

بررسی انواع تخلخل، عوامل مؤثر بر آن و زون بندی مخزن دالان بالایی در برش کوه سورمه و خلیج فارس

سمیه پرهام^۱ و محمدرضا کمالی^۲

^۱دکتر، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان؛ پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

^۲دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۰۹

چکیده

واحد دالان بالایی متشکل از لایه‌های کربناتی- دولومیتی و میان‌لایه‌های تبخیری، میزبان مخازن عظیمی از گاز در زاگرس چین‌خورده و خلیج فارس است. در این پژوهش به بررسی انواع تخلخل، عوامل و فرایندهای مؤثر بر آن در برش سطحی این واحد در کوه سورمه و چاهی در یکی از میداین موجود در خلیج فارس پرداخته می‌شود. بر پایه رده‌بندی جدید زایشی تخلخل که به وسیله Ahr (2008) ارائه شده است، فرایندهای ایجادکننده یا تغییردهنده تخلخل در این واحد، هیبریدی از ۳ متغیر فرایندهای رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و شکستگی است. در نمونه‌های زیرسطحی، تخلخل هیبریدی از تخلخل رسوبی و دیاژنتیک است. در این سازند رخساره‌های دانه پستیان از رخساره‌های گریستونی مربوط به تپه‌های سدی زیرآبی دارای تخلخل میان‌دانه‌ای هستند که نوعی تخلخل رسوبی است. این رخساره در مراحل بعدی دیاژنز، دارای تخلخل‌های قالبی، انحلالی و به میزان کمتر میان‌بلوری شده است که از انواع تخلخل دیاژنزی هستند. می‌توان نتیجه گرفت تخلخل در این واحد رخساره انتخابی است. در نمونه‌های سطحی، تخلخل هیبریدی از تخلخل رسوبی، تخلخل دیاژنزی و شکستگی است. وجود شکستگی‌های فراوان در نمونه‌های برش سطحی کوه سورمه به دلیل تشکیل برش‌های انحلالی در اثر انحلال واحد تبخیری نار تحت تأثیر دیاژنز جوی و نیز قرار گرفتن در پهنه زاگرس چین‌خورده و چین‌خوردگی زمین‌ساختی است. داده‌های تخلخل- تراوایی حاصل از تجزیه و تحلیل مغزه چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که توالی مورد مطالعه خواص مخزنی همگنی ندارد. به‌منظور جداسازی لایه‌های با ویژگی‌های مخزنی متفاوت، پهنه‌بندی انجام و ۶ لایه مخزنی با ویژگی مخزنی ضعیف تا بسیار خوب مشخص و جدا شده است.

کلیدواژه‌ها: سازند دالان، کوه سورمه، خلیج فارس، تخلخل، کیفیت مخزنی، پهنه‌بندی مخزن

*نویسنده مسئول: سیمه پرهام

E-mail: parhams@ripi.ir

۱- پیش‌گفتار

بخش بالایی سازند دالان یکی از مهم‌ترین لایه‌های مخزنی گازدار در بخش‌هایی از زاگرس و خلیج فارس است. این بخش به طور چیره شامل تناوبی از آهک و دولومیت همراه با میان‌لایه‌های تبخیری است (Kashfi, 1992). مرز بالایی این سازند با سازند کربناتی کنگان ناپیوسته و با نبود چینه‌شناسی و نیز با دگرشیبی جزئی همراه است، در صورتی که مرز زیرین با سازند فراقان تدریجی و همساز است (مطیعی، ۱۳۷۲). در این پژوهش دو برش از واحد دالان بالایی انتخاب شده است. یک برش سطحی واحد دالان بالایی در کوه سورمه و دیگری چاهی در یکی از میداین موجود در خلیج فارس است. کوه سورمه در ناحیه زاگرس چین‌خورده قرار دارد و توالی رسوبی به نسبت کاملی از سازند یادشده را شامل می‌شود. امکان دسترسی به آن آسان و مرز آن با سازندهای دیگر به خوبی قابل جدایش است. از آنجا که تخلخل یکی از عوامل مهم در ارزیابی مخزن به‌شمار می‌آید، در این مطالعه به بررسی انواع تخلخل و عوامل مؤثر در ایجاد یا تغییر آن پرداخته می‌شود. تأثیر هر فرایند بر کیفیت مخزنی و اثرات مخرب و یا سازنده هر فرایند بحث می‌شود. انواع تخلخل در برش‌های سطحی و زیرسطحی مورد مقایسه قرار می‌گیرد و در پایان توالی مورد مطالعه از دید مخزنی به لایه‌های با کیفیت‌های متفاوت تقسیم می‌شود.

۲- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

کوه سورمه با روند شمال باختر- جنوب خاور در کمربند چین‌خورده زاگرس، در ۱۰۵ کیلومتری شمال خلیج فارس و در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شیراز و ۳۳ کیلومتری جنوب و جنوب‌باختری فیروزآباد قرار گرفته است (شکل ۱) که مختصات جغرافیایی ۲۹° ۵۲' طول خاوری و ۳۰° ۲۸' عرض شمالی دارد. در این ناحیه کوه سورمه با ارتفاع ۲۲۴۰ متر از سطح دریا مرتفع‌ترین نقطه در منطقه است. چاه مورد مطالعه در خلیج فارس و در جنوب باختری بندر عسلویه قرار دارد.

۳- چینه‌نگاری سازند دالان در چاه مورد مطالعه

سازند دالان به سن پرمین در زاگرس چین‌خورده، در کوه سورمه با ستبرای ۶۳۸ متر رخنمون دارد. این سازند از رسوبات مختلف تشکیل شده است که از پایین به بالا به ۳ بخش تقسیم می‌شود؛ (۱) بخش زیرین آهک فسیل‌دار، دولومیت، آهک‌های آلیتی و آهک‌های دولومیتی است؛ (۲) بخش میانی که به نام بخش تبخیری نار معروف است از لایه‌های ستبر اندریت و دولومیت گچ‌دار ساخته شده است؛ (۳) بخش کربناتی بالایی که آهک‌های آلیتی، آهک‌های میکربیتی و دولومیت را دربر می‌گیرد (Szabo & Kheradpir, 1978). برای مقاطع زیرسطحی سازند دالان از تقسیم‌بندی دیگری نیز استفاده می‌شود. در این تقسیم‌بندی سازند دالان و کنگان به ۵ اطاق تقسیم شده که به نام K1-K5 نام‌گذاری شده‌اند. در این تقسیم‌بندی K5 معادل واحد دالان زیرین، K4 و K3 معادل واحد دالان بالایی و K2 و K1 معادل سازند کنگان هستند (شکل ۲).

۴- موقعیت زمین‌ساختی منطقه

از نظر جایگاه زمین‌ساختی کوه سورمه در واحد زمین‌ساختی زاگرس چین‌خورده قرار دارد (نبوی، ۱۳۵۵). این واحد در جنوب باختری ایران قرار دارد و مرز خاوری آن گسل میناب در نظر گرفته شده است. در کوه سورمه ردیف چینه‌شناسی کاملی را می‌توان دید. روند کلی در این واحد شمال باختری- جنوب خاوری است که به نام روند زاگرس شناخته می‌شود. در بخش باختری زاگرس این روند تغییر کرده و با امتداد تقریبی باختری- خاوری دیده می‌شود و این موضوع شاید به حرکت راست‌بر گسل میناب بستگی داشته باشد. موج‌رسانی چین‌ها در طول محور آنها کم و بیش روند شمالی- جنوبی دارد و به‌نظر می‌رسد که تغییر رخساره‌ها نیز در طول همین روند کهنسال به‌وجود آمده‌اند (نبوی، ۱۳۵۵، و قرشی و آرین، ۱۳۸۹).

از دید زمین‌شناسی و سبک دگرشکلی، سنگ‌ها و رسوب‌های موجود در زاگرس چین‌خورده در اواخر پلیوسن- اوایل پلیوستوسن چین‌خورده‌اند و چین‌ها

کربناتی بدون گل، تخلخل میان دانه‌ای در زمان ته‌نشست چیره است و گاه میزان ۴۰ تا ۵۰ درصد تخلخل را نشان می‌دهد (Moore, 1989). پس از ته‌نشست، این فضاهای خالی بر اثر عوامل مختلف از بین می‌رود. در نمونه‌های مورد مطالعه این تخلخل به‌طور چیره در گریستنون‌های آئیددار، پلوییددار و بیوکست‌دار و دولوگریستنون‌ها (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱) دیده می‌شود (شکل ۴-A و B). این تخلخل یکی از تخلخل‌های مهم موجود در افق مغزنی K4 است، ولی در مواردی پر شده یا کاهش یافته است. اولین فرایندی که سبب کاهش این نوع تخلخل شده تراکم فیزیکی است که سبب کم شدن فاصله دانه‌ها می‌شود، ولی مهم‌ترین فرایندی که تخلخل را کاهش داده، سیمانی شدن است. در نمونه‌های مورد مطالعه سیمان حاشیه‌ای هم‌ستبر، اولین فاز سیمان بوده و سپس دیگر انواع سیمان مانند سیمان هم‌بعد بقیه فضاهای خالی را پر کرده است. در نمونه‌های سطحی، بیشتر فضاهای خالی با سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. سیمان دولومیتی و انیدریتی از درجه دوم اهمیت برخوردارند. در نمونه‌های زیرسطحی فضاهای خالی با انیدریت فراگیر پر شده است. در نمونه‌های وکستونی و پکستونی نیز ماتریکس میکریتی میان دانه‌ها قرار گرفته است.

۱-۱- تخلخل درون دانه‌ای (Intraparticle Porosity)

این نوع تخلخل اولیه و وابسته به فابریک سنگ است. در رده‌بندی (Lucia 1983) این نوع تخلخل، تخلخل درون فسیلی (Intrafossil) نامیده می‌شود. در نمونه‌های مورد مطالعه این نوع تخلخل به‌طور چیره درون صدف بیوکست‌هایی چون روزن‌بران، شکم‌پایان، استراکودا و دوکفه‌ای‌ها وجود دارد. ولی معمولاً به‌وسیله سیمان (به‌طور چیره کلسیتی و انیدریتی) یا زمینه پر شده‌اند (شکل ۴-C). در برخی موارد نیز فابریک ژئوتپال در آن تشکیل شده است. از طرفی میزان این نوع تخلخل نسبت به انواع دیگر کمتر است و افزون بر این به دلیل جدا بودن، نفوذپذیری کمی دارد بنابراین این نوع تخلخل از دید مغزنی بسیار کم اهمیت است.

۱-۲- تخلخل فنسترال (Fenestral Porosity)

این نوع تخلخل در رخساره‌های دولومادستون مربوط به پهنه فراکشندی و نیز برخی در برخی از دولوگریستنون‌ها (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱) دیده می‌شود که گاه به‌وسیله انیدریت کاهش یافته است (شکل ۴-D). این نوع تخلخل اولیه و مستقل از فابریک سنگ است و بیشتر در رسوبات مربوط به محیط کشندی (فراکشندی) و رسوبات گل‌پشتیبان (Mud-dominated) مرتبط با جلبک‌ها، تشکیل می‌شود و به‌طور محلی اهمیت دارد (Shinn, 1968). تخلخل در رسوبات و کستونی مرتبط با فعالیت جلبک‌ها، در پهنه فراکشندی تا ۶۵ درصد گزارش شده است (Enos & Swatsky, 1981). اگرچه میزان تراوایی کمی برای این نوع رسوبات گل‌پشتیبان پس از تحجر (سنگی شدن) مورد انتظار است، ولی بر اثر دولومیتی شدن پس از آن و تشکیل تخلخل میان‌بلوری، تراوایی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (Moore, 1989).

۱-۳- تخلخل پناهگاهی (Shelter Porosity)

این نوع تخلخل در سنگ آهک‌های بیوکستی دارای دانه‌های بزرگ یافت می‌شود. تخلخل پناهگاهی اولیه و وابسته به بافت و فابریک سنگ است. در نمونه‌های مطالعه شده در رخساره‌های آهکی و زیر قطعات بزرگی مانند صدف دوکفه‌ای‌ها، در رخساره‌های لاگونی کوه سورمه این نوع تخلخل تشکیل شده، ولی در مراحل بعدی با سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. با توجه به میزان کم تخلخل پناهگاهی و پر شدن آن، این نوع تخلخل نقش مثبتی در ایجاد تراوایی و افزایش کیفیت مغزنی ندارد، ولی برای توصیف رخساره‌ها می‌تواند مفید باشد.

۱-۴- تخلخل حاصل از فرایندهای دیاژنتیکی

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد تخلخل و تراوایی اولیه و رسوبی در زمان رسوب‌گذاری ایجاد می‌شوند در حالی که تخلخل و تراوایی دیاژنتیکی را فرایندهای پس از رسوب‌گذاری به‌وجود می‌آورند یا تغییر می‌دهند (Ahr, 2008). نکته بنیادین در شناخت و بهره‌برداری از مخازن دیاژنتیکی، توانایی شناخت انواع تخلخل و

بیشتر به صورت تاقدیس و ناودیس درازی دیده می‌شوند که در بخش‌های بالایی آشکوب زمین‌ساختی اصلی به‌علت وجود رسوب‌های نیمه‌مقاوم و سست میوسن (گروه فارس) بی‌نظمی‌هایی در آنها دیده شده و به‌صورت چین‌های نامتقارن در آمده‌اند، ولی در بخش‌های پایین‌تر چین‌ها نظم بیشتری دارند. نمک‌های پرکامبرین پسین (لایه‌های سرخ) در زمان ژوراسیک - کرتاسه به سوی بالا آمده و گنبد‌های نمکی پی‌ریزی شده‌اند. در زاگرس چین خورده بیش از ۸۰ گنبد نمکی دیده می‌شود که به نظر می‌رسد چگونگی جای‌گیری آنها متفاوت باشد. گنبد‌های نمکی در هسته‌های ناودیس و یا تاقدیس و همچنین در هر دو پهلو چین‌ها دیده می‌شوند. محور چین‌ها با اینکه دارای روند عمومی زاگرس است ولی نوعی موج‌رسانی را می‌توان در آنها دید که در امتداد شمالی - جنوبی شکل گرفته است. این امتداد ممکن است اثر غیرمستقیم روند کهنسال کاتانگایی (ایرانی) باشد. چین‌خوردگی پایانی چرخه آلپی در دوره پلیوسن موجب جمع‌شدگی پوسته زمین شده است که در حدود ۷۰ تا ۸۰ کیلومتر برآورد شده است. ادامه این منطقه را می‌توان در جنوب کشور ترکیه شناسایی کرد و آنجا به نام کمر بند چین خورده بیتلیس نامیده شده است (قرشی و آراین، ۱۳۸۹).

۲- روش مطالعه

به‌منظور بررسی کیفیت مغزنی بخش بالایی سازند دالان از ۱۵۰ متر مغزه در دسترس از چاه اکتشافی مورد مطالعه، ۴۵۰ نمونه با فواصل بیشینه ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. نمونه‌برداری از برش کوه سورمه به‌صورت جهت‌دار و بیشترین فاصله نمونه‌ها یک متر و کمترین فاصله ۳۰ سانتی‌متر بوده است. در پایان ۲۸۰ نمونه از این برش انتخاب شد. همه نمونه‌ها پس از تهیه مقطع نازک میکروسکوپی با محلول آلزاین سرخ به روش Dickson (1965) رنگ‌آمیزی شدند. پس از آن نمونه‌ها با میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه سنگ‌نگاری قرار گرفتند. به منظور بررسی تخلخل زمینه (ماتریکس)، ۶ نمونه انتخاب و با دستگاه میکروسکوپ الکترونی SEM عکس‌برداری شد. برای وضوح بهتر تخلخل و بررسی دقیق‌تر انواع تخلخل به تعدادی از نمونه‌های متخلخل، رزین اپوکسی آبی (Blue Epoxy Resin) تزریق شد. برای نمونه‌های چاه اکتشافی، تخلخل هلیوم (Helium Porosity) و تراوایی عمودی (Air Permeability) اندازه‌گیری شد. برای درک بهتر کیفیت مغزنی در توالی‌های مختلف نمودارهای آنها رسم و کیفیت مغزنی لایه‌های مختلف ارزیابی شد.

۳- انواع تخلخل

بر پایه رده‌بندی جدید ژنتیکی تخلخل که به‌وسیله Ahr (2008) ارائه شده فرایندهای ایجادکننده یا تغییردهنده تخلخل به‌طور چیره شامل (۱) فرایندهای رسوبی یا ته‌نشستی، (۲) فرایندهای دیاژنتیکی و (۳) شکستگی است. این ۳ فرایند در ۳ رأس مثلث قرار داده شده‌اند (شکل ۳). اضلاع مثلث نیز تخلخل‌هایی هیبریدی را که محصول ۲ فرایند باشند نشان می‌دهد. در این مطالعه برای رده‌بندی تخلخل از این رده‌بندی استفاده شده است. در توصیف تخلخل، از رده‌بندی‌های (Choquette & Pray 1970) و Lucia (1995) نیز بهره گرفته شده است. در ادامه انواع تخلخل‌های دیده شده در نمونه‌های مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۳-۱- تخلخل‌های حاصل از فرایندهای رسوبی

تخلخل‌هایی که در زمان رسوب‌گذاری و تحت تأثیر فرایندهای رسوبی در نمونه‌های مورد مطالعه تشکیل شده‌اند شامل تخلخل میان‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، فنسترال و پناهگاهی است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۳-۲- تخلخل میان‌دانه‌ای (Interparticle Porosity)

این نوع تخلخل همه فضاهای خالی میان‌دانه‌ها را در زمان رسوب‌گذاری را می‌شود و از نوع اولیه و تحت کنترل فابریک سنگ (Fabric Selective) است. در رسوبات

–تخلخل انحلال سیمان/زمینه

این نوع تخلخل بر اثر انحلال سیمان در نمونه‌های آئید دولوگرنستون (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱) به فراوانی یافت می‌شود و یکی از مهم‌ترین تخلخل‌های دیده شده به‌ویژه در افق‌های مخزنی چاه مورد مطالعه است. در این نمونه‌ها سیمان انحلال یافته و تخلخل میان‌دانه‌ای ثانویه پیرامون آئیدها ایجاد شده است. فضای خالی حاصل در مواردی با سیمان انیدریتی فراگیر کاهش یافته و در محل‌هایی خالی باقی مانده است (شکل ۵-F). نمونه همانند این تخلخل توسط (Mazzullo & Ried, 1987) گزارش شده است.

به‌دلیل انحلال زمینه موجود میان‌دانه‌ها به‌ویژه در نمونه‌های و کستون اسکلتی نیز تخلخل انحلال زمینه ایجاد شده است. میزان این تخلخل در نمونه‌ها کمتر است و نقش کمتری در ایجاد کیفیت مخزنی دارد.

– تخلخل میان‌بلوری (Inter-crystalline Porosity)

این تخلخل ثانویه و در کنترل فابریک سنگ است. تخلخل میان‌بلوری در ارتباط با تشکیل دولومیت مخازن مهمی را در مکان‌های مختلف مانند سبزا و پهنه فراکشندی تا سکانس‌های دریایی عادی تشکیل می‌دهد (Roehl & Choquette, 1985). تخلخل میان‌بلوری سبب اتصال انواع تخلخل به هم می‌شود و توانایی جریان سیال را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (Warren, 2000). در نمونه‌های مورد مطالعه به‌روشنی دیده می‌شود که تخلخل‌های قالبی جدا با یک سامانه تخلخل میان‌بلوری به‌هم متصل شده‌اند. در رخساره‌های آئید گرنستون که دولومیتی شدن به‌صورت انتخابی صورت گرفته است نیز این نوع تخلخل تا حدی گسترش یافته است (شکل ۶-A). در رخساره‌های آئید گرنستونی که جانیشینی کامل صورت گرفته نیز این نوع تخلخل وجود دارد ولی چون بلورها ریز هستند، اندازه فضاهای خالی نیز بسیار ریز و در حد میکرون است و جزو ریزتخلخل‌ها به‌شمار می‌آید (Cantrell & Haguerty, 1999). به عبارت کلی در نمونه‌هایی که دولومیت به‌صورت Planar-e و Planar-s تشکیل شده است این تخلخل وجود دارد و نقش مهمی در ایجاد تخلخل مؤثر و تراوایی و افزایش کیفیت مخزنی دارد؛ به‌ویژه اینکه سبب اتصال حفرات و قالب‌ها با یک سامانه میان‌بلوری به یکدیگر شده است. دولومیکریت نیز تا حدود ۶ درصد تخلخل میان‌بلوری نشان می‌دهد ولی بیشتر بر اثر تبلور دوباره و افزایش اندازه بلورها، تخلخل دیده‌شده در دولومیکرواسپاریت‌ها بیشتر است.

۶-۳. تخلخل حاصل از شکستگی مکانیکی

–تخلخل شکستگی (Fracture Porosity)

این تخلخل ثانویه است و در کنترل فابریک سنگ نیست. شکستگی در مخازن کربناتی متداول و مؤثر است و این به دلیل خاصیت شکنندگی کربنات‌ها نسبت به طبیعت انعطاف‌پذیرتر سنگ‌های دانه‌ریز سیلیسی کلسیتی است که به‌صورت میان‌لایه با آنها قرار دارند (Longman, 1985). شکستگی در هر زمانی طی تاریخچه تدفین رسوبات کربناتی می‌تواند رخ دهد و می‌تواند با گسل خوردگی، چین‌خوردگی، تراکم تفریقی، حرکت گنبد نمکی و شکستگی‌های هیدرولیکی در منطقه با فشارهای بالا مرتبط باشد (Roehl & Weinbrandt, 1985; McQuillan, 1985; Longman, 1985). در نمونه‌های مطالعه شده کوه سورمه تخلخل شکستگی به فراوانی (شکل ۶-C) و در جهت‌های مختلف دیده می‌شود، ولی بیشتر به‌وسیله سیمان کلسیت اسپاری و گاه به‌وسیله انیدریت به‌ویژه در بخش‌های پایینی واحد دالان بالایی نزدیک مرز عضو نار پرشده است. به سوی بخش‌های بالاتر این واحد، تا حدی از میزان شکستگی‌ها کم می‌شود. عامل احتمالی دیگر در ایجاد شکستگی این است که کوه سورمه در پهنه زاگرس چین‌خورده قرار دارد که از دید زمین‌ساختی فعال بوده است. چین‌خوردگی نیز از عوامل تأثیرگذار دیگر است. در نمونه‌های چاه مورد مطالعه این تخلخل به مراتب کمتر دیده می‌شود و نقش مهمی در افزایش کیفیت مخزنی ندارد.

رده‌بندی آنها برپایه منشأ است. تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای، انحلال سیمان/زمینه و میان‌بلوری به‌صورت دیاژنز تشکیل شده‌اند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

– تخلخل قالبی (Moldic Porosity)

تخلخل قالبی از نوع تخلخل‌های ثانویه و انتخاب شده به‌وسیله فابریک سنگ است. این تخلخل یکی از مهم‌ترین تخلخل‌های موجود است و به طور چیره در بیشتر گرنستون‌های آئیدی آهکی و دولومیتی چاه مورد مطالعه (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱) دیده می‌شود. این تخلخل بر اثر انحلال آلوکم‌ها تشکیل می‌شود. انحلال سنگ‌آهک و رسوبات ممکن است در هر زمانی در طی تاریخچه تدفین روی دهد. رخداد انحلال همراه با افزایش حجم فضاهای خالی در پاسخ به تغییرات شیمی سیال درون‌منفذی مانند تغییر در شوری، دما یا تغییرات فشار CO_2 رخ می‌دهد. این تغییرات می‌تواند؛ در اوایل تاریخچه تدفین رسوبات رخ دهد (مرحله مزوژنز)، مانند گسترش سامانه آب جوی در سکانس شلف کم ژرفا؛ (۲) یا در آخرین مراحل تدفین (مرحله مزوژنز) روی دهد، جایی که بلوغ هیدروکربن یا آب‌دهی شیل سبب ایجاد سیال مهاجم می‌شود؛ (۳) در هر زمان در طی تاریخچه تدفین که سنگ‌آهک به‌وسیله یک دگرشیمی در معرض تماس آب جوی قرار می‌گیرد (James & Choquette, 1984). تخلخل قالبی تشکیل شده در نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر بر اثر انحلال آئیدها و به مقدار کمتر بیوکلس‌های آراگونیتی تشکیل شده است. فرایند انحلال در مرحله تدفین و تحت تأثیر آب‌های فرورو در مراحل مختلف تشکیل شده است. همچنین فرایند انحلال گسترده آئیدها در اثر بیرون آمدن ناگهانی حوضه از آب و قرار گرفتن آنها در یک منطقه تحت تأثیر آب‌های فرورو نیز به وجود می‌آید (Husseini, 1992). حفره‌های حاصل غالباً سالم مانده‌اند (شکل ۵-A)، ولی در برخی نیز آثار فشرده‌گی مانند خردشدگی قالب آئیدها دیده می‌شود. شکستگی آئیدها سبب تشکیل آئیدهای وارفته (Spastolith) شده است (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003) (شکل ۵-B). در برخی نمونه‌های چاه مورد مطالعه قالب‌های حاصل از انحلال با سیمان انیدریتی فراگیر پر شده‌اند، ولی شمار زیادی از حفره‌ها نیز خالی باقی مانده‌اند. تخلخل میان‌بلوری در نمونه‌های دولومیتی شده، شکستگی و افزایش انحلال و تبدیل تخلخل قالبی به تخلخل حفره‌ای (شکل ۵-C) از عواملی است که این تخلخل را به تخلخل مفید تبدیل کرده و سبب ارتباط آنها و افزایش تراوایی شده است.

– تخلخل حفره‌ای (Vuggy Porosity)

این نوع تخلخل در همه رخساره‌ها مانند دولومادستون، گرنستون و دولوگرنستون آئیدی (کمالی و همکاران، ۱۳۹۱) دیده می‌شود و به طور چیره در اثر افزایش انحلال تخلخل قالبی (شکل ۵-C و D) و نیز انحلال سیمان و زمینه تشکیل شده است. تخلخل حفره‌ای یکی از تخلخل‌های مهم و متداول به‌ویژه در افق‌های مخزنی چاه مورد مطالعه است. پرشدن یا کاهش یافتن این تخلخل با انیدریت سبب کاهش کیفیت مخزنی شده است. تخلخل حفره‌ای جزو تخلخل‌های ثانویه و مستقل از فابریک سنگ است. انحلال در مراحل پس از پایدار شدن کانی‌ها در تاریخچه تدفین سنگ‌های کربناتی هم رخ می‌دهد و سبب تشکیل تخلخل می‌شود که فابریک پیشین مانند دانه، سیمان و ماتریکس را قطع می‌کند (شکل ۵-E) و چنین نیست که تنها بخش‌های خاصی مانند دانه‌های آراگونیتی حل شود و به اصطلاح مستقل از فابریک سنگ (Nonfabric Selective) است. این نوع تخلخل، وقتی سنگ در معرض دگرشیمی قرار گیرد (تلوژنز)، نتیجه مستقیم رخنمون در محیط وادوز و فراتیک جوی است که در این محیط فشار بخشی CO_2 بالاست و آب‌ها نسبت به فازهای کربناتی به‌ویژه دولومیت تحت اشباع هستند (James & Choquette, 1984). تخلخل حفره‌ای مرتبط با دگرشیمی‌ها می‌تواند در حد اقتصادی گسترش یابد (James & Choquette, 1984; Choquette & James, 1987). پراکنندگی این تخلخل هم به‌وسیله تخلخل‌های موجود از پیش و نیز به‌وسیله شکستگی، گسل و حتی استیلولیت کنترل می‌شود (Moore, 1989).

– تخلخل برشی

تخلخل برشی ثانویه است و می‌تواند در کنترل فابریک سنگ باشد یا نباشد. برشی شدن سنگ‌های آهکی در موقعیت‌های مختلف مانند: ریزش به دلیل انحلال کربنات (Limestone Solution Collapse) یا به دلیل انحلال تبخیری‌ها، گسل خوردگی و تشکیل خاک می‌تواند رخ دهد (Blount & Moore, 1969). برشی شدن می‌تواند تخلخل را افزایش دهد به طوری که مخزنی برای هیدروکربن یا میزبانی برای کانه‌زایی شود (Moore, 1989). در کوه سورمه از آنجا که بخش زیرین دالان بالایی یعنی عضو نار دارای لایه‌های کربناتی و به ویژه تبخیری (انیدریت) است، تحت تأثیر دیاژنز جوی در مقیاس گسترده دچار انحلال و سبب خالی شدن فضای زیرین واحد دالان بالایی شده است. در نتیجه لایه‌های رویی در اثر وزن خود فرو ریخته‌اند و برش‌هایی از نوع ریزش به دلیل انحلال تبخیری‌ها (Evaporite Solution Collapse Breccia) تشکیل شده است. (Louck & Anderson (1985) این نوع تخلخل را در منطقه برشی میدان پاکت در آلن برگر در باختر تگزاس مورد بررسی قرار دادند. این منطقه برشی در طی رخنمون متناوب بخش رو به خشکی ساحل آلن برگر در شرایط جوی گسترش یافته است. پس از آن، آب جوی در ایجاد کیفیت مخزنی میدان پاکت، تأثیر بسزایی داشته است. در بخش‌های پایینی واحد دالان بالایی در کوه سورمه برشی شدن و تخلخل حاصل به فراوانی دیده می‌شود. ولی با دور شدن از مرز دالان بالایی با نار میزان این تخلخل نیز کاهش می‌یابد. این تخلخل در بخش‌هایی با سیمان انیدریتی و دولومیتی پر شده یا کاهش یافته است (شکل ۶-۴).

۶-۴. عوامل کنترل کننده تخلخل

عوامل بسیاری کنترل کننده افزایش یا کاهش تخلخل هستند. اصلی‌ترین عوامل، فرایندهای دیاژنزی هستند. در ادامه عواملی که سبب تغییرات تخلخل در نمونه‌های مورد مطالعه شده‌اند به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۶-۵. عوامل افزایش دهنده تخلخل

• انحلال از عوامل اصلی افزایش تخلخل و تراوایی است. این فرایند که یک فرایند دیاژنز تخریبی است سبب حل شدن دانه‌ها، سیمان و زمینه شده و تخلخل موجود در سنگ را افزایش داده است. به طور کلی این فرایند در محیط‌هایی که pH اسیدی، فشار CO_2 بالا، دمای پایین و فشار هیدرواستاتیک بالا باشد، انجام می‌گیرد. CO_2 موجود در اتمسفر یا خاک می‌تواند آب‌های جوی را اسیدی کند (Tucker, 1991). به همین دلیل آب‌های تحت اشباع جوی نیز می‌توانند رسوبات و سنگ‌آهک را تحت تأثیر قرار دهند و سبب انحلال آنها شوند. از آنجا که آراگونیت محلول‌تر از کلسیت است با سرعت بیشتری تحت تأثیر انحلال قرار می‌گیرد، از محیط بیرون می‌رود و سبب ایجاد و گسترش تخلخل در سنگ‌های آهکی می‌شود. تخلخل قالبی حاصل از انحلال آئیدها در رخساره‌های گرینستونی، تخلخل‌هایی است که از انحلال انتخابی آلوم‌هایی مانند آئیدها و بیوکست‌های آراگونیتی تشکیل شده است. تخلخل حفره‌ای نیز از افزایش انحلال تخلخل قالبی تشکیل شده است. در اثر انحلال انتخابی زمینه و سیمان هم تخلخل حفره‌ای میان‌دانه‌ای (به صورت ثانویه) ایجاد شده است. این فرایند نقش بسیار مهمی در افزایش کیفیت مخزنی داشته است. این فرایند هم در نمونه‌های زیرسطحی و هم در نمونه‌های کوه سورمه تأثیر گذاشته است و تخلخل‌های انحلالی در هر دو برش به فراوانی دیده می‌شود.

• شکستگی هر چند سبب افزایش تخلخل می‌شود ولی بیشترین نقش را در افزایش تراوایی دارد و با برقراری ارتباط میان تخلخل و تولید تخلخل جدید سبب افزایش تخلخل مؤثر و تراوایی می‌شود. این فرایند در نمونه‌های سطحی به فراوانی دیده می‌شود.

• نقش دولومیتی شدن نیز در ایجاد تخلخل کیفیت مخزنی مهم است. این فرایند از ۳ راه به افزایش تخلخل کمک می‌کند؛ (۱) مقاومت در برابر فشارش؛ (۲) ایجاد تخلخل میان‌بلوری (۳) شکستگی بیشتر. ولی این فرایند همیشه هم سبب افزایش تخلخل نمی‌شود و در برخی موارد سبب کاهش و تخریب آن می‌شود. در نمونه‌هایی که

دولومیتی شدن بیش از حد صورت گرفته است (Over Dolomitization) تخلخل کاهش یافته است. همچنین در مواردی که دولومیت به صورت سیمان رفتار می‌کند سبب کاهش تخلخل می‌شود.

۶-۶. عوامل کاهش دهنده تخلخل

• یکی از عوامل کاهش تخلخل، فشردگی مکانیکی است. این فرایند در طی تنشست یا پس از آن عمل می‌کند. البته در مواردی فشردگی، سبب شکسته شدن دوباره تخلخل‌های جدا می‌شود که این عمل می‌تواند سبب ارتباط تخلخل‌ها و تبدیل تخلخل‌های جدا (Separate) به تخلخل‌های متصل (Touched) شود.

• فشردگی شیمیایی (انحلال فشاری) از ۲ راه سبب کاهش تخلخل شده است:

– به وسیله تراکم و ایجاد آرایش نزدیک‌تر در دانه

– به وسیله ایجاد محلول غنی از کربنات کلسیم که بعداً سیمان تولید و فضای خالی میان‌دانه‌ای را پر می‌کند.

• سیمانی شدن مهم‌ترین فرایند دیاژنزی است که سبب کاهش و تخریب تخلخل شده است. مطالعه سنگ‌نگاری سنگ‌های واحد دالان بالایی به تشخیص انواع سیمان‌های کلسیتی، دولومیتی و انیدریتی با فابریک‌های مختلف انجامید که نشانه‌ای از محیط‌های مختلف دیاژنزی است. انواع سیمان دیده شده در نمونه‌های مورد مطالعه شامل سیمان سوزنی تا فیبری هم‌ستبرای، سیمان تیغه‌ای، سیمان کلسیت هم‌بعد، سیمان هم‌محور، سیمان کلسیتی درشت‌بلور (شکل‌های A-V و B) است. سیمان کلسیت اسپاری، از مهم‌ترین سیمان‌های کلسیتی است که در برش سطحی، تخلخل را پر کرده یا کاهش داده است. بلورهای درشت دولومیتی زین‌اسبی (شکل D-V)، از دیگر سیمان‌های متداول در نمونه‌های کوه سورمه است ولی در نمونه‌های زیرسطحی دیده نشده است. سیمان‌های انیدریتی، به شکل‌های مختلف همچون بلورهای سوزنی با جهت‌یافتگی تصادفی (چیکن وایر)، به صورت بلورهای فراگیر (شکل C-V) و بلورهای اسپاری در بخش‌های پایینی توالی مورد مطالعه در کوه سورمه و در کل توالی در چاه مورد مطالعه تخلخل را پر کرده یا کاهش داده است.

۶-۷. انواع تخلخل در نمونه‌های سطحی

مهم‌ترین نوع تخلخل در نمونه‌های سطحی تخلخل حاصل از شکستگی و نیز تخلخل برشی است. تخلخل‌های انحلالی، قالبی، میان‌دانه‌ای نیز در رخساره‌های مختلف به فراوانی دیده می‌شود. دیگر انواع تخلخل فراوانی و اهمیت کمتری دارند.

۶-۸. انواع تخلخل در نمونه‌های زیرسطحی

مهم‌ترین انواع تخلخل، تخلخل حاصل از انحلال سیمان، تخلخل قالبی و حفره‌ای است که در بیشتر نمونه‌های موجود در افق‌های مخزنی به فراوانی یافت می‌شود. تخلخل میان‌دانه‌ای، میان‌بلوری، انحلال زمینه و شکستگی در درجات بعدی اهمیت قرار دارند. تخلخل درون‌دانه‌ای سهم ناچیزی در ایجاد فضای خالی دارد.

۶-۹. ارزیابی کیفیت مخزنی واحد K4

به منظور ارزیابی کیفیت مخزنی، میزان تخلخل هلم و تراوایی عمودی ۱۶۰ نمونه مربوط به افق K4 که بخش مخزنی واحد دالان بالایی است در چاه مورد مطالعه، اندازه‌گیری شد. روند تغییرات میزان تخلخل و تراوایی با ژرفای واحد K4 به صورت نمودار رسم شده است (شکل‌های ۸ و ۹). بررسی میزان این تغییرات نشان می‌دهد که میزان تراوایی و کیفیت مخزنی در همه بخش‌ها یکسان نیست، بر این پایه واحد K4 را می‌توان به چند زیر واحد با ویژگی‌های مخزنی متفاوت تقسیم کرد. مطالعات دقیق‌تر نشان می‌دهد که میزان این تغییرات وابسته به تغییرات سنگ‌شناسی و رخساره‌ای و نیز تأثیر فرایندهای مختلف دیاژنز روی هر بخش است. به منظور بررسی بیشتر، نمودارهای تخلخل و تراوایی برای هر یک از زیر واحدهای بخش K4 رسم شده است که در ادامه آورده می‌شود.

– کیفیت مخزنی در زیر واحد دولومیت بالایی (Upper Dolomitic Unit)

واحد دولومیت بالایی از ژرفای ۲۸۶۳/۵ تا ۲۸۸۳/۹۷ متری دارای تخلخل کمینه

– کیفیت مخزنی در زیر واحد دولومیتی / آهکی (Dolo/Limestone Unit)

این واحد با کمترین تخلخل معادل ۱/۸ درصد، بیشینه تخلخل ۲۵/۱ درصد و میانگین ۱۴ درصد و کمترین تراوایی، ۲۵ درصد میلی‌داری، بیشترین تراوایی ۱۵۰/۹۳ میلی‌داری و میانگین ۱۰/۹۲ میلی‌داری در ژرفای میان ۲۹۲۷ تا ۲۹۵۸ متری قرار دارد و کیفیت مخزنی به نسبت خوبی نشان می‌دهد (شکل ۱۲).

این بخش نیز سنگ‌شناختی دانه غالب (Grain Dominated) و رخساره‌های گریستونی آئیدی بیوکستی و پلوییدی دارد. تخلخل حفره‌ای و قالبی در این بخش دارای بیشترین حجم و بیشترین اهمیت است. انیدریت و سیمان تیغه‌ای، سوزنی و هم‌بعد عوامل کاهش‌دهنده تخلخل این بخش به‌شمار می‌روند.

– کیفیت مخزنی در زیر واحد دولومیت پایینی (Lower Dolomitic Unit)

این بخش در فاصله میان ۲۹۵۸ تا ۳۰۱۴ متری چاه مورد مطالعه قرار دارد. نمودارهای تخلخل و تراوایی آن در شکل ۱۳ آمده است.

نمودارهای رسم شده برای این بخش نشان می‌دهد که کیفیت مخزنی در همه بخش‌ها همگن نیست و این بخش قابل تقسیم به ۲ زیر واحد از دید مخزنی است. بخش بالایی با تخلخل میانگین ۱۳/۰۴ درصد و تراوایی میانگین ۶/۶ میلی‌داری کیفیت مخزنی به نسبت خوبی نشان می‌دهد، ولی بخش پایینی در ژرفای میان ۸۸۲۹ تا ۳۰۱۴ متر با میانگین تخلخل ۴/۳۴ درصد و متوسط تراوایی ۹۹ درصد میلی‌داری از کیفیت مخزنی ضعیفی برخوردار است. بخش بالایی به‌طور چیره رخساره‌های گریستونی آئیدی و آئیدی پلوییدی دولومیتی شده (دانه‌غالب) دارد و تخلخل انحلال سیمان و قالبی از تخلخل‌های مهم این بخش است، ولی بخش پایینی بیشتر از گل سنگ دولومیتی شده (گل غالب) و در بخش‌های پایین‌تر از انیدریت با بافت لانه‌مرغی تشکیل شده است.

افق K4 بر پایه میزان تخلخل - تراوایی به ۶ زون با ویژگی‌های مخزنی متفاوت تقسیم شده است. خلاصه نتیجه مطالب یادشده در جدول ۱ و در شکل ۱۴ به‌صورت لاگ آورده شده است. همان‌گونه که جدول نشان می‌دهد لایه‌های A و F گل‌غالب هستند و کیفیت مخزنی ضعیفی دارند. در حالی که لایه‌های دانه غالب E، D، C، B و کیفیت مخزنی بهتری نشان می‌دهند.

۷- نتیجه‌گیری

– فرایندهای ایجادکننده یا تغییردهنده تخلخل در این واحد در برش سطحی، هیبریدی از ۳ متغیر فرایندهای رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و شکستگی مکانیکی است؛ در حالی که در نمونه‌های زیرسطحی فرایندهای رسوبی و دیاژنزی عوامل اصلی دست‌اندرکار ایجاد یا تغییر تخلخل هستند. از میان تخلخل‌های موجود، تخلخل‌های میان‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، فنسترال و پناهگاهی تحت تأثیر فرایندهای رسوبی به‌وجود آمده‌اند. تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و میان‌بلوری به‌وسیله فرایندهای دیاژنزی تشکیل شده‌اند. شکستگی مکانیکی تأثیر فراوانی در نمونه‌های کوه سورمه داشته است و در نمونه‌های زیرسطحی فراوانی کمتری دارد.

– تخلخل‌های حاصل از انحلال سیمان، قالبی و حفره‌ای مهم‌ترین تخلخل‌های موجود در افق‌های مخزنی در واحد K4 چاه مورد مطالعه به‌شمار می‌روند. تخلخل میان‌دانه‌ای، میان‌بلوری، انحلال زمینه و شکستگی در درجات بعدی اهمیت قرار دارند. مهم‌ترین نوع تخلخل در نمونه‌های سطحی تخلخل حاصل از شکستگی و نیز تخلخل برشی است. تخلخل‌های انحلالی، قالبی، میان‌دانه‌ای در درجه دوم اهمیت قرار دارند. دیگر انواع تخلخل از اهمیت کمتری برخوردارند.

– عوامل افزایش‌دهنده تخلخل شامل انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی است. از میان آنها انحلال مهم‌ترین عامل افزایش تخلخل و تراوایی در افق مخزنی K4 است که سبب تشکیل تخلخل‌های انحلالی شده است. مهم‌ترین عوامل کاهشدهنده تخلخل سیمانی شدن، فشردگی مکانیکی، فشردگی شیمیایی است.

۱/۸ درصد و بیشینه ۱۹/۶۶ درصد و میانگین ۱۰/۷۱ درصد است. کمترین میزان تراوایی در این بخش ۱/۱۴۱ میلی‌داری، بیشترین میزان ۱۶۰/۶۷ میلی‌داری و میانگین ۲۳/۷۴ میلی‌داری است. نمودار تغییرات تخلخل و تراوایی با ژرفای در شکل ۱۰ آورده شده است.

۱) ژرفای میان ۲۸۶۳ تا ۲۸۷۶ متری: میانگین تخلخل در این بخش ۸/۴ درصد و میانگین تراوایی ۲/۸۴ درصد میلی‌داری است که کیفیت مخزنی ضعیفی نشان می‌دهد.

۲) ژرفای میان ۲۸۷۶ تا ۲۸۸۳ متری: با میزان میانگین تخلخل ۱۶/۱۲ درصد و میانگین تراوایی ۳۳/۴ درصد کیفیت مخزنی خوبی دارد.

بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری در بخش بالایی سنگ‌شناسی چیره گل‌پشتیان (Mud Dominated) است و رخساره‌های اصلی در این بخش دولومادستون و استروماتولیت دولومادستون است. در دولومیکریتهای موجود در این بخش تخلخل فنسترال و حفره‌ای وجود دارد، ولی وجود مقادیر زیادی انیدریت لانه مرغی (Chicken Wire) به‌صورت پرکننده حفره تخلخل و تراوایی را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است. گسترش کم تخلخل زمینه (میان‌بلوری) بر اثر جانشینی دولومیت دانه‌ریز به جای گل‌آهکی تأثیر مهمی در ویژگی‌های مخزنی ایجاد نکرده است. بیشتر دولومیت‌های مخزنی در کرنات‌های پری‌تایدال کمتر از ۶ درصد تخلخل زمینه دارند. به دلیل نسبت کم تخلخل زمینه و نفوذپذیری ضعیف، بیشتر این نوع دولومیت‌ها نمی‌توانند مخازن خوبی باشند مگر اینکه تحت تأثیر دیاژنزی ثانویه پس از دولومیتی شدن (مانند کارستی شدن یا شکستگی) قرار گیرند. با توجه به نمودار تخلخل و تراوایی، شکستگی نیز نقش مؤثری در کیفیت مخزنی ایفا نکرده است.

در بخش دوم رخساره چیره بیشتر گریستون آئیددار یا پلوییددار دولومیتی شده است. در این ریزرخساره‌ها آئیدها به اندازه ماسه‌های متوسط تا درشت هستند که همراه با اجزای بیوکستی به شدت تحت تأثیر انحلال قرار گرفته و قالب آنها بر جای مانده‌اند. قالب‌های انحلالی در مراحل بعد با سیمان انیدریتی فراگیر و انیدریت لانه مرغی پر شده و میزان تخلخل را کاهش داده‌اند. از دیگر فرایندهای دیاژنزی که در این بخش به خوبی دیده می‌شود تراکم فیزیکی و به‌ویژه شیمیایی و انحلال فشاری است. انواع استیلولیت‌ها با دامنه‌های بلند و اسپیسولیت در این بخش دیده می‌شود. در بخش پایینی این بخش دولومیتی شدن شدیدتر صورت گرفته و سبب ایجاد بلورهای درشت (Coarse Crystalline) شده است. فرایند دولومیتی شدن بیش از اندازه (Over-dolomitization) سبب بسته‌شدن گلوگاه‌ها و از میان رفتن تخلخل‌های میان بلوری می‌شود (Warren, 2000).

– کیفیت مخزنی در زیر واحد آهکی (Limestone Unit)

این واحد در ژرفای ۲۸۸۳ تا ۲۹۲۷ متری قرار دارد. کمترین میزان تخلخل ۸/۲ درصد، بیشترین میزان آن ۳۸ درصد و میانگین آن ۲۳/۸۷ درصد است. کمترین میزان تراوایی ۰/۱۳۷ میلی‌داری، بیشترین ۳۰/۱۰۲ و میانگین آن ۴۱/۲۶ میلی‌داری است و بیشترین تراوایی و بالاترین کیفیت مخزنی (کیفیت مخزنی خیلی خوب) را واحد K4 را دارد (شکل ۱۱).

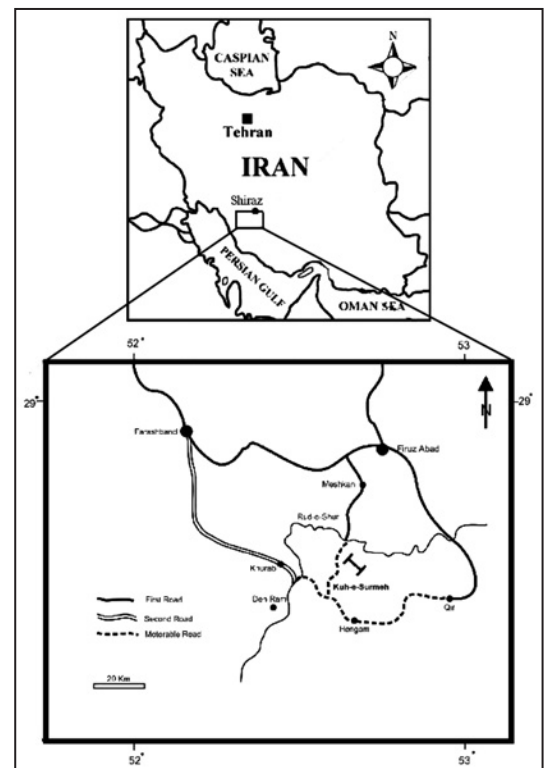
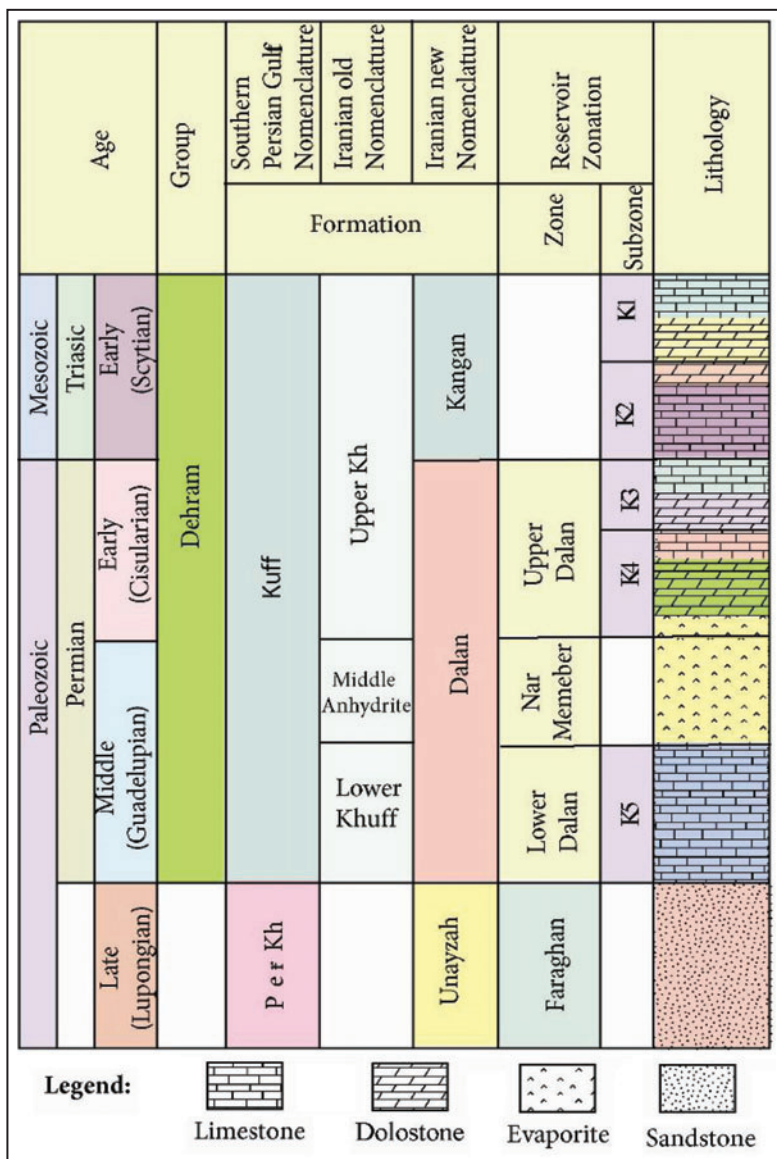
رخساره‌هایی که در این بخش به‌طور چیره وجود دارد رخساره گریستون آئیدی و گریستون‌های آئیدی بیوکستی پلوییدی است. این ریزرخساره‌ها با تخلخل قالبی فراوان بیانگر محیط سدهای زیرآبی (Shoal) است. افزون بر تخلخل قالبی تخلخل‌های انحلالی و میان‌دانه‌ای نیز در این بخش نقش مهمی در ایجاد فضاهای خالی مفید داشته است. در مواردی فشردگی مکانیکی سبب ایجاد شکستگی در قالب آئیدها و بیوکست‌ها و اتصال حفرات و قالب‌ها به هم شده و نقش مثبتی در افزایش تراوایی داشته است. از آنجا که این زیر واحد بهترین کیفیت مخزنی را دارد می‌توان نتیجه گرفت، انحلال با تشکیل تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای نقش مهمی در ایجاد کیفیت مخزنی در واحد K4 داشته است.

- کیفیت مخزنی به طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات رخساره‌ای یا نوع فابریک اعم از دانه‌غالب یا گل‌غالب بوده است. به گونه‌ای که واحدهای دانه‌غالب شامل رخساره‌های گریستونی که تحت تأثیر فرایند انحلال دارای تخلخل‌های حفره‌ای، قالبی و انحلال سیمان شده‌اند، بیشترین تخلخل و نفوذپذیری و بهترین کیفیت مخزنی را دارند. بنابراین می‌توان از نقشه‌های پراکنده‌گی رخساره‌ای به عنوان نماینده‌ای برای نقشه‌های پراکنده‌گی تخلخل استفاده کرد. در حالی که نمونه‌های با سنگ‌شناسی گل‌غالب مانند رخساره‌های گل‌سنگی کمترین میزان تخلخل و تراوایی و کیفیت مخزنی ضعیفی نشان می‌دهند. مگر در مواردی که تحت تأثیر انحلال گسترده و یا شکستگی به طور موضعی میزان تراوایی آن بالا رفته باشد.

- مهم‌ترین انواع سیمان در نمونه‌های چاه مورد مطالعه، سیمان انیدریتی تأخیری به صورت فراگیر و به میزان کمتر انیدریت لانه‌مرغی است. در نمونه‌های کوه سورمه سیمان کلسیتی اسپاریتی درشت‌بلور و به میزان کمتر سیمان دولومیت زین‌اسبی، فراوان‌ترین و مهم‌ترین انواع سیمان هستند.

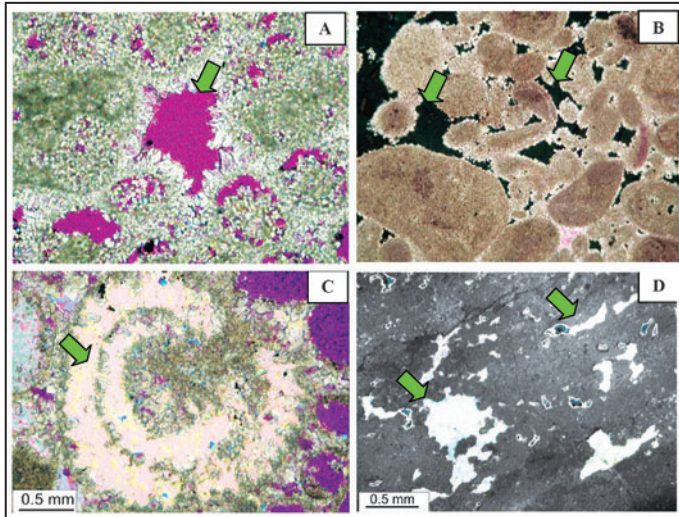
- از دلایل فراوان‌تر بودن شکستگی در برش سطحی نسبت به زیرسطحی، انحلال واحد تبخیری نار در بخش پایینی این سازند و ریزش بخش‌های بالایی، قرار گرفتن در پهنه زاگرس چین‌خورده، فعال بودن زمین‌ساختی ناحیه و چین‌خوردگی را می‌توان نام برد.

- مطالعات تخلخل و تراوایی نشان می‌دهد واحد K4 از دید مخزنی ویژگی‌های همگنی نشان نمی‌دهد و می‌توان آن را به ۶ زیرواحد با کیفیت مخزنی ضعیف تا خیلی خوب تقسیم کرد.



شکل ۲- ستون چینه‌نگاری و نحوه نام‌گذاری سازندهای دالان و کنگان، برگرفته از Moradpour et al. (2008).

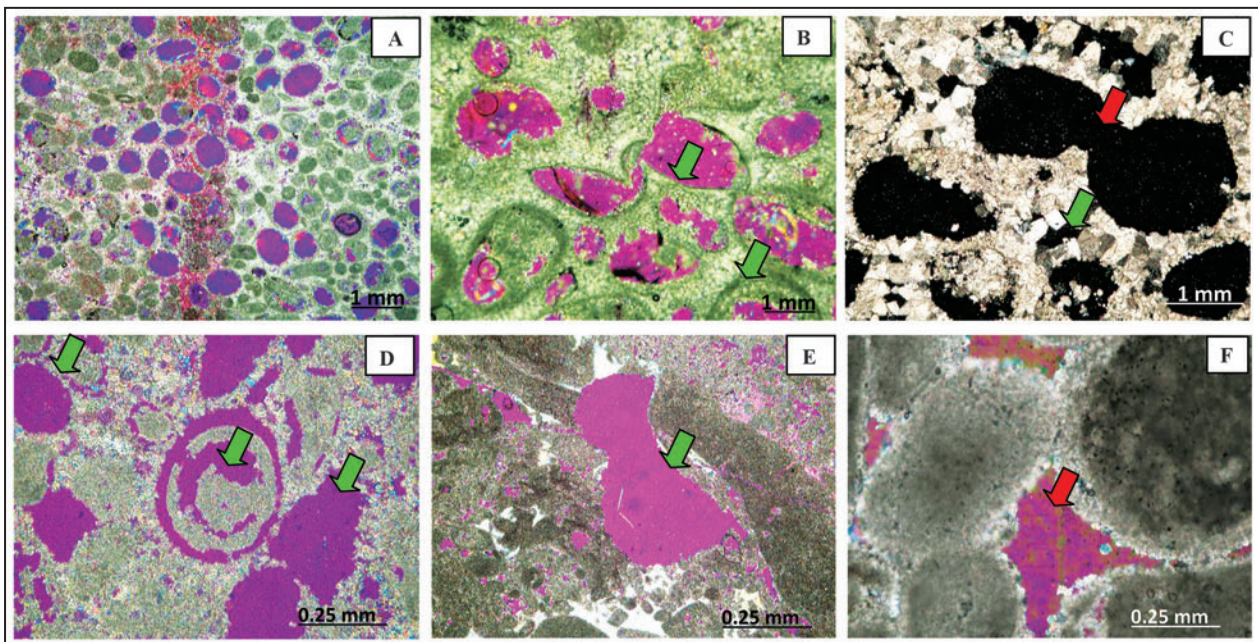
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از شیخی مقدم، ۱۳۷۵).



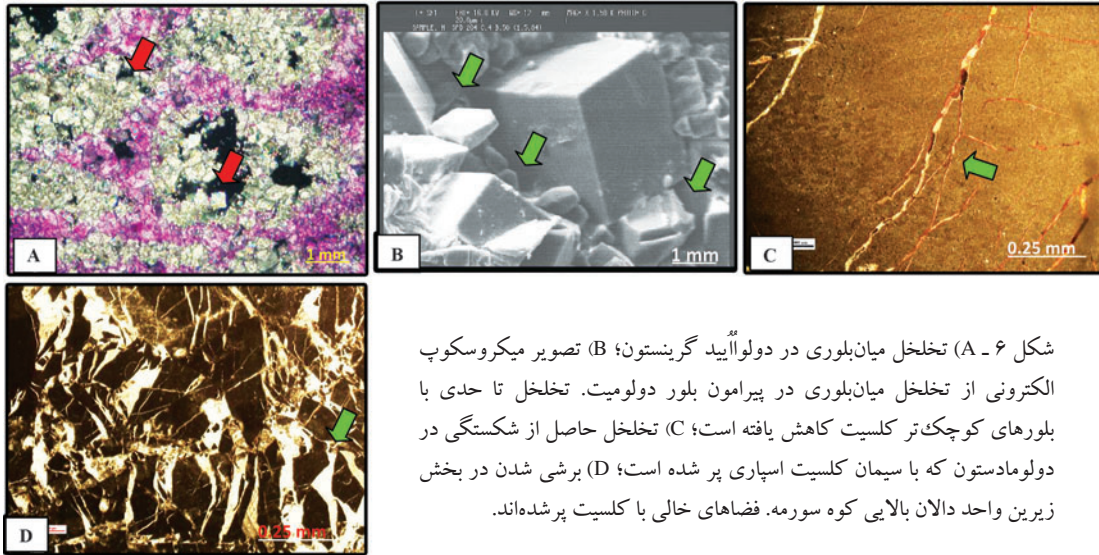
شکل ۴- (A و B) تخلخل میان دانه‌ای؛ (C) تخلخل درون دانه‌ای که با سیمان انیدریت فراگیر کاهش یافته است؛ (D) تخلخل فنسترال درون دولومادستون.



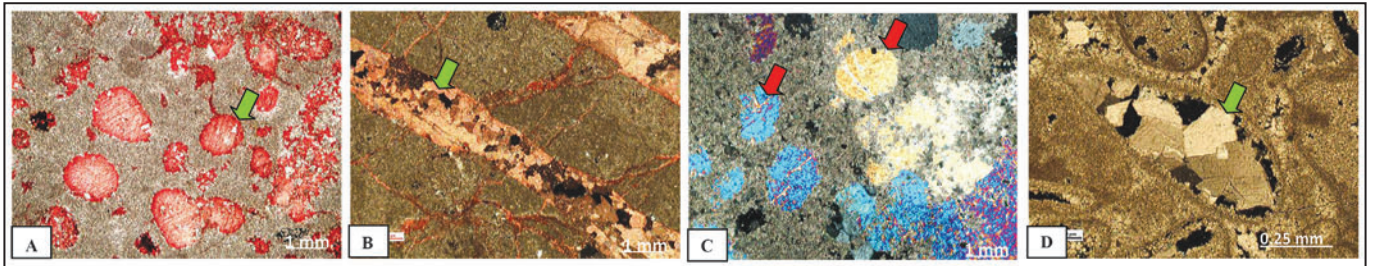
شکل ۳- رده بندی ژنتیکی تخلخل ارائه شده به وسیله (Ahr (2008).



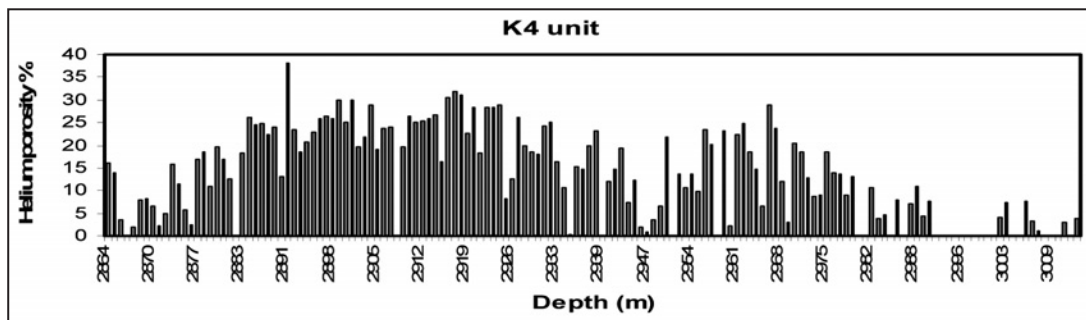
شکل ۵- انواع تخلخل. (A) تخلخل قالبی. (به نمونه رزین اپوکسی آبی تزریق شده است)؛ (B) تخلخل قالبی که بر اثر شکستگی تشکیل اسپیسولیت داده است. قالب‌های مجزا از این راه به هم متصل شده‌اند (عکس با تیغه ژپیس گرفته شده است و تخلخل به رنگ بنفش دیده می‌شود)؛ (C) تخلخل قالبی که با افزایش انحلال به هم متصل شده‌اند (فلش سرخ). تخلخل میان بلوری نیز قالب‌های جدا را به هم متصل کرده است (فلش سبز)؛ (D) انواع تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای (عکس با تیغه ژپیس)؛ (E) تخلخل انحلالی که دانه، زمینه و سیمان را قطع کرده است (عکس با تیغه ژپیس)؛ (F) تخلخل حاصل از انحلال سیمان.



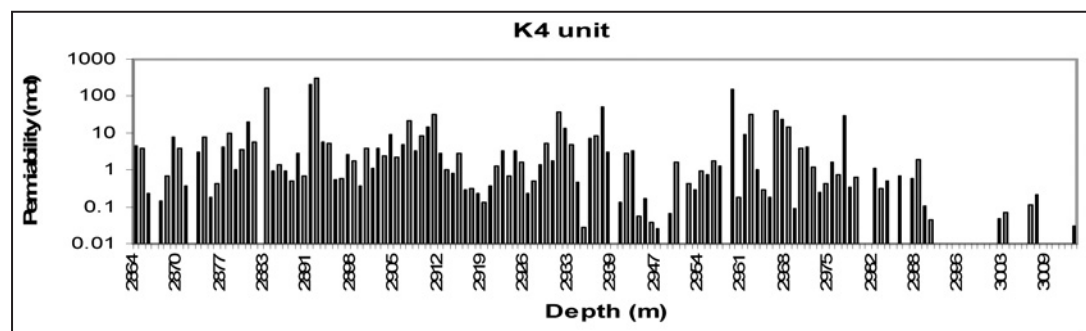
شکل ۶- A) تخلخل میان بلوری در دولوآئید گرینستون؛ B) تصویر میکروسکوپ الکترونی از تخلخل میان بلوری در پیرامون بلور دولومیت. تخلخل تا حدی با بلورهای کوچک تر کلسیت کاهش یافته است؛ C) تخلخل حاصل از شکستگی در دولومادستون که با سیمان کلسیت اسپاری پر شده است؛ D) برشی شدن در بخش زیرین واحد دالان بالایی کوه سورمه. فضاهای خالی با کلسیت پر شده اند.



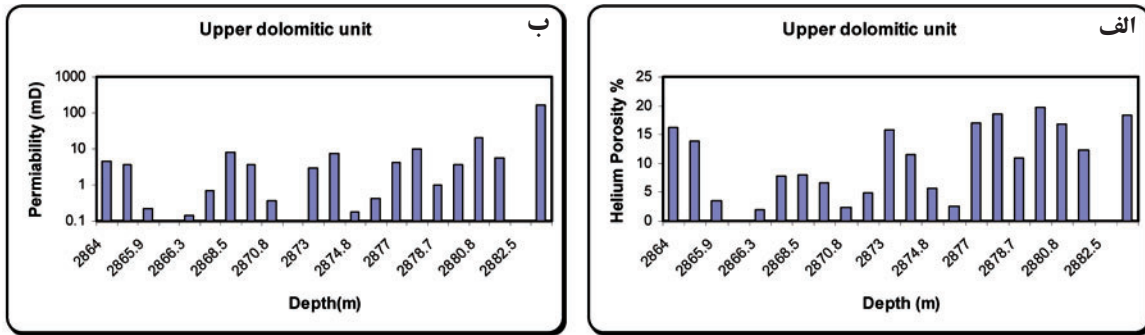
شکل ۷- A) سیمان کلسیتی به صورت پرکننده تخلخل های قالبی در نمونه کوه سورمه؛ B) سیمان کلسیتی پرکننده شکستگی در نمونه کوه سورمه؛ C) سیمان انیدریتی فراگیر پرکننده تخلخل های قالبی در نمونه های چاه مورد مطالعه؛ D) سیمان دولومیت زین آسیبی در نمونه های کوه سورمه.



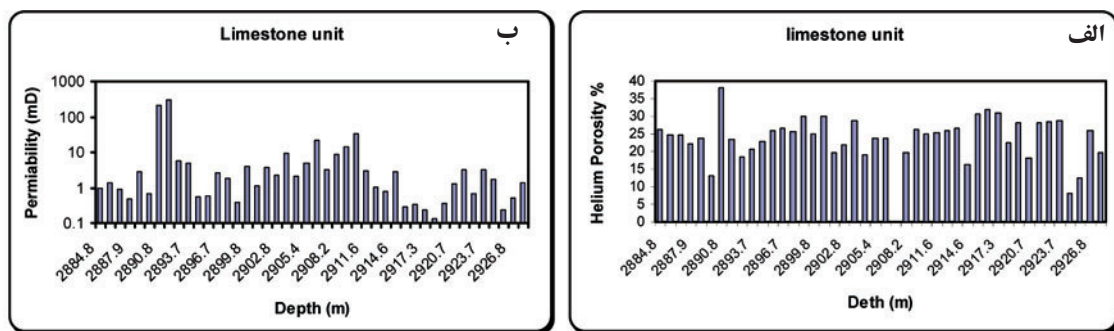
شکل ۸- نمودار تغییرات میزان تخلخل هلیوم با ژرفا در واحد K4 چاه مورد مطالعه.



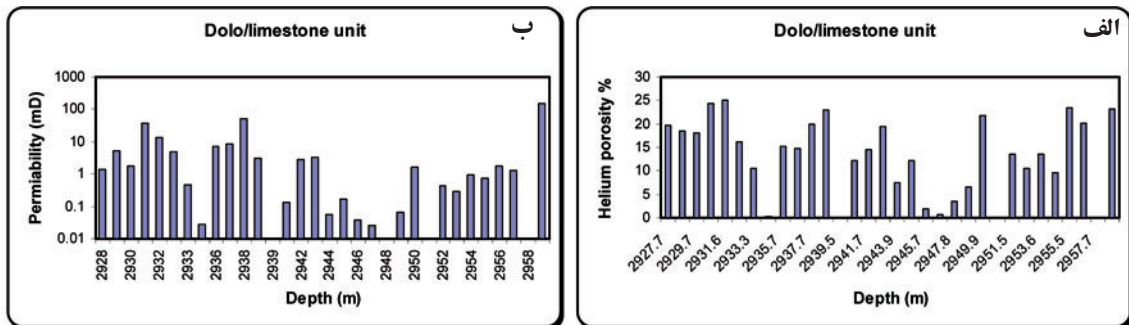
شکل ۹- نمودار تغییرات میزان تراوایی با ژرفا در واحد K4 چاه مورد مطالعه.



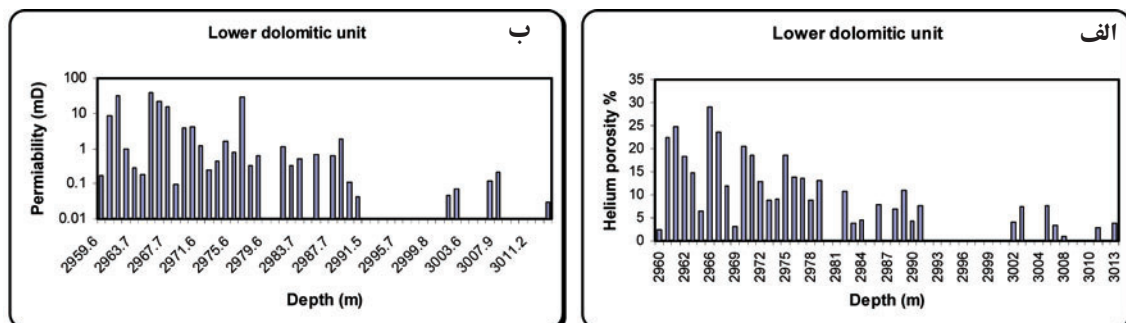
شکل ۱۰- الف) نمودار تغییرات تخلخل هلیوم؛ ب) نمودار تغییرات تراوایی با ژرفا در واحد دولومیت بالایی.



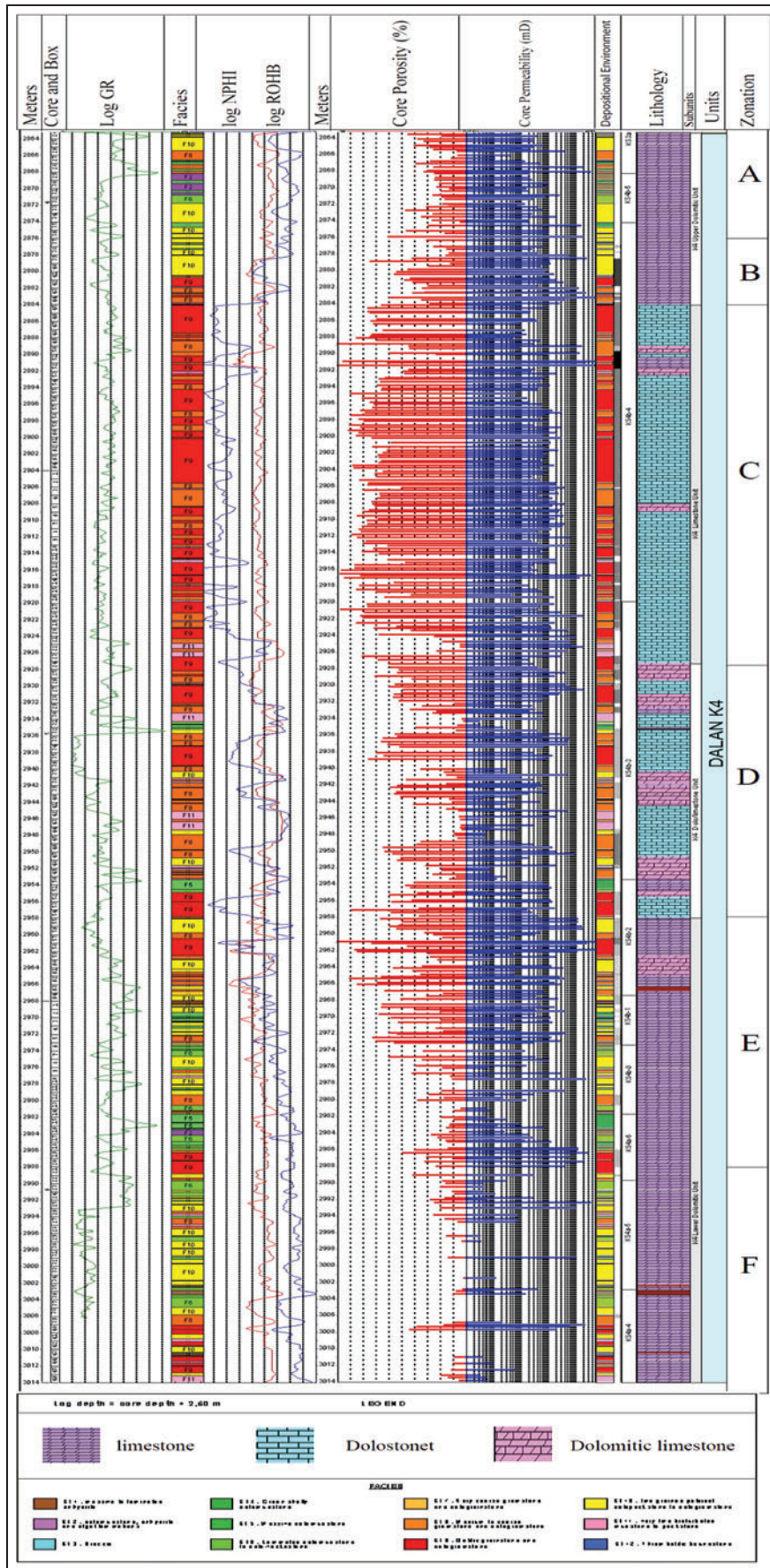
شکل ۱۱- الف) نمودار تغییرات تخلخل هلیوم؛ ب) نمودار تغییرات تراوایی با ژرفا در زیر واحد آهکی چاه مورد مطالعه.



شکل ۱۲- الف) نمودار تغییرات تخلخل هلیوم؛ ب) تغییرات تراوایی با ژرفا در واحد دولومیتی / آهکی چاه مورد مطالعه.



شکل ۱۳- الف) نمودار تغییرات تخلخل هلیوم و ب) نمودار تغییرات تراوایی با ژرفا در زیر واحد دولومیت پایینی چاه مورد مطالعه.



شکل ۱۴- لاگ سنگ شناسی و رسوب شناسی چاه مورد مطالعه. زون بندی مخزن در سمت راست لاگ دیده می شود.

جدول ۱- کیفیت مخزنی زیر واحدهای سنگ شناختی افق K4.

کیفیت مخزنی	میانگین تراوایی (mD)	میانگین تخلخل (%)	فابریک	پهنه بندی	ژرفا (m)	زیر واحد سنگ شناختی	واحد K4
ضعیف	۲/۸۴	۴/۸	گل غالب	A	۲۸۶۳-۲۸۷۶	زیر واحد دولومیت بالایی	
خوب	۳۳/۴	۱۲/۱۶	دانه غالب	B	۲۸۷۶-۲۸۸۳		
بسیار خوب	۴۶/۲۱	۸۷/۲۳	دانه غالب	C	۲۸۸۳-۲۹۲۷	زیر واحد آهکی	
متوسط	۱۰/۹۲	۱۴	دانه غالب	D	۲۹۲۷-۲۹۵۸	زیر واحد دولومیتی/آهکی	
متوسط	۶/۶	۰۴/۱۳	دانه غالب	E	۲۹۵۸-۲۹۸۸		
ضعیف	۰/۰۹۹	۳۴/۴	گل غالب	F	۲۹۸۸-۳۰۱۴	زیر واحد دولومیت پایینی	

کتابنگاری

- شیخی مقدم، ق.، ۱۳۷۵- معدن سرب و روی کوه سورمه (فیروزآباد)، گزارش مهندسی مشاور کانایران، سازمان زمین شناسی کشور.
- قرشی، م. و آری، م.، ۱۳۸۹- تکتونیک ایران، انتشارات مربع آبی، ۳۳۶ صفحه.
- کمالی، م. ر.، پرهام، س. و فیاضی، ف.، ۱۳۹۱- بررسی رخنساره‌ها، محیط‌های رسوبی و دیاژنز کربنات‌های بالایی سازند دالان در خلیج فارس، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۶- صفحه ۲۰۳-۲۱۲.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.

References

- Ahr, W. M., 2008- Geology of carbonate reservoirs. Wiley publication. 277p.
- Blount, D. & Moore, C. H., 1969- Depositional and non-depositional carbonate breccias, Chiantla Quadrangle Guatemala. Geol. Soc. Am. Bull., 80. 429-442.
- Cantrell, D. L. & Hagerty, R. M., 1999- Microporosity in Arab Formation Carbonates, Soud Arabia. Geo Arabia, v.4, No.2, p.129-154.
- Choquette, P. W. & Pray, L. C., 1970- Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, AAPG. Bulletin, v.54, p.207-250.
- Choquette, P. W. & James, N. P., 1987- Diagenesis in limestone-3. The deep burial environment: Geosci. Canada, v.14, p.3-35.
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified. Staining technique for carbonate in thin section: Nature, v.205, p.587.
- Enos, P. & Sawatsky, L. H., 1981- Pore networks in Holocene Carbonate Sediments. Jour. Sed. Petrol., v.51, p.961-985.
- Husseini, M. I., 1992- Upper Paleozoic tectono-sedimentary evolution of the Arabian and adjoining plates. Jour. Geol. Soc. London, 149, p.419-429.
- James, N. P. & Choquette, P. W., 1984- Diagenesis 9. Limestone – The meteoric seafloor diagenetic environment: Geosci Canada, v.11, p.161-194.

- Kashfi, M. S., 1992- Geology of the Permian super-giant gas reservoirs in the greater Persian Gulf area: *Jour. Petrol. Geol.*, 15, p.465-480.
- Longman, M. W., 1985- Fracture porosity in reef talus of a Miocene pinnacle-reef reservoir. Nido. B. field, the Philipines. In: P.O. Roehl and P.W. Choquette (Eds), *Carbonate Petroleum Reservoirs*, Springer-Verlag / New York, pp. 547-560.
- Louck, R. G. & Anderson, J. H., 1985- Depositional facies, diagenetic terrenes, and porosity development in Lower Ordovician Ellenberger Dolomite, Puckett Field, West Texas. In Roehl, P.O. and Choquette, P.W. (eds.): *Carbonate Petroleum Reservoirs*: 19-37.
- Lucia, F. J., 1983- Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field Classification of pore space. *J. Petrol. Technol.* 35, pp. 626-637 (March.).
- Lucia, F. J., 1995- Rock fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization. *Am. Assocpetrol. Geol. Bull.* 79, p.1275-1300.
- Mazzullo, S. J. & Reid, A. M., 1987- Sedimentary textures of recent Belizean Peritidal Dolomite *Jour of Sed. Petrol.* V.58, No.3, May, 1988, P. 479-488.
- McQuillan, H., 1985- Fracture - Controlled Production from the oligo – Miocene, Asmari formation in Gachsaran and Bibi Hakimeh, southwest Iran. In P.O. Roehl and P.W. Choquette (eds). *Carbonate Petroleum Reservoirs*, Springer, Verlag/New York. P.511-523.
- Moore, C. H., 1989- *Carbonate Diagenesis and Porosity*: Elsevier, Amsterdam, p.338.
- Moradpour, M., Zamani, Z. & Moallemi, S. A., 2008- Control on reservoir quality in Lower Triassic Kangan Formation, Southern Persian Gulf. *Journal of Petroleum Geology*, v. 31(4), pp.367-386.
- Roehl, P. O. & Choquette, P. W. (Eds.), 1985- *Carbonate Petroleum Reservoirs*. Springer. – Verlag / New York, 662. pp.
- Roehl, P.O. & Weinbrandt, R. M., 1985- West Cat Canyon Field, In: Roehl, P.O. and Choquette, P.W., Editors, 1985. *Carbonate Petroleum Reservoirs*, Springer, New York, p.85-105.
- Scholle, P. A. & Ulmer-Scholle, D. S., 2003- A color guid to petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis. AAPG. *Memoir* 77.
- Shinn, E. A., 1986- Practical significance of bird's-eye structure in carbonate rocks: *Jour. Sed. Petrol.*, 38, no. 1, p. 215-223.
- Szabo, F. & Keradpir, A., 1978- Permian and Triassic stratigraphy of Zagros basin, southwest Iran: *Jour. Petrol. Geol.*, 1.no.12, p.57-82.
- Tucker, M. E., 1991-*Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of sedimentary rocks*: Blackwell, Sci. Publ., London, p.260.
- Warren, J. K., 2000- Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations: Elsevier, v.52, p.1-81.

Porosity Types, Their Genesis and Reservoir Zonation of the Upper Carbonates of the Dalan Formation in the Surmeh Mountain Section and Persian Gulf

S. Parham ^{1*} & M. R. Kamali ²

¹ Ph.D., Hormozgan University, Hormozgan; Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

² Associate Professor, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Received: 2012 January 30

Accepted: 2012 May 29

Abstract

The Dalan Upper member (Permian) with carbonates and evaporite interlayer is one of the most important gas reservoirs in the folded Zagros area and Persian Gulf. In this investigation porosity types, their genesis and controlling factors have been studied at Surmeh surface section and a subsurface section in Persian Gulf. Based on the new genetic classification of Ahr (2008) for carbonate porosity, porosity is created or altered by hybrids of depositional processes, diagenetic processes and mechanical fracturing in the studied intervals. In subsurface samples, porosity is hybrid of depositional and diagenetic types. In grain-supported microfacies, like ooid grainstone related to the shoal environment, interparticle porosity is created which is a type of depositional porosity. Moldic, vuggy and intercrystalline porosity, which are diagenetic types of porosity, were formed in the later stages of diagenesis. Therefore, porosity in this microfacies is facies-selective and facies map can be used as a proxy for porosity distribution map. In surface section, besides depositional and diagenetic porosity, fracturing and brecciation are also significant. Brecciation occurred as a result of dissolution of anhydrite of Nar Member and formed the solution collapse breccias. Active tectonic in the folded Zagros belt and folding are another possible sources of fracturing in the surface samples. The porosity data of routine analysis shows that the reservoir characteristic of the studied interval is heterogeneous. So, it has been compartmentalized into six zones with different reservoir qualities from poor to very good.

Keywords: Dalan Formation, Surmeh Mountain, Persian Gulf, Porosity, Reservoir quality, Reservoir zonation.

For Persian Version see pages 93 to 104

*Corresponding author: S. Parham: E-mail: parhams@ripi.ir