

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی کمی تراوایی با استفاده از امواج آکوستیک و تعیین ضریب سیمان شدگی در
یکی از مخازن کربناته جنوب ایران

کیوان خیر

اساتید راهنما:

دکتر علی مرادزاده

دکتر بهزاد تخم‌چی

خرداد ۱۳۹۳

باتهیت واحترام

تقدیم به یگانہ یاورانم در مسیر نفس گیر زندگی

پدر و مادر مهربانم

تشکر و قدردانی

به نام آن علیمی که شعله‌ی عشق به تحصیل را در فانوس سینه‌ی پر مهر صاحبان علم و طالبان عمل روشن نمود. حمد و سپاس کردگاری را سزااست که رخصت کسب علم و دانش را به ما عطا فرموده است.

خدایا که هرچه در این عالم است تو را علم و رحمت بر او محکم است

تحقیق حاضر، ثمره‌ی مساعدت‌ها و تلاش‌های بسیاری از عزیزانی بوده که همواره مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داده و با دلسوزی در کنار من بوده‌اند. اکنون که به فضل الهی این تحقیق به پایان رسیده، شایسته است از زحمات آقایان دکتر علی مرادزاده و دکتر بهزاد تخم-چی که فراتر از نقش استاد راهنما، همواره با صبر حوصله به راهنمایی اینجانب پرداختند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

علاوه‌بر این لازم می‌دانم از جناب آقای مهندس رئوف غلامی و آقای حسین شاه‌حسینی و دوستانم که در زمینه‌های مختلف مرا یاری رساندند تشکر نمایم.

با آرزوی موفقیت روز افرون

کیوان خیر

تعهد نامه

اینجانب کیوان خیر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت (اکتشاف) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "ارزیابی کمی تراوایی با استفاده از امواج آکوستیک و تعیین ضریب سیمان‌شدگی در یکی از مخازن کربناته جنوب ایران" تحت راهنمایی دکتر علی مرادزاده متعهد می‌شوم.

- 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 صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » 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 می‌گردد.
- 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 صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج محقق در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

محاسبه تراوایی از طریق امواج استونلی یکی از روش‌های موجود جهت اندازه‌گیری پیوسته در سراسر چاه اکتشافی بدون استفاده از ضرایب تجربی است. با توجه به توانمندی‌های ابزار DSI در اندازه‌گیری و ثبت موج استونلی با کیفیت بالا، تخمین تراوایی از طریق موج استونلی و به دست آوردن یک رابطه ریاضی به منظور محاسبه آن هدف این مطالعه می‌باشد. در این تحقیق، جهت تعیین تراوایی در مخزن کربناته میدان دارخوین، از امواج استونلی ثبت شده توسط ابزار DSI و اطلاعات به دست آمده از ابزار MDT به منظور کالیبره کردن موج استونلی با مقدار تراوایی استفاده شد. در ابتدا تفسیر پتروفیزیکی با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی صورت گرفت. سپس میزان سرعت موج استونلی در زمینه سنگ با استفاده از نمودار متقاطع و روابط ریاضی تعیین شد. پس از آن فاکتور تطابق بین موج استونلی و تراوایی محاسبه و در نهایت با استفاده از روابط ریاضی، مقدار کمی تراوایی با کمک مفهوم واحدهای جریان و در روشی دیگر با استفاده از رابطه ریاضی موجود بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی، مقدار تراوایی به طور پیوسته محاسبه شد. مقایسه بین نتایج حاصل از دو روش نشان‌دهنده کارایی بهتر روش دوم نسبت به روش اول می‌باشد.

ضریب سیمان شدگی که تحت تاثیر میزان ناهمگنی، تنوع زیاد در لیتولوژی، بافت، هندسه و شکل منافذ می‌باشد، در سنگ‌های کربناته ثابت نبوده و دارای مقدار متغیری می‌باشد که لازم است مقادیر آن با دقت بالایی تعیین گردد. در این تحقیق با استفاده از روابط فوک و مان، رگلاند و لوسیا مقدار این ضریب به صورت پیوسته محاسبه و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. در میان این سه روش، نتایج حاصل از روش لوسیا شباهت بیشتری با نتایج حاصل از آزمایشات مغزه دارد. در نهایت با اعمال تغییراتی در رابطه لوسیا، رابطه‌ای جهت محاسبه ضریب سیمان-شدگی در مخازن کربناته ارائه شد که نتایج به دست آمده از رابطه به دست آمده با نتایج حاصل از آزمایشات مغزه دارای انطباق بالایی می‌باشد. علاوه بر این با استفاده از نگار چگالی نیز اقدام به محاسبه ضریب سیمان‌شدگی شد که نتایج حاصل دارای انطباق بالایی با مقادیر واقعی به دست آمده از مغزه می‌باشد.

کلمات کلیدی: تراوایی، امواج استونلی، ابزار DSI، مخزن کربناته، ضریب سیمان‌شدگی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ مرور منابع	۴
۱-۲-۱ تراوایی	۴
۲-۲-۱ ضریب سیمان‌شدگی	۷
۳-۱ ضرورت و هدف تحقیق	۱۱
فصل دوم: روش شناسی تحقیق	۱۳
۱-۲ مقدمه	۱۴
۱-۱-۲ ساز و کار ابزار DSI	۱۴
۲-۱-۲ روش‌های تعیین تراوایی با استفاده از ابزار DSI	۱۸
۲-۲ محاسبه ضریب سیمان‌شدگی	۲۴
۱-۲-۲ ضرورت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی	۲۴
۲-۲-۲ روش‌های تعیین ضریب سیمان‌شدگی	۲۵
فصل سوم: توصیف زمین شناسی منطقه و داده‌ها	۲۸
۱-۳ مقدمه	۲۹
۲-۳ معرفی میدان دارخوین	۲۹
۳-۳ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی میدان دارخوین	۲۹
۴-۳ نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های پتروفیزیکی مورد استفاده در تحقیق	۳۳
۱-۴-۳ نگار قطرسنجی	۳۴
۲-۴-۳ نگار مقاومت ویژه	۳۵
۳-۴-۳ نگار صوتی	۳۸
۴-۴-۳ نگار پرتو گاما	۴۰

۴۳	 ۵-۴-۳ نگار چگالی
۴۵	 ۶-۴-۳ نگار نوترون
۴۷	 ۷-۴-۳ نگار فتوالکتریک
۴۹	 ۸-۴-۳ ابزار MDT
۵۰	فصل چهارم: تعیین تراوایی و ضریب سیمان‌شدگی مخزن کربناته میدان نفتی دارخوین
۵۱	 ۱-۴ مقدمه
۵۱	 ۲-۴ تعیین تراوایی با استفاده از نگار DSI
۵۲	 ۱-۲-۴ تفسیر پتروفیزیکی مخزن کربناته چاه DQ10
۵۶	 ۲-۲-۴ آماده‌سازی داده‌های MDT
۵۸	 ۳-۲-۴ محاسبه کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ
۶۹	 ۵-۲-۴ محاسبه کمی تراوایی
۸۲	 ۶-۲-۴ ارزیابی روش‌های استفاده شده جهت تعیین تراوایی در این مطالعه
۸۵	 ۳-۴ محاسبه ضریب سیمان‌شدگی در چاه DQ14
۸۵	 ۱-۳-۴ تفسیر پتروفیزیکی چاه DQ14
۸۸	 ۲-۳-۴ روش فوک و مان در تعیین ضریب سیمان‌شدگی
۹۱	 ۳-۳-۴ روش رگلاند در تعیین ضریب سیمان‌شدگی
۹۳	 ۴-۳-۴ محاسبه ضریب سیمان‌شدگی بر مبنای روش لوسیا
۹۷	 ۵-۳-۴ محاسبه ضریب سیمان‌شدگی با استفاده از نگار چگالی
۱۰۲	 فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۰۳	 ۵-۱ نتیجه‌گیری
۱۰۴	 ۵-۲ پیشنهادات
۱۱۶	 منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. تصویری شماتیک از نحوه قرارگیری فرستنده‌ها و گیرنده‌ها در سوند
DSI.[www.odp.tamu.edu]..... ۱۵
- شکل ۲-۲. نحوه انتشار امواج توسط فرستنده دو قطبی در سازند نرم (Darvin and Julian, 2008)..... ۱۷
- شکل ۳-۲. تاثیر شکستگی و تراوایی بر عبور موج استونلی. در بازه تراوا سرعت و انرژی موج کاهش مییابد و در هنگام عبور از شکستگی مقداری از انرژی موج منعکس و بقیه عبور می‌کند. (Darvin and Julian, 2008)..... ۱۹
- شکل ۱-۳. موقعیت جغرافیایی میدان دارخوین (لاسمی و نورافکن، ۱۳۸۴)..... ۳۰
- شکل ۲-۳. (الف) نقشه زمین شناسی مربوط به جنوب غرب ایران، درون بیضیگون آبی رنگ محدوده مخزن دارخوین است. (ب) یک مقطع از صفحه آبادان از ساختمان فروافتادگی دزفول که از تاق‌دیس دارخوین عبور می‌کند (تهیه شده توسط شرکت ملی نفت ایران)...... ۳۲
- شکل ۳-۳. قسمتی از نگار قطر سنجی در چاه های DQ10 و DQ14..... ۳۵
- شکل ۴-۳. قسمتی از نگارهای مقاومت ویژه چاههای DQ10 و DQ14..... ۳۷
- شکل ۵-۳. نگار صوتی در دو چاه DQ10 و DQ14..... ۳۹
- شکل ۶-۳. قسمتی از نگار پرتو گاما در چاههای DQ10 و DQ14..... ۴۲
- شکل ۷-۳. قسمتی از نگار چگالی چاههای DQ10 و DQ14..... ۴۴
- شکل ۸-۳. قسمتی از نگار نوترون ثبت شده در چاههای DQ10 و DQ14..... ۴۶
- شکل ۹-۳. قسمتی از نگار فوتوالکتریک در چاههای DQ10 و DQ14..... ۴۸
- شکل ۱-۴. نگارهای پتروفیزیکی قسمتی از سازند گدوان در چاه DQ10..... ۵۳
- شکل ۲-۴. قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی زون مخزنی چاه DQ10، سازند فهلیان..... ۵۴

- شکل ۴-۳. نمودار متقاطع نوترون- چگالی به منظور تعیین لیتولوژی. لیتولوژی غالب سازند با توجه به نمودار، سنگ آهک می باشد. ۵۵
- شکل ۴-۴. داده های تراوایی حاصل از ابزار MDT را بر روی نگار قطرسنجی نشان می دهد. ۵۷
- شکل ۴-۵. تعیین نقاط Supercharge با استفاده از نمودار متقاطع عمق-فشار. ۵۸
- شکل ۴-۶. نمودار متقاطع Se^2 در مقابل Ss^2/p_b ۶۰
- شکل ۴-۷. نمودار زمان گذر موج استونلی در زمینه سنگ ۶۱
- شکل ۴-۸. نمودار متقاطع تخلخل نوترون بر حسب کندشدگی موج استونلی در زون ناتراوا ۶۲
- شکل ۴-۹. زون نفتی اصلی سازند فهلیان که در بازه عمقی ۴۴۲۰ متر تا ۴۵۳۶ متری چاه DQ10 قرار دارد. ۶۵
- شکل ۴-۱۰. بزرگترین زون آبی سازند فهلیان واقع در بازه عمقی ۴۳۵۰ - ۴۴۱۰ متری چاه DQ10 ۶۶
- شکل ۴-۱۱. تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی به دست آمده از ابزار MDT در زون نفتی واقع در بازه عمقی ۴۴۲۰ - ۴۵۳۶ متری سازند فهلیان در چاه DQ10 ۶۷
- شکل ۴-۱۲. تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی MDT در زون آبی واقع در بازه عمقی ۴۳۵۰ - ۴۴۱۰ متری سازند فهلیان چاه DQ10 ۶۸
- شکل ۴-۱۳. نگار تراوایی محاسبه شده توسط امواج استونلی که با مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ با استفاده از نمودار متقاطع NPHI-DTst در زون ناتراوا به دست آمده است. ۷۰
- شکل ۴-۱۴. نگار تغییرات تراوایی محاسبه شده با استفاده از امواج استونلی. در محاسبه این نگار پارامتر کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ با استفاده از رابطه (۴-۲) محاسبه و جایگزین شده است. ۷۲
- شکل ۴-۱۵. تغییرات تراوایی محاسبه شده در سرتاسر سازند فهلیان که تمامی پارامترهای مؤثر بر تراوایی اثر داده شده است. ۷۴

شکل ۴-۱۶. نگار نهایی تغییرات تراوایی محاسبه شده با استفاده از کندشدگی موج استونلی
۷۷.....

شکل ۴-۱۷. تغییرات ضریب پیچاپیچی (a) به صورت پیوسته در سرتاسر مخزن و انطباق آن
با مقادیر محاسبه شده توسط آنالیز مغزه (نقاط قرمز رنگ) در ستون ۸ مشاهده می گردد. ۷۹

شکل ۴-۱۸. تغییرات ضریب پیچاپیچی محاسبه شده در مقابل ضریب پیچاپیچی اندازه-
گیری شده توسط آنالیز مغزه ۸۰

شکل ۴-۱۹. نگار پیوسته تغییرات تراوایی حاصل از کندشدگی موج استونلی با استفاده از
روش مفهوم واحدهای جریان ۸۱

شکل ۴-۲۰. نگار تراوایی محاسبه شده. و مقایسه تغییر روند آن با نگارهای تخلخل و صوتی
دلیلی بر صحت نگار محاسبه شده است. ۸۳

شکل ۴-۲۱. مراحل محاسبه تراوایی با استفاده از امواج استونلی ۸۵

شکل ۴-۲۲. نگارهای چاه پیمایی مربوط به سازند گدوان (بازه عمقی ۴۰۸۰ متر تا ۴۱۳۰
متر) ۸۶

شکل ۴-۲۳. تغییرات نگارهای پتروفیزیکی قسمتی از سازند فهلپان در چاه DQ14..... ۸۷

شکل ۴-۲۴. تغییرات نگار انحراف سرعت در مقابل زون مخزنی سازند فهلپان ۹۰

شکل ۴-۲۵. تغییرات پیوسته ضریب سیمان شدگی محاسبه شده با استفاده از روش رگلاند
در مقابل زون مخزنی..... ۹۲

شکل ۴-۲۶. ارتباط بین فاکتور m و نسبت تخلخل اولیه به تخلخل کل ۹۴

شکل ۴-۲۷. مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی و آزمایشات مغزه ۹۴

شکل ۴-۲۸. نگار تغییرات ضریب سیمان شدگی محاسبه شده بر مبنای تغییر رابطه لوسیا
..... ۹۶

شکل ۴-۲۹. قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی چاه شماره ۲۳ میدان دارخوین ۹۷

شکل ۴-۳۰. نمودارهای متقاطع m - RHO matrix در زونهای نفتی (شکل الف) و آبی
(شکل ب)..... ۹۸

شکل ۴-۳۱. ستون پنجم، نگار ضریب سیمان شدگی محاسبه شده با استفاده از نگار چگالی می باشد. ۱۰۰

شکل ۴-۳۲. مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر ضریب سیمان شدگی حاصل از آزمایشات مغزه ۱۰۱

فصل اول:

کلیات

۱-۱ مقدمه

تعیین پارامترهای پتروفیزیکی به منظور ارزیابی مخازن نفت و گاز همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. این پارامترها شامل تخلخل، تراوایی، اشباع‌شدگی سیال و سنگ‌شناسی مخزن می‌باشد که به دو روش مستقیم و غیرمستقیم مورد بررسی قرار می‌گیرند. منظور از روش‌های مستقیم، اندازه‌گیری از طریق آزمایشات مغزه و روش‌های غیرمستقیم استفاده از اطلاعات به دست آمده از نگارهای چاه می‌باشد. (Hassani giv and Rahimi, 2008).

از دلایل اصلی ترجیح استفاده از نگارهای چاه بر آنالیز مغزه، ارزان‌تر بودن هزینه انجام عملیات چاه‌نگاری نسبت به مغزه‌گیری و به علاوه به دست آمدن اطلاعات پیوسته‌ای از پارامتر مورد بررسی در سرتاسر مخزن از مزایای استفاده از نگارهای چاه می‌باشد. از آنجایی که نگارهای مختلف چاه تغییرات خواص فیزیکی سازندهای اطراف گمانه‌های اکتشافی را در اعماق مختلف به صورت پیوسته نشان می‌دهند، لذا از طریق بررسی این تغییرات و ارزیابی پتروفیزیکی نگارهای چاه، می‌توان پارامترهای اساسی در توصیف مخزن را با دقت خوبی تعیین کرد (فهمیه و روستایی، ۱۳۸۸).

تراوایی یکی از مهم‌ترین پارامترهای پتروفیزیکی جهت اندازه‌گیری در مخازن نفت و گاز می‌باشد. ضرورت تعیین تراوایی در مراحل مختلف ارزیابی، تکمیل، بهینه‌سازی عملیات ازدیاد برداشت، مدل‌سازی مخزن و مدیریت آن نمود می‌یابد. به همین جهت روش‌های گوناگون با کارایی متمایز برای ارزیابی تراوایی توسط مهندسان و زمین‌شناسان ارائه شده است. اگرچه روش‌هایی چون آزمایشات مغزه و آزمایش فشار سازند از جمله روش‌های دقیق محاسبه تراوایی می‌باشند، اما به دلیل هزینه‌های بسیار بالا، فقط در فواصل محدودی از چاه اقدام به مغزه‌گیری می‌شود و یا نقاط کمی از چاه مورد آزمایش قرار می‌گیرد و درنهایت اطلاعات به دست آمده به کل چاه تعمیم داده می‌شود. این کار در شرایطی که مخزن کربناته ناهمگن باشد، ویژگی‌های مخزن که اساساً بر مبنای تراوایی تعیین شده است نمی‌تواند شرایط حقیقی مخزن را بیان کند و از این رو تعیین مقدار تولید مخزن نیز اشتباه خواهد بود. (مسلمان نژاد و همکاران، ۱۳۸۵). در روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم تراوایی از خصوصیات مختلفی از قبیل تشدید مغناطیسی هسته (NMR)^۱ و یا نمودارهای ژئوشیمیایی و غیره که همگی دارای ضرایب تجربی می‌باشند استفاده می‌گردد؛ که در صورت عدم تعیین صحیح این ضرایب، تراوایی محاسبه‌شده دارای عدم

^۱. Nuclear Magnetic Resonance

قطعیت بالایی خواهد بود (هداوند و مرادزاده، ۱۳۸۵). با توجه به مشکلات روش‌های مستقیم و غیرمستقیم، ضرورت مطالعه و بررسی روش‌های جدید کاملاً محسوس می‌باشد.

محاسبه تراوایی از طریق امواج استونلی یکی از روش‌های موجود جهت ارائه اندازه‌گیری پیوسته در سرتاسر گمانه اکتشافی بدون استفاده از ضرایب تجربی می‌باشد. با توجه به توانمندی‌های ابزار تصویرگر دو قطبی موج برشی^۱ DSI در اندازه‌گیری و ثبت موج استونلی باکیفیت بالا، تخمین تراوایی از طریق موج استونلی و به دست آوردن یک رابطه ریاضی به منظور محاسبه آن در مخازن نفتی بسیار ضروری است.

از دیگر پارامترهای مهم مخزنی، میزان اشباع هیدروکربور است. تخمین دقیق میزان اشباع آب (Sw) و ذخیره هیدروکربن برجا، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در ارزیابی سازندهای هیدروکربوری می‌باشد و عدم قطعیت‌ها را در پیش‌بینی‌های اقتصادی و توسعه میادین نفت و گاز کاهش می‌دهد.

یکی از اساسی‌ترین روابط محاسبه اشباع‌شدگی آب، رابطه آرچی است. دسترسی به مقادیر صحیح Sw، وابسته به ارزیابی دقیق ضرایب آرچی، یعنی ضریب سیمان‌شدگی m، ضریب پیچاپیچی a و توان اشباع‌شدگی n می‌باشد. در این میان m مهم‌ترین عاملی است که اشباع‌شدگی نسبت به آن حساسیت نشان می‌دهد و به همین دلیل همواره اندازه‌گیری و تخمین صحیح آن یکی از مسائل اصلی در ارزیابی‌های پتروفیزیکی می‌باشد (الوکی بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸). در مخازن ماسه‌سنگی حتی با ثابت فرض کردن m، این رابطه به خوبی جواب می‌دهد. اما مخازن کربناته در جهات عمودی و جانبی ناهمگن‌تر از ماسه‌سنگ‌ها می‌باشند. این ناهمگنی به دلیل تنوع شکل و اندازه منافذ است که خود ناشی از تنوع بافتی و پتانسیل بالای دیاژنتیکی این سنگ‌ها می‌باشد (رستمی و حسنی گیلو، ۱۳۹۰).

به همین جهت، بررسی روابط تجربی گوناگون ارائه شده توسط محققین مختلف و به دست آوردن رابطه‌ای مناسب برای تخمین دقیق مقدار ضریب سیمان‌شدگی در مخزن کربناته میدان مورد مطالعه از اهمیت بالایی برخوردار است.

^۱. Dipole Shear Sonic Imager

۱-۲ مرور منابع

۱-۲-۱ تراوایی

از سال ۱۸۵۶ که دارسی رابطه‌ای را در ارتباط با جریان سیال در داخل فضاهاى خالى مواد عنوان نمود، تراوایی از جمله پارامترهایی بوده که بر روی آن تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. آب شناسان برای اندازه‌گیری این پارامتر در لایه‌های آبدار، آزمایش پمپاژ را پیشنهاد نمودند. در صنعت نفت نیز آزمایشات مختلف چاه صورت گرفت و بعد از مدتی چاه‌آزمایی به عنوان یکی از روش‌های اساسی تعیین خواص سنگ و سیال مخزن به صورت برج‌ا شناخته شد.

در سال ۱۹۲۷ توسط کوزنی (Kozeny) رابطه‌ای به منظور محاسبه تراوایی به صورت پیوسته در سرتاسر چاه پیشنهاد شد. پس از آن در سال ۱۹۳۷ رابطه‌ی وی توسط کارمن (Carman) اصلاح گردید و تحت عنوان رابطه کوزنی کارمن معروف شد (Delhome, 2007). آن‌ها برای یافتن رابطه‌ای مناسب بین تخلخل و تراوایی، محیط متخلخل را به صورت مجموعه‌ای از لوله‌های موئینه در نظر گرفتند. از آنجایی که در یک مدل واقعی لوله‌های موئینه مستقیم نبوده و دارای خمیدگی‌های متفاوتی هستند، در رابطه ارائه شده توسط آن‌ها، فاکتورهایی به نام‌های عامل پیچ‌پیچی و مساحت حجم دانه‌ها، لحاظ شد.

در سال ۱۹۶۸ تیمور (Timur) بر اساس نتایج آزمایشگاهی که بر روی ۱۵۵ نمونه مغزه ماسه‌سنگی انجام داده بود، رابطه‌ای را بین تخلخل و درصد اشباع آب کاهش نیافتنی ارائه نمود (Delhome, 2007).

در سال ۱۹۷۳ کوتز (Coates) و دومانیور (Dumanior) برای مخازن ماسه‌سنگی دارای شیل با استفاده از رابطه ارائه شده توسط آرچی به منظور محاسبه اشباع آب کاهش نیافتنی (S_{wi})، مدلی را با نام ماسه شیلی ارائه نمودند و رابطه‌ای را بین S_{wi} و تراوایی (K) پیشنهاد کردند. رابطه آن‌ها تنها برای مخازن ماسه سنگ دارای شیل کاربرد دارد و در مخازن کربناته دارای شیل پاسخ مناسبی در تخمین تراوایی نمی‌دهد (Ahmad, 1991).

در سال ۱۹۸۷ هرون (Herron) با استفاده از نگارهای پرتو گاما و نوترون کانی‌های تشکیل‌دهنده در سازند و نوع آن‌ها را شناسایی نمود و از اطلاعات حاصل از آن مقادیر نسبی

اندازه سطح دانه‌ها را تعیین و با استفاده رابطه کوزنی کارمن مقدار تراوایی را بدون استفاده از داده مغزه محاسبه نمود. اما با این حال روش وی در تمام مخازن کربناته پاسخگو نمی‌باشد.

لوسیا و جینگ در سال ۲۰۰۳ رابطه تجربی دیگری جهت محاسبه پیوسته ضریب سیمان-شدگی بر اساس نوع دانه‌بندی سنگ‌ها ارائه کردند که در ماسه‌سنگ‌های تمیز کاربرد داشت (Tiab and Donanldson, 2004)

با ورود ابزار NMR در صنعت نمودارگیری و با توجه به اینکه ابزار قابلیت ارائه پارامترهایی از قبیل تخلخل مؤثر، حجم سیال آزاد، حجم سیال مقید و نحوه توزیع فضاهای خالی را دارد، روابط دیگری جهت تعیین تراوایی ارائه شد.

کوزنی و کنیون (Kozeny and kinoun) رابطه‌ای ارائه نمودند که در آن از اطلاعات به دست آمده از نگار NMR استفاده شد. (Dlubac and Knight, 2010)

در سال ۲۰۱۲ قلی نژاد و مسیحی در مطالعاتی که بر روی چند مخزن کربناته در جنوب ایران داشتند رابطه‌ای تجربی را جهت محاسبه تراوایی ارائه نمودند که در آن از مفهوم واحدهای جریان به منظور تعیین تراوایی استفاده کردند (Gholinejad and Masihi, 2012).

علاوه بر این در سال‌های اخیر با استفاده از مفهوم شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک نیز اقدام به تخمین تراوایی شده است که در اکثر موارد نتایج قابل قبولی از آن‌ها به دست آمده است.

در دهه ۱۹۷۰ بحث استفاده از امواج آکوستیک در محاسبه تراوایی توسط لبرتون (Leberton) عنوان شد. در سال ۱۹۸۴ ویلیام و همکارانش (Williams et al) نشان دادند که انطباق خوبی بین تراوایی و تضعیف سرعت امواج استونلی وجود دارد (Brie et al., 2000). به دنبال آن در سال ۱۹۸۸ اسمیت و همکارانش (Schmitt et al.) مدل منافذ الاستیک بایوت (Biot) را توسعه داد و در سال ۱۹۹۰ چانگ و همکارانش (Chang et al.) مدل حاصله را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و از لحاظ عددی مدل ارائه شده را مورد سنجش قرار دادند. که نتایج قابل قبولی به دست آمد. اساس این مدل یک الگوریتم ساده می‌باشد که در آن تراوایی را از اختلاف بین کندشدگی موج استونلی در فرکانس‌های داده‌شده با کندشدگی موج استونلی محاسبه‌شده بر اساس مدل کاملاً الاستیک در سازندهای ناتروا، تخمین می‌زند. این مدل، روش S-Se نامیده شد. این مدل در سنگ‌های سخت معمولاً نتیجه می‌دهد اما در سنگ‌هایی که دارای تخلخل بالایی می‌باشند و نرم می‌باشند دارای نتایج ضعیفی می‌باشد. (Brie et al., 2000).

کسل و همکارانش (Cassell et al.) در سال ۱۹۹۴ مدلی را ارائه نمود که با استفاده از آن می-توان مقدار تراوایی را براساس تغییرات کندشدگی موج استونلی در فرکانس‌های مختلف محاسبه نمود. اما با این حال در مخازنی که دارای سازندهای نرم هستند مدل آن‌ها کارایی چندانی نداشت (Cassell et.al, 1994).

با ظهور ابزار DSI شرکت شولمبرژه که حالت‌های مختلفی برای اندازه‌گیری کندشدگی موج استونلی و برشی دارد، کیفیت ثبت زمان گذر و تضعیف برای این امواج به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت. بری و همکاران در سال ۲۰۰۰ رابطه‌ای ارائه نمودند که با استفاده از آن می‌توان مقدار کندشدگی موج استونلی را در قسمت‌های ناتراوای سنگ محاسبه نمود و پس از آن با استفاده از مقدار کندشدگی استونلی کل به دست آمده، مقدار کندشدگی استونلی در قسمت تراوای سازند که در اثر تراوایی موجود می‌باشد را تعیین نمودند (Brie et al., 2000). در ادامه کار بری، الادانی و براتی در تحقیقی در سال ۲۰۰۳ تاثیرات تراوایی بر کندشدگی موج استونلی را نشان دادند. آن‌ها بیان داشتند که کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه اکتشافی به یک کندشدگی زمینه که مربوط به یک ناحیه ناتراوا در گمانه می‌باشد و یک کندشدگی که مربوط به ناحیه تراوای سازند می‌باشد تقسیم می‌شود. آن‌ها با استفاده از تفکیک این دو موج بر اساس روابطی که به طور مفصل در فصل دوم در ارتباط آن بحث خواهد شد، فاکتوری را ارائه نمودند. و با استفاده از آن و لحاظ نمودن تغییرات لیتولوژی در سرتاسر گمانه مقدار تراوایی را به صورت پیوسته در کل گمانه محاسبه نمودند (AL.Adani and Barati, 2003). با استفاده از روش آن‌ها در تفکیک موج استونلی ثبت شده و محاسبه فاکتور ارائه شده، می‌توان تا حدودی تغییرات تراوایی را با دقت بالایی به دست آورد. اما روش ارائه شده آن‌ها هنوز روش کاملی نبود.

در سال ۲۰۰۷ هداوند و مرادزاده در تحقیقی روش الادانی را در مخزن کربناته دارای ماسه‌سنگی مورد بررسی قرار دادند و با لحاظ نمودن تخلخل در رابطه ارائه شده توسط الادانی و براتی، به نتایج بهتری رسیدند. اما با این حال هنوز در قسمت‌هایی از تراوایی محاسبه شده، انطباق خوبی با مقادیر واقعی وجود نداشت. (هداوند و مرادزاده، ۱۳۸۵).

در سال ۲۰۰۸ مسلمان‌نژاد و همکاران در مطالعه‌ای که بر روی یکی از مخازن کربناته جنوب ایران داشتند مقدار تراوایی به دست آمده از امواج استونلی را با تراوایی حاصل از نگار NMR

مقایسه کردند و نتایج به دست آمده از امواج استونلی را از لحاظ شباهت با نتایج حاصل از مغزه، دقیق‌تر از نتایج حاصل از نگار NMR دانستند (مسلمان نژاد و همکاران، ۱۳۸۵).

در سال ۲۰۱۰ اصغری و همکاران در مقاله‌ای مزیت استفاده از امواج استونلی به دست آمده از سوندد SI را نسبت به سایر روش‌های محاسبه تراوایی، دینامیک بودن این روش اعلام کردند (اصغری و همکاران، ۱۳۹۱) علاوه بر این در سال ۲۰۱۰ تانگ و همکارانش در مقاله‌ای به بررسی حساسیت بیشتر امواج استونلی ثبت‌شده توسط روش نگار گیری حین حفاری (LWD)^۱ نسبت به تکنیک سیم بکسلی^۲ پرداختند. در مطالعه‌ای که توسط آن‌ها بر روی امواج استونلی ثبت شده توسط تکنیک LWD و تکنیک سیم بکسلی صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که مقادیر امواج استونلی ثبت شده در تکنیک LWD حساسیت بیشتری نسبت به تراوایی و شکستگی‌های سنگ دارد (Tang and Patterson, 2010).

در سال ۲۰۱۲ سان و همکارانش (Sun and et al.) در مطالعه‌ای، طیف کامل امواج صوتی و ارتباط هر نوع موج صوتی با تراوایی را مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها دریافتند که تغییر در سرعت و میزان کندشدگی در امواج استونلی نسبت به امواج برشی و طولی، بیشتر با تراوایی متناسب است و با استفاده از امواج استونلی می‌توان نسبت به تعیین مقدار تراوایی سنگ اقدام نمود (Sun et al., 2012).

در سال ۲۰۱۳ گوان و همکاران (Guan and et al.) تغییرات موج استونلی را در منافذ اشباع کامل از آب مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از مدل‌سازی معکوس مقدار تراوایی را به صورت کمی محاسبه و نمودار پیوسته‌ای از تراوایی در مخزن کربناته مورد مطالعه، به دست آوردند (Guan and et al., 2013).

۲-۲-۱ ضریب سیمان‌شدگی

ضریب سیمان‌شدگی (m)، نقش مهمی را در محاسبه درصد اشباع هیدروکربور و آب موجود در مخازن، با استفاده از فرمول آرچی و نگارهای مقاومت ویژه چاه ایفا می‌کند. این ضریب معمولاً به وسیله آنالیزهای آزمایشگاهی که بر روی مغزه‌های گرفته‌شده از چاه صورت می‌گیرد، تعیین می‌شود. مقدار m در لیتولوژی‌های مختلف ثابت نمی‌باشد. مخصوصاً در سنگ‌های کربناته به

^۱. Logging while Drilling

^۲. Wireline

دلیل پیچیدگی شکل حفرات و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر و نحوه دانه‌بندی دارای مقادیر مختلفی است. بنابر این در نظر گرفتن یک مقدار میانگین که از نتایج مغزه‌ها حاصل شده است باعث ایجاد خطا در محاسبات درصد اشباع خواهد شد (Fock and Muan, 1987).

فاکتور مقاومت سازند (F) اولین بار توسط آرچی به صورت نسبت هدایت الکتریکی آب شور به هدایت الکتریکی ماسه‌سنگ تمیز کاملاً اشباع از آب تعریف شد. رابطه (۱-۱).

$$F = C_w/C_o = R_o/R_w \quad (1-1)$$

در این رابطه C_w و R_w به ترتیب هدایت الکتریکی آب شور و مقاومت ویژه الکتریکی آب شور و C_o و R_o هدایت الکتریکی و مقاومت ویژه الکتریکی ماسه‌سنگ تمیز می‌باشد.

آرچی دریافت که رابطه بین فاکتور مقاومت سازند و تخلخل سنگ به صورت زیر می‌باشد.

$$F = \frac{a}{\phi^m} \quad (2-1)$$

که در آن m ضریب سیمان‌شدگی و a ضریب پیچاپیچی است (رستمی و حسنی گویو، ۱۳۹۰). روش معمول تعیین مقدار m استفاده از نمودار لگاریتمی F بر حسب ϕ می‌باشد. در این روش، منفی شیب بهترین خط برازش شده به نقاط داده‌ها را به عنوان مقدار ضریب سیمان‌شدگی در نظر می‌گیرند (الوکی بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸).

اولین بار ضریب سیمان‌شدگی در سال ۱۹۴۲ توسط آرچی تعریف شد. او نشان داد که مقدار m در ماسه‌سنگ با سیمان ضعیف برابر ۱/۳ و در ماسه‌سنگ با سیمان‌شدگی خوب ۱/۸ تا ۲ می‌باشد. تیمور و همکارانش (Timur et al.) برای تعداد ۱۸۰۰ نمونه ماسه‌سنگ از ۱۵ میدان نفتی مقدار m را برابر با ۱/۲۳ و مقدار a را برابر ۱/۱۳ به دست آوردند (الوکی بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸).

مطالعات محققین نشان داد که با استفاده از رابطه آرچی می‌توان مقادیر m را به صورت مدل‌های تجربی از پارامترهای معلوم دیگر (اغلب تخلخل) و از نمودارهای پتروفیزیکی محاسبه نمود. این روابط برای استفاده در رخساره‌های گوناگون کربناته معمولاً با شکست مواجه می‌شوند. برای مثال در تخلخل‌های مشابه، مقدار m در سنگ‌های کربناته با تخلخل حفره‌ای بسیار متفاوت با مقدار آن در سنگ‌های کربناته با تخلخل بلوری می‌باشد (Rasmus, 1983).

لوسیا (Lucia) در سال ۱۹۸۳ نشان داد که مقدار m با افزایش نسبت تخلخل‌های غیر مرتبط به تخلخل کل، افزایش می‌یابد. این نسبت تخلخل‌ها را می‌توان یا از نگارهای نوترون، دانسیته و صوتی محاسبه کرد و یا از نتایج اندازه‌گیری‌های آنالیز مغزه و مطالعات مقاطع نازک تخمین زد (الوکی بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸).

در سال ۱۹۸۷ فوک و مان (Focke and Munn) سنگ‌های کربناته را بر مبنای بافت فضای متخلخل به شش گروه تقسیم‌بندی کرده و با اندازه‌گیری تخلخل و فاکتور مقاومت سازند و با استفاده از رابطه آرچی، روند تغییرات m را نسبت به تخلخل به دست آوردند. آن‌ها نشان دادند که مقدار m در سنگ‌های کربناته با تخلخل حفره‌ای غیر مرتبط تا ۵/۵ افزایش می‌یابد و تاثیر افزایش فشار مؤثر طبقات فوقانی بر مقادیر m در این گونه از سنگ کربناته بیش از سنگ‌های کربناته با تخلخل‌های دیگر است. آن‌ها نشان دادند که فاکتور سیمان‌شدگی علاوه بر مقدار تخلخل به جنس سنگ و نوع تخلخل نیز ارتباط دارد (Hassani giv and Rahimi, 2008).

در سال ۱۹۹۲ ماوت و همکارانش (Maute et al.) روشی عددی بر پایه‌ی آنالیز داده‌های به دست آمده از آزمایشات اندازه‌گیری مغزه و نگارهای مقاومت ویژه گرفته‌شده از چاه به منظور محاسبه ضرایب قانون آرچی پیشنهاد نمودند. روش آن‌ها با عنوان روش (CAPE) معروف می‌باشد (Muata et al., 1992).

در سال ۲۰۰۲ رگلاند (Regland)، ۹۸ نمونه از مغزه‌های حفرشده در محل‌های مختلف (با انواع تخلخل) و از محیط‌های مختلف رسوب‌گذاری را مورد مطالعه قرارداد. او نشان داد که در نمونه‌های با تخلخل‌های ریز (تخلخل انحلالی، میکروسکوپی و شکستگی‌های ریز)، این نوع تخلخل تاثیر کمتری بر روی m دارند که با توجه به درصد فراوانی تخلخل‌های قالبی (درون فسیلی) و بین ذره‌ای دو رابطه ساده برای پیش‌بینی m در نمونه‌های با تخلخل قالبی و بین ذره‌ای ارائه کرد (سعادت و همکاران، ۱۳۸۸).

در سال ۲۰۰۳ همادا و همکارانش (Hamada et al.) روش استفاده از نمودارهای متقاطع سه بعدی را پیشنهاد نمودند (Hassani giv and Rahimi, 2008). اما روش آن‌ها در تمامی مخازن کربناته قابل استفاده نبود.

کاظم‌زاده و همکارانش در سال ۲۰۰۷ در مطالعه‌ای که بر روی ۷۰ نمونه مغزه گرفته‌شده از یکی از میادین جنوب ایران انجام دادند، نمونه‌های گرفته‌شده را بر اساس نوع تخلخل و بافت با

استفاده از نگار انحراف سرعت طبقه‌بندی و مقادیر m را ارزیابی نمودند. همچنین رضایی و همکارانش در سال ۲۰۰۷ از واحدهای جریان الکتریکی در تعیین ضریب سیمان‌شدگی استفاده نمودند (Hassani giv and Rahimi, 2008).

اکبر و همکارانش (Akbar et al.) در سال ۲۰۰۸ با استفاده از نگارهای تصویری گرفته‌شده از دیواره چاه مقدار ضریب سیمان‌شدگی را تعیین نمودند (Rafiee et al., 2013).

شانگ (Shang) در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای اعلام نمود از آنجایی که در بیشتر مخازن کربناته تخلخل هم از نوع بین دانه‌ای است و هم از نوع حفره‌ای، بهتر است قبل از استفاده از روش متداول جهت تعیین ضریب سیمان‌شدگی، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی داده، مخزن کربناته مورد بررسی را از حالت هتروژن به هموژن تبدیل نمود. وی با طبقه‌بندی داده‌های فاکتور مقاومت ویژه سازندی و تخلخل با استفاده از روش خوشه‌بندی، مقدار ضریب سیمان‌شدگی را برای هر کلاس داده به صورت جداگانه محاسبه نمود. در نهایت نتایج حاصل از محاسبه ضریب سیمان‌شدگی بسیار به نتایج گرفته‌شده از مغزه شباهت داشت (Shang, 2010) اشکالی که به روش ایشان وارد بود، آن است که استفاده از این روش ملزم به داشتن طیف کاملی از داده‌های مغزه و نگارهای چاه می‌باشد.

در سال ۲۰۱۱ شریفی و همکارانش مقدار ضریب سیمان‌شدگی را با انجام آزمایشات فشار موئینه بر روی نمونه‌های مغزه و اندازه‌گیری شاخص مقاومت ویژه تعیین نمودند. آن‌ها با استفاده از این آزمایشات فاکتوری به نام فاکتور “b” را تعیین نمودند و در محاسبه شاخص مقاومت ویژه تاثیر دادند و در نهایت با استفاده از شاخص مقاومت ویژه به دست آمده، ضرایب آرچی را تعیین نمودند (Sharifi Galiuk et al., 2011).

در سال ۲۰۱۲ همادا و الماجد از سه روش آزمایشات مغزه، روش متداول و روش سه بعدی به منظور محاسبه ضریب سیمان‌شدگی استفاده نمودند و در نهایت تاثیر اندازه‌گیری‌های مختلف مقدار m را در محاسبه درصد اشباع سیال با استفاده از رابطه آرچی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند هر یک از روش‌های مذکور، مقادیر متفاوتی را برای ضرایب آرچی ارائه می‌دهد. اما در بین این روش‌ها، ضرایب آرچی به دست آمده از روش نمودار متقاطع سه بعدی در تعیین درصد اشباع سیال دقت بیشتری دارد (Hamada and Al.Majed, 2013).

۱-۳ ضرورت و هدف تحقیق

به منظور اندازه‌گیری تراوایی در مخازن هیدروکربوری علاوه بر روش‌های متداول چاه‌آزمایی، مغزه‌هایی در عمق‌های مختلف گرفته می‌شود و با انجام آنالیز بر روی مغزه‌های گرفته‌شده تحت شرایط آزمایشگاهی، میزان تراوایی و سایر پارامترهای پتروفیزیکی را از لحاظ کیفی و کمی تعیین می‌نمایند. از آنجایی که مغزه‌گیری و آنالیز آن از جمله روش‌های گران‌قیمت می‌باشد و مغزه‌گیری از سرتاسر چاه به ندرت صورت می‌گیرد و تنها از قسمت‌هایی از چاه مغزه‌گیری می‌شود؛ در مخازنی که از لحاظ پتروفیزیکی هتروژن می‌باشند، نمی‌توان به نتایج آنالیز مغزه اعتماد نمود. چرا که به عنوان مثال ممکن است در یک قسمت از مخزن تراوایی دارای مقدار قابل‌توجهی باشد، درحالی‌که در قسمت دیگر از همان مخزن که از آن مغزه‌ای گرفته نشده است دارای مقدار بسیار پایینی باشد. بنابر این به دست آوردن یک نمودار پیوسته از تغییرات تراوایی و دیگر پارامترهای پتروفیزیکی که مستقیماً از روی نگارهای چاه قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند ضرورت پیدا می‌کند. از این رو هدف اصلی تحقیق حاضر تغییرات تراوایی در سرتاسر مخزن، با استفاده از امواج آکوستیک به صورت نمودار پیوسته است.

پارامتر آب اشباع‌شدگی یکی دیگر از مهم‌ترین پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری است. رایج‌ترین فرمول محاسبه درصد اشباع سیال رابطه آرچی می‌باشد. نقش ضریب سیمان-شدگی در این رابطه اساسی است، به طوری‌که تغییر اندک این ضریب موجب تغییرات قابل توجه درصد اشباع سیال می‌گردد. مقدار ضریب سیمان‌شدگی به نوع تخلخل، تراوایی، بافت سنگ و نحوه قرارگیری دانه‌های سنگ در کنار هم بستگی دارد و از نمونه‌ای به نمونه دیگر تغییر نموده و نمی‌تواند ثابت فرض شود. به دلیل تغییرات زیادی که در بافت سنگ‌های کربناته وجود دارد نمی‌توان کاملاً به نتایج گرفته‌شده از مغزه اعتنا نمود. چرا که مغزه‌های گرفته‌شده از تمامی قسمت‌های مخزن نمی‌باشد و بنابراین نمی‌تواند تغییرات کامل این ضریب را در مخزن نشان دهد. بنابراین لازم است تا با استفاده از روشی، تغییرات ضریب سیمان‌شدگی را با دیگر پارامترهای مخزن مانند تخلخل، در قالب معادله‌ای ارائه نمود. در این پایان‌نامه علاوه بر هدف فوق‌الذکر تلاش خواهد شد تا چنین معادله‌ای در یکی از مخازن کربناته جنوب ایران ارائه گردد.

۱-۴ ساختار پایان‌نامه

پایان نامه حاضر، متشکل از ۵ فصل می باشد. با توجه به دو قسمتی بودن موضوع پایان نامه، هر فصل از دو قسمت تشکیل شده است. در قسمت اول هر فصل در مورد تراوایی و در قسمت دوم پیرامون ضریب سیمان شدگی بحث خواهد شد. فصل اول ابتدا به معرفی موضوع پایان نامه و بعد از آن به بررسی مطالعات قبلی صورت گرفته در ارتباط با موضوع و در نهایت ضرورت انجام پایان نامه می پردازد. فصل دوم در ارتباط با توضیح روش های استفاده شده در این مطالعه به منظور تعیین تراوایی و ضریب سیمان شدگی می باشد. در فصل سوم به معرفی میدان مورد مطالعه، زمین شناسی منطقه و در نهایت معرفی داده هایی که در محاسبات از آن ها استفاده شده است، پرداخته خواهد شد. در فصل چهارم چگونگی استفاده از روش های توضیح داده شده در فصل دوم ارائه می گردد و در نهایت نتایج حاصل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در فصل پنجم، نتیجه گیری مطالب و همچنین پیشنهاداتی برای محققین در این زمینه ارائه شده است.

فصل دوم:

روش‌شناسی تحقیق

سنگ مخزن علاوه بر متخلخل بودن باید توانایی جریان سیال از درون منافذ متصل به هم را داشته باشد. توانایی سنگ در هدایت سیالات را نفوذپذیری یا تراوایی نامند. تراوایی سنگ به تخلخل مؤثر آن بستگی دارد. در نتیجه به وسیله اندازه‌ی دانه سنگ، شکل دانه، توزیع اندازه دانه‌های سنگ و درجه استحکام و سیمان‌شدگی بستگی دارد. واحد تراوایی در صنعت نفت دارسی (mD) می‌باشد.

امروزه روش‌های مختلفی اعم از تجربی و عددی با کارایی متمایز به منظور محاسبه تراوایی و ارائه آن به صورت یک نمودار پیوسته وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشد. محاسبه تراوایی با استفاده از امواج آکوستیک یکی از روش‌هایی است که در آن از هیچ ضریب تجربی استفاده نخواهد شد. این موضوع باعث شده تا این روش به عنوان یک روش دقیق‌تر نسبت به سایر روش‌ها شناخته گردد. علاوه بر این نسبت به روش‌هایی چون NMR از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. در این فصل روش تعیین تراوایی از روی امواج آکوستیک ثبت شده توسط سوند DSI توضیح داده خواهد شد. اما قبل از آن لازم است کوتاه در مورد ساز و کار سوند DSI توضیحاتی ارائه گردد.

۲-۱-۱ ساز و کار ابزار DSI

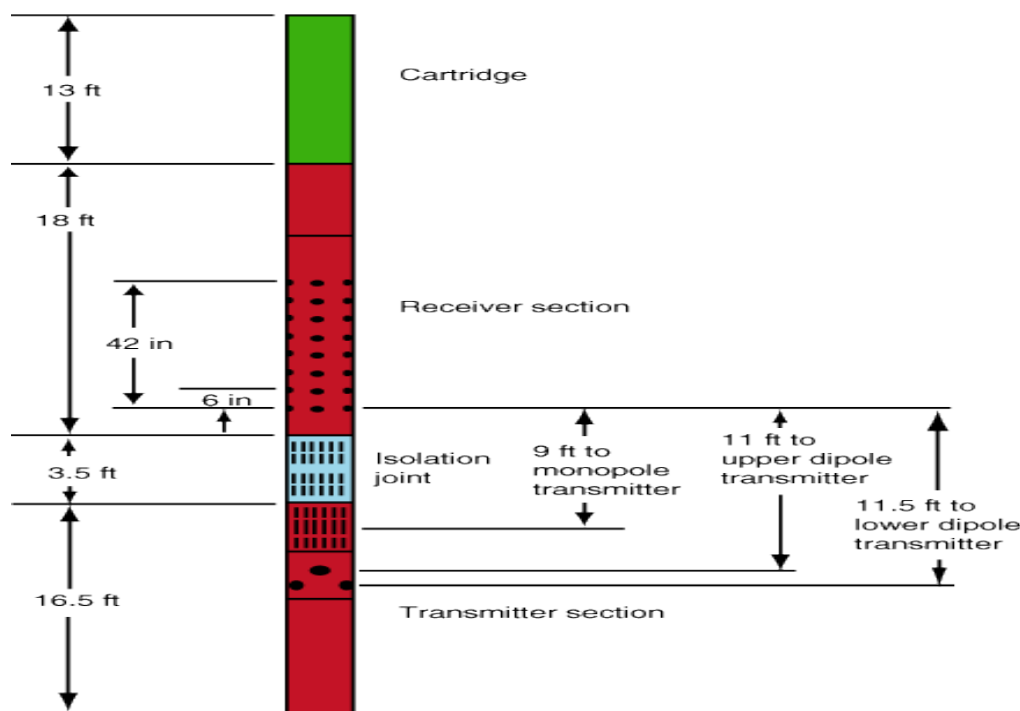
ابزار DSI با تلفیق پیشرفته‌ترین روش‌های اندازه‌گیری صوت، به صورت تک قطبی و دو قطبی شرایطی فراهم آورده که امواج فشاری، برشی و استواری را با بهترین کیفیت ثبت می‌نماید.

با استفاده از سیستم اندازه‌گیری دوقطبی ابزار DSI، می‌توان امواج برشی را در سازندهای نرم همانند سازندهای سخت اندازه‌گیری نمود.

سوند DSI یک ابزار چندگیرنده با آرایش خطی است. این سوند دارای هشت گیرنده می‌باشد که به صورت خطی در کنار یکدیگر قرار گرفته است. گیرنده‌های این ابزار قابلیت آرایش پذیری تک قطبی و دو قطبی را دارا می‌باشند. فرستنده‌های این ابزار شامل یک فرستنده تک قطبی و دو فرستنده دوقطبی عمود بر هم می‌باشد. حضور هشت گیرنده در این ابزار باعث می‌شود که نمونه‌های بیشتری جهت تحلیل و پردازش امواج وجود داشته باشد و به دنبال آن

نتایج بهتری حاصل گردد. نحوه قرار گیری فرستنده و گیرنده ها در این ابزار به طریقی است که امواج ثبت شده از فاصله دورتری نسبت به دیواره گمانه می باشد. مزیت دیگر ابزار DSI قابلیت ترکیب این ابزار با انواع دیگر ابزار نمودارگیری است که این خود باعث صرفه جویی در هزینه و زمان خواهد شد (Schulmberger, 2011)

هر سوند DSI که مطابق شکل (۱-۲) شامل ۴ قسمت می باشد که در زیر به شرح این چهار قسمت پرداخته شده است.



شکل ۱-۲. تصویری شماتیک از نحوه قرارگیری فرستنده ها و گیرنده ها در سوند DSI. [www.odp.tamu.edu]

الف) قسمت فرستنده

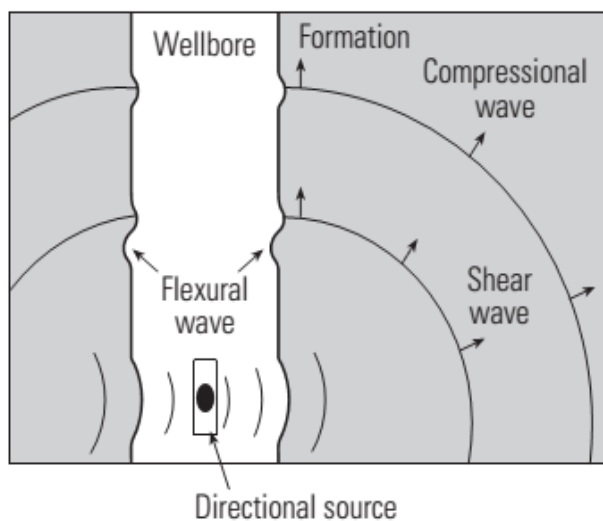
ابزار DSI دارای سه فرستنده می باشد، یک فرستنده تک قطبی و دو فرستنده دوقطبی که در جهت عمود بر یکدیگر قرار دارند. نحوه عملکرد فرستنده های تک قطبی به این شکل می باشد که انرژی صوت را در تمام جهات ساطع می کند. موج ساطع شده به صورت شعاعی از محور ابزار خارج و به دیواره گمانه برخورد می کند و در اثر اختلاف مقاومت صوتی^۱ فضای داخل چاه با سازند موجود در دیواره، قسمتی از انرژی موج بازتاب و قسمت دیگر شکسته شده و وارد سازند می گردد. آن قسمت از موج که وارد

^۱. Acoustic impedance

سازند می‌شود به دو موج فشاری و برشی تبدیل می‌گردد. زمانی که زاویه امواج وارد شده به داخل سازند با فصل مشترک دیواره گمانه ۹۰ درجه شد، موج سر حاصل از این امواج وارد گمانه شده و توسط گیرنده ها ثبت می‌شود. از آنجایی که امواج سر^۱ تنها زمانی تشکیل می‌شوند که سرعت موج منتشر شده در سازند از سرعت موج تشکیل شده در سیال داخل چاه بیشتر باشد، بنابر این در سازندهای نرم که سرعت موج در آنها از سرعت موج در سیال کم تر است نمی‌توان امواج برشی را ثبت نمود. ابزار DSI با استفاده از تکنیک فرستنده دوقطبی این مشکل را برطرف نموده است. فرستنده های دو قطبی، انرژی صوت را برخلاف این که در تمام جهات پخش کنند تنها در یک جهت مشخص ساطع می‌نمایند. عملکرد فرستنده های دو قطبی شبیه به عملکرد پیستون می‌باشد. به این معنا که در یک طرف افزایش فشار و در طرف مخالف آن کاهش فشار را ایجاد می‌کند. این تغییر فشار سبب ایجاد لرزش در چاه می‌گردد. در نتیجه لرزش ایجاد شده موج فشاری و برشی وارد سازند شده و موج پیچشی^۲ در فصل مشترک سازند و چاه تولید و به سمت بالا انتشار پیدا می‌کند و جابجایی اندکی را در ذرات دیواره چاه ایجاد می‌نماید که جهت جابجایی ذرات در جهت عمود بر جهت انتشار موج پیچشی می‌باشد. در شکل (۲-۲) تصویری شماتیک از نحوه انتشار امواج توسط منبع تک قطبی و دو قطبی مشاهده می‌شود. از آنجایی که موج پیچشی یک موج پاشنده است، در فرکانس‌های پایین سرعت آن برابر سرعت موج برشی سازند بوده و در فرکانس‌های بالاتر، آهسته‌تر از موج برشی حرکت می‌نماید. با استفاده از این خصوصیت موج پیچشی، سرعت موج برشی در ابزارهای دوقطبی محاسبه می‌گردد.

^۱ . Head wave

^۲ Flexural wave



شکل ۲-۲. نحوه انتشار امواج توسط فرستنده دو قطبی در سازند نرم (Darvin and Julian, 2008).

فرستنده تک قطبی توانایی ارسال امواج با فرکانس‌های مختلف را دارد و به همین دلیل می‌توان در فرکانس‌های بالا، امواج فشاری و برشی و در فرکانس‌های پایین موج استواری را با کیفیت بالایی ثبت نمود. فرستنده‌های دو قطبی نیز جهت تولید موج پیچشی و موج برشی در سازندهای نرم با فرکانس پایین کار می‌کنند.

(ب) قسمت جدا کننده

این قسمت ابزار از حرکت امواج بر روی بدنه ابزار به سمت بالا جلوگیری می‌نماید.

(ج) قسمت گیرنده

این قسمت شامل هشت گیرنده می‌باشد. هر کدام از گیرنده‌ها به فاصله ۶ اینچ از یکدیگر فاصله دارند و در کل، ۳/۵ اینچ را تحت پوشش خود قرار می‌دهند. هر کدام از گیرنده‌ها شامل دو جفت هیدروفون می‌باشد که یک جفت از آن هم راستا با فرستنده بالایی و جفت دیگر در جهت فرستنده پایینی می‌باشد.

(د) کارتریج گردآوری داده‌ها

این قسمت از ابزار می‌تواند هشت شکل موج مجزای ثبت شده توسط گیرنده‌ها را رقومی کرده و آن‌ها را در حافظه خود ذخیره نماید. علاوه بر این پس از شلیک مجدد ابزار داده‌های ثبت شده را به بالا ارسال می‌نماید.

عمق تشخیص ابزار بستگی به نوع سازند، کندشدگی^۱ فشاری و برشی، فاصله بین گیرنده و فرستنده و طول موج امواج دارد (Schulmberger, 2011).

۲-۱-۲ روش‌های تعیین تراوایی با استفاده از ابزار DSI

امواج استونلی که در گروه امواج هدایت شده طبقه‌بندی می‌شوند در سطح تداخل بین سیال و سازند منتشر می‌شوند. تاثیر کندشدگی و تضعیف موج استونلی تابعی از فرکانس است، به طوری که افزایش تراوایی باعث افزایش پراکنش، افزایش تضعیف و کندشدگی می‌شود (Qobi et al., 2001). امواج استونلی در فرکانس‌های پایین همانند یک موج لوله ای شکل که رفتار پیستون وار دارد، درون چاه انتشار می‌یابد. زمانی که موج استونلی از قسمت تراوا و یا دارای شکستگی عبور می‌کند، مقداری از انرژی موج کاهش می‌یابد که نتیجه آن میرایی موج استونلی و بالا رفتن مقدار کندشدگی می‌باشد. شکستگی‌ها و نواحی تراوا تاثیر متفاوت بر روی موج استونلی دارند. بایستی توجه داشت، پارامتری که توسط موج استونلی اندازه‌گیری می‌شود دقیقاً تراوایی نیست، بلکه بیشتر نشان‌دهنده قابلیت حرکت سیال داخل سازند می‌باشد که واحد آن نیز میلی داری بر سانتی‌پواز می‌باشد. بنابراین با داشتن مقدار ویسکوزیته سیال داخل سنگ و مقادیر موج استونلی که توسط ابزار DSI ثبت می‌گردد می‌توان مقدار تراوایی را به صورت کمی محاسبه نمود (Al.Adani and Barati, 2003).

از فاکتورهایی که بر روی کندشدگی موج استونلی انتشار یافته در داخل سازند اثر گذار است می‌توان به عوامل سنگ شناسی، تاثیر اندود گل ایجاد شده بر روی دیواره چاه در مقابل زون تراوا و نوع سیال داخل سازند اشاره نمود (هداوند و مرادزاده، ۱۳۸۵). در مقابل سازند متراکم، موج استونلی اساساً از ویژگی‌های سیال چاه و سازند (مدول بالک سیال، سرعت سیال و چگالی) تاثیر می‌پذیرد. در مقابل بازه متخلخل سازند یا شیل‌ها کندشدگی افزایش یافته و این موج از

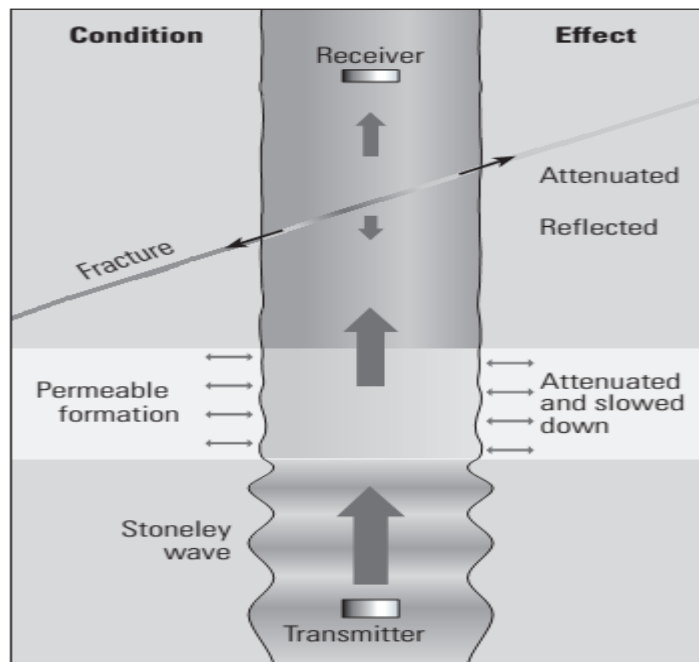
^۱. Slowness

مدول برشی و مدول سیال سازند تاثیر می‌پذیرد به طوری که در فرکانس‌های پایین می‌توان معادله زیر (۱-۲) را نوشت (مسلمان نژاد و همکاران، ۱۳۸۵).

$$\frac{1}{V_{st}} = \sqrt{\rho_f \left(\frac{1}{G} + \frac{1}{K_f} \right)} \quad (1-2)$$

که در آن V_{st} سرعت موج استونلی بر حسب $\text{ft}/\mu\text{s}$ ، ρ_f چگالی سیال چاه بر حسب g/cc ، G مدول برشی سازند و K_f مدول بالک سیال می‌باشد.

این معادله در سازندی که کندشدگی استونلی تنها از خواص الاستیکی چاه و سازند تاثیر گرفته، صحیح و معتبر است و این شرط تنها در سازند با تراوایی صفر صحیح است. در مقابل سازند تراوا رفتار موج استونلی توسط جابجایی سیال تغییر می‌کند. پالس فشاری از چاه با زمینه جامد و سیال منفذی تا حدودی به طور مستقل برهمکنش می‌کند، چون سیال منفذی قادر است نسبت به ماتریکس جامد جابجا شود. این برهمکنش، سرعت و انرژی موج استونلی را کاهش می‌دهد. مطابق شکل (۳-۲) در اثر تراوایی و یا در واقع قابلیت سیالیت بیشتر، انرژی بیشتری از موج استونلی کاهش می‌یابد و در نتیجه کندشدگی موج بیشتر می‌شود (مسلمان نژاد و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۳-۲. تاثیر شکستگی و تراوایی بر عبور موج استونلی. در بازه تراوا سرعت و انرژی موج کاهش می‌یابد و در هنگام عبور از شکستگی مقداری از انرژی موج منعکس و بقیه عبور می‌کند. (Darvin and Julian, 2008).

معادله (۱-۲) کندشدگی موج استونلی را به چگالی بالک و کندشدگی برشی در سازند ناتراوا ارتباط می‌دهد. زمان گذر موج استونلی از داخل دیواره چاه را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان نمود.

$$S^2 = S_e^2 + S_p^2 \quad (۲-۲)$$

در این رابطه S زمان گذر کلی (در واقع کندشدگی) موج استونلی در دیواره چاه، S_e زمان گذر موج استونلی در ناحیه نفوذ ناپذیر و تراوایی نزدیک به صفر و S_p زمان گذر افزوده شده به زمان گذر کلی موج استونلی در اثر تراوایی سازند بر حسب میکروثانیه بر فوت می‌باشد. در رابطه (۲-۲) مقدار S_e^2 را می‌توان با استفاده از معادله زیر محاسبه نمود.

$$S_e^2 = S_f^2 + \left(\rho_f / \rho_b \right) S_s^2 \quad (۳-۲)$$

در این رابطه S_s زمان گذر موج برشی اندازه‌گیری شده توسط ابزار بر حسب میکروثانیه بر فوت، S_f زمان گذر موج استونلی در سیال سازند، ρ_f چگالی سیال داخل سازند و ρ_b چگالی کل سازند می‌باشد.

بنابراین با رسم متقاطع S_e^2 در مقابل S_s^2/ρ_b در یک زون ناتراوا از دیواره چاه، شیب خط در طول نقاط با تراوایی صفر برابر با ρ_f و عرض از مبدا S_f^2 می‌باشد. با به دست آمدن مقدار S_f^2 می‌توان مقدار S_e^2 را در سرتا سر چاه با استفاده از رابطه (۳-۲) محاسبه نمود و در نهایت مقدار حاصل را از S^2 موجود در رابطه (۲-۲) کسر نموده که نتیجه آن بیان‌گر میزان زمان گذر موج استونلی در ناحیه تراوا می‌باشد. تا به این جا مقدار زمان گذر موج استونلی در ناحیه تراوا و ناتراوا به طور کامل مشخص شده است.

با تقسیم نمودن مقدار S_e بر مقدار S یعنی کسر S/S_e مطابق رابطه زیر شاخصی به دست می‌آید که آن را شاخص تراوایی سازند (K_{ist}) می‌نامند و نمایان‌گر میزان پیچ خوردگی کانال‌های ارتباطی (a) می‌باشد.

$$K_{ist} = \frac{S}{S_e} \quad (۴-۲)$$

از این‌رو این اندیس، مشخصات و نوع واحد هیدرولیکی مخزن را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر با استفاده از این اندیس می‌توان تغییرات ضریب پیچاپیچی (a) رابطه آرچی را تعیین نمود. در فصل چهارم نتایج حاصل از مقایسه این شاخص با نتایج آزمایشات مغزه جهت اندازه‌گیری ضریب پیچاپیچی، به تفصیل شرح داده خواهد شد. اما هدف اصلی از تعیین این شاخص، استفاده از آن در تعیین تراوایی می‌باشد.

پس از آن که مقدار شاخص تراوایی در سرتاسر چاه محاسبه شد، با استفاده از رابطه‌ای که در ادامه ذکر خواهد شد مقدار شاخص منطقه‌ای جریان (FZI)^۱ تعیین و با استفاده از این شاخص که به عنوان یکی از فاکتورهای تشخیص واحدهای جریان می‌باشد، مقدار تراوایی در سرتاسر چاه محاسبه خواهد شد.

قبل از ارائه رابطه بین FZI و شاخص تراوایی و نحوه محاسبه تراوایی با استفاده از این دو شاخص، لازم است توضیحی مختصر در ارتباط با FZI و واحدهای جریان داده شود (Brie et al., 1998)

در واقع واحدهای جریان هیدرولیکی یک روش برای طبقه‌بندی نوع سنگ‌ها و پیش‌بینی خواص جریان بر مبنای پارامترهای زمین‌شناسی و فیزیک جریان در مقیاس منافذ و حفرات است. کوزنی و کارمن برای یافتن ارتباط مناسب بین تخلخل و تراوایی محیط متخلخل را به صورت مجموعه‌ای از لوله‌های موئینه مدل‌سازی کردند. آن‌ها با ترکیب قانون دارسی برای حرکت سیال در محیط متخلخل و قانون پوزیل برای حرکت سیال در لوله‌ها، رابطه جدیدی به شکل رابطه (۵-۲) بین تخلخل و تراوایی ارائه نمودند. در این رابطه فاکتوری به نام عامل پیچاپیچی هم به رابطه اضافه شده است تا مشکل مستقیم نبودن لوله‌های موئینه در سنگ‌ها برطرف گردد (صدیقی و ولی، ۱۳۸۸).

$$k = \frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \times \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \quad (5-2)$$

در این رابطه τ عامل پیچاپیچی، k تراوایی بر حسب میکرومتر مربع، ϕ_e تخلخل مؤثر که به صورت کسری بیان می‌شود و F_s فاکتور شکل می‌باشد که مقدار آن برای لوله‌های موئین با مقطع دایره برابر ۲ می‌باشد. S_{gv} مساحت حجم دانه‌هاست، که در حقیقت تابعی از خصوصیات زمین‌شناسی، محیط متخلخل و تغییرات هندسه حفرات است. $F_s \tau^2$ را ثابت کوزنی می‌نامند. آمیفل و همکارانش در سال ۱۹۹۳ با تقسیم رابطه (۵-۲) بر ϕ_e تغییرات ثابت کوزنی را مورد بررسی قرار داده و رابطه (۶-۲) را ارائه نمود.

$$0.0314 \sqrt{\frac{k}{\phi_e}} = \frac{\phi_e}{1-\phi_e} \times \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}} \quad (6-2)$$

از رابطه فوق می‌توان شاخص کیفیت مخزن (RQI)^۲، شاخص منطقه جریانی (FZI) و ضریب پوکی (ϕ_z) را به صورت روابط (۷-۲) تا (۹-۲) تعریف کرد (صدیقی و ولی، ۱۳۸۸).

^۱ . Flow Zone Index

^۲ Reservoir Quality Index

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\phi_e}} \quad (7-2)$$

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s} \tau S_{gv}} \quad (8-2)$$

$$\phi_z = \frac{\phi_e}{1 - \phi_e} \quad (9-2)$$

در این روابط k بر حسب میلی داری است و عدد ثابت 0.314 برای تبدیل k از میکرومتر مربع به میلی داری آورده شده است.

با توجه به روابط (7-2) تا (9-2)، رابطه (10-2) را می توان به صورت زیر نوشت.

$$RQI = \phi_z \times FZI \quad (10-2)$$

با توجه به توضیحات ارائه شده در ارتباط با فاکتورهای تشخیص واحدهای جریان، با تعیین FZI با استفاده از شاخص تراوایی، از رابطه های (11-2) و (12-2)، می توان مقدار تراوایی را محاسبه نمود.

$$FZI = IMF (K_{ist} - 1) \quad (11-2)$$

$$k = 1014 FZI^2 \left[\frac{\phi_e^3}{(1 - \phi_e)^2} \right] \quad (12-2)$$

ضریب IMF در رابطه (11-2) فاکتور تطابق مجموع است که برای هرکدام از مولفه های تشکیل دهنده سازند در چاه به طور جداگانه محاسبه می شود. نحوه محاسبه فاکتور تطابق مجموع به شرح زیر می باشد.

در تعیین فاکتور تطابق به داده های تراوایی حاصل از نتایج آنالیز مغزه و یا داده های برداشت شده توسط ابزار MDT^1 نیاز است. قبل از تعیین این ضریب، لازم است تا ارزیابی پتروفیزیکی از سازند صورت گیرد و زون های حاوی آب و نفت از یکدیگر تشخیص داده شوند. علاوه بر این بایستی نوع لیتولوژی، تنوع جنس آن و حجم هر مولفه تشکیل دهنده سازند نیز مشخص شود. ضریب IMF از رابطه (13-2) به دست می آید (هداوند و مرادزاده، 1385).

$$IMF = m_{lim} \cdot V_{lim} + m_{dol} \cdot V_{dol} + m_{sand} \cdot V_{sand} + m_{sh} \cdot V_{sh} + \dots \quad (13-2)$$

¹. Modular Dynamic Tool

در این رابطه مقصود از m_{sh} و m_{sand} ، m_{dol} ، m_{lim} ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی با هریک از مولفه‌های آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ، و شیل به ترتیب می‌باشد. V_{sand} ، V_{dol} ، V_{lim} و V_{sh} نیز به ترتیب میانگین حجم آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و شیل می‌باشد.

همان‌طور که از رابطه (۲-۱۳) پیداست، برای محاسبه IMF بایستی ضریب تطابق کندشدگی موج استونلی با مولفه‌های سنگ‌های تشکیل دهنده حاضر در سازند تعیین گردد. به این منظور دستگاه معادلاتی مطابق رابطه (۲-۱۴) تشکیل داده که هر کدام از معادله‌های این دستگاه، مربوط به یکی از زون‌های آب یا نفت تشخیص داده شده می‌باشد.

$$\begin{cases} V_{sh}m_{sh} + V_{lim}m_{lim} + m_{sand}V_{sand} = M_{oil\ zone} \\ V_{sh}m_{sh} + V_{lim}m_{lim} + m_{sand}V_{sand} = M_{water\ zone} \end{cases} \quad (2-14)$$

این رابطه که به صورت مثال آورده شده است، با این فرض ارائه شده است که در سازند تنها دو زون آب و نفت حضور داشته و مولفه‌های تشکیل دهنده سازند نیز آهک و شیل و ماسه سنگ بوده است. در این رابطه $M_{oil\ zone}$ و $M_{water\ zone}$ میزان تطابق کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی حاصل از ابزار MDT یا نتایج آنالیز مغزه می‌باشد. جهت تعیین هر یک از این سه ضریب، مقدار کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی در هریک از زون‌های آبی و نفتی، در نمودار متقاطع رسم و شیب بهترین خط برازش شده به داده‌ها را به عنوان ضریب تطابق موج استونلی با آن نوع سیال موجود در سازند در نظر گرفته می‌شود.

با حل دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۲-۱۴) ضریب تطابق برای هر یک از مولفه‌های تشکیل دهنده سازند تعیین و در نهایت با استفاده از رابطه (۲-۱۳) ضریب تطابق کل تعیین خواهد شد. در نهایت مقدار IMF به دست آمده را در رابطه (۲-۱۱) قرار داده و با استفاده از FZI به دست آمده و رابطه (۲-۱۲) مقدار تراوایی به صورت کمی محاسبه خواهد شد.

روش دیگر در محاسبه تراوایی با استفاده از امواج استونلی، آن است که به جای محاسبه غیر مستقیم تراوایی از طریق FZI، از رابطه (۲-۱۵) مستقیماً مقدار تراوایی را محاسبه نمود.

$$K = \frac{DT_{st} - DT_{st\ none-permeable}}{\sum_{i=1}^n m_i v_i} \quad (2-15)$$

DT_{st} نشان‌دهنده کندشدگی موج استونلی، $DT_{st \text{ non-permeable}}$ کندشدگی موج استونلی در زون ناتراوا را نشان می‌دهد. در مخرج کسر m_i و V_i و n به ترتیب فاکتور تطابق و حجم میانگین مولفه‌های تشکیل دهنده سازند و تعداد مولفه‌ها می‌باشد.

در این روش مقدار کندشدگی موج استونلی در زون ناتراوا با استفاده از رابطه (۲-۳) تعیین نمی‌شود. بلکه در این روش ابتدا یک مقدار حدی تخلخل برای تفکیک زون تراوا و ناتراوا تعیین و قسمت‌هایی از سازند که دارای تخلخل کم‌تر از مقدار حدی تعیین شده می‌باشد به عنوان زون ناتراوا در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین زون ناتراوا، کندشدگی موج استونلی در برابر تخلخل بر روی نمودار متقاطعی که محور افقی آن تخلخل و محور عمودی آن کندشدگی موج استونلی می‌باشد رسم و عرض از مبدأ بهترین خط برازش شده به داده‌ها، نشان‌دهنده مقدار کندشدگی موج استونلی در تخلخل برابر با صفر (زون ناتراوا) می‌باشد. عدم تعیین صحیح این مقدار سبب به دست آمدن مقدار نادرست تراوایی با استفاده از رابطه (۲-۱۵) می‌گردد.

در این روش فاکتور تطابق مانند روش قبلی محاسبه می‌گردد. اشکال این روش در مقایسه با روش قبل، نادیده گرفتن نوع لیتولوژی ناحیه ناتراوا در محاسبه کندشدگی موج استونلی می‌باشد. در این مطالعه به منظور حل این مشکل، مقدار کندشدگی موج استونلی در زون ناتراوا، با استفاده از رابطه (۲-۳) محاسبه و در نهایت از رابطه (۲-۱۵) جهت محاسبه تراوایی استفاده می‌شود.

۲-۲ محاسبه ضریب سیمان شدگی

دسترسی صحیح به مقدار درصد اشباع سیال وابسته به ارزیابی دقیق ضرایب آرچی می‌باشد. در این میان ضریب سیمان شدگی مهم‌ترین عاملی است که اشباع شدگی نسبت به آن حساسیت نشان می‌دهد و به همین دلیل همواره اندازه‌گیری و تخمین صحیح آن یکی از مسائل اصلی در ارزیابی‌های پتروفیزیکی می‌باشد.

۲-۲-۱ ضرورت محاسبه ضریب سیمان شدگی

یکی از پارامترهای بسیار مهم مخزنی که لازم است با دقت بالا محاسبه شود، میزان اشباع-شدگی آب (S_w) است. اشباع آب در ارتباط مستقیم با مقادیر آب، نفت و گاز موجود در خلل و فرج مخازن هیدروکربوری است. تخمین درست این پارامتر در مدل‌سازی‌های مخزن نقش

مؤثری ایفا می‌کند. هرگونه اشتباه در محاسبه میزان اشباع‌شدگی آب می‌تواند منجر به از دست دادن زون‌های بهره‌ده نفت شود. به طور معمول در مخازن هیدروکربوری محاسبه اشباع‌شدگی آب با استفاده از نگارهای چاه و به کارگیری فرمول‌های اشباع‌شدگی آب، صورت می‌گیرد. یکی از روابط پرکاربرد در محاسبه اشباع‌شدگی، رابطه آرچی می‌باشد. رابطه آرچی در صورتی تخمین درستی از میزان اشباع‌شدگی آب می‌دهد که ضرایب موجود در این رابطه به درستی تعیین شده باشد. یکی از این ضرایب، ضریب سیمان‌شدگی می‌باشد. در مخازن کربناته به دلیل ناهمگنی پارامترهای پتروفیزیکی، تغییرات گسترده اندازه حفرات موجود و همچنین عدم ارتباط ضرایب آرچی با کانی‌شناسی و حفرات موجود در مخزن، تخمین صحیح مقدار ضریب سیمان‌شدگی پیچیده می‌باشد (الیس و سینگر، ۲۰۰۷). در این قسمت به توضیح در مورد روابط استفاده شده در این تحقیق جهت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی در مخازن کربناته پرداخته خواهد شد.

۲-۲-۲ روش‌های تعیین ضریب سیمان‌شدگی

روش‌هایی که در این پایان‌نامه به منظور تعیین ضریب سیمان‌شدگی استفاده گردیده است، عبارتند از: روش فوک و مان (Focke and muan, 1987)، روش لوسیا (Lucia, 2007)، روش رگلاند (Regland, 2002). با بررسی این روش‌ها، هرکدام یک که نتایج آن شباهت بیشتری با نتایج به دست آمده از آنالیز مغزه دارد، مورد بررسی بیشتری قرار گرفته و با اعمال تغییراتی در آن، رابطه‌ای نهایی به منظور محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به صورت پیوسته در سرتاسر چاه ارائه خواهد شد. علاوه برین روش دیگری نیز پیشنهاد خواهد شد که در آن از تغییرات نگار دانسیته در تعیین ضریب سیمان‌شدگی در سرتاسر مخزن استفاده می‌گردد.

-روش فوک و مان

فوک و مان سنگ‌های کربناته را بر مبنای بافت و نوع فضای متخلخل به شش گروه تقسیم بندی کرده و با اندازه‌گیری تخلخل و فاکتور مقاومت سازند و با استفاده از رابطه آرچی روند تغییرات m را نسبت به تخلخل به دست آوردند. آنها نشان دادند که مقدار m در سنگ‌های کربناته با تخلخل حفره‌ای غیرمرتبط تا ۵/۵ افزایش می‌یابد و تاثیر افزایش فشار مؤثر طبقات فوقانی بر مقادیر m در این‌گونه از سنگ کربناته بیش از سنگ‌های کربناته با تخلخل‌های دیگر است. آنها نشان دادند که فاکتور سیمان‌شدگی علاوه بر مقدار تخلخل به جنس سنگ و

سیستم تخلخل نیز ارتباط دارد. فوک و مان برای سنگ‌های دانه‌ای آهکی و دولومیتی با تخلخل بین دانه‌ای، مقدار ضریب سیمان‌شدگی را عدد ۲ و برای سنگ آهک با تخلخل قالبی بر اساس مقدار تراوایی فرمول های ارائه شده در روابط (۱۶-۲) تا (۱۹-۲) را ارائه کردند. (Fock and Muan, 1987).

$m = 1.2 + 1.28\phi$	$(K < 0.1 \text{ mD})$	(۱۷-۲)
$m = 1.4 + 0.0857\phi$	$(0.1 < K < 1 \text{ mD})$	(۱۸-۲)
$m = 1.2 + 0.0829\phi$	$(K = 1 \text{ to } 100 \text{ mD})$	(۱۹-۲)
$m = 1.22 + 0.034\phi$	$(K > 100 \text{ mD})$	(۲۰-۲)

آن‌ها برای سنگ‌های مادستون و گچی با تخلخل زمینه، مقدار ضریب سیمان‌شدگی را عدد ۲ و برای سنگ‌های پکستون و وکستون با تخلخل حفره‌ای بدون ارتباط، بزرگتر از ۲ و سنگ‌هایی با تخلخل شکستگی عدد کوچکتر از ۲ را گزارش کردند.

-روش رگلاند

رگلاند ۹۸ نمونه از مغزه‌های حفر شده در محل‌های مختلف (با انواع تخلخل) و از محیط‌های رسوب‌گذاری مختلف را مورد مطالعه قرار داد. او نشان داد که در نمونه‌های با تخلخل‌های ریز (تخلخل انحلالی، میکروسکوپی و شکستگی‌های ریز)، این نوع تخلخل‌ها تاثیر کم‌تری بر روی m دارند که با توجه به درصد فراوانی تخلخل‌های قالبی و بین ذره‌ای دو رابطه ساده برای پیش‌بینی m در نمونه‌های با تخلخل قالبی و بین ذره‌ای ارائه کرد. وی برای نمونه‌های با تخلخل قالبی رابطه (۲۰-۲) و برای نمونه‌های با تخلخل بین دانه‌ای رابطه (۲۱-۲) را ارائه نمود. (سعادت و همکاران، ۱۳۸۸).

$$m = e^{\phi} + 0.7 \quad (20-2)$$

$$m = -0.44\phi + 2.29 \quad (21-2)$$

روش لوسیا

لوسیا بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و درون چاهی عنوان نمود که مقدار ضریب سیمان‌شدگی تابعی است از نسبت تخلخل حفره‌ای غیرمرتبط به تخلخل کل، که به عنوان نسبت تخلخل

حفره‌ای (VPR)^۱ شناخته می‌شود. این نسبت را می‌توان با داشتن تخلخل حفره‌ای غیرمرتبط (حاصل از نمودارهای صوتی) و تخلخل کل حاصل از نمودارهای نوترون و چگالی، محاسبه کرد. وی ارتباط بین مقادیر VPR و m را بر اساس اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و محاسبات نگارهای چاه به صورت رابطه (۲-۲۲) تعریف نمود.

$$m = 2.14 \left(\frac{\phi_{sv}}{\phi_t} \right) + 1.76 \quad (2-22)$$

که ϕ_{sv} و ϕ_t به ترتیب تخلخل حفره‌ای غیرمرتبط و تخلخل کل می‌باشد.

وی بیان داشت که مقدار m برای کربنات‌های حفره‌ای غیرمرتبط از ۱/۸ تا ۴ تغییر می‌کند. در صورت وجود شکستگی‌ها و دیگر انواع فضاهای خالی مرتبط، ممکن است مقدار آن کم‌تر از ۱/۸ باشد (Hassani giv and rahimi, 2008).

استفاده از نگار دانسیته در تعیین ضریب سیمان‌شدگی

ضریب سیمان‌شدگی را می‌توان به عنوان پارامتری که ارتباط نزدیکی با چگالی دارد معرفی نمود. علاوه بر این تغییر در نوع لیتولوژی و نوع سیمان بین دانه‌های سنگ و همچنین تبدیل آهک به دولومیت در سنگ‌های کربناته سبب تغییر در میزان سیمان‌شدگی و همچنین چگالی سنگ می‌گردد. با تغییر میزان سیمان‌شدگی بین دانه‌های سنگ، مقدار چگالی سنگ نیز تغییر می‌کند. با توجه به موارد ذکر شده در صورتی که بتوان رابطه بین ضریب سیمان‌شدگی و چگالی سنگ را تعیین نمود، می‌توان رابطه‌ای را جهت تعیین ضریب سیمان‌شدگی در سرتاسر مخزن با استفاده از نگار چگالی ارائه نمود. به این منظور در ابتدا مقدار چگالی زمینه سنگ با استفاده از رابطه (۲-۲۳) تعیین می‌گردد. (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰)

$$\rho_b = \rho_{mat}(1-\phi) + \rho_f(\phi) \quad (2-23)$$

پس از آن میزان تطابق چگالی زمینه سنگ با ضریب سیمان‌شدگی به دست آمده از آزمایشات مغزه، به کمک روش شرح داده شده در تعیین ضریب تطابق امواج استونلی و تراوایی، محاسبه می‌گردد. در نهایت پس از تعیین چگالی دانه‌های سنگ و ضریب تطابق، با استفاده از رابطه‌ای

^۱ Vuggy Porosity Ratio

که در طی بررسی روابط متعدد و مراحل سعی و خطا به دست آمده است، مقدار ضریب سیمان شدگی در سرتاسر مخزن به صورت پیوسته به دست خواهد آمد.

فصل سوم:

توصیف زمین شناسی منطقه و داده ها

۳-۱ مقدمه

لازمه تفسیر و تعیین پارامترهای پتروفیزیکی یک مخزن، شناخت از ویژگی‌های زمین شناسی میدان مورد مطالعه و آشنایی کامل با داده‌های مورد استفاده در تعیین خصوصیات مخزنی می‌باشد. میدان مورد مطالعه در این تحقیق، میدان دارخوین می‌باشد. در این فصل به معرفی میدان دارخوین و موقعیت جغرافیای آن، زمین‌شناسی میدان، زمین‌شناسی مخزن و نگارهای چاه نگاری و داده‌های پتروفیزیکی مورد استفاده در تحقیق، پرداخته خواهد شد.

۳-۲ معرفی میدان دارخوین

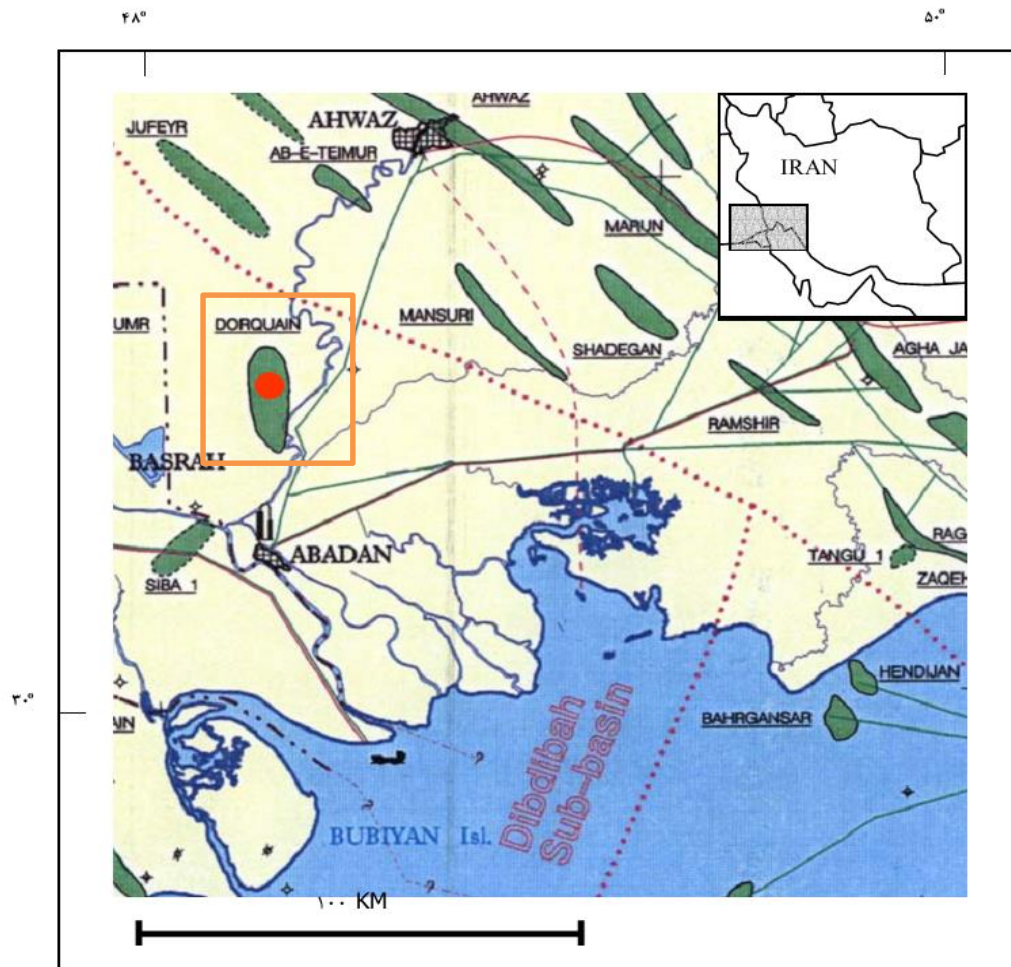
میدان نفتی دارخوین مطابق شکل (۳-۱) در ۳۰ کیلومتری شمال خرمشهر و یکصد کیلومتری جنوب اهواز واقع شده است. با توسعه فاز سوم این میدان، تولید روزانه آن به حدود ۲۴۰ هزار بشکه نفت خام افزایش یافته است. این میدان با حفر یک حلقه چاه اکتشافی در سال ۱۳۴۳ شمسی کشف شده است. میزان نفت برجای این میدان بالغ بر پنج میلیارد بشکه برآورد می‌شود، که نزدیک به ۱/۲۷ تا ۱/۳ میلیارد بشکه نفت خام آن قابل استحصال است.

در فازهای اول و دوم توسعه میدان دارخوین برداشت نفت خام از سازندهای فلهلیان انجام گرفته است که در فاز سوم توسعه علاوه بر فلهلیان از لایه‌های سازند ایلام و سروک هم تا سقف ۸۰ تا ۱۰۰ هزار بشکه در روز نفت برداشت خواهد شد. فاز اول طرح توسعه این میدان نفتی، خرداد ماه سال ۱۳۸۴ راه اندازی شده است. فاز دوم این میدان در بهمن ماه سال ۱۳۸۹ با ظرفیت تولید روزانه ۱۶۰ هزار بشکه نفت خام به طور رسمی در مدار بهره‌برداری قرار گرفت. بر اساس برنامه‌های در دست اجرا در شرکت ملی نفت ایران، با اجرای فاز سوم طرح توسعه میدان، ظرفیت تولید نفت خام میدان دارخوین تا پنج سال آینده به ۲۴۰ هزار بشکه در روز افزایش می‌یابد (www.Wikipedia.com).

۳-۳ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی میدان دارخوین

میدان نفتی دارخوین تاقدیسی است با روند شمالی-جنوبی که در دشت آبادان جای دارد. دشت آبادان در انتهای جنوب غرب ایران قرار دارد. حد شمال و شمال شرق آن کمر بند چین-

خورده زاگرس است که از جنوب تاقدیس‌های سوسنگرد، آب‌تیمور و منصوری می‌گذرد و پس از عبور از میدان‌های رگه سفید وارد خلیج فارس می‌شود. تداوم شمالی این خط وارد عراق می‌شود. حد جنوبی دشت آبادان به خلیج فارس و حد غربی آن مرز عراق است. شکل (۱-۳).

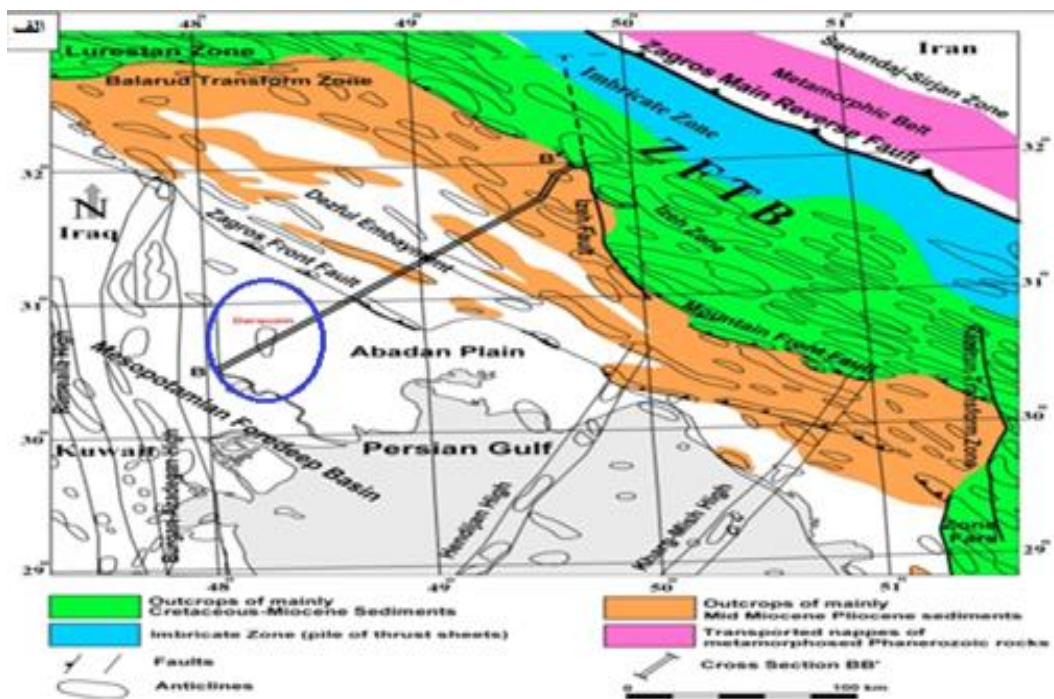


شکل ۱-۳. موقعیت جغرافیایی میدان دارخوین (لاسمی و نورافکن، ۱۳۸۴)

دشت آبادان دارای خواص ساختمانی متفاوتی با زاگرس است. دشت آبادان لرزه‌خیز نبوده و تاقدیس‌های این منطقه فاقد اثر سطحی است. در بعضی از تاقدیس‌ها بستگی ساختمانی در افق آسماری دیده نمی‌شود. امتداد محوری تاقدیس‌های دشت آبادان به صورت شمالی جنوبی است، که در تضاد با امتداد محوری شمال غربی - جنوب شرقی معمول زاگرس است. از مهمترین تاقدیس‌های این منطقه، آزادگان، کوشک، حسینیه، جفیر، دارخوین و امید را می‌توان نام برد. امتداد محوری شمالی-جنوبی این تاقدیس‌ها مانند تاقدیس‌های جنوب غرب عراق، کویت و شمال خلیج فارس می‌باشد.

تاقدیس دارخوین در ۴۵ کیلومتری شمال شرق آبادان واقع است. این میدان در سازند آسماری فاقد بستگی ساختمانی است ولی ابعاد آن در بنگستان و خامی ۲۵×۱۰ کیلومتر است. مخازن اصلی این میدان سازندهای ایلام، سروک و فهلپان می باشد. زون هایی از سازندهای سرگلو و گرو از لحاظ ضخامت و مقدار ماده آلی کل، اصلی ترین زون های سنگ منشاء در میدان دارخوین می باشند و زون هایی از سازندهای کژدمی و نیریز را می توان به عنوان زون های فرعی سنگ منشاء در نظر گرفت. ساختمان دارخوین بخشی از نواحی پست مزوپوتامین - خلیج فارس می باشد و از لحاظ ساختمانی به فلات قاره هموار عربی تعلق دارد که امتداد آن در خلاف جهت ساختمانهای زاگرس شمال غرب - جنوب شرق می باشد

پهنه دارخوین و صفحه آبادان با دو دسته ساختمان زمین شناسی مشخص می شوند: ساختمان های بسیار ملایم شمالی - جنوبی تا شمال شرقی - جنوب غربی که در راستای تاقدیس های با هسته ی سنگ بستری جهت یافته اند (از نوع ارتفاعات عربی)، و دیگری ساختمان های باز تا بسته با راستای شمال غرب - جنوب شرق در امتداد چین خوردگی های ناشی از روراندگی در شمال شرق (کمر بند چین خوردگی زاگرس) جهت یافته اند. شکل (۳-۲) نشان دهنده ی نقشه زمین شناسی جنوب غرب ایران است و منطقه مورد مطالعه نیز ب دایره آبی رنگ مشاهده می شود (زینل زاده و سجادیان، ۱۳۸۸).



شکل ۳-۲. (الف) نقشه زمین شناسی مربوط به جنوب غرب ایران، درون بیضیگون آبی رنگ محدوده مخزن دارخوین است. (ب) یک مقطع از صفحه آبادان از ساختمان فروافتادگی دزفول که از تاقدیس دارخوین عبور می کند (تهیه شده توسط شرکت ملی نفت ایران).

در چاه مورد مطالعه در این تحقیق سازند فهلیان به عنوان سنگ مخزن اصلی می باشد که با مرز تدریجی بر روی سازند گرو و با مرز ناپیوسته در زیر سازند گدوان جای دارد. در زیر به توضیح مختصری در ارتباط با هریک از سازندهای نامبرده پرداخته خواهد شد.

سازند فهلیان

نام آن از روستای فهلیان در خاور دوگنبدان اخذ شده است. ضخامت این سازند بین ۳۶۰ تا ۳۶۵ متر است. سن آن کرتاسه پایینی (نئوکمین - آپتین) تعیین شده است لیتولوژی این سازند شامل سنگ آهک های ائولیتی متورق تا توده ای به رنگ قهوه ای خاکستری با ریخت خشن است که یکی از سنگ مخزن های گروه خامی می باشد. در پایین این سازند، به طور محلی، برش انحلالی وجود دارد که ممکن است معادل سازند هیث باشد. این سازند در مناطق فارس، شمال شرقی خوزستان و شمال شرقی لرستان دیده می شود، ولی در جنوب غربی لرستان و خوزستان، این سازند به شیل و سنگ آهک های سازند گرو تبدیل می شود. مرز بالایی فهلیان با شیل های گدوان واضح است. ولی در جاهایی که شیل های گدوان وجود ندارد، مانند شمال فروافتادگی دزفول، سازند فهلیان و داریان قابل تفکیک نیستند.

سازند گدوان

نام این سازند اقتباس از کوه گدون در ۹۰ کیلومتری شرق - شمال شرق شیراز می باشد. برش الگوی این سازند توسط جیمز و وایند در سال ۱۹۶۵ در کوه گدوان در ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شیراز معرفی شده است. ضخامت این سازند ۱۲۰ متر است و سن آن کرتاسه پایینی (نئوکمین - آپتین) است. لیتولوژی سازند گدوان یک واحد بارز شیلی در میان دو آهک خشن فهلیان در زیر و داریان در بالاست. این سازند شامل تناوبی از شیل های خاکستری مایل به سبز یا زرد با میان لایه هایی از خاکستری از سنگ آهک رسی دارای خرده صدف است. در خوزستان و شمال غربی فارس، این سازند بیشتر شیلی است، ولی به سوی جنوب شرقی فارس به تدریج به رسوب های آهکی تبدیل می شود، به گونه ای که در فارس ساحلی شناخت آن از سازند رویی (داریان) دشوار است. در میانه ی سازند گدوان یک آهک بارز به نام «بخش آهکی

خلیج « شناسایی شده است که برش الگوی آن در جزیره خارک ۱۵ متر اندازه‌گیری شده و شامل آهک بی رس است. مرز زیرین گدوان با سازند آهکی فلهیان واضح است. مرز فوقانی گدوان با داریان تدریجی است.

سازند گرو

سازند گرو اولین بار توسط جیمز و وایند در سال ۱۹۶۵ معرفی گردید و برش نمونه‌ی آن با ضخامت بیش از ۸۰۰ متر و سن نئوکومین-آپتین در یال شمال شرقی کبیرکوه در نظر گرفته شد. به طور کلی سازند شیلی گرو از تناوب آهک‌های بسیار رسی سیاه تا خاکستری تیره حاوی رادیولاریا با شیل‌های سیاه رنگ بیتومین دار و پیریتی تشکیل شده است. این سازند در لرستان مرکزی یا به عبارت دیگر مرکز حوضه رسوبی، بیشتر شیلی است در حالیکه در فروافتادگی دزفول ضخامت شیل‌ها کاهش و آهک‌ها گسترش یافته و از مقدار رس آن‌ها کاسته می‌شود.

۳-۴ نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های پتروفیزیکی مورد استفاده در تحقیق

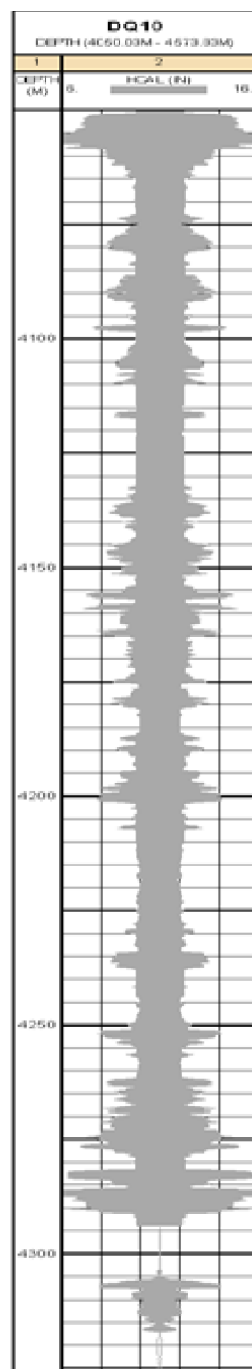
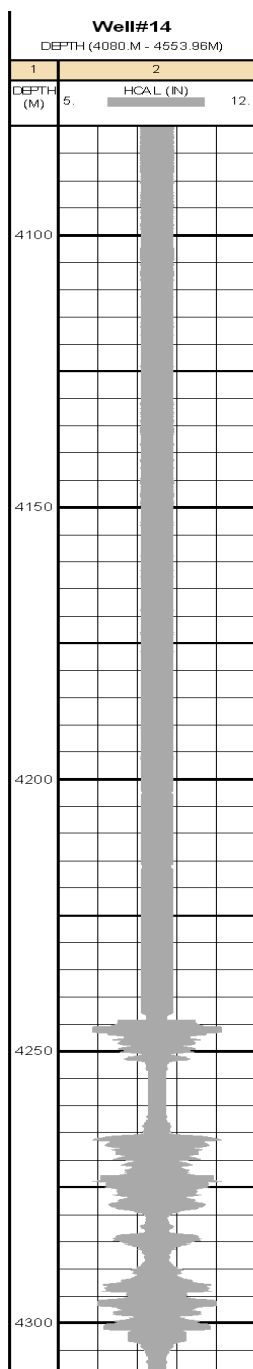
در این تحقیق از داده‌های چاه نگاری و پتروفیزیکی چاه DQ10 میدان دارخوین به منظور محاسبه تراوایی با استفاده از نگار DSI و از نگارهای چاه‌پیمایی و پتروفیزیکی چاه DQ14 به منظور به دست آوردن رابطه‌ای جهت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی استفاده شده است. نگارهای گرفته شده از این دو چاه عبارتند از نگار قطرسنجی، صوتی، مقاومت ویژه، نوترون، فتوالکتریک، چگالی و گامای طبیعی. علاوه بر نگارهای ذکر شده، اطلاعات ۱۰ مغزه گرفته شده از هر دو چاه و ابزار MDT نیز در اختیار می‌باشد.

قبل از استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی لازم است تا اطلاعاتی در مورد نحوه گرفتن این نگارها و چگونگی تفسیر آن‌ها در اختیار داشته باشیم به این منظور در زیر به توضیح مختصری در ارتباط با نگارهای گرفته شده از دو چاه DQ10 و DQ14 پرداخته شده است.

۳-۴-۱ نگار قطر سنجی

قطر سنج دستگاهی است که برای اندازه‌گیری قطر چاه به کار می‌رود. این اندازه‌گیری در تفسیر کمی اهمیت زیادی دارد. با توجه به این که در بسیاری از نگارهای چاه‌پیمایی، لازمه به دست آوردن مقدار صحیح پارامتر اندازه‌گیری، اعمال تصحیح اثرات چاه می‌باشد؛ برای اعمال این تصحیحات ثبت مداوم قطر چاه ضروری است.

اندازه‌گیری قطر چاه با استفاده از یک یا چند بازوی مفصل‌دار و متقارن که به طور مکانیکی در تماس با دیواره چاه قرار نمی‌گیرند انجام می‌شود. این تماس ممکن است توسط بالشتک‌ها، تیغه‌های ورقه‌ای فنری، بازوهای حساس و غیره صورت گیرد. تغییر در قطر را می‌توان بر حسب سانتی‌متر و یا اینچ ثبت کرد (انصاری، ۱۳۷۶). در شکل (۳-۳) قسمتی از نگار قطر سنجی چاه-های DQ10 و DQ14 مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۳. قسمتی از نگار قطر سنجی در چاه های DQ14 و DQ10

۳-۴-۲ نگار مقاومت ویژه

یکی دیگر از متغیرهای فیزیکی که اغلب در نمودارگیری مد نظر قرار می گیرد و در ارزیابی مخازن هیدروکربوری و بررسی سازندهای آبدار مورد توجه می باشد، مقاومت ویژه الکتریکی

است. به طور کلی به منظور بررسی مقاومت الکتریکی سازند، یکی از دو دستگاه زیر را می‌توان به کاربرد:

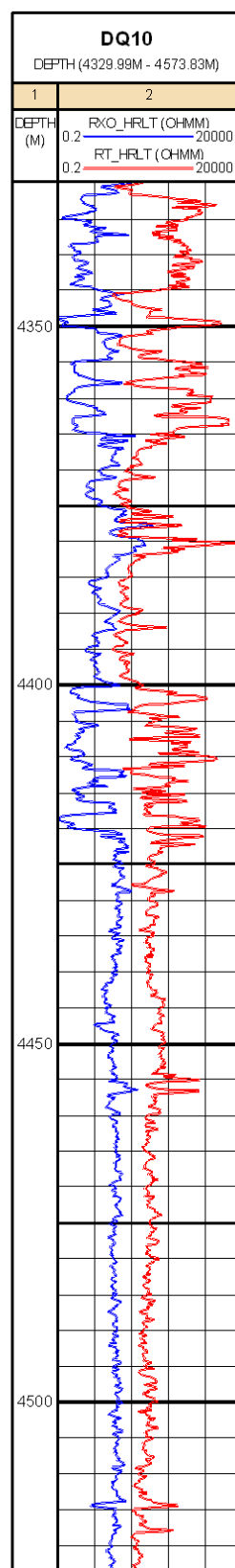
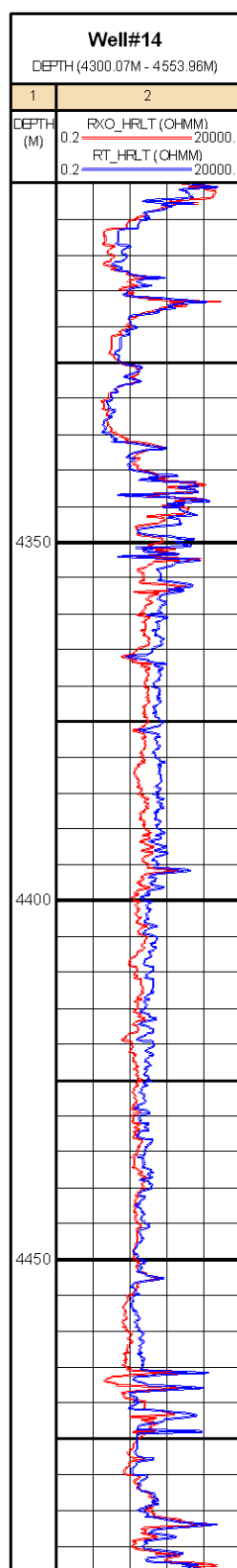
- دستگاه های با سیستم الکترودی

- دستگاه های با سیستم القایی (سیم‌پیچ)

از آنجایی که در چاه های مورد مطالعه از سیستم الکترودی در نگارگری مقاومت ویژه الکتریکی استفاده شده است، در این جا به توضیح در مورد سیستم الکترودی پرداخته شده است.

به منظور اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها، جریانی توسط ژنراتور یا باتری ایجاد می‌گردد و از طریق کابل‌های طویل و الکترودهای A (الکتروود متصل به قطب مثبت منبع جریان) و B (الکتروود متصل به قطب منفی منبع جریان) به داخل چاه فرستاده می‌شود. سپس اختلاف پتانسیل توسط دو الکتروود M و N اندازه‌گیری می‌شود. برای بررسی هرچه بهتر لایه‌های نازک، تشخیص ناحیه آغشته از ناحیه بکر، تعیین مقاومت ویژه واقعی و در نهایت تعیین حد و مرز طبقات نازک، از نمودارگیری‌های تمرکز دهنده جریان استفاده می‌شود. در این نمودارگیری‌ها به دلیل تمرکز جریان به صورت افقی، سازندهای نازک که در برابر دستگاه قرار می‌گیرند، به طور کامل شناسایی می‌شود و از به هدر رفتن جریان الکتریکی در داخل گل حفاری ممانعت به عمل می‌آید. بنابراین اثر گل حفاری در برداشت‌های انجام شده به حداقل می‌رسد (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰).

نمودارگیری های لاترولوگ عمیق (LLD) و لاترولوگ کم عمق (LLS) و نمودارگیری تمرکز جریان کروی کوچک (MSFL) از این دسته نمودارگیری می‌باشند. تنها تفاوت آن‌ها با یکدیگر در اندازه فاصله سوندی آن‌ها می‌باشد. در شکل (۳-۴) قسمتی از نمودارهای مقاومت ویژه چاه-های DQ10 و DQ14 را مشاهده می‌نمایید.



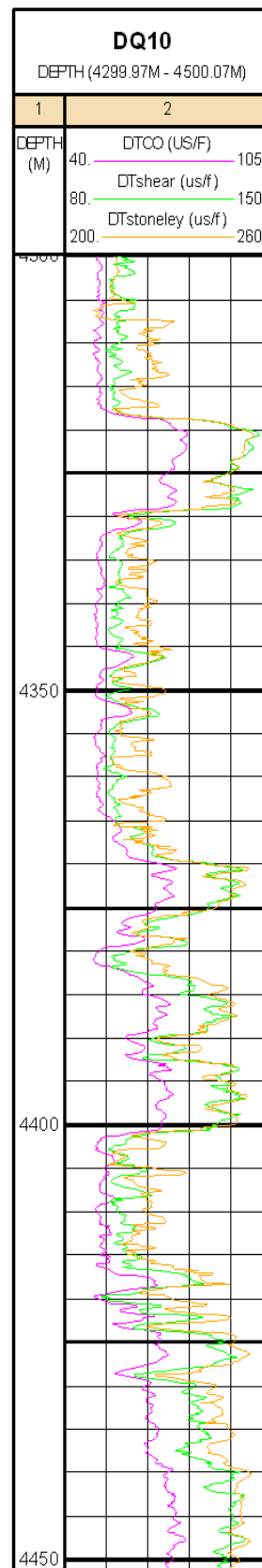
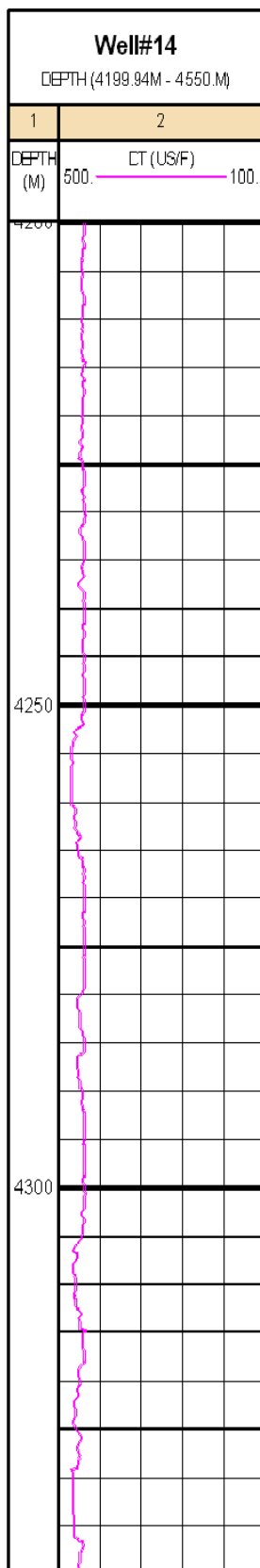
شکل ۳-۴. قسمتی از نگارهای مقاومت ویژه چاههای DQ10 و DQ14

۳-۴-۳ نگار صوتی

در عملیات نمودارگیری از چاه به روش صوتی، امواج طولی مدنظر است. در این نمودارگیرها، امواج صوتی تراکمی با فرکانس پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. امواج تراکمی عامل ارتعاشات طولی ذرات جامدات، سیالات و گازها در مسیر انتشار می‌باشد و امتداد ارتعاش و انتشارشان بر یکدیگر منطبق است. ارتعاشات طولی، ذرات محیط را تحت فشار و کشش قرار می‌دهند و این نیروها سبب تغییرات حجمی در سنگها خواهند شد. نحوه انتشار امواج صوتی در چاه بدین گونه است که امواج تراکمی ضمن خارج شدن از فرستنده به صورت کروی در گل حفاری منتشر می‌شود و پس از برخورد به دیواره چاه و بسته به زاویه تابش، به صورت اشعه‌های مختلف منعکس، منحرف و پراکنده می‌شود. قسمتی از این شعاع‌ها به صورت امواج تراکمی و قسمتی به صورت برشی در امتداد دیواره چاه انعکاس کلی یافته و منتشر می‌شوند تا بعد از انعکاس کلی مجدداً به گیرنده‌ها برسند (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰).

سرعت حرکت امواج صوتی تراکمی در سنگ‌ها، به ساختمان آن‌ها بستگی دارد. بنابراین با استفاده از این موضوع می‌توان میزان تخلخل داخل سازند را با استفاده از این نگار محاسبه نمود.

در چاه DQ10 نگار صوتی با استفاده از DSI ثبت شده است. که در نتیجه آن سه نگار زمان گذر موج تراکمی، زمان گذر موج برشی و زمان گذر موج استونلی ثبت شده است. تغییرات زمان گذر موج تراکمی نیز در چاه DQ14 را نشان می‌دهد. شکل (۳-۵). در این شکل نگار صورتی رنگ نشان دهنده زمان گذر موج تراکمی، نگار سبز رنگ نشان‌دهنده زمان گذر موج برشی و نگار نارنجی رنگ زمان گذر موج استونلی در داخل سازند را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵. نگار صوتی در دو چاه DQ14 و DQ10

۳-۴-۴ نگار پرتو گاما

ساده‌ترین نگار هسته‌ای، نگار اشعه گاما است که رادیواکتیویته‌ی طبیعی سنگ‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. از این نگار اطلاعات سنگ‌شناسی به‌دست می‌آید، به طوری که از روی آن به وضوح زغال‌سنگ، رسوبات تبخیری و مخصوصاً بافت‌های رسی که اغلب مرزهای مخازن زیر سطحی را تشکیل می‌دهند، مشخص می‌شود. از سوی دیگر از روی نگارهای گامای طبیعی می‌توان درصد رس سازندهای ماسه‌ای را تخمین زد. این نگار را می‌توان در چاه‌های دارای لوله جداری، چاه‌های دارای گل‌های مقاوم و یا چاه‌های حاوی هوا به کاربرد (انصاری، ۱۳۷۶). نگار پرتو گاما بازتابی از اندازه‌گیری‌های تشعشعات رادیواکتیویته طبیعی سازند است که حاصل تجزیه و تلاش دائم عناصر رادیواکتیو و ایجاد پرتو گاما پر انرژی می‌باشد. این انرژی به تدریج تحلیل رفته و میزان تحلیل رفتن آن با جرم حجمی سازند متناسب است. در بین عناصر رادیواکتیو سه عنصر طبیعی U^{238} ، Th^{232} ، K^{40} به لحاظ زمین‌شناسی و طولانی بودن زمان نیمه عمرشان با ارزش هستند (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰).

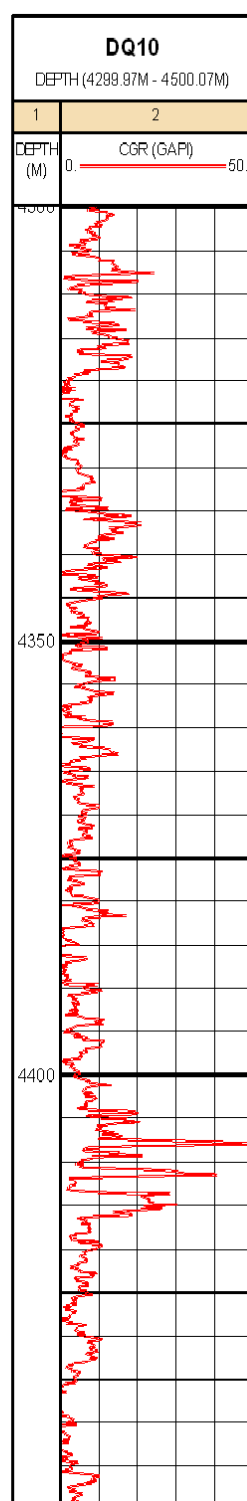
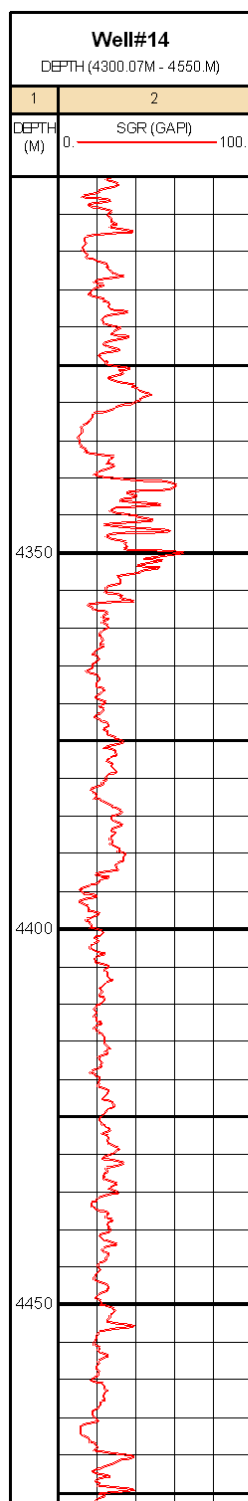
برای اندازه‌گیری اشعه گامای طبیعی ساطع شده در سازند، ابزار نمودارگیری پرتو گاما به درون چاه فرستاده می‌شود. این ابزار از یک گیرنده و ابزارهای الکترونیکی وابسته به آن تشکیل شده که وظیفه آن اندازه‌گیری پرتو گامای ساطع شده در حجم سازند در نزدیکی ابزار درون چاهی است. بیشتر گیرنده‌هایی که در ابزار نمودارگیری پرتو گاما به کار می‌روند، گیرنده‌های فتو نام دارند. این گیرنده‌ها، انرژی گاما را به نور قابل رویت تبدیل می‌کنند (قاسم العسگری، ۱۳۹۰).

به طور کلی در اغلب سنگ‌ها و خاک‌ها مقداری مواد رادیواکتیو در حد زمینه وجود دارد. در سنگ‌های رسوبی غیرتمیز معمولاً نگار پرتو گاما در مقابل آن‌ها افزایش نشان می‌دهد. حال آن که در سازندهای نفوذپذیر مواد رادیواکتیو قابل شستشو هستند و نمودار پرتو گاما از خود کاهش نشان خواهد داد. سازندهای عاری از شیل و مواد رسی معمولاً رادیواکتیویته پایینی دارند مگر این که به هر شکلی آمیزه‌های رادیواکتیویته داشته باشند. واحد ثبت پرتو گاما به افتخار انستیتیوی نفت آمریکا، API می‌باشد که به علت بزرگ بودن از $\frac{1}{API}$ استفاده می‌شود که به آن GAPI می‌گویند.

حساسیت روش پرتو گامای طبیعی در تفکیک حد و مرز طبقات به ثابت زمانی شمارش‌گر و سرعت حرکت سوند بستگی دارد. چون شدت رادیواکتیویته طبیعی یک جسم رادیواکتیو به

مرور زمان و به طور نامنظم تغییر می‌کند و به طبیعت نامنظم زوال مواد رادیواکتیو وابسته است، بنابراین شدت رادیواکتیویته جسم لحظه به لحظه تغییر می‌کند. از این رو چنانچه زمان شمارش ثابت خیلی کوتاه باشد، نمودار بسیار نامنظمی در حین عبور سوند از مقابل لایه شیلی هموزن ایجاد می‌گردد. در حالی که اگر زمان مذکور افزایش یابد، تغییرات نامنظم ایجاد شده بر روی نمودار پرتو گاما از بین رفته و یک سطح نسبتاً همواری بر روی نمودار در مقابل لایه شیلی هموزن ایجاد می‌گردد (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰).

در شکل (۳-۶) قسمتی از نگار پرتو گامای ثبت شده در چاه‌های DQ10 و DQ14 مشاهده می‌گردد.



شکل ۳-۶. قسمتی از نگار پرتو گاما در چاههای DQ14 و DQ10

۳-۴-۵ نگار چگالی

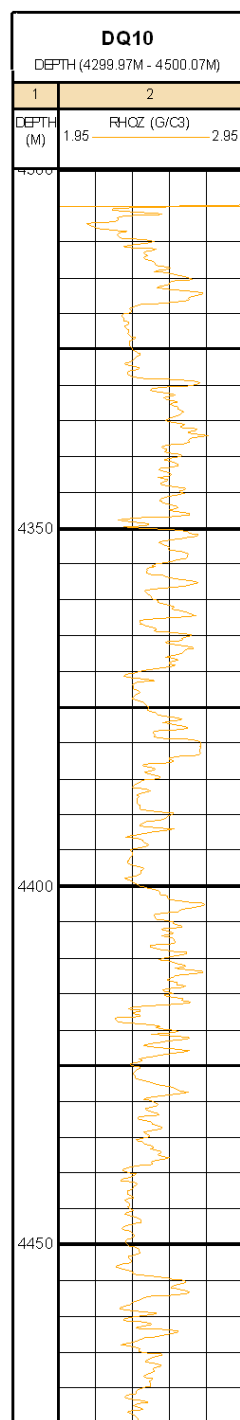
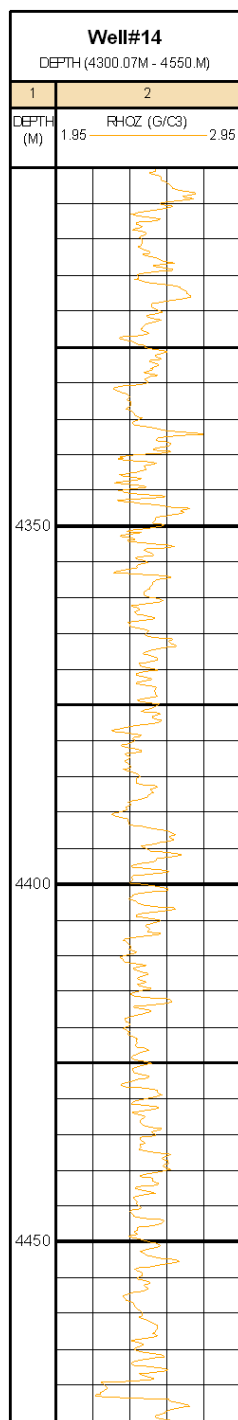
به منظور تخلخل و سنگ‌شناسی سازندها، از منابع رادیواکتیو مصنوعی می‌توان کمک گرفت. یکی از این روش‌ها تاباندن پرتو گامای مصنوعی به سازند و بررسی پرتو گامای ثانویه ایجاد شده است (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰).

در این روش سوند متشکل از یک چشمه رادیواکتیو و یک آشکارساز اشعه گاما می‌باشد که در فاصله معینی از یکدیگر قرار گرفته‌اند. پرتوهای گامای ساطع از چشمه به سنگ‌های جداره چاه برخورد کرده و در اثر برخورد، از انرژی پرتوهای گاما کاسته می‌شود. هر چه چگالی سازند مورد برخورد بیش‌تر باشد، تعداد فوتون‌های بیشتری از بین خواهد رفت و تعداد کمتری فوتون به آشکارساز می‌رسد.

در واقع در این روش تعداد گامای ثبت شده توسط آشکارساز به چگالی سازند بستگی دارد به همین دلیل به این نگار، نگارچگالی گویند. کاربرد توأم نگار گاما - گاما با نگار گامای طبیعی اطلاعات مفیدی در مورد زمین‌شناسی و لیتولوژی سازندها به دست می‌دهد (انصاری، ۱۳۷۶).

از انواع سوندهای مورد استفاده برای ثبت این نگار می‌توان به سوندهای FDL و FDC اشاره کرد. چگالی کلی سنگ‌ها بستگی به چگالی زمینه سنگ، تخلخل سنگ و چگالی سیال پرکننده منافذ سنگ دارد.

در شکل (۳-۷) قسمتی از نگار چگالی ثبت شده در چاه‌های DQ10 و DQ14 آمده است.



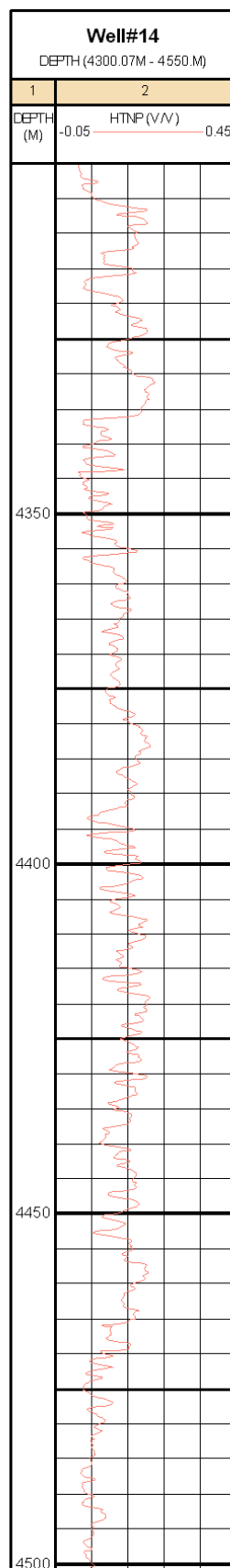
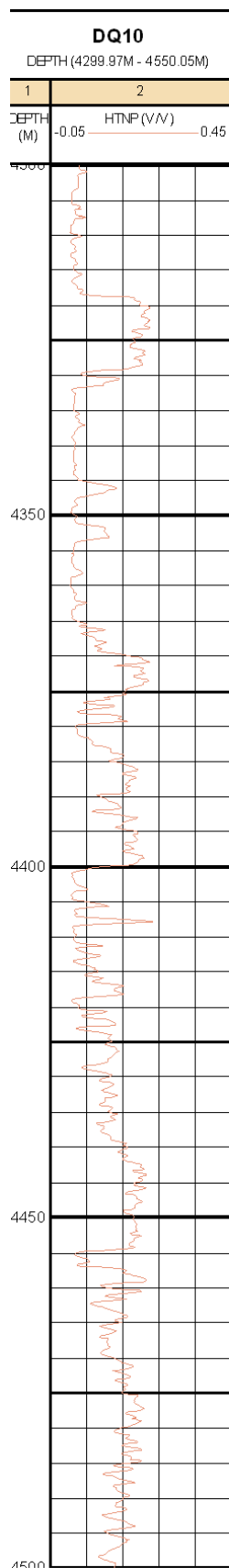
شکل ۳-۷. قسمتی از نگار چگالی چاه‌های DQ14 و DQ10

۳-۴-۶ نگار نوترون

پرتوی نوترون به طور طبیعی وجود ندارد و به وسیله یکی از چشمه‌های آن باید تولید شود. نوترون تولیدی در برخورد با هسته‌های هم جرم نوترون و سبک دچار بیشترین افت انرژی می‌شود. هیدروژن یکی از این هسته‌های سبک است که در فضای خالی سازند نفوذپذیر در ترکیب آب، هیدروکربن، هوا و... می‌تواند وجود داشته باشد. بنابراین نگار پرتو نوترون اصلاح شده قادر به تعیین حجم این فضاهای خالی (تخلخل) خواهد بود.

شاخص هیدروژنی هر سیال با مقدار هیدروژن موجود در واحد حجم آن متناسب است. هر چه میزان غلظت نمک حل شده در آب بیش‌تر باشد، متناسب با آن، از غلظت هیدروژنی سیال مذکور کاسته خواهد شد. شاخص هیدروژنی هیدروکربور مایع (نفت) خیلی نزدیک آب است. در گازها به دلیل دانسیته هیدروژنی کم، که البته متناسب با درجه حرارت و افت فشار است، مقدار این شاخص کاهش خواهد یافت. تحقیقات نشان می‌دهد که اثر گاز موجود در سازند (نزدیک دیواره چاه) بر روی اندازه‌گیری‌های دستگاه نمودارگیری نوترون، بیش از آن است که انتظار می‌رود. این اختلاف بین قرائت‌های نمودار نوترون، که ناشی از دانسیته هیدروژنی کم گاز بوده و عملاً ناشی از تخلخل کم نمی‌باشد، به حساب خمیره زیاد سازند گذاشته می‌شود و اثر خمیره یا تهی‌شدگی نامیده می‌شود. بنابراین چنان‌چه اثر تهی‌شدگی در تفسیر اطلاعات منظور نشود، در نواحی اشباع از گاز، تخلخل بسیار کم‌تر از مقدار واقعی خود به دست خواهد آمد (مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰).

در شکل (۳-۸) قسمتی از نگار نوترون ثبت شده در چاه‌های DQ10 و DQ14 نشان داده شده است.



شکل ۳-۸. قسمتی از نگار نوترون ثبت شده در چاههای DQ10 و DQ14

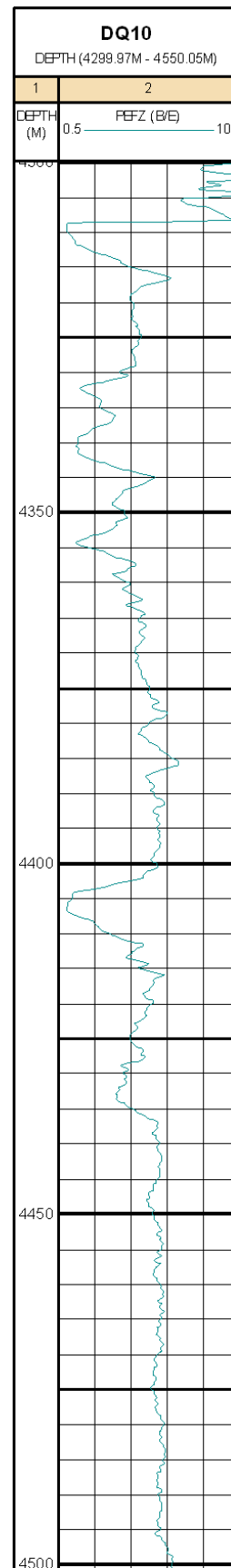
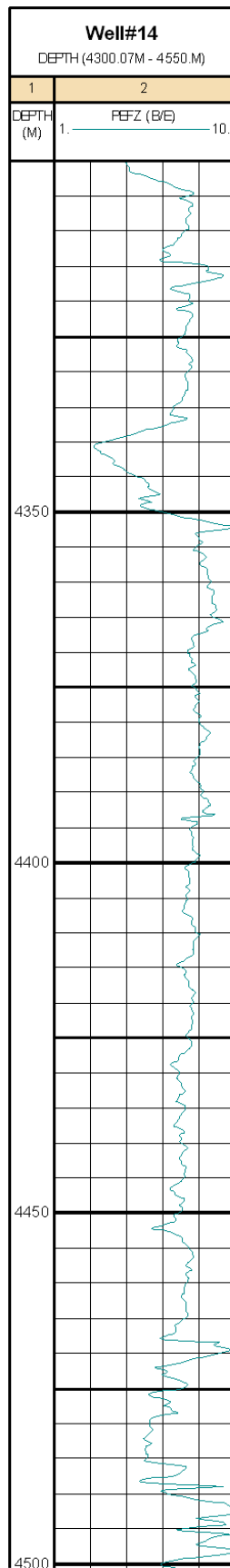
۳-۴-۷ نگار فتوالکتریک

از نگار فتوالکتریک^۱ PEF برای تعیین ستون لیتولوژی و نوع کانی‌های موجود در سنگ استفاده می‌گردد از آنجایی که این نگار تنها به لیتولوژی حساس می‌باشد و هیچ تاثیری از تخلخل و سیال داخل سازند نمی‌گیرد بنابراین با استفاده از آن می‌توان به تفسیر قابل اعتمادی از لیتولوژی و ماتریکس سنگ دست یافت. مزیت دیگری که نمودار PEF در تعیین لیتولوژی در مقایسه با نمودارهای دیگری چون چگالی و نوترون دارد آن است که این نمودار در سازند های حاوی گاز دچار اختلال نمی‌گردد و نتایج حاصل از آن کاملاً دقیق می‌باشد در صورتی که با نمودارهای چگالی و نوترون در سازندهای حاوی گاز دچار اختلال در تعیین لیتولوژی می‌گردند.

ابزاری که برای اندازه گیری استفاده می‌گردد بسیار شبیه ابزار نمودارگیری چگالی می‌باشد. با این تفاوت که تعداد آشکارسازهای آن افزایش و فاصله بین آشکارسازها کاهش یافته است. این کاهش فاصله بین آشکارسازها باعث افزایش تفکیک پذیری قائم و دقت شمارش گردیده است. این نگار را معمولاً به همراه نگارهای نوترون و گاما اندازه گیری می‌نمایند. استفاده ترکیبی از نمودارهای PEF، چگالی و نوترون می‌تواند منجر به تعیین لیتولوژی دقیقی از سازند گردد. میزان عمق نفوذ ابزار حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی متر می‌باشد. از این ابزار هم در داخل چاه حاوی گل حفاری آب پایه و هم گل نفت پایه می‌توان استفاده نمود. اما باید این گل ها حاوی باریت نباشند چراکه میزان P_e باریت حدود $267 \text{ barns/electron}$ می‌باشد در حالی که برای سایر سازندها این مقدار کم تر از ۶ می‌باشد (Glover, 2009)

در شکل ۳-۹ قسمتی از تغییرات نگار فتوالکتریک در چاههای DQ10 و DQ14 مشاهده می‌شود.

^۱. Photo Electric Formation .



شکل ۳-۹. قسمتی از نگار فوتوالکتریک در چاههای DQ10 و DQ14

۳-۴-۸ ابزار MDT

از ابزار MDT به منظور اندازه‌گیری فشار در سراسر چاه و علاوه بر این از آن به منظور نمونه‌گیری از سازندهای دیواره چاه استفاده می‌گردد. این ابزار قادر است میزان تراوایی سازند را در شرایط خود سازند و یا به عبارتی تحت فشار و دمای واقعی سازند اندازه‌گیری نماید. این ابزار دارای سر سوزنی شکلی می‌باشد که وارد سازند شده و مقداری از سیال داخل سازند را به داخل محفظه تانک مانند خود مکیده و سرعت حرکت سیال از داخل سازند به محفظه خود را اندازه‌گیری می‌نماید و با استفاده از سرعت به دست آمده، میزان تراوایی را محاسبه می‌نماید. علاوه بر این از این ابزار جهت بررسی خواص سیال داخل سازند استفاده می‌شود. اندازه‌گیری‌هایی که با استفاده از این ابزار صورت می‌گیرد به صورت نقطه‌ای می‌باشد. اطلاعاتی که از این ابزار به دست می‌آید مانند اطلاعات مغزه می‌باشد با این تفاوت که این اطلاعات به صورت برجا به دست آمده است و دقت آن نسبت به اطلاعات مغزه بالاتر است (Colley et al., 1992)

در این مطالعه جهت مقایسه مقادیر تراوایی محاسبه شده از طریق موج استونلی با مقادیر واقعی تراوایی سازند از اطلاعات به دست آمده از این ابزار استفاده می‌گردد.

فصل چهارم:

تعیین تراوایی و ضریب سمان شدگی مخزن کربناته

میدان نفتی دارخوین

۴-۱ مقدمه

جهت تعیین تراوایی در مخزن کربناته میدان دارخوین در این تحقیق، از امواج استونلی ثبت شده توسط ابزار DSI و اطلاعات به دست آمده از ابزار MDT به منظور کالیبره کردن موج استونلی با میزان تراوایی استفاده شد. در ابتدا تفسیری پتروفیزیکی با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی صورت گرفت و پس از آن میزان کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ تعیین و با استفاده از سرعت تعیین شده شاخصی به دست آمد که شاخص تراوایی نامیده شد. این شاخص را می‌توان، نماینده ضریب پیچاپیچی قانون آرچی در نظر گرفت. پس از آن فاکتور تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی تعیین و در نهایت با استفاده از روابطی که در فصل دوم به آن اشاره شد، مقدار تراوایی با دو روش مختلف محاسبه و در پایان مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از دو روش صورت گرفت.

علاوه بر تراوایی، ضریب سیمان‌شدگی قانون آرچی با استفاده از روابط فوک و مان، رگلاند و لوسیا محاسبه و در نهایت با تغییر در فرمول لوسیا و تطبیق آن با شرایط مخزنی میدان دارخوین، معادله‌ای به منظور محاسبه این ضریب ارائه شد.

۴-۲ تعیین تراوایی با استفاده از نگار DSI

چنان‌که در فصل دوم توضیح داده شد، تاثیر پذیری موج استونلی از تراوایی یک خاصیت ذاتی موج استونلی می‌باشد که به صورت میرایی در انرژی و یا افزایش کندشدگی آن نشان داده می‌شود. جهت تخمین تراوایی از طریق موج استونلی و به دست آوردن نگاری پیوسته از تغییرات تراوایی در سرتاسر گمانه اکتشافی، تغییرات کندشدگی موج استونلی مستقیماً با تراوایی متناسب قرار داده می‌شود از آن جایی که در تراوایی و تغییرات کندشدگی موج استونلی و تاثیر این دو پارامتر بر روی یکدیگر، جنس لیتولوژی بی‌تاثیر نمی‌باشد، این فاکتور با عنوان فاکتور تطابق در محاسبات دخالت داده شد. اما قبل از تعیین فاکتور تطابق لازم است تفسیر پتروفیزیکی دقیقی از مخزن صورت گیرد و جنس و تنوع لیتولوژی در این مخزن مشخص گردد. سپس با توجه به درصد حضور هر مولفه لیتولوژی فاکتور تطابق تعیین گردد. در نهایت با استفاده از فاکتور تطابق تعیین شده، بنا به این که از کدامیک از روش‌های توضیح داده شده در فصل دوم استفاده خواهد شد، رابطه‌ی کیفی بین موج استونلی و تراوایی، به رابطه کمی تبدیل می‌شود.

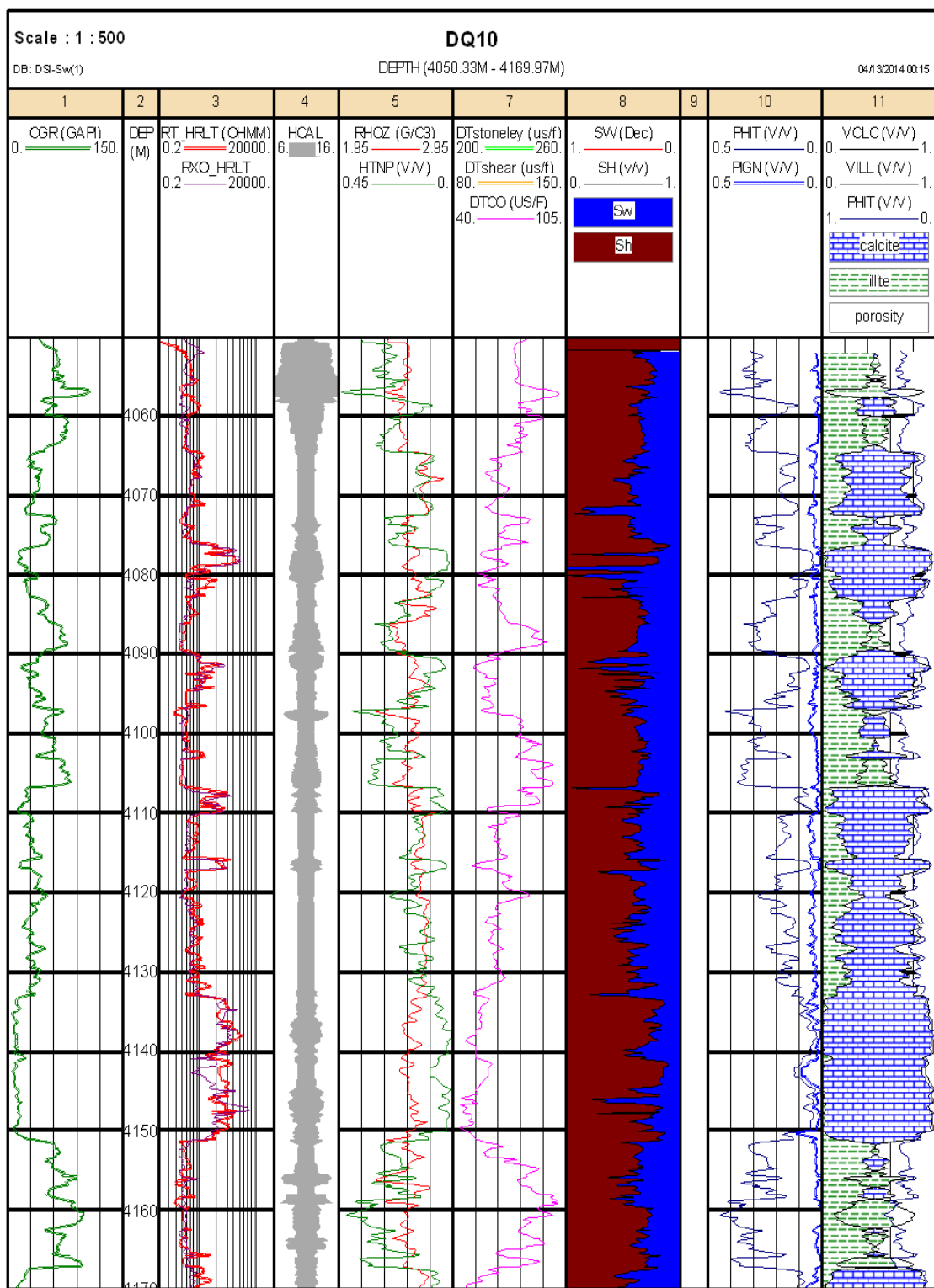
با توجه به توضیح خلاصه‌ای که در مورد فیزیک مساله داده شد، مراحل حل مساله به تفکیک در زیر بررسی شده است.

۴-۲-۱ تفسیر پتروفیزیکی مخزن کربناته چاه DQ10

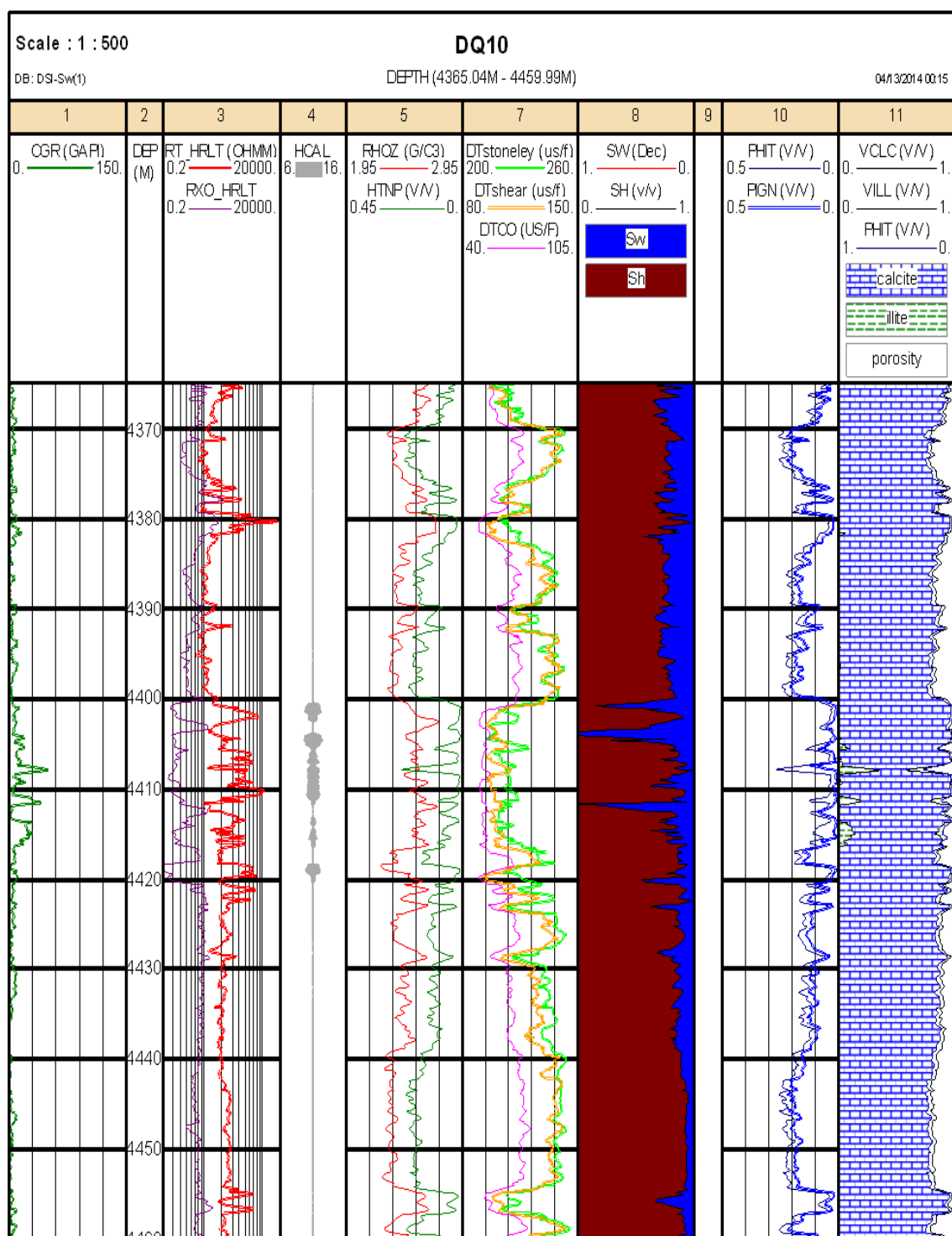
تفسیر پتروفیزیکی چاه DQ10 با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی که در فصل سوم به آن‌ها اشاره شده و نمایش آن‌ها در نرم افزار پتروفیزیکی IP صورت گرفته است.

نگارهای موجود مربوط به عمق ۴۰۵۰ تا ۴۵۷۳ متری می‌باشد. در شکل‌های (۴-۱) قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی مربوط به سازند گدوان و در شکل (۴-۲) قسمتی از مجموعه نگارهای پتروفیزیکی مربوط به سازند فهلپان چاه DQ10 مشاهده می‌گردد.

مجموعه کامل نگارهای مربوط به چاه DQ10 را در قسمت پیوست (الف-۱) تا (الف-۵) آمده است.

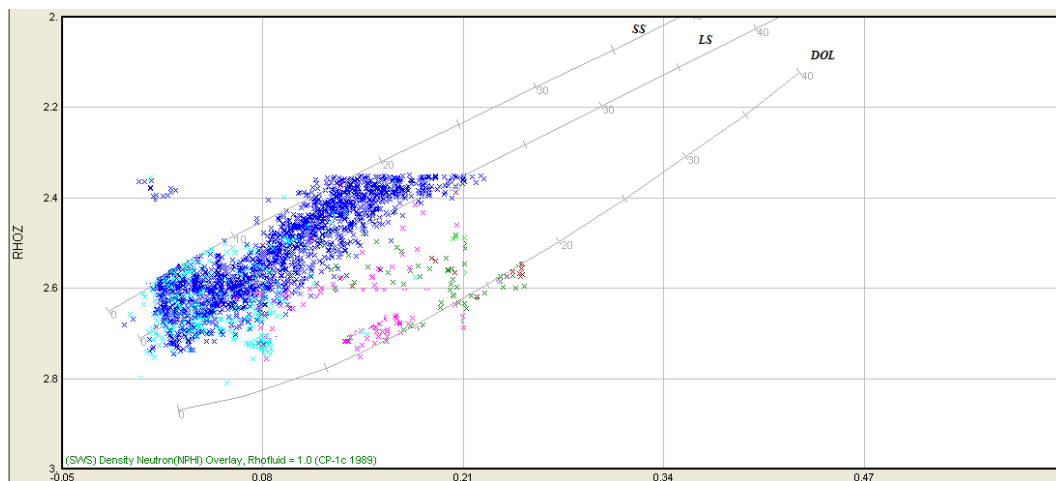


شکل ۴-۱. نگارهای پتروفیزیکی قسمتی از سازند گدوان در چاه DQ10



شکل ۴-۲. قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی زون مخزنی چاه DQ10، سازند فهلپان

با توجه به تغییرات نگارهای چگالی (RHOZ)، نوترون (HTNP) و نمودار متقاطع نوترون-چگالی رسم شده در شکل (۳-۴) لیتولوژی اصلی سازند مورد مطالعه سنگ آهک می‌باشد. در قسمت مورد مطالعه، از عمق ۴۰۳۰ متری تا عمق ۴۱۷۰ متری مربوط به قسمتی از سازند گدوان می‌باشد که لیتولوژی آن شیل به همراه سنگ آهک می‌باشد. از ۴۱۷۰ متری تا ۴۵۳۰ متری مربوط به سازند فهلپیان است که زون واقع در ۴۳۶۵/۰۵ متری تا ۴۵۱۴/۶۱ متری با میانگین تخلخل نزدیک ۱۵ درصد و میانگین درصد اشباع هیدروکربور بالای ۸۶ درصد به عنوان زون مخزنی این چاه در نظر گرفته شده است. بهترین زون‌هایی را که می‌توان به عنوان زون تولیدی در نظر گرفت در قسمت نتیجه‌گیری با توجه به تغییرات نگار تراوایی محاسبه شده معرفی خواهند شد.



شکل ۳-۴. نمودار متقاطع نوترون-چگالی به منظور تعیین لیتولوژی. لیتولوژی غالب سازند با توجه به نمودار، سنگ آهک می‌باشد.

با توجه به ستون لیتولوژی رسم شده در شکل (۲-۴)، مولفه‌های لیتولوژی موجود در زون مخزنی چاه DQ10 عبارتند از کلسیت و ایلیت. بنابراین در محاسبات تراوایی بایستی اثرات این دو پارامتر لحاظ گردد. حجم هر یک از این مولفه‌های لیتولوژی توسط نرم‌افزار Geolog محاسبه گردیده است و از آن‌ها در محاسبه فاکتور تطابق استفاده گردید.

۴-۲-۲ آماده سازی داده های MDT

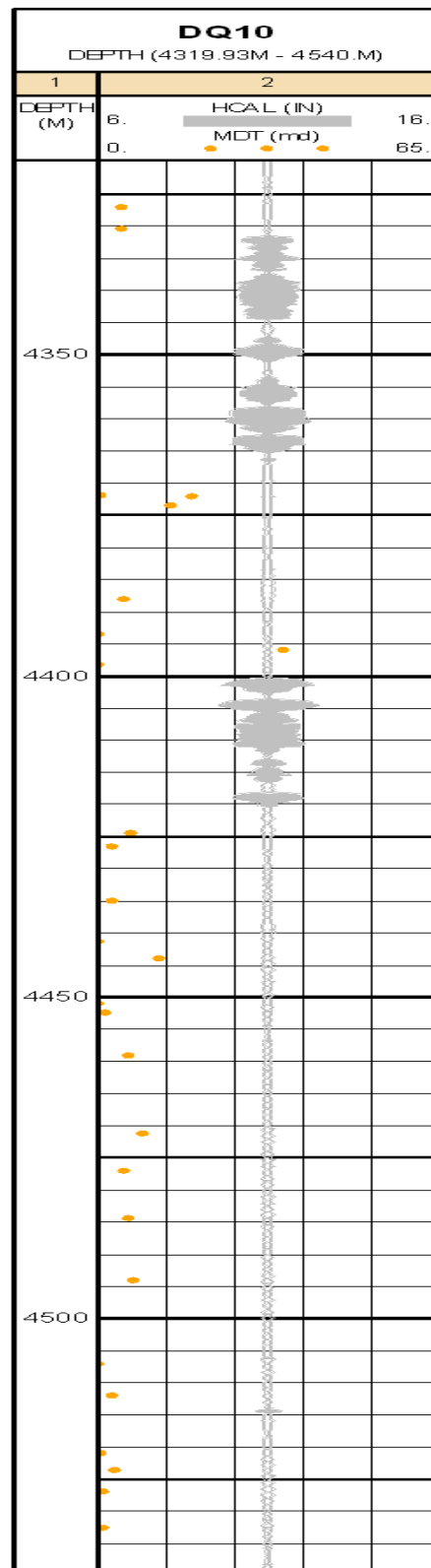
در محاسبه ی فاکتور تطابق کندشدگی موج استونلی با تراوایی، از داده های MDT و یا نتایج آنالیز مغزه استفاده می گردد. در این مطالعه از داده های MDT به این منظور استفاده شده است. اما قبل از استفاده از داده های برداشت شده توسط ابزار MDT لازم است از صحت داده های برداشت شده اطمینان حاصل گردد. به این منظور سه موضوع بایستی در مورد داده های MDT تحقیق گردد.

- در نقاطی که این داده ها برداشت شده، مشکل ریزش چاه وجود ندارد.
- نوع تست داده های برداشت شده Supercharge نباشد.
- در صورتی که در یک نقطه چندین مرتبه اندازه گیری صورت گرفته، میانگین اندازه گیری های انجام شده را به عنوان داده MDT در آن عمق در نظر گرفته شود.

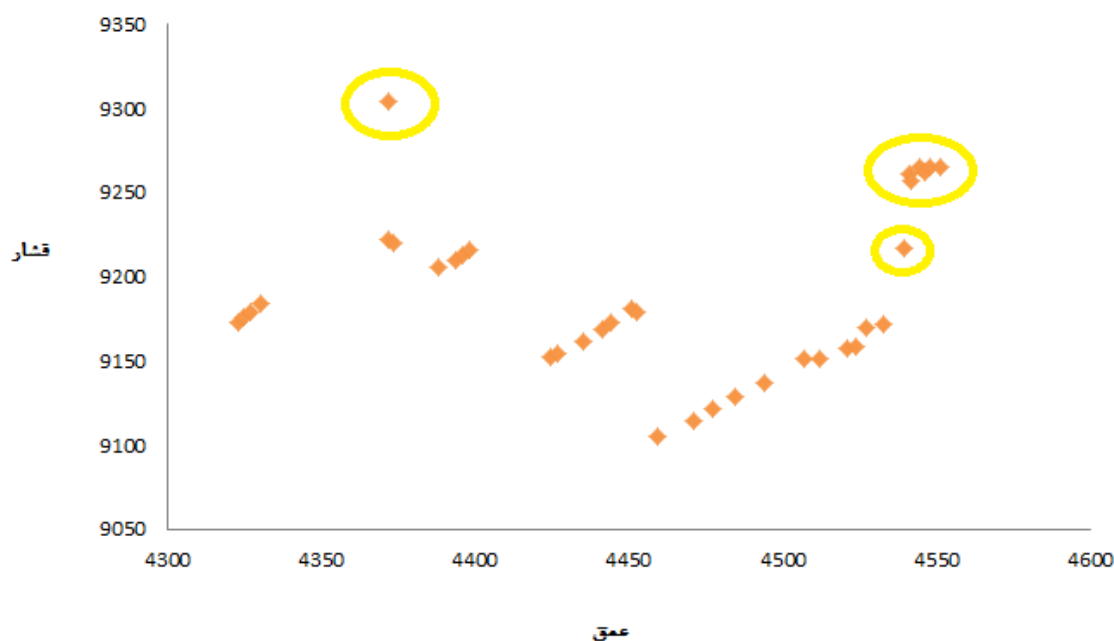
جهت تحقیق موضوع اول کافی است تا داده های برداشت شده MDT را مطابق شکل (۴-۴) بر روی نگار قطرسنجی نشان داده و بررسی شود که آیا در نقطه برداشت شده، مشکل ریزش چاه وجود دارد یا خیر. در این شکل نقاط نارنجی رنگ نشان گر نقاط MDT می باشد. همان طور که در شکل مشاهده می شود، هیچ یک از نقاط MDT برداشت شده در زون های ریزشی قرار ندارد. بنابر این از این لحاظ داده های MDT برداشت شده ایرادی ندارند.

نقاط Supercharge نقاطی است که به دلیل پایین بودن تراوایی در نقاط برداشت شده، ابزار قادر به تعیین فشار واقعی مخزن نبوده و فشار مخزن را بسیار بالاتر و یا پایین تر از مقدار واقعی آن نشان می دهد. بنابراین این نقاط فاقد ارزش محاسباتی می باشند و بایستی از اطلاعات سایر نقاط برداشت شده حذف گردد. روشی که به منظور حذف نقاط Supercharge در مورد این گونه نقاط در این تحقیق استفاده شد به شرح زیر می باشد:

با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد نقاط Supercharge، مقدار فشار مخزن در این نقاط از روند افزایشی فشار در سرتاسر مخزن پیروی نمی کند. بنابراین کافی است تا مقادیر فشار برداشت شده توسط این ابزار را بر حسب عمق آن در یک نمودار متقاطع رسم نموده و آن دسته از نقاطی که از روند معمول تغییر فشار پیروی نمی کنند را به عنوان نقاط Supercharge شناسایی و حذف نمود. در شکل (۴-۵) نمودار متقاطع عمق- فشار رسم و نقاط Supercharge شناسایی شده است.



شکل ۴-۴. داده‌های تراوایی حاصل از ابزار MDT را بر روی نگار قطرسنجی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵. تعیین نقاط Supercharge با استفاده از نمودار متقاطع عمق-فشار

همان‌طور که در شکل (۴-۵) مشاهده می‌نمایید، نقاطی که دور آن‌ها بیضی رسم شده است نقاطی هستند که از روند تغییر فشار پیروی ننموده‌اند و به عنوان نقاط Supercharge شناسایی و از سایر نقاط MDT حذف شده‌اند.

۴-۲-۳ محاسبه کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ

بسته به این که از کدام یک از روش‌های توضیح داده شده در فصل دوم جهت محاسبه تراوایی استفاده شود، در مرحله‌ای مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ ($DT_{st-non permeable}$)، نیاز خواهد شد. همان‌طور که در فصل دوم توضیح داده شد جهت محاسبه مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ به دو روش می‌توان عمل نمود. هم می‌توان با استفاده از روابط (۲-۲) و (۳-۲) مقدار $DT_{st-non permeable}$ محاسبه نمود. هم این که می‌توان از طریق رسم نمودار متقاطع نوترون بر حسب زمان گذر موج استونلی در زون ناتراوا (بر اساس درصد مقدار حدی تخلخل که برای تفکیک زون ناتراوا از زون تراوا در نظر گرفته می‌شود)، اقدام به محاسبه این پارامتر نمود.

استفاده از هر کدام از روش‌های مذکور، دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد. به طور معمول در مطالعاتی که قبلاً توسط سایر محققین در زمینه محاسبه تراوایی با استفاده از امواج

استونلی صورت گرفته است، در صورتی که در محاسبه تراوایی از مفهوم واحدهای جریان استفاده نموده‌اند، با استفاده از روابط (۲-۲) و (۳-۲) مقدار $DT_{st-non permeable}$ را محاسبه نموده‌اند. در صورتی که با استفاده از رابطه (۵-۲) اقدام به محاسبه تراوایی نموده‌اند، از نمودار متقاطع نوترون بر حسب زمان گذر موج استونلی در زون ناتراوا، استفاده کرده‌اند.

در این تحقیق هم از مفهوم واحدهای جریان و هم از رابطه (۵-۲) جهت محاسبه تراوایی استفاده شده است. اما با این تفاوت که در حین استفاده از رابطه (۵-۲)، از روابط (۲-۲) و (۳-۲) جهت محاسبه مقدار $DT_{st-non permeable}$ استفاده شد. مزیت این تغییر در روش استفاده از روابط آن است که در حین محاسبه مقدار $DT_{st-non permeable}$ ، به تغییر نوع لیتولوژی نیز ترتیب اثر داده می‌شود در صورتی که اگر از نمودار متقاطع استفاده گردد، ممکن است تنها نسبت به یک نوع از لیتولوژی، مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ محاسبه گردد.

جهت تعیین مقدار $DT_{st-non permeable}$ با استفاده از روابط (۲-۲) و (۳-۲) به صورت زیر عمل می‌شود:

به منظور درک بهتر این روش، در اینجا نیز مجدداً به روابط مذکور اشاره و در مورد آن‌ها توضیحاتی ارائه می‌گردد. زمان گذر موج استونلی در مقابل یک لایه را می‌توان به صورت رابطه (۱-۴) نوشت.

$$S^2 = S_e^2 + S_p^2 \quad (1-4)$$

در این رابطه S زمان گذر کلی موج استونلی، S_e زمان گذر موج استونلی در زمینه سنگ و S_p زمان گذر موج استونلی اضافه شده در اثر تداخل موجود در سنگ می‌باشد. S_e می‌توان مطابق با رابطه (۲-۴) ارائه نمود.

$$S_e^2 = S_f^2 + \left(\rho_f / \rho_b \right) S_s^2 \quad (2-4)$$

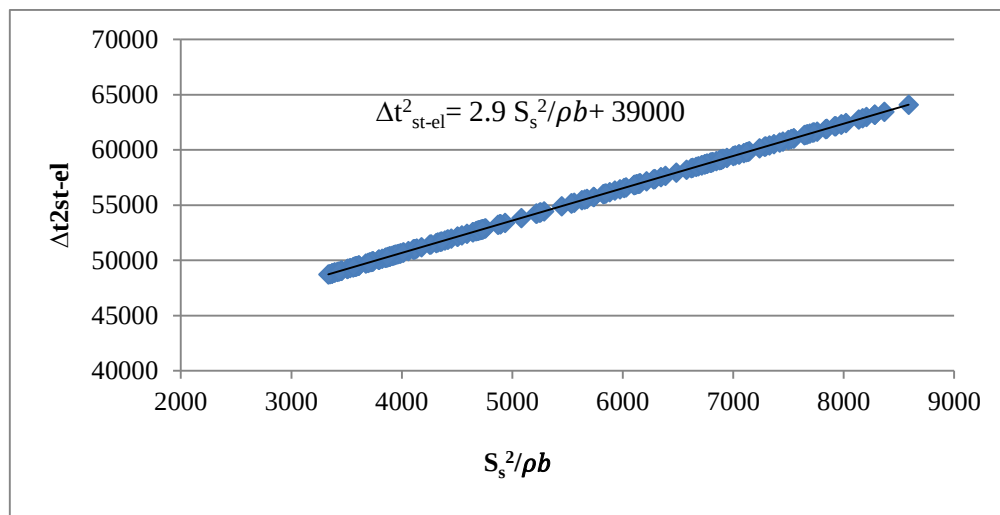
S_s زمان گذر موج برشی اندازه‌گیری شده توسط ابزار بر حسب میکروثانیه بر فوت، S_f زمان گذر موج استونلی در سیال داخل سازند، ρ_f چگالی سیال داخل سازند و ρ_b چگالی کل سازند می‌باشد.

قبل از تعیین S_e در سر تا سر چاه با استفاده از روابط ارائه شده، لازم است تا رابطه (۲-۴) بر روی زون ناتراوایی از سازند مورد بررسی، اعمال گردد. در این تحقیق مقدار حدی ۵ درصد را

برای تخلخل به عنوان مرز زون تراوا و ناتراوا در چاه DQ10 در نظر گرفته شد. بنابراین قسمت-هایی از سازند که دارای تخلخل کم‌تر از ۵ درصد می‌باشند را به عنوان زون ناتراوا در نظر گرفته می‌شود. لازم به توضیح است که مقدار حدی تخلخل جهت تفکیک زون‌های تراوا و ناتراوا تقریباً به صورت تجربی و بر اساس نوع تخلخل سازند تعیین می‌گردد.

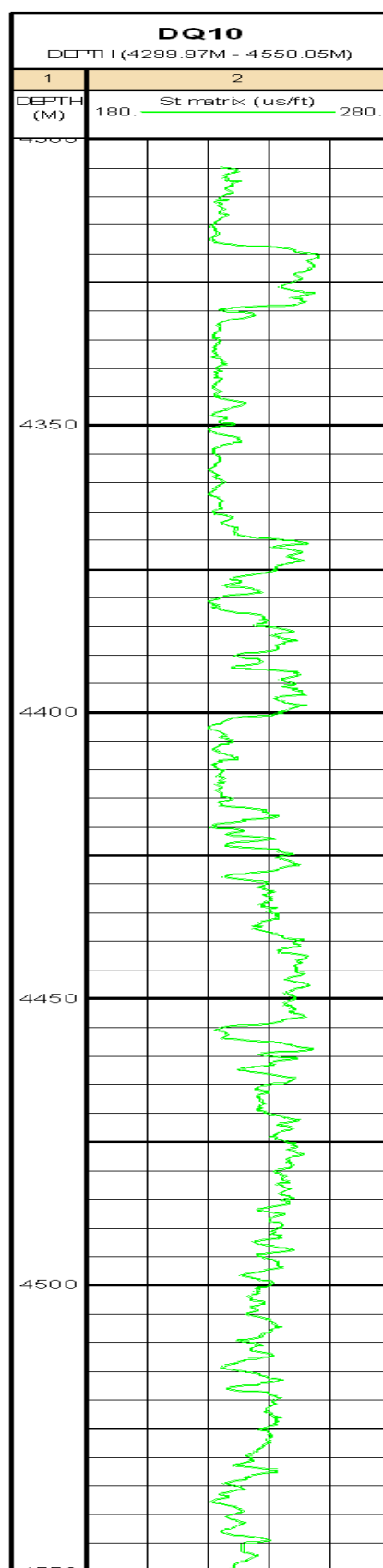
زون واقع در عمق ۴۳۳۲/۳ متر تا ۴۳۶۴/۴۵ متر، به عنوان زون ناتراوا در نظر گرفته و نمودار متقاطع S_e^2 در مقابل $S_s^2 \rho_b$ / رسم گردید. شیب این نمودار برابر با ρ_f و عرض از مبدا آن برابر با S_f^2 می‌باشد.

همان طور که در نمودار رسم شده در شکل (۴-۶) مشاهده می‌گردد، مقدار شیب بهترین خط برازش شده مقدار ρ_f برابر با ۲/۹ کیلوگرم بر مترمکعب و مقدار S_f^2 برابر با $39000 \mu s^2/ft^2$ می‌باشد.



شکل ۴-۶. نمودار متقاطع S_e^2 در مقابل S_s^2/ρ_b

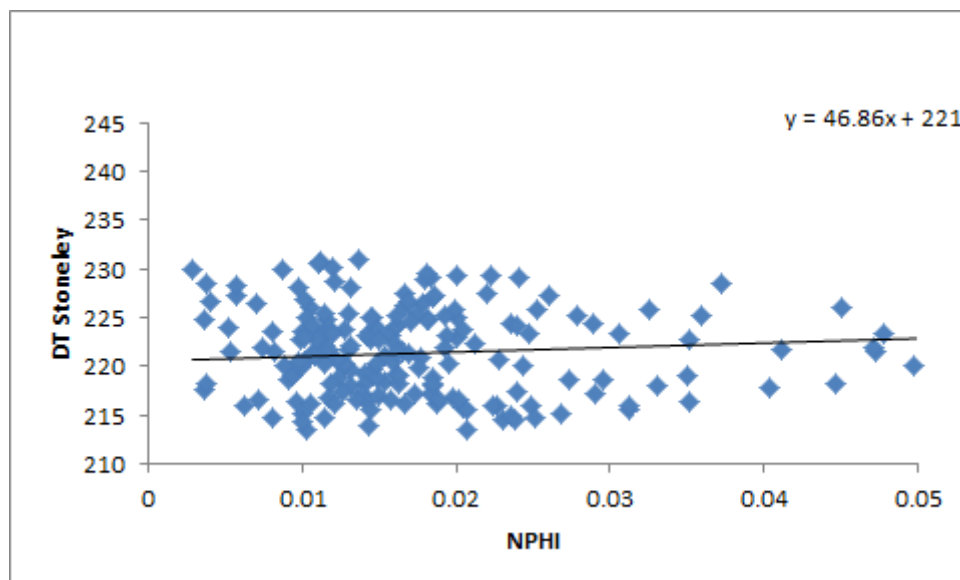
حال که مقادیر S_f و ρ_f تعیین شده است با استفاده از رابطه (۴-۲) مقدار S_e را در سرتاسر چاه می‌توان محاسبه نمود. (شکل ۴-۷). علاوه بر این با کم کردن مقدار S_e از مقدار S بر طبق رابطه (۴-۱) می‌توان مقدار زمان گذر موج استونلی اضافه شده در اثر تراوایی تخلخل سازند را نیز محاسبه کرد.



شکل ۴-۷. نمودار زمان گذر موج استونلی در زمینه سنگ

همان طور که ذکر شد، روش دیگر در محاسبه کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ، استفاده از نمودار متقاطع نوترون بر حسب زمان گذر موج استونلی در زون ناتراوا می‌باشد. به این منظور لازم است تا ابتدا مقدار حدی درصد تخلخل جهت تفکیک زون تراوا از ناتراوا تعیین گردد. در این تحقیق مقدار حدی ۵ درصد به عنوان مرز بین زون تراوا و ناتراوا در نظر گرفته شده است به عبارتی زون‌هایی از سازند که دارای تخلخل بالای ۵ درصد باشند زون تراوا و زون‌هایی که دارای تخلخل زیر ۵ درصد هستند به عنوان زون ناتراوا در نظر گرفته شده‌اند.

در شکل (۸-۴) نمودار متقاطع تخلخل نوترون بر حسب کندشدگی موج استونلی مشاهده می‌گردد.



شکل ۸-۴ نمودار متقاطع تخلخل نوترون بر حسب کندشدگی موج استونلی در زون ناتراوا

معادله خط برازش شده به داده‌های نشان داده شده در شکل (۸-۴) مطابق رابطه زیر است.

$$DT_{st} = 46.86 NPHI + 221 \quad (۳-۴)$$

با توجه به رابطه (۳-۴) عرض از مبدا بهترین خط برازش شده به داده‌ها برابر با ۲۲۱ میکروثانیه بر فوت می‌باشد که این مقدار معادل با مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ می‌باشد.

۴-۲-۴ محاسبه فاکتور تطابق موج استونلی با تراوایی حاصل از ابزار MDT

از آنجایی که کندشدگی موج استونلی و تراوایی به طور مستقیم از لیتولوژی و ترکیب‌های حجمی مختلف کانی‌ها، تاثیر می‌پذیرند، لذا بایستی ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی، تحت تاثیر مولفه‌های تشکیل دهنده هر سازند با ترکیب‌های حجمی مربوطه، تعیین گردد (Sun et al., 2012). بنابراین ضریب تطابق بین این دو پارامتر را می‌توان بر طبق رابطه (۴-۴) نشان داد.

$$M = \sum_{i=1}^n m_i V_i \quad (4-4)$$

در این رابطه n تعداد مولفه‌های تشکیل دهنده سازند و m_i ضریب تطابق برای حجم هر مولفه لیتولوژی (V_i) می‌باشد.

همانطور که در تفسیر پتروفیزیکی سازند فلهیان مشاهده شد، سازند فلهیان از سنگ آهک و مقداری ایلیت تشکیل شده است. لذا رابطه (۴-۴) برای این سازند در قالب رابطه (۵-۴) نمایش داده می‌شود.

$$M = \sum_{i=1}^2 m_i V_i = m_{lime} V_{lime} + m_{ill} V_{ill} \quad (5-4)$$

در این رابطه مقصود از m_{lime} و m_{ill} ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی با هریک از مولفه‌های آهک و ایلیت به ترتیب می‌باشد. V_{ill} و V_{lime} نیز به ترتیب میانگین حجم آهک و ایلیت می‌باشد.

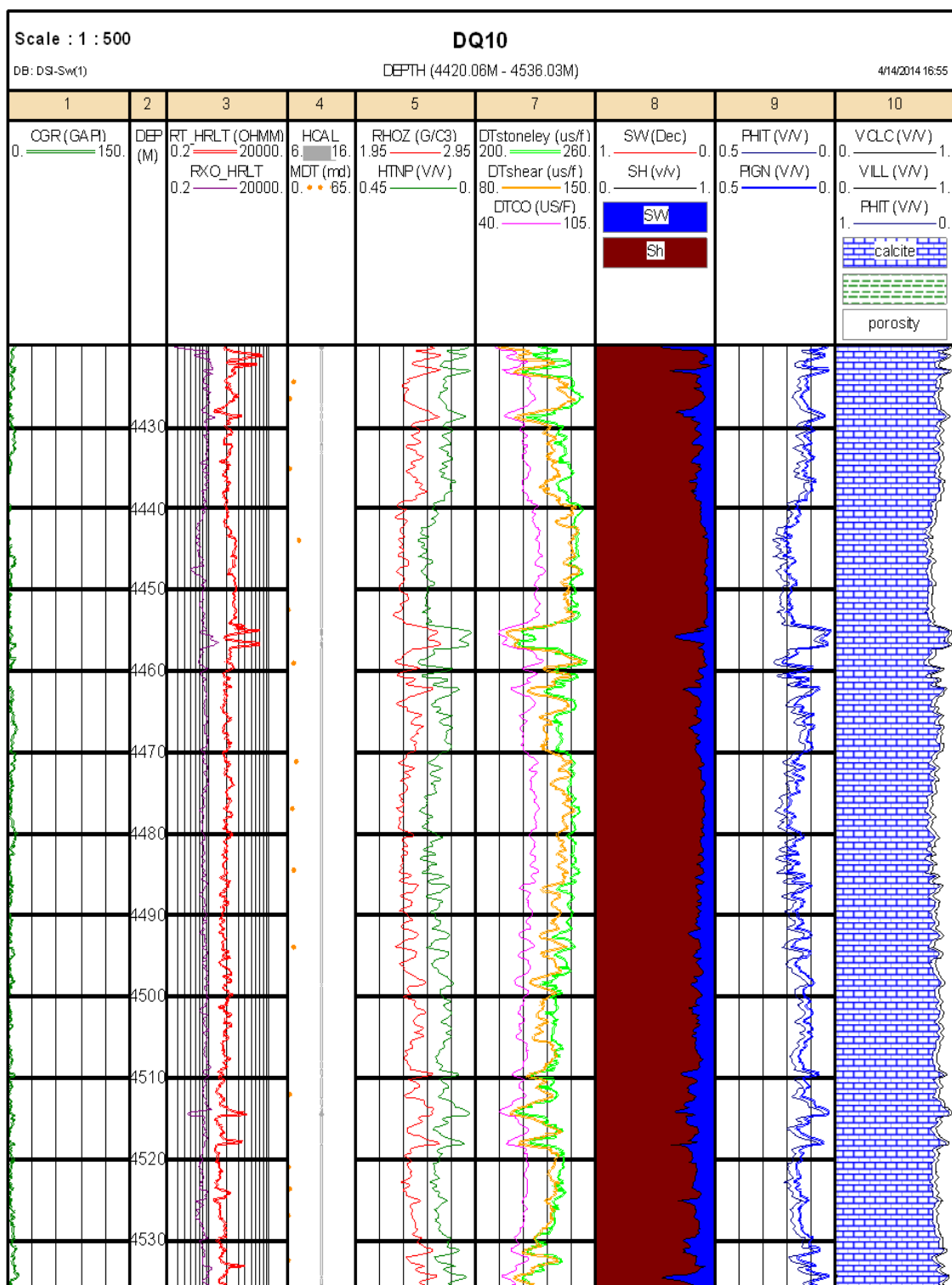
جهت محاسبه تراوایی در سرتاسر سازند فلهیان با استفاده از امواج استونلی، محاسبه هر یک از ضرایب تطابق آهک و ایلیت ضروری است. اما به دلیل حضور دو مجهول در رابطه (۵-۴)، بایستی دستگاه معادلاتی مطابق دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۶-۴) تشکیل، و با استفاده از آن مقدار مجهولات مساله تعیین گردد.

$$\begin{cases} m_{ill} V_{ill} + m_{lime} V_{lime} = M \\ m_{ill} V'_{ill} + m_{lime} V'_{lime} = M' \end{cases} \quad (6-4)$$

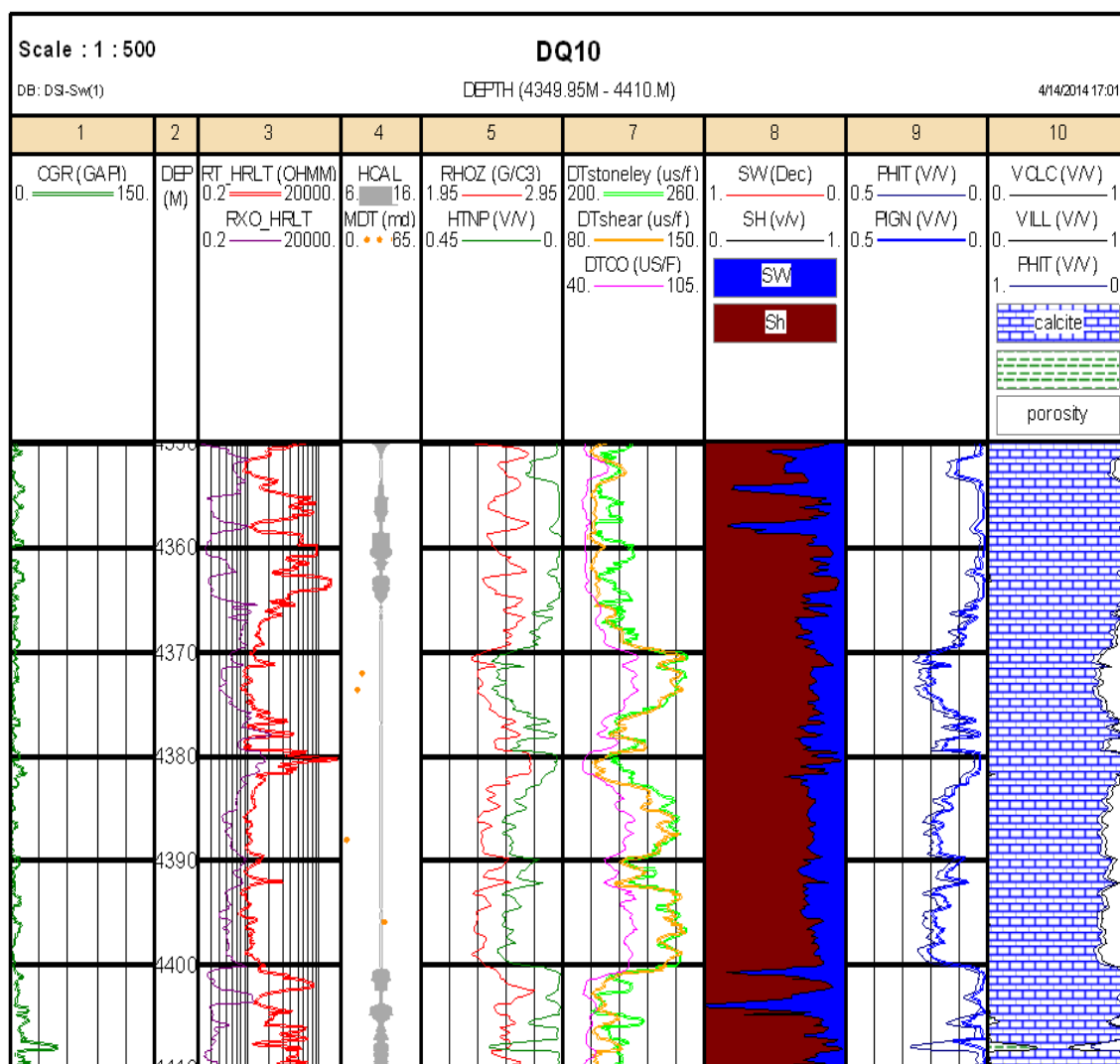
همان طور که در دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۶-۴) مشاهده می‌شود، رابطه (۵-۴) دو مرتبه تکرار شده با این تفاوت که رابطه اول مربوط به زون نفتی سازند فلهیان است و رابطه

دوم مربوط به زون آبی این سازند می‌باشد. بنابراین لازمه حل این دستگاه شناسایی زون‌های نفتی و آبی موجود در سازند فهلیان می‌باشد.

بر اساس ارزیابی‌های پتروفیزیکی صورت گرفته از سازند فهلیان این سازند دارای چهار زون نفتی و پنج زون آبی می‌باشد. از میان زون‌های تعیین شده، زون واقع در عمق ۴۴۲۰ متر تا ۴۵۳۶ متر به عنوان زون نفتی اصلی می‌باشد و زون واقع در عمق ۴۳۵۰ متر تا ۴۴۱۰ متر که در شکل پیوست (الف-۳) آورده شده است به عنوان بزرگ‌ترین زون آبی این سازند می‌باشد. در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) به ترتیب این دو زون مشاهده می‌شود. سایر زون‌ها نسبت به این دو زون دارای ضخامت کمتری می‌باشند. تعیین زون‌های آبی و نفتی در این سازند بر اساس مقدار حدی اشباع آب ۳۰ درصد می‌باشد. به عبارتی زون‌هایی با درصد اشباع آب بالای ۳۰ درصد را به عنوان زون آبی و زون‌هایی با درصد اشباع آب زیر ۳۰ درصد، به عنوان زون‌های نفتی در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که مقدار حدی درصد اشباع آب که مبنای این تقسیم‌بندی قرار گرفته است، بر اساس تغییرات درصد اشباع آب در سرتاسر سازند تعیین شده است و یک مقدار حدی تجربی می‌باشد که ممکن است در سازند دیگر و یا در میادین دیگر، این مقدار متفاوت باشد.



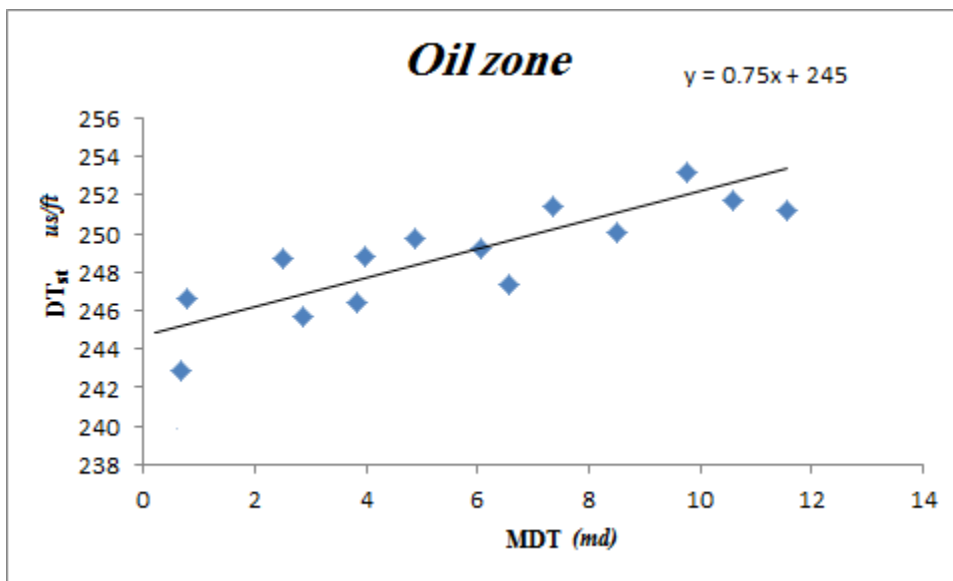
شکل ۴-۹. زون نفتی اصلی سازند فهلپیان که در بازه عمقی ۴۴۲۰ متر تا ۴۵۳۶ متری چاه DQ10 قرار دارد.



شکل ۴-۱۰. بزرگ‌ترین زون آبی سازند فهلپان واقع در بازه عمقی ۴۳۵۰-۴۴۱۰ متری چاه DQ10

پس از تعیین زون‌های نفتی و آبی، داده‌های مربوط به کندشدگی موج استونلی و تراوایی به دست آمده از ابزار MDT در هر یک از زون‌ها جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و نحوه رفتار تراوایی و موج استونلی و تاثیر پذیری هرکدام از آنها از نوع سیال موجود در سازند بررسی و در محاسبات لحاظ می‌گردد.

در شکل (۴-۱۱) چگونگی تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی حاصل از MDT در زون نفتی چاه مذکور نشان داده شده است.



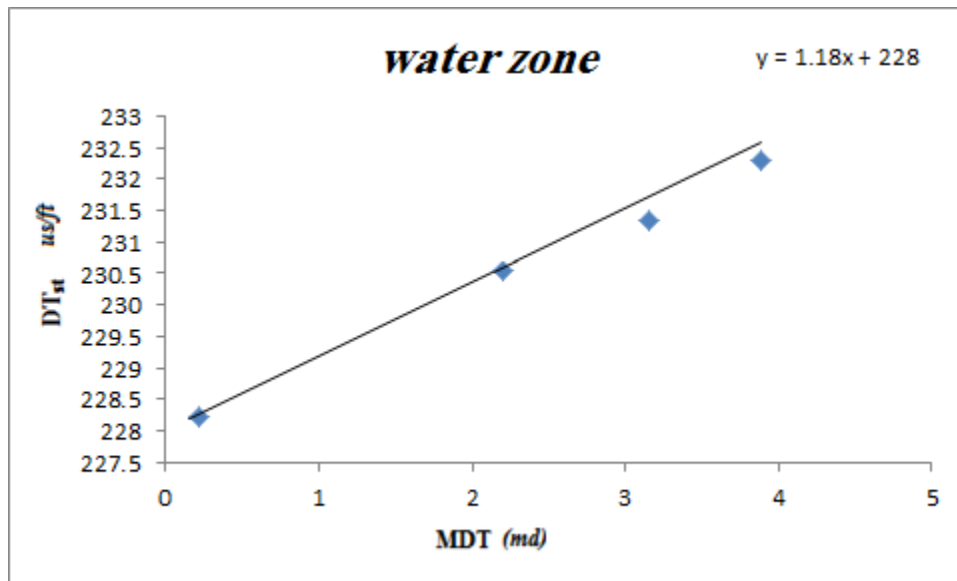
شکل ۴-۱۱. تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی به دست آمده از ابزار MDT در زون نفتی واقع در بازه عمقی ۴۴۲۰-۴۵۳۶ متری سازند فهلپان در چاه DQ10

با توجه به نمودار رسم شده در شکل (۴-۱۱) بهترین خط برازش شده به داده‌ها از رابطه زیر پیروی می‌کند.

$$DT_{st} = 0.75 K_{MDT} + 245 \quad (۴-۷)$$

شیب خط برازش شده به داده‌ها در نمودار رسم شده در شکل (۴-۱۱)، یعنی مقدار ۰/۷۵، ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی MDT در زون نفتی می‌باشد.

در شکل (۴-۱۲) نیز تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی MDT در زون آبی چاه DQ10 نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲. تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی MDT در زون آبی واقع در بازه عمقی ۴۳۵۰-۴۴۱۰ متری سازند فهلپان چاه DQ10

معادله بهترین خط برازش شده به داده‌های نشان داده شده در شکل (۴-۱۲) مطابق با رابطه زیر می‌باشد.

$$DT_{st} = 1.18 K_{MDT} + 228 \quad (۴-۸)$$

با توجه به معادله بهترین خط برازش شده به داده‌ها در زون آبی، شیب این خط که برابر با ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی MDT در زون آبی می‌باشد برابر با ۱/۱۸ می‌باشد.

از آنجایی که ضرایب تطابق برای هر مولفه لیتولوژی، مربوط به نقاطی با حجم‌های مختلف سنگ آهک و ایلیت می‌باشد، میانگین حجم سنگ آهک و ایلیت را در دستگاه معادلات قرار داده و دستگاه معادلات (۴-۶)، به صورت رابطه (۴-۱۰) تشکیل می‌گردد.

$$\begin{cases} m_{ill}0.06 + m_{lime}0.875 = 0.75 & \text{oil zone} \\ m_{ill}0.01 + m_{lime}0.94 = 1.18 & \text{water zone} \end{cases} \quad (۴-۹)$$

با حل دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۴-۹) مقادیر ضریب تطابق برای سنگ آهک و ایلیت به ترتیب برابر با ۰/۳۵ و ۸۵/۲۲ می‌باشد.

۴-۲-۵ محاسبه کمی تراوایی

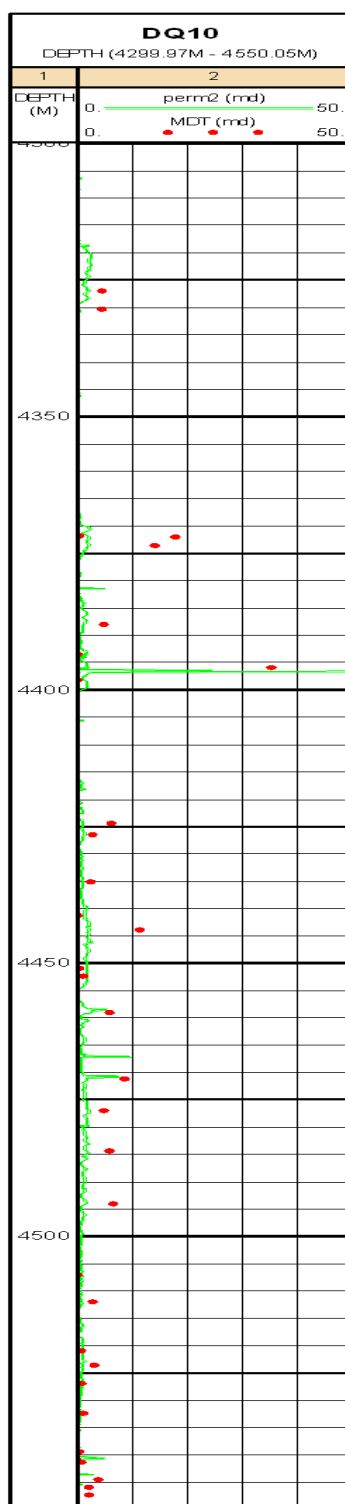
پس از تعیین کندشدگی موج استونلی در ناحیه ناتراوا و محاسبه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی با تراوایی به دست آمده از MDT و ضریب تطابق کندشدگی موج استونلی با هر یک از مولفه‌های تشکیل‌دهنده لیتولوژی سازند فلهیان یعنی سنگ آهک و ایلیت؛ با به کار بردن یکی از دو روش شرح داده شده در فصل دوم یعنی استفاده از مفهوم واحدهای جریان و یا استفاده از رابطه (۲-۱۵) مقدار تراوایی سازند را به صورت نگار پیوسته می‌توان محاسبه نمود.

همان‌طور که در فصل دوم توضیح داده شده است، رابطه ریاضی بین تراوایی و کندشدگی موج استونلی به صورت رابطه (۲-۱۵) می‌باشد که با جایگذاری مقادیر محاسبه شده به صورت رابطه (۴-۱۰) می‌توان نوشت.

$$K = \frac{DT_{st} - DT_{st \text{ none-permeable}}}{m_{lime}V_{lime} + m_{ill}V_{ill}} \quad (۴-۱۰)$$

در مطالعات قبلی که توسط محققین صورت گرفته است، در رابطه (۴-۱۰) به جای مقدار کندشدگی موج استونلی زمینه سنگ ($DT_{st \text{ none-permeable}}$) مقدار به دست آمده از روش نمودار متقاطع نوترون - کندشدگی موج استونلی در زون ناتراوا جایگزین می‌شده است. اشکالی که در این روش وجود دارد آن است که در صورتی که جنس زمینه سنگ در زون تراوا با جنس زمینه سنگ در زون ناتراوا مشابه یکدیگر نباشد، باعث ایجاد خطا در محاسبات می‌گردد. در این مطالعه به جای استفاده از یک مقدار ثابت به عنوان کندشدگی موج استونلی زمینه سنگ، از مقدار پیوسته به دست آمده از رابطه (۴-۲) که نگار تغییرات آن در شکل (۴-۷) آورده شده است، استفاده شد.

در محاسبه تراوایی نشان داده شده در نگار تراوایی شکل (۴-۱۳)، مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ با استفاده از روش تشکیل نمودار متقاطع NPHI- DT_{st} در زون ناتراوا محاسبه و جایگزین در رابطه (۴-۱۰) شده است. در این شکل نقاط قرمز رنگ نشان دهنده تراوایی حاصل از MDT می‌باشد و نگار سبز رنگ نشان دهنده تراوایی محاسبه شده با استفاده از امواج استونلی می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود تطابق خوبی بین مقادیر واقعی و مقادیر محاسبه شده وجود ندارد.

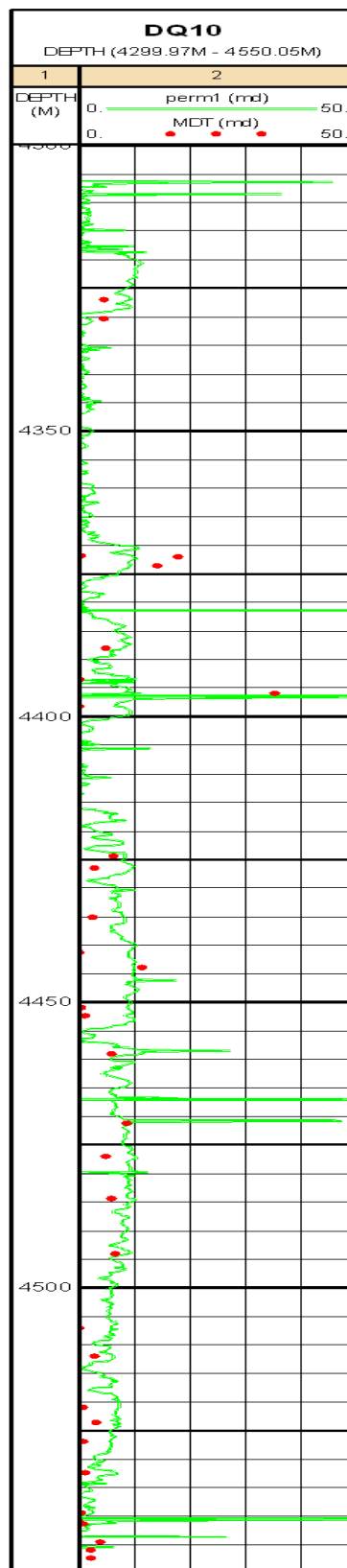


شکل ۴-۱۳. نگار تراوایی محاسبه شده توسط امواج استونلی که با مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ با استفاده از نمودار متقاطع NPHI-DTst در زون ناتراوا به دست آمده است.

شکل (۴-۱۴) فرم دیگری از نگار تراوایی محاسبه شده توسط امواج استونلی را نشان می‌دهد. تفاوت این نگار با نگار شکل (۴-۱۳) در آن است که در محاسبه این نگار، به جای پارامتر

$DT_{st \text{ none permeable}}$ در رابطه (۴-۱۰)، مقدار کندشدگی موج استونلی محاسبه شده توسط رابطه (۴-۲) که به صورت پیوسته در سرتاسر سازند می‌باشد، جایگذاری شده است.

از مقایسه دو شکل اخیر با یکدیگر می‌توان این نتیجه را گرفت که رابطه (۴-۲) در تعیین پارامتر $DT_{st \text{ none permeable}}$ موجود در رابطه (۴-۱۰)، پاسخ مطلوب‌تری را نسبت به زمانی که این پارامتر را از نمودار متقاطع NPHI- DT_{st} محاسبه می‌شود، ارائه می‌دهد. اما همان طور که در هر دو شکل (۴-۱۳) و (۴-۱۴) مشاهده می‌گردد، نگار محاسبه شده تطابق خوبی با مقدار تراوایی MDT ندارد و این نشان دهنده اشکال در رابطه ریاضی پیشنهاد شده می‌باشد. دلیل این موضوع آن است که در رابطه (۴-۱۰) مقدار پیچاپیچی مسیرهای جریانی و شکل کانال‌های ارتباطی حفره‌ها که بر روی تراوایی تاثیر گذار است، در نظر گرفته نشده است.



شکل ۴-۱۴. نگار تغییرات تراوایی محاسبه شده با استفاده از امواج استونلی. در محاسبه این نگار پارامتر کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ با استفاده از رابطه (۴-۲) محاسبه و جایگزین شده است.

از آن جایی که پارامتر پتروفیزیکی تخلخل در حقیقت نشان دهنده فضای خالی موجود در سنگ که سیال در آن جریان پیدا می کند و علاوه بر این وابسته به شکل و نحوه ارتباط حفرات به یکدیگر است، بهترین فاکتور به منظور وارد کردن آن در رابطه ریاضی ارائه شده در رابطه (۱۰-۴) می باشد.

از آن جایی که این سازند حاوی نفت است، مقدار تخلخل میانگین در آن به صورت زیر به دست می آید (هداوند و مرادزاده، ۱۳۸۵)

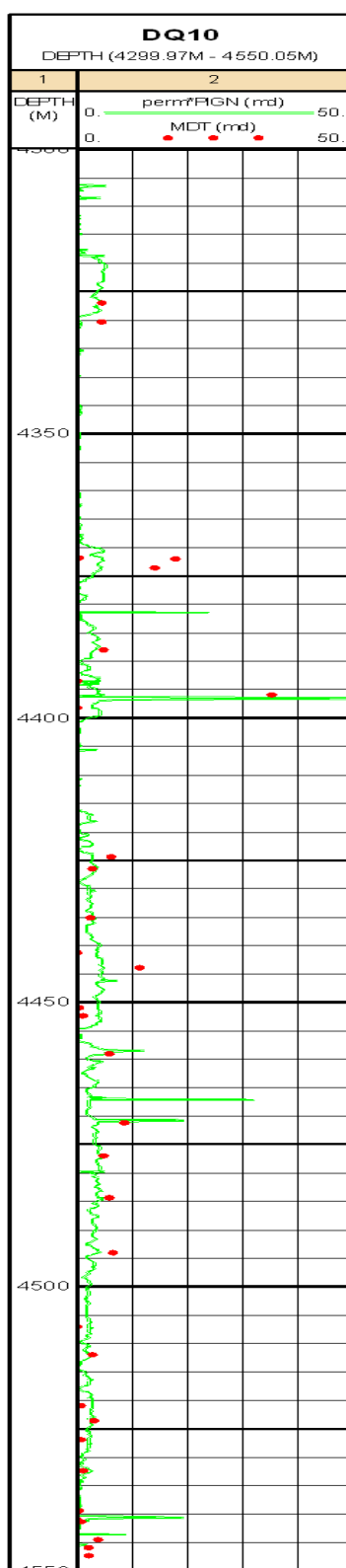
$$PIGN = \frac{\phi_N + \phi_D}{2} \quad (۱۱-۴)$$

در این رابطه ϕ_N تخلخل نوترونی، ϕ_D تخلخل ناشی از نگار دانسیته و $PIGN$ تخلخل میانگین می باشد.

پس از محاسبه مقدار تخلخل میانگین در سرتاسر سازند، رابطه (۱۰-۴) به شکل رابطه (۱۲-۴) بازنویسی می گردد.

$$K = \frac{DT_{st} - DT_{st \text{ none-permeable}}}{m_{lime}V_{lime} + m_{ill}V_{ill}} \times PIGN \quad (۱۲-۴)$$

نگار پیوسته ای که در شکل (۱۵-۴) مشاهده می شود مربوط به تغییرات تراوایی در سرتاسر سازند فلهیان می باشد که در محاسبه ی آن تمامی پارامترهای اثر گذار بر روی تراوایی لحاظ شده است.



شکل ۴-۱۵. تغییرات تراوایی محاسبه شده در سرتاسر سازند فهلپان که تمامی پارامترهای مؤثر بر تراوایی اثر داده شده است.

با توجه به نگار رسم شده در شکل (۴-۱۵) و مقایسه آن با نگار رسم شده در شکل (۴-۱۴) مشاهده می‌گردد که میزان انطباق داده‌های تراوایی MDT با نگار تراوایی به دست آمده از رابطه (۴-۱۲) که در آن پارامتر تخلخل نیز تاثیر داده شده است، نسبت به حالتی که در محاسبه تراوایی پارامتر تخلخل نادیده گرفته شده است، بالاتر می‌باشد. اما با این حال از آنجایی که رابطه بین تخلخل و تراوایی بر اساس مطالعات انجام شده به صورت خطی نمی‌باشد و به صورت نمایی است، در بعضی از نقاط انطباق خوبی بین تراوایی MDT و نگار تراوایی وجود ندارد (Tiab and Donaldson, 2004).

بنابراین جهت رسیدن به یک انطباق قابل قبول بین داده‌های محاسبه شده و اندازه‌گیری شده، به جای ضرب کردن مستقیم تراوایی در رابطه (۴-۱۰) توان‌هایی از تخلخل در این رابطه منظور گردید. در مطالعه قبلی که توسط هداوند و مرادزاده صورت گرفته بود، توانی که برای تخلخل در نظر گرفته شده بود در سراسر مخزن به صورت عدد ثابت می‌باشد. در حالی که اکثر مخازن کربناته ناهمگن می‌باشند و بنابر این در نظر گرفتن یک عدد ثابت برای توان تخلخل به طریقی ناهمگنی مخزن در محاسبه تراوایی نادیده گرفته می‌شود. به این منظور بر اساس تغییرات خصوصیات سازند از قبیل تخلخل، وزن مخصوص، میزان درصد حضور مولفه‌های تشکیل دهنده لیتولوژی و تغییرات نگار صوتی در مقابل آن قسمت مورد مطالعه سازند فهلپان به پنج دسته تقسیم شد. پس از تقسیم‌بندی بر اساس خصوصیات ذکر شده، توان‌های نمایی با استفاده از روش سعی و خطا و کدنویسی در نرم افزار متلب تعیین شدند. توان‌های نمایی تخلخل تعیین شده به شرح زیر می‌باشد.

بازه عمقی m ۴۳۰۵ تا m ۴۳۲۹ با توان ۰/۳

بازه عمقی m ۴۳۲۹ تا m ۴۳۸۹ با توان ۰/۱

بازه عمقی m ۴۳۸۹ تا m ۴۴۲۹ با توان ۱/۱

بازه عمقی m ۴۴۲۹ تا m ۴۴۶۹ با توان ۰/۴

بازه عمقی m ۴۴۶۹ تا m ۴۵۳۰ با توان ۱

در جدول ۱-۴ تغییرات عددی مقدار تراوایی با تغییر توان نمایی تخلخل تا رسیدن به بهترین توان نمایی در عمق ۴۴۵۹/۱ مشاهده می‌شود. برای هر یک از بازه های عمقی تفکیک شده، بهترین توان نمایی مانند جدول ۱-۴ محاسبه شده است.

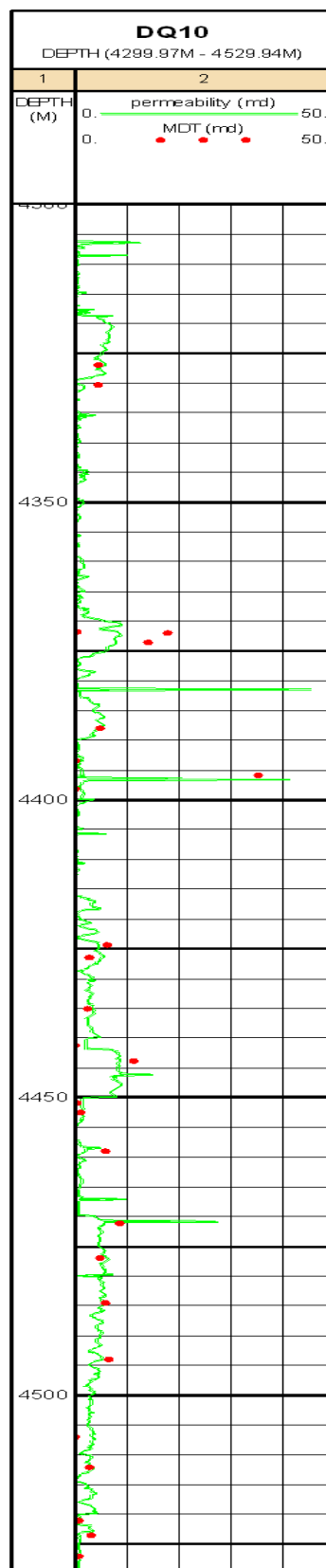
با توجه به توضیحات فوق رابطه (۱۲-۴) را می‌توان در قالب رابطه (۱۳-۴) که رابطه کاملی است، ارائه نمود. شکل (۱۶-۴) نشان‌دهنده نگار نهایی تغییرات تراوایی، که با استفاده از رابطه (۱۳-۴) محاسبه شده است، می‌باشد.

$$K = \frac{DT_{st} - DT_{st \text{ none-permeable}}}{m_{lime}V_{lime} + m_{ill}V_{ill}} \times (PIGN)^n \quad (13-4)$$

با توجه به نگار تراوایی رسم شده در سرتاسر سازند فهلپان در شکل (۱۶-۴) انطباق بسیار خوبی بین داده‌های تراوایی MDT نگار محاسبه شده وجود دارد که این بیان‌گر صحیح بودن رابطه ریاضی به دست آمده در رابطه (۱۳-۴) می‌باشد. موضوع دیگری که در بهبود نتایج نسبت به مطالعات قبلی مؤثر واقع شده است، در نظر گرفتن یک مقدار پیوسته از تغییرات کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ در رابطه ریاضی (۱۳-۴) می‌باشد. چرا که تا کنون در مطالعات صورت گرفته مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ به صورت یک عدد ثابت وارد رابطه (۱۳-۴) می‌گردید.

جدول ۱-۴. تغییرات تراوایی به ازای توان‌های مختلف تخلخل

MDT	توان نمایی	مقدار تراوایی محاسبه شده
۵/۸۶	۰/۷	۳/۸۶
۵/۸۶	۰/۵	۴/۵۹
۵/۸۶	۰/۴	۵/۸۴
۵/۸۶	۰/۳	۶/۳۴



شکل ۴-۱۶. نگار نهایی تغییرات تراوایی محاسبه شده با استفاده از کندشدگی موج استونلی

روش دوم در محاسبه تراوایی به کمک کندشدگی موج استونلی، استفاده از مفهوم واحدهای جریان می‌باشد. همان طور که در فصل دوم نیز اشاره شد، بین کندشدگی موج استونلی و یکی از شاخص‌های واحد جریان به نام شاخص منطقه جریانی، رابطه‌ای مطابق با رابطه (۴-۱۴) وجود دارد.

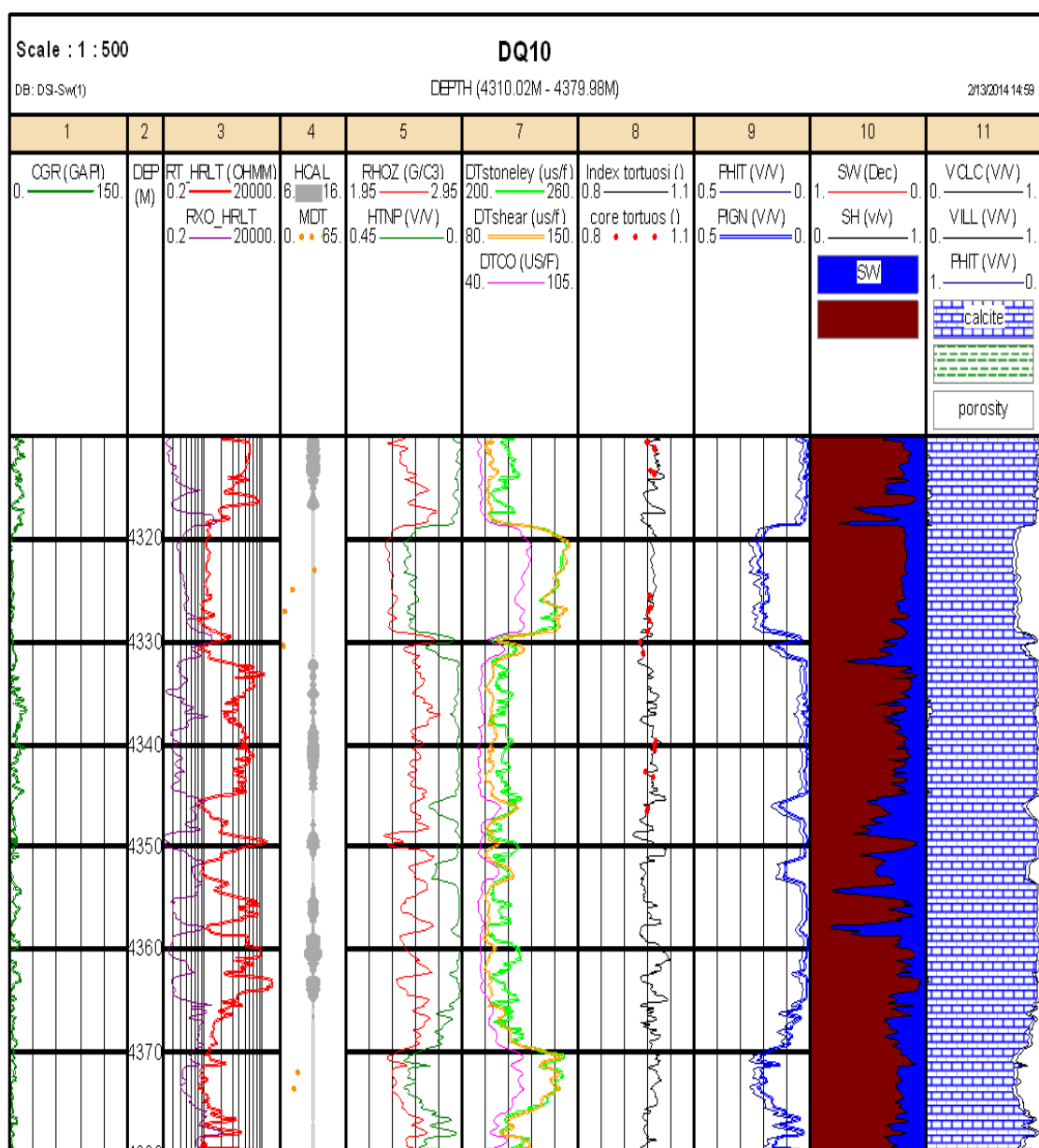
$$FZI = IMF (K_{ist} - 1) \quad (۴-۱۴)$$

در این رابطه K_{ist} شاخص تراوایی موج استونلی نامیده می‌شود که بر طبق رابطه (۴-۱۵) محاسبه می‌گردد. علاوه بر این ضریب IMF همان ضریب M ارائه شده در رابطه (۴-۴) می‌باشد.

$$K_{ist} = \frac{S}{S_e} \quad (۴-۱۵)$$

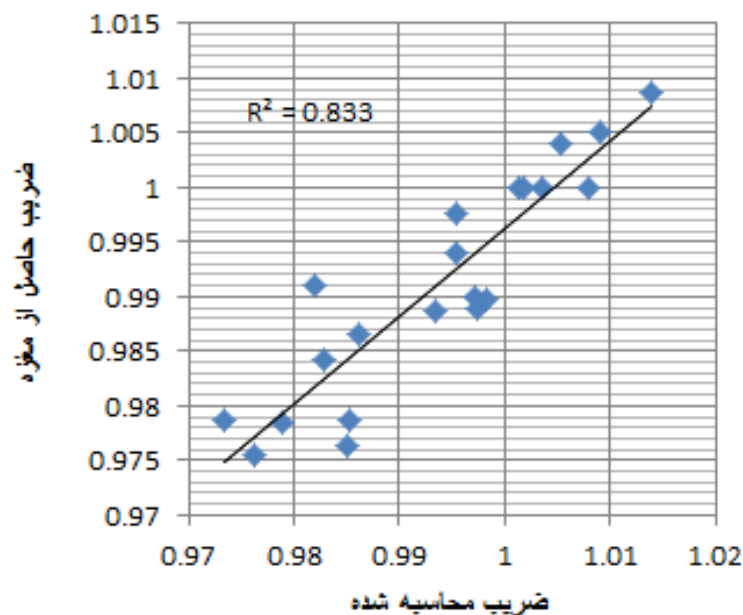
S زمان گذر کلی موج استونلی است و S_e زمان گذر موج استونلی در زمینه سنگ می‌باشد که توسط رابطه (۴-۲) قبلاً محاسبه شد.

همان طور که قبلاً توضیح داده شده است، اندیس K_{ist} یا شاخص تراوایی موج استونلی به نحوی نشان‌گر نحوه ارتباط فضای متخلخل به یکدیگر و به عبارت دیگر تعیین ضریب پیچاپیچی قانون آرچی می‌باشد. اعتبار این مطلب با توجه به اطلاعات موجود از آنالیز مغزه‌های گرفته شده از چاه DQ10 مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر ضریب پیچاپیچی تعیین شده توسط آنالیز مغزه با مقادیر K_{ist} به دست آمده از کندشدگی موج استونلی مقایسه شد. نگار موجود در ستون ۸ شکل (۴-۱۷)، نشان‌دهنده تغییرات K_{ist} در قسمتی از مخزن کربناته می‌باشد. نقاط قرمز رنگ بر روی این نگار مقادیر ضریب پیچاپیچی تعیین شده توسط آنالیز مغزه می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌گردد تطابق بسیار خوبی بین مقادیر محاسبه شده و مقادیر اندازه‌گیری شده وجود دارد.



شکل ۴-۱۷. تغییرات ضریب پیچاپیچی (a) به صورت پیوسته در سرتاسر مخزن و انطباق آن با مقادیر محاسبه شده توسط آنالیز مغزه (نقاط قرمز رنگ) در ستون ۸ مشاهده می گردد.

در شکل (۴-۱۸) داده های ضریب پیچاپیچی محاسبه شده در مقابل ضریب پیچاپیچی اندازه گیری شده رسم و میزان همبستگی آنها بررسی شده است. میزان همبستگی این داده ها با یکدیگر برابر با ۸۳/۳ درصد می باشد که نتیجه ی مطلوبی است.

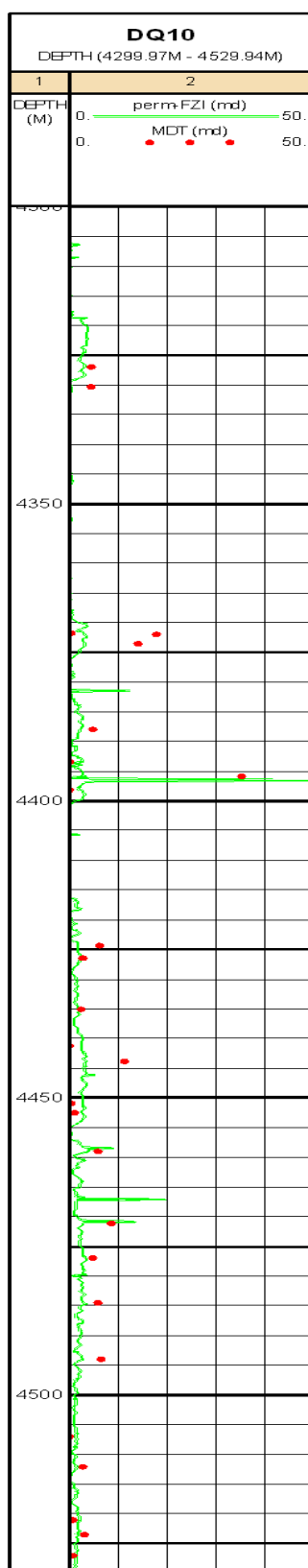


شکل ۴-۱۸. تغییرات ضریب پیچاپیچی محاسبه شده در مقابل ضریب پیچاپیچی اندازه گیری شده توسط آنالیز مغزه

همان طور که توضیح داده شد، ضریب IMF با ضریب M هیچ تفاوتی ندارد و از رابطه (۴-۴) تعیین می گردد. لازمه ی محاسبه ضریب IMF طبق رابطه (۴-۴) و یا رابطه (۲-۱۳)، تعیین فاکتور تطابق کندشدگی موج استونلی با مولفه های لیتولوژی و تراوایی می باشد. که در مورد چگونگی تعیین این ضرایب در قبل به طور مفصل بحث شد. با استفاده از فاکتورهای تطابق به دست آمده از حل دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۴-۹)، مقدار ضریب IMF محاسبه و در رابطه (۴-۱۴) قرار داده و مقدار FZI به صورت پیوسته محاسبه گردید. پس از آن با استفاده از رابطه (۴-۱۶) مقدار تراوایی به طور پیوسته در سرتاسر سازند فلهلیان محاسبه گردید.

$$K = 1014 FZI^2 \left[\frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \right] \quad (۴-۱۶)$$

در شکل (۴-۱۹) نگار به دست آمده از این روش آمده است



شکل ۴-۱۹. نگار پیوسته تغییرات تراوایی حاصل از کندشدگی موج استونلی با استفاده از روش مفهوم واحدهای جریان

همان‌طور که در شکل (۴-۱۹) مشاهده می‌شود نقاط تراوایی MDT انطباق بالایی با نگار تراوایی محاسبه شده از روش مفهوم واحدهای جریان ندارد. دلیل عدم انطباق مناسب این روش با نقاط تراوایی MDT نسبت به روش قبلی آن است که در روش قبل در رابطه (۴-۱۳) توان‌های نسبت داده شده به تخلخل، بر اساس تفکیک زون‌های مختلف سازند فلهیان بر مبنای خصوصیات پتروفیزیکی آن‌ها صورت گرفته بود. به عبارت دیگر قبل از آن که مقدار تخلخل در رابطه (۴-۱۳) ضرب گردد، سازند از حالت هتروژن به هموژن تبدیل شده و بعد از آن بر اساس طبقات تفکیک شده، توان‌هایی به تخلخل نسبت داده شد و در رابطه (۴-۱۳) ضرب گردید.

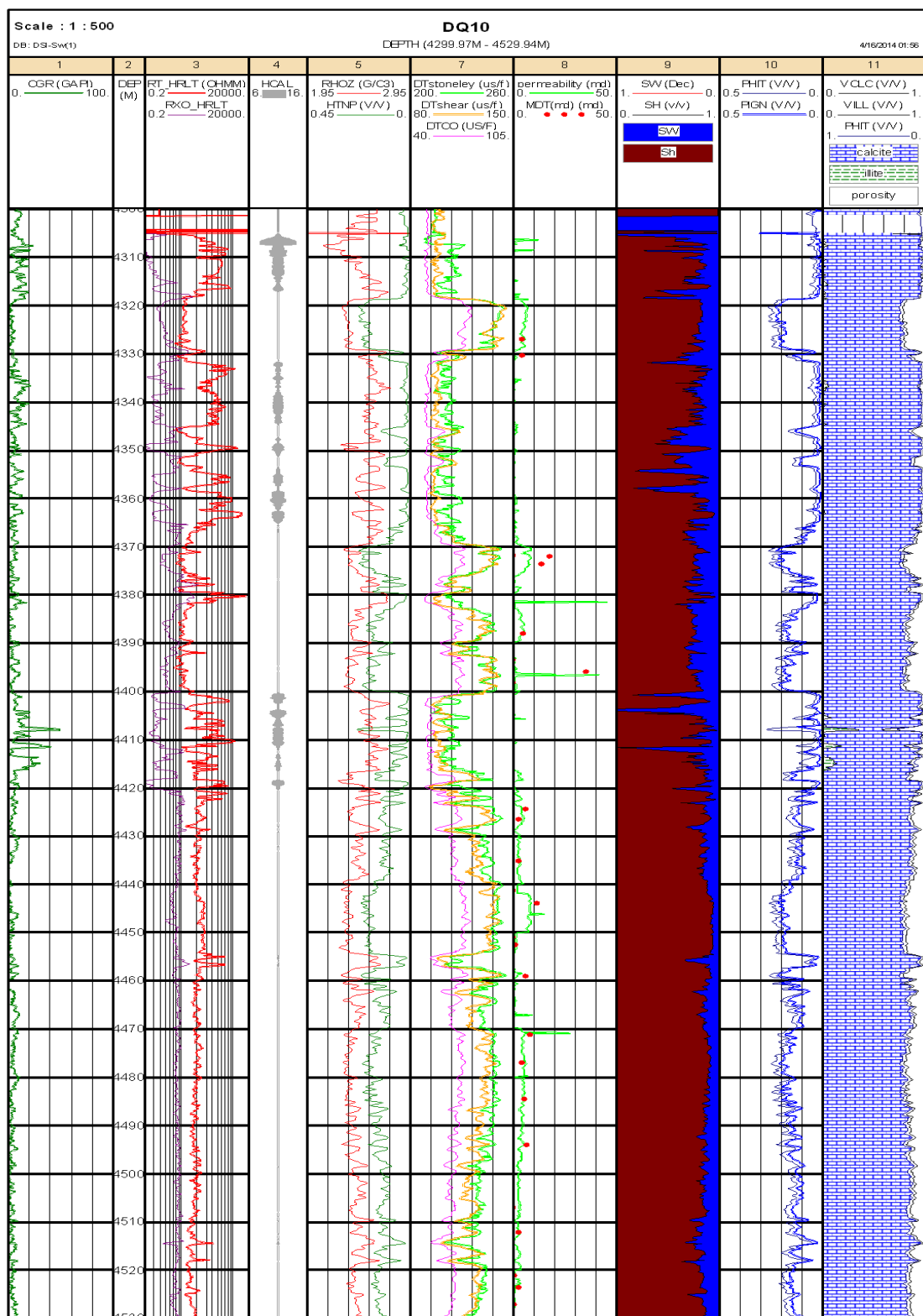
۴-۲-۶ ارزیابی روش‌های استفاده شده جهت تعیین تراوایی در این مطالعه

با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا و نگارهای حاصل از هر دو روش استفاده شده در تعیین تراوایی، می‌توان این نتیجه را گرفت که در روش اول که با استفاده از رابطه (۴-۱۳) اقدام به محاسبه تراوایی شده است، به شرط طبقه بندی سازند بر اساس خصوصیات پتروفیزیکی آن قبل از استفاده از این رابطه، نسبت به روش دوم که از مفهوم واحدهای جریان استفاده می‌نماید دارای دقت بالاتری می‌باشد.

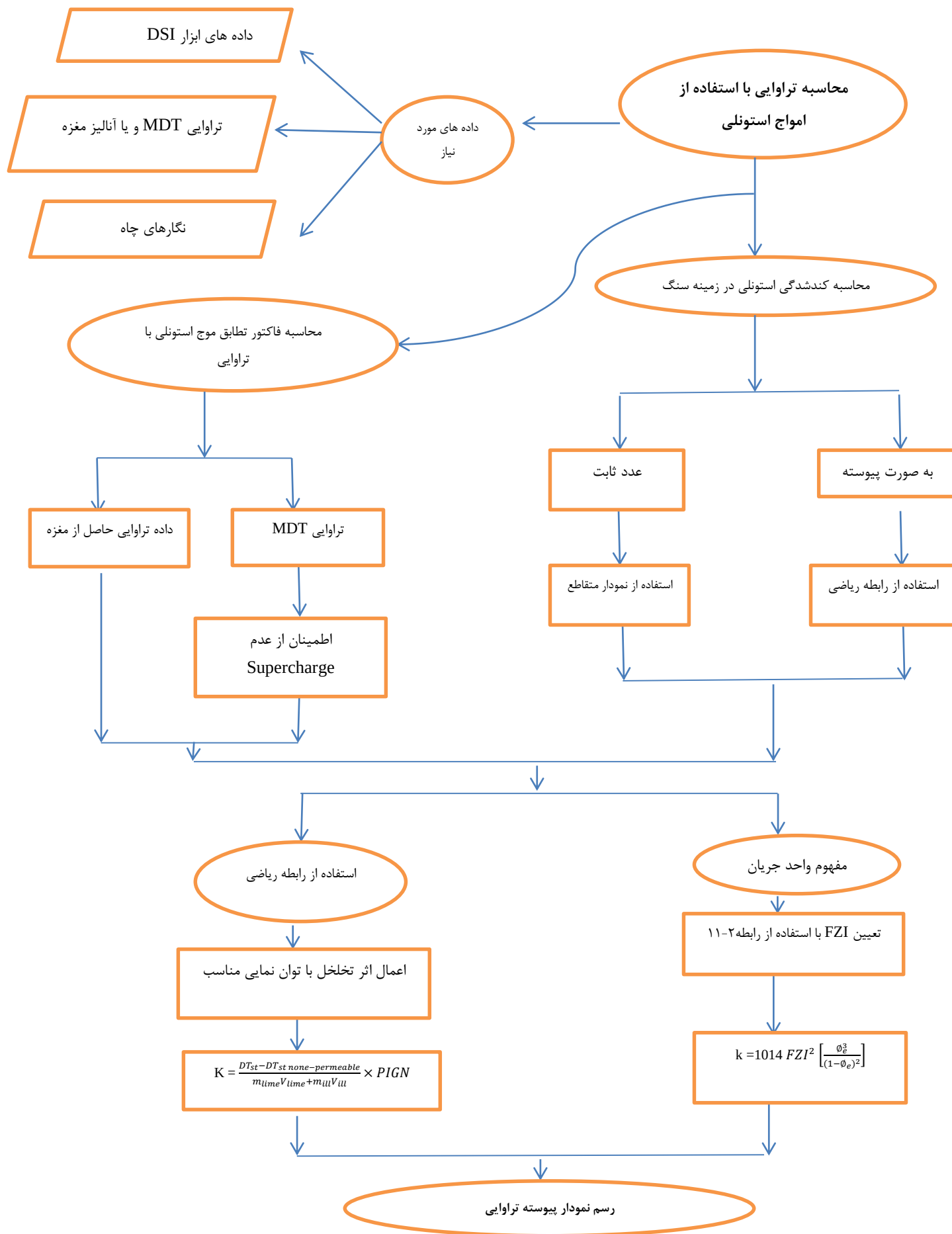
در شکل (۴-۲۰) نگار پیوسته تراوایی محاسبه شده، در کنار سایر نگارهای پتروفیزیکی گرفته شده از چاه DQ10 مشاهده می‌گردد. اگر به تغییرات نگار تخلخل که در ستون ۱۰ رسم شده توجه شود، همخوانی خوبی در روند تغییراتش با نگار تراوایی محاسبه شده در ستون ۸ دارا می‌باشد. علاوه بر این نگار تراوایی رسم شده دارای تطابق خوبی با روند تغییراتش با نگار صوتی رسم شده در ستون ۷ دارد. دلیل این موضوع آن است که با افزایش تراکم سازند و در نتیجه آن کاهش مقدار تراوایی، سرعت عبور موج تراکمی از داخل سازند بیشتر شده و به دنبال آن زمان گذر موج از داخل سازند کاهش می‌یابد. علاوه بر این انطباق نقاط تراوایی MDT بر روی نگار تراوایی محاسبه شده نیز دلیل بر صحیح بودن نگار محاسبه شده می‌باشد.

با توجه به تغییرات نگارهای درصد اشباع هیدروکربور، تخلخل و تراوایی، بهترین زون تولیدی چاه DQ10 در بازه عمقی ۴۴۲۰ متری تا ۴۵۳۰ متری قرار دارد. در این زون میانگین تخلخل ۱۶ درصد، میانگین درصد اشباع هیدروکربور ۸۶ درصد می‌باشد.

در شکل (۴-۲۱) مراحل محاسبه تراوایی با استفاده از امواج استونلی آورده شده است.



شکل ۴-۲۰. نگار تراوایی محاسبه شده. و مقایسه تغییر روند آن با نگارهای تخلخل و صوتی دلیلی بر صحت نگار محاسبه شده است.



۴-۳ محاسبه ضریب سیمان‌شدگی در چاه DQ14

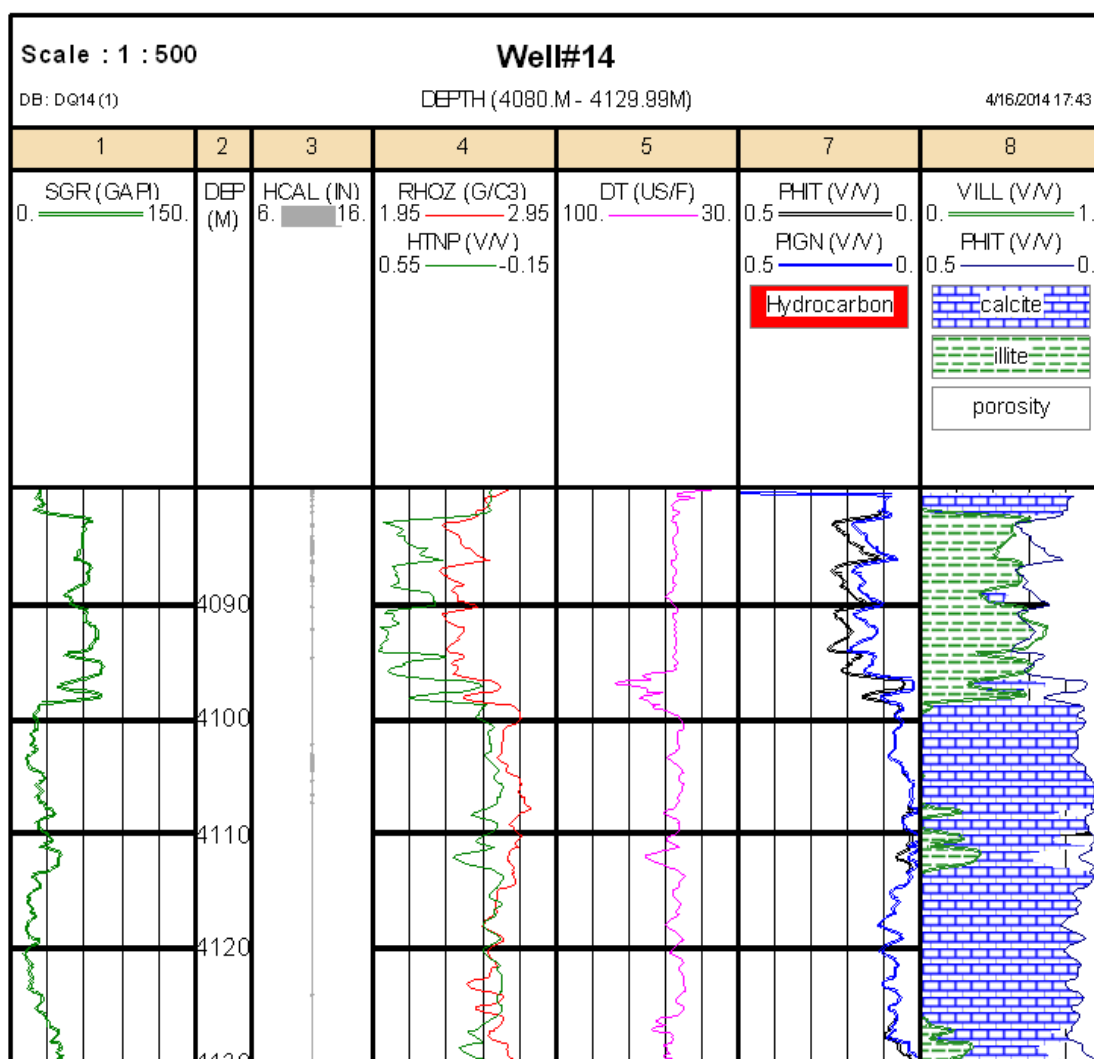
محاسبه اشباع‌شدگی هیدروکربن به طور غیرمستقیم با استفاده از اطلاعات نگارهای چاه پیمایی و فرمول‌های مختلفی که در آن از این نگارها استفاده می‌کنند صورت می‌گیرد. یکی از اساسی‌ترین روابط محاسبه اشباع‌شدگی آب رابطه آرچی است. رابطه آرچی دارای سه ضریب سیمان‌شدگی، پیچاپیچی و نمای اشباع است. آرچی این پارامترها را بر اساس آزمایشات خود بر روی مخازن ماسه‌سنگی تعیین نمود و ضرایب ثابتی را ارائه داد. اما در مخازن کربناته به دلیل بافت، شکل و نحوه توزیع حفرات این ضرایب به خصوص ضریب سیمان‌شدگی را نمی‌توان ثابت در نظر گرفت. روش‌های متعددی جهت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به طور پیوسته ارائه شده است که هر کدام از این روش‌ها در شرایط خاصی از مخزن صدق می‌نمایند. در این بخش سه روش فوک و مان، رگلاند و لوسیا مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت رابطه‌ای به منظور محاسبه ضریب سیمان‌شدگی در مخزن مورد مطالعه ارائه شده است.

۴-۳-۱ تفسیر پتروفیزیکی چاه DQ14

تفسیر پتروفیزیکی صورت گرفته از چاه DQ10 با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی توضیح داده شده در فصل سوم صورت گرفت. نگارهای صوتی، نوترون، چگالی، گاما و درصد اشباع آب و نفت و علاوه بر این نگار قطر سنجی از این چاه گرفته شده است.

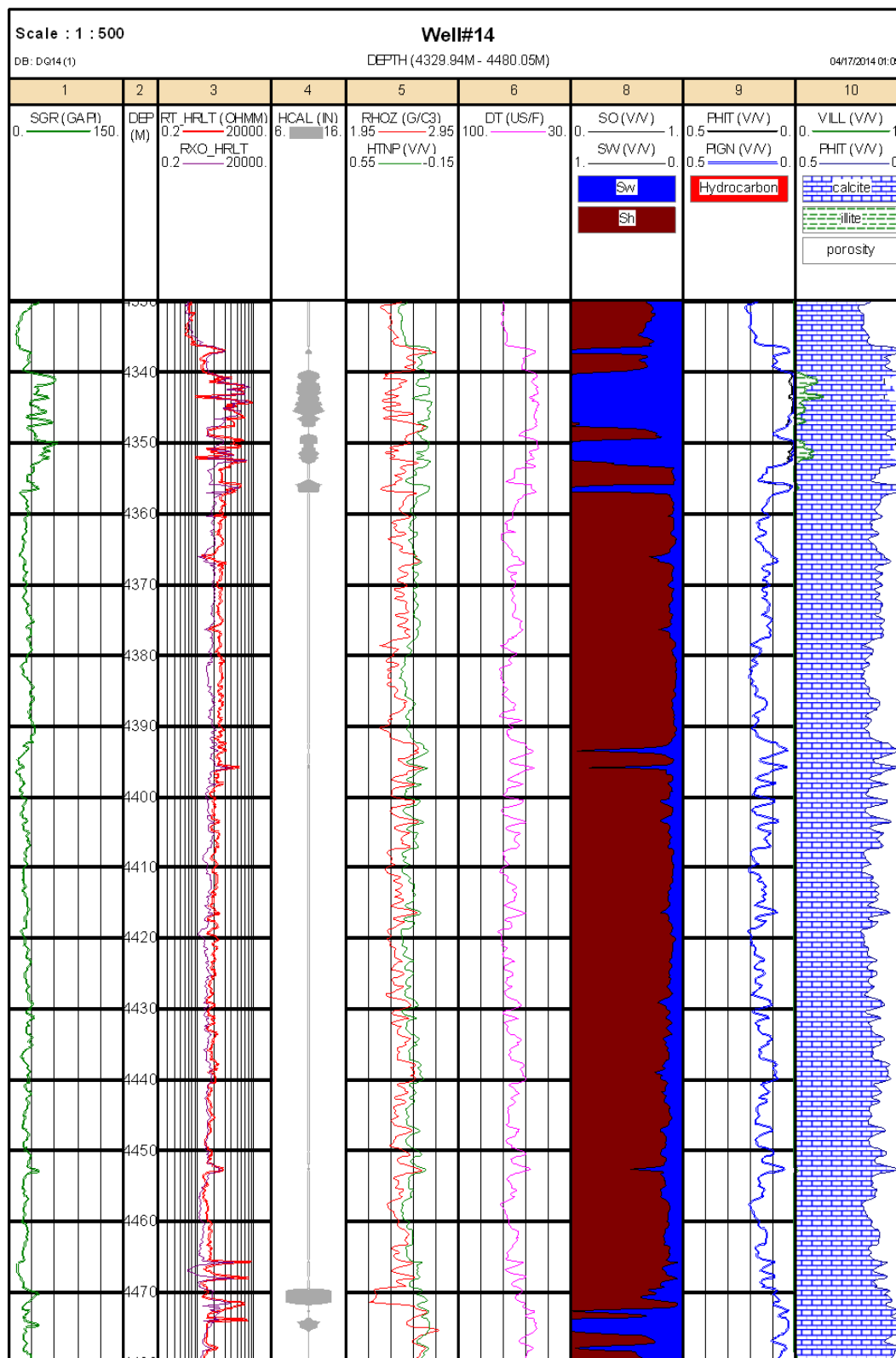
اطلاعات چاه پیمایی موجود از این چاه، در بازه 4245 m تا 4550 m به صورت مجموعه‌ای از نگارهای ذکر شده در بالا می‌باشد اما در بازه 4080 m تا 4245 m نگارهای مقاومت ویژه و به دنبال آن نگارهای مربوط درصد اشباع آب و نفت موجود نمی‌باشد.

بازه عمقی 4080 m تا عمق 4130 m مربوط به سازند گدوان می‌باشد. که تغییرات نگارهای مربوط به این سازند در شکل (۴-۲۲) مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۲۲. نگارهای چاه‌پیمایی مربوط به سازند گدوان (بازه عمقی ۴۰۸۰ متر تا ۴۱۳۰ متر)

بازه عمقی ۴۱۳۰ m تا ۴۵۵۰ m مربوط به سازند فهلپان می‌باشد. بهترین زون نفتی این چاه با توجه به تغییرات نگارهای درصد اشباع نفت و تخلخل در بازه عمقی ۴۳۵۷ m تا ۴۴۷۲ m واقع می‌باشد. در این زون متوسط درصد اشباع هیدروکربور برابر با ۸۷/۶ درصد و متوسط درصد تخلخل حدود ۱۵ درصد می‌باشد. علاوه بر این زون نفتی کوچکتری در بالای این زون در بازه ۴۳۰۴ m تا ۴۳۳۶ m قرار دارد که متوسط درصد اشباع نفت در آن برابر با ۷۳ درصد و متوسط درصد تخلخل آن ۱۴/۴ درصد می‌باشد. در شکل (۴-۲۳) قسمتی از نگارهای مربوط به این سازند آمده است.



شکل ۴-۲۳. تغییرات نگارهای پتروفیزیکی قسمتی از سازند فهلپان در چاه DQ14

۴-۳-۲ روش فوک و مان در تعیین ضریب سیمان شدگی

با توجه به توضیحات ارائه شده در فصل دوم در مورد روش فوک و مان، لازمی استفاده از این روش شناسایی و تشخیص نوع تخلخل سازند می باشد. نوع تخلخل سازند را می توان با تهیه مقاطع نازک از نمونه های مغزه و مطالعات میکروسکوپی و یا با تشکیل نگار انحراف سرعت و محدوده تغییرات نگار انحراف سرعت، نوع تخلخل را شناسایی نمود. با توجه به امکان پذیر نبودن روش اول در این مطالعه، از نگار انحراف سرعت به منظور شناسایی نوع تخلخل سازند فلهیان استفاده شد.

نگار انحراف سرعت از ترکیب نگار صوتی با نگار نوترون یا چگالی، محاسبه می گردد و توسط آن می توان اطلاعاتی راجع به انواع تخلخل های اصلی در کربناتها، ردیابی توزیع فضاهای خالی دیاژنتیکی و نیز پیش بینی روند تراوایی به دست آورد.

جهت تشکیل این نگار در مرحله اول، داده های نگار تخلخل، با استفاده از معادله زمان میانگین وایلی، به سرعت مصنوعی تبدیل می شوند و اختلاف آن با سرعت واقعی حاصل از نگار صوتی به عنوان نگار انحراف سرعت ترسیم می گردد. به منظور تشکیل نگار انحراف سرعت ابتدا با استفاده از نگار چگالی و نگار نوترون، تخلخل نوترون دانسیته طبق رابطه (۴-۲۱) محاسبه می گردد.

$$\phi_{ND} = \sqrt{\frac{\phi_N^2 + \phi_D^2}{2}} \quad (4-21)$$

در این رابطه ϕ_N و ϕ_D به ترتیب تخلخل حاصل از نگار نوترون و تخلخل حاصل از نگار دانسیته می باشد. بعد از محاسبه تخلخل نوترون دانسیته، با استفاده از معادله وایلی که در رابطه (۴-۲۲) ذکر شده است مقدار DT_{syn} به عنوان سرعت مصنوعی محاسبه شده در نظر گرفته می شود.

$$\phi_s = \frac{DT_{log} - DT_{ma}}{DT_{fl} - DT_{ma}} \rightarrow \phi_{ND} = \frac{DT_{syn} - DT_{ma}}{DT_{fl} - DT_{ma}} \quad (4-22)$$

در این رابطه DT_{ma} اختلاف زمان گذر موج در زمینه سنگ و DT_{fl} اختلاف زمان گذر موج در سیال داخل سنگ می باشد. حال مقدار سرعت واقعی ثبت شده از طریق نگار صوتی را از مقدار سرعت مصنوعی محاسبه شده کم نموده، به این ترتیب مقدار حاصله، به عنوان نمودار انحراف

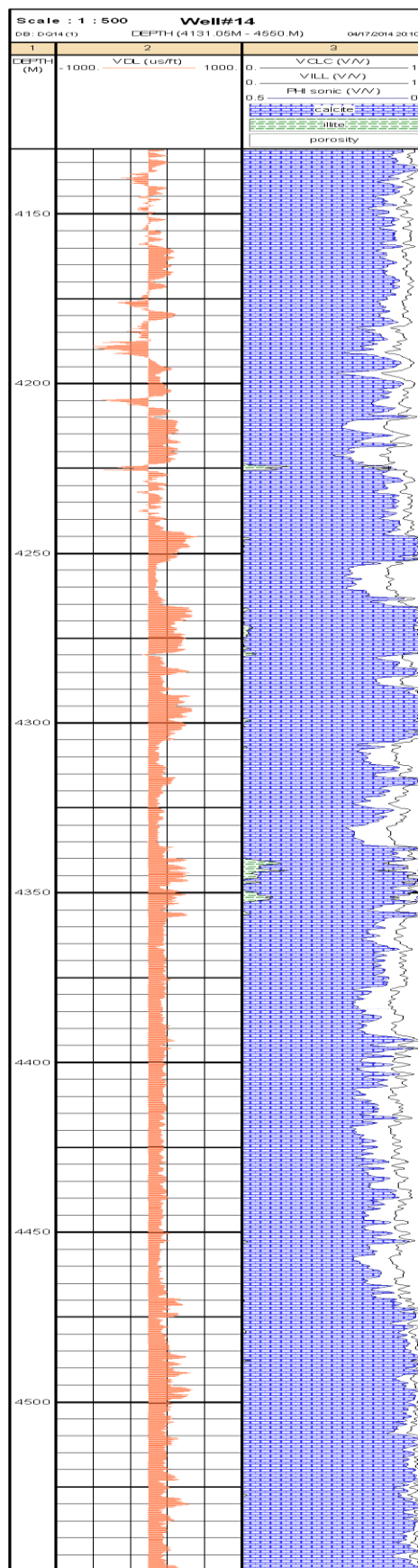
سرعت در نظر گرفته می‌شود. (فهیمه و روستایی، ۱۳۸۸) تغییرات نمودار انحراف سرعت را در سه محدوده در نظر می‌گیرند:

(۱) زمانی که تغییرات مقدار نگار انحراف سرعت نزدیک ۱۰۰۰ باشد که در این صورت تخلخل سنگ را از نوع تخلخل درون فسیلی و قالبی می‌دانند.

(۲) در حالتی که محدوده تغییرات نگار انحراف سرعت در بازه ۵۰۰- تا ۵۰۰ باشد، تخلخل سنگ را از نوع بین دانه و بین بلوری همراه با ریز تخلخل در نظر می‌گیرند. این نوع از تخلخل عموماً دارای تراوایی مناسبی در سنگ می‌باشد.

(۳) زمانی که بازه تغییرات از ۵۰۰- تا ۱۰۰۰- باشد، در این حالت دلیل این نوع تغییر نگار می‌تواند به سه دلیل باشد، افق ریزشی که باید با نگار قطر سنجی تایید شود، تخلخل ناشی از شکستگی که با استفاده از نگارهای تصویری و یا مقاومت ویژه قابل‌شناسایی است و در نهایت در اثر حضور گاز آزاد می‌باشد که با استفاده از نگارهای نوترون و دانسیته قابل‌شناسایی می‌باشد.

در شکل (۴-۲۴) تغییرات نگار انحراف سرعت تشکیل داده شده در مقابل زون مخزنی این سازند مشاهده می‌شود. با توجه به این که محدوده تغییرات نگار انحراف سرعت در بازه ۵۰۰- تا ۵۰۰ می‌باشد بنابراین نوع تخلخل سنگ مخزن، از نوع بین بلوری و بین دانه‌ای می‌باشد.



شکل ۴-۲۴. تغییرات نگار انحراف سرعت در مقابل زون مخزنی سازند فهلپان

با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد روش فوک و مان و بین دانه‌ای بودن تخلخل سازند فلهلیان، بر اساس این روش مقدار ضریب سیمان شدگی برابر با ۲ می‌باشد. اما این مقدار با مقادیر به دست آمده از آنالیز مغزه متفاوت می‌باشد. بنابراین از این روش در تعیین ضریب سیمان شدگی این مخزن نمی‌توان استفاده نمود.

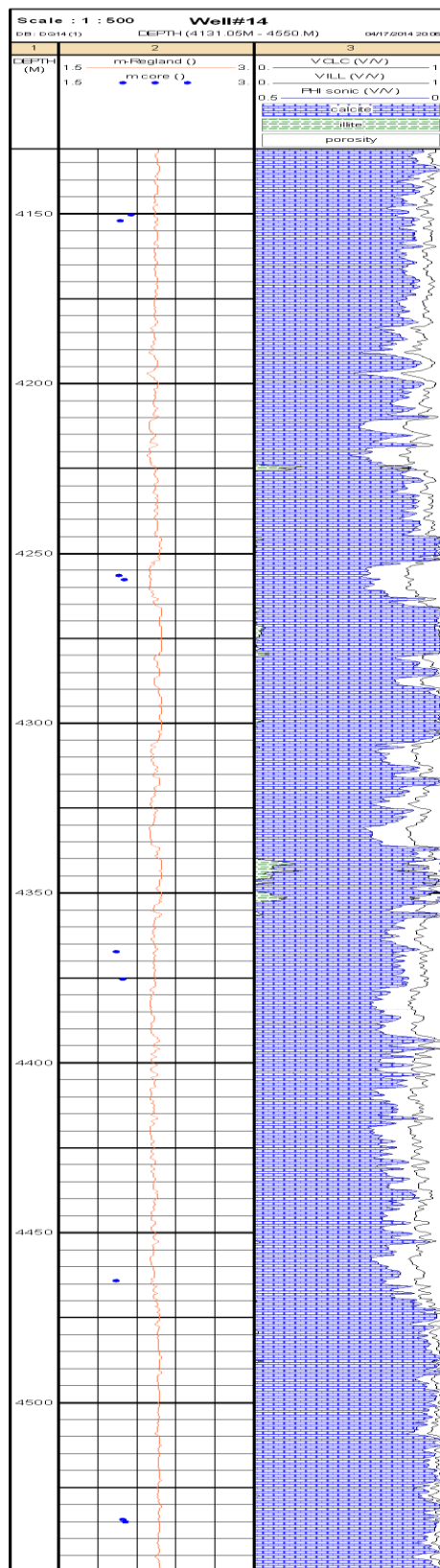
۳-۳-۴ روش رگلاند در تعیین ضریب سیمان شدگی

رگلاند با بررسی‌های خویش نشان داد که نمونه‌هایی با تخلخل قالبی دارای ضریب سیمان-شدگی آن‌ها به دست آورده بود دارای ضریب سیمان شدگی ۲/۴۶ می‌باشند. نمونه‌هایی با تخلخل از نوع بین دانه‌ای، دارای ضریب سیمان شدگی ۱/۹ می‌باشند. همچنین وی مقدار میانگین ۱/۹۳ را برای نمونه‌های دارای تخلخل بین بلوری و مقدار ۲/۰۳ را برای نمونه‌هایی که دارای سه نوع تخلخل ذکر شده بوده اند محاسبه نمود. وی اعلام نمود تخلخل‌های حاصل از انحلال و شکستگی‌های ریز داخل سازند اثر آن‌چنانی بر روی ضریب سیمان شدگی ندارد (Regland, 2002). در نهایت وی دو رابطه برای محاسبه ضریب سیمان شدگی در مخازن کربناته که دارای تخلخل‌های قالبی و تخلخل بین دانه‌ای پیشنهاد نمود که در فصل دوم در قالب رابطه‌های (۲-۲۰) و (۲-۲۱) ارائه شدند.

از آنجایی که تخلخل سازند فلهلیان از نوع بین دانه‌ای است (با توجه به نگار انحراف سرعت نشان داده شده در شکل (۴-۲۴))، بنابر روش رگلاند بهترین رابطه‌ای که به منظور تخمین ضریب سیمان شدگی در سرتاسر سازند فلهلیان می‌توان از آن استفاده نمود رابطه (۴-۲۳) می‌باشد.

$$m = -0.44\phi + 2.29 \quad (۴-۲۳)$$

در شکل (۴-۲۵) نمودار پیوسته تغییرات ضریب سیمان شدگی در برابر مخزن کربناته سازند فلهلیان مشاهده می‌گردد. نگار نارنجی رنگ تغییرات ضریب سیمان شدگی محاسبه شده با استفاده از روش رگلاند را نشان می‌دهد و نقاط آبی رنگ نشان‌دهنده ضریب سیمان شدگی به دست آمده از آزمایشات مغزه می‌باشد.



شکل ۴-۲۵. تغییرات پیوسته ضریب سیمان‌شدگی محاسبه شده با استفاده از روش رگلاند در مقابل زون مخزنی.

همان طور که در شکل (۴-۲۵) مشاهده می‌نمایید هیچ تطابقی بین مقادیر محاسبه شده و مقادیر به دست آمده از مغزه وجود ندارد. بنابراین از این روش نمی‌توان جهت تخمین ضریب سیمان‌شدگی در سرتاسر مخزن استفاده نمود.

۴-۳-۴ محاسبه ضریب سیمان‌شدگی بر مبنای روش لوسیا

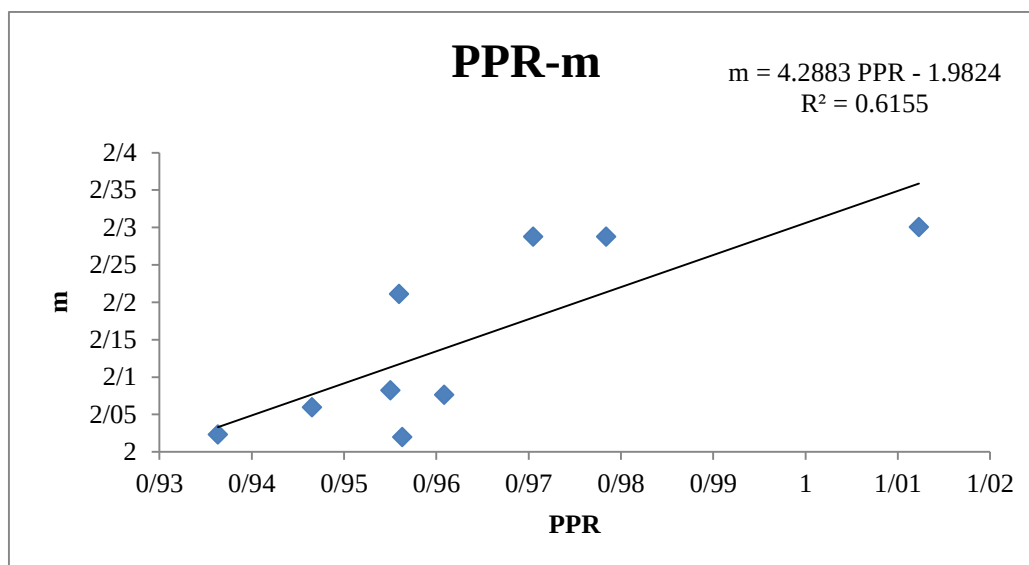
لوسیا نشان داد که مقدار ضریب سیمان‌شدگی (m) تابعی از نسبت تخلخل حفره ای غیر مرتبط به تخلخل کل، که به عنوان نسبت تخلخل حفره‌ای (VPR) شناخته می‌شود. این نسبت را می‌توان با داشتن تخلخل حفره ای غیر مرتبط (حاصل از نمودارهای صوتی) و تخلخل کل حاصل از نمودارهای نوترون و چگالی محاسبه نمود. ارتباط بین مقادیر VPR و m از نظر لوسیا مطابق با رابطه (۲-۲۲) می‌باشد.

با توجه به نوع تخلخل تعیین شده توسط نگار انحراف سرعت در سازند فلهلیان که در شکل (۴-۲۴) نشان داده شده است، بنابراین به طور مستقیم نمی‌توان از این رابطه استفاده نمود. از آنجایی که تخلخل حفره ای غیر مرتبط در اکثر مواقع از نوع تخلخل اولیه می‌باشد، بنابراین تخلخل حاصل از نگار صوتی را که نماینده تخلخل اولیه می‌باشد، در صورت کسر VPR قرار داده شد و کسر حاصل نسبت تخلخل اولیه PPR^1 نامیده شد. با تشکیل نمودار متقاطع PPR و ضریب سیمان‌شدگی به دست آمده از آزمایشات مغزه که در شکل (۴-۲۶) آمده رابطه بین PPR و m در قالب رابطه (۴-۲۴) ارائه شد.

$$m = 4.2883 PPR - 1.9824 \quad \text{رابطه (۴-۲۴)}$$

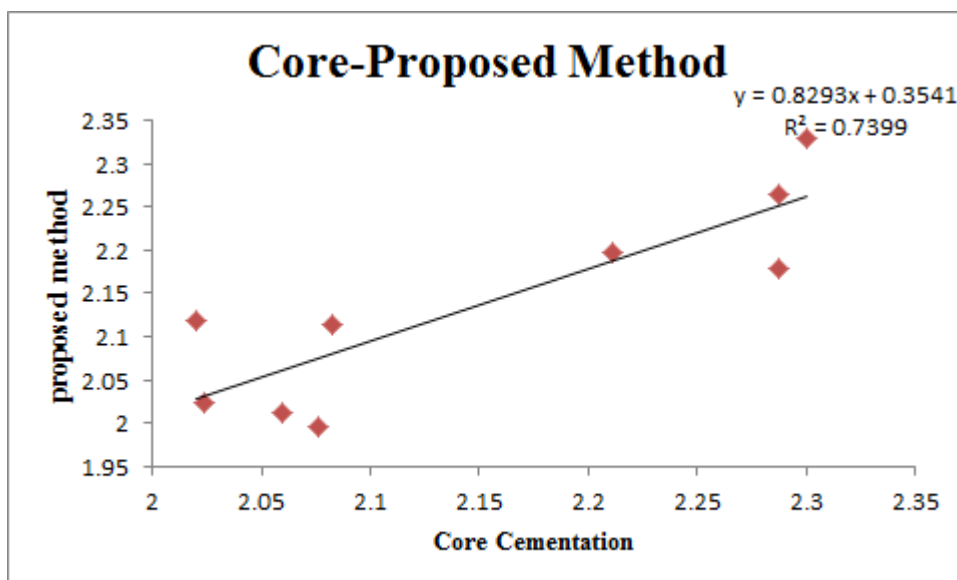
$$PPR = \phi_s / \phi_t$$

^۱ . Primary Porosity Ratio



شکل ۴-۲۶. ارتباط بین فاکتور m و نسبت تخلخل اولیه به تخلخل کل

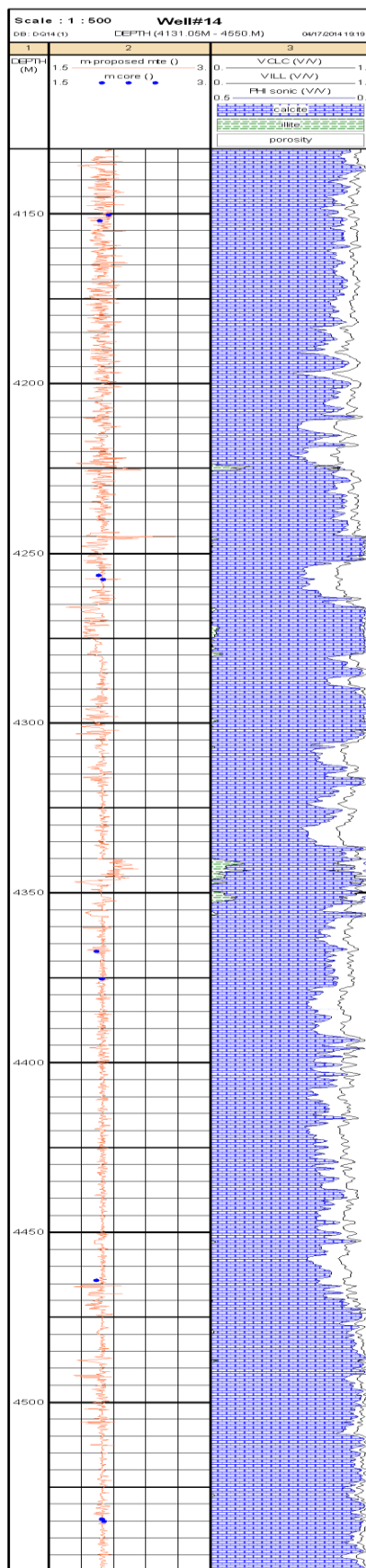
بعد از مشخص شدن رابطه بین ضریب سیمان‌شدگی به دست آمده از مغزه و PPR، این رابطه به کل چاه بسط داده شد و میزان ضریب همبستگی مقادیر محاسبه شده با مقادیر به دست آمده از آزمایشات مغزه در نقاط مختلف چاه، سنجیده شد که برابر با $73/99$ درصد بوده و بیانگر کارایی روش ارائه شده در محاسبه ضریب سیمان‌شدگی در مخازن دارای تخلخل بین دانه‌ای می‌باشد (شکل ۴-۲۷).



شکل ۴-۲۷. مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی و آزمایشات مغزه

در شکل (۴-۲۸) نگار به دست آمده از رابطه (۴-۲۵) با رنگ نارنجی نمایش داده شده است. نقاط آبی رنگ نشان‌دهنده مقادیر ضریب سیمان‌شدگی به دست آمده از آزمایشات مغزه می‌باشد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، شدت تغییرات نگار به دست آمده بالا می‌باشد. این شدت تغییرات ممکن است به دلیل بالا بودن میزان ناهمگنی در سنگ باشد و یا ممکن است به دلیل در نظر گرفتن مقدار ثابت زمان گذر موج تراکمی در زمینه سنگ، به هنگام محاسبه تخلخل حاصل از نگار صوتی باشد. نمودار مشکی رنگ رسم شده در ستون دوم شکل (۴-۲۸) تغییرات تخلخل حاصل از نگار صوتی را مشاهده می‌دهد.

با توجه به توضیحات و نگارهای به دست آمده از نتایج هر یک از روش های ارائه شده، بهترین رابطه‌ای که می‌توان از آن به منظور تخمین ضریب سیمان‌شدگی در سرتاسر مخزن به صورت پیوسته استفاده نمود رابطه (۴-۲۵) است. که بر مبنای رابطه ارائه شده از لوسیا می‌باشد با این تفاوت که روش لوسیا برای مخازن با تخلخل حفره‌ای غیر مرتبط سازگار می‌باشد و روش ارائه شده برای مخازن با تخلخل بین دانه‌ای صادق است.

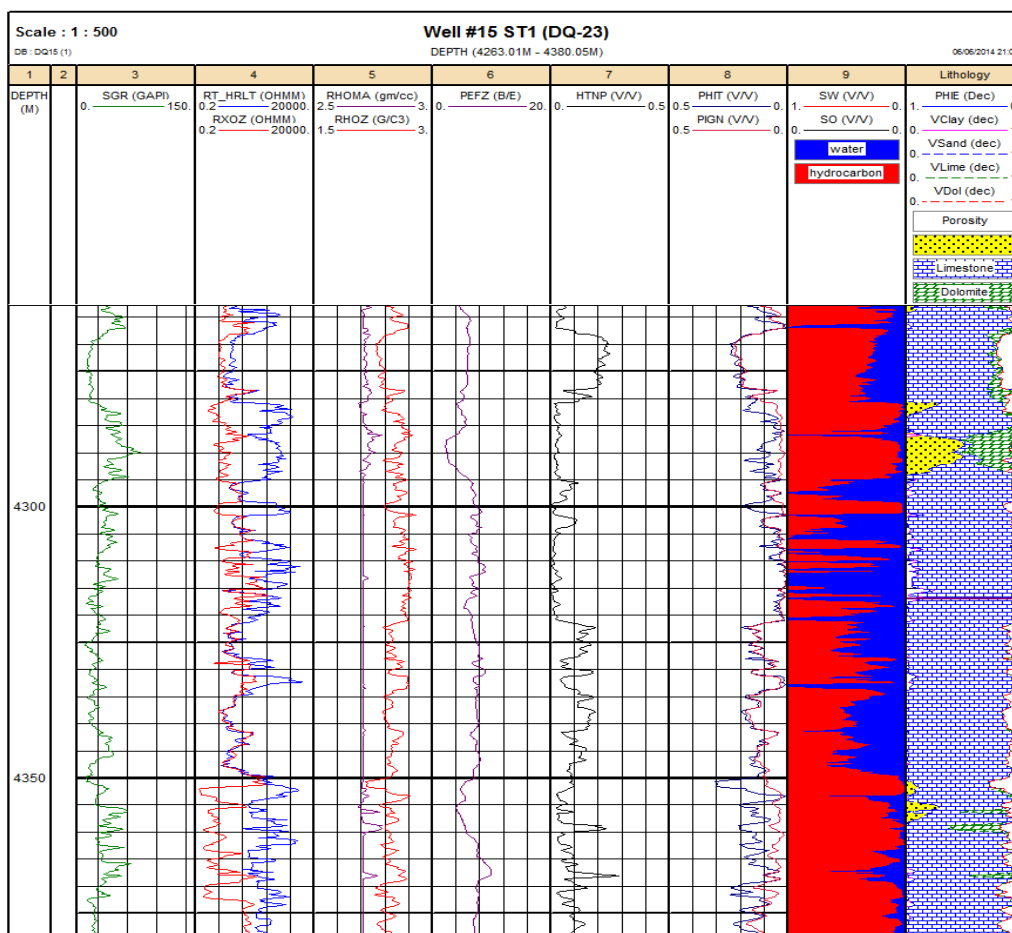


شکل ۴-۲۸. نگار تغییرات ضریب سیمان‌شدگی محاسبه شده بر مبنای تغییر رابطه لوسیا

۴-۳-۵ محاسبه ضریب سیمان شدگی با استفاده از نگار چگالی

مطابق با توضیحات ارائه شده در فصل دوم، تغییر در میزان سیمان شدگی بین دانه‌های سنگ و نوع لیتولوژی مستقیماً بر روی نگار چگالی تاثیر می‌گذارد. بنابراین با تعیین رابطه بین میزان سیمان شدگی دانه‌ها و چگالی، می‌توان مستقیماً تغییرات ضریب سیمان شدگی را در سرتاسر مخزن تعیین نمود.

لازمه‌ی استفاده از این روش، اطلاعات مربوط به آزمایشات ضریب سیمان شدگی در نقاط مختلفی از چاه (حداقل در یک زون حاوی نفت و یک زون حاوی آب) می‌باشد. به این دلیل از این روش در چاه شماره ۲۳ میدان دارخوین استفاده شد. چرا که در چاه شماره ۱۴، مقادیر ضریب سیمان شدگی مغزه دارای پراکندگی زیادی نمی‌باشد. در شکل (۴-۲۹) قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی چاه شماره ۲۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۲۹. قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی چاه شماره ۲۳ میدان دارخوین

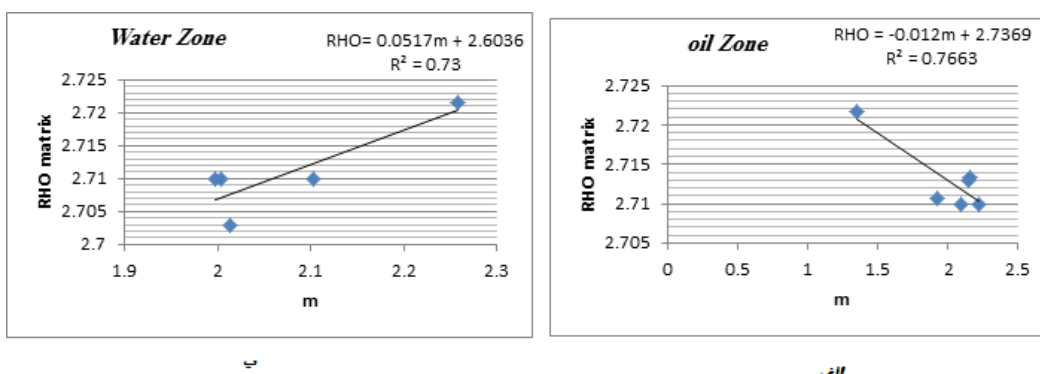
همان طور که در شکل ۴-۲۹ مشاهده می‌شود، لیتولوژی چاه مورد مطالعه از دولومیت، سنگ آهک، ماسه سنگ و ایلیت تشکیل شده است. میزان متوسط تخلخل زون مخزنی این چاه ۱۷ درصد و مقدار درصد اشباع متوسط هیدروکربور موجود در سازند ۸۳ درصد می‌باشد.

جهت تعیین ضریب سیمان‌شدگی با استفاده از این روش، در ابتدا بایستی مقدار چگالی زمینه سنگ تعیین گردد. به این منظور با استفاده از رابطه (۲-۲۳) ارائه شده در فصل دوم، مقدار چگالی زمینه سنگ محاسبه و با استفاده از آن و تشکیل دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۴-۲۵) مقدار فاکتور تطابق برای هر یک از مولفه‌های تشکیل دهنده لیتولوژی یعنی ماسه سنگ m_{sand} ، سنگ آهک m_{lime} ، دولومیت m_{dol} و ایلیت m_{clay} محاسبه شد.

(۴-۲۵)

$$\begin{cases} 0.742m_{lime} + 0.021m_{sand} + 0.006m_{dol} = 0.0517 \\ 0.651m_{lime} + 0.002m_{clay} + 0.103m_{sand} + 0.111m_{dol} = -0.012 \\ 0.89m_{lime} + 0.023m_{clay} + 0.002m_{dol} = 0.0517 \\ 0.832m_{lime} + 0.004m_{clay} + 0.006m_{sand} + 0.009m_{dol} = -0.012 \end{cases}$$

مقادیر ۰/۰۵۱۷ و -۰/۰۱۲ فاکتور تطابق چگالی زمینه سنگ با ضریب سیمان‌شدگی به دست آمده از آنالیز مغزه در زون های آبی و نفتی به ترتیب می‌باشد. در شکل (۴-۳۰) نمودارهای متقاطع مربوط به محاسبه این مقادیر آورده شده است.



شکل ۴-۳۰. نمودارهای متقاطع RHO matrix-m در زون های نفتی (شکل الف) و آبی (شکل ب).

حال با جایگذاری مقادیر فاکتور تطابق هر یک از مولفه های لیتولوژی و مقدار چگالی زمینه سنگ محاسبه شده در رابطه (۴-۲۶) مقدار ضریب سیمان شدگی را به طور پیوسته در سرتاسر سازند محاسبه می شود.

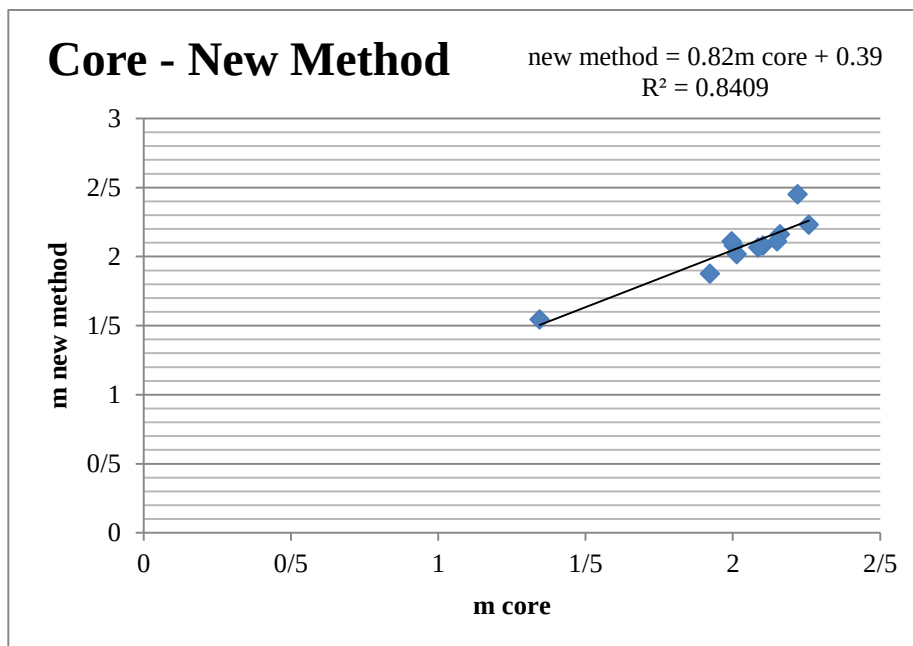
$$m = \rho_b + ((\sum_{i=1}^n m_i v_i) \times \rho_{mat}) - (\emptyset \times \rho_f) \quad (۴-۲۶)$$

در این رابطه ρ_f چگالی سیال، ρ_{mat} چگالی زمینه سنگ، ρ_b چگالی کل سنگ و v_i حجم هر یک از مولفه های لیتولوژی در هر نقطه از سازند می باشد.

در شکل (۴-۳۱) نگار تغییرات ضریب سیمان شدگی به دست آمده از این رابطه ارائه گردیده است. همان طور که در نگار مشاهده می شود، در قسمت هایی از سازند که آهک به دولومیت تبدیل شده است مقدار ضریب سیمان شدگی به ۵/۵ می رسد که این موضوع توسط مطالعات لوسیا نیز قابل تایید است. لوسیا بر اساس مطالعات خود که بر روی مغزه های میادین کربناته انجام داده بود، اعلام کرد که مقدار ضریب سیمان شدگی در مخازن کربناته با تخلخل واگی و بین دانه ای تا ۵/۵ افزایش می یابد.

از مقایسه نگار به دست آمده با نگار چگالی، روند مشابهی در هر دو نگار مشاهده می گردد که این تایید کننده رابطه نزدیک و مستقیم ضریب سیمان شدگی با نگار چگالی می باشد.

از مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از آزمایشات مغزه که در شکل (۴-۳۲) آمده است، درصد هم بستگی مقادیر با یکدیگر برابر با ۸۴/۰۹ درصد می باشد که نتیجه قابل قبولی است.



شکل ۴-۳۲. مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر ضریب سیمان شدگی حاصل از آزمایشات مغزه

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

- ✓ یکی از مراحل مهم در محاسبه تراوایی در این روش، تعیین ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی با تراوایی و هر یک از مولفه‌های تشکیل دهنده سنگ می‌باشد. این مرحله بسیار حساس به نحوه تهیه مدل پتروفیزیکی از سازند، مشخص کردن زون‌های حاوی آب و نفت، شناسایی و تعیین حجم مولفه‌های تشکیل دهنده سازند می‌باشد. بنابراین لازمه‌ی این مرحله شناخت بالایی از زمین شناسی میدان و مخزن مورد مطالعه و ارزیابی پتروفیزیکی صحیحی از مخزن می‌باشد. به عبارتی مقادیر حدی درصد اشباع سیال و درصد تخلخل بایستی به صورت بهینه انتخاب شود.
- ✓ از پارامترهای اثر گذار در تعیین تراوایی با استفاده از امواج استونلی، مقدار کندشدگی موج استونلی در زمینه سنگ می‌باشد. در صورتی که مقدار این پارامتر به درستی انتخاب نشود، مقادیر تراوایی محاسبه شده از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. مقدار این پارامتر را هم می‌توان به صورت یک عدد ثابت و هم می‌توان در قالب یک نمودار پیوسته محاسبه نمود. براساس نتایج حاصل از دو روش مذکور، در صورت محاسبه کندشدگی موج استونلی به صورت یک نمودار پیوسته دقت تراوایی محاسبه شده بالاتر می‌باشد
- ✓ در صورتی که مقدار کندشدگی موج استونلی به صورت یک نمودار پیوسته محاسبه شود، با تقسیم نمودن نمودار مذکور بر کندشدگی کلی موج استونلی، شاخصی حاصل می‌گردد که به آن شاخص تراوایی گویند. این شاخص به نحوی نماینده نحوه ارتباط حفرات به یکدیگر و به عبارتی نماینده تغییرات ضریب پیچاپیچی قانون آرچی می‌باشد.
- ✓ با استفاده از دو روش در نهایت می‌توان تغییرات تراوایی را در سرتاسر مخزن با استفاده از کندشدگی موج استونلی محاسبه نمود. روش اول استفاده از مفهوم واحدهای جریان و ارتباطی که بین شاخص منطقه بندی جریان و کندشدگی موج استونلی برقرار است می‌باشد و روش دوم استفاده از رابطه ریاضی بین کندشدگی موج استونلی و ضریب تطابق محاسبه شده می‌باشد. در صورت وارد نمودن فاکتور تخلخل دارای توان نمایی در رابطه ریاضی روش دوم، مقدار تراوایی محاسبه شده نسبت به روش اول دارای دقت بالاتری می‌باشد.

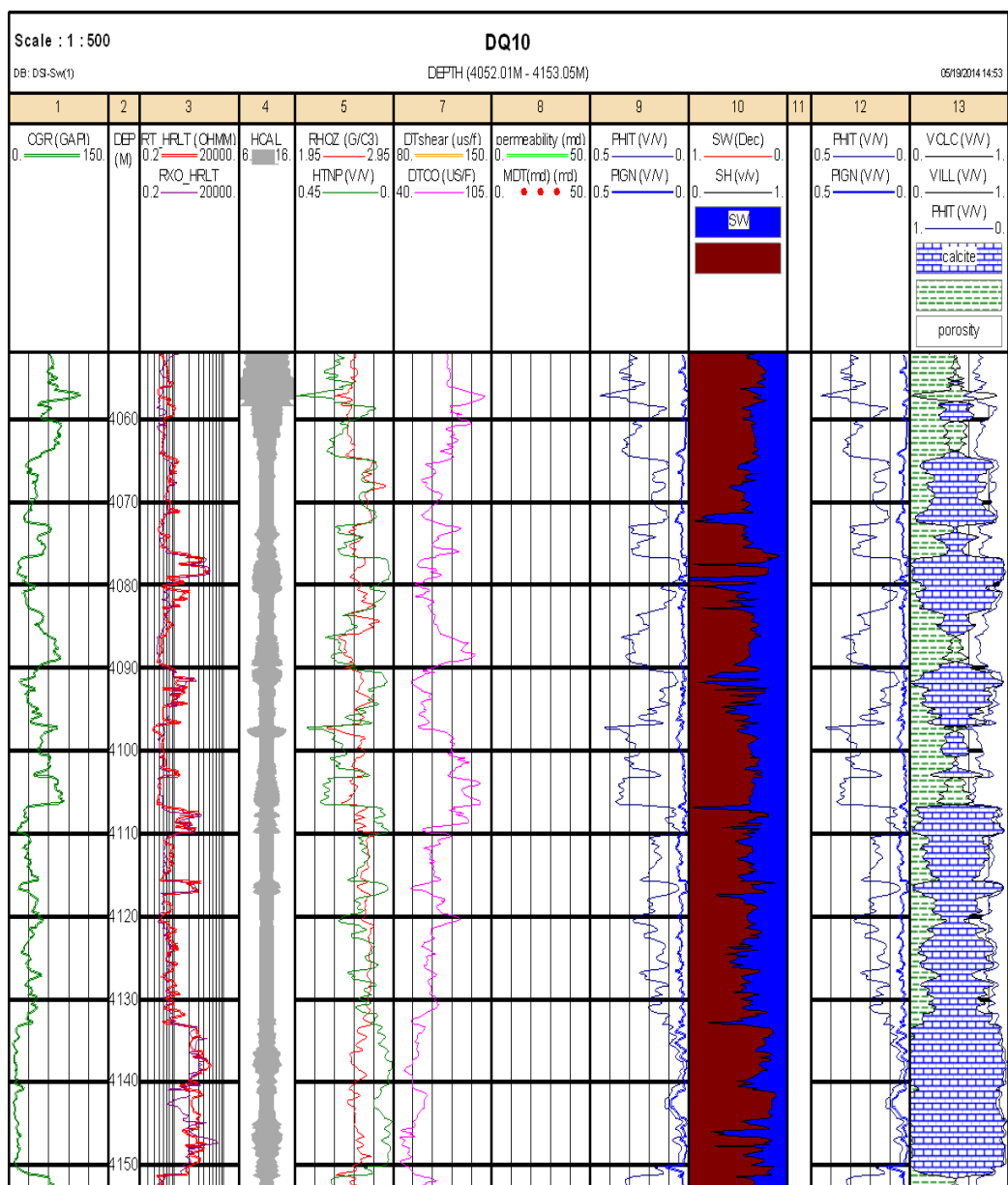
- ✓ تبدیل سازند از حالت ناهمگن به همگن در محاسبه توان نمایی تخلخل به هنگام منظور کردن در رابطه ریاضی بین کندشدگی موج استونلی و ضریب تطابق، در بهبود نتیجه تراوایی محاسبه شده بسیار اثر گذار است
- ✓ در محاسبه ضریب سیمان‌شدگی قانون آرچی، با توجه به حساسیت روش‌های لوسیا، رگلاند و فوک و مان به نوع لیتولوژی، بهتر است قبل از استفاده از هرگونه رابطه‌ای، ابتدا ارزیابی پتروفیریکی از سازند صورت گیرد و نوع تخلخل و تغییرات لیتولوژی در سازند کاملاً شناسایی گردد.
- ✓ در میان روش‌های فوک و مان، لوسیا و روش رگلاند، روش لوسیا دارای پاسخ مطلوب-تری در محاسبه ضریب سیمان‌شدگی می‌باشد در نتیجه روش با اعمال تغییراتی در روش لوسیا، رابطه‌ای به دست آمد که نتایج حاصل از این رابطه دارای تطابق بالایی با مقادیر حاصل از مغزه می‌باشد.
- ✓ ضریب سیمان‌شدگی محاسبه شده با استفاده از نگار چگالی دارای تطابق بهتری با داده‌های مغزه دارد و علاوه بر این مزیتی که نسبت به سایر روش‌های محاسبه ضریب سیمان‌شدگی دارد، در نظر گرفتن ناهمگنی سازند در هنگام محاسبه این ضریب می‌باشد. همچنین با استفاده از این روش در محاسبه ضریب سیمان‌شدگی اثر تغییر جنس لیتولوژی نیز هم‌زمان اعمال می‌گردد.
- ✓ با استفاده از رابطه‌ای که بر مبنای رابطه لوسیا جهت تعیین ضریب سیمان‌شدگی در این مطالعه به دست آمد، می‌توان مقدار ضریب سیمان‌شدگی را در مخازن دارای تخلخل بین دانه‌ای محاسبه نمود.

۵-۲ پیشنهادات

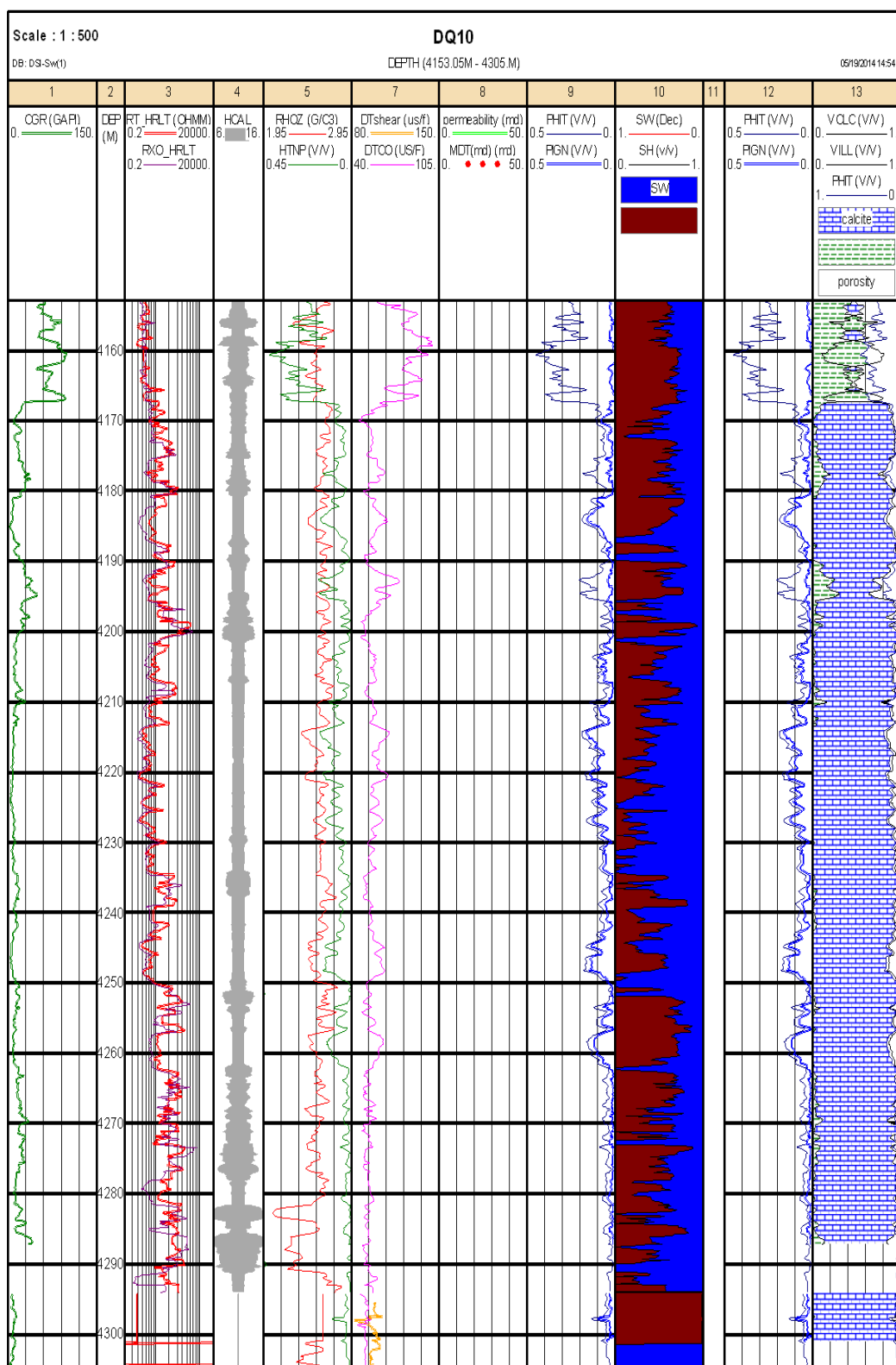
- ❖ مقادیر تراوایی محاسبه شده با استفاده از کندشدگی موج استونلی، با سایر روش‌های موجود جهت تخمین تراوایی مانند روش، تشدید مغناطیسی هسته و روش‌های تجربی و غیر مستقیم، از لحاظ دقت مقایسه گردد.
- ❖ با توجه به اهمیت تعیین دقیق زون‌های حاوی آب و نفت در سازند، بهتر است تاثیر تغییر مقدار حدی درصد اشباع سیال در شناسایی زون‌های حاوی آب و نفت، در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

- ❖ میزان حساسیت امواج استونلی در تعیین تراوایی مخازن شکافدار پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد.
- ❖ پیشنهاد می‌شود از آنجایی که نوع سیال در محاسبات تراوایی با استفاده از امواج استونلی اثر گذار است، میزان کارایی این روش در مخازن حاوی گاز مورد مطالعه قرار گیرد.
- ❖ به منظور تعیین رابطه‌ای با دقت بالاتر جهت تخمین ضریب سیمان‌شدگی در یک میدان، بهتر است به اطلاعات مربوط به چند چاه مورد بررسی قرار گیرد.
- ❖ در تعیین ضریب سیمان‌شدگی به صورت پیوسته، پیشنهاد می‌گردد رابطه این ضریب با سایر نگارهای چاه‌پیمایی مانند نگار صوتی مورد بررسی قرار گیرد.
- ❖ از آنجایی که ضریب سیمان‌شدگی میدانی با ضریب سیمان‌شدگی میدان دیگر متفاوت است، پیشنهاد می‌گردد قبل از استفاده از رابطه به دست آمده در این مطالعه به منظور تخمین در مخازن کربناته با تخلخل بین دانه‌ای، ضرایب ثابت موجود در رابطه، متناسب با همان میدان مجدداً محاسبه گردد.

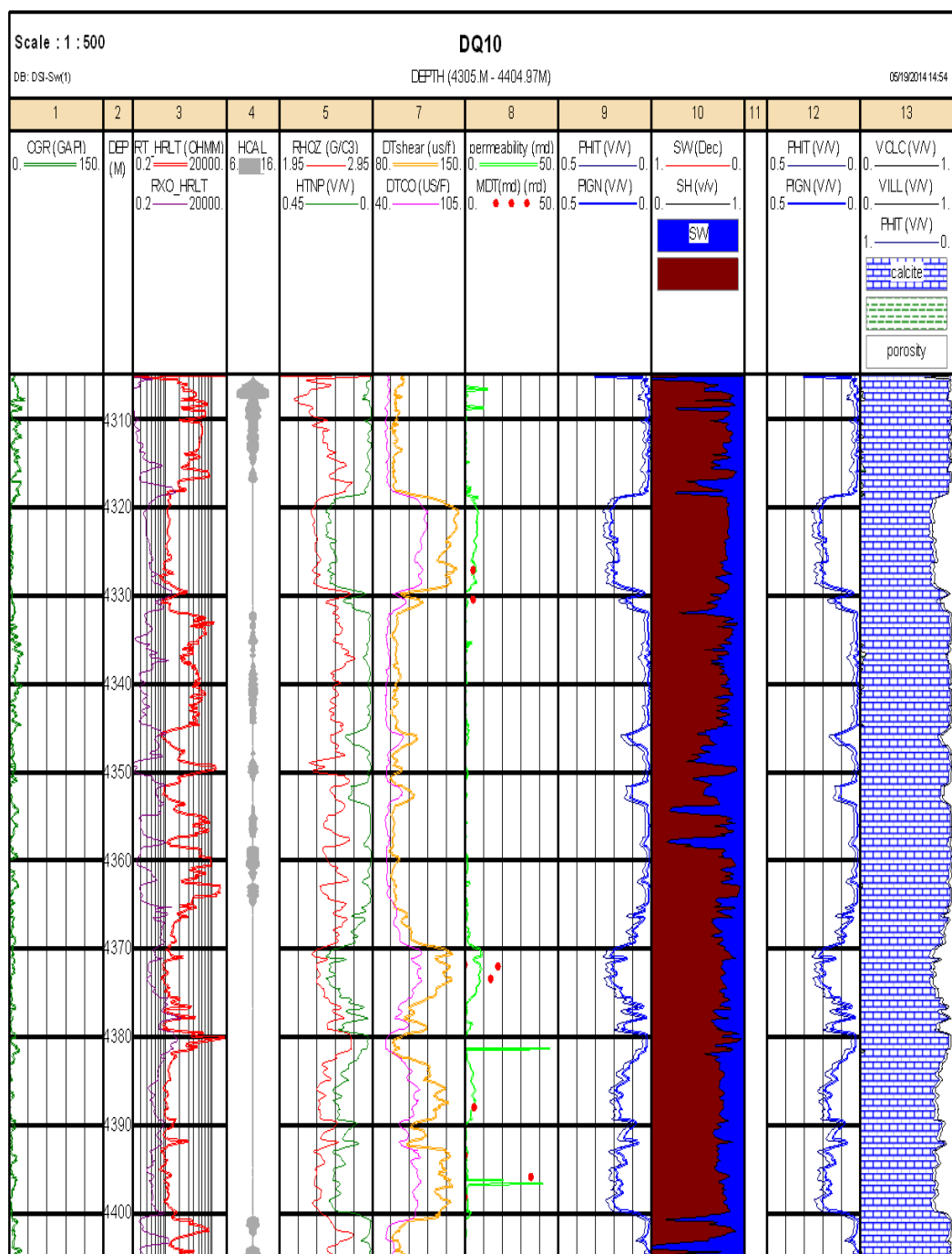
پوست



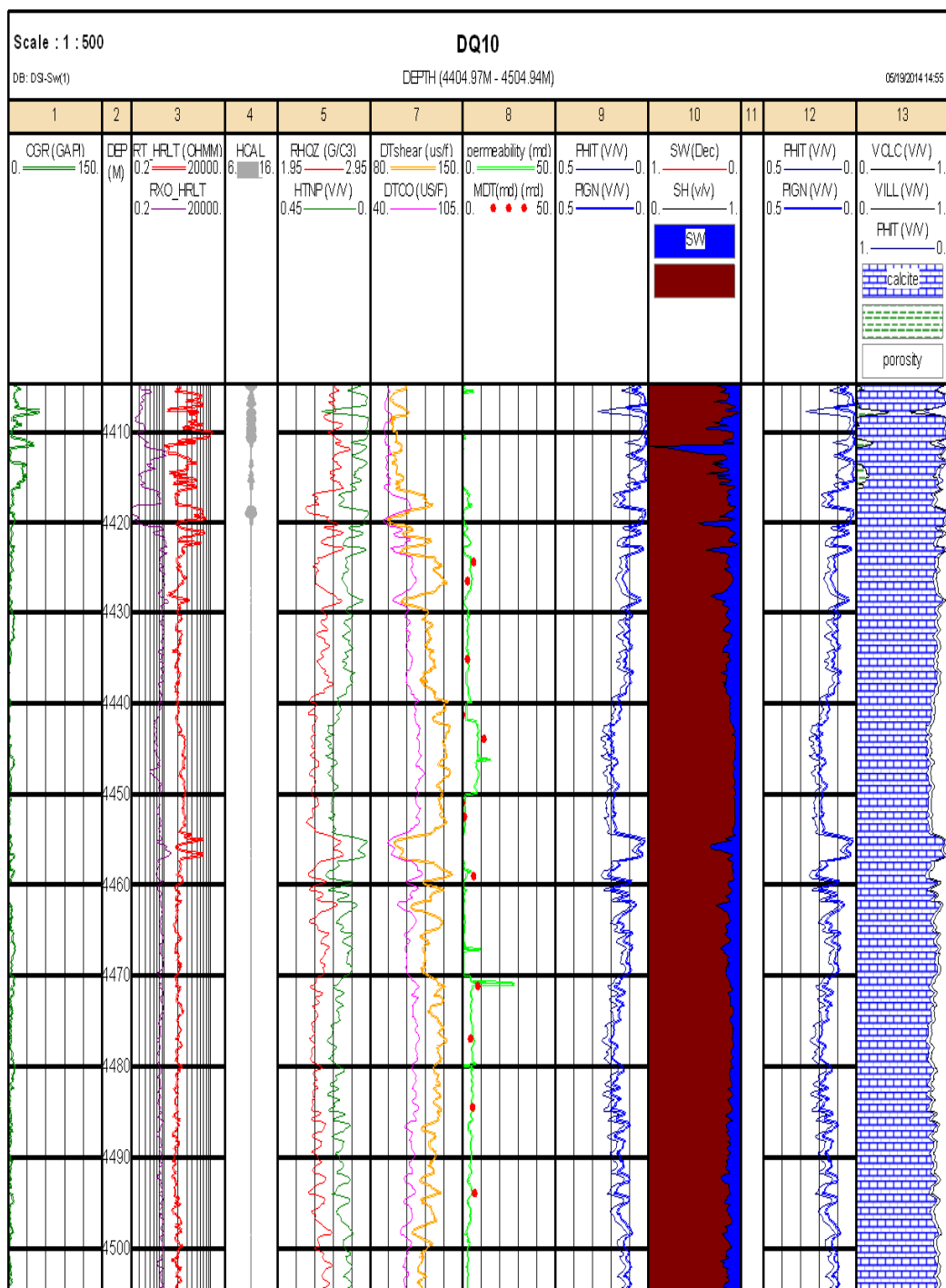
الف- (۱) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ10. بازه عمقی ۴۰۵۲متری الی ۴۱۵۲



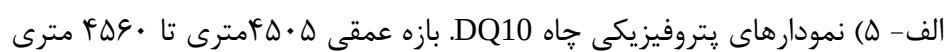
الف ۲) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ10. بازه عمقی ۴۱۵۲متری تا ۴۳۰۵ متری

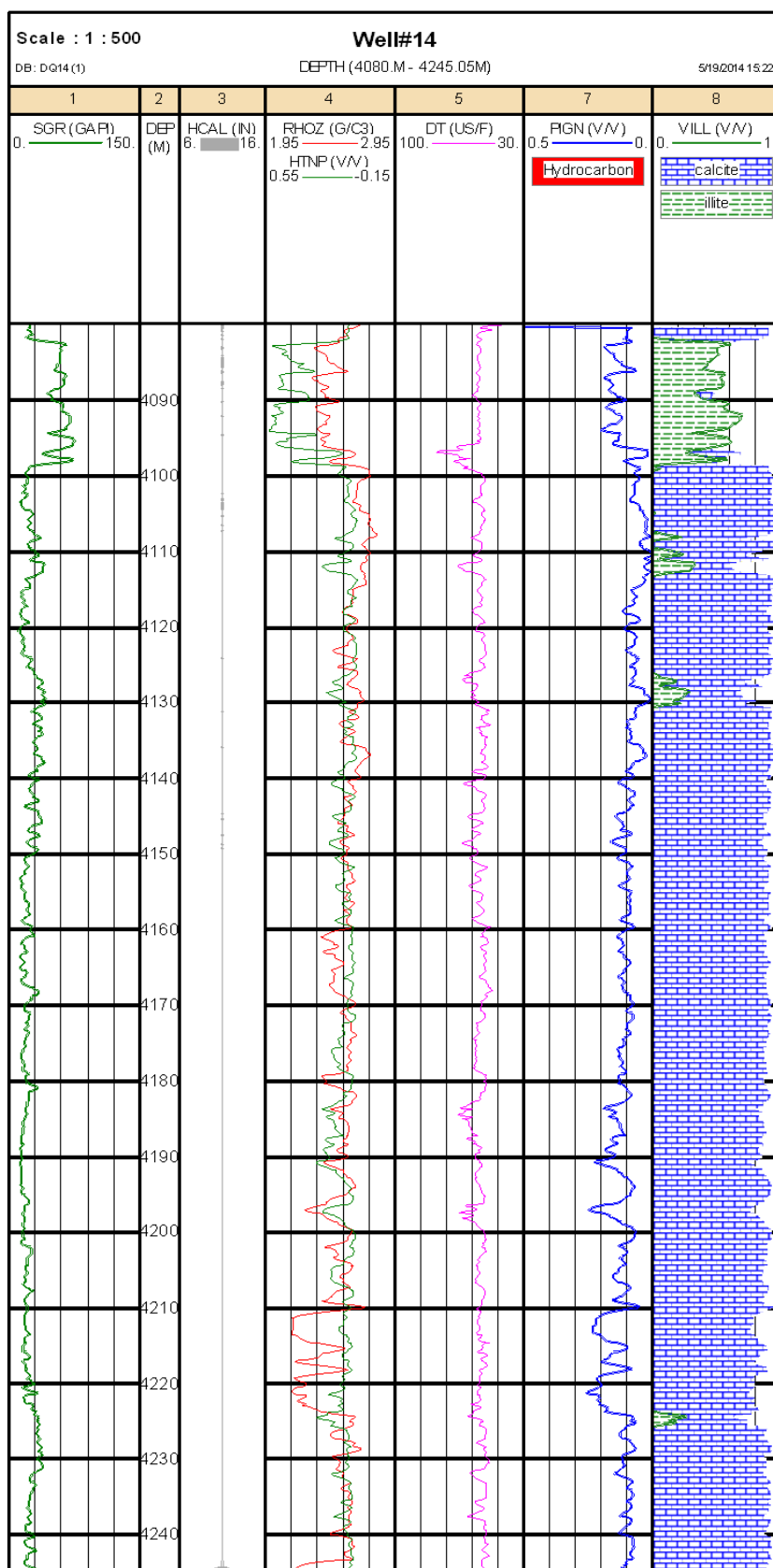


الف (۳) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ10. بازه عمقی ۴۳۰۵ متری تا ۴۴۰۵ متری

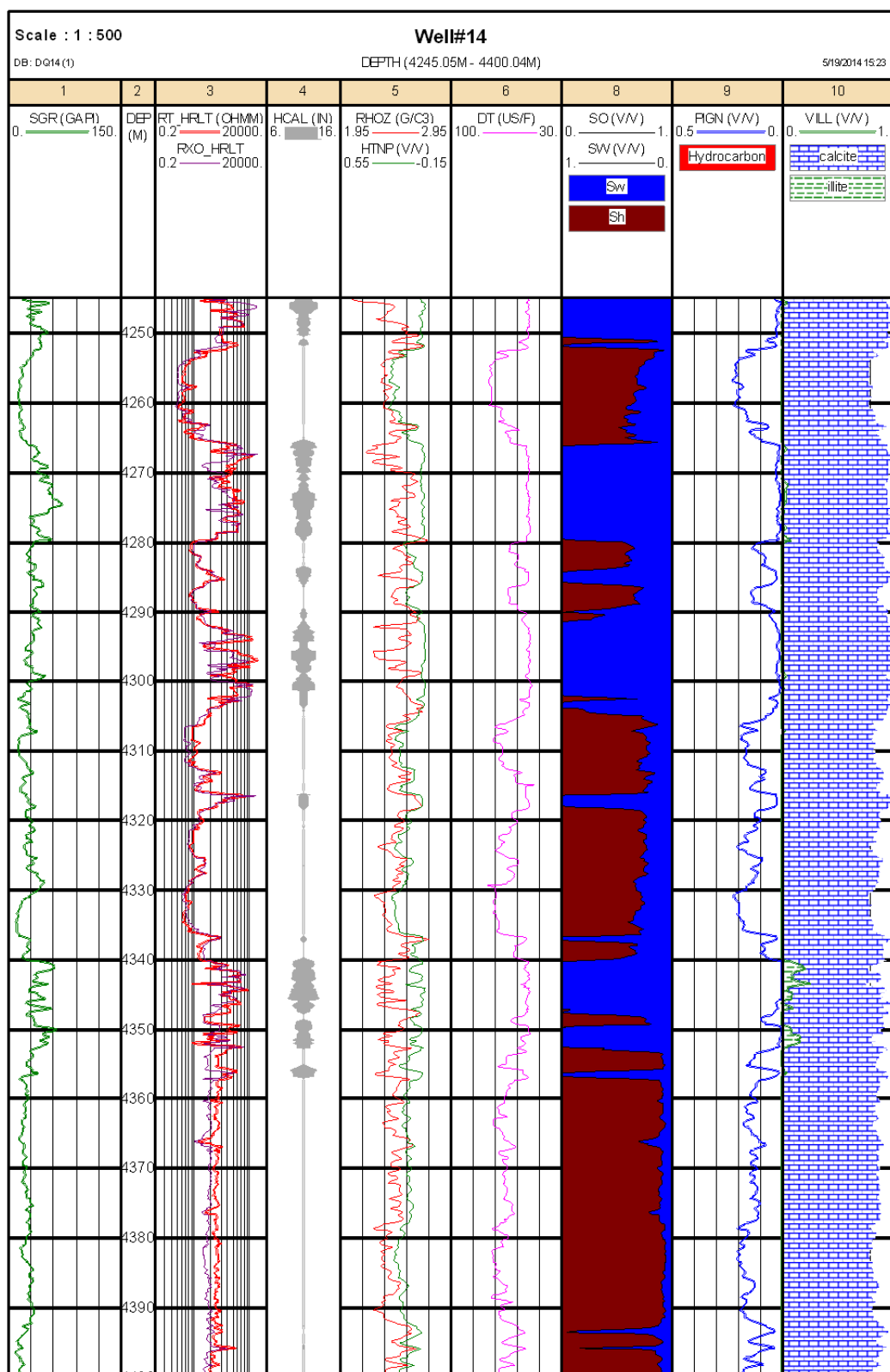


الف-۴) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ10. بازه عمقی ۴۴۰۵متری تا ۴۵۰۵ متری

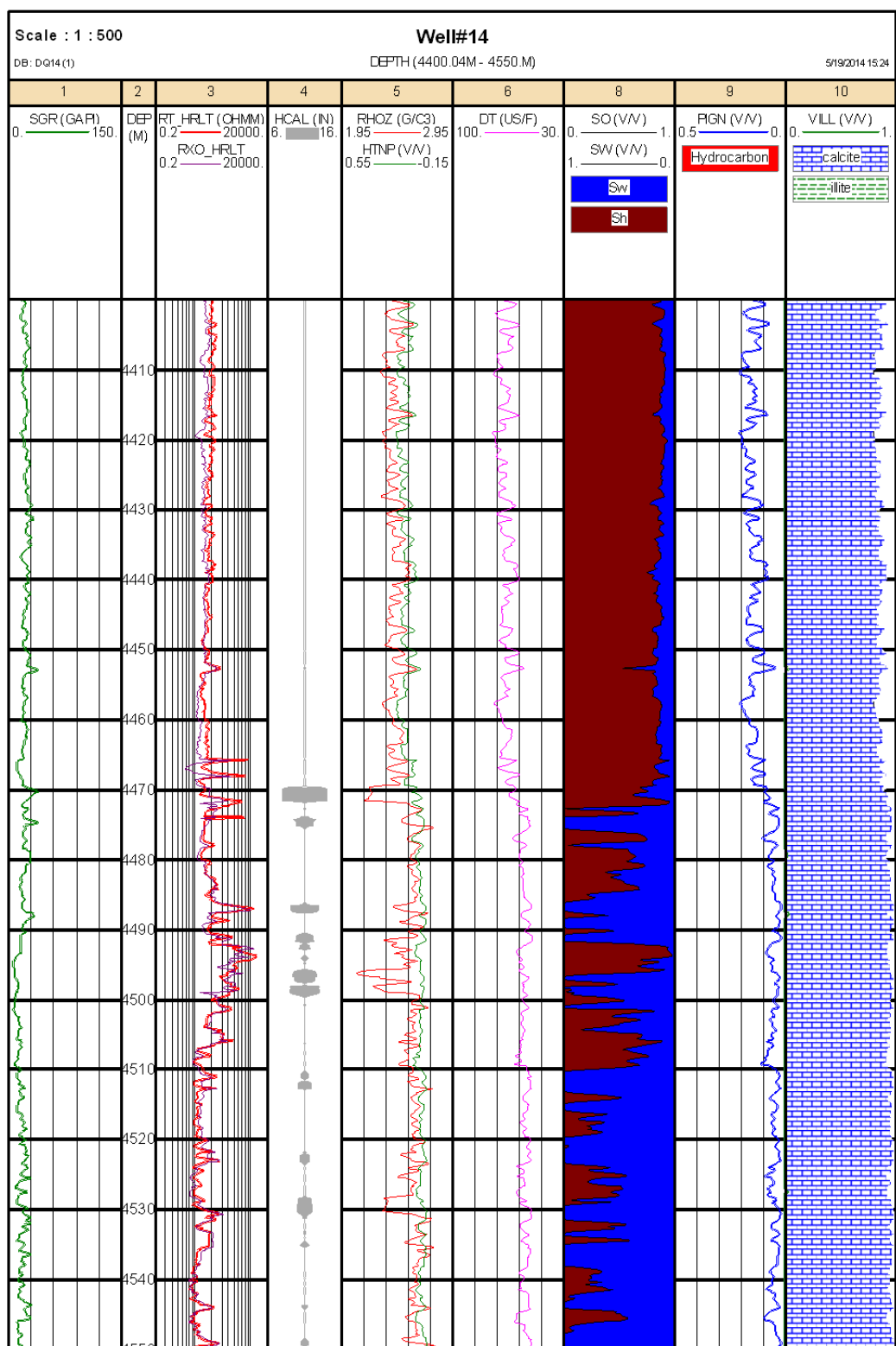




الف - ۶) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ14. بازه عمقی ۴۰۸۱ متری تا ۴۲۴۵



الف-۷) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ14. بازه عمقی ۴۲۴۵متری تا ۴۴۰۰ متر.



الف-۸) نمودارهای پتروفیزیکی چاه DQ14. بازه عمقی ۴۴۰۰ متری تا ۴۵۵۰ متری

منابع و مراجع

- اصغری.پ، نبی‌بیدهندی.م، ملکی.ب، ثابتی.ن، ۱۳۹۱، به کارگیری موج استونلی برای تخمین تراوایی سازند در یکی از میادین جنوب غربی ایران، پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. صفحه ۸۲-۸۵.
- الوکی بختیاری.ح، کاظم‌زاده.ع، ولی.ج، اصفهانی.م، ۱۳۸۸، نقش تخلخل‌های غیرمرتبط در تعیین ضریب سیمان‌شدگی و تاثیر فشار همه جانبه مؤثر بر آن در یکی از مخازن کربناته ناهمگن ایران، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و پنجم، شماره ۳، صفحات ۴۵ تا ۵۲.
- الهی.ب، کاظم‌زاده.ع، ۱۳۹۰، تراوایی معادل مایع با استفاده از تراوایی مطلق هوا در سنگ‌های کربناته یکی از میادین جنوب ایران. فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال چهارم، شماره اول.
- دومینوکاپلییر، ۱۳۷۶، چاه پیمایی در هیدروژئولوژی، انصاری.ع، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ دوم.
- رستمی.ع، حسنی گیوم.م، ۱۳۹۰، بررسی رابطه ضریب سیمان‌شدگی و تخلخل به دست آمده از آنالیز مغزه و مقایسه آن با روابط تجربی Shell و Borai در یکی از مخازن دولومیتی جنوب غرب ایران، ماهنامه اکتشاف و تولید شماره ۸۲، صفحات ۶۱ تا ۶۶
- زینل‌زاده. و، سجادیان.ا، ۱۳۸۸، بررسی زون‌های سنگ منشا در میدان دارخوین با استفاده از داده‌های پتروفیزیک و آنالیز راک اول، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و پنجم، شماره ۳، صفحه ۶۳-۷۰.
- سعادت.ک، کاظم‌زاده.ع، اصفهانی.م، بهین.ر، ۱۳۸۸، بررسی معادلات تجربی و ارائه یک معادله برای محاسبه ضریب سیمان‌شدگی در یکی از میادین کربناته سازند آسماری واقع در جنوب غربی ایران، مجله پژوهش نفت، شماره ۶۰، صفحات ۱۰۴ تا ۱۱۱
- صدیقی.ح، ولی.ج، ۱۳۸۸، بررسی تاثیر واحدهای جریان هیدرولیکی بر روابط تجربی حاصل از ارتباط فاکتور سازندی با تخلخل و تراوایی، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۶۴، صفحه ۴۴ تا ۴۸.
- فهیمة.ش، روستایی.س، ۱۳۸۸، ارزیابی خصوصیات پتروفیزیکی مخزن و تعیین نوع تخلخل در یکی از چاه‌های نفتی خلیج فارس، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۶۴، صفحات ۴۹ تا ۵۵

قاسم‌العسگری، م، ۱۳۹۰، چاه‌نگاری پیشرفته، انتشارات ستایش، چاپ اول.

لاسمی، ی، نورافکن، خ، ۱۳۸۴، رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی سازند فهلپان در میدان نفتی دارخوین، جنوب باختر ایران، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

مرادزاده، ع، سلیمی دلشاد، ی، کاظم‌زاده، ع، ۱۳۹۲، بهبود محاسبه اشباع آب در مخازن هیدروکربوری کربناته به کمک داده‌های چاه‌نگاری و آزمایشگاهی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۱، صفحه ۱۰۷ تا ۱۲۱.

مرادزاده، ع، قوامی ریایی، ر، ۱۳۸۰، چاه پیمایی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

مسلمان‌نژاد، ح، رضایی، م، دهقان‌زاده، م، ۱۳۸۵، ارزیابی کمی تراوایی با استفاده از امواج آکوستیک و مقایسه آن با تراوایی حاصل از NMR و آنالیز مغزه (سازند کنگان در میدان پارس جنوبی)، اولین کنگره مهندسی نفت ایران.

هداوند، م، مرادزاده، ع، ۱۳۸۵، تخمین تراوایی مخازن نفتی از طریق بررسی امواج استونلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۵.

غبیشاوی، ع، رحمانی، ع، چهارده چریک، ر، ناصری، ن، تعیین نوع تخلخل در سنگ‌های کربناته با استفاده از نگار انحراف سرعت،

Ahmad, u, 1991, Permeability estimation: the various sources and their interrelationships, JPT, pp 578-588.

Al.Adani, N, Barati, A, 2003, permeability estimation from stoneley wave, SLB (www.slb.com).

Brie, A, Endo, T, Johnson, D.L, F.pampuri, 2000, Quantitative formation permeability evaluation from Stoneley waves, SPE Reservoir Eval & Eng. vol3 No. 2, pp 109-117.

Brie, A, Endo, T, Kimball, C.V, Johnson, D.J, Pampuri, F, 1998, Quantitative Formation permeability Evaluation From Stoneley, SPE49131. Volume3. Pp109-117.

Cassell.B, Badri.M, Faulhaber.J, 1994, Permeability prediction based on anelastic attenuation using dipole shear and low frequency monopole sources in a carbonate reservoir in Saudi Arabia, Proceedings of the GEO-94 Middle-East geosciences conference, Bahrain.

Colley.N, Reignier.P, Richardson.S, 1992, The MDT tool: a Wireline Testing Breakthrough, Well testing, England, pp 58-66

Darvin.E, Julian.M, 2008, well logging for earth scientists, second edition, pp 524-539.

Delhomme. J.P, 2007, The quest for permeability evaluation in wireline logging, 92936 La Defense Cedex, France, Chapter 5, pp 56-70.

Ellis.D.V, Singer.J.M, 2007, well logging for earth scientists. Second edition, Springer- verlag, Berlin Heidelberg, Germany.

Focke.J, Muan.D, 1987, Cementation exponents in Middle Eastern carbonate reservoirs, SPE 13735, pp 155-167.

Gholinejad.S, Masihi.M, 2012, A physical-based model of permeability/porosity relationship for rock data of Iran southern carbonate reservoirs, Iranian Journals of Oil & gas Science and Technology, vol.1, no.1, pp 25-36.

Glover.P, Petrophysic, MSC course notes, 2009, page 139

Guan.W, Hu.H, Wang.Z, 2013, permeability inversion from low frequency siesmoelectric logs in fluid saturation porous formation. Geophysical prospecting volume 61, Issue1, pp 120-133.

Hamada.G.M, Almajed.A.A, 2013, Analysis of Archie's parameters determination techniques in carbonate reservoirs, J petrol explor Prod Technol, 3:1-10.

Hamada.G.M, Okasha.T.M, Algahthe.A.A, 2010, Uncertainly analysis of Archies parameters determination technique in carbonate reservoirs, OGEP161. pp 1-10

Hassani-giv.M, Rahimi.M, 2008, New correlation for porosity exponent in carbonate reseroirs of iranain oil fields in zagros basin, JUST, Vol 34, No.2, pp 1-7.

<http://www.ngdir.ir/OilandGas/POilandGas.asp>

Dlubac.K, Knight.R, 2010, An assessment of the kozeny carman relationship to estimate permeability in anisotropic materials from NMR data, SEG, pp 2644-2648

Lucia.F.J, 2007, Carbonate Reservoir Characterization,second Edition, Bureau of Economic Geology University Station Box X Austin, Texas 78713,Chapter3.

Muate.R.E, Lyle.W.D, Sprunt.E.S, 1992, Improved Data-Analysis Method Determines Archie Parameters From Core Data, JPT,volume 44, pp 103-107.

ODP logging manual, Schlumberger, 2011, pp 230.

Pampuri.F, Rovellini.M, Fukusirani.T, 1998 ,Effective evaluation of fluid mobility from stoneley waves using full biot model inversion, SPE49132.pp 401-441.

Qobi.L, Kuijper.A, Tang.X, Strauss.J, 2001, Permeability determination from Stoneley waves in the Ara group carbonates Oman, GeoArabia, Vol.6, No4, pp 649-666,

Rafiee.S, Hashemi.A, Shahi.M , 2013, New cementation factor correlation in carbonate parts of south-west Iranian oil field, UDC 622.276, pp227-253.

Rasmus.J, 1983, A variable cementation exponent m for fracture carbonate. Log Anal, 24: 13-23

Regland.D.A, 2002, trend in cementation exponents (m) for carbonate pore systems, SPA, Vol.43, Issue 05.

Sharifi Galiuk.H, Saadat.K, Kazemzadeh.E, 2011, A case study of saturation exponent measurement on some carbonate cores at full reservoir condition, SCA, 42.pp 1-6.

Shuang.H, 2010, Determination methods and in fluencing factors of the bond index m of the complex reservoir, petroleum geophysics, volume 13, pp618

Sun.L.F, Pun.W, Milkereit.B, 2012, Velocity dispersion of stoneley waves as an insight in to permeability,74th EAGE conference and exabitation, SPE, 04

Tang.X, Patterson.D, Wu.L, 2010 ,Measurement of formation permeability using stoneley Stoneley waves from an LWD acoustic tool, Petrophysics, Vol.51,No.2, pp 66-74.

Tiab.D, Donaldson.E.C,2004, porosity and permeability. Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties, John Willey and sons,1:87-192.

www.wikipedia.com

Abstract

Determination of permeability from Stoneley waves is one of the continuous measurement methods all along the borehole without using experimental coefficients. Considering to the ability of DSI tools in high quality measurement of Stoneley waves, the goal of this study is estimating permeability using the Stoneley slowness and also finding a mathematical relation between the permeability and Stoneley slowness to estimate a continuous permeability log. In this study for calculating permeability in carbonate reservoir of Darkhovin oil field, Stoneley waves that measured by DSI tools and MDT data for calibrating the Stoneley waves with permeability are used.. First the petrophysical analysis is done. Then the Stoneley slowness in rock matrix by using mathematical relations and cross plotting Stoneley slowness versus porosity in nonpermeable zone, is determined. Before determining permeability, it is necessary to calculate the accordance factor between Stoneley slowness and permeability. After that, permeability is determined by using two methods. In first method, the concept of flow unit is used and in second method permeability is determined by using the mathematical relations between permeability, Stoneley slowness and porosity. Based on the results of the two methods, the second one is better.

Since the cementation factor is influenced by degree of heterogeneity, the large variation in matrix, texture and pore geometry, it does not have fixed value in carbonate rocks and should be determined with high accuracy. In this study the cementation factor as a continuous log is calculated by using Fock and Mann, Regland and Lucia relations and the results are compared. Among these methods, Lucia method's has more similarities with the core results. So by modifying this method, a new equation is developed to calculate the cementation factor in carbonate reservoirs. The results of the equation core's analysis have a good fitness. In addition the cementation exponent is determined by using density log and a good fitness with core's analysis is observed.

Keywords: Permeability, DSI, Stoneley, Cementation Factor, Carbonate Reservoir.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.S Thesis

**Quantitative Evaluation Of Permeability Using Acoustic Waves
And Determination Of Cementation Factor In A Carbonate
Reservoirs In Southern Iran**

Keyvan Khayer

Supervisor:

Ali Moradzadeh

Behzad Tokhmechi

June 2014