

## مقایسه نتایج حاصل از نمودار تصویری FMS با داده‌های مقاطع نازک در یکی از میادین شرق حوضه کپه‌داغ

زهرا شمشیری<sup>۱\*</sup>، فریدون سبحانی<sup>۱</sup>، غلامحسین نوروزی<sup>۱</sup>، حسین معماریان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فنی دانشگاه تهران

\*shamshiri\_66@yahoo.com

تاریخ دریافت: شهریور ۹۲، تاریخ پذیرش: آذر ۹۲

### چکیده

بررسی و مطالعه تخلخل و شکل و اندازه آن در مخازن نفت و گاز به دلیل نقش کلیدی آن در کیفیت مخزن و میزان تولید، حائز اهمیت می‌باشد. در مقاله حاضر، برای شناخت هندسه و ریخت شناسی تخلخل بر خلاف روش‌های معمول در استفاده از مغزه، از نمودار تصویری FMS و مقاطع نازک حاصل از خرده‌های حفاری، استفاده شده است. پس از تعیین ابعاد کلی تخلخل به صورت لکه‌ها و یا نقاط پراکنده سیاه رنگ توسط نمودار FMS، شکل و اندازه تخلخل در قالب مطالعات پترولوژیک، روی مقاطع نازک سازند مخزنی مزدوران (ژوراسیک بالایی) در یکی از میادین گازی شرق حوضه کپه‌داغ، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای کنترل نتایج و تعیین نوع غالب تخلخل در این سازند از نمودار انحراف سرعت نیز کمک گرفته شد. ردیابی و مقایسه نتایج به دست آمده از نمودار FMS و مقاطع نازک، تطابق خوبی را برای تشخیص نوع و هندسه تخلخل نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، اگر چه مقایسه نمودار FMS و مقاطع نازک در تعیین هندسه تخلخل ابهامات داشته و دقت لازم و کافی را ندارد اما با تلفیق داده‌های نمودار FMS و مطالعات پترولوژیک برگرفته از مقاطع نازک خرده‌های حفاری مخصوصاً در موارد عدم وجود مغزه، می‌توان هندسه تخلخل را مطالعه کرد.

**کلمات کلیدی:** هندسه تخلخل، ریخت شناسی تخلخل، نمودار FMS، مطالعه مقاطع نازک، سازند مزدوران، حوضه کپه‌داغ.

## ۱. مقدمه

اندازه و شکل تخلخل، کمیت و کیفیت شبکه ارتباطی بین منافذ و نسبت اندازه گلوگاه‌ها به فضای خالی در کیفیت مخزنی و میزان بازدهی سنگ مخزن تأثیر بسیار دارد. بنابراین مطالعه و شناخت عوامل یاد شده، در بهینه سازی بهره برداری از مخازن اهمیت ویژه‌ای دارد. نمودار FMS که یکی از انواع نمودارهای الکتریکی تصویرگر می‌باشد، قدرت بررسی پارامترهای ساختمانی مانند امتداد و شیب و ساختارهای رسوبی مانند نواحی متخلخل و لایه‌بندی را دارد (Prenesky, 1999). توانمندی این ابزار در تعیین پارامترهای ساختمانی مانند شکستگی‌ها و ساختارهای استیلولیتی، با انجام مطالعات تطابق نتایج نمودار<sup>۱</sup> FMS و مغزه در تعیین پارامترهای فوق، در میداین مختلفی در دنیا و از جمله ایران، اثبات شده است. از آن جمله می‌توان به مقایسه نتایج به دست آمده از نمودار FMS و مغزه در تعیین شکستگی‌های سازند آسماری و مطالعه بر روی توانایی نمودار FMS در تشخیص این پارامتر اشاره کرد (آفاجری و سادات مولایی، ۱۳۹۰ و Khoshbakht et.al, 2009). با توجه به اینکه نمودار FMS مناطق رسانا و نارسانا را از یکدیگر تفکیک می‌کند، در نتیجه امکان تعیین نواحی متخلخل که به علت نفوذ گل حفاری رسانا، به رنگ تیره نمایان می‌شوند را دارد (Mahmoud, 2003). ارزیابی کلی تخلخل و لیتولوژی به کمک نمودار FMS در کنار نمودارهای پتروفیزیکی، مغزه و مقاطع نازک، در برخی سازندهای ماسه سنگی مناطق مختلف، مورد مطالعه قرار گرفته است (Tovaglieri, 2012 و Silva, 2003). بسیاری از سازندهای کربناته که قابلیت تولید دارند، دارای سیستم‌های پیچیده تخلخل با طیف وسیع تغییرات از تخلخل اولیه تا ثانویه می‌باشند. تخلخل ثانویه ممکن است شامل تخلخل کانالی<sup>۲</sup>، حفره‌ای<sup>۳</sup>، قالبی<sup>۴</sup> و شکستگی باشد. همچنین ممکن است ماتریکس یک دست یا تخلخل میان‌دانه‌ای اولیه، در اثر فرایندهای سیمانی شدن به صورت تکه تکه<sup>۵</sup> در آید (Choquette e and Pray, 1970). در این حالت، تخلخل بر روی نمودارهای پتروفیزیکی (چگالی، نوترون، صوتی) به صورت توزیع‌های یکنواخت دیده می‌شود و به علت وضوح پایین این چنین نمودارها، این نوع تخلخل‌ها یا به صورت اشتباه تخمین زده می‌شوند، یا کاملاً از آنها چشم‌پوشی می‌شود. در صورتی که نمودار FMS دارای قدرت تفکیک و پوشش‌دهی بالایی در تعیین انواع تخلخل‌های فوق است (Mahmoud Akbar, 2000). با توجه به دانش یافته شده، مطالعه کامل و جزئی در تعیین هندسه تخلخل به کمک نمودار FMS و قابلیت این نمودار در تشخیص پارامتر فوق، در ایران صورت نگرفته است. هدف اصلی در این مقاله، در راستای بررسی‌های مخزنی، انجام مطالعات اعتبارسنجی نمودار تصویری FMS و تلفیق و مقایسه آنها با ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ مخزن است که به منظور تعیین هندسه تخلخل در سازند کربناته مزدوران (ژوراسیک بالایی) در یکی از میداین شرق حوضه کپه داغ می‌باشد. در این راستا، مطالعه هندسه تخلخل که در واقع ارزیابی شکل و اندازه فضاهای خالی است، در بررسی‌های مخزنی نقش کلیدی ایفا می‌کند.

<sup>1</sup> Formation Micro Scanner

<sup>2</sup> Channel

<sup>3</sup> Vuggy

<sup>4</sup> Moldic

<sup>5</sup> Patchy

## ۲. هندسه تخلخل<sup>۱</sup>

اندازه و شکل تخلخل رابطه تنگاتنگ با روند تشکیل آن در محیط‌های رسوبی و محیط‌های دیاژنزی سنگ دارد. در این مقاله به دلیل ضرورت بحث، مروری گذرا بر طبقه‌بندی سنگ‌های کربناته و تعمیم آن بر سنگ آهک‌های مزدوران در منطقه مورد مطالعه مفید می‌باشد.

تخلخل در سنگ‌های کربناته با توجه به زمان و محیط تشکیل آنها به دو گروه در حین رسوبگذاری و بعد از رسوبگذاری تفکیک می‌شود: گروه اول، هنگام رسوبگذاری و تحت شرایط محیط رسوبی تشکیل شده است. سنگ آهک‌های درشت دانه با بافت تخریبی، از این نوع بوده که تخلخل در آنها درون دانه‌ای یا بین دانه‌ای می‌باشد. تخلخل نوع دوم که تشکیل آن بعد از رسوبگذاری و در محیط‌های دیاژنزی انجام گرفته، از تنوع زیادی برخوردار است. سطوح لایه‌بندی، شکستگی، گسل، حفره‌های انحلالی، فضاها بین بلوری و بسیاری انواع دیگر، در این گروه قرار می‌گیرند (سحابی، ۱۳۸۵).

معمولاً مطالعه هندسه تخلخل در برش‌های رخنمون شده روی دیواره چاه، به کمک تحلیل ماکروسکوپی و میکروسکوپی مغزه<sup>۲</sup> انجام می‌شود. هزینه بالای مغزه‌گیری و نیز عدم دسترسی به مغزه‌های تهیه شده قبلی، مشکلاتی را در عمل برای مطالعاتی از این دست به وجود آورده است. اگرچه هیچ مطالعه‌ای نمی‌تواند جایگزین داده‌های مغزه شود اما با مطالعه نمودار تصویری FMS و تلفیق آنها با پترولوژی تخلخل به کمک مقاطع نازک حاصل از خرده‌های حفاری، مخصوصاً در مواردی که مغزه وجود ندارد، می‌توان تا حدود زیادی ابعاد ماکروسکوپی (سطوح لایه‌بندی، حفره‌های انحلالی و ...) و میکروسکوپی (ویژگی‌های بافتی و دیاژنزی) هندسه تخلخل را شناسایی کرد. مهمتر آنکه در این روش، تمام ضخامت حفاری شده به طور ممتد و متوالی، مورد برداشت و بررسی قرار می‌گیرد. مطالعه پارامترهای صفحه‌ای نظیر سطوح لایه‌بندی، شکستگی‌ها و سطوح استیلولیتی روی نمودار FMS پیشنهاد شده است (Serra, 1989). در این قسمت نتایج حاصل از نمودار FMS با واقعیت پترولوژی نمونه‌ها در مقاطع نازک، برای تعیین هندسه تخلخل، ردیابی، مقایسه و تلفیق شده است.

## ۳. زمین شناسی منطقه

میدان مورد بررسی یکی از میادین عظیم گازی در شرق حوضه کپه‌داغ بوده که مخزن اصلی آن سازند کربناته مزدوران با سن ژوراسیک بالایی است که عمدتاً از جنس آهک‌های ضخیم لایه با میان لایه‌هایی از شیل و مارن می‌باشد. بخش‌های کربناته شامل سنگ آهک‌های درشت دانه و غنی از خرده‌های فسیل و قطعات اسکلتی با بافت بیوکلاستیک است. در برخی از دانه‌های اسکلتی در اثر انحلال بخشی، فضاها خالی درون دانه‌ای<sup>۳</sup> به صورت قالب‌های داخلی به وجود آمده است. برخی از این قالب‌ها با سیمان کلسیتی پر شده و به قالب‌های پر شده کلسیتی<sup>۴</sup> تبدیل شده اند (سحابی، ۱۳۸۵ و شکل ۳).

ضمن آنکه بخشی از فضاها بین دانه‌ای که همچنان خالی باقی مانده، به نوبه خود تخلخل بین دانه‌ای<sup>۵</sup> را در بافت سنگ تشکیل داده‌اند (شکل ۲).

<sup>1</sup> Geometry of porosity

<sup>2</sup> Core analysis

<sup>3</sup> Intraparticle porosity

<sup>4</sup> Calcite cement casts

<sup>5</sup> Interparticle porosity

از دیگر شاخصه‌های سازند مزدوران، گسترش دولومیتی شدن در سنگ آهک‌های قدیمی است که به طرف شرق میدان شدت بیشتری یافته است. فرآیند دولومیتی شدن با ایجاد تخلخل بین بلوری<sup>۱</sup>، کیفیت مخزنی سازند مزدوران را در میدان مورد مطالعه، افزایش داده است (شکل ۱).

#### ۴. روش مطالعه

برای مطالعه تغییرات لیتواستراتیگرافیک و بررسی عملکرد نمودار تصویری FMS در سازند مخزنی مزدوران، چاه A که با گل آب پایه و اشباع نمکی حفاری شده، در یکی از میداین گازی در شرق حوضه کپه داغ انتخاب شد. در این چاه سری کامل مقاطع نازک حاصل از خرده‌های حفاری و نمودار FMS در دسترس می‌باشد. ویژگی‌های بافت شناسی و فرایندهای دیاژنزی سازند کربناته مزدوران با نگاه خاص بر هندسه تخلخل بر اساس منشأ رسوبی یا غیررسوبی آن (سحابی، ۱۳۸۵) با مطالعه تعداد ۱۱۹ مقطع نازک، بررسی شد. تخلخل رسوبی به صورت درون دانه‌ای و بین‌دانه‌ای و تخلخل غیر رسوبی به اشکال مختلف از جمله بازشدگی‌های استیلولیتی، سطوح شکستگی، حفره‌های انحلالی (کارستی) و فضاهای بین بلوری در بافت‌های دولومیتی، شناسایی و مشخص شد. لازم به ذکر است در این مطالعه به علت عدم وجود مقاطع حاصل از مغزه در چاه مورد نظر، از مقاطع حاصل از خرده‌های حفاری استفاده شده است.

فضاهای خالی با توجه به اندازه آنها، روی نمودار FMS به علت نفوذ گل حفاری، به صورت لکه‌ها و یا نقاط پراکنده سیاه رنگ، نمایان می‌شوند. لکه‌های بزرگ مربوط به قالب‌ها و حفره‌های انحلالی بزرگ مقیاس می‌باشد. علی‌رغم اینکه تخلخل‌های اولیه بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری معمولاً به صورت یکنواخت و لایه‌ای هستند، روی نمودار FMS به علت مقیاس کوچک این تخلخل‌ها، به صورت نقاط سیاه رنگ و اندکی پراکنده نمایان می‌شوند. پس از آنکه محل و موقعیت فضاهای خالی روی نمودار FMS مشخص شد، نتایج پترولوژیک از مقاطع نازک مربوط به همان عمق، روی نمودار FMS ردیابی و با آن تطبیق داده شده است. به این ترتیب داده‌های نمودار FMS با نتایج مطالعات مقاطع نازک، تلفیق و تکمیل شده تا هندسه تخلخل روی دیواره چاه مشخص شود. با توجه به اینکه هدف در این مطالعه، بررسی کارایی نمودار FMS در تعیین هندسه تخلخل می‌باشد، لذا در این مقایسه حضور این پارامتر در اعماقی که نمودار FMS آنها را تعیین کرده است، روی مقاطع نازک جست‌وجو می‌شود و از مطالعه کمی و جزئیاتی مانند میزان دقیق تخلخل صرف نظر شده و بر کلیاتی همچون وجود تخلخل، نوع و هندسه آن تمرکز شده است.

در آخر جهت کنترل نتایج تعیین نوع تخلخل توسط نمودار FMS و مقاطع نازک، نمودار انحراف سرعت<sup>۲</sup> و نمودار چگالی شکستگی‌ها نسبت به عمق<sup>۳</sup> نیز ترسیم شده تا تأثیر شکستگی‌ها روی تخلخل نیز مشخص شود.

#### ۵. بحث، ردیابی و مقایسه داده‌ها

در این قسمت چند مورد از نمایش تخلخل روی نمودار FMS و ردیابی و مقایسه ویژگی‌های پترولوژیکی از مقاطع نازک در عمق مربوطه آمده است. در بعضی از نمونه‌ها به دلیل کوچک بودن اندازه خرده سنگ‌ها و قطع شدگی فضای خالی و بافت سنگ طی حفاری، محدودیت‌هایی به وجود می‌آید.

<sup>1</sup> Intercrystalline porosity

<sup>2</sup> Velocity Deviation Log

<sup>3</sup> Fracture Density

در مطالعه پیش رو نمودار FMS توسط نرم افزار Geoframe مورد پردازش و تفسیر قرار گرفته است. توسط مدول‌های مختلف این نرم افزار ابتدا تصحیحات محیطی و حفاری انجام گرفته، سپس تصحیحات سرعت و تصحیحات هندسی نمودار مانند تعداد دکمه‌های به کار گرفته شده در نمودارگیری و پس از آن فیلترهای تقویت کننده اضافه می‌شود. همچنین جهت انجام تطبیق عمق<sup>۱</sup> و هم عمق کردن نمودار مقاومت با جریان از مدول Borscale در نرم افزار Geoframe استفاده شده است.

لازم به ذکر است که خرده‌های حفاری بر اساس زمان تأخیر<sup>۲</sup> برگشت گل از نظر عمقی تطابق داده شده است. همچنین لازم به ذکر است چون نمودار FMS در چاه‌های حفاری شده با گل‌های پایه آبی رانده می‌شود، تأثیر گل حفاری حتی اگر وزن آن بالا باشد، روی این نمودار نا چیز است.

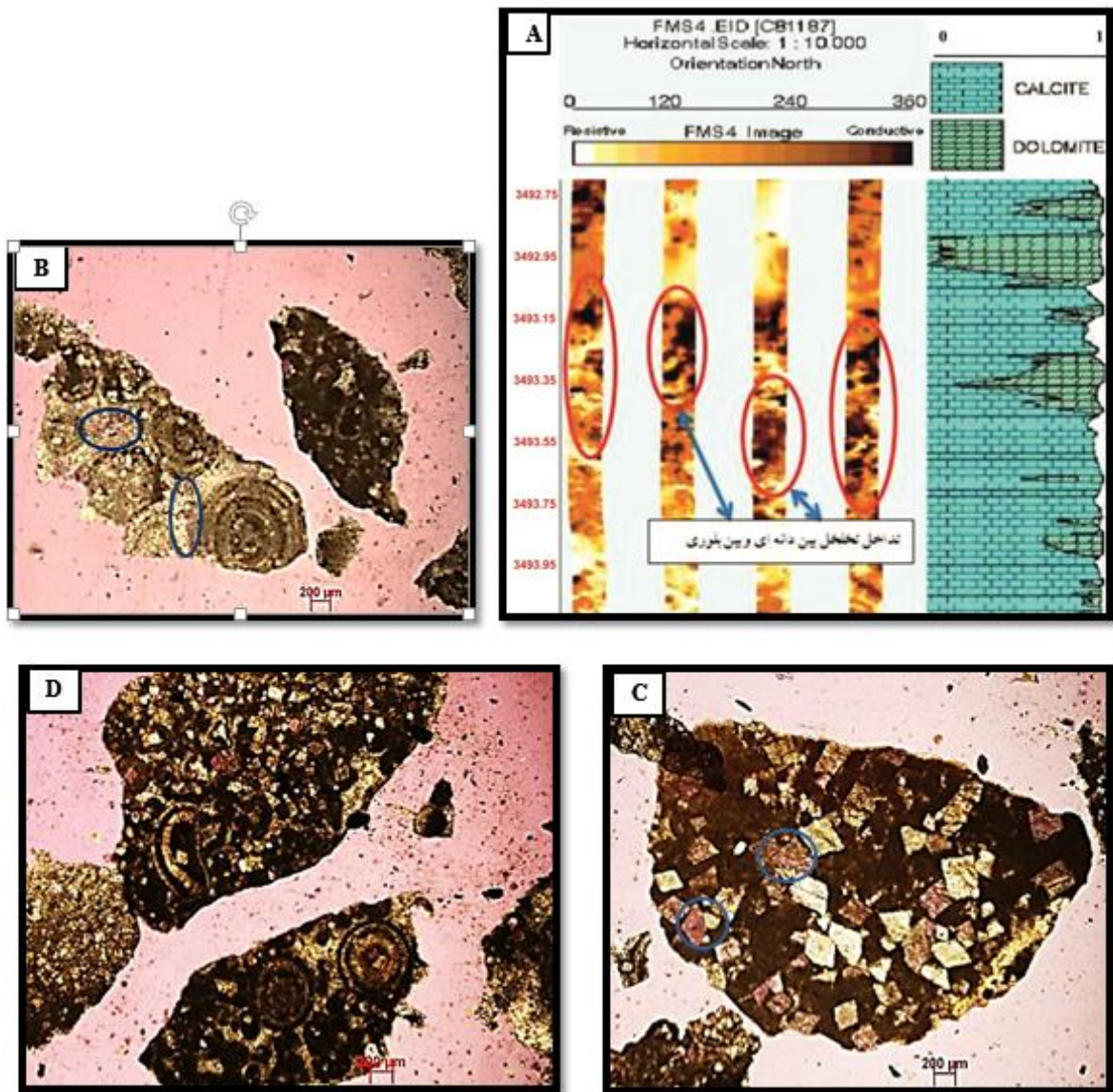
### ۱.۵ تخلخل بین بلوری

این نمونه در عمق ۳۴۹۲ تا ۳۴۹۴ متری روی نمودار FMS، نقاط پراکنده سیاه رنگ که نشان دهنده تخلخل کوچک مقیاس است را نشان می‌دهد. به منظور تعیین نوع دقیق تخلخل، به مطالعه مقاطع نازک در عمق ۳۴۹۲ تا ۳۴۹۴ متری پرداخته و مشاهده شد که در این عمق، گریستون و وکستون دولومیتی شده وجود دارد. بنابراین تخلخل موجود در این مقطع که وجود آن روی نمودار FMS نیز تأیید شده، تخلخل بین دانه‌ای و بین بلوری می‌باشد که در مقاطع نازک به رنگ صورتی کمرنگ درآمده است. با توجه به وجود دو نوع تخلخل، یعنی تخلخل بین دانه‌ای و بین بلوری و عدم امکان تفکیک آنها توسط نمودار FMS، این تخلخل‌ها با یکدیگر تلفیق و باعث شده‌اند که بر روی نمودار FMS ناحیه‌ای با تخلخل بالا (لکه‌های بزرگ تیره رنگ) نمایان شود (شکل A-۱).

همان‌طور که در شکل (B-۱) مشاهده می‌شود بافت پکستون با تخلخل بین دانه‌ای وجود دارد که به علت انحلال آنها و ایجاد تخلخل قالبی بین ذرات آلوم، محیطی متخلخل و تراوا برای حرکت هیدروکربن ایجاد شده است. شکل (C-۱) و (D-۱) دولومیتی شدن بافت وکستون و پکستون را نشان می‌دهد. در این مقاطع مشاهده می‌شود که ذرات دولومیت در میان ذرات آلوم قرار گرفته‌اند و در واقع اختلاف لیتولوژی باعث ایجاد تخلخل شده است. همچنین فراوانی دولومیت‌ها همراه با تخلخل بین بلوری و انحلال همراه با دولومیتی شدن باعث شده تا تخلخل‌های بین دانه‌ای به هم متصل و تراوایی مناسبی در این نواحی به وجود آید.

<sup>1</sup>Depth Match

<sup>2</sup>Lag time



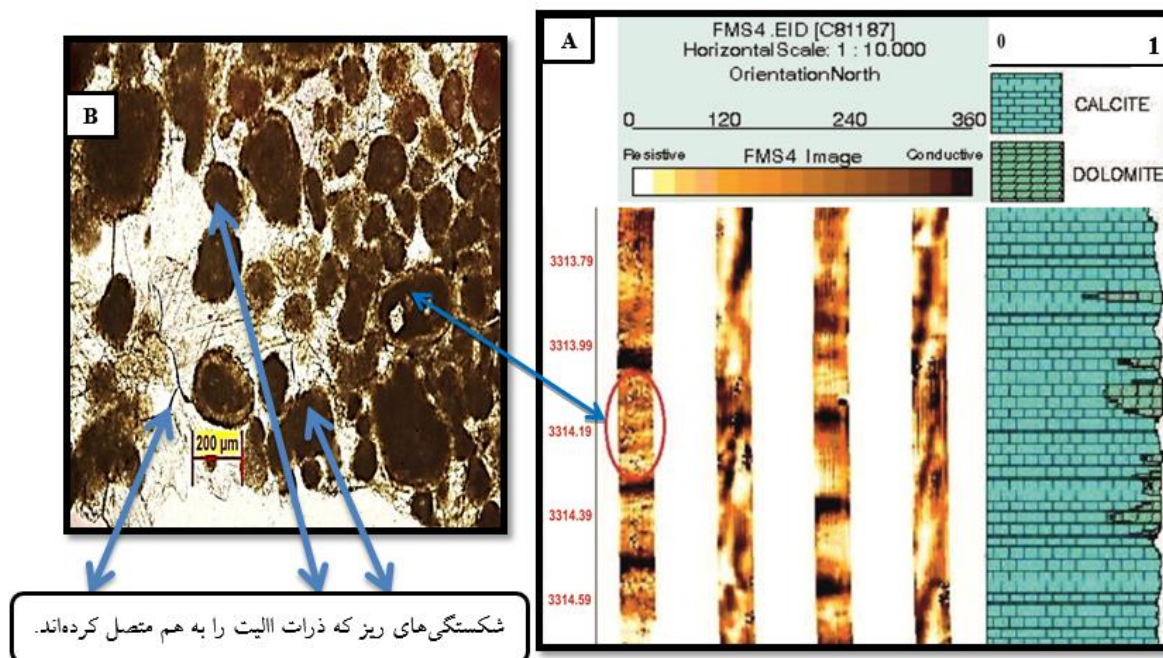
شکل ۱- مقایسه و ردیابی تخرخل بین بلوری و بین دانه‌ای در نمودار FMS و مقطع نازک. (A) نمودار FMS که در آن تخرخل کوچک مقیاس به صورت نقاط پراکنده تیره رنگ مشخص شده است. قسمتی از نمودار به علت تداخل تخرخل‌های بین دانه‌ای و بین بلوری به صورت حفره‌های سیاه رنگ نمایان شده است. (B) بافت پکستون همراه با تخرخل بین دانه‌ای (بیضی‌های آبی) که در اثر انحلال در برخی مناطق، تخرخل‌ها به هم مرتبط شده‌اند. (C) ذرات دولومیت همراه با تخرخل بین بلوری و درون بلوری (بیضی آبی). (D) بافت پکستون و وکستون دولومیتی شده. تبدیل کلسیت به دولومیت باعث تشکیل مجاری ارتباطی بین تخرخل‌های بین دانه‌ای شده و ناحیه‌ای با تخرخل و تراوایی مناسب ایجاد شده است.

## ۲.۵ تخرخل بین دانه‌ای

در این نمونه روی نمودار FMS و در عمق ۳۳۱۴ متری، روند Foreset که نشان دهنده بافت گرینستون بوده و نقاط پراکنده سیاه رنگ که نشان دهنده تخرخل کوچک مقیاس است، مشاهده می‌شود. روی نمودار، تخرخل حفره‌ای هم مشاهده می‌شود اما در این مثال تخرخل بین دانه‌ای به علت حجم بیشتر، مد نظر می‌باشد. توسط این نمودار به تنهایی نمی‌توان نوع دقیق تخرخل را مشخص کرد. با مطالعه مقطع نازک در عمق ۳۳۱۳ تا ۳۳۱۵ متری، ملاحظه می‌شود که تخرخل مشاهده شده روی نمودار FMS، از نوع تخرخل بین دانه‌ای و در بافت دانه پشتیبان گرینستون بوده که نشان دهنده انرژی بالای محیط می‌باشد و وجود تخرخل در مقطع نازک با نمودار تصویری در همان عمق مطابقت دارد. گرینستون موجود در این



مقطع به میزان اندک، سیمانی شده است اما چون سیمان رشد کافی نکرده تخلخل بین دانه‌ای اولیه از بین نرفته و باقی مانده است (سحابی، ۱۳۸۵). همان‌طور که در شکل (B-۲) مشاهده می‌شود، ابعاد این نوع تخلخل کوچک بوده اما ذرات آلوکم که در اینجا الیت می‌باشد، توسط شکستگی‌های ریز به هم متصل شده‌اند و این مطلب باعث اتصال تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و افزایش تراوایی شده به طوری که در برخی نواحی، وجود هیدروکربن مشاهده می‌شود.

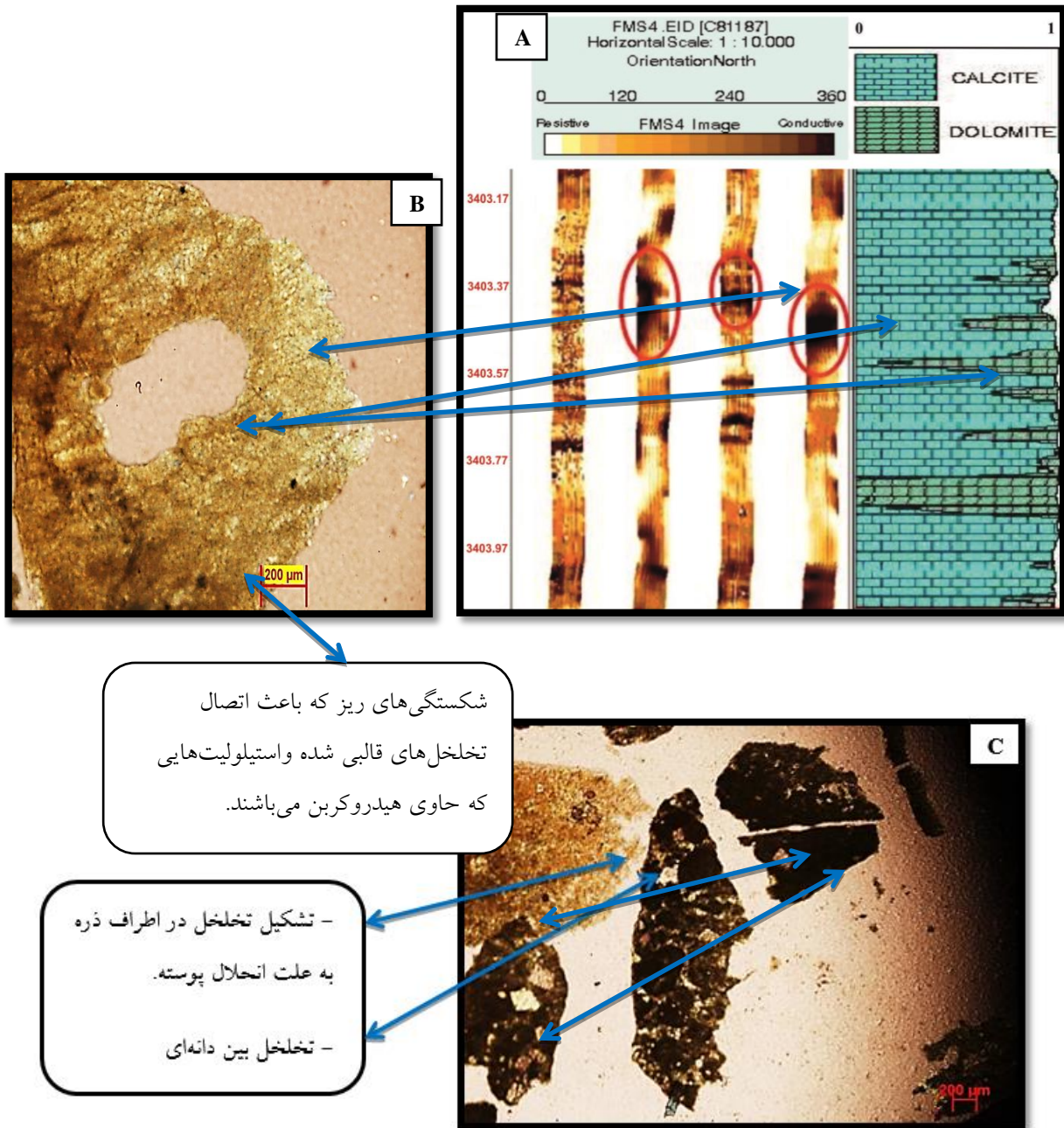


شکل ۲- مقایسه و ردیابی تخلخل بین دانه‌ای در مقطع نازک و نمودار FMS. A) تخلخل در نمودار FMS. این تخلخل به صورت نقاط تیره رنگ و پراکنده بر روی نمودار نمایان شده که نشان دهنده تخلخل کوچک مقیاس می‌باشد. نوع دقیق تخلخل توسط نمودار FMS قابل تشخیص نیست و باید از مطالعه مقاطع نازک در تشخیص این موضوع کمک گرفت. B) تخلخل بین دانه‌ای در مقطع نازک با بزرگ نمایی ۵X. این نوع تخلخل که معمولاً در بافت‌های گرینستون مشاهده می‌شود، اغلب به وسیله سیمان‌نکلسیتی یا دولومیت پر می‌شود. در این مقطع تخلخل‌های بین‌دانه‌ای توسط شکستگی‌ها به هم مرتبط شده‌اند.

### ۳.۵ تخلخل قالبی<sup>۱</sup>

این نمونه روی نمودار FMS و در عمق ۳۴۰۳ تا ۳۴۰۴ متری لکه‌های تیره رنگی که نشان دهنده تخلخل با مقیاس بزرگ است را نشان می‌دهد (شکل ۳-A). در این نمونه، تخلخل قالبی بر روی مقطع نازک در عمق ۳۴۰۲ تا ۳۴۰۴ متری مشخص می‌باشد. به علت انحلال کامل قطعه اسکلتی و بر جا گذاشتن قالب خالی، نوع ذره اولیه قابل تشخیص نمی‌باشد و با توجه شکل (۳-C) که مقطع دیگری در همین عمق را نشان می‌دهد، مشخص است که در اطراف ذره نیز مقادیر اندک تخلخل به وجود آمده است که ممکن است پوسته حل شده و تخلخل قالبی بر جا گذاشته باشد (سحابی، ۱۳۸۵). در این مقطع شکستگی‌های ریز و ساختارهای استیلولیتی نیز وجود دارد. شکستگی‌های ریز و استیلولیت‌های موجود در این عمق، نقش مهمی در اتصال تخلخل‌های قالبی و افزایش تراوایی دارند و باعث شده‌اند برخی نواحی که به رنگ تیره درآمده است، حاوی هیدروکربن باشند.

<sup>1</sup> Moldic porosity



شکل ۳- مقایسه و ردیابی تخلخل قالبی در مقطع نازک و نمودار FMS (۳۴۰۳ تا ۳۴۰۴ متر). (A) نمودار FMS از عمق ۳۴۰۳/۱۷ تا ۳۴۰۴/۹۷ متر. لکه‌های سیاه، مربوط به فضاهای خالی است که هم به طور متمرکز و هم به صورت پراکنده دیده می‌شود. (B) مقطع نازک خردده‌های حفاری شده، با بزرگ‌نمایی ۲۰X در نور عادی. تخلخل قالبی حاصل از انحلال کامل یک قطعه اسکلتی و یا یک فسیل به صورت قالب داخلی<sup>۱</sup> و همچنین شکستگی‌های میکروسکوپی و بازشدگی‌های استیلولیتی روی شکل مشخص است. (C) وجود شکستگی در بافت و کستون با بزرگ‌نمایی ۲۰X و نور عادی که حاوی مقادیر اندکی تخلخل بین دانه‌ای نیز می‌باشد.

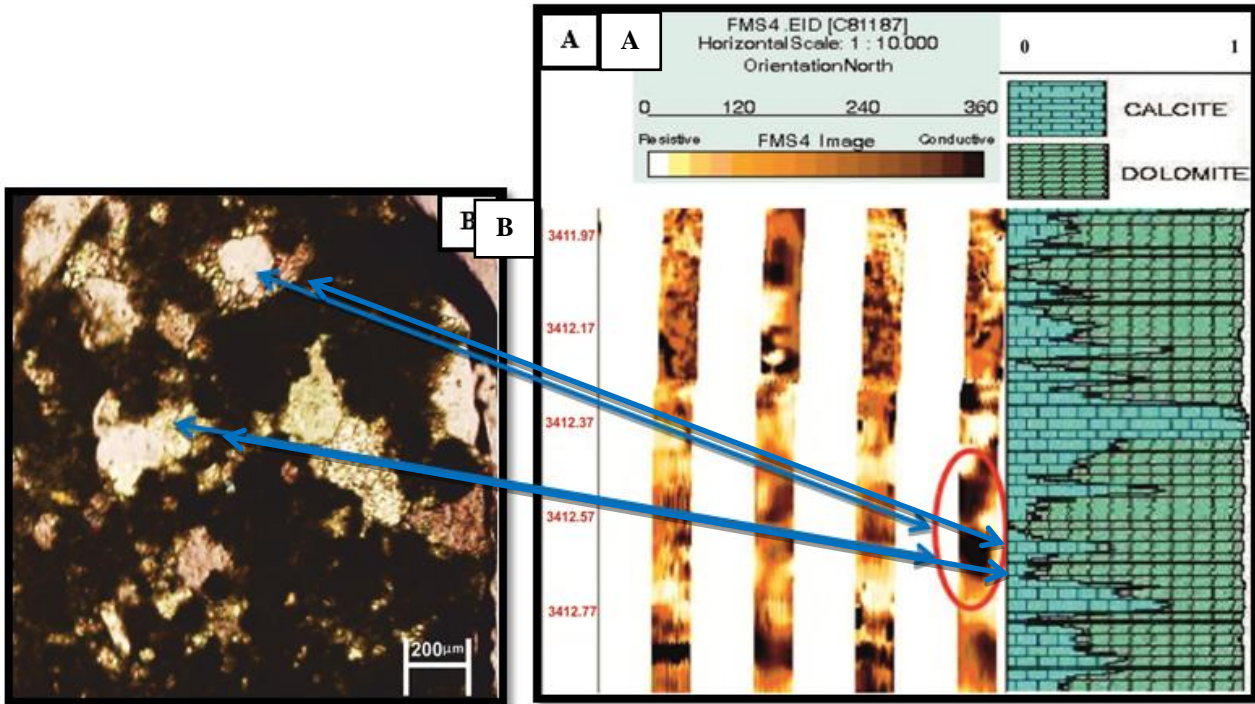
#### ۵. ۴ حفره‌های انحلالی به صورت تخلخل حفره‌ای

این نمونه در عمق ۳۴۱۱ تا ۳۴۱۳ متری روی نمودار FMS لکه‌های تیره رنگی که حاکی از تخلخل بزرگ مقیاس هستند را نشان می‌دهد (شکل ۴-۱). مقطع نازک در همین عمق بافت پکستونیوکلستی را نشان می‌دهد. در اثر انحلال بخشی در

<sup>1</sup> Internal mold



بعضی از قطعات اسکلتی، منجر به تشکیل تخلخل انحلالی درون دانه‌ها شده است. بخشی از این تخلخل، متعاقباً به وسیله سیمان کلسیتی پر شده و در نتیجه مقدار تخلخل ایجاد شده، کاهش یافته است. ابعاد حفره‌ها آن قدر بزرگ نیست که به تنهایی بتوانند هیدروکربن را از خود عبور دهند اما در میان تخلخل‌های حفره‌ای، شکستگی‌های بسیار ریزی وجود دارد که باعث اتصال حفره‌ها در جهت افزایش تراوایی شده‌اند.



شکل ۴- مقایسه و ردیابی تخلخل حفره‌ای در مقاطع نازک و نمودار FMS4. (A) نمودار FMS4. لکه‌های سیاه رنگ در ابعاد مختلف نشان دهنده فضای خالی است. (B) مقطع نازک خردده‌های حفاری شده با بزرگ نمایی ۲۰X و در عمق یکسان با نمودار FMS4. همان طور که مشاهده می‌شود، حفره‌های انحلالی ایجاد شده است.

## ۶- نمودار انحراف سرعت

نمودار VDL توسط روابط زیر در چاه‌های گازی ساخته می‌شود (Anselmetti and Eberli, 1999):

$$VDL = (V_{rock} - V_{dt}) \times (1000000 / 3.281) \quad (1)$$

$$\Phi = (\Phi_N + \Phi_D) / 3 \quad (2)$$

$$V_{rock} = (1 / (1 - \Phi))^{55} + (\Phi \cdot 189) \quad (3)$$

$$V_{dt} = (1 / DT) \quad (4)$$

که در آن

$\Phi$ : تخلخل

$\Phi_N$ : تخلخل نوترون

$\Phi_D$ : تخلخل دانسیته

$V_{rock}$ : سرعت صوت در سنگ

$V_{dt}$ : سرعت نمودار صوتی

DT: زمان نمودار صوتی

این نمودار بر اساس میزان انحراف، به سه زون تقسیم می‌شود:

۱- زون‌های با انحراف صفر (مقادیر بین ۵۰۰- تا ۵۰۰+) که نمایانگر تخلخل بین‌بلوری، بین دانه‌ای و یا تخلخل بسیار ریز می‌باشند و تراوایی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهند.

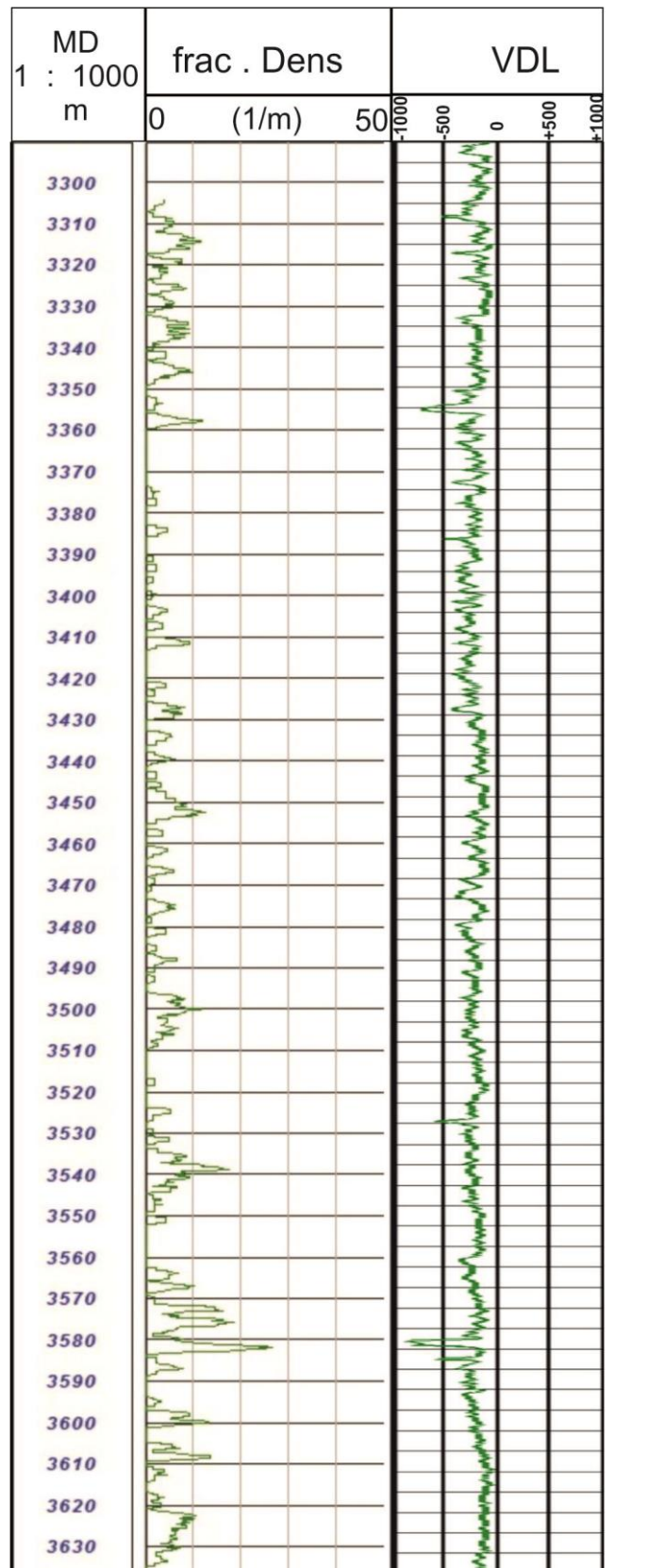
۲- زون‌های با انحراف منفی (مقادیر کمتر از ۵۰۰-)، زمانی ایجاد می‌شوند که سرعت نمودار صوتی کمتر از معادله زمان وایلی برای همان تخلخل باشد، که نمایانگر وجود شکستگی، وجود گاز آزاد در مخزن و یا وجود زون ریزشی می‌باشد.

۳- زون‌های با انحراف مثبت (مقادیر بیشتر از ۵۰۰+)، نمایانگر تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی می‌باشد و معمولاً تراوایی کمی را نشان می‌دهد.

پس از تفسیر نتایج نمودار FMS برای تعیین هندسه تخلخل و همچنین تعداد شکستگی‌ها نسبت به عمق و مطالعه مقاطع نازک، نمودار انحراف سرعت در این چاه و از عمق ۳۲۵۰ تا ۳۶۵۰ متری ساخته شده تا با توجه به زون‌های این نمودار، تخلخل و تراوایی سازند مزدوران در این چاه تعیین و تأثیر شکستگی‌ها بر این دو پارامتر بررسی شود. در شکل ۵ نمودار انحراف سرعت همراه با نمودار چگالی شکستگی‌ها<sup>۱</sup> نسبت به عمق آورده شده است.

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نمودار انحراف سرعت در این چاه، مقادیری بین ۵۰۰- تا ۵۰۰+ را دارد و انحراف صفر را نشان می‌دهد. در نتیجه تخلخل غالب در سازند مزدوران در این چاه از نوع بین‌دانه‌ای و بین بلوری و میزان تراوایی نسبتاً مناسب می‌باشد. با توجه به وجود شکستگی‌ها در طول این چاه و نتایج نمودار چگالی آنها نسبت به عمق می‌توان گفت شکستگی‌ها تأثیر مثبتی روی تخلخل و تراوایی نداشته و تخلخل‌های موجود روی نمودار FMS که به آنها اشاره شد، شامل تخلخل‌های حاصل از شکستگی‌ها نبوده و تخلخل‌های بین دانه‌ای و بین بلوری می‌باشد.

<sup>1</sup> Fracture Density



شکل ۵- نمودار انحراف سرعت همراه با چگالی شکستگی‌ها

## نتیجه گیری

پس از مقایسه نتایج مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک و نمودار تصویری FMS در تعیین هندسه تخلخل و تطابق آنها با نمودار انحراف سرعت مشاهده می‌شود که نمودارهای تصویری در تعیین هندسه تخلخل به تنهایی کارایی ندارند و باید از مطالعه مقاطع نازک و یا مغزه در کنار آنها برای تعیین نوع تخلخل استفاده شود. این نمودار فقط وجود تخلخل را با توجه به ابعاد آن به صورت حفره‌ها و یا لکه‌های تیره رنگ مشخص می‌کند. با توجه به این مطلب ممکن است به علت تلفیق تخلخل‌ها میزان تخلخل بالایی روی نمودار FMS نمایان شود اما چگونگی ارتباط آنها و شکل فضای تخلخل توسط این نمودار قابل تعیین نبوده و تنها وجود تخلخل به کمک این نمودار قابل تشخیص می‌باشد. در نتیجه این نمودار نمی‌تواند به عنوان جایگزین برای مقاطع نازک باشد اما می‌تواند به عنوان مکمل برای مقاطع نازک و ابزاری در تشخیص اولیه برای تعیین نوع و هندسه تخلخل به کار رود. همچنین با ساخت نمودار VDL جهت کنترل نتایج به دست آمده و تعیین نوع غالب تخلخل در سازند مزدوران مشاهده می‌شود که تخلخل غالب در این سازند، بین دانه‌ای و بین بلوری می‌باشد. در نتیجه تخلخل‌های تعیین شده توسط نمودار FMS حاصل تخلخل‌های شکستگی‌ها نمی‌باشند و شکستگی‌ها علی‌رغم وجودشان در اعماق مذکور، تأثیری روی تخلخل ندارند. همچنین تلفیق نتایج نمودار FMS در تعیین هندسه تخلخل و مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک در کنار یکدیگر مشروط به نمونه‌گیری و نگهداری صحیح مقاطع نازک خرده‌های حفاری، می‌تواند به عنوان ابزاری در تعیین پارامتر فوق به کار رود. این مطلب با توجه به مشکلاتی که مغزه، از جمله محدودیت در Recovery، محدود بودن طول مغزه، مشکل توجیه جغرافیایی و هزینه‌های بالای مغزه‌گیری دارد، از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد.

"هیئت تحریریه مجله از آقایان دکتر بهرام موحد و دکتر کدخدایی که داوری مقاله را بر عهده داشته‌اند کمال تشکر و سپاس را دارد"

## منابع

- [1] Choquette, P. W., and L. C. Pray, 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. Bull. Am. Ass Petrol. Geology. V. 54, pp. 207-250 In Rahimpour Bonab, H., 1384. Carbonate rocks,
- [2] Prenskey, S., 1999, Advances in borehole imaging technology and application, Geological Society London, Special Publications, 159:1-43.
- [3] Khoshbakht, F., H. Memarian, and M. Mohammadnia, 2009, Comparison of Asmari, Pabdeh and Gurpi formation's fractures, derived from image log, Journal of Petroleum Science and Engineering, v.67, p.65-74.
- [4] Khoshbakht, F., H. Memarian, M. Azizzadeh, Gh. Nourozi, and A. Moallemi, 2009, Ability of FMS in detecting fractures and other geological features of Asmari fractured carbonate reservoir, 4th North African/Mediterranean Petroleum & Geosciences Conference & Exhibition.
- [5] Kovac, K.M. and S. Lutz, 2009, Borehole Image analysis and geological interpretation of selected features in well DP 27-17 At Desert Peak, Nevada, Thirty-Forth Workshop On Geothermal Reservoir Engineering Stanford University.
- [6] Mousavi N. and B. Soleimani, 2010, Fractures determination Of Khami reservoir in Chilingar oil field, using FMS image log, cores and microscopic thin section studies, The 1<sup>st</sup> Internation Applied Geological Congress,
- [7] Mahmoud Akbar and Z. Movahed, 2003, Borehole Image measurement, Schlumberger.
- [8] Mahmoud Akbar, 2000, Unconventional approach to resolving primary and secondary porosity in gulf carbonates from bore hole image log, Schlumberger.
- [9] Serra, O., Formation Micro Scanner Image Interpretation, Schlumberger Education Services, 2000.
- [10] Silva, I. and F. Domingos, Advanced Borehole Image Applications In Turbidite Reservoirs Drilled With Oil Based Mud, A Case Study From Deep Offshore Angola, SPWLA 44<sup>th</sup> Annual Logging Symposium, 2003.
- [11] Tovaglieri, F., And D. George, Sedimentology and Image Log Analysis of The Jurassic Deltaic Plover Formation, Browse Basin, Australian North West Shelf, AAPGACE, Long beach, California, USA, , 2012.
- [12] Anselmetti, F.S. and G.P. Eberli, 1999, The velocity Deviation Log ;A tool to Predict pore Type permeability Trends in carbonate Drill Holes from sonic and porosity or density logs, AAPG Bulletin , Volume 83, No.3, pp.450-466.
- [۱۳] افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳، زمین شناسی ایران، زمین شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور. ۲۷۵
- [۱۴] سبحانی، ف.، سنگ شناسی رسوبی، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۸. ۱۳۸۵.
- [۱۵] فردین، ه.، تفسیر نمودار تصویربرداری FMS در یکی از چاه های میدان نفتی اهواز، دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران، پردیس علوم، ۱۵۲. ۱۳۸۵.
- [۱۶] تقوی پور، ش.، تجزیه و تحلیل شکستگی های مخزن خامی میدان چیلینگر با استفاده از مغزه و نمودارهای تصویرگر، اولین کنگره ملی توسعه مخازن شکافدار، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۸۷.
- [۱۷] سادات مولایی، ش.، موحّد، ب.، مطالعه ساختمانی شکستگی ها و جهت جریان های قدیمی در سازند آسماری چاه اهواز ۱۸۶ با استفاده از نمودار تصویرگر FMS، فصلنامه زمین، ۱۳۹۰.
- [۱۸] آقاجری، ه.، موحّد، ب.، استفاده از نمودار تصویرگر FMS در مطالعه شکستگی های مخزن آسماری چاه بی بی حکیمه ۹۰، فصلنامه زمین، ۱۳۹۰.
- [۱۹] حسینی، ه.، ۱۳۹۱، کاربرد لاگ انحراف سرعت در تشخیص نوع تخلخل و روند تراوایی مخزن آسماری در میدان نفتی کیلور کریم، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین.



## **Comparision of the results of FMS image log and thin sections data in one field of Kopedagh Basin**

Shamshiri, Z., Sahabi, F., Norouzi, Gh., Memarian, H.

### **Abstract**

Survey and study of porosity and the form and the size of that in oil and gas reservoirs are important due to its key role in reservoir quality and productivity. In this paper, unlike conventional methods of using cores to recognize the geometry and morphology of porosity, FMS image log and thin sections of cuttings from drilling are used. After determining the overall dimension of the porosity shown as black patches and spots by FMS log, the shape and the size of the porosity was studied in the form of petrological study, based on thin sections from Mozdouran reservoir formation(lower Jurassic) in one of the gas fields in the East of Kopedagh basin. Tracing and comparing of the results of the two methods show a good correlation for determining the type and geometry of porosity. Data fusion of FMS log data with petrological studies of thin sections of cuttings from drilling has advantages the most important of which is the possibility of replacement of core with FMS log and thin sections in order to determining the geometry of porosity.

**Keywords:** Geometry of porosity, Porosity morphology, FMS log, Thin sections study, Mozdouran Formation, Kopedagh Basin