

# بررسی ویژگی‌های سیستم تخلخل با استفاده از روش آنالیز تصویر سازند جهرم در میدان موند

پژوهش نفت

سال بیست و سوم

شماره ۷۳

صفحه ۶۴-۵۶، ۱۳۹۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۸/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱/۲۲

حسین علنقیان<sup>۱\*</sup>، سیدعلی معلمی<sup>۲</sup> و محمدرضا کمالی<sup>۲</sup>

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالا دستی نفت، واحد زمین‌شناسی نفت

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالا دستی نفت

alnaghianh@ripi.ir

واژه‌های کلیدی: سازند جهرم، میدان موند، سیستم تخلخل، آنالیز تصویر

## چکیده

در این پژوهش، سازند کربناته جهرم در ناحیه فارس ساحلی بر اساس مطالعات میکروسکوپی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بر اساس این مطالعه و بررسی سیستم‌های تخلخل موجود در این سازند با استفاده از روش آنالیز تصویری بر روی مقاطع نازک میکروسکوپی، ۷ گروه سنگی تعیین گردید. برای بررسی تغییرات گروه‌های سنگی شناسایی شده، از پارامترهای مخزنی شامل تخلخل، تراوایی آزمایشگاهی و لاگ‌های پتروفیزیکی استفاده گردیده و نتایج به دست آمده با هم مقایسه شده است. روش آنالیز تصویری روشی آسان و کارا جهت ارزیابی فضاهای خالی موجود در سنگ می‌باشد، به طوری که در مقایسه با دیگر روش‌ها بسیار کم هزینه‌تر و سریع‌تر می‌باشد. به علاوه با انجام این روش، اطلاعات با ارزشی در مورد نوع، شکل، اندازه و توزیع اندازه فضاهای خالی به دست می‌آید که مجموعه این اطلاعات درک صحیح و دقیقی از کیفیت سنگ مخزن و شرایط مخزنی فراهم می‌نماید.

## مقدمه

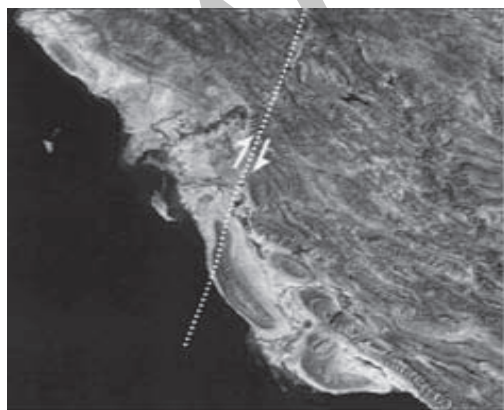
با توجه به اینکه مخازن کربناته عموماً هتروژن هستند، توصیف و ارزیابی آنها نیازمند به کارگیری روش‌ها و تکنیک‌های ویژه می‌باشد. آنالیز تصویری تخلخل‌ها بر اساس آنالیز تصویری کامپیوتری است و با استفاده از برنامه‌های شناسایی، الگو و دسته‌بندی می‌شود اطلاعات به دست آمده از این روش، بسیار سریع است. دلیل استفاده از این روش، ارزیابی صحیح مقدار تخلخل کربنات‌ها با استفاده از تصاویر دیجیتال است که جهت پیش‌بینی کیفیت مخزن و نحوه عملکرد آن به کار می‌رود. برای انجام این روش، تخلخل کربنات‌ها بر روی مقاطع اپوکسی تزریق

باعث گسترش و جهت یافتگی شکستگی‌های موجود در ساختمان مورد مطالعه شده است [۴ و ۵].

سازند جهرم با سن ائوسن<sup>۳</sup> میانی تا بالایی دارای رخساره‌های کربناته دولومیتی آهکی بوده و در نواحی فارس و بخش‌های وسیعی از خلیج فارس مشاهده می‌شود [۵]. سنگ شناسی سازند جهرم ترکیبی است عمدتاً از دولومیت، درصدی آهک انیدریت، همراه شیل کم یا بدون شیل (سازند تمیز) که در بخش‌هایی از آن شکستگی‌هایی مشاهده می‌شود [۸]. به منظور بررسی وضعیت مخزنی سازند جهرم در این میدان، مغزه‌های گرفته شده در یکی از چاه‌ها به ضخامت ۴۴۰ متر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

### روش کار

در روش آنالیز تصویری، ارتباط بین ماهیت تخلخل و کیفیت مخزن با پارامترهایی نظیر تخلخل کل، اندازه توزیع تخلخل، ماکزیمم و می نیمم طول تخلخل‌ها ارزیابی می‌شود که برای تعیین واحدهای جریان‌ی مخزن مفید می‌باشد. تخلخل کل در واقع نسبت مساحت تخلخل کل تصویر به مساحت تصویر می‌باشد که به آن اصطلاحاً Total Optical Porosity گفته می‌شود [۸ و ۹]. روش آنالیز تصویری روشی آسان و توانمند جهت ارزیابی فضاهای خالی موجود در سنگ می‌باشد.



شده ارزیابی گردیده و مقدار کل تخلخل و توزیع آنها با استفاده از داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار که به اکسل وارد می‌شود انجام می‌گیرد. لزوم تعیین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از یک سو و استفاده از روش‌هایی که وقت و هزینه کمتری دارد از سوی دیگر، باعث گردیده که امروز تکنیک آنالیز تصاویر پتروگرافی<sup>۱</sup> برای تعیین مقدار، نوع تخلخل و ارتباط آن با میزان تراوایی و همچنین ارزیابی شکل تخلخل مورد استفاده قرار گیرد. سیستم آنالیز تصاویر را می‌توان با نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی تلفیق کرد. در این تصاویر می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل گر تصویر<sup>۲</sup> میزان تخلخل دو بعدی و شکل هندسی فضاهای خالی نظیر مساحت، اندازه فضاها، مجاری ارتباطی آنها و همچنین محیط منافذ آنها را محاسبه نمود [۱-۳].

### زمین‌شناسی منطقه

میدان موند یک تاقدیس متقارن با ابعاد ۹۰ کیلومتر طول و ۱۶ کیلومتر عرض در جنوب شرقی بوشهر در ساحل خلیج فارس واقع شده است. این تاقدیس به نظر می‌رسد از انواع کشیده مثبت است که نسبت به گسله کازرون ایجاد شده است. حرکت راست گرد گسل امتداد لغز قطر-کازرون باعث پیچش ساختمان طاقدیسی کوه موند به سمت شمال گردیده است (شکل ۱) که این روند به میزان قابل توجهی



شکل ۱- الف- نقشه زمین‌شناسی ساختارهای زاگرس ایران، منطقه مورد مطالعه با علامت مشخص شده است و ب- تأثیر گسل امتداد لغز قطر- کازرون در میدان نفتی کوه موند [۶ و ۷]

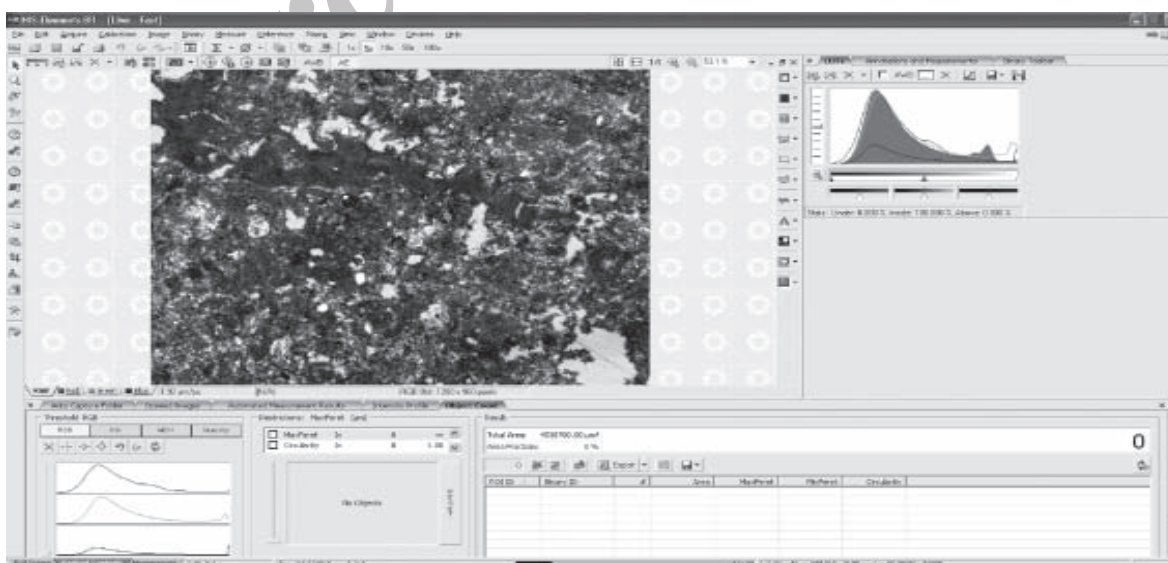
1. Petrographic Image Analysis
2. Image Analyzer
3. San Eosene

مقطع نازک، ۴ میدان در نظر گرفته می‌شود. مقدار تخلخل هر میدان در هر مقطع جدول‌بندی می‌گردد. تصاویر زنده تخلخل‌هایی که تخلخل متوسط آنها برای کل مقطع یکسان است، ارزیابی شده و این تصاویر به عنوان نماینده کل تخلخل مقطع نازک انتخاب می‌شوند. تخلخل تعیین شده با تشخیص بخش‌های رنگی مشخص می‌شود.

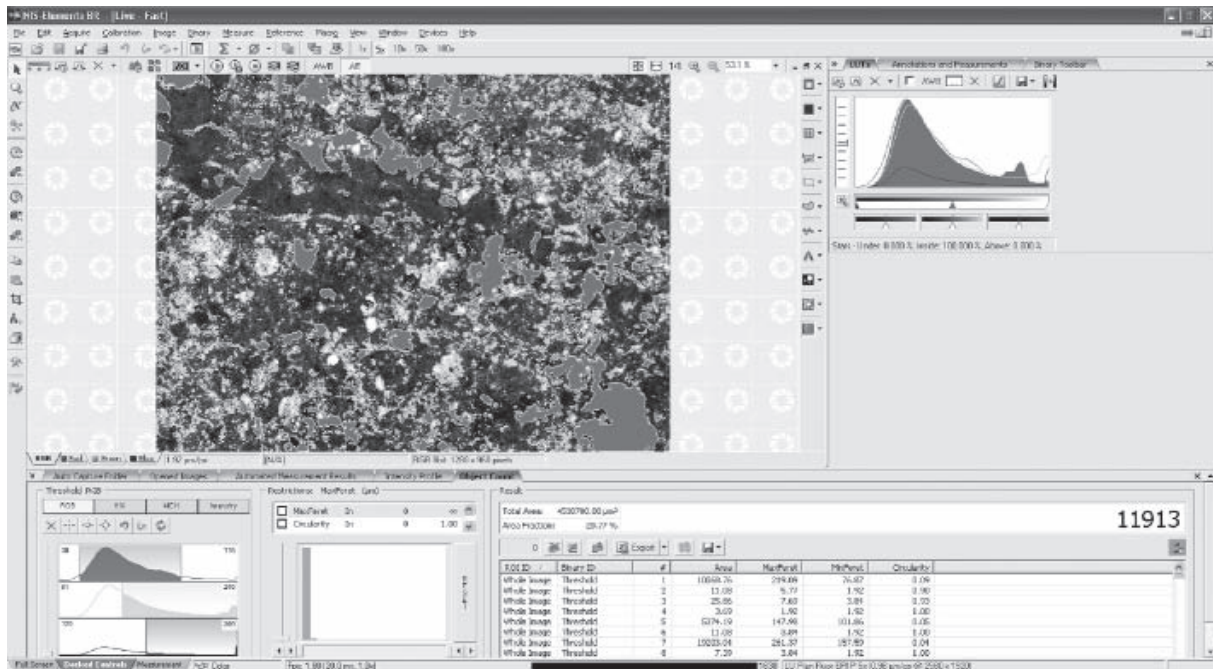
در شکل شماره ۳ کل تخلخل‌ها بر اساس رنگ آنها به طور الکتریکی مشخص و نشانه‌گذاری می‌شوند. این کار تا زمان تعیین همه تخلخل‌ها ادامه می‌یابد. داده‌های حاصل از تصاویر زنده به صورت اکسل ذخیره می‌شوند که از پارامترهای به دست آمده می‌توان توزیع و فراوانی تخلخل‌ها را تفسیر نمود. به منظور بررسی آنالیز تصویری سیستم تخلخل تعداد ۷۰ نمونه از مغزه‌های سازند جهرم انتخاب شده و بعد از تزریق اپوکسی رزین آبی رنگ در شرایط خلاء منفی، از تمامی نمونه‌ها مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده است. لازم به ذکر است که در این مرحله از اطلاعات نمونه‌هایی که توسط اپوکسی رزین تزریق گردیده و دارای تخلخل می‌باشند، استفاده شده است و از اطلاعات نمونه‌هایی که دارای لیتولوژی انیدریتی بوده و یا توسط اپوکسی رزین تزریق صورت نگرفته، صرف نظر شده است.

به طوری که در مقایسه با دیگر روش‌ها بسیار کم هزینه‌تر و سریع‌تر می‌باشد. به علاوه با انجام این روش، اطلاعات با ارزشی در مورد نوع، شکل، اندازه و توزیع اندازه فضا‌های خالی به دست می‌آید که مجموعه این اطلاعات درک صحیح و دقیقی از کیفیت سنگ مخزن را در اختیار قرار می‌دهد. این مطالعه با استفاده از یک دوربین ویدئویی رنگی متصل به یک میدان پتروگرافی از تصویر مقطع نازک و یک نرم‌افزار آنالیز تصاویر NIS-ELEMENTS انجام شده که اطلاعات به دست آمده از مطالعه آنالیز تصویری تخلخل‌ها را ارزیابی می‌نماید. سیستم آنالیز تصویری شامل یک دوربین ویدئویی نیکون LV100POL رنگی است که بر روی یک میکروسکوپ پتروگرافی نیکون قرار گرفته است. تصاویر توسط دوربین و کامپیوتر با کارت گرافیکی و نرم‌افزار آنالیز تصویری گرفته می‌شود. تصاویری که در میکروسکوپ دیده می‌شود، واضح شده و از آنها عکس گرفته می‌شود. توسط سیستم آنالیز تصویری که در شکل شماره ۲ رسم شده، بزرگ‌نمایی، منشا نور، شدت نور و پلاریزه بودن نور استاندارد می‌باشد، لذا تکنیک اندازه‌گیری برای تمام مقاطع نازک قابل مقایسه و یکسان است.

میدان دید مقطع نازک، بر اساس نوع تخلخل‌های مشاهده شده و فراوانی آنها انتخاب می‌شود. اصولاً در مطالعه هر



شکل ۲- نمای شماتیک سیستم آنالیز تصویری



شکل ۳- نمایش تخلخل تعیین شده با تشخیص بخش های رنگی

اندازه تخلخل ها در قسمتی از منحنی مشاهده می شود که تغییر شیب می دهد [۱۰ و ۱۱].

### نتایج و بحث

با بررسی نمودارهای حاصل از آنالیز تصویری و تلفیق اطلاعات حاصل از نمودارهای پتروفیزیکی، داده های آنالیز مغزه ها و مقاطع نازک، در این میدان ۷ گروه سنگی مشخص گردید که به ترتیب به شرح و تفسیر آن می پردازیم [۱۲ و ۱۳].

اطلاعات به دست آمده از میزان پراکندگی اندازه تخلخل ها به صورت داده های Excel درآمده و در فرمت نرم افزار Matlab آنالیز گردیده است. در این منحنی ها که با مقیاس حسابی ترسیم شده، اندازه حفرات تخلخل از چپ به راست در محور X افزایش می یابد.

شیب منحنی در این نمودار تابعی از میزان پراکندگی اندازه تخلخل می باشد، به صورتی که هر چه شیب خط منحنی بیشتر باشد، میزان انحراف معیار کمتر و در نتیجه میزان پراکندگی اندازه تخلخل ها کمتر است. همچنین بیشترین

جدول- انواع گروه های سنگی میکروسکوپی به همراه اطلاعات آزمایشگاهی مغزه، اطلاعات پتروگرافی و تخلخل غالب

شماره نمونه	عمق (m)	سازند	بافت	Core Facies	Min. Area (μm <sup>2</sup> )	Max. Area (μm <sup>2</sup> )	تخلخل حاصل از آنالیز تصویری (%)	تخلخل غالب	تخلخل حاصل از مغزه (%)	نفوذپذیری حاصل از مغزه (md)
۱۱	۶۰۰/۵	جهرم	nummulites skw	۱	۳/۶۹	۲۳۲۹۵۸۴۱/۵۳	۱۳/۴	moldic	۸	۰/۰۵
۲۳	۵۱۷	جهرم	plnummlites sk/p	۲	۳/۶۹	۱۶۳۷۵۵/۱۹۱۹	۱۶/۰۷	moldic	۱۸/۶	۲۷/۸۶
۱۵	۵۷۵	جهرم	nummulites skp/g	۳	۳/۶۹	۴۳۹۰۵/۸۶۴۹۹	۲۵/۰۱	moldic	۲۷	۳۹۱/۳۳
۴۱	۴۱۲/۳	جهرم	plskg	۴	۳/۶۹	۲۵/۸۵۵۲۲۵	۱۴/۰۱	vuggy	۲۰	۱/۴۴
۱	۱۷۹	جهرم	plskw/p	۵	۳/۶۹	۱۱۷۶۲۲/۸۰۴	۲۵/۶۳	interparticle	۱۴/۵۸	۷/۶۳
۵۵	۳۰۳/۵	جهرم	sandy dolomud-stone	۶	۳/۶۹	۲۶۲/۵۸۵/۲۴	۱/۷۷	fracture	۲/۶۳	۱۹۲
۵۶	۳۰۲	جهرم	anhydrite	۷	۳/۶۹	۳۶/۹۳۶۰۳۵	۰/۷۶	-----	۰/۵۶	۵/۹۸



## گروه سنگی شماره ۱

غالب از نوع قالبی بوده و بیش از ۹۰٪ فضاهای خالی زیر ۱۰۰ میکرون می باشد. شیب زیاد منحنی آبی بیانگر جورشدهگی کمتر فضاهای خالی نسبت به نمونه قبلی است (شکل ۵).

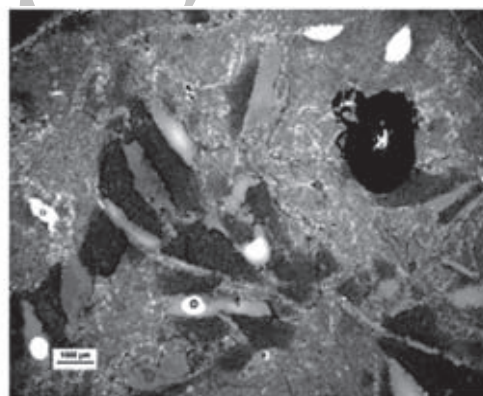
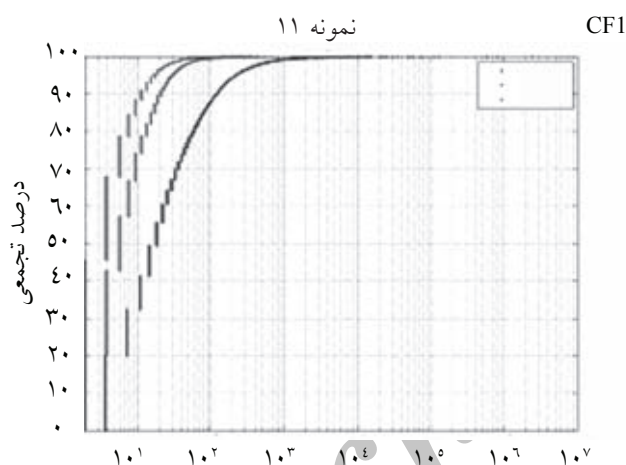
در این گروه با توجه به تشخیص پتروگرافی تخلخل غالب از نوع قالبی بوده و بیشترین اندازه ذرات زیر ۱۰۰ میکرون می باشد. شیب زیاد منحنی بیانگر این مطلب است که جورشدهگی تخلخل بسیار خوب است و میانگین اندازه تخلخلها در حدود ۳۰ تا ۴۰ میکرون است. همچنین حدود ۸۵٪ فضاهای خالی زیر ۱۰۰ میکرون می باشد. (شکل ۴).

## گروه سنگی شماره ۳

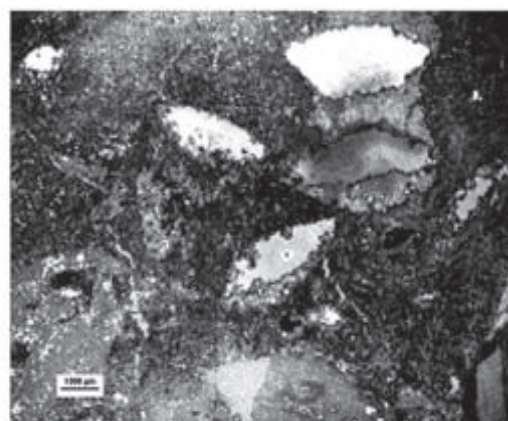
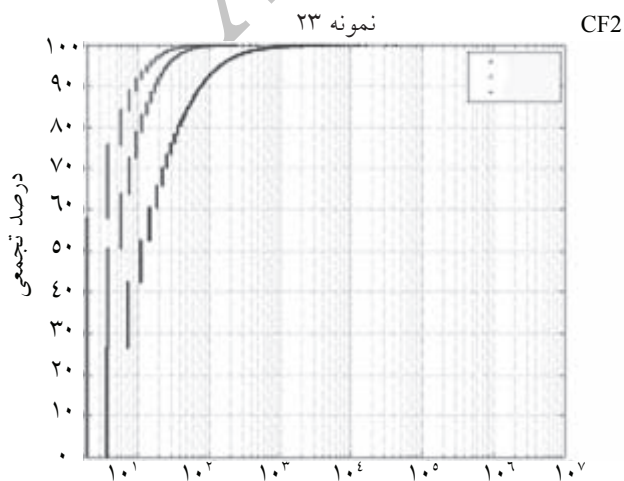
در این گروه تخلخل غالب با توجه به تشخیص پتروگرافی از نوع قالبی بوده و بیش از ۹۰٪ فضاهای خالی زیر ۱۰۰۰ میکرون می باشد. شیب متوسط منحنی آبی نشان دهنده جورشدهگی کمتر فضاهای خالی نسبت به نمونه ۲۳ است (شکل ۶).

## گروه سنگی شماره ۲

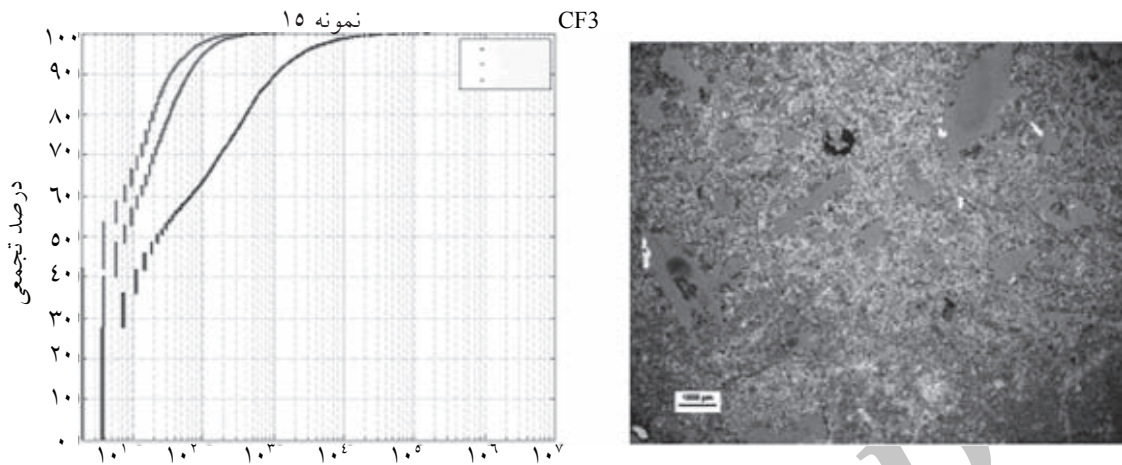
در این گروه نیز بر اساس تشخیص پتروفیزیکی، تخلخل



شکل ۴- نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۱۱ با رخساره میکروسکوپی ۱



شکل ۵- نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۲۳ با رخساره میکروسکوپی ۲



شکل ۶- این نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۱۵ با رخساره میکروسکوپی ۳

#### گروه سنگی شماره ۶

در این گروه تخلخل غالب با توجه به تشخیص پتروگرافی از نوع شکستگی بوده و بالغ بر ۹۰٪ تخلخل زیر ۱۰ میکرون است. در این حالت نیز چون شیب نمودار زیاد است، جورشدگی خیلی خوب و سایز تخلخل‌ها بسیار ریز است (شکل ۹).

#### گروه سنگی شماره ۷

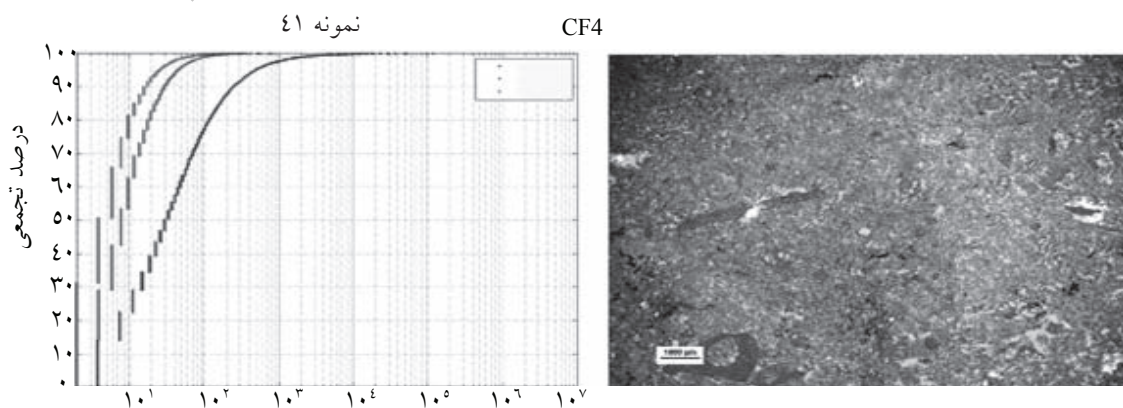
در این گروه با توجه به لیتولوژی غالب انیدریت فاقد تخلخل بوده و بالغ بر ۹۰٪ فضاهای تخلخل زیر ۳ میکرون است و دانه‌ها یک اندازه می‌باشد. (شکل ۱۰).

#### گروه سنگی شماره ۴

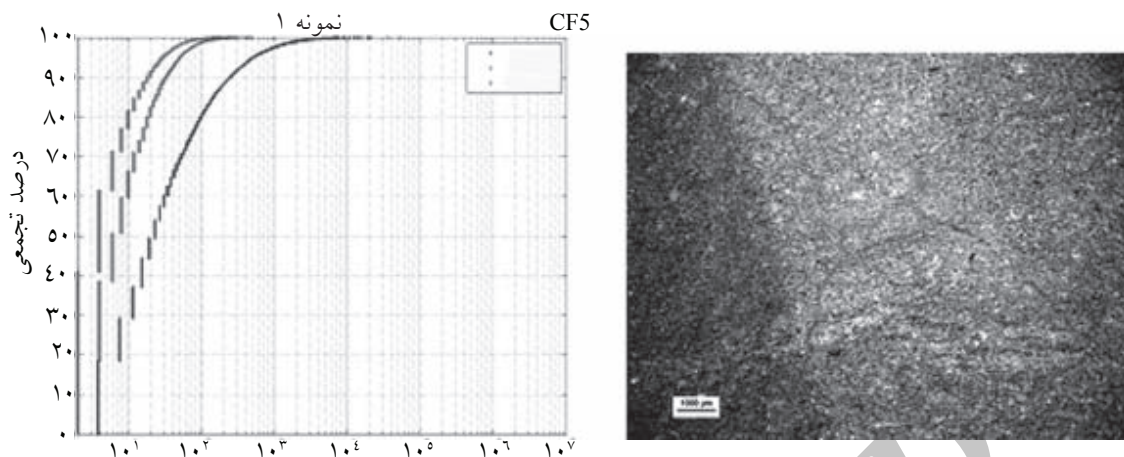
در این گروه تخلخل غالب با توجه به تشخیص پتروگرافی از نوع حفره‌ای بوده و بالغ بر ۸۰٪ تخلخل زیر ۱۰۰ میکرون است. در این حالت نیز شیب منحنی نشان‌دهنده جورشدگی خوب می‌باشد (شکل ۷).

#### گروه سنگی شماره ۵

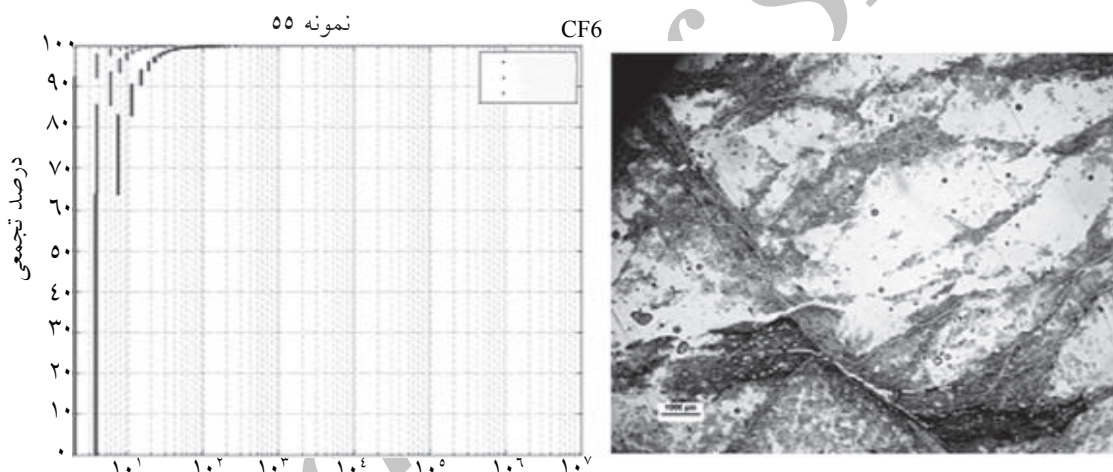
در این گروه تخلخل غالب با توجه به تشخیص پتروگرافی از نوع درون دانه‌ای بوده و بالغ بر ۸۰٪ تخلخل زیر ۱۰۰ میکرون است. شیب زیاد منحنی‌ها بیان گر جورشدگی خیلی خوب اندازه تخلخل‌ها است (شکل ۸).



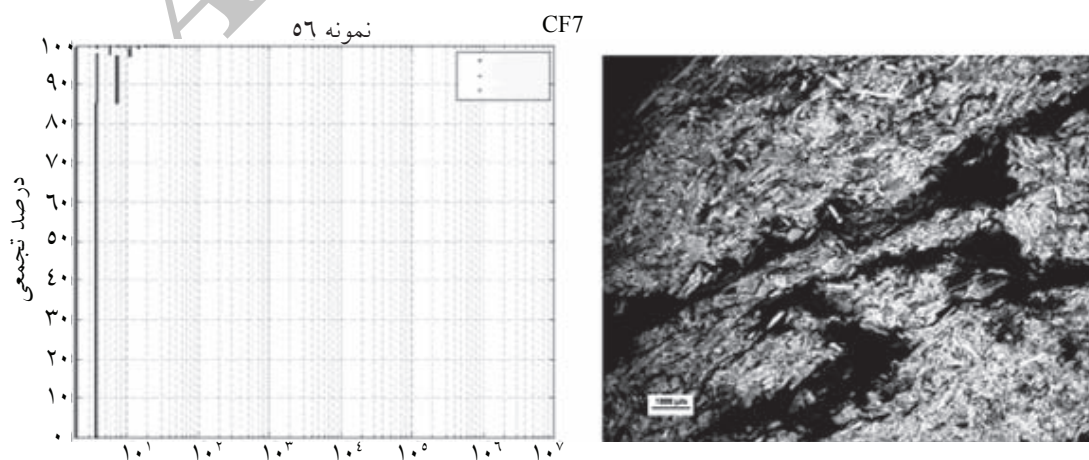
شکل ۷- نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۴۱ با رخساره میکروسکوپی ۴



شکل ۸- نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۱ با رخساره میکروسکوپی ۵



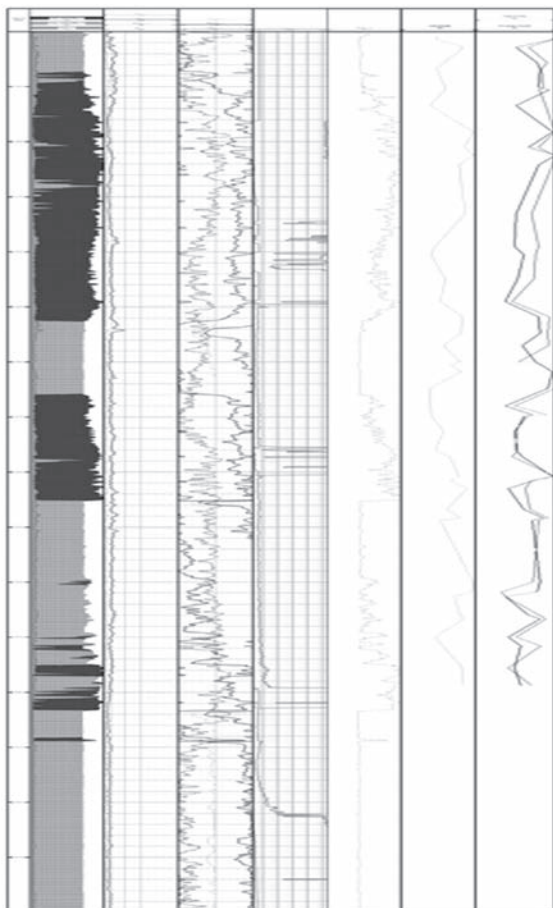
شکل ۹- نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۵۵ با رخساره میکروسکوپی ۶



شکل ۱۰- نمودار حاصل از آنالیز تصویری متعلق به نمونه ۵۶ با رخساره میکروسکوپی ۷



از طریق روش‌های فوق کاملاً با یکدیگر همخوانی دارد و این مساله در شکل ۱۲ که اطلاعات تخلخل به دست آمده توسط روش‌های مختلف در میدان مورد مطالعه را نمایش می‌دهد کاملاً مشهود است.

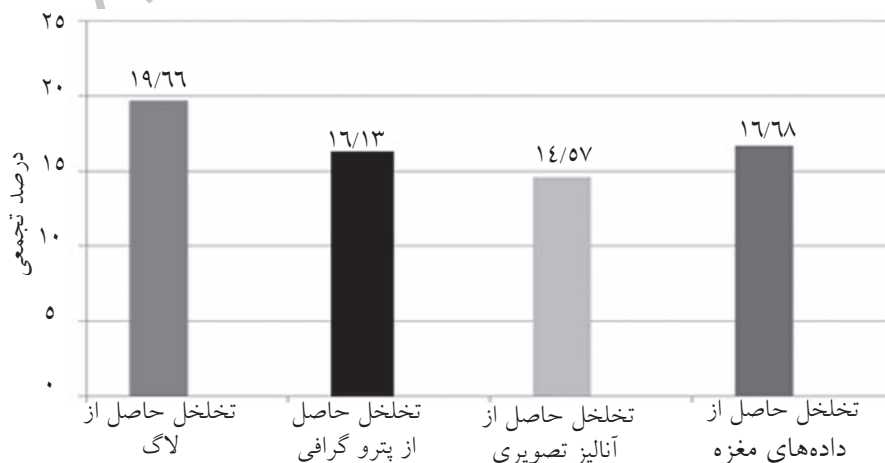


شکل ۱۱- نمودار تلفیقی اطلاعات تخلخل به دست آمده توسط لاگ پتروفیزیکی، پتروگرافی، داده‌های آزمایشگاهی مغزه و آنالیز تصویری در سازند چهارم میدان موند

### تلفیق اطلاعات به دست آمده

مطالعات انجام شده بیان‌گر این مطلب است که عوامل دیاژنزی هم تأثیر مثبت و هم تأثیر منفی بر کیفیت مخزنی دارند. در بعضی از موارد سیمانی شدن به خصوص سیمان انیدریتی، باعث کاهش کیفیت مخزنی شده است. در بعضی موارد نیز به جهت فرآیند انحلال و تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای، شاهد افزایش کیفیت مخزنی می‌باشیم. همچنین عامل دولومیتی شدن با ایجاد تخلخل بین بلوری تأثیر مثبت بر افزایش کیفیت مخزنی داشته و در بعضی موارد نیز با ایجاد سیمان دولومیتی و پر کردن حفرات، تأثیر منفی بر کیفیت مخزنی دارد. به طوری که از بین گروه‌های سنگی موجود در چاه مورد مطالعه که در آنها کیفیت مخزنی بهتری را شاهد هستیم، می‌توان به رخساره CF3 (رخساره نومولیتی با بافت پکستونی تا گرینستونی همراه با تخلخل قالبی فراوان) و رخساره CF5 (با بافت وکستون تا پکستون حاوی فسیل‌های لاگونی به همراه پلوئید و با تخلخل بین دانه‌ای) اشاره کرد. از بین رخساره‌هایی که باعث کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند، می‌توان از رخساره CF7 (انیدریت‌های توده‌ای و متراکم تا لآمینه‌ای) و همچنین رخساره CF6 (بابافت دو لومیکرایت و انیدریت‌های فراوان) نام برد.

همچنین اطلاعات تخلخل حاصل توسط لاگ پتروفیزیکی، پتروگرافی، داده‌های آزمایشگاهی مغزه و آنالیز تصویری پتروگرافی مقایسه و تفسیر شده است (شکل ۱۱). همان گونه که مشاهده می‌شود، تغییرات تخلخل اندازه‌گیری شده



شکل ۱۲- اطلاعات تخلخل به دست آمده توسط روش‌های مختلف در میدان مورد مطالعه



## نتیجه گیری

شده‌اند، می‌توان رخساره CF7 (انیدریت‌های توده‌ای و متراکم تا لامینه‌ای) و همچنین رخساره CF6 (بافت دو لومیکرایت وانیدریت‌های فراوان) را نام برد. - به طور کلی مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده تخلخل به روش تفسیر لاگ‌های پتروفیزیکی و روش اندازه‌گیری آزمایشگاهی مغزه و آنالیز تصویری تطابق بیش از ۹۵٪ را نشان می‌دهد. همچنین این روش با تخمین درصد انواع تخلخل از طریق تفسیر پتروگرافی مقایسه شده و به میزان بیش از ۹۰٪ همخوانی دارد.

- بر اساس بررسی مغزه‌های سازند جهرم در میدان موند و انجام آنالیز تصویری بر روی نمونه‌ها، تعداد ۷ گروه سنگی شناسایی شد. از بین گروه‌های سنگی موجود در چاه مورد مطالعه که در آنها کیفیت مخزنی بهتری را شاهد هستیم، می‌توان به رخساره CF3 (رخساره نومولیتی با بافت پکستونی تا گرینستونی همراه با تخلخل قالبی فراوان) و رخساره CF5 (با بافت وکستون تا پکستون حاوی فسیل‌های لاگونی به همراه پلوئید و با تخلخل بین دانه‌ای) اشاره کرد. همچنین از رخساره‌هایی که باعث کاهش کیفیت مخزنی

## مراجع

- [1]. Anselmetti F. S., Luthi S. and Eberli G. P., "Quantitative characterization of carbonate pore systems by digital image analysis: AAPG Bulletin", Vol. 82, pp. 1815-1836. 1998.
- [2]. Ehrlich R., Kennedy S. K., Crabtree S. J., and Cannon R. L., "Petrographic image analysis; I, Analysis of reservoir pore complexes: Journal of Sedimentary Research", Vol. 54, no. 4, pp. 1365-1378, 1984.
- [۳]. هنرمند ج، بررسی ویژگی‌های سیستم تخلخل در مخازن کربناته با استفاده از روش آنالیز تصویری با مثال‌هایی از نمونه‌های متعلق به گروه‌های سنگی سازند آسماری، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۱۱، صفحات ۱۳-۱۰، ۱۳۸۲.
- [۴]. مطیعی ه، زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۲.
- [۵]. مطیعی ه، زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۲.
- [۶]. نقشه زمین‌شناسی زاگرس، اداره زمین‌شناسی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۰.
- [۷]. نقشه میداین هیدرو کربوری در خلیج فارس، اداره کل نقشه برداری، ۱۳۷۲.
- [8]. Choquette P. W. and Pray L., "Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates", AAPG Bulletin, Vol. 54/2, pp. 207-250, 1970.
- [9]. Layman I. I., JOHN M. and Wayne M. Ahr, "Texas A&M University, Department of Geology & Geophysics", College Station, TX 77845; Pore Measurements by Petrographic Image Analysis: Implications for Rapid Identification and Ranking of Reservoir Flow Units, Happy Spraberry Field, Garza County, Texas: AAPG Bulletin, Vol. 85, No. 13 Supplement. 2001.
- [10]. Lucia F. J., "Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space: Journal of Petroleum Technology", Vol. 35, pp. 626-637, 1983.
- [11]. Lucia F. J., "Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization: AAPG Bulletin", Vol. 79, no. 9, pp. 1275-1300, 1995.
- [12] Moore, C. H., 1989, Carbonate diagenesis and porosity: New York, Elsevier, 338 p.
- [13]. Moore C. H., "Carbonate reservoirs: Porosity evolution and diagenesis in a sequence-stratigraphic framework: Developments in Sedimentology", Vol. 55, pp. 444. 2001.