

# بررسی ویژگی‌های دولومیکریت‌های واحد دالان بالایی در یکی از میادین خلیج فارس

سمیه پرهام<sup>۱\*</sup> و محمد رضا کمالی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی؛ پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۷

## چکیده

بخش بالایی سازند دالان یک افق مخزن گازی در خلیج فارس است که به دلیل تولید بالای گاز و میعانات گازی اهمیت ویژه‌ای دارد. این بخش به طور چیره تحت تأثیر دولومیتی شدن قرار گرفته است. دولومیکریت یکی از انواع دولومیت‌های شناسایی شده در این بخش است که بخشی از توالی بخش بالایی سازند دالان را در بر گرفته است. در این پژوهش با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی، اطلاعات تخلخل و تراوایی حاصل از تجزیه مغزه و تجزیه‌های ایزوتوپی، این نوع دولومیت‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به کمک شواهد سنگ‌نگاری همچون بلورهای بسیار ریز (۵ تا ۱۶ میکرون) هم‌اندازه و بی‌شکل این نوع دولومیت تشخیص داده می‌شود. بافت این نوع دولومیت معادل xenotopic-A یا nonplanar-A است. اشکالی مانند فابریک فنسترال، فیلامنت‌های میکروبی، حفره‌های باقیمانده از کانی‌های تبخیری و ترک‌های گلی در این نوع دولومیت دیده می‌شود. بر پایه این شواهد، چنین نتیجه گرفته شد که این دولومیت‌ها مربوط به رخساره فنسترال مادستون دولومیتی هستند که در بخش‌های بالایی پهنه کشندی از نوع گرم و خشک و تبخیری به وسیله آب‌های گرم تشکیل شده‌اند. نتایج حاصل از مطالعات ایزوتوپ اکسیژن و تعیین دمای تشکیل این دولومیت نشان داد که این نوع دولومیت در دمای میان کمینه ۲۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد و بیشینه ۴۶/۶ درجه سانتی‌گراد تشکیل شده است که محیط تشکیل بالا را تأیید می‌کند. بنابر این اطلاعات، مدل سیخا برای این نوع دولومیت ارائه شد. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر دولومادستون‌ها، انحلال، تشکیل سیمان انیدریتی، تراکم، جانشینی به وسیله انیدریت و شکستگی است. مطالعات تخلخل و تراوایی این بخش نشان می‌دهد تغییرات کیفیت مخزنی تحت تأثیر رخساره است و در رخساره‌های گل‌پشتیبان مانند مادستون‌های دولومیتی (شامل دولومیکریت‌ها) کیفیت مخزنی ضعیف است؛ مگر این که در مراحل بعدی تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی مانند انحلال یا شکستگی قرار گرفته باشند.

**کلیدواژه‌ها:** دولومیکریت، دمای تشکیل، ایزوتوپ کربن و اکسیژن، کیفیت مخزنی.

\* نویسنده مسئول: سیمیه پرهام

E-mail: parhams@ripi.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

سازند دالان (و کنگان) در نواحی زاگرس چین‌خورده و بخش‌های پهناوری از خلیج فارس به‌عنوان اصلی‌ترین سازند کربناتی مخزن گاز و کنداسیت مایع به‌شمار می‌رود. بر پایه مطالعات رسوب‌شناسی رخساره‌های مخزنی، این سازند به‌طور چیره به‌واحد دالان بالایی محدود می‌شود. در مطالعات پیشین، رخساره‌های مختلف و انواع دولومیت‌ها در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این مطالعه بر دولومیکریت‌ها به‌عنوان یکی از انواع دولومیت‌های شناسایی شده در این توالی تمرکز دارد و به‌بررسی ویژگی‌های سنگ‌نگاری و بافتی دولومیت‌های ریزبلور و نیز مطالعات ایزوتوپی کربن و اکسیژن برای تعیین دمای تشکیل این دولومیت‌ها پرداخته است. ارائه مدل دولومیتی شدن برای این نوع دولومیت با استفاده از همه شواهد و بررسی ویژگی‌های تخلخل و تراوایی و ارزیابی کیفیت مخزنی از اهداف اصلی این مطالعه است. میدان مورد مطالعه در خلیج فارس در موقعیت ۵۲ تا ۵۲/۵ درجه طول خاوری و ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه عرض شمالی و در جنوب باختری بندر عسلویه قرار دارد (شکل ۱).

دالان از تقسیم‌بندی دیگری نیز استفاده می‌شود. در این تقسیم‌بندی سازند دالان و کنگان به ۵ افق تقسیم می‌شوند که به نام K1 تا 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).

## ۳- روش‌های مطالعه

به‌منظور بررسی سنگ‌نگاری، ۴۵۰ نمونه از توالی مورد نظر از مغزه چاه اکتشافی میدان مورد مطالعه با فواصل بیشینه ۳۰ سانتی‌متر برداشت شدند. همه نمونه‌ها پس از تهیه مقطع نازک میکروسکوپی با محلول آلزایرین سرخ به‌منظور جدایش بهتر سنگ‌های آهکی از دولومیتی به روش Dickson (1965) مورد رنگ‌آمیزی قرار گرفتند. برای بررسی دولومیت‌های ریزبلور، ۶ نمونه انتخاب و برای عکس‌برداری توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) به پژوهشگاه صنعت نفت فرستاده شد. برای درک بهتر تأثیر عوامل مختلف بر کیفیت مخزن از اطلاعات تخلخل هلم و تراوایی عمودی حاصل از آزمایش مغزه (RCAL)، استفاده و نمودارهای آنها رسم شد و لایه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین دمای تشکیل دولومیکریت‌های این بخش از سازند دالان ۸ نمونه دولومیت انتخاب شد. سعی بر این بود که نمونه‌های انتخاب‌شده خالص و بدون آلودگی به کانی‌های دیگر باشند. نمونه‌ها با مته دندان‌پزشکی (Dental Drill) پودر و برای انجام تجزیه و تعیین میزان ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن به دانشگاه لیورپول انگلستان فرستاده شدند.

## ۲- چینه‌شناسی سازند دالان

در زاگرس مرتفع، پرمین در کوه سورمه با نام سازند دالان، ستبرای ۶۳۸ متر دارد و از رسوبات مختلف تشکیل شده است که از پایین به بالا به ۳ بخش تقسیم می‌شود؛ ۱) بخش زیرین شامل آهک فسیل‌دار، دولومیت، آهک‌ها آلئیتی و آهک‌های دولومیتی است؛ ۲) بخش میانی که به نام بخش تبخیری نار معروف است از لایه‌های ستبر انیدریت و دولومیت گچ‌دار تشکیل شده است؛ ۳) بخش کربناتی بالایی که دربر دارنده آهک‌های آلئیتی، آهک‌های میکریتی و دولومیت‌هاست (خسروتهرانی، ۱۳۸۳). مرز بالایی این سازند با سازند کربناتی کنگان ناپیوسته و با نبود چینه‌شناسی و دگرشیبی جزئی همراه است، در صورتی که مرز زیرین با سازند تخریبی فراقان تدریجی و همساز است (مطیعی، ۱۳۷۲). در مقاطع زیرسطحی سازند

## ۴- مطالعه سنگ‌نگاری

در این مطالعه، نام‌گذاری رخساره‌ها بر پایه رده‌بندی Dunham (1962) انجام شده است. برای رده‌بندی دولومیت، از رده‌بندی بافتی ارائه‌شده توسط،

#### ۶-۴. تراکم

فرایند تراکم که بر اثر وزن لایه‌های بالایی رخ داده است در نمونه‌های مورد مطالعه سبب ایجاد رگچه‌های انحلالی و استیلولیت می‌شود. استیلولیت‌ها به شکل نوک تیز و مثلثی و در برخی موارد مربعی با دامنه‌های به نسبت کوتاه وجود دارد (شکل ۴-D).

#### ۶-۵. انواع انیدریت

انیدریت یکی از کانی‌هایی است که به فراوانی همراه با دولومادستون‌ها دیده می‌شود. انیدریت در نمونه‌های مورد مطالعه به چند صورت دیده می‌شود:

**گرهک‌های انیدریتی:** به صورت اولیه و هم‌زمان با رسوب‌گذاری تشکیل می‌شوند. تشکیل انیدریت در محیط سوپراتایدال سبب بیرون آمدن یون سولفات که از عناصر سمی و مزاحم تشکیل دولومیت است می‌شود و همین امر شرایط تشکیل دولومیت اولیه را در این محیط فراهم می‌سازد. اندازه گرهک‌ها از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر متغیر است (شکل‌های ۵ و ۶-A). به سوی بخش‌های بالایی منطقه بالای کشندی با افزایش شوری بر میزان و بزرگی گرهک‌ها افزوده می‌شود. افزایش اندازه و میزان گرهک‌های انیدریت سبب تشکیل لایه‌های انیدریتی می‌شود (Warren, 2000). گرهک‌های انیدریتی در مواردی به صورت ژئیس اولیه تشکیل و سپس در اثر از دست دادن آب به انیدریت تبدیل می‌شوند (Warren, 2006). در شکل ۶-B بلور شکل‌دار ژئیس نشان داده شده که در حال تبدیل به انیدریت است. تراوایی لایه‌های انیدریت پایین است و به صورت سدی در برابر جریان سیال عمل می‌کند و در سامانه نفتی نقش پوش سنگ را دارد.

**انیدریت لایه‌ای:** انیدریت با بافت لانه مرغی (Chicken Wire) به صورت میان لایه‌ای با دولومیکریت‌ها دیده می‌شود. افزایش میزان انیدریت سبب ایجاد بافت روده‌ای (Entrolithic) در برخی از اینتروال‌ها شده است. لایه انیدریتی از بلورهای سوزنی با سوگیری نیمه‌موازی تا تصادفی تشکیل شده است.

**سیمان انیدریتی پویی کیلوتوپیک:** به صورت بلورهای درشت، فضاهای خالی همچون حفرات انحلالی را پر کرده است (شکل ۶-C). در برخی موارد وجود میانبارهایی از دولومیکریت در بافت این سیمان نشان‌دهنده تشکیل این سیمان به صورت جانشینی است.

**انیدریت اسپاریتی:** بلورهای درشت انیدریت به صورت پراکنده در بافت سنگ دیده می‌شوند (شکل ۶-D).

**سیمان انیدریتی سوزنی:** در برخی نمونه‌ها، به صورت بلورهای ریز و سوزنی انیدریت به صورت پرکننده حفرات دیده می‌شود (شکل ۶-E). به نظر می‌رسد این نوع سیمان با گرهک‌های انیدریتی منشأ مشترکی داشته باشد.

**جانشینی:** در این حالت بلورهای دولومیت با انیدریت جانشین شده‌اند و آثاری از بافت پیشین و بلورهای جانشین نشده درون انیدریت دیده می‌شود (شکل ۶-F). این فرایند درون بافت دولومادستون و پیرامون حفرات و شکستگی‌هایی که با انیدریت پر شده‌اند دیده می‌شود.

#### ۷- مطالعات ژئوشیمیایی و تعیین ترکیب ایزوتوپی

##### ۷-۱. تعیین ترکیب ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن

به‌طور کلی یکی از روش‌های تشخیص محیط‌های رسوب‌گذاری و همچنین محیط‌های دیاژنزی تعیین مقدار ایزوتوپ‌های اکسیژن و کربن در سنگ‌های آهکی و دولومیتی است که با رسم این داده‌ها در برابر یکدیگر می‌توان شرایط را تعبیر و تفسیر کرد (برای نمونه Rao & Adabi, 1992; Rao, 1996; Adabi & Rao, 1991 & Rao, 1996). در این پژوهش ۸ نمونه دولومیت برای اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن انتخاب شده است. سعی بر این بود که نمونه‌های انتخاب شده خالص و بدون آلودگی به کانی‌های دیگر باشند. نمونه‌ها

(Gregg & Sibley, 1984). Sibley & Gregg (1987) و Mazzullo (1992) برای رده‌بندی اندازه بلورهای دولومیت از مقیاس ارائه‌شده توسط Folk (1974) استفاده شده است. دولومیت‌های یادشده بر پایه اندازه بلورها (یک یا چند اندازه) و شکل مرز بلورها تقسیم شده‌اند. در مطالعه تخلخل از رده‌بندی (Choquette & Pray, 1970) و نیز رده‌بندی زایشی جدید ارائه‌شده توسط Ahr (2008) و برای ارزیابی کیفیت مخزنی لایه‌های مختلف از توصیف کیفی (North, 1985) استفاده شده است.

#### ۵- ویژگی‌های بافتی

بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری، این نوع دولومیت دارای بلورهای بسیار ریز در اندازه ۵ تا ۱۶ میکرون متشکل از بلورهای بی‌شکل تا شکل‌دار و هم‌اندازه است. اشکالی مانند فابریک فنسترال، فیلامنت‌های میکروبی (جلبک‌های سبز-آبی فیلامنتی)، حفره‌های باقیمانده از کانی‌های تبخیری، گرهک‌های انیدریتی و ترک‌های گلی در آن یافت می‌شود (شکل ۳). این بافت معادل بافت xenotopic-A (Gregg & Sibley, 1984) و nonplanar-A (Mazzullo, 1992) است. این نوع دولومیت در سبخای کواترنری خلیج فارس (برای نمونه Pursar, 1973; Warren, 1991; Illing & Taylor, 1993; Chafetz & Rush, 1994; Chafetz et al., 1999) و کرنات‌های دریای کم‌ژرفای سیلورین باختر استرالیا (EL-Tabakh et al., 2004) نیز گزارش شده است.

**تفسیر:** دولومیت یادشده مربوط به رخساره فنسترال مادستون دولومیتی (Fenestral Dolomitic Mudstone) است. دولومیت‌های ریز بلور در تناوب با نهشته‌های آهک تبخیری به عنوان دولومیت هم‌زمان با رسوب‌گذاری یا دولومیت تشکیل شده در مراحل اولیه دیاژنز نزدیک محیط سوپراتایدال یا اینترتایدال بالایی در نظر گرفته و معمولاً از نشت شورابه‌های تبخیری در محیط سبخایی تشکیل می‌شود (Adabi, 2002; El-Tabakh et al., 2004). در این حالت گل آراگونیتی پیش از تدفین با دولومیت‌جانشین می‌شود. یک اندازه بودن بلورهای دولومیت دلالت دارد بر اینکه یک مرحله هسته‌گذاری روی یک زمینه دارای بلورهای یک اندازه رخ داده است (آدابی، ۱۳۸۳).

#### ۶- فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر دولومیکریت‌ها

##### ۶-۱. تبلور دوباره

این فرایند در برخی از نمونه‌های مورد مطالعه، سبب رشد و افزایش اندازه بلورها و تبدیل آنها به دولومیکرواسپاریت شده است (شکل ۴-A). در بیشتر موارد این فرایند به صورت بخشی رخ داده و در بخش‌هایی از نمونه اندازه بلورها کمی افزایش یافته است. تبلور دوباره سبب روشن‌تر شدن رنگ نمونه شده است. افزایش اندازه بلورها، تخلخل ماتریکس میان‌بلوری (Intercrystalline Matrix Porosity) را افزایش داده است.

##### ۶-۲. انحلال

فرایند انحلال بر اثر تأثیر آب‌های جوی تحت اشباع، به صورت پراکنده سبب ایجاد تخلخل‌های انحلالی شده است (شکل ۴-B). اندازه حفرات انحلالی معمولاً کوچک است و به صورت جدا در متن سنگ پراکنده است. احتمالاً در نمونه‌هایی که تبلور دوباره یافته‌اند، این حفرات انحلالی به وسیله تخلخل ماتریکس تا حدی به هم مرتبط شده‌اند. فرایند انحلال گاهی در امتداد شکستگی‌ها رخ داده و سبب افزایش تخلخل شده است.

##### ۶-۳. سیمانی شدن

تخلخل‌های انحلالی و شکستگی موجود در دولومیکریت‌ها بیشتر با سیمان انیدریتی پر شده یا کاهش یافته است (شکل ۴-C). سیمان انیدریتی با فابریک پویی کیلوتوپیک بلورهای درشت اسپاریت و سوزنی در نمونه‌ها دیده می‌شود.

$$T^{\circ}C = -4.3 \times 10^{-4} (\delta^{18}O_{dol} - 3.8) + 0.14 (\delta^{18}O_{dol} - 3.8) - \delta_{Water}$$

در این معادله T بر حسب درجه سانتی گراد،  $\delta^{18}O_{dol}$  مقدار ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در نمونه بر حسب PDB و  $\delta_{Water}$  مقدار ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ آب دریا بر حسب SMOW در زمان تشکیل دولومیت است. برای محاسبه دمای تشکیل دولومیت‌ها از دولومیت‌های با کمترین دگرسانی استفاده می‌شود. مقدار  $\delta_{Water}$  بر پایه ترکیب ایزوتوپی کانی‌های کلسیتی و صدف دگرسان‌نشده مربوط به سن پرمین میان ۲/۸- تا ۲/۲+ در نظر گرفته شده است (Given & Lohmann, 1986; Allen & Wiggins, 1993). با استفاده از معادله بالا، کمترین دما ۲۰/۳۶ درجه سانتی گراد و بیشترین دما ۴۶/۶ درجه سانتی گراد برای دولومیکریت‌های این بخش به دست آمد.

#### ۴-۷. بحث و ارائه مدل دولومیتی شدن

به کمک شواهد سنگ‌نگاری همچون بلورهای بسیار ریز بی‌شکل و هم‌اندازه (یونی‌مدال)، اشکالی مانند فابریک فنسترال، فیلامنت‌های میکروبی، حفره‌های باقیمانده از کانی‌های تبخیری و ترک‌های گلی می‌توان نتیجه گرفت که این دولومیکریت‌ها در بخش‌های بالایی پهنه کشندی از نوع گرم و خشک (Arid Upper Intertidal) سازند دالان تشکیل شده است. با استفاده از مطالعات ایزوتوپ اکسیژن و تعیین دمای تشکیل این دولومیت میان کمینه ۲۰/۳۶ و بیشینه ۴۶/۶ درجه سانتی گراد چنین نتیجه گرفته می‌شود که این دولومیت‌ها در یک محیط تبخیری به وسیله آب‌های گرم تشکیل شده‌اند، بر پایه شواهد بالا مدل سبختی برای این نوع دولومیت‌ها پیشنهاد می‌شود.

محیط سبختی به این دلیل که حدواسط میان محیط دریایی و قاره‌ای است یکی از مهم‌ترین محیط‌های رسوب‌گذاری به‌شمار می‌رود (James, 1984). سیمان درون منفذی در این محیط، منشأ پیچیده‌ای دارد و می‌تواند به وسیله عوامل زیر تشکیل شود: (۱) تغذیه دوره‌ای با سیلاب‌های سطحی؛ (۲) نشست آب دریا به سوی بالا به وسیله پمپ تبخیری؛ (۳) حرکت به سوی خشکی بر اثر وزن سامانه آبخوان قاره‌ای؛ (۴) بارش باران ساحلی. تبخیر مداوم آب دریا و آب قاره‌ای که سیال درون منفذی محیط سبختی را تشکیل می‌دهد به اشباع شدن این آب از ژپس می‌انجامد و ژپس و آراگونیت در گل‌های سبختی آراگونیتی یا منشأ لاگون ته‌نشست می‌یابد. این ته‌نشست سبب افزایش قابل ملاحظه نسبت Mg/Ca سیال درون منفذی حاصل از آب دریا از نسبت ۵/۱ به ۳۵/۱ می‌شود. این نسبت برای تشکیل دولومیت مناسب است. چه از راه جانیشینی با آراگونیت گل‌های سبختی و چه ته‌نشست مستقیم از آب چینه‌ای (Moore, 1989).

دولومیت‌های حاصل از این مدل با معیارهای تشخیص دولومیت‌های سبختی ارائه شده توسط Moore (1989) با شاخص‌های زیر قابل تطابق است:

- این دولومیت‌ها همراه با توالی است که از دید رسوب‌شناسی و کانی‌شناسی ویژگی‌های محیط سبختی را نشان می‌دهد. از جمله این که همراه با رخساره‌های منطقه بالای مد (سوپراتایدال) و دارای ساختمان‌هایی چون لامیناسیون‌های جلبکی، فابریک فنسترال و کانی‌های تبخیری هستند (Warren, 2000).

- دولومیتی شدن به صورت غیر یک دست و همراه با لایه‌های انیدریت است.  
- از دید اندازه این نوع دولومیت ریزبلور است، ولی در طی دیاژنز، بلورها درشت‌تر و به دولومیکروسپاریت تبدیل شده‌اند. ریز بلور بودن دولومیت نشانگر زیاد بودن مکان‌های مناسب برای هسته‌گذاری بلورهای دولومیت در رسوبات دانه ریز سبختی است (Sibley & Gregg, 1987).

- مدل رسوبی سبختی در توالی عمودی دولومیتی پری‌تایدال و سوپرا تایدال، یک توالی چرخه‌ای (سیکلیک) سنگ‌شناسی و ساختارهای رسوبی مشخص تشکیل می‌دهد (Morrow, 1982).

دولومیکریت دیده شده در این سازند را می‌توان با این مدل توجیه کرد.

با متد دندان‌پزشکی پودر و برای انجام تجزیه به دانشگاه لیورپول انگلستان فرستاده شدند. ترکیب این ایزوتوپ‌ها بر حسب در هزار (Permil) و نسبت به استاندارد جهانی مرجع Vienna Pee Dee Belemnite (V.P.D.B) سنجیده شده است. این استاندارد توسط Uery (1947) در دانشگاه شیکاگو از نمونه‌های بلنیت سازند پی‌دی (Pee Dee Formation) در آمریکا گرفته شده است که با توجه به فرمول زیر برای اکسیژن و کربن به دست می‌آید:

$$\delta_{O}^{18} \text{ نمونه} = \frac{(^{18}O/^{16}O)_{\text{Sample}} - (^{18}O/^{16}O)_{\text{Standard}}}{(^{18}O/^{16}O)_{\text{Standard}}} * 10^3$$

$$\delta_{C}^{13} \text{ نمونه} = \frac{(^{13}C/^{12}C)_{\text{Sample}} - (^{13}C/^{12}C)_{\text{Standard}}}{(^{13}C/^{12}C)_{\text{Standard}}} * 10^3$$

در این نوع تجزیه، در نمونه‌هایی که دارای دولومیت و کلسیت هستند ابتدا کلسیت به روش Babcock et al. (1976) حذف می‌شود، برای این منظور مقدار یک گرم از نمونه را با ۲۷٪ EDTA-Mdi-Na در pH = ۶/۳ به مدت یک ساعت قرار می‌دهند و مواد باقیمانده را جدا و سانتریفیوژ می‌کنند. سپس دولومیت خالص را روی اسلاید خشک می‌کنند و برای اطمینان از خلوص دولومیت با XRD مورد آزمایش قرار می‌دهند. آنگاه ۳ تا ۴ میلی‌گرم از دولومیت با اسید فسفریک در ۵۰ درجه سانتی گراد به روش MacCrea (1950) مورد آزمایش قرار می‌گیرد و گاز کربنیک حاصل به وسیله طیف‌سنج جرمی نوع VGSIRA 10 تجزیه می‌شود و ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن بر حسب در هزار (Per mil) بیان و نسبت به استاندارد مرجع VPDB سنجیده می‌شود. نتایج آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

#### ۷-۲. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن

ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در دولومیت بازتابی از دمای ته‌نشست و ترکیب ایزوتوپی سیال دولومیت‌ساز است (Tucker & Wright, 1990). مطالعات نشان می‌دهد ترکیب ایزوتوپی اکسیژن رسوبات کربناتی در طول تاریخ زمین‌شناسی متغیر است. مقدار  $\delta^{18}O$  در دولومیت‌های عهد حاضر میان ۱- تا ۸- ‰ پی‌دی‌بی در تغییر و به مراتب سنگین‌تر از مقادیر ایزوتوپ اکسیژن در سنگ‌های آهکی مناطق حاره‌ای عهد حاضر (حدود ۲ ‰ PDB است) (آدابی، ۱۳۸۳). میزان  $\delta^{18}O$  در دولومیکریت‌های بخش بالایی سازند دالان در چاه مورد مطالعه میان ۰/۴۶- تا ۰/۹۹ ‰ (میانگین ۰/۱۰۵ ‰) در تغییر است. برای شناسایی شرایط و میزان حرارت محیط تشکیل دولومیت می‌توان ترکیب ایزوتوپی اکسیژن دولومیت‌های مورد مطالعه را با ترکیب ایزوتوپی کانی‌های کلسیتی و صدف دگرسان‌نشده مربوط به سن سازند مورد مطالعه مقایسه کرد (Allen & Wiggins, 1993). چون ترکیب ایزوتوپی آنها نشان‌دهنده ترکیب ایزوتوپی آب دریایی دیرینه در آن دوره است و با استفاده از ترکیب ایزوتوپی آب دریا می‌توان دمای آب دریا را به دست آورد. در شکل ۷ ترکیب ایزوتوپی دولومیت‌های بخش بالایی سازند دالان با مقادیر ترکیب ایزوتوپی اکسیژن نمونه‌های صدف بی‌مهرگان و سیمان کلسیتی با سن پرمین که دچار کمترین تغییرات ثانویه شده‌اند مقایسه شده است. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد ترکیب ایزوتوپی دولومیکریت‌های یادشده در بازه ترکیب ایزوتوپی صدف بی‌مهرگان قرار گرفته است.

می‌توان نتیجه گرفت دمایی که این دولومیت در آن شکل گرفته است، همانند دمای محیطی دریایی پرمین است و نمونه‌ها دچار کمترین تغییرات ثانویه شده‌اند. در نتیجه می‌توان با استفاده از ترکیب ایزوتوپی آنها دمای تشکیل این دولومیت‌ها را با استفاده از فرمول‌های موجود به دست آورد. در شکل ۸ ترکیب ایزوتوپ کربن-اکسیژن دولومیت‌های بخش بالایی سازند دالان با دولومیت‌های قدیمی مقایسه شده‌اند.

#### ۷-۳. محاسبه دمای تشکیل دولومیکریت

دمای تشکیل دولومیت را می‌توان با استفاده از معادله Land (1985) به دست آورد:

## ۸- تخلخل و کیفیت مخزنی

### ۸-۱. انواع تخلخل بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری

بررسی‌های سنگ‌نگاری نمونه‌های مورد مطالعه نشان از وجود ۳ نوع اصلی تخلخل بر پایه رده‌بندی (Ahr, 2008) دارد. این تخلخل‌ها شامل تخلخل رسوبی، تخلخل دیاژنزی و شکستگی است.

### ۸-۲. تخلخل رسوبی

این نوع تخلخل که معادل تخلخل اولیه در رده‌بندی (Choquette & Pray, 1970) است در نمونه‌های مورد مطالعه شامل تخلخل‌های ماتریکس و فنسترال است. تخلخل ماتریکس (Microcrystalline Matrix Porosity) میان بلورهای ریز دولومیکریت وجود دارد. به دلیل کوچک بودن دهانه تخلخل، احتمالاً این نوع تخلخل نقش مهمی در ایجاد تراوایی ندارد. تخلخل فنسترال که حاصل بیرون آمدن گاز است به میزان کم در دولومادستون مربوط به سوپراتایدال دیده می‌شود.

– **تخلخل دیاژنزی:** معادل تخلخل ثانویه در رده‌بندی (Choquette & Pray, 1970) است. تخلخل دیاژنزی در نمونه‌های مورد مطالعه شامل تخلخل انحلالی است. این نوع تخلخل‌ها نیز بیشتر با سیمان انیدریتی پر شده یا کاهش یافته است.

– **شکستگی:** نوع دیگر تخلخل در نمونه‌ها شکستگی است. شکستگی به میزان کم در نمونه‌ها دیده می‌شود. بازشدگی و امتداد شکستگی‌ها کم و گاه با انیدریت پر شده است.

به‌طور خلاصه تخلخل در دولومیکریت‌های مورد مطالعه هیبریدی از تخلخل‌های رسوبی، دیاژنزی و شکستگی است که البته این نوع تخلخل‌ها نیز بیشتر با سیمان انیدریتی پر شده یا کاهش یافته است.

### ۸-۳. ارزیابی کیفیت مخزنی با استفاده از داده‌های مغزه

به‌منظور ارزیابی کیفیت مخزنی، میزان تخلخل هلیم و تراوایی عمودی در این بخش از چاه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. روند تغییرات میزان تخلخل و تراوایی با ژرفا به‌صورت نمودار رسم شده است. بر این اساس این بخش را می‌توان به چند زیر واحد با ویژگی‌های مخزنی متفاوت تقسیم کرد. به‌منظور بررسی بیشتر، نمودارهای تخلخل و تراوایی برای هر یک از زیر واحدها رسم شده است. این ۴ زیر واحد عبارتند از:

– زیر واحد دولومیت بالایی

– زیر واحد آهکی

– زیر واحد دولومیتی آهکی

– زیر واحد دولومیت پایینی

در این بخش، نمودارهای ۲ زیر واحد دولومیت بالایی و زیر واحد دولومیت پایینی که دارای بخش دولومادستونی و دارای دولومیکریت است آورده می‌شود و کیفیت مخزنی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

– **کیفیت مخزنی در زیر واحد دولومیت بالایی (Upper Dolomitic Unit):** زیر واحد دولومیت بالایی از ژرفای ۲۸۶۳/۵ تا ۲۸۸۳/۹۷ متری دارای کمینه تخلخل ۱/۸ درصد و بیشینه ۱۹/۶۶ درصد و میانگین ۱۰/۷۱ درصد است. کمترین میزان تراوایی در این بخش ۱/۱۴۱ میلی‌داری، بیشینه ۱۶۰/۶۷ میلی‌داری و میانگین ۲۳/۷۴ میلی‌داری است. نمودار تغییرات تخلخل و تراوایی با ژرفا در شکل‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است. نمودارهای تغییرات تخلخل و تراوایی نسبت به ژرفا نشان می‌دهد میزان تخلخل و تراوایی در این زیر واحد یکسان نیست و در این زیر واحد ۲ بخش اصلی قابل تمایز است:

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

در بخش بالایی، سنگ‌شناسی چیره گل‌پشتیان (Mud-dominated) است و رخساره‌های اصلی در این بخش دولومادستون و استروماتولیت دولومادستون هستند. در دولومیکریت‌های موجود در این بخش تخلخل فنسترال و حفره‌های وجود دارد، ولی وجود مقادیر زیادی انیدریت (Chicken wire) به‌صورت پرکننده حفره تخلخل و تراوایی را به میزان قابل توجهی کاهش داده است. گسترش کم تخلخل ماتریکس (میان‌بلوری) بر اثر جانشینی دولومیت دانه‌ریز به‌جای گل‌آهکی تأثیر مهمی در ویژگی‌های مخزنی ایجاد نکرده است. بیشتر دولومیت‌های مخزنی در کربنات‌های پری‌تایدال دارای کمتر از ۶ درصد تخلخل ماتریکس هستند. به‌دلیل نسبت کم تخلخل ماتریکس 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 نداشته است.

در بخش دوم، رخساره چیره بیشتر گریستون آئیددار یا پلوییددار دولومیتی شده است. در این ریزرخساره‌ها آئیدها به‌اندازه ماسه‌های متوسط تا درشت هستند که همراه با اجزای بیوکستی به‌شدت تحت تأثیر انحلال قرار گرفته‌اند و قالب آنها بر جای مانده است. قالب‌های انحلالی در مراحل بعد با سیمان انیدریتی فراگیر و انیدریت سوزنی 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، دولومیتی شدن شدیدتر صورت گرفته و سبب ایجاد بلورهای درشت (Coarse Crystalline) شده است. فرایند دولومیتی شدن بیش از اندازه (Over-Dolomitization) سبب بسته شدن گلوگاه‌ها و از میان رفتن تخلخل‌های میان بلوری شده است (Warren, 2000).

– **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 شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آمده است.

نمودارهای رسم شده برای این بخش نشان می‌دهد که کیفیت مخزنی در همه بخش‌ها هموزن و یکنواخت نیست و این بخش قابل تقسیم به دو زیر واحد از دید مخزنی است. بخش بالایی با تخلخل میانگین ۱۳/۰۴ درصد و تراوایی میانگین ۶/۶ میلی‌داری کیفیت مخزنی به‌نسبت خوبی نشان می‌دهد، ولی بخش پایینی در ژرفای میان ۲۹۸۸ تا ۳۰۱۴ متر با متوسط تخلخل ۴/۳۴ درصد و متوسط تراوایی ۰/۰۹۹ کیفیت مخزنی ضعیفی دارد.

بخش بالایی به‌طور چیره شامل رخساره‌های گریستونی آئیدی و آئیدی پلوییدی دولومیتی شده (دانه‌پشتیان) است و تخلخل انحلال سیمان و قالبی از تخلخل‌های مهم این بخش است، ولی بخش پایینی بیشتر از مادستون دولومیتی شده (گل‌پشتیان) و در بخش‌های پایین‌تر از انیدریت (Chicken Wire) تشکیل شده است.

## ۹- نتیجه‌گیری

– با استفاده از نشانه‌های سنگ‌نگاری همچون بلورهای بسیار ریز دولومیت بی‌شکل و هم‌اندازه (یونی‌مدال)، شکل‌هایی مانند فابریک فنسترال، فیلامنت‌های میکروبی (جلبک‌های سبزآبی فیلامنتی)، حفره‌های باقیمانده از کانی‌های تبخیری، گرهک‌های انیدریتی و ترک‌های گلی، رخساره فنسترال مادستون دولومیتی برای این نوع دولومیت‌ها پیشنهاد می‌شود و در بخش‌های بالایی پهنه کشندی از نوع گرم و خشک گسترش دارند.

- کیفیت مخزنی این بخش از سازند دالان به‌طور چیره تحت تأثیر بافت است و رخساره‌های گل‌پشتیان مانند مادستون‌ها که دولومیکریت‌ها را شامل می‌شود ویژگی‌های مخزنی ضعیفی نشان می‌دهد.

- مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر دولومادستون‌ها شامل انحلال، سیمانی شدن، تبلور دوباره، تراکم، جان‌نشینی با انیدریت و شکستگی است.

- در مواردی که دولومیکریت‌ها تحت تأثیر انحلال گسترده و یا شکستگی قرار گرفته‌اند به‌طور موضعی میزان تراوایی بالا رفته است.

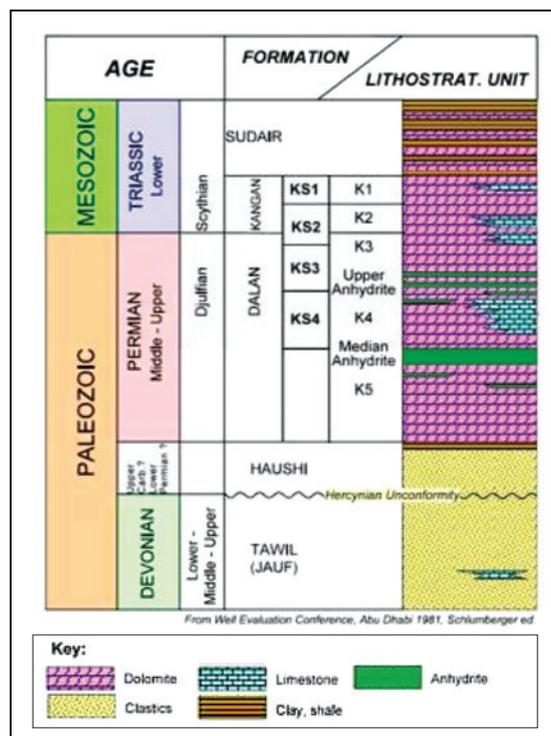
- فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر این دولومیت‌ها شامل تبلور دوباره، انحلال، سیمانی شدن، جان‌نشینی با انیدریت، تراکم و شکستگی است.

- با استفاده از نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی و ترکیب ایزوتوپی و با استفاده از معادله Land (1985) دمای تشکیل این دولومیت‌ها میان ۲۰/۳۶ تا ۴۶/۶ به‌دست آمد.

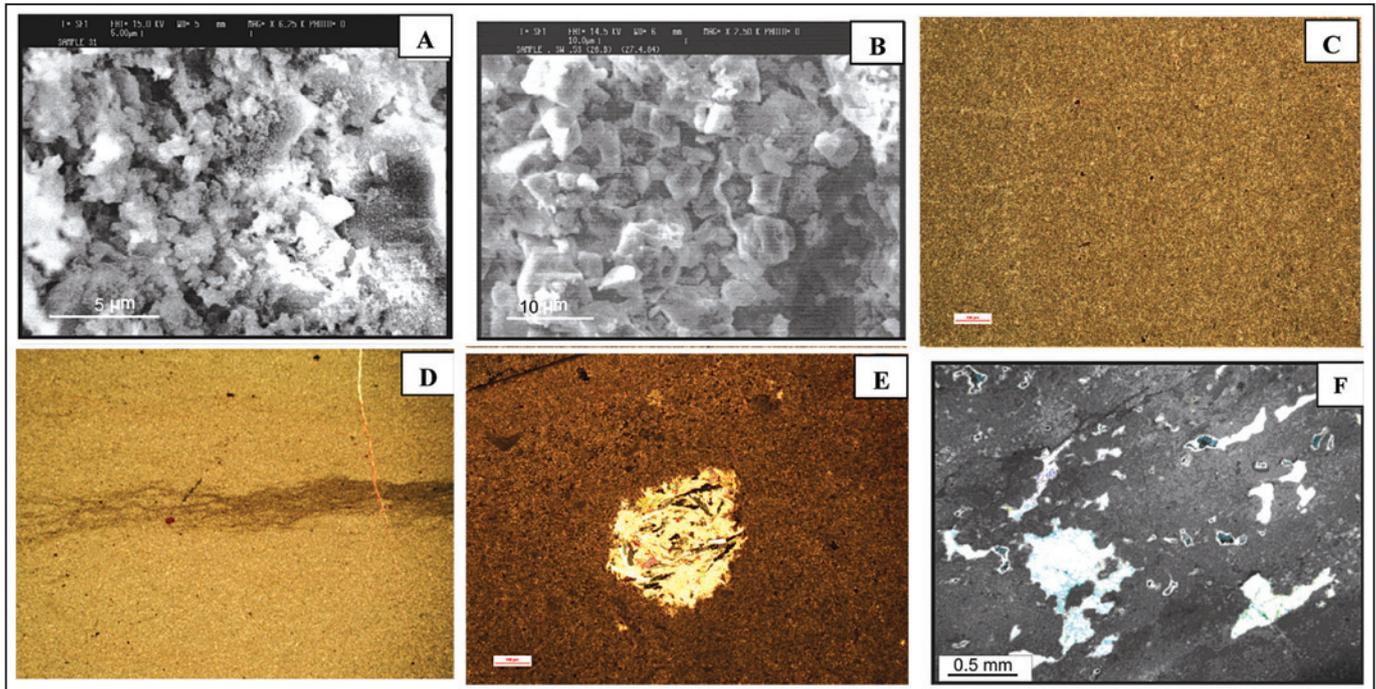
- با تلفیق نشانه‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی و رخساره و محیط تشکیل این دولومیت‌ها، مدل سب‌خا برای این دولومیت‌ها پیشنهاد می‌شود.



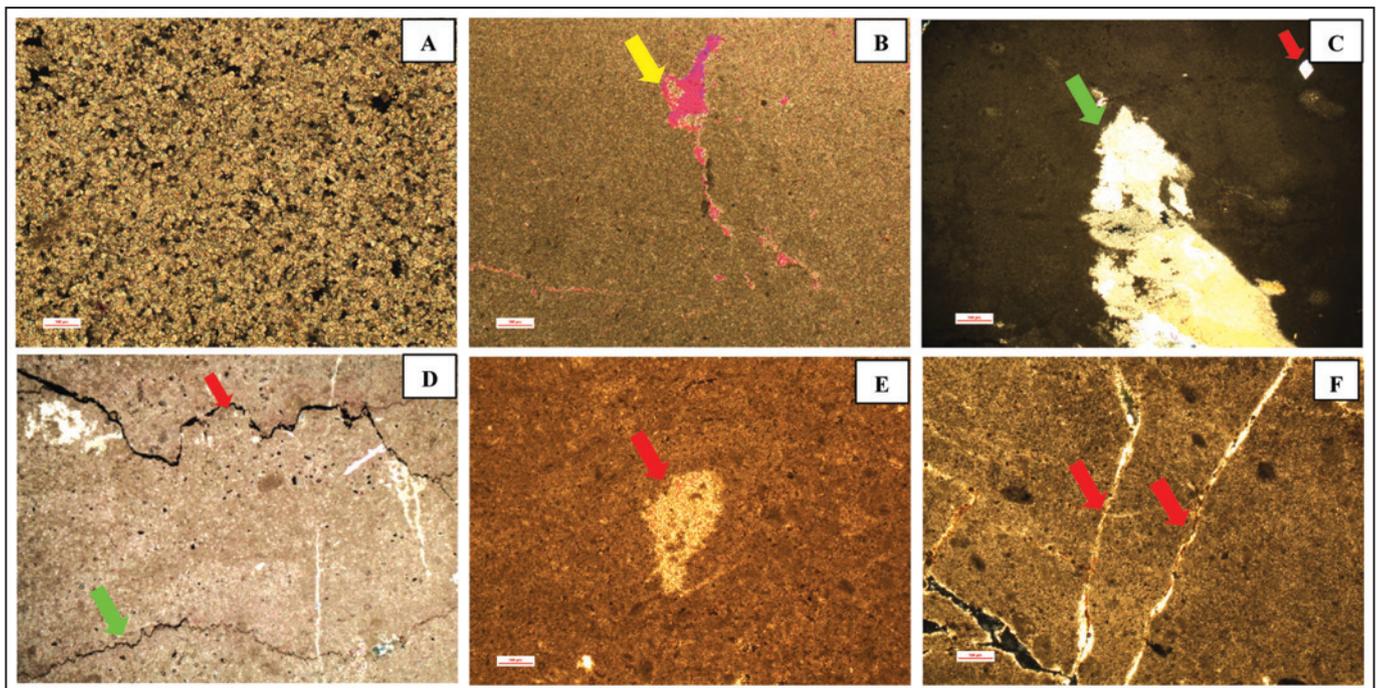
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در نقشه با مستطیل سرخ نشان داده شده است.



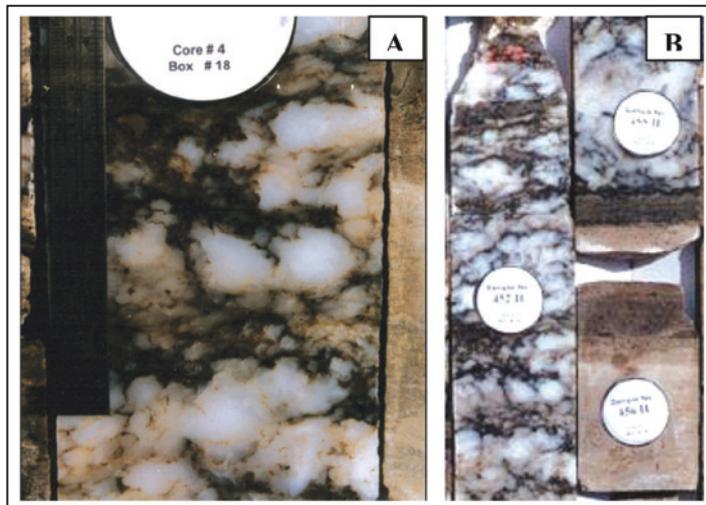
شکل ۲- ستون چینه‌شناسی سازند دالان.



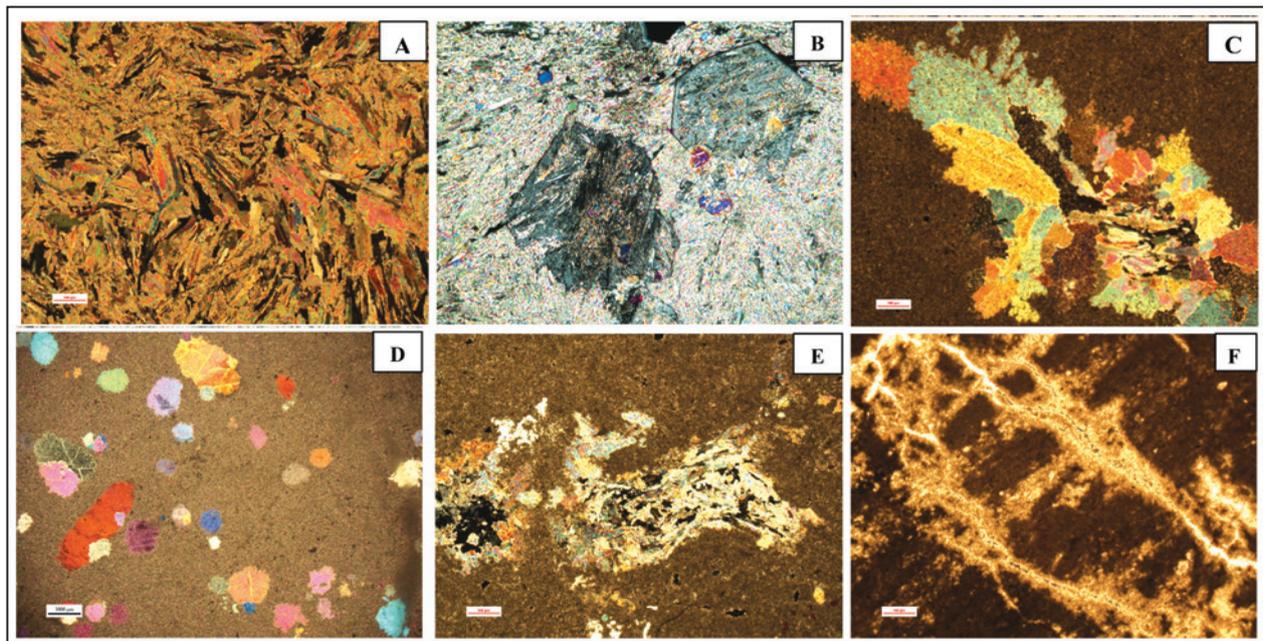
شکل ۳- تصاویری از دولومیکریت. (A) تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از دولومیکریت متشکل از بلورهای بی‌شکل؛ (B) تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از دولومیکریت متشکل از بلورهای بی‌شکل؛ (C) تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از دولومیکریت متشکل از بلورهای شکل‌دار کوچک‌تر از ۵ میکرون؛ (D) تصویر میکروسکوپی از دولومیکریت؛ (E) گره‌ک انیدریت در بافت دولومیکریت؛ (F) دولومیکریت با فابریک فنسترال.



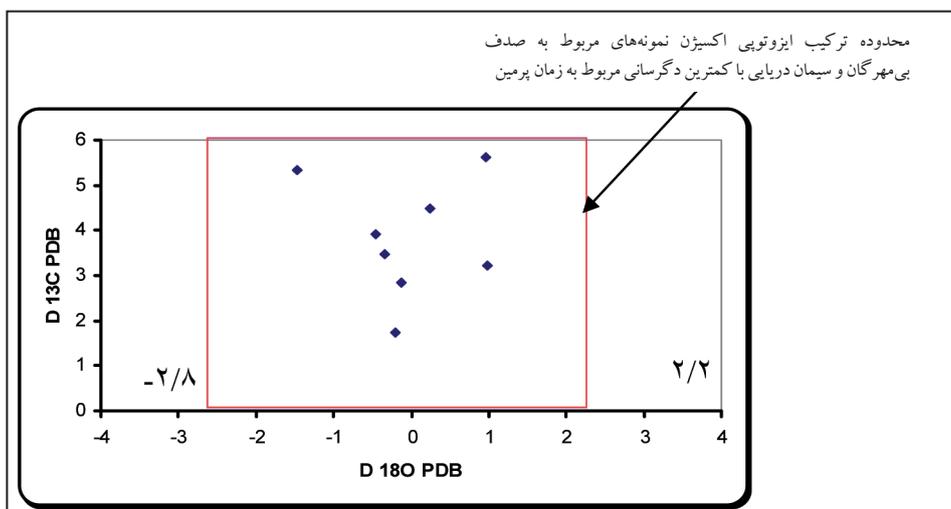
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر دولومیکریت‌ها؛ (A) تصویر میکروسکوپی از دولومیکرواسپاریت که بر اثر تبلور دوباره دولومیکریت به وجود آمده است؛ (B) فرایند انحلال سبب ایجاد تخلخل حفره‌ای و افزایش فضای خالی در امتداد شکستگی‌های مویین شده است؛ (C) سیمان انیدریتی. فلش سرخ قالب کانی تبخیری را نشان می‌دهد؛ (D) استیلولیت (فلش سرخ) و رگچه انحلالی (فلش سبز)؛ (E) جاننشینی با انیدریت؛ (F) شکستگی همراه با آغشتگی به مواد هیدروکربنی.



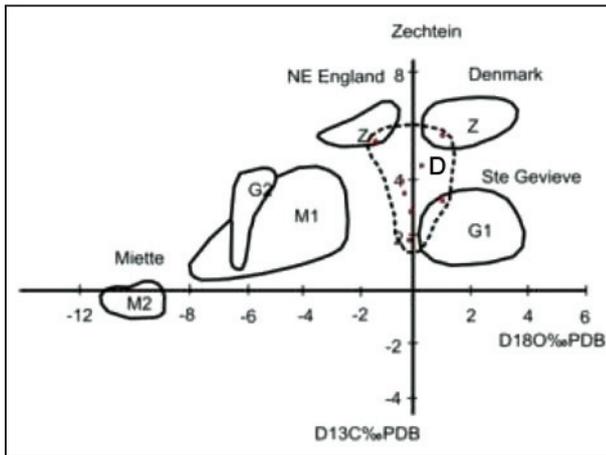
شکل ۵- تصویری از انیدریت با بافت لانه مرغی (Chicken Wire) که به صورت میان‌لایه‌ای با دولومیکریت‌ها دیده می‌شود. افزایش میزان انیدریت سبب ایجاد بافت روده‌ای (Entrolithic) در برخی از نمونه‌ها شده است.



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از فرایندهای انواع انیدریت شناسایی شده در نمونه‌های مورد مطالعه؛ (A) گرهک انیدریت، متشکل از بلورهای سوزنی انیدریت با جهت یافتگی تصادفی؛ (B) تبدیل بلورهای شکل‌دار ژئیس به انیدریت؛ (C) سیمان انیدریتی به صورت پرکننده حفرات انحلالی؛ (D) انیدریت به صورت بلورهای اسپاریت، (E) سیمان انیدریت سوزنی؛ (F) انیدریت به صورت جاشینی پیرامون شکستگی‌ها.

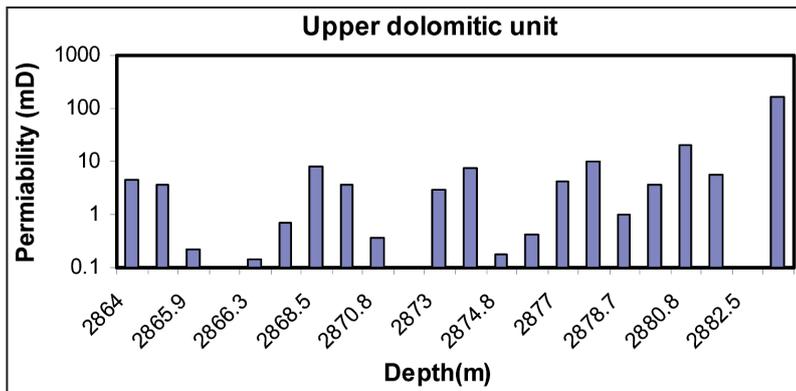
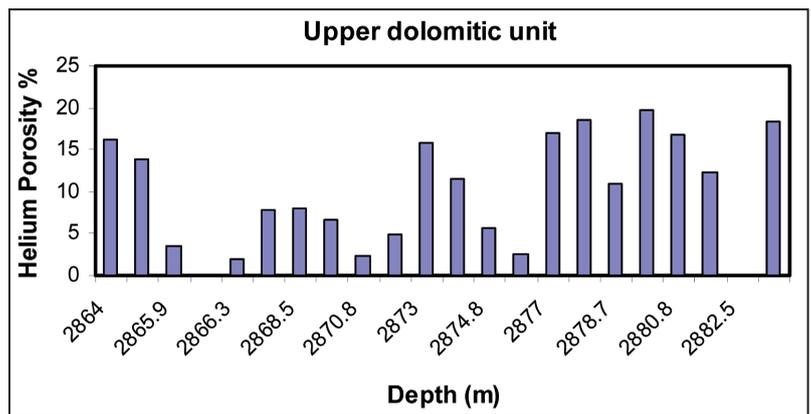


شکل ۷ - مقایسه ترکیب ایزوتوپی دولومیت‌های بخش بالایی سازند دالان با مقادیر ایزوتوپ اکسیژن نمونه‌های صدف می‌مهرگان و سیمان کلسیتی با سن پرمین که دچار کمترین تغییرات ثانویه شده‌اند (برگرفته از Allen & Wiggins, 1993).



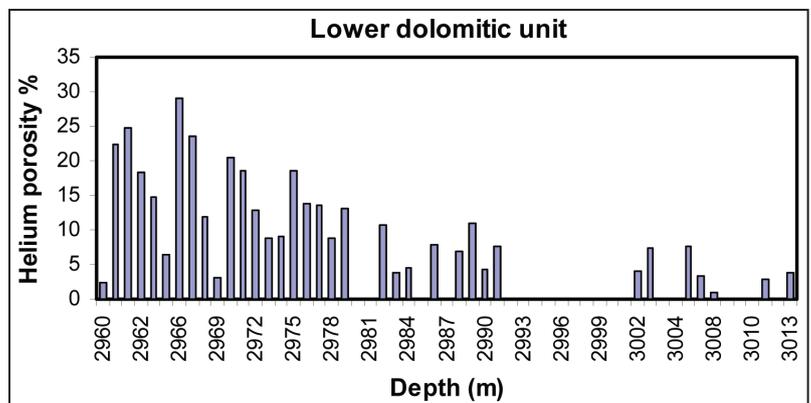
شکل ۸- ترکیب ایزوتوپ کربن - اکسیژن دولومیت‌های کهن و مقایسه با دولومیت‌های بخش بالایی سازند دالان؛ (D, Z): دولومیت‌های پرمین بالایی زشتاین اروپای باختری با منشأ احتمالی تراوش - بازگشت سیال‌ها؛ G1: سنگ آهک دولومیتی شده استه‌جنوایو (Ste Genevieve) کربونیفر پایینی ایلینویز با منشأ احتمالی مدل دورگ؛ G2: همراه با سیمان دولومیتی آهن‌دار تأخیری که  $\delta^{18}\text{O}$  سبک‌تری است؛ M1: سنگ آهک دولومیتی شده دونین مربوط به Miette Buildup در باختر کانادا، با منشأ احتمالی تدفین / آب‌گیری سنگ‌های گلی؛ M2: همراه با دولومیت‌های درشت بلور روشن؛ که مقادیر  $\delta^{18}\text{O}$  منفی تری دارد (Clark, 1980; Choquette & Steinen, 1980; Mattes & Mountjoy, 1980) به نقل از (Tucker & Wright, 1990).

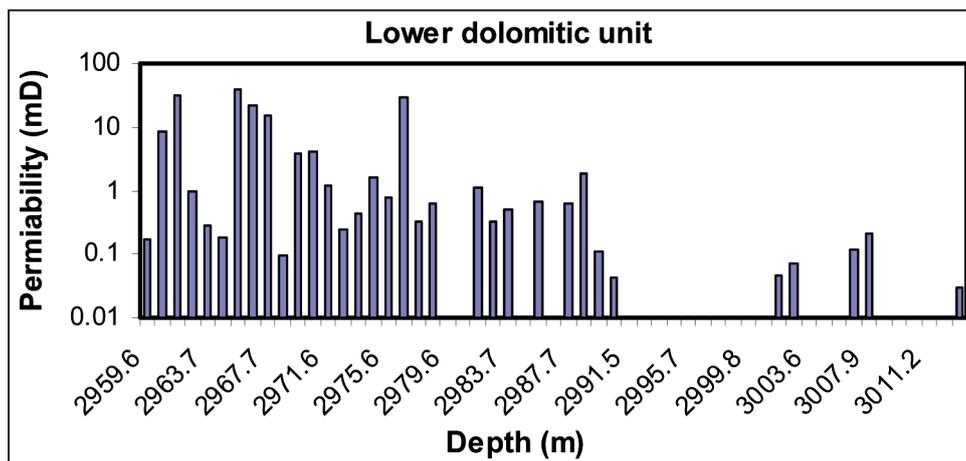
شکل ۹- نمودار تغییرات تخلخل هلیوم با ژرفا در واحد دولومیت بالایی چاه مورد مطالعه.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات تراوایی با ژرفا در واحد دولومیت بالایی چاه مورد مطالعه.

شکل ۱۱- نمودار تغییرات تخلخل هلیوم با ژرفا در زیر واحد دولومیت پایینی چاه مورد مطالعه.





شکل ۱۲- نمودار تغییرات تراوایی با ژرفا در زیر واحد دولومیت پایینی چاه مورد مطالعه.

جدول ۱- مقادیر ایزوتوپ‌های کربن و اکسیژن دولومیکریت‌های واحد دالان بالایی.

Sample No.	$\delta^{13}\text{C PDB}$	$\delta^{18}\text{O PDB}$
1	3.92	-0.46
2	3.21	0.99
3	5.62	0.97
4	4.49	0.24
5	5.35	-1.47
6	3.48	-0.35
7	2.84	-0.12
8	1.75	-0.2

جدول ۲- کیفیت مخزنی زیر واحدهای سنگ‌شناختی افق K4 با استفاده از رده‌بندی (North, 1985).

کیفیت مخزنی	میانگین تراوایی (MD)	میانگین تخلخل (%)	بافت	ژرفا (متر)	زیر واحد سنگ‌شناختی	واحد K4
ضعیف	۲/۸۴	۸/۴	گل پشтіیان	۲۸۶۳-۲۸۷۶	زیر واحد دولومیت بالایی	
خوب	۳۳/۴	۱۶/۱۲	دانه پشтіیان	۲۸۷۶-۲۸۸۳	زیر واحد دولومیت پایینی	
متوسط	۶/۶	۱۳/۰۴	دانه پشтіیان	۲۹۵۸-۲۹۸۸		
ضعیف	۰/۰۹۹	۴/۳۴	گل پشтіیان	۲۹۸۸-۳۰۱۴		

### کتابنگاری

آدابی، م. ح.، ۱۳۸۳- ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آراین زمین، ۴۴۸ صفحه.  
 خسروتهرانی، خ.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۲۷ صفحه.  
 مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- چین‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

### References

- Adabi, M. H. & Rao, C. H., 1991- Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic Carbonates (Mozduran. Formation), Sarakhs area, Iran: Sed. Geology, v.72, p.253-267.  
 Adabi, M. H. & Rao, C. P., 1996- Petrographic, elemental and isotopic Criteria for the recognition of carbonate mineralogy and climate during the Jurassic (eg. from Iran and England): 13<sup>th</sup> Geol. Conv. Australia, (abst.), p.6.

- Adabi, M. H., 2002- Petrography and geochemical criteria for recognition of unaltered coldwater and diagenetically altered Neoproterozoic dolomite, western Tasmania, Australia: 16<sup>th</sup> Australian Geol. Conv., Australia. (abst.), p.350.
- Ahr, W. M., 2008- Geology of carbonate reservoirs. Wiley publication. 277p.
- Allen, J. R. & Wiggins, W. D., 1993- Dolomite Reservoir-Geochemical Techniques for Evaluating Origin and Distribution. AAPG COURSE NOTE SERIES#36.
- Chafetz, H. S. & Rush, P. F., 1994- Diagenetically altered sabkha - type Pleistocene dolomite from the Arabian Gulf. *Sedimentology* 41, p.409-421.
- Chafetz, H. S., Imerito-Tetzlaff, A. A. & Zhang, J. L., 1999- Stable-isotope and elemental trends in Pleistocene sabkha dolomites: Descending meteoric water VS. Sulfate reduction, *Jour. Sed. Research*, v.69, No.1, pp.256-266.
- 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. & Steinen, R. P., 1980- Mississippian nonsupratidal dolomite, Ste. Genevieve Limestone, Illinois Basin: evidence for mixed water dolomitization In: Concepts and Model of Dolomitization (Ed. by D.H. Zenger, J.B. Dunham and R.H. Ethington) Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral. 28, 168-196.
- Clark, D. N., 1980- The Diagenesis of Zechstein Carbonate Sediment. *Contrib. Sediment.* 9, 167-203.
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified. Staining technique for carbonate in thin section: *Nature*, v.205, p.587.
- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (Ed.), *Classification of carbonate rocks*. AAPG Memoir, 1, 108-121.
- El – Tabakh, M., Mory, A., S'chreiber, B. C. & Yasin, R., 2004- Anhydrite cements after dolomitization of shallow marine Silurian carbonates of the Gascoyne platform, Southern Carnarvon Basin, Western Australia. *Sed. Geol.* v.164, p.75-87.
- Folk, R. L., 1974- Petrology of sedimentary Rocks: Hemphill. Publ., Co., Austin, Texas, 182p.
- Given, R. K. & Lohmann, K. C., 1986- Isotopic evidence for the early meteoric diagenesis of the reef facies, Permian Reef Complex of West Texas and New Mexico. *J. Sed. Petrol.* 56, 183-193.
- Gregg, J. M. & Sibley, D. F., 1984- Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture reply: *Jour. Sed. Petrology*, v.56, p.735-763.
- Illing, L. V. & Taylor, J. C. M., 1993- Penecontemporaneous dolomitization in sabkha Faishakh, Qatar evidence from changes in the chemistry of the interstitial brines, *J. sediment. Petrol.* V. 63. No. 6, pp. 1042-1048.
- James, N. P., 1984- Shallowing-upward sequences in carbonates. In: R.G. walker (Ed.) *Facies Models*. Geosci. Can., Repr. Ser. 1, pp. 213-228.
- Land, L. S., 1985- The origin of massive dolomite: *Jour. Geol. Education*, v.33, p.112-125.
- MacCrea, J. M., 1950- On the isotopic chemistry of carbonate and a palaeo temperature Scale. *J. of chem. Physic.* v.18.
- Mattes, D. H. & Mountjoy, E. W., 1980- Burial dolomitization of the upper Devonian Miette buildup, Jasper National Park, Alberta, In: Zenger, D. H., Dunham, J. B. & Ethington, R. L. (eds.) *Concepts and Models of Dolomitization*. Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Miner.28, 259-297.
- Mazzullo, S. J., 1992- Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review. *Carbonate and Evaporates*. v.7, p.21-37.
- Moore, C. H., 1989- *Carbonate Diagenesis and Porosity*: Elsevier, Amsterdam, p.338.
- Morrow, D. W., 1982- *Diagnosis 1. Dolomite – part. I: the geochemistry of dolomitization and dolomite precipitation*. Geoscience. Canada, v.9, p.5-13.
- North, F. K., 1985- *Petroleum Geology*, Allen and Unwin, London, 607 pp.
- Pursar, B. H., 1973- *The Persian Gulf: Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a shallow Epicontinental sea* Springer – Verlag, Berlin, p.471.
- Rao, C. P. & Adabi, M. H., 1992- Carbonate minerals major and minor elements and oxygen and Carbon isotopes and their variation with depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia: *Mar. Geology*, v.103, p.249-272.
- Rao, C. P., 1996- *Modern Carbonates, Tropical, Temperate, Polar, introduction to sedimentology and geochemistry*: Arts of Tasmania, p.206.
- Sibley, D. F. & Gregg, J. M., 1987- Classification of dolomite rock texture: *Jour Sed. Petrology*, v.57, p.967-975.
- Tucker, M. E. & Wright, V. P., 1990- *Carbonate Sedimentology*, Blackwell. Sci. Pub., p.482.
- Uery, H. C., 1947- The thermodynamic properties of isotopic substance: *Jour. Chem. Soc.*, pp. 562-581.
- Warren, J. K., 1991- Sulfate dominated Sea-marginal and platform evaporative settings. In: Melvin, J.L., Editor, 1991. *Evaporates, Petroleum and Mineral Resources Dev. Sedimentol.* Vol. 50, Elsevier, Amsterdam, pp. 477-533.
- Warren, J. K., 2000- Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations: Elsevier, v.52, p.1-81.
- Warren, J. K., 2006- *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer Verlag, Brunei, pp.1035.