده تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، (f) سیمان انیدریتی پرکننده تخلخل با توزیع یکنواخت، (g) سیمان انیدریتی پرکننده تخلخل با توزیع غیریکنواخت، (h) نفت باقیمانده به صورت پرکننده تخلخل بین‌دانه‌ای، (i) سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، (j) سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل‌های بین‌بلوری، (k) تأثیر تراکم در یک رخساره گل غالب، (l) استیلولیت و رشد بلورهای دولومیت زین اسبی در امتداد آنها، (m) تخلخل قالبی در یک گرینستون آئیدی، (n) تخلخل حفره‌ای در یک دولومیت دانه شکر، (o) نودول‌های متراکم انیدریت، (p) نودول‌های پراکنده انیدریت در یک دولوگرینستون آئیدی، (q) شکستگی‌های پر شده با سیمان انیدریتی در یک دولومادستون، (r) استیلولیت در یک مادستون. علائم اختصاری: Fp: دولومیت حفظ‌کننده فابریک، Fd: دولومیت تخریب‌کننده فابری، Fc: دولومیت ریزبلور، Od: دولومیتی شدن بیش از حد، Dc: سیمان دولومیتی، An: انیدریت، Tr: هیدروکربن جامد باقیمانده، Cc: سیمان کلسیتی، Pc: تراکم فیزیکی، St: استیلولیتی شدن، Mo: تخلخل قالبی، Fr: شکستگی. (تصاویر b-c-d-f-i-k-m-o-q-r از سازندهای دالان - کنگان و تصاویر a-e-g-h-j-l از سازند عرب ارائه شده است)

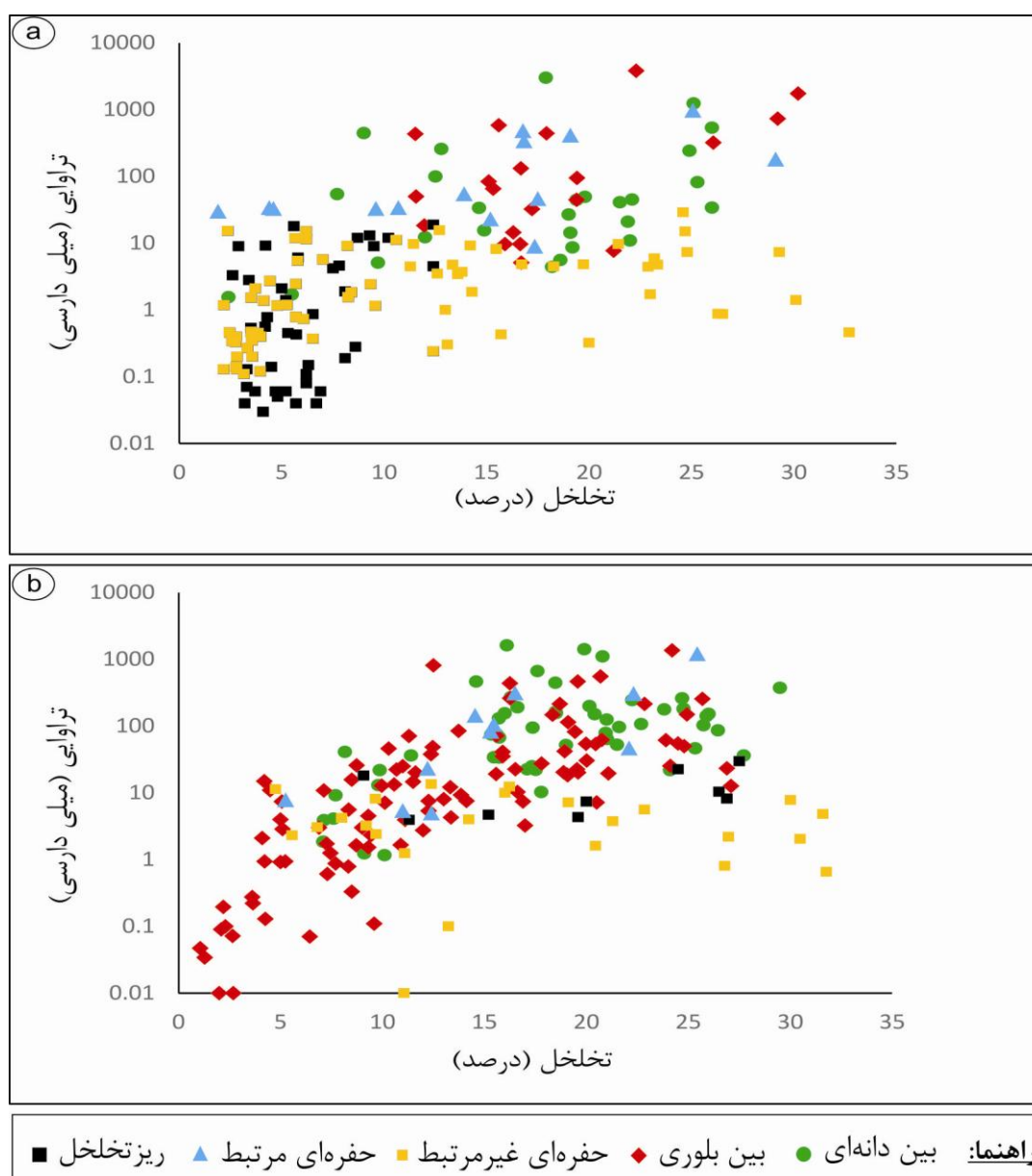
سیستم منافذ و توزیع تخلخل - تراوایی

انواع تخلخل از نظر هندسه منافذ، ویژگی‌های مخزنی و روند تغییرات تخلخل - تراوایی تفاوت‌های عمده‌ای نشان می‌دهند (Ahr, 2008). در مخازن ماسه‌سنگی به دلیل فراوانی تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، روند تغییرات تخلخل به صورت یکنواخت‌تر است؛ بدین صورت که با افزایش تخلخل در یک روند مستقیم، تراوایی افزایش می‌یابد. در مقابل، در مخازن کربناته به دلیل تنوع منافذ، عموماً رابطه تخلخل - تراوایی به صورت مستقیم نیست. تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری با رابطه مستقیم و افزایش هماهنگ مقادیر تخلخل - تراوایی، ناهمگنی کمتری دارند. در مقابل، تخلخل‌های حفره‌ای و شکستگی‌ها، منافذ با پیچیدگی و ارتباط غیرمستقیم تخلخل - تراوایی شناخته می‌شوند. در تخلخل‌های حفره‌ای غیرمرتبط با وجود تخلخل بالا تراوایی پایین است. در مقابل، شکستگی‌ها عموماً تخلخل پایین و تراوایی بالا دارند؛ با وجود این، با تأثیر فرایندهای دیاژنزی از قبیل شکستگی و انحلال، ارتباط بین گلوگاه‌های تخلخل در منافذ حفره‌ای غیرمرتبط (عموماً قالبی) ایجاد می‌شود و تراوایی افزایش می‌یابد. نسبت فراوانی تخلخل‌های حفره‌ای به بین‌دانه‌ای در میزان ناهمگنی مخازن کربناته، نشانگر در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش برای شناسایی انواع تخلخل از تلفیق نتایج مطالعات پتروگرافی و تحلیل تصاویر استفاده شده است. با توجه به فاصله نمونه‌برداری استاندارد در نمونه‌ها در بخش مخزنی، تعداد نمونه‌ها شاخص فراوانی در نظر گرفته شده است. توزیع سیستم منافذ در توالی پرمو - تریاس و عرب نشان می‌دهد تفاوت‌های عمده‌ای در فراوانی منافذ مشاهده می‌شود. در سازند عرب، منافذ غالب

از نوع بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری هستند. در مقابل در توالی پرمو - تریاس تخلخل‌ها بیشتر به صورت قالبی و ریزتخلخل‌ها هستند. توسعه ریزتخلخل‌ها بیشتر به دلیل فراوانی رخساره‌های گل غالب است. فراوانی تخلخل‌های بین‌دانه‌ای - بین‌بلوری در سازند عرب و در مقابل توسعه چشمگیر تخلخل‌های حفره‌ای در توالی پرمو - تریاس به دلیل کانی‌شناسی اولیه اجزا تفسیر می‌شود. طی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی، ترکیب آب اقیانوس‌ها به ترتیب برای نهشت اجزای آراگونیتی و کلسیتی مناسب بوده است. فرایندهای دیاژنزی مختلف به ویژه انحلال و سیمانی‌شدن، تغییرات عمده‌ای در مقادیر تخلخل - تراوایی انواع تخلخل ایجاد کرده است. در برخی از تخلخل‌های قالبی سازندهای دالان - کنگان به دلیل تأثیر انحلال، ارتباط گلوگاه‌های تخلخل ایجاد شده و تراوایی افزایش یافته است. میانگین تخلخل - تراوایی مغزه و فراوانی انواع گروه‌های منفذی مختلف در دو توالی مطالعه شده نشان داده شده است (جدول ۲). همچنین، نمودار توزیع تخلخل - تراوایی در هر توالی پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی براساس نوع منافذ ترسیم شده است (شکل ۷ - a-b). همان‌گونه که مشاهده می‌شود تراوایی نمونه‌های با تخلخل بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری در مقایسه با تخلخل‌های حفره‌ای غیرمرتبط (عموماً قالبی) بالاتر است. این منافذ ارتباط تخلخل - تراوایی همگن‌تری دارند و کیفیت مخزنی بهتری نشان می‌دهند. تخلخل‌های حفره‌ای مرتبط به دلیل ارتباط زیاد گلوگاه‌های تخلخل تراوایی بالایی نشان می‌دهند. در حالت کلی بالاترین مقادیر تخلخل در انواع حفره‌ای غیرمرتبط (قالبی) و بالاترین تراوایی در تخلخل‌های بین‌دانه‌ای مشاهده می‌شود.

جدول ۲- میانگین مقادیر تخلخل - تراوایی و فراوانی هر کدام از انواع منافذ اصلی در سازندهای دالان - کنگان و عرب در دو میدین مطالعه‌شده در خلیج فارس

میانگین تراوایی (میلی داری)		میانگین تخلخل (درصد)		فراوانی (درصد)		نوع تخلخل	
ژوراسیک بالایی	پرمو - تریاس	ژوراسیک بالایی	پرمو - تریاس	ژوراسیک بالایی	پرمو - تریاس	ژوراسیک بالایی	پرمو - تریاس
۱۶۵	۳۶/۷۵	۱۸/۱۰	۱۳/۳۸	۲۴/۳۳	۱۳	بین دانه‌ای	
۶۷/۴۵	۱۴۳	۱۳/۱۴	۱۷/۷۴	۵۲/۱۲	۹/۷۶	بین بلوری	
۵/۲۴	۵/۹۴	۱۷/۴۵	۱۱/۲۶	۱۰/۲۵	۳۷/۴۵	حفره‌ای غیر مرتبط	
۸۲/۲۳	۲۸۱	۱۵/۲۵	۱۸/۹۳	۶/۴۶	۷/۰۵	حفره‌ای مرتبط	
۷/۴۱	۳/۱۲	۱۹/۲۴	۱۰/۳۳	۳/۲۹	۳۲/۲۴	ریز تخلخل	



شکل ۷- توزیع تخلخل تراوایی نمونه پلاگ‌های سازندهای دالان - کنگان (a) و عرب (b). براساس نوع تخلخل غالب

نتیجه

این فرایندها به نظر می‌رسد انحلال، سیمانی‌شدن و کانی‌زایی تبخیری در ویژگی‌های منافذ مهم‌ترین نقش را داشته‌اند. در حالت کلی، کانی‌زایی تبخیری، فرایند دیاژنزی همراه با دولومیتی‌شدن، در سازندهای دالان - کنگان به دلیل توزیع یکنواخت‌تر انیدریت در مسدودکردن گلوگاه‌های تخلخل و کاهش کیفیت مخزنی نقش زیادی داشته است. علاوه بر این، سیمان کلسیتی در بسیاری از رخساره‌های دانه غالب، ایجاد زون‌های ناتراوا را سبب شده است.

- از نظر ویژگی‌های مخزنی و سیستم منافذ، سازند عرب باتوجه به غالب بودن تخلخل‌های بین‌دانه‌ای - بین‌بلوری در مقایسه با سازندهای دالان - کنگان با تخلخل عمدتاً قالبی، ناهمگنی کمتری در نوع منافذ نشان می‌دهد و بین تخلخل - تراوایی ارتباط بالاتری مشاهده می‌شود.

References

- Adabi M. 2004. A re-evaluation of Aragonite versus Calcite seas. *Carbonates and Evaporites*, 19(2): 133-141.
- Adabi M. H. Khodaei N. 2009. The study of limestone deposits of Kangan Formation: Application for Original mineralogy and paleoclimatology, South Pars Field, Persian Gulf, *Journal of Science, University of Tehran*, In Persian, 34: 87-103.
- Ahr W.M. 2008. *Geology of carbonate reservoirs*. John Wiley and Sons, Chichester, 296 p.
- Al-Husseini M. I. 1997. Jurassic sequence stratigraphy of the western and southern Arabian Gulf. *Geo-Arabia*, 2(4): 361-382.
- Al-Husseini M.I. 2007. Iran's crude oil reserves and production. *Geo-Arabia*, 12 (2):69-94.
- Alsharhan A. S. 2006. Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the middle Permian to Early Triassic Khuff Formation, United Arab Emirates. *Geo-Arabia*, 11(3): 121-158.
- Alsharhan A. S. and Whittle G. L. 1995. Carbonate-evaporate sequences of the Late Jurassic, southern and southwestern Arabian Gulf. *American Association Petroleum Geologists*, 79(11): 1608-1630.
- Alsharhan A.S. Nairn A.E.M. 1997. *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East*. Elsevier, Amsterdam, 843 p.

نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات دقیق پتروگرافی و تلفیق آنها با داده‌های تخلخل - تراوایی مغزه برای شناسایی انواع سیستم منافذ و ویژگی‌های مخزنی آنها در ارتباط با نوع کانی‌شناسی اولیه اجزا و تأثیر فرایندهای دیاژنزی و شدت آنها در دو توالی پرمو - تریاس (سازندهای دالان کنگان) و ژوراسیک بالایی (عرب) در خلیج فارس، استفاده و به نتایج زیر منجر شد:

- هر دو توالی در یک پلاتفرم رمپ کربناته و در آب‌وهوا گرم و خشک نهشته شده‌اند و ویژگی‌های رخساره‌ای و نوع فرایندهای دیاژنزی غالب در آنها شباهت‌های زیادی با هم دارد. باوجود این، سیستم منافذ در آنها به دلیل تأثیر کانی‌شناسی اولیه اجزا و تأثیر فرایندهای دیاژنزی تا حدودی تفاوت و ناهمگنی نشان می‌دهد. در رخساره‌های پرانرژی شول، اجزای غیراسکلتی به‌ویژه آئید، پلوئید و اینتراکلت فراوانی چشمگیری نشان می‌دهند.

- در زمان پرمو - تریاس و ژوراسیک بالایی ترکیب آب اقیانوس‌ها به ترتیب برای نهشت آراگونیت و کلسیت مناسب بوده است. در سازندهای دالان و کنگان به دلیل ترکیب عمدتاً آراگونیتی اجزا، فرایند انحلال، ایجاد تخلخل‌های قالبی گسترده را سبب شده است. در مقابل در طی ژوراسیک بالایی به دلیل کلسیتی بودن و پایداری بیشتر، تخلخل‌های بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای غالب هستند. ارتباط گلوگاه‌های تخلخل در برخی تخلخل‌های قالبی توالی پرمو - تریاس به دلیل تأثیر فرایندهای دیاژنزی انحلال، تراکم و شکستگی ارتباط گلوگاه‌های تخلخل بهبود یافته است.

- ریزتخلخل‌ها که بیشتر در رخساره‌های گل غالب فراوانی بالاتری نشان می‌دهند، در سازندهای دالان - کنگان در مقایسه با عرب توسعه بیشتری دارند.

- در افزایش ناهمگنی سیستم منافذ، فرایندهای دیاژنزی مختلفی از قبیل انحلال، دولومیتی‌شدن، کانی‌زایی تبخیری، سیمان کلسیتی و دولومیتی و تراکم نقش داشته‌اند. در میان

- Demicco R. V. Lowenstein T. K. Hardie L. A. and Spencer R. J. 2005. Model of seawater composition for the Phanerozoic. *Geology*, 33(11): 877-880.
- Edgell H. 1996. Salt tectonism in the Persian Gulf basin. In: Alsop, I., Blundell, D. & Davison, I. (Eds) *Salt Tectonics*, Geological Society, London, Special Publications, 100: 129-151.
- Ehrenberg S. N. Nadeau P. H. and Aqrabi A. A. M. 2007. A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East. *American Association Petroleum Geologists*, 91(3): 275-286.
- Enayati-Bidgoli A. H. and Rahimpour-Bonab H. 2016. A geological based reservoir zonation scheme in a sequence stratigraphic framework: A case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, Offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 73: 36-58.
- Esfafili-Dizaji B. and Rahimpour-Bonab H. 2009. Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. *Petroleum Geoscience*, 15(4): 325-344.
- Esfafili-Dizaji B. and Rahimpour-Bonab H. 2014. Generation and evolution of oolitic shoal reservoirs in the Permo-Triassic carbonates, the South Pars Field, Iran. *Facies*, 60(4): 921-940.
- Fathi N. Rahimpour-Bonab H. Daraei M. and Assadi A. 2014. Reservoir Quality Controlling Parameters of Arab Formation in Ferdowsi oil field, Persian Gulf, *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, In Persian, 30 (1): 59-78.
- Heydari E. 2003. Meteoric versus burial control on porosity evolution of the Smackover Formation. *AAPG Bull*, 87:1779-1797.
- Hollis C. Vahrenkamp V. Tull S. Mookerjee A. Taberner C. and Huang Y. 2010. Pore system characterization in heterogeneous carbonates: An alternative approach to widely-used rock-typing methodologies. *Marine and Petroleum Geology*, 27(4): 772-793.
- Honarmand J. and Amini A. 2012. Diagenetic processes and reservoir properties in the ooid grainstones of the Asmari Formation, Cheshmeh Khush Oil Field, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81: 70-79.
- Hughes G. W. 1996. A new bioevent stratigraphy of Late Jurassic Arab-D carbonates of Saudi Arabia. *Geo-Arabia*, 1(3): 417-434.
- Anselmetti F. S. and Eberli G. P. 1999. The velocity-deviation log: a tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs. *American Association Petroleum Geologists*, 83(3): 450-466.
- Assadi A. Rahimpour-Bonab, H. Chehrizi, A. Kadkhodaie, A. and Sohrabi, S. 2013. Combining petrographic and log facies analysis for reservoir characterization of Upper Surmeh Formation in Balal Oil Field. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, In Persian, 29 (4): 17-32.
- Assadi A. Rahimpour-Bonab, H. Sfidari, Fathi, N. 2012. Microfacies, sedimentary environment and its effect on reservoir quality of the upper part Surmeh Formation (Arab Zone) Balal Oil Field, 31th Earth Sciences Conference. Geological society of Iran, In Persian, 1-7.
- Assadi A. Shakeri, A.R. Kadkhodaie, A. Rahimpour-Bonab, H. Chehrizi, A. 2017, The Impact of Anhydrite Mineralization on Reservoir Quality of the Dolomites of Arab Formation; a Case Study from a Hydrocarbon Field in the Persian Gulf, *Petroleum Research*, In Persian, 95: 13-24.
- Bliefnick D. M. and Kaldi J. G. 1996 Pore geometry: control on reservoir properties, Walker Creek Field, Columbia and Lafayette counties, Arkansas. *American Association Petroleum Geologists*, 80(7): 1027-1044.
- Cantrell D. L. 2006. Cortical fabrics of Upper Jurassic ooids, Arab Formation, Saudi Arabia: implications for original carbonate mineralogy. *Sedimentary Geology*, 186(3): 157-170.
- Cantrell D. L. and Hagerty R. M. 2003. Reservoir rock classification, Arab-d reservoir, Ghawar field, Saudi-Arabia. *Geo-Arabia*, 8(3): 435-462.
- Cantrell D. L. Swart, P. K. Handford R. C. Kendall C. G., and Westphal, H. 2001. Geology and production significance of dolomite, Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia. *Geo-Arabia*, 6(1): 45-60.
- Cantrell D. Swart P. and Hagerty R. 2004. Genesis and characterization of dolomite, Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia. *Geo-Arabia*, 9(2): 11-36.
- Daraei M. Rahimpour-Bonab H. and Fathi N. 2014. Factors shaping reservoir architecture in the Jurassic Arab carbonates: A case from the Persian Gulf. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 122: 187-207.

- Morad, S. Al-Aasm I. S. Nader F. H. Ceriani A. Gasparrini M. and Mansurbeg H. 2012. Impact of diagenesis on the spatial and temporal distribution of reservoir quality in the Jurassic Arab D and C members, offshore Abu Dhabi oilfield, United Arab Emirates. *Geo-Arabia*, 17(3): 17-56.
- Perotti C. Chiariotti L. Bresciani I. Cattaneo L. and Toscani G. 2016. Evolution and timing of salt diapirism in the Iranian sector of the Persian Gulf. *Tectonophysics*, 679: 180-198.
- Perotti C. R. Carruba S. Rinaldi M. Bertozzi G. Feltre L. and Rahimi M. 2011. The Qatar – South Fars Arch Development (Arabian Platform, Persian Gulf): Insights from Seismic Interpretation and Analogue Modelling. In: Schattner, U. (Ed.), *New Frontiers in Tectonic Research – At the Midst of Plate Convergence*. Intech, Croatia, 325-352.
- Rahimpour-Bonab H. and Aliakbardoost E. 2014. Pore facies analysis: incorporation of rock properties into pore geometry based classes in a Permo-Triassic carbonate reservoir in the Persian Gulf. *Journal of Geophysics and Engineering*, 11(3): 1-22.
- Rahimpour-Bonab H. Ebrahimi-Dizaji B. and Tavakoli V. 2010. Dolomitization and Anhydrite Precipitation in Permo-Triassic Carbonates at the South Pars Gas-field, Offshore Iran: Controls on Reservoir Quality. *Journal of Petroleum Geology*, 33(1): 43-66.
- Sandberg P. A. 1983. An oscillating trend in Phanerozoic non-skeletal carbonate mineralogy. *Nature*, 305: 19-22.
- Sharland P.R. Archer R. Casey D.M. Davies R.B. Hall S.H. Heyward A.P. Horbury A.D. and Simmons M.D. 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy *Geo-Arabia*, Special Publication, 2: 371 p.
- Slater, T. 2002. Integrated pore network characteristics of the well South Pars 7. Eni Agip Division – Labo. Unpublished. 32p.
- Swart P. K. Cantrell D. L. Westphal H. Handford C. R. and Kendall C. G. 2005. Origin of dolomite in the Arab-D reservoir from the Ghawar Field, Saudi Arabia: evidence from petrographic and geochemical constraints. *Journal of Sedimentary Research*, 75(3): 476-491.
- Szabo F. and Kheradpir A. 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros Basin, South-West Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 1(2): 57-82.
- Tavakoli V. Rahimpour-Bonab H. and Ebrahimi-Dizaji B. 2011. Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated
- Insalaco E. Virgone A. Courme B. Gaillot J. Kamali M. Moallemi A. and Monibi S. 2006. Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *Geo-Arabia*, 11(2): 75-176.
- Jalilian, M.H. 2014. A comparison of the Surmeih and Dalan formations reservoir potential in the Persian Gulf. *Iranian Journal of Petroleum Geology*, In Persian, 7: 1-14.
- Kadkhodaie-Ilkhchi R. Rahimpour-Bonab H. Moussavi-Harami, R. Kadkhodaie-Ilkhchi, A. 2011. Factors controlling distribution of different textures of anhydrite cement and its relation to reservoir quality in the Upper Dalan and Kangan carbonate reservoirs, South Pars-field. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, In Persian, 27 (1): 1-26.
- Kashfi M. S. 1992. Geology of the Permian “Super-Giant” gas reservoirs in the greater Persian Gulf area. *Journal of Petroleum Geology*, 15(4): 465-480.
- Koehrer B. Zeller M. Aigner T. Poepfelreiter M. Milroy P. Forke H. and Al-Kindi S. 2010. Facies and stratigraphic framework of a Khuff outcrop equivalent: Saiq and Mahil formations, Al Jabal al-Akhdar, Sultanate of Oman. *Geo-Arabia*, 15(2): 91-156.
- Lindsay R. F. D. L. Cantrell G. W. Hughes T. H. Keith H. W. Mueller III and Russell S. D. 2006. Ghawar Arab-D reservoir: Widespread porosity in shoaling-upward carbonate cycles, Saudi Arabia, and L. J. Weber, (eds), *Giant hydrocarbon reservoirs of the world: From rocks to reservoir characterization and modeling: AAPG Memoir*, 88: 97-137.
- Lucia F.J. 2007. *Carbonate Reservoir Characterization: an Integrated Approach*. Springer, Berlin, New York, 336 p.
- Matthews A. Humphrey N. Slater T. 2002. Reservoir geological study of cores from the SP-9 well (Kangan and Dalan formations) South Pars field, Iran. Robertson, Unpublished. 131p.
- Mehrabi H. and Rahimpour-Bonab H. 2014. Paleoclimate and tectonic controls on the depositional and diagenetic history of the Cenomanian–early Turonian carbonate reservoirs, Dezful Embayment, SW Iran. *Facies*, 60(1): 147-167.
- Moore C. Wade W. 2013. *Carbonate reservoirs: porosity, evolution & diagenesis in a sequence stratigraphic framework: Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework*, Elsevier, 67: 369 p.

- Vaslet D. Le Nindre, Y. Vachard D. Broutin J. Crasquin-Soleau S. Berthelin M. and Al-Husseini M. 2005. The Permian-Triassic Khuff Formation of central Saudi Arabia. *Geo-Arabia*, 10(4): 77-106.
- Ziegler M. A. 2001. Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian Plate and its hydrocarbon occurrences. *Geo-Arabia*, 6 (3): 445-504.
- approach. *Comptes Rendus Geoscience*, 343(1): 55-71.
- Tedesco W.A. Major RP. 2012. Influence of primary ooid mineralogy on porosity evolution in limestone and dolomite reservoirs: an example from the Eastern Gulf of Mexico Basin. *Gulf Coast Association Geological Society Transaction*, 461-469.

