

تلفیق نمودارهای ارزیابی کامل مخزنی^۱ و داده‌های حاصل از نمودارگیری از گل حفاری^۲ جهت ارزیابی بهتر سنگ مخزن در یکی از میادین گازی ایران

حامد قربانپور یامی^{*}، شرکت نفت و گاز شرق ■ بهرام موحد، شرکت ملی نفت ایران

چکیده

در ایران عموماً از داده‌های نمودارگیری گل حفاری جهت کمک به تهیه‌ی نمودار ترسیمی زمین‌شناسی چاه^۱ و ثبت متغیرهای حفاری با هدف حفاری ایمن و بهینه استفاده می‌گردد. به عبارتی این داده‌ها چشم حفار، کمپانی‌من و زمین‌شناس سرچاه بوده و اظهارها و اطلاعات لازم را جهت رصد حفاری در اختیار آنها می‌گذارد. مانند ثبت لحظه‌ای درصد H_2S گل حفاری، سختی سازند و افزایش یا کاهش حجم گل موجود در ستون چاه. در این مقاله تلاش شده علاوه بر معرفی کاربردهای مهم و شناخته شده‌ی این داده‌ها، به ارزش فراوان این اطلاعات در ارزیابی بهتر سنگ مخزن اشاره گردد. همچنین کاربرد آنها در کاهش هزینه‌های حفاری و تکمیل چاه بیشتر نمایان می‌شود. بدین منظور در دو چاه گازی، سرعت نفوذ مته (ROP)^۲ و نمودارهای ثبت گاز^۳ (به‌عنوان دو متغیر مهم از داده‌های ارزشمند گل حفاری) و نمودارهای کامل ارزیابی مخزن این دو چاه انتخاب شدند و پس از تلفیق همه‌ی اطلاعات، ارزیابی دقیق‌تر سازندهای مخزنی آنها انجام شد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۹/۲۵

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۱۱/۰۶

واژگان کلیدی:

نمودارهای پتروفیزیکی، داده‌های نمودارگیری از گل حفاری، سنگ مخزن، سرعت نفوذ مته، نمودار ثبت گاز، کروماتوگراف گازی

مقدمه

از گل حفاری، چشم حفار، کمپانی‌من و زمین‌شناس سرچاه بوده و اظهارها و اطلاعات لازم را جهت رصد حفاری در اختیار آنها می‌گذارد. در این پروژه تلاش شده با استفاده از داده‌های ارزشمند سرعت نفوذ مته و نمودارهای ثبت گاز که بخشی از داده‌های نمودارگیری از گل هستند و تلفیق آن با داده‌های حاصل از نمودارهای ارزیابی کامل مخزن شناخت بهتری از کیفیت مخزن ارائه گردد.

۱- روش کار

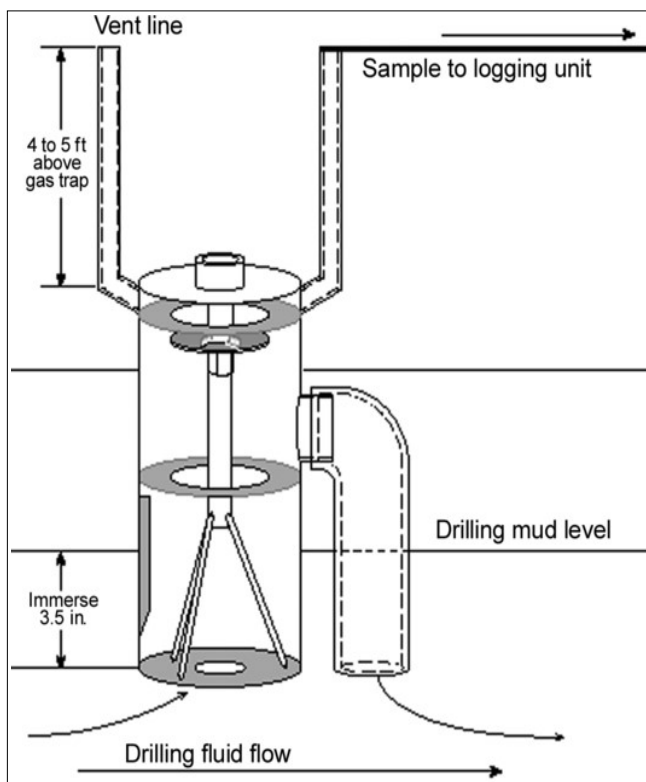
جهت انجام این تحقیق دو چاه که به‌صورت زاویه‌دار در یکی از میادین گازی ایران حفاری شده‌اند انتخاب گردیده و با کنار هم قرار دادن داده‌های نمودارگیری از گل حفاری و نمودارهای ارزیابی کامل مخزن آنها، سازند کربناته‌ی کنگان و دالان بالایی آنها با کمک نرم‌افزار Geolog مطالعه شده است. این دو سازند به چهارده ناحیه‌ی پتروفیزیکی تقسیم‌بندی شدند؛ به‌طوری که سازند کنگان نواحی ۷-۱ و سازند دالان بالایی نواحی ۱۴-۸ را دربر می‌گیرد. از داده‌های نمودارهای ارزیابی کامل مخزن نمودارهای نوترون، چگالی، صوتی، عامل فتوالکتریک، مقاومتی و اشعه‌ی گاما و از داده‌های نمودارگیری از گل حفاری، نمودارهای سرعت نفوذ مته و نمودارهای ثبت گاز انتخاب شدند. در ابتدا با توجه به روش متفاوت ثبت عمق داده‌ها، نمودار ROP و نمودارهای Gas Detection Logs با یکدیگر و سپس مجموع این نمودارها با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن هم‌عمق‌سازی شدند. تجربه‌ی کار روی این

در تمامی چاههایی که جهت اکتشاف یا تولید نفت و گاز حفاری می‌شوند اخذ نمودارهای پتروفیزیکی امری ضروری است. اما فقط در برخی چاه‌ها نمودارگیری از گل حفاری انجام می‌گردد. در حال حاضر در ایران واحد عملیاتی نمودارگیری از گل حفاری عمدتاً در چاه‌های اکتشافی یا چاه‌های گازی و ترش که خطر فوران زیادی دارد مستقر می‌شود. این سرویس در ابتدا با هدف بررسی کیفیت گل بازگشتی به سطح از لحاظ محتوای گاز یا نفت آن شروع به کار کرد [۱ و ۲] و همچنین با توجه به متغیرهای حفاری و گل، مکان ورود به سازندهای پرفشار حاوی هیدروکربور را تخمین می‌زد [۳]. ابزارهای کروماتوگرافی گاز از اوایل قرن بیستم ساخته شدند اما از دهه‌ی ۷۰ میلادی به بعد پس از اینکه ابزارهای الکترونیکی را آنقدر کوچک و مقاوم‌ی ساخته شدند. که روی دکل‌های حفاری قابل استفاده باشند این ابزار وارد صنعت حفاری شد [۴ و ۵]. مهم‌ترین رسالت این گروه ثبت داده‌های حاصل از عملیات حفاری از قبیل درصد H_2S گل حفاری، حجم و نوع گازهای محلول در گل، متغیرهای گل از قبیل فشار، دما و وزن، سنگ‌شناسی خرده‌های حفاری، سرعت نفوذ مته (ROP) که شاخصی در تعیین سختی سازند است. وزن روی مته (WOB)^۴، نوع مته و گشتاور^۵ است که جهت رصد شرایط چاه، به‌صورت نمودارهای ترسیمی ارائه می‌شوند. این داده‌ها یا مستقیماً توسط سنسورهای واحد عملیاتی نمودارگیری از گل حفاری، ثبت می‌شود یا از گروه‌های دیگر حاضر در سر چاه از جمله حفاری، گل‌شناسی و حفاری کج (DD)^۶ دریافت می‌گردد. به‌عبارتی می‌توان گفت گروه نمودارگیری

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (ghorbanpour_geo@yahoo.com)

۲- بحث

نمودارهای ثبت گاز گل درون چاه، حین حفاری چاه برداشت می‌شود؛ بدین صورت که در اثر حفاری چاه، خرده‌های سنگی^۱ از جای خود کنده‌شده و به‌همراه گل به سطح زمین می‌رسند. اگر حفاری در نواحی گازی انجام شود اندکی از گاز آزاد شده از فضای متخلخل سنگ همراه با گاز محبوس در خرده‌های حفاری وارد فضای چاه شده و در اثر گردش گل به سطح زمین می‌رسد. شایان ذکر است پس از حفاری ناحیه‌ی گازی، فشار هیدرواستاتیک بیشتر ناشی از وزن گل مانع از ورود مجدد گاز به‌درون چاه خواهد شد. بنابراین فقط در لحظه‌ی حفاری به‌تناسب حجم تخلخل فاصله‌ی حفاری شده، مقداری گاز وارد گل شده و ثبت می‌گردد. گاهی پس از ورود به سازند مخزنی، نمودار ثابتی از یک نوع گاز مشخص به‌صورت پس‌زمینه حتی در فواصل غیرمتخلخل دیده می‌شود. این نمودار گازی در اثر باقی ماندن گاز در گل بازگشتی به چاه ایجاد می‌شود. یا به‌دلیل وجود میان‌لایه‌های نازک و پرفشار گازی که بر فشار هیدرواستاتیک گل حفاری غلبه می‌کند ایجاد می‌شود که باید فیلتر شده و از داده‌ها حذف گردد. پس از رسیدن گل و خرده‌های حفاری به سطح زمین، گل وارد محفظه‌ی استوانه‌ای چرخانی (به‌عنوان جزئی از دستگاه کروماتوگراف گازی^۱) شده



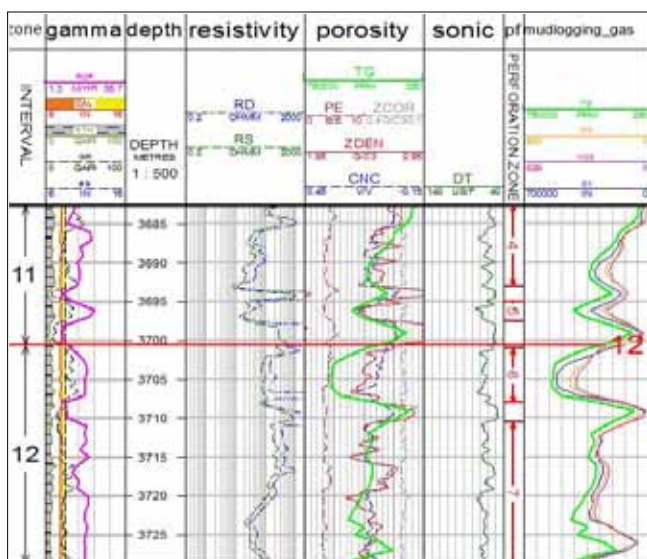
۱ | محفظه‌ی استوانه‌ای جداکننده‌ی گاز از گل حفاری

پروژه نشان داد اگر زمان رسیدن گل از ته چاه به سطح زمین (Lag Time) به‌درستی محاسبه گردد عمق داده‌های نمودارگیری از گل به‌خوبی قابل‌انطباق با سایر داده‌ها و نمودارهاست. عوامل زیادی در تعیین دقیق Lag Time دخیل هستند که از جمله‌ی آنها می‌توان به تفاوت وزن گل با وزن خرده‌های حفاری، ریزش یا به‌هم‌آمدگی دیواره‌ی چاه در طول مسیر حرکت خرده‌های حفاری، مقدار هرزروی گل (loss)، مقدار جریان گل به سطح چاه (gain)، قطر لوله‌های حفاری، قطر مته و نرخ گردش گل اشاره کرد. اما در واقعیت به‌دلیل محدودیت‌های فراوان و فرض تأثیر کم سایر عوامل، فقط از سه مورد آخر جهت محاسبه‌ی Lag Time استفاده می‌شود؛ در صورتی که این فرض همیشه برقرار نیست. مثلاً اگر داده‌های نمودارگیری از گل در حد فاصل ۱۰۰ متری از حفره‌ی باز انتهای چاه، ۲ متر نسبت به داده‌های نمودارهای پتروفیزیکی اختلاف عمق داشته باشد، نشان‌دهنده‌ی خطای ثابت محاسباتی بوده و به‌راحتی می‌توان داده‌ها را با یک شیفت کلی هم‌عمق‌سازی کرد. اما اگر بخشی از داده‌ها ۲ متر، برخی ۱ متر و برخی ۲- متر اختلاف عمق داشته باشند پدیده‌هایی مانند هرزروی یا جریان گل از چاه به سطح می‌توانند سبب تعیین نادرست Lag Time شده و عمق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری اشتباه خواهند بود. روش‌های متفاوتی برای محاسبه‌ی این زمان معرفی شده اما طبق تعریف متداول در صنعت نفت، زمان تأخیر رسیدن گل یا خرده‌ی حفاری از انتهای چاه به سطح زمین بر حسب دقیقه برابر است با: $\{Lag\ Time = K * Depth / GPM\}$ که K ضریب مته و برابر است با مساحت فضای بین دیواره‌ی استاندارد چاه و لوله‌ی حفاری، تقسیم بر ضریب تبدیل یک گالن به مترمربع که (۰/۰۰۳۷۸۵). Depth عمق مته درون چاه بر حسب متر و GPM نرخ جریان گل بر حسب گالن بر دقیقه است [۶۷].

در نهایت، نمودارها پس از هم‌عمق‌سازی در یک نمودار رسم و کیفیت مخزنی این دو چاه از روی تمامی داده‌ها ارزیابی و مطالعه شد. بر این اساس نه فاصله‌ی مخزنی مناسب در چاه-A و شانزده فاصله‌ی مخزنی در چاه-B جهت مشبک‌کاری پیشنهاد گردید. در تعیین فواصل مشبک‌کاری از برخی فواصل متخلخل که پس از تلفیق اطلاعات، غیرتراوا تشخیص داده شدند صرف‌نظر گردید و برعکس، برخی فواصل خوب مخزنی که به‌دلیل کیفیت دیواره‌ی چاه و به‌تبع آن کیفیت نامناسب داده‌های نمودارهای ارزیابی کامل مخزن ناشناخته مانده بودند به فواصل پیشنهادی مشبک‌کاری اضافه شدند.

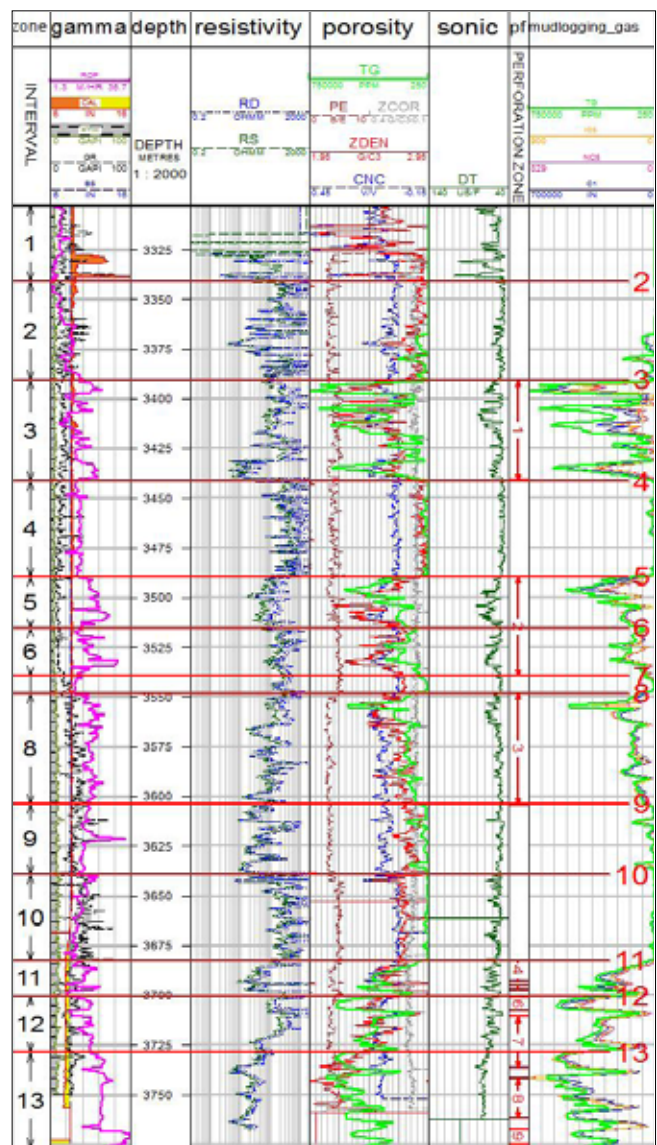
دو چاه مورد مطالعه، دو ثانیه در هر بار بوده است. در این پروژه واحد داده‌های سرعت حفاری (ROP) ثبت شده توسط دستگاه حفاری، متر بر ساعت است [۱۱ و ۱۲] و داده‌های پتروفیزیکی نمودارهای ارزیابی کامل مخزن نیز از نمودارگیری با لوله‌های حفاری (TLC)^{۱۲} برداشت شده‌اند. در حفاری بخش مخزنی این دو چاه از مته‌ی بسیار خوب PDC^{۱۳} استفاده شده و متغیرهای گل حفاری ثابت بوده‌اند که به‌همین دلیل تفسیر داده‌های ROP راحت‌تر شده است. در شکل ۲- تمامی نمودارهای پتروفیزیکی و نمودارهای حاصل از گل حفاری چاه-A پس از هم‌عمق‌سازی در کنار هم رسم شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد نمودار TG تناسب بسیار خوبی با حجم تخلخل مخزن و گاز موجود در آن دارد و به‌طور خاص با روند نمودار چگالی مطابقت می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۲- مشاهده می‌شود در ستون gamma این نمودار، داده‌های ROP ارائه شده‌اند. نکته‌ی قابل توجه در این چاه تطابق بسیار خوب نمودار نرخ نفوذ مته با نواحی مخزنی است؛ به‌گونه‌ای که در نواحی سخت و کم‌تخلخل کربناته مانند نواحی ۷ و ۲ یا قسمت انتهایی ناحیه‌ی ۹- (۳۶۳۷ تا ۳۶۳۹/۵ متری) سرعت حفاری کاهش یافته و برعکس، در فواصل متخلخل مخزنی مانند نواحی ۱۳ و ۱۲ و ۱۱ و ۸ و ۶ و ۵ و ۳ سرعت حفاری به‌شدت افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان از نمودار ROP به‌عنوان شاخصی در تعیین فواصل مخزنی قبل از برداشت نمودارهای کامل ارزیابی مخزن بهره جست. پس از برداشت نمودارهای کامل ارزیابی مخزن نیز نمودار ROP مکمل خوبی برای تشخیص



شکل ۳ | نمودار تلفیق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در نواحی ۱۱ و ۱۲ چاه-A

و گاز موجود در آن به‌همراه قسمت زیادی از گاز محبوس در خرده‌های حفاری از آن جدا می‌گردد. این گاز پس از رطوبت‌زدایی وارد قسمت آنالیزکننده‌ی دستگاه کروماتوگراف گازی می‌شود و این دستگاه علاوه بر محاسبه‌ی حجم کل گاز (TG)^{۱۱} به تفکیک قادر است حجم هفت نوع گاز متان (C1)، اتان (C2)، پروپان (C3)، ایزوبوتان (iC4)، نرمال بوتان (nC4)، ایزو پنتان (iC5) و نرمال پنتان (nC5) را نیز تعیین کند [۸ و ۹]. در شکل ۱- تصویری از دستگاه جداکننده‌ی گاز از گل حفاری نشان داده شده است [۱۰]. این داده‌ها بر اساس زمان‌بندی اپراتور دستگاه به‌صورت ممتد حین حفاری برداشت می‌شوند و مثلاً سرعت برداشت اطلاعات در



شکل ۴ | نمودار تلفیق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در چاه-A

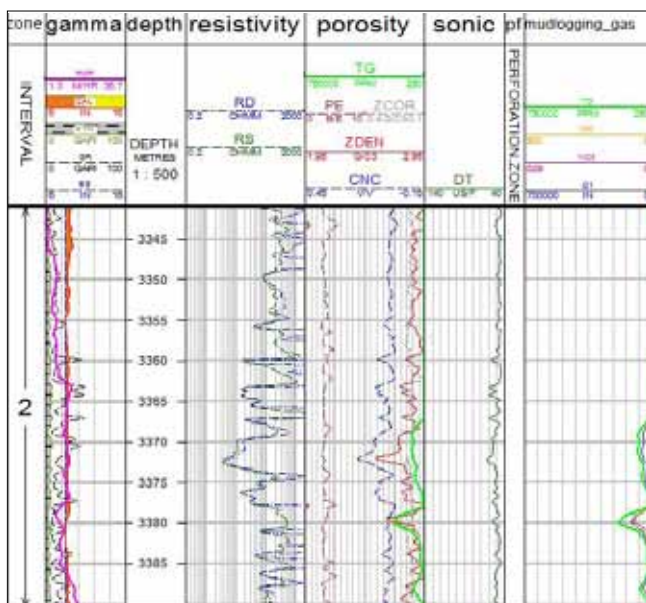
توسط نمودار TG نشان می‌دهد که فاصله‌ی متخلخل فوق احتمالاً به دلیل وجود تخلخل غیر مؤثر یا مواد هیدروکربوری سنگین مانند بیتومن یا آب، فاقد کیفیت مناسب مخزنی است. لازم به توضیح است که در این فاصله اگر گاز داخل سنگ مخزن بود قطعاً همراه با خرده‌های حفاری بالا می‌آمد. حتی اگر هم فرض شود به دلیل فشار بسیار کم مخزن، فشار هیدرواستاتیک گل بسیار بیشتر از فشار مخزن بوده و خرده‌های حفاری و گاز به داخل مخزن رفته و بالا نیامده‌اند، باز هم مشبک کاری این فاصله به دلیل فشار کم و احتمال وقوع رژیم جریان متقاطع^{۱۴} پیشنهاد نمی‌شود. در فاصله‌ی عمقی ۳۳۶۸ تا ۳۳۷۷ متری نیز ناحیه‌ای متخلخل و دولومیتی دیده می‌شود که با وجود تخلخل زیاد به دلیل وجود آب زیاد در این لایه، تولید گاز آن بر اساس نمودار TG ناچیز است و اگر این ناحیه مشبک گردد به احتمال زیاد آب به داخل ستون چاه وارد خواهد شد. ناحیه‌ی ۲- مربوط به بخش فوقانی سازند کنگان است و در چاه-B نیز همین رفتار را دارد. با وجود اینکه تا کنون تولید زیادی از این ناحیه در میدان انجام نشده اما با درجه‌ی اشباع آب آن نسبت به نواحی پایینی سازند کنگان بیشتر است. بعضی مواقع ممکن است به دلایل کم بودن قطر چاه یا شرایط نا ایمن حفاری، امکان نمودارگیری ارزیابی کامل مخزن از حفاره‌ی باز میسر نگردد یا بعضی مواقع به دلیل خرابی ابزار نمودارگیری و ریختگی دیواره‌ی چاه، کیفیت نمودارهای ارزیابی کامل مخزن برداشت شده ضعیف بوده و در نتیجه ممکن است در تعیین فواصل مشبک کاری دچار

فواصل مخزنی بوده و در فواصلی که لاگ‌های مخزنی کیفیت مناسبی ندارند، نمودار ROP راهگشا خواهد بود. علاوه بر این از اطلاعات ROP می‌توان به عنوان شاخصی جهت تعیین عمق ورود به نواحی خاص کمک گرفت. مثلاً در ناحیه‌ی ۱۱- دو لایه‌ی نازک انیدریتی وجود دارد که پس از اتمام آنها ناحیه‌ی مخزنی-۱۲ آغاز می‌گردد (شکل-۳). طبق شکل-۳ در این دو فاصله‌ی انیدریتی داده‌های ROP منطبق با داده‌های اشعه‌ی گاما کاهش می‌یابد و در نتیجه حین حفاری می‌توان از چنین نشانه‌هایی برای مکان‌یابی کمک گرفت.

داده‌های نمودار برخی از گازها پس از هم‌عمق‌سازی با سایر نمودارها به همراه نمودار گاز کل (TG) که توسط دستگاه کرماتوگراف گازی ثبت شده در ستون فاصله زیاد است Gas Detection نمودارها ارائه شده‌اند. همان طور که در ستون porosity تمامی شکل‌ها مشاهده می‌شود بین نمودار TG با سایر نمودارهای ارزیابی کامل مخزن تطابق بسیار خوبی برقرار است. به طوری که حتی کوچک‌ترین فواصل مخزنی نیز اثر خود را روی نمودار TG نشان می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای حاصل از این مطالعه، تعیین دقیق فواصل مناسب مخزنی جهت عملیات مشبک کاری چاه‌هاست. چراکه شاید نمودارهای کامل ارزیابی مخزن به تنهایی نتوانند راهگشای مناسبی برای تعیین تمامی فواصل مناسب مخزنی باشند. استفاده از روش تلفیق داده‌های نمودارهای ارزیابی کامل مخزن و نمودارگیری از گل حفاری سبب قطعیت بیشتری در تعیین فواصل مناسب مخزنی شده و علاوه بر آن سبب می‌شود فواصل نازک مخزنی، فواصل متخلخل اما غیر تراوا و فواصل احتمالی آبدنه نیز بهتر مشخص گردند. مثلاً در ناحیه‌ی ۲- چاه-A، در فاصله‌ی عمقی ۳۳۷۹ تا ۳۳۸۱ متر حفار (شکل-۴) یک فاصله‌ی مناسب مخزنی (که احتمالاً دارای شکستگی است) وجود دارد.

با توجه به قرائت تخلخل کم نوترون در این فاصله (۴ درصد)، در ابتدا ممکن بود مفسر، تخلخل زیاد نمودار چگالی را ناشی از خرابی لاگ فرض کرده و شکستگی موجود را تشخیص ندهد. اما با توجه به نمودار TG که به خوبی وجود گاز در آن فاصله را تأیید می‌کند با اطمینان می‌توان گفت این فاصله، شکستگی داشته و تراوایی خوبی دارد. اما در فاصله‌ی عمقی ۳۳۶۲/۵ تا ۳۳۶۶ متری نیز که به ظاهر ناحیه‌ای متخلخل است هیچ اثری از گاز روی نمودار TG مشاهده نمی‌شود. نمودار ROP و نمودارهای ارزیابی کامل مخزن وجود تخلخل در این ناحیه را تصدیق می‌کنند اما عدم تأیید وجود گاز

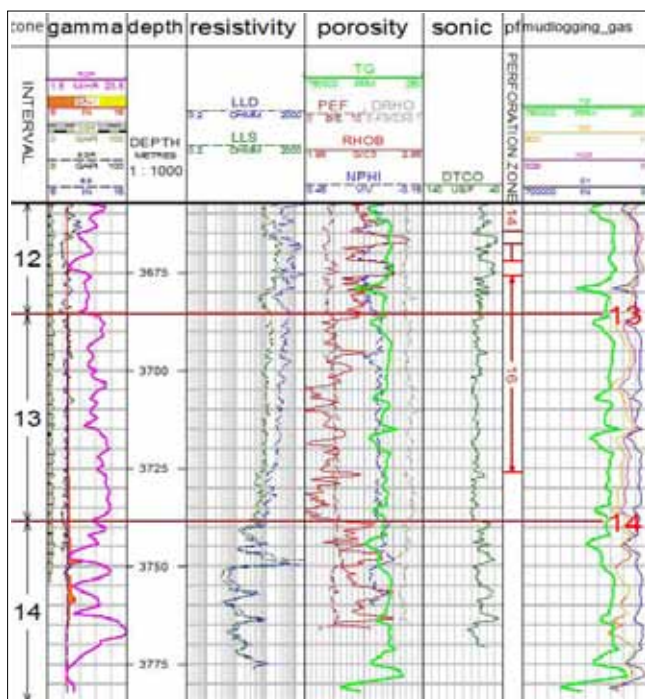


شکل ۴ | نمودار تلفیق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در ناحیه‌ی ۲- چاه-A

کاهش هزینه‌ها می‌گردد.

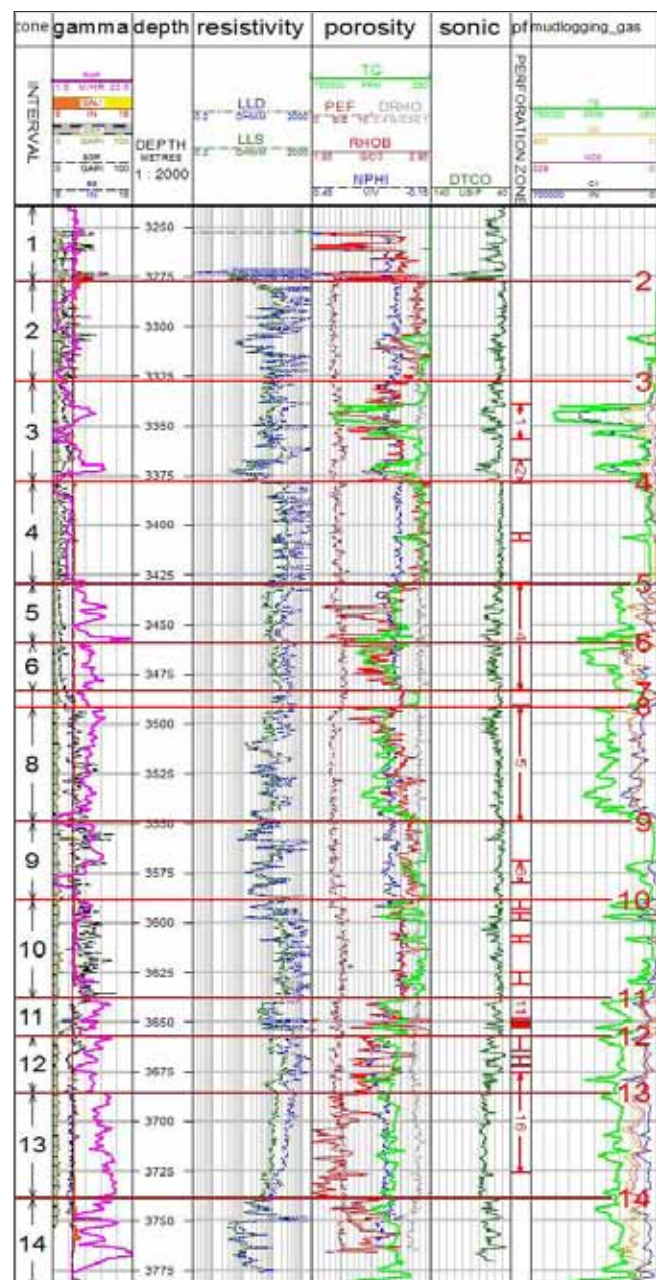
بنابراین حتی در صورت عدم وجود محدودیت عملیاتی جهت برداشت نمودارهای ارزیابی کامل مخزن، اگر سازند مخزنی میدان گازی، همگن باشد پیشنهاد می‌شود جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه حفاری از برداشت نمودار ارزیابی کامل مخزن در برخی چاه‌ها صرف‌نظر گردد و به‌جای آن به برداشت نمودار گاما و نوترون پس از راندن لوله‌ی جداری یا آستری اکتفا شود. به‌طور خاص پیشنهاد می‌شود با توجه به هزینه‌ی شارژ روزانه‌ی بسیار زیاد دکل‌های دریایی، از یازده چاه یک سکوی حفاری دریایی فقط در چاه عمودی مرجع و چهار چاه منطبق بر چهار جهت جغرافیایی نمودارهای ارزیابی کامل مخزن برداشت گردد و در شش چاه دیگر همزمان با برداشت نمودار CBL-VDL پس از راندن لوله‌ی جداری یا آستری، نمودار نوترون و گاما برداشت شود. با انجام این کار حداقل دو روز در برنامه‌ی حفاری هر چاه صرفه‌جویی می‌شود. چراکه چاه‌های حفر شده در سکوهای دریایی زاویه‌دار بوده و برداشت نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در این چاه‌ها باید با روش TLC انجام گردد که دست‌کم دو روز وقت دکل را می‌گیرد. از سوی دیگر با انجام این کار ریسک گیرکردن ابزار نمودارگیری در حفره‌باز چاه و از دست رفتن حفره‌ی مخزنی به حداقل می‌رسد.

پس از مطالعه روی چاه-۶ جهت اطمینان بیشتر از صحت



شکل ۶ | نمودار تلفیق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در نواحی-۱۴، ۱۳ و ۱۲ چاه-B

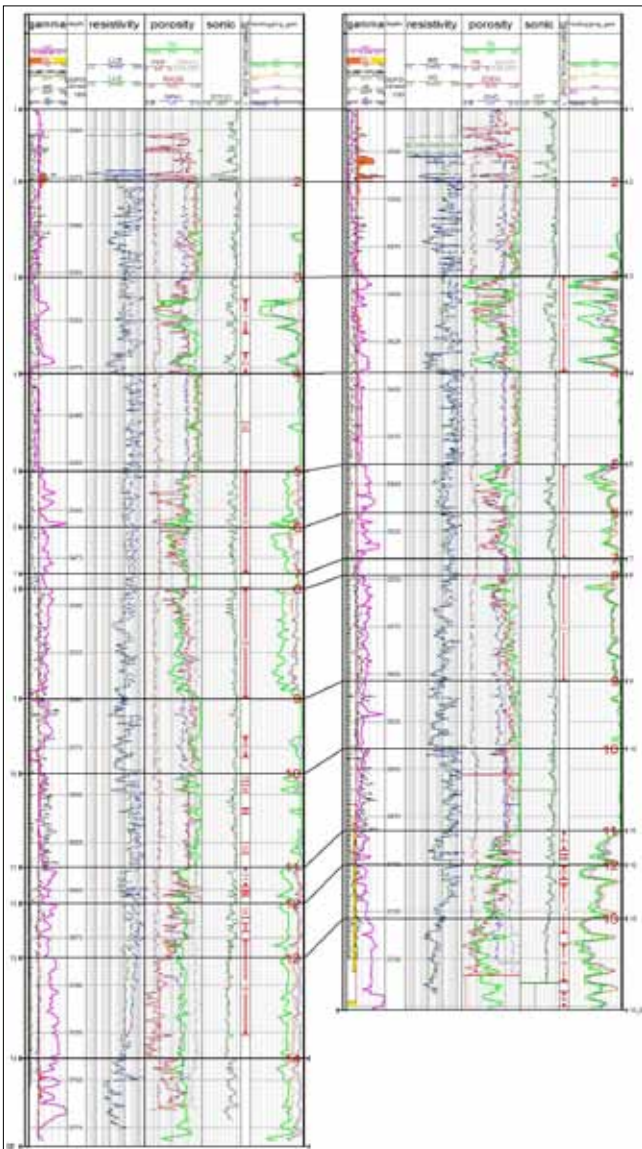
خطا شویم. در این مواقع پس از راندن لوله‌ی جداری یا آستری^{۱۵} تنها با برداشت نمودار گاما و نوترون هنگام برداشت نمودار بندش سیمان (CBL-VDL)^{۱۶} و تطابق آن با داده‌های نمودارگیری از گل حفاری حفره‌ی باز چاه و سپس میان‌یابی با چاه‌های مجاور که نمودارهای ارزیابی کامل مخزن و داده‌های نمودارگیری از گل حفاری در آنها برداشت شده به‌راحتی می‌توان فواصل مناسب مشبک‌کاری را تعیین کرد. استفاده از این روش همچنین سبب



شکل ۵ | نمودار تلفیق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در چاه-B

تلفیق داده‌های حاصل از نمودارگیری از گل حفاری و نمودارهای ارزیابی کامل مخزن می‌توان نتایج مثبت زیر را حاصل کرد:

- تعیین دقیق فواصل تولیدی و مشبک کاری و تعیین دقیق تر مرز آب و گاز (GWC)
- شناخت میان‌لایه‌های با درصد اشباع آب زیاد در مخازن گازی و جلوگیری از مشبک کاری آنها
- تمایز نواحی مناسب مخزنی که تخلخل مؤثر دارند از سایر نواحی متخلخل و غیرتراوا
- تأیید فواصل نازک مخزنی که از ریزشکستگی‌ها تولید می‌کنند به کمک نمودار TG



شکل ۷ نیم‌رخ عرضی بین چاه A- (سمت راست) و چاه B- (سمت چپ) جهت مقایسه‌ی خواص مخزنی بین دو چاه

کار، این مطالعه روی چاه B- میدان نیز تکرار شد که دقیقاً همان نتایج حاصل از چاه A- به دست آمد و نتایج قبلی تأیید گردید. در شکل ۵- نمودار چاه B- ارائه شده است. در این چاه نیز داده‌های ارزیابی کامل مخزن، نمودارگیری از گل حفاری و ROP مطالعه شدند و به دلیل حفر چاه تا عمق بیشتر، ناحیه‌ی ۱۴- نیز در آن نشان داده شده است. در نهایت بر اساس مطالعه، طبق نمودار شکل ۵-، شانزده فاصله‌ی مناسب مخزنی جهت مشبک کاری چاه B- نیز پیشنهاد شد. متأسفانه با توجه به اینکه تا زمان نگارش این مقاله مشبک کاری این دو چاه انجام نگردید و نمودار تولید (PLT)^{۱۷} نیز در آنها برداشت نشده، مقایسه‌ی نتایج این تحقیق با رفتار واقعی تولید چاه میسر نشد.

از دیگر کاربردهای مهم تلفیق داده‌های نمودارگیری از گل حفاری با نمودارهای ارزیابی کامل مخزن تعیین عمق ورود به سطح تماس آب و گاز (GWC)^{۱۸} است. طبق شکل ۶- در چاه B- از عمق حدود ۳۷۲۵ متری به بعد با وجود تخلخل زیاد سنگ، مقدار نمودارهای مقاومتی به تدریج کاهش می‌یابد و نمودار TG بر خلاف چاه- در ناحیه‌ی ۱۳- روند افزایشی نشان نمی‌دهد (شکل ۷-). و بنابراین احتمالاً از این فاصله به پایین، درصد اشباع آب افزایش یافته و وارد ناحیه‌ی حد واسط آب و گاز شده‌ایم. پس از بررسی ^{۱۹}UGC میدان مشخص شد که فاصله‌ی ذکر شده‌ی فوق با سطح تماس گاز و آب مخزن تطابق دارد و چاه B- جهت مشاهده‌ی GWC تا این عمق حفاری شده است. با شناخت این پدیده می‌توان حین حفاری چاه، بررسی داده‌های TG و میان‌یابی چاه با چاه‌های اطراف، عمق ورود به ناحیه‌ی آبی را به موقع تشخیص داده و از ادامه‌ی حفاری جلوگیری کرد.

تعیین دقیق تر فواصل مناسب مخزنی، همچنین سبب انتخاب صحیح مکان نصب پکر در آزمایش ساق مته (FBDST)^{۲۰} در حالت حفره باز چاه شده و نیز به دلیل تعیین دقیق تعداد نقاط مناسب جهت انجام آزمایش مکرر سازند (RFT)^{۲۱}، سبب صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌گردد. در شکل ۷- نیم‌رخ عرضی بین چاه‌های A- و B این میدان رسم شده تا با میان‌یابی نواحی زمین‌شناسی، روند تغییرات خواص مخزنی بین این دو چاه نشان داده شود.

نتایج و پیشنهادها

در ایران، داده‌های نمودارگیری از گل حفاری عموماً جهت کمک به تهیه‌ی گرافیک نمودارگیری از چاه زمین‌شناسی و ثبت متغیرهای حفاری برداشت می‌گردد. علاوه بر این اهداف با

در آن دارد و به‌طور خاص با روند نمودار چگالی مطابقت می‌کند

- تعیین دقیق‌تر فواصل مناسب مخزنی سبب انتخاب صحیح مکان نصب پکر در آزمایش ساق‌مته (FBDST) و نیز به‌دلیل تعیین دقیق‌تر نقاط مناسب مخزنی جهت انجام آزمایش مکرر سازند (RFT)، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌گردد
- همواره در چند چاه یک میدان گازی و نفتی و در تمامی چاه‌های اکتشافی، از واحد عملیاتی نمودارگیری از گل حفاری استفاده شود.
- برای هر میدان، طی مطالعه‌ای ویژه، داده‌های نمودارگیری از گل حفاری چاه‌هایی که قبلاً حفر شده (به‌خصوص نتایج نمودارهای TG و ROP)، دوباره بررسی شود تا شناخت بهتری از فواصل مخزنی میدان مورد مطالعه حاصل آید. حتی می‌توان در فواصل غیرمتداول مخزنی میدانی که نمودارهای ارزیابی کامل مخزن در آن برداشت نمی‌شود با مطالعه‌ی داده‌های نمودارگیری از گل حفاری، به میان‌لایه‌های نازک مخزنی که احتمالاً تا کنون از دید پنهان مانده‌اند پی برد.

- تعیین فواصل مناسب مخزنی در صورت خراب بودن یا عدم برداشت نمودارهای ارزیابی کامل مخزن با استفاده از داده‌های حاصل از نمودارگیری از گل حفاری و تطابق بین چاه‌ها
- تشخیص باقی ماندن گاز در گل برگشتی به چاه و تشخیص میان‌لایه‌های نازک پرفشار
- تعیین فواصل مناسب مخزنی تنها با نمودار گاما و نوترون درون لوله‌ی جداری و نمودار TG و تطابق بین چاه‌ها به‌جای برداشت نمودارهای ارزیابی کامل مخزن کامل ارزیابی مخزن در حفره باز چاه جهت جلوگیری از اتلاف وقت دکل، صرف هزینه‌ی اضافی و کاهش ریسک گیر کردن ابزار نمودارگیری در حفره باز چاه به‌خصوص در سکوه‌های دریایی
- کمک به مکان‌یابی نواحی زمین‌شناسی با کمک داده‌های ROP و TG و تطابق چاه‌ها حین حفاری
- نمودار TG تناسب بسیار خوبی با حجم تخلخل مخزن و گاز موجود

پانویس‌ها

1. Full suite
2. Mud Logging
3. Graphic Well Log
4. Rate of penetration
5. Gas Detection logs
6. Weight on Bit
7. Torque
8. Directional Drilling
9. Cutting
10. Gas Chromatograph
11. Total Gas
12. Tough Logging Condition
13. Polycrystalline diamond compact
14. Cross Flow
15. Casing or Liner
16. Cement Band Log- Variable Density Log
17. Production Logging Tools
18. Gas Water Contact
19. Underground Contour Map
20. Full Bore Drill Stem Test
21. Repeat Formation Test

منابع

- [1] Haywood, J.T. 1940. Continuous Logging at Rotary Drilling Wells. Presented at the 1940 Drilling Practices Annual Meeting, Chicago, November.
- [2] Wilson, R.W. 1955. Mud Analysis Logging and Its Use in Formation Evaluation. AIME technical paper 587-G presented at the U. of Houston, October 1955.
- [3] Jorden, J.R. and Shirley, O.J. 1966. Application of Drilling Performance Data to Overpressure Detection. J Pet Technol 18 (11): 13871394-.
- [4] Jorden, J.R. and Campell, F.L. 1984. Well Logging I-Rock Properties, Borehole Environment, Mud and Temperature Logging, Vol. 9. Richardson, Texas: Monograph Series, SPE.
- [5] Whittaker, A.H. 1992. Mud Logging. In Petroleum Engineering Handbook, Ch. 52. Richardson, Texas: SPE.
- [6] WWW. slb.com
- [7] Naegel, M., Pradié, E., Delahaye, T. et al. 1998. Cuttings Flow Meters Monitor Hole Cleaning in Extended Reach Wells. Presented at the European Petroleum Conference, The Hague, Holland, 20–22 October. SPE-50677-MS
- [8] Brumboiu, A.O., Hawker, D.P., Norquay, D.A. et al. 2000. Application of Semipermeable Membrane Technology in the Measurement of Hydrocarbon Gases in Drilling Fluids. Presented at the SPE/AAPG Western Regional Meeting, Long Beach, California, 1922- June 2000. SPE-62525-MS.
- [9] Ellis, L, Brown, A., Schoell, M., and Haight, M. 1999. Mud gas Isotope Logging While Drilling: A New Field Technique for Exploration and Production. Presented at the 19th International Meeting on Organic Geochemistry, 6–10 September, 1999, Istanbul, Turkey, Abstracts Part 1, 67–68.
- [10] Wright, A.C., Hanson, S.A., and Delaune, P.L. 1993. A New Quantitative Technique for Surface Gas Measurements. Paper A presented at the 1993 SPWLA Annual Logging Symposium, 13–16 June.
- [11] Bourgoyne, A.T. et al. 1991. Applied Drilling Engineering, second edition, Ch. 6. Richardson, Texas: SPE.
- [12] Rehm, B. and McClendon, R. 1971. Measurement of Formation Pressure from Drilling Data. Presented at the Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME, New Orleans, Louisiana, 36- October 1971. SPE-3601-MS.