



مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی بر قطر گلوگاه حفرات، سازندهای دالان و کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس

سمیرا اکبرزاده^۱؛ وحید توکلی^{۲*}؛ سپیده داودی^۳

۱- کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

۳- کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/JPG.2024.446278.1230

واژگان کلیدی	چکیده
ریزرخساره، دیاژنز، سازند دالان و کنگان، قطر گلوگاه حفرات، نمودار وینلند	این مطالعه به بررسی تأثیر عوامل مختلف بر قطر گلوگاه حفرات در سازند دالان بالایی و کنگان در بخش مرکزی خلیج فارس پرداخته است. ریزرخساره، محیط رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و تأثیر آنان بر پراکندگی داده‌های تخلخل و تراوایی، با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری بررسی شد. مطالعات پتروگرافی منجر به شناسایی ۱۲ ریزرخساره در قالب ۴ کمربند رخساره‌ای در یک محیط کم شیب کربناته شد. ترسیم نمودارهای تخلخل و تراوایی تأثیر لیتولوژی بر روی داده‌های تخلخل و تراوایی را نشان داد به طوری که لیتولوژی دولومیت دارای مقادیر تخلخل و تراوایی بیشتری نسبت به آهک است. بافت رسوبی دانه غالب نسبت به گل غالب دارای مقادیر بالاتری از تخلخل و تراوایی می‌باشند. غالب‌ترین فرایندهای دیاژنزی دولومیتی‌شدن، انحلال، سیمانی‌شدن و تراکم هستند. تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای، بین بلورین و بین‌دانه‌ای مهم‌ترین تخلخل‌های شناسایی شده هستند. بررسی‌ها نشان داد فرایند انحلال و دولومیتی‌شدن نقش مهمی در افزایش قطر گلوگاه حفرات و کیفیت مخزنی دارند. بررسی نمودارهای دوگانه بیانگر آن است که سیمانی‌شدن و تراکم به تنهایی نقش کاهنده‌ای ندارند و تأثیر بیشتر آن در نتیجه تلفیق هر دو عامل است. به منظور بررسی اثر رخساره‌ها و دیاژنز بر قطر گلوگاه حفرات، داده‌های تخلخل و تراوایی بر روی نمودار وینلند ترسیم گردید. بر اساس این نمودار، هفت گونه سنگی با قطر گلوگاه متفاوت مشخص گردید. نتایج نشان داد که به علت تأثیر عوامل مختلف دیاژنزی بر ریزرخساره‌ها، قطر گلوگاه حفرات متفاوت بوده و جایگاه آن‌ها در نمودار وینلند جابجا می‌گردد. رخساره‌های دانه‌پشتیبان (پکستونی و گریستونی) متعلق به کمربند رخساره‌های شول که تحت تأثیر انحلال و یا دولومیتی‌شدن قرار گرفته‌اند، بهترین افق‌های مخزنی را وجود آورده‌اند. این ریزرخساره‌ها دارای بالاترین قطر گلوگاه حفرات و بهترین گونه‌های سنگی تعیین‌شده به روش وینلند هستند.

۱. پیش‌گفتار
سازند دالان به سن پرمین و سازند کنگان به سن تریاس به عنوان بزرگ‌ترین مخزن گازی در خلیج فارس شناخته می‌شوند. این مخازن کربناته به لحاظ ویژگی‌های مخزنی، ناهمگونی بالایی نشان می‌دهند و مدل‌سازی این مخازن دشوار است [۱]. تخلخل و تراوایی از جمله ویژگی‌های

پتروفیزیکی مخازن است که در جهت ارزیابی توان تولید و ذخیره اهمیت بسیاری دارد. کیفیت مخزنی مخازن کربناته عمدتاً تحت تأثیر ویژگی‌های رسوبی (ریزرخساره‌ای) به صورت اولیه و فرآیندهای پس از رسوب‌گذاری (دیاژنز و شکستگی) به صورت ثانویه است [۲، ۳]. تلفیق تأثیر این ویژگی‌ها در نهایت باعث شکل‌گیری سیستم منافذ و هندسه آن در مخازن

۲. زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه

از نظر ساختمانی، میدان پارس جنوبی با جهت امتداد شمال شرق- جنوب غرب در قسمت شمالی بالآمدگی قطر- فارس قرار دارد. سازند دالان بالایی و کنگان (پرمین پایانی- تریاس زیرین) از گروه دهرم، با توالی کربناته- تبخیری از مهم‌ترین سازندهای مخزنی به حساب می‌آیند. از پرمین میانی، افت حرارتی سریع حاشیه فعال جدید شمال شرق ورق عربی و ادامه اشتقاق قاره‌ای رو به شمال موجب پیشروی سازند خوف (معادل سازندهای کنگان و دالان) در ابتدای پرمین پسین شده است [۲۱]. در ابتدای تریاس میانی که نئوتتیس دارای گسترش اقیانوسی پایدار بوده، میزان فرونشست ورق عربی کم شده است. توسعه حاشیه غیرفعال جدید نئوتتیس به دلیل فرونشست بسیار سریع منجر به پیشروی دریایی وسیع و رسوب‌گذاری سازندهای کنگان و دالان شده است. عضو دالان بالایی پس از نهشت انیدریت‌های نار آغاز می‌شود و سپس سازند کنگان با یک مرز ناپیوستگی بر روی سازند دالان قرار می‌گیرد [۲۲]. به لحاظ مخزنی، این سازندها به ترتیب به واحدهای مخزنی K1 و K2 در سازند کنگان و K3 و K4 در سازند دالان بالایی جدا می‌شوند (شکل ۱) [۱۲، ۲۳]. پوش سنگ سازند کنگان، شیل‌های سازند دشتک است که به‌طور تدریجی روی کربنات‌های این سازند رسوب کرده است [۲۴]. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ستون چینه‌شناسی توالی‌های رسوبی پرمین- تریاس همراه با واحدهای مخزنی سازندهای دالان و کنگان در خلیج فارس نشان داده شده است.

۳. داده‌ها و روش مطالعه

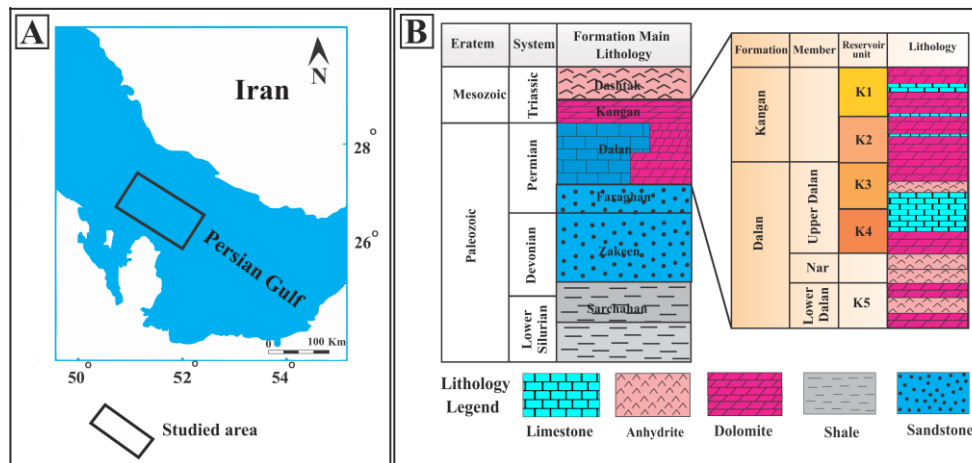
در این مطالعه از داده‌های رسوب‌شناسی و پتروفیزیکی ۴۰۰ متر از یک چاه در میدانی واقع در بخش مرکزی خلیج فارس استفاده گردید. از چاه مورد مطالعه تعداد ۱۵۷۰ مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از مغزه (۴۸۲ مقطع نازک میکروسکوپی مربوط به سازند کنگان و ۱۰۸۸ مقطع نازک میکروسکوپی از سازند دالان) استفاده شد. بخشی از مقاطع مورد مطالعه به‌منظور تشخیص لیتولوژی (کلسیت از دولومیت) رنگ‌آمیزی گردیده است. نام‌گذاری و توصیف سنگ‌های کربناته بر اساس روش دانهام [۲۵] و امری و کلوان

می‌شود که خود کنترل‌کننده خصوصیات پتروفیزیکی سنگ است [۴]. سازندهای دالان و کنگان عمدتاً تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی از قبیل انحلال، سیمانی‌شدن و دولومیتی‌شدن بوده‌اند. لذا کیفیت مخزنی عمدتاً تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی است [۵-۹]. این فرآیندها قطر گلوگاه حفرات را تغییر می‌دهند. هرچند که ریزرخساره‌های اولیه نیز نقش عمده در شکل‌گیری زون‌های متخلخل و متراکم دارند. تعیین گونه‌های سنگی از دیدگاه زمین‌شناسی شامل تعیین واحدهایی است که از نظر ویژگی‌های رسوبی (لیتولوژی، بافت رسوبی، محتوای فسیلی و دیاژنز) در شرایط مشابهی قرار گرفته‌اند. در حالی که از دیدگاه مهندسی، گروه‌های سنگی به بخشی از مخزن اطلاق می‌گردند که دارای خواص مشابه پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی هستند [۱۰]. روش‌های مختلفی برای تعیین گونه‌های سنگی ارائه شده است که مبنای بسیاری از آن‌ها داده‌های تخلخل و تراوایی است. از میان روش‌های مرسوم در تشخیص گونه‌های سنگی، روش وینلند پرکاربردتر است. این روش بر مبنای معادله تجربی وینلند استوار است. این معادله، رابطه بین تخلخل، تراوایی و قطر گلوگاه حفرات را در ۳۵٪ اشباع جیوه در آزمایش فشار موئینه تزریق جیوه^۱ بیان می‌نماید [۱۱]. فرآیندهای رسوبی و دیاژنتیکی سیستم منافذ را پیچیده‌تر می‌کنند. تأثیر عوامل مختلف مانند فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی بر روی ریزرخساره‌ها باعث پیچیده‌تر شدن مخازن کربناته می‌گردد و جایگاه آن‌ها را بر اساس قطر گلوگاه حفرات ایجاد شده، در نمودار وینلند تغییر می‌دهد. از این‌روی بررسی عواملی که بر تغییرات قطر گلوگاه حفرات تأثیر دارند دارای اهمیت است. تاکنون مطالعات مختلفی از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی، محیط رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی، چینه‌نگاری سکانشی و کیفیت مخزنی بر روی توالی‌های پرمین- تریاس در نواحی مختلف زاگرس و بخصوص در خلیج فارس انجام شده است [۹، ۱۲-۲۰]؛ اما تأثیر فرآیندهای مختلف دیاژنزی و رسوبی بر قطر گلوگاه حفرات (با استفاده از نمودار وینلند) کمتر مورد بحث قرار گرفته است. این مطالعه، پس از بررسی نتایج مطالعات رخساره، دیاژنز و عوامل مؤثر بر کیفیت مخزنی (اولیه و ثانویه)، تأثیر این دو عامل را بر قطر گلوگاه حفرات در سازند کنگان و دالان بالایی مشخص خواهد کرد.

¹ Mercury injection capillary pressure (MICP)

تراوایی به منظور بررسی و درک تأثیر ریزرخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی بر قطر گلوگاه حفرات استفاده شده است. در همین راستا، داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه مربوط به هر رخساره بر روی نمودار پتروفیزیکی وینلند ترسیم گردید تا چگونگی توزیع رخساره‌ها و تأثیر فرایندهای اولیه بر این گونه‌های سنگی بررسی گردد.

[۲۶] و تحلیل ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی با استفاده از روش فلوگل [۲۷] انجام شده است. در کنار شناسایی ریزرخساره‌های اصلی، عوارض دیاژنزی نیز شناسایی شد. تأثیر فاکتورهای اولیه (لیتولوژی، ویژگی رسوبی) و ثانویه (دیاژنز) بر روی داده‌های تخلخل و تراوایی به‌طور مجزا توسط ترسیم نمودارهای تخلخل- تراوایی برای هر یک از پارامترها انجام شد. در ادامه از نمودار وینلند به همراه ۱۴۴۰ داده تخلخل و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه در بخش مرکزی خلیج فارس (A). چینه‌شناسی توالی‌های رسوبی پرمین- تریاس همراه با واحدهای مخزنی سازندهای دالان و کنگان در خلیج فارس (B).

توالی کربناته سازندهای دالان و کنگان در یک رمپ کربناته است [۲۸] (شکل ۳). از سویی وجود ریزرخساره‌های ائیدی که شاخص محیط رمپ است، از دیگر شواهد نهشت این سازندها در یک محیط رمپ کربناته است. این گونه از رمپ-ها معمولاً در یال رو به باد حوضه، در مقابل امواج و جریان‌ها تشکیل شده است و ماهیت کلی رسوبات دانه‌پشتیبان است [۲۹]؛ و سد اوولیتی و سایر اقسام سد گسترش دارند که این موارد نشان از وجود رمپ بادگیر^۲ است [۳۰]. در انتهای پرمین جداسدگی بستر دریا و به همراه آن پیشروی آب دریا منجر به تشکیل این پلاتفرم شده که از جنوب ایران تا عربستان گسترش دارد [۳۱]. عدم حضور اسلامپ‌ها، برش-ها، توربیدایت‌ها که نمایانگر رمپ‌های با بخش انتهایی پرشیب است [۲۹]، تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها و نشان می‌دهد که این رسوبات در یک محیط از نوع رمپ کربناته با شیب ملایم نهشته شده است (شکل ۳) [۶، ۹، ۱۳].

۴. نتایج

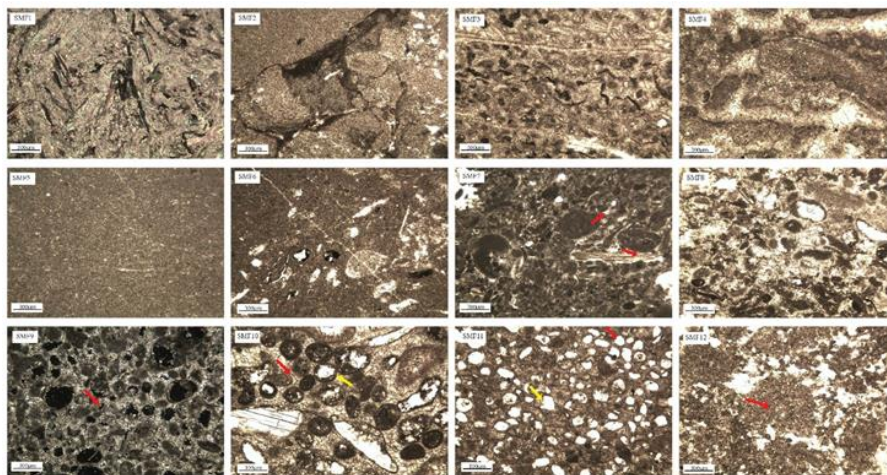
۱.۴. رخساره و محیط رسوبی

نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی منجر به شناسایی ۱۱ ریزرخساره کربناته و یک ریزرخساره تبخیری گردید. مشخصات اصلی این ریزرخساره‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. تصاویر میکروسکوپی مربوط به این ریزرخساره‌ها نیز در شکل ۲ نمایش داده شده است. بر اساس توزیع و پراکندگی ریزرخساره‌ها، انواع آلوکم‌های شناسایی شده، بافت رسوبی و مقایسه با رخساره‌های استاندارد ۴ زیرمحیط رسوبی برای سازندهای دالان و کنگان شناسایی شد که شامل پهنه بالا و بین جزرومدی، لاگون و شول است. عدم وجود یا پراکندگی کم ریزرخساره‌های ریفی، تبدیل تدریجی ریزرخساره‌های شناسایی شده به یکدیگر و عدم حضور بایوکلاست‌های مناطق کم‌عمق در مناطق عمیق که در شلف‌های لبه‌دار مشاهده می‌شود، نشان‌دهنده ته‌نشست

² Winward Ramp

جدول ۱- رخساره‌های رسوبی سازندهای دالان بالایی و کنگان.

رخساره استاندارد معادل	زیرمحیط شناسایی شده	اجزای تشکیل دهنده		بافت	عنوان ریزرخساره	کد رخساره
		اجزای اسکلتی	اجزای غیراسکلتی			
RMF25	پهنه بالای جزرومدی	-	-	-	انیدریت	SMF1
RMF22	پهنه بین جزرومدی	-	پلوئید	مادستون	مادستون-دولومادستون	SMF2
RMF23	پهنه بین جزرومدی	فیلامنت جلبکی (سبز، آبی)، خرده اسکلتی	پلوئید	بایندستون	باندستون استروماتولیتی	SMF3
RMF23	پهنه بین جزرومدی	فیلامنت جلبکی (سبز، آبی)، استراکود	-	بایندستون	باندستون ترومبولیتی	SMF4
RMF19	پهنه بین جزرومدی، لاگون	بایوکلست، تکستولاریا	-	مادستون	مادستون فسیل دار	SMF5
RMF24	لاگون	گاستروپود، دوکفه‌ای، استراکود و اکتینودرم	پلوئید، اینتراکلاست	وکستون	بایوکلست و کستون حاوی پلوئید و اینتراکلاست	SMF6
RMF21	لاگون	دوکفه‌ای، استراکود	پلوئید، انکوئید	پکستون	پکستون حاوی پلوئید و آنکوئید	SMF7
RMF27	شول رو به خشکی	-	ائید	پکستون	بایوکلست پکستون حاوی ائید	SMF8
RMF30	شول	گاستروپود، دوکفه‌ای، استراکود، بریزوا	پلوئید، ائید	گرینستون	بایوکلست گرینستون حاوی ائید و پلوئید	SMF9
RMF30	شول	دوکفه‌ای، بریزوا، گاستروپود	ائید	گرینستون	ائید گرینستون حاوی بایوکلست	SMF10
RMF30	شول	دوکفه‌ای، براکتیپودا، اکتینودرم، گاستروپود	اینتراکلاست، ائید	پکستون	ائید پکستون حاوی اینتراکلاست و بایوکلست	SMF11
-	-	-	-	-	کربنات بلورین	SMF12

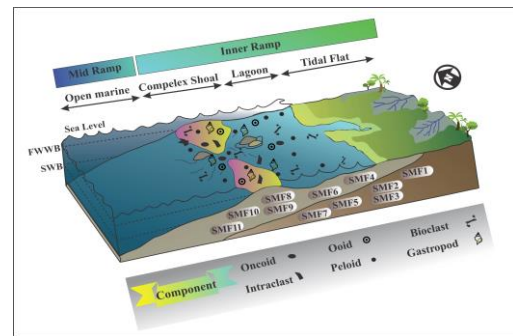


شکل ۲- ریزرخساره‌های شناسایی شده، به همراه برخی از فرآیندهای دیاژنزی غالب در آن‌ها (SMF7 پیکان قرمز تخلخل بین دانه‌ای، پیکان زرد: تراکم مکانیکی، SMF9 پیکان قرمز: تخلخل بین بلورین، SMF10 پیکان قرمز: سیمان هم ضخامت، پیکان زرد: تخلخل درون دانه‌ای، SMF11 پیکان قرمز: تخلخل قالبی، پیکان زرد: تخلخل حفره‌ای، SMF12 پیکان قرمز: دولومیتی شدن به همراه نوشکلی)

سیمانی شدن: سیمان‌هایی که در خلل و فرج ریزرخساره‌های مورد مطالعه دیده می‌شوند، شامل انواع سیمان‌های کلسیتی و سیمانی انیدریتی هستند. سیمان کلسیتی عمدتاً به صورت فابریک هم‌ضخامت و هم‌بعد در بین اجزای تشکیل دهنده مشاهده می‌شوند. سیمان هم‌بعد نسبت به سیمان هم‌ضخامت فراوانی بیشتری دارد. سیمان هم-ضخامت با حواشی هم‌اندازه در اطراف آلوکم و نیز حاشیه حفره‌های انحلالی قابل رؤیت است این نوع سیمان که در پیرامون خرده‌های اسکلتی و غیر اسکلتی دیده می‌شود در محیط فریاتیکی دریایی تشکیل و معرف پارانرژی‌ترین بخش-های رمپ کربناته است [۲۸]. این نوع سیمان در بخش‌های مورد مطالعه در ریزرخساره گریستون ائیدی، بایوکلاستی مشاهده می‌شود. سیمان هم‌بعد از بلورهای کلسیم کم‌مینیم ساخته شده است که هم در محیط دیاژنز جوی و دفنی مشاهده می‌شود [۲۸]. سیمان دروزی با فراوانی اندک که به صورت درشت‌شونده به سمت مرکز حفره دیده می‌شود در بالای مرز پرمین-تریاس (زون مخزنی K2) مشاهده می‌شود. این سیمان در حفرات و تخلخل قالبی عمدتاً دیده می‌شود. این سیمان بیشتر در محیط دیاژنز جوی دیده می‌شود. اگرچه امکان تشکیل در محیط دفن عمیق وجود دارد [۲۷].

دومین نوع سیمان رایج سیمان سولفاته از نوع انیدریتی است. این نوع سیمان از لحاظ بافتی از تنوع کمتری برخوردار است و عمدتاً به صورت فابریک تیغه‌ای است. این نوع سیمان در بیشتر موارد آخرین فاز سیمانی پرکننده حفرات است که برخی از خلل و فرج و شکستگی‌های پس از سیمان دولومیتی را پر کرده است. این نوع سیمان عمدتاً در رخساره-های دانه‌پشتیبان مشاهده می‌شود و به‌عنوان عامل مهم در کاهش کیفیت مخزنی شناخته می‌شود.

تراکم: تراکم هم به صورت فیزیکی و شیمیایی (انحلالی- فشاری) دیده می‌شود. با افزایش عمق تدفین، تراکم مکانیکی در رسوبات تشدید شده و نهایتاً منجر به تراکم شیمیایی می‌شود. این پدیده تا حد زیادی به محیط رسوبی و دیاژنز اولیه وابسته است. در ریزرخساره‌های دانه‌پشتیبان سازندهای دالان-کنگان به علت گسترش زیاد سیمان اولیه دوردانه‌ای، این فرآیند توسعه چندانی نداشته و تأثیر زیادی بر روی کاهش تخلخل ندارد. در مواردی که فضای بین‌دانه‌ای فاقد سیمان بوده، تماس دانه به دانه



شکل ۳- مدل رسوبی رمپ کربناته برای نهشته‌های سازند دالان بالایی و کنگان

۲.۴. دیاژنز

مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک سازندهای دالان و کنگان طیف وسیعی از فرایندهای دیاژنتیکی را نشان می‌دهد (شکل ۲)، مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

دولومیتی‌شدن: انواع دولومیت‌های مشاهده شده در سازندهای دالان-کنگان بر اساس اندازه بلورها و شکل مرزها قابل تقسیم‌بندی هستند [۳۲]. انواع دولومیت‌های شناسایی شده به اختصار به شرح زیر است:

دولومیت ریزبلور: این نوع دولومیت‌ها، دولومیت‌های ریزبلور (۵-۱۶ μm)، بی‌شکل، هم‌اندازه و دارای مرزهای مسطح نیمه‌شکل‌دار هستند. این نوع دولومیت‌ها عمدتاً با حفره‌های باقی‌مانده از کانی‌های تبخیری و ندول‌های انیدریتی یافت می‌شود. این عوامل حاکی از تشکیل این دولومیت‌ها در درجه حرارت کم و نزدیک سطح زمین است [۳۳]. عموماً این دولومیت‌ها هم‌زمان با رسوبگذاری یا دولومیت تشکیل شده در مراحل اولیه دیاژنز در نظر گرفته می‌شود [۳۴]. دولومیت متوسط بلور یا دولومیت دانه شکری: اندازه بلورها بین ۶۲ تا ۲۵۰ μm، عمدتاً نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار، از نوع دولومیت صفحه‌ای هستند. این نوع دولومیت‌ها عموماً دولومیت‌های اولیه را قطع می‌کنند و به-عنوان دولومیت‌های دیاژنز تأخیری در نظر گرفته می‌شود [۳۲]. این نوع دولومیت‌ها در صورتی که تخریب‌کننده فابریک باشند دارای بلورهای درشت‌تر و تخلخل بالاتری هستند [۳۴]. دولومیت‌های مشاهده شده عمدتاً از نوع دولومیت‌های صفحه‌ای هستند. در طی تبدیل دولومیت‌های از حالت نیمه مسطح به مسطح حجم تخلخل بین بلورین افزایش یافته و قطر گلوگاه‌ها بیشتر می‌شود [۳۲].

می‌دهد، اما تأثیر آن چنانی در افزایش تراوایی ندارد. تخلخل قالبی: این نوع تخلخل فراوان‌ترین تخلخل شناسایی شده است و حدود ۴۴٪ از کل تخلخل را شامل می‌شود. تخلخل قالبی در ریزرخساره‌های SMF3, SMF4, SMF7, SMF8, SMF9, SMF10, SMF11 بیشترین فراوانی را دارد (شکل ۴). این نوع تخلخل که از نوع انتخاب شده به وسیله فابریک سنگ است و به طور ثانویه (عموماً در طی دیاژنز جوی و تدفینی) بر اثر انحلال انتخابی آلومک در رخساره‌های دانه پشتیبان دیده می‌شود [۴۰]. این نوع تخلخل بیشتر به صورت قالب‌های ائید مجزا بوده و جز تخلخل‌های غیرمفید است. علت ایجاد واحدهای مخزنی خوب توسط این نوع تخلخل در مخازن دالان و کنگان ارتباط یافتن حفرات قالبی به وسیله فرایند دولومیتی شدن است. به طوری که فضای بین بلورین ایجاد شده توسط بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار ارتباط بین قالب‌های مجزا را میسر می‌کند. همچنین عواملی مانند شکستگی باعث بهبود ارتباط و کیفیت مخزنی می‌شود [۳۵].

تخلخل بین بلورین: این نوع تخلخل که عمدتاً در دولومیت‌های جانیشینی یافته می‌شود و از نوع ثانویه است در حدود ۱۰٫۹٪ از کل تخلخل را شامل می‌شود. این نوع تخلخل عمدتاً در ریزرخساره‌های گل‌پشتیبان و بلورین (SMF2, SMF3, SMF6, SMF12) به مقدار قابل توجهی مشاهده می‌شود. این نوع تخلخل ثانویه در میان بلورهای ریزرخساره‌های دولومادستونی، دولوگرینستونی و دولوپکستونی دیده می‌شود و در ریزرخساره‌هایی که دچار نوشکلی شده‌اند از عمومیت بیشتری برخوردار است. مهم‌ترین نوع تخلخل بین بلورین مربوط به فضای بین دولومیت‌های خود شکل است. این نوع تخلخل در ریزرخساره‌های دانه‌پشتیبان منجر به افزایش ارتباط گلوگاه‌های بین حفره‌ای و در نتیجه افزایش تراوایی می‌شود.

تخلخل بین‌دانه‌ای: این نوع از تخلخل ۲۲ درصد از کل تخلخل را در بر گرفته است. این تخلخل در ریزرخساره‌های SMF3, SMF4, SMF7, SMF12 مشاهده می‌گردد (شکل ۴). این تخلخل، تخلخل اولیه بین ذرات سازنده سنگ است که عمدتاً در رخساره دانه‌پشتیبان دیده می‌شود [۴۰]. همچنین در ریزرخساره‌های گل‌پشتیبان بر اثر انحلال ماتریکس به صورت ثانویه مشاهده می‌شود. گسترش سیمان

ایجاد شده و در نتیجه شکل دانه‌های ائید تغییر یافته و در برخی موارد خرد شده است. لازم به ذکر است که در ریزرخساره‌هایی که در مراحل اولیه دیاژنز دولومیتی شده‌اند، نرخ تراکم کمتری نسبت به ریزرخساره‌های آهکی دارند [۳۵]. محصولات تراکم شیمیایی نتیجه اختلاف انحلال نسبی ذرات سازنده سنگ طی افزایش فشار است که نشان‌دهنده دیاژنز تدفینی است [۳۶، ۳۷]. فرایندهای انحلالی فشاری مواد لازم برای سیمانی شدن دفن نهایی را تأمین و همراه با سیمان‌های پس از فشردگی هستند. این فرایند، فضاهای خالی را که در طول مراحل دیاژنتیک قبل ایجاد و حفظ شده‌اند، پر کرده است [۳۸].

نوشکلی: شامل فرآیندهای مختلف تبلور مجدد و جانیشینی است که می‌تواند به صورت افزایشی و کاهش‌ی دیده می‌باشد [۲۷]. تبلور مجدد فرآیندی است که باعث تغییر در اندازه، شکل و شبکه بلوری می‌شود. جانیشینی نیز انحلال یک کانی و تشکیل کانی دیگر به صورت هم‌زمان است [۳۹]. میکرایتی شدن نیز نوعی فرآیند نوشکلی کاهش‌ی است که عموماً در رخساره‌های کم‌انرژی مشاهده می‌شود. در مخازن دالان-کنگان عموماً نوع شکلی افزایشی (تبدیل گل کربنانه به میکرواسپار) و جانیشینی که شامل جایگزین شدن دولومیت‌های دانه‌ریز به جای میکرایت است، در بخش‌هایی از توالی مورد مطالعه دیده می‌شود.

انحلال: متداول‌ترین فرایندهای دیاژنزی در ریزرخساره‌های مورد مطالعه انحلال است؛ که در طی آن بخش‌هایی از سیمان، زمینه یا دانه در مجاورت با آب درون منفذی حل شده و به صورت تخلخل باقی می‌ماند که بعضاً توسط سیمان پر می‌شود. این فرایند باعث ایجاد انواع حفرات مرتبط و غیر مرتبط می‌شود که ویژگی‌های آن به اختصار به شرح زیر است:

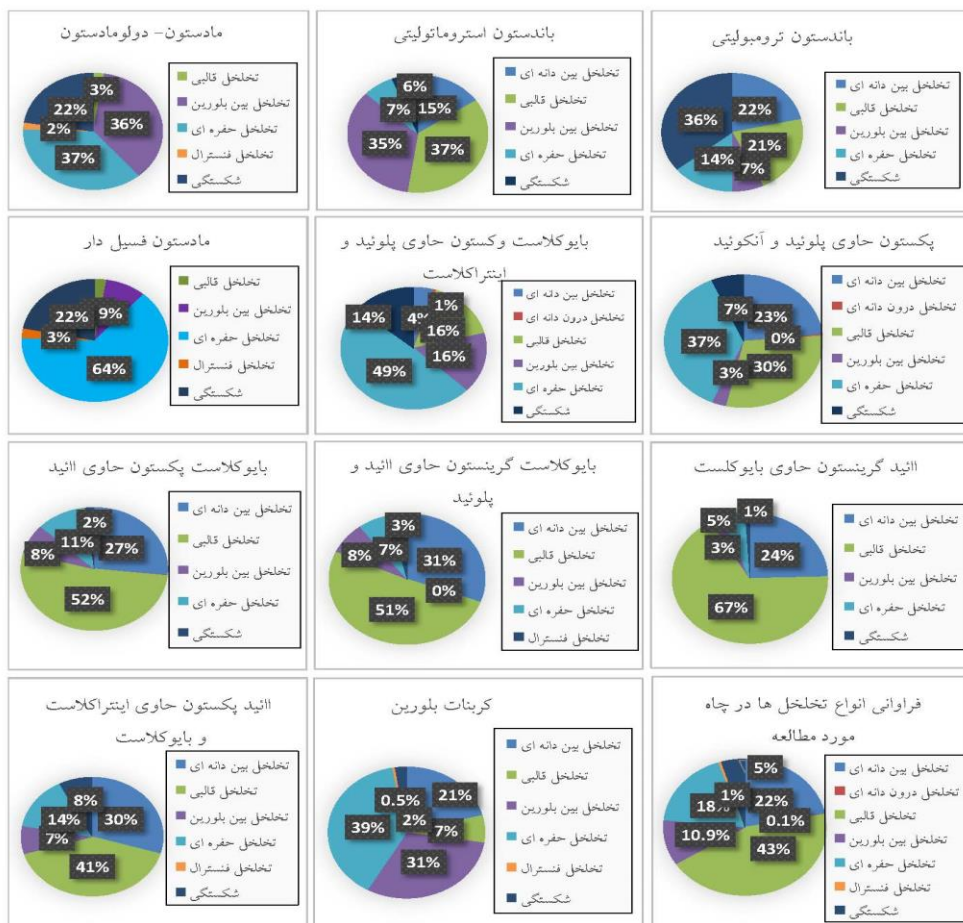
تخلخل حفره‌ای: این نوع تخلخل در نمونه‌های مورد مطالعه ۱۸٪ از کل تخلخل را شامل شده و عمدتاً در رخساره‌های SMF5, SMF6, SMF7, SMF12 بیشترین فراوانی را دارد (شکل ۴). افزایش این تخلخل در رخساره‌های دانه‌پشتیبان با انحلال و بزرگ شدن تخلخل‌های قالبی و در رخساره‌های مادستون و کربنات بلورین با بزرگ‌تر شدن تخلخل بین بلوری ایجاد شده است. این نوع تخلخل به دلیل نداشتن گلوگاه ارتباطی، اگرچه تخلخل کل سنگ را افزایش

۴). این نوع از تخلخل که فابریک سنگ را قطع می‌کند، بعد از تدفین و تحت تأثیر دیاژنز دفنی بر اثر نیروهای جهت‌دار شکل می‌گیرد [۴۰]، شکستگی با پیوستگی حفرات منجر به افزایش تراوایی در نمونه‌های مورد مطالعه گردیده است. تخلخل فنسترال: این نوع تخلخل ۱ درصد از کل تخلخل را شامل می‌شود. این نوع تخلخل عمدتاً به مقدار ناچیز در رخساره‌های مادستون- دولومادستون (SMF2)، مادستون‌های دولومیتی (شکل ۴) وجود تخلخل روزنه‌ای در بین بلوری نقش خوبی در افزایش کیفیت مخزنی دارد [۴۱]. این تخلخل اولیه و تحت کنترل فابریک است. تخلخل روزنه-ای می‌تواند ناشی از انحلال انیدریت باشد و در محیط سایخا و پهنه جزرومدی تشکیل می‌شود [۲۷، ۴۱]

حاشیه‌ای مهم‌ترین عامل در حفظ این نوع تخلخل می‌باشد. این نوع تخلخل عمدتاً با تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی مشاهده می‌شود.

تخلخل درون‌دانه‌ای: این نوع تخلخل در میان تخلخل-های شناسایی شده کمترین میزان (در حدود ۰٫۱٪) را دارد و تنها در ریزرخساره MF6 مشاهده می‌شود. فضاهای خالی حجره‌های روزن‌بران عمدتاً توسط سیمان کلسیتی پر شده‌اند. این نوع تخلخل فضای خالی مربوط به بایوکلاست‌ها را شامل می‌شود. با توجه به فراوانی ناچیز و جدابودن این نوع از تخلخل، تراوایی بسیار ناچیز است.

تخلخل شکستگی: در نمونه‌های مورد مطالعه این نوع از تخلخل ۵ درصد از کل تخلخل را شامل می‌شود. تخلخل شکستگی عمدتاً در ریزرخساره‌های MF2، SMF4، SMF5، SMF6، SMF11S با فراوانی بیشتری دیده می‌شود (شکل



شکل ۴- فراوانی انواع تخلخل به تفکیک رخساره‌ها و فراوانی انواع تخلخل در چاه مورد مطالعه

۳.۴. فاکتورهای کنترل کننده کیفیت مخزنی

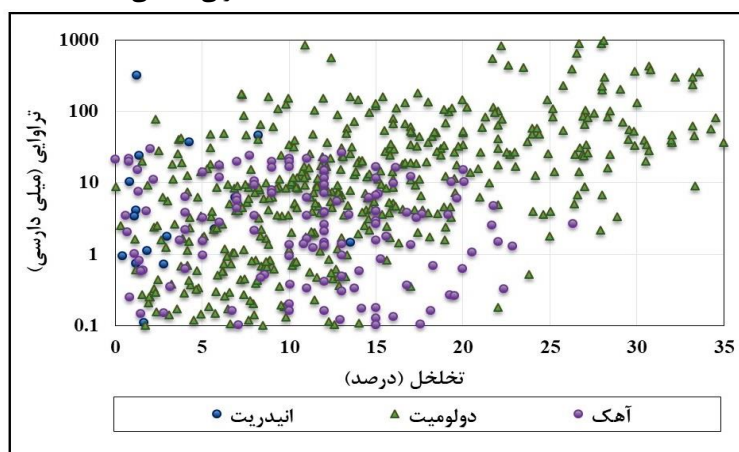
بررسی‌های صورت گرفته حاکی از پراکندگی گسترده تخلخل و تراوایی بر اثر تأثیر فاکتورهای مختلف (لیتولوژی، ویژگی‌های رسوبی و دیاژنز) بر روی کیفیت مخزنی سازندهای دالان و کنگان شده است. در ادامه به بررسی نقش احتمالی هرکدام از عوامل پرداخته می‌شود:

الف- فاکتورهای اولیه مؤثر بر کیفیت مخزنی

۱- نقش لیتولوژی سنگ مخزن

در شکل ۵ داده‌های تخلخل- تراوایی به تفکیک لیتولوژی اصلی (انیدریت، دولومیت و آهک) مشخص شده است. طبق این نمودار سنگ آهک دارای تراوایی میانگین

۵۰-۰۰ میلی داری است. درحالی که دولومیت دارای تراوایی ۱۰۰۰-۰۰ میلی داری است؛ بنابراین لیتولوژی دولومیت دارای بازه متغیری از تخلخل و تراوایی است که در مقایسه با لیتولوژی آهک بالاتر است. تراوایی در دولومیت‌ها در مقایسه با آهک‌های دارای تخلخل معادل بالاتر است. علت آن هندسه مناسب حفرات گلوگاه‌ها در دولومیت‌ها و سیستم به هم پیوسته تر حفره‌ها در آن‌ها است [۱۸]؛ بزرگتر بودن قطر گلوگاه‌ها در دولومیت‌ها باعث تسهیل جریان سیال بین منافذ می‌شود که به نوعی با تراوایی مرتبط است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نوع لیتولوژی به عنوان فاکتور اولیه رسوبی نقش مهمی در کنترل قطر گلوگاه و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی ایفا می‌کند.



شکل ۵- نمودار تخلخل و تراوایی لیتولوژی‌های مختلف برای چاه مورد مطالعه

۲- نقش بافت رسوبی

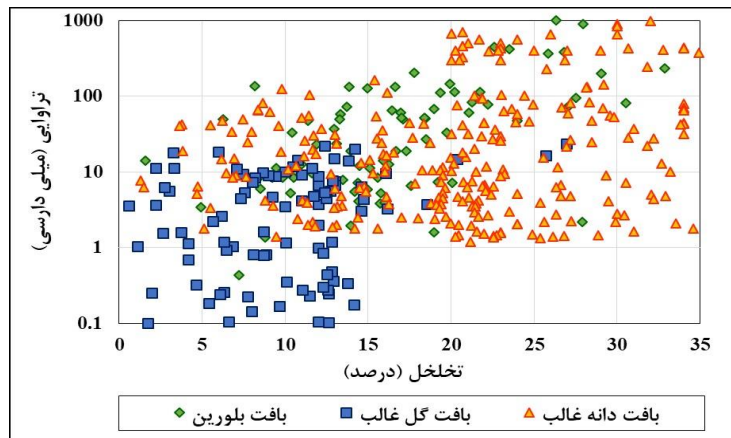
در زمین‌شناسی، نقش و ارتباط بافت‌های رسوبی با تخلخل و تراوایی اهمیت بسیاری دارد. عوامل دیاژنزی مانند انحلال و شکستگی می‌تواند منجر به افزایش تخلخل و تراوایی گردد و در مقابل سیمانی شدن و فشردگی منجر به کاهش تخلخل و تراوایی در بافت‌های دانه پشتیبان شوند. بافت گل پشتیبان به دلیل میکرایتی شدن بسیار و وجود ریزتخلخل از تخلخل متوسط و تراوایی کمتری برخوردار است. ترسیم نمودارهای دوگانه مربوط به بافت‌های بلورین (دولومیتی)، بافت گل غالب و بافت دانه غالب حاکی از افزایش تخلخل و تراوایی از بافت گل غالب به سمت بافت بلورین و دانه غالب می‌باشد (شکل ۶).

ب- فاکتورهای ثانویه مؤثر بر کیفیت مخزنی

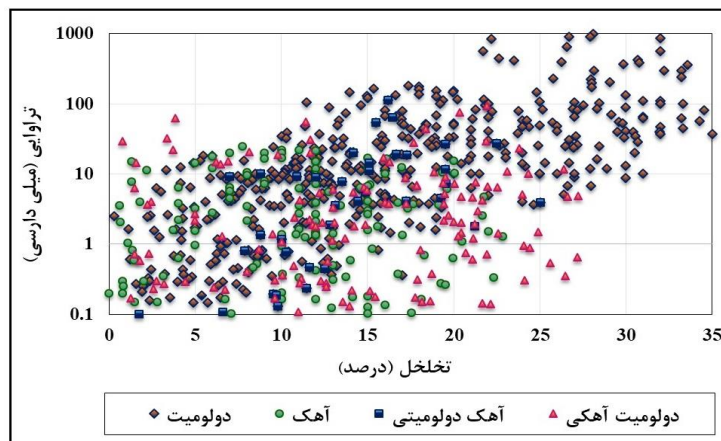
با توجه به پراکندگی نسبتاً زیاد داده‌های تخلخل- تراوایی می‌توان نتیجه گرفت فرایندهای دیاژنزی تأثیر متفاوتی بر روی روند افزایش و کاهش قطر گلوگاه‌ها و در نتیجه کیفیت مخزنی در نمونه‌های مورد مطالعه در سازندهای دالان و کنگان در چاه مذکور گذاشته‌اند. با توجه به مقاطع مطالعه شده و ترسیم نمودارهای تخلخل- تراوایی، دولومیتی شدن، انحلال و سیمانی شدن مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی رفتار ریزرخساره‌های شناسایی شده هستند. در شکل ۷ نمودار تخلخل- تراوایی برای رده‌های با درصدهای مختلف دولومیتی شدن نشان داده شده است. باینکه پراکندگی نسبتاً زیادی مشاهده می‌شود، ولی باین حال، به صورت کلی سنگ‌های دولومیتی شده (دولومیت ۰-۱۰ درصد آهک)، آهک دولومیتی (۵۰-۹۰ درصد دولومیت) و دولومیت آهکی

مخزنی شده است. به گونه‌ای که با افزایش دولومیتی شدن کیفیت مخزنی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که در طی دولومیتی شدن ریزرخساره‌های گل‌پشتیبان بزرگی قطر گلوگاه افزایش می‌یابد ولی در طی دولومیتی شدن رخساره‌های دانه‌پشتیبان این پدیده روی نمی‌دهد، علت آن است که این ریزرخساره‌ها دارای اندازه بزرگتری از بلورهای دولومیتی هستند. در مقابل دولومیتی شدن ماتریکس گلی و تبدیل آن-ها به دولومیت‌های بزرگتر منجر به افزایش قطر گلوگاه و افزایش تراوایی می‌شود.

(۵۰-۱۰ درصد دولومیت) کیفیت مخزنی بالاتری نسبت به آهک دارند. در واقع این امر تأثیر دولومیتی شدن بر روی کیفیت مخزنی را نشان می‌دهد. در نمونه‌های مورد مطالعه، دولومیت‌های ریزبلور عمدتاً در رخساره‌های مادستونی (SMF2,5) دیده می‌شود. دولومیت‌های جانشینی عمدتاً در رخساره‌های دانه‌پشتیبان (SMF8,10,11,12) مشاهده می‌شود. همچنین تعدادی از بلورها طی فرآیند نوشکلی رشد کرده و منجر به تشکیل بلورهای درشت‌تری شده‌اند؛ که این پدیده منجر به ایجاد تخلخل بین‌بلورین و حفره‌ای و در نتیجه افزایش قطر گلوگاه و میزان تخلخل و تراوایی و بهبود کیفیت



شکل ۶- نمودار تخلخل و تراوایی بافت‌های رسوبی مختلف برای چاه مورد مطالعه



شکل ۷- نمودار تخلخل - تراوایی برای رده‌های با درصد‌های مختلف دولومیتی شدن در چاه مورد مطالعه

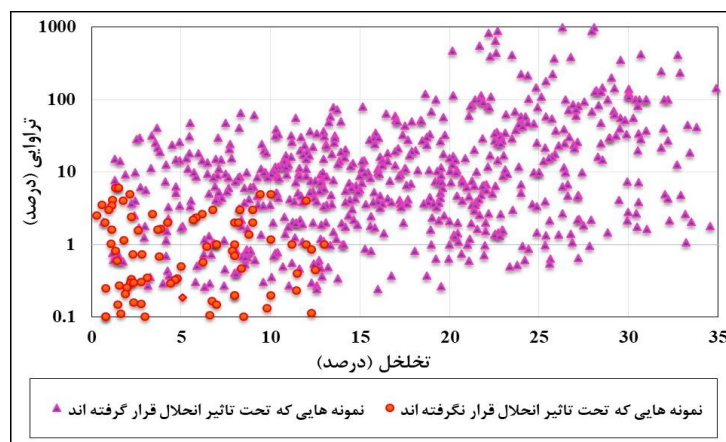
۴). ترسیم نمودار تخلخل - تراوایی در نمونه‌های تحت تأثیر انحلال و مقایسه آن با نمونه‌های که دچار فرایند انحلال نشده‌اند، حاکی از آن است که این فرآیند دپازیتی تأثیر نسبتاً

بررسی مقاطع مورد مطالعه حاکی از تأثیر فرآیند انحلال در بیشتر مقاطع مورد مطالعه است که بیشتر به صورت تخلخل - های قالبی، حفره‌ای، بین‌بلورین و بین‌دانه‌ای می‌باشد (شکل

نمونه‌های مورد مطالعه نشانگر وجود تخلخل‌های بین‌بلورین و بین‌دانه‌ای بهم مرتبط عمدتاً مربوط به ریزرخساره‌های SMF2,3, SMF12 می‌باشد (شکل ۳). همچنین لازم به ذکر است که در برخی نمونه‌ها با وجود تأثیر انحلال ولی میزان تخلخل پایین است که این امر ناشی از پرشدن تخلخل‌ها بر اثر سیمان کلسیتی و ندول‌های انیدریتی می‌باشد. به طور کلی فرایند انحلال با ایجاد تخلخل‌های مرتبط و غیر مرتبط منجر به افزایش قطر گلوگاه و افزایش تخلخل و تراوایی نسبی می‌شود [۴۲].

خوبی بر روی مقادیر تخلخل و تراوایی داشته است. بررسی نمودار بیانگر آن است که عمدتاً دو روند در بین نمونه‌ها قابل مشاهده است (شکل ۸). (۱) پراکندگی بیشتر نمونه‌ها در پایین نمودار و در بخش‌های با تخلخل بالا و تراوایی پایین است که این امر حاکی از وجود بیشتر تخلخل‌های غیر مرتبط (بیشتر تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و بین‌دانه‌ای غیر مرتبط) در ریزرخساره‌های SMF5,8,9,10 می‌باشد (شکل ۴).

(۲) همچنین وجود نمونه‌های با پراکندگی پایین در بخش‌های سمت راست بالای نمودار (تخلخل بالا- تراوایی بالا) در



شکل ۸- نمودار تخلخل- تراوایی مربوط به تأثیر فرایند انحلال در نمونه‌های مورد مطالعه

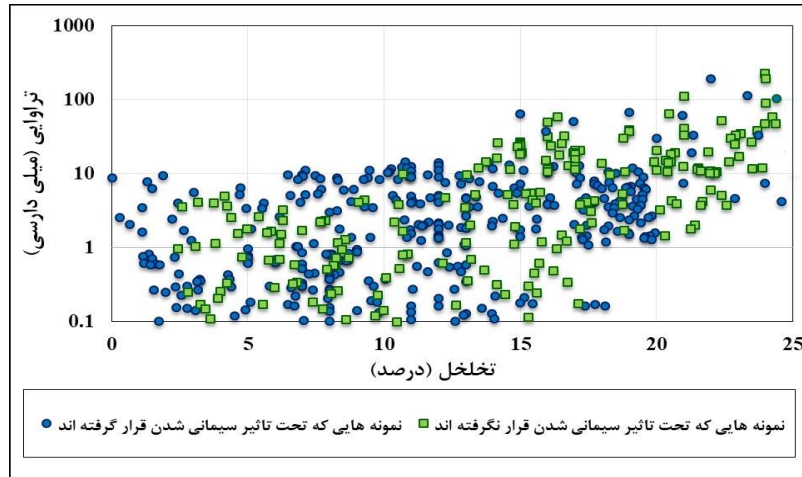
شده دارای تخلخل و تراوایی بالاتری هستند. لذا یکی از دلایلی که ریزرخساره‌های شول موجود در منطقه باوجود بافت دانه‌پشتیبان دارای تخلخل و تراوایی کمی هستند می‌توان به تأثیر این عامل اشاره نمود. این فرآیند با پرکردن منافذ، کاهش قطر گلوگاه منجر به کاهش مقادیر تخلخل و تراوایی و در نتیجه کاهش کیفیت مخزنی می‌گردد [۴۳، ۴۲].

بررسی آثار فشردگی فیزیکی در منطقه مورد مطالعه بیانگر آن است که در ریزرخساره‌هایی که تحت تأثیر این فرآیند قرار گرفته‌اند میزان تخلخل به‌طور میانگین بین ۰ تا ۲۲ درصد و تراوایی به‌طور میانگین بین ۰ تا ۵۰ میلی‌داری است. درحالی‌که در نمونه‌هایی که دچار فشردگی نشده‌اند، میزان تخلخل و تراوایی دارای بازه گسترده‌تری است (شکل ۱۰). پس می‌توان به عامل کاهش نقش تراکم بر روی کیفیت مخزنی اشاره نمود. البته با توجه به این‌که در میان

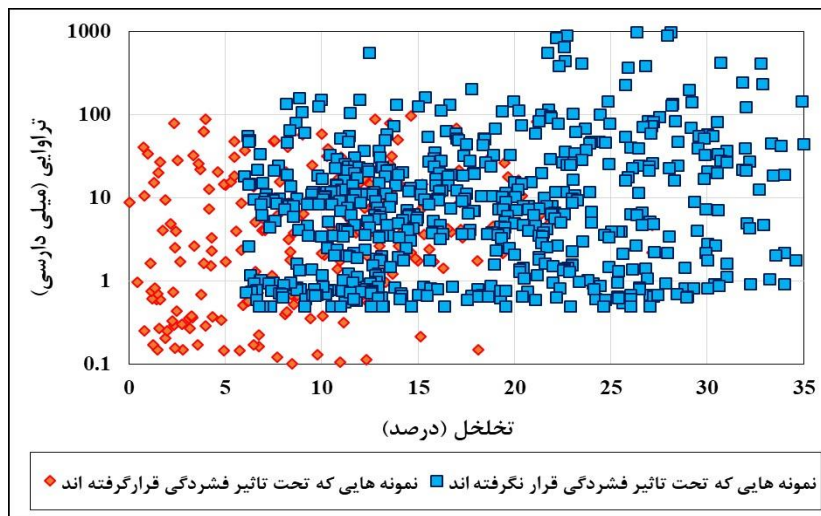
از دیگر فرایندهای مهم دیاژنزی مؤثر بر کیفیت مخزنی سیمانی شدن است. ترسیم نمودار تخلخل- تراوایی در نمونه‌های سیمانی شده و سیمانی نشده حاکی از آن است که هر دو این نمونه‌ها تقریباً دارای گستره تخلخل ۰ تا ۲۵ درصد و میزان تراوایی ۰ تا ۲۰۰ میلی‌داری هستند. در واقع این امر نشان از آن است که سیمانی شدن در این چاه تأثیر چندانی زیادی در میزان تخلخل و تراوایی ندارد (شکل ۹). این آمار مبین آن است که در رخساره‌های سیمانی نشده عوامل دیگری مانند تراکم باعث کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند. درحالی‌که در رخساره‌های سیمانی شده که قاعدتاً تخلخل و تراوایی کمی از خود نشان می‌دهند عامل یا عوامل دیگری مانند انحلال، دولومیتی شدن اثر منفی شدن را نه تنها خنثی بلکه باعث افزایش میزان تخلخل و تراوایی شده‌اند. لازم به ذکر است که در برخی بخش‌هایی از چاه با فراوانی کم، نمونه‌های سیمانی نشده در مقایسه با نمونه‌های سیمانی

بدون فشردگی فیزیکی شده‌اند یا عوامل دیگری از جمله انحلال یا دولومیتی شدن منجر به خنثی شدن نقش کاهنده این عامل شده است.

ریزرخساره‌های دو گستره تفاوت زیادی دیده نمی‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که عامل دیگری در کنار این عامل مانند سیمانی شدن باعث کاهش تخلخل- تراوایی و در رخساره‌های



شکل ۹- نمودار تخلخل- تراوایی مربوط به تأثیر فرایند سیمانی شدن در نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۰- نمودار تخلخل- تراوایی مربوط به تأثیر فرایند تراکم فیزیکی در نمونه‌های مورد مطالعه

$$\text{Log } R35 = 0.732 + 0.588 \text{ Log } (-0.864 \text{ Log } (\varphi))$$

در این معادله، R35 برحسب μ ، K تراوایی هوا برحسب mD و φ تخلخل به صورت درصد است. روش وینلند منعکس کننده هر دو فابریک رسوبی و دیاژنزی است. این واحدهای جریان زون‌هایی با نسبت تخلخل به تراوایی ثابت را ارائه می‌دهند که در ارتباط مستقیم با R35 بوده است. این واحدها ابزاری مناسب جهت تعیین زون‌های دارای پتانسیل سدی و سرعت می‌باشند. مقدارهای R35 که برای مشخص

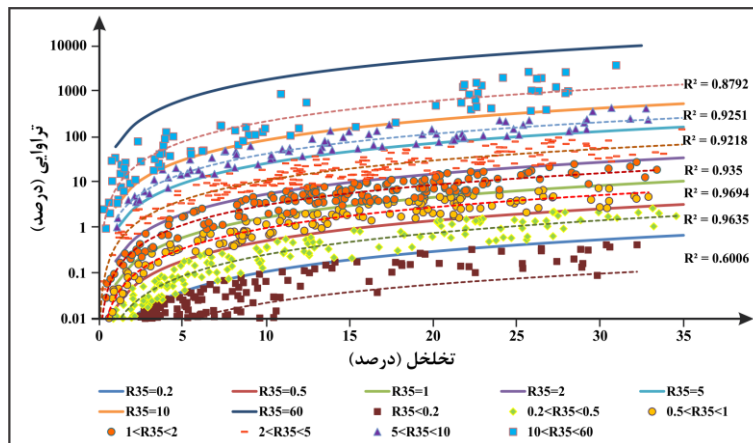
در ادامه به منظور بررسی قطر گلوگاه حفرات، نمودار وینلند ترسیم شد تا تأثیر فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی بر قطر گلوگاه حفرات مشخص گردد.

۴،۴ روش وینلند

روش وینلند بین داده‌های تخلخل، تراوایی و قطر گلوگاه حفرات در ۳۵ درصد اشباع جیوه (R35) در آزمایش تزریق جیوه، ارتباط برقرار می‌کند (معادله ۱).

بررسی، روش وینلند با ضرایب استاندارد (معادله وینلند بالا) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن در نمودار پراکنش تغییرات تخلخل در مقابل تراوایی رسم گردید (شکل ۱۱). با استفاده از حدود تعریف شده استاندارد معادله وینلند، ۷ زون با مقدار R35 متفاوت شناسایی شد که از زون با مقدار R35 کوچکتر از 0.1μ به سمت زون‌های با مقدار R35 بزرگتر از 1.0μ ، کیفیت مخزنی افزایش می‌یابد (شکل ۱۱).

کردن واحدهای پتروفیزیکی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت، به‌قرار زیر می‌باشد.
واحدها یا زون‌های با مقدار R35 بزرگتر از 1.0μ ، زون‌هایی با مقدار R35 بین ۲ تا 1.0μ ، زون‌هایی با مقدار R35 بین 0.5μ تا 2μ ، زون‌هایی با مقدار R35 بین 0.5μ تا 1μ ، زون‌هایی با مقدار R35 بین 0.1μ تا 0.5μ ، زون‌هایی با مقدار R35 کوچکتر از 0.1μ .
بر اساس داده‌های در دسترس مغزه برای چاه مورد



شکل ۱۱- نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی به تفکیک قطر گلوگاه حفرات در نمودار وینلند برای سازند کنگان و دالان

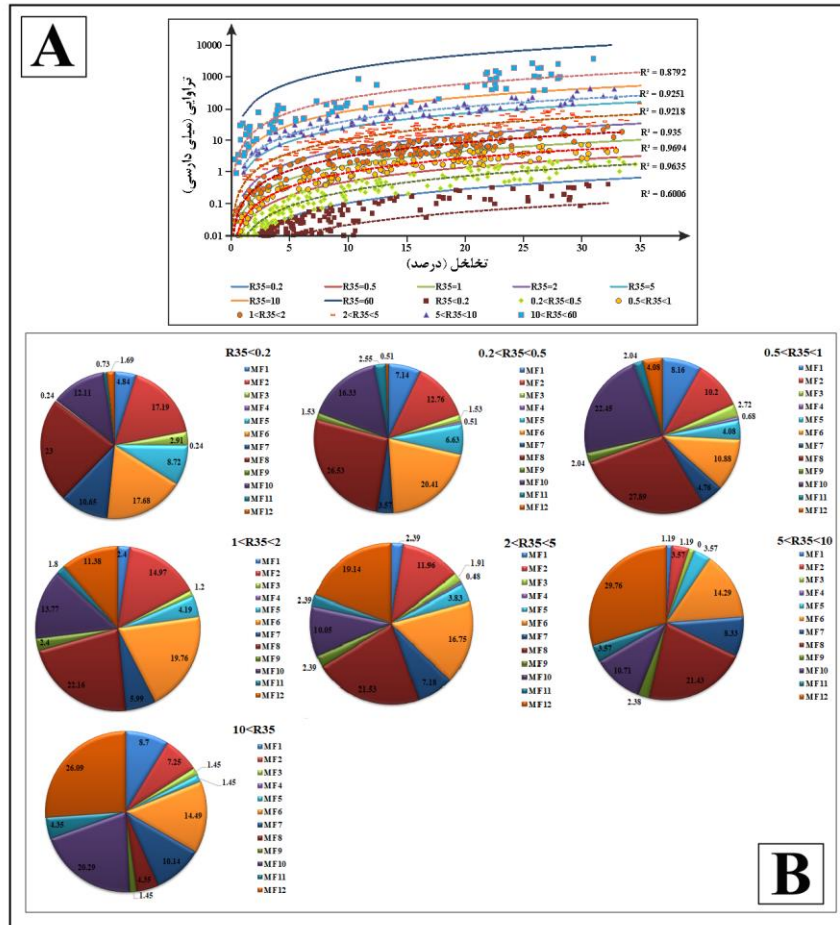
$R35 > 10$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF12، SMF10 و SMF6 بوده است (شکل ۱۱). به‌منظور بررسی تأثیر فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی بر هفت زون شناسایی شده در نمودار وینلند، داده‌های تخلخل و تراوایی هر ریزرخساره به تفکیک روی نمودار وینلند ترسیم شد (شکل ۱۲). فراوانی هر ریزرخساره در هر هفت زون نیز به‌صورت نمودار دایره‌ای در (شکل ۱۲) محاسبه و ترسیم گردید.

۵. بحث

بررسی نتایج انجام‌شده نشان می‌دهد سازند کنگان و دالان بالایی ناهمگنی بسیاری دارد و عوامل مختلف در ناهمگن شدن آن دخیل هستند. نتایج ترسیم داده‌های تخلخل و تراوایی در نمودار وینلند، به هفت زون تقسیم گردید (شکل ۱۱) که در شکل ۱۳ در کنار سایر ویژگی‌های رسوبی و دیاژنزی ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است رخساره‌های مختلف دارای قطر گلوگاه متفاوتی هستند و در همه‌ی این زون‌ها پراکنده بودند که در

این هفت زون به ترتیب برابر است با: زون ۱: زون‌هایی با $R35 < 0/1$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF2، SMF6 و SMF10 بوده است (شکل ۱۱). این گونه‌سنگی کمترین میزان R2 را دارد. زون ۲: زون‌هایی با $0/1 < R35 < 0/5$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF8، SMF6 و SMF10 بوده است (شکل ۱۱). زون ۳: زون‌هایی با $0/5 < R35 < 1$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF8، SMF10 و SMF6 بوده است (شکل ۱۱). زون ۴: زون‌هایی با $1 < R35 < 2$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF8، SMF6 و SMF12 بوده است (شکل ۱۱). زون ۵: زون‌هایی با $2 < R35 < 5$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF6 و SMF12 بوده است (شکل ۱۱). زون ۶: زون‌هایی با $5 < R35 < 10$ میکرون است. فراوان‌ترین رخساره‌های تشکیل‌دهنده این زون SMF12، SMF8 و SMF6 بوده است (شکل ۱۱). زون ۷: زون‌هایی با

ادامه به علل آن پرداخته می‌شود.



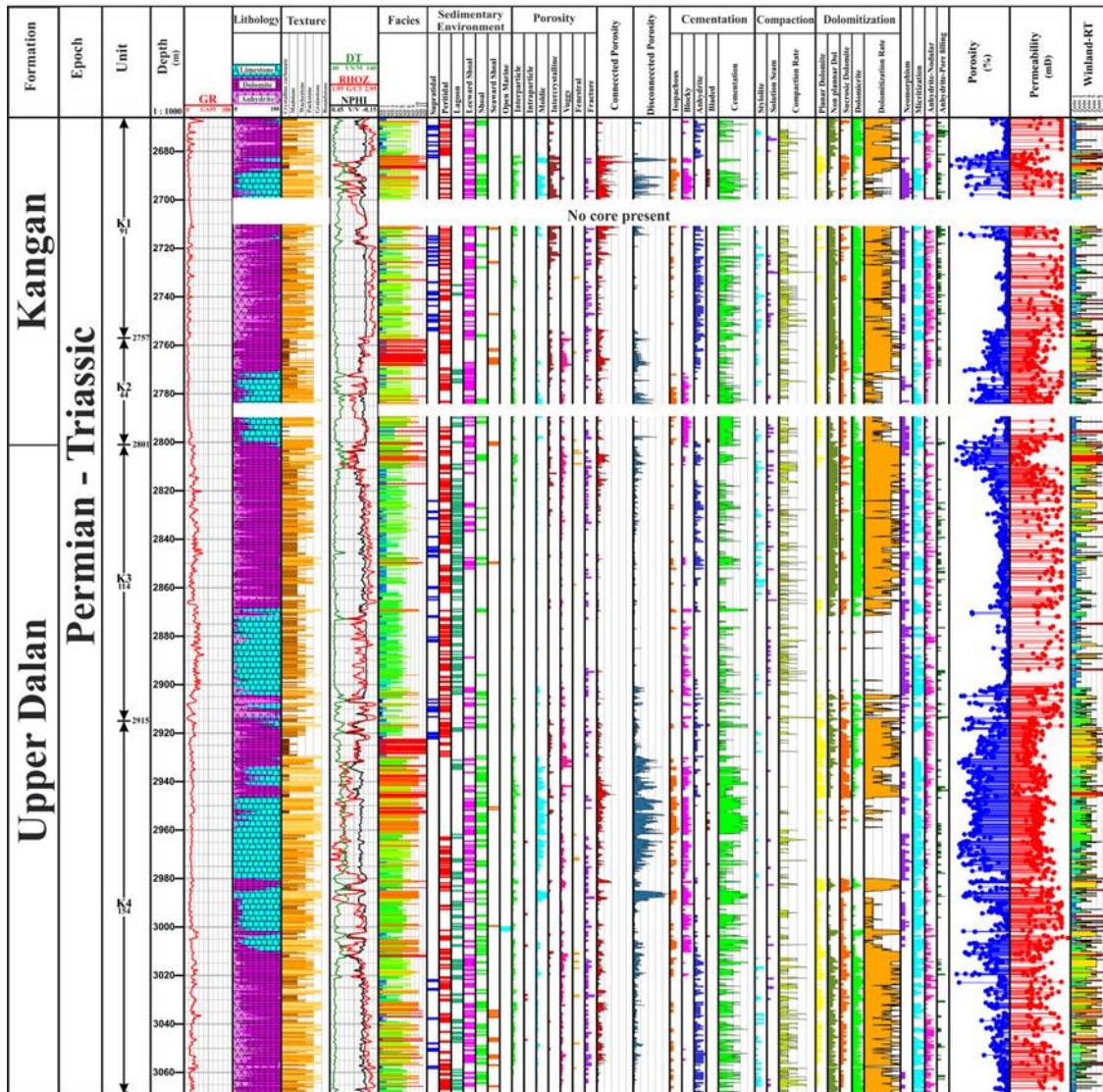
شکل ۱۲- نمودار وینلند به تفکیک هر ریزرخساره (A) به همراه فراوانی آنها در هفت زون تعیین شده به روش وینلند (B)

واحدهای دارای اندازه $R35 > 10$ و $5 < R35 < 10$ میکرون بالاترین قطر گلوگاه حفرات را دارند و بهترین کیفیت مخزنی را نشان می‌دهند. ریزرخساره انیدریت (SMF1) به طور کلی تخلخل و تراوایی پایینی داشته و قطر گلوگاه حفرات آن کوچک بوده و فراوانی آن در سه زون یک، دو و سه ($0.5 < R35 < 1$ ، $0/5 < R35 < 0/1$ و $R35 < 0/1$) بیشتر بوده است (شکل ۱۲ و ۱۳). در بعضی نمونه‌های این ریزرخساره که تخلخل‌های بهم مرتبط یا شکستگی‌هایی که با سیمان پرنشده وجود داشته، باعث افزایش قطر گلوگاه این ریزرخساره شده و در زون هفت ($R35 > 10$) قرار گرفته است (شکل ۱۲). استروماتولیت بایندستون (SMF3) و ترومبولیت بایندستون (SMF4) نیز قطر گلوگاه حفرات کوچکی دارند و بیشترین فراوانی آن در سه زون یک، دو و سه ($0.5 < R35 < 1$)

فراوانی ریزرخساره ترومبولیت بایندستون بر خلاف دو ریزرخساره دیگر، در زون‌های چهار، شش و هفت، صفر بوده است (شکل ۱۲). به‌طورکلی در رخساره‌های دانه پشتیبان (SMF7، SMF8، SMF9، SMF10، SMF11)، انحلال و دولومیتی شدن منجر به ایجاد تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین بلورین و افزایش قطر گلوگاه حفرات و در نتیجه قرارگیری این رخساره‌ها در زون‌هایی با قطر گلوگاه بیشتر (زون چهار، پنج، شش و هفت) شده است (شکل ۱۲ و ۱۳). از طرفی عملکرد سیمان کلسیتی، انیدریتی و فشرده‌گی منجر به کاهش قطر گلوگاه حفرات و قرارگیری آن‌ها در زون‌های پایین‌تر (زون یک، دو و سه) شده است (شکل ۱۲ و ۱۳). وجود تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی جدا از هم منجر به

ریزرخساره‌ها در بخش تراوایی بالا- تخلخل کم (در همه زون‌ها) شده است (شکل ۱۲).

قرارگیری این ریزرخساره‌ها در سمت راست نمودار شده است (شکل ۱۲). تأثیر فرایندهای فشاری انحلالی (تخلخل مستقل از فابریک از نوع شکستگی) منجر به قرارگیری این



شکل ۱۳- رخصاره، محیط رسوبی، ویژگی‌های دیاژنزی سازند کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس

پشتیبان فرآیند انحلال و دولومیتی شدن باعث افزایش قطر گلوگاه حفرت شده و آن‌ها را به زون‌های بالاتر (زون چهار، پنج، شش و هفت) در نمودار وینلند جابه‌جا نموده است (شکل ۱۲).

در ریزرخساره کربنات بلورین، وجود دولومیت‌های تخریب‌کننده فابریک، نوشکلی (که منجر به افزایش اندازه بلور دولومیت)، ایجاد تخلخل بین بلورین، انحلال و تشکیل

ریزرخساره‌های گل پشتیبان مادستونی - وکستونی (SMF2, SMF5, SMF6) عمدتاً قطر گلوگاه کوچک‌تری دارند و در زون‌های پایینی نمودار وینلند (زون‌های یک، دو و سه) قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲ و ۱۳)، بافت گل پشتیبان، تخلخل بین‌دانه‌ای و حفره‌ای غیرمرتبط مبین این امر است. قرارگیری این ریزرخساره‌ها در زون‌هایی با تراوایی بالا حاکی از عملکرد شکستگی است. در برخی ریزرخساره‌های گل

در نمودار وینلند شدند. به طور کلی انحلال، دولومیتی شدن، شکستگی‌های پرنشده با سیمان منجر به افزایش قطر گلوگاه حفرات گردیده و نمونه‌ها به زون‌های با $R35 > 10$ بالاتر و $5 < R35 < 10$ جا به جا می‌گردند. در مقابل سیمانی شدن و تراکم باعث کاهش قطر گلوگاه حفرات گردیده و نمونه‌ها به زون‌هایی با $R35 < 1$ کمتر $0/5 < R35 < 0/1$ و $R35 < 0/1$ انتقال می‌یابند

۷. مراجع

- [1] Moore, C. H. (2001). Carbonate porosity: evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework. Elsevier, Amsterdam 444 pp.
- [2] Lucia, F. J. (2007). Carbonate Reservoirs Characterization: an integrated approach. Springer-Verlag, Berlin, 341 p.
- [3] Ahr, W.M. (2008). Geology of carbonate reservoir. John Wiley and Sons, Chichester, 296 p.
- [4] Lonoy, A. (2006). Making sense of carbonate pore systems. American Association Petroleum Geologists Bulletin, 90, 1381-1405.
- [5] Dezfoolian, M.A., Riahi, M.A., Kadkhodaie-Ilkhchi, A. (2013). Conversion of 3D seismic attributes to reservoir hydraulic flow units using a neural network approach: An example from the Kangan and Dalan carbonate reservoirs, the world's largest non-associated gas reservoirs, near the Persian Gulf. Earth Sciences Research Journal 17 (2), 75-85.
- [6] Jafarian, A., Javanbakht, M., Koeshidayatullah, A., Pimentel, N., Salad, Hersi O., Yahyaei, A., Beigi, M. (2018) Paleoenvironmental, diagenetic, and eustatic controls on the Permo-Triassic carbonate-evaporite reservoir quality, Upper Dalan and Kangan formations, Lavan Gas Field, Zagros Basin. Geological Journal, 53 (4), 1442-1457.
- [7] Tavakoli, V., & Jamalian A. (2018). Microporosity evolution in Iranian reservoirs, Dalan and Dariyan Formations, the central Persian Gulf. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 52, 155-165.
- [8] Enayati-Bidgoli, A.H., & Navidtalab, A. (2020). Effects of progressive dolomitization on reservoir evolution: a case from the Permian-Triassic gas reservoirs of the Persian Gulf, offshore Iran. Marine and Petroleum Geology, 119, 104480.
- [9] Davoodi, S., Asadolahi shad, S., Tavakoli, V. (2024). A fresh look at the Lucia classification using mud- and grain-dominated reservoirs of the Persian Gulf. Geoenergy Science and Engineering, 3, 212437.
- [10] Lucia, F.J. (1999). Carbonate reservoir characterization. Springer, New York, 226 p.

تخلخل‌های حفره‌ای به هم مرتبط باعث افزایش قطر گلوگاه حفرات و منجر به قرارگیری این ریزرخساره در زون‌های حاوی تخلخل و تراوایی بالا (زون چهارم، پنجم، ششم و هفتم) شده است (شکل ۱۲ و ۱۳). در مقابل وجود سیمان انیدریتی پرکننده تخلخل بین بلورین، وجود دولومیت‌های ریزبلور که مسدودکننده حفرات هستند قطر گلوگاه حفرات را کاهش دادند و منجر به قرارگیری این ریزرخساره در زون‌های با تخلخل و تراوایی کم (زون‌های یک، دو و سه) شدند (شکل ۱۲ و ۱۳).

به‌طور کلی فرایندهای دیاژنزی به حدی در ریزرخساره‌ها تأثیر گذاشته است که منجر به پراکندگی ریزرخساره‌ها در بخش‌های مختلف دیاگرام شده است (شکل ۱۲). دولومیتی شدن با افزایش قطر بلور، انحلال و تشکیل تخلخل‌های به هم مرتبط منجر به افزایش کیفیت مخزنی و قرارگیری ریزرخساره‌ها در زون‌های بالاتر و سمت چپ نمودار و از طرفی تراکم، سیمانی شدن، وجود دولومیت‌های ریزبلور و تخلخل‌های غیر مرتبط منجر به قرارگیری ریزرخساره‌ها در سمت راست نمودار وینلند گردیده است (شکل ۱۲).

رخساره‌های دانه‌پشتیبان (پکستونی و گرینستونی) متعلق به کمربند رخساره‌های شول که تحت تأثیر انحلال و یا دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند، بهترین افق‌های مخزنی را در واحد رسوبی K2، K4، K1، بخش میانی K1 و بخش بالایی K3 وجود آورده‌اند که دارای بالاترین قطر گلوگاه حفرات و بهترین گونه‌های سنگی تعیین شده به روش وینلند هستند (شکل ۱۳).

۶. نتیجه‌گیری

سازندهای مورد مطالعه ناهمگنی بسیاری دارند و عوامل مختلف در ناهمگن شدن آن دخیل هستند. مطالعات پتروگرافی نشان داد که توالی مورد مطالعه، از ۱۲ ریزرخساره تشکیل شده که مربوط به ۴ کمربند رخساره‌ای است. دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن و تراکم از غالب‌ترین فرآیندهای دیاژنزی است که سازندهای مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. نتایج ترسیم داده‌های تخلخل و تراوایی در نمودار وینلند، به هفت زون با قطر گلوگاه متفاوت تقسیم گردید. عوامل مختلف رسوبی و دیاژنزی بر قطر گلوگاه حفرات تأثیر گذاشتند و باعث تغییر در جایگاه هر ریزرخساره

- Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier, Amsterdam, 843 p.
- [22] Tavakoli, V. (2015). Chemostratigraphy of the Permian–Triassic Strata of the Offshore Persian Gulf, Iran. In: Ramkumar M. (Ed.) Chemostratigraphy: Concepts, Techniques, and Applications. Elsevier, Amsterdam, 373-393
- [23] Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., & Tavakoli, V. (2010). Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gasfield, offshore Iran: Controls on reservoir quality. *Journal of Petroleum Geology*, 33, 43-66.
- [24] Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., & Kamali, MR. (2006). Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 50, 161-175.
- [25] Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *AAPG*, 108-121.
- [26] Embry, A. F., & J. E. Klovan. (1971). A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19 (4), 730-781.
- [27] Flugel, E. (2010). *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application* (2th edition), Springer, Heidelberg, 976 p.
- [28] Tucker, M., E., & Wright, V.P. (1990). *Carbonate sedimentology*: Blackwell Scientific Publications, 482 pp.
- [29] Flugel, E. (2004). *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer- Verlag, Berlin, 976 pp.
- [30] Pedley, H.M. (1998). A review of sediment distribution and processes in oligo- Miocene ramps of Italy and Malta, carbonate ramps, *Geol, Soc, London. Spec publ.* 149, 163- 179.
- [31] Sharland, P., R. Archer, R. (2001). Arabian plate sequence stratigraphy. *GeoArabia*, 2, 1–371.
- [32] Sibley, D.F., & Gregg, J.M. (1987). Classification of dolomite rocks textures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, 967-975.
- [33] Gregg, J. H., & Shelton, K.L. (1990). Dolomitization and neomorphism in the back-reef facies of the Bonnetterre and Davies Formation (Camberian), southeastern Missouri: *Journal of Sedimentary Petrology*, 60, 549-562.
- [34] Adabi, M.H. (2004). *Sediment Geochemistry*. Land Arian Press, Iran, 448 p.
- [35] Ebrahimi M., Sequence stratigraphy of the Kangan and upper Dalan Formations in the Golshan gas field with a special perspective on reservoir
- [11] Al-Qenae Khaled J. and Salman H. Al-Thaqafi (2015) New Approach for the Classification of Rock Typing Using a New Technique for Iso-Pore Throat Lines in Winland's Plot, in SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- [12] Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali M. Moallemi, A., Lotfpour, M., & Monibi, S. (2006). Upper Dalan/Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *GeoArabia*, 11 (2), 75-176.
- [13] Esrafil-Dizaji, B., & 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.
- [14] Tavakoli, V., Rahimpour-Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B. (2011). Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach. *Comptes Rendus Geoscience*, 343, 55–71.
- [15] Enayati-Bidgoli, A., & Rahimpour-Bonab, H. (2016). A geological based reservoir zonation scheme in a sequencestratigraphic framework: A case study from the Permo-Triassic gas reservoirs, Offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 73, 36-58.
- [16] Mehrabi, H., Mansouri, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., Hassanzadeh, M. (2016). Chemical compaction features as potential barriers in the Permian-Triassic reservoirs of Southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145, 95-113.
- [17] Yarmohammadi, S., Wood, D.A., & Kadkhodaie, A. (2020). Reservoir microfacies analysis exploiting microscopic image processing and classification algorithms applied to carbonate and sandstone reservoirs. *Marine and Petroleum Geology*, 121, 104609.
- [18] Tavakoli, V. (2021). Permeability's response to dolomitization, clues from Permian-Triassic reservoirs of the central Persian Gulf. *Marine and petroleum Geology* 123 (1), 104723.
- [19] Ghasemi, M., Kakemem, U., Husinec, A. (2022). Automated approach to reservoir zonation: A case study from the Upper Permian Dalan (Khuff) carbonate ramp, Persian Gulf. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 97, 104332.
- [20] Tavakoli, V., Hassani, D., Rahimpour-bonab, H., & Mondak, A. (2022) . How petrophysical heterogeneity controls the saturation calculations in carbonates, the Barremian–Aptian of the central Persian Gulf. *Petroleum Science and Engineering* 208, 2, 109568.
- [21] Alsharhan, A.S., Nairn, A.E.M. (1997).

quality, thesis, 183 pp.

[36] Machel, H.G. (1999). Effects of groundwater flow on mineral diagenesis, with emphasis on carbonate aquifers: *Hydrogeology Journal*. 7, 94-107.

[37] James, N.P., & Choquette, P. W. (1983). Diagenesis, 6, limestones - the seafloor diagenetic environment, *Geoscience Canada*, 10, 162-179.

[38] Ehrenberg, S.N. (2006). Porosity destruction in carbonate platforms. *Journal of Petroleum Geology*, 29: 41-52.

[39] Folk R.L (1965) Some aspect of recrystallization in ancient limestone, *Soc Econ paleont, mineral, spec, publ, Mo*, 13, 14-48.

[40] Rahimpour, H. (2009). Carbonate sedimentary rock with a perspective on reservoir quality, Tehran University Publications, 550 pp.

[41] Avarjani, Sh., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R. & Amiri-Bakhtiar, H. (2015). Facies, depositional sequences, and biostratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation in Marun oilfield, North Dezful Embayment, Zagros Basin, SW Iran, *Palaeoworld*, 24 (3), 336-358.

[42] Wenchao, Dou., Luofu, Liu., Kangjun, Wu., Zhengjian, Xu., Xiexiang, Liu. (2018). Diagenetic heterogeneity, pore throats characteristic and their effect on reservoir quality of the upper Triassic tight sandstone of yanchang formation in ordos, Basin china.

[43] Esmaili, B., Hosseinzadeh, S., Kadkhodaie, A., Wood, D., Akbarzadeh, S. (2023). Simulating reservoir capillary pressure curves using image processing and classification machine learning algorithms applied to petrographic thin sections. *Journal of african earth science*. doi, org/10.1016/j.jafrearsci.2023.105098