

# کاربرد توموگرافی نوع تخلخل در بازسازی تکامل مخازن کربناته، سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس

فواد سجادی<sup>۱</sup>، وحید توکلی<sup>۲</sup>، ابراهیم سفیداری<sup>۳</sup> و محمد امامی نیری<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی نفت، گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده گروه سافت راک، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی نفت، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی، تهران

۴. استادیار انستیتو مهندسی نفت، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲

## چکیده

در این مطالعه، مدل‌سازی نگار انحراف سرعت بازسازی شده از نگارهای چاه‌پیمایی، برای تعیین انواع تخلخل موجود در سازندهای کربناته کنگان و دالان در یکی از میادین مرکزی خلیج فارس انجام شد. برای این منظور اطلاعات مغزه یک چاه شامل تخلخل، تراوایی و مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک، به همراه نگارهای چاه‌پیمایی از ۱۲ چاه دیگر مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از بازسازی نگار انحراف سرعت بر اساس نگارهای چگالی، نوترون و صوتی، سه زون انحراف سرعت با ویژگی تخلخل مشخص و یک زون بدون تخلخل شناسایی شد. مدل سه‌بعدی نگار انحراف سرعت پیش‌بینی شده در محل چاه‌ها نشان داد که زون K1 بیشتر متراکم و بدون تخلخل، در بعضی موارد دربرگیرنده تخلخل قالبی و تا حدود اندکی تخلخل بین‌بلوری است. این نوع تخلخل‌ها در اثر کاهش سطح آب دریا در انتهای این واحد در نتیجه، انحلال و دولومیتی‌شدن تشکیل شده است. زون مخزنی K2 بیشتر دربرگیرنده تخلخل بین‌بلوری و به مقدار خیلی کمتر تخلخل قالبی است که نشان‌دهنده دولومیتی‌شدن در عمق کم آب در اغلب بخش‌های این واحد است. بخش K3، بیشتر دربرگیرنده بخش متراکم و بدون تخلخل، در بعضی حالات تخلخل قالبی و به مقدار کمتر تخلخل شکستگی در بخش پایینی خود می‌باشد. زون مخزنی K4 در بخش‌های بالایی دارای تخلخل از نوع بین‌بلوری و بین‌دره‌ای است که در عمق کم آب در انتهای تشکیل این واحد ایجاد شده‌اند. تخلخل‌های قالبی در اثر انحلال در بخش پایینی آن، در محیط دیاژنز جوی ایجاد شده است. در بعضی موارد تخلخل شکستگی در این واحد مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی نگار انحراف سرعت در این مطالعه، تطابق قابل قبولی با نتایج سایر مطالعات مخزنی دارد که نشان‌دهنده توانایی مدل‌سازی نگار انحراف سرعت در بررسی تغییرات بزرگ‌مقیاس مخزنی است.

واژه‌های کلیدی: بخش متراکم، کنگان و دالان، مدل انحراف سرعت، نگار انحراف سرعت.

## مقدمه

به علت ناهمگن بودن مخازن کربناته، چالش‌های زیادی در مطالعه آنان پیش‌رو است. از جمله‌ی این چالش‌ها، تغییرات کوچک‌مقیاس شاخص‌های مخزنی

مانند تخلخل است. تخلخل در مخازن کربناته همواره نشانگر ترکیبی از اثرات فرآیندهای زمین‌شناسی است و در بسیاری از موارد منعکس‌کننده‌ی فرآیندهای چندگانه‌ی

\* نویسنده مرتبط: ebrahimsfidari@ut.ac.ir

مکان بازسازی شد. نتایج نشان‌دهنده چگونگی تغییر نوع تخلخل و در نتیجه فرآیندهای رسوبی و دیاژنزی تشکیل‌دهنده کیفیت مخزنی سازند در طول زمان خواهد بود. همچنین برای تعیین اعتبار مدل و داده‌های حاصل از نگار انحراف سرعت، مدل سه‌بعدی حاصل از تخلخل میدان با مطالعات پتروگرافی به‌دست‌آمده از داده‌های مغزه، مورد مقایسه قرار گرفته است.

### زمین‌شناسی سازند مورد مطالعه

بعد از پرمین میانی، ایران مرکزی از بلوک اصلی جدا شده و به طرف شمال حرکت کرده و اقیانوس نئوتتیس گسترش یافته است (Berberian and King, 1981). در طی پرمین میانی تا پسین، آب و هوا به تدریج گرم‌تر و خشک‌تر شده است. در نتیجه پلاتفرم وسیع کربناته-تبخیری گسترش یافته و سبب رسوب‌گذاری توالی ضخیم کربناته-تبخیری سازندهای کنگان و دالان شده است (آقنابتی، ۱۳۸۳). این کربنات‌ها، سنگ‌های مخازن میادین بسیاری در خلیج فارس و نواحی اطراف آن را تشکیل داده‌اند (Sfidari et al., 2014). سازندهای کنگان و دالان معادل سازند خوف<sup>۳</sup> در نام‌گذاری عربی هستند.

دالان بالایی سنگ مخزن است و از پایین به بالا به ترتیب به افق‌های مخزنی K4 و K3 تقسیم‌بندی شده و متشکل از طبقات آهکی اوولیتی<sup>۴</sup>، دولومیت‌های خاکستری اوولیتی و پلت‌دار با تخلخل بالا می‌باشد (Sfidari et al., 2012). تخلخل و نفوذپذیری مناسب واحد K4 سبب شده است که این بخش بیشترین حجم هیدروکربوری را در خود جای داده و بالاترین میزان تولید را در اکثر میادینی که سنگ مخزن به حساب می‌آید، دارا باشد (Insalaco et al., 2006).

سازند کنگان با یک سطح فرسایشی و به صورت هم‌شیب روی سازند دالان قرار گرفته است. این سازند در تریاس زیرین با ترکیب کربناته (بخش زیرین) و شیلی

تغییرات دیاژنزی در طول تاریخچه‌ی تدفین است. تخلخل فاکتور اصلی کنترل‌کننده‌ی سرعت صوت در سنگ‌های مخزنی است. در مورد مخازن کربناته، نوع تخلخل به همان اندازه‌ی مقدار تخلخل در رفتار کشسانی و سرعت صوت در سنگ‌ها نقش دارد. در رسوبات آواری، فشردگی، عامل مهمی در کاهش تخلخل و افزایش سرعت صوت در رسوبات است. اما در رسوبات کربناته، فشردگی، عمق تدفین رسوب و یا تاریخچه‌ی آن، به نسبت اهمیت کمتری روی سرعت دارند. سرعت در رسوبات کربناته، بیشتر از ترکیب فرآیندهای دیاژنزی تاثیر می‌پذیرد که سبب توزیع سرعت‌های خاصی در رسوبات کربناته می‌شود. لذا با آنالیز انواع تخلخل و بازسازی<sup>۱</sup> آنها در طول زمان، می‌توان تحلیل مناسبی روی نحوه‌ی شکل‌گیری و اثرگذاری فرآیندهای دیاژنزی متغیر در این مخازن انجام داد. یکی از این آنالیزها، استفاده از نگار انحراف سرعت<sup>۲</sup> و مدل کردن سه بعدی این نگار برای ترسیم انواع تخلخل در طول زمان و مکان است. برای ساخت این نگار، داده‌های موجود از نگارهای تخلخل (نوترون-چگالی)، با استفاده از معادله‌ی زمان-میانگین وایلی، به سرعت مصنوعی تبدیل شده و اختلاف آن با سرعت واقعی حاصل از نگار صوتی، به‌عنوان نگار انحراف سرعت بیان می‌شود. با استفاده از انحراف این نگار از مقدار صفر، نوع تخلخل مشخص می‌شود. از کاربردهای دیگر نگار انحراف سرعت، تشخیص فرآیندهای دیاژنزی و روند تراوایی با استفاده از داده‌های تخلخل و نگار صوتی است. مطالعات مربوط به محاسبه‌ی نگار انحراف سرعت، برای اولین بار توسط Anselmetti and Eberli (1999) به‌عنوان ابزاری برای تعیین گونه‌های مختلف تخلخل و روند تراوایی در محل چاه معرفی شد. سپس در میدان‌های مختلف در ایران توسط افراد مختلفی از جمله حسینی و همکاران (۱۳۹۱) در میدان نفتی کیلور و رضایی‌پرتو (۱۳۸۶) در میدان نفتی آسماری آزمایش شد. در این مطالعه برای اولین بار با استفاده از داده‌های چاه‌نگاری، مقادیر انحراف سرعت در سازندهای کنگان و دالان (پرمین-تریاس) در یکی از میدان‌های خلیج فارس به صورت مدل سه‌بعدی، نوع تخلخل در طول زمان و

1. Reconstruction

2. Velocity Deviation Log (VDL)

3. Khuff Formation

4. Oolitic Limestone

بوئل و تراوایی با استفاده از قانون دارسی تعیین شد. برش سر و ته پلاگها برای تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی استفاده شد. کلیه مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شده و نوع و درصد تخلخلها با استفاده از روش چشمی و نمودارهای مقایسه‌ای تعیین شد. در مراحل مختلف این مطالعه، ابتدا از هر یک از چاهها، نگار انحراف سرعت با استفاده از داده‌های چاه‌نگاری محاسبه شد. سپس برای مدل‌سازی نگار انحراف سرعت، با وارد کردن اطلاعات موردنیاز بر روی نرم‌افزار مدل‌سازی، مدل سه‌بعدی از نگار انحراف سرعت به روش زمین‌آماری، برای میدان مورد مطالعه ساخته شد. درنهایت بعد از استخراج انواع تخلخل، مدل ساخته شده در موقعیت چاه A، با مطالعات پتروگرافی حاصل از مغزه مورد مقایسه قرار گرفته و برای کل میدان، اعتبارسنجی شد. مدل ساخته شده با استفاده از داده‌های پتروگرافی تفسیر شد. مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

### محاسبه‌ی نگار انحراف سرعت

در مخازن گازی برای محاسبه‌ی نگار انحراف سرعت، نیاز به استفاده از ترکیب تخلخل حاصل از نگار نوترون و چگالی ( $\rho_{ND}$ ) است. در این مطالعه پس از تصحیحات محیطی، محاسبه حجم شیل با استفاده از لاگ گاما (روش خطی) و تصحیح آن، نگار انحراف سرعت از تفاوت نگار صوتی و سرعت محاسبه شده از تخلخل حاصل از ترکیب نگارهای نوترون و چگالی، محاسبه شد. در شکل ۲ نتیجه محاسبات در چاه A مشاهده می‌شود که در آن نگار انحراف سرعت تطابق خوبی با تخلخل مغزه نشان می‌دهد. از آنجاکه انحرافات نتیجه‌ی تغییرپذیری سرعت در یک تخلخل مشخص است، سه زون بر اساس مطالعات

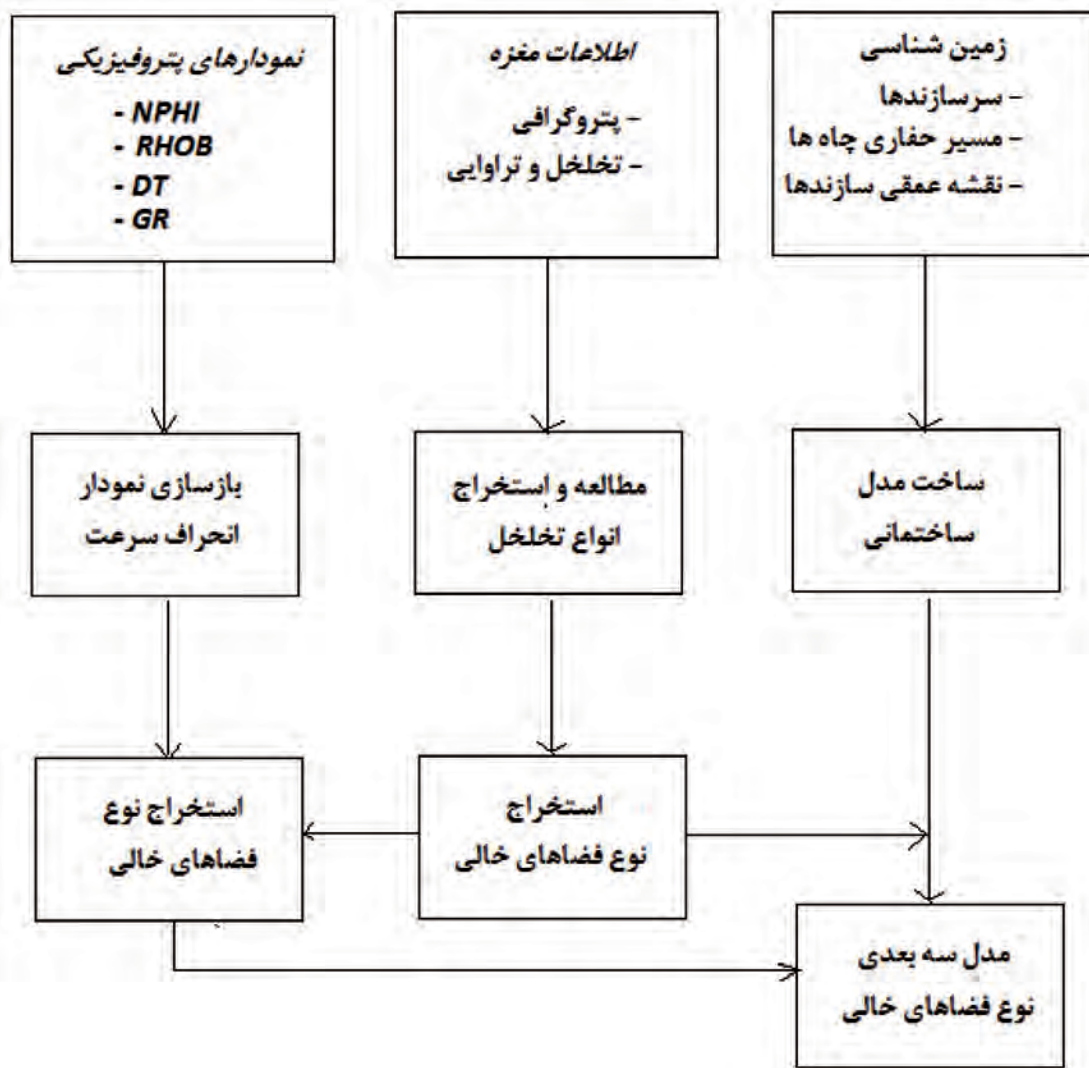
(بخش بالایی) بر روی سازند دالان تهنشین شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). رسوبات این سازند بیانگر تهنشینی در محیط‌های رسوبی کم‌عمق ساحلی شامل سابخا، پهنه‌ی جزرومدی و لاگون می‌باشد. از نظر مخزنی سازند کنگان به دو واحد K1 و K2 تقسیم گردیده است. بخش K2 بیشتر آهکی بوده که در بخش زیرین شامل آهک‌های اوولیتی و ترومولیتی است و بخش بالایی آن دولومیت آهکی می‌باشد. کیفیت مخزنی این بخش بالا می‌باشد (تخلخل و تراوایی بالا) و شامل گاز خشک و میعانات گازی است و از نظر کیفیت مخزنی بعد از لایه‌ی K4 در درجه‌ی دوم اهمیت قرار دارد. در اکثر میادین بین سازندهای کنگان و دالان انفصال هیدرولیکی وجود ندارد و این دو سازند اغلب یک مخزن واحد را تشکیل می‌دهند (Tavakoli et al., 2018).

### روش مطالعه

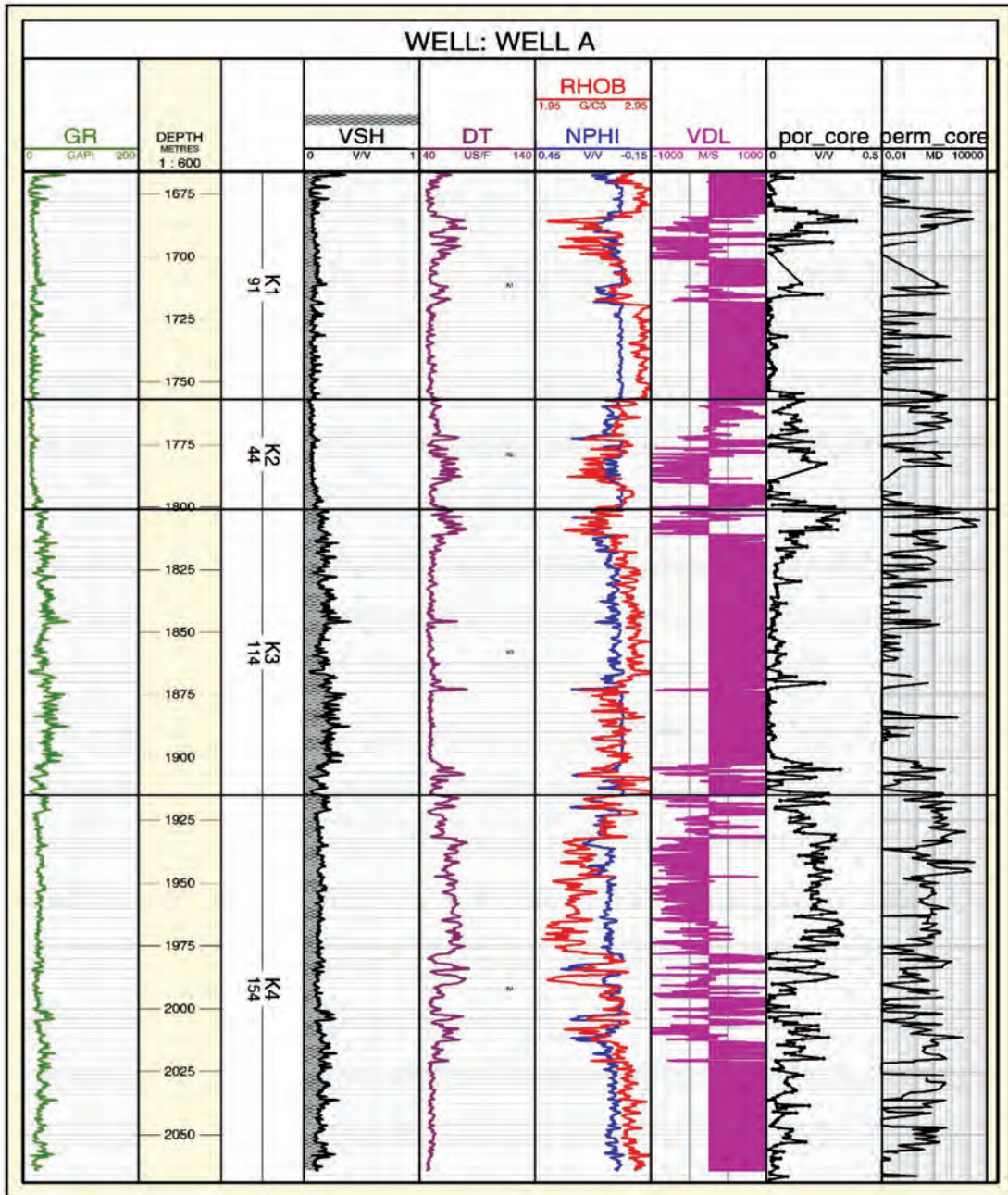
در این مطالعه برای توموگرافی<sup>۱</sup> و بازسازی انواع تخلخل، از اطلاعات حاصل از ۱۳ چاه، از سازندهای کنگان و دالان در چهار واحد (K1-K2-K3-K4)، با سن پرمین-تریاس و لیتولوژی غالب کربناته در یکی از میادین بخش مرکزی خلیج فارس استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل (۱) نگارهای تخلخل نوترون، چگالی، صوتی و گاما حاصل از چاه‌نگاری سازندهای مورد مطالعه‌ی مربوط به همه‌ی چاهها (۲) مطالعات پتروگرافی شامل تشخیص رخساره‌ها، عوامل دیاژنی، نوع تخلخل، داده‌های تخلخل و تراوایی مربوط به مغزه از چاه A و (۳) داده‌های ورودی برای مدل‌سازی نگار انحراف سرعت، شامل اطلاعات چندگانه موقعیت چاهها<sup>۲</sup>، اطلاعات مسیر حفاری چاهها<sup>۳</sup>، اطلاعات سرسازندها<sup>۴</sup>، اطلاعات پتروفیزیکی چاه‌های ارزیابی شده<sup>۵</sup> و اطلاعات نقشه‌ی کنتوری میدان<sup>۶</sup> بودند. در ضخامت ۴۱۰ متری سازندهای کنگان و دالان از چاه A، نمونه‌های پلاگ به فاصله ۲۵ سانتی‌متر برداشت شد. کلیه پلاگها با استفاده از روش شستشوی ساکسلت<sup>۷</sup> تمیز شد. تخلخل با استفاده از قانون

1. Tomography
2. Well head
3. Well deviation
4. Well top
5. Well log
6. Under ground contour map
7. Soxhlet extraction

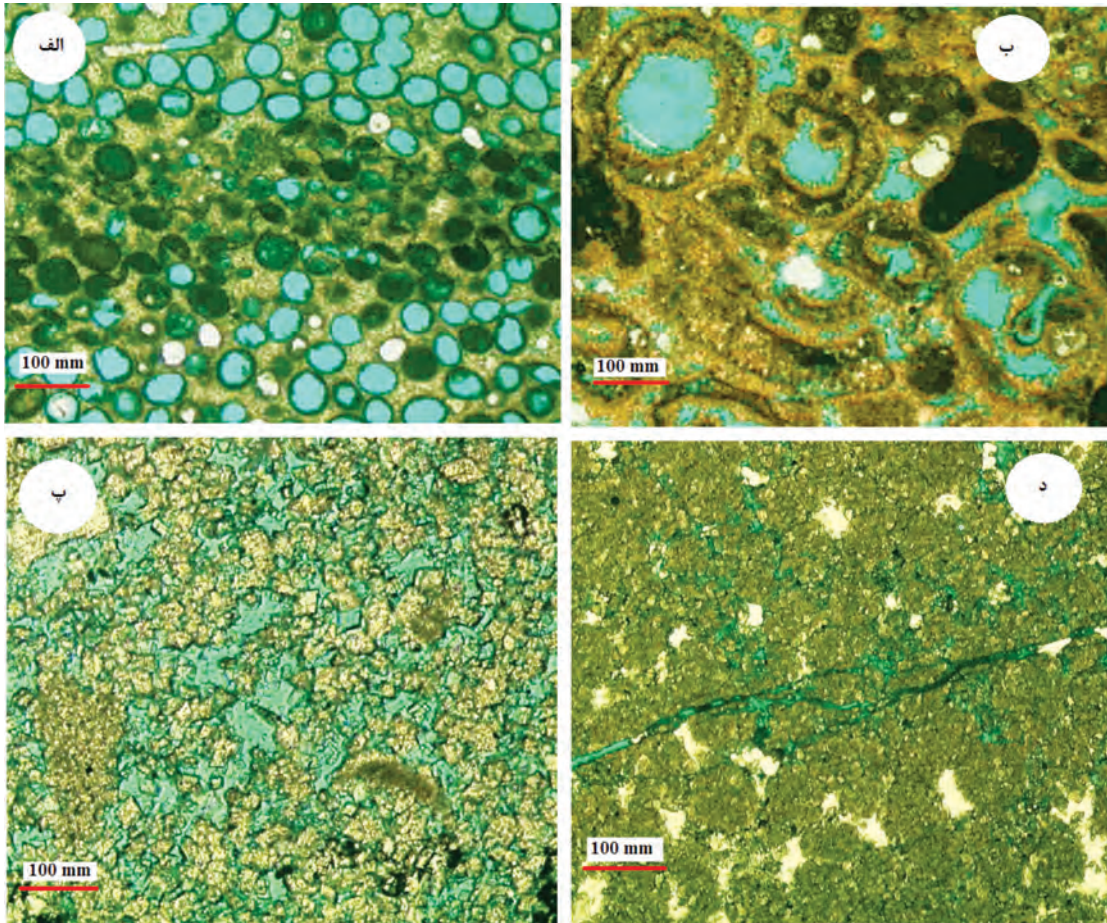
(1999) Anselmetti and Eberli، برای نگار انحراف سرعت در شکل ۲ قابل تشخیص است. این زون بیشتر در بازه‌های K1، K3 و انتهای K4 دیده می‌شود. انحراف مثبت به دلیل حضور تخلخل‌های منفرد و مجزا در سنگ ایجاد می‌شود. در برخی موارد، مواد محلول به شکل سیمان‌های چگال ته‌نشست شده و ارتباط بین فضاهای خالی را مسدود می‌نمایند. این زون سرعت بالا در نگار صوتی حاصل از چاه، و تخلخل و تراوایی پایین را در مطالعات مغزه نشان می‌دهد (شکل‌های ۲ و ۳-الف و ب).



شکل ۱. فلوچارت بازسازی نگار انحراف سرعت، استخراج نوع تخلخل و مدل‌سازی آن در میدان



شکل ۲. نگار انحراف سرعت حاصل از داده‌های چاه‌نگاری و مقایسه‌ی آن با تخلخل مغزه، از چپ به راست به ترتیب ستون نگار GR، ستون عمق، ستون بخش‌های سازند، حجم شیل، لاگ صوتی، لاگ نوترون با لاگ چگالی، لاگ انحراف سرعت، تخلخل و تراوایی حاصل از مغزه زون‌های دارای انحراف مثبت ( $\Delta V_p \geq +500 \frac{m}{p}$ )



شکل ۳. الف) نمونه مقاطع پتروگرافی از زون‌های مختلف انحراف سرعت، گریستون دارای لایه‌بندی با تخلخل انحلالی قالبی، ب) گریستون لیتوکلاستیک جلبکی با تخلخل قالبی بالا، پ) دولومیت بلورین با تخلخل‌های بین‌بلوری و به هم متصل بالا، د) گرین استون دولومیتی شده با تراوایی حاصل از شکستگی

**زون‌های دارای انحراف منفی ( $\Delta V_p \leq -0.00 \frac{m}{s}$ )**  
 این زون به نسبت خیلی کم، نسبت به زون‌های دیگر در هر چهاربخش بازه‌های عمقی گسترش دارد. دلیل این انحراف منفی را با شکستگی‌ها و محتوای گاز آزاد توجیه کرده‌اند. سرعت خیلی کم از لاگ صوتی و تراوایی بسیار بالا از مغزه، مربوط به این زون می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳-د).  
 برای شناسایی محیط متراکم در مطالعات پتروگرافی و مدل سه‌بعدی، به ترتیب مقدار تخلخل کل صفر و مقدار لاگ نوترون کمتر از دو درصد مورد استفاده قرار گرفت.

**زون‌های دارای انحراف صفر ( $-500 \frac{m}{s} < \Delta V_p < +500 \frac{m}{s}$ )**  
 انحراف کم سرعت در این زون مربوط به تخلخل‌هایی است که اغلب به یکدیگر مرتبط می‌باشند و توزیع یکنواختی در سنگ نشان می‌دهند. از این تخلخل‌ها به تخلخل بین‌بلوری<sup>۱</sup> و بین‌دانه‌ای<sup>۲</sup> می‌توان اشاره کرد. ارتباط خوب بین فضاهای خالی آنها باعث ایجاد بخش‌های مخزنی K2 و K4 در سازندهای کنگان و دالان شده است. در این زون، نگار صوتی دارای سرعت کمتر و تخلخل حاصل از مغزه مقدار بالایی را نشان می‌دهد. تراوایی در این زون نسبت به زون انحراف مثبت به علت ارتباط خوب تخلخل‌ها باهم، مقادیر بالایی دارد. در بازه‌هایی که انحراف سرعت بالا و تراوایی پایین است، ریزتخلخل‌ها<sup>۳</sup> در سنگ حضور دارند (شکل ۲ و ۳-پ).

1. Intercrystalline  
 2. Interparticle  
 3. Micro porosity

## مدل سازی سه بعدی

لایه‌ی مخزنی K2 به دلیل ضخامت کم زون و کم بودن داده در جهت عمودی، مقدار تغییرات عمودی آن عدد کمتری نسبت به سایر لایه‌ها نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات افقی مربوط به زون K3 و بیشترین تغییرات عمودی مربوط به زون K4 بود. سایر متغیرهای وارپوگرام برازش شده‌ی لاگ انحراف سرعت در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به اطلاعات کم از داده‌های میدانی و پراکنده بودن آنها، برای مدل سازی میدان از روش شبیه سازی متوالی گوسی<sup>۱</sup> استفاده شد. روش شبیه سازی متوالی گوسی که به اختصار به آن (SGS) گفته می‌شود، الگوریتمی مناسب برای شبیه سازی متغیرهای پیوسته به حساب می‌آید. در

جدول ۱. متغیرهای وارپوگرام برازش شده نگار انحراف سرعت

نام زون	مدل وارپوگرام	جهت اصلی	عمود بر جهت اصلی	جهت عمودی	اثر قطعه‌ای	سقف
K1	کروی	۹۹۴۶/۸۴۲	۹۰۲۴/۶۷۴	۳۰/۱۶۷	۰/۰۸	۱
K2	کروی	۱۰۷۲۲/۰۰	۱۰۴۹/۰۶	۱۷/۳۳۷	۰/۰۸	۱
K3	نمائی	۱۰۹۷۳/۱۳	۹۲۹۶/۴۷	۴۵/۸۵۴	۰/۰۸	۱
K4	کروی	۱۰۷۷۶/۶۰	۹۱۰۸/۰۶۹	۶۷/۶۱۸	۰/۰۸	۱

## بحث

### اعتبارسنجی مدل

نگارهای تخلخل و انحراف سرعت برای چگونگی توزیع مقدار تخلخل و سرعت در تمام گستره‌ی میدان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به ضخامت میانگین ۹۰ متر برای واحد K1 در چاه‌های مورد مطالعه، این واحد برای هر یک از نگارهای تخلخل و انحراف سرعت با فواصل ۲۰ متری به پنج لایه تقسیم بندی شد و از این پنج لایه، نقشه‌ی میانگین گرفته شد تا از نظر زمانی تغییرات این نگارها در واحد K1 مشاهده شود (شکل‌های ۶ و ۷). لایه‌ها از بالا به پایین بر اساس فاصله به متر از سرسازند کنگان نام گذاری شوند. در بالاترین بخش سازند کنگان، تخلخل و انحراف سرعت مقادیر بالایی را نشان می‌دهند (شکل‌های ۶ و ۷، برش ۱). در این بخش به سبب افت سطح آب دریا و نزدیک شدن به سازند آواری-تبخیری دشتک، تخلخل قالبی سبب ایجاد کیفیت مخزنی مناسبی شده است. با توجه به حضور تخلخل‌های قالبی، رخساره اصلی از سنگ‌های دانه‌پشتیبان تشکیل می‌شود. به سمت پایین در برش ۲۰، میزان تخلخل کاهش و انحراف سرعت افزایش می‌یابد. در همین زمان، در بخش‌هایی از حوضه (شمال شرقی)، انحراف سرعت نزدیک به صفر مشاهده می‌شود. حضور ریزتخلخل‌ها در این بخش از برش

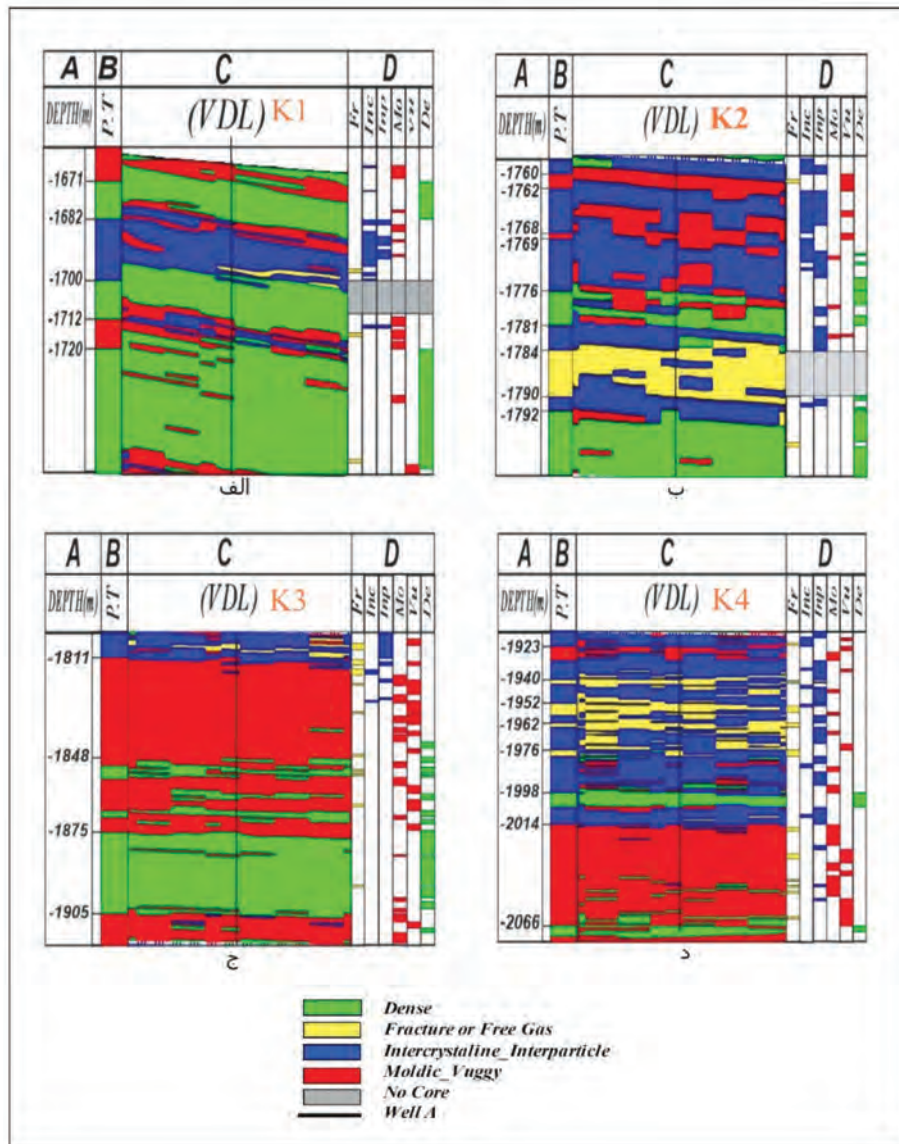
برای اعتبارسنجی، مدل به دست آمده از نگار انحراف سرعت در موقعیت چاه A با انواع تخلخل استخراج شده از مطالعات پتروگرافی مورد مقایسه قرار گرفت (شکل‌های ۴ و ۵). بیشترین ضخامت در امتداد چاه A واحد K1 را تخلخل‌های کمتر از دو درصد تشکیل می‌دهند. برای مدل سازی، ۱۰ بازه عمقی از انواع تخلخل در طول چاه A برای واحد K2 شناسایی شد که بیشترین ضخامت را تخلخل بین‌بلوری تشکیل داده و عامل اصلی مخزنی بودن آن هستند. در واحد K3 هشت بازه عمقی تخلخل بازسازی شد که بیشترین ضخامت در بخش بالا را تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی تشکیل داده و در بخش پایین تخلخل‌های کمتر از دو درصد تشکیل می‌دهند. واحد مخزنی K4 نیز به ۱۶ بازه مختلف تخلخل تقسیم شد. بیشترین ضخامت، متعلق به تخلخل بین‌دانه‌ای است (شکل ۴). تطابق بالایی بین انواع تخلخل‌های مدل سازی شده با انواع تخلخل به دست آمده از مطالعات پتروگرافی مغزه دیده می‌شود.

پس از آنکه صحت مدل تایید شد، از نحوه‌ی تغییرات انواع تخلخل در مدل سه بعدی، برای بازسازی شرایط تشکیل مخزنی میدان از نظر رخساره، محیط رسوبی و عوامل دیاژنی استفاده شد. ابتدا نقشه‌های میانگین از

1. Gaussian sequential simulation

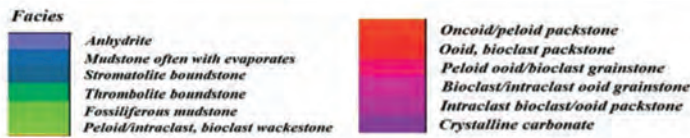
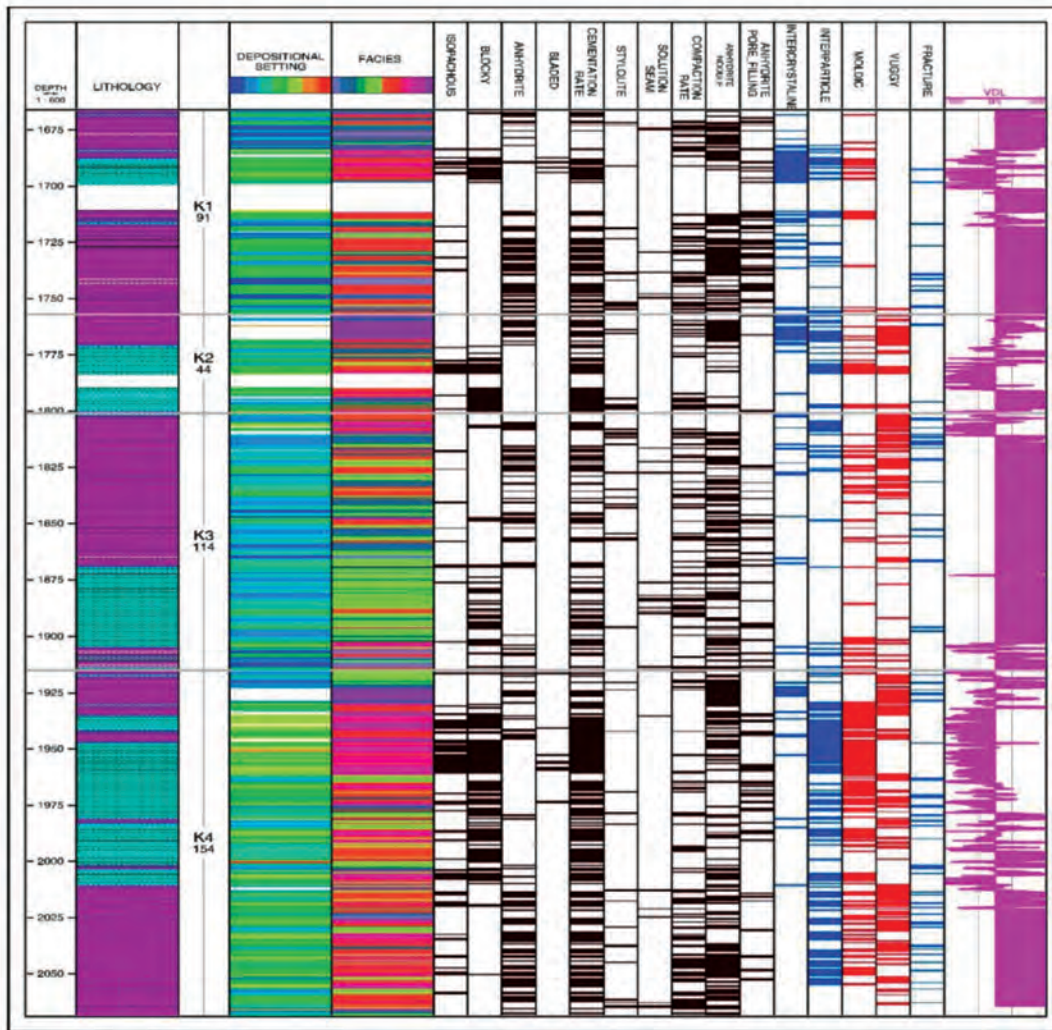
است. برش ۸۰ دارای تخلخل پایین و انحراف سرعت بالا است که بخش‌های فاقد تخلخل را نشان می‌دهد. تغییرات جانبی به‌طور کلی در هر پنج لایه با افزایش عمق به سمت شرق میدان دارای روندی کاهشی است. در واحد K1 فرآیندهای انحلال و دولومیتی شدن در اغلب موارد سبب افزایش تخلخل شده است. در بخش‌های بدون تخلخل، علاوه بر نبود این دو پدیده، رخساره‌های غالب مادستونی در کمر بند سابخایی و پهنه‌ی جزر ومدی نهشته شده‌اند.

۲۰ می‌تواند کمترین عمق آب در زمان رسوب‌گذاری حوضه را نشان دهد. در برش ۴۰، تخلخل متوسط (حدود ۱۰ درصد در بیشتر بخش‌های حوضه) و انحراف سرعت نزدیک به صفر است. این بخش منطبق بر بخش دولومیتی میانی واحد K1 است. تخلخل متوسط به سبب دولومیتی شدن در بخش‌های مختلف سنگ یکنواخت بوده و انحراف به حداقل رسیده است. با افزایش میزان دولومیتی شدن در برش ۶۰ تخلخل افزایش و انحراف سرعت همچنان پایین

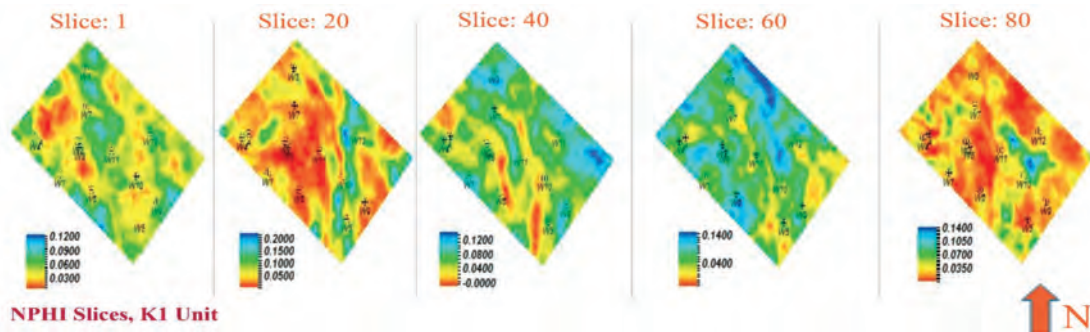


شکل ۴. مدل خروجی نگار انحراف سرعت و تطابق آن با مطالعات حاصل از مغزه در واحدهای: الف) K1، ب) K2، ج) K3، د) K4، از چپ به راست به ترتیب ستون A (عمق)، ستون B (نوع تخلخل غالب در امتداد چاه A)، ستون C (مدل نگار انحراف سرعت)، ستون D (مطالعات حاصل از مغزه)





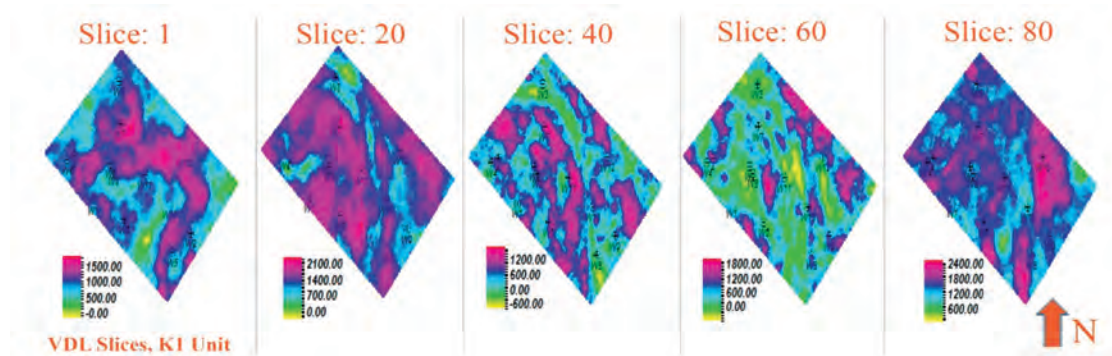
شکل ۵. لاگ رسوبی از سازندهای کنگان (K1 و K2) و دالان (K3 و K4) برای ارتباط انواع تخلخل با رخساره، محیط رسوبی و فرآیندهای دیازیزی



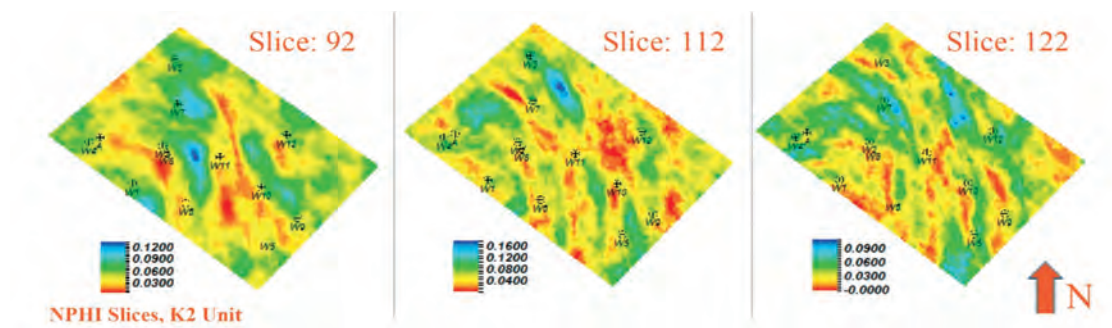
شکل ۶. نقشه‌های میانگین برای مقادیر تخلخل، واحد K1 از سازندهای کنگان در برش‌های مختلف

کیفیت مخزنی خوبی از خود نشان می‌دهد (شکل ۸). توزیع مقادیر انحراف سرعت نیز در این واحد، از نظر تغییرات زمانی در سه لایه‌ی گرفته شده از آن یکسان است، اما در هر سه لایه با افزایش عمق به سمت شرق میدان، مقادیر انحراف سرعت کاهش می‌یابد (شکل ۹). پایین رفتن سطح آب دریا در انتهای پرمین (آغاز واحد K2) و نیز انتهای این واحد، سبب شده است تا عمق آب کم و فرآیند دولومیتی شدن در آن غالب باشد.

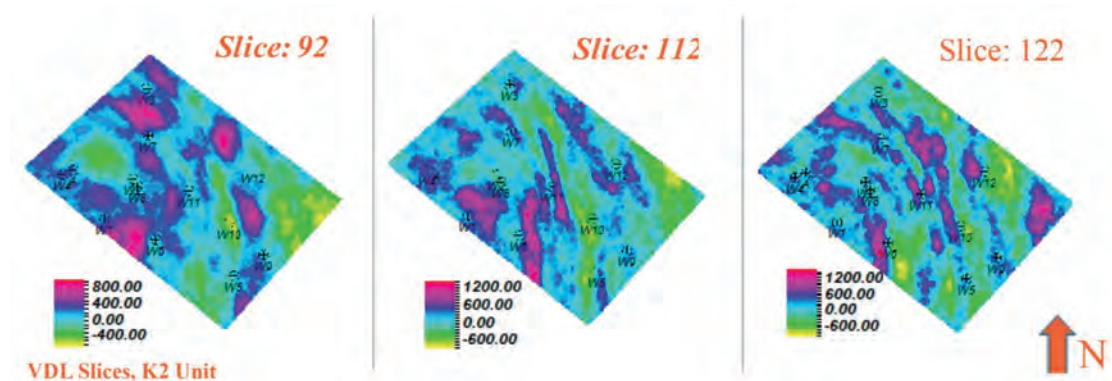
با توجه به ضخامت میانگین ۴۵ متری در چاه‌های مورد مطالعه برای واحد K2، این واحد به سه لایه تقسیم‌بندی شده و تغییرات تخلخل و انحراف سرعت در آن بررسی شد (شکل‌های ۶ و ۷). توزیع مقادیر تخلخل در کل ضخامت واحد، همگن است. فرآیند دولومیتی شدن در رخساره‌های اوئید گرینستونی و پکستونی محیط شول، در این واحد غالب است. به همین علت واحد K2 با غالب تخلخل بین‌بلوری،



شکل ۷. نقشه‌های میانگین برای مقادیر انحراف سرعت، واحد K1 از سازند کنگان در برش‌های مختلف



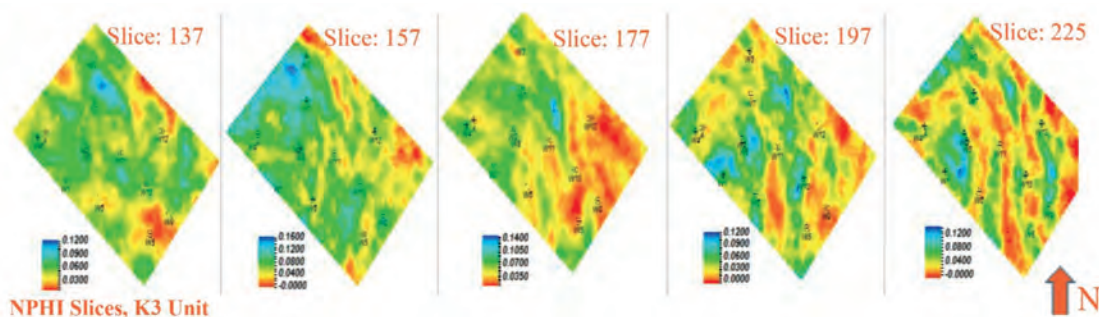
شکل ۸. نقشه‌های میانگین برای مقادیر تخلخل، واحد K2 از سازند کنگان در برش‌های مختلف



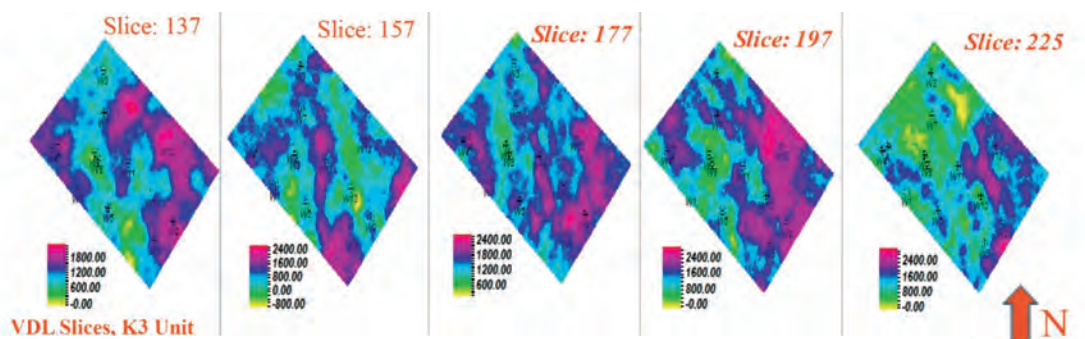
شکل ۹. نقشه‌های میانگین برای مقادیر انحراف سرعت، واحد K2 از سازند کنگان در برش‌های مختلف

نقشه‌های میانگین گرفته شده از انحراف سرعت میدان در واحد K3 به تبعیت از مقادیر تخلخل، با افزایش عمق، روند انحراف سرعت مثبت را نشان می‌دهند. با توجه به ماهیت گل‌پشتیبان بودن این واحد، انحراف سرعت مثبت با تخلخل اندک نشان‌دهنده تخلخل‌های ناچیز بین دانه‌های میکرایت است. این فضاها ی خالی اغلب به یکدیگر متصل نمی‌باشند و موج تراکمی صوتی از آنان عبور نمی‌کند. کاهش تخلخل به سمت پایین در واحد K3، افزایش انحراف سرعت را در نقشه‌ی میانگین آن توجیه می‌کند (شکل ۱۱).

واحد K3 با ضخامت میانگین ۱۱۵ متر به پنج لایه تقسیم شد. مقدار تخلخل در لایه‌ی اول از واحد K3، بالاترین مقدار را نسبت به لایه‌های پایینی این واحد، با افزایش عمق دارد. با تطبیق دادن این لایه با مطالعات پتروگرافی از چاه A، فرآیندهای دولومیتی شدن و انحلال سبب ایجاد این نوع تخلخل شده است. این بخش به سبب قراردادن در زیر مرز پسروری پرمین-تریاس کیفیت مخزنی مناسبی دارد. با افزایش عمق به طرف پایین واحد K3، تخلخل روندی کاهشی دارد. همچنین در همه‌ی لایه‌ها با افزایش عمق از غرب میدان به سمت شرق آن، روند کاهشی مشاهده می‌شود (شکل ۱۰).



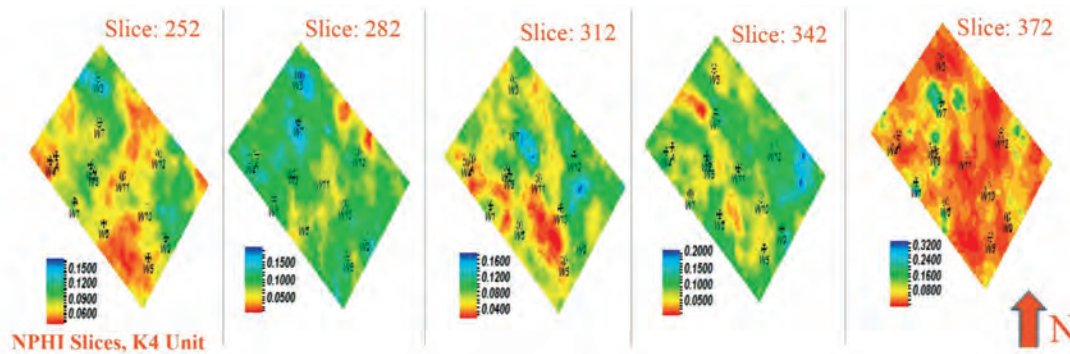
شکل ۱۰. نقشه‌های میانگین برای مقادیر تخلخل، واحد K3 از سازند دالان در برش‌های مختلف



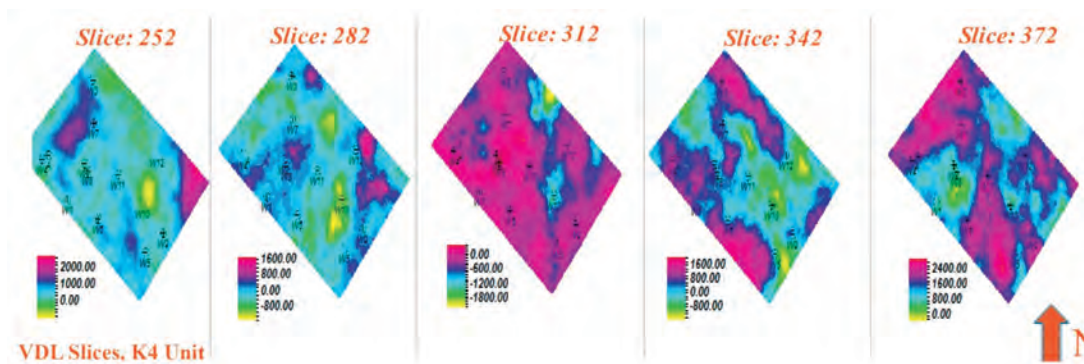
شکل ۱۱. نقشه‌های میانگین برای مقادیر انحراف سرعت، واحد K3 از سازند دالان

خشک، سیمانی نشده‌اند و تخلخل خود را حفظ کرده‌اند. تغییرات انحراف سرعت در واحد K4، در سه لایه‌ی بالایی روندی کاهشی و نزدیک به صفر را دارد اما در ۶۰ متر انتهایی این واحد، انحراف سرعت، زون مثبت را نشان می‌دهد. هر چند در لایه‌ی چهارم (برش ۳۴۲) و در گستره جنوب شرق میدان به علت وجود شکستگی‌ها، زون انحراف منفی دیده می‌شود (شکل ۱۳).

ضخامت K4 در چاه‌های مورد مطالعه به‌طور میانگین ۱۵۵ متر است که با فواصل ۳۰ متر، پنج نقشه‌ی میانگین از آن گرفته شد. روند تغییرات تخلخل در این واحد از لایه‌ی اول تا لایه‌ی پنجم با افزایش عمق، زیاد می‌شود. اما در ۳۰ متر آخر این واحد، تخلخل کاهش می‌یابد (شکل ۱۲). کیفیت مخزنی این واحد به سبب وجود تخلخل‌های بین‌دانه‌ای در رخساره‌ی اوئید گرینس‌تونی است. این تخلخل‌ها به علت نبود سیالات دیاژنتیکی جوی سیمان‌ساز در اقلیم بیابانی و



شکل ۱۲. نقشه‌های میانگین برای مقادیر تخلخل، واحد K4 از سازند دالان در برش‌های مختلف



شکل ۱۳. نقشه‌های میانگین برای مقادیر انحراف سرعت، واحد K4 از سازند دالان در برش‌های مختلف

دامنه‌ی تغییرات مقدار تخلخل و درصد‌های بافت‌نگاشت سازندهای کنگان و دالان در جدول ۲ آورده شده است. مربوط به هریک از انواع تخلخل‌ها، برای هر چهار بخش

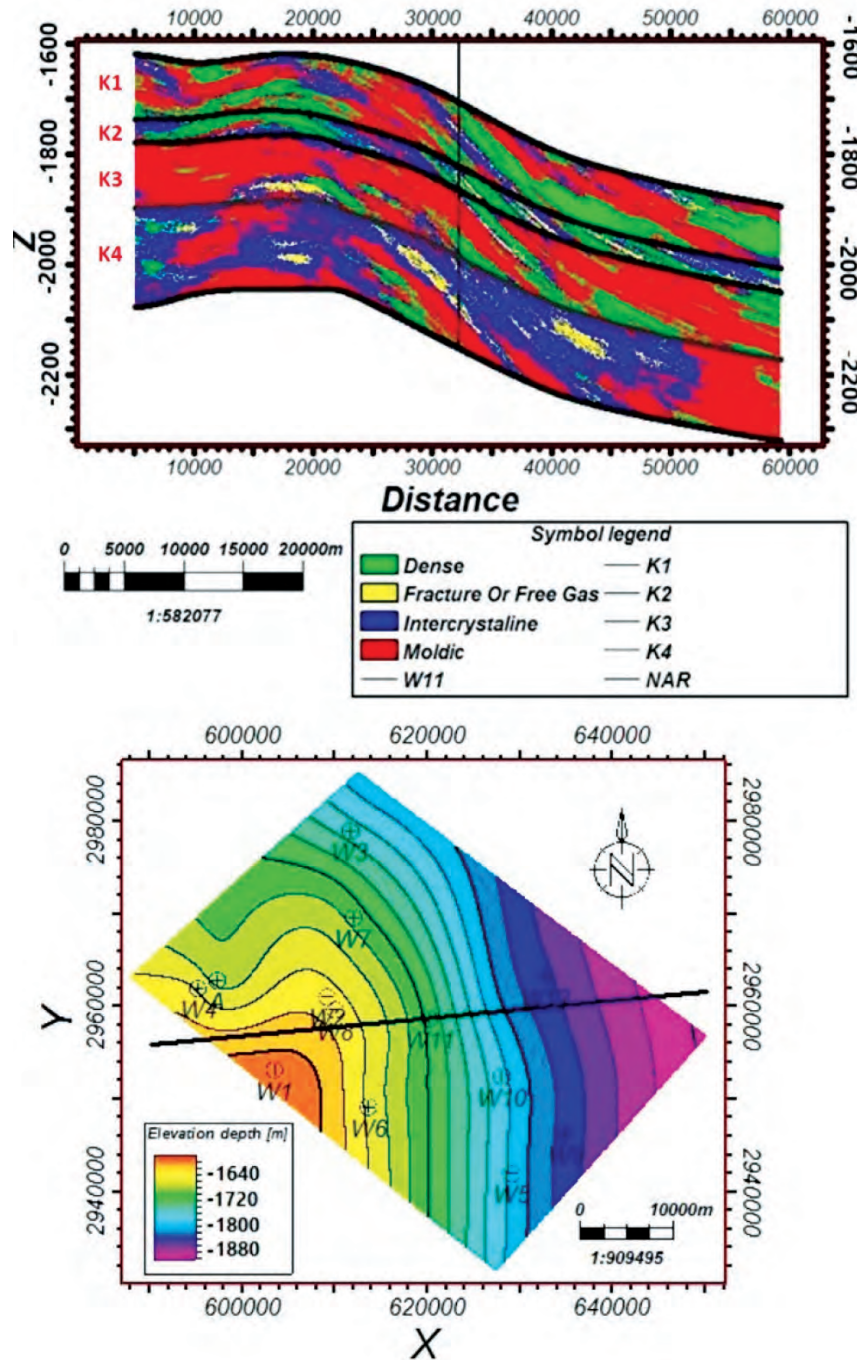
جدول ۲. درصد‌های بافت‌نگاشت هریک از انواع تخلخل

نام زون	متراکم شدگی	درصد بافت‌نگاشت انواع تخلخل‌ها		
		قالبی و حفره‌ایی	بین بلوری و بین‌دانه‌ای	شکستگی یا گاز آزاد
K1	۳۱/۶	۴۷/۴	۱۹/۵	۱/۵
K2	۲۵/۴	۱۹/۷	۴۴/۹	۱۰/۰
K3	۲۶/۶	۵۸/۴	۱۲/۷	۲/۳
K4	۶/۵	۴۴/۳	۴۱/۲	۸/۰

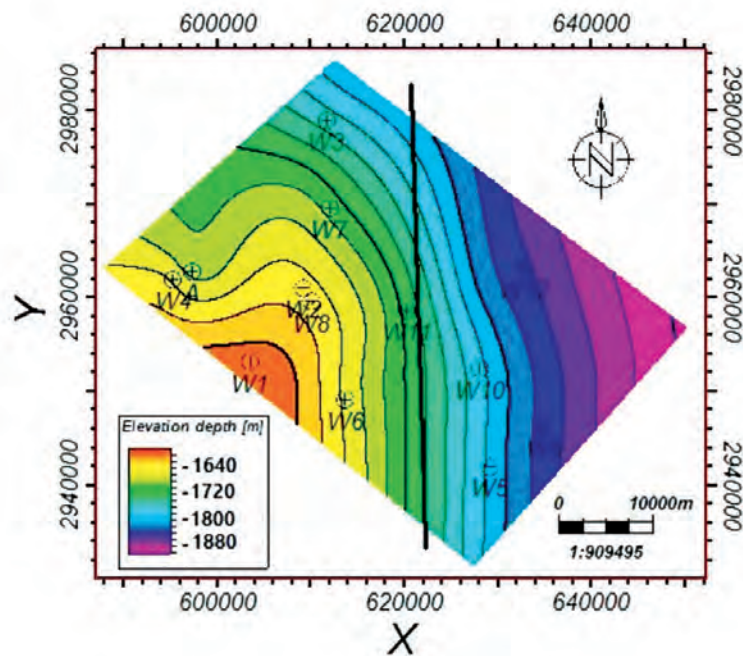
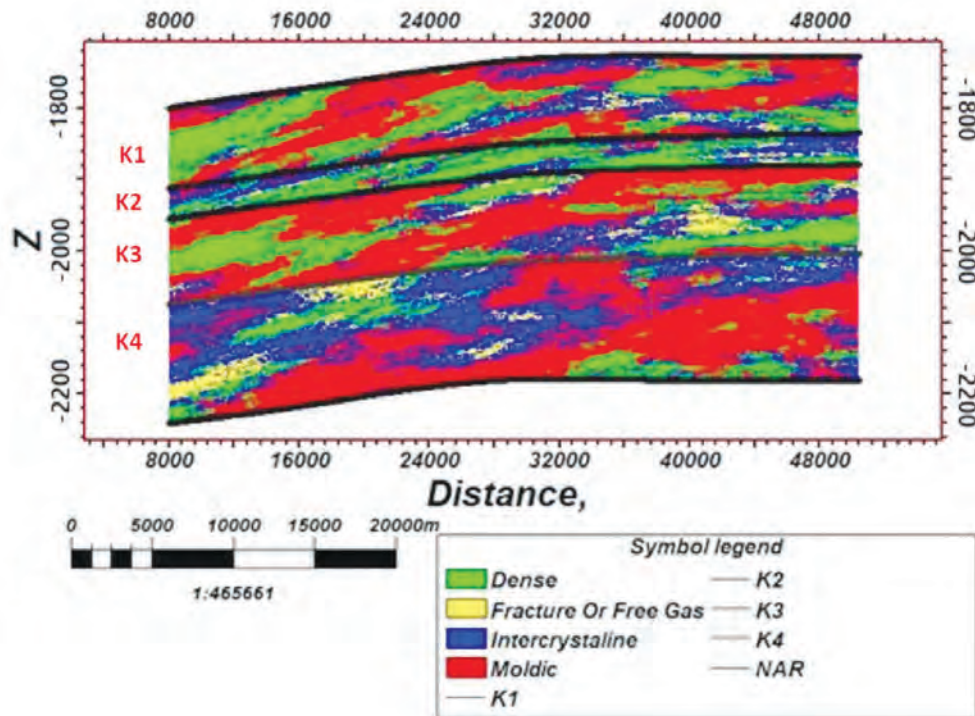
واحدهای K1 و K3 در بخش شرق میدان، تخلخل کمتر از دو درصد را نشان می‌دهند و این نشان‌دهنده‌ی نبود فرآیند انحلال و دولومیتی شدن در بخش‌های عمیق میدان است (شکل ۱۴). بخش شمالی-جنوبی میدان که از گستره چاه W11 گرفته شده است، برای واحد K2 تخلخل‌های کمتر از دو درصد در تمام واحد گسترش دارند و کیفیت مخزنی این واحد را در این مسیر میدانی تحت تاثیر قرار داده‌اند. توزیع تخلخل‌های با زون صفر و منفی در واحد K4 به سمت

برای مشاهده‌ی تغییرات مکانی و زمانی نوع تخلخل، دو بخش غربی-شرقی و شمالی-جنوبی از میدان مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت. در بخش غربی-شرقی میدان که از چاه W11 می‌گذرد، برای واحد مخزنی K2، تخلخل بین‌بلوری در تمامی واحد از نظر تغییرات جانبی گسترش یافته است. در واحد مخزنی K4، تخلخل با زون انحراف صفر از نوع بین‌دانه‌ای، از غرب میدان تا بخش‌های عمیق این واحد در شرق میدان گسترش پیدا کرده است.

شمال میدان بیشتر می‌شود و در بخش جنوبی میدان از آنها کاسته می‌شود. واحدهای غیر مخزنی K1 و K3 نیز تحت تاثیر تخلخل پایین و فرآیندهای سیمانی شدن و تراکم،



شکل ۱۴. برش شرقی-غربی از میدان مورد مطالعه برای تغییرات نوع تخلخل



شکل ۱۵. برش شمالی-جنوبی از میدان مورد مطالعه برای تغییرات نوع تخلخل

## نتیجه‌گیری

از دو درصد افزوده شده و گستردگی آنها در تغییرات مکانی این دو واحد یکسان است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از نگار انحراف سرعت برای بازسازی ناهمگنی مخزنی، بخصوص مخازن کربناته، تفکیک انواع تخلخل اصلی و مدل‌سازی آنها کمک زیادی به محاسبات مخزنی خواهد کرد. بنابراین چنین مطالعه‌ایی برای میادین کربناته دیگر پیشنهاد می‌شود.

## منابع

- آقائباتی، ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۷.
- اسرافیلی دیزجی، ب، ۱۳۸۷. بررسی ارتباط بین محیط رسوبی و کیفیت مخزنی بخش فوقانی سازند دالان و سازند کنگان در چاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ میدان گازی پارس جنوبی. رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۶۵.
- درویش‌زاده، ع، ۱۳۶۹. زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی، زمین‌ساخت، دگرگونی و ماگماتیسم. انتشارات امیرکبیر، ۴۳۴.
- مطیعی ه، ۱۳۷۴. زمین‌شناسی ایران زمین‌شناسی نفت زاگرس. سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۷.
- Ahr, W.M., 2011. Geology of Carbonate Reservoirs: the identification, description and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks. John Wiley and Sons, 296.
- Amel, H., Jafarian, A., Husinec, A., Koeshidayatullah, A. and Swennen, R., 2015. Microfacies, depositional environment and diagenetic evolution controls on the reservoir quality of the Permian Upper Dalan Formation, Kish Gas Field, Zagros Basin, Marine and Petroleum Geology, 67, 57-71.
- Anselmetti, F.S. and Eberli, G.P., 1999. The velocity-deviation log: A tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 83, 3, 450-466.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution

در این مطالعه، مدل‌سازی نگار انحراف سرعت بازسازی شده از نگارهای چاه‌نگاری، برای تعیین انواع تخلخل موجود در سازندهای کربناته‌ی کنگان و دالان در یکی از میادین مرکزی خلیج فارس انجام گرفت.

بر اساس پیش‌بینی نگار انحراف سرعت از نگارهای چاه‌نگاری در محل چاه‌ها، سه زون انحراف سرعت با ویژگی‌های خاص تخلخل شناسایی شد. این زون‌های انحراف سرعت در مقیاس عمودی چاه تکرار شده است. زون انحراف مثبت نشان‌دهنده‌ی تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای است و بیشتر در بازه‌های مخزنی K1 و K3 دیده می‌شوند. زون با انحراف صفر نشان‌دهنده‌ی تخلخل‌های بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای است و بیشتر در زون‌های مخزنی K2 و K4 دیده می‌شوند. زون با انحراف منفی نشان‌دهنده‌ی شکستگی‌ها و محتوای گاز آزاد می‌باشد و این زون به نسبت کمتر در هر چهار بخش مخزنی مورد مطالعه قابل مشاهده است.

واحد غیرمخزنی K1، بیشتر به‌صورت زون متراکم و فاقد تخلخل، در برخی موارد حاوی تخلخل قالبی و تا حدود خیلی کمی تخلخل بین‌بلوری است. واحد مخزنی K2، بیشتر حاوی تخلخل بین‌بلوری و به مقدار خیلی کمتر تخلخل قالبی است. واحد غیرمخزنی K3، بیشتر حاوی بخش متراکم و فاقد تخلخل، تخلخل قالبی و به مقدار کمتر تخلخل شکستگی در بخش پایینی خود می‌باشد. واحد مخزنی K4، بیشتر حاوی تخلخل بین‌دانه‌ای و قالبی و در بعضی موارد هم تخلخل شکستگی می‌باشد.

در توزیع انواع تخلخل، دو واحد K2 و K4 با افزایش عمق روندی کاهشی را برای تخلخل‌های بین‌بلوری و بین‌دانه‌ای که سبب کیفیت مخزنی این واحدها شده‌اند، داشته است. از نظر تغییرات مکانی برای واحد K2، تخلخل‌های با زون انحراف صفر در تمامی جهات گسترش یکسانی را دارند اما برای واحد K4، به‌طرف بخش‌های شرقی و جنوبی میدان، از نوع تخلخل‌های با زون انحراف صفر کاسته و به‌طرف شمال و غرب میدان بر روند آنها افزوده شده و کیفیت مخزنی در این بخش‌ها بهتر می‌شود. برای واحدهای K1 و K3 از نظر تغییرات زمانی، با افزایش عمق بر مقدار تخلخل‌های کمتر

- of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, 18, 2, 210-265.
- Esrafil-Dizaji, B. and Rahimpour-Bonab, H., 2009. Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. Petroleum Geoscience, 15, 325-344.
  - Eberli, G.P., Baechle, G.T., Anselmetti, F.S. and Incze, M.L., 2003. Factors controlling elastic properties in carbonate sediments and rocks, The Leading Edge, 22, 7, 654-660.
  - Geert, K., Afifi, A.M., Al-Hajri, S.I.A. and Droste, H.J., 2001. Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian Plate, Geo-Arabia, 6, 3, 407-442.
  - Lucia, F.J. and Major, R.P., 1994. Porosity evolution through hypersaline reflux dolomitization, in: Purser, B., Tucker, M., Zenger, D., (Eds.) Dolomites: International Association of Sedimentologists Special Publication, 21, 325-341.
  - Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M. and Monibi, S., 2006. Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. Geo-Arabia, 11, 2, 75-176.
  - Oliver, M.A., 2010. Geostatistical Applications for Precision Agriculture, Springer, 337.
  - Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bbonab, H. and Soltani, B., 2014. A hybrid approach for litho-facies characterization in the framework of sequence stratigraphy: a case study from the South Pars gas field, the Persian Gulf basin. Journal of Petroleum Science and Engineering, 121, 87-102.
  - Sfidari, E., Amini, A., Kadkhodaie, A. and Ahmadi, B., 2012. Electrofacies clustering and a hybrid intelligent based method for porosity and permeability prediction in the South Pars Gas Field, Persian Gulf. Geopersia, 2, 2, 11-23.
  - Schlumberger, 2009. Petrel software help.
  - Sun, S. Q., 1995. Dolomite reservoirs: porosity evolution and reservoir characteristics, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 79, 186-204.
  - Tavakoli, V. and Jamalian, A., 2018. Microporosity evolution in Iranian reservoirs, Dalan and Dariyan formations, the central Persian Gulf. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 52, 155-165.
  - Tavakoli, V., Naderi-Khujin, M., and Seyedmehdi, Z., 2018. The end-Permian regression in the western Tethys: sedimentological and geochemical evidence from offshore the Persian Gulf, Iran Geo-Marine Letters, 38, 2, 179-192.
  - Warren, J., 2000. Dolomite, occurrence, evolution and economically important associations, Earth Science Reviews, 52, 1-181.