

## ارزیابی خواص مخزنی سازند سروک بالایی با استفاده از داده های پتروفیزیکی در یکی از میادین نفتی جنوب ایران

عطا مومد\*<sup>۱</sup>، ممسن مسیمی<sup>۲</sup> و عبدالنبی هاشمی<sup>۳</sup>

۱) کارشناسی ارشد مهندسی نفت (اکتشاف)، دانشکده مهندسی نفت و گاز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ata\_movahhed@yahoo.com

۲) دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، masihi@sharif.edu

۳) استادیار، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعت نفت، اهواز، nabi.hashemi@gmail.com

\* عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۷/۱؛ دریافت اصلاح شده: ۹۲/۴/۷؛ پذیرش: ۹۲/۵/۹؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۲/۶/۱۵

### مکیده

در این پژوهش، با استفاده از داده های چاه نگاری یکی از میادین نفتی جنوب ایران و به کمک نرم افزار ژئولاگ (Geolog)، پارامترهای پتروفیزیکی سازند سروک بالایی در دو چاه A و B به روش ارزیابی احتمالی (Probabilistic) مورد بررسی قرار گرفتند. بر پایه این ارزیابی و با بهره گیری از کراس پلات های مرسوم (نوترون-چگالی، نوترون-صوتی، MID\_PLOT و M-N PLOT)، لیتولوژی سازند سروک بالایی ترکیبی از سنگ آهک، دولومیت و به مقدار کم شیل تعیین گردید. با توجه به خواص پتروفیزیکی (مخزنی) محاسبه شده و برای ارزیابی دقیق تر، سازند سروک بالایی در منطقه مورد مطالعه به ۵ زون S<sub>1</sub> تا S<sub>5</sub> تقسیم شد. زون S<sub>2</sub> نیز با توجه به ویژگی های خاص پتروفیزیکی به ۸ زیر لایه (S<sub>2-a</sub> تا S<sub>2-h</sub>) تقسیم گردید. در نهایت، زون S<sub>2</sub> با توجه به خواص پتروفیزیکی مناسب به عنوان بهترین بخش مخزنی تشخیص داده شد.

**واژه‌های کلیدی:** میدان نفتی، سازند سروک بالایی، پارامترهای پتروفیزیکی، لیتولوژی.

### ۱- مقدمه

زاگرس در سازند سروک بالایی به شمار می رود. شناخت نوع لیتولوژی، محاسبه حجم شیل (V<sub>sh</sub>)، میزان تخلخل کل (PHIT)، تخلخل مؤثر (PHIE) و اشباع آب (SW)، مهم ترین پارامترهایی هستند که در ارزیابی پتروفیزیکی جهت پی بردن به کیفیت مخزنی سازندها تعیین می شوند (Hearst et al. 2000). در این مطالعه، از داده های خام حاصل از چاه نگاری دو چاه در

ارزیابی پتروفیزیکی، علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نگارهای چاه پیمایی به منظور بررسی کیفیت مخزنی بخش های مختلف سازند و زون بندی مخزن جهت تعیین مناسب ترین زون ها در بهره برداری بهینه از مخازن و توسعه میادین نفتی می باشد (Tiab 2010). میدان نفتی مورد مطالعه، یکی از بزرگترین میادین نفتی حوضه رسوبی



### ۳-۱-۳- سازند سروک

حجم شیل و محتوای سیال بر پاسخ لاگ‌ها اثر می‌گذارند. منظور از بافت، پارامترهای مربوط به ماتریکس و منظور از ساخت، خصوصیتی مانند لایه بندی و شکستگی‌ها می‌باشد. داده‌های حاصل از چاه پیمایی در کنار اطلاعات حاصل از خرده‌های حفاری و مغزه به تخمین دقیق تر لیتولوژی کمک می‌کند (قاسم العسکری ۱۳۸۹). برای تعیین لیتولوژی سازند بهترین نقطه بخشی است که کمترین حجم شیل و تخلخل را دارا بوده و اشباع از آب باشد. کراس پلاتهایی که برای تعیین لیتولوژی کاربرد فراوانی دارند عبارتند از:

۱- کراس پلات نوترون - چگالی

۲- کراس پلات نوترون - صوتی

۳- روش M-N PLOT

۴- روش MID\_PLOT

### ۳-۱-۲-۱- کراس پلات نوترون- چگالی

از این کراس پلات جهت محاسبه لیتولوژی و تخلخل استفاده می‌گردد. برای حل گرافیکی تخلخل با استفاده از این چارت، باید مقادیر چگالی محاسبه شده را در مقابل نوترون پلات نمود. کراس پلات نوترون - چگالی، بهترین حد تفکیک را میان لیتولوژی‌های مختلف و بهترین تشخیص تخلخل را در بین کراس پلات‌ها دارا می‌باشد (Fertl & Atlas 1981).

این کراس پلات، لیتولوژی آهکی، دولومیتی و ماسه سنگی را به خوبی از هم جدا می‌کند. باید توجه داشت که قبل از رسم آن، داده‌ها از نظر وجود شیل و هیدروکربن تصحیح گردند. در چاه‌هایی با دیواره ناهموار و یا در گل‌های حفاری سنگین، اطلاعات ابزار چگالی ممکن است فاقد ارتباط باشند، به همین دلیل استفاده از کراس پلات محدودیت دارد (سجادیان و همکاران ۱۳۹۰).

در مخازن گازدار، وجود گاز سبب کاهش قرائت نوترون و کمتر شدن چگالی سنگ شده و این عوامل باعث می‌شوند که مخازن گازدار نقاط پلات شده بر روی این نمودار در سمت چپ و بالای نمودار قرار گیرند که باید از مسیر تصحیح گاز اثر گاز را خنثی نمود (دژم ۱۳۸۷).

وجود شیل در سازند باعث انتقال نقاط به سمت جنوب شرقی کراس پلات می‌شود. بنابراین قبل از استفاده از کراس پلات لازم است که هر دو نمودار از نظر شیل تصحیح شوند. با انجام تصحیح شیل، تخلخل بدست آمده از کراس پلات، برابر تخلخل ماتریکس خواهد بود (عوض‌علیپور و مجیدی ۱۳۸۸).

براساس کراس پلات نوترون-چگالی، لیتولوژی سازند سروک بالایی در منطقه مورد مطالعه، ترکیبی از سنگ آهک، دولومیت و به مقدار کم شیل تعیین گردید (تصاویر ۲ و ۳).

سازند سروک بخشی از آهک‌های کرتاسه میانی است که در برش الگوی تنگه سروک و در یال جنوب غربی کوه بنگستان به ضخامت ۲۵۴/۵ متر اندازه‌گیری شده است. برش الگوی این سازند در تنگه سروک واقع در قسمت مرکزی دامنه جنوبی کوه بنگستان قرار گرفته است. بخش زیرین سازند سروک از ۲۵۰ متر آهک رسی دانه ریز خاکستری تیره با لایه بندی نودولار به همراه میان لایه‌ای از مارن‌های آهکی خاکستری تیره آمونیت‌دار تشکیل شده است. بخش میانی این سازند شامل ۱۰۸ متر رسوبات کربناته گل سفید به صورت آهک توده ای حاوی نودول سیلیسی به رنگ قرمز مایل به قهوه ای می‌باشد.

در ادامه این بخش، ۴۰۸ متر آهک قهوه ای توده ای حاوی خرده های رودیست و در انتهای آن ۴۲ متر آهک آهن دار قرار گرفته است (قلی و همکاران ۱۳۹۰). در سازند سروک، فروافتادگی دزفول و لرستان، ذخائر نفتی متعددی کشف و مورد بهره برداری قرار گرفته است؛ ولی در فارس، سازند سروک کمتر نفت خیز بوده است. پرتخلخل ترین ناحیه در جنوب غربی فروافتادگی دزفول (دشت آبادان) قرار دارد. سن سازند سروک از آلبین تا تورنین تعیین شده است. این سازند در طی آلبین در یک حوضه آرام و بزرگ در فروافتادگی دزفول و شمال خلیج فارس و در یک محیط اکسیدان رسوبگذاری شده است (ردیف آن شامل بیش از ۳۰۰ متر شیل است) (آرین ۱۳۸۹).

### ۳-۱-۴- میدان نفتی مورد مطالعه

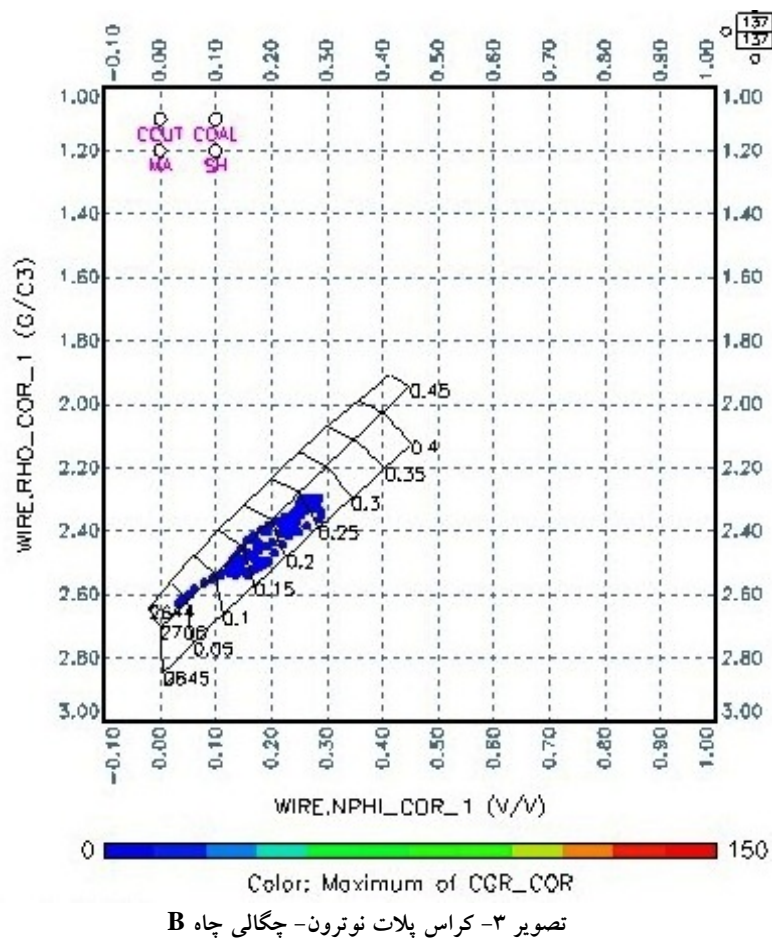
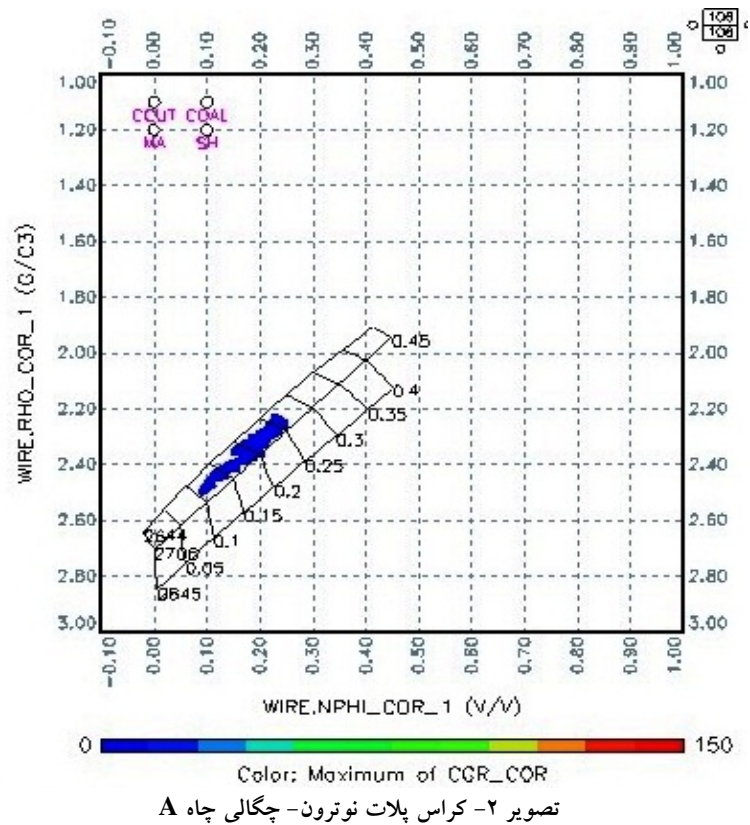
میدان نفتی مورد مطالعه، به عنوان یکی از بزرگترین میادین نفتی در حوضه زاگرس به شمار می‌رود. این میدان در محدوده‌ای به وسعت ۲۰ در ۷۵ کیلومتر، در ۱۰۰ کیلومتری غرب اهواز واقع شده است (آرین ۱۳۸۹). دو چاه A و B در بخش جنوبی این میدان در حوضه زاگرس، در سازند سروک بالایی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته‌اند.

### ۳-۲- تعیین لیتولوژی

در این مطالعه، شناسایی لیتولوژی به کمک کراس پلات‌های مرسوم به چهار روش صورت گرفته است.

### ۳-۲-۱- روش‌های شناسایی لیتولوژی

یکی از کاربردهای مهم لاگ‌ها، تعیین لیتولوژی است. در چاه نگاری، معمولاً برای قسمت جامد، دو مؤلفه در نظر می‌گیرند؛ مؤلفه اول ماتریکس شامل دانه‌های اصلی و سیمان و مؤلفه دوم، شیل است. برخی از ویژگی‌های لیتولوژی مانند کانی‌شناسی، بافت، ساخت،



### ۳-۲-۱-۲- کراس پلات نوترون- صوتی

آوردن ترکیب کانی شناسی سه تایی بکار می رود. تلفیق اندازه گیری چگالی و صوتی برای تعریف  $M$  و چیزی که بیشتر از شیب منحنی  $\Delta t-\rho_b$  نیست، به کار رفته است. کراس پلات نوترون - چگالی نیز به شیب مشابهی به نام  $N$  ختم می‌شود. در این کراس پلات،  $M$  و  $N$  در مقابل هم پلات می گردند.  $M$  و  $N$  طبق روابط ۱ و ۲ بدست می‌آیند.

$$M = \left[ \frac{\Delta t_f - \Delta t}{\rho_b - \rho_f} \right] \times 0.01 \quad \text{رابطه (۱)}$$

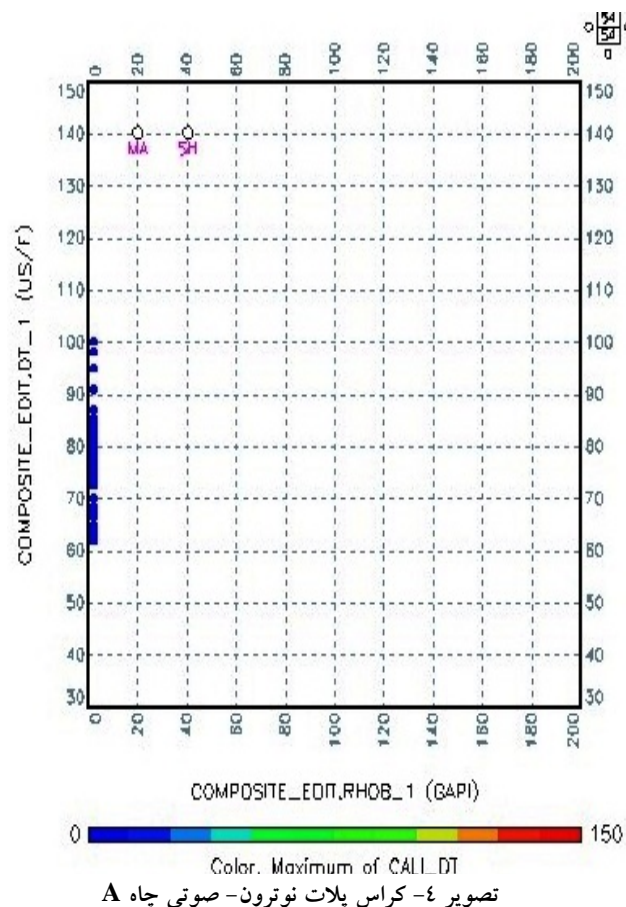
$$N = \left[ \frac{\varphi_{Nf} - \varphi_N}{\rho_b - \rho_t} \right] \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط با توجه به آن که در محاسبه هر کدام از  $M$  و  $N$  از دو نمودار استفاده شده، اثر تداخل تا حد زیادی حذف می‌شود و تقریباً  $M$  و  $N$  فقط تابع لیتولوژی خواهند بود. یکی از بهترین کاربردهای این کراس پلات، تشخیص تداخل ثانویه است، زیرا تداخل ثانویه  $M$  را تغییر داده ولی بر  $N$  تأثیری ندارد، بنابراین باعث انتقال نقاط به سمت شمال کراس پلات می گردد (Serra 2009). در چاه  $B$  به دلیل عدم وجود PEF (فاکتور فتوالکتریک)، کراس پلات  $M-N$  وجود ندارد، بنابراین رسم کراس پلات فقط برای چاه  $A$  انجام گرفته است (تصویر ۶).

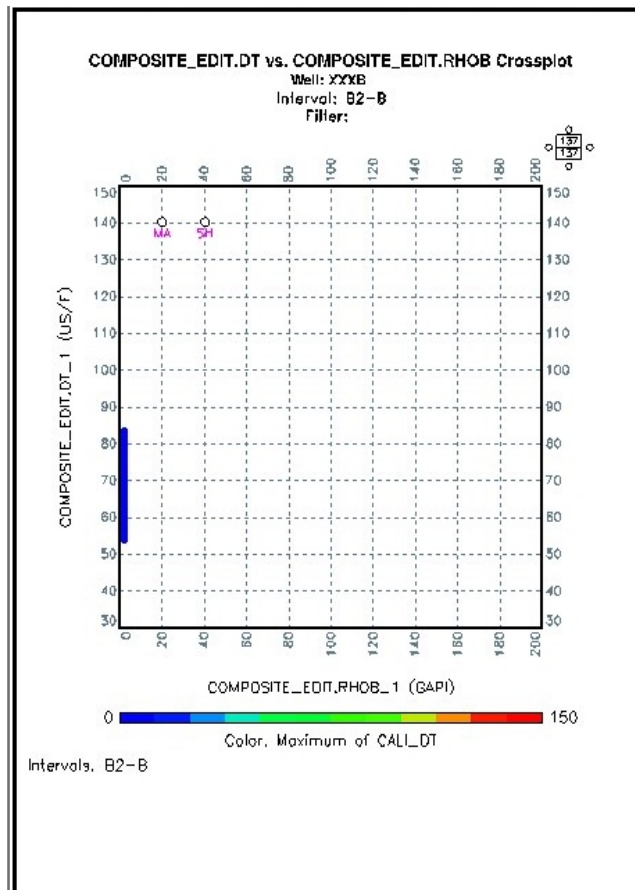
در این کراس پلات، حد تفکیک بین لیتولوژی های مختلف نزدیک به کراس پلات نوترون-چگالی است. برای حل گرافیکی، کافی است  $DT$  نمودار صوتی در مقابل نوترون پلات گردد. محل پلات شدن، نقطه ای است که با توجه به فاصله نقطه از خطوط ماتریکس، نشان‌دهنده درصد لیتولوژی باشد. در صورت وجود کانی های تبخیری، قدرت تفکیک این نمودار نیز کاهش می‌یابد. لاگ صوتی کمتر از لاگ چگالی به ناهمواری های دیواره چاه حساسیت دارد، اما استفاده از این کراس پلات به دلیل در نظر گرفتن چگالی، غیر معمول می باشد. در صورتی که تداخل نوترون شیل و  $\Delta t$  شیل خشک با تداخل نوترون ماتریکس و  $\Delta t$  ماتریکس تفاوت داشته باشد، تداخل محاسبه شده، صحیح نخواهد بود، بنابراین لازم است ابتدا تصحیح شیل انجام شود (رضایی و چهارزی ۱۳۸۹). کراس پلات نوترون- صوتی مربوط به چاه های  $A$  و  $B$  در تصاویر ۴ و ۵ آورده شده است.

### ۳-۲-۱-۳- روش M-N PLOT

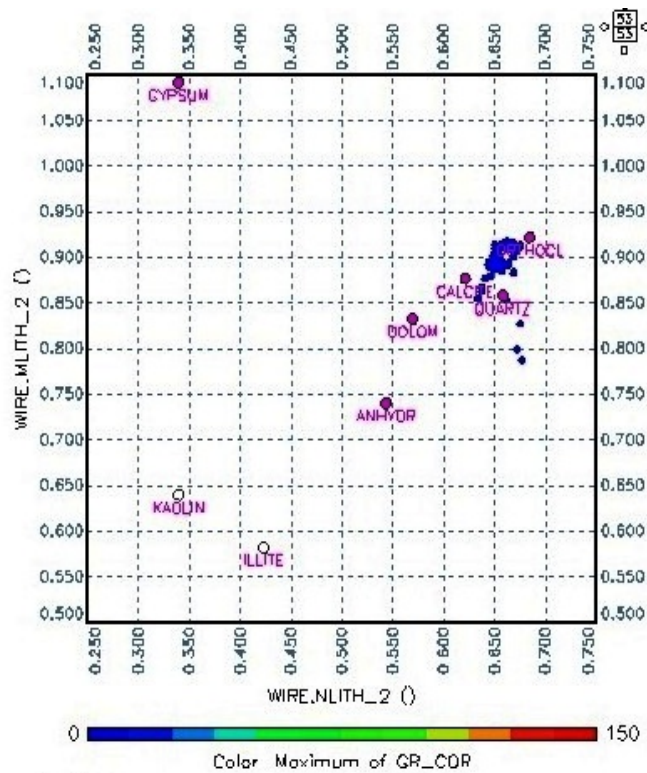
این کراس پلات در تعیین لیتولوژی با استفاده از سه نمودار تداخل بکار می رود. این کراس پلات جهت حذف اثر تداخل و بدست



تصویر ۴- کراس پلات نوترون- صوتی چاه A



تصویر ۵- کراس پلات نوترون- صوتی چاه B

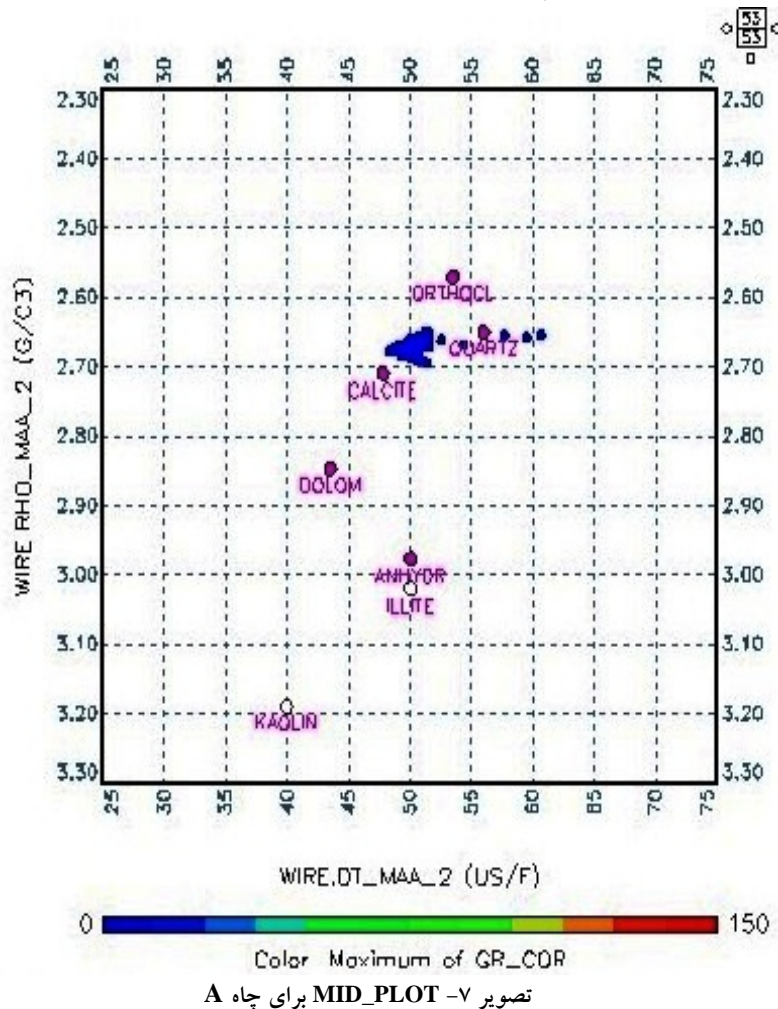


تصویر ۶- کراس پلات M-N برای چاه A

### ۳-۲-۱-۴- روش MID\_PLOT

وجود دارد. جهت استفاده از این کراس پلات لازم است که سه مرحله طی شود. در مرحله اول با استفاده از کراس پلات های مختلف نظیر نوترون-چگالی و نوترون-سونیک، تداخل ظاهری محاسبه می‌شود. در مرحله دوم با استفاده از مقادیر،  $\Delta t_{maa}$ ،  $\rho_{maa}$  محاسبه می‌شود. در مرحله سوم، مقادیر مقابل هم پلات می‌شوند، در صورتی که ترکیب سه کانی مشخص باشد به کمک چارت CP-15 می‌توان درصد هر کدام از کانی ها را تعیین نمود (رضایی و چهارزی ۱۳۸۹). دو پارامتر  $\Delta t_{maa}$  و  $\rho_{maa}$  را می‌توان در نمودارهای MID\_PLOT (CP-15) استفاده نمود (Clavier et al. 1971). چاه B، به علت عدم وجود فاکتور فتوالکتریک (PEF)، MID\_PLOT نداشته و رسم نمودار فقط برای چاه A صورت گرفت (تصویر ۷).

برای تعیین دقیق‌تر لیتولوژی، از کراس پلات MID (MID\_PLOT) استفاده می‌شود که ابتدا سعی در تعیین ماتریکس درون یابی مقدار ماتریکس در لیتولوژی های مختلف (دولومیت، ماسه و آهک) به دست می‌آیند (Elins 1978). از این دو پارامتر  $(\Delta t_{ma}, \rho_{maa})$  می‌توان در MID پلات استفاده نمود. در این نمودار، نقاط اصلی پراکندگی کمتری دارند. MID پلات مزیت‌های بیشتری نسبت به پلات دارد. در MID پلات از پارامترهای معنا دار یعنی چگالی و  $\Delta t$  ماتریکس استفاده می‌شود، در حالیکه در M-N پلات، پارامترهای M و N فقط یک شیب هستند؛ با این حال، در MID پلات نیز همانند M-N پلات فقط امکان تشخیص هم زمان سه کانی



تصویر ۷- MID\_PLOT برای چاه A

### ۳-۳- محاسبه حجم شیل

CGR استفاده می‌شود (صیرفیان ۱۳۸۷). در این مطالعه با تطبیق دو لاگ CGR و SGR، تأثیر فراوانی عنصر اورانیوم بر روی لاگ SGR آشکار گردید. بنابراین، اندازه گیری حجم شیل از روی لاگ CGR طبق رابطه ۳ انجام شد. در این روش، قرائت مقادیر بیشینه و کمینه

حجم شیل، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در کلیه مطالعات پتروفیزیکی و کیفیت مخزنی است. شیل‌ها تغییرات زیادی را در مخازن ایجاد می‌کنند. برای محاسبه شیل بطور معمول از لاگ

می‌باشد (Fertl & Atlas 1981). در این مطالعه برای محاسبه تخلخل، از نمودارهای چگالی، نوترون و صوتی استفاده شده که در ادامه تشریح می‌گردند.

CGR در سازند سروک در محل‌های فاقد ریختگی دیواره چاه انجام شد.

$$V_{sh} = \frac{(CGR - CGR_{min})}{(CGR_{max} - CGR_{min})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه،  $CGR_{max}$ : مربوط به بخش شیلی،  $CGR_{min}$ : مربوط به بخش تمیز و  $CGR$ : قرائت نمودار گاما در عمق مورد نظر می‌باشد. با توجه به جدول ۱، میانگین حجم شیل محاسبه شده در سازند سروک بالایی، بسیار پایین و در حدود ۱/۳۹ درصد می‌باشد. بر این اساس، سازند سروک، جزء سازندهای تمیز محسوب می‌گردد.

### ۳-۴-۱- محاسبه تفلل با استفاده از یک نگار

#### ۳-۴-۱-۱- محاسبه تفلل با استفاده از نگار نوترون

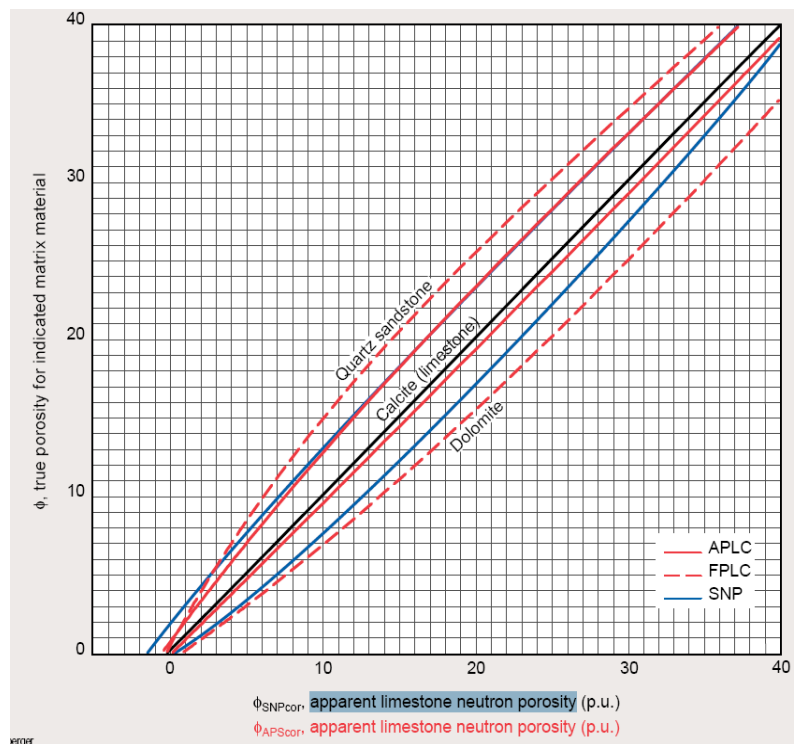
نگار نوترون جهت محاسبه تخلخل استفاده می‌شود. این ابزار، فراوانی هیدروژن یا اندیس هیدروژن را نشان می‌دهد. بنابراین ابزار نوترون به حجم آب پر شده در منافذ پاسخ داده و تخلخل را بصورت رابطه ۴ اندازه می‌گیرد.

$$\log_{10} \phi = aN + b \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه،  $\phi$ : تخلخل واقعی،  $a$  و  $b$ : ثابت‌های تجربی و  $N$ : عدد خوانده شده از روی ابزار است. نگار نوترون نسبت به آهک کالیبره شده است، بنابراین در لیتولوژی‌های آهکی مقدار قرائت نگار نوترون برابر تخلخل خواهد بود، اما در لیتولوژی ماسه سنگی دولومیتی باید تصحیح ماتریکس را انجام داد. میزان تصحیح لیتولوژی برای نگار نوترون تابع نوع لیتولوژی، نوع نگار نوترون و مقدار تخلخل است. از چارت Por-14c جهت تصحیح نمودار نوترون استفاده می‌گردد (تصویر ۸).

### ۳-۴-۲- محاسبه تفلل

تخلخل، یکی از پارامترهای ضروری برای سنگ مخزن می‌باشد، زیرا بیانگر مقدار ذخیره هیدروکربن است. تخلخل توسط دو فاکتور رسوبگذاری و فرآیندهای دیانز کنترل می‌شود (مرادزاده و قوامی ۱۳۸۸). روش‌های مختلفی جهت محاسبه تخلخل وجود دارد که به نوع نگارهای موجود بستگی دارد. برای محاسبه تخلخل، عمدتاً از نگارهای نوترون، چگالی، صوتی و مقاومت ویژه استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از یک و یا ترکیبی از چند نگار جهت محاسبه تخلخل استفاده نمود (Hearst et al. 2000). روش احتمالی (multimin) در نرم افزار ژئولاگ بر اساس حل معادلات هم زمان



تصویر ۸- چارت Por-14c جهت تصحیح نمودار نوترون (Schlumberger 2000)



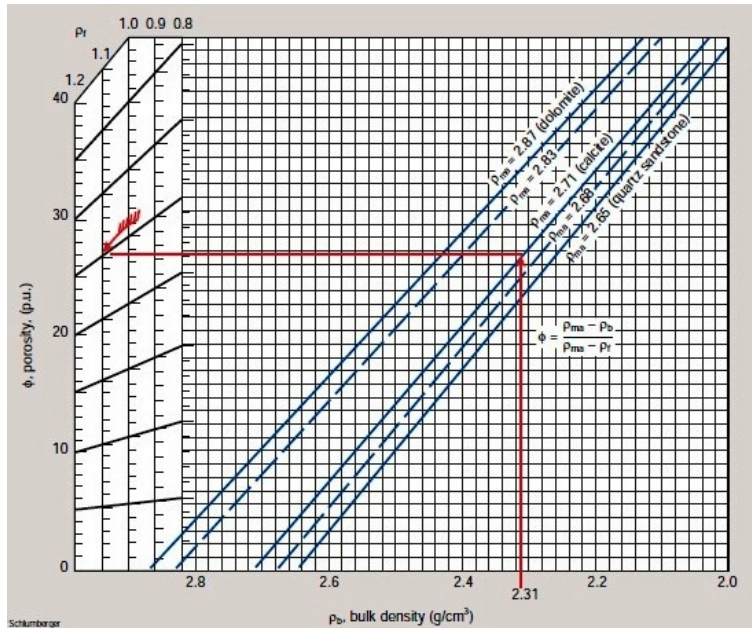
### ۳-۱-۲- مناسبه تفلل با استفاده از ابزار چگالی

در سازندهای تمیز مقدار تخلخل حاصل از نگار چگالی با استفاده از رابطه ۵ قابل محاسبه است.

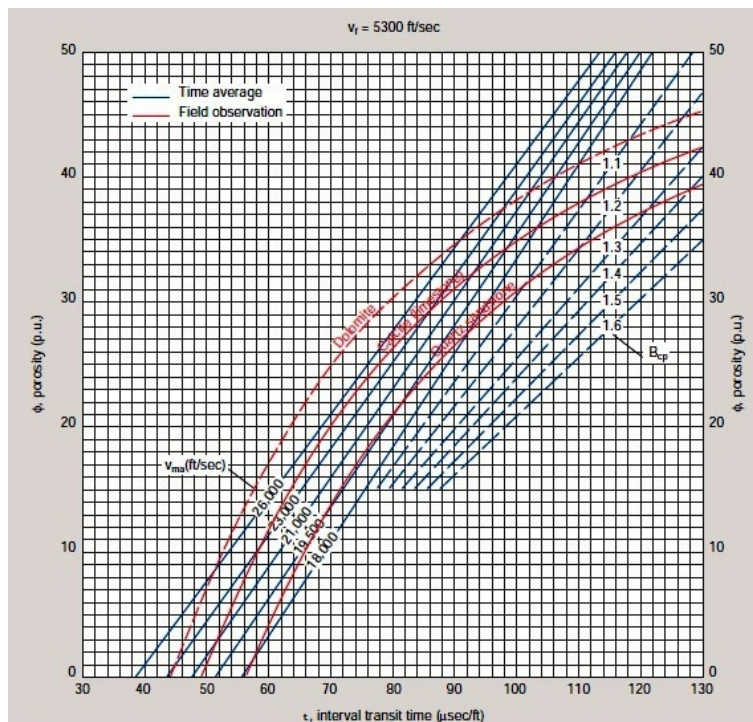
$$\varphi_D = (\rho_{ma} - \rho_b) / (\rho_{max} - \rho_{fl}) \quad (5)$$

با مشخص بودن چگالی ماتریکس و سیال، تخلخل قابل محاسبه است (تصویر ۹). اهمیت این روش در مقایسه با روش نوترون کمتر است.

معمولاً زمانی که تخلخل سنگ تخلخل یک سر نباشد، از این روش استفاده می‌شود. این روش برای محاسبه تخلخل اولیه نیز مطلوب است. تخلخل ثانویه از اختلاف تخلخل صوتی با نوترون و یا چگالی بدست می‌آید. سیالات موجود در تخلخل سازند نیز بر مقدار زمان عبور صوت در سازند تأثیر گذاشته و باعث کاهش سرعت صوت می‌گردند. هر چه چگالی سیال پرکننده تخلخل سازند کمتر باشد، سرعت صوت نیز کمتر خواهد بود (تصویر ۱۰).



تصویر ۹- محاسبه تخلخل از نمودار چگالی، چارت (Schlumberger 2000) Por-5.



تصویر ۱۰- محاسبه تخلخل از نمودار صوتی، خطوط مستقیم در چارت Por-3 مربوط به فرمول وایلی و منحنی‌ها مربوط به فرمول ریمر می‌باشند. خطوط منقطع جهت عدم فشردگی در فرمول رسم شده اند (Schlumberger 2000).

می‌توان تخلخل و همچنین نوع لیتولوژی را تعیین و محاسبه نمود.

### ۳-۴-۱-۱- مماسبه با استفاده از کراس پلات نوترون - چگالی

در این روش تخلخل بر اساس رسم مقادیر نگار نوترون در مقابل نگار چگالی تعیین می‌شود. مخزن گازی باعث کاهش قرائت نگار نوترون می‌گردد. همچنین وجود گاز باعث کاهش چگالی سنگ و در نهایت کاهش قرائت ابزار چگالی می‌گردد (تصویر ۱۱). زمانی که دو نگار نوترون و چگالی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، وجود گاز باعث جدا شدن این دو نگار از یکدیگر شده که به آن اثر توپی می‌گویند. فرتل و اتلس (Fertl & Atlas 1981) رابطه ۷ را برای محاسبه تخلخل نوترون - چگالی ارائه نمود.

$$\text{رابطه (۷)} \quad \phi_{N-D} = \frac{(\rho_b - \rho_{m1})\phi_{N2} - \phi_N(\rho_{m2} - \rho_{m1})}{(\rho_f - \rho_{m2})\phi_{N2} - (\rho_{m2} - \rho_{mz})}$$

### ۳-۴-۱-۲- مماسبه تفلل با استفاده از نگار مقاومت ویژه

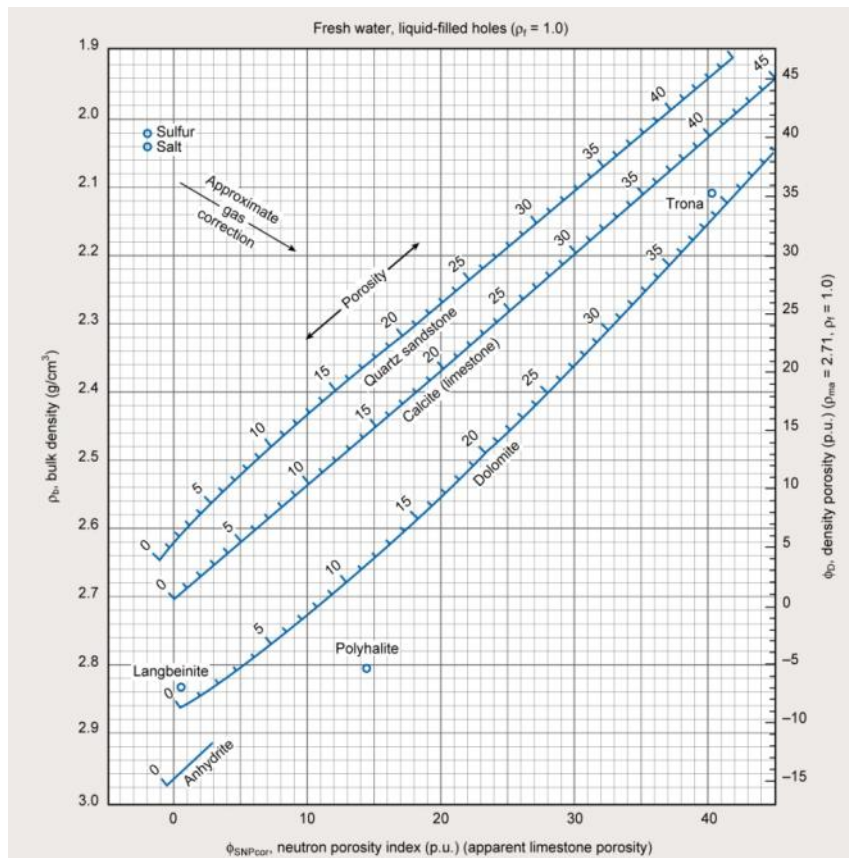
در این روش از معادلات آرچی برای بدست آوردن تخلخل استفاده می‌شود. این روش زمانی کاربرد دارد که نمونه کاملاً با آب اشباع شده باشد. در این روش تخلخل را می‌توان با استفاده از رابطه ۶ تعیین نمود (Hearst et al. 2000).

$$\text{رابطه (۶)} \quad \phi = \left[ \frac{a R_{mf}}{R_{x0}} \right]^{1/m}$$

در این رابطه،  $m$  و  $a$ : ثابت‌های تجربی،  $R_{mf}$ : مقاومت ویژه گل پالایه و  $R_{x0}$ : مقاومت ویژه ناحیه شسته شده می‌باشد.

### ۳-۴-۲-۱- مماسبه تفلل با استفاده از دو نگار

در این روش نیازی به اطلاعات زمینه نبوده و با استفاده از کراس پلات‌های نوترون-چگالی، نوترون-صوتی و چگالی-صوتی



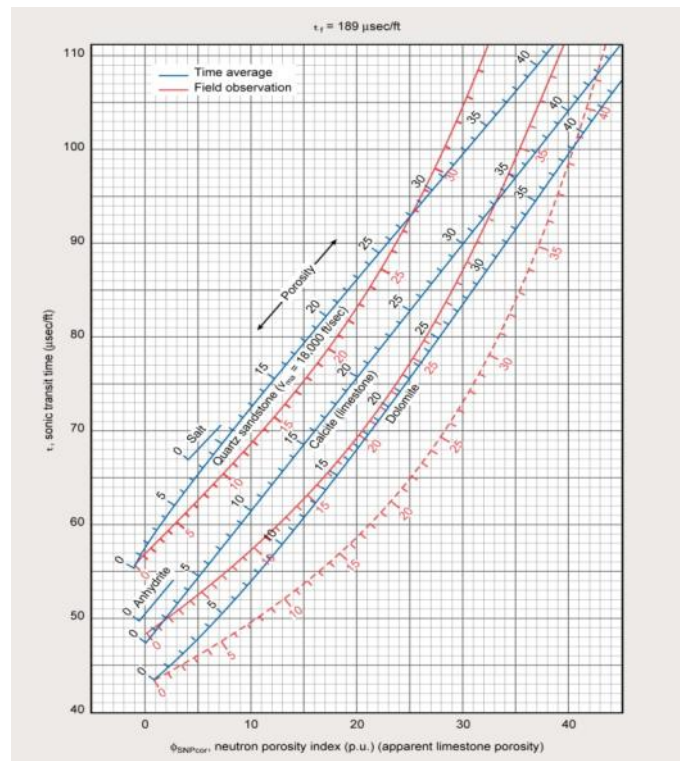
تصویر ۱۱- کراس پلات نوترون-چگالی جهت تعیین تخلخل و لیتولوژی (Schlumberger 1972).

### ۳-۴-۲-۲- مماسبه تفلل با استفاده از منمنی چگالی - صوتی

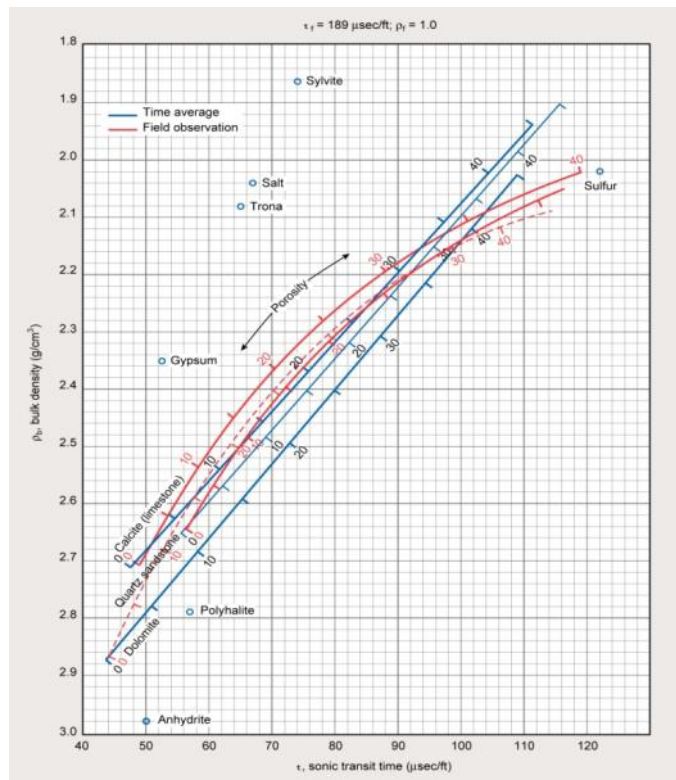
در این روش تخلخل بر اساس رسم مقادیر نگار چگالی در برابر نگار صوتی محاسبه می‌شود (تصویر ۱۳).

### ۳-۴-۲-۳- مماسبه تفلل با استفاده از کراس پلات نوترون-صوتی

در این روش، تخلخل بر اساس رسم مقادیر نگار نوترون در مقابل نگار صوتی تعیین می‌شود. از این کراس پلات علاوه بر تعیین تخلخل در تعیین لیتولوژی نیز استفاده می‌گردد (تصویر ۱۲) (Fertl & Atlas 1981).



تصویر ۱۲- کراس پلات نوترون- صوتی جهت تعیین تخلخل و لیتولوژی (Schlumberger 1972).



تصویر ۱۳- کراس پلات چگالی- صوتی جهت تعیین تخلخل و لیتولوژی (Schlumberger 1972).

### ۳-۵-۱- رابطه اندونزی

این مدل توسط پوپان و لیوکس (Poupon & Leveaux 1971) در سال ۱۹۷۱ ارائه شد که به نام ایندوونزیا (اندونزی) مشهور است و برای استفاده در کشور اندونزی ارائه شد. زیرا وجود آب سازندی شیرین و درصد شیل بالا باعث عدم کارایی سایر فرمول‌ها در این کشور شده بود. این فرمول بیان می‌کند که  $V_{sh}$  توانی دارد که خود تابعی از  $V_{sh}$  است. در این روش، اگر هدایت الکتریکی هیدروکربور را از رابطه (۸) و هدایت الکتریکی واقعی سازند را از رابطه (۹) به دست آوریم، میزان اشباع آب از رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد که توسط نرم افزار ژئولاگ انجام شده است.

$$\sqrt{C_o} = \sqrt{C_w/F + V_{sh}^{1-V_{sh}/2} \times \sqrt{C_{sh}}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sqrt{C_t} = \sqrt{C_w/F \times S_w^{n/2} + V_{sh}^{1-V_{sh}/2} \times \sqrt{C_{sh} \times S_w^{n/2}}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این رابطه،  $C_o$ : هدایت الکتریکی هیدروکربور،  $C_w$ : هدایت الکتریکی آب،  $F$ : ضریب سازندی،  $V_{sh}$ : حجم شیل،  $C_{sh}$ : هدایت الکتریکی شیل،  $C_t$ : هدایت الکتریکی واقعی سازند و  $S_w$ : اشباع آب می‌باشد.

$$S_w = \left[ \frac{R_w \times R_{sh}}{R_t \times (V_{sh}^{1-V_{sh}/2} \sqrt{R_w + Q_e^{m/2} \sqrt{R_{sh}}})^2} \right]^{1/n} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

جدول ۱- میانگین حجم شیل، تخلخل کل، تخلخل مؤثر، اشباع آب کل و اشباع آب مؤثر محاسبه شده در چاههای A, B

WELL	Well A	Well B	Average
$V_{sh} \%$	۱/۸۳	۰/۹۵	۱/۳۹
$PHI_T \%$	۹/۲۸	۱۳/۵۵	۱۱/۴۲
$PHI_E \%$	۹/۱۴	۱۳/۳۹	۱۱/۲۷
$(S_w)_T \%$	۶۷/۸۹	۸۳/۸۷	۷۵/۸۸
$(S_w)_E \%$	۶۷/۲۴	۸۳/۸۶	۷۵/۵۵

شد. زون  $S_2$  نیز با توجه به ویژگیهای خاص پتروفیزیکی به ۸ زیر لایه از  $S_2$ -a تا  $S_2$ -h تقسیم گردید. چاه A، در زیر لایه ۲ با میانگین تخلخل مؤثر ۱۹/۳، اشباع آب مؤثر ۱۲/۶ و حجم شیل ۳/۴ درصد و در زیر لایه ۳ با میانگین تخلخل مؤثر ۹/۵، اشباع آب مؤثر ۲۷ و حجم شیل ۰/۵ درصد دارای مناسب ترین خواص مخزنی است. چاه B، در زیر لایه ۲

در صورتی که نگارهای نوترون و چگالی موجود نباشند، تخلخل نمی‌تواند مستقیم و بدون اطلاع از لیتولوژی از روی منحنی تعیین شود. زمانی که فقط نگار صوتی برای تخلخل موجود بوده و لیتولوژی نامعلوم باشد، از منحنی صوتی - مقاومت استفاده می‌شود.

### ۳-۵-۲- محاسبه اشباع آب

اشباع عبارت است از نسبت حجم اشغال شده توسط سیال به حجم کل تخلخل که آن را با حرف  $S_w$  نشان می‌دهند. اشباع آب، درصدی از فضاهای خالی است که توسط آب اشغال می‌گردد و با  $S_w$  نشان داده می‌شود. کسر باقیمانده که شامل نفت و گاز است معادل  $(1-S_w)$  بوده و به اشباع هیدروکربن معروف است و با علامت  $S_{hr}$  مشخص می‌گردد (قاسم العسکری ۱۳۸۹).

محاسبه میزان اشباع آب بر اساس داده های منحنی مقاومت مخصوص الکتریکی سازند انجام می‌شود (رضایی و چهارزی ۱۳۸۹). برای محاسبه اشباع آب، دو رابطه آرچی و اندونزی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه در این مطالعه نوع کانی رسی مشخص نیست، باید با استفاده از روش ایکس‌آردی (X Ray Diffraction, XRD) و استفاده از مغزه، نوع کانی رسی را تعیین نمود. در این پژوهش به دلیل عدم وجود مغزه، اشباع آب به کمک روش اندونزی محاسبه شد. مقدار میانگین اشباع آب مؤثر و کل در سازند سروک بالایی برای چاه های A و B مطابق جدول ۱ به دست آمد.

### ۴- زون بندی مخزنی و ارائه نتایج نهایی ارزیابی

معمولاً برای انجام زون بندی، به پاسخ مجموعه نگارها در مخزن توجه می‌شود. در این پژوهش، پس از آماده سازی داده ها و انجام تصحیحات محیطی، آنالیز نهایی چاه و تعیین پارامترهای پتروفیزیکی، سازند سروک بالایی در منطقه مورد مطالعه به ۵ زون  $S_1$  تا  $S_5$  تقسیم

رضایی، م. ر. و چهارزی، ع.، ۱۳۸۹، "اصول برداشت و تفسیر نگرهای چاه پیمایی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۷۰۰ ص.  
 سجادیان، و. ا.، خلیفه، م. و محمد محمدی، ا. ر.، ۱۳۹۰، "راهنمای جامع مهندسی نفت"، انتشارات کتاب آوا، ۴۱۹ ص.  
 صیرفیان، ع.، ۱۳۸۷، "اصول مقدماتی چاه پیمایی برای زمین‌شناسان"، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ چهارم، ۳۷۱ ص.  
 عوض‌علیپور، س. و مجیدی، ر.، ۱۳۸۸، "مبانی مهندسی نفت"، انتشارات نورپردازان، ۴۴۱ ص.  
 قاسم‌العسکری، م. ک.، ۱۳۸۹، "اصول پتروفیزیک"، انتشارات ستایش، ۴۹۹ ص.  
 قلاوند، ه.، ۱۳۸۶، "مشخصات چینه‌شناسی و سازندهای دوران زمین‌شناسی در تاق‌دیس کوه بنگستان"، ۱۲ ص.  
 قلی، ن.، حبیب‌نیا، ب. و محمدیان، ر.، ۱۳۹۰، "ارزیابی نمودارهای تصویری سازند سروک در میدان نفتی اهواز"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۷ (۳): ۲۵۴-۲۴۵.  
 مرادزاده، ع.، قوامی ربابی، ر.، ۱۳۸۸، "چاه پیمایی برای مهندسی"، انتشارات دانشگاه شاهرود، ۳۹۴ ص.  
 مطیعی، ه.، ۱۳۸۷، "زمین‌شناسی نفت‌های کربناته"، انتشارات فرازمین، جلد اول، ۴۰۲ ص.

Clavier, C., Hoyle, W. & Meunier, D., 1971, "Quantitative interpretation of thermal neutron decay time logs. Part I-Fundamentals and Techniques. Part II-Interpretation example, interpretation accuracy and time-Lapse technique", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 23 (6): 743-763.

Elins, L. F., 1978, "Evaluation in Determination of Residual Oil Saturation", *Interstate Oil Compact Commission, Oklahoma City*: 177-254.

Fertl, W. H. & Atlas, D., 1981, "Openhole Crossplot Concepts A Powerful Technique in Well Log Analysis", *Journal of Petroleum Technology*: 535-549.

Hearst, J. R., Nelson, P. H. & Paillet, F. L., 2000, "Well Logging for Physical Properties: A Handbook for Geophysicists, Geologists, and Engineers", *New York, John Wiley and Sons*, 483 pp.

Poupon, A. & Leveaux, J., 1971, "Evaluation of water saturations in shaley formations", *Trans. Soc. Prof. Well Log Analysts, 12<sup>th</sup> Annual Logging Symposium, Paper O*.

Serra, O., 2009, "Fundamentals of Well-log interpretation", *University of Paris*, 487 pp.

Schlumberger, 1972, "Inc. Log interpretation-Principles", *Schlumberger Educational Services, Houston, TX*, 213 pp.

Schlumberger, 2000, "Inc. Log interpretation-Principles/ Application", *Schlumberger Educational Services, Houston, TX*, 198 pp.

Tiab, D., 2010, "Advances in Petrophysics", *Flow Units. Lecture Notes Manual, University of Oklahoma, Vol. 8*.

با میانگین تخلخل مؤثر ۱۸/۸ و اشباع آب مؤثر ۱۳/۷ درصد و بدون حجم شیل، در زیرلایه ۳ با میانگین تخلخل مؤثر ۱۲/۴ و اشباع مؤثر ۵۱/۵ درصد و بدون حجم شیل، دارای مناسب‌ترین خواص مخزنی است. بخش سوم، در چاه A با میانگین تخلخل مؤثر ۳/۲، اشباع آب ۸۹/۶ و حجم شیل ۱۷/۲ درصد و در چاه B با میانگین تخلخل مؤثر ۵/۳، اشباع آب ۱۰۰ درصد (کاملاً پوشیده از آب) و حجم شیل ۱۷/۹ درصد، ضعیف‌ترین ویژگی‌های مخزنی را دارا می‌باشد. در نهایت، زون S<sub>2</sub> با لیتولوژی غالب سنگ آهک و با پائین‌ترین میزان شیل در زیرلایه‌های ۲ و ۳، به عنوان بهترین بخش مخزنی و زون S<sub>3</sub> به عنوان ضعیف‌ترین بخش مخزنی تشخیص داده شد.

## ۵- نتیجه‌گیری

بر اساس ارزیابی‌های انجام شده، لیتولوژی سازند سروک بالایی ترکیبی از سنگ آهک، دولومیت و به مقدار کم شیل تعیین گردید. میانگین حجم شیل به دست آمده با استفاده از نمودار CGR، پایین و به مقدار ۱/۳۹ درصد می‌باشد. بر این اساس، سازند سروک بالایی در منطقه مورد مطالعه جزء سازندهای تمیز محسوب می‌شود.

بر اساس ارزیابی‌های انجام شده بر روی نمودارهای چاه پیمایی، منطقه مورد مطالعه میانگین تخلخل متوسطی را نشان می‌دهد (میانگین تخلخل کل ۱۱/۴۲ درصد و میانگین تخلخل مؤثر ۱۱/۲۷ درصد).

محاسبه میزان اشباع آب به روش اندونزی انجام شد. میانگین اشباع آب کل و مؤثر در سازند سروک بالایی به ترتیب ۷۵/۸۸ درصد و ۷۵/۵۵ درصد محاسبه شد.

سازند سروک بالایی در میدان مورد مطالعه به ۵ زون S<sub>1</sub> تا S<sub>5</sub> تقسیم شد. زون S<sub>2</sub> نیز با توجه به ویژگی‌های خاص پتروفیزیکی به ۸ زیر زون S<sub>2</sub>-a تا S<sub>2</sub>-h تقسیم گردید. در نهایت، زون S<sub>2</sub> با توجه به خواص مناسب پتروفیزیکی، به عنوان بهترین بخش مخزنی تشخیص داده شد.

## مراجع

آرین، م.، ۱۳۸۹، "چین خوردگی"، انتشارات فرازمین، ۳۰۶ ص.  
 آرین، م.، ۱۳۸۹، "دیبچه‌ای بر زمین‌شناسی نفت ایران"، انتشارات فرازمین، ۲۶۷ ص.  
 آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۷، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ سوم، ۵۱۶ ص.  
 درویش زاده، ع.، ۱۳۸۸، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر، چاپ پنجم، ۴۳۴ ص.  
 دژم، م.، ۱۳۸۷، "نمودارگیری از چاه: ارزیابی پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری با استفاده از داده‌های چاه نگاری و عملکرد ابزارها"، شرکت نفت فلات قاره ایران، امور پژوهش و توسعه، ۳۳۶ ص.