



بررسی تصحیحات محیطی و اثر گل‌های روغنی روی نمودارهای پتروفیزیکی (چگالی و نوترون) مخازن نفتی بنگستان جنوب ایران

روح‌اله پرویزی^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد قشم

ابراهیم قاسمی‌نژاد^۲ شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

چکیده

نمودارگیری از عمده‌ترین عملیات پس از حفاری هر چاه است. داده‌های نمودارگیری شامل داده‌های مقاومتی، چگالی، صوتی، نوترون و پرتو گاما درون حفره باز هر چاه جهت تعیین پارامترهای پتروفیزیکی از جمله تخلخل، جنس سنگ و نوع و درصد سیال درون سازند به کار می‌روند. نمودارهای چگالی و نوترون از جمله مهم‌ترین این نمودارهاست که بر اساس نمودارگیری در آب شیرین و سنگ آهک کالیبره شده‌اند و تغییر گل درون چاه نیازمند تصحیحاتی بر روی نمودارهای برداشت شده از درون حفره باز چاه است.

با توجه به مشکلات حفاری با گل‌های پایه‌آبی در سازندهای شیلی، امروزه گل‌های پایه‌روغنی کاربرد روزافزونی پیدا کرده‌اند و از آنجا که چگالی گل‌های پایه‌روغنی با تغییر دما و فشار به مقدار قابل توجهی تغییر می‌کند و این تغییرات، قرائت‌های ابزار چگالی و نوترون را تحت تاثیر قرار خواهد داد، بنابراین برای تعیین لیتولوژی و اشباع سیالات سازند باید تأثیر این نوع گل‌ها را روی نمودارهای پتروفیزیکی برداشت شده بررسی کرد. در این نوشتار تأثیرات دما، فشار، اندازه حفره چاه (ریزش‌ها) و هم‌چنین تأثیرات گل‌های پایه‌روغنی بر نمودارهای پتروفیزیکی برداشت شده در سازند بنگستان میدان جنوب ایران مورد بررسی قرار گرفته است. پس از اعمال تصحیحات لازم نتایج نشان می‌دهد که اثرات محیطی و گل تا حد قابل قبولی تصحیح شده‌اند و این داده‌ها با نمونه مغزه‌های اخذ شده مقایسه گردیدند.

واژگان کلیدی: نمودارگیری، گل پایه‌روغنی، تصحیحات محیطی

مقدمه

نواحی متخلخل شده و منجر به ایجاد خطا در قرائت‌های ابزارهای نمودارگیری در نواحی با تخلخل زیاد و دارای ریزش زیاد می‌گردد. در این مقاله تأثیرات گل‌های پایه‌روغنی روی نمودارهای پتروفیزیکی مخزن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ضمن اینکه نمونه‌های میدانی این تأثیرات همراه با ارزیابی آنها نیز ارائه می‌شود.

در اوایل دهه ۵۰ میلادی گل‌های پایه‌روغنی به ندرت و در شرایط خاص استفاده می‌شدند. این در حالی است که امروزه این گل‌ها به وفور مورد استفاده هستند. بیشتر ابزارهای نمودارگیری برای محیط‌هایی با گل‌های پایه‌آبی ساخته و کالیبره شده‌اند و برای شرایط دیگر (گل‌های پایه‌روغنی)، باید تصحیح و کالیبره شوند.

تخلخل‌های به دست آمده از قرائت نمودارهای چگالی و نوترون چندین چاه در سازند بنگستان، مقادیر کمتر از واقعیتی را نشان می‌دهد که نیاز به تصحیح دارند. گل‌های پایه‌روغنی بیشتر برای چاه‌های عمیقی به کار می‌روند که دما و فشار بالایی دارند. این واقعیت در چاه‌های مورد بررسی مشهود است. در این مقاله تصحیحات محیطی روی نمودارهای چگالی و نوترون بررسی شده و نمونه‌های میدانی ارائه شده‌اند.

با کاربرد روزافزون گل‌های پایه‌روغنی در مخازن نفتی، بررسی تأثیر این نوع گل‌ها روی نمودارهای پتروفیزیکی مخزن ضروری به نظر می‌رسد.

از آنجا که بیشتر مخازن ایران دارای مقادیر زیادی شیل هستند، استفاده از گل‌های پایه‌روغنی، حفاری در این نوع سازندها را آسانتر کرده و مشکلات عدیده گیر کردن رشته حفاری در اثر متورم شدن شیل‌ها را برطرف می‌کند. استفاده از گل‌های پایه‌روغنی به جای گل‌های پایه‌آبی مزایای زیادی دربر دارد و به کارگیری این نوع گل صدمه کمتری به مخزن وارد می‌کند. با وجود اینکه گل‌های پایه‌روغنی هزینه زیادی را به شرکت‌های تولیدکننده نفت تحمیل می‌کنند، این گل‌ها روی برخی نمودارهای پتروفیزیکی مخزن تأثیر عمده‌ای دارند و سبب ایجاد خطا در قرائت‌های ابزارهای نمودارگیری می‌شوند.

به دلیل وزن کم، در گل‌های پایه‌روغنی عمدتاً درصد مواد جامد زیاد است که این امر باعث ایجاد اندوده ضخیم گل در

۱- نمودار نوترون اصلاحی (CNL)

ابزار انحراف پیدا می کند نیاز به اعمال تصحیحات محیطی بر روی قرائت های ابزار است (شکل-۱).

به ندرت می توان رابطه ای برای اعمال تصحیحات محیطی و اثر گل پایه روغنی روی قرائت های ابزار نوترون در مقالات و کتاب ها یافت. لائو و همکاران با در نظر گرفتن اثر همه پارامترهای موجود در شرایط نمودارگیری معمولی به این نتیجه رسیدند که تأثیر شوری گل، وزن گل و ضخامت گل اندوده قابل چشم پوشی هستند. هم چنین نتایج حساسیت سنجی نشان داد که در سیستم گل پایه آبی نمی توان از تصحیحات اندازه حفره، دما و فشار چشم پوشی کرد [۱].

با استفاده از داده های انتشار یافته [۳]، معادلات زیر برای تصحیحات تخلخل نوترون ϕ_{nc} به دست آمد:

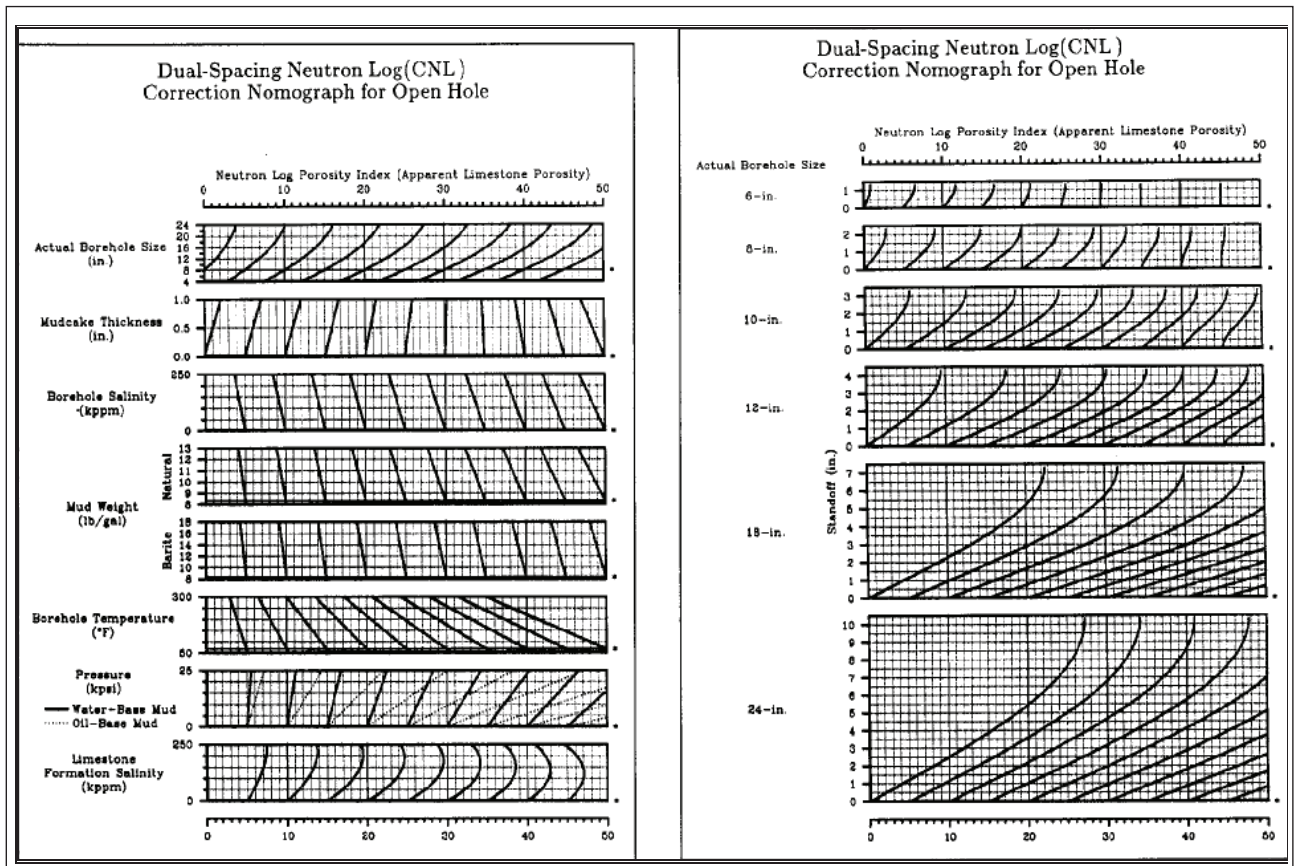
$$\phi_{nc} = \phi_{na} + \Delta\phi_{bh} + \Delta\phi_{temp} + \Delta\phi_{pres} \quad (1)$$

که در آن:

$$\Delta\phi_{bh} = 4.7 + 0.0268\phi_{na} - 0.05013d_{bh} \quad (2)$$

$$\Delta\phi_{temp} = -4.14475 + 0.1453\phi_{na} + 2.384 \times 10^{-2} \times T \quad (3)$$

ابزار نوترون با بردی کمتر از ۱۲ اینچ شاخص هیدروژنی سازند را اندازه می گیرد و به دلیل برد نسبتاً کم، این ابزار تحت تاثیر شرایط محیطی چاه یعنی قطر چاه، ضخامت اندوده گل، فشار و دمای حفره باز و ناحیه آغشته قرار می گیرد. کیفیت نمودار نوترون در گرو چسبیدن این ابزار به دیواره چاه توسط فنر کمانی^۲ نصب شده بر روی آنست. تصحیحات محیطی که باید روی ابزار نوترون انجام شود عبارتند از: اثر دیواره چاه، فشار، دما و شوری گل، ضخامت اندوده گل، وزن گل و تصحیحات فاصله موجود بین ابزار تا دیواره چاه^۳. سوند که دارای دو گیرنده است برای کاهش تأثیرات محیطی روی قرائت های ابزار طراحی شده است. این ابزار برای تعیین تخلخل واقعی حفره ۸ اینچ حاوی آب شیرین^۴ در دمای ۶۰ °F و فشار ۱۴/۷ psi در سازندی متشکل از آهک خالص بدون اندوده گل و در نظر گرفتن فاصله بین ابزار و دیواره چاه کالیبره شده است. با این وجود وقتی شرایط چاه به طور چشم گیری از شرایط کالیبراسیون



شکل ۱ | نمودار تصحیحات شرایط محیطی روی نمودار نوترون، شلمبرژ [۴]



تخلخل ظاهری ۱۰ درصد در دمای ۳۰۰ °F، تصحیحی برابر ۴ درصد نیاز است.

چگالی گل پایه روغنی نیز با فشار تغییر می کند [۵و۴]. با افزایش فشار تعداد هیدروژن ها در واحد حجم افزایش می یابد که باعث افزایش تخلخل ظاهری قرائت شده می شود. همان طور که در شکل ۱- نشان داده شده، تصحیحات قابل ملاحظه ای برای فشارهای متوسط در همه بازه تخلخلی مورد نیاز است. برای مثال تخلخل ظاهری ۲۰ درصدی در فشار ۸۰۰۰ psi تصحیح تخلخلی برابر ۳ درصد نیاز دارد.

وجود شیل به علت دارا بودن آب بین سازندی^۵ قرائت های ابزار نوترون را تحت تأثیر قرار می دهد و تخلخل را بیشتر از مقدار واقعی نشان می دهد، ریزش دیواره چاه حین حفاری نیز باعث افزایش تخلخل بیش از اندازه واقعی شده و در سازندهای گازی به علت کم بودن غلظت هیدروژن نسبت به حالتی که سازند اشباع از آب یا نفت باشد، ابزار نوترون قرائتی کمتر از مقدار تخلخل واقعی نشان خواهد داد. وقتی که نوترون ها به مرحله گرمایی رسیدند، آماده جذب شدن هستند. جاذب های قوی نوترون مانند کلرین سطح مقطع جذبی معادل ۱۰۰ برابر هیدروژن دارند، بنابراین نوترون های گرمایی نیازمند تصحیح شوری سیال و اثر سطح جذب ملات سنگ هستند. نوترون های اپی ترمال^۶ نیاز به تصحیح اثر جذب نداشته و تعدادی برابر یک دهم نوترون های گرمایی^۷ دارند. بعضی ابزار مانند CNT-GA قادر به اندازه گیری هر دو نوع نوترون هستند و دو تخلخل متفاوت ارائه می دهند. ابزار CNT تنها قادر به اندازه گیری

$$\Delta \emptyset_{pres} = \exp(0.096936 + 0.9898 \ln(\emptyset_{na}) - 3.088 \times 10^{-5}(P - 14.7) - \emptyset_{na}) \quad (۴)$$

که در آنها:

تصحیحات اندازه حفره (%): $\Delta \emptyset_{bh}$

تصحیحات دما (%): $\Delta \emptyset_{temp}$

تصحیحات فشار (%): $\Delta \emptyset_{pres}$

تخلخل آهک قرائت شده از نمودار (%): \emptyset_{na}

d_{bh}: قطر حفره (inch)

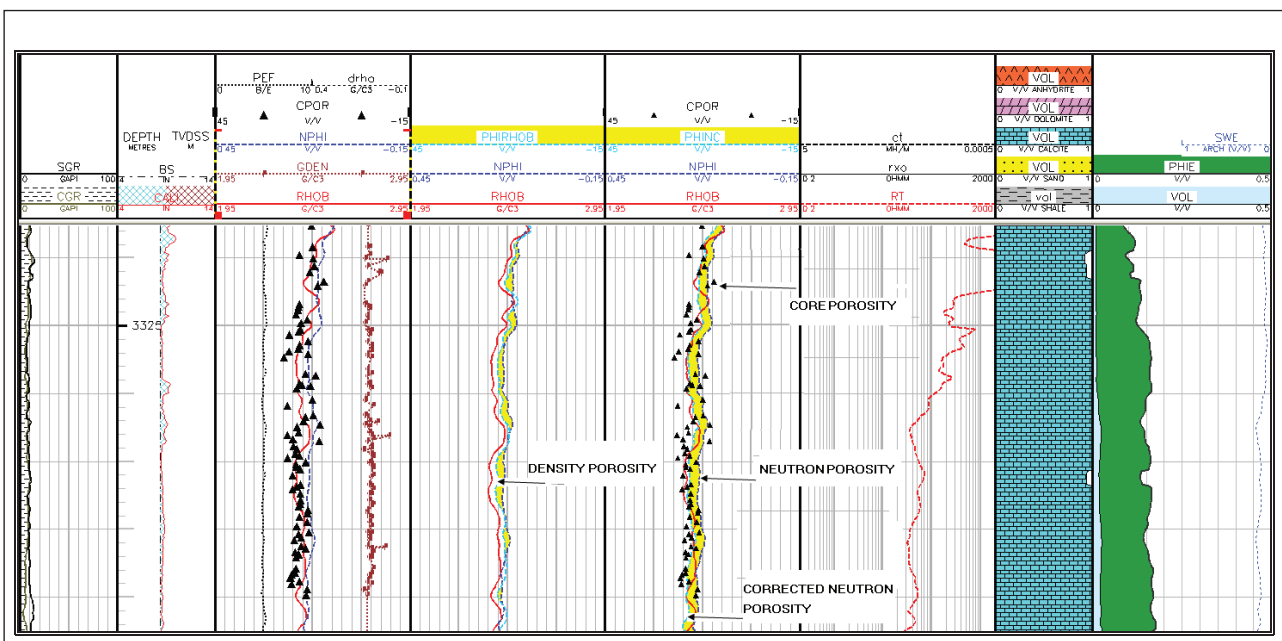
T_{bh}: دمای سازند °F

P: فشار سازند (psi)

تصحیحات تأثیرات حفره، دما و فشار به صورت گرافیکی در

شکل ۱- نشان داده شده اند.

از آنجا که ابزار برای حفره ۸ اینچ کالیبره شده، قطرهای بیشتر و کمتر که حاوی اتم های هیدروژن است قرائت های ابزار را تحت تأثیر قرار می دهد. باید قرائت های تخلخل در حفره بزرگتر از ۸ اینچ کاهش و قرائت های تخلخل در حفره کوچکتر از ۸ اینچ افزایش یابند. همان طور که در شکل ۱- نشان داده شده، تصحیحات اندازه حفره مهم هستند. با افزایش دما تعداد هیدروژن ها در واحد حجم کاهش می یابد که این امر قرائت های ابزار CNL را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش شمارش تعداد نوترون ها در گیرنده شده و منجر به کاهش تخلخل ظاهری قرائت شده می گردد. معمولاً این اثر کوچک به نظر می رسد [۵و۴]. اما در سازندهای با تخلخل کم در دمای بالای ۲۰۰ °F تصحیحات قابل ملاحظه اند. برای مثال، برای



شکل ۲ | نمودار اعمال تصحیحات محیطی روی بخشی از نمودارهای چگالی و نوترون چاه-A

نوترون‌های گرمایی است.

اثر گل اندوده برای گل‌های پایه‌روغنی کافی است.

ابزار نوترون می‌تواند در هر حفرة پر شده از آب یا هوا رانده شود (حداکثر دمای ۴۰۰°F و فشار ۲۰۰۰۰ psi و قطر حفرة کمتر از ۲۴ inch). نوترون به صورت تصادفی حرکت کرده و جریانی پیوسته نیست. بنابراین اندازه‌گیری نوترون تحت تأثیر متغیرهای آماری است. متغیرهای آماری با کاهش سرعت نمودارگیری کاهش می‌یابند. همانند دریافت پرتو گاما، نوترون برگشتی در یک بازه زمانی ارزیابی می‌شود و هر چه سرعت نمودارگیری پایین‌تر باشد اندازه‌گیری دقیق‌تر خواهد بود. چنان‌چه سرعت ۱۰ ft/min باشد، نتایج دقیقی به دست خواهد آمد.

۳- اندازه‌گیری تخلخل در نواحی آبی

در سازندهای اشباع از آب، تخلخل نوترون ظاهری ϕ_{na} ، از روی نمودار قرائت می‌شود. تصحیحات اندازه حفرة، دما و فشار با معادلات ۳، ۲ و ۴ یا شکل ۱- به دست آمده و سپس تخلخل نوترون تصحیح شده ϕ_{nc} ، توسط معادله ۱- محاسبه می‌شود. این مقدار تصحیح شده باید با توجه به نوع لیتولوژی بهبود یابد. هم‌چنین تخلخل را می‌توان از نمودار FDC به دست آورد:

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (5)$$

که در آن:

ρ_{ma} : چگالی ماتریس (gr/cc)

ρ_b : چگالی قرائت شده از نمودار (gr/cc)

ρ_f : چگالی سیال فیلتره (gr/cc)

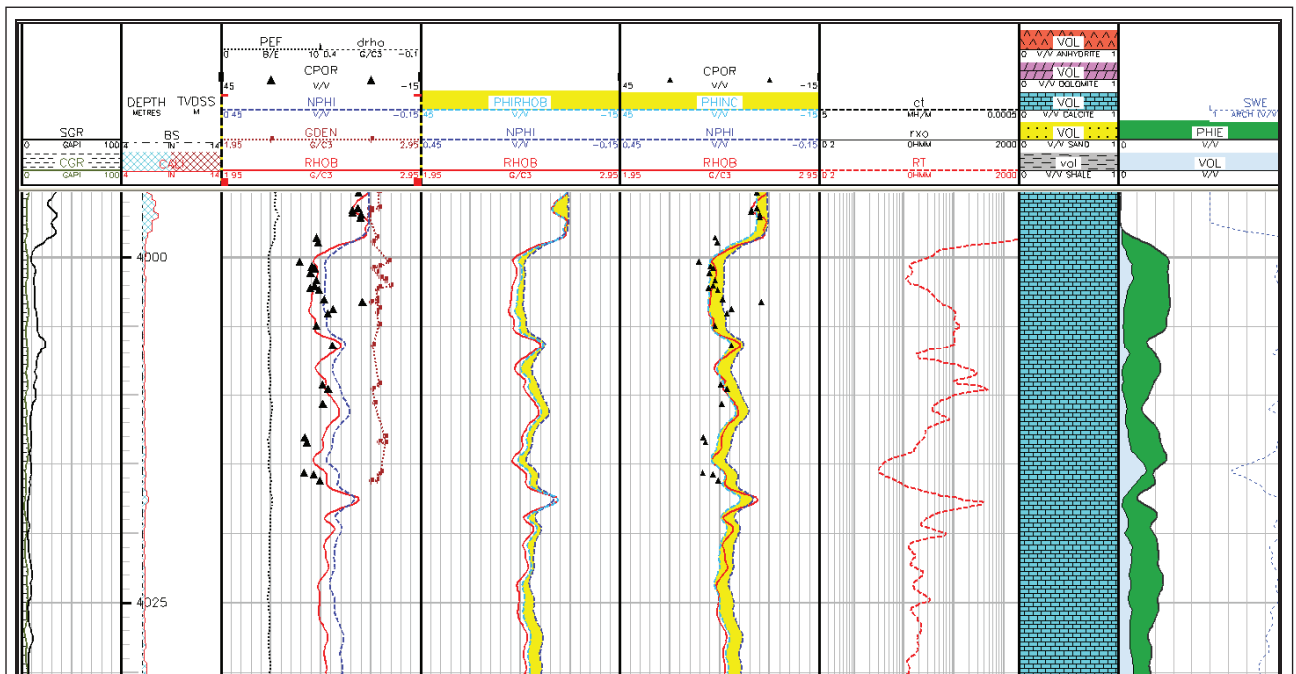
در چاه‌های عمیق در دما و فشار بالا، چگالی گل‌های پایه‌روغنی نسبت به شرایط سطح تغییر چشم‌گیری خواهند داشت. رابطه ۶- با استفاده از داده‌های Diesel 2 fuel density و معادله حالت Redlinch- Rwong برای محاسبه چگالی فیلتره ارائه شده است [۷]:

$$\rho_f = 0.867343 + 0.302420 \times 10^{-6} P - 3.4069 \times 10^{-4} T \quad (6)$$

که در آن T دما (°F) بوده و P که فشار هیدرولیک گل بر حسب

۲- نمودار چگالی (FDC)

نمودار چگالی (FDC) با اندازه‌گیری چگالی الکترونی ناحیه مورد بررسی، چگالی سازند را مشخص می‌کند. بیشترین عامل محیطی که این ابزار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، وجود باریت در گل اندوده است که ماده‌ای با چگالی الکترونی بسیار بالاست. تصحیحات لازم برای این ماده توسط ابزار و به صورت اتوماتیک انجام می‌شود. در گل‌های پایه‌روغنی علاوه بر پایه نفت، مواد وزن‌افزا مانند باریت، مواد پلاستی، آب و افزودنی‌های مختلفی برای ایجاد ساختار ژل مانند در گل به کار می‌رود که این مواد حین حفاری ایجاد گل اندوده می‌کنند. خوشبختانه از همه این مواد تنها باریت عدد اتمی بالایی دارد که تصحیح موجود



شکل ۳ | نمودار اعمال تصحیحات محیطی روی بخشی از نمودارهای چگالی و نوترون چاه- A



(psi) می‌باشد برابرست با:

$$P=0.052 \times \rho_m \times \text{Depth} \quad (7)$$

۴- اعمال تصحیحات روی چاه‌های انتخابی

تأثیرات گل روغنی در بسیاری از چاه‌های حفاری شده با این نوع گل مشاهده شد که در این نوشتار به ارائه نتایج دو حلقه از چاه‌های میادین جنوب ایران که در سازند بنگستان انتخاب شده‌اند اکتفا شده است. این چاه‌ها دارای مغزه بوده و نتایج حاصل از آزمایش‌های معمول مغزه نیز استفاده شده است. داده‌های وزن گل و دما نیز از روی نمودارهای برداشت شده، به دست آمده است.

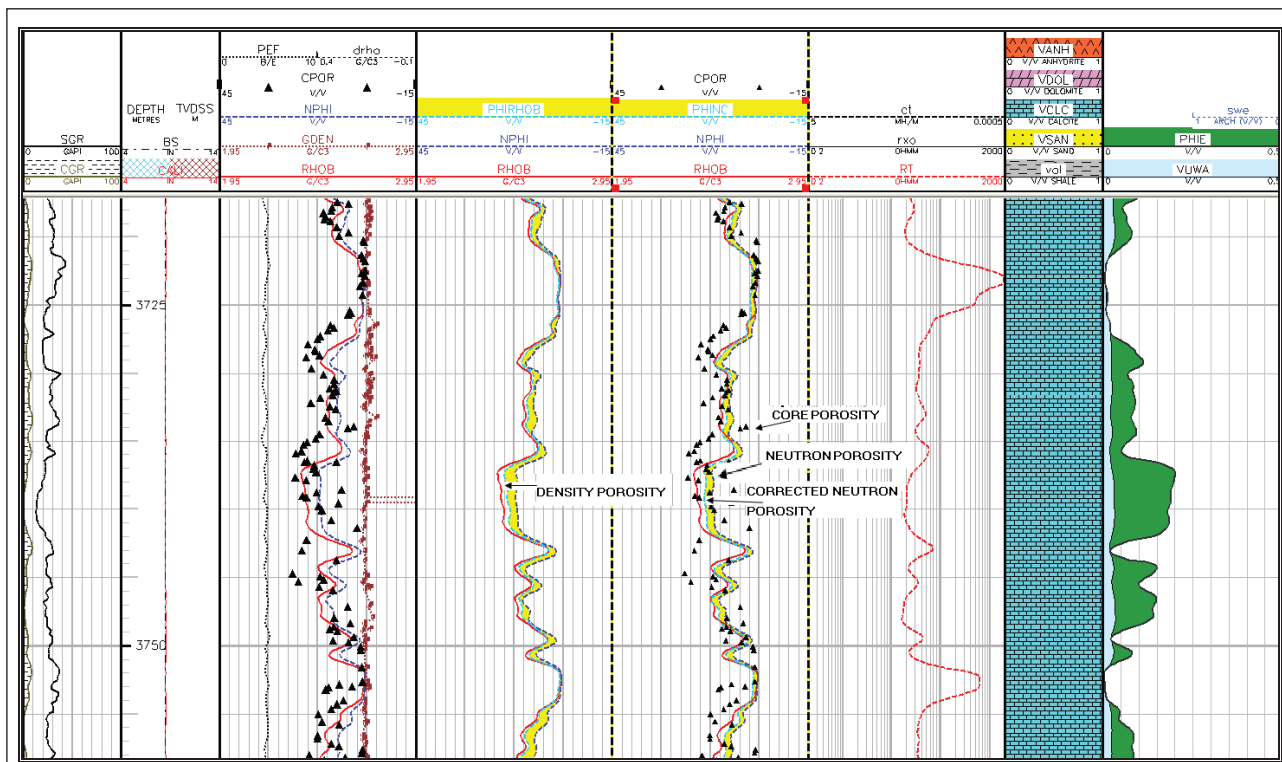
با توجه به آزمایش‌های مغزه و هم‌چنین ارزیابی به عمل آمده در سازند بنگستان، این چاه‌ها از آهک خالص تشکیل شده‌اند. نمودار نوترون، تخلخلی کمتر از تخلخل به دست آمده از مغزه را نشان می‌دهد. این حالت در نمودارهای چگالی-نوترون (همراه با فاصله محسوس) برای چاه-A در شکل‌های ۲ و ۳ و برای چاه-B در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است (نمودار چگالی در سمت راست نمودار تخلخلی نوترون قرار گرفته).

پس از اعمال تصحیحات دما و فشار با استفاده از فرمول‌های ارائه شده، دو نمودار تصحیح تخلخل نوترون (PHINC) و تخلخل

چگالی (PHIRHOB) محاسبه شده‌اند. در این نمودارها جدایش بین نمودارهای چگالی و تخلخل به صورت رنگی نشان داده شده که با اعمال تصحیحات، جدایش بین تخلخل نوترون (PHINC) و نمودار چگالی تا حد قابل قبولی کاهش یافته است. نتایج تصحیحات با داده‌های مغزه هم‌خوانی خوبی دارد.

نتیجه‌گیری

- اندازه حفره چاه، دما و فشار تصحیحات محیطی هستند که بیشترین تأثیر را بر قرائت‌های ابزار چگالی می‌گذارد.
- سازندهای کربناته نسبت به سازندهای ماسه‌ای اثرپذیری بیشتری از گل‌های پایه‌روغنی دارند.
- تصحیحات دما و فشار برای تعیین اندوده گل نیز باید اعمال شود.
- در نواحی متخلخل که امکان نفوذ گل به درون سازند وجود دارد تصحیحات اعمال شده مشهود است.
- برای محاسبات تخلخل نواحی گازدار باید حلالیت گاز با فیلتره در ناحیه رخنه در نظر گرفته شود. در فشار پایین تر از فشار امتزاج، نمودارهای معمول نوترون-چگالی جهت محاسبه تخلخل به کار می‌رود. در فشارهای بالاتر از فشار امتزاج، تنها تخلخل حاصل از ابزار چگالی، تخلخل واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ | نمودار اعمال تصحیحات محیطی روی بخشی از نمودارهای دانسیته و نوترون چاه-B

