

## ارزیابی ویژگی‌های مخزنی سازند آسماری در یک چاه از میدان نفتی مارون واقع در فروافتادگی دزفول شمالی

زینب کرمی<sup>۱</sup>، سعیده سنماری<sup>۲\*</sup> و بیژن ملکی<sup>۳</sup>

۱ - دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۲ - دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۳ - استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین

نویسنده مسئول: senemari2004@yahoo.com

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۹/۶/۱

دریافت: ۹۹/۲/۱۹

### چکیده

میدان نفتی مارون در بخش میانی پهنه ساختاری زاگرس چین‌خورده، در فروافتادگی دزفول قرار دارد. در این مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های زیرسطحی و نرم‌افزار ژئولاگ، زون‌های تفکیکی این تاق‌دیس مخزنی از لحاظ لیتولوژیکی تعیین شد. در تعیین زون‌های مخزنی، فاکتورهایی مانند تخلخل و حجم شیل مدنظر قرار گرفت. بررسی‌های پتروفیزیکی با استفاده از کراس‌پلات‌های نوترون-چگالی، نوترون-صوتی، چگالی-صوتی و  $M-N$  نشان می‌دهد که در این مخزن لیتولوژی غالب کربناته است. براساس آنالیز داده‌های چاه‌پیمایی و با استفاده از کراس‌پلات نوترون-چگالی، سازند آسماری از نظر تخلخل از وضعیت مناسبی به ویژه در بخش‌های بالایی سازند برخوردار بوده که به همین جهت بخش‌های بالایی نسبت به پایینی از کیفیت مخزنی بهتری برخوردار است. هم‌چنین درستی ارزیابی انجام شده در چاه مورد مطالعه با تخلخل محاسبه شده از مغزه از تطابق قابل قبولی برخوردار بود. در مطالعه حاضر میانگین حجم شیل بر اساس لاگ  $CGR$  برابر ۲۵/۳۳ درصد است که از این مقدار، بیش‌ترین میزان حجم شیل در قسمت پایینی سازند متمرکز است. از آنجا که هر توالی رسوبی می‌تواند از یک یا چند زون مخزنی با ویژگی‌های لیتولوژی و پتروفیزیکی مخصوص به خود تشکیل شود، لذا ۵ زون مخزنی  $A, B, C, D, E$  در چاه مورد مطالعه شناسایی شد که در زون‌بندی توالی رسوبی سنگ مخزن آسماری جای گرفتند. در این مطالعه، زون  $A$  مربوط به قسمت بالایی و زون  $E$  متعلق به قسمت پایینی از توالی آسماری است. تحلیل داده‌های در دسترس، تخلخل مناسب در کل سازند و میزان حجم شیل پایین خصوصاً در زون‌های  $A, B, C, D$  بیانگر آن است که تقریباً کل سازند در میدان مارون از استعداد مخزنی مناسبی برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** نرم‌افزار ژئولاگ، اشباع‌شدگی، تخلخل، زون مخزنی

### پیشگفتار

آسماری مطالعاتی را انجام داده که می‌توان به زون‌بندی مخزنی ارائه شده توسط میرزا قلی‌پور و حقی (۱۳۶۹)، تعیین گروه‌های سنگی بر مبنای لاگ‌های پتروفیزیکی توسط احمدی (۱۳۸۴)، مطالعات انجام شده توسط (مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ نورائی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳؛ احمدی و امیری‌بختیار، ۱۳۹۶؛ فرشی و همکاران، ۱۳۹۶) اشاره نمود. سازند آسماری در برش نمونه، کوه آسماری ۳۱۴ متر ضخامت دارد که از سنگ‌آهک‌های کرم تا قهوه‌ای با میان لایه‌های شیلی تشکیل شده است. حد بالایی این سازند به صورت پیوسته به سازند گچساران و حد پایینی آن به صورت پیوسته به سازند پابده محدود است (آق‌آبائی، ۱۳۸۳). از لحاظ ساختاری مخازن جنوب‌غربی ایران تاق‌دیس‌های

اولین مطالعه زمین‌شناسی بر روی میدان مخزنی مارون توسط سیسلر (۱۹۷۱) ارائه شد. او در مطالعه خود سازند آسماری را به چهار بخش اصلی تقسیم کرد که هر یک دارای یک زیر لایه کربناتی در بالا و لایه ماسه‌سنگی در پایین است. سپس مطالعه جامع زمین‌شناسی مخزن آسماری مارون توسط شرکت  $IPT$  با معرفی ۱۵ زون مخزنی با داده‌هایی از ۱۸ چاه در سال ۱۹۹۲ انجام شد. شرکت استات‌اوایل<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۳ گزارشی مبنی بر معرفی ۱۹ زون مخزنی از سازند آسماری ارائه کرد. در کنار این تحقیقات، افراد مختلفی نیز درباره سازند مخزنی

<sup>۱</sup> Statoil

امکان بررسی جامع‌تر و گسترده‌تری را فراهم می‌کند. هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین زون‌های مخزنی و بررسی کیفیت مخزنی با استفاده از مطالعات پتروفیزیکی به کمک نرم‌افزار ژئولاگ در یکی از چاه‌های منتخب میدان نفتی مارون است.

## موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی میدان نفتی

### مارون

میدان نفتی مارون در جنوب فروافتادگی دزفول شمالی در زون زاگرس چین‌خورده میانی قرار گرفته است (شکل ۱). از لحاظ موقعیت جغرافیایی این میدان نسبت به میادین مجاور از شمال توسط میدان رامین، از شرق توسط میدان کوپال، از غرب و شمال غرب توسط میادین اهواز و شادگان، و از جنوب توسط میدان رامشیر محدود می‌شود. این میدان فوق‌عظیم نفتی تاقدیسی است نامتقارن با محور سینوسی به طول ۶۷ کیلومتر و عرض متوسط ۷ کیلومتر با جهت جغرافیایی شمال‌غرب-جنوب شرق که در شمال خاور شهر اهواز و در جنوب غرب ایران قرار دارد (مطیعی، ۱۳۸۷). روند محوری ساختار میدان مارون در بخش باختر تا مرکز مانند دیگر ساختارهای زاگرس در جهت شمال‌باختر - جنوب‌خاوری در حدود ۲۲ درجه نسبت به حالت اولیه دچار انحراف شده است. این تاقدیس دارای بیشینه شیب ۴۵-۶۵ درجه در یال جنوب‌باختری و ۴۵-۲۰ درجه در یال شمال‌خاوری است (شکل ۱). از لحاظ ساختاری این میدان دارای پیچش بسیار مشخص در میانه تاقدیس است که به میدان حالت نیمه‌جناغی با تمایل به سمت شمال داده است. مهم‌ترین گسل‌هایی که بر روی نقشه ژئوفیزیک این میدان رسم شده، یک گسل رورانده به نام گسل مارون با روند NW-SE است که در شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی میدان قرار دارد. در اثر عملکرد آن، تاقدیس مارون به روی دشت مجاور رانده شده که طول آن نزدیک به ۵۰ کیلومتر است (میرزا قلی‌پور و حقی، ۱۳۶۹؛ آرین و محمدیان، ۱۳۸۹).

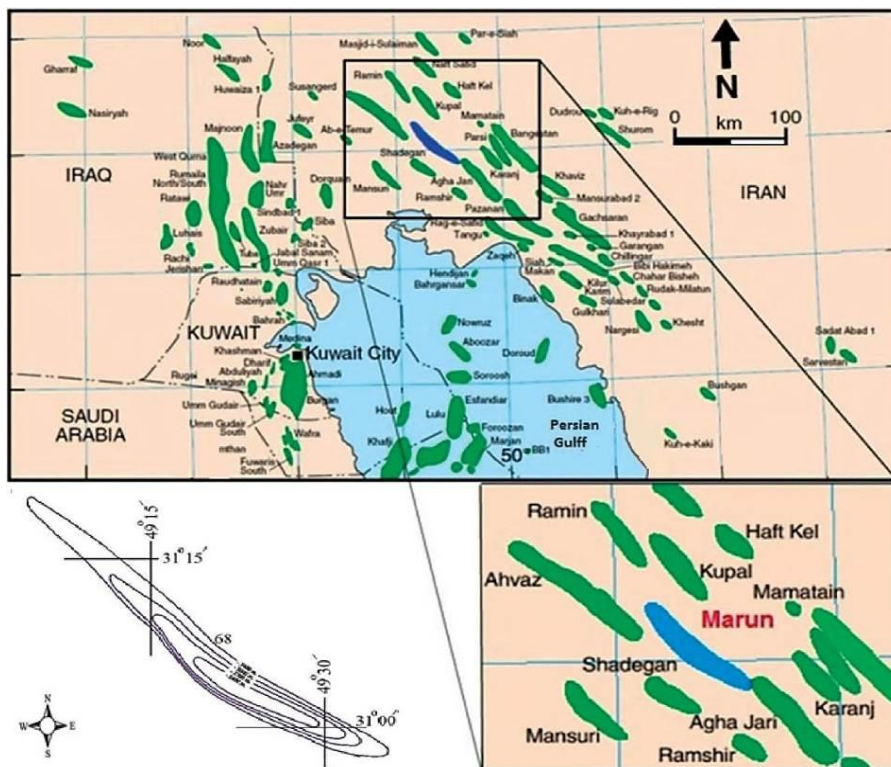
### روش کار

بهره‌برداری صحیح از مخازن هیدروکربوری ابتدا مستلزم انجام تحقیقات اکتشافی دقیق و سپس بررسی و مطالعه بر روی ساختار مخزن و سیالات درگیر موجود در آن است. بنابراین تفکیک زون‌های لیتولوژی مخزنی اهمیتی

طویلی در راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی از سازندهای عمدتاً آهکی آسماری هستند. این سازند از لحاظ زمین‌شناسی به سه واحد رسوبی آسماری پائینی، آسماری میانی و آسماری بالایی تقسیم می‌شود (توماس، ۱۹۴۸). سازند آسماری دارای شکستگی‌های طبیعی توسعه یافته است، بطوری که نقش عمده‌ای در افزایش تخلخل و تراوایی داشته است. شکستگی‌ها از طرف سطح به سمت قاعده آسماری و از ناحیه ستیغ تاقدیس به طرف یال آن کاهش می‌یابند. هم‌چنین لایه‌های شیلی به طرف قاعده آسماری حضور بیش‌تری داشته، از این‌رو تراوایی در آسماری بالایی و میانی بهتر است. با توجه به اطلاعات مخزنی سازند آسماری این میدان به ۵ لایه تقسیم شده است: لایه‌های ۱ و ۲ از آهک دولومیتی که در برخی بخش‌ها از لیتولوژی شیلی و ماسه‌ای تشکیل شده است، لایه ۳ از سنگ‌آهک دولومیتی که در بخش‌های پایینی ماسه‌ای است، لایه ۴ شامل سنگ‌آهک و شیل ماسه‌ای، و در نهایت لایه ۵ بخش انتقالی میان سازندهای پاینده و آسماری است که شامل سنگ‌آهک رسی متراکم همراه با شیل تیره گلوکونیتی پیریتی شده است (آرین و محمدیان، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر بر اساس مطالعات پتروفیزیکی و نمودارهای چاه‌پیمایی دقیق‌تر، سازند آسماری به هشت زون یا بخش تقسیم شد که هر زون، لیتولوژی و اختصاصات فیزیکوشیمیایی مربوط به خود را دارا است (احمدی و قنبری، ۱۳۹۷). مطالعات پتروفیزیکی با استفاده از یک سری نگارهای چاه‌پیمایی انجام می‌گیرد که شامل لاگ گاما، دانسیته، صوتی و مقاومت ویژه است. در اینگونه مطالعات، ثبت پیوسته اطلاعات فیزیکی برحسب عمق در سازندهایی که چاه از آن عبور می‌کند را لاگ پتروفیزیکی می‌گویند. از انواع لاگ برای تعیین زون‌های بهره‌ده، تعیین ضخامت و عمق زون‌ها، تشخیص نوع سیالات، تخلخل، تراوایی، تخمین مقدار ذخایر هیدروکربوری و تعیین محیط رسوبی استفاده می‌شود (هاشمیان و آبدیده، ۱۳۹۴؛ لوئیکا، ۲۰۰۷). البته مغزه‌های بدست آمده از چاه، منبع اصلی تهیه اطلاعات مورد نیاز است، اما از آنجائی‌که تهیه این مغزه‌ها بسیار پرهزینه است، لذا تعداد کمی از چاه‌های هر میدان را با این روش می‌توان بررسی نمود. این در حالی است که در مقابل از همه چاه‌های واقع در هر میدان نفتی، لاگ‌های پتروفیزیکی تهیه شده که

بهره‌دهنده مشخص می‌شود. در این راستا، در به کارگیری روش‌های مختلف پتروفیزیکی، تصحیح و تفسیر انواع لاگ‌ها، داشتن اطلاعاتی نظیر خصوصیات سنگ‌شناسی، دمای سازند، ویژگی سیال حفاری و نیز سیال‌های موجود در سازند (چگالی، سرعت انتقال صوت و مقاومت الکتریکی سیال درون سازند) اهمیت بسزایی دارد.

فراوان در تعیین و تخمین برداشت از مخزن دارد. از این رو ابتدا با در دست داشتن داده‌های خام پتروفیزیکی از چاه مورد مطالعه (چاه A) و با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ، نمودارهای مختلف که شامل نگرهای گاما، دانسیته یا چگالی، صوتی و مقاومت ویژه است بدست می‌آید. سپس با تلفیق اطلاعات و نتایج بدست آمده، زون‌های سنگی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی میدان نفتی مارون و میادین همجوار آن، همراه با نقشه تاقدیس زیرسطحی مارون (بالای سازند آسماری) (اقتباس با کمی تغییر از علیزاده و همکاران، ۲۰۱۲).

آسماری گردید. علاوه بر این، یکی دیگر از کراس‌پلات‌ها که برای تعیین لیتولوژی سازند استفاده می‌شود، کراس پلات  $M-N$  است که با ترکیب دو یا سه لاگ، چند ترکیب کانی‌شناسی مختلف را مشخص می‌نماید.

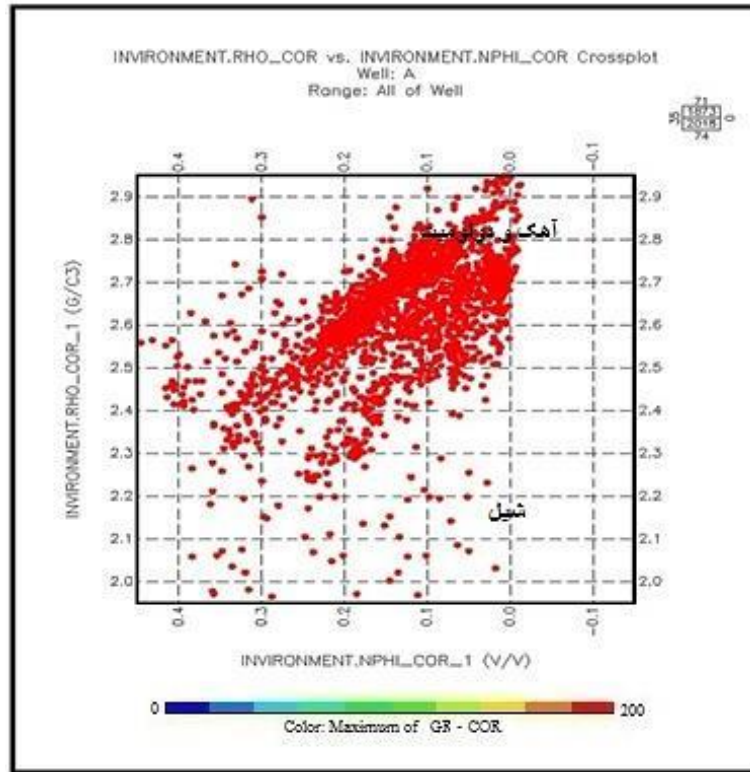
### کراس پلات نوترون - چگالی

در این کراس‌پلات، داده‌های  $NPHI$  در برابر داده‌های لاگ  $RHOB$  پلات می‌شوند. این کراس‌پلات لیتولوژی‌های آهکی، دولومیتی و ماسه‌سنگی را از هم تفکیک می‌کند (شکل ۲). این شکل نشان می‌دهد که سازند آسماری در چاه مورد مطالعه دارای لیتولوژی غالب کربناته (آهکی و دولومیتی) است که البته دارای مقادیری شیل نیز می‌باشد.

### بحث

#### تعیین لیتولوژی سازند آسماری

تعیین نوع سنگ یا لیتولوژی سازند، مرحله‌ای مهم در ارزیابی خواص مخزنی است. در مطالعات پتروفیزیکی، در یک توالی رسوبی جهت تفکیک زون‌های با خصوصیات مخزنی از غیرمخزنی از مطالعه ویژگی‌های سنگی استفاده می‌شود. بنابراین ویژگی‌های هر لایه تاثیر بسزایی بر روی نمودارهای چاه‌پیمایی دارد. برای تعیین لیتولوژی از کراس‌پلات‌های مختلف می‌توان استفاده نمود (شازلی و رامادان، ۲۰۱۱). در این مطالعه از مناسب‌ترین روش غیرمستقیم برای تعیین نوع لیتولوژی یعنی کراس‌پلات‌های نوترون - چگالی و نوترون - صوتی استفاده شد که سبب تشخیص دقیق خصوصیات سنگی در سازند



شکل ۲. کراس پلات نوترون - چگالی در چاه مورد مطالعه

البته در برخی مناطق دارای لیتولوژی از جنس شیل و ماسه‌سنگ نیز می‌باشد (شکل ۴).

#### کراس پلات برای تعیین نوع کانی‌های رسی

لایه‌های شیلی در نهشته‌های رسوبی ترکیب شیمیایی ثابت نداشته و از لحاظ کانی‌شناسی از ایلیت، مونت‌موریونیت، کائولینیت و کلریت تشکیل شده‌اند. در مطالعه حاضر، کانی رسی غالب در شیل، کانی ایلیت است (شکل ۵).

#### تعیین حجم نمونه‌های سنگی سازند آسماری

##### تعیین حجم شیل

در ارزیابی کیفیت مخزنی هر سازند، محاسبه حجم شیل (کانی‌های رسی) از اهمیت زیادی برخوردار است. حضور شیل بر روی تخلخل و تراوایی سازند اثر می‌گذارد (دارلینگ، ۲۰۰۵). روش‌های مختلفی مبنی بر مطالعه لاگ‌ها برای محاسبه حجم شیل وجود دارد (ریدر، ۱۹۸۶؛ سرا، ۲۰۰۹). در بعضی موارد تنها از یک نوع لاگ و در برخی از موارد از ترکیب دو یا چند لاگ می‌توان حجم شیل را محاسبه نمود، در این مطالعه برای دقت بیشتر و حذف اثر اورانیم، از لاگ CGR (لاگ اصلاحی

#### کراس پلات نوترون - صوتی

در این کراس پلات مقادیر داده‌های  $NPHI$  در برابر  $DT$  پلات می‌شود (شکل ۳). در این کراس پلات نیز لیتولوژی غالب، کربناته (آهکی و دولومیتی) تعیین شد.

#### کراس پلات $M-N$ ( $M-N$ PLOT)

با توجه به توالی رسوبی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه، تلفیقی از لاگ‌های مختلف برای تعیین دقیق لیتولوژی مهم است. کراس پلات  $M-N$  از ترکیب سه لاگ تخلخل نوترون، چگالی و صوتی به دست می‌آید. مقادیر  $M$  و  $N$  طبق معادله‌های زیر (۱ و ۲) به دست آمد که سپس در برابر هم رسم می‌شوند (بورک و همکاران، ۱۹۶۹):

$$M = \left[ \frac{\Delta_t f - \Delta_t}{\rho_b - \rho_f} \right] \times 0.1 \quad (1)$$

$$N = \frac{\phi_{Nf} - \phi_N}{\rho_b - \rho_f} \quad (2)$$

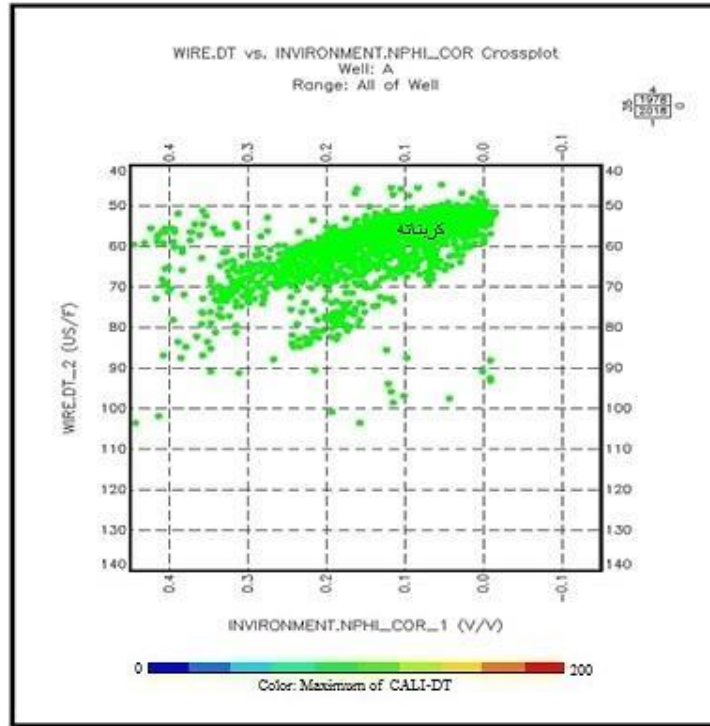
پارامتر  $M$  تلفیق اندازه‌گیری لاگ‌های چگالی و صوتی، پارامتر  $N$  شیب لاگ نوترون و چگالی با توجه به کراس پلات رسم شده لیتولوژی غالب سازند آسماری در چاه مورد مطالعه دولومیت و آهک است که

$CGR_{max}$  = حداکثر مقدار رس مربوط به خط مبنای شیل  
 با  $API$  بین ۶۰-۱۰۰  
 نتایج بدست آمده بیانگر میانگین حجم شیل ۰/۲۵۳۳  
 است (جدول ۱).

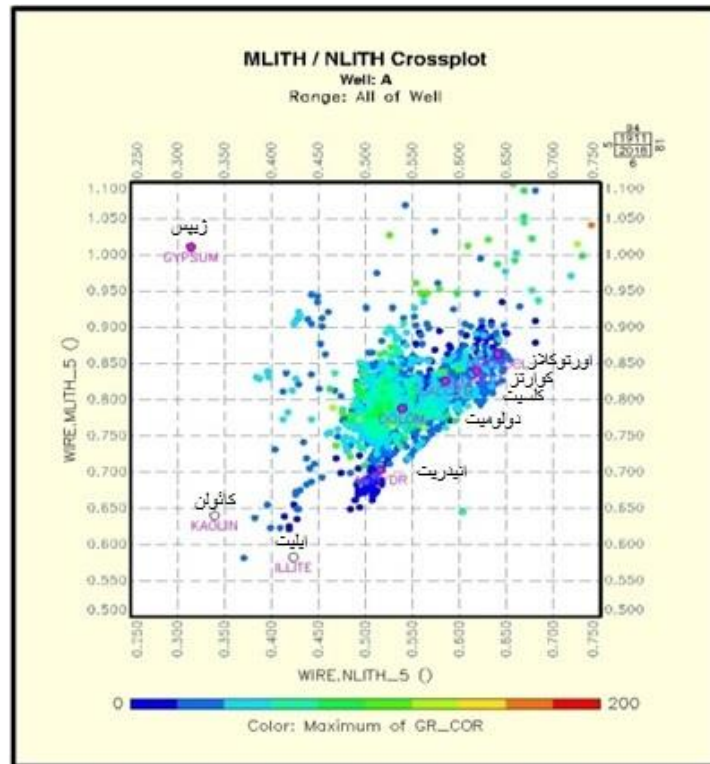
$GR$  استفاده شد. برای محاسبه حجم شیل از معادله زیر  
 (معادله ۳) استفاده شده است:

$$V_{sh} = \frac{CGR - CGR_{min}}{CGR_{max} - CGR_{min}} \quad (3)$$

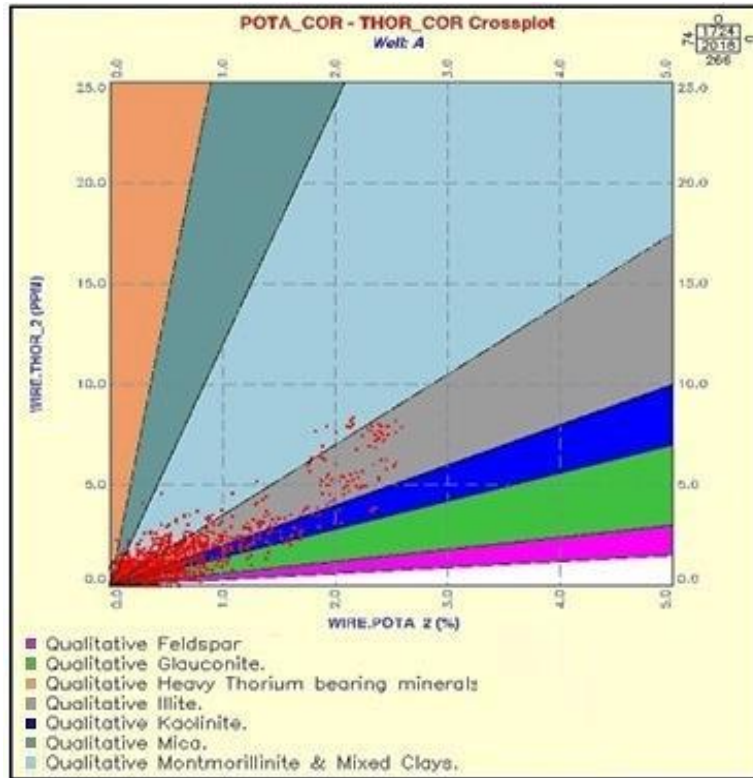
$CGR_{min}$  = حداقل مقدار رس از بخش‌های تمیز سازند  
 مربوط به خط مبنای شیل با  $API$  بین ۰-۲۵



شکل ۳. کراس پلات نوترون- صوتی در چاه مورد مطالعه



شکل ۴.  $M-N$  PLOT در چاه مورد مطالعه



شکل ۵. کراس پلات تعیین کانی‌های رسی در چاه مورد مطالعه

### تعیین حجم کربنات و ماسه‌سنگ

در این مطالعه هم‌چنین با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ حجم تقریبی چهار نوع لیتولوژی دولومیت، انیدریت، آهک و ماسه‌سنگ نیز بدست آمد (جدول ۲). بنابراین لیتولوژی غالب سازند آسماری در چاه مورد مطالعه شامل آهک و دولومیت است که در برخی اعماق، لایه‌هایی از جنس ماسه‌سنگ و شیل مشاهده می‌شود.

### تعیین تخلخل

فاکتورهایی که تخلخل سنگ را تعیین می‌کنند شامل حجم فضای خالی و هندسه آن‌ها و توزیع این فضاهای خالی در سنگ است. تخلخل به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود که بایستی به صورت درصد بیان شود (پاپ و همکاران، ۲۰۰۰). تخلخل ثانویه، اغلب در سنگ‌های کربناته وجود دارد که سبب افزایش تراوایی سنگ نیز می‌شود (کرین، ۱۹۸۶). برای ارزیابی تخلخل می‌توان از لاگ‌های نوترون، چگالی، صوتی و هم‌چنین ابزار NMR استفاده نمود. در این مطالعه از لاگ‌های چگالی و صوتی برای تعیین فواصل شیلی در تخلخل ظاهری استفاده شده است. برای تعیین تخلخل کل،

می‌توان از روش‌های نوترون-چگالی و نوترون-صوتی که شاخص مناسبی برای تشخیص حضور شیل است استفاده نمود. در این مطالعه محاسبه تخلخل (جدول ۳) با استفاده از لاگ صوتی (معادله ۴) و نیز لاگ نوترون-چگالی (معادله ۵) بطریق زیر بدست آمد:

$$\phi_{sonic} = \frac{DT - DT_{ma}}{DT_{fl} - DT_{ma}} \quad (4)$$

$$\phi_{ND} = \sqrt{\frac{\phi_N^2 - \phi_D^2}{2}} \quad (5)$$

با توجه به لاگ‌های تخلخل نوترون-چگالی برای محاسبه تخلخل کل و لاگ صوتی برای تعیین تخلخل، می‌توان تخلخل ثانویه را مطابق رابطه زیر (معادله ۶) محاسبه نمود:

$$\phi_{sec} = \phi_{ND} - \phi_{sonic} \quad (6)$$

در این مطالعه اندیس تخلخل ثانویه با نماد  $SPI^1$  بیان شده است. نتایج بدست آمده در چاه A بیانگر مقدار  $SPI = 0.0162$  است.

<sup>1</sup> Secondary Porosity Index



جدول ۱. حجم شیل محاسبه شده در چاه مورد مطالعه

نام چاه	حداقل حجم شیل	میانگین حجم شیل	حداکثر حجم شیل
A	0.000	0.2533	1.000

جدول ۲. میانگین حجم لیتولوژی بدست آمده در چاه مورد مطالعه

نام چاه	$V_{sh}$	$V_{Anh}$	$V_{ca}$	$V_{DOL}$	$V_{sand}$
A	0.2533	0.0966	0.2614	0.4352	0.0829

جدول ۳. میانگین تخلخل محاسبه شده (تخلخل صوتی، نوترون-چگالی، کل و موثر) برای چاه مورد مطالعه

نام چاه	$\Phi_{Sonic} v/v$	$\Phi_{ND} v/v$	$\Phi_T v/v$	$\Phi_E v/v$
A	0.0547	0.0653	0.0825	0.0656

بدست آمد. نهایتاً سه زون در چاه مورد مطالعه قابل شناسایی است:

#### زون‌های با انحراف منفی

انحرافات منفی زمانی ایجاد می‌شوند که سرعت لاگ صوتی کم باشد. این کاهش تحت تاثیر سه عامل ریختگی دیواره چاه، وجود شکستگی و محتوای گاز است. این زون‌ها معمولاً تراوایی بیشتری نسبت به زون‌های دیگر دارند.

#### زون‌های با انحراف صفر

زون‌های با انحراف کم ( $\pm 50 \text{ m/s}$  یا کمتر) در اثر تخلخل بین‌ذره‌ای و بین‌بلوری ایجاد می‌شوند. این تخلخل‌ها معمولاً تراوایی بالای را نشان می‌دهند.

#### زون‌های با انحراف مثبت

انحرافات مثبت بیانگر سرعت نسبتاً بالا با توجه به تخلخل است که توسط تخلخل‌های چهارچوبی نظیر تخلخل قالبی و درون فسیلی ایجاد می‌شود. به طور کلی زون‌های با انحراف مثبت، تراوایی کمی را نشان می‌دهد (آنسلمتی و ابرلی، ۱۹۹۹).

بنابراین در مطالعه حاضر با بررسی لاگ انحراف سرعت در طول چاه، مشخص شد که ضخامت‌هایی از عمق چاه که دارای انحراف مثبت هستند دارای تخلخل‌های چهارچوبی نوع قالبی یا فسیلی و ضخامت‌هایی که دارای انحراف صفر می‌باشد لایه‌ها دارای تخلخل بین‌ذره‌ای و بین‌بلوری هستند. لاگ انحراف سرعت تنها در اعماق ۳۴۱۱ و ۳۵۰۱ منفی است که می‌تواند بیانگر ریختگی دیواره چاه یا محتوای گاز آن ضخامت باشد.

#### تعیین نمودار انحراف سرعت

نمودار انحراف سرعت، معیاری برای انواع تخلخل در کربنات‌ها، نحوه گسترش فضاها و خالی دیاژنتیکی و نهایتاً روند تراوایی است. این نمودار از ترکیب لاگ صوتی با لاگ نوترون و یا چگالی بدست می‌آید. برای تعیین این نمودار، ابتدا با استفاده از معادله میانگین زمان وایلی (وایلی و همکاران، ۱۹۵۶) (معادله ۷). داده‌های مربوط به تخلخل به سرعت تبدیل می‌شوند. سپس اختلاف آن با سرعت واقعی حاصل از نمودار صوتی به صورت نمودار انحراف سرعت ترسیم می‌شود.

$$\frac{1}{V_{Rock}} = \frac{1 - \phi}{V_{matrix}} + \frac{\phi}{V_{fluid}} \quad (7)$$

تخلخل از لاگ نوترون-چگالی و سرعت ماتریکس ( $V_{matrix}$ ) (معادله ۸) با عکس کردن زمان عبور ( $dt_{Matrix}$ ) (جدول ۴) بدست می‌آید.

$$V_{matrix} = \frac{1}{dt_{ma}} \quad (8)$$

بنابراین مقدار میانگین  $V_{matrix}$  در چاه مورد مطالعه برابر ۱۶۲۶/۶۶۲۲ و سرعت حاصل از نمودارهای تخلخل ( $V_{Rock}$ ) با استفاده از معادله وایلی برابر ۹۴۰۷/۵۰۴۲ می‌باشد.

برای به دست آوردن سرعت حاصل از نمودار صوتی از عکس زمان عبور آن استفاده می‌شود (معادله ۹).

$$v_{dt} = \frac{1}{dt} \quad (9)$$

بر این اساس مقدار  $v_{dt}$  در چاه مورد مطالعه معادل ۷۱۴۲/۴۹۸۹ متر بر ثانیه بدست آمد.

از اینرو اختلاف سرعت حاصل از  $V_{dt}$  و  $V_{Rock}$  به عنوان نمودار انحراف سرعت  $V_{dl}$  با میانگین  $92/776 \text{ m/s}$

جدول ۴.  $dt_{Matrix}$  محاسبه شده در چاه مورد مطالعه

نام چاه	$dt_{Matrix} Min us/f$	$dt_{Matrix} Mean us/f$	$dt_{Matrix} Max us/f$
A	12.4353	46.5352	177.0938

**تعیین مقاومت سازند**

**محاسبه مقاومت واقعی سازند**

روش‌های مختلفی برای محاسبه مقاومت واقعی ( $R_t$ ) وجود دارد. از معمول‌ترین این روش‌ها محاسبه مقاومت واقعی سازند با استفاده از معادله ۱۰ است. بنابراین با مشخص بودن  $R_{LLS}$  می‌توان مقدار  $R_t$  را در چاه مورد مطالعه معادل ۸۲/۴ بدست آورد.

$$R_t = (1.7 \times R_{LLD}) - (0.7 \times R_{LLS}) \quad (10)$$

**محاسبه مقاومت آب سازند**

در این مطالعه برای محاسبه آب سازند ( $R_w$ ) از کراس پلات پیکت (۱۹۶۶) که کراس‌پلات مقاومت- تخلخل است، استفاده شد (شکل ۶). در معادله بکار رفته (معادله

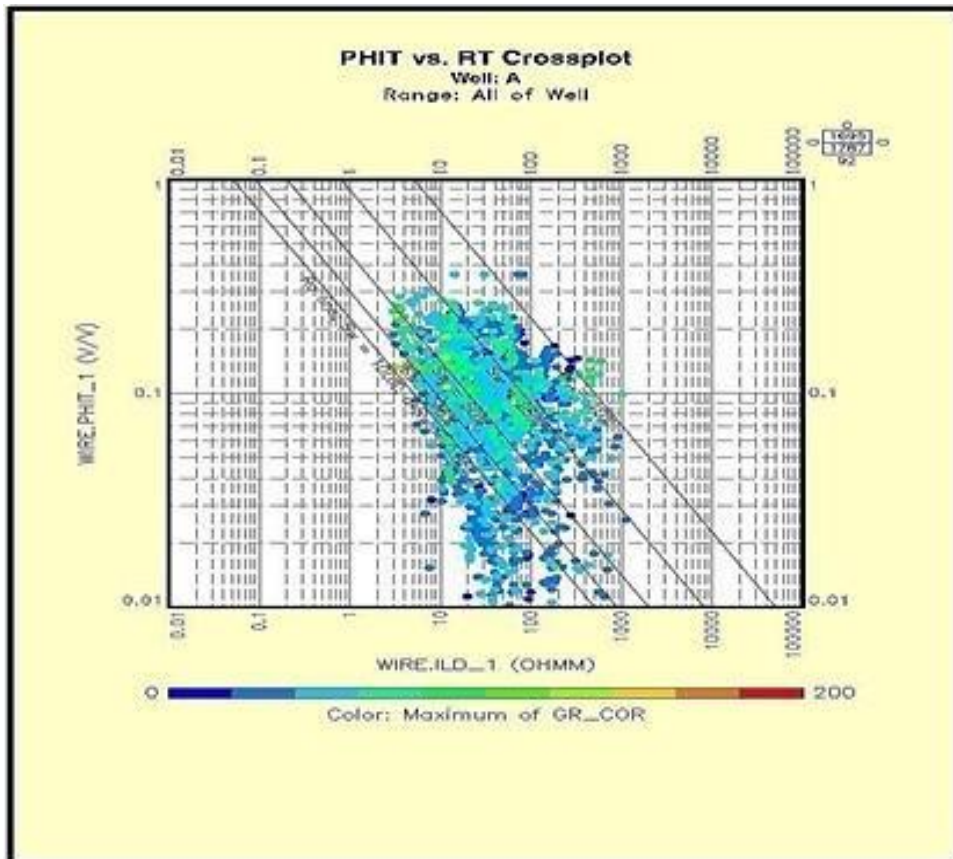
(۱۱) مقاومت واقعی سازند ( $R_t$ )، تخلخل ( $\Phi$ )، اشباع آب ( $S_w$ ) و ضریب سیمان‌شدگی ( $m$ ) است.

$$R_t = \frac{a \cdot R_w}{\Phi^m - s_w^n} \quad (11)$$

در زون‌های حاوی آب، معادله لگاریتمی به صورت معادله ۱۲ ارائه می‌شود:

$$\log(R_t) = \log(a \cdot R_w) - m \log(\Phi) \quad (12)$$

در معادله خطی مذکور،  $R_t$  در جهت محور  $x$  و  $\Phi$  در جهت محور  $y$  قرار دارد. بنابراین با مشخص بودن فاکتور  $a$  می‌توان مقدار  $R_w$  را در چاه مورد مطالعه معادل ۰/۰۱۸۸ بدست آورد. در این کراس‌پلات، با افزایش مقاومت به سمت راست درصد اشباع آب کاهش و اشباع نفت افزایش می‌یابد.



شکل ۶. کراس پلات مقاومت- تخلخل در چاه مورد مطالعه



### تعیین اشباع آب سازند آسماری

اشباع آب یا هر نوع سیال می‌تواند از نسبت حجم سیال به حجم فضای خالی سنگ در برگیرنده بدست آید. در این مطالعه می‌توان با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی و معادلات تجربی، اشباع آب را تعیین نمود. برای محاسبه میزان اشباع آب در سنگ‌های کربناته معادله اندونزی (معادله ۱۳) (پوپن و لوکس، ۱۹۷۱) کاربرد زیادی دارد.

$$\frac{1}{R_t} = \left[ \left( \frac{\phi^m}{a \times R_w} \right)^{0.5} + \frac{v_{sh}(1 - 0.5 \times v_{sh})^z}{(R_{sh})^{0.5}} \right] \times s_w^n \quad (13)$$

مقادیر به دست آمده از این رابطه ریاضی معادل  $Sw_{ind} = 0.4021$  است.

از طرفی می‌توان برای بالا بردن دقت، اشباع آب را با روش سیمندو (سیمندو، ۱۹۶۳) نیز محاسبه نمود. مقادیر به دست آمده از این روش نیز معادل  $Sw_{sim} = 0.3418$  است. در این مطالعه با توجه به پایین بودن حجم شیل، مقادیر به دست آمده از این روابط بسیار نزدیک هم می‌باشد (جدول ۵).

با توجه به مقادیر تخلخل مفید و میانگین اشباع آب نسبتاً بالای سازند که از رابطه اندونزی بدست آمد، می‌توان حجم نفت را از معادله ۱۴ محاسبه نمود. بر اساس محاسبه انجام شده، حجم نفت ( $V_{oil}$ ) معادل  $0.291$  بدست آمد که البته روند آن تحت تاثیر تخلخل مفید در قسمت‌های مختلف چاه قابل تغییر است.

$$V_{oil} - U_{oil} = (1 - S_{WE}) PHIE \quad (14)$$

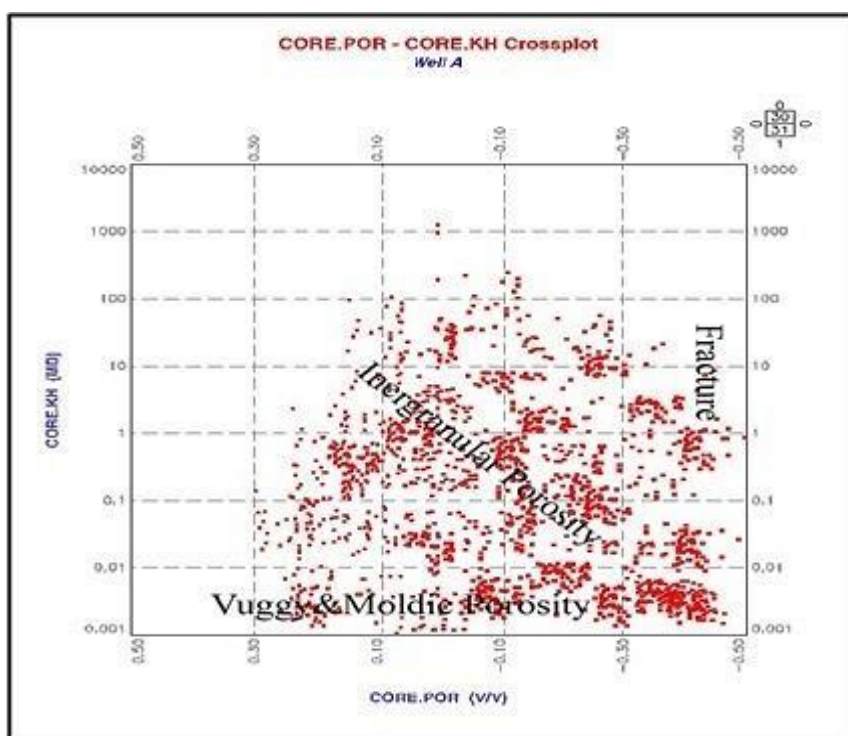
### داده‌های مغزه

#### تخلخل

برای صحت‌سنجی ارزیابی‌های انجام شده در این مطالعه، مقدار تخلخل موجود در مغزه با تخلخل محاسبه شده در بخشی از چاه (در مطالعه حاضر، زون C) مقایسه شد (جدول ۶). همچنین کراس‌پلات داده تخلخل - تراوایی مغزه در چاه A در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج مشخص کرد که تخلخل مغزه منطبق بر تخلخل‌های به دست آمده از لاگ در مطالعه حاضر است.

جدول ۵. میانگین اشباع آب سازند در چاه مورد مطالعه

نام چاه	$S_{WE}$	$S_{WSim}$	$Sw_{indo}$	$V-U_{water}$
A	0.4187	0.3418	0.4021	0.0137



شکل ۷. نمودار تخلخل - تراوایی چاه A، واقع در میدان مارون

### زون بندی مخزن آسماری

تعیین زون‌های مخزنی سازند فرآیندی است که به وسیله آن رفتار دینامیکی سازند مشخص می‌شود. براساس ویژگی‌های پتروفیزیکی تعیین شده (جدول ۷)، بخش حفاری شده سازند مخزنی آسماری در چاه مورد مطالعه به ضخامت ۲۵۷ متر، در مجموع شامل پنج زون مخزنی A, B, C, D, E به شرح زیر تعیین گردید (شکل ۸):

**زون A:** ضخامت این زون ۴۰ متر (اعماق ۳۳۴۰-۳۳۰۰ متر) است که شامل لیتولوژی دولومیت آهکی با تخلخل میانگین ۹/۵ و اشباع آب ۲۱/۸ است.

**زون B:** ضخامت این زون ۲۰ متر (اعماق ۳۳۶۰-۳۳۴۰ متر) است که عمدتاً شامل لیتولوژی دولومیت آهکی با

مقدار کمی دولومیت ماسه‌ای با تخلخل میانگین ۱۴/۴ و اشباع آب ۱۶/۶ است.

**زون C:** ضخامت این زون ۷۸ متر (اعماق ۳۴۳۸-۳۳۶۰ متر) است که شامل سنگ‌آهک دولومیتی، دولومیت آهکی و سنگ آهک‌های ماسه‌ای همراه با شیل است که میزان تخلخل میانگین ۱۲/۷ و اشباع آب ۴/۱۶ است.

**زون D:** ضخامت این زون ۱۹ متر (اعماق ۳۴۵۷-۳۴۳۸ متر) است که شامل دولومیت‌های آهکی و مقدار کمی شیل با تخلخل میانگین ۱۶/۹ و اشباع آب ۱۸/۲ است.

**زون E:** ضخامت این زون ۱۰۰ متر (اعماق ۳۵۵۷-۳۴۵۷ متر) است که عمدتاً از آهک دولومیتی، دولومیت آهکی همراه با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و شیل تشکیل شده است. میزان تخلخل میانگین ۱۲/۵ و اشباع آب ۲۵/۳ است (جدول ۸).

جدول ۶. تخلخل موثر و کل محاسبه شده در چاه مورد مطالعه و مقایسه آن با مغزه از همان چاه

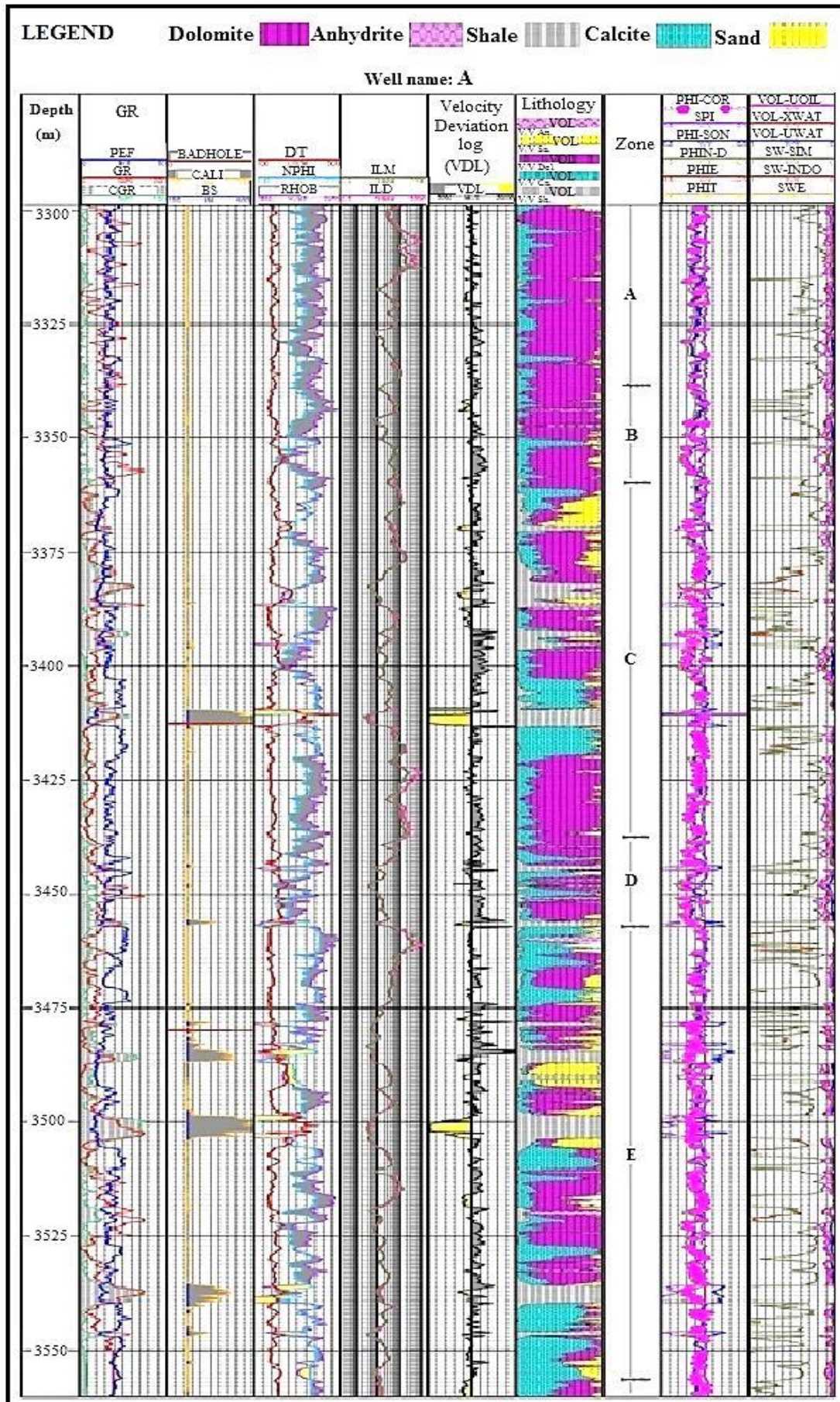
نام چاه	$\Phi_E V/V$	$\Phi_T V/V$	$\Phi_{core} V/V$
A	0.0656	0.0825	0.0846

جدول ۷. مقادیر متوسط تمام پارامترهای ارزیابی شده برای تعیین زون‌های مختلف سازند آسماری در میدان مارون

نام چاه	میانگین حجم انیدریت	میانگین حجم شیل	میانگین حجم کلسیم	میانگین حجم دولومیت	میانگین حجم ماسه	Sonic $\Phi_{V/V}$	$\Phi_{ND} v/v$	$\Phi_T v/v$	$\Phi_E v/v$
A	0.0966	0.2533	0.2614	0.4352	0.0829	0.0547	0.0653	0.0825	0.0656
	$\Phi_E V/V$	$\Phi_T V/V$	$\Phi_{core} V/V$	$dt_{Matrix}$ Mean us/f	SWE	S <sub>WSim</sub>	Swindo	V-U <sub>water</sub>	
	0.0656	0.0825	0.0846	177.0938	0.4187	0.3418	0.4021	0.0137	

جدول ۸. پارامترهای مخزنی محاسبه شده در سازند آسماری در چاه A میدان مارون

نام زون	ضخامت	ضخامت مفید	ضخامت مفید/ضخامت کل	تخلخل	اشباع آب
A	40	24.7	0.609	9.5	21.8
B	20	12.6	0.589	14.4	16.6
C	78	38.4	0.495	7.12	4.16
D	19	12.6	0.648	16.9	18.2
E	100	42.2	0.422	12.5	25.3



شکل ۸. نمودارهای چاه‌پیمایی و ستون لیتولوژی با زون‌بندی در چاه مورد مطالعه، واقع در میدان مارون



## نتیجه‌گیری

براساس تجزیه و تحلیل داده‌های چاه‌پیمایی و محاسبه پارامترهای پتروفیزیکی در یکی از چاه‌های مخزن آسماری میدان مارون نتایج زیر حاصل شد:

لیتولوژی سازند آسماری با استفاده از لاگ‌های چاه‌پیمایی و تهیه انواع کراس‌پلات مشخص شد. بر این اساس لیتولوژی غالب سازند از نوع کربناته (آهک و دولومیت) است که در برخی از زون‌ها لایه‌های شیل و ماسه‌سنگ نیز وجود دارد. سازند آسماری در این چاه از میانگین حجم شیل پایین برخوردار است. بر اساس کراس‌پلات توریم-پتاسیم، کانی رسی غالب در آن کانی ایلیت است. بخش بالایی این سازند از لیتولوژی تمیز کربناته (کلسیت و دولومیت) تشکیل شده که بیش‌ترین سهم تولید از مخزن را به خود اختصاص می‌دهد. پایین بودن حجم شیل در بخش بالایی احتمالاً به دلیل رسوب‌گذاری سازند در یک محیط پرانرژی است. در مقابل بخش بالایی، میزان حجم شیل در بخش‌های پایینی سازند افزایش می‌یابد. آنالیز داده‌های چاه‌پیمایی نشان می‌دهد که میزان تغییرات تخلخل در این چاه چندان زیاد نیست و این مخزن از تخلخل مناسبی به ویژه در بخش‌های بالایی سازند برخوردار است. با توجه به پایین بودن حجم شیل در کل چاه به این نتیجه می‌رسیم که بیش‌تر تخلخل‌ها از نوع مفید بوده و تخلخل موجود در این چاه می‌تواند متاثر از محیط رسوب‌گذاری باشد. البته بررسی لاگ انحراف سرعت در طول چاه، بیانگر آن است که ضخامت‌هایی از عمق چاه که دارای انحراف مثبت هستند دارای تخلخل نوع قالبی و یا فسیلی، و ضخامت‌هایی که دارای انحراف صفر می‌باشند دارای تخلخل بین‌ذره‌ای و بین‌بلوری هستند. تنها در اعماق ۳۴۱۱ و ۳۵۰۱ لاگ انحراف سرعت منفی است که می‌تواند ناشی از ریختگی دیواره چاه یا محتوای گاز آن قسمت باشد. تخلخل‌های شناسایی شده از روی داده‌های مغزه، تطابق قابل قبولی با لاگ انحراف سرعت در چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که مبین آن است که این لاگ، ابزار مناسبی در تعیین انواع تخلخل در کربنات‌ها محسوب می‌شود.

## تشکر و قدردانی

از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- آقاباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- آرین، م، محمدیان، ر. ا (۱۳۸۹) تحلیل شکستگی‌های مخزن آسماری میدان نفتی مارون (زاگرس). نشریه علوم زمین، سال ۲۰، شماره ۷۸، ص. ۸۷-۹۶.
- احمدی، ا (۱۳۸۴) تعیین گروه‌های سنگی مخزنی سازند آسماری بر مبنای لاگ‌های پتروفیزیکی با استفاده از روش منطق فازی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۰ ص.
- احمدی، ر، امیری‌بختیار، م. ص (۱۳۹۶) به کارگیری مدل رگرسیون ماشین‌بردار پشتیبان به منظور تخمین میزان اشباع‌شدگی آب سازند یکی از میدادین نفتی بزرگ جنوب غرب ایران. نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سال ۴، شماره ۲، ص ۲۱۰-۱۹۹.
- احمدی، ر، قنبری، ا (۱۳۹۷) تعیین خواص پتروفیزیکی میدان نفتی بزرگی واقع در جنوب‌غرب ایران با استفاده از داده‌های چاه‌نگاری. ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۵۶، ص ۴۷-۳۸.
- بهرامی، ف، موسوی‌حرمی، س. ر، خانه‌باد، م، محمودی‌قرائی، م. ح، صادقی، ر (۱۳۹۳) رخساره‌ها، محیط‌رسوبی و عملکرد فرایندهای دیاژنزی موثر بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی رامین. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۲، شماره ۴، ص ۳۶-۱۶.
- فرشی، م، موسوی‌حرمی، س. ر، محبوبی، ا، خانه‌باد، م (۱۳۹۶) رخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی و تاثیر آن‌ها بر توزیع ویژگی‌های پتروفیزیکی و کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی گچساران. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۹، ص ۴۰-۵۷.
- مطیعی، ه (۱۳۸۷) زمین‌شناسی نفت سنگ‌های کربناتی ۱ و ۲؛ انتشارات آرین زمین، ۸۹۱ ص.
- مرادزاده، ع، سلیمی دلشاد، ی، کاظم‌زاده، ع (۱۳۹۲) بهبود محاسبه اشباع آب در مخازن هیدروکربوری کربناته به کمک داده‌های چاه‌نگاری و آزمایشگاهی. مجله فیزیک زمین و فضا، سال ۳۹، شماره ۱، ص ۱۰۷-۱۲۱.
- میرزاقلی‌پور، ع، حقی، ع. ح (۱۳۶۹) مطالعه زمین‌شناسی میدان نفتی مارون. گزارش شماره ۴۲۱۰، اداره کل زمین‌شناسی و گسترش، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۵۵ ص.
- نورائی‌نژاد، خ، امیری‌بختیار، ح، محمدیان، ر، عزیزی، ع (۱۳۹۳) بررسی متغیرهای هندسی و جنبشی

- Stat oil (2003) Marum Asmari Full Field Study: unpublished report.*
- Thomas, A. N (1948) *The Asmari Limestone of Southwest Iran. AIOC Report No.705 (Unpublished).*
- Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R., Gardner, L. W (1956) *Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. Geophysics, 21: 41–70.*
- Pape, H., Clauser, C., Iffland, J (2000) *Variation of Permeability with Porosity in Sandstone Diagenesis Interpreted with a Fractal Pore Space Model. Pure appl. geophys. 157: 603–619. <https://doi.org/10.1007/PL00001110>.*
- شکستگی‌های مخزن آسماری میدان مارون. فصلنامه علوم‌زمین، سال ۲۴، ص ۳۷–۴۶.
- هاشمیان، خ، آبدیده، م (۱۳۹۴) تفسیر پتروفیزیکی چاه A در مخزن آسماری میدان نفتی مارون. دومین همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز، ص ۶.
- Alizadeh, B., Telmadarrie, A., Shadizadeh, S. R., Tezhe, F (2012) *Investigating Geochemical Characterization of Asmari and Bangestan Reservoir Oils and the Source of H2S in the Marun Oilfield. Petroleum Science and Technology, 30: 967–975.*
- Anselmetti, F. S., 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. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull, 83 (3): 450–466.*
- Burke, A. J., Campbell, R. L., Schmidt, W. A (1969) *The Litho-Porosity Cross Plot A Method Of Determining Rock Characteristics For Computation Of Log Data. SPWLA, 10th Ann Log Symp Trans.*
- Crain, E. R (1986) *The Log Analysis Handbook: Quantitative log analysis methods. Okla., USA, Penn Well, 684 p.*
- Darling, T (2005) *Well Logging and formation evaluation, Gulf Professional Publishing, Elsevier, 326.*
- Intra petroleum Technologies, L Td (1992) *Marun Field study. ISBN 91-554-5621-9.*
- Luica, F. J (2007) *Carbonate Reservoir characterization. Berlin, Springer, 226 p.*
- Pickett, G. R (1966) *A review of current techniques for determination of water saturation from logs. Journal of Petroleum Technology, 11: 1425–1433.*
- Poupon, A., Leveaux, J (1971) *Evaluation of water saturation in shaly formations. 12th Annual Society of Professional Well Log Analysts Logging Symposium Transactions, p. 1–2.*
- Rider, M. H (1986) *The geological interpretation of well logs, Blackie, Technology & Engineering, 175 p.*
- Shazly, T. F., Ramadan, M. A. M (2011) *Well logs application in determining the impact of mineral types and proportions on the reservoir performance of Bahariya formation of Bassel-Ix well, western desert, Egypt: Journal of American Science, 7: 498–505.*
- Serra, O (2009) *Fundamentals of well-log interpretation, University of Paris, 487 p.*
- Simandoux, P (1963) *Dielectric measurements in porous media and application to shaly formation. Revue de L'Institut Français du Pétrole, 18, Supplementary Issue, 18: 193–215.*
- Sisler, G. C (1971) *The Psychiatrist and Therapeutic Abortion. Canadian Psychiatric Association Journal, 16 (3): 275–277.*