

## کیفیت و توسعه دولومیتی شدن و تاثیر آن در تولید نفت، مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز

مسعود سلیمانی

دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

بهمن سلیمانی

دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

جواد سیفی

دانشکده علوم زمین، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۱

soleimani\_b@scu.ac.ir

### چکیده

این مقاله سعی دارد تأثیر فرایند دولومیتی شدن را در کیفیت مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز مورد مطالعه قرار دهد. این مخزن اساساً آهکی است که تحت تأثیر دیاژنز متغیر قرار گرفته و در این میان، فرایندهای دولومیتی شدن، ددولومیتی شدن و چرتی شدن بترتیب صورت گرفته است. بررسی فرایند دولومیتی شدن در میدان نفتی اهواز در ۳۶ حلقه چاه نشان می‌دهد که بلورهای شکل‌دار دولومیت در بخش شمال‌غرب میدان بیشتر از بخشهای مرکزی و جنوب‌شرقی گسترش دارند. رخساره و کستون دارای بیشترین و رخساره‌های گرینستون و پکستون دارای کمترین درصد بلورهای شکل‌دار دولومیت می‌باشند. نقشه‌های هم‌ضخامت و هم‌تخلخل افق‌های دولومیتی شده نشان می‌دهد که در بخش شمال‌غرب، زون‌های تولیدی بیشتر تحت تأثیر دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند. افق‌های دارای بلورهای شکل‌دار دولومیت، دارای مقادیر تراوایی بالاتری نسبت به سایر افق‌ها می‌باشد. مطالعه نمودارهای پتروفیزیکی نیز افزایش تخلخل در اثر فرایند دولومیتی شدن و کاهش تخلخل در اثر فرایندهای ددولومیتی شدن و چرتی شدن را نشان می‌دهد. وجود استیلولیت‌های فراوان همراه با تراکم بلورهای دولومیت، مدل تدفینی و هیدروترمالی را برای دولومیتی شدن مخزن تقویت می‌نماید. با توجه به اندازه بلورها حداقل دو مرحله دولومیتی شدن رخ داده است. بر اساس گسترش بیشتر دولومیت بویژه بلورهای شکل‌دار در بخش شمال‌غرب میدان در زون‌های تولیدی C و E، جهت کاهش ریسک حفاری، و به لحاظ کیفیت مخزنی بهتر، پیشنهاد می‌شود چاه‌های بعدی در این بخش حفاری شوند.

**کلمات کلیدی:** میدان نفتی اهواز، مخزن بنگستان، دولومیتی شدن، تخلخل، تراوایی

### مقدمه

مخزن باشد. پدیده دولومیتی شدن در مخزن می‌تواند باعث کاهش و یا افزایش تخلخل و تراوایی و در نتیجه باعث حفظ یا کاهش کیفیت مخزن می‌گردد (Lucia, 1999; Sun, 1995). مقالات متعددی در مورد ترکیب شیمیایی دولومیت و شرایط تشکیل آن (Lipmann, 1973; Backer and Tucker, 1984; Castner, 1981; Gregg and Sibley, 1984). دولومیتی شدن از محلول‌هایی با آلکانیته pH بالا (pH > 7/8-8/2) حاصل می‌شود (Tucker and Wright, 1991) که در آن یون‌های  $\text{CO}_3^{2-}$  بیشتر از  $\text{HCO}_3^{-1}$  است. بر اساس نوع ترکیباتی که از فاز سیال رسوب می‌کند، می‌توان تغییر ترکیب سیال را مشخص کرد.

بطور کلی اساس مطالعه فعلی در مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز به لحاظ سنگ‌شناسی کلی آهکی (Dunham, 1962) که بطور بخشی دولومیتی شده است، مشخص ساختن افق‌های دولومیت‌دار و خصوصاً افق‌های دارای بلورهای شکل‌دار می‌باشد. شناسایی این افق‌ها و تعیین درصد فراوانی آنها در بخش‌های مختلف میدان می‌تواند راهگشای حفاری‌های بعدی و کاهش ریسک حفاری در آینده گردد.

مخازن کربناته در مجموع پس از مخازن ماسه سنگی فراوانترین مخازن نفتی را تشکیل می‌دهند و از این لحاظ مورد توجه خاص زمین‌شناسان نفتی می‌باشند. این مخازن گاه بصورت ترکیبی از آهک و دولومیت نیز وجود دارد که از جمله می‌توان به مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز اشاره کرد. سنگ‌های دولومیتی به لحاظ داشتن تخلخل و بویژه تراوایی نسبی بالاتر نسبت به سنگ‌های آهکی در مطالعات نفتی به عنوان محل تجمع نفت در نظر گرفته می‌شوند (Halley and Schmoker, 1983). فرایند دولومیتی شدن از نظر مهمترین عوامل کنترل‌کننده (Baker and Kastner, 1981; Walter, 1985; Tucker and Wright, 1991) و ارائه مدل دولومیتی شدن (Zenger et al., 1980; Morrow, 1982; Meyers et al., 1997) توسط محققین مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است.

شرایط متفاوت دیاژنیتیکی در طی دولومیتی شدن بافت‌های پیچیده‌ای از دولومیت را در سنگ‌های کربناته ایجاد می‌کند (Gao and Land, 1991; Feng and Meyers, 1998; Lumsden and Caudk, 2001; Gregg et al., 2001). بلورهای دولومیت بر اساس اندازه یا شکل می‌توانند تقسیم شوند (Friedman, 1965; Sibley and Gregg, 1987; Zhao, 1994; Kui, 1994). در بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار تراوایی با افزایش تخلخل افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد که این مطلب می‌تواند بازگو کننده نقش مهم افق‌های دارای این‌گونه بلورها جهت انجام کارهای توسعه‌ای

**موقعیت میدان نفتی مورد مطالعه**

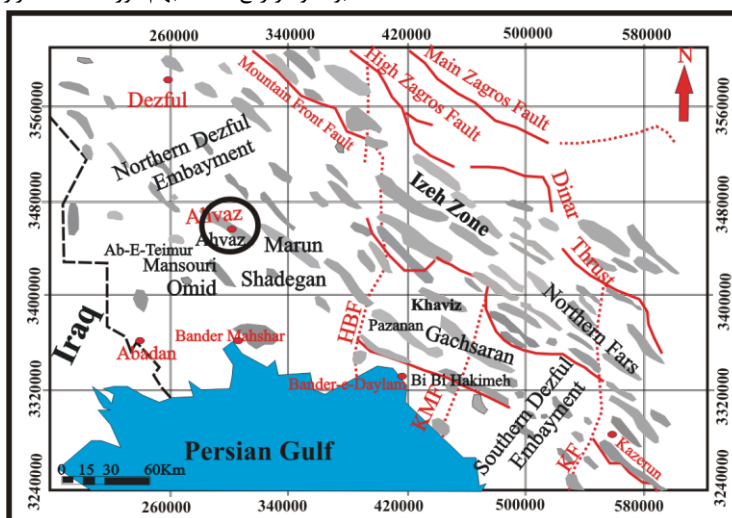
میدان نفتی اهواز با عرض جغرافیایی ۳۰° ۳۰' و طول جغرافیایی ۳۰° ۴۸' در جنوب غرب فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. رخنمون سطحی این میدان از سازندهای آغاچاری و آبرفت‌های عهد حاضر تشکیل شده است. این میدان در افق آسماری دارای طول حدوداً ۷۰ کیلومتر و عرض متوسط ۷ کیلومتر می‌باشد. این میدان نسبت به میادین مجاور از شمال توسط میادین رامین و سردرآباد، از شرق توسط میدان مارون، از غرب توسط میدان بندکرخه و از جنوب توسط میادین سوسنگرد، آب تیمور و منصوره محدود می‌شود (شکل ۱).

این ساختار طاقدیسی تقریباً از آخرین چین‌های ناحیه ساده چین‌خورده زاگرس به حساب می‌آید که بر روی یک هورست که در طبقات قدیمی‌تر اتفاق افتاده است قرار دارد. این طاقدیس کم و بیش متقارن می‌باشد و شیب آن کم و بین ۱۰ الی ۲۱ درجه در دامنه شمالی و ۶ الی ۱۲ درجه در دامنه جنوبی متغیر است (سوهانی، ۱۳۶۶). مطابق آخرین نقشه لرزه‌نگاری موجود، در قسمت‌های شمالشرق و جنوبغرب این میدان گسل‌های رورونده وجود دارد که تا افق بنگستان و خامی نیز امتداد دارند اما تا کنون اثری از گسل‌های فوق در چاه‌های حفاری شده مشاهده نشده است (سوهانی، ۱۳۶۶). مخزن بنگستان در این میدان براساس خواص سنگ شناسی و پتروفیزیکی به ده زون تقسیم شده است.

**روش‌های مطالعه**

از آنجا که بلورهای دولومیت نقش موثری بر کیفیت مخزنی دارند، شناسایی افق‌های مخزنی دولومیتی بسیار مهم است. لذا در این مطالعه ابتدا با بررسی مطالعات پتروگرافی افق‌های پتانسیل‌دار دولومیت شناسایی گردید، سپس تعیین درصد فراوانی آنها، مشاهده بافت‌های مرتبط با دولومیت، تعیین بافت سنگ‌های آهکی جانشین‌شده و همچنین شناخت رخساره‌های آهکی و نحوه گسترش آنها مورد نظر قرار گرفت. مقاطع میکروسکوپی مورد استفاده در مطالعات پتروگرافی، بالغ بر ۳۲۴۰ مقطع نازک بوده که از ۳۶ حلقه چاه مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز تهیه شده‌اند. این مقاطع توسط آلیزارین قرمز رنگ‌آمیزی شده‌اند. روش رنگ‌آمیزی برای شناسایی دولومیت و کلسیت بطور معمول بکار می‌رود (Evamy, 1963; Dickson, 1965; Meng et al., 2019). کلسیت برنگ قرمز در آمده و از دولومیت متمایز می‌گردد. توصیف نمونه‌ها براساس رده بندی دانه‌ام (۱۹۶۲) انجام گردید.

مطالعه نمودارهای پرتو گاما، نوترون و چگالی و داده‌های پتروفیزیکی در روشن شدن نقش دولومیت‌ها در کیفیت مخزن بویژه در افق‌های دارای دولومیت کمک موثری می‌نماید. همچنین مقایسه نتایج بررسی‌های پتروفیزیکی با مطالعات پتروگرافی می‌تواند در جهت تعمیم و تطبیق نتایج حاصل از بررسی‌های فوق در مناطقی که حفاری صورت نگرفته بسیار سودمند بوده و در رفع نقاط مبهم مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱- الف) موقعیت میدان نفتی اهواز نسبت به سایر میادین نفتی زاگرس (Sherkati and Letouzey, 2004) و (ب) نقشه UGC میدان و موقعیت بعضی از چاه‌های مورد مطالعه. علائم اختصاری عبارتند از: KF=Kazerun Fault; KMF= Kharg Mish Fault; HBF=Hendijan Bahregansar Fault

**بحث**

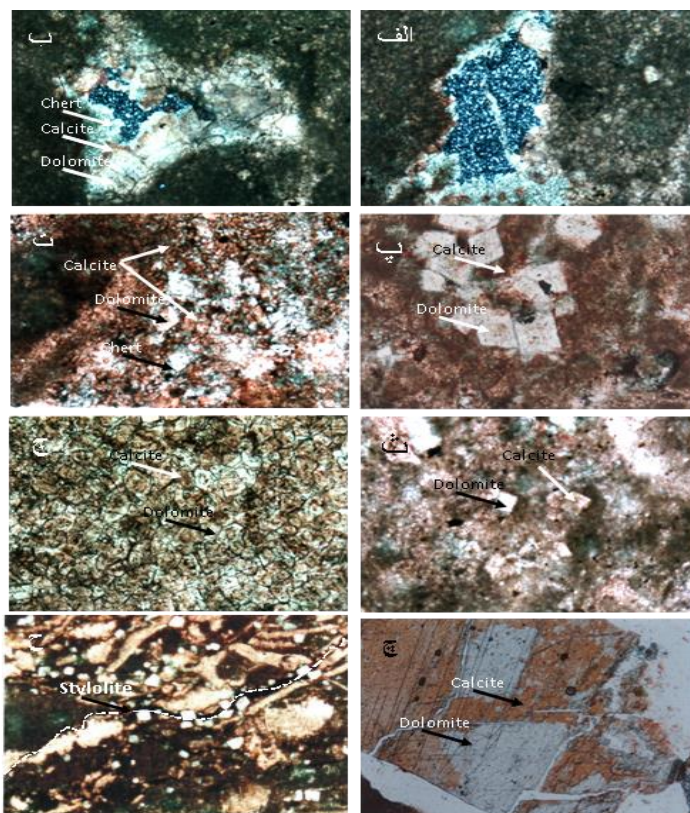
شواهد سنگ شناسی نشان می‌دهد که این بلورهای دولومیت زدایی شده در واقع همان بلورهای شکلدار دولومیت هستند (شکل ۲- ث و ج). دولومیت از حاشیه و گوشه‌های کلسیت در جریان دولومیتی شدن شکل می‌گیرد (Kaczmarek and Sibley, 2007; Mehmood et al., 2018). لذا در جریان دولومیت زدایی نیز عمل جانشینی از حاشیه‌ها شروع می‌شود. تشکیل بلورهای دولومیت در حاشیه و داخل استیلولیت‌ها دو مرحله دولومیتی شدن را در مخزن بنگستان نشان می‌دهد. بلورهای دولومیتی که در داخل استیلولیت‌ها هستند از نظر زمان تشکیل نسبت به بلورهای تشکیل شده در حاشیه استیلولیت‌ها، جدیدتر هستند (شکل ۲- ح) و احتمالاً دارای منشأ هیدروترمالی باشند (Martin-Martin et al., 2017).

بررسی‌های پتروگرافی در مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز، توالی از فرآیندهای دولومیتی شدن، دولومیت زدایی و چرتی شدن را در حفرات نشان می‌دهد (شکل ۲- الف و ب). ترتیب فرآیندهای یادشده در اثر تغییر ترکیب سیال بوده است. زمانی که سیال از لحاظ منیزیم درحالت فوق اشباع بوده، دولومیت و در حالت فوق اشباع از کلسیم، کلسیت و در مرحله پایانی و فوق - اشباع از سیلیس، چرت را ته‌نشین نموده است.

در بررسی سنگ شناسی مقاطع نازک میکروسکوپی رنگ‌آمیزی شده توسط آلیزارین قرمز، پدیده دولومیت زدایی بخوبی مشاهده می‌گردد (شکل ۲- پ و ت). در بعضی از موارد، بلورهای رومبوند کلسیتی در مجاورت بلورهای رومبوند دولومیت (شکل ۲- ث) و یا در زمینه چرتی قرار دارند (شکل ۲- ت).

براساس میزان درصد فراوانی بلورهای شکلدار مشاهده شده در رخساره-های آهکی مخزن، رخساره وکستون بیش از ۲۰ درصد، رخساره وکستون-مادستون ۱۰-۲۰ درصد، رخساره مادستون ۱۰-۲۰ درصد، رخساره وکستون - پکستون ۱۰-۵ درصد و رخساره‌های پکستون و گرینستون دارای ۵-۱۰ درصد بلورهای شکلدار داشته‌اند. رخساره وکستون، اگر چه مستعدترین رخساره برای تشکیل دولومیت است (Martín-Martín et al., 2017; Arzani, 2011; Sena et al., 2014) ولی در این مطالعه افق‌هایی مشاهده گردید که در آنها رخساره‌های وکستون فاقد بلورهای دولومیت بوده و یا مقدار بلورهای شکلدار دولومیت در آنها بسیار کم است. در واقع شرط لازم و کافی برای تشکیل دولومیت علاوه بر داشتن یک رخساره مناسب مانند وکستون، وجود یک سیال فوق اشباع از منیزیم می‌باشد و این موضوع باعث پراکندگی دولومیت در وکستون می‌گردد (Loucks and Budd, 1981). در مواقعی که سیال نسبت به منیزیم تحت اشباع باشد دولومیت تشکیل نمی‌شود و تغییر ترکیب سیال باعث می‌شود تا سیال نسبت به کلسیت و یا چرت در حالت فوق اشباع قرار گیرد و در نتیجه کلسیت و چرت نهشته شود. مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز، تغییرات بارز رخساره‌ای از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق بوقوع پیوسته است (شکل ۵). این موضوع می‌تواند در ارتباط با نقش بلندی‌های قدیمی (Wood and Lacassagne, 1965) و عبور کرده از بخش جنوب شرقی باشد. این بلندی قدیمی توزیع و گسترش رخساره رودیستی را نیز در این میدان کنترل نموده است (Esrafil-Dizaji et al., 2015).

بطور کلی این شواهد، نشان دهنده مدل دولومیتی‌شدن تدفینی است. مخزن بنگستان از لحاظ چینه‌شناسی در بین دو سازند شیلی کژدمی در پایین و سازند شیلی گورپی در بالا قرار دارد. تراکم این شیل‌ها می‌تواند باعث آزاد شدن و تزریق سیالات غنی از منیزیم به مخزن بنگستان و دولومیتی‌شدن آن شده باشد. با توجه به سن سازندهای شیلی و رخداد ناپیوستگی در مرز کرتاسه-ترشیر، می‌توان اظهار داشت که در ابتدا، دولومیت‌های موجود در حاشیه استیلولیت‌ها متأثر از سیالات خارج شده از سازند کژدمی بر اثر تراکم - باشند و دولومیت‌های موجود در داخل استیلولیت‌ها ناشی از منابع دیگری از جمله سیالات خارج شده و اشباع از منیزیم حاصل از تراکم شیل‌های گورپی - باشند. از دیگر نشانه‌هایی که مدل تدفینی و هیدروترمالی دولومیتی‌شدن مخزن بنگستان را تقویت می‌نماید می‌توان به پراکنده بودن تشکیل دولومیت و جزئی بودن مقادیر آن در مقیاس کلی اشاره نمود. بطور کلی در مدل‌های دولومیتی‌شدن تدفینی، فرایند دولومیتی وسیع و گسترده تشکیل نمی‌شوند (Mattes and Mountjoy, 1980)، همچنین همراه بودن آنها با استیلولیت‌ها می‌تواند نشانه‌ای از منشأ هیدروترمالی باشد (Martín-Martín et al., 2017). اگر چه اثبات قطعی آن نیاز به آنالیز ایزوتوپی دارد. در ارتباط با پدیده دولومیتی‌شدن و سایر فرآیندهای دیاژنتیکی مؤثر بر کیفیت مخزن بنگستان میدان نفتی اهواز، در ضخامت کل ستون آهکی مطالعه شده (۲۱۲۰ متر) بیشترین درصد فراوانی و ضخامت مربوط به رخساره‌های وکستون - مادستون و وکستون - پکستون و کمترین مقادیر هم به ترتیب برای گرینستون و پکستون است. رخساره‌های مادستون، وکستون و گرینستون - پکستون نیز از جمله رخساره‌های قابل ذکر است.



شکل ۲- فرآیندهای دولومیتی‌شدن، ددولومیتی‌شدن و چرتی شدن در مقاطع نازک میکروسکوپی حاصل از مغزه، چاه شماره ۶۳ میدان نفتی اهواز: (الف) و (ب) حفرات پر شده توسط دولومیت، کلسیت اسپاریتی و چرت (عمق ۳۵۱۸ متری)، (پ) و (ت) بلورهای شکلدار دولومیت دارای لکه‌های دولومیت زدایی شده (عمق ۳۴۲۸ متری)، (ث) دو بلور دولومیت و دولومیت زدایی شده (بلور سمت راست) (عمق ۳۴۲۵ متری)، (ج) و (چ) - بلورهای بی‌شکل دولومیت که بطور بخشی دولومیت زدایی شده‌اند (نمونه (ج) مربوط به عمق ۳۵۱۷ متری، و نمونه (چ) مربوط به چاه شماره ۴۹، عمق ۳۵۲۰ متری)، (ح) بلورهای تشکیل شده در داخل و حاشیه استیلولیت، چاه شماره ۶۳، عمق ۳۶۹۴ متری.

مقایسه نمودار تخلخل نسبت به عمق در این چاه‌ها نشان می‌دهد که مقدار تخلخل در زون‌های تولیدی C و E در چاه‌های ۴۹ و ۶۳ بیشتر از چاه ۵۸ است و این امر به علت وجود بلورهای شکلدار دولومیت است که باعث افزایش تخلخل و کیفیت مخزنی شده است.

افق‌های دارای بلورهای شکل‌دار از تخلخل و تراوایی بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها برخوردار بوده، در آنها رابطه خطی بین تخلخل و لگاریتم تراوایی وجود داشته و با افزایش تخلخل، تراوایی نیز افزایش می‌یابد. رگرسیون محاسبه شده برای نمودار تخلخل-تراوایی ترسیم شده توسط آن‌ها برای بلورهای شکلدار دولومیت‌های اردووسین-کامبرین جنوب‌شرق میسوری ۰/۹۹ محاسبه شده است که نشان دهنده رابطه خطی بسیار قوی بین این دو پارامتر در بلورهای شکل‌دار است. جهت بررسی رابطه تخلخل و تراوایی در مخزن بنگستان، داده‌های تراوایی چاه ۶۳ واقع در بخش شمال‌غرب میدان نفتی اهواز مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که در این چاه، مغزه‌گیری انجام گرفته است و مقاطع نازک میکروسکوپی آن توسط آلبرازین قرمز رنگ‌آمیزی شده است. بطور کلی سنگ‌شناسی مخزن بنگستان در افق‌های دارای دولومیت، عمدتاً آهک دولومیتی است و افق‌هایی که در آنها دولومیت خالص مشاهده گردیده است معمولاً همراه با مقدار زیادی آهک می‌باشند. لذا داده‌های تراوایی صرفاً نمایانگر تراوایی حقیقی بلورهای شکلدار دولومیت نمی‌باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد که رابطه خطی بین تخلخل و تراوایی افقی و قائم در دو زون C و D در چاه ۶۳ با توجه به رگرسیون پایین داده‌ها، ضعیف است. رگرسیون محاسبه شده برای نمودار تخلخل-تراوایی افقی در این دو زون ۰/۵۷ و برای نمودار تخلخل-تراوایی قائم این مقدار ۰/۵۴ است (شکل ۶). وجود رابطه ضعیف به علت وجود تخلخل‌هایی غیر از تخلخل بین بلوری و همچنین وجود لیتولوژی غالب آهکی می‌باشد. با مقایسه مقدار تراوایی افقی و قائم در دو زون C و D مشاهده می‌گردد که مقدار تراوایی بویژه تراوایی افقی در زون C بدلیل فراوانی بلورهای شکل‌دار دارای مقدار بسیار بالاتری است. لذا در زون C افق‌هایی با بیش از ۲۵٪ بلورهای شکلدار دولومیت انتخاب و رابطه تخلخل و تراوایی در این افق‌ها بررسی گردید. زیرا تاثیر درصد دولومیت از این مقدار بالاتر آشکار می‌شود (Woody et al., 1996).

ترسیم نمودار تخلخل-تراوایی افقی و قائم رابطه خطی بسیار خوبی را بین تخلخل و لگاریتم تراوایی در افق‌های دارای بلورهای شکل‌دار نشان داد (شکل ۶). همانگونه که مشاهده می‌شود رگرسیون محاسبه شده رابطه تراوایی افقی و قائم نسبت به تخلخل کل به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۵ می‌باشد که نشان دهنده رابطه خطی قوی بین این پارامترها در افق‌های غنی از بلورهای شکل‌دار دولومیت است.

در حالت افق‌های دولومیتی خالص، مقادیر بالای رگرسیون نمودار تخلخل-تراوایی افقی دارای بلورهای دولومیت ۰/۹۹ محاسبه شده است (Woody et al., 1996). اما در مطالعه کنونی، در رابطه تخلخل-تراوایی مخزن بنگستان به علت نبود افق‌های دولومیتی خالص، عملاً مقدار رگرسیون ۰/۹۹ برای افق‌های دارای بلورهای شکلدار بدست نمی‌آید. در واقع خطای مشاهده شده به لحاظ سنگ‌شناسی مخزن بنگستان است. این رابطه نشان می‌دهد که در افق‌های غنی از بلورهای شکلدار دولومیت با افزایش تخلخل، تراوایی (به ویژه تراوایی افقی) بصورت لگاریتمی افزایش می‌یابد.

با توجه به نبود داده‌های تراوایی برای ۳۵ چاه دیگر موجود در میدان، و با توجه به رگرسیون بالای نمودارهای ترسیم شده (شکل‌های ۶-الف و ب) و به

در شمال‌غرب رخساره‌های واجد بلورهای شکلدار دولومیت غالب بوده در حالیکه در بخش مرکزی بطور نسبی این رخساره‌ها کاهش می‌یابند و در جنوب‌شرق به کمترین مقدار خود می‌رسند. این روند تغییرات به دو عامل (الف) رخساره آهکی و (ب) نوع تخلخل بستگی دارد. در بخش جنوب‌شرق رخساره‌ها عمدتاً دانه تکیه‌گاهی هستند ولی در بخش شمال‌غرب بیشتر رخساره‌ها گل‌تکیه‌گاهی می‌باشند. داده‌های پتروفیزیکی در قسمت‌های جنوب‌شرق تخلخل‌های متغیر و بالایی را نشان می‌دهد که عمدتاً تخلخل‌های غیر مرتبط می‌باشد. به نظر می‌رسد این عامل می‌تواند باعث جلوگیری از حرکت سیال شده و فرآیند دولومیتی شدن را تحت تاثیر قرار دهد.

بررسی توزیع تخلخل در افق‌های دولومیتی شده (شکل ۳) می‌تواند تغییرات تخلخل ناشی از تغییرات رخساره‌ای در زونهای مختلف را نشان دهد. در زون‌های A و B مقدار تخلخل افق‌های دولومیتی شده در بخش مرکزی دارای مقادیر بالاتری می‌باشد. وجود تخلخل کم در بخش شمال‌غرب میدان علی‌رغم وجود افق‌های دولومیتی شده (شکل ۴-A و B) در این زون‌ها می‌تواند نشان دهنده وقوع پدیده دولومیت زدایی در این بخش باشد که باعث کاهش مقدار تخلخل گردیده است. لازم به ذکر است که این دو زون غیر تولیدی می‌باشند. در زون C در بخش شمال‌غرب میدان مقدار تخلخل افق‌های دولومیتی شده، مقدار بالاتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرق میدان نشان می‌دهد. در بخش جنوب‌شرق میدان میزان تخلخل کمترین مقدار است. همچنین در بخش شمال‌غرب میدان مقدار ضخامت افق‌های دولومیتی شده بیشتر است (شکل ۴-C). مقدار تخلخل بالای این افق‌ها نشان دهنده عدم تاثیر فرآیندهای کاهش دهنده تخلخل در این بخش از میدان می‌باشد. زون D بیشترین مقدار تخلخل در افق‌های دولومیتی شده در بخش مرکزی را نشان می‌دهد. نقشه هم‌ضخامت این زون در افق‌های دولومیتی شده نشان می‌دهد که در بخش شمال‌غرب و مرکز این افق‌ها گسترش بیشتری دارند (شکل ۴-D). مقدار کم تخلخل در بخش شمال‌غرب میدان می‌تواند نشان دهنده تاثیر فرآیندهایی همچون دولومیت زدایی و چرتی شدن باشد که باعث کاهش تخلخل گردیده است. بر اساس نقشه هم‌تخلخل افق‌های دولومیتی شده در زون E مشاهده می‌شود مقدار تخلخل و میزان ضخامت افق دارای بلورهای شکل دار در بخش شمال‌غرب نسبت به سایر بخش‌ها بیشتر است (شکل ۴-E). در زون F افق‌های دولومیتی شده (شکل ۴-F) دارای تخلخل بالاتری در بخش‌های جنوب‌شرق و مرکز میدان نسبت به بخش شمال‌غرب می‌باشند. در زون G، مقادیر تخلخل در کل میدان تقریباً یکسان است و تغییرات محسوسی را نشان نمی‌دهد.

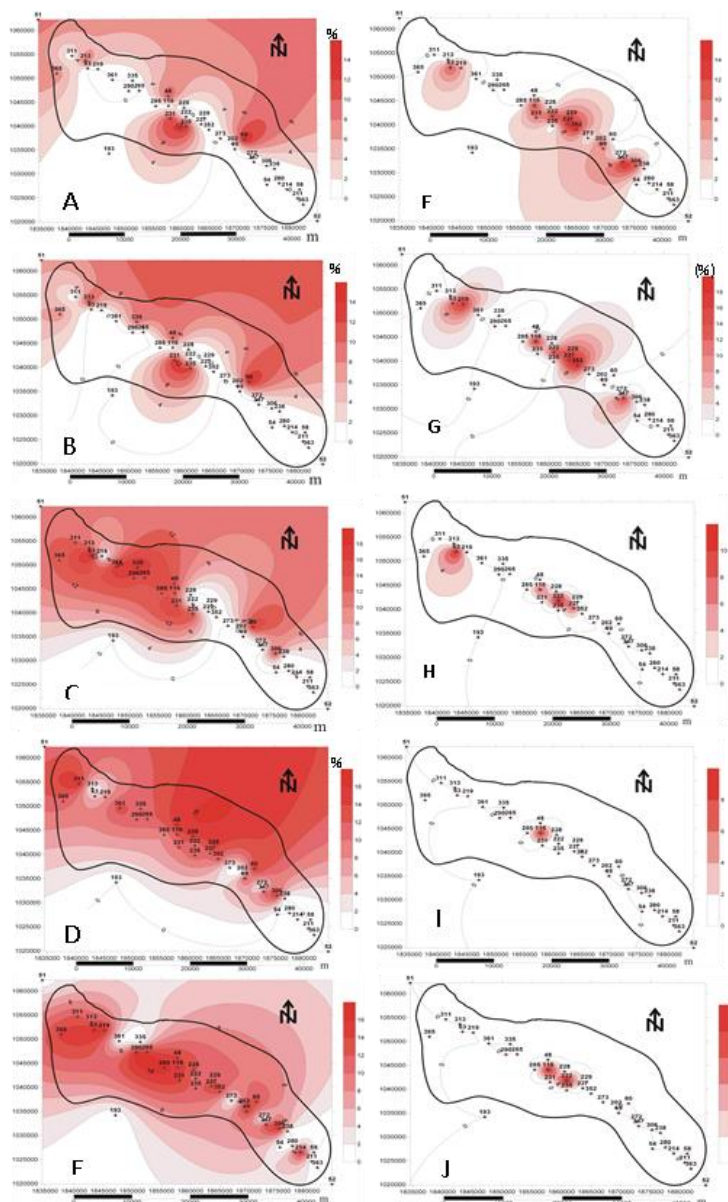
در زون H، مقادیر تخلخل (شکل ۳-H) در بخش‌های شمال‌غرب و مرکز میدان نسبت به جنوب‌شرق میدان بالاتر است. نقشه هم‌ضخامت نیز نشان دهنده گسترش بسیار کم افق‌های دولومیتی شده در بخش جنوب‌شرق است (شکل ۴). زون‌های I و J (شکل ۳-I و J) در بخش مرکزی دارای بیشترین مقدار تخلخل بوده (۱۰ درصد) می‌رسد.

تغییرات تخلخل نسبت به عمق در مقابل ستون سنگ‌شناسی رخساره‌های آهکی چاه‌های ۶۳، ۴۹ و ۵۸ به ترتیب از بخش‌های شمال‌غرب، مرکز و جنوب‌شرق میدان ترسیم شده است (شکل ۵). مشاهده می‌شود که دامنه تخلخل دارای تنوع زیادی است که این امر در اثر تغییرات دینامیکی فراوان در مخزن بنگستان صورت گرفته است. برای سایر چاه‌ها نیز نمودار تخلخل نسبت به عمق در مقابل ستون لیتولوژی رخساره‌های آهکی ترسیم شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در ستون لیتولوژی چاه‌های ۶۳ و ۴۹ زون‌های C و E مخزن بنگستان دولومیتی شده‌اند اما در چاه ۵۸ پدیده دولومیتی شدن در این زون‌ها روی نداده است.

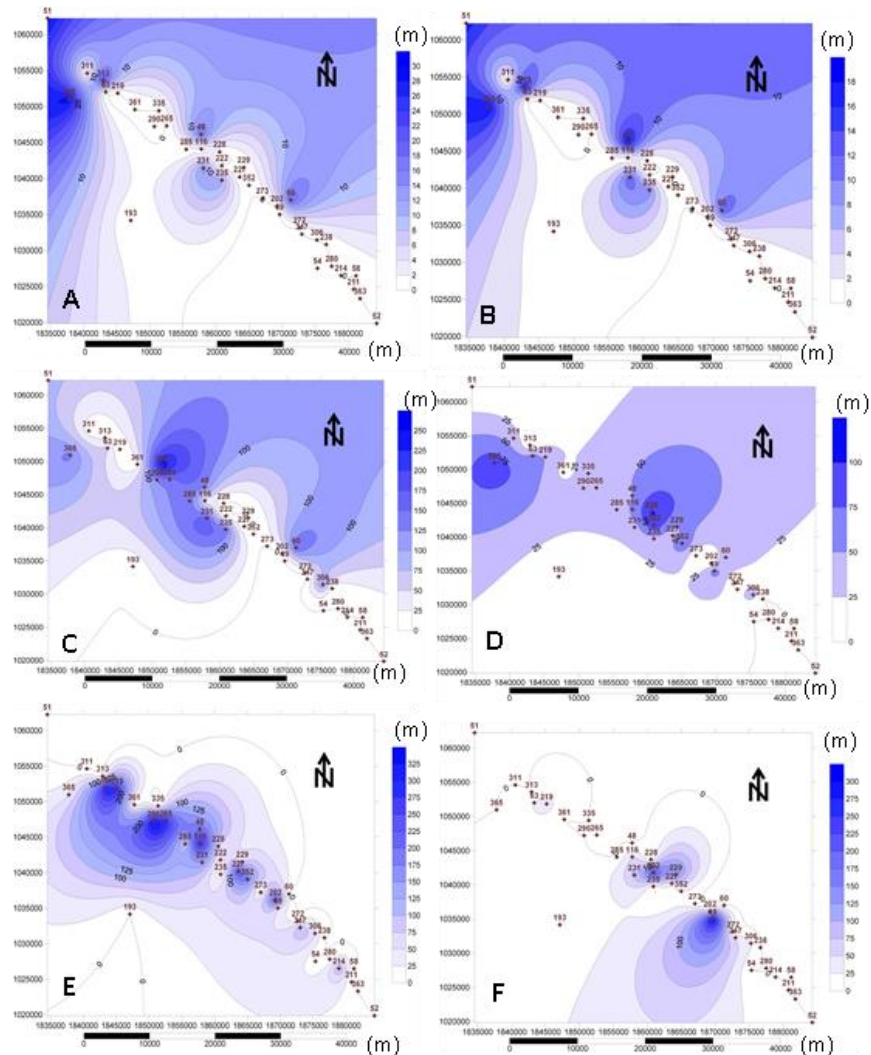
دولومیتی بیشتر از بخش‌هایی است که لیتولوژی آن سنگ آهک و چرت است و از آنجا که در اعماق حفرات توسط چرت پر شده‌اند میزان تخلخل، کاهش بیشتری را نشان می‌دهد. در واقع با افزایش عمق و تغییر فاز سیال تخلخل کاهش می‌یابد. در اعماق کمتر در اثر واکنش سیال، فرآیند دولومیتی شدن کلسیت بوقوع می‌پیوندد. در این حالت سیال نسبت به منیزیم فوق اشباع بوده و دولومیت رسوب می‌کند. سپس دولومیت با افزایش عمق و تغییر ترکیب فاز سیال تبدیل به کلسیت (دولومیت زدایی) می‌شود. در این حالت سیال نسبت به کلسیم فوق اشباع بوده است. سپس با افزایش عمق و تغییر ترکیبی بیشتر فاز سیال و اشباع بودن سیال از سیلیس، چرت رسوب می‌نماید. از لحاظ کیفیت مخزنی فرآیند دولومیتی شدن عامل افزایش تراوایی بوده، ولی فرآیندهای ددولومیتی شدن و چرتی شدن که همراه با افزایش حجم هستند تخلخل و در نتیجه تراوایی را در مخزن کاهش می‌دهد.

علت ارتباط مستقیم تخلخل و تراوایی به شکل بلورها و فراوانی آنها، می‌توان برای تعیین حدود تراوایی افقی و قائم افق‌های دارای بیش از ۲۵ درصد بلورهای شکلدار، در سایر چاه‌ها استفاده کرد. بدیهی است که می‌توان افق‌های دارای مقادیر کمتر بلورهای شکلدار دولومیت را نیز انتخاب و بر اساس آن رابطه تخلخل - تراوایی را بدست آورد. لازم به ذکر است در هنگام مطالعه رابطه دولومیتی شدن و تراوایی (افقی و قائم) بایستی اطمینان حاصل نمود که فرآیندهایی مانند دولومیت زدایی بر روی بلورهای شکلدار تاثیر نگذاشته باشد و به تبع آن باعث کاهش تخلخل نگردد. برای این منظور می‌توان با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی رنگ آمیزی شده توسط آلزارین قرمز، دولومیتی بودن یا دولومیت زدایی بلورهای شکل‌دار را بررسی نمود.

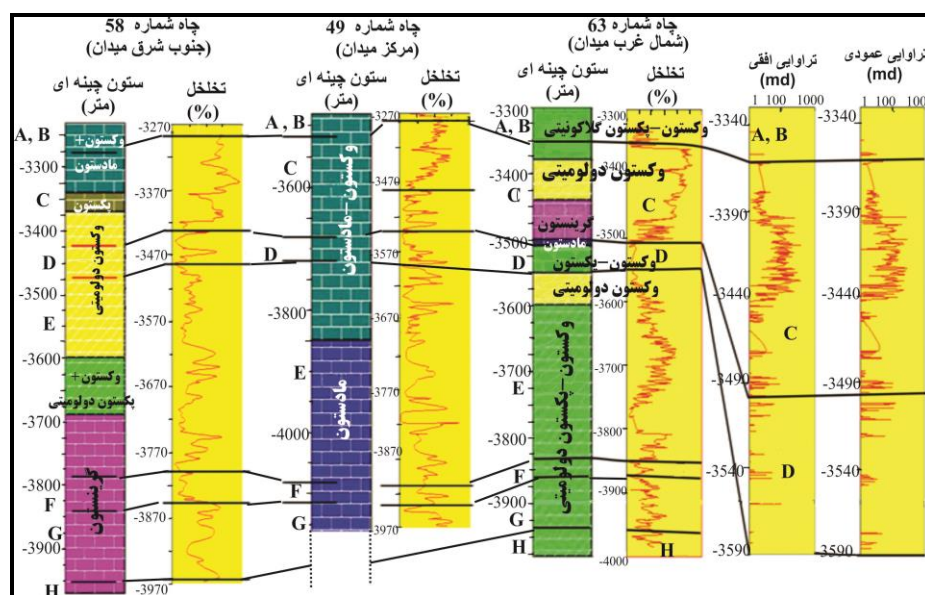
مطالعات پتروفیزیکی بر اساس نمودارهای پرتو گاما، نوترون و چگالی نشان داد که در افق‌هایی که فرآیند دولومیتی شدن را متحمل نموده، افزایش تخلخل و در مکان‌هایی با فرآیندهای دولومیت زدایی و چرتی شدن، کاهش تخلخل رخ داده است. همانگونه که دیده میشود (شکل ۷) تخلخل بخش‌های



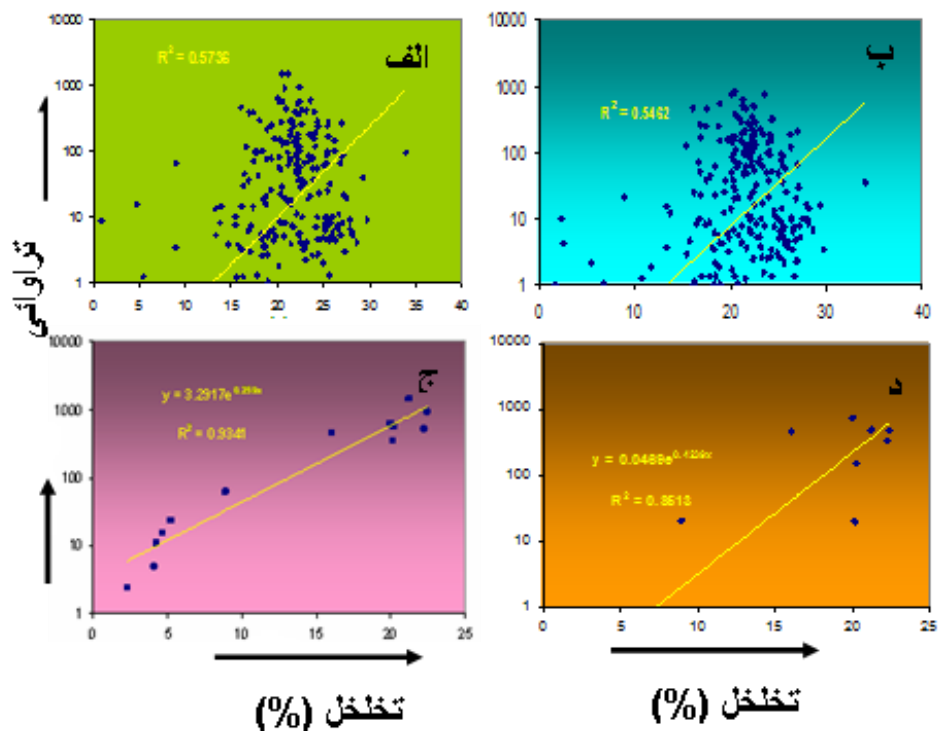
شکل ۳- نقشه هم‌تخلخل افق‌های دولومیتی شده مخزن بنگستان نفتی اهواز: A- زون A، B- زون B، C- زون C، D- زون D، E- زون E، F- زون F، G- زون G، H- زون H، I- زون I و J- زون J



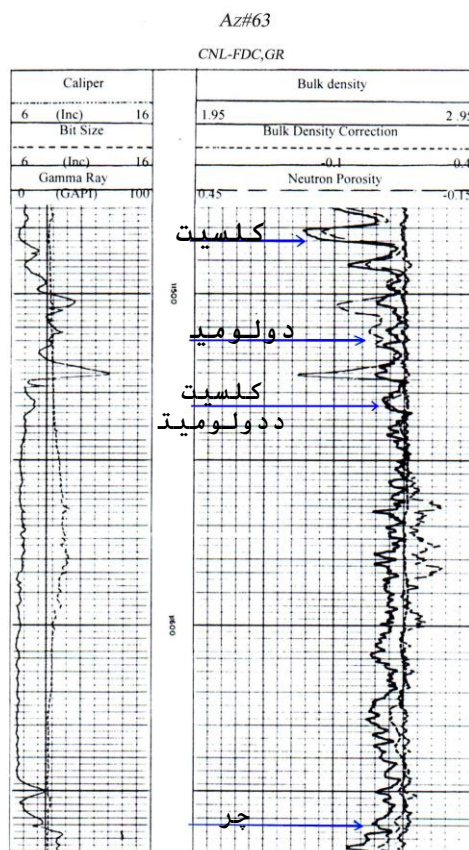
شکل ۴- نقشه هم‌ضخامت افق‌های دارای بلورهای شکلدار در بعضی از زونهای مورد مطالعه مخزن بنگستان: A-زون A, B- زون B, C- زون C, D- زون D, E- زون E, و F- زون F



شکل ۵- مقایسه نمودارهای سنگ شناسی و تغییرات تخلخل نسبت به عمق در چاه‌های انتخابی از بخش‌های مختلف میدان: (الف) چاه ۶۳ شمال‌غرب میدان؛ (ب) چاه ۴۹ در مرکز میدان؛ و (ج) چاه ۵۸ در جنوب شرق؛ همراه با نمودار تغییرات تراوایی افقی و عمودی.



شکل ۶- نمودارهای تخلخل - تراوایی: (الف) افقی؛ (ب) قائم؛ و نمودارهای تخلخل - تراوایی در افق‌هایی با بیش از ۲۵ درصد بلور شکل‌دار: (ج) افقی؛ (د) قائم در چاه شماره ۶۳ میدان نفتی اهواز.



شکل ۷- نمودار چاه شماره ۶۳ میدان نفتی اهواز، عمق ۱۱۶۸۰-۱۱۴۸۰ فوتی (۳۵۰۰-۳۵۶۱ متری). در این شکل با استفاده از وضعیت قرار گیری نمودارهای (CNL Compensated) (Formation Density Compensated) FDC، و همچنین نمودار (Gamma Ray) GR، کلسیت، دولومیت و دولومیت زدایی شناسایی می‌گردد. همانطور که مشاهده می‌شود افق‌های دارای چرت در اعماق تمرکز بیشتر ولی تخلخل کمتری دارند.

**نتیجه گیری**

براساس نقشه‌های هم‌ضخامت افق‌های دولومیتی شده در زون‌های مختلف، فراوانی بیشتر بلورهای شکل‌دار دولومیت در بخش‌های شمال‌غرب و مرکز میدان نسبت به بخش جنوب‌شرق است. نقشه‌های هم‌تخلخل افق‌های دولومیتی شده در این زون‌ها، بیشترین مقدار تخلخل را نیز در بخش مرکزی نشان می‌دهد. وجود بلورهای شکل‌دار فراوان در بخش شمال‌غرب و تخلخل کمتر نسبت به بخش مرکزی، می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر فرآیند دولومیت زدایی باشد که با حفظ شکل رومبوند بلورها، باعث کاهش تخلخل در این بخش از میدان گردیده است. در زون‌های تولیدی نیز تراوایی بالایی (بوئزه تراوایی افقی) را در این بخش‌ها به علت وجود بلورهای شکل‌دار تایید می‌نماید. هر چند در زون D، بخش شمال‌غرب میدان تخلخل کمتری را نسبت به بخش مرکزی بدلیل تأثیر فرآیندهای کاهش تخلخل همچون دولومیت زدایی و چرتی شدن نشان می‌دهد. فرآیند دولومیتی شدن در زون‌های عمیق مانند (زون F) نشان‌دهنده تأثیر بیشتر فرآیند دولومیتی شدن در بخش‌های مرکزی و جنوب‌شرق میدان و تخلخل بالاتر است. هر چند در زون H به عنوان یک زون غیر تولیدی، دولومیتی شدن در آن توسعه چندانی نیافته است ولی افق‌های واجد بلورهای شکل‌دار آن دارای تخلخل بهتری نسبت به سایر قسمت‌ها

های این زون بوده و پدیده‌هایی نظیر دولومیت زدایی و چرتی شدن تأثیر کمی داشته‌اند. زون‌های I و J تنها در بخش مرکزی افق‌های دولومیتی شده گسترش داشته و مقدار تخلخل آنها به ۱۰ درصد می‌رسد.

بر اساس داده‌های تراوایی و ترسیم نمودار تخلخل-تراوایی افقی و قائم برای افق‌های دارای بیش از ۲۵ درصد بلورهای شکل‌دار، رابطه خطی با رگرسیون ۰/۹۳ برای نمودار تخلخل-تراوایی افقی و ۰/۸۵ برای نمودار تخلخل-تراوایی قائم بدست آمد. با استفاده از معادلات رگرسیون این خطوط، به لحاظ ارتباط آن با شکل هندسی بلورها، برای تعیین میزان تراوایی در چاه‌های دیگر استفاده گردید. نتایج حاصله نشان داد که در شمال‌غرب میدان بواسطه وجود افق‌های دارای بلورهای شکل‌دار فراوان، تراوایی بالاتری وجود دارد.

**تشکر و قدردانی**

مؤلفین بر خود لازم می‌دانند از همکاری بخش پژوهشی و زمین‌شناسی مناطق نفتخیز جنوب در به اختیار گذاشتن داده‌ها و نیز زحمات کلیه همکاران و مسئولان پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و سایر افرادی که ما را در بهبود کیفیت ارتقا این مقاله یاری نمودند بویژه داوران محترم مقاله، کمال تشکر را نمایند.

**منابع**

- سوهانی، م.، ۱۳۶۶، برشهای چینه‌شناسی- ساختمانی میدان نفتی اهواز، گزارش شماره پ-۴۰۵۲، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب.
- Arzani, N., 2011, Stylolite networks in dolomitized limestones and their control on polished decorative stones: a case study from Upper Cretaceous Khur quarries, Central Iran. *J. Geop.*, Vol:1, No: 2, p: 25-37.
- Baker, P.A., and Kastner, M., 1981, Constraints on the formation of sedimentary dolomites. *Sci.*, Vol:123, p:214-216.
- Dickson, J. A. D., 1965, A modified technique for carbonates in thin section. *Nature*, Vol. 205, No. 4971, 587.
- Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in: *Classification of carbonate rocks, a Symposium* ed. W. Ham. AAPG, Mem 1, p.108-121
- Esfafil-dizaji, B., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Afshin, S., Kiani Harchegani, F., and Shahverdi, N., 2015, Characterization of rudist-dominated units as potential reservoirs in the middle cretaceous Sarvak Formation, SW Iran. *Facies*, Vol: 61, 14p. doi:10.1007/s10347-015-0442-8.
- Evamy, B. D., 1963, The application of a chemical staining technique to a study of dedolomitisation. *Sedimentology*, Vol: 2, P:164-170.
- Feng, H. Lu, and Meyers, W. J., 1998, Massive dolomitization of a late Miocene carbonate platform: a case of mixed evaporative brines whit meteoric water, Nijar, Spain. *Sedimentology*, Vol:45, p:263-277.
- Friedman, G.M., 1965, Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks: *Journal of sedimentary petrology*, Vol: 35, p: 643-655.
- Gao, G., and Land, L.S., 1991, Early Ordovician cook creek dolomite, Middle Arbuckle Group, Slick Hills, SW Oklahoma, USA: origin and modification, *J. Sediment. Petrol*, Vol: 61, p:161-173
- Gregg, J. M, Shelton, K.L., Johnson, A.W., Somerville, I.S., and Wright, W.R, 2001. Dolomitization of the Waulsortian limestone (Lower Carboniferous) in the Irish midlands. *Sedimentology*, Vol: 48, p: 745-766
- Gregg, J.M., and Sibley, D.F., 1984, Epigenetic Dolomitization the origin of xenotopic dolomite texture. *J.Sediment.petrol.*, Vol: 54, p: 907-931.
- Hally, R.B., and Schmoker, J.W., 1983. High porosity cenozoic rocks of south Florida: progressive loss of prosity with death. *Am. Ass. petrol. Geol. Bull.*, Vol: 67, p:191-200.
- Kaczmarek, S.E., Sibley, D.F., 2007, A comparison of nanometer-scale growth and dissolution features on natural and synthetic dolomite crystals: implications for the origin of dolomite. *J. Sediment. Res.*, Vol: 77, No: 5, p:424-432.
- Lippmann, F., 1982, Stable and metastable solubility diagrams for the system CaCO<sub>3</sub>- MgCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O at ordinary temperatures. *Bull. Mineral*, Vol: 105, p.273-279.
- Loucks, R.G., Budd, D.A., 1981, Diagenesis and Reservoir Potential of the Upper Jurassic Smackover Formation of South Texas. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, Vol: 31, p: 339-346.
- Lucia, F.J., 1999, *Carbonate Reservoir Characterization*. Springer, Berlin, 226 p.
- Lumsden, D.N., and Caudle, G.C., 2001, Origin of massive dolostone: the Upper Knox model. *J. Sediment. Res.*, Vol:71, p:400-409
- Martín-Martín, J.D., Gomez-Rivas, E., Gómez-Gras, D., Travé, A., Ameneiro, R., Koehn, D., and Bons, P.D., 2017, Activation of stylolites as conduits for overpressured fluid flow in dolomitized platform carbonates. *Geological Society of London Special Issue on Small to subseismic-scale reservoir deformation*, Vol: 459, p: 1-25.



- Mattes, B.W., and Mountjoy, E.W., 1980. Burial dolomitization of the upper Devonian Miette Buldup Jasper National park. Soc. Econ. Paleontol., Vol:28, p: 259-297.
- Mehmood, M., Yaseen, M., Khan, E.U., Khan, M.J., 2018, Dolomite and dolomitization model - a short review. Int. J. Hydro., Vol: 2, No: 5, P:549–553.
- Meng, H., Lv, Z., Shen, Z., and Xiong, C., 2019, Carbon and oxygen isotopic composition of saline lacustrine dolomite cements and its palaeoenvironmental significance: A case study of Paleogene Shahejie Formation, Bohai Sea. Minerals, Vol: 9, No: 13, 19p., doi:10.3390/min9010013.
- Meyers, W., Lu, J., and Zackariah, J., 1997, Dolomitization by mixed evaporative brines and freshwater, late miocen carbonate, J. Sediment. Petrol., Vol:67, p:898 -912
- Morrow, D.W., 1982, Diagenesis 2; Dolomite: part 2. Dolomitization models and ancient dolostones. Geosci.Cand., Vol:9, No:2, p:95-107.
- Sena, C.M., John, C.M., Jourdan, A.L., Vandeginste, V., Manning, C., 2014, Dolomitization of lower Cretaceous peritidal carbonates by modified seawater: constraints from clumped isotopic paleothermometry, elemental chemistry, and strontium isotopes. Journal of Sedimentary Research, 2014, Vol: 84, p:552–566.
- Sibley, D.F., Gregg, J.M., 1987, Classification of dolomite rock textures: J. sedimentology petrol., Vol:57, p:967-975.
- Sherkati, S., and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros Izeh zone and Dezful Embayment. Iran, Marine and Petroleum Geology, Vol: 21, p: 535–554.
- Sun, S.Q., 1995, Dolomite reservoirs; porosity evolution and reservoir characteristics. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., Vol:79, No:2, p:186-204.
- Tucker, M., and Wright, V.P., 1991, Carbonate Sedimentology. Black-Well scientific publications, Oxford, 482p.
- Walter, L.M., 1985, Relative reactivity of skeletal carbonates during dissolution: Implication for diagenesis in carbonate cements (N., Schneidermann and P.M., Harris, (ed.), Spec. Publ. Soc. Paleont. Miner., Vol: 38, p:1-11.
- Wood, G.V., and Lacassagne, R.M., 1965, The limestone of the Bangestan Group of the Iranian Offshore Oil Company Agreement Area, Report No. 1084 (Unpublished).
- Woody, R.E., Gregg, J.M., and Koederitz, L.F., 1996, Effect of texture on the petrophysical properties of dolomite-evidence from the Cambrian-Ordovician of Southeastern Missouri. AAPG. Bull., Vol: 80, No: 1, p:119-132.
- Zenger, D.H., Dunham, J.B., and Ethington, R.L., 1980, Concepts and models of dolomitization, Spec.Publ, -SEPM, Vol. 28, 320p.
- Zhao, F.Z., and Kui, J.Z., 1994, Type and origin of dolostones in the Lower palaeozoic of North China platform. Sedimentary Geology, Vol: 93, p:270-290.