عوامل موثر بر کیفیت مخزنی سازند سورمه فوقانی (عرب) در میادین بلال و سلمان - خلیج فارس

رومینا همپائیان[1*]، حسین رحیم‌پور بناب[2]، محمدرضا کمالی[3] و سیدرضا موسوی حرمی[4]

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

۲- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

۳- پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی پژوهشگاه صنعت نفت، ایران

۴- دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/٤

چکیده

سازند سورمه از مخازن بزرگ نفتی در ایران و خاورمیانه محسوب می‌شود. لیتولوژی این سازند از نهشته‌های کربناته دولومیتی در بخش فوقانی و آهکی دولومیتی در بخش تحتانی به همراه انیدریت به‌صورت بین لایه‌ای و درون لایه‌ای تشکیل شده است. با توجه به مطالعاتی که در این میدان‌ها انجام گرفته، تغییراتی از جمله تغییر رخساره، نوع و شدت عملکرد فرآیندهای دیاژنزی و نوع لیتولوژی بر روی تخلخل و نفوذپذیری موثر می‌باشند. با مقایسه این عوامل در این دو میدان می‌توان به این نتیجه رسید که نهشته‌های دولومیتی میدان بلال بیشتر شامل رخساره‌های محیط سدی و لاگونی می‌باشد که به سمت جنوب شرقی از میزان نهشته‌های دولوگرینستونی سدی با فابریک دانه افزون کاسته شده و میزان نهشته‌های دولوپکستونی لاگونی افزایش می‌یابد و در میدان سلمان رخساره‌های دولووکستون و دولومادستون محیط پهنه جزرومدی با فابریک گل افزون بالاترین تعداد را به خود اختصاص می‌دهند که به دلیل گسترش بالای سیمان انیدریتی از مقدار تخلخل و تراوایی آنها کاسته شده است و علت آن می‌تواند کمتر شدن عمق حوضه از سمت میدان بلال به طرف میدان سلمان باشد به طور کلی این دو میدان در مقایسه با هم دارای رخساره‌های تقریباً مشابه‌اند اما بیشترین تفاوت که روی کیفیت مخزنی آنها تاثیر داشته میزان فراوانی رخساره‌های دانه افزون و درصد سیمانی شدگی انیدریتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: سورمه فوقانی (عرب)، میدان بلال، میدان سلمان، کیفیت مخزنی، تغییر رخساره

مقدمه

سازند سورمه فوقانی به عنوان یک توالی کلاسیک کربناته دولومیتی و انیدریتی یکی از سازندهای مخزنی مهم دنیا بوده که میادین هیدروکربنی مهمی را در خاورمیانه تشکیل می‌دهد [۱]. بخش بالایی سازند سورمه که معادل با سازند عرب بوده به عنوان یک سازند اکتشافی مهم به‌ویژه در بخش ایرانی خلیج فارس مورد توجه است [۲]. میادین سلمان و بلال از مهمترین میادینی هستند که بخش بالایی سازند سورمه (عرب زون) در آنها مخزن اصلی می‌باشد [۲]. میدان نفتی بلال در منطقه خلیج فارس و در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غرب جزیرهٔ لاوان قرار دارد و میدان سلمان در ۱۴۴ کیلومتری آن واقع شده است. محدوده جغرافیایی

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی r.hampaiyan@yahoo.com

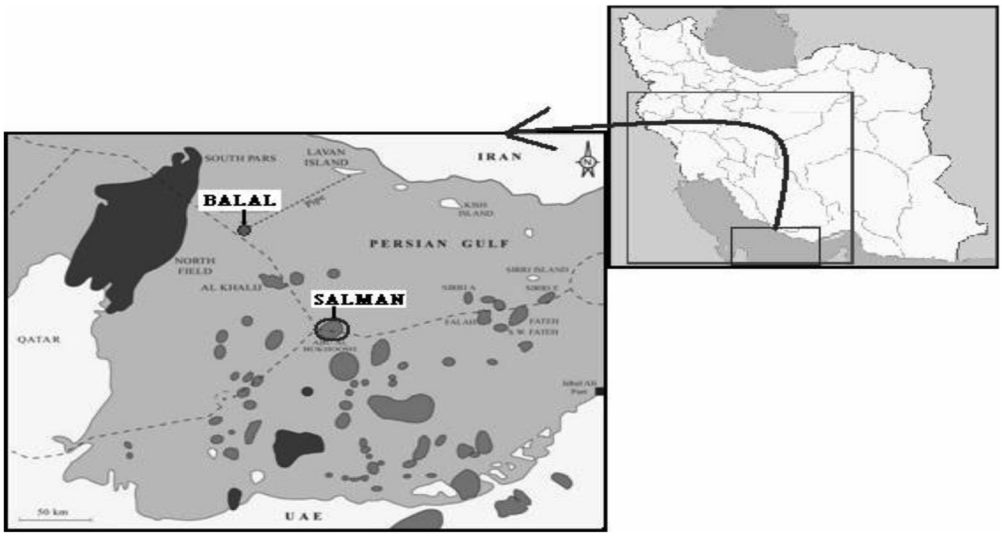
میدان بلال عبارت است از فواصل جغرافیایی"۳۰ '۱۲ °۲۶ تا "۵۰ '۲۳ °۲۶ عرض شمالی و"۵۰ '۲۷ °۵۲ تا "۲۰ '۳۶ °۵۲ طول شرقی و چاه‌های مورد مطالعه عبارتند از، BL-1P و 3W-02 و میدان سلمان در حد فاصل '۱۴ °۵۳ تا '۲۰ °۵۳ طول شرقی و '۲۷ °۲۵ تا '۳۸ °۲۵ عرض شمالی قرار گرفته است. چاه‌های مورد مطالعه در این میدان، 2S-2 و 2S-4 می‌باشند (شکل ۱).

کیفیت مخزنی نهشته‌های کربنات‌ها عموماً تحت کنترل چند عامل است که مهمترین آنها نوع رخساره‌های رسوبی، گسترش و توزیع فضایی آنها و همچنین عوامل دیاژنزی ثانویه است [۳]. به دلیل پتانسیل بالای نفتی وگستردگی حوضه رسوبی این سازند درخلیج فارس مطالعات متعددی به ویژه در کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس از جمله قطر و عربستان صورت گرفته است [۱ و ۲]. در میادین بلال و سلمان این سازند شامل بخش آهکی- آهک دولومیتی و دولومیتی تحتانی و بخش دولومیتی بالایی است که به وسیله لایه‌های انیدریتی از یکدیگر جدا شده‌اند. با توجه به اهمیت مخزنی این سازند و به منظور گسترش تعداد چاه‌های منطقه در آینده در این مطالعه به بررسی و مقایسه رخساره‌ها و فرآیندهای دیاژنزی و عوامل تأثیر گذار بر روی کیفیت مخزنی این سازند در میدان‌های بلال و سلمان و مقایسه آنها پرداخته شده است [۴].

روش کار

به منظور بررسی رخساره‌های رسوبی وشرایط حاکم بر محیط رسوب‌گذاری سازند سورمه فوقانی در دو میدان بلال و سلمان و همچنین درک فرآیندهای دیاژنزی موثر بر کیفیت مخزنی آنها در حدود ۲۰۰ نمونه مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از نمونه‌های مغزه متعلق به چاه‌های میدان بلال و ۱۵۰ نمونه متعلق به چاه‌های میدان سلمان مورد مطالعه قرار گرفتند.

به منظور تفکیک سنگ‌های آهکی از دولومیتی و تعیین درصد آنها از مقاطع نازک رنگ آمیزی شده با محلول آلیزارین قرمز استفاده گردیده است. برای شناسایی میکروفاسیس‌ها و نام‌گذاری دقیق آنها از روش‌های رایج فلوگل [۵] و دانهام [۶] و همچنین گرگ و سیبلی [۷] استفاده گردید. در تقسیم‌بندی کمربندهای رخساره‌ای در ارتباط با انواع رخساره‌ها نیز از طبقه‌بندی ویلسون [۸] استفاده شده است. برای طبقه‌بندی پتروفیزیکی و زمین‌شناسی فضاهای خالی و فابریک آنها از طبقه‌بندی ارائه شده توسط چوکت و پری [۹] و لوسیا [۱۰ و ۱۱] استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میادین بلال وسلمان در منطقه خلیج فارس

پهنه جزرومدی، لاگون و سد با ۱۵ میکروفاسیس در میدان بلال و ۱۳ میکروفاسیس در میدان سلمان شناسایی شده است (جدول۱). بر اساس اطلاعات و نتایج حاصل از بررسی رخساره‌های سنگی و میکروسکوپی اجزاء تشکیل دهندهٔ آنها در این مطالعه و با توجه به عدم وجود نشانه‌هایی دال بر رشد و گسترش ریف‌های سدی، عدم وجود رخساره‌های توربیدیتی و یا آهک‌های حاصل از کلاست‌های ریزشی (آلوداپیک) مدل پیشنهادی برای محیط رسوبی سازند سورمه فوقانی در میدان بلال و سلمان یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلاین می‌باشد که در حاشیهٔ شرق و شمال شرقی حوضهٔ درون شلفی[1] که در انتهای ژوراسیک در این منطقه گسترش داشته تشکیل شده است [۴].

فرآیندهای دیاژنزی موثر بر سازند سورمه فوقانی در میدان‌های بلال و سلمان

متنوع بودن خصوصیات مخزنی در محیط‌های کم‌عمق امری متداول است که این امر تاثیر فرآیندهای مختلف رسوبی و شرایط رسوبی و فرآیندهای دیاژنزی را منعکس می‌کند [۱۲]. فرآیندهای دیاژنزی از جمله مهمترین عواملی هستند که در کنترل کیفیت مخزنی مخازن کربناته می‌توانند موثر باشند [۱۳].

براساس مطالعات پتروگرافی مشخص گردید که هر سه محیط دیاژنزی شامل دریایی، متئوریک و دفنی بر این بخش از سازند سورمه فوقانی مؤثر بوده‌اند. فرآیندهای دیاژنزی دریایی عموماً به صورت تراکم اولیه، میکرایتی شدن و تشکیل سیمان‌های دریایی به ویژه در بخش پایینی قابل شناسایی‌اند. دربخش بالایی سازند سورمه فوقانی به دلیل دولومیتی شدن گسترده، این فرآیندها قابل شناسایی نبودند. شاید بتوان گفت که دیاژنز متئوریک و دفنی کم عمق مهمترین فرآیندهای شکل دهنده وضعیت کنونی سازند هستند. سیمان انیدریتی بعد از پدیده دولومیتی شدن مهمترین پدیده دیاژنزی در سازند سورمه فوقانی می‌باشد و فضای بین اغلب آلوکم‌ها و یا فضاهای ناشی از انحلال آلوکم‌ها را پر کرده است. دولومیتی شدن هم از جمله فرآیندهایی است که بر کیفیت مخزنی سنگ آهک اولیه تأثیر بسزایی دارد. اما این الزاماً به معنی بهبود کیفیت مخزنی نیست. به طور کلی اندازه بلورهای دولومیت می‌تواند برای تشخیص دولومیت‌های دیاژنتیک اولیه از ثانویه مورد استفاده قرار بگیرد [۱۴]. در نمونه‌های آهکی بخش سورمه فوقانی تحتانی که به‌صورت بخشی و یا خیلی خفیف دولومیتی شده‌اند سیمان دولومیتی مشاهده می‌شود. (جدول۱).

بررسی کیفیت مخزنی رخساره‌های رسوبی سازند سورمه فوقانی

رخساره‌های مورد بررسی در چهار چاه از میادین بلال و سلمان را به طور کلی می‌توان به دو دسته کلی سورمه فوقانی تحتانی و فوقانی تقسیم نمود:

رخساره‌های آهکی و آهک دولومیتی بخش تحتانی سازند سورمه فوقانی:

این رخساره‌ها شامل رخساره‌های آهکی (گرینستون بیوکلاستی و گرینستون/پکستون حفره‌ای)، آهکی دولومیتی (گرینستون دولومیتی و پکستون/ وکستون دولومیتی) و نیز جهت بررسی شرایط تغییر و تحول از سنگ آهک به دولومیت و مقایسهٔ پارامترهای تخلخل و تراوایی از داده‌های نمونه‌های کاملاً دولومیتی هم در این بخش استفاده شده است. فرآیندهای دیاژنزی عمدهٔ قابل شناسایی در بخش تحتانی سازند سورمه فوقانی عبارتند از میکرایتی شدن، تشکیل سیمان دریایی اولیه، تراکم، انحلال و دولومیتی شدن. رخساره‌های آهکی دانه افزون به‌دلیل تشکیل سیمان فریاتیک دریایی دوردانه‌ای اولیه بخش اعظم تخلخل خود را به‌خوبی حفظ کرده‌اند و به همین دلیل از تراوایی بالایی هم برخوردارند. فابریک‌های گل افزون دولومیتی ظاهراً بخش اعظم تخلخل خود را در اثر تراکم از دست داده‌اند، در حالی‌که در گرینستون دولومیتی و تاحدی در وکستون/پکستون دولومیتی دولومیت به صورت فاز پرکنندهٔ فضاهای خالی عمل کرده و در نتیجه باعث کاهش تخلخل و تراوایی شده است.

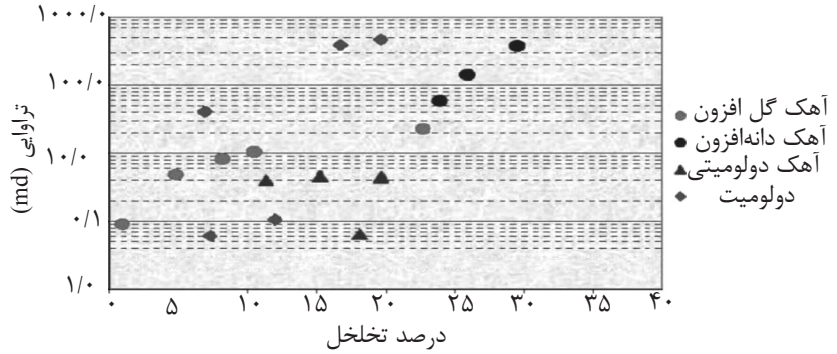
1. Intra-Shelf Basin

جدول ۱- انواع رخساره‌های سازند سورمه فوقانی در میادین مورد مطالعه [۴].

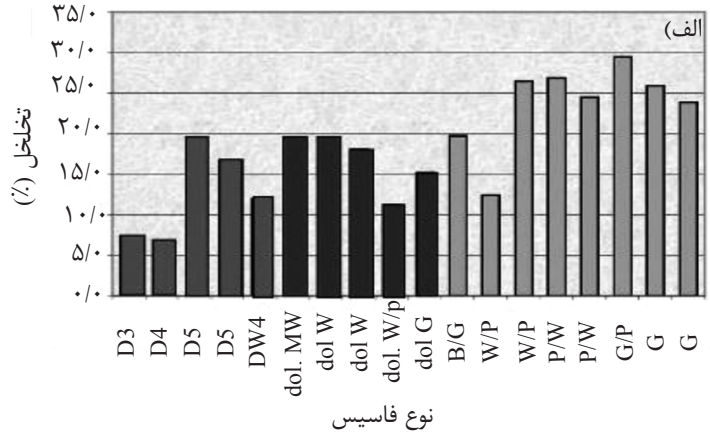
رخساره‌های مورد مطالعه	میدان بلال	میدان سلمان	محیط	اجزای اصلی سازنده	فرایندهای دیاژنزی
انیدریت دولوبایندستون دولومادستون / وکستون دولووکستون	MF_1 MF_2 MF_3 MF_4	MF_1 MF_2 MF_3 MF_4	پهنه جزر و مدی پهنه جزر و مدی پهنه جزر و مدی پهنه جزر و مدی	انیدریت بلوری لیتوکلاستهای جلبکی و پلوئیدی دولومیکرایت تا بلورهای ریز دولومیت بلورهای بسیار ریز دولومیت	----- سیمان دولومیتی، انحلال انحلال و سیمان انیدریتی انحلال و سیمان انیدریتی
دولوگرینستون/ پکستون اائیدی، پلوئیدی مادستون/ وکستون دولومیتی وکستون/ پکستون دولومیتی وکستون/ پکستون بیوکلاستی،پلوئیدی گرینتستون بیوکلاستی،پلوئیدی،دولومیتی گرینستون بیوکلاستی میلیوئیددار	MF_5 MF_6 MF_7 MF_8 MF_9 MF_{10}	MF_5 MF_6 ----- MF_7 ----- MF_8	لاگون لاگون لاگون لاگون لاگون لاگون	دولومیت جانشین اائید و پلوئید گل آهکی و بلورهای دولومیت گل آهکی، دولومیت وخرده فسیل گل آهکی وخرده فسیل فرامینیفر، خرده های جلبک و پلوئید فرامینیفر بویژه میلیولید، پلوئید	سیمان، انحلال و تراکم دولومیت زدایی خیلی کم سیمان دولومیتی و انحلال سیمان دریایی وانحلال دولومیتی شدن سیمان، میکرایتی شدن
دولوگرینستون بیوکلاستی،اائیدی و پلوئیدی دولوپکستون/گرینستون بیوکلاستی کرینوئیدی پکستون/ گرینستون بیوکلاستی دولوگرینستون اائیدی،بیوکلاستی انیدریتی گرینستون بیوکلاستی، پلوئیدی، اینتراکلاستی	MF_{11} MF_{12} MF_{13} MF_{14} MF_{15}	MF_9 MF_{10} MF_{11} MF_{12} MF_{13}	سد سد سد سد سد	خرده فسیل، اائید، پلوئید، دولومیت خرده های کرینوئید و دولومیت خرده کرینوئید، دوکفه ای و جلبک اائید، خرده فسیل ، دولومیت خرده فسیل، پلوئید، اینتراکلست	سیمان دولومیتی و انحلال دولومیتی شدن سیمانی شدن میکرایتی شدن،دولومیتی شدن، سیمان وانحلال سیمان و میکرایتی شدن

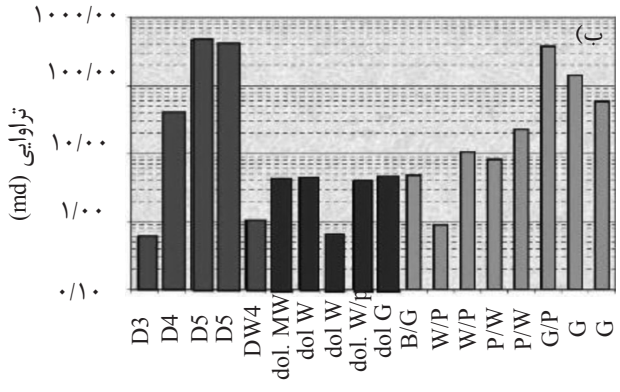
در نمونه‌های دولوستونی تخلخل و تراوایی بیشتر متأثر از فابریک بلوری نمونه‌های (فابریک باز با بلورهای خود شکل و نیمه شکل‌دار و یا فابریک درهم و فشرده با بلورهای بی‌شکل) است. نمودار شکل ۲ تغییرات تخلخل و تراوایی در مقابل فابریک را نشان می‌دهد. فابریک‌های گل افزون و دانه افزون در شرایط تقریباً یکسانی قرار دارند که البته نشان‌دهندهٔ این است که فابریک‌های گل افزون احتمالاً در اثر فرآیند تراکم نسبت به فابریک‌های دانه افزون درصد بیشتری از تخلخل خود را از دست داده‌اند [۱۵].

اگرچه فضاهای خالی انحلالی در ماتریکس گلی این فابریک‌ها هم نقش داشته است. همچنین این نمودار نشان می‌دهد فرآیند دولومیتی شدن هرچند بخشی بیشتر به‌صورت سیمان و به شکل فاز پرکنندهٔ فضاهای بین دانه‌ای در فابریک‌های دانه افزون و یا جانشینی زمینهٔ گل آهکی در فابریک‌های گل افزون در کاهش تخلخل و تراوایی در هر دو فابریک به‌ویژه در فابریک‌های دانه افزون نقش مؤثری دارد به‌ویژه در گرینستون‌ها و پکستون‌ها با تشکیل در فضاهای بین دانه‌ای و بستن گلوگاه‌ها عامل مهم کاهش تراوایی و تخلخل می‌باشد. در شکل ۳ نمودار تغییرات تخلخل و تراوایی بر اساس رخساره‌های میکروسکوپی و در شکل ۴ نمونه‌هایی از رخساره‌های سورمه فوقانی تحتانی نشان داده شده است. براساس شکل ۳ رخساره‌های آهکی با فابریک دانه افزون (G,GPvug) و رخساره‌های دولوستونی درشت بلور با فابریک باز و بلورهای خودشکل از کیفیت مخزنی خیلی خوبی برخوردارند.

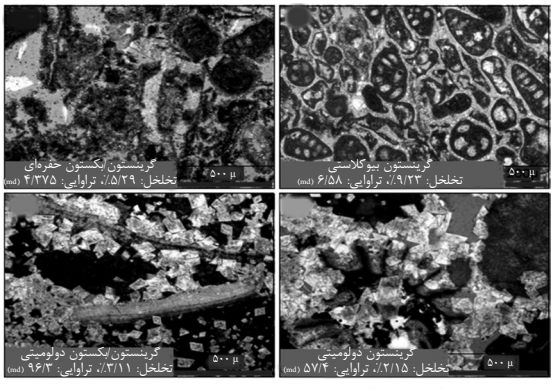


شکل ۲- نمودار تخلخل- تراوایی برای رخساره‌های میکروسکوپی بخش تختانی سازند سورمه فوقانی





شکل ۳- نمودار تغییرات تخلخل (الف) و تراوایی (ب) براساس رخساره‌های میکروسکوپی در بخش تحتانی سازند سورمه فوقانی



شکل ۴- نمونه‌هایی از رخساره‌های میکروسکوپی آهکی و آهک دولومیتی بخش تحتانی سازند سورمه فوقانی.نور :XPL عمق:۱۷۷۰ - ۱۷۹۰ m

درحالی‌که رخساره‌های آهکی با فابریک گل‌افزون (P/W, W/P, B/G) و رخساره‌های آهک دولومیتی (Gd, W/Pd, Wd, M/Wd) و رخساره‌های دولوستونی متوسط بلور با بافت فشرده از کیفیت مخزنی ضعیف برخوردارند. متوسط تخلخل برای نمونه‌های آهکی ۲۳/۷٪ و از آن برای تراوایی ۷۷/۸ md است. متوسط تخلخل برای نمونه‌های آهک دولومیتی ۱۶/۸٪ و از آن تراوایی ۳/۵۷ md می‌باشد. همچنین متوسط تخلخل و تراوایی برای نمونه‌های دولومیتی علیرغم پراکندگی توزیع داده‌ها در نمودار به ترتیب ۱۲/۵٪ و ۱۷۷/۷ md است.

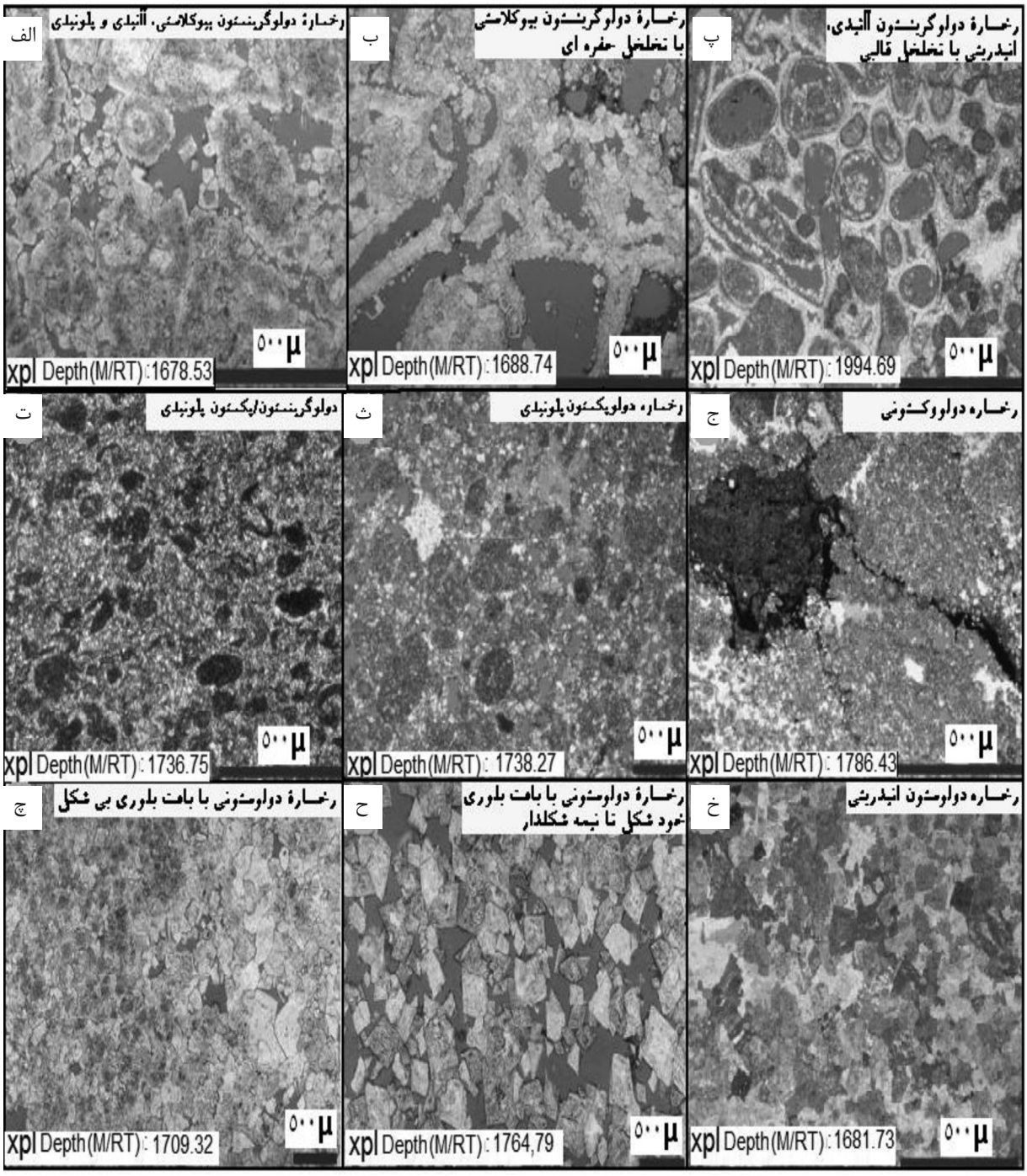
رخساره‌های دولومیتی بخش فوقانی سازند سورمه فوقانی

الف- رخسارهٔ دولوگرینستون بیوکلاستی، اُائیدی[1] و پلوئیدی[2] ریز تا درشت بلور (شکل۵-الف) ویژگی مهم این رخساره با فابریک دانه افزون این است که در اکثر نمونه‌های آن درصد زیادی از تخلخل اولیهٔ باقیمانده است. در این حالت نمونه‌ها از تخلخل بین دانه‌ای اولیه و تراوایی بالایی برخوردارند. در این رخساره تغییرات عمدهٔ تخلخل و تراوایی در واقع تحت تأثیر فاز پرکنندهٔ فضاهای خالی است. اندازهٔ بلورهای دولومیت نوع چهارم (دولواسپارایت) با درصد حدود ۸۰ تا۹۰٪ همان‌گونه که در نمودار تخلخل-تراوایی (شکل۶- الف) مشخص است تأثیری در تغییرات تخلخل و تراوایی و در نهایت کیفیت مخزنی ندارد. کمترین میزان تخلخل ۲/۸۸٪ و بیشترین آن ۲۸/۶۵٪ و مقدار متوسط آن هم ۱۵/۳٪ می‌باشد. کمترین میزان تراوایی ۴/۴ md و بیشترین آن ۱۶۲۲ md و مقدار متوسط آن هم ۳۳۴/۸ md است. با این شرایط این رخساره از جمله رخساره‌های مخزنی خوب در سازند سورمه فوقانی می‌باشد. به‌ویژه اینکه در اکثر زون‌های مخزنی این سازند گسترش دارد.

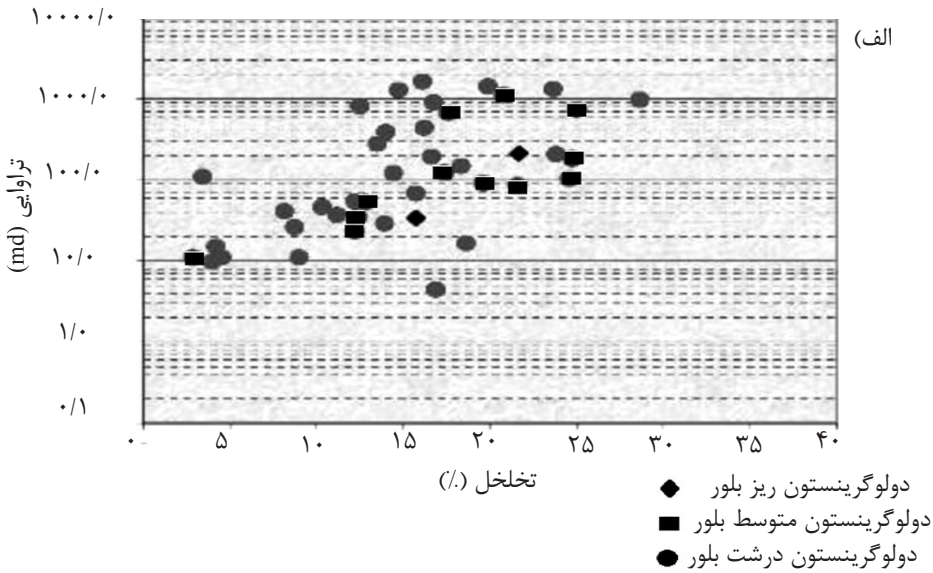
ب- رخسارهٔ دولوگرینستون بیوکلاستی با تخلخل حفره‌ای (شکل ۵-ب): در این رخساره که فابریک دانه افزون دارد، فضاهای خالی قالبی با گسترش فرآیند انحلال تشکیل حفرات انحلالی مرکب و بزرگ داده و موجب افزایش تخلخل و تراوایی و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی و تشکیل یکی از بهترین رخساره‌های مخزنی سازند سورمه فوقانی شده است و فرآیند دولومیتی شدن ابتدا به‌صورت فاز جانشینی و پرکنندهٔ فضاهای خالی عمل کرده و سپس یک فاز انحلالی باعث تشکیل فضاهای خالی انحلالی قالبی و ارتباط آنها با یکدیگر شده است. با توجه به داده‌های آماری (شکل ۶-ب)، در این رخساره کمترین میزان تخلخل ۱۴/۶٪ و بیشترین آن ۲۸/۷٪ و مقدار متوسط ۲۱/۷٪ و برای تراوایی کمترین مقدار ۱۰۴/۱ md و بیشترین مقدار ۱۳۰۸/۸ md و مقدار متوسط آن هم ۵۶۴/۷ md است.

ج- رخسارهٔ دولوگرینستون اُائیدی، انیدریتی با تخلخل قالبی(شکل ۵-پ): در این رخساره با فابریک دانه افزون فضاهای خالی از نوع حفره‌ای غیرمرتبط و عمدتاً متشکل از قالب‌های انحلالی اُائیدها هستند که به‌وسیلهٔ بلورهای خیلی ریز دولومیت احاطه شده‌اند. فاز انحلالی که قبل از تکمیل شدن فرآیند دولومیتی شدن و یا پس از آن صورت گرفته تخلخل زیادی را ایجاد کرده است به‌طوری‌که متوسط تخلخل در این رخساره ۲۴/۶٪ است که مقدار بالایی می‌باشد (شکل ۶-پ). با این حال همان‌گونه که در نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی مشاهده می‌شود دامنهٔ تغییرات تراوایی در این رخساره زیاد است به‌طوری‌که کمترین مقدار آن ۰/۱۶ md و بیشترین آن ۲۱۱/۵ md است که یکی از عوامل اصلی کنترل آن اندازه و بافت بلورهای دولومیت در این رخساره است. همچنین نمونه‌های این رخساره دارای ۱۵٪ تا ۴۰٪ انیدریت می‌باشند که به‌عنوان سیمان در مراحل تأخیری دیاژنز با رسوب در فضاهای خالی قالبی ضمن کاهش تخلخل و تراوایی در کاهش کیفیت مخزنی مؤثر بوده است. به هر حال در این رخساره در صورتی که ارتباط مناسبی بین فضاهای خالی قالبی از طریق فضاهای بین دانه‌ای و از مجرای بافت دولومیتی وجود داشته باشد تراوایی مناسبی هم ایجاد خواهد شد.

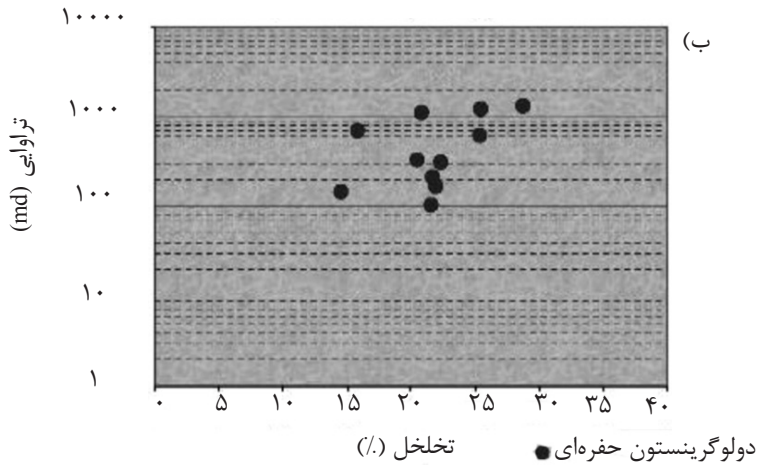
1. Ooidal
2. Peloidal



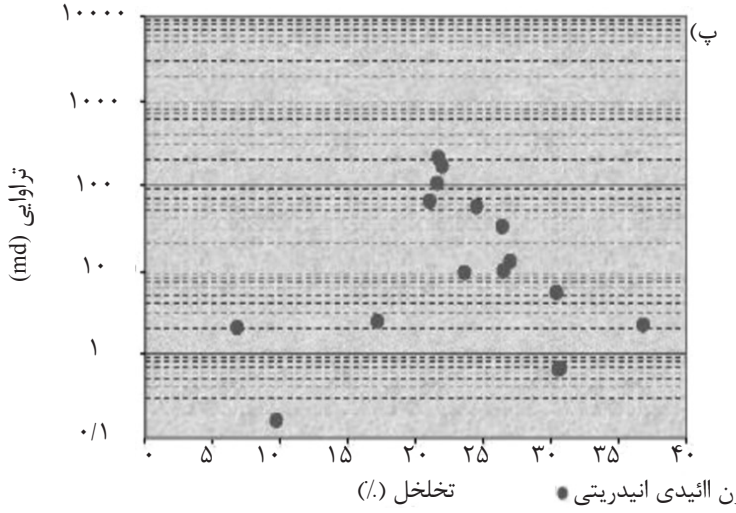
شکل ۵- نمونه‌هایی از رخساره‌های میکروسکوپی دولومیتی بخش فوقانی سازند سورمه فوقانی



رخساره دولوگرینستون بیوکلاستی اائیدی پلوئیدی ریز تا درشت بلور

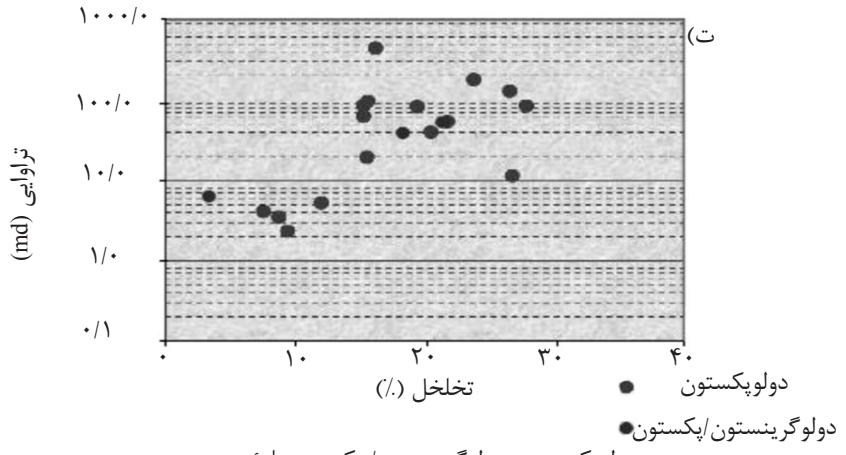


رخساره دولوگرینستون بیوکلاستی با تخلخل حفره‌ای

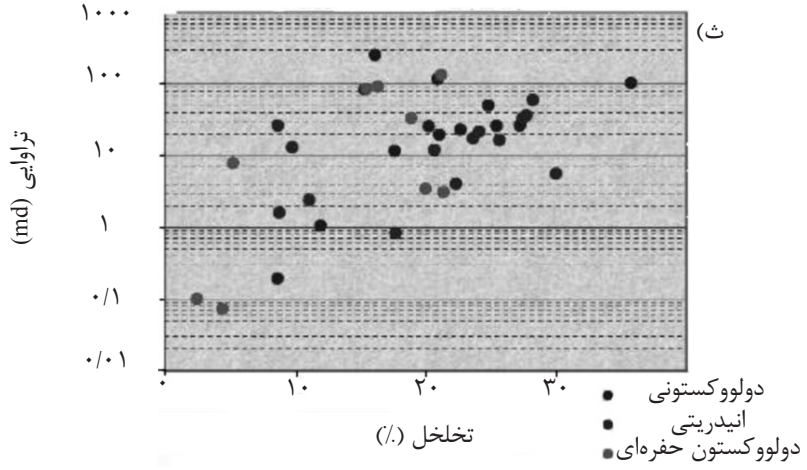


رخساره دولوگرینستون اائیدی انیدریتی با تخلخل قالبی

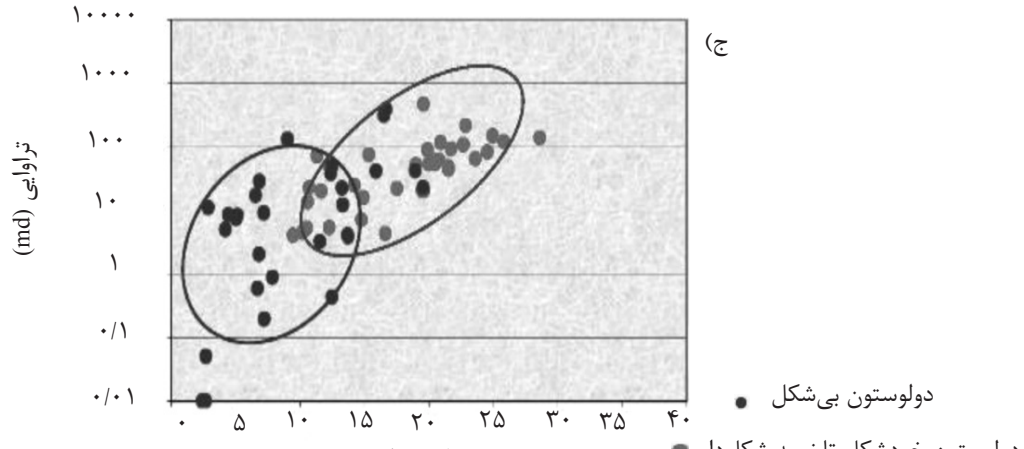
شکل ۶- نمودارهای تخلخل- تراوایی برای انواع رخساره‌های دولومیتی سازند سورمه فوقانی (ادامه دارد)



دولوپکستون و دولوگرینستون/ پکستون پلوئیدی

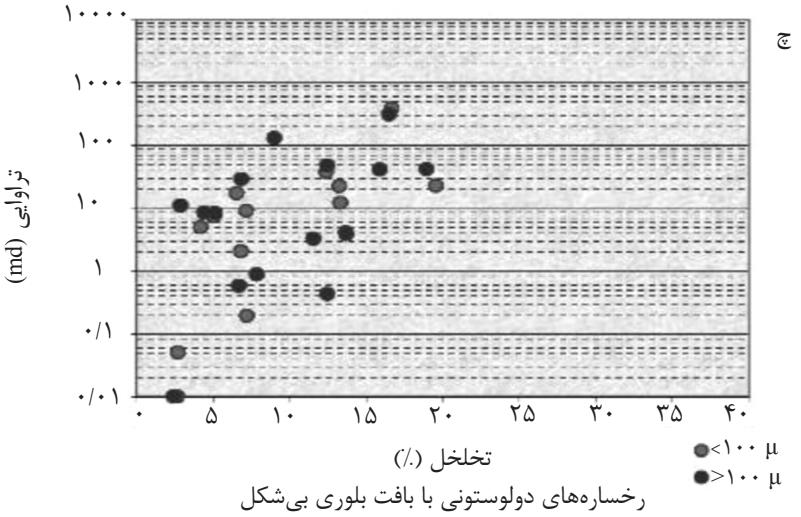


رخساره‌های دولووکستونی

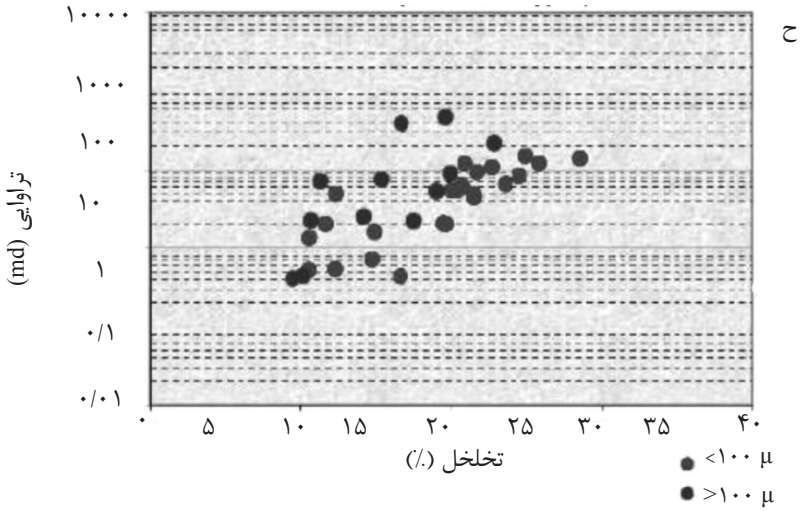


رخساره‌های دولوستونی

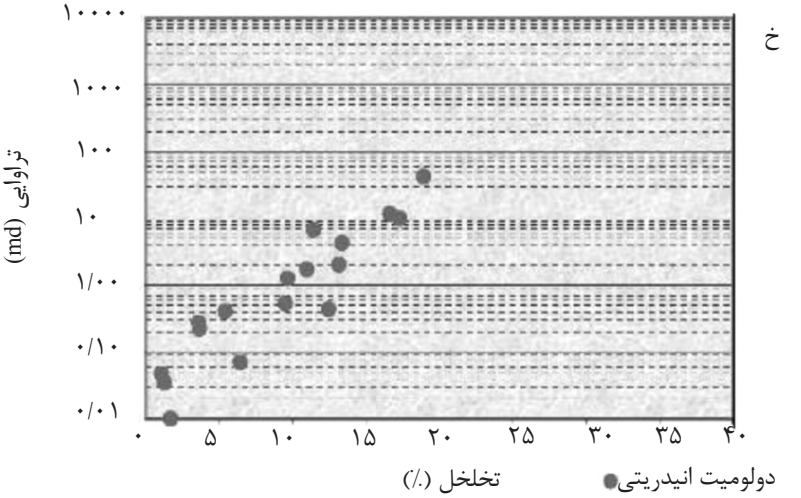
شکل ۶- نمودارهای تخلخل- تراوایی برای انواع رخساره‌های دولومیتی سازند سورمه فوقانی (ادامه دارد)



رخساره‌های دولوستونی با بافت بلوری بی‌شکل



رخساره‌های دولوستونی با بافت بلوری خود شکل تا شکل‌دار



رخساره‌های دولومستون اندریتی

شکل ۶- نمودارهای تخلخل- تراوایی برای انواع رخساره‌های دولومیتی سازند سورمه فوقانی

د- رخساره‌های دولوپکستون و دولوگرینستون/ پکستون پلوئیدی(شکل ۵-ت وشکل ۵-ث): از بافت بلوری خیلی ریز تشکیل شده-اند. اندازهٔ آلوکم‌ها متغیر است. تخلخل‌های بین بلوری و قالبی و حفرات انحلالی بیشتر از سایر موارد گسترش دارد. آلوکم‌ها معمولاً از بافت بلوری ریزتری نسبت به بافت زمینه برخوردارند. فرآیند تراکم، تشکیل سیمان انیدریتی و کلسیتی مراحل تأخیری دیاژنز و به مقدار کمتری شکستگی در تغییرات تخلخل و تراوایی در این رخساره مؤثر بوده است. شکستگی به علت مقاومت بالای دولومیت نسبت به آهک در برابر فشار، در رخساره‌های آهکی نسبت به رخساره‌های دولومیتی کمتر است [۱۶]. توزیع داده‌های تخلخل و تراوایی از پراکندگی نسبتاً زیادی برخوردار است که می‌تواند در نتیجهٔ تأثیر پارامترهای مختلف دیاژنزی باشد. براساس نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی (شکل ۶-ت) کمترین مقدار تخلخل ۳/۴٪ و بیشترین آن ۲۷/۹٪ و مقدار متوسط هم ۱۷/۲٪ و از آن برای تراوایی کمترین مقدار ۲/۳ md و بیشترین آن ۴۳۷/۲ md و مقدار متوسط هم ۷۲/۸ md است که از جهت کیفیت مخزنی در سازند سورمه فوقانی در شرایط خوبی قرار می‌گیرد. همچنین روند مشخصی از افزایش متناسب تخلخل و تراوایی با یکدیگر وجود دارد.

ه- رخساره‌های دولووکستونی (شکل ۵-ج): نمودار داده‌های تخلخل و تراوایی در سه گروه دولووکستون، دولووکستون انیدریتی و دولووکستون با تخلخل حفره‌ای رسم شده است (شکل ۶-ث). از جهت این تقسیم‌بندی تفکیک قابل ملاحظه‌ای بین داده‌ها مشاهده نمی‌شود. اگرچه اختلاف اندکی هم در متوسط داده‌های تخلخل و تراوایی برای هر گروه وجود دارد با اینحال به‌نظر می‌رسد بافت بلوری از جهت باز یا متراکم و فشرده بودن، اندازهٔ بلورها، تشکیل سیمان انیدریتی و کلسیتی در فضاهای بین بلوری و برخی شکستگی‌ها تأثیر زیادی در میزان و نحوهٔ ارتباط فضاهای خالی بین بلوری و یا قالبی و حفره‌ای و همچنین در کیفیت تراوایی در این گروه‌ها داشته است. فرآیند انحلال به‌خصوص در رخساره‌های گل غالب از نوع دولومیتی باعث ایجاد تخلخل از نوع حفره‌ای و بعضا قالبی می‌گردد [۱۷]. بررسی آماری داده‌ها نشان می‌دهد متوسط تخلخل برای دولووکستون ۲۱/۰۵٪، دولووکستون انیدریتی ۲۰/۰۹٪ و برای دولووکستون با تخلخل حفره‌ای ۱۳/۹۵٪ و میزان تراوایی به ترتیب برای دولووکستون ۵۴/۷ md، دولووکستون انیدریتی ۲۲/۲۳ md و دولووکستون با تخلخل حفره‌ای ۳۹/۹ md است. متوسط تخلخل برای کل داده‌های این رخساره‌ها ۱۸/۹٪ و تراوایی ۳۷/۵ md است و در مقایسه با سایر رخساره‌های سازند سورمه فوقانی در شرایط متوسطی قرار می‌گیرد.

و- رخساره دولوستونی (شکل ۵-چ و شکل ۵- ح): در فضاهای خالی بین بلوری این رخساره هیچ گلی وجود ندارد. بررسی داده‌های تخلخل و تراوایی نمونه‌های این رخساره نشان می‌دهد که ظاهراً در کل نمونه‌ها بافت بلوری دولومیت (از لحاظ شکل مرز بلوری) در تغییرات تخلخل و تراوایی و در نتیجه کیفیت مخزنی بیشتر از اندازهٔ بلورها مؤثر بوده است که البته خود متأثر از نرخ و شدت دولومیتی شدن، تعدد نقاط هسته‌زایی، میزان تأمین یون‌های منیزیم، کربنات و کلسیم توسط سیال دولومیتی کننده می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت دولومیتی شدن بیش از حد از عوامل اصلی کاهندهٔ تخلخل و تراوایی در این رخساره است به این دلیل که دولومیتی شدن تخلخل‌های موجود را به یکدیگر وصل کرده و لذا تراوایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۸]. از این جهت این رخساره در دو گروه بافتی بی‌شکل و نیمه شکلدار تا خودشکل مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۶-ج). رخسارهٔ دولوستونی با بافت بلوری بی‌شکل: توزیع و پراکندگی داده‌ها در نمودار تخلخل و تراوایی برای این رخساره که به تفکیک اندازهٔ بلورهای دولومیت رسم شده است(شکل ۶-چ) نشان می‌دهد که در این گروه از دولوستون‌ها اندازهٔ بلورهای دولومیت نقش تعیین کننده‌ای در تغییرات تخلخل و تراوایی

نـدارد ولـی از بررسـی و مقایسـهٔ داده‌هـای تخلخـل و تراوایـی بـا بافـت بلـوری نمونه‌هـا می‌تـوان نتیجـه گرفـت کـه هرچـه نمونه بافـت موزائیکـی فشـرده و درهم و متراکـم دارد میـزان تخلخـل و تراوایـی هـم کاهش پیدا می‌کنـد. به‌طـور کلـی خصوصیـات پتروفیزیکـی توسـط بافـت سـنگ نیـز کنتـرل می‌شـوند [۱۹ و ۲۰]. بـر اسـاس داده‌هـای موجـود کمتریـن میزان تخلخـل ۲/۴۱٪ و بیشـترین آن ۱۹/۵۵٪ و مقـدار متوسـط هـم ۹/۶۶٪ و از آن بـرای تراوایـی کمتریـن مقـدار md ۰/۰۱ و بیشـترین مقـدار md ۳۸۶/۲ و مقـدار متوسـط هم md ۳۹/۰۱ اسـت و از ایـن جهـت و در مقایسـه بـا سـایر رخسـاره‌های سـازند سـورمه فوقانـی از لحـاظ کیفیـت مخزنـی در شـرایط متوسـط قـرار می‌گیـرد. رخسـارهٔ دولوسـتونی بـا بافـت بلـوری خودشـکل تـا نیمـه شـکل‌دار: ایـن گـروه از دولوسـتون‌ها غالبـاً از بافـت بلـوری خودشـکل تـا نیمـه شـکل‌دار و معمـولاً از فابریـک بلـوری بـاز دارنـد و در مجمـوع نسـبت بـه گـروه قبلـی از شـرایط تخلخـل و تراوایـی بهتـری برخوردارنـد. در (شـکل ۶-ح) کـه داده‌هـا بـه تفکیـک انـدازهٔ بلورهـا در دو گـروه کوچکتـر و بزرگتـر از ۱۰۰میکـرون در آن رسـم شـده‌اند نشـان می‌دهـد در ایـن گـروه از دولوسـتون‌ها انـدازهٔ بلورهـا در تغییـرات تخلخـل و تراوایـی بیـش از بافـت بلـوری تأثیرگـذار اسـت. براسـاس داده‌هـای تخلخـل و تراوایـی در ایـن رخسـاره کمتریـن مقـدار تخلخـل ۹/۴۶٪ و بیشـترین مقـدار آن ۲۸/۶٪ و مقـدار متوسـط هـم ۱۷/۹٪ و از آن بـرای تراوایـی کمتریـن مقـدار md ۴ و بیشـترین مقدار md ۹/ ۴۶۴ و مقدار متوسط هم md ۷۶ اسـت کـه از جهـت کیفیـت مخزنـی در مقایسـه بـا سـایر رخسـاره‌های رسـوبی سـارند سـورمه فوقانـی در شـرایط خوبـی قـرار می‌گیـرد.

ی- دولوسـتون انیدریتـی (شـکل ۵-خ): انیدریـت معمـولا بـا دولومیتـی شـدن بـوده و مسـتلزم ورود سـولفات بـه سیسـتم از آب‌هـای هیپرسـالین می‌باشـد [۲۱ و ۲۲] ایـن رخسـاره بیشـتر در نزدیکـی لایه‌هـای پوش‌سـنگ انیدریتـی و یـا به‌صـورت میـان لایه‌هـا گسـترش دارد و ارزش مخزنـی نـدارد. انیدریـت در ایـن رخسـاره‌ها به‌صـورت اولیـه و بـه شـکل دربرگیرنـده بافـت بلـوری بسـیار ریـز دولومیـت و یـا به‌صـورت ثانویـه و بـه شـکل نـودول و یـا تـک بلورهـا و تجمعـات بلـوری درشـت در فضاهـای بیـن بلـوری دولوسـتون‌ها تشـکیل شـده اسـت. مقـدار انیدریـت در ایـن نمونه‌هـا بیـش از ۱۰٪ حجمـی و تـا ۵۰٪ هـم می‌باشـد. نمـودار تخلخـل و تراوایـی براسـاس داده‌هـای موجـود رسـم شـده اسـت (شـکل ۶-خ). بـر اسـاس ایـن داده‌هـا مقـدار متوسـط تخلخـل در ایـن رخسـاره ۸/۹٪ و از آن بـرای تراوایـی md ۴/۴ اسـت و از ایـن جهـت در مقایسـه بـا سـایر رخسـاره‌ها در سـازند سـورمه فوقانـی در شـرایط ضعیفـی قـرار می‌گیـرد.

نتیجه‌گیری

بـا مقایسـه لیتولـوژی و فرآیندهـای دیاژنـزی موثـر و نیـز بررسـی انـواع رخسـاره‌های تشـکیل دهنـده و تحلیـل داده‌هـای پتروفیزیکـی و آمـاری مربـوط بـه نمونه‌هـای سـازند سـورمه فوقانـی برگرفتـه شـده از میادیـن نفتـی بـلال و سـلمان بـه ایـن نتیجـه می‌تـوان رسـید کـه بخـش دولومیتـی فوقانـی ایـن سـازند در چاه‌هـای میدان سـلمان بیشـتر بـه صـورت گل افـزون بـوده و شـامل رخسـاره‌های دولومادسـتون و دولووکسـتون می‌شـود کـه در محیـط پهنـه جزرومـدی تشـکیل شـده‌اند. بیشـتر تخلخل‌هـای موجـود از نـوع از حفـره‌ای اسـت کـه غالبـاً حاصـل انحـلال و شکسـتگی می‌باشـند و فضاهـای خالـی نیـز اکثـراً توسـط سـیمان انیدریتـی پـر شـده‌اند. رخسـاره انیدریـت بیشـتر بـه صـورت سـیمان و در درون لایه‌هـا ایجـاد شـده اسـت. بیشـترین رخسـاره‌های آهکـی بخـش تحتانـی سـازند سـورمه در میـدان بـلال شـامل رخسـاره گرینسـتون بیوکلاسـتی پلوئیـدی بـا فابریـک دانه‌افـزون و رخسـاره وکسـتون/ پکسـتون بیوکلاسـتی پلوئیـدی بـا فابریـک گل‌افـزون می‌شـود. امـا نمونه‌هـای دولومیتـی فوقانـی در میـدان بـلال بیشـتر از نـوع دولوگرینسـتون اائیـدی پلوئیـدی و دولوپکسـتون/ گرینسـتون بیوکلاسـتی مربـوط بـه محیط

سدی و نیز رخساره دولوپکستون/گرینستون اائیدی پلوئیدی مربوط به محیط لاگون می‌باشند که این رخساره‌ها به علت دانه‌افزون بودن از تخلخل و تراوایی خوبی برخوردارند. انیدریت در بخش فوقانی سازند سورمه درمیدان بلال بیشتر به صورت بین لایه‌ای تشکیل شده و این قسمت را به چند زون مخزنی مجزا تقسیم کرده و سیمان انیدریتی نیز در حد بسیار کم در برخی رخساره‌ها باعث پر شدن فضاهای خالی شده است. رخساره‌های آهکی بخش تحتانی سازند سورمه فوقانی بیشتر شامل گرینستون بیوکلاستی پلوئیدی و نیز وکستون/ پکستون بیوکلاستی پلوئیدی می‌شود که دارای تخلخل و تراوایی در حد خوب می‌باشند. به‌طور کلی در توالی سورمه فوقانی بالایی دولومیتی شدن بیش از حد یکی از عواملی است که کیفیت مخزنی را در رخساره‌های مختلف کاهش می‌دهد. درتوالی سورمه فوقانی پایینی که لیتولوژی آن آهک و دولومیت است فرآیند دولومیتی شدن کیفیت مخزنی ایجاد نکرده چون نتوانسته جانشین زمینه گل غالب اولیه در رخساره‌های وکستون و مادستون گردد. رخساره‌های گرینستونی سورمه فوقانی پایینی که انحلال نیز تحمل نموده‌اند در این بخش بهترین کیفیت مخزنی را دارند. درمجموع در توالی مورد مطالعه دولوگرینستون‌ها و دولومیت‌های دانه شکری که به‌طور کامل رخساره اولیه آنها از بین رفته و نیز رخساره‌های گل غالب دولومیتی شده در توالی سورمه فوقانی بالایی وگرینستون‌های دولومیتی نشده سورمه فوقانی پایینی بهترین کیفیت مخزنی را دارند. دولومیت‌هایی که به میزان قابل توجه انیدریتی شده و یا بیش از حد دولومیتی شده‌اند دارای ضعیف‌ترین کیفیت مخزنی هستند. فرآیند انحلال نقش مهمی در افزایش کیفیت مخزنی داشته است. به‌طور کلی در مقایسه این دو میدان با هم به این نتیجه می‌رسیم که سازند سورمه فوقانی در این دو میدان از لحاظ محیط تشکیل و انواع رخساره‌های موجود در آنها به طور تقریب مشابه‌اند ولی با در نظر گرفتن اختلافاتی که در تعداد و گسترش برخی رخساره‌ها دارند و نیز میزان فراوانی سیمان انیدریتی در این رخساره‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که حوضه رسوب‌گذاری میدان بلال در زمان تشکیل عمیق‌تر از حوضه تشکیل سازند سورمه در میدان سلمان بوده که نتیجه آن گستردگی رخساره‌های دانه‌افزون محیط سدی در نمونه‌های میدان بلال و فراوانی رخساره‌های گل‌افزون لاگون و پهنه جزرومدی در نمونه‌های میدان سلمان می‌باشد.

مراجع

[۱] لطفی س.، «مطالعه محیط رسوبی و بررسی کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سورمه (سازند سورمه فوقانی) درمیدان بلال»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ص ۱۴۵، ۱۳۸۵.

[۲] یوسف‌پور م.، «مطالعه محیط رسوبی وکیفیت مخزنی سازند سورمه فوقانی در میدان رشادت واقع درخلیج فارس»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران،۱۳۸ص،۱۳۸۳ .

[۳] رحیم پور بناب ه.، «سنگ‌شناسی کربناته: ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل»، ۲۷۳۳، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۸۷، ۱۳۸۴.

[۴] همپائیان ر.، «بررسی و مقایسه محیط رسوبی، دیاژنز و سکانس استراتیگرافی، با نگرشی بر کیفیت مخزنی سازند سورمه فوقانی در میادین نفتی بلال و سلمان در منطقه خلیج فارس»، پایان نامه دکتری، دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات تهران، ایران، ص ۱۸۲ ،۱۳۹۲.

[5]. Flugel E., "*Microfacies analysis of limestone*," Spring-Verlag, Berlin, pp. 610, 2010.

[6]. Dunham R. J., "*Classification of carbonate rocks according to depositional texture,*" In: Classification of car-

bonate rocks (Ed. By W. E. Ham), AAPG. No 10, pp.108-121, 1962.

[7]. Sibley D. F., and Greegg J. M, "*Classification of dolomite rock textures,*" Jour. Sed. Petrol., Vol. 57, No. 6, pp. 967-975.cial Publications January 1,. Vol. 235, pp. 1411, 1987.

[8]. Wilson J. L., "*Carbonate facies in geologic history,*" Springer-Verlag, New Yourk, pp. 471, 1975.

[9]. Choquette P. W. and Pray L., "*Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates,*" American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, Vol. 54, pp. 207-250, 1970.

[10]. Lucia F. J. and Rock Fabric, "*Petrophysical classification of Carbonate Pore space for reservoir characterization,*" AAPG, 79, No. 79, pp. 1275-1300, 1995.

[11]. Lucia F. J., and Conti R. D., "*Rock fabric, permeability, and log relationships in an upward-shoaling,*" vuggy carbonate sequence: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Geological Circular 87-5, pp. 22, 1987.

[12]. Vincent B., Emmanuel L., Houel P., and Loreau J. P., "*Geodynamic control on carbonate diagenesis: Petrographic and isotopic investigation of the Upper Jurassic formations of the Paris Basin (France): Sedimentary Geology,*" Vol. 197, pp. 267–289. 2007.

[13]. Flugel E., "*Microfacies of carbonate rocks: Analysis,*" Interpretation and Application, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 976, 2010.

[14]. Amthor R. S. and Friedman G. M., "*Early-to 1ate diageneticdolomitization ofplatform carbonates: Lower Ordovician Ellenburger Group, Permian basin,*" West Texas, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 62, pp. 131-144,1992.

[15]. Lucia F. J., "*Carbonate reservo characterization,*" Springer Verlag, Berl Heidelberg. 2007.

[16]. Moore C. H., "*Carbonate reservoirs porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework,*" Amsterdam, Elsevier, pp. 444, 2001.

[17]. Buyukutku A. G., "*Reservoir properties of Karaisalı formation in the Adana Basin,*" Southern Turkey: Journal of Petroleum Science, 2009.

[18]. Lucia F. J, "*Origin and petrophysics of dolostone pore space,*" Gical Society of London, Special Publications, Vol. 235, pp.141-155, 2004.

[19]. Enos p. and Sawatsky L. H., "*Pore networks in Holocene carbonate sediments,*" Journal of Sedimentary Research, Vol. 51 No. pp. 3, 1981.

[20]. Lucia F. J., "*Carbonate reservoir characterization,*" New York, Springer-Verlag, pp. 226 ,1999.

[21]. Warren J. and Dolomite, "*Occurrenc evolution and economically importa associations,*" Earth Science Reviews, Vol. 52, pp. 81. 2000.

[22]. El-Tabakh M., A. Mory, Schreiber B. C., and Yasin R., "*Anhydrite cements after dolomitization of shallow marine Silurian carbonates of the Gascoyne Platform,*" Southern Carnarvon Basin: Western Australia Sedimentary Geology, Vol. 164, pp. 75–87., 2004 .