

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تعیین میزان عدم قطعیت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی با

استفاده از آنالیز مونت کارلو (مطالعه موردی یکی از مخازن

هیدروکربوری جنوب ایران)

امیررضا هنربخش

اساتید راهنما :

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر محمد کنشلو

استاد مشاور:

مهندس محمد محمدنیا

شهریور ۱۳۹۳

دانشگاه شاهرود

دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک گروه اکتشاف نفت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امیررضا هنربخش
تحت عنوان: تعیین میزان عدم قطعیت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از آنالیز مونت کارلو
(مطالعه موردی یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب ایران)

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام، برسم.

با تشکر فراوان از زحمات بی وقفه اساتید راهنمای اینجانب جناب آقای دکتر کامکار روحانی و جناب آقای دکتر کنشلو و همچنین با سپاسگزاری فراوان از جناب آقای مهندس محمدنیا، استاد مشاور محترم که با صبر و شکیبایی مرا در انجام این پایان نامه یاری کردند.

تعهد نامه

اینجانب امیررضا هنربخش دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تعیین میزان عدم قطعیت تخمین پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از آنالیز مونت کارلو (مطالعه موردی یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب ایران) تحت راهنمایی جناب آقای دکتر ابو القاسم کامکار روحانی و جناب آقای دکتر محمد کنشلو متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « University of Shahrood » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

دقت محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی و کاهش میزان خطای محاسبه‌ی آنها، از مهم‌ترین اهداف و مراحل انجام مطالعات مخازن هیدروکربوری به شمار می‌رود. یکی از مهم‌ترین عوامل در بالا رفتن دقت محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی، دقت اندازه‌گیری ابزارهای نمودارگیری چاه و وجود عدم قطعیت پایین در نتایج آنها می‌باشد. هدف این تحقیق، تعیین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن (به ویژه دو پارامتر تراوایی و اشباع‌شدگی) با سه روش قطعی، آنالیز مونت کارلو و احتمالی و همچنین تعیین عدم قطعیت این پارامترها و به طور کلی ارزیابی پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه می‌باشد. در این تحقیق که بر روی سازند آسماری در یکی از مخازن نفتی جنوب غربی کشور صورت گرفته است، ابتدا سنگ‌شناسی در توالی سازند آسماری با استفاده از نمودار متقاطع نوترون- چگالی در دو چاه A و B تعیین شد که بر این اساس در ترکیب سنگ‌شناسی هر دو چاه، آهک، دولومیت، ماسه و شیل به همراه مقادیر اندکی انیدریت مشاهده گردید. سپس پارامترهای پتروفیزیکی به روش قطعی محاسبه شد و نتایج نشان داد که چاه A از شرایط مخزنی مناسب‌تری نسبت به چاه B برخوردار است. در مرحله‌ی بعد که بخش اصلی مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد، با استفاده از روش آنالیز مونت کارلو، میزان عدم قطعیت قرائت لاگ‌های پتروفیزیکی محاسبه شد. سپس با استفاده از عدم قطعیت لاگ‌ها، پارامترهای پتروفیزیکی در توالی سازند آسماری با استفاده از آنالیز مونت کارلو محاسبه شده و برای هر کدام از این پارامترها، مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن ($1P$ ، $2P$ و $3P$) در هر دو چاه به دست آمد. با استفاده از اختلاف بین این مقادیر، عدم قطعیت در هر پارامتر بررسی شد که بر این اساس بالاترین میزان عدم قطعیت مربوط به پارامتر تراوایی و پایین‌ترین میزان عدم قطعیت مربوط به پارامتر تخلخل به دست آمده است. دلیل بالا بودن عدم قطعیت در پارامتر تراوایی به نبود لاگی که این پارامتر را به طور مستقیم در چاه اندازه‌گیری کند، بازمی‌گردد و دلیل پایین بودن عدم قطعیت در پارامتر تخلخل، اندازه‌گیری این پارامتر با استفاده از سه لاگ تخلخل (نوترون، چگالی و صوتی) در توالی دو چاه می‌باشد. همچنین عدم قطعیت در قسمت‌های بالای دو چاه که سنگ‌شناسی غالب کربناته دارند نسبت به

قسمت‌های پایین آنها که دارای سنگ‌شناسی غالب ماسه‌سنگی می‌باشند، بیشتر است. علت این امر، پیچیدگی سیستم‌های تخلخل و تراوایی در مخازن کربناته نسبت به مخازن ماسه‌سنگی می‌باشد. همچنین با استفاده از ترسیم نمودارهای گردبادی پتروفیزیکی، آنالیز حساسیت‌سنجی صورت گرفت و میزان تأثیر پارامترها و لاگ‌ها بر ستون هیدروکربور (EHC) بررسی شد. بر این اساس، نتایج نشان داد که لاگ نوترون، بالاترین تأثیر را بر کمیت EHC در هر دو چاه مورد مطالعه دارد.

کلمات کلیدی: عدم‌قطعیت، آنالیز مونت‌کارلو، نمودارهای متقاطع، پارامترهای پتروفیزیکی، تراوایی، تخلخل، ستون هیدروکربور (EHC)، اشباع‌شدگی.

فهرست مطالب

فصل اول کلیات

۱	
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ سابقه‌ی تحقیق
۵	۳-۱ هدف، ضرورت و روش انجام تحقیق
۶	۴-۱ چاه‌پیمایی
۷	۵-۱ پتروفیزیک
۸	۱-۵-۱ تخلخل
۹	۲-۵-۱ اشباع از آب
۱۱	۳-۵-۱ تراوایی
۱۳	۴-۵-۱ حجم شیل
۱۴	۶-۱ ساختار پایان نامه

فصل دوم محاسبه‌ی عدم قطعیت با استفاده از آنالیز مونت کارلو

۱۷	
۱۸	۱-۲ آنالیز عدم قطعیت پتروفیزیکی
۱۹	۲-۲ انواع عدم قطعیت در تفسیرهای پتروفیزیکی
۱۹	۱-۲-۲ عدم قطعیت تصادفی
۲۱	۲-۲-۲ عدم قطعیت سیستماتیک
۲۱	۳-۲-۲ عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل
۲۱	۳-۲ صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها
۲۲	۴-۲ اهداف مدل‌سازی عدم قطعیت
۲۴	۵-۲ شبیه‌سازی و انواع آن
۲۶	۶-۲ شبیه‌سازی مونت کارلو

۲۷	۷-۲ پردازش مونت کارلو (MC)
۲۷	۱-۷-۲ روند کاری واحد یا ماژولار مونت کارلو
۲۸	۲-۷-۲ پردازش افقی یا قائم
۲۹	۳-۷-۲ تعداد تکرارهای مورد نیاز در مونت کارلو
۳۰	۴-۷-۲ توزیع پارامترها
۳۱	۵-۷-۲ توزیع‌های مثلی نامتقارن و خلاصه نتایج مخزن
۳۳	۶-۷-۲ عدم قطعیت لاگ در پردازش مونت کارلو
۳۴	۷-۷-۲ آنالیز عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل
۳۵	۸-۷-۲ ارزش اطلاعات
۳۶	۹-۷-۲ محدوده‌ی فشار و دما
۳۷	۱۰-۷-۲ آنالیز حساسیت سنجی و نمودارهای گردبادی
۳۸	۸-۲ تعیین عدم قطعیت قطعی مونت کارلو
۴۱	فصل سوم داده‌های چاه‌پیمایی و اطلاعات زمین شناسی منطقه
۴۲	۱-۳ منطقه‌ی مورد مطالعه
۴۲	۲-۳ داده‌های مورد استفاده در مطالعه
۴۲	۳-۳ تفسیر لاگ‌های برداشت شده و اطلاعات مغزه‌ی حفاری
۴۲	۱-۳-۳ لاگ اشعه‌ی گاما (GR)
۴۳	۲-۳-۳ لاگ قطرسنج دیواره‌ی چاه (CALI)
۴۳	۳-۳-۳ لاگ صوتی (DT)
۴۴	۴-۳-۳ لاگ نوترون (NPHI)
۴۴	۵-۳-۳ لاگ چگالی (RHOB)
۴۵	۶-۳-۳ لاگ اختلاف دانسیته (DRHO)

۴۵	۷-۳-۳ لاگ‌های مقاومت ویژه
۴۶	۸-۳-۳ داده‌های مغزه‌ی حفاری
۴۹	۴-۳ اطلاعات زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه
۴۹	۱-۴-۳ میدان نفتی مورد مطالعه
۴۹	۲-۴-۳ سازند مخزنی مورد مطالعه
۵۰	۳-۴-۳ توان اقتصادی زاگرس
۵۱	فصل چهارم محاسبه‌ی عدم قطعیت پارامترهای پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه
۵۲	۱-۴ مقدمه
۵۳	۲-۴ روش کار و داده‌های مورد استفاده
۵۴	۳-۴ آماده‌سازی داده‌ها
۶۰	۴-۴ تعیین سنگ‌شناسی
۶۲	۵-۴ ارزیابی پتروفیزیکی
۶۳	۱-۵-۴ ارزیابی به روش قطعی
۶۴	۱-۱-۵-۴ محاسبه‌ی حجم شیل با استفاده از روش قطعی
۶۴	۲-۱-۵-۴ محاسبه‌ی تخلخل با استفاده از روش قطعی
۶۵	۳-۱-۵-۴ محاسبه‌ی اشباع آب و هیدروکربور به روش قطعی
۶۶	۴-۱-۵-۴ محاسبه‌ی تراوایی به روش قطعی
۶۷	۲-۵-۴ ارزیابی به روش شبیه‌سازی مونت کارلو
۶۷	۱-۲-۵-۴ آماده‌سازی داده‌ها و محاسبه‌ی عدم قطعیت لاگ‌ها به روش مونت کارلو
۷۶	۲-۲-۵-۴ محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو
۸۴	۳-۲-۵-۴ آنالیز حساسیت‌سنجی و نمودارهای گردبادی
۸۸	۴-۲-۵-۴ تعیین زون‌های تولید

۹۲	۴-۵-۳ مقایسه‌ی کلی نتایج به دست آمده با نتایج ارزیابی احتمالی
۹۹	فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۰۰	۵-۱ نتیجه‌گیری
۱۰۱	۵-۲ پیشنهادات
۱۰۳	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: کاربرد ستون خطا ۲۰
- شکل ۲-۲: تأثیر نویز تصادفی به دلیل نزدیکی به مقدار حد آستانه‌ای ۲۰
- شکل ۳-۲: صحت و دقت ۲۲
- شکل ۴-۲: انواع توزیع ۳۰
- شکل ۵-۲: توزیع‌های مثلثی، نرمال و یکنواخت حاصل از تولید نمونه‌های تصادفی ۳۱
- شکل ۶-۲: توزیع مثلثی نامتقارن ۳۲
- شکل ۷-۲: توزیع تراکمی مقادیر EHC به همراه مقادیر 1P، 2P و 3P در نظر گرفته شده ۳۳
- شکل ۸-۲: تولیدکننده‌ی اعداد تصادفی، مقدار مشخصی را برای تکرار شماره n انتخاب می‌کند. ۳۴
- شکل ۹-۲: محاسبه‌ی مقادیر لاگ برای تکرار n در تمام عمق‌ها ۳۴
- شکل ۱۰-۲: خطاها و گرادیان‌ها برای دما و فشار ۳۷
- شکل ۱۱-۲: یک نمودار گردبادی ایجاد شده توسط نتایج آنالیز حساسیت‌سنجی ۳۸
- شکل ۱-۳: لاگ‌های برداشت شده در چاه A ۴۷
- شکل ۲-۳: لاگ‌های برداشت شده در چاه B ۴۸
- شکل ۱-۴: مرحله‌ی ویرایش داده‌ها، (الف) تطابق لاگ با لاگ و (ب) تطابق مغزه با لاگ ۵۵
- شکل ۲-۴: نتایج اجرای مرحله‌ی پیش محاسباتی در چاه A ۵۷
- شکل ۳-۴: نتایج اجرای مرحله‌ی پیش محاسباتی در چاه B ۵۸
- شکل ۴-۴: نمودار متقاطع نوترون-چگالی برای دو چاه A و B ۶۲
- شکل ۵-۴: نتایج مرحله‌ی پیش محاسباتی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در چاه A ۷۰
- شکل ۶-۴: نتایج مرحله‌ی پیش محاسباتی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در چاه B ۷۱
- شکل ۷-۴: لاگ‌های تصحیح شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه A ۷۲
- شکل ۸-۴: لاگ‌های تصحیح شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه B ۷۳

- ۷۷ شکل ۹-۴: پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه A
- ۷۸ شکل ۱۰-۴: پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه B
- ۸۰ شکل ۱۱-۴: نتایج 1P، 2P و 3P برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در چاه A
- ۸۱ شکل ۱۲-۴: نتایج 1P، 2P و 3P برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در چاه B
- ۸۵ شکل ۱۳-۴: نمودار گردبادی به دست آمده برای پارامترهای چاه A
- ۸۶ شکل ۱۴-۴: نمودار گردبادی به دست آمده برای پارامترهای چاه B
- ۹۵ شکل ۱۵-۴: مقایسه‌ی نتایج کلی در توالی چاه A
- ۹۶ شکل ۱۶-۴: مقایسه‌ی نتایج کلی در توالی چاه B

فهرست جداول

- جدول ۳-۱: اطلاعات مورد استفاده در دو چاه A و B ۴۲
- جدول ۴-۱: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در دو چاه مورد مطالعه به روش قطعی ۶۷
- جدول ۴-۲: میزان خطای در نظر گرفته شده برای پارامترها ۶۸
- جدول ۴-۳: میزان خطای در نظر گرفته شده برای لاگ‌ها ۶۹
- جدول ۴-۴: میانگین مقادیر لاگ به همراه مقادیر hi و lo محاسبه شده به روش مونت کارلو در چاه A ۷۴
- جدول ۴-۵: میانگین مقادیر لاگ به همراه مقادیر hi و lo محاسبه شده به روش مونت کارلو در چاه B ۷۵
- جدول ۴-۶: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در دو چاه مورد مطالعه به روش مونت کارلو ۷۹
- جدول ۴-۷: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر $1P$ ، $2P$ و $3P$ در چاه A ۸۲
- جدول ۴-۸: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر $1P$ ، $2P$ و $3P$ در چاه B ۸۳
- جدول ۴-۹: مقادیر مورد استفاده‌ی پارامترهای ثابت در آنالیز حساسیت‌سنجی ۸۶
- جدول ۴-۱۰: زون‌های خالص و ناخالص مشخص شده در توالی چاه A ۸۹
- جدول ۴-۱۱: میانگین پارامترهای مخزنی در زون‌های تولیدی در چاه A ۹۰
- جدول ۴-۱۲: زون‌های خالص و ناخالص مشخص شده در توالی چاه B ۹۰
- جدول ۴-۱۳: میانگین پارامترهای مخزنی در زون‌های تولیدی در چاه B ۹۱
- جدول ۴-۱۴: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در دو چاه A و B به روش احتمالی ۹۳

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

یکی از عملیات‌های اجرایی برای توصیف و شبیه‌سازی حوضه‌های رسوبی و مخازن هیدروکربوری واقع در آنها، عملیات نمودارگیری از چاه می‌باشد. در اغلب چاه‌های نفتی/گازی برای محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی (مانند تخلخل، تراوایی، اشباع‌شدگی و غیره)، ابزارهای نمودارگیری از قبیل گاما، نوترون، چگالی و... به داخل چاه‌ها رانده می‌شوند. لاگ‌های چاه‌پیمایی امروزه یکی از منابع اصلی تهیه‌ی اطلاعات زیرسطحی در میدان‌های نفتی/گازی می‌باشند. این ابزارها اطلاعاتی در رابطه با ترکیب سنگ‌شناسی، بافت سنگ، ساختمان‌های رسوبی و خصوصیات پتروفیزیکی (مانند تخلخل، تراوایی، اشباع‌شدگی و...) را به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم ارائه می‌دهند. ارزیابی کیفیت مخزن از اهمیت بالایی در صنعت نفت برخوردار است. در این مطالعات، تعیین سنگ‌شناسی و خواص پتروفیزیکی (تخلخل، اشباع‌شدگی و نفوذپذیری) مخزن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. تعیین این پارامترها در فرآیندهایی چون تخمین ذخیره، تولید و توسعه‌ی مخازن نفتی از اساسی‌ترین مراحل به شمار می‌روند. ارزیابی پتروفیزیکی شامل تعیین خواص سنگ مخزن (تخلخل، اشباع‌شدگی، حجم شیل و تعیین لیتولوژی) با استفاده از پردازش و تفسیرنگارها می‌باشد. نتایج این‌گونه مطالعات به عنوان داده‌های مرتبط با لایه‌های زیرسطحی، برای مدل‌سازی مخازن هیدروکربوری به کار می‌روند [مسعودی و همکاران، ۱۳۹۳].

امروزه پارامترهای پتروفیزیکی یک مخزن مانند تخلخل، تراوایی و اشباع از آب یا هیدروکربور و یا سایر خصوصیات فیزیکی مخزن را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلفی مانند انجام آنالیز و آزمایشات بر روی مغزه‌ها و یا انجام آنالیز و محاسبات مختلف (ریاضی و آماری) و یا مدل‌سازی داده‌های حاصل از لاگ‌ها یا نگارهای چاه‌پیمایی معمول به دست آورد. به کارگیری روش‌های مختلف در تعیین یا تخمین یک پارامتر پتروفیزیکی خاص معمولاً نتایج متفاوت و غیر یکسانی را به دنبال دارد که نشان‌دهنده‌ی وجود خطای کم و بیش زیاد در تخمین پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر می‌باشد.

منشأ یا عامل ایجاد این خطا می‌تواند عوامل متعددی مانند عدم دقت در اندازه‌گیری یا مقدار داده‌های ورودی، شیوه آنالیز و محاسبه یا مدل‌سازی و غیره باشد. بنابراین در مراحل مختلف انجام عملیات اکتشافی بر روی یک مخزن هیدروکربوری همواره عدم قطعیت در برآورد پارامترهای پتروفیزیکی آن مخزن وجود دارد.

۱-۲ سابقه‌ی تحقیق

در رابطه با تعیین پارامترهای پتروفیزیکی (به ویژه تراوایی و اشباع‌شدگی) به روش‌های مختلف و همچنین تعیین عدم قطعیت در برآورد این پارامترها با استفاده از آنالیز مونت کارلو در دنیا تحقیقات متعددی انجام شده است. با این حال تحقیقی در زمینه‌ی برآورد عدم قطعیت پارامترهای پتروفیزیکی به روش مونت کارلو، تاکنون در ایران گزارش نشده است.

در این مورد، احمد و همکارانش تراوایی در چند میدان هیدروکربوری را با استفاده از روش‌های مختلف (ارزیابی لاگ‌های چاه پیمایی، اندازه‌گیری‌های مغزه و تست چاه) تعیین نموده و روابط بین نتایج در این روش‌ها و اعتبارسنجی آن‌ها را مورد بررسی قرار داده اند. دانستن روابط بین روش‌های مذکور، مقایسه‌ها و همبستگی‌های معنی‌داری از پارامتر تراوایی حاصل می‌کند که می‌توان با استفاده از آن، جریان سیال در مخزن را توصیف کرد [Ahmed et al., 1991].

رینگن و همکارانش تعیین اشباع‌شدگی از آب را با استفاده از آنالیز مغزه انجام داده اند. در این تحقیق درباره‌ی روش‌های دوپینگ گل، مغزه‌گیری، نمونه‌برداری، آنالیز و تفسیر پارامتر اشباع‌شدگی بحث شده است. در انتهای تحقیق مزایای محاسبه‌ی اشباع از آب با استفاده از مغزه‌های تازه درباره‌ی دقت محاسبه‌ی پارامتر مذکور، در مقایسه با لاگ‌های اشباع‌شدگی و آنالیزهای متداول مغزه بیان شده است. لازم به ذکر است که نمونه‌های مورد استفاده در تحقیق شامل نمونه‌های میادین گازی، میعان گازی و نفت سبک می‌باشد [Ringen et al., 2001].

ورگا و همکارانش با استفاده از روش مونت کارلو، عدم قطعیت مرتبط با پارامتر اشباع‌شدگی را در یک سازند ماسه‌ی شیلی گازدار محاسبه کرده‌اند. در این تحقیق نشان داده شده است که پارامتر مذکور از توزیع لاگ نرمال پیروی کرده و نتایج به دست آمده تخمینی از پراکندگی مقادیر اشباع‌شدگی ناشی از خطاهای تصادفی می‌باشد. در نهایت به اهمیت آنالیز احتمالاتی در تعیین پارامترهای پتروفیزیکی (مخصوصاً اشباع‌شدگی) و در نتیجه اثر آن بر انتخاب روش‌های بهره‌برداری مناسب اشاره شده است [Verga et al., 2001].

فیلینگ روش‌ها و الگوریتم‌های تعیین میزان عدم قطعیت در تخمین پارامترهای پتروفیزیکی شامل تخلخل، اشباع از آب و خالص مخزن و تأثیر آنها بر روی تخمین حجم هیدروکربور برجا را مورد مطالعه قرار داده است. از جمله روش‌هایی که در این تحقیق به آن اشاره شده است، روش مونت کارلو می‌باشد [Fylling, 2002].

لشین و همکارانش با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو و مدل‌سازی اعداد تصادفی به توصیف پارامترهای پتروفیزیکی مخزنی در دو مطالعه‌ی موردی دلتای نیل و حوضه‌ی نفتی رأس فنر خلیج سوئز در مصر پرداخته‌اند. از این روش به منظور بهبود تخمین پارامترهای پتروفیزیکی در مخازن گازی دلتای نیل و برطرف کردن مشکلات ناشی از سیکل پرش در نگارهای صوتی مربوط به حوضه‌ی نفتی رأس فنر خلیج سوئز استفاده شده است. در انتها مشخص شده است که پارامترهای پتروفیزیکی شبیه‌سازی شده، واقعی‌تر بوده و خصوصیات مخازن مورد مطالعه را بهتر نشان می‌دهند. همچنین بیان شده است که از مدل مذکور در مناطق مشابه که کیفیت داده‌ها در آنها پایین بوده، بخشی از لاگ‌ها از دست رفته و یا چاه جدید در منطقه حفر شده است، می‌توان استفاده کرد [Lashin et al., 2009].

کندی و همکارانش میزان عدم قطعیت‌های بر پایه‌ی مدل را در تفسیرهای پتروفیزیکی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ابتدا انواع عدم قطعیت‌های پتروفیزیکی (تصادفی، سیستماتیک و بر پایه‌ی مدل) توضیح داده شده است. سپس تفسیرهای پتروفیزیکی با مدل‌های متفاوت به منظور توسعه‌ی

یک میدان واقع در جنوب شرقی آسیا صورت گرفته و تلورانس محدوده‌ی عدم قطعیت هر مدل شناسایی شده است. در نهایت روش مورد استفاده در این تحقیق ارزش اطلاعات مورد نیاز جهت رفع تفاوت‌ها و حذف عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل را شناسایی کرده است [Kennedy et al., 2010].

ویبرتی و ورگا با بررسی عدم قطعیت‌های مؤثر بر رفتار مخزن، اهمیت آن را بر ارزیابی ریسک‌های مرتبط با بهره برداری از مخازن عمیق دریایی و میادین واقع در محیط‌های سخت به همراه تجمع غیر متعارف هیروکربور مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، ارزیابی عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی و روش مونت کارلو صورت گرفته و تفسیر لاگ نیز انجام شده است [Viberti and Verga, 2012].

۱-۳ هدف، ضرورت و روش انجام تحقیق

هدف این تحقیق، تعیین یا تخمین پارامترهای پتروفیزیکی (به‌ویژه دو پارامتر تراوایی و اشباع‌شدگی) در مخزن مورد مطالعه با سه روش قطعی، آنالیز مونت کارلو و احتمالی و همچنین تعیین عدم قطعیت این پارامترها و به طور کلی ارزیابی پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه می‌باشد. اهمیت و لزوم انجام این مطالعه در اکتشاف، محاسبه یا تخمین میزان هیدروکربور برجا و قابل استحصال و در نهایت، ارزیابی مخزن بر کسی پوشیده نیست.

در این تحقیق، با توجه به اهمیت پارامترهای پتروفیزیکی به خصوص اشباع‌شدگی و تراوایی، ابتدا پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از نرم‌افزار Geolog^۱ و به روش قطعی^۱ در دو چاه A و B واقع در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب غربی کشور، محاسبه یا تخمین زده شده و سپس میزان عدم قطعیت پارامترهای پتروفیزیکی تخمین زده شده با استفاده از روش پردازش یا آنالیز مونت کارلو در این نرم‌افزار تعیین خواهد شد. به همین منظور از لاگ‌های چاه‌پیمایی مرتبط با دو پارامتر پتروفیزیکی مذکور (اشباع‌شدگی و تراوایی)، شامل انواع لاگ‌های مقاومت ویژه (به ویژه لاگ مقاومت ویژه نرمال

¹ Determin

بلند)، صوتی، چگالی، اشعه‌ی گاما، نوترون و همچنین آنالیز مغزه‌های دو چاه مورد مطالعه استفاده شده است. به منظور اعتبارسنجی نتایج تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مورد نظر و همچنین تعیین عدم قطعیت این پارامترها از نتایج حاصل از آنالیز مغزه‌ها در آزمایشگاه استفاده شده است. در مرحله‌ی آخر نیز یک بار دیگر پارامترهای پتروفیزیکی مورد نظر، این بار به روش احتمالی^۱ محاسبه شده و نتایج کلی با هم مورد مقایسه قرار گرفته است.

۴-۱ چاه‌پیمایی

بیش از نیم قرن است که چاه‌پیمایی^۲ به صنعت نفت معرفی شده است و از آن زمان تا کنون وسایل پیشرفته‌ی نمودارگیری اختراع شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولین نمودار الکتریکی در سال ۱۹۲۷ در یک چاه در میدان کوچک نفتی پچلبورن^۳ که ایالت شمال شرقی فرانسه در آلاسکا به شمار می‌رفت، به ثبت رسید. این لاگ تنها یک گراف از مقاومت الکتریکی سازند بود که در چاه حفاری شده به وسیله‌ی روش ایستگاهی ثبت شد [Schlumberger, 1989].

نمودارگیری (چاه‌پیمایی) شامل تمام تکنیک‌های خاص استفاده از تجهیزات بسیار حساس (استوانه‌ای شکل) برای ثبت خصوصیات فیزیکی سنگ‌های داخل زمین و نیز تعبیر و تفسیر نمودارهای حاصله است. نمودار چاه‌پیمایی گرافی است در مقابل عمق که پارامترها و یا کمیت‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده را در یک چاه و یا پارامترهای مشتق شده از آنها را به صورت منحنی عرضه می‌کند. پاره‌ای از اندازه‌گیری‌های دیگر از قبیل میزان فشار روی کابل نیز می‌تواند به صورت منحنی به مجموعه اضافه گردد. در ابتدا از نمودارگیری به عنوان وسیله‌ای برای انطباق چاه‌ها استفاده می‌گردید، سپس این بررسی‌ها به عنوان ابزاری جهت بررسی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی از محیط چاه قرار گرفت [صفری و همکاران، ۱۳۸۸].

^۱ Probabilistic

^۲ Well logging

^۳ Pechelbornn

۵-۱ پتروفیزیک

پتروفیزیک علم مطالعه‌ی و بررسی خصوصیات سنگ‌ها و اثر متقابل آن با سیالات درونش می‌باشد. تخلخل، نفوذپذیری، درجه‌ی اشباع، شکل هندسی منفذها و خواص رادیواکتیو از مهمترین خواص پتروفیزیکی سنگ‌ها هستند. ترکیب کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ مخزن برای تجمع هیدروکربورها باید دارای شبکه‌ی سه بعدی از منافذ به هم مرتبط باشد تا سیالات را ذخیره کرده و به آنها اجازه‌ی حرکت در مخزن را بدهد. بنابراین تخلخل و تراوایی سنگ‌های مخزنی از اساسی‌ترین خواص پتروفیزیکی در ارتباط با ذخیره‌سازی و انتقال سیالات در مخازن هستند که شناخت دقیق این دو پارامتر برای هر مخزن هیدروکربوری به همراه خواص سیال درون آنها برای توسعه، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی عملکرد آینده‌ی میدان بسیار ضروری است. ارزیابی پتروفیزیکی که همان علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از ابزار نمودارهای چاه‌پیمایی است، یکی از فاکتورهای اساسی در تعیین ویژگی‌های سنگ مخزن هیدروکربونی است. علاوه بر موارد فوق، عواملی چون وضعیت هندسی مخزن، دمای سازند و فشار لایه‌های حفاری شده و لایه‌ی هدف و همچنین ترکیب سنگ‌شناسی مخزن می‌توانند نقش بسیار مهمی در ارزیابی، تکمیل و بهره‌برداری از مخزن ایفا کنند. دلیل اصلی اینکه استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی بر به کارگیری مغزه‌ی حفاری ترجیح داده می‌شود، بالا بودن هزینه‌ها در بخش مغزه‌گیری و همچنین پیوسته نبودن اطلاعات حاصل از مغزه‌گیری می‌باشد. نگارهای چاه‌پیمایی به صورت یک ثبت پیوسته از خواص سنگ‌های درون چاه و با هزینه‌ای بسیار پایین‌تر نسبت به عملیات مغزه‌گیری در دسترس قرار می‌گیرد.

از آنجایی که سالهای زیادی از یک مخزن برداشت می‌شود، مطالعات انجام شده در گذشته نیاز به بازنگری مجدد دارد و این بررسی‌های جدید ممکن است سبب اتخاذ تصمیمات جدیدی در بهره‌برداری از زون تولید در چاه و کل میدان شود. اطلاعات نگارهای چاه‌پیمایی برای ارزیابی مقدار هیدروکربن مخزن و سنگ‌شناسی آن و همچنین خصوصیات سیال درون آن ضروری و با اهمیت

می‌باشد. از این اطلاعات می‌توان برای تطابق لایه‌های رسوبی و ترسیم نقشه‌های ساختمانی استفاده نمود و نیز در شناخت خواص پتروفیزیکی سنگ مخزن استفاده کرد. همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی که از اطلاعات نمودارهای چاه‌پیمایی ترسیم می‌شوند، به منظور تعبیر و تفسیر محیط رسوبی و رخساره‌ها و همچنین مشخص نمودن موقعیت چاه‌هایی که در آینده در میدان باید حفاری نمود مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مجموع می‌توان با استفاده از اطلاعات نمودارگیری همراه با اطلاعات آنالیز مغزه‌ی حفاری، داده‌های مورد نیاز برای تهیه‌ی نقشه‌های ساختمانی زیر سطحی را فراهم نمود و از این اطلاعات برای تعیین دقیق سنگ‌شناسی و زون‌های تولیدی در مخزن استفاده کرد و با دقت، عمق و ضخامت این زون‌ها را مشخص نمود. همچنین این اطلاعات در تفکیک سیال مخزن (آب و نفت) و حتی گاز کمک بسیاری می‌کند و سرانجام این اجازه را می‌دهد که تفسیر کمی و کیفی با ارزشی از خصوصیات پتروفیزیکی مخزن انجام شود. خصوصیات پتروفیزیکی مخزن مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیستند، بنابراین آنها را باید از اندازه‌گیری پارامترهای دیگر سنگ‌های مخزنی از قبیل چگالی، مدت زمان عبور صوت، مقاومت، خواص رادیواکتیو و محتوای هیدروژن در سازند استنتاج کرد.

۱-۵-۱ تخلخل

درصدی از کل حجم سنگ است که توسط فضاهای خالی اشغال می‌گردد. این پارامتر فقط به اندازه‌ی دانه‌ها مرتبط نیست. با این حال اگر اندازه دانه‌ها یکسان باشد میزان تخلخل بیشتر از حالتی است که اندازه دانه‌ها متغیر است. تخلخل یکی از اساسی‌ترین پارامترهای مخزنی است، زیرا بیانگر مقدار ذخیره هیدروکربن در مخزن است. تخلخل علاوه بر اینکه به صورت مستقیم بوسیله‌ی آنالیزهای آزمایشگاهی روی مغزه‌ها اندازه‌گیری می‌شود، به صورت غیرمستقیم از طریق آنالیزهای پتروفیزیکی لاگ‌ها نیز قابل محاسبه است [باقری و همکاران، ۱۳۹۲].

روش‌های مختلفی جهت محاسبه تخلخل وجود دارد که بستگی به نوع نگارهای موجود دارد. برای محاسبه‌ی تخلخل، عمدتاً از نگارهای نوترون، صوتی و مقاومت ویژه استفاده می‌شود. همچنین می‌توان

از یک و یا ترکیبی از چند نگار جهت انجام این محاسبه استفاده نمود. تخلخل در مخازن کربناته‌ی ایران اعم از آسماری، بنگستان، خامی و دهرم از صفر تا ۲۵٪ گزارش شده است و به کمک هر یک از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$\phi = (V_p / (V_g + V_p)) \times 100 \quad (1-1)$$

$$\phi = ((V_b - V_g) / V_b) \times 100 \quad (2-1)$$

$$\phi = (V_p / V_b) \times 100 \quad (3-1)$$

در این معادلات V_g حجم دانه، V_b حجم کل سنگ و V_p حجم منافذ هستند.

۱-۵-۲ اشباع از آب

درصدی از فضاهای خالی یک محیط (سنگ یا خاک) که توسط آب اشغال می‌گردد، درصد اشباع از آب آن محیط را تشکیل می‌دهد. اشباع‌شدگی یک سازند، کسری از حجم منافذ اشغال‌شده توسط سیال است [Schlumberger, 1989].

$$\text{درصد اشباع از آب} = \frac{\text{مقدار آب فراگیرنده سازند}}{\text{حجم کل منافذ سنگ}} \quad (4-1)$$

این مقدار به صورت درصد بیان می‌شود. سیال مورد نظر در پتروفیزیک همان آب و هیدروکربن است. اشباع‌شدگی در یک محیط شامل اشباع‌شدگی از آب (S_w)، اشباع‌شدگی از نفت (S_o) و اشباع‌شدگی از گاز (S_g) می‌باشد و مجموع همگی این مقادیر در یک سنگ برابر با یک است، به شرط این که تمامی حجم فضاهای خالی سنگ توسط سیال پر شده باشد. بنابراین در حوضه‌های نفتی با تعیین مقدار اشباع از آب می‌توان درصد هیدروکربن موجود در خلل و فرج سنگ‌ها را به‌دست‌آورد، به این

صورت که مقدار اشباع از آب از عدد ۱ کم شود. اشباع‌شدگی از پارامترهایی است که باید با استفاده از داده‌های لاگ‌های مقاومت تخمین زده شود. کلیه‌ی روش‌های محاسبه‌ی اشباع‌شدگی از آب مبتنی بر روش آرچی است که در خلال سالهای ۱۹۴۱-۱۹۴۲ ارائه شده است. روش آرچی^۱ بر پایه‌ی اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی استوار بود. آرچی بدون توجه به کانی‌های رسی و رسانا مطالعات خود را روی ماسه‌سنگ‌های عاری از شیل^۲ انجام داد. برای محاسبه‌ی اشباع از آب روابط متعددی طراحی شده است که اصلی‌ترین رابطه برای محاسبه‌ی آن، رابطه‌ی آرچی می‌باشد. این رابطه پایه‌ی روابط دیگر بوده و برای سازندهای ماسه‌سنگی تمیز و عاری از شیل طراحی شده است. محاسبه‌ی اشباع از آب (S_w) محدوده‌ی آغشته نشده‌ی مخزن از رابطه‌ی زیر که به رابطه‌ی آرچی معروف است، به‌دست می‌آید:

$$S_w = \left(\frac{a}{\Phi^m} \times \frac{R_w}{R_t} \right)^{1/n} \quad (5-1)$$

که در آن:

S_w = اشباع آب ناحیه‌ی آغشته نشده

R_w = مقاومت آب سازند در دمای سازند

R_t = مقاومت حقیقی سازند

Φ = تخلخل

a = ضریب پیچاپیچی

m = توان سیمان‌شدگی

n = توان اشباع‌شدگی که از ۱/۸ تا ۲/۵ متغیر می‌باشد و به طور معمول معادل ۲ در نظر گرفته می‌شود.

¹ Archie

² Clean Rocks

۱-۵-۳ تراوایی

قابلیت تحرک‌پذیری و جریان یافتن سیالات درون سازند که با واحد میلی‌داری بیان می‌شود. بر خلاف تخلخل، نفوذپذیری شدیداً به اندازه‌ی مطلق دانه‌های سنگ بستگی دارد. به بیان دیگر توانایی سنگ برای هدایت سیال درون آن را تراوایی گویند. اطلاعات مغزه‌ی حفاری، قابل اعتمادترین منبع برای تعیین تراوایی سنگ‌مخزن است. تراوایی یک سنگ، یک اندازه‌گیری از سهولت جریان سیال با ویسکوزیته‌ی مشخص تحت یک گرادیان فشاری از میان آن می‌باشد [Serra, 1984].

این پارامتر خاصیتی از سنگ می‌باشد که عبور سیالات در آن سنگ را ممکن می‌سازد. این خاصیت به چگونگی ارتباط منافذ سازند مربوط بوده و به آن نفوذپذیری یا قابلیت نفوذ هم اطلاق می‌شود. اندازه‌ی حفرات و یا معبری که سیال از آن عبور می‌نماید در تعیین مقدار تراوایی نقش اساسی دارد [Aasquith and Gibson, 1982].

تراوایی، توانایی محیط متخلخل برای انتقال سیال است. واحد اندازه‌گیری تراوایی داری است که به نام یک دانشمند فرانسوی می‌باشد که جریان آب در محیط متخلخل را در سال ۱۸۵۶ مطالعه کرده است. یک داری توانایی تراوایی یک سنگ است، هنگامی که بتواند در طی یک ثانیه اجازه‌ی عبور یک سانتیمتر مکعب از یک مایع با گرانروی یک سانتی‌پوآز را از سطح مقطع یک سانتیمتر مربعی وقتی که گرادیان فشار یک اتمسفر باشد، بدهد. در واقع تراوایی یک داری برابر است با جریان یک بشکه در روز از نفتی با غلظت یک سانتی‌پوآز، از یک فوت از ضخامت مخزن در یک چاه وقتی که اختلاف فشار برابر ۱ PSI باشد. از آنجا که اکثر مخازن تراوایی کمتر از یک داری دارند، معمولاً از میلی‌داری که یک هزارم داری است استفاده می‌شود. تراوایی سازندها از یک میلی‌داری تا بیش از ده‌هزار میلی‌داری (مخصوصاً در مخازن دارای شکستگی نظیر آسماری) تغییر می‌کند. عموماً تراوایی را با K نشان می‌دهند. تراوایی میانگین در مخازن معمولاً بین ۵ - ۵۰۰ میلی‌داری (md) است،

هرچند بعضی از مخازن استثنایی تراوایی بالای ۳۰۰۰ md دارند. معادله‌ی داری برای یک سیال که از یک محیط متخلخل عبور می‌کند به صورت زیر است [رضایی، ۱۳۸۹]:

$$Q = K \frac{A \times P_2 - P_1}{\mu \times L} \quad (۶-۱)$$

که در آن:

Q = دبی جریان

μ = ویسکوزیته‌ی سیال

A = سطح

L = طول

P_1 و P_2 = فشار در اتمسفر

و K تراوایی می‌باشد.

قانون داری در صورت وجود شرایط زیر صحت داشته و قابل استفاده برای محاسبه‌ی تراوایی است:

۱- جریان به صورت خطی و آرام باشد.

۲- فقط یک فاز به صورت صد در صد منافذ را اشباع کرده باشد.

۳- بین سنگ و سیال واکنشی وجود نداشته باشد.

با افزایش تخلخل، تراوایی نیز عموماً افزایش پیدا می‌کند، ولی این مطلب همیشه صحت ندارد. علاوه بر تخلخل، اندازه‌ی فضاهای خالی، شکل و پیوستگی آن‌ها نیز بر تراوایی مؤثرند. بعضی از ماسه‌های ریزدانه دارای درصد بالایی از تخلخل‌های به هم پیوسته اند، ولی به علت کوچک بودن فضاهای خالی و قطر گلوگاه، تراوایی اندکی دارند [رضایی و چهارزی، ۱۳۸۹].

در نتیجه مسیری که برای عبور سیال وجود دارد کاملاً محدود و پیچاپیچ بوده و بنابراین تراوایی ناچیز است. شیل‌ها با داشتن تخلخل زیاد، تراوایی ناچیز دارند. سازندهای دیگر مانند سازندهای آهکی که از سنگ‌های متراکم ساخته شده‌اند، در صورت داشتن شکستگی تراوایی قابل ملاحظه‌ای دارند.

۱-۵-۴ حجم شیل

حجم شیل به مجموع حجم ذرات رس، سیلت و آب باندی رس‌ها در سازند گفته می‌شود. این کمیت بر روی سایر خصوصیات پتروفیزیکی نظیر تخلخل و اشباع‌شدگی آب حاصل از آنالیز لاگ‌ها تأثیرگذار است، لذا باید به دقت محاسبه و اثر آن از روی پارامترها حذف گردد. روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی درصد شیل وجود دارد. در بعضی موارد از یک نگار و در پاره‌ای از موارد با استفاده از دو یا چند نگار می‌توان حجم شیل را محاسبه کرد. روش‌های مرسوم تعیین حجم شیل را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد:

۱- روش‌هایی که بر مبنای نگارهایی که پاسخ آنها در درجه اول تابع حجم شیل است، استوارند و به نام نشانگرهای شیل شناخته می‌شوند.

۲- روش‌هایی که بر مبنای نگارهایی استوارند که درصد شیل، پارامتر مؤثر اول نیست، ولی به صورت‌های مختلف بر پاسخ نگار تأثیر می‌گذارند.

معمول‌ترین روش برای محاسبه‌ی حجم شیل، استفاده از قرائت ابزار رادیواکتیویته ($GR, SGR, CGR, \dots$) است که در این میان CGR به دلیل اینکه نسبت به توریم و پتاسیم سازند حساسیت نشان می‌دهد، دقت بالاتری برای محاسبه‌ی حجم شیل دارد. رابطه‌ی زیر محاسبه‌ی حجم شیل با استفاده از لاگ CGR را بیان می‌کند.

$$V_{sh} = \frac{CGR - CGR_{min}}{CGR_{max} - CGR_{min}} \quad (7-1)$$

که در آن V_{sh} حجم شیل، CGR مقدار قرائت لاگ در عمق مورد نظر، CGR_{min} حداقل مقدار قرائت لاگ گاما و CGR_{max} حداکثر مقدار قرائت لاگ گاما است. معمولاً برای تعیین مقادیر حداکثر و حداقل نگار گاما دو خط در زون تمیز و شیلی ترسیم می‌شود که به نام خطوط شیل و ماسه خوانده می‌شود.

محاسبه‌ی صحیح حجم شیل از این رابطه این‌گونه است که در زون مورد مطالعه حداقل یک زون کاملاً شیلی و یک زون کاملاً تمیز وجود داشته باشد و نیز پاسخ شیل در زون‌های مختلف یکسان باشد. در غیر این‌صورت در زونی که کمترین مقدار گاما را دارد، حجم شیل برابر صفر و در زونی که حداکثر مقدار گاما را دارد، حجم شیل برابر صد خواهد بود. به این ترتیب دیده می‌شود که حجم شیل در مقادیر کمتر گاما، کمتر از واقعیت و در مقادیر بالای گاما، بیشتر از واقعیت به دست می‌آید. این مطلب در مورد سایر روابطی که بر اساس حداقل و حداکثر مقدار پارامتر مورد نظر بنا شده اند نیز صادق است.

۱-۶ ساختار پایان نامه

این تحقیق در پنج فصل شرح داده شده است. همان‌طور که مشاهده شد، در فصل اول کلیاتی شامل مقدمه، سابقه‌ی تحقیقات مرتبط با موضوع پایان نامه، هدف، ضرورت و روش انجام تحقیق و توضیحاتی درباره‌ی چاه‌پیمایی و پتروفیزیک ارائه شد. در فصل دوم درباره‌ی مبحث عدم قطعیت در پتروفیزیک، انواع آن و چگونگی تعیین آن با استفاده از آنالیز مونت کارلو بحث شده است. فصل سوم شامل داده‌های مورد استفاده در تحقیق و اطلاعاتی درباره‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و همچنین سازند مورد بررسی است. فصل چهارم روند انجام کار را به طور کامل بیان می‌کند. در این فصل چگونگی به دست آوردن پارامترهای پتروفیزیکی (به ویژه دو پارامتر مد نظر این مطالعه یعنی تراوایی و اشباع‌شدگی) با سه روش قطعی، عدم قطعیت مونت کارلو و احتمالی ارائه شده است. همچنین فصل چهارم شامل تعیین عدم قطعیت پارامترها و تفسیر آن، آنالیز حساسیت‌سنجی، نتایج خلاصه‌ی

مخزن و به طور کلی ارزیابی پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه می‌باشد. در فصل پنجم که فصل پایانی این تحقیق نیز می‌باشد، به نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات پرداخته شده است.

فصل دوم

محاسبه‌ی عدم قطعیت با استفاده از آنالیز

مونته‌کارلو

در ابتدا لازم به ذکر است که منبع اکثر مطالب و عکس‌های این فصل مربوط به شرکت پارادایم (Paradigm, 2011) می‌باشد. در سایر بخش‌هایی که در آنها از منابع دیگری استفاده شده است، منبع مذکور در انتهای پاراگراف ذکر گردیده است.

۲-۱ آنالیز عدم قطعیت پتروفیزیکی

پیش از پرداختن به بحث عدم قطعیت، بیان تفاوت میان عدم قطعیت و خطا ضروری به نظر می‌رسد. عدم قطعیت به عنوان یک نقص بالقوه در هر فعالیت یا فاز محاسباتی (مدل‌سازی) تعریف می‌شود که علت آن عدم دانش کافی می‌باشد. اما خطا به صورت یک نقص قابل شناسایی در هر فاز یا فعالیت محاسباتی (مدل‌سازی) تعریف می‌گردد که به علت نبود دانش نیست [AIAA, 1998].

همواره در هر تفسیر پتروفیزیکی تعدادی عدم قطعیت درباره‌ی اینکه کدام معادله یا تبدیل، دقیق‌ترین مقادیر را برای ویژگی‌های ساختاری مشخص می‌کند و یا کدام مقادیر برای هر پارامتر در هر معادله مناسب‌تر است، وجود دارد. همیشه پارامترهایی که دارای بیشترین احتمال یا شباهت می‌باشند و در معادلات مورد استفاده قرار می‌گیرند، به همراه آنهایی که تحلیل‌گر با آنها آشنایی بیشتری دارد، منجر به یک تفسیر واحد همراه با ارزش واحدی برای مقدار هیدروکربن برجا می‌شوند. به هر حال، هنگامی که هزینه‌ی پروژه در نظر گرفته می‌شود، محاسبه‌ی محدوده‌ی امکان‌پذیر در تفسیر ضروری می‌باشد. به این منظور، روشی جهت اندازه‌گیری عدم قطعیت‌ها و اثر آنها بر نتایج نهایی مورد نیاز است.

عدم قطعیت پتروفیزیکی به این صورت تعریف می‌شود که چه میزان احتمال وجود دارد تا اندازه‌گیری‌ها نادرست باشند. این اندازه‌گیری‌ها شامل لاگ‌ها، اطلاعات مربوط به کالیبراسیون مثل داده‌های مغزه، اطلاعات مورد نیاز جهت تصحیح شرایط محیطی لاگ‌ها و موقعیت سازند و یا مخزن برای این اندازه‌گیری‌ها می‌باشد.

به عبارت دیگر عدم قطعیت پتروفیزیکی به عدم قطعیت در طبیعت داده باز می‌گردد. واقعیت این است که در حفاری چاه‌های اکتشافی که در مناطق جدید صورت می‌گیرد، اطلاعات چندانی برای استفاده

در تفسیرهای مربوط به آنها وجود ندارد. شکل اول عدم قطعیت پتروفیزیکی (یعنی احتمال نادرست بودن اندازه گیری ها) سبب ایجاد خطاهای احتمالی می شود. در حالی که شکل دوم آن (یعنی عدم وجود اطلاعات قبلی از منطقه) باعث ایجاد عدم قطعیت ناشی از نبود دانش قبلی می گردد. هر دوی این عدم قطعیت ها، به هنگام تعیین بازه ی نتایج احتمالی، در نظر گرفته می شوند.

۲-۲ انواع عدم قطعیت در تفسیرهای پتروفیزیکی

بسیاری از شکل های عدم قطعیت در تفسیرهای پتروفیزیکی در سه نوع زیر طبقه بندی می شوند:

- ۱- عدم قطعیت تصادفی^۱
- ۲- عدم قطعیت سیستماتیک^۲
- ۳- عدم قطعیت بر پایه ی مدل^۳

۲-۲-۱ عدم قطعیت تصادفی

یک نویز تصادفی در اندازه گیری های لاگ می تواند منجر به بروز عدم قطعیت در نتایج مربوط به یک عمق خاص گردد. در سازندهای همگن، بسیاری از لاگ ها به خاطر وجود انحرافات آماری در نرخ های شمارش و یا وجود نویز به همراه سیگنال، منحنی هایی دارای نویز تولید می کنند. این نمودارها حتی زمانی که ابزار اندازه گیری در عمق خاص به صورت ساکن قرار دارد نیز می توانند دارای نویز باشند. این مسأله در سازندهای ناهمگن همانند مقاطع چند لایه که در آنها تفکیک پذیری قائم ابزار برای تشخیص نوع سنگ مناسب نیست، پیچیده تر می شود.

در تفسیرها جهت شمارش نویزهای ایجاد شده به صورت تصادفی، معمولاً ستون های خطا در نظر گرفته شده اند. یک ستون خطا در اصل مقادیر هر دو طرف اندازه گیری است و شامل بازه ی کاملی که آن اندازه گیری می تواند داشته باشد، می شود.

¹ Random uncertainty

² Systematic uncertainty

³ Model based uncertainty

در برخی نرم‌افزارها ستون‌های خطا در هر عمق جهت تشخیص بازه‌ی ممکن، مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۱-۲-الف).



شکل ۱-۲: کاربرد ستون خطا

هنگامی که خطای تصادفی ارزیابی می‌شود، بهتر است از ستون‌های خطایی که بر پایه‌ی میانگین مقادیر لاگ می‌باشند (شکل ۱-۲-ب) استفاده شود، زیرا بازه‌ی صحیح را به صورت واضح‌تری نشان می‌دهند. به هر حال در واقعیت این عملیات به دلیل پیچیدگی و ناهمگنی اکثر سازندها دشوار است. زمانی که عدم قطعیت نتایج یک فاصله^۱ از مخزن اندازه‌گیری می‌شود، عدم قطعیت تصادفی کاهش می‌یابد. علت این کاهش، طبیعت خطاهای تصادفی است که با عملیات میانگین‌گیری زون، خنثی می‌شوند.

تنها حالتی که خطاهای تصادفی بر نتایج زون تأثیر می‌گذارند، هنگامی است که انحراف منحنی از مقدار حد آستانه‌ای حین عملیات خلاصه‌ی مخزن و در اثر نویز تصادفی، افزایش یابد (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲: تأثیر نویز تصادفی به دلیل نزدیکی به مقدار حد آستانه‌ای

¹ Interval

۲-۲-۲ عدم قطعیت سیستماتیک

خطاهای سیستماتیک تغییر بزرگی بین مقدار اندازه‌گیری شده‌ی یک پارامتر و مقدار صحیح آن، ایجاد می‌کنند. این نوع خطاها می‌توانند در هر دو نوع پارامترهای اندازه‌گیری و تفسیری به وجود بیایند. در لاگ‌ها این نوع خطاها می‌تواند در اثر خطاهای کالیبراسیون و آثار محیطی ایجاد شود، در حالی که در پارامترها، ناشی از فقدان دانش قبلی از سازند یا نبود داده‌ی معرف جهت مدل کردن سازند مذکور می‌باشد. خطاهای سیستماتیک منجر به ایجاد عدم قطعیت سیستماتیک می‌شوند. عدم قطعیت سیستماتیک به وضوح تأثیر زیادی بر نتایج دارد و بارها به هنگام اندازه‌گیری عدم قطعیت مدل می‌شود.

۲-۲-۳ عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل

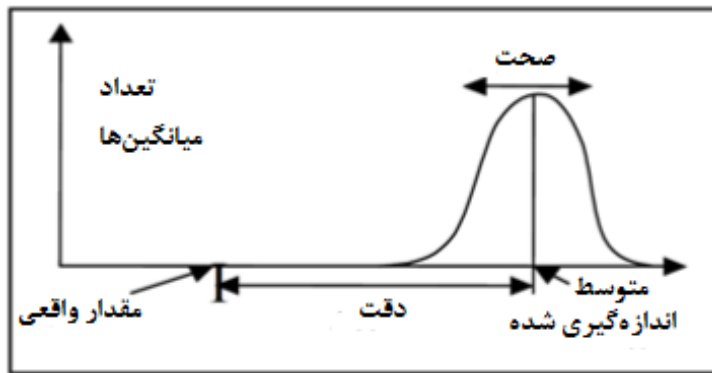
این نوع عدم قطعیت در حالتی ایجاد می‌شود که مدل تفسیری مورد استفاده برای سازند مورد ارزیابی، مناسب نباشد. عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل رابطه‌ای با خطا نداشته و تنها به مدل و یا رابطه‌ی انتخاب شده بستگی دارد. هر قدر که مدل تفسیری با مخزن سازگارتر باشد، میزان تأثیر این نوع عدم قطعیت کمتر خواهد بود. در آغاز ارزیابی این نوع عدم قطعیت بیشترین تأثیر را بر نتایج داشته و اندازه‌گیری آن بسیار دشوار خواهد بود و در نتیجه اغلب کمترین آنالیز بر روی آن صورت می‌گیرد.

۲-۳ صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها

دو مفهوم اصلی و ضروری در محاسبه‌ی عدم قطعیت در اندازه‌گیری، دقت و صحت می‌باشد. دقت^۱ به معنی میزان نزدیکی گروهی از اندازه‌گیری‌ها با مقدار واقعی است. صحت یا درستی^۲ با میزان تغییر بین چند بار اندازه‌گیری از یک مطلب با مقدار میانگین آن اندازه‌گیری‌ها مرتبط می‌باشد (شکل ۲-۳).

^۱ Accuracy

^۲ Precision



شکل ۲-۳: صحت و دقت [Fylling, 2002]

در یک اندازه‌گیری خطاهای تصادفی منجر به کاهش صحت می‌شوند، در حالی که خطاهای سیستماتیک دقت اندازه‌گیری را از بین می‌برند. راهنمای برخی از شرکت‌های چاه نگاری برای انواع لاگ، دو مفهوم دقت و قابلیت تکرار (تکرارپذیری) را عنوان می‌کنند. قابلیت تکرار معمولاً به یک مقدار واحد از یک اندازه‌گیری اطلاق می‌شود، بنابراین می‌توان از آن به عنوان روش اندازه‌گیری صحت استفاده کرد.

۲-۴ اهداف مدل‌سازی عدم قطعیت

هدف از مدل‌سازی عدم قطعیت پتروفیزیکی، اندازه‌گیری تمام خطاهای بالقوه و به دست آوردن روش‌های مناسب تفسیر جهت تشخیص بازه‌ی قابل قبولی از نتایج از نظر تئوری و همچنین به دست آوردن داده‌های قابل دسترس در هر زمانی می‌باشد. علاوه بر این ایجاد یک سری احتمالات جهت تشخیص میزان تشابه هر یک از پاسخ‌های ممکن با مورد صحیح، ضروری است.

دو روش برای محاسبه‌ی عدم قطعیت پتروفیزیکی وجود دارد. یک روش شامل مدل‌سازی ریاضی بازه‌های ممکن است و روش دیگر شامل چندین بار اجرای تفسیر کامل تا زمانی است که با تغییر تصادفی هر یک از پارامترها و اندازه‌گیری‌ها یک توزیع آماری به دست آید که همان شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد. از روش دوم تعداد زیادی پاسخ حاصل می‌شود. این پاسخ‌ها نشان دهنده‌ی

محدوده و توزیع نتایج امکان‌پذیری است که معرف عدم‌قطعیت می‌باشند. روش اول، روش تحلیلی و روش دوم همانطور که گفته شد، مدل‌سازی مونت‌کارلو نامیده می‌شود.

به علت پیچیدگی تفسیرهای پتروفیزیکی و اینکه معمولاً روش‌های تحلیلی از بسیاری جهات ساده‌اند، ترکیب وابستگی‌ها در حین عملیات بین لاگ‌هایی که خروجی مراحل اولیه و ورودی مراحل بعدی می‌باشند، با این روش‌ها بسیار دشوار خواهد بود.

روش‌های متفاوتی در پردازش مونت‌کارلو وجود دارد که بهترین روش، اجرای چندین باره‌ی روند تفسیر به همراه نتایجی است که بازتاب صحیحی از تمامی پاسخ‌های ممکن دارد و تمام وابستگی‌های پارامتری را محاسبه می‌کند. به همین دلیل ادامه‌ی این مطلب بر روش جریان واحد مونت‌کارلو در محاسبه‌ی عدم‌قطعیت تمرکز دارد.

نتایج این نوع پردازش برای هر بار تکرار مونت‌کارلو، شامل خلاصه وضعیت جداگانه‌ای از مقادیر میانگین زون برای تخلخل، اشباع از آب، تراوایی و حجم سیالات، همراه با خالص مخزن، خالص برداشت، نسبت خالص به ناخالص و ستون معادل هیدروکربن^۱ (EHC) که از رابطه‌ی (ثابت نمونه * $(1-S_w) * PHI$) به دست می‌آید و برای کل بازه‌ی مخزنی جمع می‌شود، می‌باشد.

اندازه‌گیری EHC (یا ستون تخلخل معادل در صورت عدم محاسبه‌ی اشباع‌شدگی) نتایج را تنظیم می‌کند، به طوری‌که باعث اندازه‌گیری مستقیم هیدروکربن برجا (یا کیفیت سنگ مخزن) در بازه مخزنی می‌شود.

با توجه به تنظیمات فوق ممکن است بتوان تکرار مونت‌کارلو را با درصدهای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ که با نتایج قطعی (P90)، احتمالی (P50) و ممکن (P10) تطابق دارند، تعیین کرد.

¹ Equivalent hydrocarbon column

بخش مهمی از مدل‌سازی عدم قطعیت، دانستن این مطلب است که کدام پارامتر ستون‌های خطا بیشترین تأثیر را بر تغییرپذیری نتایج EHC (یا EPC)^۱ دارد. آنالیز حساسیت‌سنجی می‌تواند زمانی صورت گیرد که هر پارامتر یا لاگ به مقدار ماکزیمم یا مینیمم خود تغییر کرده و سایر پارامترها یا لاگ‌ها در مقدار مبنای خود ثابت مانده باشند.

تغییر در نتایج EHC (یا EPC) برای هر بار عبور، درجه‌بندی شده و با مقدار مبنا مقایسه می‌شود. سپس پانزده متغیر که دارای بیشترین تأثیر می‌باشند جهت تولید نمودار گردبادی^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پردازش مونت‌کارلو یک روش قوی برای تعیین عدم قطعیت سیستماتیک است و در صورتی که از حد آستانه‌ی خلاصه وضعیت مخزن استفاده شود، تأثیرات عدم قطعیت تصادفی را نیز ثبت می‌کند. برای دستیابی به تأثیرات عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل، نیاز به اجرای مدل‌های مختلف و مقایسه‌ی محدوده نتایج هر یک از آنها با هم می‌باشد.

۲-۵ شبیه‌سازی و انواع آن

شبیه‌سازی عبارت است از ایجاد محیطی ساختگی و استفاده از یک مدل نظری برای تخمین رفتار یک سازمان یا سیستم موجود در جهان واقعی. محیط ساختگی یا مصنوعی، فضایی معادل حقیقی یا مجازی است که در آن تحلیل‌گر تلاش می‌کند تا سازمان واقع در جهان را الگوبندی کند. بسته به اینکه از شبیه‌سازی چه هدفی دنبال شود و چه محدودیت‌هایی در به‌کارگیری آن وجود دارد، می‌توان چهار نوع شبیه‌سازی را از یکدیگر تفکیک کرد که در کارهای تجربی به طور منفرد یا جمعی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

^۱ Equivalent porosity column

^۲ Tornado chart

۱- شبیه سازی مولد (نمونه سازی)

۲- شبیه سازی تحلیلی یا تکنیکی

۳- شبیه سازی راهبردی یا پی گیری

۴- شبیه سازی ذهنی یا شهودی

اولین نوع از این شبیه سازی ها زمانی به کار می رود که به هر دلیلی نتوان داده ی نمونه را برای متغیر تحت بررسی به دست آورد، زیرا هنوز وقوع نیافته و یا ثبت نشده است و یا این که نمونه گیری از آن اقتصادی نیست. تنها دانشی که به ما در شبیه سازی کمک می کند، اطلاعات پیرامون جمعیتی است که نمونه گیری باید در آن صورت بگیرد. این نوع شبیه سازی را برای پیش بینی از طریق مدل های رگرسیونی حاوی اختلال های تصادفی نیز می توان به کار برد. برای مثال فرض می کنیم رابطه ی $y = a + bx + cx^2 + e$ بین x ، y و z وجود داشته باشد که در آن y متغیر مورد مطالعه، z متغیری با نمونه ی قابل دسترس، x متغیری مثبت با میانگین x^- و توزیع احتمال مشخص و غیر قابل نمونه گیری و e جمله ی اختلال یا نویز با توزیع نرمال به میانگین μ و واریانس δ^2 است. در این حالت به منظور بررسی رفتار y باید مقدار x و e شبیه سازی شوند.

دومین نوع زمانی مورد استفاده است که سؤال اصلی، نحوه ی رفتار مدل یا متغیر تحت بررسی در صورت بروز تغییری در پارامترهای الگو باشد. برای مثال اگر بخواهیم در رابطه ی $y = a + bx + cx^2$ حساسیت y را نسبت به تغییرات c بسنجیم، می توانیم از طریق ایجاد تغییرات ساختگی، این موضوع را شبیه سازی کنیم.

نوع سوم شبیه سازی، بیشتر در مواقعی به کار گرفته می شود که چگونگی اثر تغییر متغیری تحت کنترل بر متغیر مورد مطالعه مد نظر است. فرض کنید در مثال بالا متغیر x تحت کنترل است، یعنی مقداری که اختیار می کند به تصمیم و اقدام بررسی کننده بستگی دارد و قصد داریم بدانیم اگر آن را از مقدار اولیه x_0 به x_1 تغییر دهیم، چه اتفاقی برای y می افتد.

و بالاخره چهارمین نوع شبیه‌سازی در واقع همان الگوبرداری از فرآیند تصمیم‌گیری مغز انسان در مورد متغیرهای اثرگذار است که پس از نسخه‌برداری در ساخت هوش‌های مصنوعی به کار گرفته می‌شوند. در حقیقت این ذهن، تجربیات و دانش بشر است که شبیه‌سازی می‌شود. در این مورد می‌توان دستگاه‌های شبیه‌سازی پرواز را مثال زد.

روش‌های گروه مونت کارلو در دسته‌ی اول از انواع شبیه‌سازی‌ها گنجانده می‌شود [بهدادسلامی، ۱۳۹۰].

۲-۶ شبیه‌سازی مونت کارلو

عبارت مونت کارلو یک واژه‌ی بسیار عمومی است. روش‌هایی که در این گروه قرار می‌گیرند، از فنون آمار و احتمالات استفاده می‌کنند. این روش‌ها در همه‌ی علوم کاربرد دارند. البته شیوه‌ای که این علوم در بکارگیری روش‌های مونت کارلو دارند، بسیار متفاوت از یکدیگر است، اما همگی یک وجه تشابه دارند، یعنی تمام آنها از اعداد تصادفی برای آزمون و شبیه‌سازی یک پدیده‌ی طبیعی و حقیقی بهره می‌برند. روش مونت کارلو یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه‌ی نتایج استفاده می‌کند. روش‌های مونت کارلو معمولاً برای شبیه‌سازی سیستم‌های فیزیکی، ریاضیاتی و اقتصادی استفاده می‌شوند.

این نوع شبیه‌سازی به دلیل اینکه برای اولین بار در قمارخانه‌های مونت کارلو (شهری در کشور موناکو) به کار گرفته شد، روش مونت کارلو نام گرفته است. از آنجایی که مونت کارلو یک فن برای محاسبه‌ی نااطمینانی موجود در پیش‌بینی یک پیشامد احتمالی است، به آن شبیه‌سازی اعداد تصادفی نیز گفته می‌شود [بهدادسلامی، ۱۳۹۰].

۷-۲ پردازش مونت کارلو (MC)

پردازش مونت کارلو شامل اجرای چند باره‌ی یک محاسبه یا سری محاسبات می‌باشد، به صورتی که هر پارامتر با اندازه‌گیری در محدوده‌ی توزیع آماری مشخصی به صورت تصادفی تغییر کند. از این عملیات نتایج زیادی حاصل می‌شود که توزیع و محدوده‌ی پاسخ‌های ممکن جهت توصیف عدم قطعیت را نشان می‌دهند. تفسیرهای پتروفیزیکی شامل محاسبات بسیار زیادی می‌باشد که یا با استفاده از پردازش قطعی مرحله به مرحله و یا با استفاده از یک راه‌حل بهینه صورت می‌پذیرد.

هنگامی که از روش‌های قطعی استفاده شود، راه‌های متعددی جهت استفاده از پردازش مونت کارلو وجود دارد:

۱- روند کاری واحد یا ماژولار مونت کارلو^۱

۲- پردازش افقی یا قائم^۲

۷-۲-۱ روند کاری واحد یا ماژولار مونت کارلو

اجرای چند باره‌ی هر محله از عملیات با استفاده از ماژول‌های مختلف امکان‌پذیر می‌باشد. خروجی هر مرحله یا بصورت یک توزیع ریاضی مطابق با نتایج و یا یک سری شامل سه منحنی بیشترین شباهت و مقادیر lo و hi نتایج خواهد بود. خروجی‌های مذکور سپس به عنوان ورودی مراحل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، حجم شیل (V_{sh}) در عملیات مونت کارلو اجرا شده و سپس سه منحنی V_{sh} بدست آمده به عنوان ورودی جهت محاسبات تخلخل مورد استفاده قرار می‌گیرند. اجرای این نوع عملیات (ماژولار) آسان است، اما هنگامی که تنها سه منحنی به عنوان خروجی هر مرحله حاصل می‌شود، توزیع واقعی داده‌ها بین مراحل از دست رفته و ادامه‌ی کار بسیار سخت و دشوار خواهد شد. علاوه بر این زمانی که نتایج ماژول‌های مختلف وابسته به یکدیگر در ماژول‌های بعدی

¹ Modular or single work flow monte Carlo

² Horizontal or vertical processing

مورد استفاده قرار گیرد، مشکلات افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، اگر تخلخل و اشباع از آب (S_w) هر دو با استفاده از ستون‌های خطای ممکن محاسبه شده باشند و سپس برای تعیین حجم کلی هیدروکربن برجا مورد استفاده قرار گیرند، عدم قطعیت تخلخل هم در توزیع خطای تخلخل و هم در توزیع خطای اشباع‌شدگی وجود خواهد داشت و این امر باعث می‌شود که ترکیب تخلخل و اشباع‌شدگی که در واقعیت وجود ندارد، در نتایج مونت کارلو دیده شود.

نوع دوم وابستگی پارامترها زمانی رخ می‌دهد که پتروفیزیست مقادیر پارامترها را از لاگ‌ها و یا نمودارهای متقاطع داده‌ها که خروجی مراحل اولیه عملیات هستند، انتخاب کند. مثلاً، اگر m از نمودار پیکت^۱ براساس تخلخل، R_t و R_w انتخاب شود، همواره یک تکرار مونت کارلوی جدید صورت گرفته و داده حرکت می‌کند و ممکن است نقطه دوباره انتخاب شود.

راه حل این مشکل، تفسیر کامل با یک روند کاری واحد در هر تکرار مونت کارلو می‌باشد. این روش پیچیده‌تر بوده و به راحتی اجرا نمی‌شود و به مقدار زیادی حافظه‌ی کامپیوتری نیاز دارد. قدرت اصلی این روش ارائه‌ی یک سری نتایج دارای تفسیر معتبر توسط هر تکرار مجزا می‌باشد. این نتایج می‌توانند براساس محاسبه‌ی نهایی که عموماً هیدروکربن برجا (EHC) و نتایج P_{90} ، P_{50} و P_{10} واقعی را تولید می‌کنند، ذخیره گردند.

۲-۷-۲ پردازش افقی یا قائم

تغییرپذیری دیگر در استفاده از پردازش مونت کارلو در تفسیرهای پتروفیزیکی قطعی، انتخاب زمان تولید اعداد تصادفی به منظور انتخاب مقادیر پارامترها می‌باشد. در مراحل اولیه‌ی توسعه‌ی ماژول، دو روش پردازش افقی و قائم شناسایی شده‌اند. در پردازش افقی، ابتدا فاصله‌های مقادیر لاگ و پارامترها به صورت تصادفی تعریف می‌شود و برای هر افزایش جزئی عمق، سری کامل محاسبات صورت می‌گیرد. این عملیات برای یک عمق خاص تا پیش از جابجایی به یک عمق دیگر و در نتیجه تعریف

¹ Pickett plot

سری جدیدی از فواصل لاگ و پارامتر به صورت تصادفی، بارها صورت گرفته و تمامی نتایج ذخیره می‌گردد. در پردازش قائم نیز ابتدا فاصله‌های مقادیر لاگ و پارامترها به طور تصادفی تعریف شده ولی سپس از آنها برای کل بازه‌ی نمودارگیری استفاده می‌شود. هنگامی که محاسبات به همراه نتایج ذخیره‌شده برای کل بازه اجرا می‌گردد، پیش از هرگونه تکرار ثانویه و سپس اجرا در کل بازه، فواصل مقادیر لاگ و پارامترها دوباره تعریف می‌شوند. پردازش افقی عدم قطعیت تصادفی را به خوبی مدل‌سازی کرده، اما عدم قطعیت سیستماتیک را به صورت مؤثر مدل‌سازی نمی‌کند. پردازش قائم هم عدم قطعیت سیستماتیک را به صورت مؤثر مدل‌سازی کرده و هم تأثیرات عدم قطعیت تصادفی را در نتایج نهایی اندازه‌گیری می‌کند. علاوه بر این، در پردازش افقی نمی‌توان بر روی نتایج، مطالعات حساسیت‌سنجی انجام داد و همچنین نمی‌توان نتایج را بر پایه‌ی درصد (مثل P90، P50 و P10) تعریف کرد.

۲-۷-۳ تعداد تکرارهای مورد نیاز در مونت کارلو

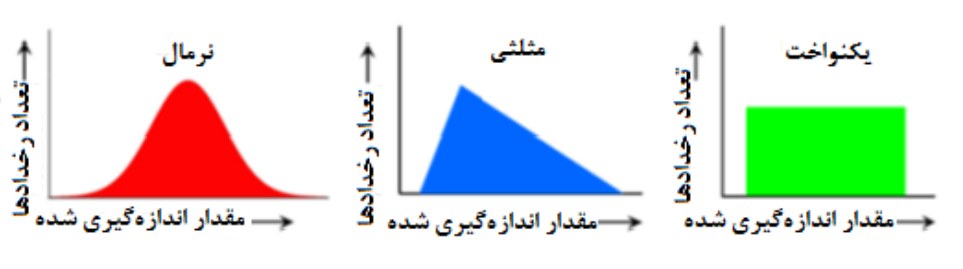
تعداد دفعات لازم جهت تفسیر به عوامل متعددی مثل نوع اجرای عملیات مونت کارلو، پیچیدگی مدل، تعداد پارامترها و اندازه‌گیری‌های غیرقطعی و مقدار پتانسیل خطای مرتبط با پیچیدگی یا ناهمگنی سازند، بستگی دارد. تعداد تکرارهای مورد نیاز در سیستم‌های ماژولار مونت کارلو به علت سادگی نسبی عملیات در هر مرحله، نسبتاً کم است. در عملیات مونت کارلو با روند واحد به علت تعدد پارامترها و لاگ‌های متغیر در تفسیر کلی و در نتیجه افزایش پیچیدگی، به تکرارهای بیشتری جهت پایداری مدل نیاز می‌باشد. پایداری مدل زمانی اتفاق می‌افتد که تعداد تکرارها به قدری زیاد باشد تا در زمان اجرای عملیات کامل، توزیع نتایج تکرار گردد.

اگرچه آنالیز مونت کارلوی قطعی تا ۵۰۰۰ تکرار مجاز است، تصحیحات محیطی به علت دارا بودن متغیرهای کمتر به پردازش کمتری هم نیاز دارند. علاوه بر این، بسیاری از توابع ذاتاً از طریق جداول استاندارد اجرا می‌شوند، که این مسأله در صورت تکرار زیاد، عملیات زمان‌بری خواهد بود. به همین

دلیل این مازول‌ها نهایتاً مجاز به ۱۰۰۰ تکرار می‌باشند. اگرچه ۲۵۰ تا ۵۰۰ تکرار معمولاً کفایت می‌کند.

۲-۷-۴ توزیع پارامترها

اگر مقادیر پارامترهای مورد نظر بر روی یک نقشه‌ی فراوانی ترسیم شوند، توزیع آنها شکلی را ایجاد می‌کند که به آن تابع چگالی احتمال^۱ یا PDF گفته می‌شود. بخشی از عملیات مونت‌کارلو در هر تکرار، انتخاب تصادفی یک مقدار واقعی برای پارامتر مذکور در توزیع می‌باشد. سه نوع توزیع مثلثی، نرمال (یا لاگ نرمال) و یکنواخت در تعیین عدم قطعیت موجود است (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴: انواع توزیع

از توزیع نرمال زمانی که یک مقدار مشابه با عدم قطعیت معادل (یا کمی بیشتر و یا کمتر از آن) وجود داشته باشد، استفاده می‌گردد. این نوع توزیع نسبت به مقدار مبنا متقارن می‌باشد. توزیع لاگ نرمال برای مقادیری که در مقیاس لگاریتمی به صورت نرمال عمل می‌کنند (همانند مقاومت ویژه و تراوایی) به کار می‌رود. به زبان ساده‌تر، توزیع لاگ نرمال، توزیع نرمالی از لگاریتم مقادیر می‌باشد.

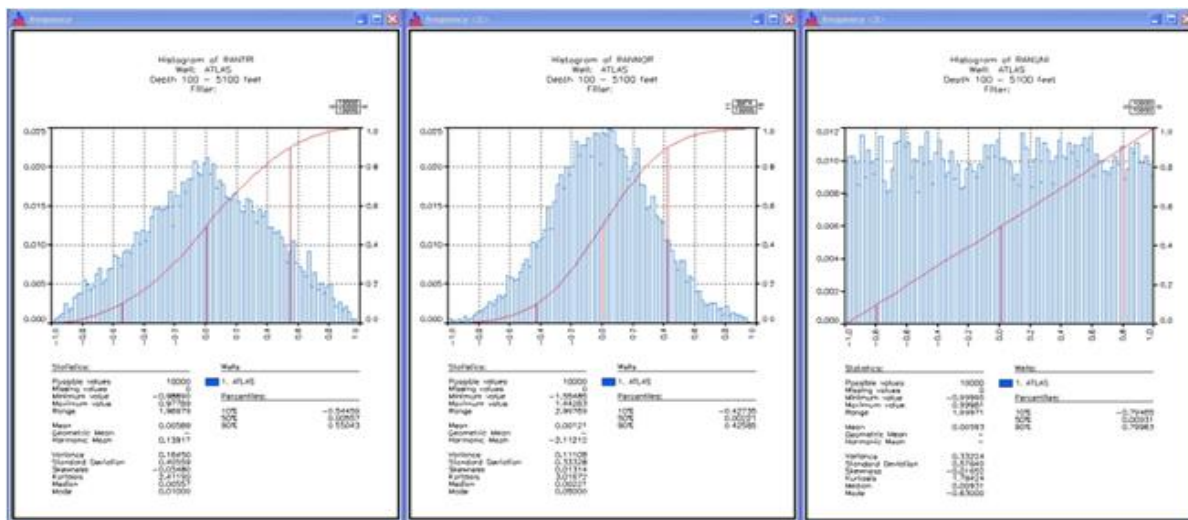
در پتروفیزیک، عدم قطعیت معمولاً نامتقارن است. همانند زمانی که از اشعه‌ی گاما برای شیل استفاده شود. در این حالت مقدار واقعی احتمالاً نمی‌تواند از بیشترین مقدار اشعه گامای ثبت شده کمتر باشد. اما در صورتیکه در فاصله‌ی مذکور در سازند شیلی، شیل واقعی وجود نداشته باشد، می‌تواند بسیار بیشتر باشد. در چنین مواردی از توزیع مثلثی استفاده می‌شود.

¹ Probability density function

اگر مقدار مورد نظر در هر مکانی و با هر محدوده‌ای با هیچ مقداری دارای بیشترین اشتراک احتمالی نباشد، می‌توان از توزیع یکنواخت استفاده کرد.

در تصحیحات محیطی، فرض بر این است که برای عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها از توزیع‌های نرمال و برای عدم قطعیت پارامترها (مثل درجه شوری، دما و غیره) از توزیع مثلی استفاده شود.

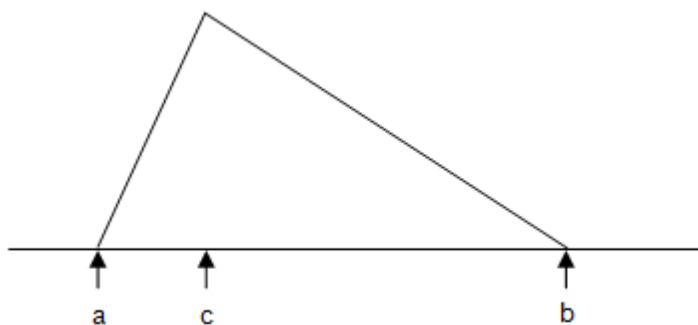
در شکل ۵-۲ نیز نمودار حاصل از هر سه توزیع گفته شده، نشان داده شده است. در این مثال مقادیر min و max به ترتیب بر روی ۱- و ۱+ تنظیم شده و اعداد تصادفی برای ۱۰۰۰۰ نمونه تولید شده است.



شکل ۵-۲: توزیع‌های مثلی، نرمال و یکنواخت حاصل از تولید نمونه‌های تصادفی

۵-۷-۲ توزیع‌های مثلی نامتقارن و خلاصه نتایج مخزن

در اغلب موارد، هنگامی که از توزیع‌های نامتقارن استفاده می‌شود، مقادیر P50 محاسبه‌شده با مورد مبنا یکسان نیستند. علت این امر به طبیعت ویژگی‌های آماری توزیع مثلی باز می‌گردد.



شکل ۶-۲: توزیع مثلثی نامتقارن

در توزیع نشان داده شده در شکل ۶-۲، مقدار مینیمم، b مقدار ماکزیمم و c بیشترین رخداد می‌باشد. به زبان آماری، C مد تمام مقادیر است و میانگین و میانه‌ی آنها از روابط زیر به دست می‌آید:

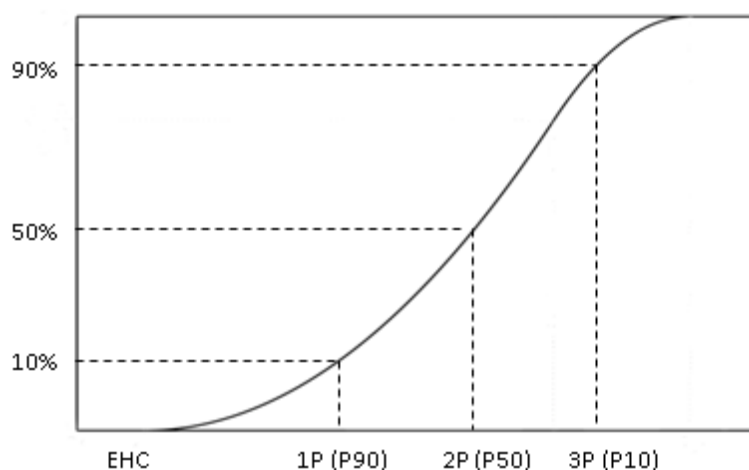
$$\text{میانگین تمامی مقادیر} = \frac{a+b+c}{3} \quad (۱-۲)$$

$$\text{میانه تمام مقادیر} = a + \frac{\sqrt{((b-a)(c-a))}}{\sqrt{2}} \quad c \geq (b+a)/2 \quad (۲-۲)$$

$$= b - \frac{\sqrt{((b-a)(b-c))}}{\sqrt{2}} \quad c < (b+a)/2 \quad (۳-۲)$$

P50 در تعریف، میانه‌ی تمام تکرارهای مونت کارلو بوده و c می‌تواند مورد مبنا (یا همان مُد) باشد. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که P50 همان مورد مبنا باشد. البته این مطلب تا زمانی صحیح است که پارامترها دارای توزیع نرمال نباشند. نتایج براساس ستون هیدروکربن معادل (اگر SW محاسبه شده باشد) و یا ستون تخلخل معادل (در صورتی که SW محاسبه نشده باشد) می‌باشد.

در شکل ۷-۲ توزیع تراکمی مقادیر EHC به همراه نتایج 1P، 2P و 3P نشان داده شده است.

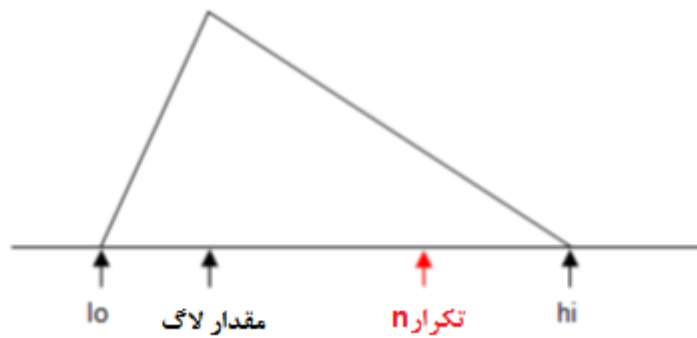


شکل ۷-۲: توزیع تراکمی مقادیر EHC به همراه مقادیر 1P، 2P و 3P در نظر گرفته شده

۷-۲-۶ عدم قطعیت لاگ در پردازش مونت کارلو

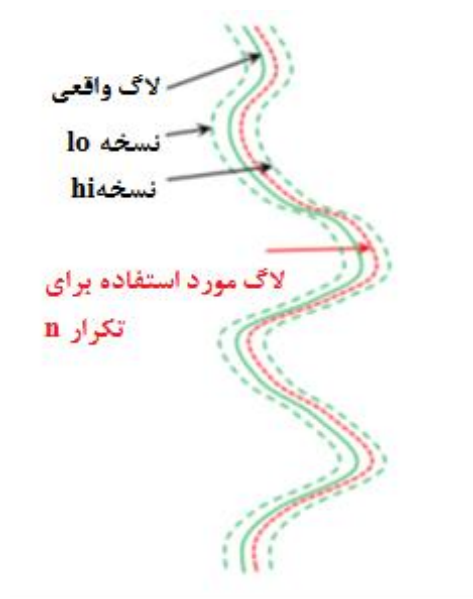
اندازه‌گیری‌های لاگ می‌توانند در معرض نویزهای تصادفی قرار گیرند. اگر نتایج تفسیر نهایی شامل خلاصه فاصله‌های اندازه‌گیری و متوسط ویژگی‌های سازند برای زون مورد نظر باشند، اکثر خطاهای تصادفی حذف خواهند شد. بنابراین در پردازش مونت کارلو، در لاگ‌ها خطاهای سیستماتیک مدل می‌شوند. این خطاها می‌توانند به علت فقدان دقت در اندازه‌گیری‌ها، خطاهای کالیبراسیون و یا عدم قطعیت در پارامترهای مورد استفاده در آفست‌های محیطی باشد. عدم قطعیت سیستماتیک لاگ به صورت سه منحنی قراردادی و نسخه‌های high و low وارد می‌شود. این منحنی‌ها می‌توانند توسط کاربر ایجاد شده و یا خروجی ماژول‌های تصحیحات محیطی باشند.

با در نظر گرفتن مفهوم پردازش قائم، از یک آفست تصادفی مشخص مورد استفاده در کل مقطع جهت انتخاب یک نسخه لاگ در هر تکرار پردازش مونت کارلو استفاده می‌شود. این امر با استفاده از تولیدکننده‌ی اعداد تصادفی جهت انتخاب آفست مذکور امکان‌پذیر می‌باشد. سپس از آن برای تولید سه منحنی جدید بر پایه‌ی موقعیت نسبی بین سه منحنی ورودی استفاده می‌گردد (شکل‌های ۷-۲ و ۷-۹).



شکل ۲-۸: تولیدکننده‌ی اعداد تصادفی، مقدار مشخصی را برای تکرار شماره n انتخاب می‌کند. این مقدار

$(n - \log) / (hi - \log)$ درصد از فاصله بین $\log$ تا hi می‌باشد.



شکل ۲-۹: محاسبه‌ی مقادیر لاگ برای تکرار n در تمام عمق‌ها

۷-۷-۲ آنالیز عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل

عدم قطعیت در یک تفسیر تنها بر اندازه‌گیری‌ها و مقادیر مرتبط با پارامترها تأثیر نمی‌گذارد، بلکه بر روش‌های مورد استفاده جهت تفسیر نیز مؤثر می‌باشد. به عنوان مثال تغییرات بسیار زیادی در معادلات مقاومت ویژه- اشباع‌شدگی به ویژه هنگامی که برای ماسه‌های شیلی به کار می‌روند، وجود

دارد. هر کدام از روش‌ها مجموعه‌ای از نتایج را تولید می‌کند که باید دید کدامیک به واقعیت نزدیک‌ترند. پاسخ این سؤال به طور کلی به ماهیت سازند مورد بررسی و به ویژه ساختار بخش‌های رسانی آن بستگی دارد. هدایت الکتریکی در یک ماسه‌ی شیلی به ساختار شیل‌ها و جهت اندازه‌گیری بستگی دارد. اندازه‌گیری مقاومت ویژه افقی در یک سازند لایه‌ای با اندازه‌گیری قائم آن مقداری متفاوت است. همچنین اندازه‌گیری مذکور با اندازه‌گیری سازند دیگری با همان مقدار شیل، ماسه و سیالات ولی به‌صورتی که شیل‌ها لایه‌ای نباشند، تفاوت دارد. در هر مورد باید از معادلات ماسه‌ی شیلی متفاوتی استفاده شود و فقدان اطلاعات درباره‌ی ساختار شیل‌ها به هنگام انتخاب مدل می‌تواند منجر به عدم قطعیت زیادی شود.

برای اطلاع از تأثیر عدم قطعیت‌های مذکور، به یک مقایسه به منظور نشان دادن نتایج هر مدل نیازمند است تا مشخص گردد که کدام مدل برای سازند کاربردی‌تر می‌باشد. مقایسه باید براساس مدل تفسیری کامل صورت گیرد. به عنوان مثال مقدار هیدروکربن برجا و یا کیفیت سنگ مخزن برای یک زون باید در نظر گرفته شود. در این روش تمام عدم قطعیت‌های تصادفی، سیستماتیک و بر پایه‌ی مدل قابل مشاهده می‌باشد.

اجرای مدل‌های مختلف در حین پردازش مونت‌کارلو، همانند استفاده از گزینه‌های مدل به منظور تعویض از یک تکرار به تکرار دیگر، نتایج مناسبی در اختیار کاربر قرار نمی‌دهد. نشان دادن قطعی اینکه کدام مدل هر زمان اجرا می‌شود نیز دشوار بوده و تأثیرات مدل در توزیع داده‌ها مبهم می‌باشد.

۲-۷-۸ ارزش اطلاعات

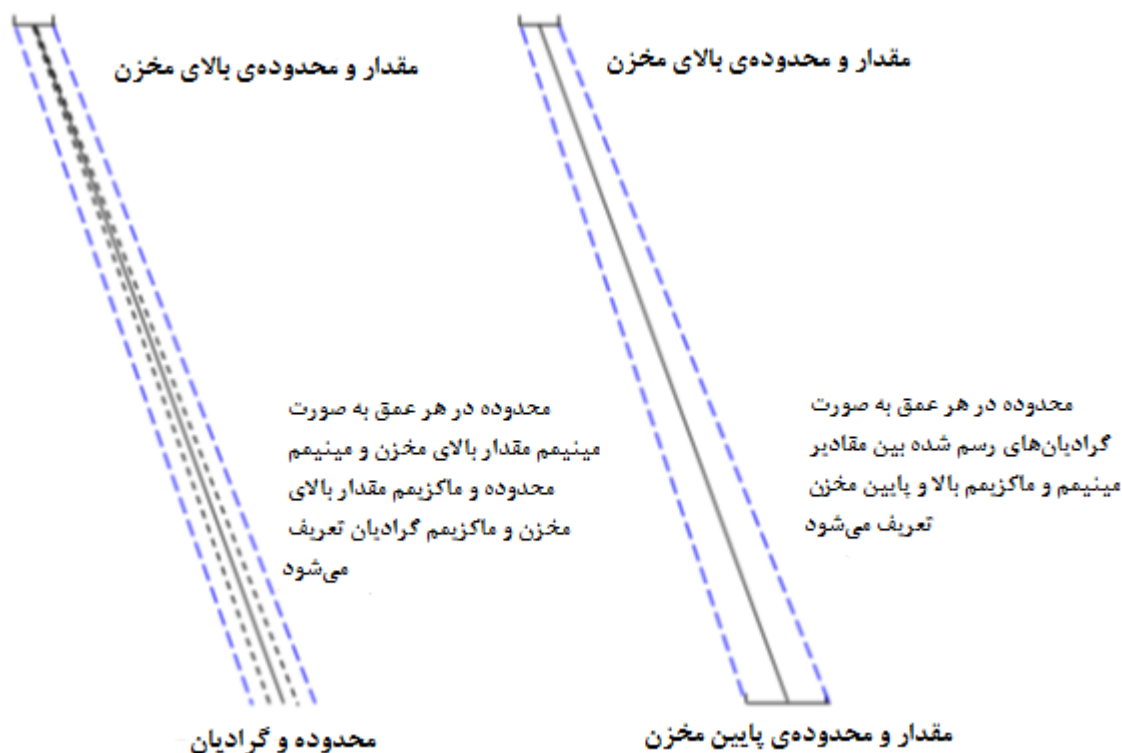
شاید مهم‌ترین انتظار از آنالیز عدم قطعیت بر پایه‌ی مدل، استفاده از نتایج به منظور تعیین ارزش هر نوع اطلاعات اضافی مورد نیاز برای کاهش عدم قطعیت باشد.

در مثال بالا، در خصوص ساختار شیل موجود در سازند ماسه‌ی شیلی، ممکن است به لاگ‌های تصویری یا لاگ‌های القایی چند مؤلفه‌ای و یا مغزه‌گیری به منظور کانی‌شناسی و مطالعه‌ی ویژگی‌های

الکتریکی نیاز باشد. این موضوع می‌تواند بر هزینه‌های کلی ارزیابی بیفزاید، پس لازم است ارزش اطلاعات اضافی با توجه به هزینه‌های پروژه قابل توجیه باشد. در بعضی موارد، در صورتی که عدم قطعیت تأثیری بر اقتصاد پروژه نداشته باشد، هزینه‌های اضافی قابل توجیه نیست، اما در پروژه‌های مرزی که عدم قطعیت می‌تواند تأثیر زیادی بر پروژه داشته باشد، ضروری است که ارزش اطلاعات مورد نیاز به منظور کاهش عدم قطعیت تا حد قابل قبول، مشخص گردد.

۹-۷-۲ محدوده‌ی فشار و دما

هنگامی که خطای ممکن برای دما و فشار تعریف می‌شود، باید روش‌های متفاوتی جهت محاسبه مدنظر قرار گیرد. اگر اندازه‌گیری سر چاه و گرادیان به عنوان ورودی در نظر گرفته شوند، هر دوی آنها به ستون‌های خطا نیاز دارند. اگر اندازه‌گیری‌های سر و ته چاه صورت گرفته باشد، برای هر کدام خطاهای متفاوتی مورد نیاز است. با استفاده از این موضوع، می‌توان محدوده‌ی hi و lo را برای تمامی عمق‌ها به دست آورد (شکل ۲-۱۰).

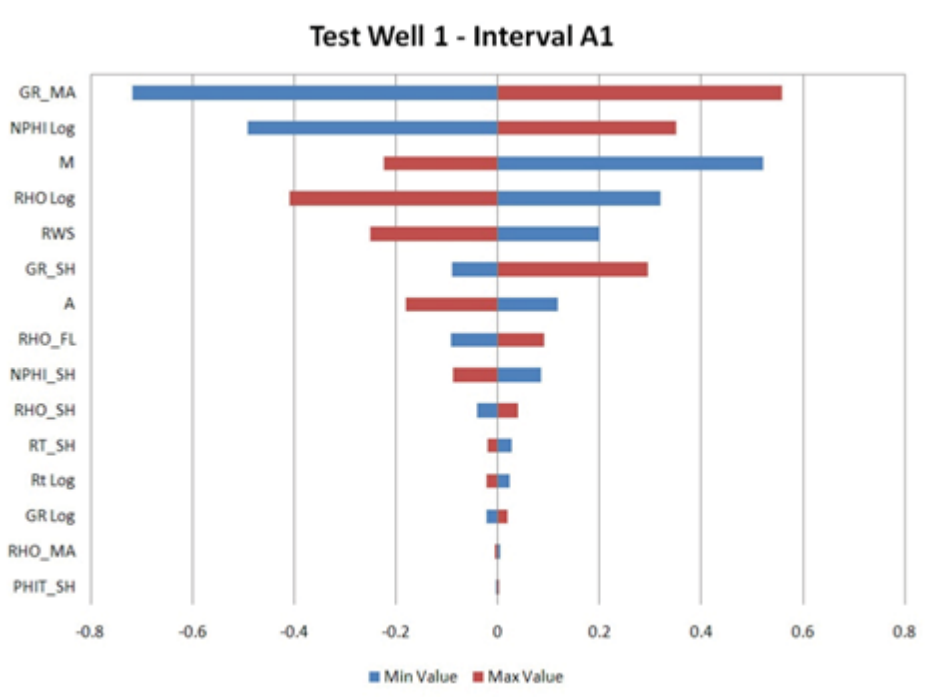


شکل ۲-۱۰: خطاها و گرادیان‌ها برای دما و فشار

۲-۷-۱۰ آنالیز حساسیت‌سنجی و نمودارهای گردبادی

آنالیز حساسیت‌سنجی می‌تواند در پایان پردازش مونت کارلو اجرا شود. این مطلب با اجرای تکرارهای با طرح مونت کارلو به دست می‌آید، اما به جای تغییر تصادفی تمامی پارامترها، هرکدام از آنها در یک زمان در یک سری از تکرارها، ابتدا در مقدار ماکزیمم و سپس در مقدار مینیمم خود تنظیم می‌شوند. برای هر تکرار، تفاوت میان مقادیر به دست آمده و مورد مبنای EHC، محاسبه شده و از این تفاوت‌ها محدوده‌ی کامل تغییرات EHC مرتبط با هر پارامتر محاسبه می‌گردد. اندازه‌ی هر محدوده، رتبه‌بندی شده و از جزئیات پارامترها و لاگ‌های مخصوص استفاده می‌گردد و میزان تأثیرات آنها بر EHC، در یک جدول گزارش، نمایش داده می‌شود. این جدول شامل اطلاعات مورد نیاز برای رسم یک نمودار گردبادی است که یک نمونه از آن در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است. طول ستون‌ها تأثیر نسبی هر متغیر بر نتیجه را یا با استفاده از مقادیر ماکزیمم و یا مینیمم مشخص کرده و در واحدهای حقیقی

EHC یا EPC اندازه‌گیری می‌کند. این نمودار هنگامی مفید است که تأثیر متغیرهای مختلف بر نتایج، آنالیز شده و شناسایی نواحی نیازمند بیشترین توجه انجام شود.



شکل ۲-۱۱: یک نمودار گردبادی ایجاد شده توسط نتایج آنالیز حساسیت‌سنجی

۲-۸ تعیین عدم قطعیت قطعی مونت کارلو

ماژول Determin MC، اکثر ماژول‌های Determin (روش قطعی) موجود در نرم‌افزار Geolog را با استفاده از پردازش مونت‌کارلو اجرا کرده و به کاربر اجازه‌ی تعیین عدم قطعیت‌ها و توزیع‌های عدم قطعیت اغلب متغیرها و مقادیر لاگ را می‌دهد. تفسیر می‌تواند تا ۱۰۰۰ بار به همراه مقادیر متغیرها و لاگ‌های انتخابی از توزیع‌های تعیین شده از هر تکرار به صورت تصادفی، اجرا شود.

عدم قطعیت‌های پارامترها بسته به نوع متغیر یا روش اندازه‌گیری یا به صورت خطاهای low_side و high_side و یا به صورت درصد‌های مقادیر اندازه‌گیری وارد می‌شود. عدم قطعیت لاگ‌ها نیز به صورت سه منحنی قراردادی و نسخه‌های high و low وارد می‌شود. نسخه‌های high و low می‌توانند

توسط کاربر تولید شده و یا همانند این مطالعه، خروجی تصحیحات محیطی مونتاژ کارلو باشند. منحنی حقیقی مورد استفاده در هر تکرار به صورت تصادفی از توزیع به دست آمده، حاصل می‌شود.

ماژول طوری طراحی شده است که پس از تکمیل یک تفسیر قطعی قراردادی، اجرا شود. در ماژول، تمامی پارامترهای ورودی Determin با توزیع‌ها و ستون‌های خطای ورودی توسط کاربر به منظور بدست آوردن توزیعی از نتایج ممکن، ترکیب می‌شوند. همواره آخرین تکرار با استفاده از پارامترهای ورودی اولیه برای تفسیر، مورد مبنا (base case) را تشکیل می‌دهد.

فصل سوم

داده‌های چاه‌پیمایی و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه

۳-۱ منطقه‌ی مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه مربوط به اطلاعات چاه‌پیمایی دو حلقه چاه A و B حفر شده در یکی از میدان‌های نفتی جنوب غربی ایران، در زون زاگرس واقع در فروافتادگی دزفول می‌باشد.

۳-۲ داده‌های مورد استفاده در مطالعه

در جدول ۳-۱ اسامی لاگ‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر برای دو چاه A و B ارائه شده است. دو پارامتر انتهایی جدول (CORE_POR و CORE_PERM) برای هر دو چاه، اطلاعات تراوایی و تخلخل حاصل از آنالیز مغزه می‌باشند. در ادامه نیز تفسیر مختصری از لاگ‌ها و مغزه‌ی حفاری مورد استفاده در مطالعه، بیان شده است.

جدول ۳-۱: اطلاعات مورد استفاده در دو چاه A و B

چاه	عمق (متر)	داده‌های لاگ										داده‌های مغزه	
A	2445.2- 2796.7	CALI	BS	GR	DT	RHOB	DRHO	SNP	LLD	LLS	PML	POR	PERM
B	2555.7- 2860.8	CALI	BS	GR	DT	RHOB	DRHO	NPHI	LLD	LLS	MLL	POR	PERM

۳-۳ تفسیر لاگ‌های برداشت شده و اطلاعات مغزه‌ی حفاری

در این بخش تفسیر مختصری از لاگ‌ها و اطلاعات مغزه‌ی حفاری مورد استفاده در این مطالعه ارائه شده است.

۳-۳-۱ لاگ اشعه‌ی گاما (GR)

این نگار، بازتابی از میزان رادیواکتیویته‌ی طبیعی موجود در سنگ‌ها است. از آن جایی که تجمعات بالای رادیواکتیو عموماً در لایه‌های شیلی می‌باشد، در نتیجه قرائت این ابزار بیشتر تحت تأثیر این

لایه‌ها قرار دارد. در دو چاه مورد مطالعه، میزان قرائت این لاگ در قسمت‌های بالای چاه تا حدودی نسبت به قسمت‌های انتهایی آن بیشتر است. این مطلب نشان‌دهنده‌ی بالا بودن تجمعات رادیواکتیو و در نتیجه بالا بودن حجم شیل در قسمت‌های بالای چاه است. در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ این لاگ برای هر دو چاه در ستون اول از سمت چپ رسم شده و چون عموماً این لاگ بیانگر میزان شیل در چاه می‌باشد، میزان قرائت این لاگ با نماد شیل نشان داده شده است.

۲-۳-۳ لاگ قطر سنج دیواره‌ی چاه (CALI)

از این نمودار برای اندازه‌گیری قطر داخلی چاه باز و یا تغییرات ایجاد شده در پوشش جداری چاه‌ها استفاده می‌شود. قرائت‌های بالای این لاگ نسبت به سایز مته‌ای که چاه را حفاری نموده است (BS)، نشان‌دهنده‌ی عریض‌تر شدن قطر چاه و یا ریزش دیواره‌ی چاه است که عموماً با توجه به خصوصیات لایه‌های شیلی، این ریزش‌ها در مناطقی که میزان شیل بالا باشد، افزایش می‌یابد. همچنین قرائت کمتر این ابزار نسبت به سایز مته، بیانگر کاهش قطر چاه می‌باشد. این امر نیز با ایجاد کیک گل بر روی دیواره‌ی چاه رخ می‌دهد. تغییرات اندازه‌گیری این ابزار در دو چاه مورد مطالعه به این صورت است که در چاه A قرائت این ابزار به جز در برخی فواصل کوتاه در قسمت‌های بالای چاه که افزایش داشته، در سایر فاصله‌ها تقریباً با سایز مته برابر بوده است. در چاه B این ابزار در قسمت‌های بالای چاه قرائت‌های بالایی داشته که نشان می‌دهد ریزش در چاه B نسبت به چاه A بسیار بیشتر بوده است. این مطلب بر روی قرائت سایر نمودارهای این چاه نیز تأثیر منفی خواهد گذاشت. این لاگ در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ در ستون اول از سمت چپ قرار دارد.

۳-۳-۳ لاگ صوتی (DT)

لاگ صوتی یکی از لاگ‌های محاسبه‌ی تخلخل در چاه است. این لاگ با اندازه‌گیری سرعت صوت در لایه‌ها به دست می‌آید. هرچه سرعت صوت در لایه کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی بالا بودن میزان تخلخل در سازند است. این لاگ در هر دو چاه، در قسمت‌های بالای آن دارای تغییرات زیادی بوده و مقدار آن

بیشتر است ولی قرائت آن در قسمت‌های پایین، کمتر می‌باشد که نشان می‌دهد در قسمت‌های پایین هر دو چاه، تخلخل بیشتری داریم. این لاگ در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ بعد از تراک عمق^۱ و در ستون سوم از سمت چپ قرار دارد.

۳-۳-۴ لاگ نوترون (NPHI)

اساس اندازه‌گیری این لاگ در سازند، میزان هیدروژن موجود در سنگ‌های سازند می‌باشد. این لاگ نیز یکی از لاگ‌های اندازه‌گیری تخلخل به شمار می‌رود. هیدروژن، در سیالات (آب و هیدروکربور) سازند وجود دارد و وجود آن مبین وجود سیال در سازند می‌باشد. این لاگ در هر دو چاه از بالا تا پایین توالی مخزنی مورد مطالعه دارای تغییرات زیادی است. همچنین شرکت‌های مختلف سازندهی این ابزار، اسامی مختلفی برای آن در نظر گرفته اند، اما اساس کار آن‌ها با یکدیگر تفاوتی ندارد. در چاه A این لاگ به نام SNP و در چاه B به نام NPHI برداشت شده است و در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ در ستون چهارم از سمت چپ قرار دارد.

۳-۳-۵ لاگ چگالی (RHOB)

این لاگ نیز از جمله لاگ‌های اندازه‌گیری تخلخل به شمار می‌رود. چگالی یک خصوصیت فیزیکی سنگ و سیال است. اساس کار این لاگ نیز پرتو گاما می‌باشد و از پاسخ برگشتی حاصل از گامای تابیده شده به سازند، چگالی آن اندازه‌گیری می‌شود. در دو چاه مورد مطالعه، این لاگ در قسمت‌های بالای هر دو چاه، قرائت بالایی در حدود 3 g/cm^3 و بیشتر را نشان می‌دهد. این میزان قرائت، عموماً مربوط به کانی انیدریت است. در ادامه، قرائت این لاگ در توالی هر دو چاه، در قسمت‌های بالایی دارای تغییرات زیادی بوده و در قسمت‌های پایین هر دو چاه تغییرات آن کمتر می‌باشد و در برخی فواصل قرائت پایینی دارد که نشان‌دهندهی پایین بودن چگالی سنگ و در نتیجه بالا بودن تخلخل در این فواصل است. این لاگ در ستون چهارم از سمت چپ در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ قرار دارد.

¹ Depth

۳-۳-۶ لاگ اختلاف دانسیته (DRHO)

این لاگ که همراه با لاگ چگالی برداشت می‌شود، میزان قرائت لاگ چگالی را از لحاظ صحت برداشت و قابل قبول بودن قرائت این لاگ کنترل می‌کند. به این صورت که اگر قرائت لاگ DRHO از مقدار استاندارد آن (± 0.25) تجاوز کند، نشان دهنده‌ی شرایط بد در چاه بوده و در نتیجه قرائتی که لاگ چگالی در این فواصل دارد، قرائت قابل قبولی نخواهد بود. در دو چاه مورد مطالعه، این لاگ در قسمت‌های بالای چاه در برخی فواصل از میزان استاندارد تجاوز کرده و بیانگر شرایط بد در چاه است. این لاگ در ستون چهارم از سمت چپ شکل‌های ۳-۱ و ۳-۲ قرار دارد.

۳-۳-۷ لاگ‌های مقاومت ویژه

قرائت لاگ‌های مقاومت ویژه تحت تأثیر سیال سازند می‌باشد. این لاگ‌ها تنوع زیادی دارند و نوع برداشت آنها با توجه به سیال حفاری موجود در چاه با یکدیگر متفاوت است. در دو چاه A و B با توجه به این که سیال حفاری پایه آبی بوده، لاگ‌های مقاومت ویژه‌ی جانبی برداشت شده است که شامل لاگ‌های LLD، LLS و MSFL می‌باشد. لاگ LLD لاگ مقاومت ویژه‌ی ناحیه عمیق سازند است که نسبت به دو لاگ مقاومتی دیگر، عمق بیشتری از سازند را اندازه‌گیری می‌کند و تقریباً قرائت این لاگ از بخش‌هایی از سازند است که سیال حفاری نتوانسته درون آن نفوذ کند. در چاه A و B قرائت این لاگ در قسمت‌های ابتدایی که لاگ چگالی هم قرائت بالایی دارد، بالا بوده و سپس قرائت آن تا حدودی پایین می‌آید و در قسمت‌های انتهایی هر دو چاه نیز دوباره قرائت‌های بالایی را نشان می‌دهد.

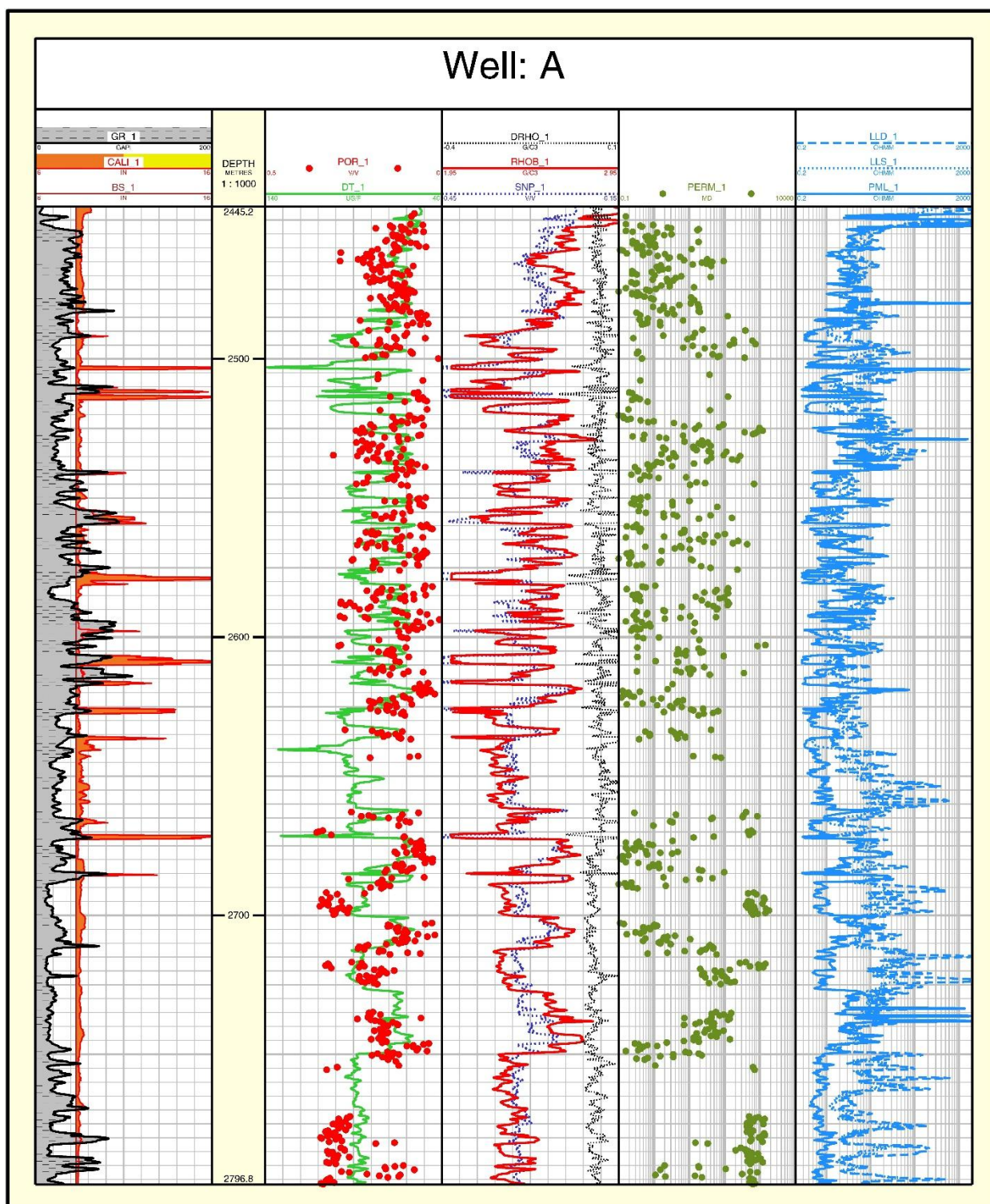
لاگ LLS که لاگ مقاومت ویژه‌ی کم عمق سازند می‌باشد، عمق نفوذ کمتری نسبت به لاگ LLD دارد. این لاگ تقریباً قسمت‌هایی از سازند را که سیال سازند و سیال حفاری با هم ترکیب شده اند، اندازه‌گیری می‌کند. در دو چاه مورد مطالعه، روند اندازه‌گیری این لاگ تقریباً شبیه به قرائت لاگ LLD می‌باشد.

لاگ MSFL مقاومت قسمتی از سازند را اندازه‌گیری می‌کند که تقریباً سیال حفاری جایگزین سیال سازندی شده و به زون شسته شده معروف است. با توجه به اسامی متفاوت این لاگ در شرکت‌های مختلف سازنده‌ی ابزار آن، در چاه A این لاگ با نام PML و در چاه B به نام MML در کنار سایر لاگ‌ها برداشت شده است. قرائت این لاگ در هر دو چاه با مقادیر بسیار پایین‌تر نسبت به دو لاگ مقاومتی دیگر همراه بوده و تقریباً روندی مشابه با آنها دارد. سه لاگ مقاوت ویژه نیز در ستون ششم شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ ترسیم شده اند.

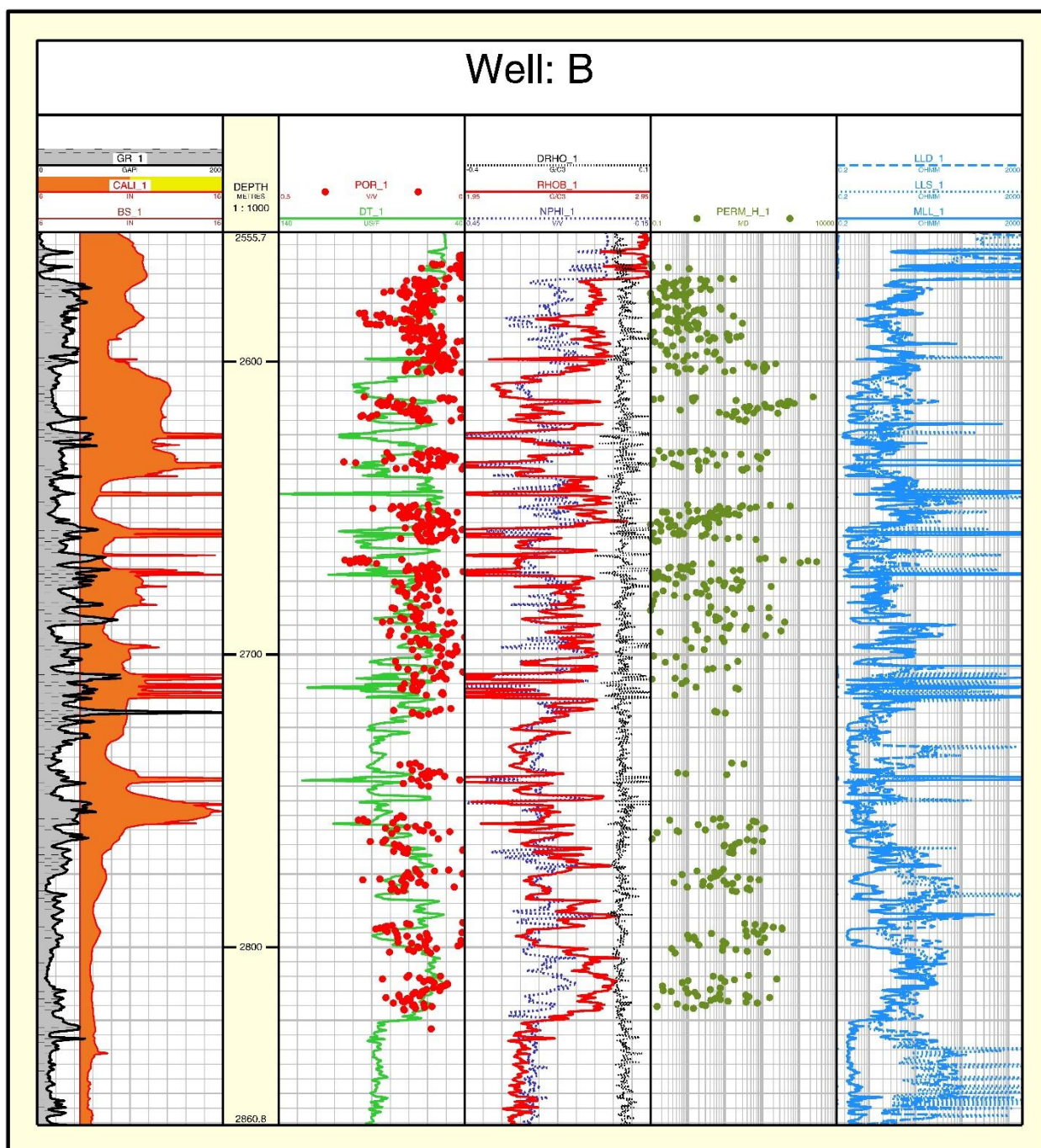
۳-۳-۸ داده‌های مغزه‌ی حفاری

قابل اعتمادترین داده‌های چاه‌های نفتی/گازی، داده‌های حاصل از آنالیز مغزه‌ی حفاری است. این داده‌ها با توجه به پرهزینه بودن عملیات مغزه‌گیری، معمولاً در تعدادی از چاه‌ها و در فواصل بخصوصی از قسمت‌های مخزنی برداشت می‌شود. از بین اطلاعات زیادی که از آنالیز مغزه به‌دست می‌آید، اندازه‌گیری تخلخل و تراوایی مغزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا این دو پارامتر از اساسی‌ترین پارامترهای مخزنی می‌باشند. خوشبختانه در دو چاه مورد مطالعه، اندازه‌گیری تخلخل و تراوایی مغزه در دسترس می‌باشد و از این اطلاعات می‌توان برای اعتبارسنجی آنالیزهای نهایی استفاده کرد. البته با توجه به این که عمق اندازه‌گیری پارامترهای حاصل از مغزه عموماً دارای خطا می‌باشد (به علت این که به صورت پیوسته برداشت نمی‌شود)، این داده‌ها را باید با لاگ‌های تخلخل برداشت شده در چاه مطابقت داد^۱ تا خطای عمقی آنها تصحیح شود. اندازه‌گیری این دو پارامتر نیز در قسمت‌های بالای چاه همانند لاگ‌های تخلخل، دارای تغییرات زیاد بوده و در قسمت‌های انتهایی چاه تغییرات آنها کم شده و میزان تخلخل و تراوایی بالاتری نسبت به فواصل دیگر نشان می‌دهند. داده‌های تخلخل مغزه (Core_Por) در ستون سوم و در کنار لاگ صوتی و اطلاعات تراوایی مغزه نیز در ستون پنجم از سمت چپ در شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳ ترسیم شده است.

^۱ Depth matching



شکل ۱-۳: لاگ‌های برداشت شده در چاه A



شکل ۲-۳: لاگ‌های برداشت شده در چاه B

در شکل های ۱-۳ و ۲-۳ که لاگ‌های موجود و مورد استفاده در دو چاه A و B را نمایش می‌دهند، از سمت چپ: ستون اول شامل لاگ‌های گاما (GR)، کالیپر (CALI) و سایز مته حفاری (BS)، ستون دوم شامل عمق (Depth)، ستون سوم شامل لاگ‌های صوتی (DT) و تخلخل مغزه‌ی حفاری (Core_por)، ستون چهارم شامل لاگ چگالی (RHOB)، لاگ نوترون (NPHI) و لاگ اختلاف

چگالی (DRHO)، ستون پنجم تراوایی مغزه‌ی حفاری (Core_perm) و ستون ششم شامل لاگ‌های مقاومت ناحیه‌ی عمیق (LLD)، مقاومت ناحیه‌ی کم عمق (LLS) و مقاومت ناحیه‌ی شسته شده در چاه A (PML) و در چاه B (MLL) می‌باشد.

۳-۴ اطلاعات زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۴-۱ میدان نفتی مورد مطالعه

اکتشاف میدان مورد مطالعه در سال ۱۳۳۵ صورت گرفته است. این میدان ساختاری تاقدیسی دارد و تقریباً از آخرین بخش‌های ناحیه‌ی چین‌خورده‌ی زاگرس به حساب می‌آید. این تاقدیس کم و بیش متقارن، بر روی یک هورست که در طبقات قدیمی‌تر اتفاق افتاده است، قرار دارد. مخزن اصلی در این میدان سازند آسماری است و مخزن بنگستان (ایلام و سروک) در درجه‌ی دوم تقریباً در عمق ۳۰۰۰ متری واقع است. نفت آسماری در این میدان ۳۲/۶ درجه‌ی API و مقدار گوگرد آن ۱/۵ درصد بوده، نفت ایلام دارای ۲۹ درجه‌ی API و مقدار گوگرد ۳/۵ درصد و نفت سازند سروک در این میدان دارای ۲۶ درجه‌ی API و مقدار سولفور ۱/۳ درصد می‌باشد. علاوه بر مخازن فوق، مقداری گاز از خامی فوقانی (داریان و گدوان) این میدان در سال ۱۳۵۶ کشف گردیده است، ولی برآورد اخیر ابعاد مخزن نشان داده است که داریان حاوی ۲۱۳ میلیون بشکه نفت و سازند فهلیان حاوی ۵۲۰ بیلیون فوت مکعب گاز به صورت برجا می‌باشد. این میدان از سال ۱۳۴۰ وارد تولید شده و تا سال ۱۳۵۷ حدوداً ۲/۷۸ بیلیون بشکه تولید نموده است. حجم ذخیره‌ی اولیه‌ی قابل استحصال آن برابر با ۱۰/۱ بیلیون بشکه برآورد شده است و میزان برآورد گاز گنبدی آن ۱۳ تریلیون فوت مکعب بوده است. تعداد چاه-های حفاری‌شده در این میدان تا سال ۱۳۸۸ جمعا ۴۵۰ حلقه چاه می‌باشد [مطیعی، ۱۳۸۹].

۳-۴-۲ سازند مخزنی مورد مطالعه

سازند مخزنی مورد مطالعه در این تحقیق، سازند آسماری می‌باشد.

سازند آهکی آسماری مهم‌ترین و جوان‌ترین سنگ مخزن پهنه‌ی زاگرس است و به همین دلیل، مطالعات گسترده‌ای بر روی خواص سنگ‌چینه‌ای این سازند انجام شده است.

نام این سازند از کوه آسماری در جنوب خاور مسجد سلیمان اقتباس و برش الگوی آن در تنگ گل‌ترش همین کوه اندازه‌گیری شده است. در برش الگو، سازند آسماری با ۳۱۴ متر ضخامت، شامل سنگ آهک‌های مقاوم کرم تا قهوه‌ای رنگ با ریخت‌شناسی کوه‌ساز است که کمی میان‌لایه‌های شیلی دارد و به داشتن درزه‌ی فراوان شاخص است. در بیشتر نقاط، مرز پایینی آسماری، سازند پابده است و در همه جا، سازند آسماری با سازند انیدریتی گچساران پوشیده می‌شود. گفتنی است که ویژگی‌های برش الگوی این سازند تنها در فروافتادگی دزفول قابل قبول است که با اندکی تغییر در لرستان نیز قابل تعقیب می‌باشد. در برش‌های کامل، سازند آسماری دارای دو عضو است، یکی عضو ماسه‌سنگی اهواز در جنوب باختری و دیگری عضو تبخیری کلهر در لرستان. البته در میدان‌های نفتی مسجد سلیمان، هفتگل و پارس، یک واحد انیدریتی در قاعده‌ی آسماری دیده می‌شود. از نظر سنی سازند آسماری از الیگوسن شروع شده و تا بوردیگالین از میوسن پایینی ادامه می‌یابد [آقانباتی، ۱۳۸۳].

۳-۴-۳ توان اقتصادی زاگرس

وجود میدان‌های عظیم گاز و نفت سبب شده است تا زاگرس یکی از نفت‌خیزترین حوضه‌های رسوبی جهان باشد. میدان‌های گازی زاگرس را می‌توان به دو واحد بزرگ گروه دهرم و جوان‌تر از دهرم تقسیم کرد. میدان‌های گازی گروه دهرم (سازندهای فراقون، دالان و کنگان)، بیشتر از نوع میدان‌های بسیار عظیم و عظیم اند که از آن جمله می‌توان به ذخایر پارس جنوبی، پارس شمالی، کنگان، نار، آغار، دالان و وراوی اشاره کرد. مهم‌ترین میدان‌های گازی جوان‌تر از دهرم عبارتند از: میدان‌های تنگ بیجار در سازند سروک، سرخون در سازند چهارم و عضو گوری، گورزین در سازند آسماری، سلخ در سازندهای سروک و فهلین، گشوی جنوبی در سازندهای سروک، پایده و آسماری و سورو در سازندهای گدوان و داریان [آقانباتی، ۱۳۸۳].

فصل چهارم

محاسبه‌ی عدم قطعیت پارامترهای پترو فیزیکی مخزن

مورد مطالعه

۴-۱ مقدمه

مطالعه‌ی خواص سنگ‌ها و ارتباط آنها با سیالاتی که درون آنها هستند، هدف اصلی مطالعات پتروفیزیکی است. ارزیابی پتروفیزیکی که همان علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نمودارهای چاه‌پیمایی است، یکی از مهمترین فاکتورها در تعیین ویژگی‌های سنگ مخزنی هیدروکربوری است. علاوه بر موارد فوق عواملی چون وضعیت هندسی مخزن، دما و فشار سازند و سنگ شناسی مخزن می‌تواند نقش مهمی در ارزیابی، تکمیل و بهره‌برداری از مخزن را ایفا کند.

امروزه ارزیابی کیفیت مخزن و توصیف ویژگی‌های آن از اهمیت ویژه‌ای در صنعت نفت برخوردار است. ارزیابی پتروفیزیکی شامل تعیین خواص پتروفیزیکی سنگ مخزن (تخلخل، تراوایی، اشباع شدگی، حجم شیل و تعیین لیتولوژی) با استفاده از پردازش و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی می‌باشد. نتایج این‌گونه مطالعات به عنوان داده‌های مرتبط با لایه‌های زیرسطحی، برای مدل‌سازی مخزن هیدروکربوری و حوضه‌ی رسوبی به کار می‌روند.

به همین دلیل در این مطالعه تلاش بسیار زیادی صورت گرفت تا تخمین صحیحی از پارامترهای پتروفیزیکی و به‌خصوص دو پارامتر اشباع‌شدگی و تراوایی به دست آید.

در مطالعه‌ی حاضر که بر روی سازند مخزنی آسماری، یکی از مهمترین سنگ مخزن‌های کشور و خاورمیانه صورت گرفته است، از طریق تعیین عدم‌قطعیت لاگ‌های پتروفیزیکی با استفاده از روش آنالیز مونت‌کارلو، محاسبه‌ی دقیقی از پارامترهای پتروفیزیکی این سازند انجام شد و نتایج به‌دست آمده با نتایج پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه‌شده به دو روش قطعی و احتمالی نیز مورد مقایسه قرار گرفت.

۴-۲ روش کار و داده‌های مورد استفاده

مطالعه‌ی حاضر به منظور تعیین عدم قطعیت‌های داده‌های لاگ و محاسبه‌ی دقیق پارامترهای پتروفیزیکی سازند آسماری در دو چاه واقع در یکی از میادین جنوب غربی ایران صورت گرفته است. مراحل آماده‌سازی داده‌ها به این صورت بود که ابتدا داده‌های این دو چاه که هم شامل داده‌های لاگ و هم شامل داده‌های مغزه با فرمت‌های las و xlsx بودند، در نرم‌افزار Geolog بارگذاری شده و کیفیت برداشت داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و داده‌های لاگ و مغزه از لحاظ عمقی با یکدیگر مطابقت داده شدند. سپس با استفاده از اطلاعات سربرگ نمودارهای چاه^۱، مرحله‌ی پیش محاسباتی^۲ صورت گرفت. در این مرحله اطلاعات مربوط به شرایط دما، فشار و گل حفاری در توالی سازند مورد بررسی، محاسبه شدند. در مرحله‌ی بعد، تصحیحات محیطی بر روی لاگ‌ها صورت گرفت تا نویزها و تأثیر شرایط درون چاه از قرائت لاگ‌ها حذف گردد. سپس با استفاده از نمودار متقاطع تعیین لیتولوژی نوترون/چگالی، کانی‌های موجود در توالی سازند آسماری در دو چاه A و B تعیین گردید.

پس از مرحله‌ی آماده‌سازی داده‌ها، مرحله‌ی ارزیابی داده اجرا شد، به این صورت که ابتدا ارزیابی داده‌ها به روش قطعی صورت گرفت و پارامترهای پتروفیزیکی، مرحله به مرحله محاسبه شدند. پس از ارزیابی به روش قطعی، مرحله‌ی اصلی مطالعه یعنی تعیین عدم قطعیت داده‌های لاگ و محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی به روش مونت کارلو اجرا گردید. در این مرحله ابتدا با استفاده از مازول تصحیحات محیطی موجود در این قسمت که بر اساس آنالیز مونت کارلو عمل می‌کند، لاگ‌ها از لحاظ شرایط محیطی تصحیح و مقادیر ماکزیمم یا حداکثر (hi) و مینیمم یا حداقل (lo) برای هر لاگ محاسبه شد. سپس با استفاده از لاگ تصحیح شده و مقادیر hi و lo این لاگ‌ها که میزان عدم قطعیت را برای آن لاگ بیان می‌کند، پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو محاسبه و میزان عدم قطعیت این پارامترها نیز تعیین شد. همچنین به همراه محاسبه‌ی عدم قطعیت پارامترهای

¹ Header log

² precalc

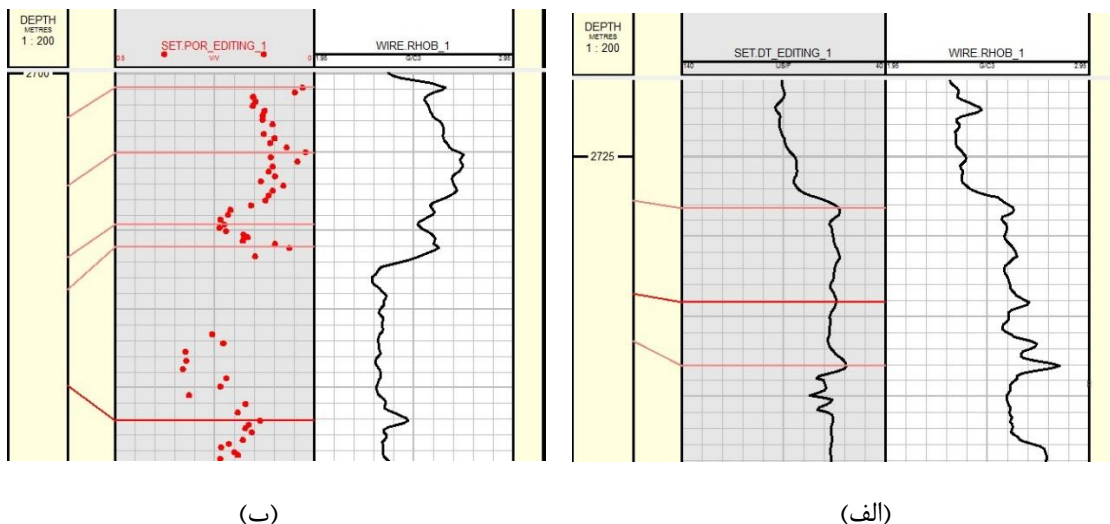
پتروفیزیکی مخزن، زون‌های تولیدی نیز در توالی سازند آسماری در هر دو چاه مورد مطالعه مشخص شدند. در مرحله‌ی آخر به منظور اعتبارسنجی و مقایسه‌ی جامع ارزیابی صورت‌گرفته، پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش قطعی و روش قطعی مونت‌کارلو، با نتایج پارامترهای پتروفیزیکی این دو چاه که به روش احتمالی محاسبه شده و در دسترس قرار گرفته بود، مقایسه شدند.

۳-۴ آماده‌سازی داده‌ها

پس از بارگذاری داده‌های لاگ و مغزه‌ی مربوط به دو چاه A و B در نرم‌افزار Geolog، ابتدا کیفیت لاگ‌ها مورد بررسی قرار گرفت و تمام لاگ‌ها از لحاظ عمقی با یکدیگر تطابق^۱ داده شدند. همچنین عمق برداشت اطلاعات تخلخل و تراوایی مغزه نیز با اطلاعات لاگ‌ها تطابق داده شد. در مرحله‌ی هم عمق سازی لاگ‌ها، در مخازن ماسه سنگی، لاگ گاما (GR) به عنوان لاگ مبنا و در مخازن کربناته و دارای سنگ شناسی تشکیل شده از کانی‌های مختلف، لاگ چگالی (RHO) به عنوان لاگ مبنا قرار می‌گیرد [فضلی و باقری، ۱۳۹۳].

در دو چاه مورد مطالعه، با توجه به اطلاعات زمین شناسی سازند و میدان مورد مطالعه که از نوع کربناته و متشکل از کانی‌های مختلف می‌باشد، لاگ چگالی به عنوان لاگ مبنا در نظر گرفته شد و سایر لاگ‌ها و داده‌های مغزه نسبت به این لاگ هم عمق شدند. شکل ۴-۱ مرحله هم عمق سازی داده‌های لاگ و مغزه را به عنوان نمونه در چاه A نشان می‌دهد.

¹ Depth shifting



شکل ۱-۴: مرحله‌ی ویرایش داده‌ها، (الف) تطابق لاگ با لاگ و (ب) تطابق مغزه با لاگ

در شکل ۱-۴ (الف) ستون سمت راست لاگ چگالی (RHOB) را نشان می‌دهد که به عنوان لاگ مبنا در نظر گرفته شده است و لاگ صوتی (DT) که در ستون سمت چپ کنار آن ترسیم شده است با آن از لحاظ عمقی بررسی می‌شود. در این جا با استفاده از پیک‌های شارپ بر روی دو لاگ و عمق قرائت این پیک‌ها، آنها را با هم مقایسه کرده و در صورتی که دو پیک شارپ در روی دو لاگ از لحاظ عمقی برابر نباشند، پیک لاگ صوتی را با پیک لاگ چگالی هم عمق می‌کنیم.

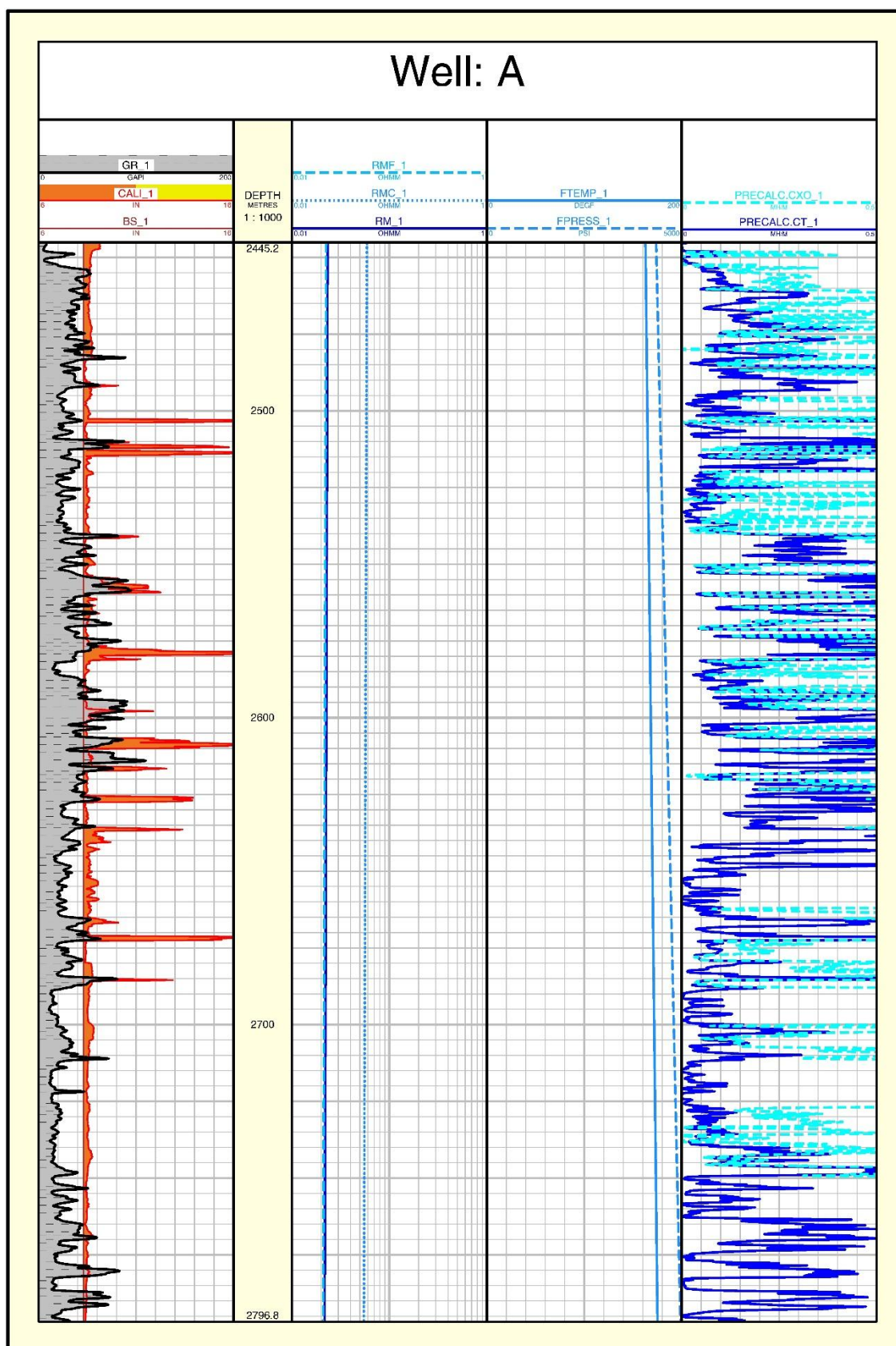
در شکل ۱-۴ (ب) در ستون سمت راست همانند شکل ۱-۴ (الف) لاگ چگالی به عنوان لاگ مبنا ترسیم شده است. در ستون سمت چپ این شکل، لاگ تخلخل مغزه‌ی حفاری (Core_por) ترسیم شده است. این مرحله‌ی هم عمق‌سازی داده‌ی مغزه و لاگ^۱ نیاز به دقت بیشتری دارد، زیرا داده‌های مغزه به صورت نقطه‌ای برداشت شده است و هم عمق‌سازی آنها با داده‌های پیوسته‌ی لاگ اندکی دشوارتر خواهد بود.

در مرحله‌ی بعد با استفاده از اطلاعات سربرگ نمودارهای چاه، مرحله‌ی پیش محاسباتی به جهت محاسبه‌ی پارامترهای مربوط به دما، فشار و شرایط گل حفاری موجود در توالی مورد ارزیابی، اجرا

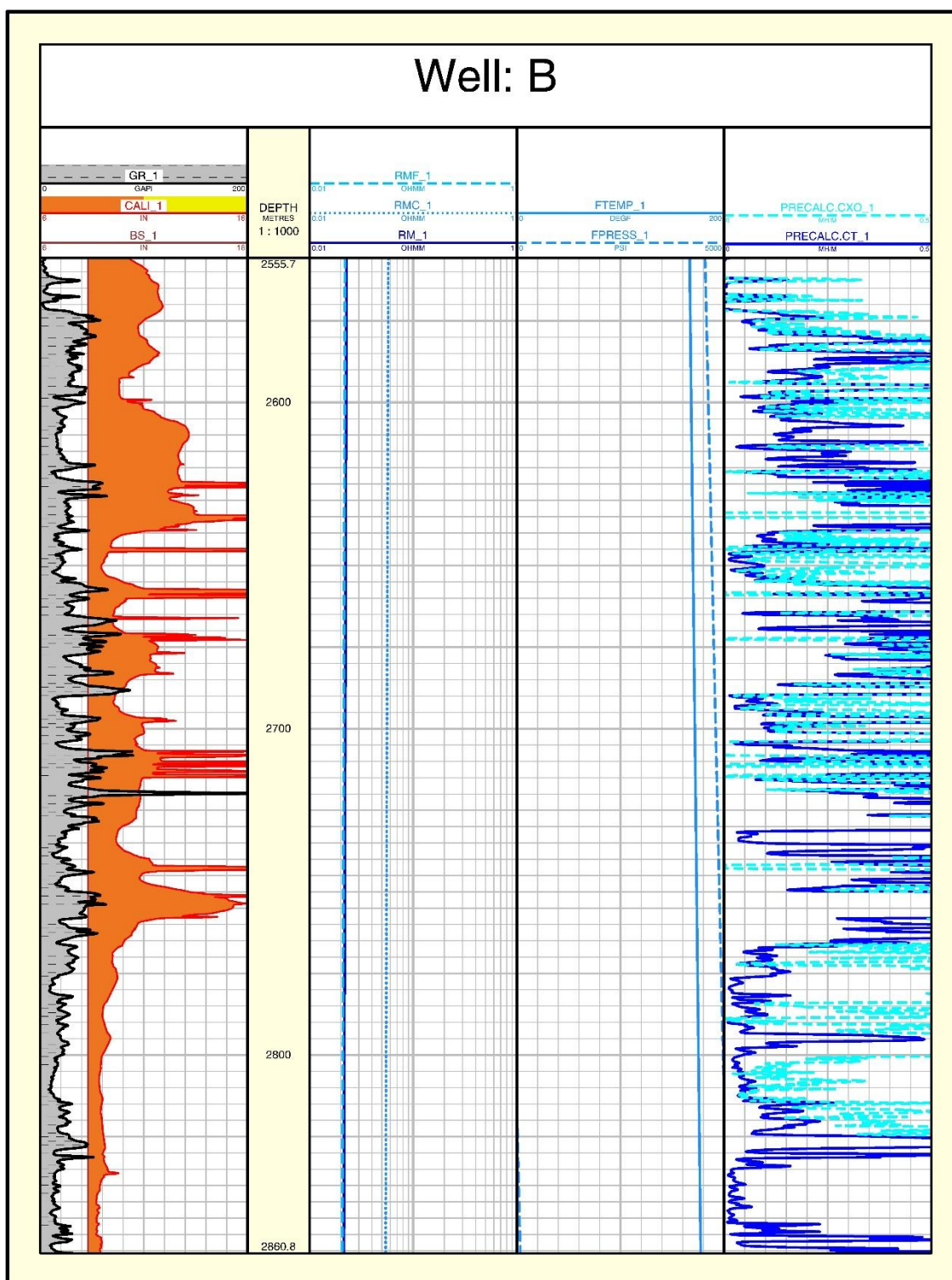
¹ Depth Matching

شد. در این مرحله پارامترهایی که باید از آنها استفاده شود شامل عمق ابتدا و انتهای توالی مورد بررسی به همراه دمای این نقاط، چگالی گل حفاری^۱، و همچنین مقاومت ویژه و درجه حرارت نمونه گل، نمونه فیلتره‌ی گل و نمونه کیک گل در چاه مورد مطالعه هستند. لاگ‌هایی که در این مرحله از آنها استفاده می‌شود نیز شامل عمق مورد بررسی، لاگ قطرسنج دیواره‌ی چاه، لاگ چگالی (RHOB) و لاگ مقاومت ویژه‌ی ناحیه‌ی عمیق (RT) که معادل LLD است و لاگ مقاومت ویژه‌ی ناحیه‌ی کم عمق سازند (RXO) که معادل MLL و PML در چاه‌های مورد مطالعه است، می‌باشد. درنهایت در این مرحله اطلاعات مربوط به درجه حرارت و فشار و همچنین اطلاعات مربوط به گل حفاری در توالی چاه‌های مورد مطالعه به صورت لاگ در اختیار قرار می‌گیرد. همچنین دو لاگ رسانایی ناحیه‌ی عمیق سازند (CT) و رسانایی ناحیه‌ی کم عمق سازند (CXO) که مقادیر آنها، معکوس مقادیر مقاومت این نواحی هستند، در توالی چاه محاسبه شدند. از این اطلاعات به‌دست آمده، در مراحل تصحیحات محیطی بر روی لاگ‌ها و همچنین برای ارزیابی و محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی استفاده می‌شود. شکل های ۲-۴ و ۳-۴ لاگ‌های محاسبه شده در توالی دو چاه A و B را نمایش می‌دهد.

¹ Drilling fluid density



شکل ۴-۲: نتایج اجرای مرحله‌ی پیش محاسباتی در چاه A



شکل ۴-۳: نتایج اجرای مرحله‌ی پیش محاسباتی در چاه B

در دو شکل ۴-۲ و ۴-۳ مربوط به نتایج مرحله‌ی پیش محاسباتی، از سمت چپ ستون اول شامل لاگ سایز مته (BS)، لاگ قطر سنج دیواره‌ی چاه (CALI) و لاگ گاما (GR) است. ستون دوم عمق

توالی مورد بررسی را نشان می‌دهد. ستون سوم لاگ‌های مقاومتی گل، کیک گل و فیلتره‌ی گل است که این اطلاعات به صورت لاگ در توالی مورد مطالعه، محاسبه شده اند. ستون چهارم مربوط به دو لاگ درجه حرارت سازند (FTEMP) و فشار سازند (FPRESS) می‌باشد که این دو لاگ با شیب ملایمی به سمت قسمت‌های پایین چاه افزایش می‌یابند. البته این امر طبیعی است زیرا با افزایش عمق، درجه حرارت و فشار نیز افزایش می‌یابد. البته موارد استثنایی نیز گاهی ممکن است اتفاق افتد که از این قاعده پیروی نکند، مانند وجود یک گسل یا وجود لایه‌هایی با فشارهای بالا، ولی به‌طور کلی روند این دو لاگ در اکثر چاه‌ها با شیب ملایمی به سمت اعماق افزایش می‌یابند. در ستون آخر یا ستون پنجم نیز دو لاگ رسانایی منطقه‌ی عمیق سازند (CT) و رسانایی منطقه‌ی کم عمق سازند (CXO) وجود دارد. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، این دو لاگ معکوس مقاومت سازند در این دو منطقه می‌باشد و از لاگ‌های مقاومتی عمیق و کم عمق محاسبه می‌شود.

در مرحله‌ی آماده‌سازی داده‌ها، پس از بارگذاری، تصحیح، ویرایش و همچنین انجام مرحله‌ی پیش محاسباتی، تصحیحات محیطی لاگ‌ها انجام می‌شود. در این مرحله، لاگ‌ها از لحاظ شرایط درون چاه تصحیح می‌شوند و شرایط درون چاه از قرائت لاگ‌ها حذف می‌گردد و نویزها در قرائت لاگ‌ها به حداقل مقدار خود می‌رسد تا محاسبه‌ی دقیق‌تری از پارامترهای پتروفیزیکی در دسترس قرار گیرد.

محیط در چاه‌پیمایی به تمام عوامل موجود در اطراف سوند اطلاق می‌شود که بر روی قرائت ابزار تأثیر داشته باشد. شناخت این عوامل تأثیرگذار بر نمودارگیری به منظور اجرای تصحیحات لازم جهت ارزیابی پتروفیزیکی نمودارها و انجام محاسبات، ضروری می‌باشد [Serra, 1984].

تصحیحات محیطی با استفاده از روابط موجود در نمودارهای مخصوص و در خود نرم‌افزار پتروفیزیکی Geolog صورت گرفته و برای تک‌تک لاگ‌های برداشت شده اجرا گردید. لاگ‌های برداشت شده در دو چاه مورد مطالعه مربوط به شرکت شلومبرژه می‌باشد، در نتیجه از نمودارهای تصحیح مربوط به این

شرکت که در نرم‌افزار مذکور موجود است، استفاده شد و لاگ‌های تصحیح شده برای مراحل ارزیابی و محاسبه‌ی دقیق‌تر پارامترهای پتروفیزیکی در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفتند.

۴-۴ تعیین سنگ‌شناسی

نمودار متقاطع نوترون-چگالی، بهترین حد تفکیک کانی‌های مختلف سازند را در بین نمودارهای دوتایی دارد [Brock, 1986].

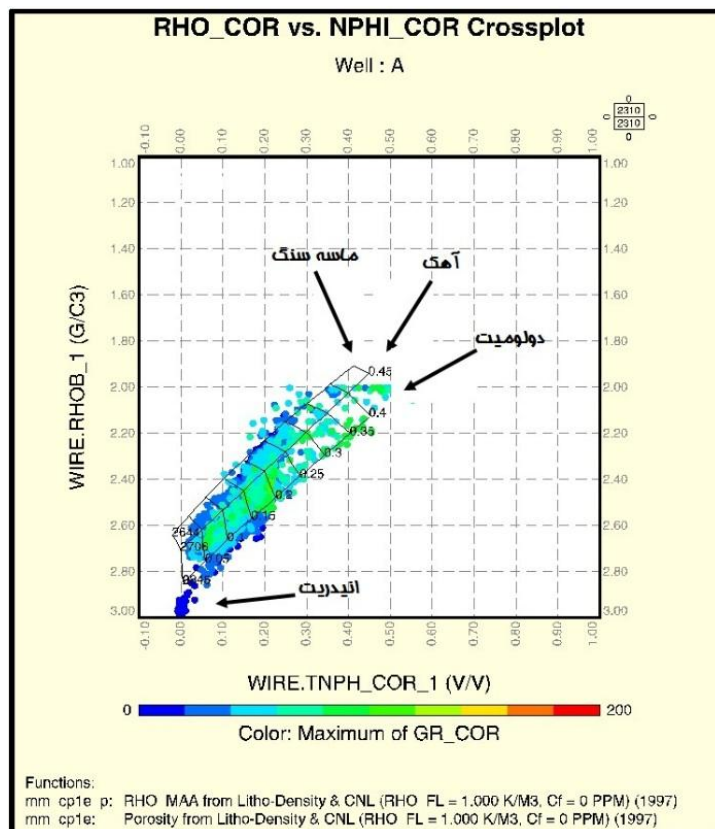
همچنین این نمودار متقاطع بهترین تشخیص تخلخل را در بین سایر نمودارهای متقاطع داراست [Fertl, 1987].

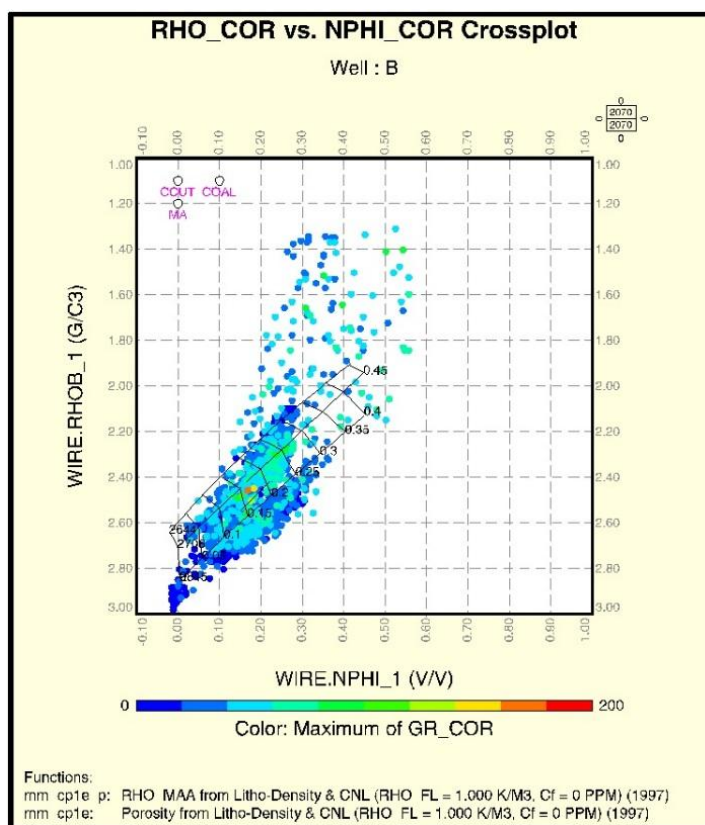
در این نمودار، محل قرارگیری نقطه با توجه به فاصله‌ی نقطه از خطوط ماتریکس، نشانگر درصد لیتولوژی است [رضایی و چهارزی، ۱۳۸۹].

در این روش که تعیین سنگ‌شناسی با استفاده از دو نگار می‌باشد، سه جزء اصلی سنگ‌های رسوبی (ماسه سنگ، آهک و دولومیت) به وسیله‌ی خطوطی در روی نمودار متقاطع ترسیم شده از دو نگار نوترون و چگالی، قابل شناسایی است. در این نمودار متقاطع، سه منحنی مربوط به لیتولوژی‌های آهک، ماسه و دولومیت ترسیم شده اند که به آنها خطوط ماتریکس گفته می‌شود. جداسازی خطوط ماتریکس در این نمودار خوب بوده و از این رو برای تعیین لیتولوژی مطلوب می‌باشد. برای مشخص کردن درصد کانی‌ها، چگالی و تخلخل نوترونی به سادگی رسم شده و فاصله‌ی نقطه از خط ماتریکس نشان‌دهنده‌ی درصد کانی می‌باشد. شیل‌ها نیز در این نمودار متقاطع به دو صورت قابل تشخیص هستند. وجود کانی‌های رسی (شیل‌ها) سبب کشیده شدن پراکندگی داده‌ها به طرف راست و پایین می‌شود. همچنین نوار رنگی پایین نمودار نیز که بر مبنای میزان مواد رادیواکتیو می‌باشد، این کانی‌ها را شناسایی می‌کند، زیرا تمرکز مواد رادیواکتیو در لایه‌های شیلی بالاست. یکی دیگر از کانی‌هایی که در این نمودار متقاطع می‌توان تشخیص داد، کانی انیدریت است که از قرائت پایین نمودار نوترون با قرائت نزدیک به صفر (به دلیل پایین بودن میزان تخلخل در این کانی) و بالا بودن

قرائت نمودار چگالی با قرائت نزدیک به 3 g/cm^3 (به دلیل فشردگی بالا و کم بودن فضای خالی و در نتیجه چگالی بالا) در این کانی قابل تشخیص است.

قبل از استفاده از نمودار نوترون - چگالی (شکل ۴-۴) به منظور تعیین لیتولوژی و تخلخل در چاه‌های مورد مطالعه، دو نمودار نوترون و چگالی از لحاظ کیفیت برداشت و تطابق عمقی در چاه کنترل شد و تصحیحات محیطی بر روی آنها صورت گرفت. پس از انجام این مراحل، از قرائت های ویرایش شده و تصحیح شده‌ی این دو لاگ (چگالی و نوترون) به منظور تعیین لیتولوژی و تخلخل در دو چاه A و B استفاده شد.





شکل ۴-۴: نمودار متقاطع نوترون-چگالی برای دو چاه A و B

با توجه به نمودارهای متقاطع دو چاه A و B و خطوط لیتولوژی مشخص شده روی نمودار، ترکیب سنگ‌شناسی توالی سازند آسماری، مخلوطی از آهک، ماسه‌سنگ، دولومیت و نیز مقادیری انیدریت می‌باشد. همچنین با توجه به نوار رنگی پایین نمودار که بر اساس میزان رادیواکتیویته‌ی سازند (لاگ گاما) می‌باشد، مشاهده می‌شود که مقدار کمی لایه‌های شیلی در توالی این سازند، در هر دو چاه وجود دارد.

۴-۵ ارزیابی پتروفیزیکی

ارزیابی پتروفیزیکی در حقیقت همان علم پردازش و تفسیر اطلاعات حاصل از نگارهای چاه‌پیمایی و تطبیق آن با نتایج حاصل از مغزه و آزمایش‌های چاه به منظور شناسایی زون‌های مخزنی و تعیین کیفیت آنهاست و از دو جنبه دارای اهمیت می‌باشد [پناهی و همکاران، ۱۳۹۳]:

۱- تشخیص محدوده‌های مناسب از نظر پتانسیل هیدروکربوری و مشخص نمودن مناسب‌ترین

روش‌ها جهت بهره‌برداری بهینه در دراز مدت و به حداقل رساندن هزینه‌های اکتشاف، بهره

برداری و توسعه.

۲- کاربرد به عنوان ابزاری در مدل‌سازی مخزن، پیش‌بینی میزان تولید و چگونگی عملکرد مخزن

در حین تولید به منظور مدیریت و صیانت از مخازن نفتی.

در این مطالعه دو روش زیر برای محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی مخزن مورد استفاده قرار گرفته

است:

۱- روش قطعی

۲- روش عدم قطعیت قطعی

۴-۵-۱ ارزیابی به روش قطعی

این روش نسبت به سایر روش‌ها قدمت بیشتری دارد و به صورت مرحله به مرحله، پارامترهای

پتروفیزیکی مخزن را با استفاده از تعداد محدودی لاگ محاسبه می‌کند. از مزایای این روش می‌توان

به داشتن راه حل واحد و پارامترهای آنالیزی ثابت آن اشاره نمود. این روش معایبی اساسی نیز دارد.

اول اینکه از تعداد محدودی نگار می‌تواند استفاده کند و تعداد خطای تصادفی استفاده از این نگارها،

از تعداد نگارها بیشتر است. بنابراین روش‌های قطعی، اغلب تفسیری با کیفیت پایین را ارائه می‌دهند.

علاوه بر آن، در این روش عملاً در معادلات، پاسخ ابزارها از قرائت بخش‌های دارای پاسخ‌های ضعیف،

تحت پوشش یک مدل ساده، چشم پوشی می‌شود. یعنی در هر مرحله از فرآیندهای زنجیره‌ای این

روش، گرایش زیادی به سمت فقط یکی از خصوصیات سازند احساس می‌شود و منشأ آن به یک یا دو

ابزار نمودارگیری بازمی‌گردد. مثلاً پاسخ امواج گاما اغلب به عنوان تابعی از حجم شیل مطرح می‌شود

و اثر دولومیت‌های رادیواکتیو، کانی‌های فلدسپات، فیلتر گل حفاری و یا گل حاوی کلرید پتاسیم بر آن

در نظر گرفته نمی‌شود [فضلی و باقری، ۱۳۹۳].

در ادامه، پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از این روش محاسبه خواهند شد.

۴-۵-۱-۱ محاسبه‌ی حجم شیل با استفاده از روش قطعی

رایج‌ترین روش محاسبه‌ی حجم شیل، استفاده از قرائت ابزار رادیواکتیویته (GR , SGR , CGR ...) است که در این میان CGR به دلیل حساسیت بیشتر نسبت به توریم و پتاسیم سازند، دقت بالاتری جهت محاسبه‌ی حجم شیل دارد. رابطه‌ی زیر محاسبه‌ی حجم شیل را با استفاده از لاگ CGR بیان می‌کند.

$$V_{sh} = \frac{CGR - CGR_{min}}{CGR_{max} - CGR_{min}} \quad (1-4)$$

که در آن V_{sh} حجم شیل، CGR قرائت لاگ گاما، CGR_{min} حداقل قرائت لاگ گاما در توالی مورد بررسی و CGR_{max} حداکثر قرائت لاگ گاما در توالی مورد بررسی است که در زون شیلی خواهد بود. در دو چاه A و B از رابطه‌ی خطی و با استفاده از لاگ گاما (GR)، میزان حجم شیل محاسبه شد. بر این اساس مقدار حجم شیل (V_{sh}) در چاه‌های A و B به ترتیب 0.2141 و 0.1784 (v/v) به دست آمد.

۴-۵-۱-۲ محاسبه‌ی تخلخل با استفاده از روش قطعی

روش‌های مختلفی جهت محاسبه‌ی تخلخل به کار می‌رود که به نوع نگارهای موجود بستگی دارد. برای محاسبه‌ی تخلخل، عمدتاً از نگارهای نوترون، صوتی و چگالی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از یک و یا ترکیبی از چند نگار به این منظور استفاده نمود.

در توالی دو چاه مورد مطالعه، این پارامتر توسط سه لاگ تخلخل چگالی، نوترون و صوتی محاسبه شد. به این صورت که ابتدا تخلخل اولیه توسط لاگ صوتی (DT) محاسبه شد و با استفاده از رابطه‌ی زیر تخلخل تصحیح شده حاصل گردید:

$$\phi_{son_{shc}} = \left[\frac{\Delta T_{shc} - \Delta T_{ma}}{\Delta T_{FI} - \Delta T_{ma}} \right] \times (1 - V_{sh}) \quad (۲-۴)$$

در این رابطه: ΔT_{sh} مدت زمان عبور صوت در شیل، V_{sh} حجم شیل، ΔT_{sh} مدت زمان تصحیح شده‌ی عبور صوت در عمق‌های مختلف، $\phi_{son_{shc}}$ تخلخل تصحیح شده‌ی ابزار صوتی می‌باشد. در مرحله‌ی بعد، تخلخل کل که شامل تخلخل اولیه و ثانویه می‌باشد، توسط دو لاگ نوترون و چگالی از طریق معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$\phi_{N-D} = \frac{[(\rho_b - \rho_{m1})\phi_{N2} - \phi_N(\rho_{m2} - \rho_{m1})]}{[(\rho_F - \rho_{m1})\phi_{N2} - (\rho_{m2} - \rho_{m1})]} \quad (۳-۴)$$

در این رابطه ρ_b پاسخ لاگ چگالی، ρ_{m1} چگالی ماتریکس کانی m_1 ، V_1 درصد کانی m_1 ، ρ_{m2} چگالی ماتریکس کانی m_2 ، V_2 درصد کانی m_2 ، ρ_F چگالی سیال سنگ، ϕ تخلخل سنگ، ϕ_N پاسخ لاگ نوترون، ϕ_{N1} پاسخ لاگ نوترون به کانی m_1 ، ϕ_{N2} پاسخ لاگ نوترون به کانی m_2 و ϕ_{NF} پاسخ لاگ نوترون به سیال سنگ می‌باشد.

در نهایت از اختلاف تخلخل‌های محاسبه شده در دو روش مورد استفاده، میزان تخلخل ثانویه نیز مشخص می‌شود. میزان تخلخل کل و مؤثر محاسبه شده در چاه A به ترتیب ۰/۲۰۵۷ و ۰/۱۱۹۶ (v/v) و در چاه B به ترتیب ۰/۲۰۷۳ و ۰/۱۳۶۰ (v/v) محاسبه شد.

۴-۵-۱-۳ محاسبه‌ی اشباع آب و هیدروکربور به روش قطعی

با توجه به این که رابطه‌ی آرچی برای سازندهای تمیز و عاری از شیل طراحی شده است و سازند مورد مطالعه‌ی این تحقیق در بخش‌هایی دارای لایه‌های شیلی می‌باشد، در این جا از رابطه‌ی ایندونیازا که از روابط مورد استفاده در سازندهای حاوی کانی‌های رسی می‌باشد، استفاده شده است.

این رابطه توسط پوپان و لوکس ارائه شده است. در این روش، اشباع آب از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد [Poupon and Leveaux, 1971].

$$S_w = \left[\frac{R_w}{R_t} \times \frac{R_{sh}}{(V_{sh}^{1-V_{sh}/2} \sqrt{R_w + \phi_e^{m/2}} \sqrt{R_{sh}})^2} \right]^{1/n} \quad (4-4)$$

در این رابطه S_w اشباع شدگی آب، R_w مقاومت آب سازندی، R_t مقاومت واقعی سازند، R_{sh} مقاومت شیل، V_{sh} حجم شیل، Φ تخلخل، m ضریب سیمان شدگی و n توان اشباع شدگی هستند. کسر باقیمانده از اشباع آب ($1-S_w$) شامل حجم هیدروکربور (نفت و گاز) است که به نام اشباع هیدروکربور مخزن (Sh) خوانده می‌شود.

میانگین اشباع آب مؤثر در توالی دو چاه A و B به ترتیب ۰/۷۶۴۱ و ۰/۸۲۶۶ (v/v) محاسبه گردید.

۴-۱-۵-۴ محاسبه‌ی تراوایی به روش قطعی

برخی روابط تجربی جهت محاسبه‌ی تراوایی وجود دارد که بیشتر تحت تأثیر میزان تخلخل مخزن، تراوایی را محاسبه می‌کنند. یکی از این معادلات، معادله‌ی Coates-Dumanoir است که به صورت زیر بیان شده است [Coates Dumanoir, 1974].

$$PERM_{COATES_DUM} = ((CONST_CD / W^4) * (PHIE^W / SWE_IRR^W)) \quad (5-4)$$

که در آن ثابت معادله ($CONST_CD$) برابر با ۳۰۰ در نظر گرفته می‌شود. $PHIE$ تخلخل مؤثر و SWE_IRR اشباع آب کاهش نیافتی است. این پارامتر نیز از اطلاعات مغزه‌ی حفاری در دسترس قرار می‌گیرد. در صورتی که این پارامتر در دسترس نباشد، معمولاً در معادله یک عدد ثابت برای آن در نظر گرفته می‌شود. در دو چاه مورد مطالعه نیز مقادیر متعددی برای آن در نظر گرفته شد و در نتیجه بهترین مقداری که برای آن به دست آمد، مقدار ۰/۲ می‌باشد. W نیز پارامتری وابسته به شرایط بافتی سنگ می‌باشد. این پارامتر که فاکتور اشباع‌شدگی نام دارد، تابعی از دو فاکتور m (ضریب سیمان‌شدگی) و n (ضریب یا توان اشباع‌شدگی) بوده و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$W = 0.75m + 0.25n \quad (۴-۶)$$

در اینجا با استفاده از معادله‌ی تجربی Coates-Dumanoir، تراوایی در توالی سازند آسماری در دو چاه A و B محاسبه شده است. میانگین این پارامتر در دو چاه به ترتیب ۱۹۸/۶۴۰۷ و ۳۰۳/۴۰۸۱ میلی‌داری به دست آمد. جدول ۴-۱ میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش قطعی را ارائه می‌دهد.

جدول ۴-۱: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در دو چاه مورد مطالعه به روش قطعی

Well Name	Vsh (v/v)	PHIE (v/v)	PHIT (v/v)	SPI (v/v)	SWE (v/v)	Perm (md)	Vol-Oil (v/v)
Well-A	0.2141	0.1196	0.2057	0.0147	0.7641	198.6407	0.0467
Well-B	0.1784	0.136	0.2073	0.0473	0.8266	303.4081	0.0387

۴-۵-۲ ارزیابی به روش شبیه‌سازی مونت کارلو

عبارت مونت کارلو یک واژه‌ی بسیار عمومی است و روش‌هایی که در این گروه قرار می‌گیرند از فنون آمار و احتمالات استفاده می‌کنند. در مخزن مورد مطالعه در دو چاه A و B از این الگوریتم برای محاسبه‌ی عدم قطعیت لاگ‌های برداشت شده از توالی مخزنی این دو چاه و همچنین برای محاسبه‌ی عدم قطعیت پارامترهای پتروفیزیکی در دو چاه مذکور استفاده شد. در ادامه، روند محاسبات در این الگوریتم شرح داده شده است.

۴-۵-۲-۱ آماده سازی داده‌ها و محاسبه‌ی عدم قطعیت لاگ‌ها به روش مونت

کارلو

در پردازش مونت کارلو، خطاهای سیستماتیک لاگ‌ها مدل می‌شوند. عدم قطعیت سیستماتیک لاگ به صورت سه منحنی قراردادی (اندازه‌گیری اولیه) و مقادیر حداکثر (hi) و حداقل (lo) لاگ با تعداد تکرار محاسبات در روش مونت کارلو محاسبه می‌شود.

همان طور که پیشتر نیز بیان شد، آنالیز مونت کارلو به صورت تکرار محاسبات و استفاده از اعداد تصادفی انجام می‌گیرد که تعیین تعداد تکرارها برای انجام محاسبات، یکی از موارد مهم در این روش به شمار می‌آید. با توجه به مطالب گفته شده در فصل دوم، تعداد تکرارهای بهینه برای انجام آنالیز، ۵۰۰ تکرار است که این عدد در محاسبات مد نظر قرار گرفت. آماده سازی داده‌ها در این روش، شامل مرحله‌ی پیش‌محاسباتی و تصحیحات محیطی می‌باشد. پارامترهای ورودی برای این دو مرحله که در قالب یک مرحله و به صورت هم‌زمان محاسبه می‌شوند، همان پارامترهایی می‌باشند که در مرحله‌ی ارزیابی به روش قطعی برای این دو مرحله استفاده شدند، با این تفاوت که هر پارامتر خروجی در این مرحله، دارای مقادیر کمینه و بیشینه می‌باشد. این مقادیر همان lo و hi است که با توجه به میزان خطای در نظر گرفته شده برای پارامترها و لاگ‌ها محاسبه می‌شوند. مقادیر مذکور در جداول ۲-۴ و ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۲-۴: میزان خطای در نظر گرفته شده برای پارامترها

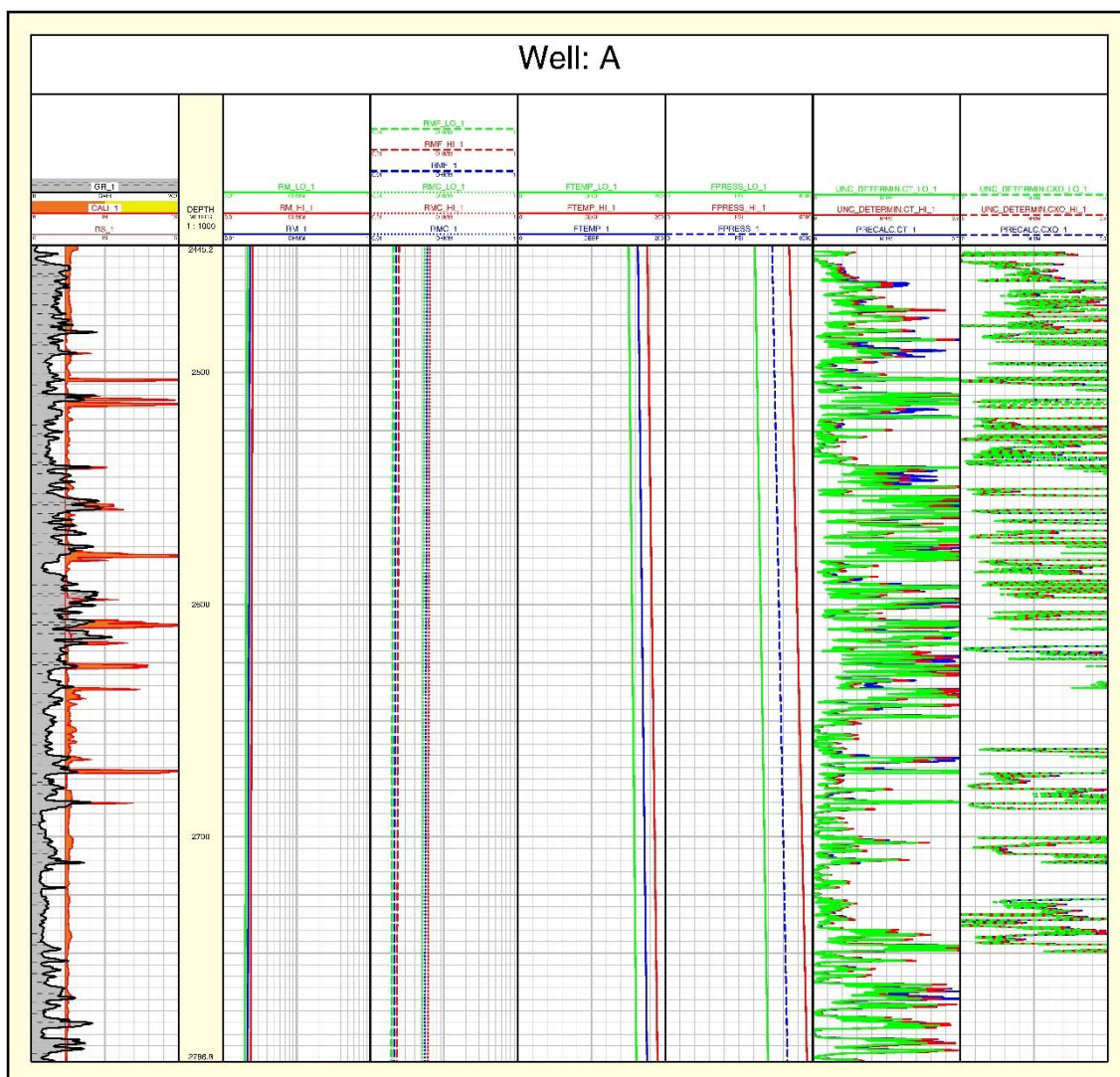
PARAMETER	caliper (in)	TLT (%)	BHT (%)	DFD (lb/g)	Rm (%)
POSSIBLE ERROR	0.472441	5	10	1.66908	1

جدول ۲-۴ میزان خطای در نظر گرفته شده برای پارامترهای ورودی مرحله‌ی پیش‌محاسباتی به منظور محاسبه‌ی درجه حرارت، فشار و پارامترهای مربوط به گل حفاری را در توالی سازند آسماری در هر دو چاه ارائه می‌دهد. در این جدول، ستون caliper میزان خطای اندازه‌گیری قطر دیواره چاه، TLT میزان خطای اندازه‌گیری دمای ابتدای سازند، BHT میزان خطای اندازه‌گیری دمای انتهای سازند، DFD میزان خطای اندازه‌گیری چگالی گل حفاری و Rm نیز خطای اندازه‌گیری مقاومت گل حفاری می‌باشد. تمامی این مقادیر در هر دو بازه‌ی منفی و مثبت در نظر گرفته می‌شوند.

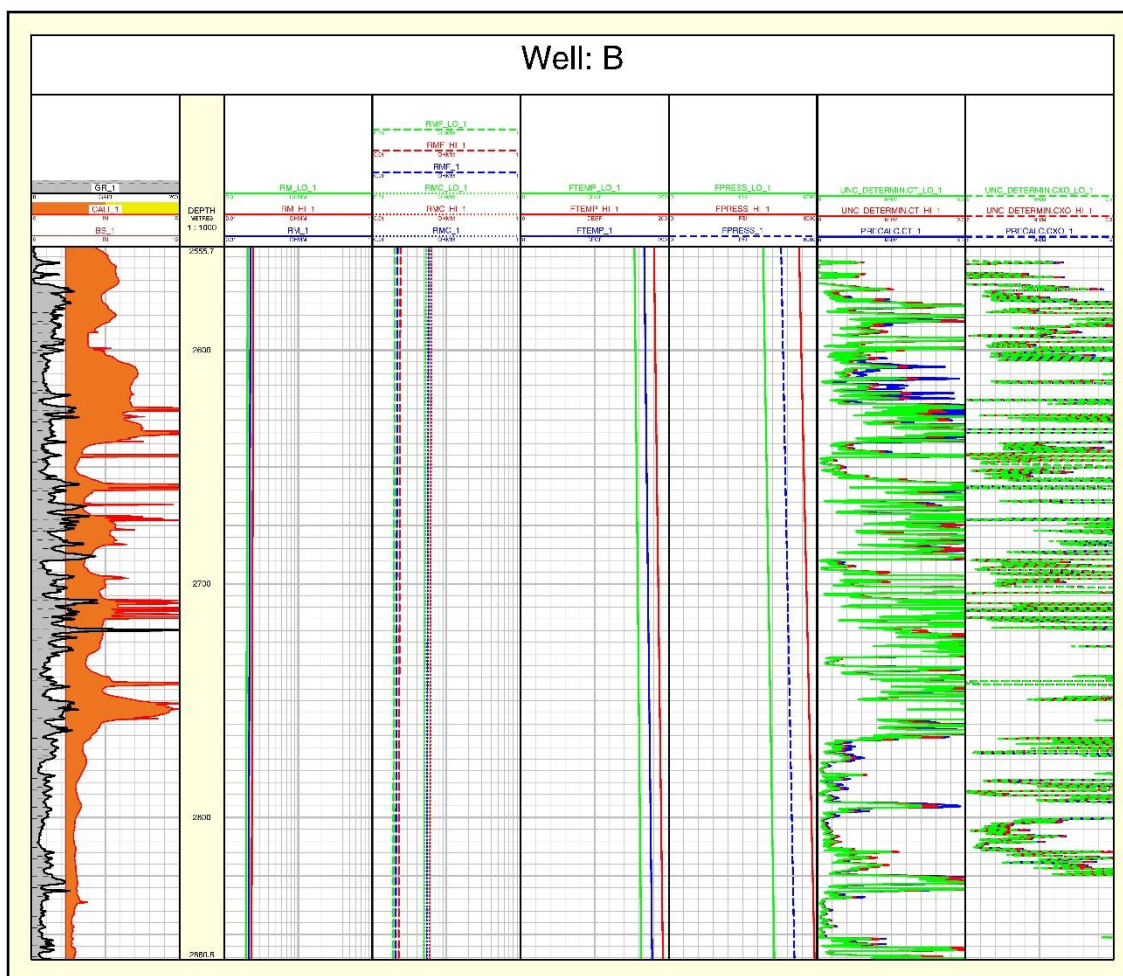
جدول ۴-۳: میزان خطای در نظر گرفته شده برای لاگ‌ها

LOG	GR (gapi)	RHOB (g/c3)	NPHI (v/v)	DT (us/f)	LLD (ohmm)	LLS (ohmm)	MSFL (ohmm)
POSSIBLE ERROR	5	0.01	0.02	1.524	5	5	2

مقادیر نشان داده شده در جدول ۴-۳ به منظور تصحیح لاگ‌های مورد نظر، در چارت‌های تصحیح آنها در هر دو بازه‌ی منفی و مثبت در نظر گرفته می‌شوند و با توجه به پارامترهایی چون چگالی گل حفاری، قطر چاه و میزان ریختگی دیواره‌ی چاه، در تکرارهای مورد نظر (۵۰۰ تکرار) برای لاگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تصحیح لاگ‌ها، با محاسبه‌ی مقادیر تصحیح شده، کمینه (lo) و بیشینه‌ی (hi) لاگ‌ها، عدم قطعیت لاگ‌ها برای محاسبه یا تعیین پارامترهای پتروفیزیکی به دست می‌آید. به این نکته باید توجه داشت که عدم قطعیت لاگ‌ها در فواصلی که دارای ریختگی بیشتری هستند، بالاتر می‌رود. عدم قطعیت پارامترها می‌تواند به هر دو صورت خطای high_side و Low_side و یا درصدی از مقدار اندازه‌گیری شده، با توجه به نوع متغیر یا نوع اندازه‌گیری وارد شود. شکل‌های شماره‌ی ۴-۵ و ۴-۶ نتایج خروجی مرحله‌ی پیش‌محاسباتی و شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ لاگ‌های تصحیح شده‌ی مورد استفاده به همراه مقادیر hi و lo آنها در دو چاه A و B را نشان می‌دهند.



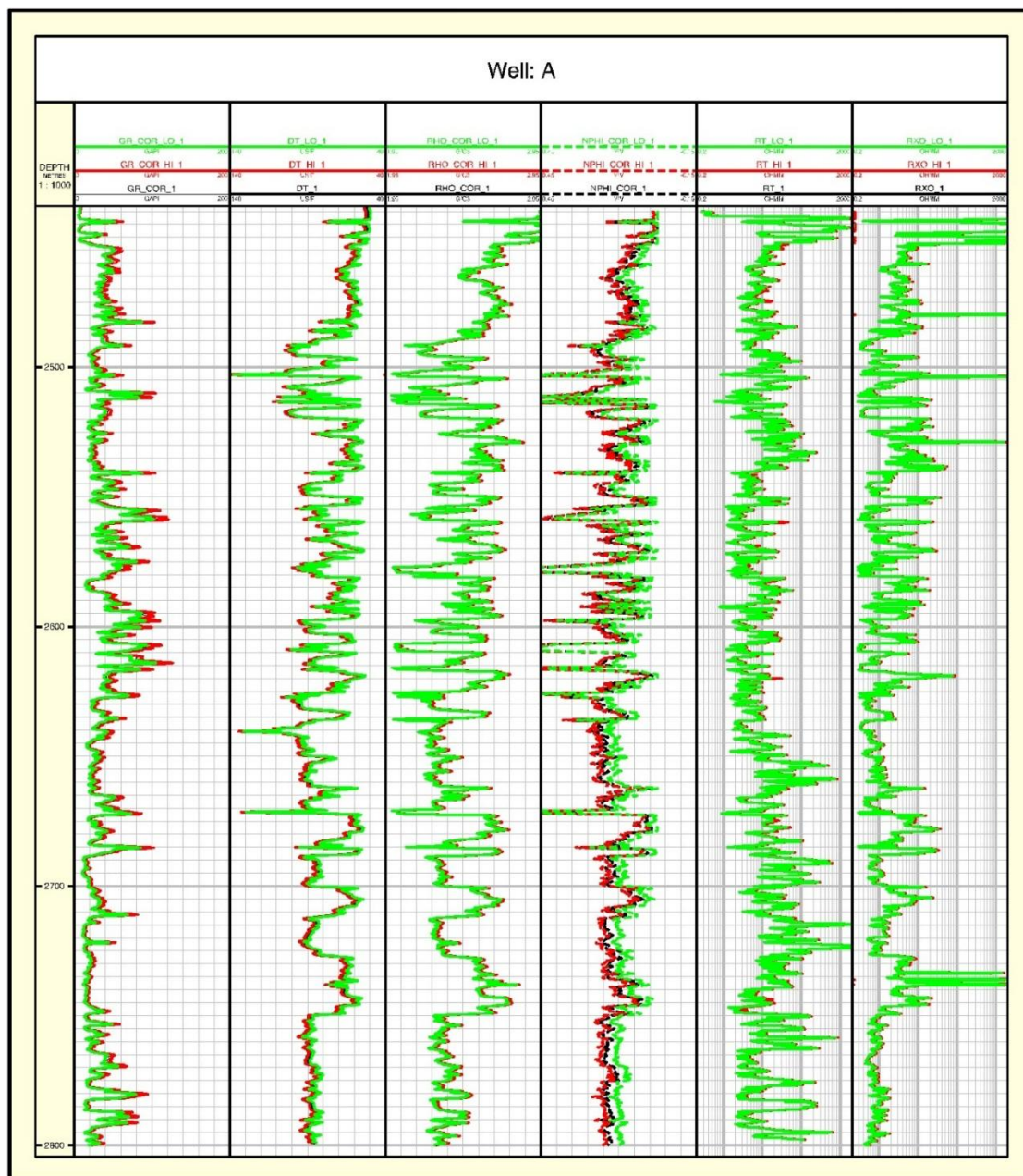
شکل ۴-۵: نتایج مرحله‌ی پیش محاسباتی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در چاه A



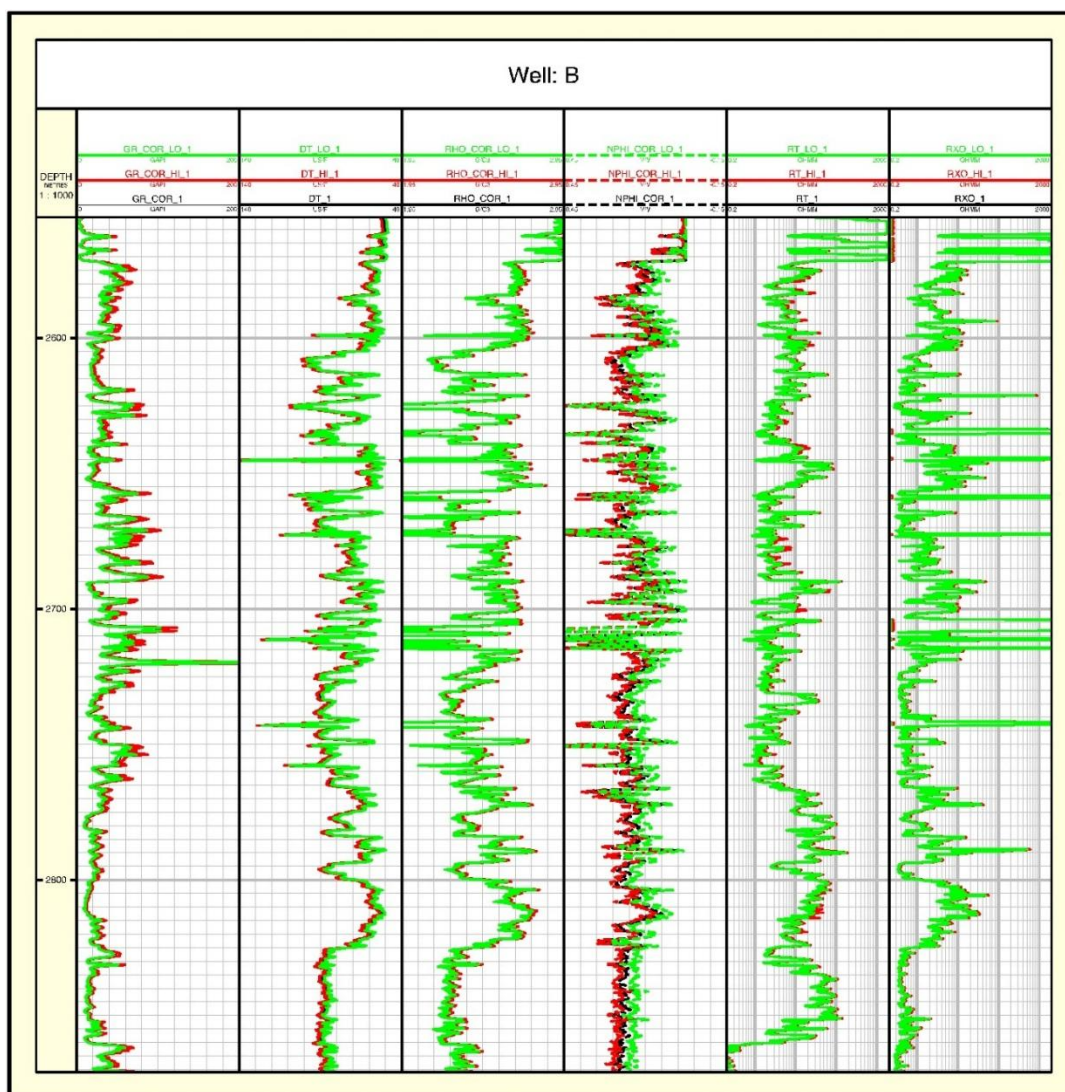
شکل ۴-۶: نتایج مرحله‌ی پیش محاسباتی با استفاده از آنالیز مونت کارلو در چاه B

در شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶، از سمت چپ ستون اول لاگ‌های گاما، کالیپر و سائز مته (GR، CALI و BS)، ستون دوم عمق (DEPTH)، ستون‌های سوم و چهارم مقاومت گل، فیلتره‌ی گل و کیک گل (RM، RMC، RMF) را به همراه مقادیر کمینه و بیشینه نشان می‌دهد، ستون‌های پنجم و ششم درجه حرارت و فشار (FTEMP و FPRESS) را همراه با مقادیر کمینه و بیشینه مشخص می‌کند و دو ستون انتهایی نیز میزان رسانایی ناحیه عمیق و کم عمق سازند (CT و CXO) را به همراه مقادیر کمینه و بیشینه‌ی آنها نمایش می‌دهد. اطلاعات به دست آمده در این مرحله برای تصحیحات محیطی لاگ‌ها استفاده می‌گردد. در این تصاویر ملاحظه می‌شود که بیشترین عدم قطعیت برای لاگ فشار سازندی است که اختلاف بالایی بین لاگ‌های کمینه و بیشینه‌ی آنها دیده می‌شود. همچنین در این

شکل‌ها، مقادیر لاگ اصلی به رنگ آبی و لاگ های hi و lo به ترتیب به رنگ‌های قرمز و سبز نمایش داده شده است.



شکل ۴-۷: لاگ‌های تصحیح شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه A



شکل ۴-۸: لاگ‌های تصحیح شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه B

در شکل های ۴-۷ و ۴-۸ که مربوط به تصحیح لاگ‌های مورد استفاده به روش آنالیز مونت کارلو در دو چاه A و B می‌باشند، از سمت چپ ستون اول لاگ گاما (GR)، ستون دوم لاگ صوتی (DT)، ستون سوم لاگ چگالی (RHOB)، ستون چهارم لاگ نوترون (NPHI)، ستون پنجم لاگ مقاومت ناحیه عمیق (RT) و ستون ششم لاگ مقاومت ناحیه‌ی کم عمق سازند (RXO) به همراه عدم قطعیت این لاگ‌ها در قالب دو لاگ hi (به رنگ قرمز) و lo (به رنگ سبز) محاسبه شده اند. جدول‌های ۴-۴ و ۴-۵ میانگین مقدار تصحیح شده و مقادیر hi و lo را برای لاگ‌های دو چاه A و B ارائه می‌دهند.

جدول ۴-۴: میانگین مقادیر لاگ به همراه مقادیر hi و lo محاسبه شده به روش مونت کارلو در چاه A (واحد لاگ‌های

GR, NPHI, DT, RHO, RT و RXO به ترتیب GAPI, V/V, US/F, Gr/ Cm³ و دو لاگ آخر نیز

OHM.M می‌باشد).

Log	Value	Log	Value
NPHI-COR	0.1664	GR-COR	36.2206
NPHI-COR-HI	0.1853	GR-COR-HI	39.5348
NPHI-COR-LO	0.1277	GR-COR-LO	33.2364

Log	Value	Log	Value
DT	76.5022	RHO-COR	2.4436
DT-HI	78.0262	RHO-COR-HI	2.4538
DT-LO	74.9782	RHO-COR-LO	2.4334

Log	Value	Log	Value
RT	51.6673	RXO	64.4739
RT-HI	54.6938	RXO-HI	71.5159
RT-LO	48.6763	RXO-LO	63.1382

جدول ۴-۵: میانگین مقادیر لاگ به همراه مقادیر lo و hi محاسبه شده به روش مونت کارلو در چاه B (واحد لاگها

همانند واحد لاگهای جدول ۴-۴ است)

Log	Value	Log	Value
NPHI-COR	0.196	GR-COR	33.1808
NPHI-COR-HI	0.2149	GR-COR-HI	36.3135
NPHI-COR-LO	0.1569	GR-COR-LO	30.2628

Log	Value	Log	Value
DT	73.7293	RHO-COR	2.4297
DT-HI	75.0064	RHO-COR-HI	2.4406
DT-LO	71.9584	RHO-COR-LO	2.419

Log	Value	Log	Value
RT	69.026	RXO	164.182
RT-HI	72.7769	RXO-HI	184.9974
RT-LO	65.244	RXO-LO	160.9129

۴-۵-۲-۲ محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو

در این مرحله عدم قطعیت مرتبط با تفسیر قطعی اندازه‌گیری می‌شود. این عدم قطعیت که بر پایه‌ی پردازش مونت کارلو می‌باشد، اجازه می‌دهد تا برای اکثر متغیرهای ورودی و مقادیر لاگ‌ها، عدم قطعیت‌ها و یا توزیع‌های آنها اندازه‌گیری شود.

پارامترهای پتروفیزیکی با معرفی لاگ‌های تصحیح‌شده و مقادیر hi و lo محاسبه می‌شوند. معادلاتی که برای محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی در آنالیز مونت کارلو مورد استفاده قرار می‌گیرد، همان معادلاتی هستند که در روش قبلی (روش ارزیابی قطعی) از آنها استفاده شد.

حجم شیل با استفاده از روش خطی (معادله‌ی (۴-۱)) و مقادیر لاگ تصحیح شده، مقدار بیشینه (hi) و کمینه (lo) محاسبه شده است.

محاسبه‌ی تخلخل با استفاده از دو لاگ تصحیح شده نوترون و چگالی به همراه لاگ‌های hi و lo آنها صورت گرفت و با استفاده از این دو لاگ، تخلخل کل و مؤثر در هر دو چاه مورد مطالعه با استفاده از معادله‌ی (۴-۳) محاسبه شده است.

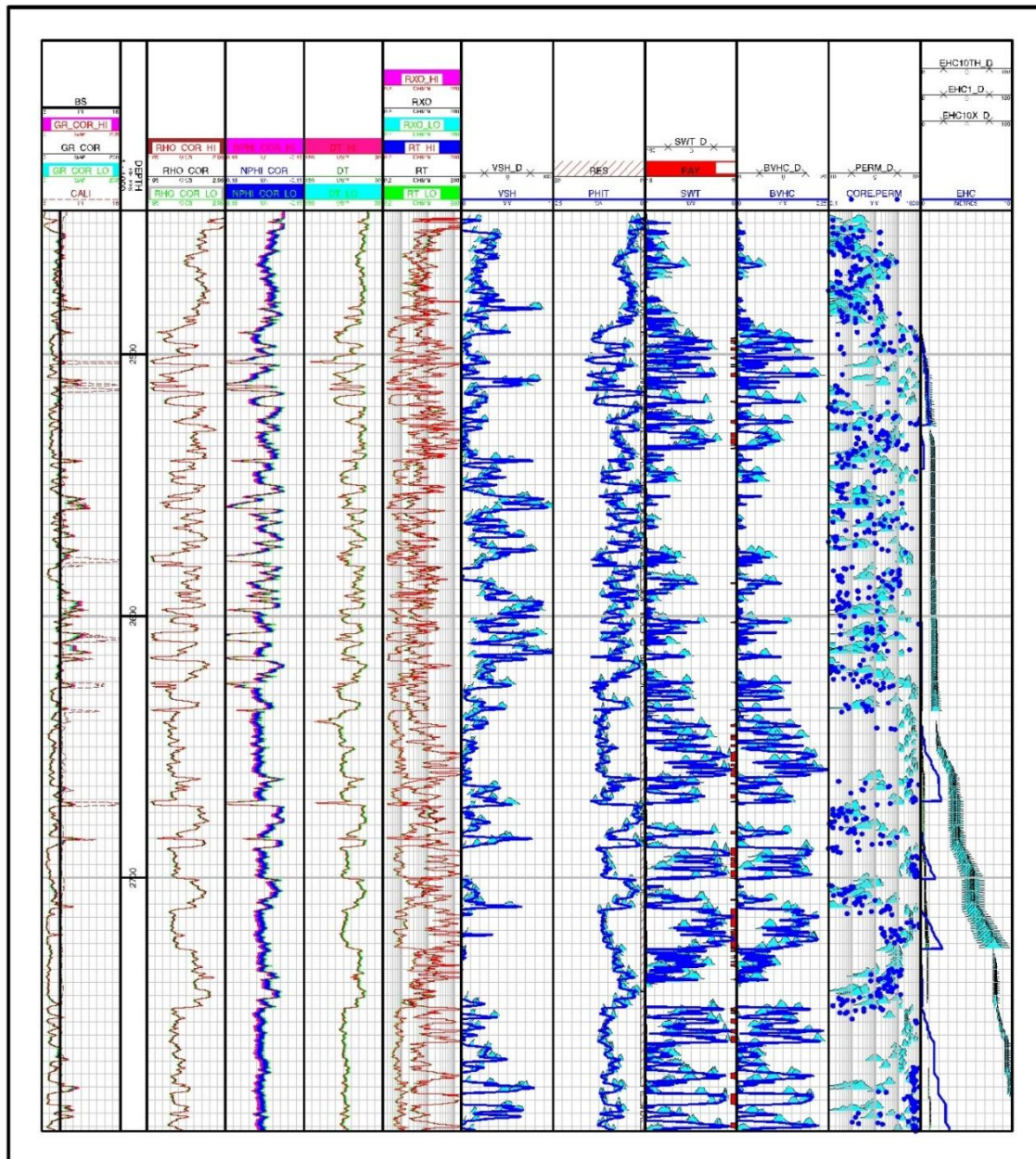
برای محاسبه‌ی اشباع آب نیز از رابطه‌ی ایندونیازیا (معادله‌ی (۴-۴)) و لاگ‌های مقاومت ویژه و تخلخل استفاده شده است.

جهت محاسبه‌ی تراوایی نیز همانند روش قطعی رابطه‌ی Coates-Dumanoir (معادله‌ی (۴-۵)) مورد استفاده قرار گرفته است.

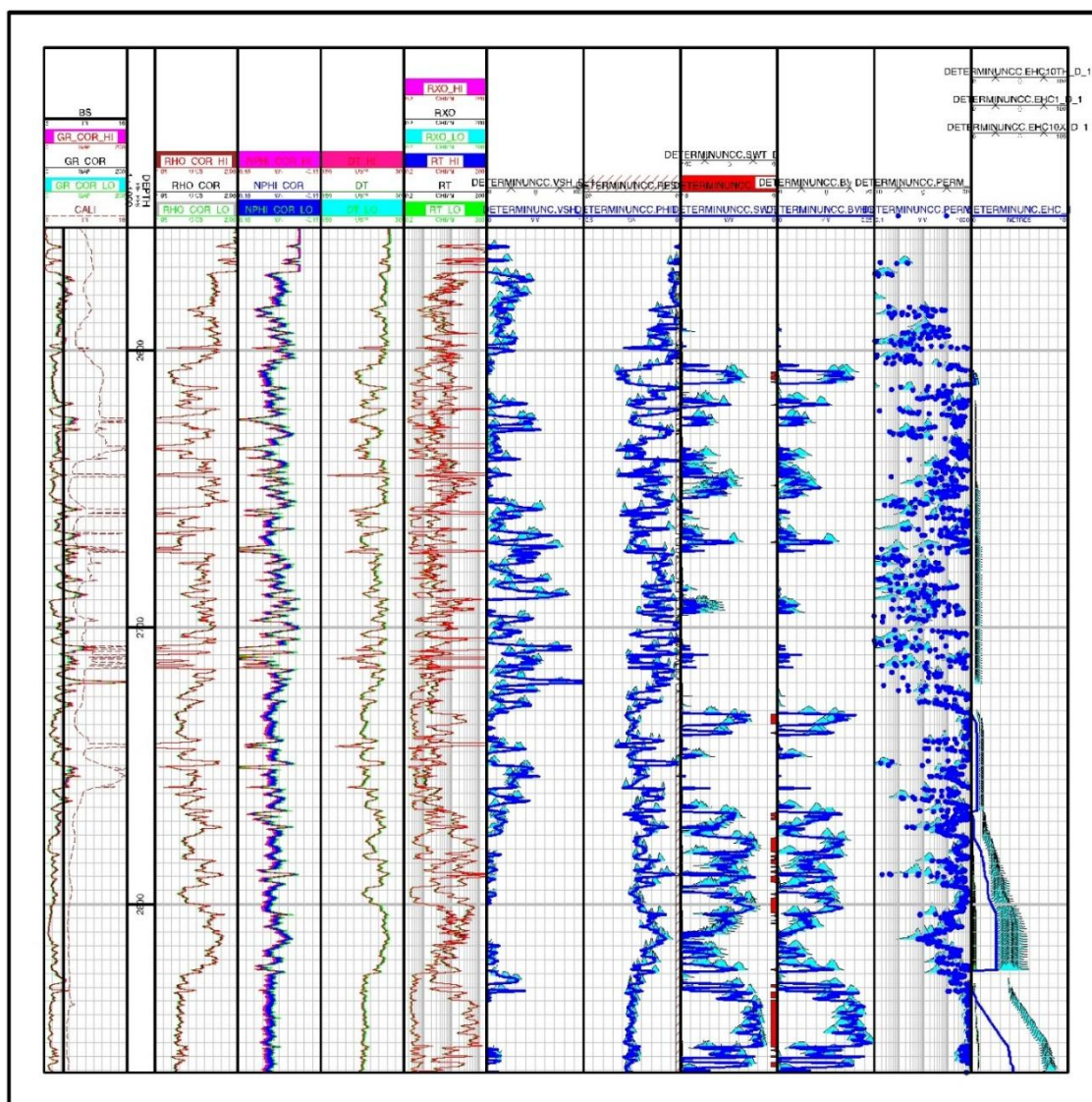
تعداد تکرارها در این جا نیز با توجه به توضیحات فصل دوم و مقادیر بهینه‌ای که قبلاً محاسبه شده اند، ۵۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است. در این مرحله، همچنین با استفاده از تعیین حدود برش^۱ برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده، زون‌های تولیدی نیز مشخص گردید. تمامی محاسبات

¹ Cut-off

مذکور در این مرحله به وسیله‌ی آنالیز مونت کارلو صورت می‌گیرد. شکل‌های ۹-۴ و ۱۰-۴ نتایج آنالیز مونت کارلو را به منظور محاسبه‌ی پارامترهای مخزن، به صورت گرافیکی در توالی دو چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴: پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه‌شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه A



شکل ۴-۱۰: پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش آنالیز مونت کارلو در چاه B

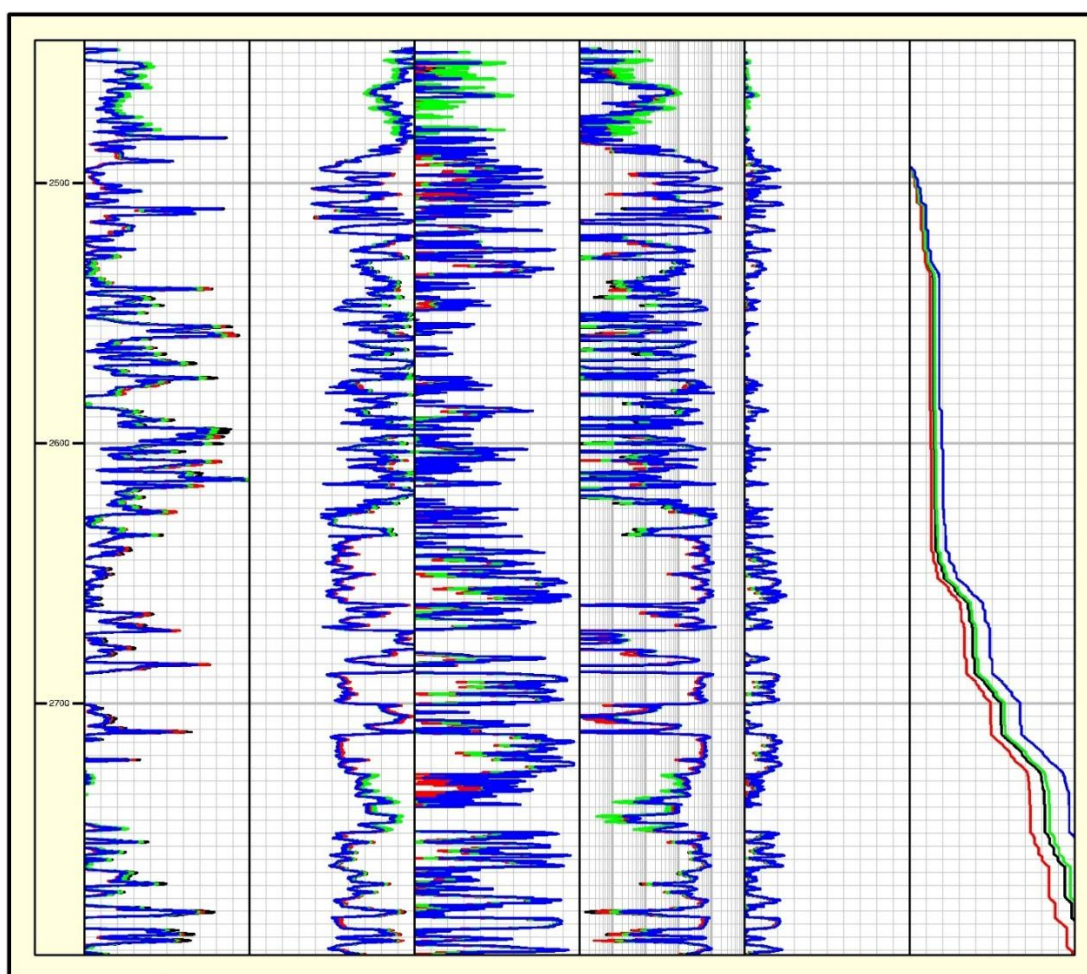
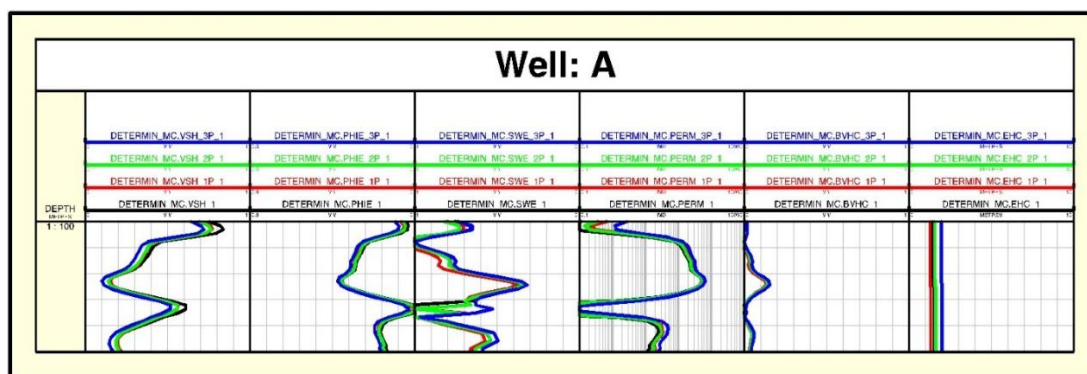
در شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ که مربوط به پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در دو چاه مورد مطالعه است، ستون‌های ۱، ۳، ۴، ۵ و ۶ از سمت چپ، مقادیر بیشینه و کمینه به همراه نسخه‌ی تصحیح شده‌ی لاگ‌های مورد استفاده برای محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی هستند. ستون ۲ عمق و ستون‌های هفتم به بعد به ترتیب حجم شیل، تخلخل، اشباع آب به همراه زون‌های تولید، حجم هیدروکربور، تراوایی و ستون انتهایی نیز مقدار ستون هیدروکربور را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، نتایج ارزیابی صورت گرفته با مقادیر توزیع نامتقارن لاگ که در محاسبات به صورت توزیع مثلی در نظر گرفته شده است، در ستون‌های موجود در شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ برای هر دو چاه ارائه شده

است. علت استفاده از انتخاب توزیع نامتقارن یا مثلی برای پارامترهای مخزنی نیز در فصل دوم توضیح داده شده است. همان طور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، رابطه‌ی نزدیکی بین پارامترهای مخزنی به دست آمده با این توزیع‌ها دیده می‌شود و همخوانی بالایی با یکدیگر دارند. پارامترهای مد نظر در این مطالعه، یعنی اشباع‌شدگی و تراوایی که در ستون‌های ۹ و ۱۱ از سمت چپ در این شکل‌ها نشان داده شده‌اند، با مقادیر توزیع مثلی همخوانی بالایی دارند که این خود نشان‌دهنده‌ی دقت آنالیز انجام شده در محاسبه‌ی این دو پارامتر حساس مخزنی است. سایر پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده مانند حجم شیل و تخلخل نیز از این امر مستثنی نیستند. میانگین نتایج پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به روش آنالیز مونت کارلو در جدول ۴-۶ ارائه شده است.

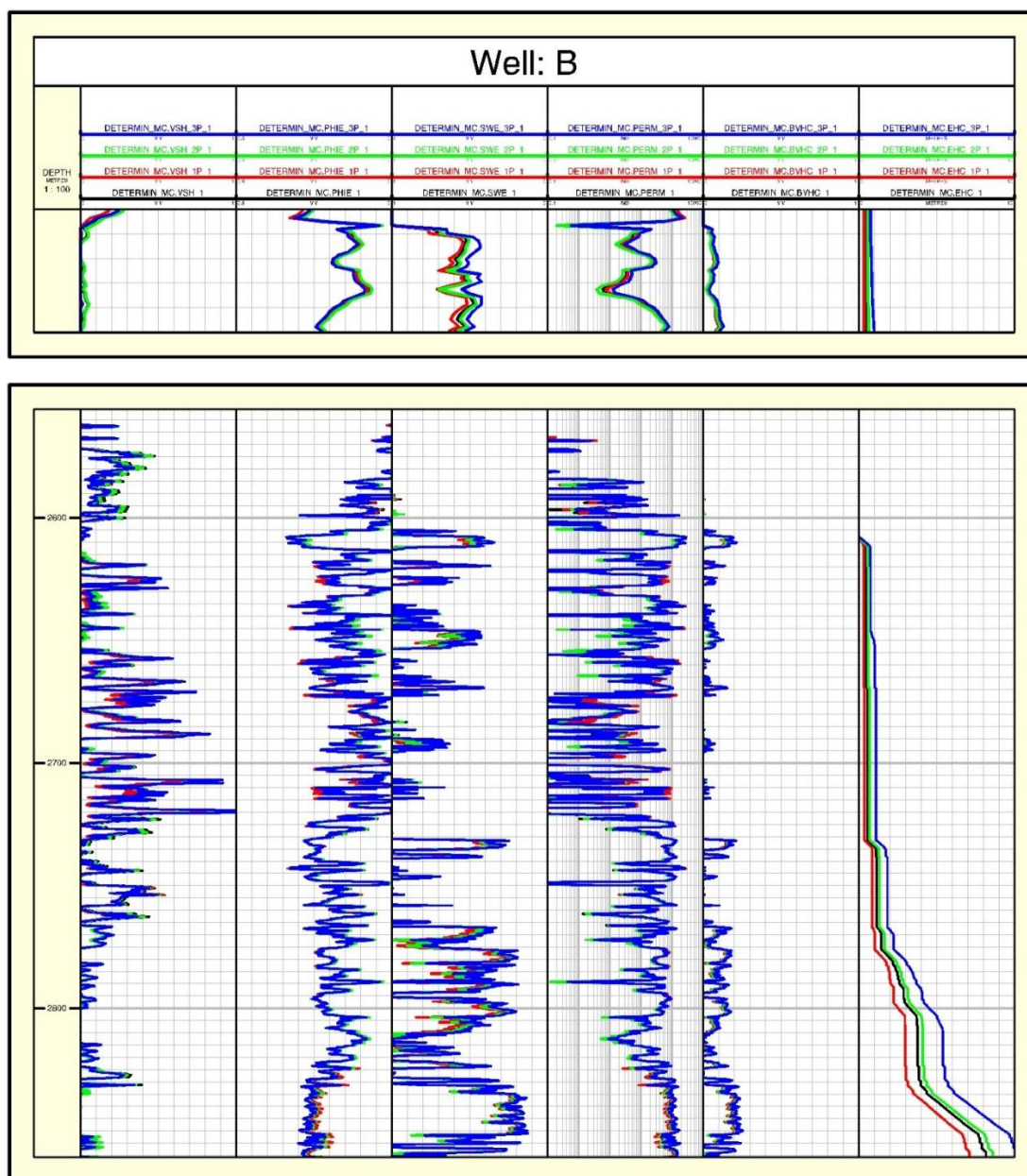
جدول ۴-۶: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در دو چاه مورد مطالعه به روش مونت کارلو

Well Name	Vsh (v/v)	PHIE (v/v)	PHIT (v/v)	SWE (v/v)	SWT (v/v)	Perm (md)	EHC (m)	BVHC (v/v)
Well-A	0.1938	0.1312	0.1555	0.754	0.7744	222.5473	3.4044	0.047
Well-B	0.1308	0.1339	0.1603	0.8207	0.825	329.4655	1.5733	0.0394

در شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن (1P، 2P و 3P) برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده به همراه ستون هیدروکربور (EHC) به صورت گرافیکی رسم شده است. همچنین میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر 1P، 2P و 3P در جداول ۴-۷ و ۴-۸ برای دو چاه A و B ارائه شده است.



شکل ۴-۱۱: نتایج 1P، 2P و 3P برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در چاه A



شکل ۴-۱۲: نتایج 1P، 2P و 3P برای پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در چاه B

در شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲، پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در دو چاه به همراه مقادیر قطعی (1P)، احتمالی (2P) و ممکن (3P) به دست آمده برای آنها، رسم شده است. در دو شکل مذکور، از سمت چپ: ستون اول عمق (Depth)، ستون دوم حجم شیل (Vsh)، ستون سوم تخلخل مؤثر (PHIE)، ستون چهارم اشباع آب مؤثر (SWE)، ستون پنجم تراوایی (PERM)، ستون ششم حجم هیدروکربور (BVHC) و ستون هفتم نیز ستون هیدروکربور (EHC) را نمایش می‌دهد. در چاه A

ملاحظه می‌شود که در قسمت‌های بالای چاه نسبت به سایر بخش‌های آن، مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن با یکدیگر اختلاف بیشتری دارند. این در حالی است که در هر دو چاه، ستون هیدروکربور (EHC) دارای اختلاف زیادی بین مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن می‌باشد. علت این امر نیز به دلیل تأثیر همه‌ی پارامترها و لاگ‌های پتروفیزیکی در محاسبه‌ی این پارامتر بازمی‌گردد.

جدول ۴-۷: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر 1P، 2P و 3P در چاه A

Parameter	Value	Parameter	Value
Vsh	0.1938	PHIE	0.1312
1P	0.1798	1P	0.1295
2P	0.1838	2P	0.1345
3P	0.215	3P	0.1375

Parameter	Value	Parameter	Value
SWE	0.754	PERM	222.5473
1P	0.7791	1P	203.6003
2P	0.7413	2P	229.7481
3P	0.7232	3P	242.6006

Parameter	Value	Parameter	Value
EHC	3.4044	BVHC	0.047
1P	3.017	1P	0.0422
2P	3.5436	2P	0.049
3P	4.1312	3P	0.0536

جدول ۴-۸: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر 1P، 2P و 3P در چاه B

Parameter	Value	Parameter	Value
Vsh	0.1308	PHIE	0.1439
1P	0.1032	1P	0.1401
2P	0.1277	2P	0.1421
3P	0.1398	3P	0.1481

Parameter	Value	Parameter	Value
SWE	0.8207	PERM	329.4655
1P	0.8359	1P	318.1202
2P	0.816	2P	338.4538
3P	0.7964	3P	361.2725

Parameter	Value	Parameter	Value
EHC	1.5733	BVHC	0.0393
1P	1.2454	1P	0.0362
2P	1.7488	2P	0.04
3P	2.2866	3P	0.045

میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به همراه مقادیر قطعی (1P)، احتمالی (2P) و ممکن (3P) ارائه شده در جداول ۴-۷ و ۴-۸ نشان می‌دهد که در هر دو چاه A و B، اختلاف بین میانگین مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن مربوط به پارامتر تراوایی دارای بیشترین مقدار خود می‌باشد. این مهم نشان‌دهنده‌ی بالا بودن میزان خطای برآورد این لاگ و به نوعی بالا بودن عدم قطعیت آن در چاه‌های مورد مطالعه

می‌باشد. البته این امر با توجه به محاسبه‌ی این لاگ از طریق روابط تجربی طبیعی می‌باشد، زیرا قابل اعتمادترین داده‌های مربوط به تراوایی مخزن، از اطلاعات آنالیز مغزه و بعد از آن اطلاعات ابزار نمودارگیری تشدید مغناطیس هسته‌ای^۱ (NMR) به دست می‌آید. ولی با توجه به اطلاعات در دسترس، با استفاده از روابط تجربی، این لاگ در هر دو چاه محاسبه شده و به منظور اعتبارسنجی، لاگ‌های تولید شده با داده‌های تراوایی مغزه در هر دو چاه تطابق داده شد. نتیجه این‌که لاگ‌های مذکور تا حدودی روند یکسانی را با داده‌های تراوایی مغزه از خود نشان دادند.

با توجه به همین جداول در هر دو چاه، پایین‌ترین اختلاف بین مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن در بین پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده، مربوط به تخلخل مؤثر (PHIE) محاسبه شده در هر دو چاه است. این مطلب بیانگر بالا بودن دقت محاسبه‌ی این لاگ و پایین بودن میزان عدم قطعیت این پارامتر در هر دو چاه می‌باشد.

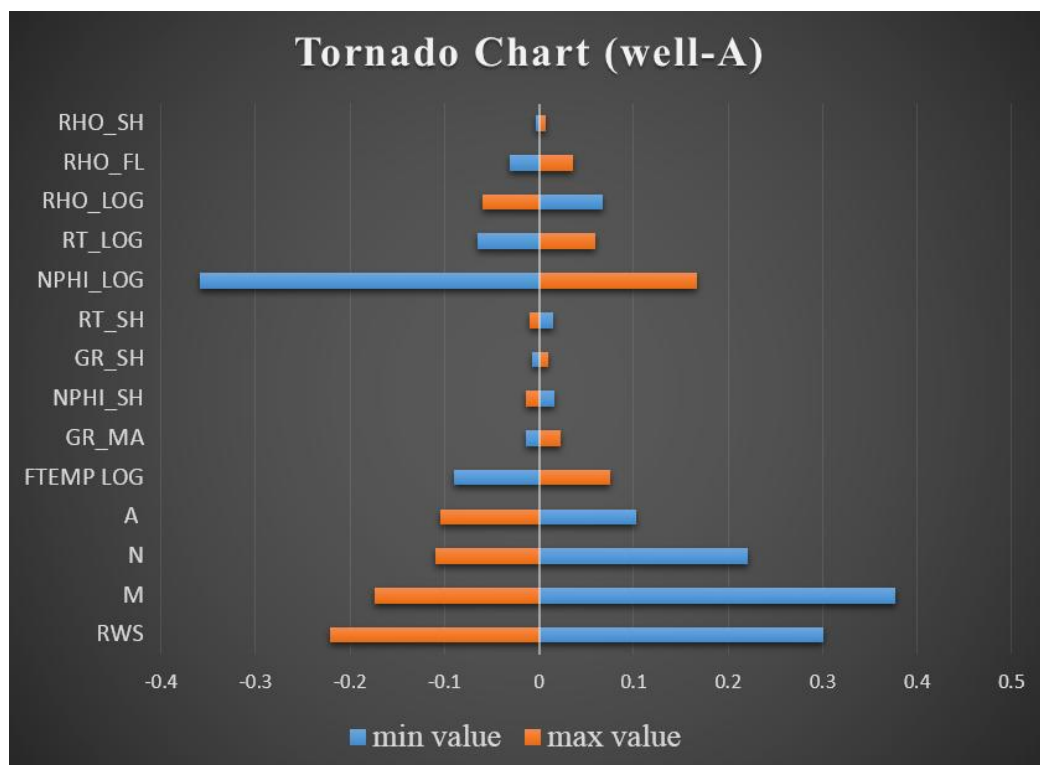
۴-۵-۲-۳ آنالیز حساسیت‌سنجی و نمودارهای گردبادی

این مرحله به منظور شناخت میزان تأثیر پارامترهای موجود در محاسبات بر مقدار ستون هیدروکربور (EHC) می‌باشد. همان طور که در فصل دوم نیز عنوان شد، آنالیز حساسیت‌سنجی می‌تواند در پایان پردازش مونت کارلو اجرا شود و این مطلب با اجرای تکرارهایی با طرح مونت کارلو حاصل می‌شود که به جای تغییر تصادفی تمامی پارامترها، هرکدام از آنها در یک زمان در یک سری از تکرارها، ابتدا در مقدار ماکزیمم و سپس در مقدار مینیمم خود تنظیم شده باشند. برای هر تکرار، تفاوت میان مقادیر به دست آمده و مورد مبنای EHC، محاسبه شده و از این تفاوت‌ها محدوده‌ی کامل تغییرات EHC مرتبط با هر پارامتر ارائه شده است.

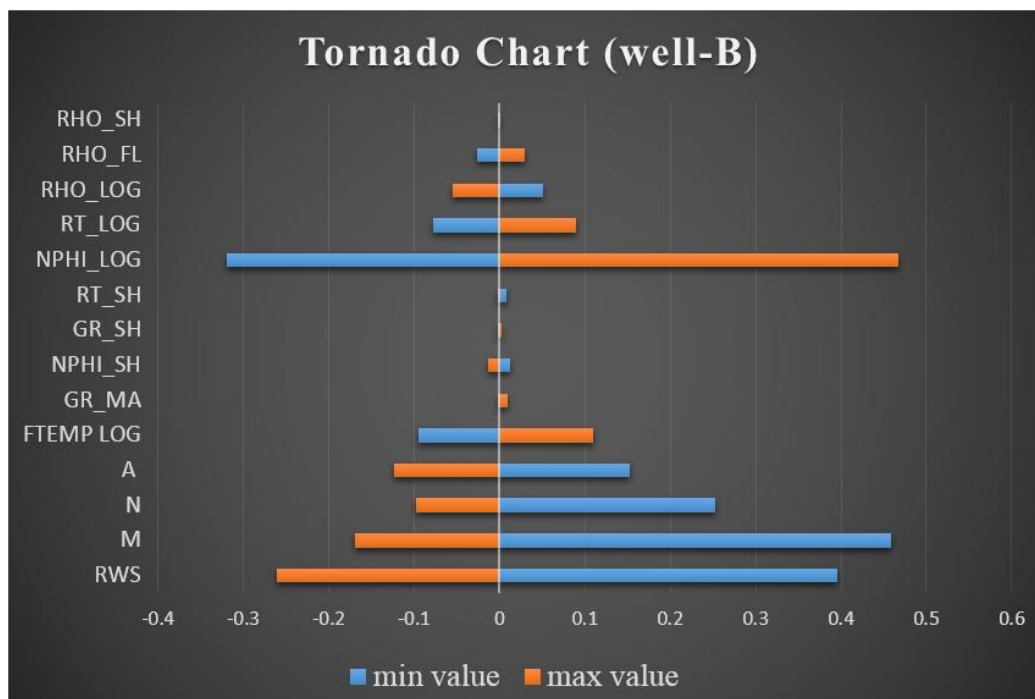
جدول به دست آمده از مرحله‌ی آنالیز حساسیت‌سنجی که شامل تأثیر پارامترها و لاگ‌ها بر روی ستون هیدروکربور (EHC) است، شامل اطلاعات مورد نیاز به منظور رسم یک نمودار گردبادی است

¹ Nuclear magnetic resonance

که در شکل‌های ۱۳-۴ و ۱۴-۴ برای دو چاه مورد مطالعه، نشان داده شده است. طول ستون‌ها میزان تأثیر نسبی هر متغیر بر نتیجه‌ی EHC یا EPC را با استفاده از مقادیر ماکزیمم و یا مینیمم آن متغیر مشخص کرده و در واحدهای حقیقی آنها بیان می‌کند. با استفاده از نمودار مذکور، تأثیر متغیرهای مختلف بر نتایج، از نظر حساسیت‌سنجی آنالیز شده و نواحی یا متغیرهای نیازمند بیشترین توجه، شناسایی می‌شود.



شکل ۱۳-۴: نمودار گردبادی به دست آمده برای پارامترهای چاه A



شکل ۴-۱۴: نمودار گردبادی به دست آمده برای پارامترهای چاه B

در بررسی آنالیز حساسیت‌سنجی لاگ‌ها و پارامترها، لاگ‌ها به صورت مقادیر با قرائت‌های متفاوت بوده و میزان تأثیر آنها بر ستون هیدروکربور بررسی می‌شود، اما پارامترها که دارای اعداد ثابتی در معادلات هستند، مقادیر حد بالا و پایین برای آنها منظور می‌شود. جدول ۴-۹ مقدار ثابت پارامترها را به همراه مقادیر ماکزیمم و مینیمم آنها ارائه می‌دهد.

جدول ۴-۹: مقادیر مورد استفاده‌ی پارامترهای ثابت در آنالیز حساسیت‌سنجی

	Parameter									
	M	RWS	N	A	GR-MAT	RHO-FL	NPHI-SH	GR-SH	RT-SH	RHO-SH
value	2	0.43	2	1	20	1	0.2	100	2.5	2.4
min	1.8	0.33	1.8	0.9	15	0.98	0.15	95	2	2.38
max	2.1	0.53	2.1	1.1	25	1.02	0.25	120	3	2.42

از آن جایی که مقدار ستون هیدروکربور (EHC) در چاه، با پارامترهای پتروفیزیکی مخزن و به خصوص دو پارامتر اشباع‌شدگی و تراوایی در ارتباط است، لذا تأثیر پارامترهای موجود در نمودارهای شکل‌های

۱۳-۴ و ۱۴-۴ بر میزان EHC، که برای دو چاه مورد مطالعه ترسیم شده است، به صورت مستقیم بر دو پارامتر تراوایی و اشباع‌شدگی نیز تأثیر دارند. در نمودارهای هر دو چاه مشاهده می‌شود که بیشترین بازه‌ی تأثیر پارامترها بر مقدار EHC را قرائت نمودار نوترون (NPHI_LOG) به خود اختصاص داده است. این نمودار تخلخل سازند را به وسیله‌ی میزان تجمع هیدروژن محاسبه می‌کند و تجمع‌های بالای هیدروژن نشان دهنده‌ی وجود سیال در آن قسمت می‌باشد. در نتیجه به نظر منطقی می‌آید که با ستون هیدروکربور ارتباط مستقیمی داشته باشد. پس از آن به پارامترهای N , M , RWS و A می‌توان اشاره نمود که دارای تأثیر زیادی بر میزان پارامتر EHC می‌باشند. پارامتر RWS مقاومت نمونه‌ی سیال سازندی است. سیالات هیدروکربوری در مقابل آب و به خصوص آب شور که مقاومت پایینی دارند، دارای مقاومت بالایی هستند. پارامتر M که همان ضریب سیمان‌شدگی در مخزن است، به شدت باعث کاهش تخلخل و تراوایی شده و به ویژه ارتباط مستقیمی با تراوایی دارد. این پارامتر یکی از ضرایب آرچی بوده که اخیراً به عنوان فاکتور شکل هندسی خلل و فرج نیز شناخته می‌شود. M پارامتر پیچیده‌ای است و عواملی چون مقدار تخلخل، مقدار تخلخل ثانویه، قطر گلوگاه‌ها و توزیع اندازه‌ی گلوگاه‌ها و تخلخل‌ها بر بزرگی آن تأثیر دارند. مقدار M می‌تواند از کمتر از یک تا بیشتر از پنج متغیر باشد. تنها راه مطمئن برای اندازه‌گیری فاکتور M اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است [رضائی و چهارزی، ۱۳۸۹].

N توان اشباع‌شدگی مخزن است که ارتباط مستقیمی با پارامتر اشباع‌شدگی دارد. البته این پارامتر با تراوایی نیز در ارتباط است. این پارامتر نیز یکی از ضرایب آرچی بوده و میزان مقاومت ویژه‌ی سازند را زمانی که هم آب و هم هیدروکربور وجود داشته باشند، تعیین می‌کند. رسانایی در سنگ ناشی از انتقال یون‌ها است و زمانی که مسیر حرکت پیچاپیچ باشد، در کار انتقال مشکل پیش آمده و مقاومت افزایش می‌یابد. به همین دلیل وجود هیدروکربور که جای قسمتی از آب سازند را اشغال می‌کند، باعث افزایش مقاومت ویژه می‌شود [رضایی و چهارزی، ۱۳۸۹].

پارامتر A نیز به صورت میزان پیچاپیچی تعریف می‌شود. این فاکتور یا پارامتر یک ویژگی هندسی محیط متخلخل بوده و طول مسیر جریان را در مقیاسی که سیال در اطراف موانع دهانه جریان دارد نسبت به طول محیط متخلخل بیان می‌کند و به فاکتور پیچاپیچی معروف است. بنابراین هرچه تخلخل کمتر باشد، پیچاپیچی باید بیشتر باشد [Winsauer et al., 1952].

۴-۵-۲-۴ تعیین زون‌های تولید^۱

زون تولیدی در توالی یک چاه، شامل فواصلی از سازند مخزنی است که دارای بالاترین میزان تجمع هیدروکربن است [باقری و خوشبخت، ۱۳۹۳].

معمولاً مهندسين مخزن، تمام بازه‌ی حفاری‌شده‌ی مخزن را به دو قسمت زون تولیدی^۲ و زون غیر تولیدی^۳ تقسیم بندی می‌کنند [Masoudi et al., 2011].

زون تولیدی شاخص مهمی در بررسی کیفیت مخزن به شمار می‌رود [موحد و همکاران، ۱۳۹۰].

برای تعیین قسمت‌های مخزنی و تفکیک این فواصل از فواصل غیر مخزنی، از تعیین حد برش برای برخی از پارامترهای پتروفیزیکی استفاده شد. حدود برش استفاده شده برای پارامترهای پتروفیزیکی حجم شیل، تخلخل و اشباع آب به صورت زیر مدنظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که این مقادیر بر اساس حدود برش مورد استفاده در شرکت ملی نفت ایران (NIOC) استفاده شده اند.

$$V_{sh} \leq 40\%$$

$$PHIE \geq 5\%$$

$$SWE \leq 50\%$$

¹ Production zone

² Pay zone

³ Non-pay zone

گزارش خلاصه‌ی یک مخزن از تفسیر مورد مبنا و حد آستانه‌ی حاصله به دست می‌آید. اگر از پردازش فاصله‌ها استفاده شود، این گزارش به فواصلی تقسیم می‌شود. در این مرحله علاوه بر خلاصه‌های قراردادی مخزن، خالص برداشت، خالص مخزن، نسبت خالص به ناخالص و میانگین خواص مخزن برای متوسط نتایج و همچنین نتایج 1P، 2P و 3P برای هریک از فواصل تهیه شده اند. اصطلاحات 1P، 2P و 3P به علت افزایش سردرگمی ناشی از استفاده از احتمالات مانند P10، P50 و P90 به جای آنها مورد استفاده قرار گرفته است [Paradigm, 2011].

جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۱ برای چاه A و جداول ۴-۱۲ و ۴-۱۳ برای چاه B خلاصه‌ای از توالی زون‌های تولیدی به همراه میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در این زون‌ها را ارائه می‌دهند.

جدول ۴-۱۰: زون‌های خالص و ناخالص مشخص شده در توالی چاه A

	Base Case	Mean	1P (P90)	2P (P50)	3P (P10)
Net Reservoir (m)	288.79	287.42	286.36	295.19	292.76
Net res/Gross	0.8213	0.8174	0.8143	0.8395	0.8325
Net Pay (m)	69.85	71.83	63.86	71.52	80.44
Net Pay/Gross	0.1986	0.2043	0.1816	0.2034	0.2287
Equivalent HC Column (m)	10.9155	11.3155	9.8654	11.2658	12.7824

جدول ۴-۱۱: میانگین پارامترهای مخزنی در زون‌های تولیدی در چاه A

	Base Case	Mean	1P (P90)	2P (P50)	3P (P10)
Ave Total Porosity (PHIT)	0.2191	0.2194	0.2134	0.2192	0.2206
Ave Eff Porosity (PHIE)	0.2148	0.2152	0.21	0.2149	0.2163
Ave Total Water Saturation (SW)	0.2914	0.2864	0.2797	0.2867	0.2822
Ave Eff Water Saturation (SW)	0.2779	0.2733	0.2686	0.2729	0.2692
Geometric Mean Perm	431.704	434.232	401.266	428.933	444.814

جدول ۴-۱۲: زون‌های خالص و ناخالص مشخص شده در توالی چاه B

	Base Case	Mean	1P (P90)	2P (P50)	3P (P10)
Net Reservoir (m)	247.09	253.34	248.76	245.72	247.09
Net Res/Gross	0.81	0.8305	0.8155	0.8055	0.81
Net Pay (m)	51.05	54.56	44.96	53.8	64.62
Net Pay/Gross	0.1674	0.1789	0.1474	0.1764	0.2118
Equivalent HC Column (m)	8.1673	8.6722	7.1208	8.6165	10.2651

جدول ۴-۱۳: میانگین پارامترهای مخزنی در زون‌های تولیدی در چاه B

	Base Case	Mean	1P (P90)	2P (P50)	3P (P10)
Ave Total Porosity (PHIT)	0.2405	0.2398	0.237	0.2376	0.2342
Ave Eff Porosity (PHIE)	0.2383	0.2375	0.2355	0.2356	0.2323
Ave Total Water Saturation (SWT)	0.3381	0.3417	0.334	0.33	0.3294
Ave Eff Water Saturation (SWE)	0.3325	0.3358	0.33	0.3247	0.3244
Geometric Mean Perm	663.894	650.702	644.803	628.79	578.279

خلاصه‌ی نتایج به دست آمده از مخزن که شامل زون‌های تولیدی و میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در این زون‌ها می‌باشد، نشان می‌دهد که چاه A شرایط مخزنی مناسب‌تری نسبت به چاه B دارد. این مطلب از روی میانگین ستون هیدروکربور و همچنین زون خالص در دو چاه کاملاً مشهود است. میانگین ستون هیدروکربور در چاه A و B به ترتیب $11/3$ و $8/6$ متر و میانگین زون خالص تولید در این دو چاه به ترتیب $71/8$ و $54/5$ متر محاسبه شده است. در شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ که نتایج محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی مخزن در آنها ارائه شده است، زون‌های تولید در ستون چهارم از سمت راست با فواصل قرمز رنگ برای هر دو چاه مورد مطالعه، مشخص شده است.

۴-۵-۳ مقایسه‌ی کلی نتایج به دست آمده با نتایج ارزیابی احتمالی

ارزیابی به روش احتمالی که به ارزیابی مالتی‌مین^۱ شهرت دارد، یک روش جدید برای محاسبه‌ی پارامترهای پتروفیزیکی به وسیله‌ی آمار و احتمالات است. [Mayer and Sibbit, 1980] یک رویکرد جدید رادیکالی را برای آنالیزهای پتروفیزیکی به دست آوردند. در این رویکرد که بر اساس حل معادلات هم‌زمان می‌باشد، به جای این که تنها به پاسخ به دست آمده از یک لاگ برای اندازه‌گیری پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر بسنده شود، از تمام نمودارهای در دسترس برای پیش‌بینی و محاسبه‌ی ناشناخته‌ها که شامل حجم سیالات، کانی‌ها و... می‌باشد، استفاده می‌شود. سپس این مقادیر برای به دست آوردن نتیجه‌ی مطلوب (احتمال بیشتر) تنظیم می‌شوند. در این روش ارزیابی، تحلیل‌گر می‌تواند در مورد حضور یا عدم حضور کانی یا سیالات به صورت دلخواه تصمیم‌گیری کند. ایجاد بهترین هماهنگی میان داده‌ها، نتایج حاصله و شیوه‌ی عملکرد، مبنای پتروفیزیک احتمالی است. یک مدل حاوی چند کانی به وسیله‌ی روش پتروفیزیک احتمالی و به کمک مدل‌های مینرالی و استفاده‌ی هم‌زمان از همه‌ی نمودارهای در دسترس ارائه می‌شود و هر مدل، از نمودارهای ورودی مختلفی برای ایجاد معادلات هم‌زمان جهت شناسایی حجم‌های مجهول مخزن استفاده می‌کند. در واقع اگر یک مجموعه‌ی کامل چاه‌نگاری در دسترس باشد، یک پاسخ بهینه به دست خواهد آمد. روش پتروفیزیک احتمالی بر پایه‌ی آمار و احتمالات بوده و نتایج حاصله نیز بر پایه‌ی آمار و احتمالات می‌باشد. در نهایت بهترین احتمال از راه حل‌های آماری پذیرفته خواهد شد. این روش، ارزیابی‌های آماری و احتمالی از کیفیت پاسخ نهایی را فراهم می‌کند. بر خلاف روش پتروفیزیک قطعی، پتروفیزیک احتمالی شامل یک نظارت وسیع بر نتایج پیش‌بینی شده در مدل است [فضلی و باقری، ۱۳۹۳].

با توجه به اینکه نتایج ارزیابی احتمالی دو چاه A و B در دسترس می‌باشند، میانگین عددی پارامترهای پتروفیزیکی در این روش نیز برای هر دو چاه محاسبه و در جدول ۴-۱۴ ارائه شده است.

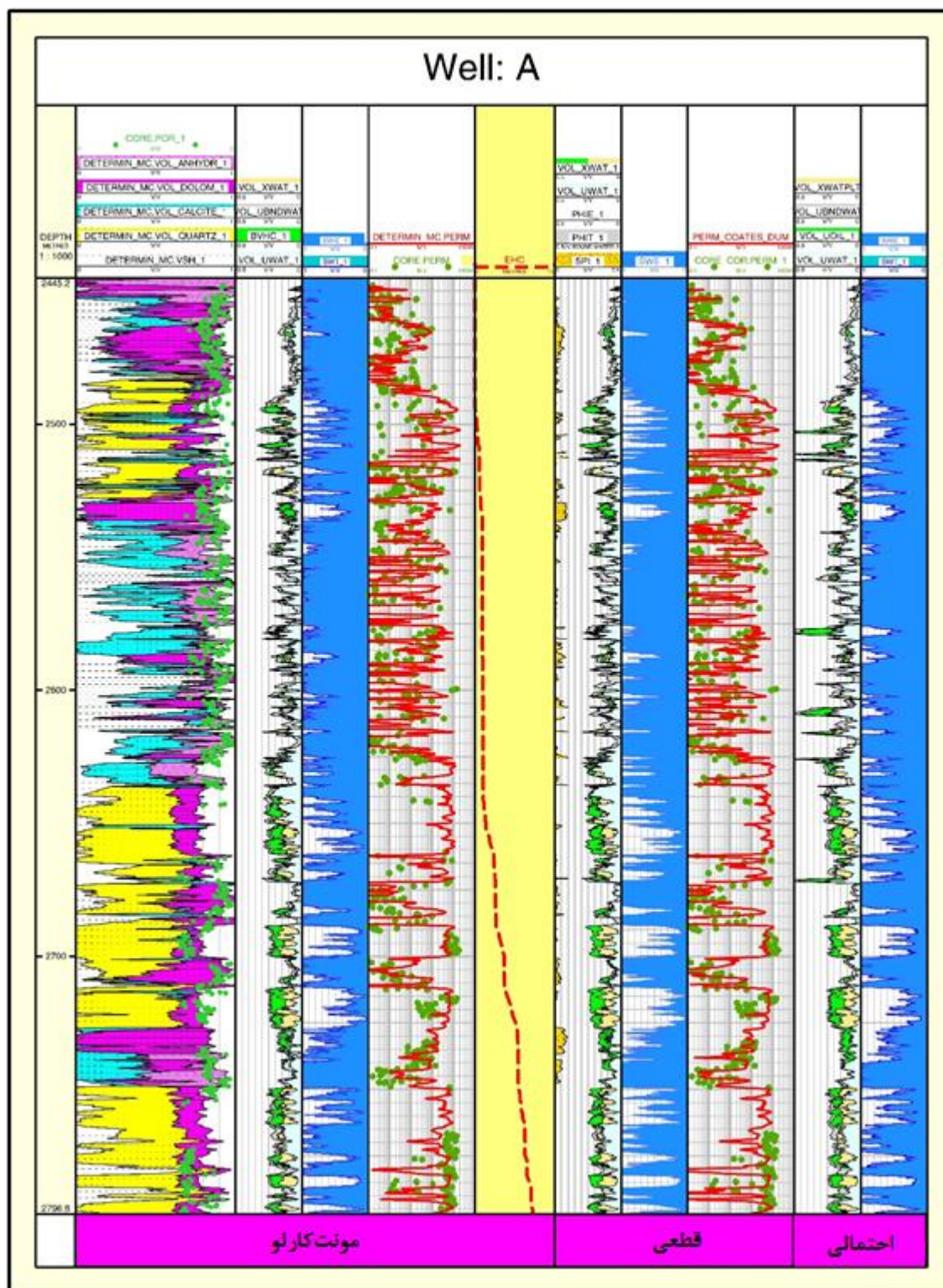
¹ Multimin

جدول ۴-۱۴: میانگین پارامترهای پتروفیزیکی در دو چاه A و B به روش احتمالی

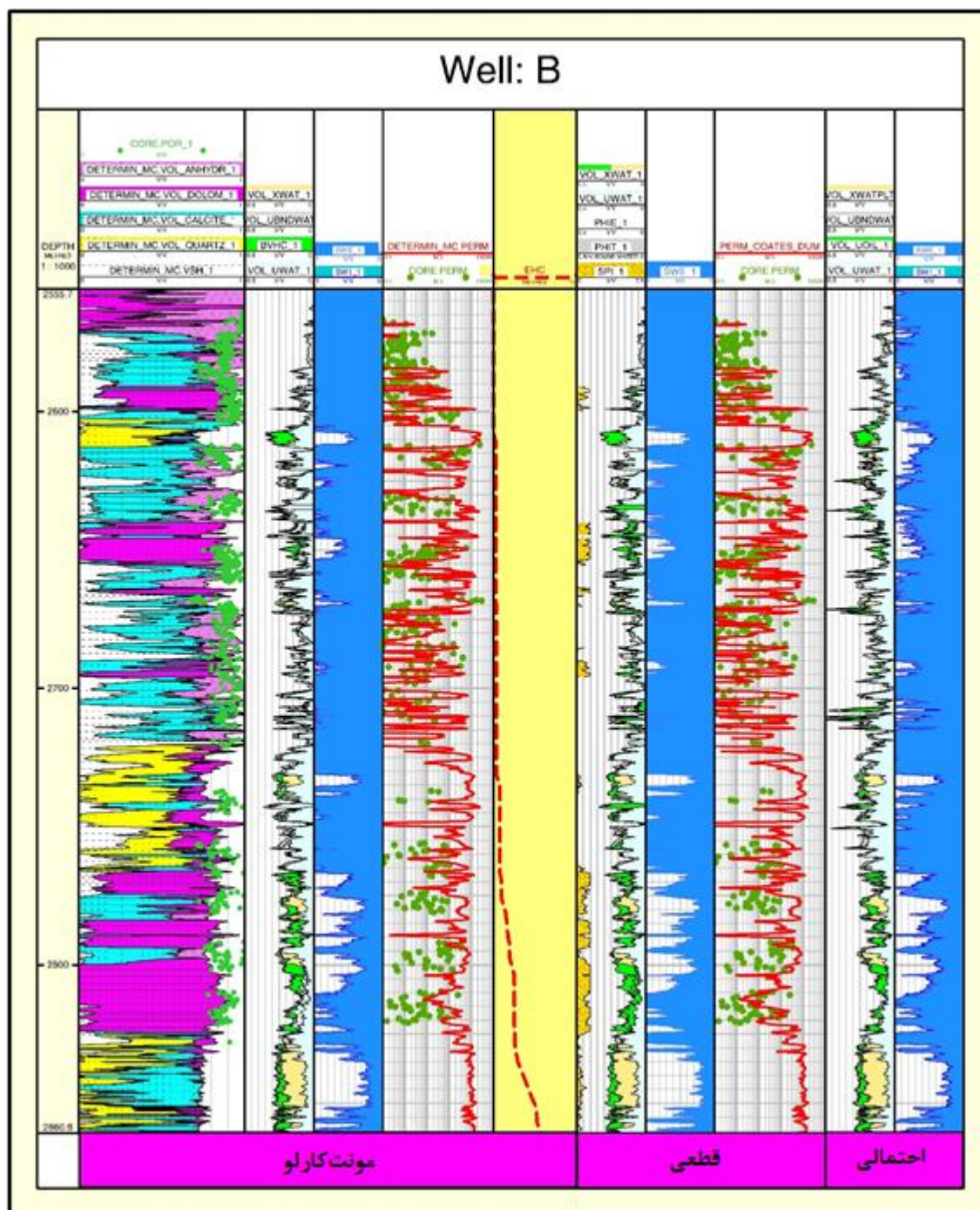
Well Name	Vsh (v/v)	PHIE (v/v)	PHIT (v/v)	SWE (v/v)	SWT (v/v)	Vol-Oil
Well-A	0.223	0.1373	0.1709	0.7218	0.7569	0.0552
Well-B	0.1661	0.1664	0.1914	0.7671	0.7875	0.0475

با توجه به جدول ۴-۱۴، نتایج پتروفیزیک احتمالی بسیار نزدیک به نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. به عنوان مثال، میانگین پارامتر پتروفیزیکی تخلخل مؤثر در چاه A در سه روش قطعی، مونت کارلو و احتمالی به ترتیب ۱۱/۹۶، ۱۳/۱۲ و ۱۳/۷۳ درصد محاسبه شده است و یا میانگین حجم هیدروکربور در چاه A نسبت به چاه B تا حدودی بیشتر است و شرایط مخزنی مناسب‌تری دارد و این شرایط در هر سه روش پایدار است. در تمام روش‌های آنالیز صورت گرفته در هر دو چاه، در قسمت‌های پایین توالی مورد ارزیابی خصوصیات مخزنی بهتر و تجمعات هیدروکربوری بیشتری مشاهده می‌شود. این مطلب با توجه به زون‌های تولیدی مشخص شده، لاگ تراوایی به دست آمده، میزان هیدروکربور برجای حاصل و همچنین ستون هیدروکربور (EHC) محاسبه شده در روش مونت کارلو در هر دو چاه کاملاً مشهود است. همچنین در قسمت‌های پایین توالی مورد بررسی در هر دو چاه مقدار کانی کوارتز بیشتری دیده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی ماسه سنگی بودن آن بخش‌هاست و قسمت‌های بالایی توالی مورد بررسی، بیشتر دارای سنگ شناسی کربناته (آهک و دولومیت) می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که زون‌های اصلی مخزنی و تجمعات بالای هیدروکربوری در قسمت‌هایی که ماسه سنگ بیشتر دیده می‌شود، قرار دارند. در این قسمت‌ها (قسمت‌های پایین توالی هر دو چاه) میزان تراوایی محاسبه شده، همخوانی بهتری با داده‌های تراوایی مغزه نشان می‌دهد. این مطلب به دلیل پایین‌تر بودن میزان شیل و در نتیجه پایین‌تر بودن ریزش دیواره در این بخش‌ها می‌باشد، زیرا ریزش دیواره‌ی چاه سبب می‌شود که پاسخی که از لاگ در برابر سازند دریافت می‌گردد، بیشتر تحت تأثیر سیال حفاری و شرایط درون چاه قرار گیرد و در نتیجه قرائت دقیقی از سازند مقابل خود نداشته باشد و همین امر نیز در برآورد

پارامتر پتروفیزیکی در این قسمت‌ها تأثیر منفی خواهد داشت و به بیان دیگر، میزان عدم قطعیت پارامتر در این نواحی بالاتر خواهد بود. شکل‌های ۴-۱۵ و ۴-۱۶ نتایج کلی سه آنالیز را برای دو چاه A و B با یکدیگر مقایسه می‌کند.



شکل ۴-۱۵: مقایسه‌ی نتایج کلی در توالی چاه A



شکل ۴-۱۶: مقایسه‌ی نتایج کلی در توالی چاه B

در شکل‌های ۴-۱۵ و ۴-۱۶، میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به دست آمده از توالی سازند آسماری در هر دو چاه A و B با استفاده از سه روش متفاوت با یکدیگر مقایسه شده است. در این شکل‌ها، ستون‌ها به ترتیب از سمت چپ شامل روش مونت کارلو است که در آن ستون اول عمق، ستون دوم

حجم کانی‌ها، ستون سوم حجم هیدروکربور، ستون چهارم اشباع آب، ستون پنجم لاگ تراوایی محاسبه شده در روش مونت کارلو و تراوایی مغزه و ستون ششم، ستون هیدروکربور می‌باشد. سپس نتایج روش قطعی ارائه شده است که در آن، ستون هفتم حجم هیدروکربور، ستون هشتم اشباع آب و ستون نهم تراوایی محاسبه شده به روش قطعی به همراه تراوایی مغزه می‌باشد. در ادامه نیز نتایج روش احتمالی بیان شده است که در آن ستون دهم حجم هیدروکربور و ستون یازدهم اشباع آب محاسبه شده با استفاده از این روش می‌باشد.

در هر دو شکل، حجم سیالات به دست آمده در سه روش با یکدیگر مقایسه شده است که تا حدود زیادی مشابه به هم می‌باشد. با بررسی دقیق‌تر، اختلاف بسیار ناچیزی بین روش‌های قطعی و مونت کارلو دیده می‌شود و بین این دو روش و روش احتمالی، تفاوت محسوس‌تری وجود دارد. اختلاف ناچیز بین روش‌های قطعی و مونت کارلو به دلیل وجود تعداد تکرارها در محاسبات مونت کارلو می‌باشد. اختلاف این دو روش با روش احتمالی نیز به نحوه‌ی محاسبات در روش احتمالی باز می‌گردد، که برخلاف روش‌های قطعی و مونت کارلو که برای محاسبه‌ی یک پارامتر، تنها از تعداد محدودی لاگ استفاده می‌شود، در روش احتمالی برای محاسبه‌ی یک پارامتر، پاسخ تمام لاگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این شکل‌ها همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، قسمت‌های بالایی هر دو چاه A و B دارای سنگ‌شناسی غالب کربناته است و هر چه به قسمت‌های انتهایی چاه نزدیک شویم، میزان سنگ‌شناسی ماسه سنگی افزایش می‌یابد. در نتایج حاصل از هر سه روش، حجم هیدروکربور در قسمت‌های انتهایی و فواصلی که سنگ‌شناسی غالب ماسه سنگی دارند، بیشتر بوده و در نتیجه، این فواصل قسمت‌های اصلی مخزنی در توالی‌های مورد ارزیابی در هر دو چاه را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین به منظور اعتبار سنجی نتایج به دست آمده، داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه با تخلخل و تراوایی محاسبه شده مطابقت داده شد و همخوانی بالایی بین این پارامترها ملاحظه گردید.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادات

۵-۱ نتیجه گیری

۱- با توجه به نمودار متقاطع تعیین لیتولوژی نوترون-چگالی دو چاه A و B، ترکیب سنگ شناسی سازند آسماری در توالی این دو چاه شامل آهک، دولومیت، ماسه و انیدریت همراه با میان لایه‌های شیلی برآورد شده است. پس از آنالیز و محاسبه‌ی حجم کانی‌های مشخص شده، پراکندگی این کانی‌ها به صورتی بود که در قسمت‌های بالای چاه، سنگ‌شناسی از نوع کربناته و ترکیبی از آهک، دولومیت و شیل با مقادیر اندکی انیدریت و در قسمت‌های پایین‌تر چاه، سنگ‌شناسی از نوع ماسه سنگی و ترکیبی از ماسه و شیل و در برخی فواصل میان لایه‌هایی از ترکیبات کربناته دیده می‌شود. البته در چاه A سنگ‌شناسی، بیشتر از نوع ماسه سنگی مشخص شده است.

۲- میانگین پارامترهای پتروفیزیکی حجم شیل (V_{sh})، تخلخل (PHIE)، اشباع آب (SWE) و هیدروکربور (SO) و همچنین تراوایی (PERM) در هر دو چاه A و B به روش قطعی محاسبه شد که در نهایت چاه A شرایط مخزنی مطلوب‌تری را نسبت به چاه B نشان داده است.

۳- عدم قطعیت لاگ‌های پتروفیزیکی در هر دو چاه به روش آنالیز مونت کارلو محاسبه شد و علاوه بر تصحیح لاگ‌های مورد استفاده از لحاظ شرایط درون چاه، مقادیر کمینه (lo) و بیشینه (hi) برای آنها تولید شد. بر این اساس در هر دو چاه، کمترین میزان عدم قطعیت مربوط به لاگ چگالی ($RHOB$) و بیشترین میزان عدم قطعیت مربوط به لاگ نوترون ($NPHI$) می‌باشد.

۴- میانگین پارامترهای پتروفیزیکی به روش آنالیز مونت کارلو به همراه مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن ($1P$ ، $2P$ و $3P$) محاسبه شد. بر این اساس بیشترین اختلاف بین مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن به دست آمده برای پارامترهای پتروفیزیکی در هر دو چاه، مربوط به پارامتر

تراوایی می‌باشد. دلیل این امر در دسترس نبودن اطلاعات مستقیم برای محاسبه‌ی این پارامتر در هر دو چاه می‌باشد. کمترین میزان اختلاف بین مقادیر قطعی، احتمالی و ممکن نیز مربوط به پارامتر تخلخل می‌باشد.

۵- با توجه به نمودارهای گردبادی که میزان تأثیر پارامترهای اندازه‌گیری را بر ستون هیدروکربور (EHC) نشان می‌دهد، در هر دو چاه A و B، قرائت لاگ نوترون بیشترین تأثیر را بر ستون هیدروکربور داشته و پس از آن، پارامترهای RWS، A، M و N بیشترین تأثیر را بر ستون هیدروکربور دارند.

۶- مقایسه بین نتایج به دست آمده از روش قطعی و روش آنالیز مونت کارلو با نتایج آنالیز احتمالی در دو چاه A و B و همچنین استفاده از اطلاعات آنالیز مغزه (تخلخل و تراوایی مغزه) به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده، علاوه بر نزدیک بودن محدوده‌ی پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده در سه روش با یکدیگر، نشان می‌دهد که در قسمت-های بالای چاه که دارای سنگ‌شناسی غالب کربناته است، به دلیل پیچیدگی‌های بسیار زیاد از لحاظ سیستم تخلخل و تراوایی نسبت به سنگ‌شناسی ماسه سنگی، لاگ‌های پتروفیزیکی و در نتیجه پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده می‌توانند عدم قطعیت بالاتری نسبت به فواصل با سنگ‌شناسی غالب ماسه سنگی داشته باشند.

۵-۲ پیشنهادات

۱- با توجه به این که نتایج به دست آمده از این تحقیق تنها با نتایج آنالیز احتمالی مقایسه گردید، پیشنهاد می‌شود عدم قطعیت‌های به دست آمده برای لاگ‌های مورد استفاده در این تحقیق نیز با عدم قطعیت‌های لاگ به روش احتمالی مقایسه شود تا مطالعه‌ی جامع‌تری در این زمینه صورت گیرد.

۲- پیشنهاد می‌شود جهت برآورد پارامتر پتروفیزیکی تراوایی که می‌توان گفت حساس‌ترین پارامتر پتروفیزیکی است و ارتباط مستقیمی با میزان تولید هیدروکربور دارد، از اطلاعات تشدید مغناطیس هسته‌ای (NMR) استفاده شود تا عدم قطعیت برای این پارامتر به حداقل مقدار خود برسد.

۳- پیشنهاد می‌شود ابزار نمودارگیری تصویری^۱ (FMI, FMS, ...) در این دو چاه رانده شده و از نتایج تفسیر یا اطلاعات آنها به منظور مقایسه (و حتی اعتبارسنجی و کاهش عدم قطعیت) نتایج به دست آمده از این تحقیق و تکمیل اطلاعات دو چاه مورد مطالعه که نهایتاً سبب دید بهتری جهت تولید و بهره‌برداری از این چاه‌ها خواهد شد، استفاده شود.

¹ Image log

منابع

آقانباتی س.ع، (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران" چاپ اول، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

باقری ح، خوشبخت ف، (۱۳۹۳) "تعیین زون تولیدی (Pay Zone) به دو روش حد برش (Cut off) و خوشه بندی (Clustering) داده‌های لاگ در یک مخزن کربناته" نشریه علمی پژوهشی پژوهش نفت.

باقری ح، طباطبایی رئیسی س.ه، فضلی ل و دولتی ارده جانی ف، (۱۳۹۲) "بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ مخزنی سازند شوربجه در یکی از چاه‌های واقع در حوضه کپه داغ (شمال خاور ایران)" فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، (۲)، ص ۸۷ - ۹۹.

بهدادسلامی ا، (۱۳۹۰) "مروری بر روش شبیه سازی مونت کارلو" پژوهشنامه اقتصادی، ص ۱۱۷ - ۱۳۸.

پناهی ل، کدخدایی ع و موسوی ح، (۱۳۹۳) "ارزیابی پتروفیزیکی سازند آسماری در میدان چشمه خوش" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، ایران، ۱۳۰ ص.

رضایی م، (۱۳۸۹) "زمین شناسی نفت" انتشارات علوی، تهران، ۵۱۲ ص.

رضایی م و چهارزی ع، (۱۳۸۹) "اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی" انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۶۹۹ ص.

صفری ح، امیری بختیار ح، فولادوند ر، (۱۳۸۸) "زمین شناسی تحت الارضی پایه‌ای" شرکت ملی نفت ایران، اهواز، ۴۲۵ ص.

فضلی ل، باقری ح، (۱۳۹۳) "ارزیابی پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری به دو روش قطعی و احتمالی با استفاده از نرم افزار ژئولاگ" انتشارات ستایش، تهران، ۱۹۸ ص.

مسعودی م، کدخدایی ع و موسوی ح، (۱۳۹۳) "ارزیابی پتروفیزیکی سازند سروک در یکی از میادین جنوب غرب کشور" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، ایران، ۱۱۵ ص.

مطیعی ه، (۱۳۸۹) "مقدمه‌ای بر ارزیابی مخازن نفتی زاگرس" جلد دوم، انتشارات آرین زمین، تهران، ۸۰۰ ص.

موحد ب، کهنسال قدیم وند ن و زمان نژاد م ر، (۱۳۹۰) "ارزیابی پتروفیزیکی سازندهای کنگان و دالان فوقانی چاه Sp.x در میدان گازی پارس جنوبی" پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، ۶ (۲۱)، ۱۸۵-۱۶۹.

Ahmad, U., Crary, S.F., and Coates, G.R., (1991), "**Permeability estimation: The various sources and their interrelationships**", SPE, pp 578-587.

AIAA, (1998), "**Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations**", AIAA G-077-1998.

Brock, J., (1986), "**Applied Open-Hole Log Analysis**", Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

Coates, G.R., Dumanoir, J.L., (1974), "**A New Approach to Improved Log-Derived Permeability**", The Log Analyst.

Fertl, W.H., (1987), "**Log-Driven Evaluation Of Shaly Reservoirs**", J. pet.Tech., Vol.39, No.2, 175-194 pp.

Fylling, A., (2002), "**Quantification of petrophysical uncertainty and its effect on in-place volumes estimates: numerous challenges and some solutions**", SPE 77637.

Geolog Paradigm Rock & Fluid Canvas, (2011), “**Determin uncertainty analysis technical reference**”.

Kennedy, J., Pujiyono, Cox, A., and Aldred, R., (2010), “**Using quantified model based petrophysical uncertainty to aid in conflict resolution**”, SPWLA 51st Annual Logging Symposium.

Lashin, A., Al-Arifi, N., Mousa, G., and Abd El Aal, M., (2009), “**Reservoir characterization using Monte Carlo simulation and Stochastic analyses**”, 10th FKPE workshop in Borehole Geophysics and Petrophysics, DeutscheGeophysikalische Gesellschaft e.V. FKPE, Oberpfalz Bayern, Germany.

Masoudi, P., Zahedi, A., Moradzadeh, A., Alirezaei, F. and Zamanzadeh, S.M., (2011), “**Estimation of in Place Hydrocarbon Volume in Multilayered Reservoirs Using Deterministic and Probabilistic Approaches**”, Energy Exploration and Exploitation 29(5), 543–558 pp.

Mayer, C. and Sibbit, A., (1980), “**Global, a New Approach to Computer-Processed Log Interpretation**”, Paper SPE 9341 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, September 21-24 pp.

Poupon, A., and leveaux, J., (1971), “**evaluation of water saturation in shaly formations, trans**”.SPWLA 12th annual logging symposium, 01-2.

Ringen, J.K., Halvorsen, C., and Holand, H., (2001), “**Reservoir water saturation measured; case histories and recommendations**”, 6th Nordic Symposium on Petrophysics, 15-16 May 2001, Trondheim, Norway.

Schlumberger, (1989), “**Schlumberger Log Interpretation Charts**”, Houston, Texas.

Serra, O., (1984), “**Fundamentals Of Well-Log Interpretation: 1. The Acquisition Of Logging Data**”, Elsevier Science Publisher B.V.

Verga, F.M., Giaccardo, A., Gonfalini, M., (2001), “**proceedings 5th Offshore Mediterranean Conference**”, Ravenna, Italy.

Viberti, D. and Verga, F., (2012), “**An Approach for the Reliable Evaluation of the Uncertainties Associated to Petrophysical Properties**”, Mathematical Geosciences, Volume 44, Issue 3, 327-341 pp.

Winsaure, W.O., Shearin, H.M., Jr., Masson, P.H. and Williams, M., (1952),
“**Resistivity of Brine-Saturated Sands in Relation to Pore Geometry**”, AAPG Bull.,
Vol.36, No.2, 253-227 pp.

Abstract:

Calculation accuracy of petrophysical parameters and reduction of error determination of them is an important issue in the hydrocarbon reservoir studies. One of the main important factors to increase the calculation accuracy in petrophysical parameters is the measurement accuracy of well logging tools and low uncertainty in their results. The main purpose of this study is the determination of reservoir petrophysical parameters (especially permeability and water saturation) using Determin method, Monte-carlo analysis and probabilistic method and determination of those parameters uncertainties and generally petrophysical evaluation of the reservoir case study. In this study which is evaluated on Asmari formation located in one of the reservoirs in south-west of Iran, first the lithology of Asmari formation sequence were determined with neutron-density crossplot for wells A and B. Due to the mentioned method, calcite, dolomite, sandstone, shale and infrequent amount of anhydrite was observed in both wells. Then Determin method was used to calculate petrophysical parameters which conclude that well A has better reservoir conditions than well B. In the next step which is the main part of the study, the amounts of petrophysical logs uncertainties have been determined using Monte-carlo analysis. Afterwards by using logs uncertainties, petrophysical parameters in Asmari formation sequence were calculated using Monte-carlo analysis and proved, probable and possible values (1P, 2P and 3P) for each parameter in both wells were achieved. By the use of difference in these values, parameters uncertainties have been determined and the result shows that the highest uncertainty is for permeability and the lowest uncertainty relates to porosity. Lack of a log which could measure permeability directly, is the reason why this parameter has a high uncertainty and the reason why porosity has a low uncertainty, is due to the measurement of this parameter by using three porosity logs (neutron, density and sonic). Also the uncertainty in top of the both wells that have carbonate-dominated lithology is greater than sandstone-dominated lithology in the bottom parts of the wells. The reason is due to the complexity of porosity and permeability systems in carbonate reservoirs in respect to sandstone reservoirs. Also by using the petrophysical tornado charts, sensitivity analysis has been done and the effects of these parameters and logs on equivalent hydrocarbon column (EHC) have been studied. The results show that the neutron log has greatest impact on EHC factor in both wells.

Keywords: Uncertainty, Monte-carlo analysis, Crossplots, Petrophysical parameters, Permeability, Porosity, Equivalent hydrocarbon column (EHC), Water saturation.



University of Shahrood

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

**Determination of uncertainty quantity of
petrophysical parameters estimation using Monte
Carlo analysis (A case study of a hydrocarbon
reservoir in south of Iran)**

Amirreza Honarbakhsh

Supervisors:

Dr. Abolghasem Kamkar Rouhani

Dr. Mohammad Koneshloo

September 2014