

ارزیابی خواص پتروفیزیکی سازند آسماری میدان نفتی بزرگ مارون واقع در جنوب غرب کشور با استفاده از

نگارهای چاه پیمایی

رضا احمدی

استادیار دانشگاه صنعتی اراک

محمد صادق امیری بختیار

دانشجوی کارشناسی مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه صنعتی اراک

تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۳

Rezahmadi@gmail.com

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی کیفیت میدان نفتی مارون واقع در جنوب غرب کشور با استفاده از مطالعات پتروفیزیکی است. برای این منظور با استفاده از نگاره های چاه پیمایی و اطلاعات مغزه ۱۲۱۱ داده نقطه ای و به کمک نرم افزار Geolog، پارامترهای پتروفیزیکی سازند آسماری در سه حلقه چاه A، B و C این میدان نفتی مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از نمودارهای مقاطع نوترون-چگالی و M-N، سنگ شناسی غالب سازند از نوع کربناته و به مقدار کمتر ماسه سنگ و شیل تشخیص داده شد. میزان تخلخل موثر متوسط سازند نیز در چاه های A، B و C به ترتیب برابر با ۱۰/۱۷، ۹/۴۵ و ۸/۱۵ درصد و اشباع شدگی آب (S_w) سازند کمتری در فواصل سازندهای ماسه سنگی نسبت به کربناته بدست آمد. براساس نتایج تحقیق کیفیت این مخزن در مجموع، متوسط و در فواصل عمقی ماسه سنگی از کیفیت بهتر و در نتیجه امکان عملیات تولید نفت بهتری برخوردار است.

کلمات کلیدی: سازند آسماری، میدان نفتی مارون، نگاره های چاه پیمایی، سنگ شناسی، تخلخل، اشباع شدگی آب (S_w)

مقدمه

نمودارهای چاه پیمایی که بطور استاندارد و متداول در تمام چاه های نفتی برداشت می شوند، استفاده می گردد. مطابق آمار منتشره، عمده نفت تولیدی جهان وابسته به سازندهای عظیم کربناته و ماسه سنگی به ویژه در حوزه های نفتی گوناگون خاورمیانه است (مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۲). به دلیل اهمیت این نوع مخازن، در پژوهش حاضر با استفاده از داده های خام بدست آمده از چاه نگاری و اطلاعات آزمایشگاهی حاصل از آنالیز مغزه برای سه حلقه چاه و بکارگیری نرم افزار Geolog، پارامترهای پتروفیزیکی سازند آسماری میدان نفتی بزرگ مارون واقع در جنوب غرب کشور، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

زمین شناسی میدان نفتی مورد مطالعه

میدان نفتی مورد مطالعه درون سازند آسماری، در جنوب غربی رشته کوه زاگرس واقع شده که در ناحیه فروافتادگی دزفول دارای بیشترین گسترش است (مطیعی، ۱۳۸۲). نام سازند آسماری از کوه آسماری در تنگ گل ترش در هفتکل خوزستان اقتباس شده و فروافتادگی دزفول، ساختاری در جنوب غرب راندگی زاگرس است که بیشتر میدان های نفتی ایران را در خود جای داده است. میدان مورد مطالعه به صورت تاقدیسی ملایم با روند شمال غربی- جنوب شرقی و در امتداد روند عمومی چین خوردگی های زاگرس قرار دارد. طول میدان بر روی آخرین کنتور بسته در حدود ۶۳ کیلومتر و عرض آن حدود ۵ کیلومتر می باشد. این میدان فاقد عوارض و شواهد سطحی چین خوردگی است.

هدف از مطالعات پتروفیزیکی، بررسی کیفیت مخزن در بخش های مختلف سازند، زون بندی مخزن برای تعیین مناسب ترین زون ها جهت بهره برداری بهینه از مخزن و توسعه آگاهانه تر میداین نفتی می باشد. تعیین نوع سنگ شناسی، میزان تخلخل کل، میزان تخلخل موثر (مفید)، درجه اشباع شدگی آب سازند $Water Saturation (S_w)$ و هیدروکربورها و محاسبه حجم شیل مهمترین پارامترهایی هستند که می بایست در ارزیابی پتروفیزیکی جهت پی بردن به کیفیت مخزن تعیین شوند. برآورد درست این پارامترها نقش موثری در مدل سازی های مخزن ایفا نموده و درجه موفقیت بسیاری از فعالیت های اکتشافی، حفاری، توسعه و بهره برداری از مخازن نفت و گاز به دقت تخمین این پارامترها بستگی دارد. در صنعت نفت پارامترهای مخزن توسط دو روش متداول و کاربردی آنالیز مغزه Core analysis به عنوان روش مستقیم و ارزیابی داده های چاه نگاری Well logging evaluation به عنوان روش غیرمستقیم تعیین می شوند (برای مثال، مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۲).

روش آنالیز مغزه که در آزمایشگاه و از طریق آزمایش بر روی مغزه صورت می گیرد اطلاعات بسیار مفیدی راجع به سنگ مخزن ارائه می کند. استفاده از روش آزمایشگاهی برای اندازه گیری این پارامترها دارای هزینه بسیار زیاد و زمان-بر است، بنابراین استفاده از این روش تنها در تعداد معدودی از چاه های یک میدان امکان پذیر است. علاوه بر این در بسیاری از چاهها به دلایل گوناگون، عملیات مغزه گیری امکان پذیر نبوده یا برای فواصل خاصی از درون چاه صورت می گیرد. از این رو در میداین نفتی به منظور دستیابی به این اهداف، از

(تخلخل و S_w) نیز برای تمام فواصل مغزه گیری شده چاهها در دسترس می‌باشند. در مجموع تعداد ۱۲۱۱ داده نقطه‌ای (شامل داده‌های ۶ سوند چاهنگاری، مقادیر تخلخل و S_w اندازه‌گیری شده از طریق مغزه)، برای سه حلقه چاه مورد مطالعه، در دسترس می‌باشند.

تعیین نوع سنگ‌های (سنگ شناسی) سازند

از آنجایی که سنگ شناسی تاثیر به‌سزایی بر روی پارامترهای پتروفیزیکی مخازن دارد شناسایی نوع سنگ شناسی سازندها یک مرحله مهم در ارزیابی خواص مخزنی محسوب می‌شود زیرا می‌تواند به جداسازی مناطق دارای خصوصیات مخزنی از مناطق غیرمخزنی کمک کند.

برای تشخیص نوع سنگ شناسی روش‌های مختلفی وجود دارد که معمولاً روش‌های تعیین نوع سنگ شناسی با روش‌های تخمین تخلخل ارتباط دارند. یکی از روشهای متداول تعیین نوع سنگ شناسی و تخلخل، استفاده از نمودارهای مقاطع Cross-plots است (Serra, 2009; Rider, 1986; Clavier and Rust, 1976). از میان نمودارهای مقاطع، نمودار مقاطع نوترون-چگالی بهترین حد تفکیک کانی‌های مختلف سازند را ایجاد می‌کند (Rider, 1986) بنابراین نمودار مقاطع نوترون-چگالی را می‌توان دقیق‌ترین روش غیرمستقیم برای تعیین نوع سنگ شناسی و تخلخل به حساب آورد. قابل ذکر است که در مورد این نمودار مقاطع وجود هیدروکربن بویژه از نوع گازی در سازند باعث می‌شود که نقاط به سمت گوشه بالا سمت چپ نمودار منتقل شوند.

این انتقال در مسیر خطی به موازات خطوط هم تخلخل صورت می‌گیرد بنابراین تاثیر آن بر تخلخل ناچیز است ولی در تعیین نوع سنگ شناسی خطا ایجاد می‌کند. همچنین وجود شیل در سازند باعث می‌شود که نقاط به سمت گوشه پایین سمت راست نمودار مقاطع منتقل شوند. به منظور تعیین دقیق سنگ‌شناسی مخزن آسماری در میدان مورد مطالعه، انواع نمودارهای مقاطع مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ شناسایی انواع سنگ‌های متشکله سازند و نحوه توزیع تخلخل را با استفاده از نمودار نوترون-چگالی برای چاه A در میدان نفتی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

یکی از بهترین روش‌های شناسایی سنگ شناسی سازند استفاده از نمودار مقاطع M-N است (Serra, 2009). مزیت این نمودار مقاطع آن است که به سه نمودار تخلخل نوترون، چگالی و صوتی بستگی دارد (Shazly and Ramadan, 2011). در این نمودار پارامتر M شیب نمودار مقاطع صوتی-چگالی و N شیب نمودار مقاطع نوترون-چگالی است. M و N مطابق روابط بورک (Burke et al., 1969) بدست می‌آیند و در برابر هم ترسیم می‌شوند.

$$M = \left[\frac{\Delta t_f - \Delta t_{\log}}{\rho_{b \log} - \rho_f} \right] \times 0.01 \quad (1)$$

$$N = \frac{\phi_{Nf} - \phi_{N \log}}{\rho_{b \log} - \rho_f} = \frac{I_{Hf} - I_{H \log}}{\rho_{b \log} - \rho_f} \quad (2)$$

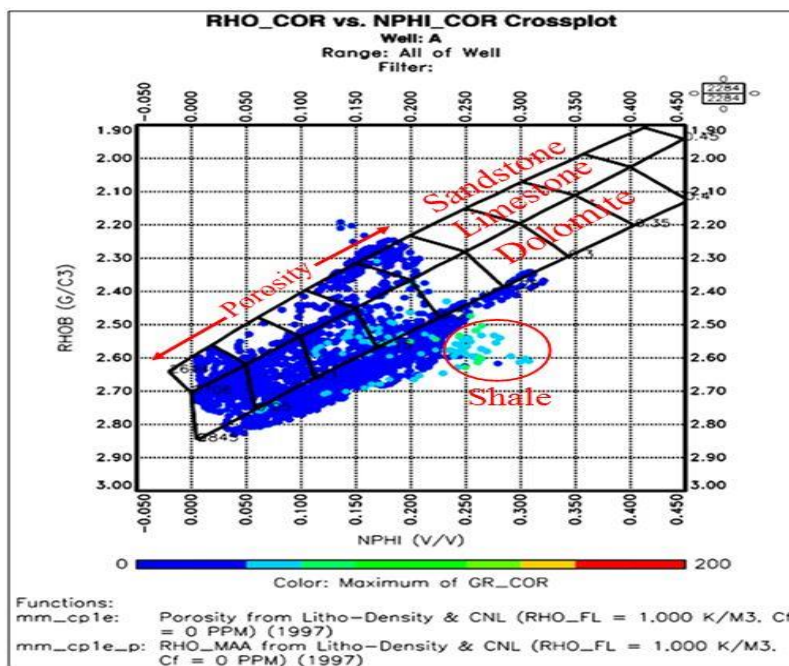
سازند آسماری در برش نمونه یعنی کوه آسماری دارای ۳۱۴ متر ضخامت بوده و از سنگ آهک‌های مقاوم کرم تا قهوه‌ای رنگ با میان لایه‌های شیلی تشکیل شده است. حد بالایی این سازند بصورت پیوسته به سازند گچساران و حد پایینی آن بصورت پیوسته به سازند پابده محدود می‌شود. وجود ضخامت زیاد لایه‌های انیدریت، نمک و مارن سازند گچساران، پوش سنگ مناسب و قدرتمندی را برای سیالات هیدروکربوری سازند آسماری ایجاد کرده است.

سازند آسماری دارای سن الیگوسن تا میوسن پایینی است و به سه واحد رسوبی عمده یعنی آسماری پایینی (الیگوسن)، آسماری میانی (اکیتانین) و آسماری بالایی (بوردیگالین یا میوسن پیشین) تقسیم می‌شود. براساس مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک و نمودارهای چاه‌پیمایی مختلف، بطور کلی مخزن آسماری به ۸ زون (لایه) تقسیم شده که هر زون دارای سنگ شناسی و اختصاات پتروفیزیکی مربوط به خود است. زون ۱ عمدتاً کربناته (آهکی و دولومیتی)، زون‌های ۲ تا ۵ عمدتاً ماسه سنگی (بخش ماسه سنگی اهواز)، زون ۶ مخلوطی از سنگ آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و شیل و زون‌های ۷ و ۸ آهکی و شیلی است. زونهای ۱، ۲ و ۳ حاوی هیدروکربن بوده و بقیه زون‌ها اشباع از آب می‌باشند.

زون ۲ این مخزن کیفیت مخزنی محسوسی نسبت به بقیه زون‌ها دارد. متراژ حفاری چاه‌های A، B و C در سازند آسماری میدان نفتی مورد مطالعه به ترتیب، ۳۵۰، ۳۸۵ و ۴۷۵ متر می‌باشد که بطور کلی از توالی سنگ‌های کربناته (سنگ آهک و دولومیت)، ماسه سنگ و شیل تشکیل شده است. در میدان نفتی مورد مطالعه فرآیند دولومیتی شدن در کل حجم مخزن اتفاق افتاده و بیشترین درصد دولومیت در بخش بالایی مخزن مشاهده می‌شود (مطیعی، ۱۳۸۲؛ محمدی، ۱۳۸۳). گسترش خوب و پیوسته فرآیند دولومیتی شدن در این بخش، ناشی از نفوذ آب‌های حاوی منیزیم بالا از سازند گچساران به درون سازند آسماری می‌باشد. گسل‌ها و شکستگی‌های مخزن به عنوان معبری برای نفوذ آب‌های شور (آب‌های خروجی از سازند گچساران) عمل می‌کنند که این آب‌های شور باعث دولومیتی شدن گسترده در بخش بالایی مخزن شده است. با افزایش عمق، دولومیت‌ها مخازن بهتری را نسبت به آهک‌ها ایجاد می‌کنند (مطیعی، ۱۳۸۲؛ محمدی، ۱۳۸۳). برداشت نفت از مخزن آسماری میدان نفتی مورد مطالعه عمدتاً از لایه‌های ماسه سنگی و نیز شکستگی‌های لایه‌های کربناته صورت می‌گیرد (اداره مطالعات زمین‌شناسی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، ۱۳۸۷).

جمع‌آوری داده‌ها

در پژوهش حاضر از نگاره‌های چاه‌پیمایی مناسب و داده‌های چاه‌نگاری مربوطه شامل گامای طبیعی (Natural Gamma Ray (NGR)، گامای طبیعی اصلاح شده (Compensated Gamma Ray (CGR)، تخلخل نوترونی (Neutron porosity)، چگالی کپهای سازند (Formation bulk density)، زمان گذر امواج صوتی (Sonic transit time) و مقاومت ویژه الکتریکی حقیقی سازند بدست آمده از سوند القایی عمیق (Deep Induction Log (ILD) برداشت شده درون سه حلقه چاه A، B و C در میدان نفتی مورد مطالعه استفاده شده است. متراژ حفاری چاه‌های A، B و C به ترتیب برابر با ۳۵۰، ۳۸۵ و ۴۷۵ متر می‌باشد. عملیات مغزه‌گیری برای تمام طول چاه A و بخش‌هایی از چاه‌های B و C انجام شده که داده‌های آنالیز مغزه



شکل ۱. نمودار متقاطع همبستگی گرافیکی نوترون-چگالی جهت شناسایی سنگ شناسی سازند در چاه A.

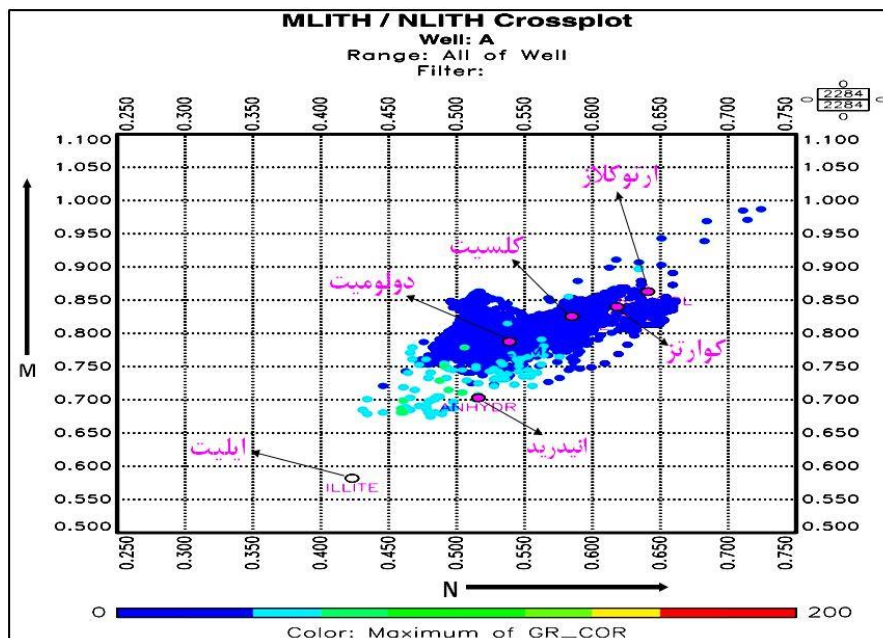
سنگ شناسی همراه با نمودارهای چاه پیمایی و جزئیات پتروفیزیکی سازند آسماری به ترتیب برای حلقه چاه های A، B و C ترسیم شده است. در این شکلها به ترتیب از چپ به راست، ستون اول، نمایشگر سنگ شناسی سازند شامل دولومیت، آهک (مشخص شده با کانی شاخص کلسیت)، ماسه سنگ و شیل بوده که به صورت درصد حجمی و با رنگ و الگوهای نمایشی مربوطه، نشان داده شده است؛ ستون دوم عمق (متر از حفاری) چاه، ستون سوم شامل اندازه سرمته حفاری Bit Size (BS) یا قطر چاه و نمودار قطرسنجی چاه Caliper log، ستون چهارم شامل سه نمودار زمان گذر امواج صوتی (DT)، تخلخل نوترونی (NPHI) و چگالی کپه‌ای سازند (RHOB) و ستون پنجم نمودار مقاومت ویژه حقیقی سوند القایی عمیق (ILD) می‌باشند. در ستون ششم نیز درجات اشباع‌شدگی آب سازند محاسبه شده توسط نرم افزار Geolog (با نمودار پیوسته آبی رنگ و با افزایش از راست به چپ) و اندازه گیری شده به روش آزمایشگاهی از طریق آنالیز مغزه (دوایر توپر قرمز رنگ)، میزان تخلخل موثر (PHIE) با نمودار پیوسته سیاه رنگ و افزایش از چپ به راست، حجم اشغال شده تخلخل موثر توسط آب با رنگ آبی روشن و افزایش از چپ به راست و بقیه حجم اشغال شده تخلخل موثر توسط هیدروکربورهای گازی و نفتی به ترتیب با رنگ‌های قرمز و سبز نمایش داده شده است.

براساس نتایج حاصل از ترکیب اطلاعات نگارهای سه چاه مورد مطالعه و درون یابی داده‌ها در فواصل مابین آنها، اطلاعات چاه‌های مجاور و نیز کلیه اطلاعات زمین شناسی میدان نفتی مورد مطالعه، بطور کلی سنگ شناسی سازند آسماری را می‌توان شامل آهک، آهک دولومیتی، آهک ماسه‌ای، دولومیت، دولومیت آهکی، ماسه سنگ، ماسه سنگ آهکی، ماسه سنگ شیلی و شیل دانست.

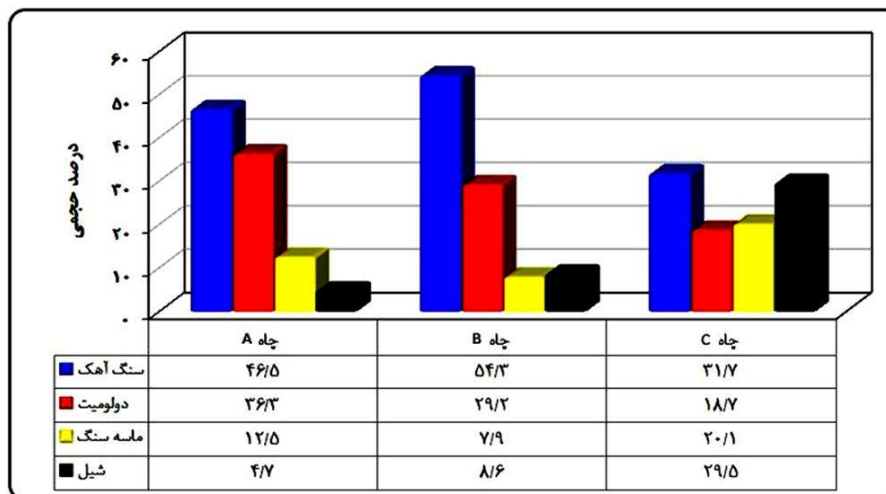
که در این روابط Δt_f زمان گذر امواج صوتی از سیال درون سازند، Δt_{log} زمان گذر امواج قرائت شده از روی نگار صوتی، ρ_b چگالی کپه‌ای سازند قرائت شده از روی نگار چگالی، ρ_f چگالی سیال درون سازند، ϕ_{Nf} تخلخل نوترونی سیال درون سازند، $\phi_{N log}$ تخلخل قرائت شده از روی نگار نوترون، I_{Hf} شاخص هیدروژنی سیال درون سازند و $I_{H log}$ شاخص هیدروژنی قرائت شده از روی نگار می‌باشد. از آنجایی که برای محاسبه هر یک از پارامترهای M و N از دو نگار استفاده می‌شود، اثر تخلخل تا حدود زیادی حذف شده و در نتیجه M و N تقریباً فقط تابع سنگ شناسی خواهند بود (رضایی و چهارزی، ۱۳۸۵)؛ در نتیجه نمودار متقاطع M-N برای شناسایی نوع سنگ شناسی، بسیار مناسب است. یکی دیگر از کاربردهای این نمودار تعیین میزان تخلخل ثانویه است زیرا تخلخل ثانویه، M را تغییر می‌دهد ولی بر N بی‌تاثیر است (Burke et al., 1969). در نمودار متقاطع M-N در صورتی که نقاط در بالای خط کلسیت و دولومیت واقع شوند و سازند نیز فاقد گاز باشد دلیل بر وجود تخلخل ثانویه می‌باشد.

شکل ۲ نمودار متقاطع M=N را برای چاه A در میدان نفتی مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس این نمودار و با توجه به محدوده رنگی مقادیر GR، سنگ شناسی غالب سازند در این چاه از نوع کربناته و به مقدار کمتر ماسه سنگ تشخیص داده شد. توزیع درصد سنگ شناسی‌های غالب برای سه حلقه چاه ارزیابی شده سازند آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است.

در پژوهش حاضر سنگ شناسی سازند آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه براساس مطالعه مغزه‌ها و تفسیر همزمان شش نگار چاه پیمایی برداشت شده در سه حلقه چاه، مورد مطالعه قرار گرفت و به منظور نمایش بصری و درک ملموس‌تری از وضعیت واقعی ساختار مخزن، ستون سنگ شناسی هر سه حلقه چاه با استفاده از نرم‌افزار Geolog ترسیم گردید. در شکل‌های ۴ تا ۶ ستون



شکل ۲. نمودار متقاطع M-N برای شناسایی سنگ شناسی سازند در چاه A.



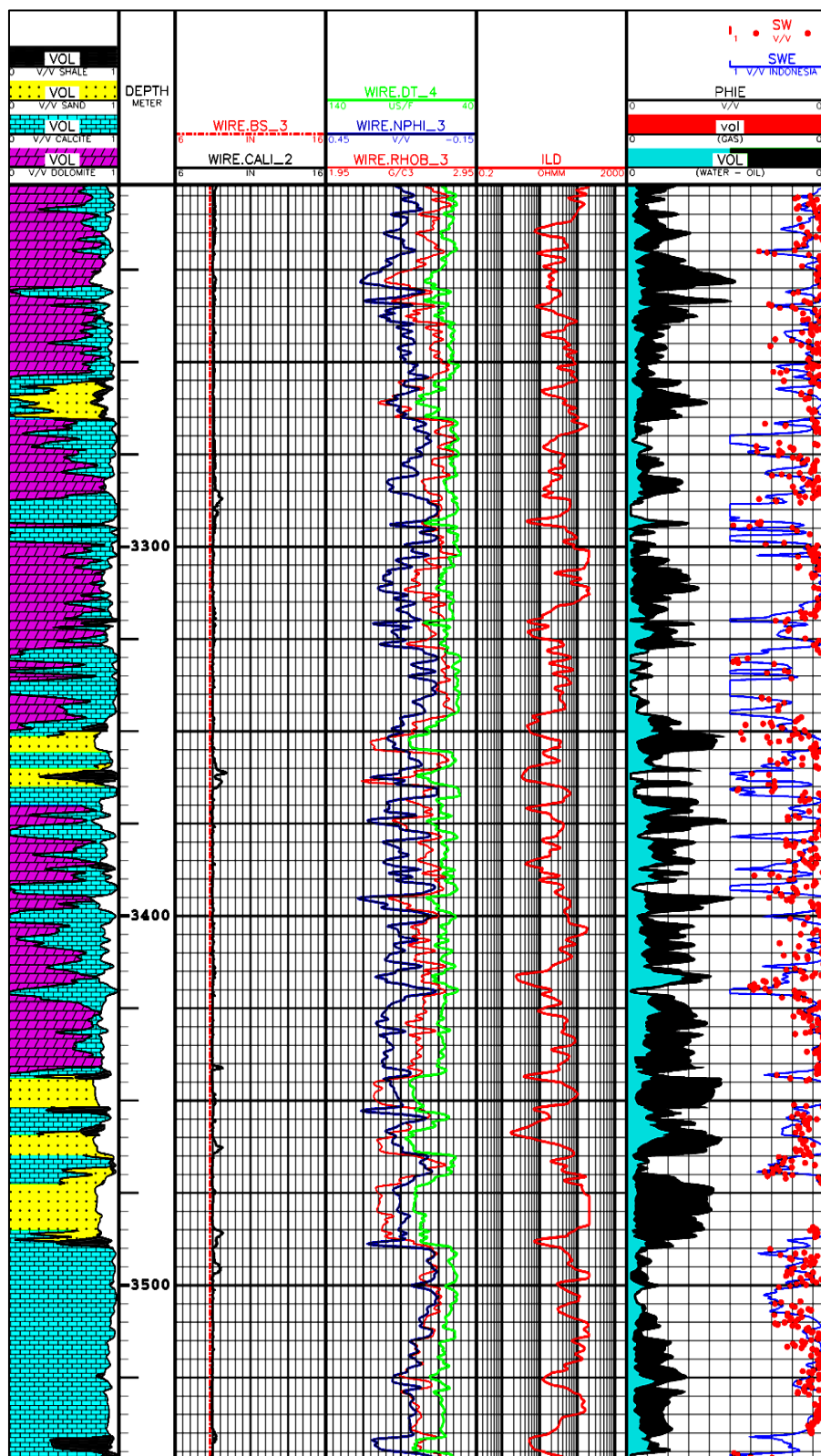
شکل ۳. درصد سنگ شناسی‌های غالب سازند آسماری در چاه های مورد مطالعه.

محاسبه حجم رس بسیار مهم است. هر چند محاسبه حجم رس سازند کار تقریباً مشکلی است، با این حال روش های مختلفی برای این منظور وجود دارد (Serra, 2009; Schlumberger, 2002, 2000). در گذشته جهت محاسبه این پارامتر از نمودار SP استفاده می شد که بعدها استفاده از نمودار GR متداول گردید و امروزه بیشتر نمودار اصلاحی GR یعنی نمودار CGR مورد استفاده قرار می گیرد. میزان حجم رس محاسبه شده از طریق GR بیشتر از CGR است زیرا نگار GR علاوه بر پتاسیم (K) و توریم (Th) (که توسط نگار CGR ثبت می شود) اورانیوم (U) کانیهایی غیررسی رادیواکتیو همانند دولومیت را نیز ثبت می کند (Rider, 1986).

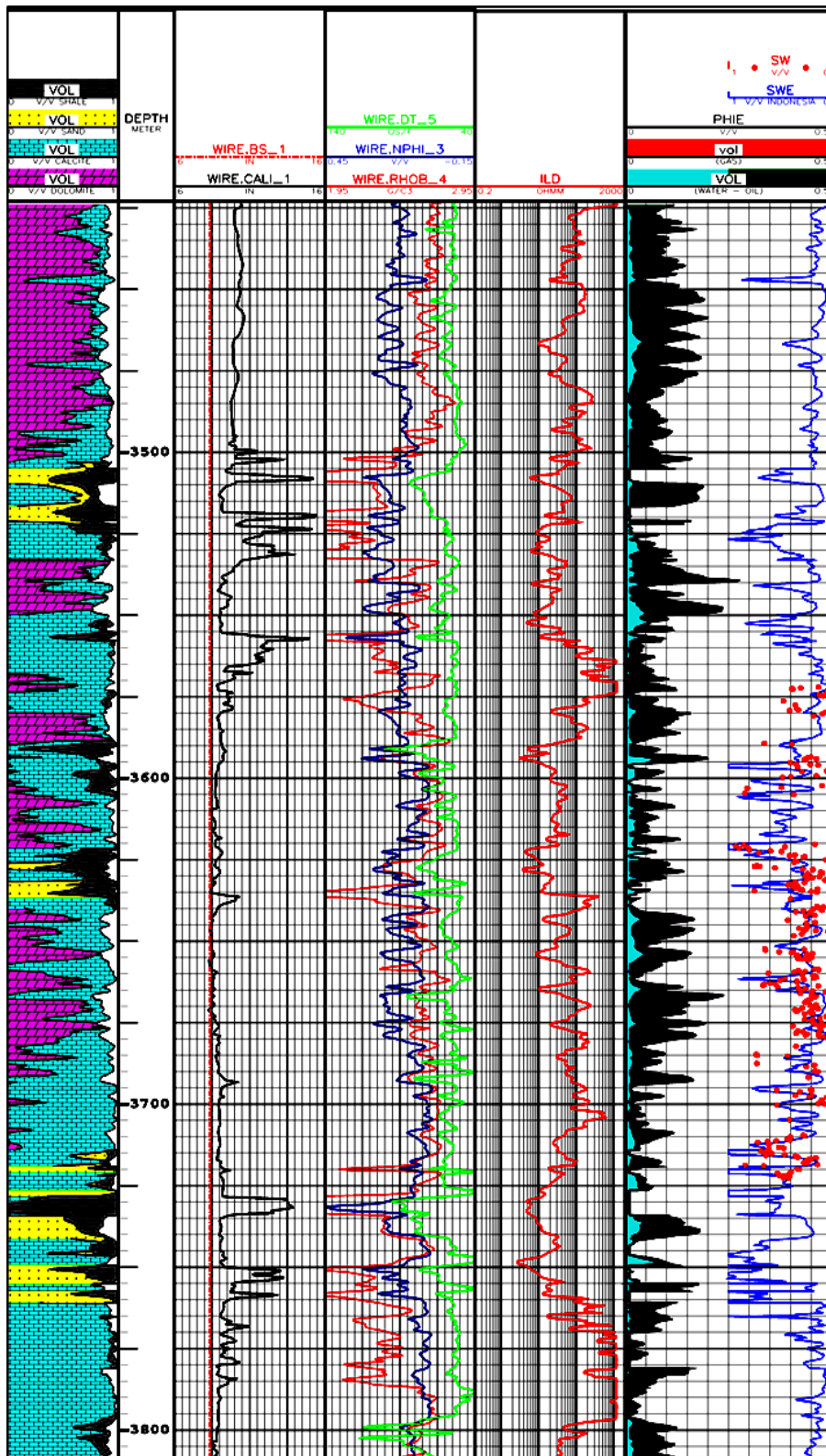
تخمین حجم شیل (رس) سازند

یکی از گام های ضروری در ارزیابی کیفیت مخزنی یک سازند، برآورد حجم رس (بخش های حاوی کانی های رسی) می باشد زیرا کانی های رسی بر روی تمامی نمودارها به درجات مختلف تاثیر می گذارند.

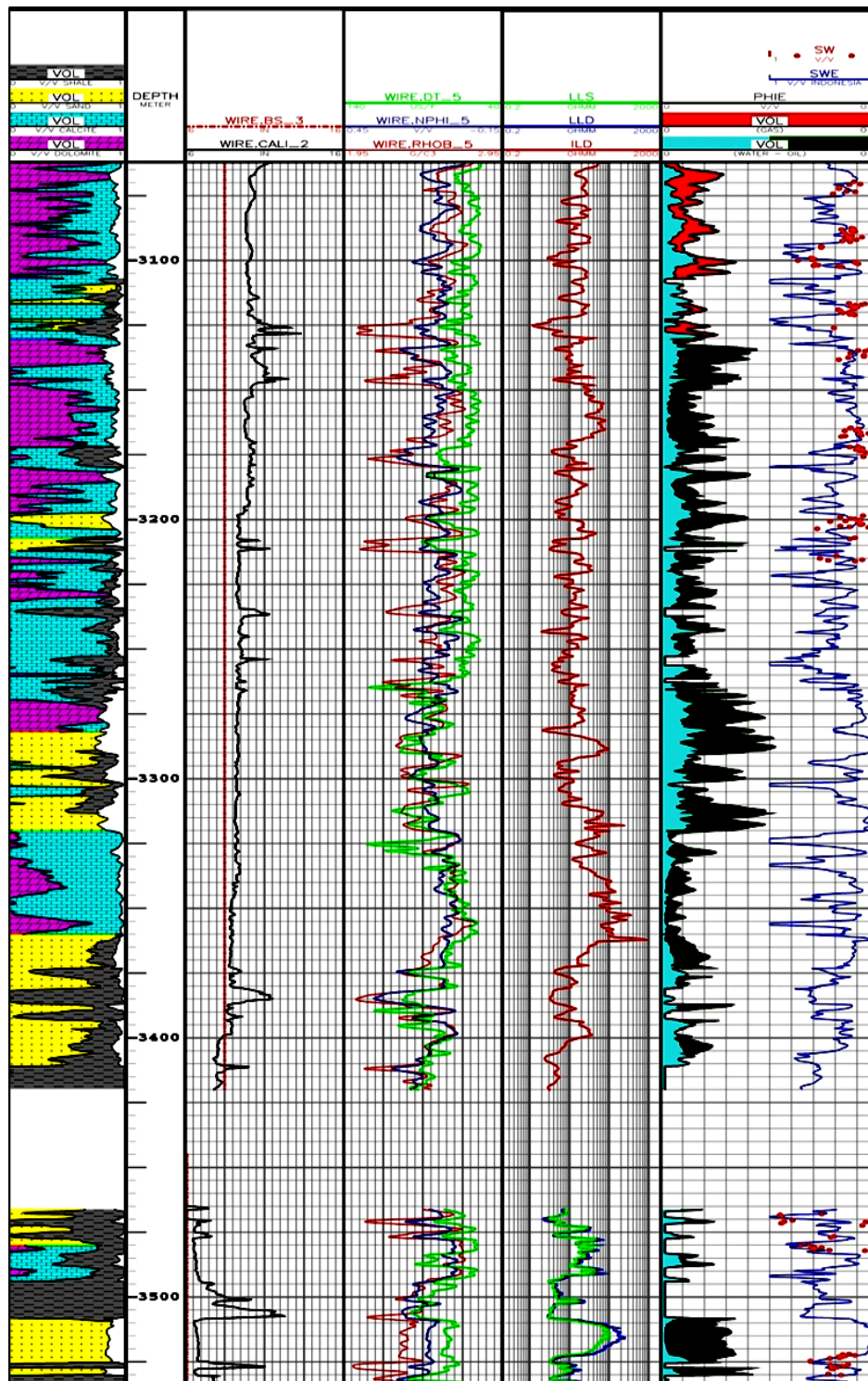
به عنوان مثال وجود رس در مخازن موجب کاهش مقاومت ویژه حقیقی سازند (R_t) شده و در نتیجه مقدار S_w بیش از مقدار واقعی به دست می آید که به تبع آن پتانسیل هیدروکربوری مخزن، کمتر از مقدار واقعی برآورد می شود. همچنین حضور رس مشکل مشابهی را برای تخمین میزان تخلخل سازند بوجود می آورد (Darling, 2005; Tiab and Donalason 2004)، بنابراین



شکل ۴: نمایش ستون سنگ شناسی و نمودارهای چاه پیمایی همراه با جزئیات پتروفیزیکی سازند آسماری در چاه A.



شکل ۵: نمایش ستون سنگ شناسی و نمودارهای چاه پیمایی همراه با جزئیات پتروفیزیکی سازند آسماری در چاه B.



شکل ۶. نمایش ستون سنگ شناسی و نمودارهای چاه پیمایی همراه با جزئیات پتروفیزیکی سازند آسماری در چاه C.

شوند. تخمین تخلخل موثر سازند در چاه‌های مورد مطالعه براساس تلفیق سه نمودار تخلخل نوترون، چگالی و صوتی و تصحیح اثر شیل از طریق نمودار CGR با استفاده از نرم افزار Geolog صورت گرفت. در شکل ۷ (ستون اول از سمت راست) مقادیر تخلخل محاسبه شده توسط نرم افزار Geolog (منحنی پیوسته سیاه رنگ) با مقادیر تخلخل اندازه گیری شده به روش آزمایشگاهی از طریق آنالیز مغزه (دوایر توپر آبی رنگ)، برای چاه A در سازند آسماری مقایسه شده است. علاوه بر این در این شکل به ترتیب از راست به چپ ستون دوم شامل سه نمودار زمان گذر امواج صوتی (DT)، تخلخل نوترونی (NPHI) و چگالی کپه‌ای سازند (RHOB)، ستون سوم عمق (متر از حفاری) چاه، ستون چهارم شامل دو نمودار GR و CGR و ستون پنجم (ستون آخر سمت چپ) نمایشگر سنگ شناسی سازند شامل دولومیت، آهک (مشخص شده با کانی شاخص کلسیت)، ماسه سنگ و شیل (به صورت درصد حجمی و با رنگ و الگوهای نمایشی مربوطه) می باشند. با مشاهده شکل (۷) ملاحظه می شود که بطور کلی مقادیر تخلخل بدست آمده از ارزیابی‌های پتروفیزیکی با نتایج حاصله از آنالیز مغزه برای این چاه تطابق خوبی نشان می دهند. به هر جهت در برخی از فواصل نیز بطور مشخص تفاوت هایی مشاهده می‌شود و مهمترین دلیل این تفاوت‌ها می‌تواند تأثیر فشارهای طبقات فوقانی و فشارهای تکتونیکی وارده بر فضاهای خالی در شرایط زیرزمینی باشد که باعث کاهش تخلخل می‌شوند (برای مثال، ذاکری و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین حضور مواد هیدروکربوری یا دیگر سیالات موجود در فضاهای خالی نیز می‌تواند در تعیین درصد تخلخل تأثیرگذار باشد. نحوه قرارگیری ابزارهای چاه پیمایی نسبت به دیواره چاه، عدم اتصال کامل ابزارها به دیواره چاه به دلیل ناهمواری دیواره یا ریزش دیواره چاه، خطاهای دستگاهی ابزار چاه پیمایی، کالیبره نبودن ابزار، خطاهای اپراتوری و دیگر شرایط محیطی نیز می‌تواند بر اندازه‌گیری نمودارها تأثیر منفی گذاشته و از دقت آن بکاهد (Darling, 2005; Tiab and Donaldson, 2004). از طرف دیگر معمولاً تعیین تخلخل نمونه‌های مغزه نیز تحت شرایط غیرحاکم بر مخزن انجام می شود و سیالات سازندی و فشارهای لیتواستاتیکی و هیدرواستاتیکی وارده بر فضاهای خالی وجود ندارند. در مورد دیگر چاه‌های مورد مطالعه نیز نتایج مشابهی بدست آمد که در جدول (۲) متوسط درصد تخلخل کانی های موجود در سه حلقه چاه خلاصه شده است. میزان تخلخل موثر متوسط سازند در چاه های A، B و C نیز بر اساس میانگین وزن دار برحسب درصد حجمی سنگ شناسی‌های موجود در سازند، به ترتیب برابر با ۱۰/۱۷، ۹/۴۵ و ۸/۱۵ درصد بدست آمد. میانگین تخلخل موثر سازند به دست آمده از طریق سه حلقه چاه نیز برابر با ۹/۲۶ درصد می باشد، بنابراین تخلخل این سازند متوسط ارزیابی می شود.

جدول ۱. میزان حجم شیل سازند آسماری در چاه های مورد

پارامتر	کمترین میزان حجم شیل (درصد)	بیشترین میزان حجم شیل (درصد)	میانگین حجم شیل (درصد)
A	۰	۶۹/۱۶	۲/۲۵
B	۰	۱۰۰	۸/۲۵
C	۰	۱۰۰	۲۰/۷۳

بطور کلی روش های محاسبه حجم شیل به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می شوند. تقریباً در تمام روش های غیرخطی GR، مقدار حجم شیل بسیار پایین تر از مقدار واقعی تخمین زده می شود. پایین بودن حجم شیل بدین دلیل است که در این روش ها تنها حجم سازنده های رسی و نه حجم کل شیل، محاسبه می شود. در گذشته حجم شیل برحسب نوع سنگ شناسی سازند بطور متداول از طریق روابطی مبتنی بر مقدار اندیس GR که مطابق رابطه (۳) تعریف می شود محاسبه می شد.

$$I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (3)$$

در این رابطه GR_{log} مقدار GR قرائت شده از روی نگار، GR_{min} مقدار حداقل GR (که از بخشهای تمیز سازند (فاقد رس) تعیین می شود) و GR_{max} مقدار حداکثر GR (مربوط به فواصل صددرصد رسی) می باشد. برای تعیین حجم شیل انتخاب صحیح خط مبنای سازند شیلی (رسی) و خط مبنای سازند تمیز (فاقد رس) از اهمیت خاصی برخوردار است و در صورت برداشت GR در چاه، خط مبنای عاری از رس معمولاً بین ۰ تا ۱۰۰ API (American Petroleum Institute) ۲۵ و خط مبنای شیل بین ۶۰ تا ۱۰۰ API انتخاب می شود. در پژوهش حاضر به منظور تعیین حجم شیل سازند از نمودار پرتو گامای طبیعی اصلاح شده (CGR) برای سه حلقه چاه استفاده گردید. به دلیل حجم نسبتاً بالای رس سازند آسماری، برای محاسبه حجم شیل این سازند استفاده از روش خطی متناظر با رابطه (۳) مطابق رابطه (۴) (عرب سالاری و همکاران، ۱۳۹۲)، منطقی تر به نظر می رسد.

$$V_{sh} = \frac{CGR_{log} - CGR_{min}}{CGR_{max} - CGR_{min}} \quad (4)$$

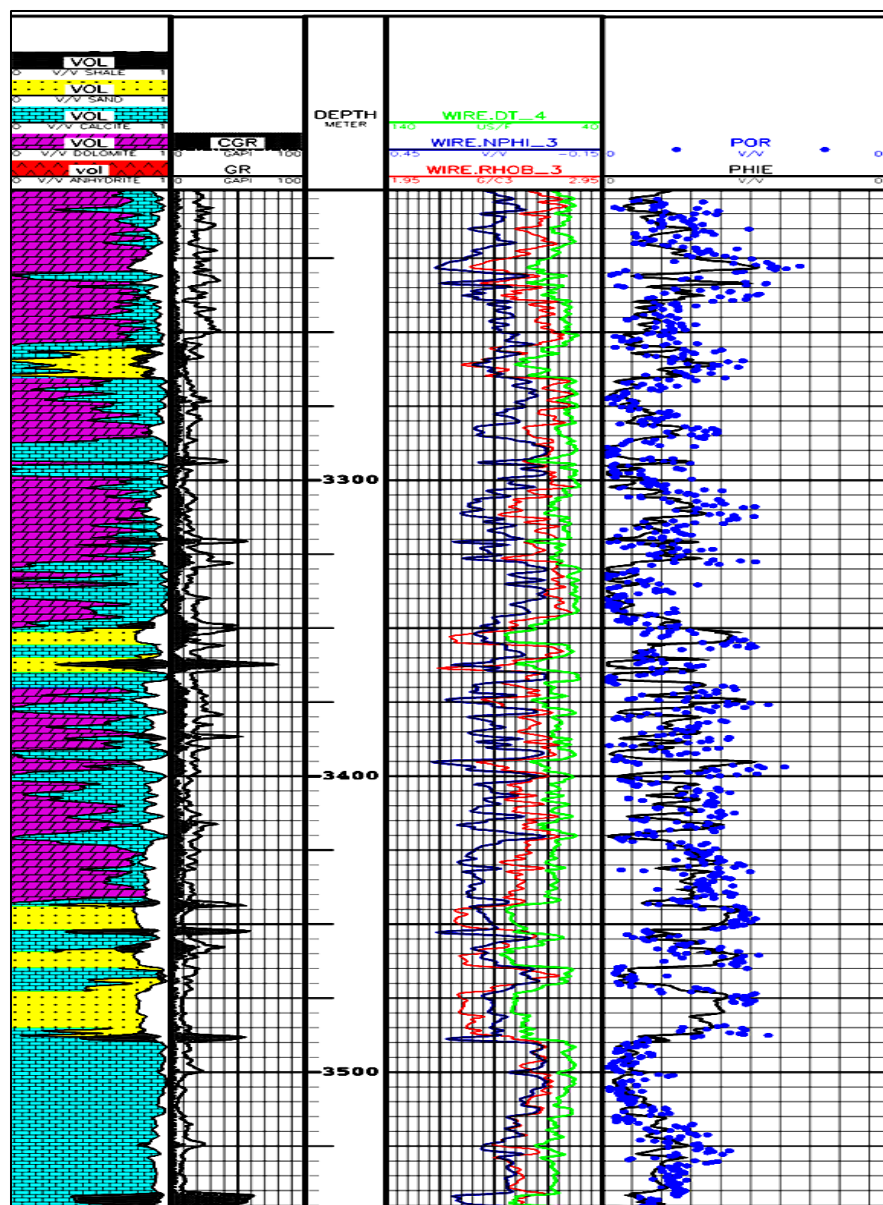
پارامترهای این رابطه نیز همانند رابطه (۳) تعریف می شوند با این تفاوت که بجای نمودار GR از نمودار CGR استفاده می شود. با مقایسه نمودارهای سنگ شناسی ترسیم شده برای چاه های مورد مطالعه (شکل های ۴ تا ۶) مشاهده می شود که این سه حلقه چاه از نظر میزان حجم شیل دارای تطابق نسبی می باشند. میزان حجم شیل چاه های مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است. داده های جدول ۱ نشان می دهند که میانگین حجم شیل سازند در دو حلقه چاه A و B نسبتاً پایین بوده و متوسط حجم شیل سازند بدست آمده از سه حلقه چاه مورد مطالعه برابر با ۱۰/۴۱ درصد می باشد. بطور کلی میانگین حجم شیل کل سازند در چاه های مذکور پایین است (کمتر از ۱۵ درصد) بنابراین نمی توان آن را به عنوان یک عامل موثر منفی در تغییر خواص مخزنی سازند به حساب آورد.

تخمین تخلخل سازند

تخلخل نسبت حجم فضاهای خالی به حجم کل سنگ است که معمولاً برحسب درصد بیان می شود. تخلخل مهمترین ویژگی پتروفیزیکی سازند است زیرا ظرفیت و حجم تجمع هیدروکربور در سنگ تابع آن بوده و به منظور ارزیابی سازند باید تا حد ممکن بطور دقیق تعیین شود. روشهای اصلی تعیین تخلخل در چاه پیمایی، استفاده از نمودارگیرهای نوترون، چگالی و صوتی می باشند و با استفاده از هر یک از این ابزارها یا ترکیبی از آنها می توان تخلخل را تعیین نمود. وجود شیل و گاز در سازندها بر روی مقادیر ثبت شده توسط ابزارها تأثیر گذاشته و باعث مشکلاتی در محاسبات تخلخل می شود که بایستی این تغییرات اصلاح

جدول ۲. متوسط درصد تخلخل کانی های موجود در چاه های مورد مطالعه

نام چاه	نوع کانی	دولومیت	دولومیت آهکی	آهک	آهک دولومیتی	آهک ماسه ای	ماسه	ماسه آهکی
A		۱۴/۳	۹/۷	۶/۶	۷/۴	۱۱	۱۸/۷	۱۲/۳
B		۱۳/۱	۱۱/۷	۷/۴	۷/۴	۱۱/۲	۱۶/۵	۱۲
C		۱۶/۶	۹/۷	۷/۶	۷	۱۱	۱۷/۳	۱۲/۴



شکل ۷. مقایسه مقادیر تخلخل محاسبه شده توسط نرم افزار Geolog و اندازه گیری شده توسط آنالیز مغزه برای چاه A همراه با نمودارهای چاه پیمایی و ستون سنگ شناسی سازند

اشباع شدگی آب سازند

اشباع شدگی آب سنگ (S_w) به کسری از فضاهای خالی سنگ گفته می‌شود که توسط آب اشغال شده باشد. این پارامتر یکی از مهمترین پارامترهای پتروفیزیکی مخازن نفتی بوده که تاثیر زیادی بر دقت تخمین میزان نفت اولیه مخزن دارد. به دلیل اهمیت زیاد این پارامتر در محاسبات اقتصادی توسعه مخزن، تعیین دقیق آن اجتنابناپذیر است.

آرچی (Archie, 1942) با بررسی تغییرات مقاومت ویژه حقیقی سازند (R_w) (Waster resistivity) و آب سازندی (R_t) (True resistivity) رابطه اساسی زیر را برای محاسبه S_w در مخازن هیدروکربوری ارائه کرده است:

$$S_w = \frac{n}{\sqrt{\phi^m}} \times \frac{R_w}{R_t} \quad (5)$$

که در این رابطه n توان اشباع آب، a یک عدد ثابت و تابع جنس سنگ (سنگ شناسی)، ϕ تخلخل و m ضریب سیمان شدگی سازند است. معمولاً در مخازن هیدروکربوری، S_w با استفاده از داده‌های چاهنگاری و به کارگیری این رابطه تخمین زده می‌شود. پارامترهای n ، a و m ثابت‌های مجهول و ناشناخته-ای هستند که مقادیر آنها برای سازندهای مختلف با بررسی‌های پتروفیزیکی و تجزیه و تحلیل مغزه در آن سازند به دست می‌آید.

محاسبه پارامترهای m و n

بهترین روش به منظور تخمین پارامترهای m و n آنالیز نمونه های مغزه در آزمایشگاه، تعیین پارامترهای پتروفیزیکی و استفاده از نمودار پیکت (Pickett, 1960, 1963, 1974) است. در صورتی که اطلاعات مغزه در دسترس نباشد مناسب ترین روش برای تعیین این پارامترها برآورد پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از نگارهای چاه پیمایی و ترسیم نمودار پیکت است.

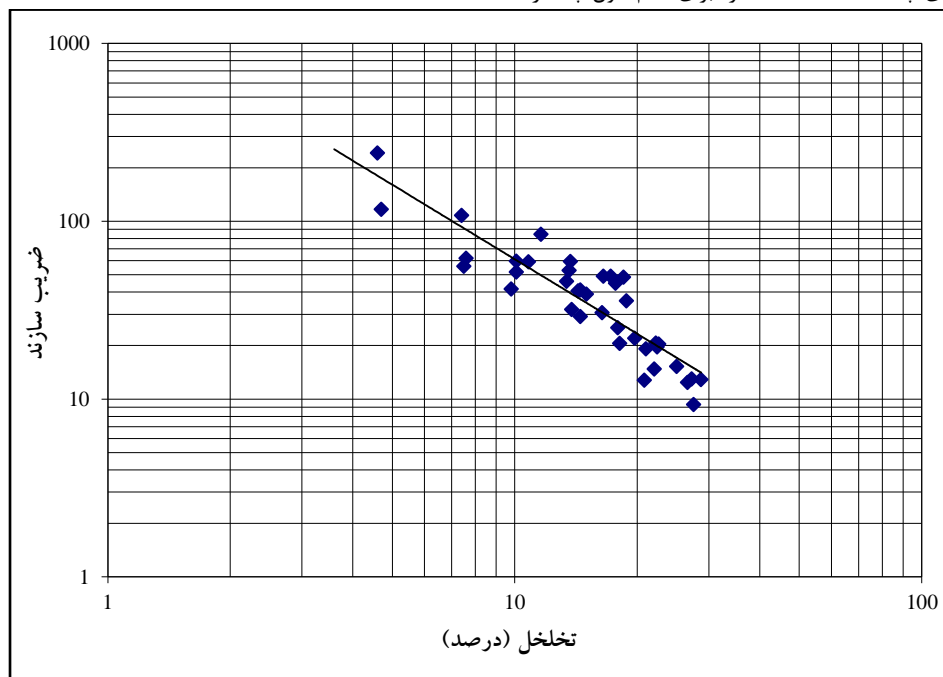
با استفاده از نمودار پیکت پارامترهای m و n رابطه آرچی برای هر سه چاه مورد مطالعه تعیین گردید. برای چاه A که اطلاعات مغزه برای تمام طول چاه در

دسترس می باشد پارامتر m را می توان با استفاده از نمودار تمام لگاریتمی ضریب سازند (F) (Formation factor) در مقابل درصد تخلخل بدست آمده از مغزه بدست آورد (Thomas, 2012; Serra, 2009; Darling, 2005). شیب این نمودار برابر با پارامتر m است. شکل (۸) نمودار تمام لگاریتمی ضریب سازند در مقابل درصد تخلخل بدست آمده از مغزه را برای چاه A نشان می دهد. در این پژوهش مقدار پارامتر m برای چاه A برابر با ۱/۴ بدست آمد.

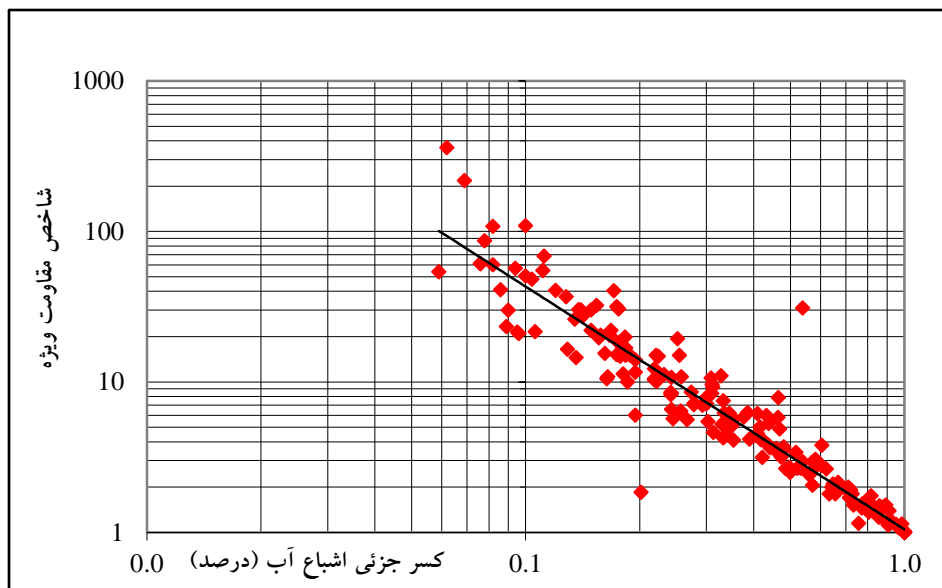
پارامتر n را نیز می توان با استفاده از نمودار تمام لگاریتمی شاخص مقاومت ویژه سازند (I) (Formation resistivity index) در مقابل کسر جزئی اشباع آب بدست آمده از مغزه بدست آورد (Thomas, 2012; Tiab and Donaldson, 2004). شیب این نمودار برابر با پارامتر n است. شکل (۹) نمودار تمام لگاریتمی شاخص مقاومت ویژه سازند در مقابل کسر جزئی اشباع آب بدست آمده از مغزه را برای چاه A نشان می دهد. در این پژوهش مقدار پارامتر n برای چاه A برابر با ۱/۴ بدست آمد.

در مورد چاه های B و C که اطلاعات کامل مغزه در دسترس نمی باشد روش تعیین m با استفاده از نمودار پیکت بدین صورت است که در فواصلی که سازند صد در صد اشباع از آب می باشد یا به عبارت دیگر میزان S_w برابر با صد در صد یا یک است رابطه آرچی (Archie, 1942) به صورت زیر نوشته می شود:

$$\log \phi = -\frac{1}{m} \log (R_o) + \frac{1}{m} \log (aR_w) \quad (6)$$



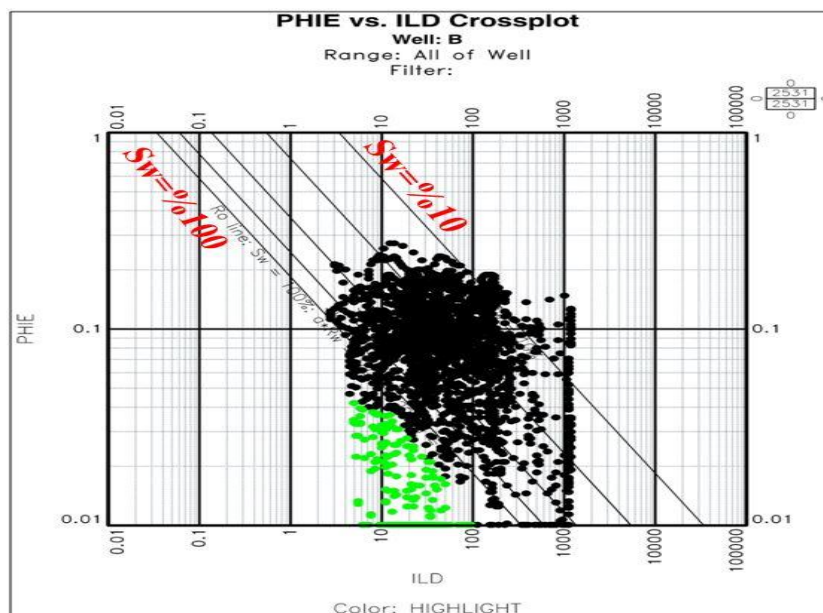
شکل ۸. نمودار تمام لگاریتمی ضریب سازند در مقابل درصد تخلخل بدست آمده از مغزه برای چاه A.



شکل ۹. نمودار تمام لگاریتمی شاخص مقاومت ویژه سازند در مقابل کسر جزئی اشباع آب برای چاه A.

برابر با $1/9$ و 2 بدست آمد. مقدار n نیز از روی نمودار پیکت برابر با فاصله افقی بین خطوط S_w برابر با 100 درصد و 10 درصد است (Schlumberger, 2002). مقدار این پارامتر نیز برای چاه های B و C برابر با 2 می باشد. شکل (۱۰) نمودار پیکت مربوط به چاه B را نشان می دهد.

که در این رابطه R_o مقاومت ویژه سازند در حالت صد در صد اشباع از آب می باشد. بنابراین در نمودار تمام لگاریتمی تخلخل در مقابل مقاومت ویژه حقیقی سازند، مقدار m شیب خط مربوط به نقاطی است که روی خط صد در صد اشباع از آب قرار می گیرند. مقدار این پارامتر برای دو چاه B و C به ترتیب



شکل ۱۰. نمودار تمام لگاریتمی تخلخل در مقابل مقاومت ویژه حقیقی سازند در چاه B. نقاط مشخص شده با رنگ سبز داده های مربوط به نقاطی است که صد درصد اشباع از آب می باشند.

تخمین اشباع شدگی آب سازند مورد مطالعه

مقادیر S_w سازند برای سه حلقه چاه مورد مطالعه براساس مقادیر محاسبه شده برای پارامترهای m و n محاسبه شد. برای این منظور مدل اندونزی (Indonesia)، ارائه شده توسط پوپان و لویکس (Poupon and Leveaux, 1971) مطابق رابطه (۷) مورد استفاده قرار گرفت.

$$S_w = \left\{ \left[\left(\frac{V_{sh}^{(2-V_{sh})}}{R_{sh}} \right)^{1/2} + \left(\frac{\phi_e^m}{R_w} \right)^{1/2} \right]^2 R_t \right\}^{-1/n} \quad (7)$$

که در این رابطه V_{sh} حجم شیل سازند، R_{sh} مقاومت ویژه شیل، Φ_e تخلخل موثر، R_w مقاومت ویژه آب سازند و R_t مقاومت ویژه حقیقی سازند می باشند. نتایج محاسبه مقادیر S_w برای سه حلقه چاه مورد مطالعه، در ستون اول از سمت راست شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است. با مشاهده این شکل‌ها ملاحظه می‌شود که بین مقادیر S_w برآورد شده توسط این مدل (منحنی پیوسته آبی رنگ) و مقادیر S_w بدست آمده از آنالیز مغزه (دوایر توپر قرمز رنگ)، تطابق نسبی خوبی برقرار است هرچند در برخی از فواصل نیز تفاوت‌هایی بطور مشخص قابل مشاهده است. بطور کلی تفاوت در اندازه‌گیری‌های اشباع شدگی آب، نسبت به اندازه‌گیری‌های تخلخل بیشتر است. مهمترین دلیل این امر را می‌توان ناشی از شرایط مغزه گیری و عدم پوشش و نگهداری کامل مغزه در حین ارسال به آزمایشگاه جهت آنالیز مغزه دانست که موجب تبخیر شدن قسمتی از سیال موجود در خلل و فرج سنگ می‌شود.

همچنین با دقت در شکل‌های (۴) تا (۶) استنباط می‌شود که میزان اشباع شدگی آب در فواصل سازندهای ماسه سنگی به مراتب پایین‌تر از سازندهای کربناته است در نتیجه میزان اشباع شدگی هیدروکربور نفتی در فواصل سازندی ماسه سنگی بالاست. بنابراین فواصل عمقی ماسه سنگی امکان بهتری برای عملیات تولید نفت فراهم می‌نمایند.

نتیجه گیری

استفاده از ۶ نگار چاه پیمایی مناسب و داده‌های آزمایشگاهی آنالیز مغزه (میزان تخلخل و S_w) برای ۱۲۱۱ داده نقطه‌ای و تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزار Geolog به منظور ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی سازند آسماری میدان نفتی بزرگ مارون واقع در جنوب غرب کشور، در سه حلقه چاه A، B و C منجر به نتایج زیر گردید:

۱- سنگ شناسی غالب سازند براساس مناسب‌ترین نمودارهای متقاطع متداول شامل نوترون-چگالی و M-N از نوع کربناته (شامل آهک و دولومیت) و به مقدار کمتر ماسه سنگ و شیل تشخیص داده شد.

۲- میانگین درصد حجمی شیل سازند در دو حلقه چاه A و B نسبتاً پایین (کمتر از ۱۰ درصد) بوده و متوسط حجم شیل سازند بدست آمده از سه حلقه چاه مورد مطالعه برابر با ۱۰/۴۱ درصد می‌باشد. از آنجایی که میانگین حجم شیل کل سازند در چاه‌های مذکور پایین است (کمتر از ۱۵ درصد) بنابراین نمی‌توان آن را به عنوان یک عامل موثر منفی در تغییر خواص مخزنی سازند به حساب آورد.

۳- بطور کلی مقادیر تخمینی تخلخل سازند برای سه حلقه چاه توسط نرم افزار Geolog براساس تلفیق سه نمودار چاه نگاری تخلخل نوترون، چگالی و صوتی و تصحیح اثر شیل از طریق نمودار CGR، با نتایج حاصله از آنالیز مغزه تطابق

خوبی نشان می‌دهند. میزان تخلخل موثر متوسط سازند در چاه‌های A، B و C براساس میانگین وزن دار برحسب درصد حجمی سنگ شناسی‌های موجود در سازند، به ترتیب برابر با ۱۰/۱۷، ۹/۴۵ و ۸/۱۵ درصد بدست آمد. میانگین تخلخل موثر برای کل سازند از طریق سه حلقه چاه نیز برابر با ۹/۲۶ درصد می‌باشد، بنابراین تخلخل این سازند، متوسط ارزیابی می‌شود.

۴- مقادیر S_w سازند در سه حلقه چاه A، B و C با استفاده از مدل اندونزی و براساس محاسبه مقادیر پارامترهای m و n با استفاده از نمودار پیکت محاسبه گردید که تطابق نسبی خوبی بین مقادیر محاسباتی و مقادیر بدست آمده از آنالیز مغزه برقرار است. نتایج نشان می‌دهند که میزان اشباع شدگی آب در فواصل سازندهای ماسه سنگی به مراتب پایین‌تر از سازندهای کربناته است در نتیجه میزان اشباع شدگی هیدروکربور نفتی در فواصل سازندی ماسه سنگی بالاست. بنابراین فواصل عمقی ماسه سنگی امکان بهتری برای عملیات تولید نفت فراهم می‌نمایند.

۵- استفاده از نمودارهای چاه پیمایی جهت ارزیابی خواص پتروفیزیکی مخزن به منظور تعیین کیفیت مخزن نفتی مورد مطالعه در پژوهش حاضر و مقایسه نتایج حاصله با اطلاعات مغزه برای فواصل عمقی موجود، نشان می‌دهد که این روش غیر مستقیم ارزیابی کیفیت مخزن، به عنوان روشی سریع و نسبتاً دقیق، مفید بوده و از قابلیت اعتماد و کارایی قابل قبولی برخوردار است.

منابع

- اداره مطالعات زمین شناسی شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۸۷، گزارش زمین شناسی گسترشی (از مجموعه گزارش های داخلی مناطق نفت خیز جنوب).
ذاکری، م.، موسوی حرمی، س.ر.، خانه باد، م.، محبوبی، ا.، صابری، ا.، ۱۳۹۳، رخساره ها، دیاژنز و کیفیت مخزنی سازند سروک در میدان نفتی کوپال، در جنوب غرب ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۴، ص ۴۶-۵۹.
رضایی، م.، چهارزی، ع.، ۱۳۸۵، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۹۹ ص.
عرب سالاری، س.، محمدی، م.ح.، موحد، ب.، ۱۳۹۲، ارزیابی خواص مخزنی سازند فهلیان در میداین واقع در دشت آبادان (دارخوین و جفیر)، ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۰۳، ص ۷۸-۸۴.
محمدی، ا.، ۱۳۸۲، تعیین گروه های سنگی مخزنی سازند آسماری بر مبنای لاگ های پتروفیزیکی با استفاده از روش منطق فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه تهران.
مراد زاده، ع.، سلیمی دلشاد، ی.، کاظم زاده، ع.ا.، ۱۳۹۲، بهبود محاسبه اشباع آب در مخازن هیدروکربوری کربناته به کمک داده های چاه نگاری و آزمایشگاهی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۱، ص ۱۰۷-۱۲۱.
مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی ایران.
Archie. G.E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Petroleum Transactions of AIME, Vol: 146, p: 54-62.
Burke. J.A., Campbell. Jr., R.L., Schmidt. A.W., 1969, The litho porosity cross plot: A new concept for determining porosity and lithology from logging methods, Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts, SPWLA 10th Annual Logging Symposium, 25-28 May, Houston, Texas.
Clavier. C., Rust. D.H., 1976, Mid-plot, a new lithology technique, The Log Analyst, Vol: 17, No: 6, p: 16-31.
Darling. T., 2005, Well Logging and formation evaluation, Gulf Professional Publishing, Elsevier, 326 pages.
Pickett. G.R., 1960, The use of acoustic logs in the evaluation of sandstone reservoirs, Geophysics, Vol: 25, p:250-274.
Pickett. G.R., 1963, Acoustic character logs and their applications in formation evaluation, JPT Vol: 15, p:650-667.
Pickett. G.R., 1974, Formation evaluation, unpublished lecture notes, Colorado School of Mines, Golden, Co.
Poupon. A., leveaux. J., 1971, Evaluation of water saturation in shaly formations, trans. SPWLA 12th annual logging symposium, O1-2.
Rider. M.H., 1986, The Geological interpretation of well logs, Blackie, Technology & Engineering, 175 pages.
Schlumberger. 2000, Schlumberger log interpretation charts.
Schlumberger. 2002, Schlumberger log interpretation principles/applications, Schlumberger Wireline and Testing, Houston, Texas, 250 pages.
Serra. O., 2009, Fundamentals of well-log interpretation, University of Paris, 487 pages.
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-1x well, western desert, Egypt, Journal of American Science, Vol:7, No:1, p: 498-505.
Thomas. W.E., 2012, Lecture notes for PET 370, Chapter 2, Electrical properties of rocks.
Tiab. D., Donaldson. C.E., 2004, Petrophysics, theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties, Gulf professional publishing, Elsevier, Second edition, 926 pages.