

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم



دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک - گرایش ژئوالکتریک

تخمین تراوایی مخازن نفتی از طریق بررسی امواج استونلی حاصل از
سوندهای تصویرگر موج برشی دو قطبی صوتی (DSI)

محقق

مریم هداوند

اساتید راهنما

دکتر علی مرادزاده

دکتر بهرام موحد

استاد مشاور

مهندس نادر ثابتی

تابستان ۱۳۸۵

تقدیر و تشکر

حال که به لطف و یاری خداوند این پایان نامه به پایان رسیده است بر خود لازم می دانم که از زحمات بی دریغ آقایان دکتر علی مراد زاده و بهرام موحد به عنوان اساتید راهنما و آقای مهندس نادر ثابتی به عنوان مشاور که با رهنمودهایشان مرا در انجام هر چه بهتر این پایان نامه یاری فرمودند، صمیمانه تشکر نمایم. همچنین از اساتید ارجمند دانشکده خصوصاً آقای دکتر رضا خالو کاکائی، ریاست محترم دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک و آقایان دکتر ایرج پیروز و دکتر فرامرز دولتی به دلیل کمک ها و راهنمایی های ارزشمندشان در طول تحصیل و در طی انجام این پایان نامه کمال تشکر و قدردانی را دارم.

من در انجام این پایان نامه، خود را مدیون همه دوستانم در مجموعه پتروفیزیک مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران می دانم که از هیچ گونه کمکی دریغ نکردند، ضمن تشکر و قدردانی از این دوستان از خداوند منان توفیق روزافزون برایشان خواستارم.

در پایان از کلیه دوستان که به هر نوعی از کمک و همراهی آنها بهره برده ام، خصوصاً آقایان

حسین شاه حسینی و علیرضا ترابی صمیمانه سپاسگزارم.

چکیده

تراوایی یکی از پارامترهای پتروفیزیکی مخازن نفت و گاز می باشد که میزان توانایی سنگ برای انتقال سیالات در فضاهای موجود در آن را نشان می دهد. اطلاعات مربوط به تراوایی برای تولید نفت و گاز بسیار ضروری بوده و به محض اینکه یک مخزن شناخته و ارزیابی می شود، از این پارامتر جهت بهینه کردن نحوه تکمیل و توسعه میدان استفاده می شود. تراوایی یکی از مشکل ترین و پیچیده ترین مقادیر جهت اندازه گیری در مخازن نفت و گاز می باشد. با توجه به مشکلات روشهای مستقیم و غیر مستقیم تعیین تراوایی، ضرورت مطالعه و بررسی روش های جدید کاملاً محسوس می باشد. محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی تنها روش موجود جهت ارائه یک اندازه گیری پیوسته تراوایی در سر تا سر گمانه اکتشافی می باشد که با توجه به توانمندیهای ابزار DSI در اندازه گیری و ثبت موج استونلی با کیفیت بالا، تخمین تراوایی از طریق موج استونلی به عنوان هدف این پایان نامه تعیین شد.

به منظور رسیدن به این هدف ابتدا بوسیله نرم افزار Geoframe داده های یک چاه نفتی را مورد ارزیابی پتروفیزیکی قرار داده و مدل پتروفیزیکی چاه مذکور را تعیین کردیم. بمنظور تخمین تراوایی از طریق موج استونلی با توجه به اینکه تغییرات کندشدگی موج استونلی بطور کیفی نشانگر تغییرات تراوایی می باشد، کندشدگی موج استونلی بدست آمده از ابزار DSI را با اطلاعات موجود از ابزار MDT کالیبره کرده و این رابطه کیفی را کمی کردیم. برای کالیبره کردن موارد تاثیرگذار بر تراوایی شامل سنگ شناسی و نوع سیال درون سازند در نظر گرفته شده و در رابطه کمی بدست آمده لحاظ شده است. با توجه به اینکه تراوایی از پیچش مسیرهای جریان و شکل کانالهای ارتباطی حفره ها تاثیر می

پذیرد و از آنجا که پارامتر پتروفیزیکی که این عوامل را در بر می گیرد پارامتر تخلخل است، بمنظور لحاظ کردن تاثیر این عوامل، رابطه بدست آمده را در تخلخل میانگین مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی ضرب کردیم. در نهایت بمنظور تطبیق داده های تراوایی محاسباتی و داده های تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT و با توجه به اینکه رابطه تخلخل و تراوایی یک رابطه نمایی می باشد توان تخلخل را بصورت فاکتور تجربی تعیین کردیم. مقایسه داده های تراوایی محاسباتی با داده های تراوایی اندازه گیری شده و روند تغییرات نگار تراوایی بدست آمده با سایر نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی همخوانی خوبی را بین داده های محاسباتی و اندازه گیری شده نشان می دهد که این موید صحت رابطه بدست آمده می باشد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
الف.....	تقدیر و تشکر.....
ب.....	چکیده.....
د.....	فهرست مطالب.....
ح.....	فهرست اشکال.....
ص.....	فهرست جداول.....

فصل اول : مقدمه

۲.....	۱-۱- چاه پیمایی.....
۳.....	۱-۲- روشهای مختلف نگاره گیری.....
۳.....	۱-۲-۱- نگاره گیری الکتریکی.....
۴.....	۱-۲-۲- نگاره گیری هسته ای.....
۶.....	۱-۲-۳- نگاره گیری صوتی.....
۷.....	۱-۳- امواج صوتی در چاه پیمایی.....
۹.....	۱-۳-۱- معادله امواج الاستیک در محیطهای پیوسته.....

عنوان	صفحه
۱-۳-۲- انتشار امواج الاستیک در محیطهای پیوسته.....	۱۳
۱-۳-۳- امواج سطحی.....	۱۴
۱-۴- معرفتی ابزار تصویرگر موج برشی دو قطبی صوتی DSI.....	۱۸
۱-۴-۱- انتشار امواج توسط منبع تک قطبی در ابزار DSI.....	۱۹
۲-۴-۱- انتشار امواج توسط منبع دو قطبی در ابزار DSI.....	۲۴
۳-۴-۱- مشخصات و خصوصیات ابزار.....	۲۶
۴-۴-۱- حالت های مختلف کارکرد ابزار.....	۲۹
۵-۴-۱- نحوه پردازش شکل موج توسط ابزار DSI.....	۳۲
۵-۱- نقش چاه پیمایی در صنعت نفت و گاز.....	۳۳
۶-۱- تراوایی و روش های تعیین آن.....	۳۴
۷-۱- سابقه مطالعات انجام شده.....	۴۲
۸-۱- ضرورت انجام مطالعه.....	۴۶
۹-۱- هدف و روش انجام مطالعه.....	۴۷
۱۰-۱- ساختار پایان نامه.....	۴۸

فصل دوم : نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی پتروفیزیکی

۵۱.....	۱-۲-۱- مقدمه.....
۵۳.....	۲-۲- نگارهای چاه پیمایی.....
۵۴.....	۱-۲-۲- نگار قطریاب.....
۵۷.....	۲-۲-۲- نگار صوتی.....
۶۱.....	۳-۲-۲- نگار فاکتور فوتوالکتریک.....
۶۵.....	۴-۲-۲- نگار پرتو گاما.....
۷۱.....	۵-۲-۲- نگار جرم مخصوص یا دانسیته سازند.....
۷۵.....	۶-۲-۲- نگار نوترون جبران شده (CNL) یا تخلخل ناشی از نوترون (NPHI).....
۸۱.....	۷-۲-۲- نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی.....

فصل سوم : ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A

۸۷.....	۱-۳- مقدمه.....
۹۰.....	۲-۳- تئوری و عملکرد برنامه Elan plus.....
۹۳.....	۳-۳- فرضیات موجود در برنامه Elane plus.....

فصل چهارم : تخمین تراوایی از طریق موج استونلی

۱۱۷.....	۴-۱- مقدمه.....
۱۱۷.....	۴-۲- کمی کردن رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی.....
۱۲۳.....	۴-۲-۱- سازند سروک.....
۱۵۱.....	۴-۲-۲- سازند بورگان.....
۱۶۸.....	۴-۳- جمع بندی مطالب رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی.....

فصل پنجم : جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۷۲.....	۵-۱- جمع بندی.....
۱۷۴.....	۵-۲- نتیجه گیری.....
۱۷۷.....	۵-۳- پیشنهادات.....
۱۸۰.....	فهرست منابع.....
۱۸۴.....	پیوست (الف).....
۱۹۴.....	پیوست (ب).....

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴.....	شکل ۱-۱- نگارگیری الکتریکی به منظور تعیین مقاومت ویژه الکتریکی زمین.....
۹.....	شکل ۱-۲- تنشهای عمل کننده بر یک المان حجم مستطیل شکل به ابعاد $\delta x, \delta y, \delta z$ را نشان می دهد.....
۲۰.....	شکل ۱-۳- شکست موج را در دیواره گمانه نشان می دهد.....
۲۱.....	شکل ۱-۴- نحوه تشکیل امواج سر را نشان می دهد.....
۲۲.....	شکل ۱-۵- انتشار و ثبت امواج را در سازند سخت توسط منبع تک قطبی نشان می دهد.....
۲۳.....	شکل ۱-۶- انتشار و ثبت امواج را در سازند نرم توسط منبع تک قطبی نشان می دهد.....
۲۴.....	شکل ۱-۷- نحوه انتشار و ثبت موج استونلی را نشان می دهد.....
۲۵.....	شکل ۱-۸- نحوه عملکرد یک منبع دو قطبی را نشان می دهد.....
۲۶.....	شکل ۱-۹- انتشار و ثبت امواج را در سازند توسط منبع دو قطبی نشان می دهد.....
۲۷.....	شکل ۱-۱۰- ابزار DSI را به صورت شماتیک نشان می دهد.....
۳۰.....	شکل ۱-۱۱- حالت های مختلف کارکرد ابزار DSI را نشان می دهد.....
۳۱.....	شکل ۱-۱۲- محدوده فرکانسی موج های تک قطبی در حالت های مختلف کارکرد ابزار نشان می دهد.....
۴۰.....	شکل ۱-۱۳- افت انرژی و میرایی موج استونلی را در برخورد با ناحیه تراوا یا دارای شکستگی.....
۴۱.....	شکل ۱-۱۴- ارزیابی شکستگیها با استفاده از نگارهای VDL را نشان می دهد.....

- شکل ۱-۲-الف- نگار قطریاب است که تغییرات قطر چاه را در سازند سروک در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۵۵
- شکل ۱-۲-ب- نگار قطریاب است که تغییرات قطر چاه را در سازند بورگان در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۵۶
- شکل ۲-۲-الف- نگار صوتی است که تغییرات کندشدگی موج فشاری ، برشی و استونلی مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۵۹
- شکل ۲-۲-ب- نگار صوتی است که تغییرات کندشدگی موج فشاری ، برشی و استونلی مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۶۰
- شکل ۳-۲-الف- نگار فاکتور فوتوالکتریک است که تغییرات Pef مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۶۳
- شکل ۳-۲-ب- نگار فاکتور فوتوالکتریک است که تغییرات Pef مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۶۴
- شکل ۴-۲-الف- نگار پرتو گاما است که تغییرات CGR, SGR مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۶۹
- شکل ۴-۲-ب- نگار پرتو گاما است که تغییرات CGR, SGR مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۷۰

شکل ۲-۵ - الف- نگار جرم مخصوص است که تغییرات (RHOB) مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۷۳

شکل ۲-۵- ب- نگار جرم مخصوص است که تغییرات (RHOB) مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۷۴

شکل ۲-۶- الف- نگار تخلخل نوترون است که تغییرات (NPHI) مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۷۶

شکل ۲-۶- ب- نگار تخلخل نوترون است که تغییرات (NPHI) مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۷۷

شکل ۲-۶- ج- نگار ρ_b را در سمت راست نگاره NPHI نشان می دهد که نشان دهنده حضور دولومیت است..... ۷۹

شکل ۲-۶- د- نگار ρ_b را منطبق بر نگاره NPHI نشان می دهد که نشان دهنده حضور سنگ آهک است..... ۷۹

شکل ۲-۶- ه- نگار ρ_b را در سمت چپ نگاره NPHI نشان می دهد که نشان دهنده حضور ماسه سنگ است..... ۸۰

شکل ۲-۷- الف- نگار مقاومت ویژه الکتریکی است که تغییرات (LLD,LLS,RXO) مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۸۴

- شکل ۲-۷-ب- نگار مقاومت ویژه الکتریکی است که تغییرات (LLD,LLS,RXO) مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهد..... ۸۵
- شکل ۳-۱- دیاگرام مثلثی که رابطه بین اطلاعات را در برنامه Elan Plus نشان می دهد..... ۹۰
- شکل ۳-۲- نحوه عملکرد سیستم معادلات معین را نشان می دهد..... ۹۹
- شکل ۳-۳- نحوه عملکرد سیستم معادلات نامعین را نشان می دهد..... ۱۰۰
- شکل ۳-۴- تعیین نقاط قابل اعتماد و با وزن بیشتر را نشان می دهد..... ۱۰۱
- شکل ۳-۵- پنجره Elan plus را در نرم افزار Geoframe نشان می دهد..... ۱۰۲
- شکل ۳-۶- تعیین معادلات، حجم ها و قیود محدود کننده در برنامه Elanplus..... ۱۰۴
- شکل ۳-۷- نحوه ترکیب دو مدل را در مدل Elan plus نشان می دهد..... ۱۱۱
- شکل ۳-۸- منطق ترکیب دو مدل پتروفیزیکی محاسبه شده را نشان می دهد..... ۱۱۲
- شکل ۳-۹- راهنمای خروجی نرم افزار Geo frame را نشان می دهد..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۰- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را که توسط نرم افزار Geo frame انجام شده از ارتفاع ۲۳۵۰ متر تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر نشان می دهد..... ۱۱۵
- شکل ۴-۱- روند تغییرات کندشدگی موج استونلی و نشانگر تراوایی را نشان می دهد..... ۱۲۰
- شکل ۴-۲- داده های تراوایی حاصل از MDT را بر روی نگاره قطریاب و CGR در سازند سروک نشان می دهد..... ۱۲۵

شکل ۴-۳- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT در سازند سروک

نشان می دهد.....۱۲۷

شکل ۴-۴- الف- زون نفتی سازند سروک را که در بازه عمقی (۲۸۰۰m - ۲۶۹۰m) قرار دارد نشان می

دهد.....۱۳۰

شکل ۴-۴- ب- زون های آبی سازند سروک را که در بازه های عمقی (۲۹۹۰m - ۲۹۵۹ m) و

(۳۱۰۰m - ۳۲۲۰m) قرار دارند نشان می دهد.....۱۳۱

شکل ۴-۵- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT در زون نفتی

سازند سروک در بازه (۲۷۹۰m - ۲۶۹۰m) نشان می دهد.....۱۳۲

شکل ۴-۶- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT در زون آبی

سازند سروک نشان می دهد.....۱۳۴

شکل ۴-۷- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را نسبت به تخلخل نوترونی (NPHI) نشان می دهد

.....۱۳۷

شکل ۴-۸- خط آبی، نمودار تراوایی محاسبه شده در سازند سروک را نشان می دهد.....۱۴۰

شکل ۴-۹- تطابق بین تراوایی محاسبه شده و تراوایی بدست آمده از ابزار MDT را در سازند سروک

نشان می دهد.....۱۴۳

شکل ۴-۱۰- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره های قطر یاب و پرتو گاما نشان می دهد..... ۱۴۶

شکل ۴-۱۱- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره های RHOB,NPHI نشان می دهد..... ۱۴۷

شکل ۴-۱۲- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگار مقاومت ویژه نشان می دهد..... ۱۴۸

شکل ۴-۱۳- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگار صوتی نشان می دهد..... ۱۴۹

شکل ۴-۱۴- مقایسه تراوایی محاسبه شده با تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT را در سازند سروک نشان می دهد..... ۱۵۰

شکل ۴-۱۵- داده های تراوایی حاصل از MDT را بر روی نگار قطریاب و CGR در سازند بورگان نشان می دهد..... ۱۵۲

شکل ۴-۱۶- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT برای نقاطی که ماسه سنگ خالص داریم نشان می دهد..... ۱۵۵

شکل ۴-۱۷- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تخلخل ناشی از نوترون (NPHI) نشان می دهد..... ۱۵۷

شکل ۴-۱۸- نمودار تراوایی محاسبه شده در سازند بورگان را نشان می دهد..... ۱۵۹

عنوان	صفحه
شکل ۴-۱۹- تطابق بین تراوایی محاسبه شده و تراوایی بدست آمده از ابزار MDT را در سازند بورگان نشان می دهد.....	۱۶۱
شکل ۴-۲۰- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره های قطر یاب و پرتو گاما نشان می دهد.....	۱۶۳
شکل ۴-۲۱- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره های RHOB,NPHI نشان می دهد.....	۱۶۴
شکل ۴-۲۲- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگار مقاومت ویژه نشان می دهد.....	۱۶۵
شکل ۴-۲۳- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگار صوتی نشان می دهد.....	۱۶۶
شکل ۴-۲۴- مقایسه تراوایی محاسبه شده با تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT را در سازند بورگان نشان می دهد.....	۱۶۷
شکل الف-۱- تنشهای عمل کننده بر یک المان حجم مستطیل شکل به ابعاد $\delta x, \delta y, \delta z$	۱۸۵
شکل الف-۲- مستطیل PQRS را به ابعاد $\delta Y, \delta X$ در صفحه xy نشان می دهد.....	۱۸۶
شکل ب-۱- نمودار متقاطع (CPIC) Density & Neutron که بمنظور تصحیح تخلخل و تعیین سنگ شناسی بکار رفته است را نشان می دهد.....	۱۹۵
شکل ب-۲- نمودار متقاطع (CP17) Density&Photoelectric Factor که بمنظور تصحیح تخلخل و تعیین سنگ شناسی بکار رفته است را نشان می دهد.....	۱۹۶

- شکل ب-۳- نمودار متقاطع (CP2AF0) Slowness & Neutron Porosity که بمنظور تصحیح تخلخل و تعیین سنگ شناسی بکاررفته است را نشان می دهد.....۱۹۷
- شکل ب-۴- نمودار متقاطع (CP18A) Photoelectric Factor & Potassium که بمنظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل بکاررفته است را نشان می دهد.....۱۹۸
- شکل ب-۵- نمودار متقاطع (CP18B) Photoelectric Factor & Thorium and Potassium Ratio که بمنظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل بکاررفته است را نشان می دهد.....۱۹۹
- شکل ب-۶- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که بمنظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل بکاررفته است را نشان می دهد.....۲۰۰
- شکل ب-۷- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که بمنظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل در سازند ایلام و سازند های قبل از آن بکاررفته است را نشان می دهد.....۲۰۱
- شکل ب-۸- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که بمنظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل در سازند سروک و کژدمی (سازند های کربناته) بکاررفته است را نشان می دهد.....۲۰۲
- شکل ب-۹- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که به منظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل در سازند بورگان بکار رفته است را نشان می دهد.....۲۰۳
- شکل ب-۱۰- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که به منظور تعیین سنگ شناسی و نوع شیل در قسمت پایینی گدوان بکار رفته است را نشان می دهد.....۲۰۴

شکل ب- ۱۱- نمودار متقاطع V_p/V_s & DTCO که به منظور تشخیص حضور گاز در سازند بکار

گرفته شده است را نشان می دهد..... ۲۰۶

شکل ب- ۱۲- راهنمای خروجی نرم افزار Geo frame را که ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A می باشد

نشان می دهد..... ۲۰۷

شکل ب- ۱۳- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۳۵۰ متر تا ارتفاع ۲۵۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۰۸

شکل ب- ۱۴- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۵۵۰ متر تا ارتفاع ۲۷۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۰۹

شکل ب- ۱۵- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۷۵۰ متر تا ارتفاع ۲۹۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۱۰

شکل ب- ۱۶- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۹۵۰ متر تا ارتفاع ۳۱۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۱۱

شکل ب- ۱۷- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۱۵۰ متر تا ارتفاع ۳۳۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۱۲

شکل ب- ۱۸- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۳۵۰ متر تا ارتفاع ۳۵۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۱۳

عنوان

صفحه

شکل ب- ۱۹- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۵۵۰ متر تا ارتفاع ۳۷۵۰ متر نشان

می دهد..... ۲۱۴

شکل ب- ۲۰- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۷۵۰ متر تا ارتفاع ۳۸۰۰ متر نشان

می دهد..... ۲۱۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- محدوده فرکانسی امواج در حالت‌های مختلف کارکرد ابزار را نمایش می دهد.....	۳۲
جدول ۱-۲- عمق شروع هر یک از سازندهای نفتی A را نشان می دهد.....	۵۲
جدول ۲-۲- سرعت و زمان سیر موج در سازندهای مختلف را نشان می دهد.....	۵۸
جدول ب- ۱- داده های تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT در سازند سروک.....	۲۱۶
جدول ب- ۲- داده های تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT در سازند بورگان.....	۲۱۷

فصل اول

مقدمه

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- چاه پیمایی

چاه پیمایی^۱ یکی از روشهای موجود در اکتشافات زیرزمینی می باشد که با استفاده از گمانه های اکتشافی و ابزارهای مربوطه، به اندازه گیری و ثبت خواص فیزیکی سازندهای اطراف گمانه و سیالات موجود در آنها می پردازد. چاه پیمایی شامل روشهای متنوعی است که در اکتشافات مواد معدنی، نفت و گاز، ذخایر آب زیرزمینی، اکتشافات ژئوتکنیکی و اهداف زمین شناسی مورد استفاده قرار می گیرد. در تمامی روشهای چاه پیمایی، تغییرات خواص فیزیکی سازندهای اطراف چاه بصورت منحنی نسبت به عمق یا زمان رسم می شوند. به این منحنی ها، نگارهای^۲ چاه پیمایی گویند که با بررسی این نمودارها به ارزیابی سازندهای اطراف گمانه های اکتشافی و سیالات موجود در آنها می پردازند. از آنجا که نمودارهای چاه پیمایی تغییرات خواص فیزیکی سازندهای زیر سطحی را نسبت به عمق بطور پیوسته نشان می دهند، لذا عملیات چاه پیمایی می تواند در کنار دیگر اطلاعات موجود، نقش بسیار مهمی را در تکمیل

1-Well-iogging

2-Logs

اکتشافات یا رفع ابهامات ناشی از نبود مغزه های حفاری ایفا نماید[هیرست و همکاران^۱، ۲۰۰۲؛ مراد زاده و قوامی، ۱۳۸۰].

چاه پیمایی از دهه ۱۹۲۰ وارد صنعت نفت و گاز شد و تعیین پارامترهایی از قبیل نوع سازند و سیال درون آن، شیب سازند، تخلخل، تراوایی و دیگر فاکتورهای اساسی، چاه پیمایی را به یک علم زیربنایی و ظریف تبدیل کرد[تلفورد و همکاران^۲، ۱۹۹۰].

از آنجا که هدف از نگارگیری^۳ در چاه پیمایی، اندازه گیری و ثبت خواص فیزیکی مختلف سازندهای اطراف گمانه های اکتشافی می باشد لذا به منظور تعیین این خواص مختلف نگارگیری با روش های متفاوتی انجام می شود [www.ipt.ntun.no].

۱-۲- روشهای مختلف نگارگیری

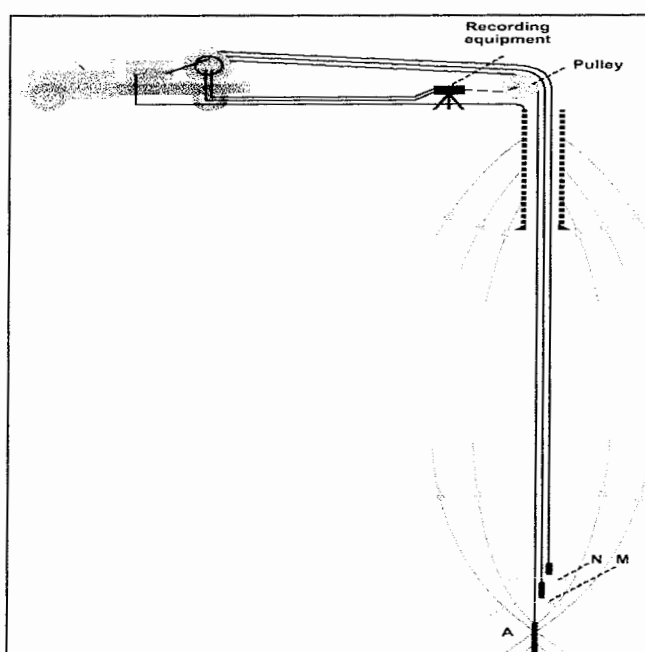
بطور کلی نگارگیری به سه روش عمده انجام می شود.

۱-۲-۱- نگارگیری الکتریکی^۴

نگارگیری الکتریکی توسط کنراد شلومبرژه^۵ پایه گذاری شد. روش کار ابزار نگارگیری الکتریکی بسیار ساده است که با روشهای مختلف صورت می گیرد. در یکی از این روشها که بنام روش جانبی^۶ نام دارد، سه الکتروود N,M,A توسط سه سیم عایق به داخل چاه رانده می شوند. جریان از طریق الکتروود A وارد گل حفاری شده و سپس به داخل سازند نفوذ

1-Hearts et al
2-Telford et al
3-Logging
4-Electrical – logging
5-Conrad-schlumberger
6-Lateral

می کند. با اندازه گیری اختلاف پتانسیل بین N, M و شدت جریان تزریقی، مقاومت ظاهری سازند محاسبه می شود و بدین ترتیب نگاری پیوسته از تغییرات مقاومت ویژه سازند در اعماق مختلف بدست می آید. شکل (۱-۱)



شکل ۱-۱- نگارگری الکتریکی به منظور تعیین مقاومت ویژه الکتریکی زمین [www.ipt.ntnu.no]

۱-۲-۲- نگارگری هسته ای^۱

نگارگری با استفاده از پرتوهای منابع رادیواکتیو از سال ۱۹۴۰ آغاز شد. اساس روش

های مختلف نگارگری هسته ای بر خواص رادیواکتیویته طبیعی سنگ ها و یا پرتوهای آنها

1-Nuclear- logging

توسط منابع مصنوعی رادیواکتیو و ثبت پرتوهای گسیل شده از آنها استوار است. روشهای

مرسوم رادیواکتیویته به منظور تهیه نگارهای چاه پیمایی به روش هسته ای عبارتند از:

- اندازه گیری تشعشعات طبیعی پرتو گاما

- بمباران سازند توسط اشعه گاما و بررسی تشعشعات حاصله

- بمباران سازند توسط اشعه نوترون و بررسی تشعشعات حاصله

از آنجا که بررسی آثار رادیواکتیویته در سازندهای اطراف گمانه حتی با وجود موانع

مختلف نیز میسر می باشد، بنابراین بعضی از محدودیت های روش های دیگر مانند وجود لوله

جداری^۱، هوا یا گل مخلوط با روغن در چاه در اینجا وجود ندارد و این از دلایل عمده ایجاد و

پیشرفت نگارگیری هسته ای بود [تلفورد و همکاران، ۱۹۹۰؛ مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰].

یکی از بزرگترین پیشرفت ها در نگارگیری هسته ای که در اوایل دهه ۱۹۶۰ ایجاد شد

ولی چندین دهه بعد مورد استفاده قرار گرفت نگارگیری تشدید مغناطیسی هسته^۲ (NMR)

می باشد. اساس کار این روش پلاریزاسیون اتمهای هیدروژن آب، نفت و گاز داخل سازندهای

اطراف گمانه اکتشافی بوسیله میدان مغناطیسی می باشد. مزیت این روش عمق تجسس بالا و

اندازه گیری و ثبت داده های بیشتر می باشد [www.ipt.ntun.no].

1-Casing

2-Nuclear – Magnetic – Resonance (NMR)

۱-۲-۳- نگارگیری صوتی^۱

در سال ۱۹۴۶ اولین نگار صوتی در چاه پیمایی معرفی شد. اساس اندازه گیری صوتی، ثبت زمان طی شده^۲ امواج صوتی در واحد طول (یک فوت) سازندهای واقع در اعماق مختلف است. بنابراین نگارهای صوتی بازتابی از اندازه گیری مداوم سرعت صوت در سازندها می باشند. در ابزارهای استاندارد و قدیمی، زمان گذر موج از داخل سازندهای اطراف گمانه های اکتشافی اندازه گیری و ثبت می شد اما در ابزارهای جدید میزان کند شدگی^۳ امواج مورد بررسی قرار می گیرد. کندشدگی متناسب با عکس سرعت امواج صوتی عبوری از داخل سازندهای اطراف گمانه و مشابه همان زمان گذر موج اندازه گیری شده بوسیله ابزارهای استاندارد و قدیمی است. تمامی ابزارهای استاندارد و قدیمی صوتی قابلیت ثبت و اندازه گیری امواج فشاری^۴، برشی^۵ و استونلی^۶ را در سازندهای سخت دارند ولی این ابزارها قابلیت ثبت امواج برشی را در سازندهای نرم ندارند. جهت برطرف کردن این نقیصه و همچنین نیاز مبرم به اندازه گیری موج برشی در سازندهای نرم به دلیل کاربرد وسیع آن، ابزار جدیدتری با تکنولوژی مدرن ساخته شد که می تواند هر سه نوع موج، اعم از فشاری، برشی و استونلی را در همه سازندها با کیفیت بالا اندازه گیری کند.

-
- 1-Acoustic or sonic logging
 - 2-Interval Transit Time(ITT)
 - 3-Slowness
 - 4-Compressional waves
 - 5-Shear waves
 - 6-Stoneley waves

سازند سریع یا سخت^۱، سازندی است که در آن سرعت موج برشی بیشتر از سرعت موج فشاری سیال گمانه و سازند آهسته یا نرم^۲، سازندی است که سرعت موج برشی در آن کمتر از سرعت موج فشاری سیال گمانه می باشد [کاو^۳، ۲۰۰۴].

ابزار تصویرگر موج برشی دوقطبی صوتی^۴ (DSI) باتلفیق پیشرفته ترین روش های اندازه گیری صوت به صورت تک قطبی و دوقطبی شرایطی را فراهم آورده که هم اکنون ارائه کننده بهترین مقادیر موجود جهت اندازه گیری امواج فشاری، برشی و استونلی می باشد. با توجه به اینکه هدف از انجام این پایان نامه تخمین تراوایی از طریق موج استونلی بدست آمده از ابزار DSI می باشد لذا بررسی امواج صوتی در چاه پیمایی به منظور شناخت فیزیک حاکم بر مسئله و آشنایی با ابزار DSI و نحوه عملکرد این ابزار در اندازه گیری و ثبت امواج مختلف صوتی لازم و ضروری می باشد. بنابر این در مرحله بعد به بررسی امواج صوتی در چاه پیمایی می پردازیم.

۳-۱- امواج صوتی در چاه پیمایی

محیطی که بعد از تغییر شکل بتواند دوباره به حالت اولیه خود باز گردد محیط الاستیک نامیده می شود. هر چند که زمین محیط الاستیک نمی باشد ولی غالباً در جابجایی های کوچک می توان آن را الاستیک در نظر گرفت. از آنجا که در نگارگری صوتی از طریق انتشار

1-Fast or hard formation

2-Slow or soft formation

3- Cao

4-Dipole Shear Sonic Imager (DSI)

امواج صوتی جابجایی هایی بسیار کوچک در زمین ایجاد می شود لذا غالب پدیده ها در این روش با استفاده از تئوری امواج الاستیک که در محیطهای الاستیک کاربرد دارد به صورت ریاضی و فیزیک شهودی قابل توصیف می باشند. امواج الاستیک به دو گروه امواج درونی یا حجمی^۱ و امواج سطحی طبقه بندی می شود.

- امواج درونی

این امواج در درون محیط های الاستیک منتشر شده و شامل امواج فشاری و برشی می باشند. این امواج به دلیل کاربرد وسیع آنها در اکتشاف ذخایر هیدروکربوری از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند.

- امواج سطحی

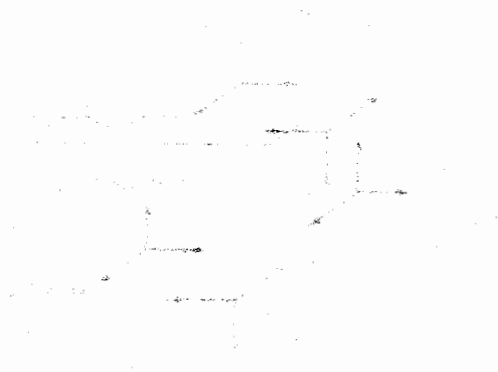
این امواج در سطح مشترک محیطهای الاستیک منتشر شده و شامل امواج ری لی^۲، استونلی و لاو^۳ می باشند. امواج لاو در چاه پیمایی کاربرد چندانی ندارند و عمده اهمیت آن در بررسی های مربوط به زلزله می باشد [لیو و جانسون^۴، ۱۹۹۶].

با توجه به موارد فوق، بمنظور بررسی فیزیک امواج صوتی در چاه پیمایی، معادله امواج الاستیک در محیطهای پیوسته مورد بررسی قرار می گیرد که مباحث پایه در این رابطه در پیوست - الف گنجانده شده است.

-
- 1- Body waves
 - 2-Rayleigh wave
 - 3-Love wave
 - 4-Lio and Johnson

۱-۳-۱- معادله امواج الاستیک در محیطهای پیوسته

هر گاه میدان تنش اعمال شده به المان حجم، شکل (۱-۲)، همگن و همسانگرد باشد برآیند نیروهای خارجی وارد بر جسم صفر خواهد بود. اما چنانچه یک تنش خارجی اعمال شود دیگر برآیند نیروهای خارجی وارد بر جسم صفر نخواهد شد و این نیروهای خارجی تعادل جسم را بر هم می زنند [هیرست و همکاران، ۲۰۰۲؛ شیمز^۱، ۱۹۸۲].



شکل ۱-۲- تنشهای عمل کننده بر یک المان حجم مستطیل شکل به ابعاد dx , dy , dz را نشان می دهد [هیرست و همکاران، ۲۰۰۲]

همانطور که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است، مولفه های تنش در یک وجه از المان

حجم برابر σ_{xx} ، σ_{yy} ، σ_{zz} و دروجه مقابل آن برابر با

$$\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \delta_x, \sigma_{yy} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} \delta_y, \sigma_{zz} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \delta_z \text{ می باشد.}$$

$$\begin{cases} \sigma_{xx} & \rightarrow \sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \delta_x \\ \sigma_{yx} & \rightarrow \sigma_{yx} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} \delta_x \\ \sigma_{zx} & \rightarrow \sigma_{zx} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} \delta_x \end{cases} \quad (1-1)$$

با یک نگاه اجمالی به معادلات (۱-۱) متوجه خواهیم شد که مجموعه نیروهای نامتعادل

کننده جسم در راستای محور x ها عبارتست از $\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \delta_x$ ، $\frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} \delta_x$ ، $\frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} \delta_x$ ، مشابه همین

عبارات برای وجوه دیگر نیز وجود خواهد داشت.

بنابراین برآیند نیروهای خارجی وارد بر جسم در راستای محور x برابر است با:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} \quad (2-1)$$

چنانچه بردار جابجایی در فضا را برای المان حجم مستطیل شکل با U نشان دهیم:

$$\vec{U} = U(u(\vec{x}, t), w(\vec{x}, t), \xi(\vec{x}, t)) \quad (3-1)$$

آنگاه بر طبق قانون دوم نیوتن خواهیم داشت:

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} \quad (4-1)$$

با استفاده از قانون هوک برای تبدیل تنش به کرنش و استفاده از بردار جابجایی در فضا،

U، در عبارات کرنش خواهیم داشت:

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \nabla \Delta + \mu \nabla^2 U \quad (5-1)$$

چنانچه از طرفین معادله (5-1) دیورژانس گرفته شود:

$$\nabla \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla \cdot (\nabla \Delta) + \frac{\mu}{\rho} \nabla \cdot (\nabla^2 U)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} (\nabla \cdot U) = \left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla \cdot (\nabla \Delta) + \frac{\mu}{\rho} \nabla \cdot (\nabla \cdot \nabla U)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \Delta = \left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla^2 \Delta + \frac{\mu}{\rho} \nabla \cdot (\nabla (\nabla \cdot U))$$

(5-1-الف)

$$= \left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla^2 \Delta + \frac{\mu}{\rho} \nabla \cdot (\nabla \Delta)$$

$$= \left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla^2 \Delta + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \Delta$$

$$= \left(\frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right) \nabla^2 \Delta$$

در رابطه بالا ρ چگالی، λ ثابت لامه و μ مدول برشی است.

حال چنانچه از طرفین معادله (5-1) کرل گرفته شود خواهیم داشت:

$$\nabla \times \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \nabla \times \left(\left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla \Delta + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 U \right)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} (\nabla \times U) = \left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} \right) \nabla \times (\nabla \Delta) + \frac{\mu}{\rho} \nabla \times (\nabla \cdot \nabla U)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \theta_i = \frac{\mu}{\rho} \nabla \times (\nabla \cdot \nabla U)$$

(5-1-ب)

$$= \frac{\mu}{\rho} \nabla \cdot \nabla (\nabla \times U)$$

$$= \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \theta_i \quad i = x, y, z$$

در رابطه بالا زاویه θ_i چرخش جسم در فضا را نشان می دهد.

معادلات (۵-۱-الف) و (۵-۱-ب) حالت‌های خاصی از فرم عمومی معادله موج

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = v^2 \nabla^2 \psi, \text{ می باشند.}$$

• موج فشاری

معادله (۵-۱-الف) فرم عمومی معادله موجی است که در آن میزان چرخش صفر

می باشد. این موج، موج فشاری، بی چرخش^۱، طولی^۲ و یا موج P نامیده می شود. موج فشاری

جز امواج درونی است که در آن راستای انتشار بر امتداد ارتعاش منطبق است. همانطور که در

معادله این موج مشاهده می شود سرعت موج فشاری به صورت زیر خواهد بود:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (۶-۱)$$

• موج برشی

معادله (۵-۱-ب) فرم عمومی معادله موجی است که در آن میزان انبساط صفر می باشد.

این موج، موج برشی، موج عرضی^۳ و یا موج S نامیده می شود. موج برشی جز امواج حجمی

است که در آن راستای انتشار بر امتداد ارتعاش عمود است. همانطور که در معادله این موج

مشاهده می شود سرعت موج برشی بصورت زیر خواهد بود:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (۷-۱)$$

-
- 1- Irrotational Wave
 - 2- Longitudinal wave
 - 3- Transversal wave

۱-۳-۲- انتشار امواج الاستیک در محیطهای پیوسته

هنگامی که موج الاستیک در محیط منتشر می شود همزمان هم موج فشاری و هم موج برشی در محیط ایجاد شده و انتشار پیدا می کنند. برای بررسی این موضوع یک موج تخت را که در جهت x انتشار پیدا می کند در نظر می گیریم. در این صورت جابجایی های u, w, ξ فقط تابعی از t, x خواهند بود.

$$U = U(u(x,t), w(x,t), \xi(x,t)) \quad (۸-۱)$$

با جایگزینی رابطه بالا در معادله (۵-۱) و تفکیک متغیرها خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}\right) \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (۹-۱)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (۱۰-۱-الف)$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (۱۰-۱-ب)$$

حال با بررسی سه معادله اخیر به نکات ارزشمندی حاصل خواهند شد::

- معادله (۹-۱)، معادله موجی است که در آن راستای انتشار بر امتداد ارتعاش منطبق است و سرعت آن برابر $\sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$ می باشد. این همان موج P است که در محیط انتشار یافته است.

- معادله (۱۰-۱-الف)، معادله موجی است که در آن راستای انتشار بر امتداد ارتعاش عمود است و سرعت آن برابر $\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ می باشد. این همان موج S می باشد که

در محیط انتشار یافته است. از آنجا که موج S در این حالت در صفحه انتشار موج

تخت حرکت می کند به آن S_H یا موج برشی افقی نیز می گویند.

• معادله (۱-۱۰-ب)، معادله موجی است که در آن راستای انتشار بر امتداد ارتعاش

عمود است و سرعت آن برابر با $\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ می باشد. این همان موج S می باشد که در

محیط انتشار یافته است. از آنجا که موج S در این حالت در راستایی عمود بر صفحه

انتشار موج تخت حرکت می کند به آن S_V یا موج برشی عمودی نیز می گویند.

• همانطور که در روابط (۶-۱) و (۷-۱) مشاهده می شود سرعت موج فشاری همواره

از سرعت موج برشی بیشتر است لذا در نگارگیری های صوتی همواره موج فشاری

قبل از موج برشی ثبت می شود.

• با توجه به اندازه سرعت موج برشی و از آنجایی که مدول برشی، μ ، در سیالات

صفر می باشد لذا موج برشی در سیالات انتشار پیدا نمی کند.

۱-۳-۳- امواج سطحی

اگر یک موج به موازات سطح یک محیط الاستیک و یا نزدیک به آن حرکت کند موج

سطحی نامیده می شود. در یک موج سطحی تنش و کرنش در سرتاسر سطح محیط الاستیک

پیوسته می باشد و در یک سطح آزاد تنش و کرنش باید صفر باشد. چنانچه فرم عمومی

معادله موج، $\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = v^2 \nabla^2 \psi$ ، با این شرایط مرزی حل شود موج سطحی که ری لی نامیده

می شود بدست می آید. در حقیقت از تداخل امواج S_V, P در امتداد فصل مشترک دو محیط

الاستیک امواج ری لی حاصل می شود. سرعت امواج ری لی، V_r ، اندکی کمتر از سرعت موج برشی می باشد [جرزاک و سیگمن، ۲۰۰۴].

معادلات مربوط به جابجایی امواج ری لی در راستای x عبارتند از [جرزاک و

سیگمن، ۲۰۰۴]:

(۱۱-۱ الف)

$$u = A \frac{w}{V_r} \left\{ \exp \left[-zw \left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_p^2} \right)^{1/2} \right] - 2 \left[\left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_p^2} \right) \left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_s^2} \right) \right]^{1/2} \right. \\ \left. \times \left(\frac{2}{V_r^2} - \frac{1}{V_s^2} \right)^{-1} \exp \left[-zw \left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_s^2} \right)^{1/2} \right] \right\} \text{Sin} w \left(t - \frac{x}{V_r} \right)$$

این همان جابجایی موج P است که در راستای انتشار موج می باشد.

(۱۱-۱ ب)

$$\xi = -Aw \left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_p^2} \right)^{1/2} \left\{ \exp \left[-zw \left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_p^2} \right)^{1/2} \right] - \frac{2}{V_r^2} \times \left(\frac{2}{V_r^2} - \frac{1}{V_s^2} \right)^{-1} \right. \\ \left. \exp \left[-zw \left(\frac{1}{V_r^2} - \frac{1}{V_s^2} \right)^{1/2} \right] \right\} \text{Cos} w \left(t - \frac{x}{V_r} \right)$$

این همان جابجایی موج S_v است که عمود بر راستای انتشار موج می باشد.

با توجه به اینکه معادله پارامتری یک بیضی به فرم زیر است:

$$\xi = C_1 \text{Sin} \eta \quad \xi_2 = C_2 \text{Cos} \eta \quad (12-1)$$

با مقایسه معادلات (۱-۱۱) و (۱-۱۲) مشخص می شود که مسیر حرکت امواج ری لی یک بیضی می باشد.

موج سطحی دیگری که مهمتر و پرکاربردتر از امواج ری لی در چاه پیمایی می باشد امواج استونلی نام دارد. امواج استونلی امواج سطحی هستند که در فصل مشترک بین یک محیط مایع و یک محیط جامد الاستیک انتشار پیدا می کنند و دامنه آنها به صورت تابع نمایی (exp) تغییر می کند. امواج استونلی با فرکانس بسیار پایین را امواج لوله ای^۱ می نامند. با توجه به اینکه امواج استونلی در دیواره چاه انتشار پیدا می کنند، لذا شرایط مرزی حاکم بر معادله موج همان شرایط حاکم بر دیواره گمانه می باشد. بدلیل وجود شکستگی ها، نواحی تراوا و دیگر شرایط غیر قابل پیش بینی در دیواره گمانه میزان ضخامت گل حفاری و عمق ناحیه مورد تهاجم در سازندهای اطراف گمانه همواره متغیر می باشد و این امر باعث می شود که شرایط مرزی مشخصی برای حل معادله موج استونلی وجود نداشته باشد. به همین دلیل بررسی امواج سطحی در چاه پیمایی بوسیله روشهای عددی، مدل سازی و یا روشهای تقریب ریاضی صورت می گیرد [جرزاک و سیگمن، ۲۰۰۴].

چنانچه گمانه اکتشافی را به صورت یک استوانه با محور تقارن z در نظر بگیریم و با فرض اینکه دیواره گمانه یک محیط همسانگرد می باشد که میزان جابجایی آن در راستای

1- Tube-wave

محور x, y به ترتیب برابر w, u بوده آنگاه بر طبق اصل بقاء اندازه حرکت خطی خواهیم داشت]

جرزاک و سیگمن، ۲۰۰۴]:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + \rho \omega^2 u = 0 \quad (1-13 \text{ الف})$$

$$\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho \omega^2 w = 0 \quad (1-13 \text{ ب})$$

در معادلات بالا، σ_{xx} ، σ_{zz} تنش های نرمال، σ_{xz} تنش برشی و ω سرعت زاویه ای می باشند.

با توجه به قانون هوک، تنش های نرمال و برشی را به فرم زیر می توان نوشت [هیرست و

همکاران، ۲۰۰۲]:

$$\sigma_{xx} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1-14 \text{ الف})$$

$$\sigma_{zz} = \lambda \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1-14 \text{ ب})$$

$$\sigma_{xz} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} + \mu \frac{\partial w}{\partial x} \quad (1-14 \text{ ج})$$

با جایگزاری روابط (۱-۱۴) در معادلات (۱-۱۳ الف) و (۱-۱۳ ب) خواهیم داشت:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \rho \omega^2 u + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} + \frac{\partial \mu}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (1-15 \text{ الف})$$

$$\mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left((\lambda + 2\mu) \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \rho \omega^2 w + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} + \frac{\partial \lambda}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (1-15 \text{ ب})$$

با استفاده از ماتریس های مکانیکی معادلات (۱-۱۵) را به شکل زیر می توان نمایش داد:

$$\left(\tilde{L} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \tilde{M} \right) \begin{pmatrix} u \\ w \end{pmatrix} = \tilde{N} \frac{\partial}{\partial x} \begin{pmatrix} u \\ w \end{pmatrix} \quad (1-16)$$

\tilde{N} و \tilde{M} عملگرهای عمق^۱ نامیده می شوند.

معادله (۱-۱۶) معادله انتشار امواج سطحی در داخل گمانه های اکتشافی بوده که از طریق روشهای عددی، تقریب های ریاضی و با اعمال شرایط مرزی مربوطه قابل حل می باشد.

۴-۱- معرفی ابزار تصویرگر موج برشی دو قطبی صوتی، DSI

ابزار DSI با تلفیق پیشرفته ترین روش های اندازه گیری صوت به صورت تک قطبی و دوقطبی شرایطی را فراهم آورده که هم اکنون ارائه کننده بهترین مقادیر موجود جهت اندازه گیری امواج فشاری، برشی و استونلی می باشد.

به دلیل محدودیت های فیزیکی موجود در گمانه های اکتشافی، ابزارهای تک قطبی فقط قادر به آشکارسازی سرعت های برشی سریعتر از سرعت سیال گمانه می باشند. اما تکنولوژی دوقطبی با فائق آمدن بر مشکل حاصل از سرعت سیال گمانه، امکان اندازه گیری امواج برشی را در سازند های نرم به خوبی سازندهای سخت فراهم آورده است.

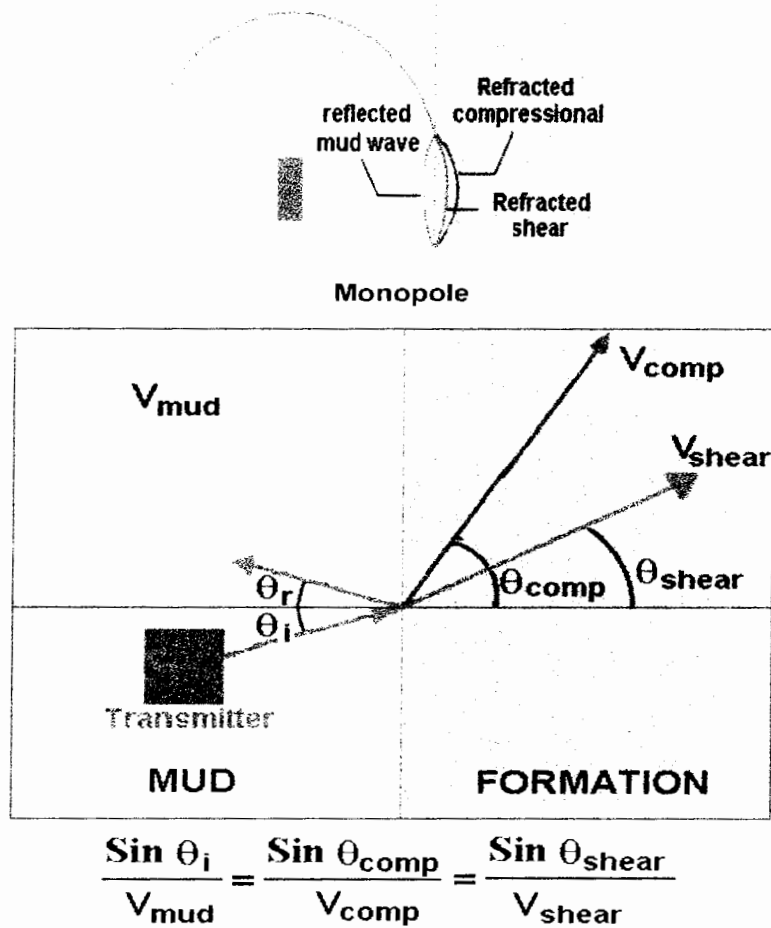
ابزار DSI دارای هشت گیرنده با آرایش خطی است که این گیرنده ها قابلیت آرایش پذیری تک قطبی و دوقطبی را دارند. همچنین ابزار دارای یک فرستنده تک قطبی و دو فرستنده دوقطبی عمود بر هم می باشد. با وجود هشت گیرنده، تعداد نمونه های بیشتری جهت تحلیل و پردازش امواج وجود دارد و نتایج بهتری حاصل می شود.

فرستنده تک قطبی قابلیت ارسال امواج در فرکانس های پایین را داراست که در این حالت موج استونلی با کیفیت بسیار بالایی ثبت می گردد. برای تعیین و اندازه گیری امواج مختلف در این ابزار از پردازشگر مدرن^۱، STC استفاده می شود.

ابزار DSI قابلیت ترکیب با انواع دیگر ابزار نمودارگیری را دارد و در بسیاری موارد باعث کاهش زمان حفاری و به تبع آن کاهش هزینه می شود. از مزیت های دیگر این ابزار، بهبود نسبت سیگنال به نویز است که امکان نمودارگیری در چاههای با قطر زیاد و یا سازندهای خیلی نرم را میسر می سازد.

۱-۴-۱- انتشار امواج توسط منبع تک قطبی در ابزار DSI

یک منبع تک قطبی انرژی صوت را در تمام جهات ساطع می کند. موج ساطع شده بصورت شعاعی از محور ابزار مخارج شده و به دیواره گمانه برخورد می کند و جابجایی کوچکی را در دیواره ایجاد می کند. بدلیل تغییرات مقاومت آکوستیکی در دیواره گمانه قسمتی از انرژی موج بازتاب و قسمت دیگر شکسته و وارد سازند می شود. موج شکسته شده به دو موج فشاری و برشی در سازند تبدیل می شود. شکل (۱-۳)

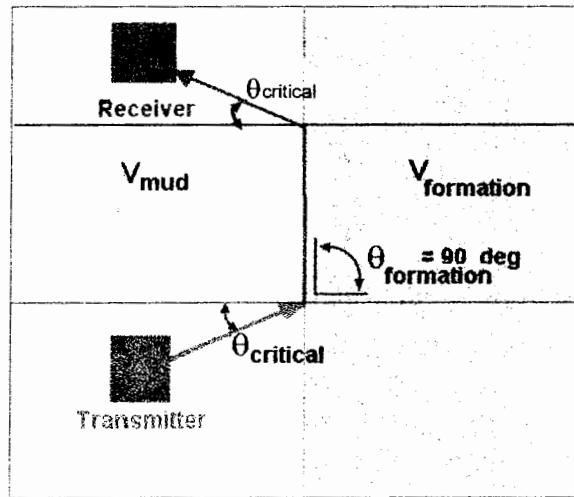
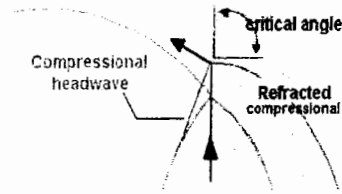


شکل ۱-۳- شکست موج را در دیواره گمانه نشان می دهد [www.slb.com]

امواج، درون سازند شروع به حرکت کرده و زمانیکه زاویه آنها با فصل مشترک گمانه و

سازند برابر ۹۰ درجه می گردد و طبق قانون اسنل - دکارت موج سر آنها وارد گمانه شده و

توسط گیرنده ها ثبت می شود. شکل (۱-۴)



Condition to have critical refraction ($\theta_{\text{formation}} = 90 \text{ deg}$)

$$\sin \theta_{\text{mud}} = \frac{V_{\text{mud}}}{V_{\text{formation}}} \leq 1$$

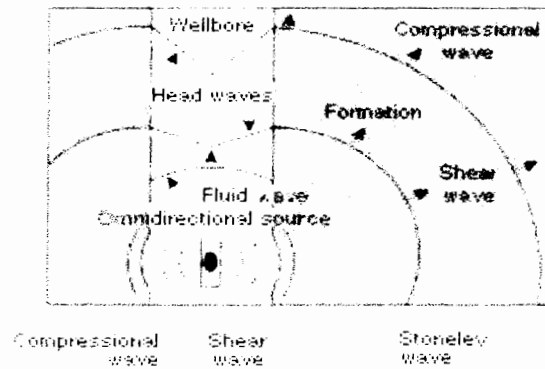
$$V_{\text{mud}} \leq V_{\text{formation}}$$

شکل ۱-۴- نحوه تشکیل موج سر را نشان می دهد [www.slb.com]

امواج سر فقط زمانی تشکیل می شوند که سرعت موج منتشر شده در سازند بیشتر از سرعت موج ایجاد شده در سیال گمانه باشد. امواج فشاری سازند همیشه سریعتر از موج سیال گمانه هستند لذا موج سر آنها همواره در داخل گمانه تشکیل شده و بدین ترتیب در همه سازندها قابل ثبت می باشند. از آنجایی که سرعت موج برشی در سازندهای سخت بیشتر از

سرعت موج سیال گمانه می باشد، موج سر این امواج نیز در داخل گمانه تشکیل و ثبت

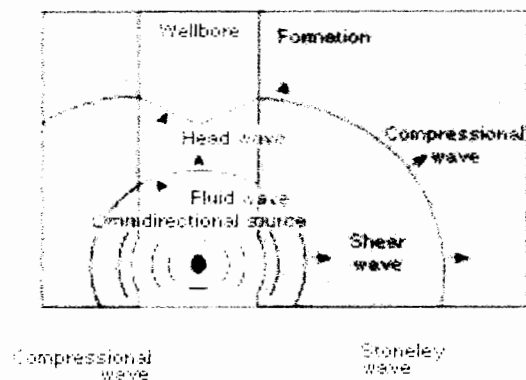
می شود. شکل (۵-۱)



شکل ۵-۱- انتشار و ثبت امواج را در سازند سخت توسط منبع تک قطبی نشان می دهد [www.slb.com]

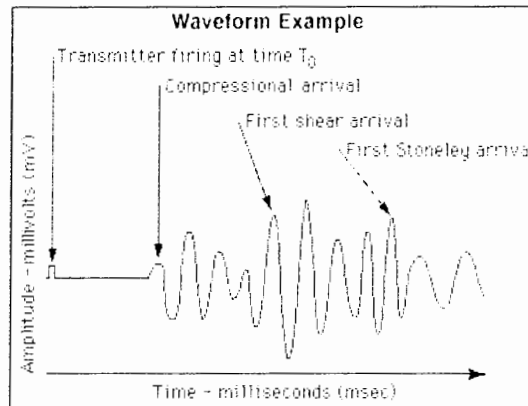
اما در سازندهای نرم، سرعت موج برشی از سرعت موج سیال گمانه کمتر بوده و بنابراین موج سر آنها در داخل گمانه تشکیل نمی شود و به همین دلیل ابزارهای تک قطبی قادر به

آشکارسازی موج برشی سازندهای نرم نمی باشد. شکل (۶-۱)



شکل ۱-۶- انتشار و ثبت امواج را در سازند نرم توسط منبع تک قطبی نشان می دهد [www.slb.com]

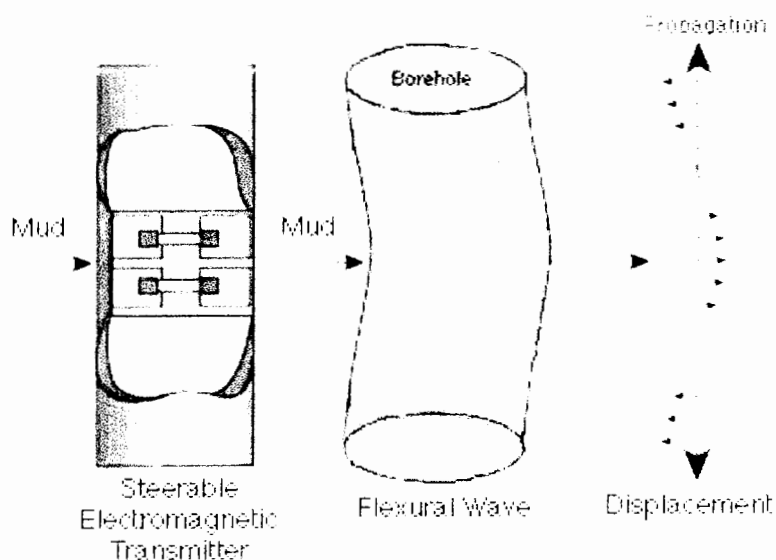
منابع تک قطبی علاوه بر امواج فشاری و برشی، موج دیگری را در گمانه ایجاد می کنند که موج استونلی نامیده می شود و هر چه منبع با فرکانس پایین تری کار کند، کیفیت موج استونلی بهتر می باشد. شکل (۱-۷)



شکل ۱-۷- نحوه انتشار و ثبت موج استوولی را نشان می دهد [www.slb.com]

۱-۴-۲- انتشار امواج توسط منبع دو قطبی در ابزار DSI

فرستنده ها و گیرنده های دو قطبی، دارای یک تکنولوژی جدید می باشند. این منابع انرژی، صوت را بر خلاف اینکه در تمام جهات پخش کنند، آنرا در یک جهت مشخص ساطع می کنند. عملکرد یک منبع دو قطبی، شبیه به عملکرد یک پیستون می باشد، یعنی اینکه در یک طرف افزایش فشار و در طرف دیگر کاهش فشار را ایجاد می کند. این تغییر فشار در گمانه باعث لرزش و تهییج گمانه می شود. بر اثر این تهییج موج فشاری و برشی وارد سازند شده و موج پیچشی^۱ نیز در سطح مشترک سازند و گمانه تولید شده و به سمت بالا انتشار می یابد ولی جابجایی ذرات این موج عمود بر راستای انتشارش می باشد. شکل (۱-۸)

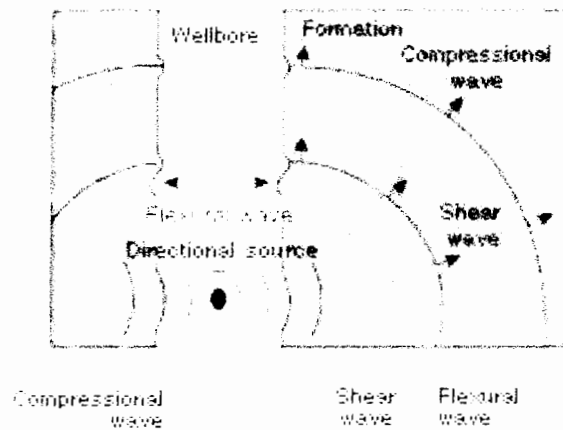


شکل ۱-۸- نحوه عملکرد یک منبع دو قطبی را نشان می دهد [www.slb.com]

موج فشاری و برشی تولید شده بوسیله منابع دوقطبی مستقیماً به داخل سازند راه پیدا می کنند ولی معمولاً موج فشاری در گمانه هایی با قطر زیاد و یا در سازندهای خیلی نرم در محدوده ثابت گیرنده ها قرار نمی گیرد. موج پیچشی ایجاد شده در دیواره گمانه یک آشفتگی فشاری دوقطبی گونه را در سیال گمانه ایجاد می کند که این آشفتگی مستقیماً توسط گیرنده ها آشکار می شود. موج پیچشی یک موج پاشنده است که در فرکانس های پایین سرعت آن برابر سرعت موج برشی سازند بود و در فرکانسهای بالاتر، آهسته تر از موج برشی حرکت

می کند. بدین ترتیب ابزارهای دو قطبی از طریق موج پیچشی، سرعت موج برشی را اندازه

گیری می کنند. شکل (۹-۱)

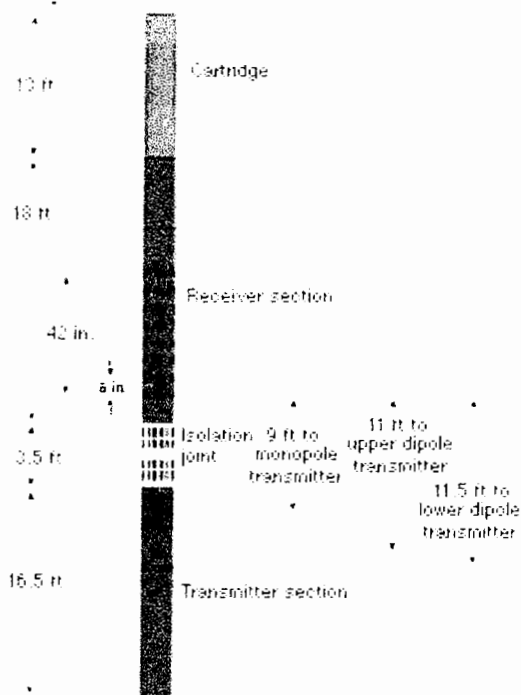


شکل ۹-۱- انتشار و ثبت امواج را در سازند توسط منبع دو قطبی نشان می دهد [www.slb.com]

۱-۴-۳- مشخصات و خصوصیات ابزار

ابزار DSI که بصورت شماتیک در شکل (۱-۱۰) مشاهده می شود، متشکل از قسمتهای

متفاوتی است که به ترتیب عبارتند از:



شکل ۱-۱-۱۰- ابزار DSI را به صورت شماتیک نشان می دهد [www.slb.com]

• قسمت فرستنده^۱

قسمت فرستنده دستگاه متشکل از یک فرستنده تک قطبی و دو فرستنده دو قطبی عمود بر هم می باشد. فرستنده تک قطبی توانایی ارسال امواج با فرکانس های مختلف را دارد و به همین دلیل می توان در فرکانس های بالا، امواج فشاری و برشی و در فرکانس های پایین موج استواری را به بهترین کیفیت اخذ کرد. فرستنده های دو قطبی نیز جهت تولید موج پیچشی و موج برشی در سازندهای نرم با فرکانس پایین کار می کنند.

1-Transmitter section

• قسمت جداکننده^۱

این قسمت در واقع حکم یک صافی مکانیکی را دارد که از حرکت امواج بر روی بدنه ابزار به سمت بالا جلوگیری می کند.

• قسمت گیرنده^۲

قسمت گیرنده ابزار شامل هشت گیرنده می باشد که فاصله هر یک از هم ۶ اینچ بوده و بطور کلی ۳/۵ فوت را تحت پوشش قرار می دهند. هر یک از گیرنده ها شامل دو جفت هیدروفون بوده که یک جفت هم راستا با فرستنده بالایی و یک جفت هم راستا با فرستنده پایین است.

• قسمت الکتریکی ابزار

کارت ریج گردآوری داده ها شامل مداراتی جهت بهبود کنترل ورودی اتوماتیک است و همزمان می تواند هشت شکل موج مجزا را رقمی کرده، آنها را در حافظه خود نگاه داشته و پس از شلیک مجدد ابزار، داده ها را به بالا ارسال کند. همچنین می تواند مانند ابزار قدیمی اندازه گیری سرعت صوت، موج فشاری را از روش آشکارسازی اولین موج دریافتی مشخص کند.

سرعت نمودارگیری ابزار DSI تابعی از حالت های مختلف نمودارگیری است. اگر نمودارگیری فقط در یک حالت انجام شود، سرعت نمودارگیری 3600 ft/h می باشد

1-Isolation joint
2-Receiver section

[کاو، ۲۰۰۴]. ولی زمانیکه چندین حالت با هم مورد نیاز است، سرعت نمودارگیری توسط خود ابزار محاسبه می شود.

عمق تشخیص برای ابزار نمودارگیری بستگی به نوع سازند، کندشدگی فشاری و برشی، فاصله بین گیرنده و فرستنده و طول موج امواج دارد. در صورتیکه موج ارسالی از نوع موج سر یا هدایت شده باشد فرکانس منبع و نوع سیگنال نیز مهم می باشد.

۱-۴-۴- حالت های مختلف کارکرد ابزار

از آنجایی که ابزار DSI دارای حالت های مختلفی از نمودارگیری است که هر کدام جهت بدست آوردن نوع خاصی از داده ها و برای تحلیل مسائل خاصی است لذا قبل از رانده شدن ابزار در گمانه، برنامه رانیدن ابزار و اهداف و سیاستها، باید کاملاً مشخص باشد. حالت های مختلف کارکرد ابزار همانگونه که در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده عبارتند از:

۱- حالت دوقطبی بالایی و پایینی

برای تعیین کندشدگی موج برشی در تمام سازندها استفاده می شود.

۲- حالت دو قطبی متقاطع

به منظور مشخص کردن ناهمسانگردی سازند استفاده می شود.

۳- حالت استونلی

کندشدگی موج استونلی را به منظور تخمین تراوایی اندازه گیری می کند.

۴- حالت فشاری و برشی

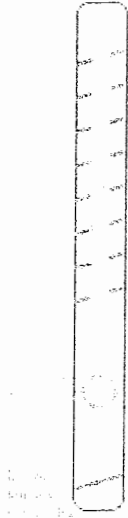




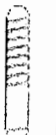
این حالت به منظور تعیین کندشدگی موج فشاری و برشی سازند قبل از رانده شدن

کلی ابزار DSI مورد استفاده قرار می گیرد.

۵- حالت اولین حرکت

به منظور تعیین داده های آستانه تقاطع^۱ که در پردازش و تحلیل شکل موجها بکار

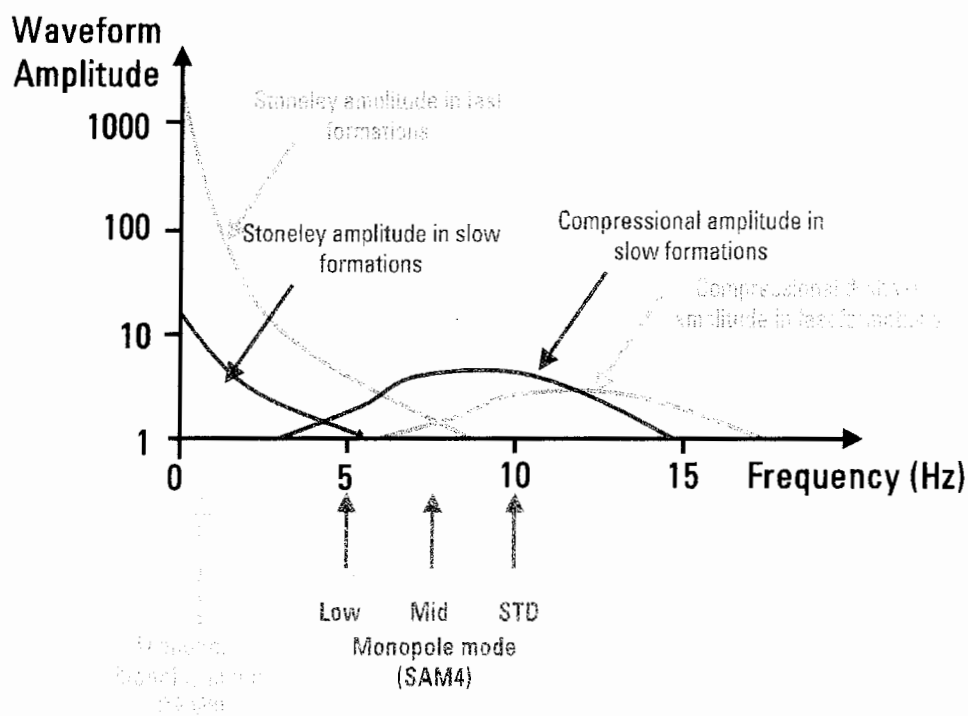
می رود استفاده می شود.

		<p>Mode 4</p>	<p>High Frequency Monopole Transmitter:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\Delta_{\text{compressional}}$ Δ_{shear}
		<p>Mode 3</p>	<p>Low Frequency Monopole Transmitter:</p> <ul style="list-style-type: none"> Δ_{stoneley}
		<p>Mode 2</p>	<p>Low Frequency High Frequency Dipole Shear Transmitter:</p>
		<p>Mode 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> Δ_{shear}
		<p>Mode X</p>	<p>Both Dipole Transmitters:</p>

شکل ۱-۱- حالت های مختلف کارکرد ابزار DSI را نشان می دهد [www.slb.com]

نمودار (۱-۱۲) محدوده فرکانسی موج های تک قطبی در حالت های مختلف کارکرد ابزار را

نشان می دهد.



شکل ۱-۱۲- محدوده فرکانسی موج های تک قطبی در حالت های مختلف کارکرد ابزار نشان

می دهد [www.slb.com]

در جدول (۱-۱) محدوده فرکانسی امواج در حالت‌های مختلف کارکرد ابزار نمایش داده

شده است.

جدول ۱-۱ - محدوده فرکانسی امواج در حالت‌های مختلف کارکرد ابزار را نمایش می‌دهد [www.slb.com]

DSI modes		Frequency content (kHz) *
Dipole mode (SAM1 & SAM2)	Low Freq Drive	0.5 to 1.5
	Standard Freq Drive	1 to 3
Monopole Stoneley mode (SAM3)	Very Low Freq Drive	~0.6
	Standard Freq Drive	~10
Monopole compressional and shear (SAM4)	Mid Freq Drive	~7.5
	Low Freq Drive	~5

* کران پایین محدوده فرکانسی مربوط به سازندهای نرم و گمانه‌هایی با قطر زیاد و کران بالا مربوط به سازندهای سخت و گمانه‌هایی با قطر کم می‌باشد.

۱-۴-۵- نحوه پردازش شکل موج توسط ابزار DSI

در چاه پیمایی به روش صوتی، تمام تلاش ما بر این است که از طریق شکل موجهای

رسیده به گیرنده‌ها و پردازش داده‌های مربوط به آنها کندشدگی موجهای مختلف را محاسبه

کنیم. بدین ترتیب شکل موجهای جمع‌آوری شده و داده‌های آستانه تقاطع به منظور

استخراج کندشدگی گونه‌های مختلف موج مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل موجهای رقومی

بدست آمده از حالت‌های دوقطبی، استونلی و فشاری و برشی بوسیله تکنیک STC و آستانه

های تقاطع بدست آمده از حالت اولین حرکت، توسط تکنیک^۱ DFMD پردازش می‌شوند]

کاوا، ۲۰۰۴؛ کرین^۲، ۲۰۰۰].

1- Digital – First – Motion – Detection

2-Crain

۱-۵- نقش چاه پیمایی در صنعت نفت و گاز

تعیین پارامترهای پتروفیزیکی به منظور ارزیابی مخازن نفت و گاز همواره از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده است. این پارامترها شامل تخلخل، تراوایی، اشباع شدگی از هیدروکربور^۱ و سنگ شناسی^۲ مخزن می باشد که به دو روش مستقیم و غیر مستقیم مورد بررسی قرار می گیرند [هیرست و همکاران، ۲۰۰۲].

در روش مستقیم، با مغزه گیری از سنگ مخزن این پارامترها در آزمایشگاه تعیین می شوند که با توجه به هزینه بالای مغزه گیری و همچنین وسعت زیاد مناطق نفتی این روش از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد [بری و همکاران^۳، ۱۹۹۸].

روش غیر مستقیم جهت تعیین پارامترهای پتروفیزیکی، چاه پیمایی می باشد. از آنجا که نگارهای مختلف چاه پیمایی تغییرات خواص فیزیکی سازندهای اطراف گمانه های اکتشافی را در اعماق مختلف بصورت پیوسته نشان می دهند لذا از طریق بررسی این تغییرات و ارزیابی پتروفیزیکی نگارهای چاه پیمایی، می توان این پارامترهای اساسی را با دقت خوبی تعیین کرد. امروزه نرم افزارهای بسیار قوی برای پردازش نگارهای چاه پیمایی جهت ارزیابی پتروفیزیکی استفاده می شود.

هر چند نرم افزارهای مورد استفاده جهت ارزیابی پتروفیزیکی با دقت و سرعت بسیار بالا این ارزیابی ها را انجام می دهند اما همچنان آشنایی با اصول تفسیر دستی و انجام آن به

1-Hydrocarbor – saturation

2-Lithology

3-Brie et al

منظور شناخت زیربنایی مسئله و تسلط بر نرم افزارهای مورد استفاده از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

۱-۶- تراوایی و روش های تعیین آن

اندازه فضاهای خالی موجود در سنگ مخزن را تخلخل و میزان توانایی سنگ برای انتقال سیالات در این فضاهای خالی را تراوایی می نامند [تیاب و دونالدسون^۱، ۲۰۰۴].

تراوایی یکی از مشکل ترین و پیچیده ترین مقادیر جهت اندازه گیری در یک چاه نفت است. روشهای اندازه گیری مستقیم تراوایی، شامل گرفتن مغزه، ابزار آزمایش فشار سازند^۲ و آزمایش چاهها^۳ است. هر چند همه این روش ها دقیق ترین راه برای تعیین تراوایی سازند می باشند ولی به دلیل هزینه های بسیار بالا فقط در فواصل محدود از چاه اقدام به مغزه گیری می شود و یا نقاط کمی از چاه مورد آزمایش قرار می گیرد و سپس اطلاعات بدست آمده برای کل مخزن تعمیم داده می شود که این ایراد دارد زیرا در شرایطی که سنگ مخزن، به صورت سنگ کربناتی ناهمگن بوده و یا به صورت تناوبی از ماسه سنگ و شیل باشد، ویژگی های مخزن که اساساً بر مبنای تراوایی تعیین شده است، نمی تواند شرایط حقیقی موجود در مخزن را بیان کند و از این رو تعیین مقدار تولید مخزن نیز اشتباه خواهد بود.

1- Tiab and Donaldson
2- Wirline testers
3- Well test

در روشهای غیر مستقیم، تراوایی از خصوصیات مختلفی از قبیل تخلخل، تشدید مغناطیسی هسته، نمودارهای ژئوشیمیایی و غیره که همه این روشها دارای ضرایب تجربی هستند استخراج می شود. اگر این ضرایب درست محاسبه نشوند تراوایی دارای عدم قطعیت بسیار بالایی می باشد. استفاده از شیوه های دیگر از قبیل مطالعه پروفیل تهاجم هم، اطلاعات کیفی در مورد تراوایی در اختیار ما قرار می دهد [بربی و همکاران، ۲۰۰۱؛ الادانی و براتی، ۲۰۰۳].

با توجه به اینکه تراوایی قابلیت عبوردهی سیال درون مخزن را توسط سنگ مخزن نشان می دهد پس به خصوصیات سنگ مخزن وابسته است. تراوایی به فضای خالی درون دانه ای^۱، اندازه دانه ها و نوع جورشدگی آنها که در کل دانه بندی نامیده می شود بستگی دارد. نحوه توزیع فضاهای خالی^۲ تابعی از دانه بندی سنگ می باشد و از پارامترهای اصلی کنترل کننده تراوایی و اشباع شدگی درون سنگهای مخزن است. چوپرا و گونتر^۴ در سال ۱۹۸۷ [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴] عبارتی را به عنوان سرعت انتقال^۵ طرح کردند که بیانگر نسبت K/ϕ می باشد و به اندازه گلوگاههای مرتبط کننده^۶ فضاهای خالی ارتباط دارد. اگر فضای خالی را به عنوان یک اتاق خالی در نظر بگیریم، گلوگاهها در حکم راهروهایی هستند که این فضاهای

1-Al-adani
2-Interparticie pore space
3-pore size distribution
4-Chupra and Gunter
5-Delivery speed
6-Pore throat

خالی را به هم وصل می کنند و هر چه این گلوگاهها عریض تر باشند، تراوایی سنگ مخزن بیشتر می باشد.

با توجه به توضیحات بالا می توان نتیجه گرفت که در واقع پارامتر اصلی کنترل کننده تراوایی درون سنگ مخزن همین گلوگاهها می باشند. شاخص K/ϕ که به اندازه گلوگاهها بستگی دارد بطور نسبی نشان می دهد که به چه میزان سیالات می توانند بین فضاهای خالی حرکت کنند [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴؛ بری و همکاران، ۱۹۹۵].

روابط تجربی موجود جهت تخمین تراوایی عموماً از پارامتر K/ϕ استفاده کرده و از معروفترین این روابط که طی سالیان، نتایج قابل قبولی ارائه کرده است رابطه موریس و بیگز^۱ در سال ۱۹۶۷ می باشد [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴]:

$$K^{1/a} = b\phi^c / S_{wi} \quad (17-1)$$

S_{wi} : اشباع آب غیر استحصال^۲ می باشد.

در رابطه بالا، b, a و c ثابت های تجربی هستند که b برای مخازن نفتی ۲۵۰ و برای مخازن گازی ۷۹ می باشد. جهت تعیین مقادیر a و c نیز به اطلاعات مغزه نیاز است. مقادیر b بر اساس مطالعه بر روی تعداد کثیری نمونه استخراج شده است ولی توصیه می شود در هر مخزن این فاکتورها مجدداً توسط اطلاعات مغزه استخراج شوند. در ماسه سنگ ها که دارای دانه بندی منظم تری هستند معمولاً با افزایش تخلخل، اندازه گلوگاهها نیز افزایش می یابند و

1-Morris and Biggs

2-Irreducible water saturation

اکثر روابط تجربی در ماسه سنگ ها نتایج خوبی ارائه می دهند ولی در سنگ های کربناته که نسبت K/ϕ پیچیده است و همچنین ماسه سنگ های شیلی این روابط دارای خطای بالایی هستند [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴].

کارمن و کوزنی^۱ با توجه به پارامتر واحد جریان^۲ و تلفیق آن با ثابت کوزنی $(F_s \tau^2)$ رابطه دیگری را ارائه می دهند که با در نظر گرفتن اثر ضریب سازند F_s ، ضریب پیچاپیچی^۳ τ ، واحد جریانی و نسبت سطح به حجم دانه ها (S_{gv}) یکی از کامل ترین روابط محاسبه تراوایی می باشد [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴]:

$$K/\phi = 1014[\phi^2/(1-\phi)^2] * [1/(F_s \tau^2 S_{gv}^2)] \quad (18-1)$$

از معایب این رابطه، تعیین F_s ، τ و S_{gv} است که در سنگ های کربناته و ماسه سنگ های شیلی به تعداد زیادی مغزه احتیاج است و معمولاً به علت پیچیدگی سنگ های کربناته، دارای خطا هستند.

لوسیا و جنینگ^۴ در سال ۲۰۰۳ رابطه تجربی دیگری بر اساس نوع دانه بندی سنگ ها ارائه کردند [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴]:

$$K = e^{a(h)} \phi^{b(h)} \quad (19-1)$$

1-Carmen and Kozney
2-Flow Unit
3-Tortuosity
4-Lucia and Jenning

در رابطه (۱-۱۹)، h عدد دانه بندی سنگ^۱ است و این رابطه در ماسه سنگ های تمیز کاربرد دارد.

با ورود ابزار NMR در صنعت نمودارگیری و با توجه به اینکه ابزار قابلیت ارائه پارامترهایی از قبیل تخلخل موثر، حجم سیال آزاد^۲ (FFV)، حجم سیال مقید^۳ (BFV) و نحوه توزیع فضاهای خالی را دارد، روابط دیگری جهت تعیین تراوایی ارائه شد.

کوزنی و کینون^۴ رابطه زیر را معرفی کردند [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴]:

$$K = a\phi^b (T_{2IM}) \quad (۲۰-۱)$$

T_{2IM} ، میانگین لگاریتمی T_2 است و T_2 همان زمان استراحت^۵ می باشد.

a و b ثابت های تجربی هستند که برای ماسه سنگ ها ضریب a برابر ۴ و b برابر ۲ می باشد ولی مانند سایر روابط تجربی این ضرایب در هر مخزن باید محاسبه شوند. همانطور که قبلاً گفته شد گلوگاههایی بین فضاهای خالی وجود دارند که کنترل کننده تراوایی و نحوه توزیع فضاهای خالی هستند. با توجه به همین امر رابطه مذکور نیز زمانی که نسبت K/ϕ پیچیده می باشد با خطا همراه است.

-
- 1-Rock fabric number
 - 2-Free-Fluid-Volume(FFV)
 - 3-Bound-Fluid-Volume(BFV)
 - 4-Kozney and Kinoun
 - 5-Relaxation time

رابطه مشهور دیگری وجود دارد، که رابطه Tinur-Coats نامیده می شود و بصورت زیر

می باشد [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴]:

$$K = a.10^4.\phi^b[FFV / BFV]^c \quad (21-1)$$

a, b و c ثابت های تجربی هستند که برای ماسه سنگ ها a برابر ۴، b برابر ۲ و c نیز برابر ۲ می باشد. این رابطه نیز در ماسه سنگ های تمیز جواب های قابل قبولی ارائه می کند ولی در سنگ های کربناته و ماسه سنگ های شیلی ناکارآمد می باشند. [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴].

محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی تنها روش موجود جهت ارائه یک اندازه گیری

پیوسته تراوایی در سر تا سر گمانه می باشد [بربی و همکاران، ۱۹۹۸].

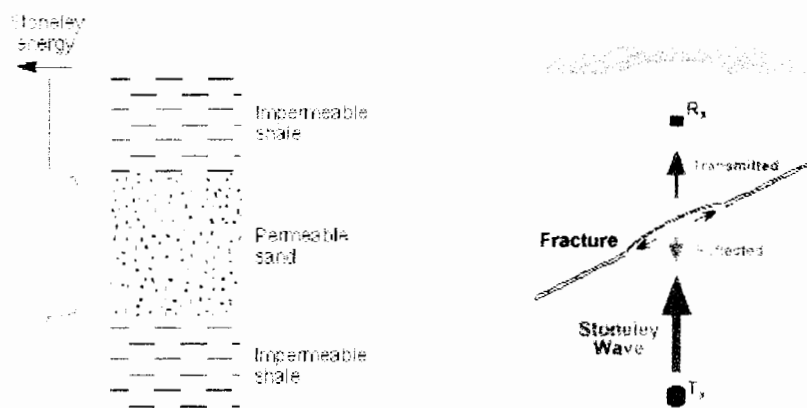
در فرکانس های پایین موج استونلی بصورت یک موج لوله ای شکل که رفتاری پیستون

وار دارد، درون گمانه انتشار می یابد. زمانیکه گمانه از یک ناحیه تراوا یا دارای شکستگی عبور

می کند، جابجایی حرکت سیال بین سازند و گمانه رخ می دهد. این امر باعث افت مقداری از

انرژی می شود که نتیجه آن میرایی موج استونلی و بالا رفتن مقدار کندشدگی می باشد. شکل

(۱۳-۱) این واقعیت را نشان می دهد.

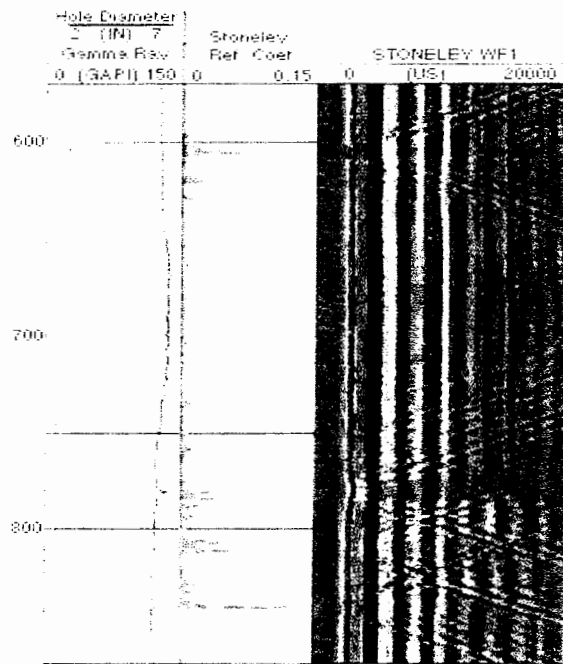


شکل ۱-۱۳- افت انرژی و میرایی موج استونلی را در برخورد با ناحیه تراوا یا دارای شکستگی

[www.slb.com]

با یک موج استونلی کیفیت بالا که از ابزار DSI بدست می آید و تلفیق آن با ثبت های مدرن دیجیتالی و تکنیک پردازش و فیلتر کردن، می توان انرژی موج استونلی را برای شناسایی زونهای تراوا محاسبه نمود.

شکستگی ها و نواحی تراوا، اثرات متفاوتی روی موج استونلی دارند. هنگامیکه شکستگی تراوا باشد دارای مقاومت ظاهری صوتی متفاوتی با سازند بوده و همین امر مطابق شکل (۱-۱۴) باعث شکست و بازتاب موج استونلی در گمانه می شود که به صورت الگوهای جناغی بر روی نگار دانسیته متغیر^۱ قابل مشاهده و تشخیص است.



شکل ۱-۱۴- ارزیابی شکستگیها با استفاده از نگارههای VDL را نشان می دهد [www.slb.com]

روشها و شیوه های متفاوتی جهت ارزیابی شکستگی های تراوا از طریق موج استونلی وجود دارد. پارامتری که توسط موج استونلی اندازه گیری می شود دقیقاً تراوایی نیست بلکه بیشتر مربوط به قابلیت حرکت سیال سازند^۱ (نسبت تراوایی به ویسکوزیته) می باشد که واحد آن میلی داری بر سانتی پویز است. چنانچه ویسکوزیته سیال درون سازند برابر یک (ویسکوزیته آب) باشد قابلیت حرکت سیال سازند، برابر تراوایی است [الادانی و براتی، ۲۰۰۳].

کندشدگی استونلی تحت تاثیر اندود گل می باشد اگر ضخامت اندود گل ثابت و جنس آن در طول گمانه یکسان باشد اثر آن بر روی کندشدگی بصورت یک جابجایی ثابت است. یکی دیگر

از فاکتورهایی که به مقدار زیاد بر کندشدگی استونلی تاثیر می گذارد تغییر سنگ شناسی است. برای مثال اگر سنگ شناسی از آهک خالص به دولومیت یا ماسه سنگ تغییر کند تاثیر آن بر کندشدگی استونلی متفاوت خواهد بود. از موارد دیگر که بر کندشدگی تاثیر می گذارد سیال درون فضاهای خالی سازند است. برای مثال اگر جنس سیال از نفت به گاز تغییر کند تراوایی پیش بینی شده دو برابر افزایش می یابد [بریی و همکاران، ۲۰۰۰؛ الادانی و براتی، ۲۰۰۳].

با توجه به مسائل ذکر شده می توان گفت که موج استونلی بطور ذاتی از نواحی تراوا تاثیر می پذیرد و کندشدگی موج استونلی بصورت کیفی نشان دهنده تغییرات تراوایی است. لذا ثبت این خاصیت ذاتی موج استونلی و کمی کردن رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تغییرات تراوایی سبب می شود تا یک نگار پیوسته از تغییرات تراوایی در کل مخزن بدست آید که این در صنعت نفت و گاز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در مرحله بعد به بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه می پردازیم.

۱-۷- سابقه مطالعات انجام شده

برای تخمین تراوایی از طریق موج استونلی نیاز است تا این موج را با کیفیت بالا ثبت نماییم. از آنجایی که موج استونلی جز امواج سطحی است که در دیواره گمانه حرکت می کند و با توجه به محدودیت های حاکم بر گمانه های اکتشافی و ابزارهای نگارگری ثبت این موج با کیفیت بالا با دشواریهای زیادی همراه می باشد.

با ورود ابزار DSI که از ابزارهای شرکت شولمبرژه می باشد این مشکلات و محدودیتها تا حد بسیار زیادی رفع گردیده است. اما بررسی ها نشان می دهد که متاسفانه استفاده از امواج استونلی در تخمین تراوایی و کمی کردن رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تغییرات تراوایی بسیار محدود و به یک مورد زیر خلاصه می شود.

این تحقیق توسط آقای الادانی و براتی در شرکت شولمبرژه در سال ۲۰۰۳ انجام شده است. در این روش برای نشان دادن تاثیرات تراوایی بر روی موج استونلی، کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه اکتشافی به یک کندشدگی زمینه که مربوط به یک ناحیه ناتراوا در گمانه می باشد تقسیم شده و مقدار حاصل بعنوان معرفی از تراوایی سازند در نظر گرفته می شود:

$$KIst = DTst / dtst(\text{None-permeable zone}) \quad (22-1)$$

در رابطه بالا، $KIst$ شاخص تراوایی موج استونلی نامیده می شود و $DTst$ کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه و $dtst$ کندشدگی موج استونلی ناحیه ناتراوا را نشان می دهد. شاخص تراوایی موج استونلی، تخمینی برای تراوایی سازند نمی باشد اما چون این فاکتور نسبت کندشدگی موج استونلی به کندشدگی موج استونلی ناحیه ناتراوا را در هر نقطه نشان می دهد، به شدت از حرکت سیال در فضاهاى متخلخل سنگ تاثیر می پذیرد. این در حالی است که حرکت سیال در فضای متخلخل تابعی از نحوه توزیع تخلخل، شکل و اندازه این

1-Permeability-Index (KIst)

فضاهای خالی می باشد. پس به این ترتیب Kist در حقیقت نشانگری برای پیچاپیچی مسیرهای جریانی می باشد.

با توجه به اینکه شاخص زون جریانی^۱ از رابطه زیر بدست می آید :

$$FZI^2 = 1/(F_s \cdot \tau^2 \cdot S_{gv}^2) \quad (۲۳-۱)$$

FZI: شاخص زون جریانی می باشد.

F_s : ضریب سازند می باشد.

τ : ضریب پیچاپیچی را نشان می دهد.

S_{gv} : نسبت سطح به حجم دانه را نشان می دهد.

پس در حقیقت FZI مفهومی است که در برگیرنده فاکتورهایی چون پیچاپیچی

مسیرهای جریانی و شکل هندسی فضاهای متخلخل در سنگ می باشد.

با توجه به مطالب فوق می توان گفت که شاخص تراوایی موج استونلی یک اندازه گیری

مستقیم از FZI می باشد.

همچنین رابطه بین تراوایی و شاخص زون جریانی بصورت زیر می باشد:

$$FZI = (0.0314 / \Phi_e) \cdot \sqrt{K / \Phi} \quad (۲۴-۱)$$

در رابطه بالا Φ تخلخل، Φ_e تخلخل میانگین و K تراوایی می باشد.

تراوایی بدست آمده از رابطه بالا بدین جهت که در آن پیچاپیچی مسیرهای جریان، نحوه ارتباط آنها با یکدیگر و شکل هندسی دانه های تشکیل دهنده سنگ در نظر گرفته شده است از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

با در نظر گرفتن روابط (۲۲-۱) و (۲۴-۱) مشاهده می شود در ناحیه ناتراوا، در حالیکه شاخص زون جریانی به صفر نزدیک می شود نشانگر تراوایی سازند به سمت ۱ میل کرده و در ناحیه تراوا هنگامی که تراوایی به سمت بی نهایت میل می کند، هر دو پارامتر به بی نهایت نزدیک می شوند. به این ترتیب با توجه به اینکه نشانگر تراوایی سازند یک اندازه گیری مستقیم از FZI می باشد، تراوایی بدست آمده از FZI با نشانگر تراوایی سازند به صورت زیر متناسب قرار داده می شود:

$$FZI \propto (KIST - 1) \quad (25-1)$$

و در نهایت برای تبدیل تناسب به تساوی، ثابت تناسب برای سنگ شناسی های مختلف محاسبه می گردد [الادانی و براتی، ۲۰۰۳].

$$FZI = IMF(KIst-1) \quad (26-1)$$

در رابطه (۲۶-۱)، IMF فاکتور تطابق است که برای هر کدام از مولفه های تشکیل دهنده سازند در هر چاه بطور جداگانه محاسبه می شود.

۸-۱- ضرورت انجام مطالعه

بطور کلی تعیین تراوایی در مخازن نفت و گاز برای موارد زیر مورد نیاز است [بریی و

همکاران، ۱۹۹۸]:

- بهینه کردن تولید و تکمیل جهت افزایش حداکثر تولید در حالیکه تولید آب کمینه

باشد.

- پیش بینی تولید و طراحی جهت پیشینه کردن برداشت هیدروکربور

- مشخص کردن الگوی تولید

هر چند که مقدار قدر مطلق تراوایی در مخزن، معمولاً به عنوان مهمترین عامل در نظر

گرفته می شود ولی تغییرات تراوایی در طول گمانه نیز می تواند به همان اندازه مهم باشد.

مزیت اصلی کار انجام شده توسط آقایان الادانی و براتی در این است که با در نظر گرفتن

فاکتور شاخص زون جریانی و متناسب قرار دادن این فاکتور با نشانگر تراوایی سازند، موارد مهم

تاثیرگذار بر تراوایی در رابطه بدست آمده جهت محاسبه این فاکتور لحاظ شده است. هر چند

اصول و مبانی بکارگرفته شده در این روش قوی و کاملاً صحیح می باشد ولی دو اشکال عمده

به نحوه انجام محاسبات صورت گرفته وارد است.

۱- با توجه به اینکه تراوایی و کندشدگی موج استونلی هر دو از جنس سنگ تاثیر

می پذیرند لذا در نظر گرفتن یک مقدار ثابت بعنوان کندشدگی ناحیه ناتراوا در سرتاسر گمانه

در حقیقت حذف تاثیر این فاکتور اساسی می باشد. ضمن اینکه باعث می شود در بسیاری از

نقاط برای سمت راست رابطه (۱- ۲۶) مقداری منفی حاصل شود که این مطلب هیچ گونه توجیه فیزیکی ندارد.

۲- همانطور که می دانیم از دیدگاه ریاضی برابر بودن تغییرات حدی دو تابع نمی تواند دلیلی برای برابری آن دو تابع باشد. به همین دلیل وقتی تغییرات حدی تراوایی حاصل از FZI و KIst-1 با هم برابر است نمی توان خود دو تابع را با هم متناسب قرار داد و ضریب تطابق را برای سنگ شناسی های مختلف محاسبه کرد.

با توجه به مطالب ذکر شده و از آنجا که هیچ رابطه مشخصی که بتواند ارتباطی بین تغییرات تراوایی و تغییرات کندشدگی استونلی ایجاد کند وجود ندارد از این رو ضروری است که در این زمینه مطالعات بیشتری صورت گیرد که پایان نامه حاضر در راستای تحقق این مهم انجام شده است.

۹-۱- هدف و روش انجام مطالعه

هدف از انجام این تحقیق، چگونگی تخمین تراوایی از طریق موج استونلی جهت ارائه یک نمودار پیوسته تراوایی در سرتاسر گمانه می باشد. بدین منظور کندشدگی استونلی بدست آمده از ابزار DSI با اطلاعات موجود از تراوایی حاصل از ابزار^۱ MDT کالیبره شده و از حالت کیفی به حالت کمی درمی آید. برای کالیبره کردن ضروری است که تمامی موارد تاثیرگذار بر تراوایی شامل: اندود گل، سنگ شناسی، سیال درون فضای خالی سازند و ناهمگون بودن سازند

1-Modular-Dynamic-Tester (MDT)

در نظر گرفته شود. در کار انجام شده توسط آقای نبیل الادانی با توجه به اینکه داده ها در زونهای آبی، نفتی و گازی از یکدیگر تفکیک نشده لذا تاثیرپذیری تراوایی از نوع سیال درون فضای خالی سازند در نظر گرفته نشده است. جهت لحاظ کردن موارد تاثیرگذار نیاز است که ارزیابی پتروفیزیکی بر روی نگارهای چاه مورد نظر انجام شود و همچنین حجم دقیق کانیهایی مختلف که سازندهای اطراف چاه از آنها تشکیل شده اند تعیین شود که این موارد با استفاده از نرم افزار 'Geoframe' [www.slb.com] انجام شده است. پس از کالیبره کردن اطلاعات با فواصلی که دارای اطلاعات تراوایی حاصل از MDT هستند رابطه ای بدست خواهد آمد که بکمک آن یک منحنی پیوسته از تراوایی حاصل شده که می توان آن را برای تمام طول گمانه بکار برد.

۱-۱۰- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در قالب پنج فصل ارائه شده است. در این فصل به بیان کلیات و نقش چاه پیمایی در صنعت نفت و گاز و توضیح روشهای تعیین تراوایی و مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته شده و ضرورت، هدف و روش انجام مطالعه نیز شرح داده شده است. از آنجایی که در ارزیابی پتروفیزیکی یک چاه نفتی شناخت دقیق نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده نیاز می باشد لذا در فصل دوم این نگارها را بطور دقیق مورد بررسی قرار داده ایم. ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی مورد استفاده در این پایان نامه بوسیله نرم افزار Geoframe انجام شده است و به دلیل اهمیت و کاربرد فراوان این نرم افزار در صنعت نفت و گاز در فصل

سوم اصول و مبانی این نرم افزار بطور کامل شرح داده شده و خروجی نرم افزار نیز در پایان فصل آمده است.

فصل چهارم شامل چگونگی تخمین تراوایی از طریق موج استونلی می باشد که بدین منظور ابتدا نحوه کمی کردن ارتباط موجود بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی جهت رسیدن به یک منطق ریاضی بطور کامل توضیح داده می شود، سپس روند تغییرات نگار تراوایی بدست آمده با سایر نگارهای مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی و همچنین داده های محاسباتی با داده های اندازه گیری شده توسط ابزار MDT مقایسه گردیده است. در نهایت مراحل محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی در هر میدان نفتی بطور خلاصه ذکر شده و در خاتمه نتایج بدست آمده به همراه پیشنهادات در قالب فصل پنجم ارائه شده است.

فصل دوم

نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در این تحقیق
جهت ارزیابی پتروفیزیکی

فصل ۲: نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی

پتروفیزیکی

۲-۱- مقدمه

در انجام هر ارزیابی پتروفیزیکی آشنایی با موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد ارزیابی و ابزارهای رانده شده به منظور استفاده صحیح و دقیق از نگارهای چاه پیمایی و جلوگیری از بروز هر گونه خطا لازم و ضروری می باشد. چاه نفتی A که در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران قرار دارد که با توجه به موقعیت حساس مکانی این میدان نفتی توضیح بیشتر در مورد موقعیت جغرافیایی آن و آوردن هر گونه نقشه زمین شناسی از منطقه و ذکر مشخصات دقیق امکان پذیر نمی باشد. در مورد زمین شناسی و دیگر اطلاعات چاه نفتی A به موارد زیر می توانیم اکتفا کنیم که البته این موارد بسیار جامع و مانع بوده و برای فهم مسئله کافی می باشد.

- فواصل عمقی از چاه نفتی A که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است از بالا به

پایین به ترتیب شامل سازندهای سروک^۱، کژدمی^۲، بورگان^۳، داریان^۴، قسمت بالایی گدوان^۵،

خلیج^۶ و قسمت پایینی گدوان^۷ می باشد که عمق شروع هر کدام از سازندهای زیر در جدول

(۱-۲) آمده است [www.Nioc. Com].

جدول ۱-۲- عمق شروع هر کدام از سازندهای چاه نفتی A را نشان می دهد [www-Nioc-Com]

Formation	TOP (MMD)
Sarvak	2635
kazhdomi	3269
Burgan	3401
Darian	3471.5
Upper- Gadvan	3634
Khalij	3702
Lower- Gadvan	3713

- سازندهای سروک، داریان، کژدمی و خلیج غالباً سنگ آهک بوده که اندکی دولومیتی

شده اند. سازندهای بورگان و گدوان غالباً ماسه سنگ می باشند [www.Nioc.Com].

-
- 1-Sarvak
 - 2-Kazhdomi
 - 3-Burgan
 - 4-Darian
 - 5-Upper Gadvan
 - 6-Khalij
 - 7-Lower Gadvan

- سازند سروک و بازه های کربناته سازند کژدهمی دارای افقهای شیلی است که غالباً شامل ایلیت^۱ و مونت موریلونیت^۲ می باشند. اما سازند بورگان غالباً شامل کائولینیت^۳ و مقداری ایلیت می باشد. نگارهای موجود در این چاه نگارهای قطریاب، صوتی، پرتو گاما، جرم مخصوص، تخلخل نوترونی و مقاومت ویژه الکتریکی می باشد که توسط ابزارهای پیشرفته چاه پیمایی شرکت شلومبرژه^۴ PEX، HALS^۵، تصویرگر موج برشی دو قطبی صوتی DSI و طیف نگاری پرتو گاما^۶ NGT تهیه شده است [www. Nioc. Com].

- در چاه نفتی A هیچ گونه مغزه گیری انجام نشده است. ابزار MDT از عمق ۲۶۹۴ متر تا عمق ۳۷۶۳ متر رانده شده و در این بازه در پنجاه و هشت نقطه قابلیت حرکت سیال سازند (نسبت تراوایی به ویسکوزیته) اندازه گیری شده است. حال با دانستن این مقدمات به بررسی نگارهای چاه پیمایی می پردازیم.

۲-۲- نگارهای چاه پیمایی

از آنجایی که توضیح در مورد تمام نگارهای چاه پیمایی و مطالب مربوط به آنها به علت حجم زیاد، در این مطالعه مقدور نمی باشد، لذا فقط در مورد نگارهای مورد استفاده در این تحقیق توضیح مختصری داده می شود. این نگارها عبارتند از:

-
- 1-Illite
 - 2-Montmorillonite
 - 3-Kaolinite
 - 4-Platform Express TOOL (RES – TOOL), PEX
 - 5-PEX tool has two types HRLA and HALS
 - 6-Natural Gamma Ray Tool (NGT)

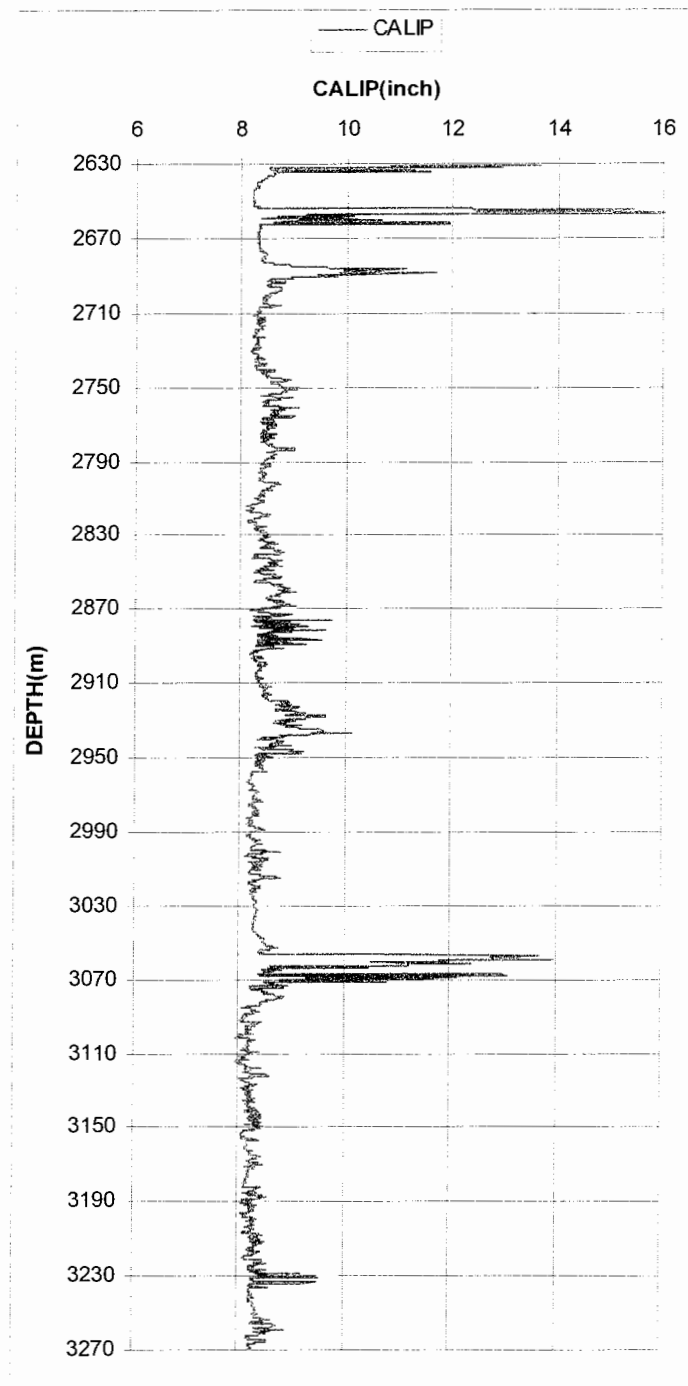
۲-۲-۱- نگار قطریاب^۱

نگاری است که تغییرات قطر چاه را نشان می دهد. ابزارهای قطر سنجی غالباً دارای ۴،۳،۲،۱ یا ۶ بازو می باشند. از آنجایی که این نگارها تغییرات قطر چاه را مشخص می کنند لذا برای تعیین نقاطی که تصحیحات چاه^۲ باید اعمال شود کاربرد دارند. تغییرات قطر چاه از چپ به راست، در واحد اینچ و با مقیاس خطی ثبت می گردد [www.slb.com] .

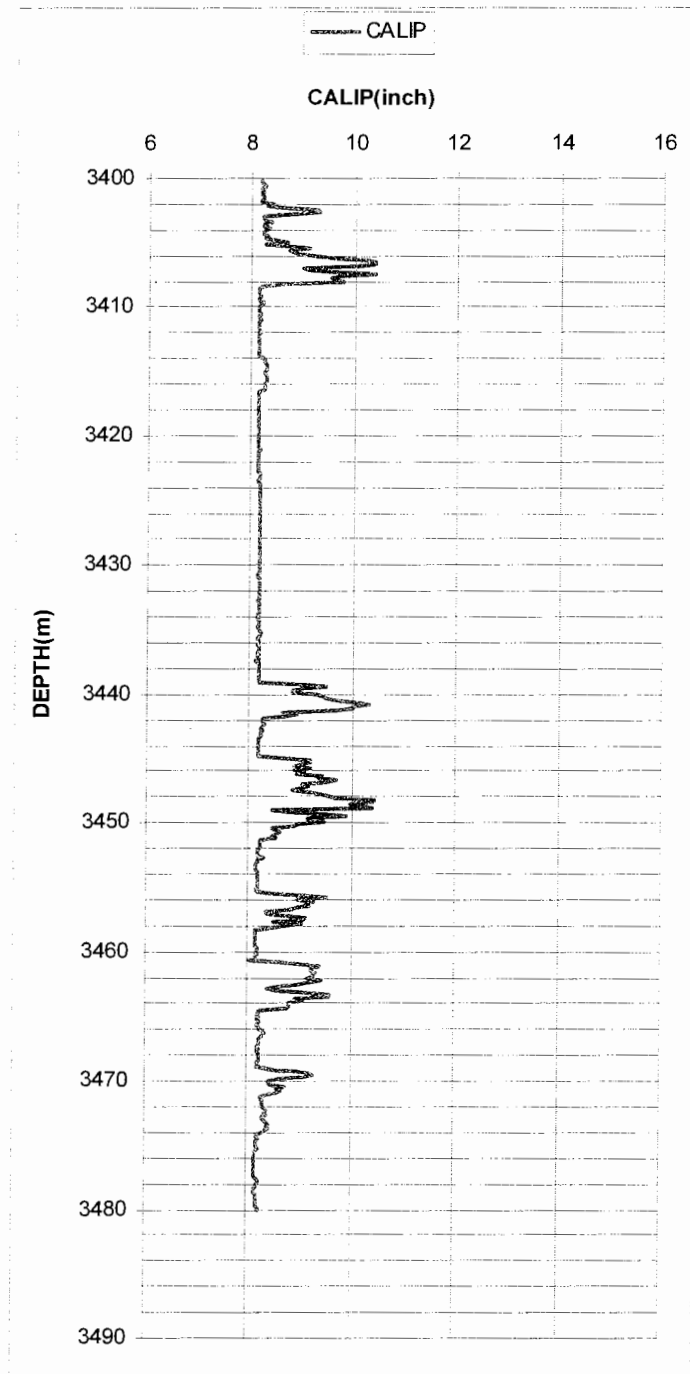
شکل (۲-۱ - الف و ب) نگارهای قطریاب هستند که تغییرات قطر چاه را به ترتیب در

سازند سروک و بورگان در چاه نفتی A نشان می دهند.

1-Caliper Log
2-Borehole – correction



شکل ۱-۲ الف- نگار قطریاب است که تغییرات قطر چاه را در سازند سروک در چاه نفتی A نشان می دهد



شکل ۲-۱-ب- نگار قطریاب است که تغییرات قطر چاه را در سازند بورگان در چاه نفتی A نشان می دهد

۲-۲-۲- نگار صوتی^۱

نگارهای صوتی بازتابی از اندازه گیری مداوم سرعت صوت در سازندها می باشند. ابزارهای قدیمی زمان گذر موج از داخل سازندهای اطراف گمانه های اکتشافی و ابزارهای جدید میزان کندشدگی امواج صوتی را اندازه گیری می کنند. ابزارهای مختلف صوتی عمدتاً دو نوع موج حجمی، فشاری و برشی و یک موج سطحی بنام موج استونلی که در دیواره گمانه حرکت می کند را آشکار می کنند. موج فشاری دارای بیشترین سرعت می باشد به همین دلیل اولین موج آشکار شده توسط ابزار، موج فشاری می باشد و بعد از آن به ترتیب امواج برشی و استونلی ثبت می شوند.

زمان گذر موج صوتی برای یک سازند مشخص، به سنگ شناسی و تخلخل آن سازند بستگی دارد. این وابستگی به تخلخل، هنگامی که سنگ شناسی معلوم باشد، نمودار صوتی را به یک ابزار مفید برای تعیین تخلخل تبدیل می کند [www.slb.com].

• مشخصات نگارهای صوتی

سرعت صوت در سازندها از ۶۰۰۰ تا ۲۳۰۰۰ فوت بر ثانیه متغیر است. واحد اندازه گیری زمان گذر امواج صوتی میکرو ثانیه بر فوت می باشد [مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰]. زمان گذر امواج صوتی معمولاً بر روی تراک ۳،۲ و با مقیاس خطی ثبت می شود [www.slb.com].

در جدول (۲-۲) سرعت و زمان سیر موج در سنگ های مختلف نشان داده شده است.

1-Acoustic or sonic log

جدول ۲-۲- سرعت و زمان سیر موج در سازندهای مختلف را نشان می دهد. [مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰]

نوع سنگ	سرعت صوت در خمیره سنگ $V_{ma} (ft/s)$	زمان سیر صوت در خمیره سنگ $\Delta t_{ma} (\mu sec/ft)$
ماسه سنگ متراکم	۱۷۰۰	۵۸/۸
ماسه سنگ نیمه متراکم	۱۸۰۰۰-۱۹۵۰۰	۵۵/۶
ماسه سنگ متراکم	۱۹۰۰۰	۵۲/۶
سنگ آهک	۲۱۰۰۰-۲۳۰۰۰	۴۷/۶-۴۳/۵
دولومیت	۲۳۰۰۰-۲۶۰۰۰	۴۳/۵-۳۸/۵
شیل	۶۰۰۰-۱۶۰۰۰	۱۶۷
کلسیت	۲۲۰۰۰	۴۵/۵
انیدریت	۲۰۰۰۰	۵۰
گرانیت	۲۰۰۰۰	۵۰
ژیپس	۱۹۰۰۰	۵۲/۶
کوارتز	۱۸۰۰۰	۵۵/۶
نمک	۱۵۰۰۰	۶۶/۷

شکل (۲-۲- الف و ب) نگارهای صوتی هستند که تغییرات کندشدگی (DT) امواج

فشاری، برشی و استونلی مربوط به سازندهای سروک و بورگان را در چاه نفتی A نشان

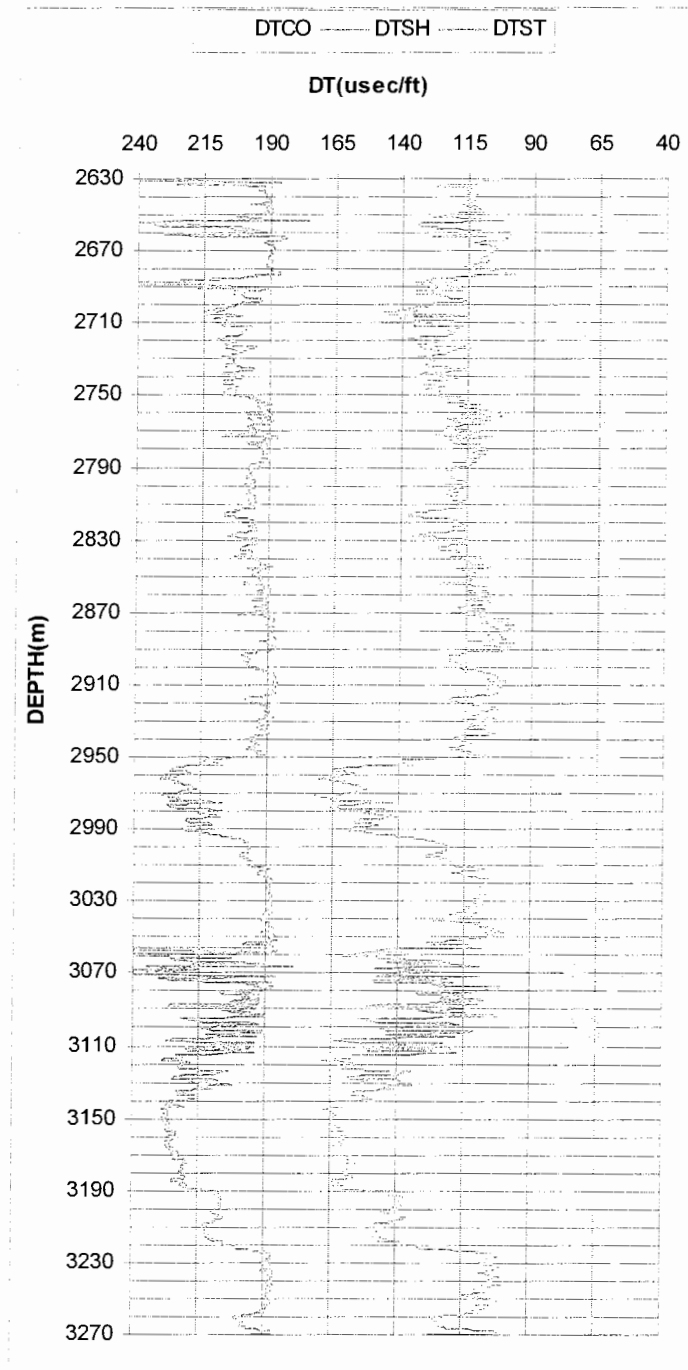
می دهند. در نگار صوتی سازند سروک میزان کندشدگی امواج فشاری، برشی و استونلی از

عمق ۲۹۵۰ متر تا عمق ۳۰۱۰ متر افزایش می یابد که با توجه به اینکه نگار قطریاب در این

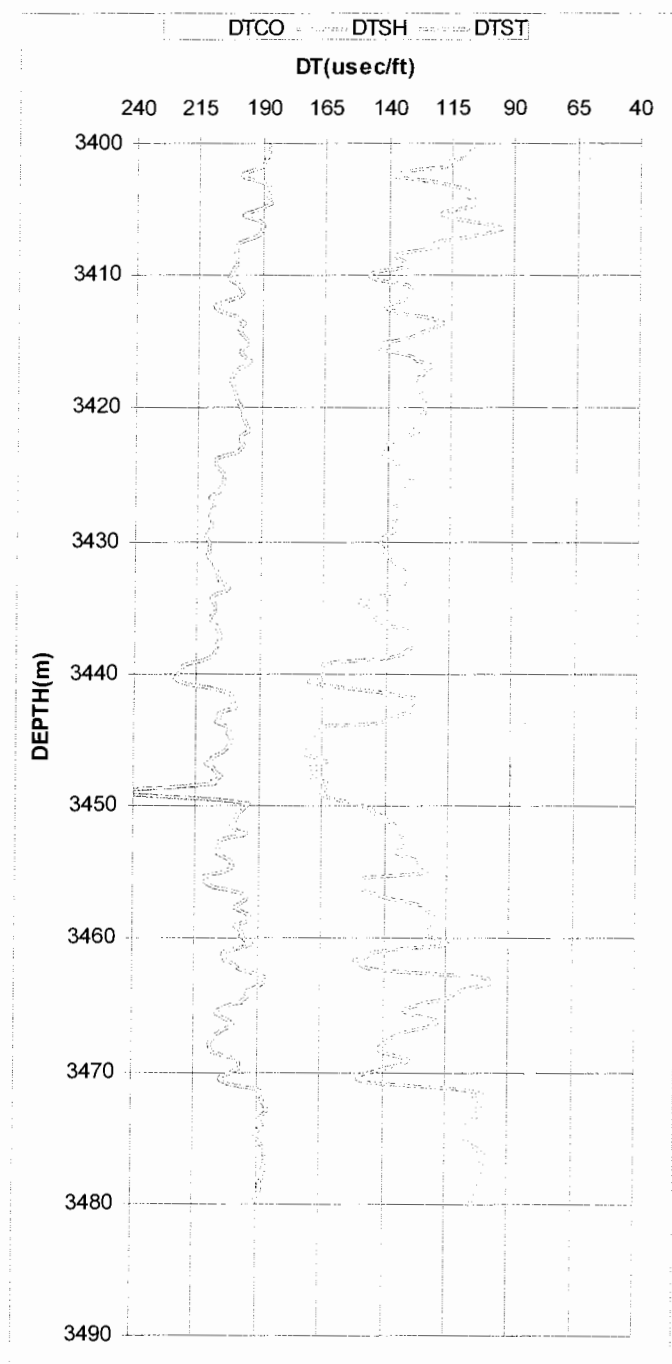
بازه افزایشی را نشان نمی دهند، افزایش کندشدگی در این بازه می تواند نشان دهنده حضور

شیل در سازند و یا وجود تخلخل باشد که این مطلب با توجه به نمودار پرتو گاما بطور دقیق

مشخص می شود.



شکل ۲-۲- الف- تغییرات کندشدگی موج فشاری ، برشی و استونلی مربوط به سازند سروک در چاه نفتی A



شکل ۲-۲-ب- تغییرات کندشدگی موج فشاری ، برشی و استونلی مربوط به سازند بورگان در چاه نفتی A

۲-۲-۳- نگار فاکتور فتوالکتریک^۱

همانطور که می دانیم مواد رادیواکتیو از خود پرتوهای α, β, γ ساطع می کنند. پرتوهای گاما ذرات بدون جرمی هستند که با سرعت نور انتشار می یابند. این فوتون های گاما با مواد مختلف واقع در سر راه خود برخورد کرده و بر حسب انرژی شان سه نوع برهم کنش می تواند ایجاد شود:

- تولید جفت

- پراکندگی کامپتون

- اثر فتوالکتریک

در اثر فتوالکتریک، فوتون با الکترون برخورد کرده و فوتون مذکور می تواند تمام انرژی خود را به صورت انرژی جنبشی به الکترون بدهد. در این صورت الکترون از مدار خارج شده و فوتون از بین می رود و در این حالت پرتوهای گاما جذب می شوند. هر چه انرژی پرتوهای گاما ضعیف تر و عدد اتمی عنصرهای مورد برخورد بیشتر باشد، اثر فتوالکتریک بزرگتر خواهد بود [موحد، ۱۳۷۸].

متغیر فاکتور فتوالکتریک عمدتاً مشخص کننده خمیره سنگ یا اطلاعات سنگ شناسی است و تاثیر بسیار اندکی از تخلخل و سیال درون آن را به همراه خواهد داشت. فاکتور فتوالکتریک (pef) به صورت رابطه (۱-۲) تعریف می شود [مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰]:

1-Photo- Electric –Factor (PEF)

$$pef = \left(\frac{Z}{10}\right)^{3.6} \quad (1-2)$$

که در رابطه فوق، Z عدد اتمی می باشد.

همانطور که گفته شد از نمودار pef برای تعیین سنگ شناسی سازندها استفاده

می شود. محدوده تغییرات pef برای کانی های مختلف به صورت زیر است:

$$(pef)_{lim\ e-stone} \cong 5$$

$$(pef)_{dolomite} \cong 3 \quad (2-2)$$

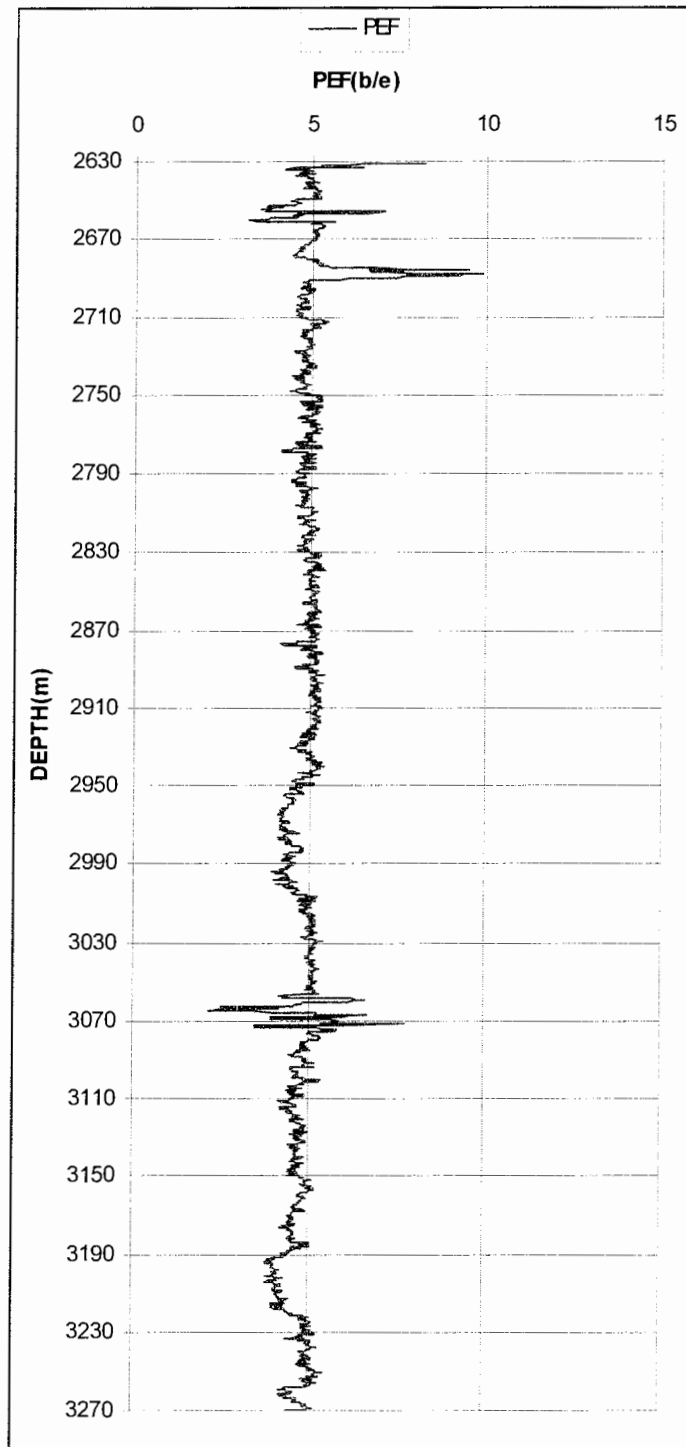
$$(pef)_{sand-stone} \cong 2$$

شکل (۲-۳- الف و ب) نگارهایی هستند که تغییرات pef مربوط به سازندهای سروک و

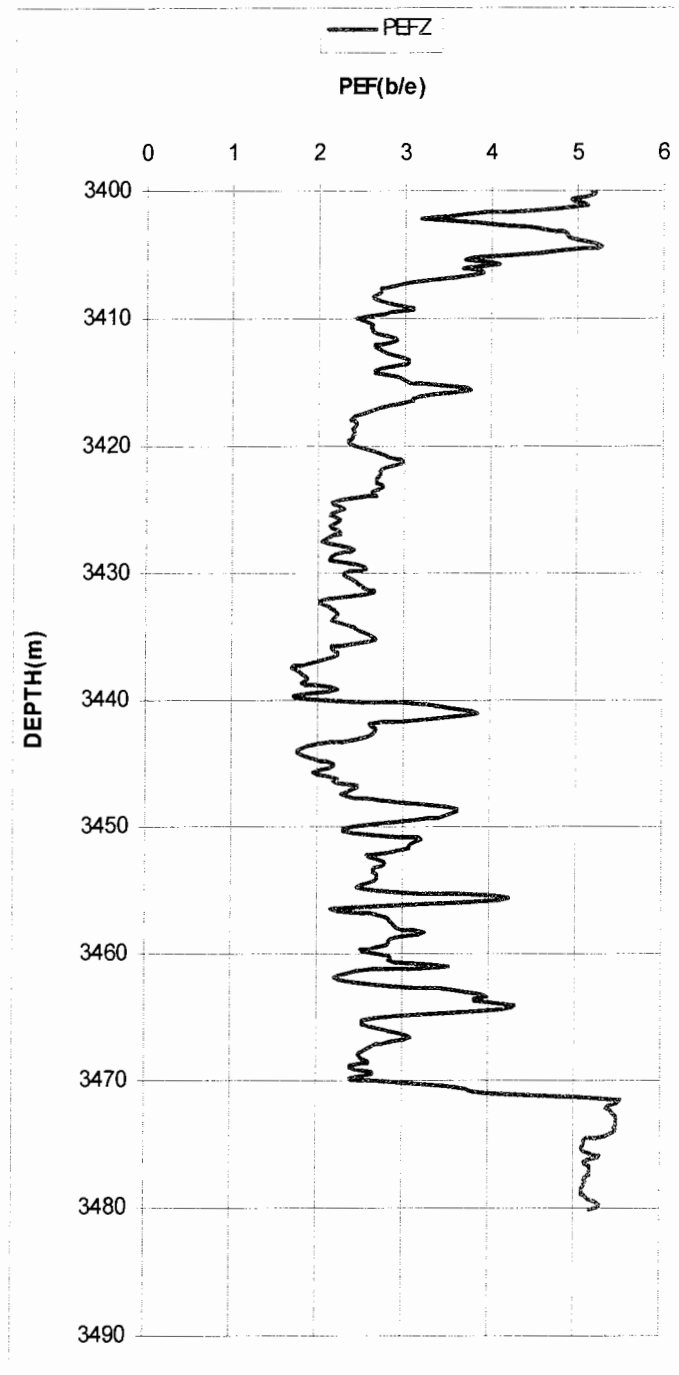
بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهند. تغییرات pef در این نگارها موید این مطلب است که

سازند سروک غالباً از سنگ آهک و سازند بورگان عمدتاً از ماسه سنگ و در بخشهای پایین تر

احتمالاً از دولومیت تشکیل شده است.



شکل ۲-۳-الف- نگار فاکتور فتوالکتریک مربوط به سازند سروک در چاه نفتی



شکل ۲-۳-ب- نگار فاکتور فتو الکتریک مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A

۲-۲-۴- نگارهای پرتو گاما

این نگارها سالهاست که مورد استفاده قرار می گیرند و در سالهای اخیر، قدم هایی در جهت توسعه و تفسیر مربوط به آنها برداشته شده و با ظهور طیف نگار اشعه گامای طبیعی، دنیای جدیدی به روی امکانات تفسیر گشوده شده است [www. Slb. Com]. نگار اشعه گاما، برای ثبت رادیو اکتیویته طبیعی زمین در اعماق مختلف استفاده می شود. تشعشعات رادیواکتیویته از تجزیه و تلاشی سه عنصر موجود در سنگ ها، اورانیوم (U)، توریم (Th) و پتاسیم (K) که به طور مداوم اشعه گامای پرنرژی را در شکلی از انفجارات کوتاه مدت ساطع می کنند به وجود می آیند و قادرند تا چند اینچ در سنگ ها نفوذ کنند. بخشی از این تشعشعات ساطع شده در اطراف چاه که وارد گل حفاری شده اند، می توانند توسط گیرنده اشعه گاما دریافت گردند. گیرنده برای هر اشعه گامای دریافت شده یک ضربان الکتریکی مجزا بوجود می آورد. پارامترهای ثبت شده برابر با تعداد ضربان های دریافت شده توسط گیرنده در واحد زمان هستند [مراد زاده و قوامی، ۱۳۸۰]. نگارهای پرتوگاما به دو دسته SGR^1 و CGR^T تقسیم می شوند. نگاره SGR شامل تشعشعات حاصل از توریم (Th)، پتاسیم (K) و اورانیوم (U) و نگاره CGR شامل تشعشعات توریم (Th) و پتاسیم (K) می باشد [www.slb.com].

1-Sum-Gamma-Ray
2-Corrected -Gamma-Ray

• مشخصات نگارهای پرتو گاما

این نگارها در واحد API^1 یا GAPI مقیاس بندی می شوند. یک GAPI عبارت است از $\frac{1}{200}$ بازتاب گامای تولید شده از یک درجه بندی استاندارد که سازندی مصنوعی است و دارای مقادیر شناخته شده ای از توریم، اورانیوم و پتاسیم می باشد و در انستیتوی نفت آمریکا در هوستون تگزاس نگهداری می شود [مراد زاده و قوامی، ۱۳۸۰]. نگار گاما، معمولاً در قسمت چپ بیشتر نگارها (تراک ۱) ثبت می گردد و مقیاس آن از چپ به راست در واحدهای (۱۰۰-۰) یا (۱۵۰-۰) API انتخاب می شود. عناصر رادیواکتیو در شیل ها (پتاسیم و توریم) به علت قابلیت تراوایی کم آنها جمع می گردند و بدین علت رادیواکتیویته بالایی را نشان می دهند و منحنی نگارهای گامای مربوط به آنها به طرف راست متمایل می گردد. در سازندهای تراوا، مقدار مواد رادیواکتیو کمتر است و منحنی گاما به طرف چپ (یعنی صفر) متمایل می گردد. از آن جایی که این نگار قادر است لایه های شیلی ناتراوا را از لایه های تراوا تمیز دهد لذا می توان از آن بعنوان نگاری در تشخیص تراوایی استفاده کرد [www.slb.com].

با توجه به موارد ذکر شده در بالا نگارهای مربوط به پرتو گاما در تعیین نقاط شیلی و انجام تصحیحات شیلی مورد استفاده قرار می گیرند و از آنجا که شیل شامل توریم (Th) و پتاسیم (K) می باشد لذا ما در تصحیحات مربوطه از نگارهای CGR استفاده می شود.

شکل (۲-۴- الف و ب) نگارهایی هستند که تغییرات CGR, SGR مربوط به سازندهای

سروک و بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهند.

با توجه مطالب ذکر شده در مورد نگار صوتی سازند سروک در بازه عمقی ۲۹۵۰ متر تا

۳۰۱۰ متر و اینکه نگار پرتو گاما در این بازه افزایشی را نشان نمی دهد پس افزایش نگار صوتی

در این محدوده نشان دهنده وجود تخلخل می باشد.

از آنجا که نمودار CGR طیف انرژی پتاسیم و توریم و نمودار SGR طیف انرژی پتاسیم،

توریم و اورانیوم را آشکار می کند لذا اختلاف بین این دو نمودار در حقیقت میزان اورانیوم را

در سازند نشان می دهد که این اختلاف به سه دلیل ایجاد می شود [www.slb.com] :

۱- چنانچه در اشعه گامایی که سنگ ساطع می کند میزان اورانیوم بیشتری وجود

داشته باشد.

۲- از آنجا که اورانیوم می تواند در آب حل شود پس در سازندهای متخلخل آبی به

دلیل حضور اورانیوم بین نمودار SGR و CGR اختلاف دیده می شود. هر چه تخلخل آبی

بیشتر باشد میزان اورانیوم بیشتری در آب حل شده و اختلاف بین این دو نمودار هم بیشتر

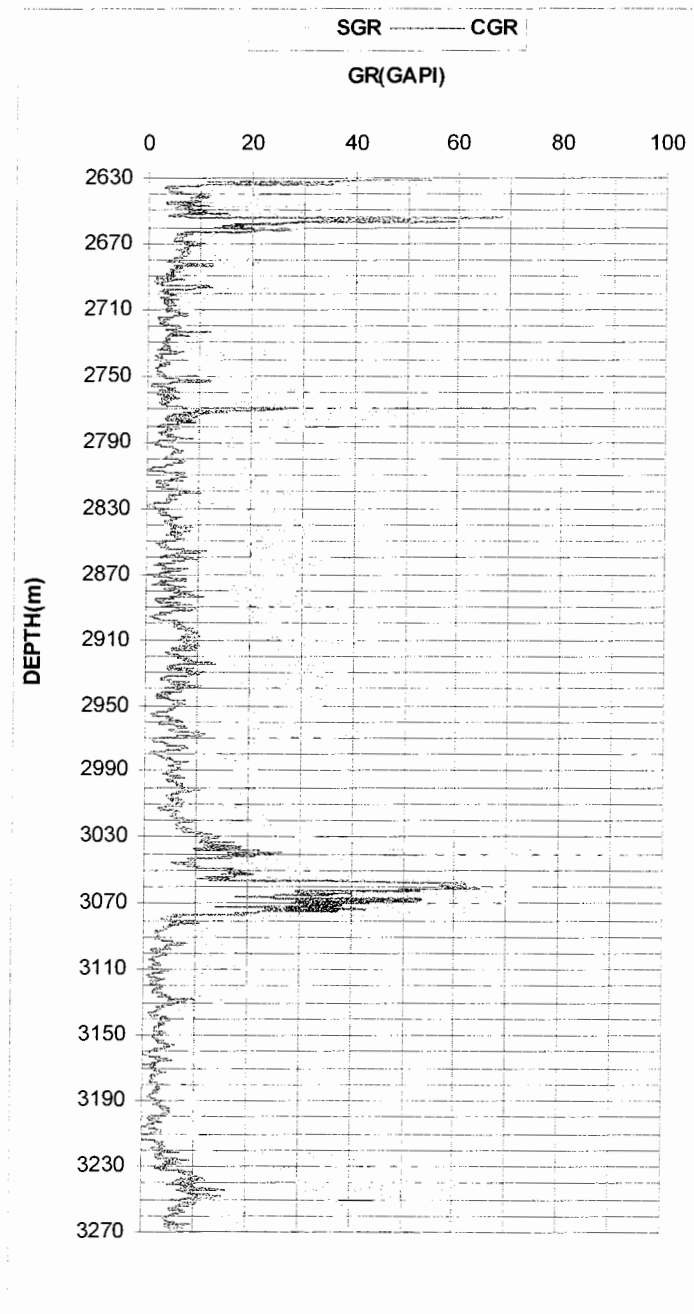
می شود.

۳- بر طبق پدیده دیاژنز هنگامی که سنگ آهک به دولومیت تبدیل می شود یک مقدار

از حجم سنگ به تخلخل تبدیل شده و می تواند اورانیوم را در خود حل کند. بنابراین اختلاف

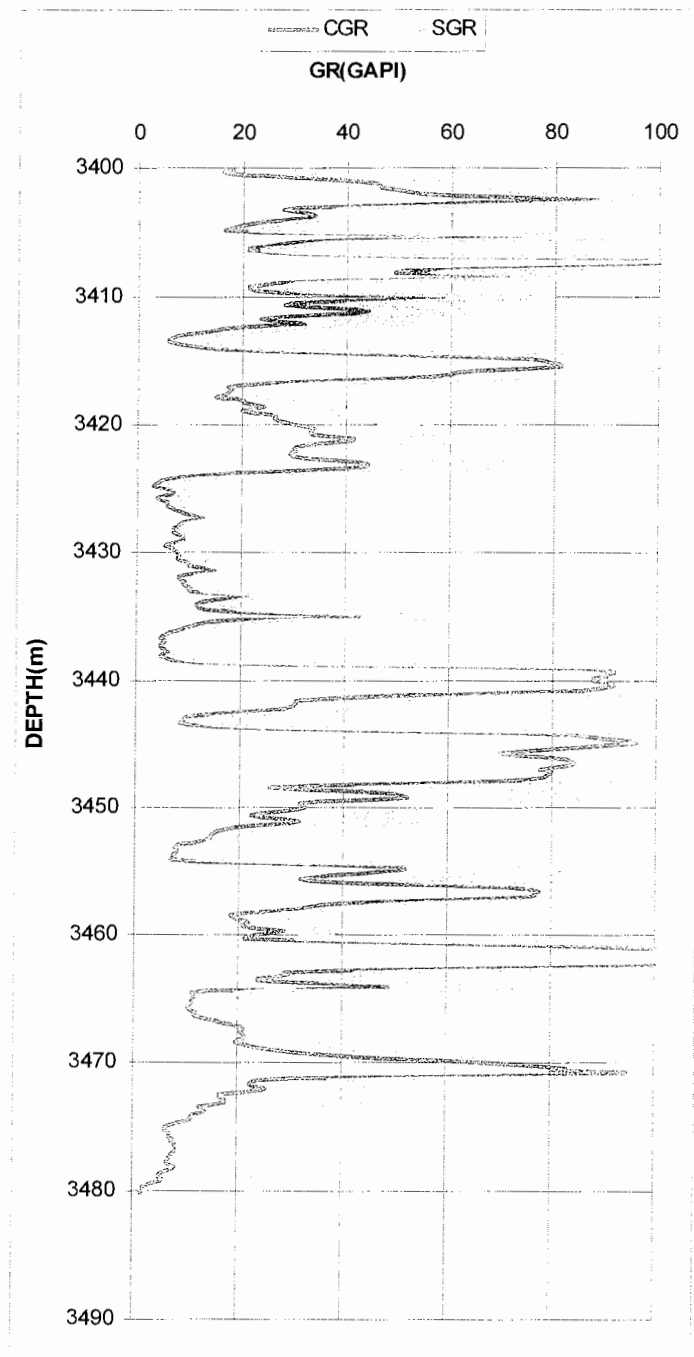
نمودار SGR و CGR می تواند نشان دهنده حضور دولومیت نیز باشد.

به این ترتیب با توجه به شکل (۲-۴-الف) می توان گفت سازند سروک از عمق ۲۷۵۰ متر به پایین شامل زون های آبی بوده و یا اینکه از لحاظ سنگ شناسی سازند دولومیتی شده است که ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A این مطلب را تایید می کند.



شکل ۲-۴-الف- نگار پرتو گاما است که تغییرات SGR, CGR مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان

می دهد



شکل ۲-۴-ب- نگار پرتو گاما است که تغییرات CGR, SGR مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A نشان

می دهد

۲-۲-۵- نگار جرم مخصوص یا دانستیه سازند

یکی از دستگاه های اندازه گیری تخلخل ابزار LDT^1 است که این دستگاه علاوه بر جرم مخصوص توده سنگ، فاکتور فتوالکتریک (pef) را نیز اندازه گیری می کند. با این دستگاه اشعه گاما با انرژی متوسط به درون سازند فرستاده می شوند. گیرنده های مورد استفاده در این دستگاه بسیار حساس بوده و تشعشعات گاما در دو دریچه جداگانه اندازه گیری شده و توسط کابل به سطح زمین فرستاده می شوند. دریچه های پرانرژی تنها حاوی اطلاعات مربوط به جرم مخصوص هستند در حالی که دریچه کم انرژی اطلاعات مربوط به فاکتور فتوالکتریک را نیز در بردارد [www.slb.com].

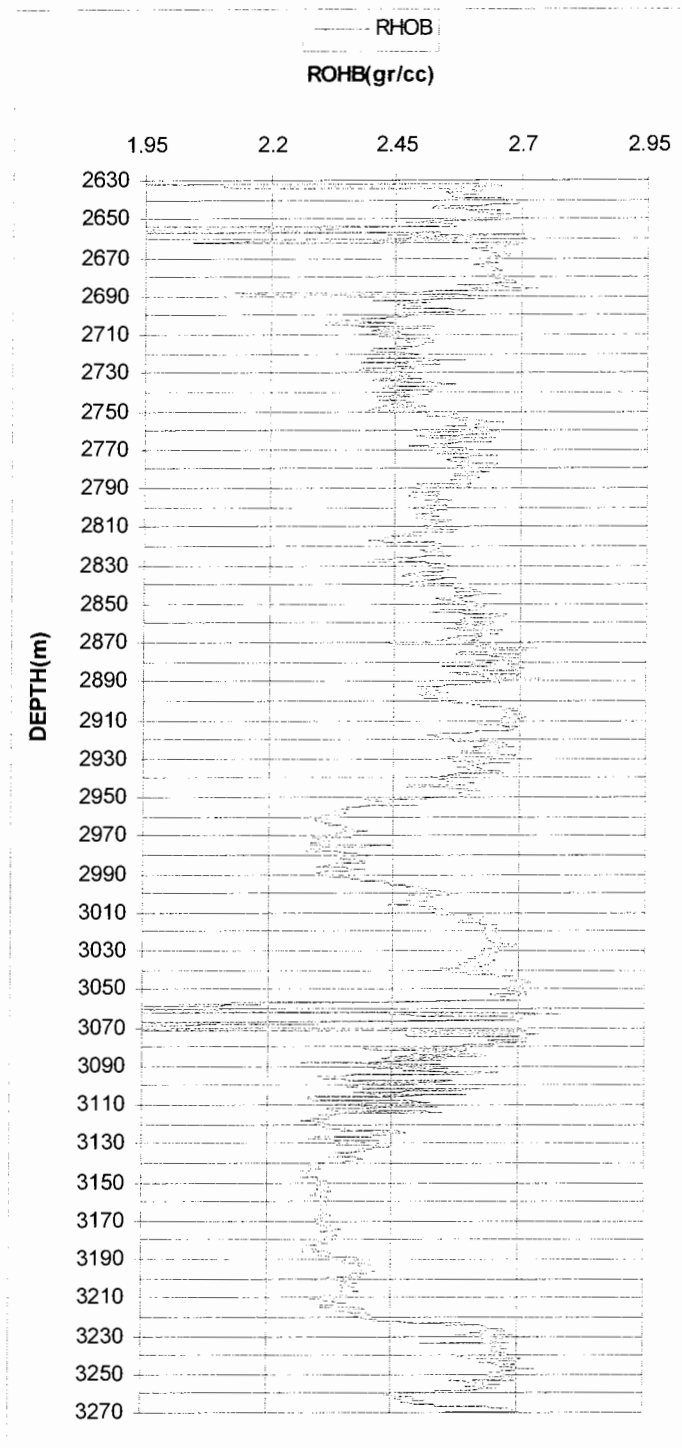
• مشخصات نگار جرم مخصوص

نمودار جرم مخصوص مستقیماً بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب (g/cm^3) مقیاس بندی می شود. اگر این دستگاه به تنهایی رانده شود، مقیاس منحنی ρ_s (در سیستم C.S.U با حروف RHOB نشان داده می شود) معمولاً از ۲ تا ۳ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. ولی معمولاً این دستگاه به همراه دستگاه نوترون رانده می شود که در این حالت از ۱/۹۵ تا ۲/۹۵ گرم بر سانتی متر مکعب تقسیم بندی می گردد. نگار جرم مخصوص در تراک ۳ و ۲ ثبت و از چپ به راست مقیاس بندی می گردد. منحنی $\Delta\rho$ (در بعضی موارد DRHO) منحنی تصحیح

کننده ای^۱ است که مقادیر جرم مخصوص کم یا زیاد شده ای را که بر اثر اندود گل بوجود می آید، نشان می دهد. نمودار جرم مخصوص براساس این نمودار به صورت اتوماتیک تصحیح می گردد [www.slb.com].

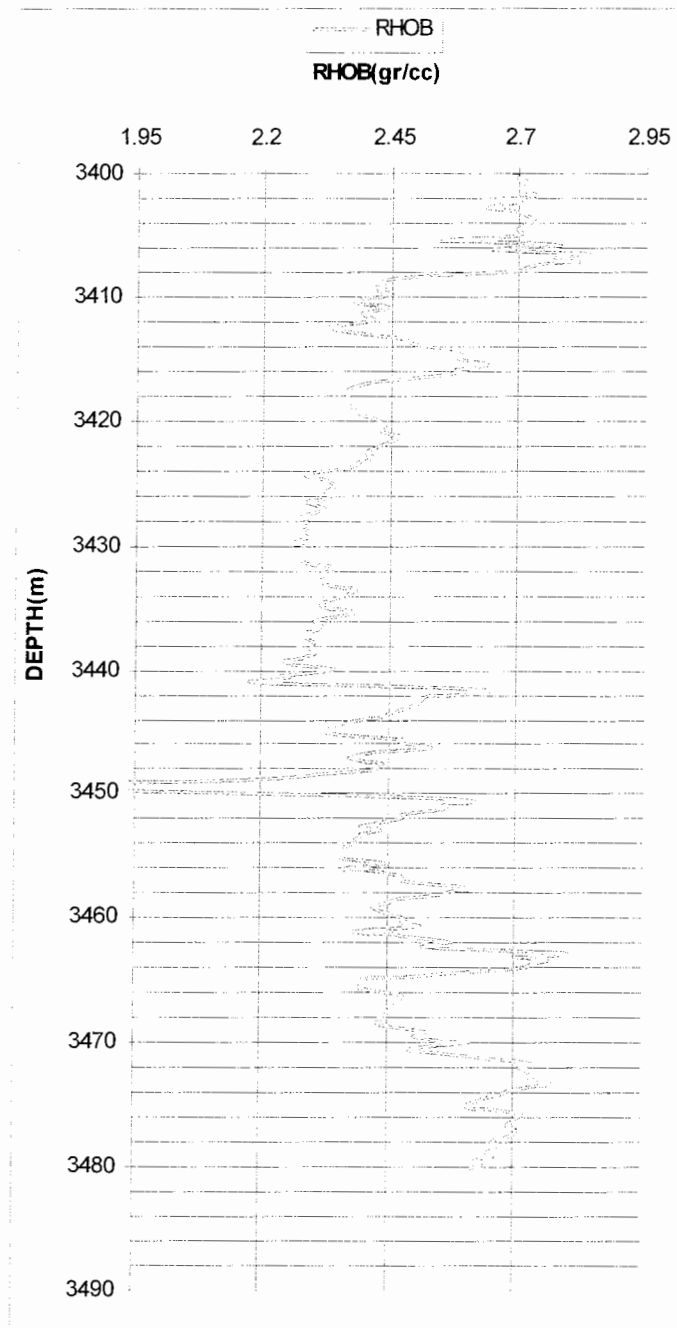
شکل (۲-۵-الف و ب) نگارهایی هستند که تغییرات جرم مخصوص (RHOB) مربوط به سازندهای سروک و بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهند.

همانطور که در شکل (۲-۵-الف) مشاهده می شود در بازه های عمقی ۳۰۰۰ - ۲۹۴۰ متر و ۳۲۲۰ - ۳۰۷۰ متر جرم مخصوص کاهش می یابد. مقایسه نگار جرم مخصوص با نگار صوتی در این بازه ها نشان می دهد که در این بازه ها با کاهش چگالی، کندشدگی امواج صوتی افزایش یافته که این نشان دهنده وجود تخلخل در این نواحی می باشد.



شکل ۲-۵-الف- نگار جرم مخصوص است که تغییرات (RHOB) مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A

نشان می دهد



شکل ۲-۵-ب- نگار جرم مخصوص است که تغییرات (RHOB) مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A

نشان می دهد

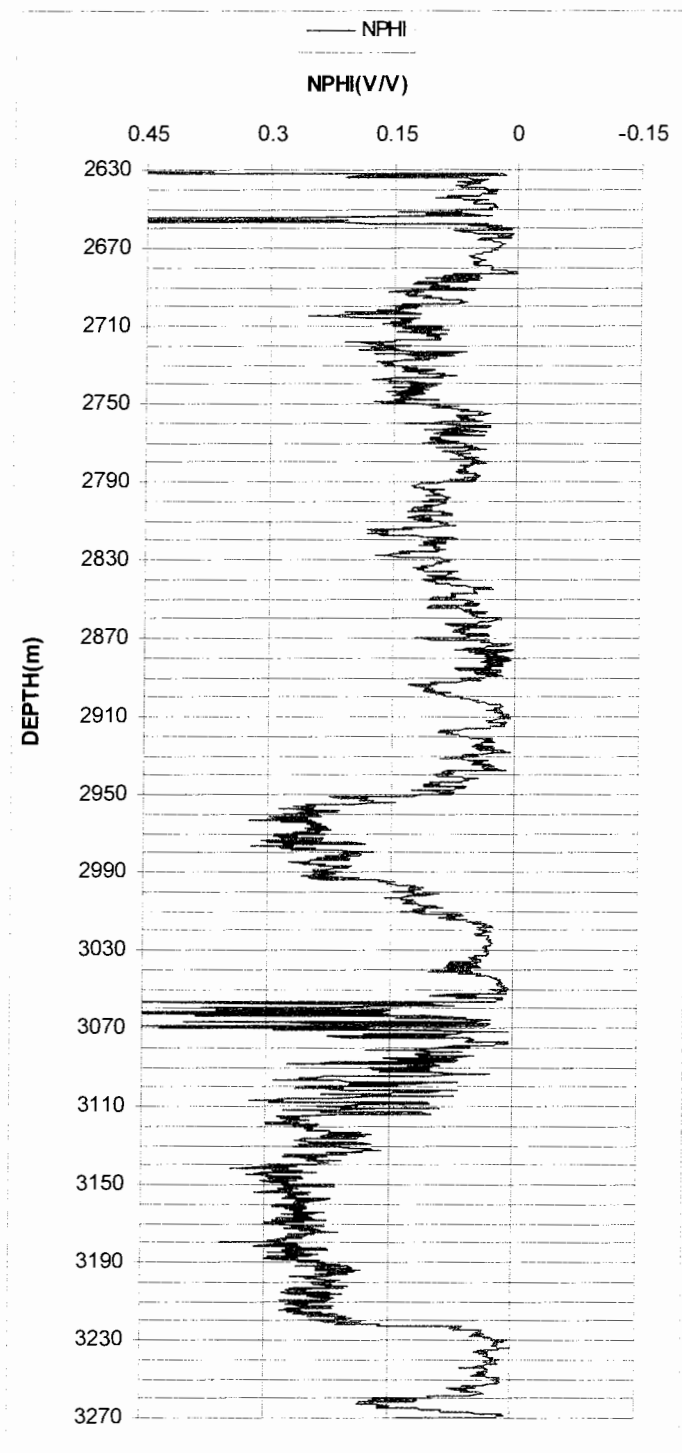
۲-۲-۶- نگار نوترون جبران شده^۱(CNL) یا تخلخل ناشی از نوترون^۲(NPHI)

اساساً نگارهای نوترون برای توصیف سازندها و تعیین میزان تخلخل بکار می روند. این نوع نگارها نسبت به میزان هیدروژن موجود در سازند واکنش نشان می دهند. بنابراین در سازندهای تمیزی که حفرات آنها با آب و یا هیدروکربور پر شده باشد، نگار نوترون مقدار تخلخل پر شده از سیال را منعکس می نماید. زونه‌های گازدار را اغلب می توان از مقایسه نگار نوترون با سایر نگارهای تخلخل تشخیص داد. ترکیبی از نمودار نوترون با یک یا چند نمودار تخلخل دیگر قادر است اطلاعات دقیقی از مقدار تخلخل و نوع سنگ شناسی سازند در اختیار ما قرار دهد و حتی به کمک آن می توان مقدار شیل موجود در سازند را مورد ارزیابی قرار داد [موحد، ۱۳۷۱]. نگارهای CNL, NPHI از ۰/۱۵- تا ۰/۴۵ و از راست به چپ تقسیم بندی می گردد.

شکل (۲-۶- الف و ب) نگارهایی هستند که تغییرات تخلخل نوترون مربوط به سازندهای سروک و بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهند. همانطور که در نگار جرم مخصوص تو ضیح داده شد، در بازه های عمقی ۳۰۰۰- ۲۹۴۰ متر و ۳۲۲۰- ۳۰۷۰ متر کاهش میزان چگالی و افزایش کندشدگی نشانگر وجود تخلخل در این نواحی می باشد که افزایش میزان تخلخل ناشی از نوترون در شکل (۲-۶- الف) این مطلب را تایید می کند.

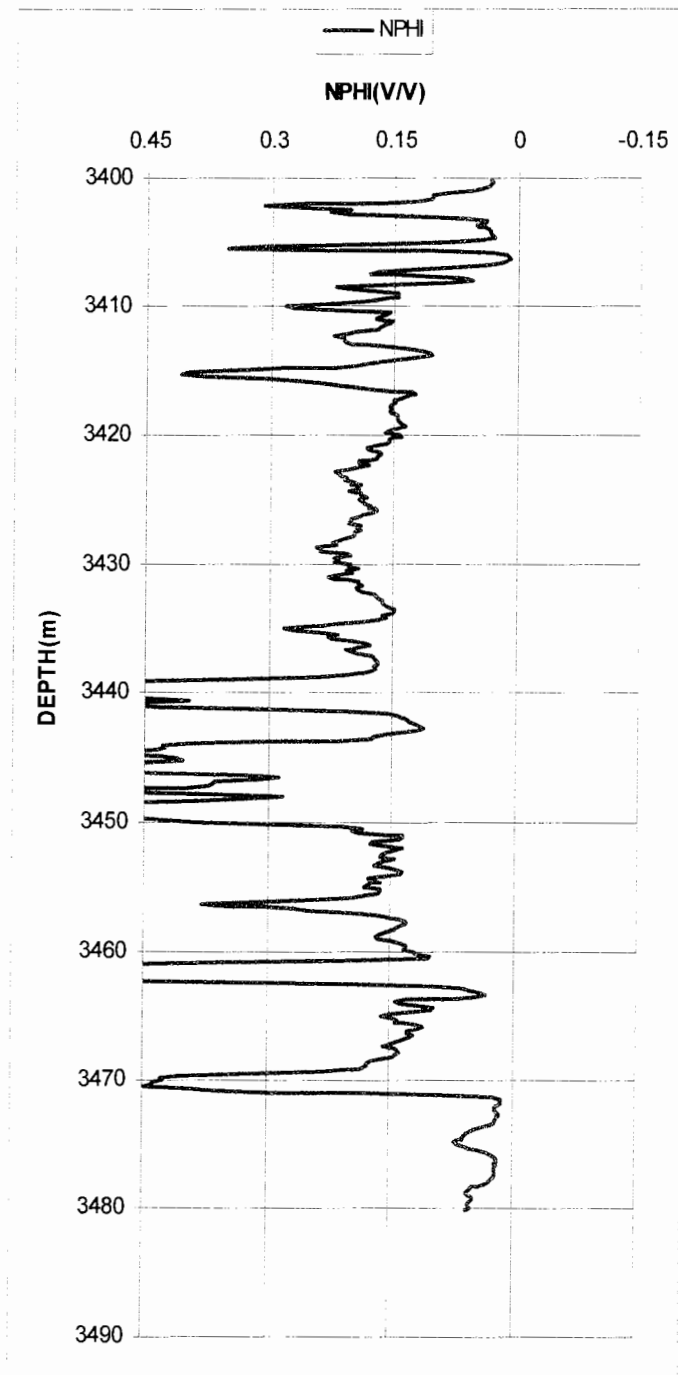
1-Compensated neutron log (CNL)

2-Neutron porosity hydrogen index (NPHI)



شکل ۲-۶- الف- نگار تخلخل نوترون است که تغییرات تخلخل مربوط به سازند سروک را در چاه نفتی A نشان

می دهد



شکل ۲-۶-ب- نگار تخلخل ناشی از نوترون است که تغییرات تخلخل مربوط به سازند بورگان را در چاه نفتی A

نشان می دهد

در ارزیابی پتروفیزیکی از نحوه قرار گرفتن منحنی ρ_b و NPFI یا CNL نسبت به هم برای تعیین سنگ شناسی استفاده می شود.

همانطور که می دانیم محدوده تغییرات ρ_b در سنگهای مختلف به صورت زیر است]

تلفورد و همکاران، ۱۹۹۱]:

$$\rho_{Dolomite} = 2.87(g/cm^3)$$

$$\rho_{Limestone} = 2.71(g/cm^3) \quad (3-2)$$

$$\rho_{SandStone} = 2.65(g/cm^3)$$

- چنانچه مطابق شکل (۲-۶-ج) در یک سازند تمیز، نگار ρ_b در سمت راست نگار

NPFI یا CNL قرار داشته باشد این حالت می تواند نشان دهنده حضور دولومیت باشد]

[www.slb.com]

حضور گاز در سازند باعث می شود که مقادیر ρ_b و NPFI یا CNL مقادیر کمتری داشته

باشند به این ترتیب ρ_b به سمت چپ و NPFI یا CNL به سمت راست متمایل شده و

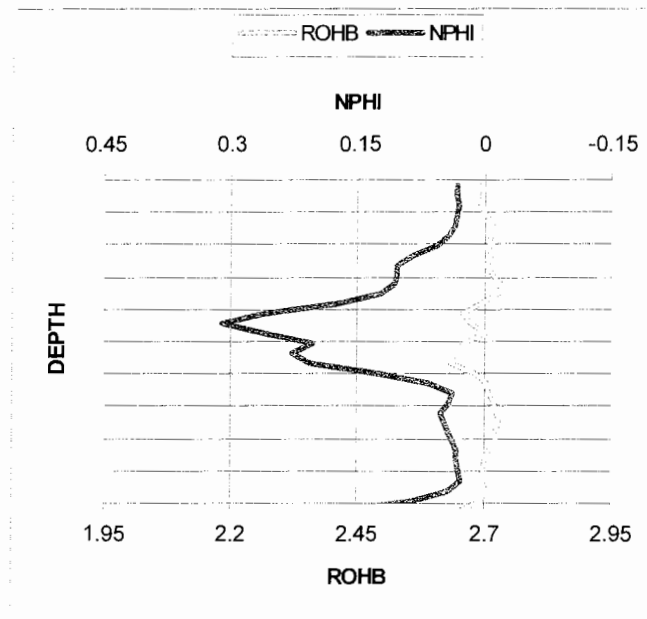
منحنی ها بر هم منطبق می شوند و به این ترتیب حالتی که نشان دهنده حضور سنگ آهک

می باشد بوجود می آید. راه تشخیص دولومیت گاز دار از سنگ آهک بررسی مقدار فاکتور

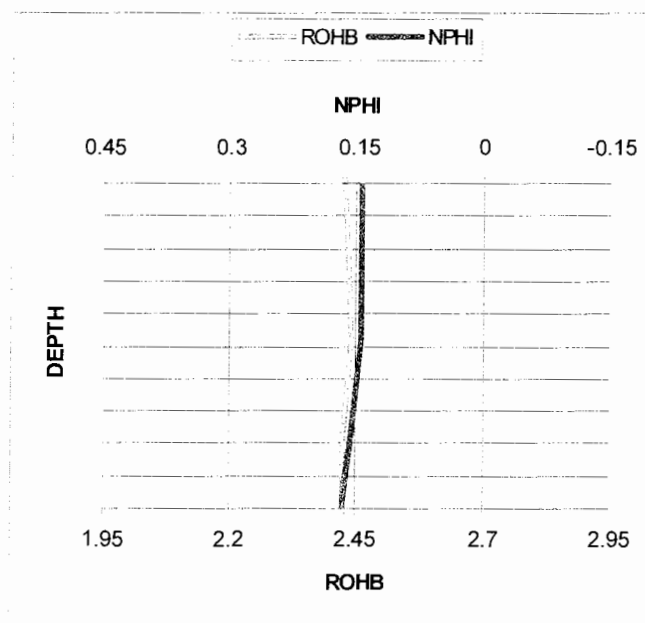
فتوالکتریک است.

- چنانچه نگار ρ_b منطبق بر NPFI یا CNL باشد این حالت نشان دهنده حضور سنگ

آهک است. شکل (۲-۶-د)



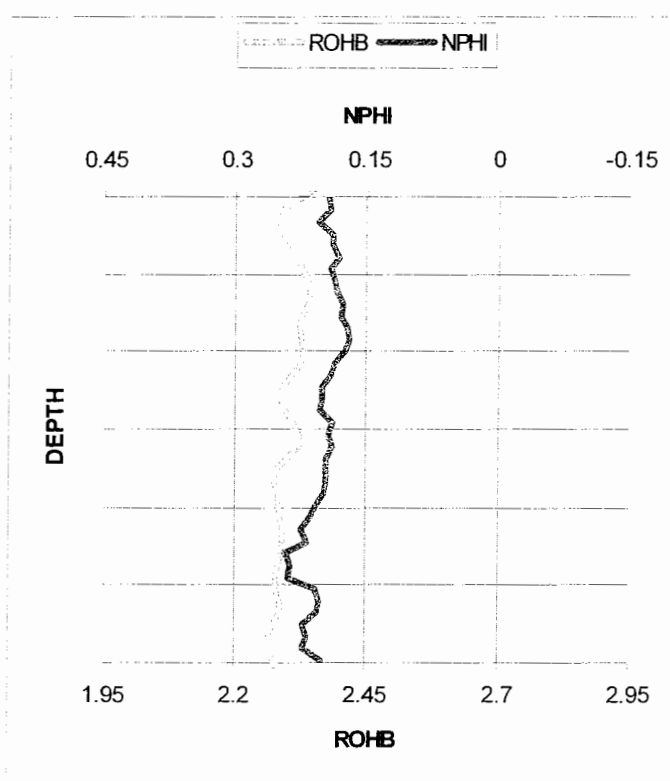
شکل ۲-۶-ج- نگار ρ_b را در سمت راست نگاره NPHI نشان می دهد که نشان دهنده حضور دولومیت است



شکل ۲-۶-د- نگار ρ_b را منطبق بر نگار NPHI نشان می دهد که نشان دهنده حضور سنگ آهک است

- چنانچه نگار ρ_b سمت چپ NPHI یا CNL قرار داشته باشد این حالت نشان دهنده

حضور ماسه سنگ است. شکل (۲-۶-۵)



شکل ۲-۶-۵- نگار ρ_b را در سمت چپ نگار NPHI نشان می دهد که نشان دهنده حضور ماسه سنگ است

۲-۲-۷- نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی

نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی در تعیین سنگ شناسی، مشخص نمودن مرز لایه ها و اندازه گیری مقاومت ویژه سازند استفاده می شوند. به طور کلی به منظور بررسی مقاومت ویژه سازند نگارگیری به دو روش الکتروودی و القایی^۱ انجام می شود. اساس نگارگیری الکتروودی در فصل اول بیان شد. اما در نگارگیری القایی، چنانچه گمانه متروکه و فاقد آب باشد یا دارای گل حفاری شیرین یا سبک و با مبنای هیدروکربور و یا دارای هوا یا گاز باشد، این عوامل مانعی برای عبور جریان الکتریکی محسوب می شوند و امکان نگارگیری به روش الکتروودی وجود ندارد و از روشهای القایی استفاده می شود [www.ipt.ntun.no].

در نگارگیری القایی، میدان الکترومغناطیسی توسط سیم پیچ اولیه به درون گمانه ارسال می گردد که این میدان جریانی را در سازند القا می کند. جریان القایی ایجاد شده سبب تشکیل میدان الکترومغناطیس ثانویه می شود که بوسیله سیم پیچ گیرنده ثبت و تبدیل به هدایت ویژه الکتریکی (عکس مقاومت ویژه الکتریکی) می گردد [مراد زاده و قوامی، ۱۳۸۰].

ابزارهای مختلف نگارگیری با استفاده از روشهای متفاوت، مقاومت ویژه الکتریکی سازند را در ناحیه مورد تهاجم (RXO)، ناحیه حد وسط (LLS) و ناحیه بکر (LLD) اندازه گیری می کنند. نگارهای مقاومت ویژه الکتریکی از چپ به راست و با مقیاس لگاریتمی ثبت می شوند [www.slb.com].

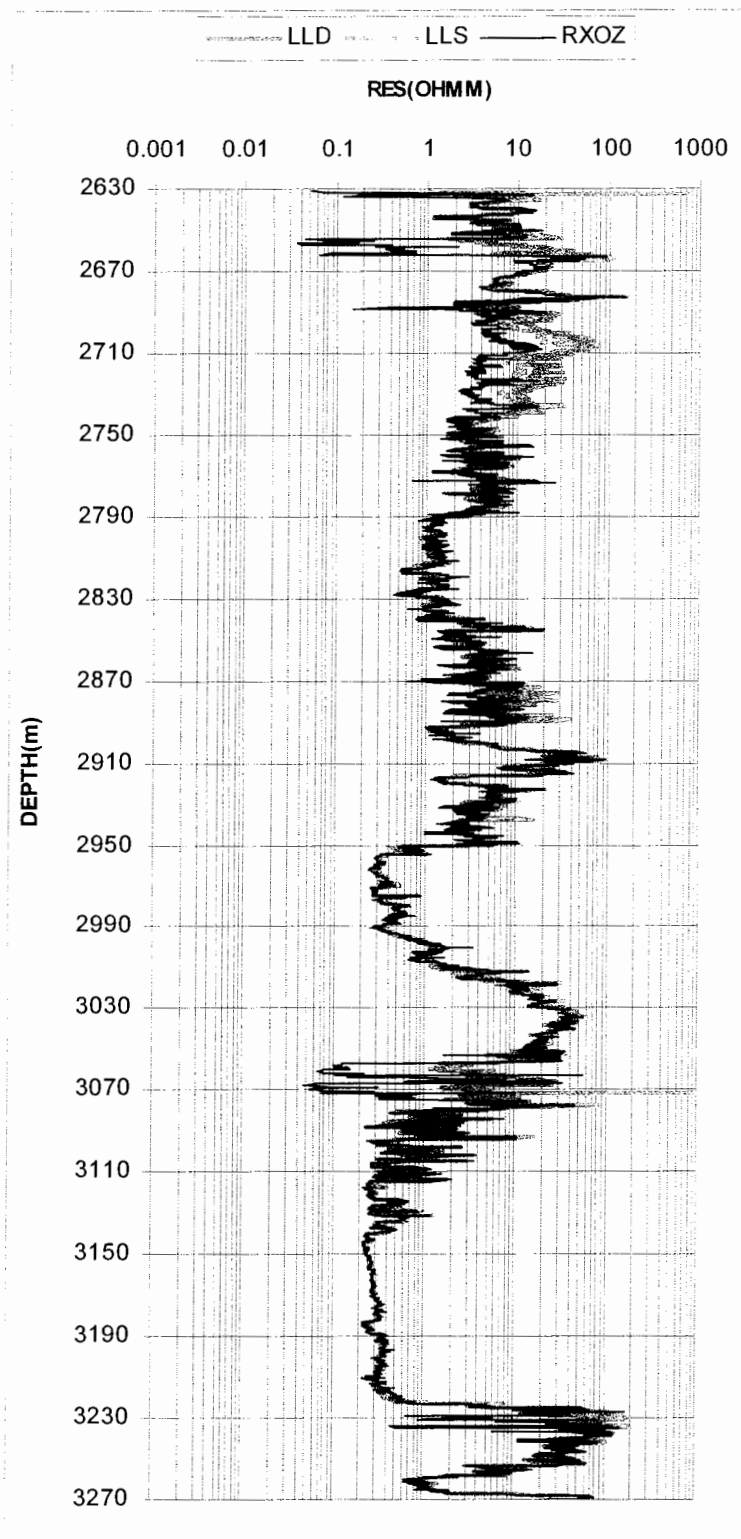
شکل (۲-۷- الف و ب) نگارهایی هستند که تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی (LLD,LLS,RXO) مربوط به سازندهای سروک و بورگان را در چاه نفتی A نشان می دهند. در زون تراوا، به علت تراوایی، گل حفاری به داخل سازند نفوذ کرده و سیال درون سازند را به عقب می راند به این ترتیب سازند به دو ناحیه شسته شده که شامل تراویده گل و ناحیه بکر که شامل سیال درون سازند می باشد تقسیم می شود. با توجه به اینکه LLD مقاومت ناحیه بکر و RXOZ مقاومت ناحیه شسته شده را نشان می دهد از نحوه قرارگیری نمودارهای LLD و RXOZ می توان نوع سیال درون سازند و گل حفاری را تشخیص داد [مرادزاده و قوامی، ۱۳۸۰].

چنانچه یک سازند تراوای نفتی داشته باشیم و گل حفاری ما پایه آبی باشد، RXOZ مقاومت آب را نشان می دهد که قطعاً مقدار کمی دارد و LLD مقاومت نفت را نشان می دهد که مقدار بالایی خواهد داشت. این امر باعث می شود که RXOZ و LLD با هم اختلاف داشته باشند که این حالت خود می تواند یک نشانگر کیفی برای تراوایی باشد. اما در سازند تراوای آبی با توجه به اینکه RXOZ و LLD هر دو مقاومت آب را نشان می دهند لذا این دو نمودار با هم اختلافی ندارند [www.slb.com].

اگر زون، نفتی باشد و مقاومت ناحیه شسته شده و بکر با هم اختلافی نداشته باشند این بدین معناست که زون مورد نظر ناتراواست. چنانچه زون آبی و مقدار RXOZ بیشتر از LLD باشد آنگاه می توان گفت گل حفاری مورد استفاده پایه روغنی می باشد [www.slb.com].

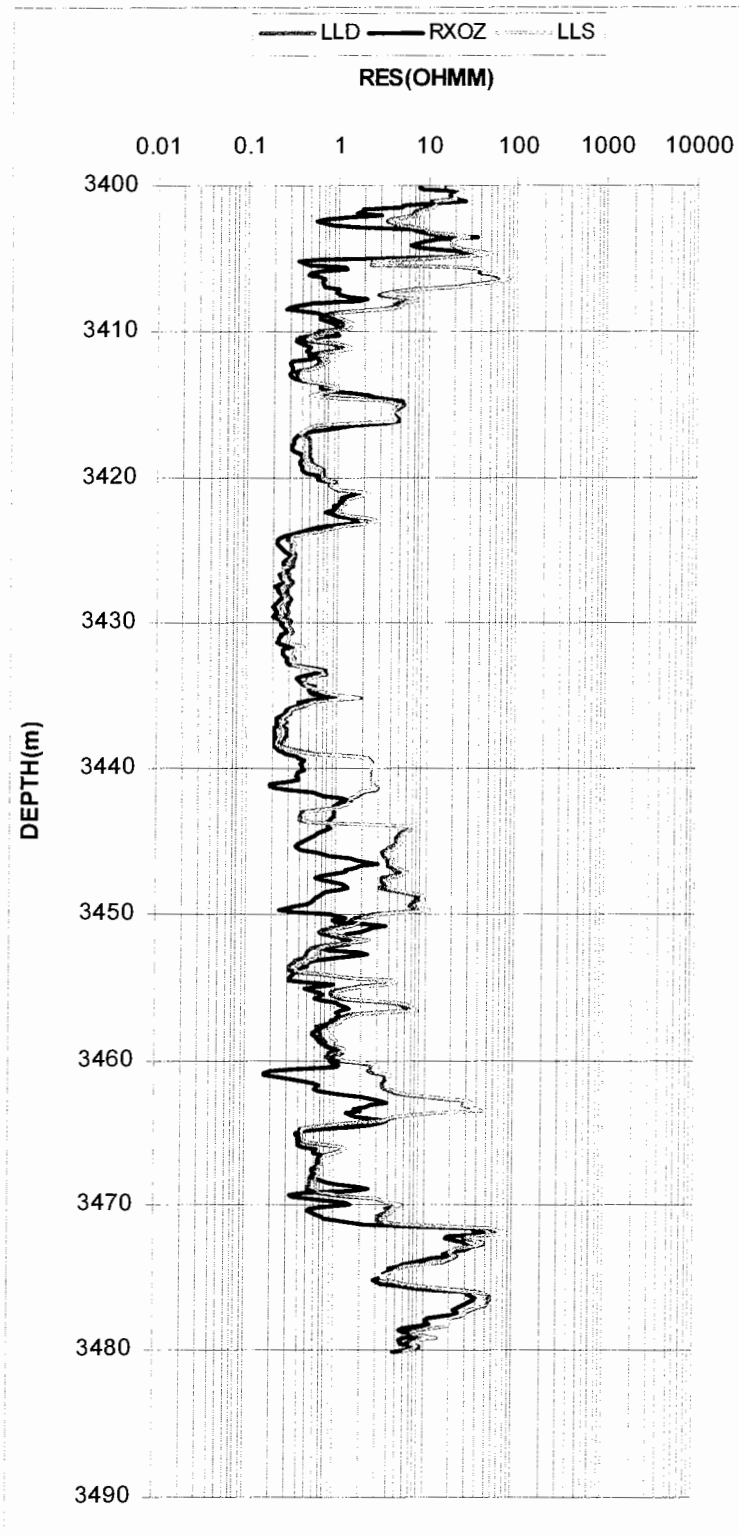
با توجه به مطالب ذکر شده و همانطور که در شکل (۲-۷-الف) مشاهده می شود در

سازند سروک تا عمق ۲۷۵۰ متر زون نفتی و از آن به بعد زون آبی داریم.



شکل ۲-۷- الف- نگار مقاومت ویژه الکتریکی است که تغییرات (LLD,LLS,RXO) مربوط به سازند سروک را

در چاه نفتی A نشان می دهد



شکل ۲-۷-ب- نگار مقاومت ویژه الکتریکی است که تغییرات (LLD,LLS,RXO) مربوط به سازند بورگان را

در چاه نفتی A نشان می دهد

فصل ۳: ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A

۳-۱- مقدمه

ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A بوسیله نرم افزار Geoframe انجام گرفته است. برای بررسی مراحل ارزیابی لازم است تا با اصول و مبانی این نرم افزار آشنا شویم لذا در این فصل ابتدا به معرفی کامل و دقیق این نرم افزار پرداخته و سپس مراحل را که در ارزیابی چاه نفتی A طی شده است بطور اجمال شرح داده ایم.

نرم افزار Geoframe که توسط شرکت شلومبرژه به بازار ارائه شده است یکی از کارآمدترین و قابل انعطاف ترین نرم افزارهای موجود در زمینه مدل سازی مخازن نفت و گاز می باشد. در این بسته نرم افزاری^۱ تمامی مدول های مورد نیاز مدل سازی تعبیه شده است. بسته نرم افزاری مذکور شامل چهار بخش یا مدول اصلی که عبارتند از مدول ژئوفیزیکی، مدول مخزن، مدول زمین شناسی و مدول پتروفیزیکی می باشد.

این بسته نرم افزاری قابل نصب بر روی Sun - Workstation می باشد که البته در سالهای اخیر از سوی شرکت شلومبرژه تمهیداتی صورت گرفته که بتوان آن را بر روی کامپیوترهای معمولی نیز نصب کرد. مدول پتروفیزیکی که جهت ارزیابی پتروفیزیکی مورد استفاده قرار می گیرد، خود شامل مدول های مختلفی از قبیل:

Data load, Well-Composite Plus, Curve Editing, Enviromental Correction,

Utility Plot, Elan Plus, Reservoir Summation,...

می باشد.

زمانیکه داده های خام از سر چاه به دست یک کاربر می رسد مراحل زیر یک به یک بر روی داده ها انجام می شود:

۱- توسط مدول Data load تمامی داده ها با هر فرمتی که باشند (Lis, Dlis, Las,...) از روی نوار به روی کامپیوتر انتقال داده می شود.

۲- در این مرحله نمودارها از نظر عمقی تصحیح می شود و خود نمودارها نیز با یکدیگر تطابق پیدا می کنند. تمامی این کارها توسط گزینه Depth Matching در مدول Curve Editing انجام می شود.

۳- در مرحله سوم تصحیحات محیطی به روی نمودارها، جهت حذف تاثیرات گمانه و تاثیرات هندسه محیط بر روی قرائت های ابزار انجام می شود (مدول Environmental correction).

۴- در حال حاضر داده ها جهت انجام ارزیابی مهیا هستند. در این مرحله با استفاده از مدل Utility plots تمام نمودارهای متقاطع^۱ مورد نیاز جهت تشخیص سنگ شناسی و نوع سیال مخزن رسم می شود که به درک بهتری جهت ارائه مدل ارزیابی در مدل Élan plus کمک می کند.

۵- در این مرحله با استفاده از مدل Élan plus که تئوری و عملکرد آن کامل توضیح داده خواهد شد، ارزیابی پتروفیزیکی انجام می شود.

۶- پس از انجام ارزیابی، در این مرحله توسط مدل Reservoir – summation اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی مخزن از قبیل $(S_w)_{ave}$ ^۲، ϕ_{ave} ^۳ و نسبت Net/ Gross محاسبه می شود.

نکته: Grass عمق کل چاه می باشد و Net مجموع ضخامتها یا کل ارتفاعی است که با توجه به تخلخل و اشباع شدگی از آب، از لحاظ اقتصادی ارزش استخراج را دارد. برای تعیین این نقاط یا اصطلاحاً حد (cut-off) معمولاً در مخازن نفتی، تخلخل بالای ۵٪ و اشباع شدگی از آب کمتر از ۶۰٪ را بعنوان Net در نظر می گیرند.

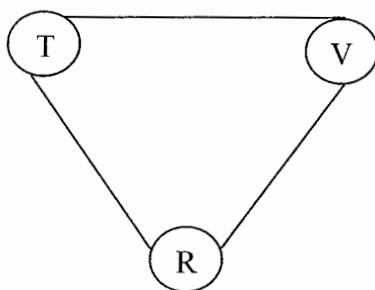
1-Cross- plot
2-Water-Saturation
3- average porosity

۲-۳- تئوری و عملکرد برنامه Élan plus

برنامه کامپیوتری Élan plus به منظور ارزیابی کمی سازند توسط نگارهای موجود در چاه های باز و تکمیلی توسط لوله جداری، طراحی شده است. ارزیابی به گونه ای انجام می شود که چندین معادله که توسط یک یا چند مدل تعبیر و تفسیر مشخص شده اند بطور همزمان حل شده و جواب ها بهینه سازی می شود. اکثر کاربران Élan plus فکر می کنند که هدف این برنامه حل مسائل به روش مدل سازی معکوس^۱ می باشد که در این روش از اندازه گیری نگار و پارامتر پاسخ ابزار^۲ جهت محاسبه مقادیر حجمی اجزا تشکیل دهنده سازند استفاده می شود. در حقیقت این جنبه از کار برنامه یک بعد از سه بعد برنامه هایی است که بین مقادیر نگار، پارامتر پاسخ ابزار و حجم مولفه های سازند وجود دارد.

رابطه بین این سه دسته از اطلاعات مطابق شکل (۱-۳) معمولاً به صورت یک دیاگرام

مثلثی بیان می شود.



شکل ۱-۳- دیاگرام مثلثی که رابطه بین اطلاعات را در برنامه Élan Plus نشان می دهد

1-Inverse- modeling

2-Response- parameter-tools

در این شکل T بیانگر مقادیر اندازه گیری نگارها می باشد که بر گرفته از عبارت TOOLS است. R بیانگر پاسخ هر یک از ابزار نمودارگیری به مواد تشکیل دهنده سازند می باشد، زمانی که این ابزار توسط صد درصد از آن ماده احاطه شده باشد. برای مثال قرائت ابزار دانستیه زمانی که با صد در صد سنگ آهک احاطه شده باشد برابر با $2/71$ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. V نیز بیانگر حجم هر یک از مواد تشکیل دهنده سازند می باشد.

با در دست داشتن اطلاعات مربوط به دو کنج از این مثلث برنامه Élan plus قادر است کنج سوم را اندازه گیری کند.

در روش معکوس سازی از T,R استفاده می شود و این قسمت تقریباً یکی از اصلی ترین کاربردهای برنامه Élan plus می باشد.

در روش مدل سازی مستقیم¹ که به روش تجدید ساخت نگار² نیز مشهور است از V,R استفاده شده و مقادیر قرائت نگار که همان T است محاسبه می شود. همزمان با روش معکوس توسط روش مستقیم نگارها بازسازی شده و قرائت های بازسازی شده توسط Élan plus با قرائت های حقیقی ابزار مقایسه می شود و دقت و کیفیت مقادیر حجمی محاسبه شده توسط روش معکوس مورد بررسی قرار می گیرد. هر چه نگارهای بازسازی شده توسط Élan plus و مقادیر حقیقی قرائت شده توسط ابزار تطابق بهتری داشته باشند نشانگر دقت و صحت مدلی است که جهت تفسیر انتخاب شده است.

استفاده از T, V جهت محاسبه R ، کالیبراسیون نامیده می شود.

هر کاربر قبل از استفاده از این نرم افزار لازم است با یکسری از واژگان کاربردی در این

نرم افزار آشنایی داشته باشد. این واژگان عبارتند از:

۱- معادلات و ابزار^۱

در این نرم افزار معادله و ابزار دارای یک معنی هستند. از نقطه نظر فنی واژه درست

همان معادلات پاسخ^۲ می باشد. واژه ابزار که معادل معادلات پاسخ است برگرفته از این حقیقت

است که اغلب معادلات پاسخ، داده های ورودی خود را از قرائت های ابزار نمودارگیری بدست

می آورند.

۲- مواد تشکیل دهنده سازند، حجم ها^۳

زمانیکه یک مدل تعبیر و تفسیر از نرم افزار Élan plus ترتیب داده می شود، کاربر باید

ذکر کند که چه کانی هایی، چه سیالاتی و چه سنگ های احتمالاً در سازند قرار دارند. این

سنگ ها، کانیها و سیالات همان مولفه های تشکیل دهنده سازند می باشند. معمولاً کار اولیه

نرم افزار تعیین مقادیر نسبی یا حجم مولفه های تشکیل دهنده سازند است که به احتمال زیاد

منجر به تولید یک دسته از اندازه گیری های ثبت شده توسط ابزار نمودارگیری شده است.

1-Equations and tools

2-Response Equation

3-Formation components, volumes

۳- مدل تعبیر و تفسیر

یک مدل، در واقع روشی است که با آن می توان اطلاعات را به نرم افزار ارائه کرد، جهت شرح مسئله ای که قرار است توسط نرم افزار حل شود. یک مدل متشکل از یک دسته معادلات پاسخ، یک دسته از حجم های مواد تشکیل دهنده سازند و یک دسته از محدود کننده ها^۱ می باشد. در واقع در یک مدل تعبیر و تفسیر، معادلات پاسخ، قرائت های ابزار نمودارگیری را بیان می کنند و حجم ها و مواد تشکیل دهنده یک سازند، ارائه کننده یک مدل تشریحی زمین شناسی از سازند مورد نظر هستند. محدود کننده ها نیز این قابلیت را دارند که محدوده های بالا و پایین حجم های خروجی را مشخص می کنند. برای مثال می توان مشخص کرد $V < 0$ یا $S_w > 1$ نباشد.

۳-۳- فرضیات موجود درون برنامه "Élan plus"

غالب برنامه های ارزیابی سازند، برخی فرضیات از قبیل: محیط رسوبی، خصوصیات سنگ رس، فعل و انفعالات سیال درون فضای خالی و غیره را در برنامه هایشان اعمال می کنند. هر چند برنامه Élan plus طوری طراحی شده است که به دور از این چنین فرضیاتی باشد ولی در واقع غیر ممکن است که بتوان برنامه ای نوشت که دارای فرضیاتی نباشد. برخی از این فرضیات به خاطر فیزیک مسئله و برخی دیگر به خاطر کمبود اطلاعات برای متغیرهای

1-Constration

زیاد، می باشد. فرضیاتی که در برنامه Élan plus وجود دارد به فشار گمانه^۱، آب همراه^۲، ویرایش نمودارها^۳، تصحیحات محیطی، روابط بین ناحیه بکر و ناحیه شسته شده، تخلخل نوترون، پیوستگی جانبی، مجموع حجم سیالات و مجموع حجم ها مربوط می شوند.

- فشار درون گمانه

این فشار در برنامه Élan plus بصورت $0.465 * DEPTH$ فرض شده که عمق بر حسب فوت بوده و واحد فشار psi می باشد.

- آب همراه

رس ها متشکل از رس خشک و آب همراه می باشند. نسبت آب همراه به مقدار رس برای هر نوع رس ثابت می باشد.

- ویرایش نمودارها

تمامی نمودارها بطور مناسب از نظر عمقی تصحیح شده و با سایر نمودارها تطابق داده می شود و تاثیر مواردی از قبیل Spike و نویز ویرایش و تصحیح می شود.

-
- 1-Borehole pressure
 - 2-Bound water
 - 3-Curve Editing

- تصحیحات محیطی

همه داده های نمودارهای ورودی تصحیح محیطی می شوند. بدین معنی که اثر گمانه چاه و هندسه چاه از روی قرائت ها حذف می شود.

- روابط بین ناحیه بکر و شسته شده

تمامی موادی و مولفه های تشکیل دهنده موجود در یک ناحیه، در ناحیه دیگر نیز وجود دارد. مقادیر تخلخل در هر دو ناحیه برابر است. دانستیه هیدروکربور در هر دو ناحیه برابر است.

- پیوستگی جانبی

تمامی مولفه های جامد تشکیل دهنده سازند از گمانه چاه تا بی نهایت با زاویه صفر درجه (بدون شیب) امتداد یافته اند.

- تخلخل نوترون

تمامی تخلخل های نوترون با فرض زمینه توسط واحد سنگ آهک داده شده است.

- مجموع حجم سیالات

مجموع حجم سیالات در ناحیه بکر برابر با مجموع حجم سیالات در ناحیه شسته شده است.

- مجموع حجم ها

مجموع کل حجم ها در یک سازند برابر با ۱ یا ۱۰۰ درصد می باشد.

در این قسمت با توجه به توضیحاتی که در مورد تئوری Élan plus گفته شد و همچنین آشنایی با واژگان کاربردی در این نرم افزار همچنین با مفروضات موجود درون برنامه می توان کار مدل سازی این نرم افزار را تشریح کرد.

در مدل معکوس با استفاده از قرائت های ابزار و پارامترهای پاسخ، حجم مواد تشکیل دهنده سازند محاسبه می شود:

$$R.V=T \quad (1-3)$$

اگر V معرف حجم کانی ها و سیالات تشکیل دهنده سازند باشد پس V_i می تواند بیانگر حجم هر یک از این عناصر تشکیل دهنده باشد. فرضاً اگر تعداد عناصر تشکیل دهنده هفت باشد ما $V_1, V_2, V_3, \dots, V_7$ خواهیم داشت. R بیانگر خصوصیات هر یک از حجم های ذکر شده نسبت به ابزارهای مختلف نمودارگیری می باشد.

T نیز بیانگر مقادیر اندازه گیری شده برای هر یک از حجم های ذکر شده مواد تشکیل

دهنده سازند می باشد. (t_1, t_2, \dots, t_7)

در اینجا مجهولات ما همان حجم های مواد تشکیل دهنده سازند می باشند. برای حل این مجهولات، به تعداد مجهولات به معادله احتیاج داریم. برای مثال اگر تعداد مجهولات هفت باشد به هفت معادله احتیاج داریم.

چگونگی نوشتن معادلات:

$$R(V_1, t_1)V_1 + R(V_2, t_1)V_2 + R(V_3, t_1)V_3 + \dots + R(V_n, t_1)V_n = t_1$$

$$R(V_1, t_2)V_1 + R(V_2, t_2)V_2 + R(V_3, t_2)V_3 + \dots + R(V_n, t_2)V_n = t_2 \quad (2-3)$$

$$R(V_1, t_3)V_1 + R(V_2, t_3)V_2 + R(V_3, t_3)V_3 + \dots + R(V_n, t_3)V_n = t_3$$

.

.

.

$$R(V_1, t_n)V_1 + R(V_2, t_n)V_2 + R(V_3, t_n)V_3 + \dots + R(V_n, t_n)V_n = t_n$$

که در آن $R(V_n, t_n)$ پارامتر پاسخ نسبت به حجم n در برابر ابزار n است.

بدین ترتیب برای حل این دسته معادلات خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} R(V_1, t_1) & R(V_2, t_1) & R(V_3, t_1) & \dots & R(V_n, t_1) \\ R(V_1, t_2) & R(V_2, t_2) & R(V_3, t_2) & \dots & R(V_n, t_2) \\ R(V_1, t_3) & R(V_2, t_3) & R(V_3, t_3) & \dots & R(V_n, t_3) \\ \vdots & & & & \\ R(V_1, t_n) & R(V_2, t_n) & R(V_3, t_n) & \dots & R(V_n, t_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

مقادیر فوق را می توان توسط روش های مختلف عددی از قبیل روش گوس - شیدل^۱،

تکرار^۲ و.... حل کرد و حجم های مختلف را محاسبه کرد. در واقع در هر عمق این ماتریس

1-Guass-Siedel
2-Iteration

تشکیل شده و برای آن عمق خاص ماتریس حل شده و حجم های مورد نظر در آن عمق مخصوص محاسبه می شود. در مرحله بعد پس از محاسبه حجم ها، از روش مدل سازی مستقیم استفاده شده و از R و V ها مقادیر t_1, t_2, \dots, t_n دوباره توسط معادلات به روش مشابه محاسبه می گردد.

با مقایسه مقادیر T های بازسازی شده توسط حجم های بدست آمده و مقادیر حقیقی قرائت شده توسط ابزار (T های واقعی) مقدار خطای محاسباتی اندازه گیری می شود. نرم افزار Élan plus معادلات و مجهولات را در هر عمق برای ناحیه شسته شده و بکر به صورت جداگانه تشکیل داده و حجم ها را محاسبه می کند. هر چه میزان خطای محاسبه شده بین T های بازسازی شده و T های واقعی کمتر باشد نشانگر دقت و صحت محاسبات حجم ها و مدل پیشنهادی ارزیابی می باشد.

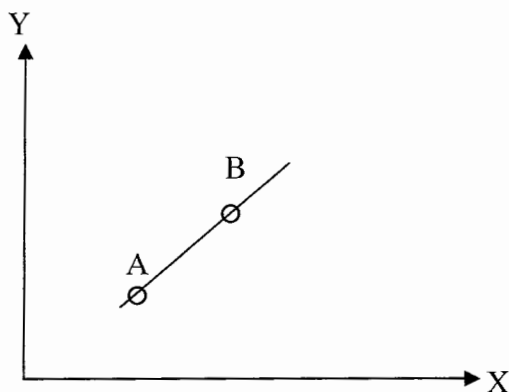
تمام مسائلی که در اینجا مطرح شد برای حالتی است که تعداد مجهولات ما به اندازه تعداد معادلات باشد. در این حالت برای هر یک از مجهولات یک جواب قاطع وجود دارد که به این سیستم معادلات معین^۱ می گویند. در برخی مواقع تعداد معادلات کمتر از تعداد مجهولات می باشد که عملاً حل کردن چنین سیستمی امکان پذیر نیست مگر اینکه تعداد معادلات اضافه شده یا تعداد مجهولات کم شود. شرایطی نیز وجود دارد که تعداد معادلات از تعداد مجهولات بیشتر^۲ می شود. در این صورت برای این دستگاه از معادلات یک سری جواب های

1-Determination
2-Over Determination

معین وجود ندارد در نتیجه باید شرایط و ابزاری تهیه شود که هر گونه عدم توافقی بین معادلات را از بین ببرد.

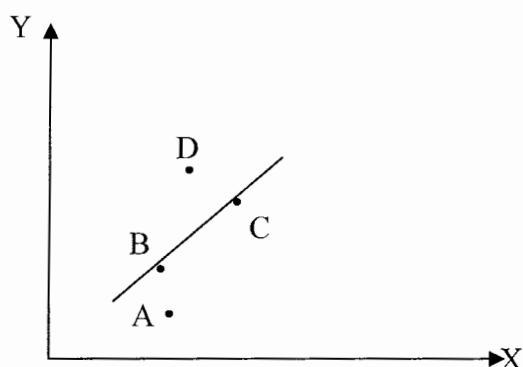
برای اینکه نوع عملکرد نرم افزار Élan plus در چالش با چنین مسائلی قابل درک و ساده شود به دو مثال زیر اشاره می شود:

مثال ۱: مقدار معادلات و مجهولات برابر می باشد. این حالت به عبور دادن یک خط راست از دو نقطه شباهت دارد. اگر ما دو نقطه داشته باشیم، تنها و تنها یک خط راست می توان از این دو نقطه عبور داد. (شکل ۲-۳)



شکل ۲-۳- نحوه عملکرد سیستم معادلات معین را نشان می دهد

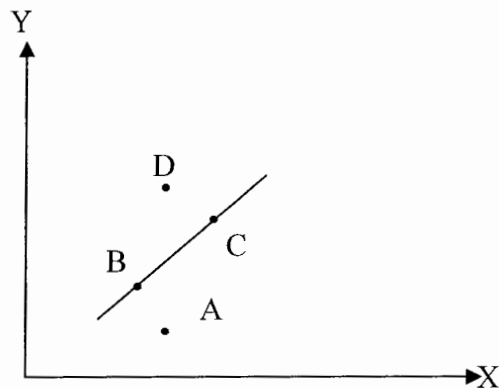
مثال ۲: زمانی که تعداد معادلات از مجهولات بیشتر است. زمانی که تعداد نقاط بیشتری اضافه می شود عبور دادن یک خط راست از همه این نقاط غیر ممکن می باشد و در این حالت از روش رگرسیون خطی جهت عبور دادن بهترین خط راست استفاده می شود. (شکل ۳-۳)



شکل ۳-۳- نحوه عملکرد سیستم معادلات نامعین را نشان می دهد

برای برازش بهترین خط راست از روش حداقل مربعات یا روش رگرسیون خطی نرمال استفاده می شود.

در روش حداقل مربعات فاصله این نقاط از خط عبور داده شده کمینه می شود. در روش رگرسیون خطی نرمال، هر یک از این نقاط دارای یک وزن مساوی می باشند و این بدین معناست که ما به تمامی نقاط به یک اندازه اعتماد داریم. اما در برخی موارد، مخصوصاً در پدیده های فیزیکی ما می دانیم که برخی نقاط از سایر نقاط دیگر قابل اعتماد تر هستند در نتیجه برای گذراندن یک خط، در سطح بالاتر می توان وزن نقاط را تمیز داد. مثلاً اگر در شکل قبل ما بدانیم که نقاط B,C قابل اعتمادتر هستند، می توان وزن آنها را بالا برد. در نتیجه خط جدید بصورت زیر خواهد شد. شکل (۳-۴)



شکل ۳-۴- تعیین نقاط قابل اعتماد و با وزن بیشتر را نشان می دهد

در نرم افزار Élan plus برای هر یک از ابزار عدم قطعیت^۱ و ضرایب وزنی^۲ تعریف شده است که دقیقاً همین نقش را ایفا می کنند و نرم افزار را بسیار انعطاف پذیر می سازند. عدم قطعیت دقیقاً عکس ضرایب وزنی عمل می کند.

با توضیحات ذکر شده می توان به درک صحیحی از چگونگی کار برنامه Élan plus رسید

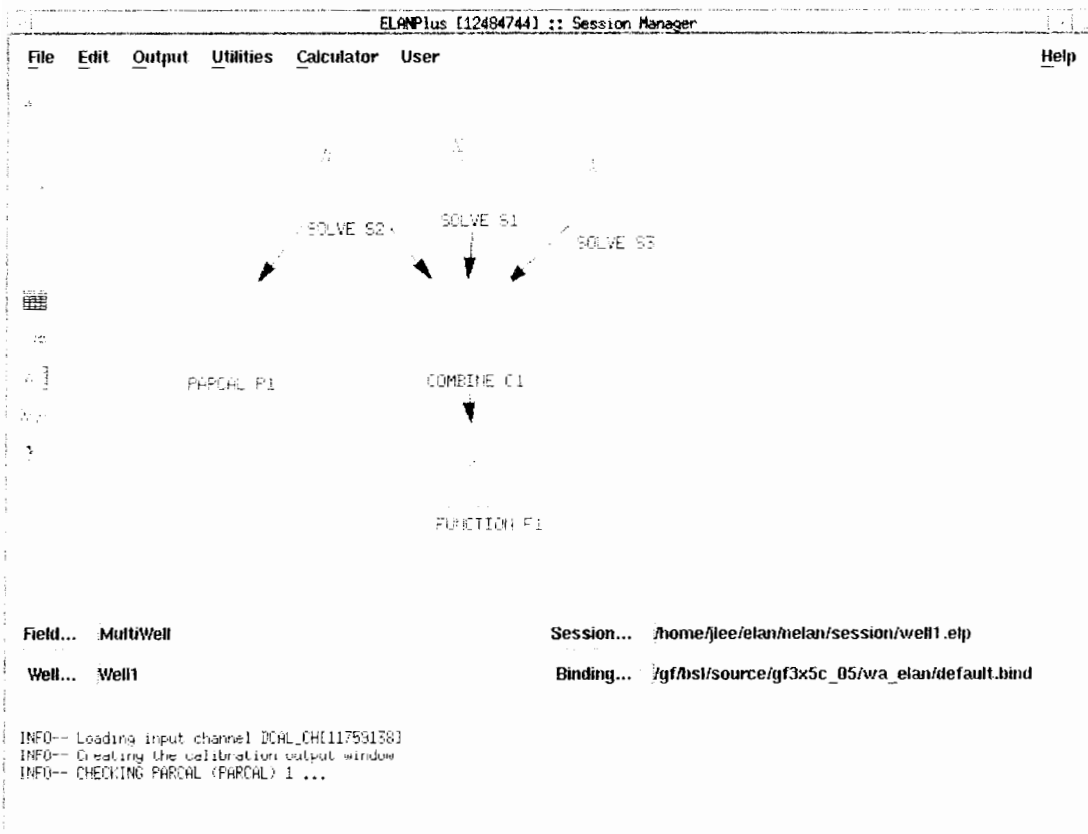
و به خصوصیات این برنامه پی برد.

به منظور آشنایی با محیط نرم افزار Geoframe و همچنین نحوه انجام ارزیابی پتروفیزیکی صورت گرفته در این نرم افزار چند پنجره از مدول Élan plus را نشان داده شده است. از آنجا که محدودیتهای بسیار زیادی در استفاده از داده های این پایان نامه و نرم افزار Geoframe وجود داشت لذا مجاز به آوردن پنجره هایی که با مدول ها یا قسمتهای دیگر این

1-Uncertainty
2-Weight multiplier


نرم افزار ارتباط دارد و یا شامل سربرگ نگارها و اطلاعات چاه می باشد نبوده ایم به همین دلیل نشان دادن پنجره هایی از دیگر قسمت های این نرم افزار امکان پذیر نبوده است.

شکل (۳-۵) پنجره Elan plus را نشان می دهد که شامل گزینه های solve، combine و function می باشد.



شکل ۳-۵- پنجره Elan plus را در نرم افزار Geoframe نشان می دهد.

با انتخاب گزینه هایی که در سمت راست پنجره Elan plus می توان عملیات های مختلفی را در این مدول انجام داد.

 : این در حقیقت گزینه solve است که فضایی را برای حل مسئله و تعیین مدل پتروفیزیکی ایجاد می کند.


: این گزینه combine است که حل های مختلف را با هم ترکیب کرده و مدل نهایی را در اختیار کاربر قرار می دهد.


: گزینه function است که محاسبات مختلف ریاضی در این گزینه انجام می شود.


: از این گزینه برای کالیبره کردن پارامترهای مختلف استفاده می شود.


: بمنظور افزایش دقت مدل، بین مدل‌های مختلف از یک چاه و یا مدل‌های چندین چاه


از یک میدان ارتباط ایجاد می کند و بطور هوشمند عدم تطابق بین داده های زمین شناسی و مدل‌های دیگر را به کاربر نشان می دهد.

 : فراخوانی پارامترهای ویرایش کننده برای فرایند انتخاب شده توسط این گزینه انجام می شود.

 : فراخوانی داده های مورد نیاز برای فرایند انتخاب شده توسط این گزینه صورت می گیرد.

 : ساختار نمایش مدل پتروفیزیکی که همان خروجی نرم افزار می باشد را توسط این گزینه می توان انتخاب و ویرایش کرد.

 : نمایش خروجی های فرایند انتخاب شده توسط این گزینه صورت می گیرد.

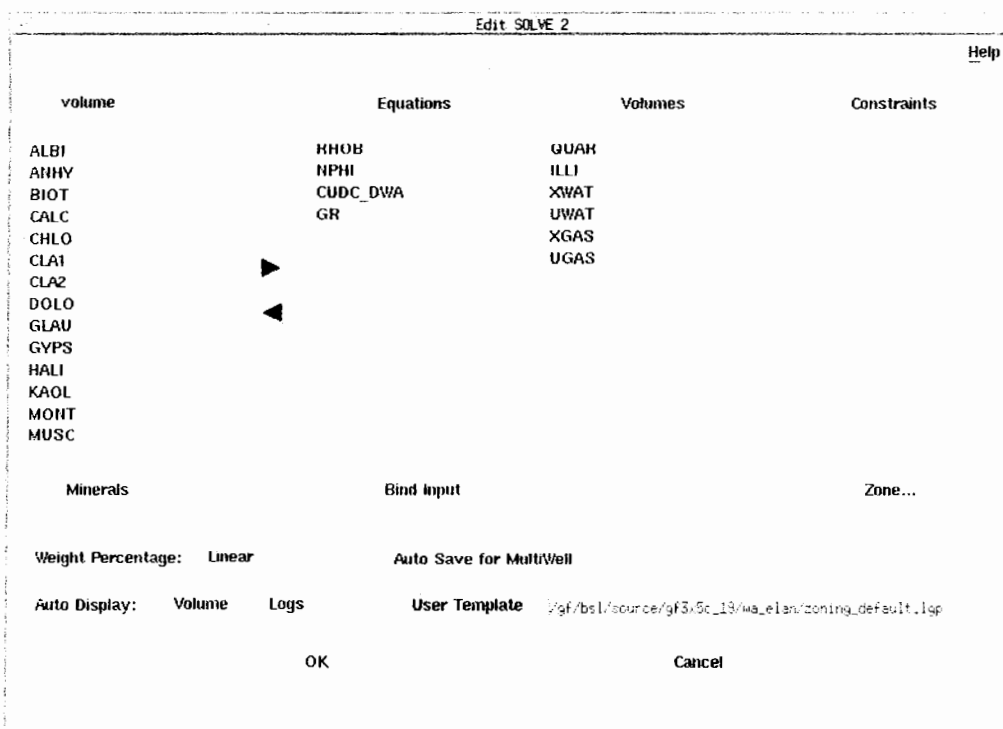
 : اجرای تمامی برنامه ها در مدول Elan plus توسط این گزینه صورت می گیرد.

: داده های محاسباتی و اندازه گیری شده و میزان خطا بین این داده ها توسط این

گزینه بصورت یک جدول نمایش داده شده می شود.

معادلات، حجم ها و قیود محدود کننده به منظور محاسبه مدل پتروفیزیکی در مدول

Elanplus توسط پنجره نمایش داده شده در شکل (۳-۶) تعیین می شوند.



شکل ۳-۶- تعیین معادلات، حجم ها و قیود محدود کننده در برنامه Elanplus

حال که با نحوه انجام ارزیابی توسط این نرم افزار آشنا شدیم بطور اجمالی مراحل را که در انجام ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A انجام پذیرفته، مورد بررسی قرار می دهیم. البته خاطر نشان می شود که کار با این نرم افزار مستلزم دانستن اصول و مبانی ارزیابی پتروفیزیکی و گذراندن دوره های آموزشی در شرکت شلومبرژه و شرکت نفت می باشد. به همین دلیل برای یاد گیری این نرم افزار و انجام کار حدود شش ماه زمان صرف شده است.

پس از انتقال داده ها و اطلاعات از روی نوار به کامپیوتر توسط مدول Data load مدول های well composite و utility plot را انتخاب کرده و با رسم نمودارهای مقاطع موردنظر و تعیین نوع سنگ شناسی، نوع شیل و نوع سیال به مدول well- Edit رسیدیم. نمودارهای مقاطع مورد استفاده در این ارزیابی شکل های (ب-۱) تا (ب-۱۱) در پیوست- ب می باشد که جهت تعیین سنگ شناسی، نوع شیل و نوع سیال درون سازند بکار رفته است. در این مرحله توسط مدول Depth-Matching نمودارها را از نظر عمقی تصحیح کرده و بدین ترتیب نمودارها با هم تطابق پیدا می کنند. با توجه به اینکه هنگام راندن ابزار مختلف در چاه مسائلی چون کشش کابل، عدم دقت مهندسی در سوار کردن ابزار و ... سبب می شود که قرائت ابزارهای مختلف با یکدیگر همخوانی نداشته باشند، بطور مثال در یک عمق مشخص که نمودار پرتو گاما مقدار زیادی را نشان می دهد توقع داریم نمودار تخلخل نیز مقدار زیادی را نشان دهد ولی این مقدار با جابجایی در روی نگار تخلخل مشاهده می شود، بمنظور همخوانی نگارها با یکدیگر تطابق عمقی بین آنها صورت می گیرد.

نمودارهایی که براساس نیازمان از نظر عمقی تصحیح کرده ایم عبارتند از:

1. ROHB (Base) & NPHI (Match)
2. NPHI & DT (Compressional, Shear, Stoneley)
3. NPHI & CGR,SGR
4. NPHI & LLD
5. LLD & LLS
6. LLD & MSFL

پس از انجام تصحیحات عمقی، نوبت به تصحیحات محیطی می رسد. تصحیحات

محیطی شامل دو مرحله می باشد:

الف) تصحیحات حفره چاه

چنانچه نگاره قطریاب و اندازه مته^۱ اختلاف زیادی داشته باشند آنگاه چاه ریزش داشته و

باید تصحیحات حفره چاه اعمال شود. بطور کلی ریزش دیواره چاه بر مقدار مقاومت ها، میزان

نوترون و چگالی بالک تاثیر می گذارد. که این تاثیرات توسط نمودارهای متقاطع مربوطه

تصحیح می گردد.

ب) تصحیحات شیلی

چنانچه سازند حاوی شیل باشد، این میزان شیل در نمودارهای اشعه گاما نشان داده می شود. حضور شیل در سازند بر مقدار تخلخل ناشی از نوترون و دانسیته کل سازند تاثیر می گذارد که برای تصحیح این تاثیرات لازم است حجم شیل محاسبه شود. فرمول محاسبه حجم شیل به صورت زیر است [مراد زاده و قوامی، ۱۳۸۰]:

$$V_{clay} = \frac{GR_{(log)} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (۴-۳)$$

$GR_{(log)}$: میزان پرتو گاما قرائت شده از روی نگار می باشد.

GR_{min} : کمترین مقدار پرتو گاما در کل گمانه می باشد.

GR_{max} : بیشترین مقدار پرتو گاما در کل گمانه می باشد.

بعد از محاسبه حجم شیل به سراغ تصحیحات می رویم.

تصحیح تخلخل نوترونی توسط فرمول زیر انجام می گیرد [موحد، ۱۳۷۸]:

$$\varphi_{N-corrected} = \varphi_N - V_{clay} \times \varphi_{N.clay} \quad (۵-۳)$$

φ_N : تخلخل ناشی از نگار نوترون در هر نقطه است.

V_{clay} : حجم شیل که توسط فرمول (۴-۳) در هر نقطه محاسبه می شود.

$\varphi_{N.clay}$: تخلخل ناشی از نگار نوترون در نقطه ای که میزان شیل بیشینه است.

تصحیحات مربوط به دانسیته کل بر روی تخلخل ناشی از آن اعمال می گردد. تخلخل

ناشی از نگار دانسیته را با φ_D نمایش داده و به صورت زیر محاسبه می شود [موحد ، ۱۳۷۸]:

$$\varphi_D = \frac{\rho_{maa} - \rho_h}{\rho_{maa} - \rho_f} \quad (۶-۳)$$

ρ_{maa} : دانسیته ظاهری ماتریس سنگ است.

ρ_h : چگالی کل است.

ρ_f : چگالی سیال است که در این چاه چون گل حفاری پایه آبی بوده لذا مقدار ۱

منظور شده است.

بدین ترتیب تخلخل ناشی از چگالی کل توسط فرمول زیر تصحیح می گردد [موحد ،

: [۱۳۷۸]

$$\varphi_{D-corrected} = \varphi_D - V_{clay} \times \varphi_{D,clay} \quad (۷-۳)$$

φ_D : تخلخل ناشی از نگار دانسیته در هر نقطه است.

V_{clay} : حجم شیل در هر نقطه است.

$\varphi_{D,clay}$: تخلخل ناشی از نگار دانسیته در نقطه ای که میزان شیل بیشینه است.

پس از انجام تمامی تصحیحات و ویرایش های مورد نیاز، مدول Elan plus را انتخاب

نموده و در پنجره Process Manager یک زنجیره بوجود می آوریم که شامل مراحل زیر است:

Data load → well composite plus → utility plots → well Edite → Elan- plus

در مدول Elan plus گزینه های Function, combine, solve و.... وجود دارد. برای ارزیابی

پتروفیزیکی توسط نمودارهایی که آماده کردیم ابتدا از Solve شروع می کنیم که در حقیقت حل معادله ما است. همانطور که در تئوری برنامه Élan plus توضیح داده شد به منظور حل مسله ما نیاز داریم حجم ها، معادلات و فرضیات مسئله را تعیین کنیم.

با توجه به اینکه سنگ شناسی و نوع سیال از ابتدا مشخص نبوده و فقط اطلاعات کلی در اختیار ما می باشد لذا با استفاده از نمودارهای متقاطع که در شکل‌های (ب-۱) تا (ب-۱۱) پیوست- ب آمده است و از طریق انجام تصحیحات مختلف و اطلاعات زمین شناسی می توان نوع سنگ شناسی و هیدروکربور درون مخزن را تشخیص داده و مدل ارزیابی را براساس آن انتخاب نمود. در این ارزیابی سنگ شناسی شامل سنگ آهک، دولومیت و ماسه سنگ بوده و مخزن دارای آب و نفت می باشد لذا:

VOL: CAL, DOLO, QUA, UOIL, XOIL, UWAT, XWAT

EQU: RHOB, NPHI, DT, U, CGR, CUDC. DWA, CXDC. DWA, CTI

CONS : Water Based Muds $(S_{XO} \geq S_W)$

CAL حجم سنگ آهک، DOLO حجم دولومیت، QUA حجم ماسه سنگ، UOIL

حجم نفت در زون بکر، XOIL حجم نفت در زون شسته شده، UWAT حجم آب در زون بکر و XWAT حجم آب در زون شسته شده می باشد.

CUDC هدایت الکتریکی در ناحیه بکر و CXDC هدایت الکتریکی در ناحیه شسته شده

را نشان می دهد. از آنجا که برای محاسبه اشباع شدگی از فرمولهای مختلفی همانند ARCHI

، SIMANDOX، DUAL WATER و ANDONESIA استفاده می شود لذا بمنظور مشخص نمودن فرمول مورد استفاده مخفف این عبارات بعنوان پسوند در کنار هدایت الکتریکی می آید. بطور مثال CXDC.DWA بدین معناست که در محاسبه اشباع شدگی از فرمول DUAL WATER استفاده شده است.

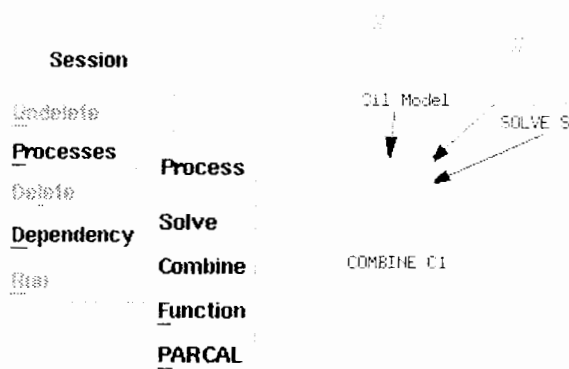
همانطور که در بررسی تئوری و عملکرد برنامه Elan plus در ابتدا این فصل اشاره شد چنانچه تعداد معادلات از تعداد مجهولات کمتر باشد قادر به حل مسئله نمی باشیم مگر اینکه تعداد معادلات اضافه شده یا تعداد مجهولات کم شود که بدین منظور در این مسئله برای افزایش تعداد معادلات 'CTI' را که در حقیقت یک معادله می باشد اضافه کرده ایم. البته کاربر با توجه به شرایط چاه می تواند معادلات مختلفی را اضافه کند.

$$CTI : S_{XO} / S_W = 0.2 \quad (۸-۳)$$

بعد از انتخاب موارد بالا، از طریق مراحل توضیح داده شده در تئوری نرم افزار Elan plus می توانیم کار مدل سازی توسط نرم افزار را انجام دهیم و سپس با اجرای برنامه مدل پتروفیزیکی را بدست آوریم.

حال به سراغ حل دوم یا مدل دوم می رویم تا شرایط دیگری را بر مسئله حاکم کنیم. در مدل دوم که مدل Bad-Hole نام دارد نگرانهایی که بیشتر تحت تاثیر ریزش چاه و یا حضور شیل در سازند می باشند، مانند MSFL، را کنار گذاشته و ارزیابی را بر اساس نگرانهای دیگر،

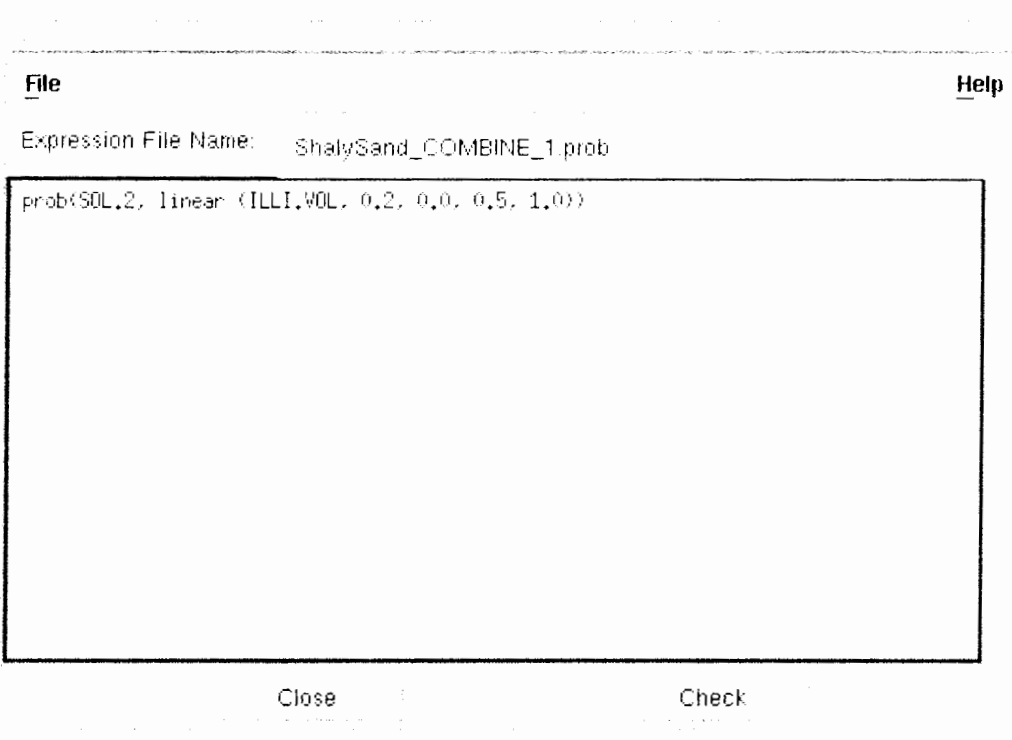
همانند مدل اول، انجام می دهیم. پس از اینکه دو مدل خود را بدست آوردیم نوبت به انتخاب گزینه combine و تلفیق این دو مدل و گرفتن جواب نهایی است. گزینه combine را انتخاب کرده و هر دو مدل را به آن وصل می کنیم سپس گزینه Combine مربوط به Edit Process را فعال کرده و هر دو مدل را با هم تلفیق می کنیم. شکل (۳-۷)



شکل ۳-۷- نحوه ترکیب دو مدل را در مدول Elan plus نشان می دهد

منطق ترکیب مدلها با توجه به میزان خطاهای هر مدل توسط خود نرم افزار پیشنهاد می شود که کاربر می تواند آنرا تغییر دهد. منطق بکار گرفته شده بمنظور ترکیب دو مدل پتروفیزیکی بدست آمده برای چاه نفتی A، که در شکل (۳-۸) پنجره مربوط به آن نمایش داده شده است، در واقع بدین معنا می باشد که در نقاطی که سازند تمیز می باشد از مدل ۱

استفاده شود و در نقاط شیلی، با توجه به میزان شیل، چنانچه میزان شیل کمتر از ۲۰ درصد باشد از مدل اول و اگر میزان شیل بیشتر از ۵۰ درصد باشد از مدل دوم در غیر این صورت بطور خطی از هر دو مدل استفاده شود.



شکل ۳-۸- منطق ترکیب دو مدل پتروفیزیکی محاسبه شده را نشان می دهد

حال این برنامه را اجرا کرده و نتیجه را بصورت گرافیکی مشاهده می کنیم. در مرحله

پایانی گزینه function را جهت نمایش خروجی های Elan plus انتخاب می کنیم.

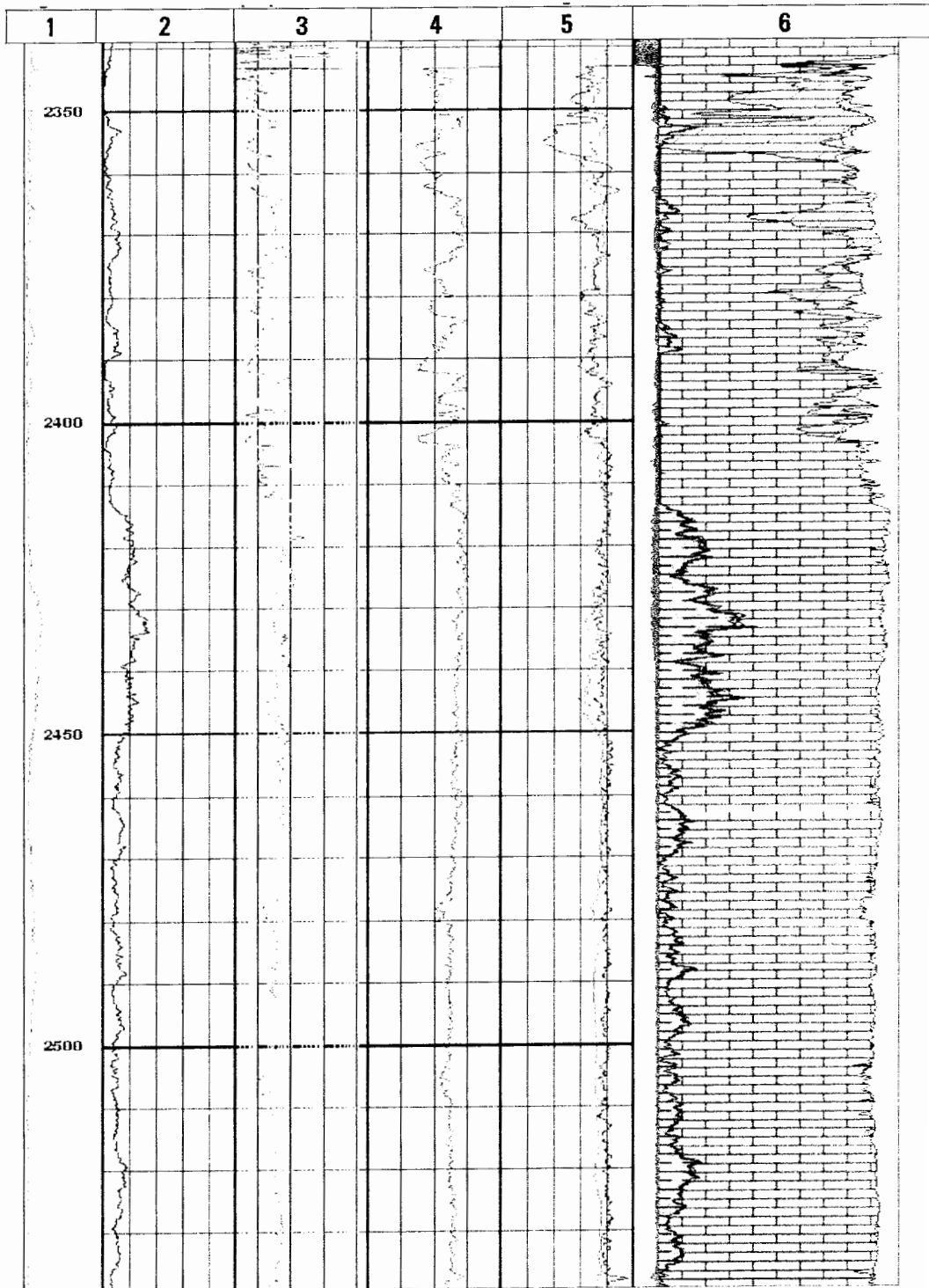
شکل (۹-۳) راهنمای خروجی نرم افزار که همان مدل پتروفیزیکی چاه مورد نظر می باشد را نشان می دهد. در این شکل ستون اول نگار قطریاب به همراه مقیاس شکل، ستون دوم نگار CGR، ستون سوم نگار مقاومت ویژه، ستون چهارم نگار جرم مخصوص و تخلخل نوترون، ستون پنجم نگار فاکتور فتوالکتریک و کندشدگی موج برشی، E میزان خطای مدل و ستون ششم مولفه های تشکیل دهنده هر سازند را در هر عمق نشان می دهد.

در شکل (۱۰-۳) خروجی نرم افزار، که همان ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A می باشد از ارتفاع ۲۳۵۰ متر تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر نشان داده شده و بطور کامل از شکل (ب-۱۳) تا (ب-۲۰) در پیوست- ب آمده است. مطابق ارزیابی صورت گرفته نوع هیدروکربور غالب در این چاه نفت می باشد.

به این ترتیب ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A انجام می پذیرد و داده ها و اطلاعات مورد نیاز جهت تخمین تراوایی از طریق موج استونلی محاسبه و تعیین می شوند.

					Moved Water
					Moved Hydrocarbon
					Water
					Oil
					Dolomite
					Calcite
					Quartz
					Bound Water
					Clay 1
					Kaolinite
					Illite
HCAL 8 (in) 12		HART 0.2 (ohm.m) 2000	RHCZ 1.95 (g/cm ³) 2.95	FEFZ 1 () 6	
MD 1 : 500 m	GRF 0 (gAR) 150	RHCZ 0.2 (ohm.m) 2000	NPHI 0.45 (m ³ /m ³) 0.15	DTCC 140 (us/ft) 40	ELAN_VOLUMES ELAN_PVF_ 1 () 0
1	2	3	4	5	6

شکل ۳-۹- راهنمای خروجی نرم افزار Geo frame را نشان می دهد



شکل ۳-۱۰- ارزیابی پترو فیزیکی چاه نفتی A را که توسط نرم افزار Geo frame انجام شده از عمق

۲۳۵۰ متر تا عمق ۲۵۰۰ متر نشان می دهد

فصل چهارم

تخمین تراوایی از طریق موج استونلی

فصل ۴: تخمین تراوایی از طریق موج استونلی

۴-۱- مقدمه

همانطور که گفته شد در فرکانس های پایین موج استونلی بصورت یک موج لوله ای شکل که رفتار پیستون وار دارد، درون گمانه انتشار می یابد. زمانیکه گمانه از یک ناحیه تراوا یا دارای شکستگی عبور می کند، با توجه به اختلاف فشار، جابجایی حرکت سیال از گمانه به داخل سازند و یا برعکس رخ می دهد. این امر باعث افت مقداری از انرژی موج استونلی می شود که نتیجه آن میرایی موج استونلی و بالا رفتن مقدار کندشدگی می باشد. به این ترتیب کندشدگی موج استونلی به صورت کیفی نشان دهنده تغییرات تراوایی است. اما برای تخمین تراوایی از طریق کندشدگی موج استونلی در سر تا سر گمانه نیاز است این رابطه کیفی، کمی شود.

۴-۲- کمی کردن رابطه بین کندشدگی استونلی و تراوایی

به منظور کمی کردن رابطه بین کندشدگی استونلی و تراوایی لازم است فیزیک حاکم بر مسئله را شناخته و با یک راهکار درست آن را به منطق ریاضی تبدیل کنیم.

همانطور که می دانیم تاثیرپذیری موج استونلی از تراوایی یک خاصیت ذاتی موج استونلی می باشد که به صورت میرایی در انرژی و یا افزایش کندشدگی آن نشان داده می شود و نگارهای چاه پیمایی از طریق اندازه گیری این خواص فیزیکی و ثبت آنها در حقیقت یک پدیده فیزیکی را ثبت می کنند [هیرست و همکاران، ۲۰۰۲؛ بریی و همکاران ۱۹۹۸]. حال که فیزیک مسئله بصورت خلاصه مورد بررسی قرار گرفت، نیاز به یک راهکار درست و مناسب برای حل مسئله می باشد.

به منظور انتخاب یک روش درست در حل مسئله، لازم است مطالعه قبلی انجام شده در این زمینه گام به گام بررسی شده تا با تشخیص نقاط قوت و ضعف آن راهکار مناسبی ارائه گردد.

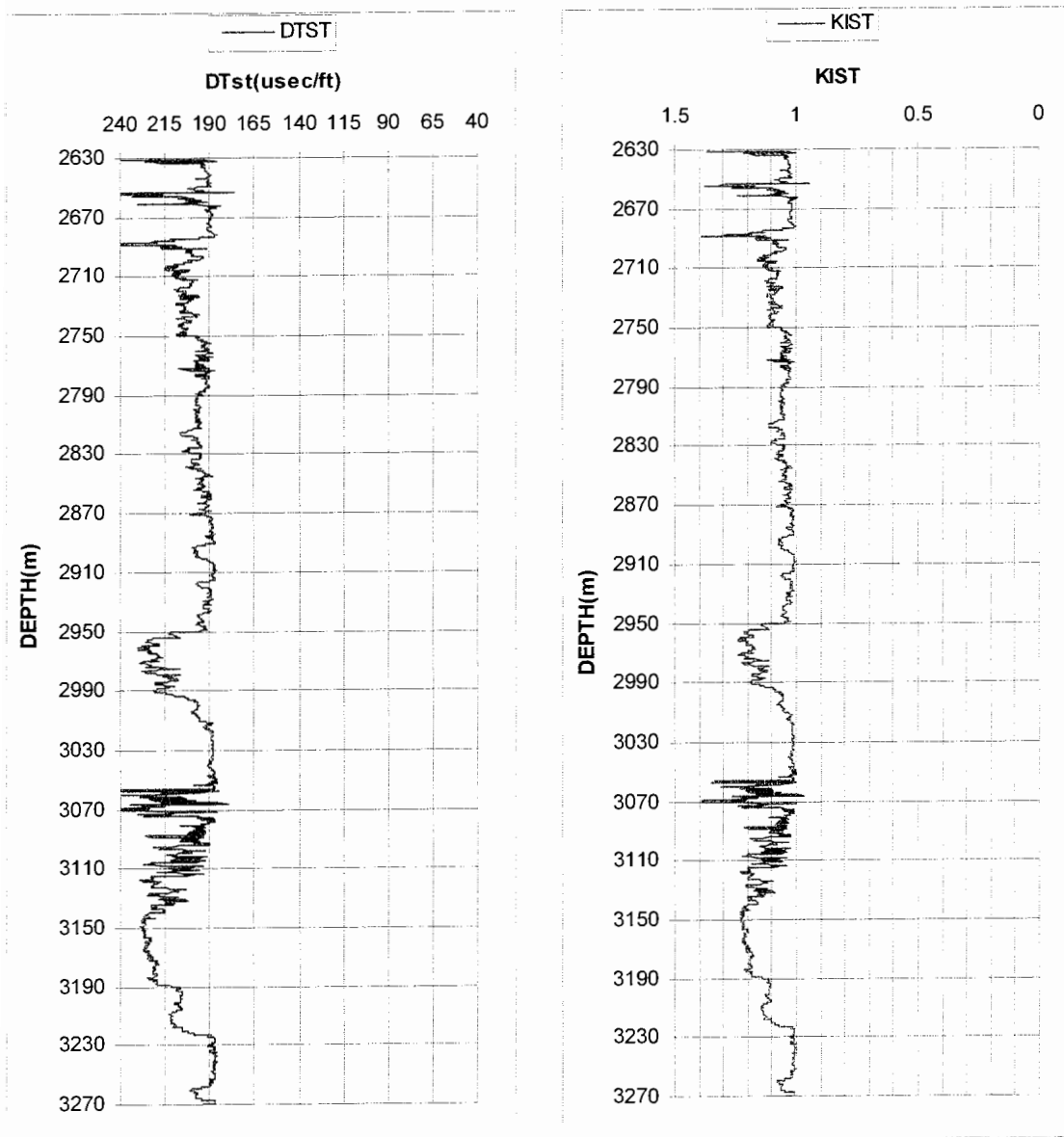
همانطور که در فصل اول اشاره شد، در کار انجام گرفته توسط آقای الادانی و براتی، به منظور نشان دادن تاثیرپذیری موج استونلی از تراوایی، مطابق رابطه (۱-۴) کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه به یک کندشدگی زمینه که کندشدگی یک ناحیه ناتراوا در گمانه می باشد تقسیم شده و حاصل بعنوان شاخص تراوایی موج استونلی ($KIst$) در نظر گرفته شده است [الادانی و براتی، ۲۰۰۳].

$$KIst = \frac{DTst}{dtst(Non\text{-}permeable\text{-}zone)} \quad (1-4)$$

در نهایت این پارامتر محاسبه شده با تراوایی بدست آمده از شاخص زون جریانی (FZI) متناسب قرار داده شده و برای تبدیل تناسب به تساوی، ثابت تناسب برای سنگ شناسی های مختلف محاسبه شده است.

از نقطه نظر فیزیکی خاصیت ذاتی یک پدیده، فاکتوری است که جز ذات آن پدیده می باشد و تا زمانی که ذات یک پدیده تغییر نکند این خواص نیز تغییر نخواهد کرد [قولتوقچیان، ۱۳۶۹]. پس به این ترتیب تقسیم کندشدگی موج استونلی بر یک مقدار ثابت که کندشدگی ناحیه ناتراوا می باشد هیچ تاثیری بر خواص ذاتی این موج نخواهد داشت و همانطور که شاخص تراوایی موج استونلی، می تواند بصورت کیفی تغییرات تراوایی را نشان دهد، کندشدگی موج استونلی نیز خود به طریق اولی این خاصیت را خواهد داشت.

از دیدگاه ریاضی نیز تقسیم یک پارامتر بر یک مقدار ثابت هیچ تاثیری بر روند تغییرات آن پارامتر نخواهد گذاشت. بدین معنی که مطابق شکل (۴-۱) روند تغییرات کندشدگی موج استونلی و شاخص تراوایی موج استونلی یکسان می باشند.



شکل ۴-۱- روند تغییرات کندشدگی موج استونلی و شاخص تراوایی موج استونلی را نشان می دهد

سرعت سیر موج و تراوایی به شدت تحت تاثیر جنس سنگ می باشد. بنابراین این پارامترها در دو ناحیه با سنگ شناسی مختلف، اعم از تراوا یا ناتراوا، مقادیر متفاوتی خواهند داشت. لذا هنگامیکه کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه اکتشافی به یک مقدار ثابت بعنوان کندشدگی ناحیه ناتراوا تقسیم می شود، تاثیر سنگ شناسی بر روی کندشدگی موج استونلی و نشانگر تراوایی بدست آمده از آن عملاً نادیده گرفته می شود. بنابراین بهتر است تاثیر سنگ شناسی بعنوان مهمترین پارامتر تاثیرگذار بر تراوایی از ابتدا وارد مسئله شده و مورد بررسی قرارگیرد.

با توجه به نکاتی که در بالا به آن اشاره شد، برای تخمین تراوایی از طریق موج استونلی و بدست آوردن نگاری پیوسته از تغییرات تراوایی در سرتا سر گمانه اکتشافی تغییرات کند شدگی موج استونلی مستقیماً با تراوایی متناسب قرار داده می شود:

$$K \propto DTst \quad (2-4)$$

هدف این است که تناسب بالا به یک تساوی تبدیل شود و یک رابطه کمی بین تراوایی و کندشدگی موج استونلی بدست آید.

$$K=M.DTst \quad (3-4)$$

در رابطه فوق M ضریب تطابق است. برای تعیین ضریب تطابق، M ، لازم است در ابتدا عوامل تاثیرگذار بر تراوایی مشخص شده و سپس با بررسی نحوه تاثیرات این عوامل بر تراوایی و تفکیک هر کدام از آنها مسئله ساده و حل شود.

همانطور که قبلاً نیز بارها اشاره شد مهمترین و تاثیرگذارترین عامل بر روی تراوایی سنگ شناسی می باشد. به منظور وارد کردن این پارامتر به مسئله و بررسی تاثیر آن بر تراوایی و محاسبه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی لازم است از لحاظ سنگ شناسی، مولفه های تشکیل دهنده سازندهای مورد نظر را مشخص کرده و ضریب تطابق برای هر یک از این مولفه ها جداگانه محاسبه گردد.

برای شناخت سنگ شناسی چاه نفتی A و مشخص کردن مولفه های تشکیل سازندها به بررسی نتایج ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A می پردازیم. در این ارزیابی با استفاده از نمودارهای متقاطع و انجام تصحیحات مختلف و همچنین اطلاعات زمین شناسی مشخص می شود که سنگ های تشکیل دهنده سازندهای این چاه سنگ آهک، دولومیت و ماسه سنگ و سیالات موجود در آن نفت و آب می باشند.

پس در حقیقت باید ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی برای سنگ آهک، دولومیت و ماسه سنگ خالص تعیین گردد. بدین منظور ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A دقیق تر مورد بررسی قرار می گیرد و مشاهده می شود درمخزن، سازند سروک از عمق ۲۶۳۰ متر تا عمق ۳۲۷۰ متر از سنگ آهک و دولومیت و سازندگان بورگان از عمق ۳۴۰۵ متر تا عمق ۳۴۷۰ متر غالباً از ماسه سنگ تشکیل شده است. پس چنانچه ضریب تطابق بین کند شدگی موج استونلی و تراوایی برای مولفه های تشکیل دهنده این سازندها جداگانه محاسبه گردد هر سه مولفه مورد نظر تعیین خواهند شد. به منظور محاسبه این سه مولفه و

کمی کردن رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی جهت رسیدن به یک منطق ریاضی این دو سازند جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند.

۴-۲-۱- سازند سروک

سازند سروک از عمق ۲۶۳۰ متر آغاز شده و ۶۴۰ متر ضخامت دارد. این سازند غالباً سنگ آهک است که اندکی دولومیتی شده است. هدف این است که ضریب تطابق M، بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی برای سنگ آهک و دولومیت خالص که در حقیقت مولفه های تشکیل دهنده سازند سروک می باشند تعیین گردد و در نهایت یک رابطه ریاضی برای محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی در کل سازند سروک بدست آید. داده های مورد نیاز برای انجام این کار، کندشدگی موج استونلی، تراوایی حاصل از ابزار MDT، حجم مولفه های تشکیل دهنده سازند و ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A به منظور تحلیل و بررسی مسئله می باشد.

کندشدگی موج استونلی از ابزار DSI بدست آمده و ارزیابی پتروفیزیکی و محاسبه حجم مولفه های تشکیل دهنده سازند بوسیله نرم افزار Geoframe انجام شده است و در نهایت به منظور آماده سازی داده های MDT گزارش راندن ابزار MDT در چاه نفتی A مورد بررسی قرار گرفته است.

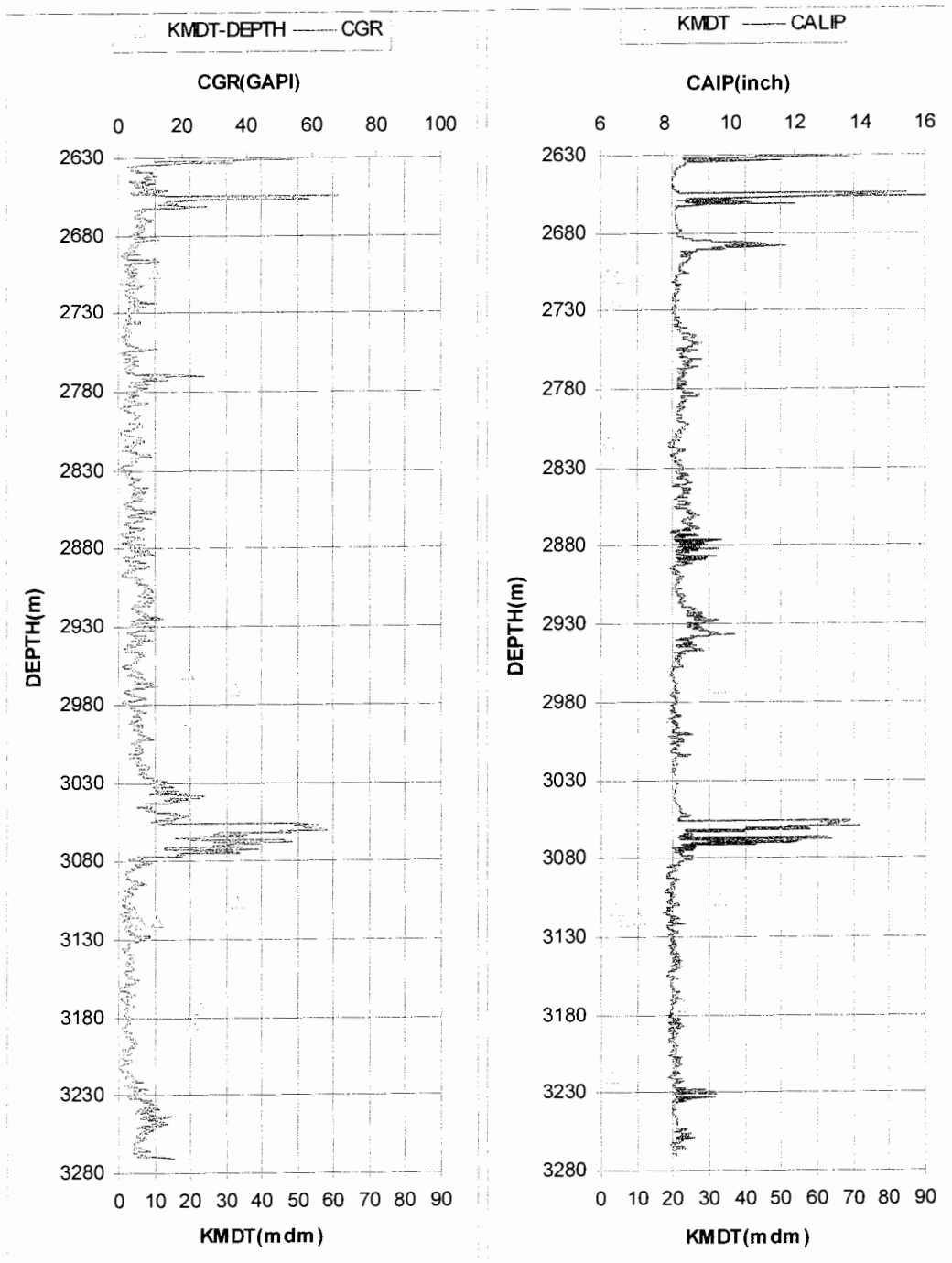
تعداد زیادی از نقاط که در آنها اندازه گیری MDT صورت گرفته، نوع تست آنها Supercharge گزارش شده است. نقاط Supercharge نقاطی هستند که بدلیل آنکه تراوایی در

این نقاط بسیار پایین بوده ابزار نتوانسته است فشار واقعی مخزن را بخواند، به همین دلیل این نقاط فاقد ارزش محاسباتی می باشند. لذا در قدم اول این داده ها حذف شده است. همچنین در تعدادی از نقاط، چندین بار اندازه گیری صورت گرفته است که میانگین اندازه گیری های انجام شده در هر عمق بعنوان داده MDT در آن عمق در نظر گرفته شده است. داده های MDT سازند سروک در جدول (ب- ۱) آمده است.

از آنجایی که بر طبق استاندارد شرکت شلومبرژه، ابزارهای چاه پیمایی در بازه های عمقی ۰/۱۵ متر پارامترهای مختلف را اندازه گیری و ثبت می کنند و با توجه به اینکه ابزار MDT در اعماق مختلف و بدون توجه به این بازه اندازه گیری را انجام می دهد لذا داده های مورد نیاز همانند کندشدگی موج استونلی، حجم مولفه های تشکیل دهنده سازند و... در نقاطی که MDT داریم درون یابی شده است.

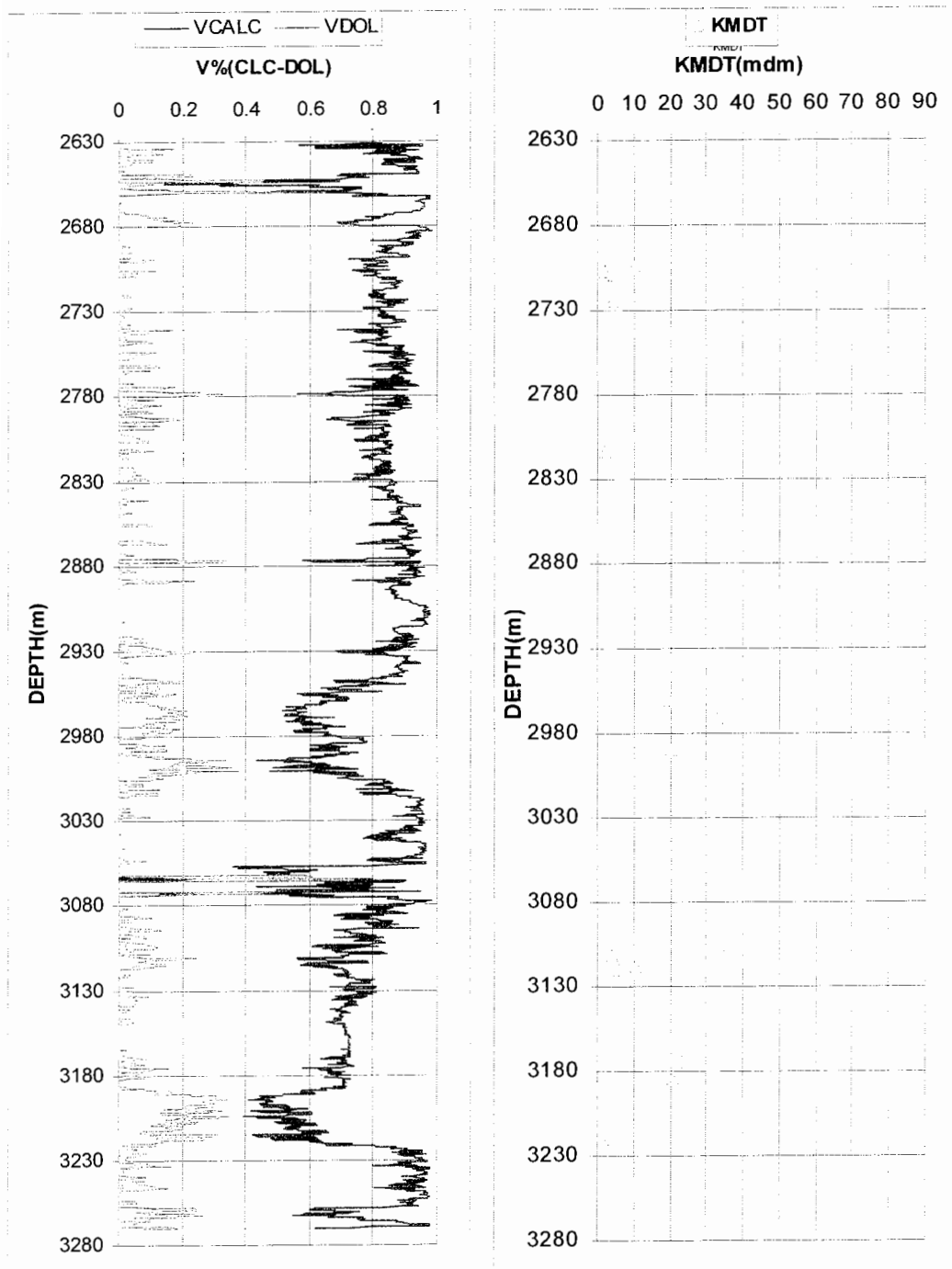
در مرحله آخر نیز نگار قطریاب و CGR مربوط به سازند سروک را در نظر گرفته و مطابق شکل (۲-۴) اندازه گیری های انجام شده توسط ابزار MDT بر روی این نگارها نشان داده شده است.

همانطور که در شکل (۲-۴) مشاهده می شود در نقاطی که این داده ها برداشت شده، مشکل ریزش چاه یا حضور شیل در سازند وجود ندارد. بدین ترتیب از صحت داده ها اطمینان حاصل می گردد.



شکل ۴-۲- داده های تراوایی حاصل از MDT را بر روی نگار قطریاب و CGR در سازند سروک نشان می دهد

با توجه به رابطه (۳-۴)، بمنظور محاسبه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی در سازند سروک و لحاظ کردن عوامل تاثیر گذار بر این دو پارامتر نقاطی که در سازند سروک تراوایی آنها بوسیله ابزار MDT تعیین شده است از لحاظ سنگ شناسی مورد بررسی قرار می گیرند. همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می شود این نقاط از لحاظ سنگ شناسی شامل سنگ آهک و دولومیت با درصدهای حجمی مختلف می باشند. خاطر نشان می شود که حجم دقیق مولفه های تشکیل دهنده تمامی سازندهای چاه نفتی A در هر عمق بطور دقیق بوسیله نرم افزار Geoframe محاسبه شده است که نحوه انجام محاسبات در فصل سوم بطور کامل شرح داده شده است.



شکل ۴-۳- سنگ شناسی نقاطی را که در سازند سروک تراوایی آنها بوسیله ابزار MDT تعیین شده است

نشان می دهد

با توجه به اینکه کندشدگی موج استونلی و تراوایی از سنگ شناسی تاثیر می پذیرد و از آنجا که ترکیب های حجمی مختلف از کانیها تاثیرات متفاوتی بر این پارامترها می گذارند لذا ضریب تطابق بین این دو پارامتر، تحت تاثیر مولفه های تشکیل دهنده هر سازند با ترکیب های حجمی مربوطه می باشد. بنابراین:

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

n تعداد مولفه های سنگ های تشکیل دهنده سازند و m_i ضریب تطابق برای حجم V_i می باشد.

از آنجا که سازند سروک از سنگ آهک و دولومیت تشکیل شده است لذا رابطه (4-4) در این سازند به صورت زیر خواهد بود:

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

برای اینکه بتوانیم تراوایی را در کل سازند سروک از طریق کندشدگی موج استونلی محاسبه کنیم نیاز است ضریب تطابق برای سنگ آهک و دولومیت خالص، m_{DOL} و m_{LIM} ، تعیین گردد. اما در معادله (5-4) ما با دو مجهول سروکار داریم که از طریق یک معادله نمی توان آنها را تعیین کرد.

برای تعیین m_{LIM} و m_{DOL} از لحاظ منطق ریاضی به صورت زیر باید عمل شود:

$$\begin{cases} m_{LIM} \cdot V_{LIM} + m_{DOL} \cdot V_{DOL} = M \\ m_{LIM} \cdot V'_{LIM} + m_{DOL} \cdot V'_{DOL} = M' \end{cases} \quad (4-6-الف)$$

$$\begin{bmatrix} V_{LIM} & V_{DOL} \\ V'_{LIM} & V'_{DOL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{LIM} \\ m_{DOL} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ M' \end{bmatrix} \quad (4-6-ب)$$

نکته: شرط حل این دستگاه معادله این است که دترمینان ماتریس ضرایب مخالف صفر

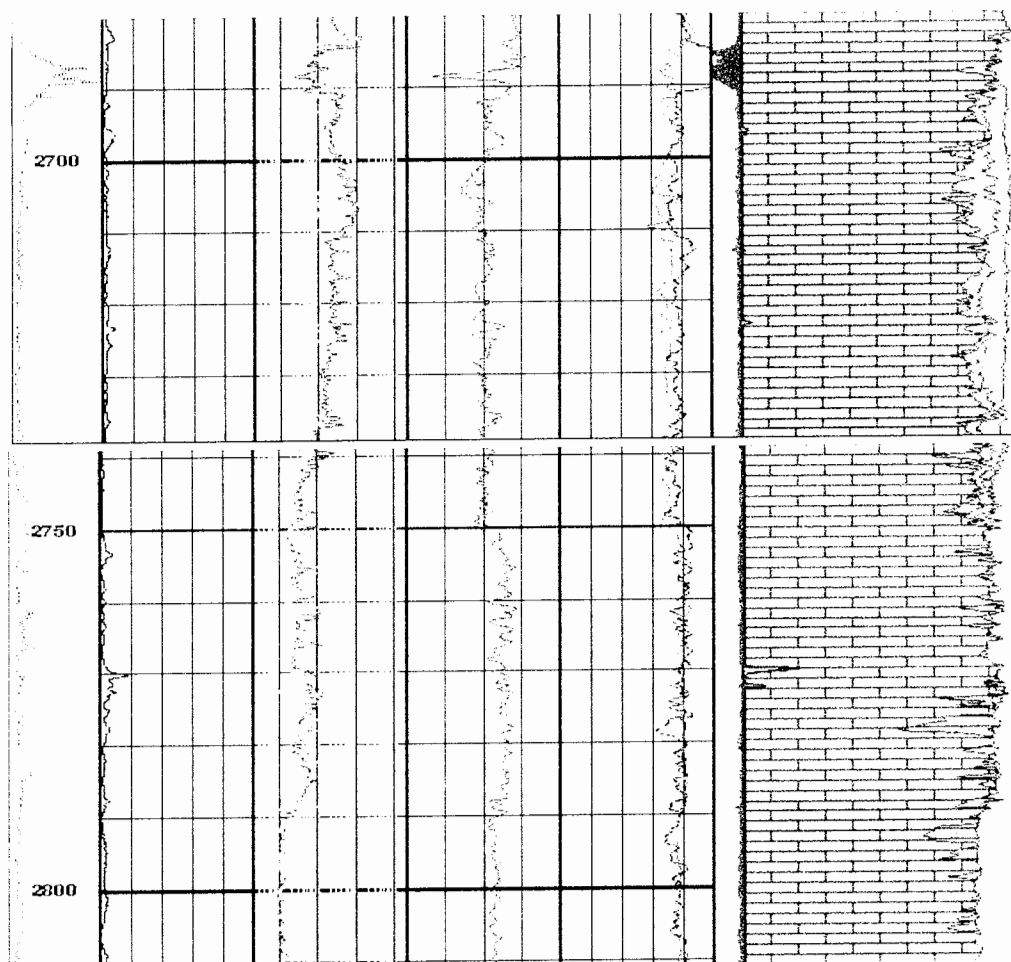
باشد.

به منظور تشکیل این معادلات که براساس داده ها و شرایط چاه نفتی A باید ساخته

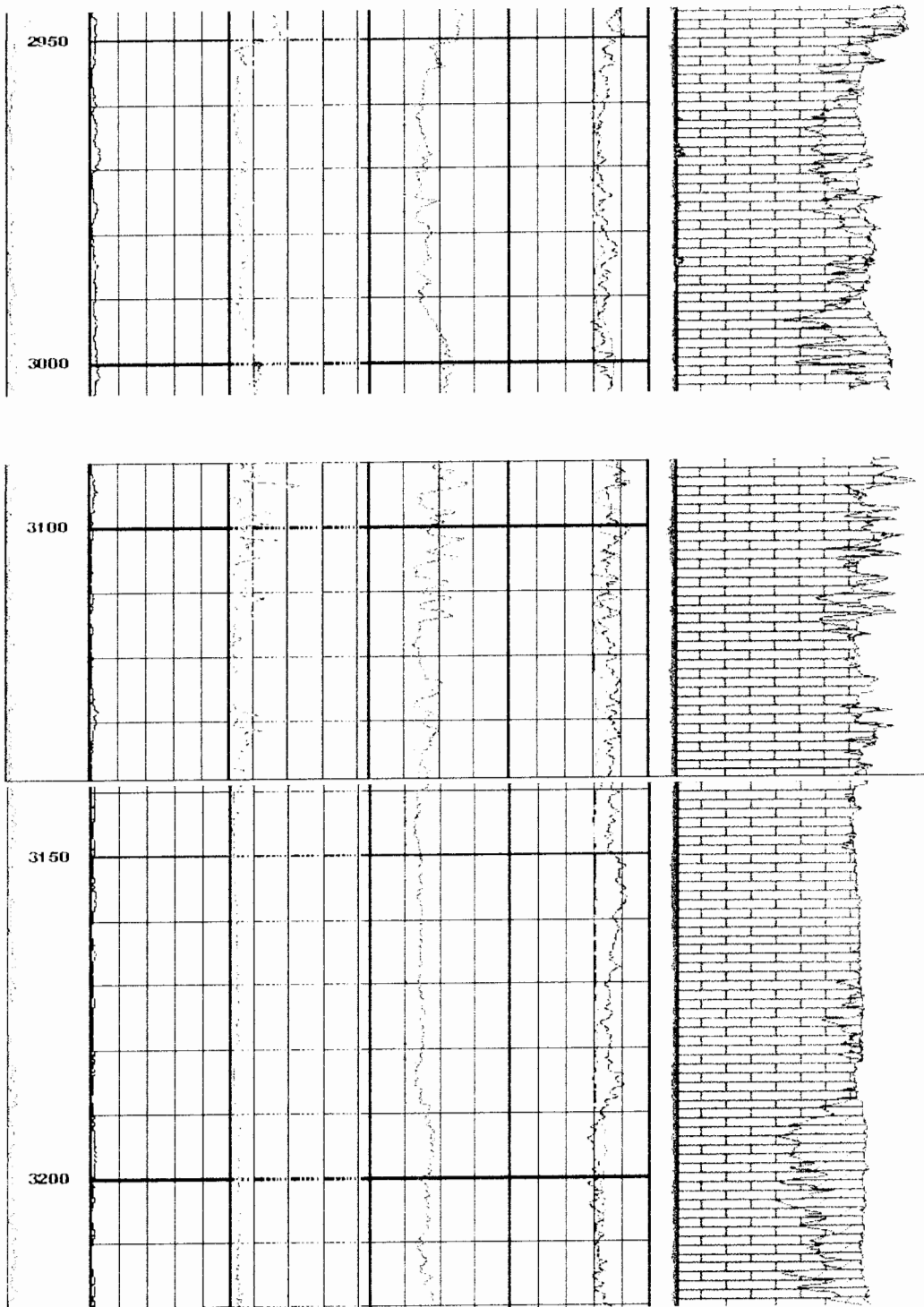
شود به سراغ ارزیابی پتروفیزیکی رفته و با بررسی دقیق این ارزیابی مشاهده می شود که سازند

سروک از یک زون نفتی (۲۷۹۰m - ۲۶۹۰m) و دو زون آبی (۲۹۹۰m - ۲۹۵۹m) و (۳۲۲۰m -

۳۱۰۰m) تشکیل شده است. شکل (۴-۴-الف و ب)



شکل ۴-۴- الف- زون نفتی سازند سروک را که در بازه عمقی (۲۸۰۰m-۲۶۹۰m) قرار دارد نشان می دهد

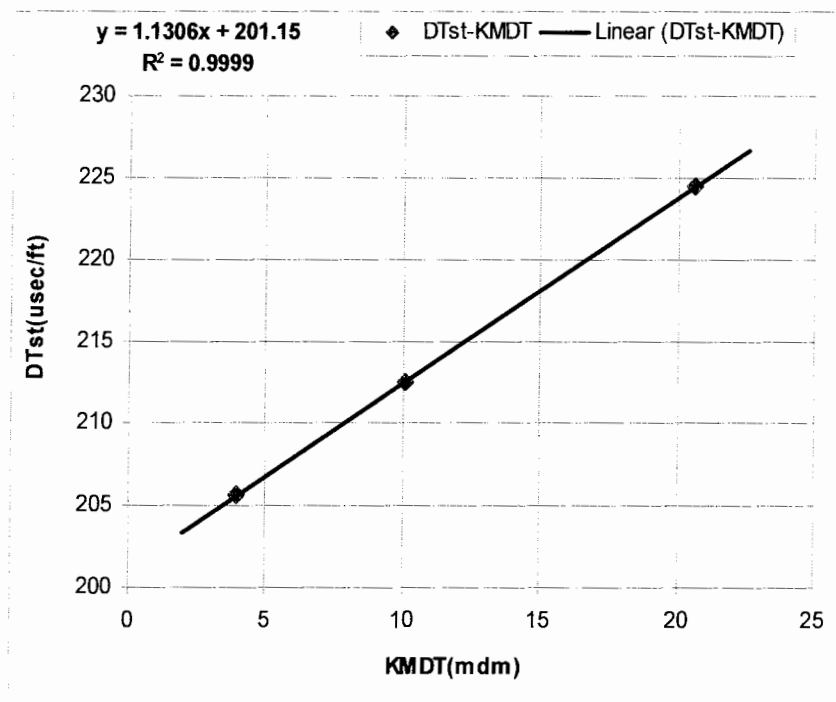


شکل ۴-۴-ب- زون های آبی سازند سروک را که در بازه های عمقی (۲۹۹۰ m - ۲۹۵۹m) و (۳۱۰۰m - ۳۲۲۰m) قرار دارند نشان می دهد

بر این اساس داده های مربوط به کندشدگی موج استونلی و تراوایی حاصل از MDT در زون نفتی و آبی جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و تاثیرپذیری تراوایی از نوع سیال موجود در سازند نیز در مسئله لحاظ می شود.

شکل (۴-۵) نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT

در زون نفتی نشان می دهد.



شکل ۴-۵- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT در زون نفتی سازند

سروک در بازه (۲۶۹۰m - ۲۷۹۰m) نشان می دهد

فرمول بهترین خط برازش شده به این داده ها به صورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} y = ax + b \\ DTst = 1.1306K_{MDT} + 201.15 \end{cases} \quad (7-4)$$

در رابطه (7-4)، $a=1.1306$ شیب بهترین خط برازش شده است که همان ضریب تطابق

بین $DTst$ و K_{MDT} در زون نفتی می باشد.

$b=201.15$ همان عرض از مبدا خط می باشد که چنانچه $K_{MDT} = 0$ لحاظ شود آنگاه

این مقدار برابر با کندشدگی موج استونلی می شود. در حقیقت این مقدار همان کندشدگی

موج استونلی مربوط به ناحیه ناتراوا می باشد. ($dtst_{non-permeable}$)

پس بدین ترتیب با توجه به فرمول (7-4) رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی

حاصل از ابزار MDT را در زون نفتی به صورت زیر بیان می شود:

$$K_{MDT} = \frac{DTst - dtst_{non-permeable}}{M} \quad (8-4)$$

$DTst$: کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه اکتشافی می باشد.

$dtst_{non-permeable}$: کندشدگی موج استونلی در ناحیه ناتراوا می باشد.

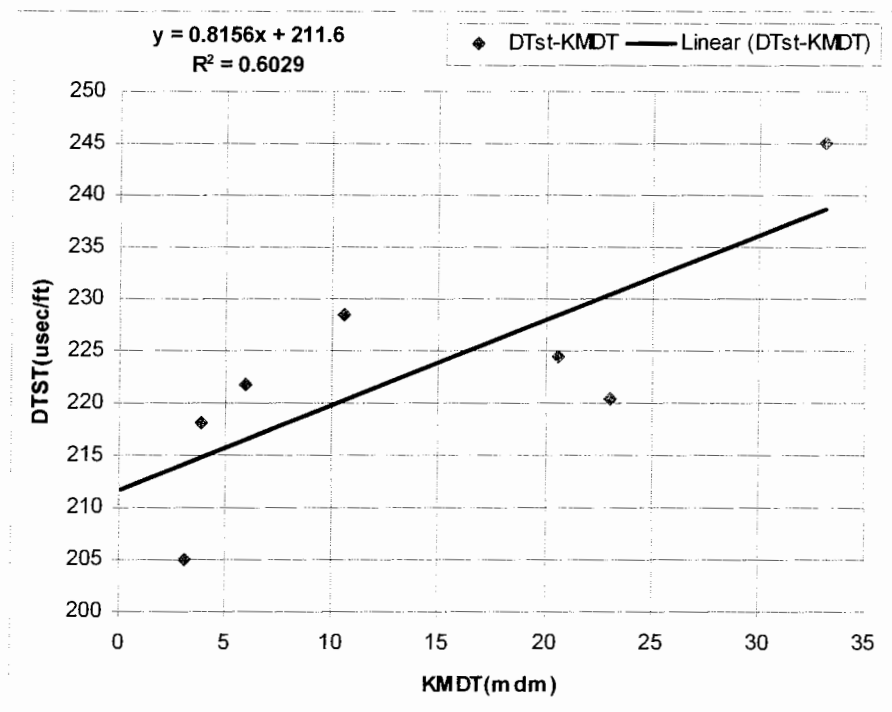
M : ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی می باشد.

K_{MDT} : تراوایی حاصل از ابزار MDT می باشد.

بنابراین ضریب تطابق M ، در زون نفتی برابر 1.1306 می شود.

شکل (۴-۶) نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT

در زون آبی نشان می دهد.



شکل ۴-۶- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT در زون آبی سازند سروک

نشان می دهد

فرمول بهترین خط برازش شده به این داده ها بصورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} y = ax + b \\ DTst = 0.8156k_{MDT} + 221.6 \end{cases} \quad (۴-۹)$$

در رابطه (۹-۴)، $a=0.8156$ شیب بهترین خط برازش شده است که همان ضریب تطابق

بین $DTst$ و K_{MDT} در زون آبی می باشد.

$b=211.6$ همان عرض از مبدا خط می باشد که چنانچه $K_{MDT} = 0$ لحاظ شود آنگاه

این مقدار برابر با کندشدگی موج استونلی می شود. در حقیقت این مقدار همان کندشدگی

موج استونلی مربوط به ناحیه ناتراوا می باشد. ($dtst_{non-permeable}$)

پس بدین ترتیب با توجه به فرمول (۹-۴) رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی

حاصل از ابزار MDT در زون آبی به صورت رابطه (۸-۴) خواهد بود و ضریب تطابق M ، در

زون آبی برابر 0.8156 می شود.

ضریب تطابق بدست آمده از رابطه (۷-۴) و (۹-۴) را در رابطه (۶-۴) قرار داده و

خواهیم داشت:

$$\begin{cases} oil - zone : m_{LIM} \cdot (V_{ave})_{LIM} + m_{DOL} \cdot (V_{ave})_{DOL} = 1.1306 \\ water - zone : m_{LIM} \cdot (V'_{ave})_{LIM} + m_{DOL} \cdot (V'_{ave})_{DOL} = 0.8156 \end{cases} \quad (۴-۱۰-الف)$$

$$\begin{cases} oil - zone : m_{LIM} \cdot 1 + m_{DOL} \cdot 0 = 1.1306 \\ water - zone : m_{LIM} \cdot 0.6856 + m_{DOL} \cdot 0.036021 = 0.8156 \end{cases} \quad (۴-۱۰-ب)$$

ضرایب تطابق بدست آمده از روابط (۷-۴) و (۹-۴) مربوط به نقاطی با حجم های

مختلف سنگ آهک و دولومیت می باشند به این دلیل میانگین حجم سنگ آهک و دولومیت

برای این نقاط در معادلات بالا منظور شده است.

بدین ترتیب ضریب تطابق برای سنگ آهک و دولومیت محاسبه می شود.

$$\begin{cases} m_{LIM} = 1.1306 \\ m_{DOL} = 1.1233 \end{cases} \quad (4-10-ج)$$

نکته: با توجه به اینکه نقاط دارای تراوایی MDT در زون نفتی، نقاطی هستند که از

لحاظ سنگ شناسی حجم دولومیت در آنها صفر است لذا ضریب تطابق بدست آمده از رابطه

(4-7) همان ضریب تطابق سنگ آهک خالص است.

مقادیر کندشدگی موج استونلی نواحی ناتراوا که توسط روابط (4-7) و (4-9) بدست

آمده در حقیقت مربوط به محدوده هایی است که داده MDT وجود دارد لذا به منظور تعمیم

روابط به کل سازند سروک و بدست آوردن یک رابطه ریاضی برای محاسبه تراوایی از طریق

موج استونلی در کل سازند، لازم است کندشدگی موج استونلی در ناحیه ای که در کل سازند

دارای کمترین تراوایی می باشد و در حقیقت ناحیه ناتراوا محسوب می گردد تعیین شود.

برای تعیین کندشدگی موج استونلی ناحیه ناتراوا در سازند سروک نحوه تغییرات

کندشدگی موج استونلی نسبت به تخلخل ناشی از نگار نوترون (NPHI) در یک دستگاه

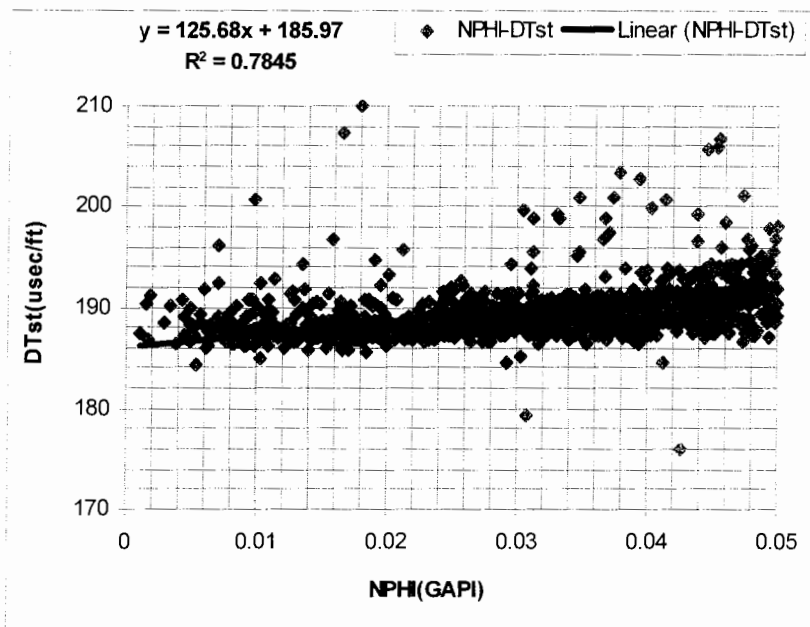
مختصات دو بعدی مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به این که در ارزیابی پتروفیزیکی نقطه

حدی (cut-off) را در مورد تخلخل ۵٪ قرار دادیم و تخلخل های بالای این مقدار را جز

خالص (Net) در نظر گرفتیم، لذا این بدین معنی است که نقاطی با تخلخل پایین تر از این

مقدار در حقیقت جز نواحی ناتراوا محسوب می شوند. پس مطابق شکل (4-7) محدوده تغییرات

تخلخل ناشی از نگار نوترون در این بررسی ۵٪-۰ انتخاب گردید.



شکل ۴-۷- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را نسبت به تخلخل نوترونی (NPHI) نشان می دهد

با توجه به رگرسیون فرمول بهترین خط برازش شده به این داده ها عبارتست از:

$$\begin{cases} y = ax + b \\ DTst = 125.68\varphi_N + 185.97 \end{cases} \quad (11-4)$$

در رابطه (۱۱-۴) $b=185.97$ عرض از مبدا خط است که چنانچه $\varphi_N = 0$ فرض شود

این مقدار برابر DTst می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این مقدار همان کندشدگی

ناحیه ناتراوا است که به ازای $\varphi_N = 0$ بدست می آید.

$$dtst_{non-permeable} = 185.97 \quad (12-4)$$

با تعیین کندشدگی موج استونلی ناحیه ناتراوا در سازند سروک، رابطه (۴-۱۲)، و محاسبه ضریب تطابق سنگ آهک و دولومیت، رابطه (۴-۱۰)، و با جایگذاری این مقادیر در فرمول (۴-۸) یک رابطه ریاضی بین تراوایی و کندشدگی موج استونلی در کل سازند سروک بدست می آید:

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[m_{LIM} \cdot V_{LIM} + m_{DOL} \cdot V_{DOL}]} \quad (۴-۱۳-الف)$$

$$K = \frac{DTst - 185.97}{[1.1306V_{LIM} + 1.1233V_{DOL}]} \quad (۴-۱۳-ب)$$

اما رابطه (۴-۱۳) با یک مشکل روبرو است و آن این است که در آن مقدار پیچاپیچی مسیرهای جریان و شکل کانال های ارتباطی حفره ها که بر روی تراوایی تاثیر می گذارند در نظر گرفته نشده است.

با توجه به اینکه این عوامل در حقیقت به فضاهای خالی موجود در سنگ که سیال در آن جریان پیدا می کند و شکل این مسیرهای جریانی و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر مرتبط است لذا پارامتر پتروفیزیکی که از این عوامل تاثیر می پذیرد بهترین فاکتور جهت وارد کردن این عوامل در رابطه (۴-۱۳) می باشد. پارامتر پترو فیزیکی که این شرایط را در بر می گیرد و خود نیز با حصول شرایط می تواند نشانگری برای تراوایی باشد تخلخل است.

در ارزیابی های پتروفیزیکی، تخلخلی که در نظر گرفته می شود به صورت زیر

است [www.slb.com]:

(۱۴-۴)

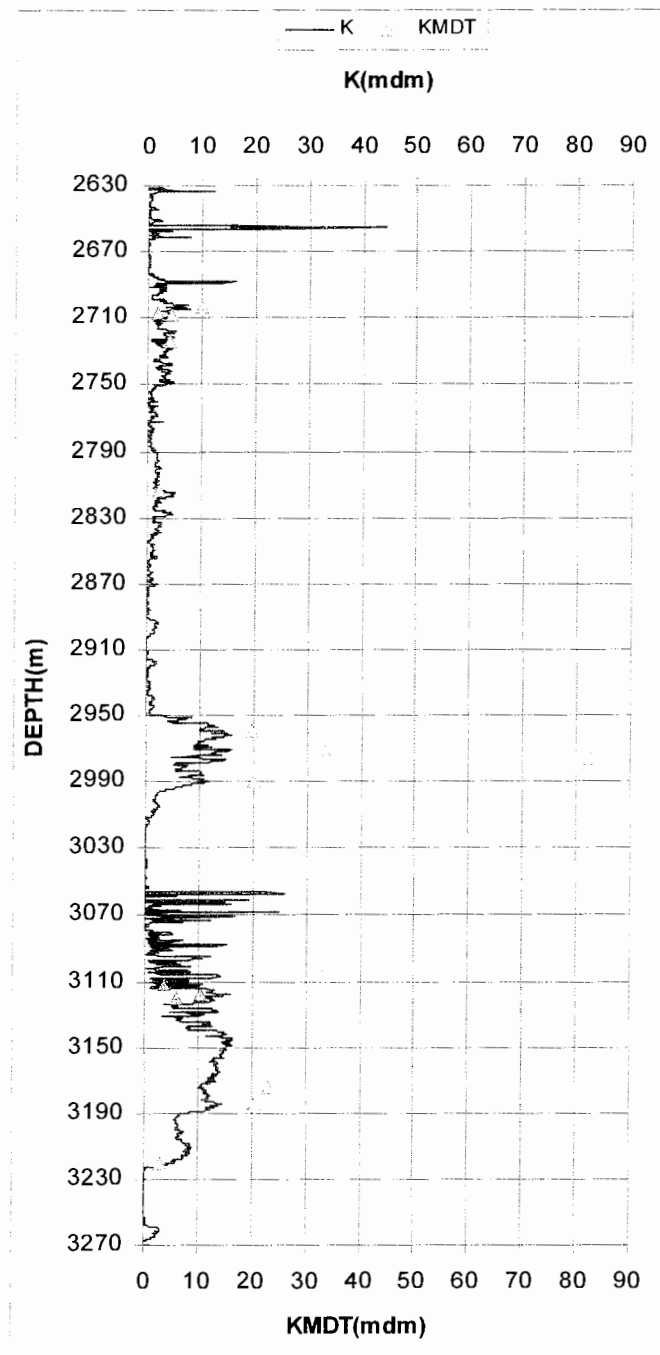
$$\begin{array}{ll} \text{oil- Reservoir} & PIGN = \frac{\varphi_N + \varphi_D}{2} \\ \text{Gas- Reservoir} & PIGN = \sqrt{\frac{\varphi_N^2 + \varphi_D^2}{2}} \end{array}$$

در رابطه بالا، φ_N تخلخل نوترونی و φ_D تخلخل ناشی از نگار دانسیته و PIGN تخلخل میانگین است.

بدین ترتیب با وارد کردن فاکتور تخلخل رابطه (۱۴-۴) بصورت زیر بازنویسی می شود:

$$K = \frac{DTst - dtst_{non-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL})]} \cdot PIGN \quad (15-4)$$

رابطه (۱۵-۴) رابطه ای است که در آن همه فاکتورهای تاثیر گذار بر تراوایی منظور شده است و بدین ترتیب می توان از طریق کندشدگی موج استونلی تراوایی را محاسبه کرده و مطابق شکل (۸-۴) نگاری پیوسته از تغییرات تراوایی در کل سازند سروک بدست آورد. با توجه به اینکه رابطه تخلخل و تراوایی یک رابطه خطی نمی باشد لذا نگار بدست آمده با داده های MDT تطابق ندارد.



شکل ۴-۸ خط آبی، نمودار تراوایی محاسبه شده در سازند سروک را نشان می دهد

مرحله نهایی کار این است که نمودار بدست آمده و داده های حاصل از MDT بر هم منطبق شوند. بطور شهودی با مطالعه روابط بین تخلخل و تراوایی می توان گفت رابطه بین تخلخل و تراوایی یک رابطه نمایی است [تیاب و دونالدسون، ۲۰۰۴].

$$K \propto (\varphi^n) \quad (۱۶-۴)$$

لذا به منظور رسیدن به یک تطابق بین داده های محاسباتی و اندازه گیری شده، این فکر امتحان شد که بجای ضرب کردن PIGN در رابطه (۱۵-۴) توانهایی از این پارامتر در این رابطه منظور گردد.

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL})]} (PIGN)^n \quad (۱۷-۴)$$

با بررسی نگار تراوایی محاسبه شده و وضعیت داده های MDT نسبت به آن، شکل (۴-۸)، و مقایسه نمودار تخلخل ناشی از نوترون (NPHI) در سازند سروک، اشکال (ب-۱۴) تا (ب-۱۷)، مشاهده می شود که با افزایش میزان تخلخل تراوایی محاسبه شده از داده های MDT فاصله گرفته و میزان آن کاهش می یابد.

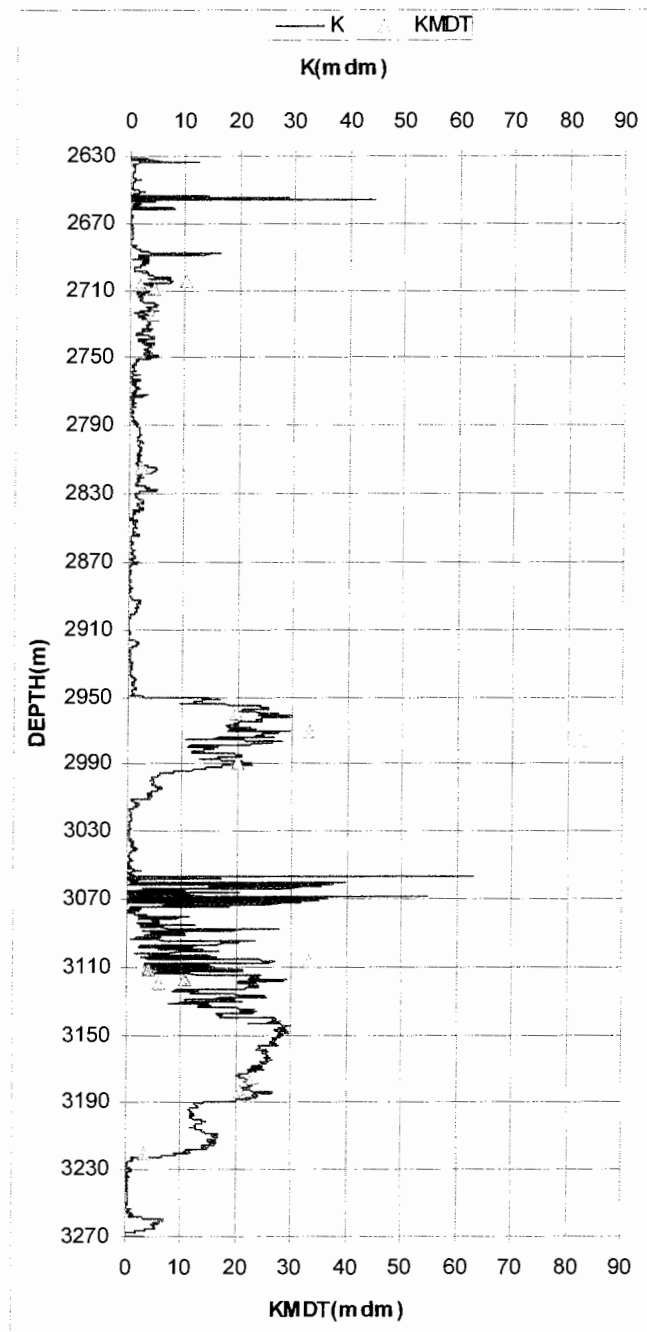
از این رو نتیجه گرفته می شود که n باید کوچکتر از واحد انتخاب شود و به همین دلیل بطور تجربی توانهای مختلفی از تخلخل آزمایش می شود که به ازای n=0.5 بهترین تطبیق بدست می آید. بدین ترتیب رابطه (۱۷-۴) به صورت زیر نوشته می شود:

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL})]} (PIGN)^{0.5} \quad (۱۸-۴)$$

رابطه (۴-۱۸) رابطه نهایی برای محاسبه تراوایی توسط کندشدگی موج استونلی در

سازند سروک می باشد. در شکل (۴-۹) نگار تراوایی بدست آمده از رابطه (۴-۱۸) نمایش داده

شده است.



شکل ۴-۹ - تطابق بین تراوایی محاسبه شده و تراوایی بدست آمده از ابزار MDT را در سازند سروک نشان

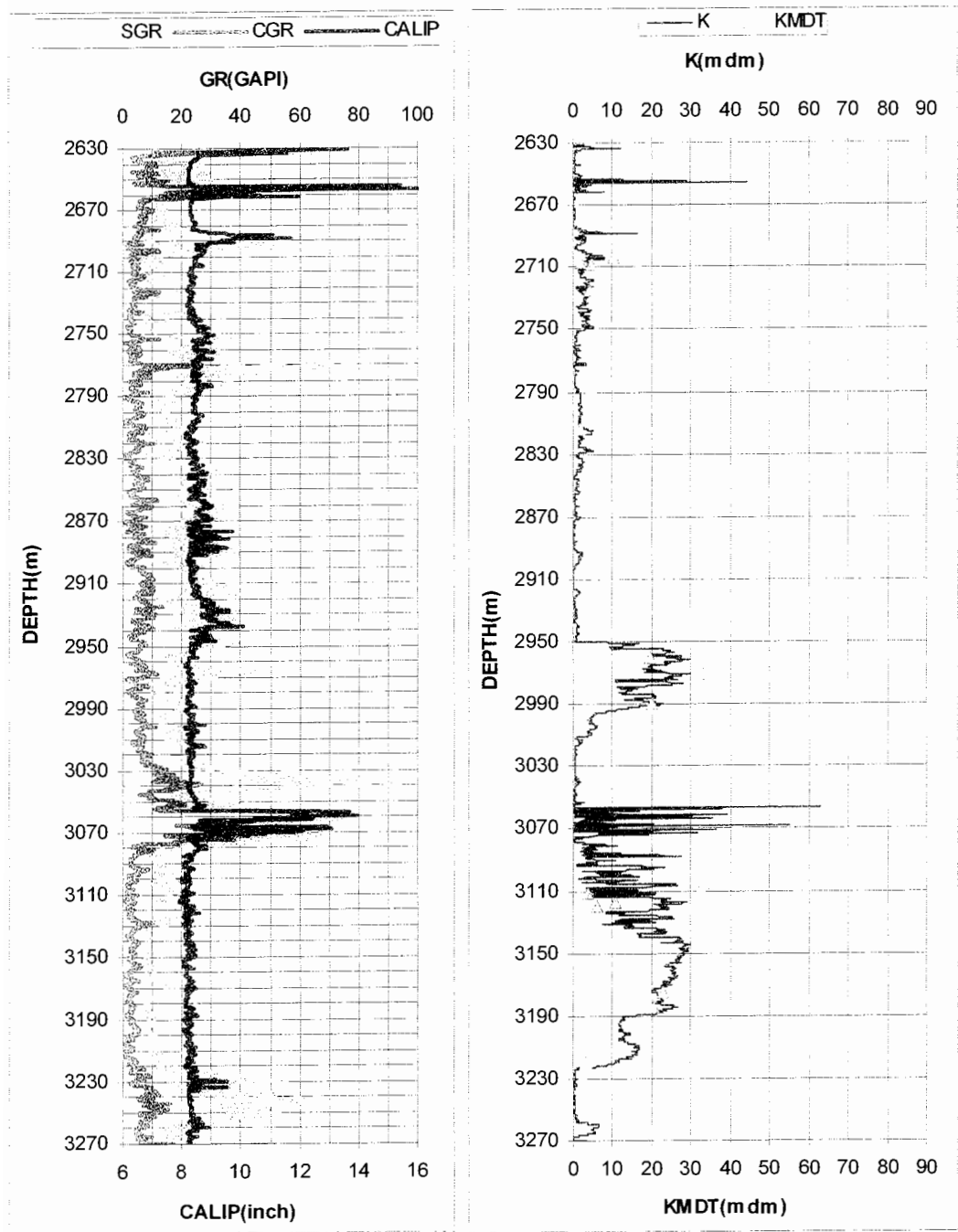
می دهد

روند تغییرات نگار تراوایی که براساس رابطه (۴-۱۸) محاسبه شده است بوسیله تمام نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی تایید می شود. اشکال (۴-۱۰) تا (۴-۴)

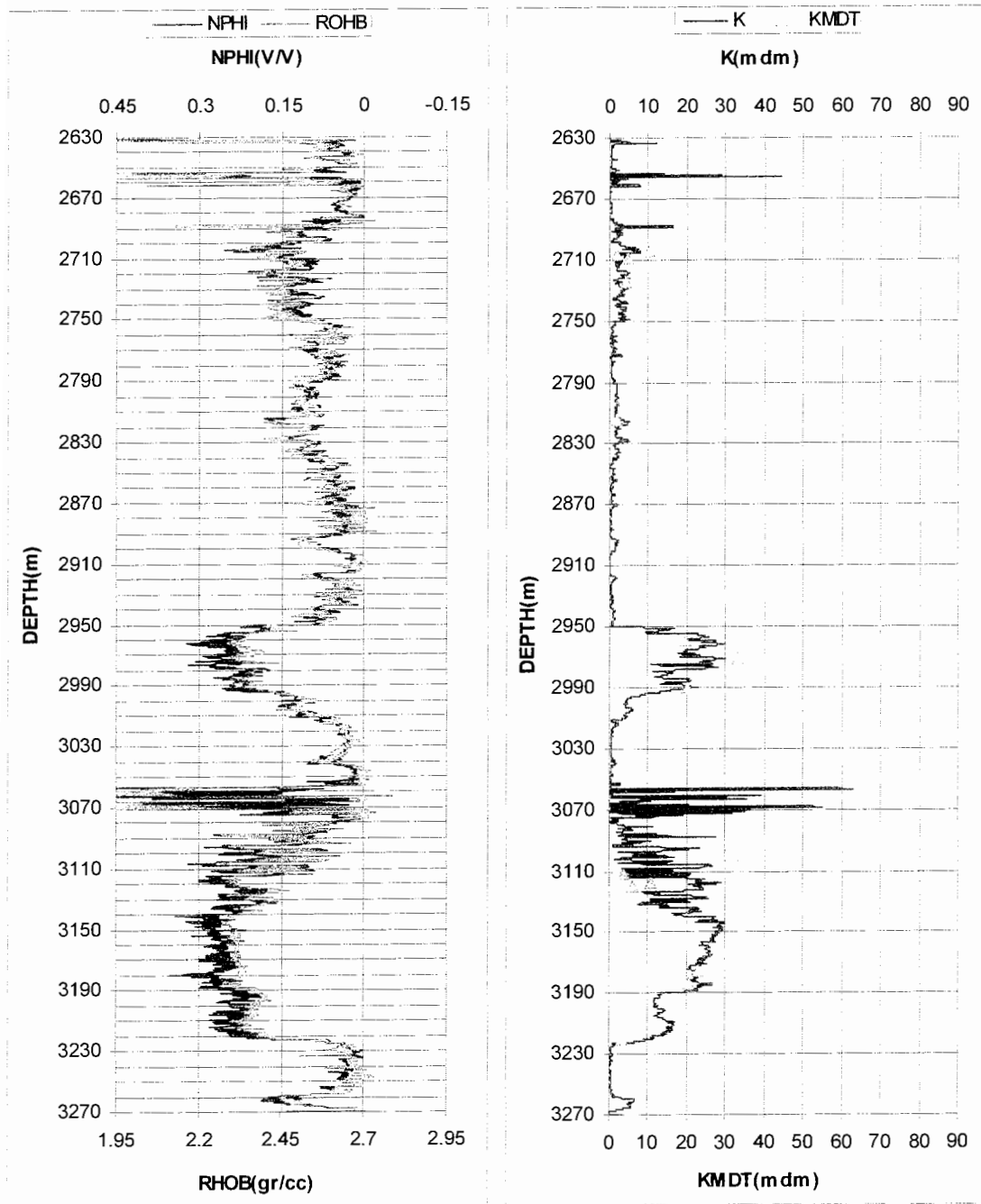
(۱۳)

سازند سروک از نظر زمین شناسی عمدتاً متشکل از سنگ آهک تمیز می باشد. در فواصلی از این سازند نیز آهک دولومیتی و درصدهای متغیری از رس وجود دارد. از نقطه نظر مخزنی، می توان سازند سروک را به سه بخش عمده تقسیم کرد. بخش اول، فاصله عمقی ۲۶۹۰-۲۷۵۰ متری است که دارای هیدروکربور از نوع نفت می باشد و سطح تماس آب و نفت در عمق ۲۷۵۰ متری قرار دارد. بخش دوم، حد فاصل ۲۷۵۰-۳۰۵۰ متری است که کاملاً آبخیز بوده و دارای درصدهای متغیری از آهک دولومیتی می باشد، همچنین این بخش تراوایی بالاتری نسبت به بخش اول دارد. بخش سوم حد فاصل ۳۰۶۰-۳۲۲۵ متری است که بسیار شبیه بخش دوم می باشد و توسط یک لایه شیلی از بخش دوم جدا می شود. این بخش نیز دارای تراوایی بالاتری نسبت به بخش اول می باشد. از عوامل بالاتر بودن تراوایی در این دو بخش، وجود مقادیر سنگ آهک دولومیتی و همچنین دانه بندی درشت تر (گزارش زمین شناسی) می باشد. از آنجایی که تراوایی تحت تاثیر نحوه توزیع تخلخل، گلوگاههای مرتبط کننده فضاهای خالی، ضریب سازند، ضریب پیچاپیچی، نوع دانه بندی، جور شدگی و ناهمگونی مخزن است شاید به راحتی از روی نمودارهای موجود در نمودارگیری و بصورت کیفی، نتوان این پارامتر را مورد بررسی قرار داد. با توجه به نمودار قطریاب و طیف سنجی اشعه گاما، تمامی

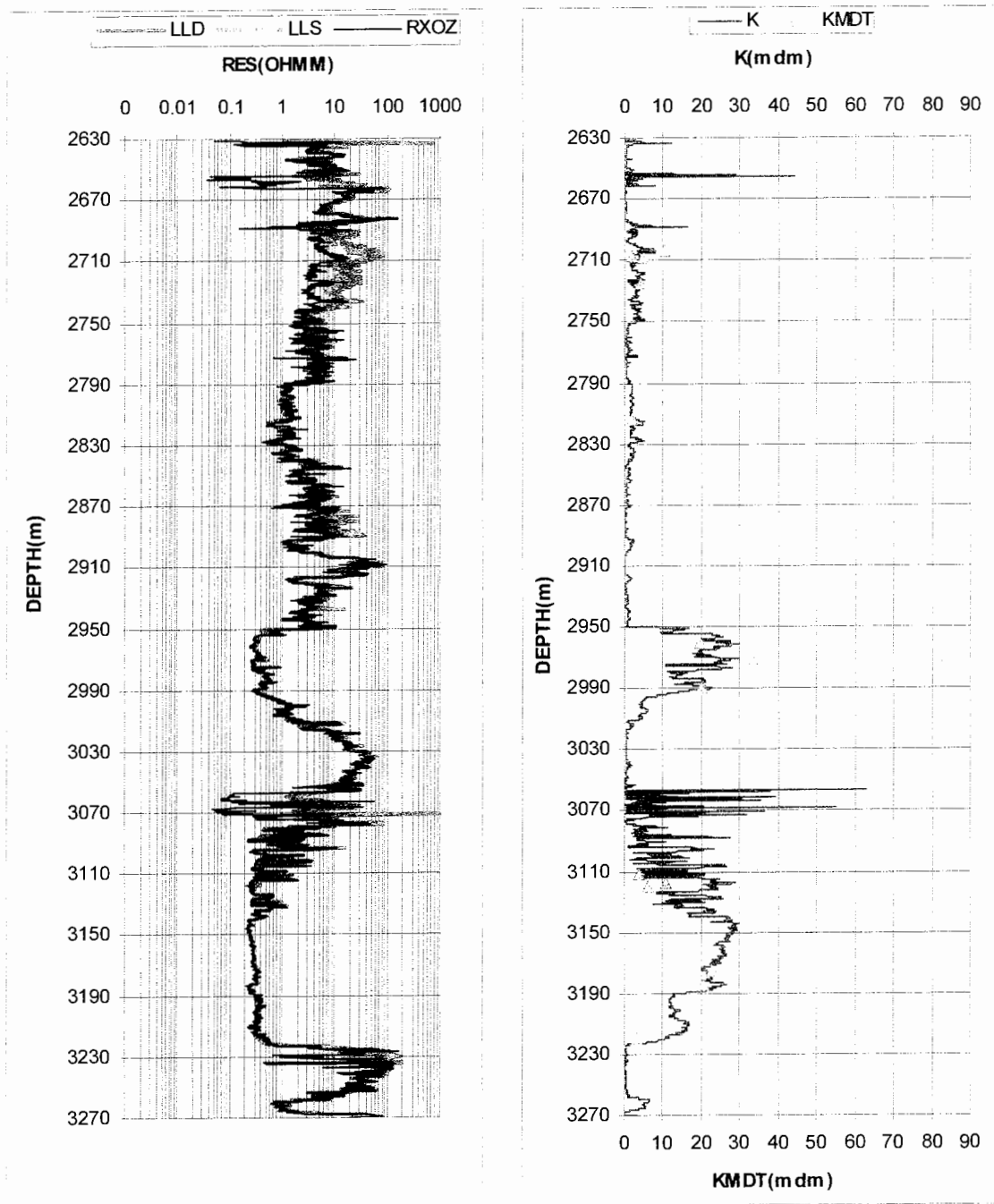
نقاط اخذ شده توسط ابزار MDT در فواصل تمیز و عاری از رس می باشند. نمودار تخلخل نوترون و چگالی نیز تایید کننده این موضوع می باشد که تمامی نقاط در نواحی مخزنی اخذ شده اند. در حد فاصل ۲۷۵۰-۲۶۹۰ متری، نمودارهای مقاومت ویژه از یکدیگر جدا شده اند که بطور کیفی، این پروفیل، بیانگر وجود تراوایی می باشد. در بخش های دو و سه به دلیل آبخیز بودن مخزن این پروفیل دیده نمی شود. از نکات جالب توجه در این سازند سازگاری بسیار خوب بین قرائت های کندشدگی موج استونلی و نحوه تغییرات تراوایی است و بوضوح مشاهده می شود که در بخش های دو و سه که تراوایی سنگ مخزن بالاتر است، میزان قرائت های کندشدگی استونلی نیز بالاتر می باشد. البته قابل ذکر است که تخلخل نیز در این موضوع دخیل می باشد. در حد فاصل ۲۹۹۰-۲۹۵۰ متری یکی از قرائت های تراوایی، چهار برابر دیگر نقاط موجود در این سازند است که این موضوع نیز با توجه به پدیده لایه لایه بودن این سازند (گزارش زمین شناسی) قابل توجه است. در این سازند نمودار MSFL با توجه به قدرت تفکیک عمودی بالایی که دارند وجود لایه لایه بودن سازند سروک را تایید می کند ولی ابزار DSI، نوترون، چگالی، گاما و مقاومت عمیق به دلیل قدرت تفکیک عمودی ضعیف تر، قادر به تفکیک این لایه ها نیستند.



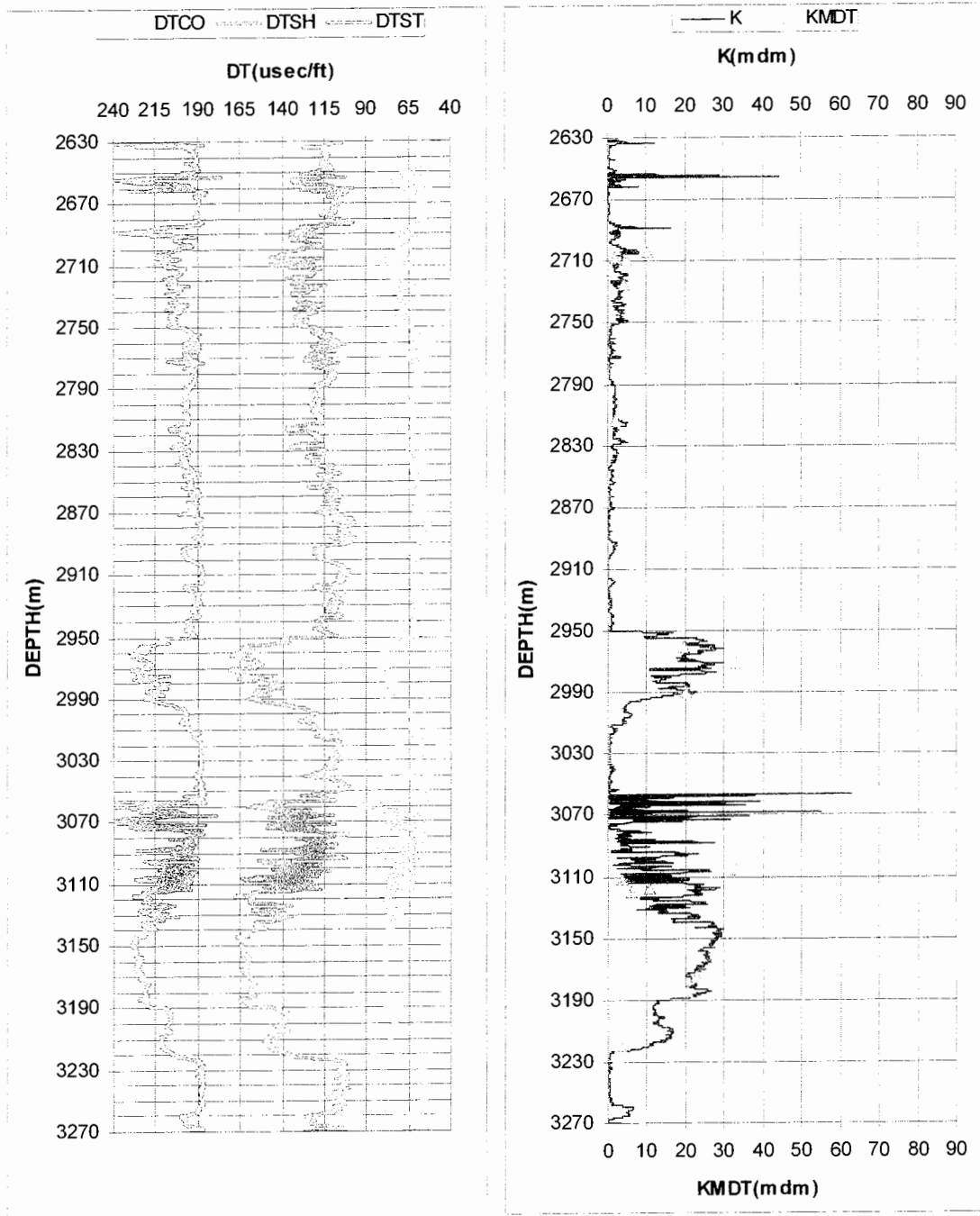
شکل ۴-۱۰- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگارهای قطر یاب و پرتو گاما نشان می دهد



شکل ۴-۱۱- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگارهای NPHI, ROHB نشان می دهد

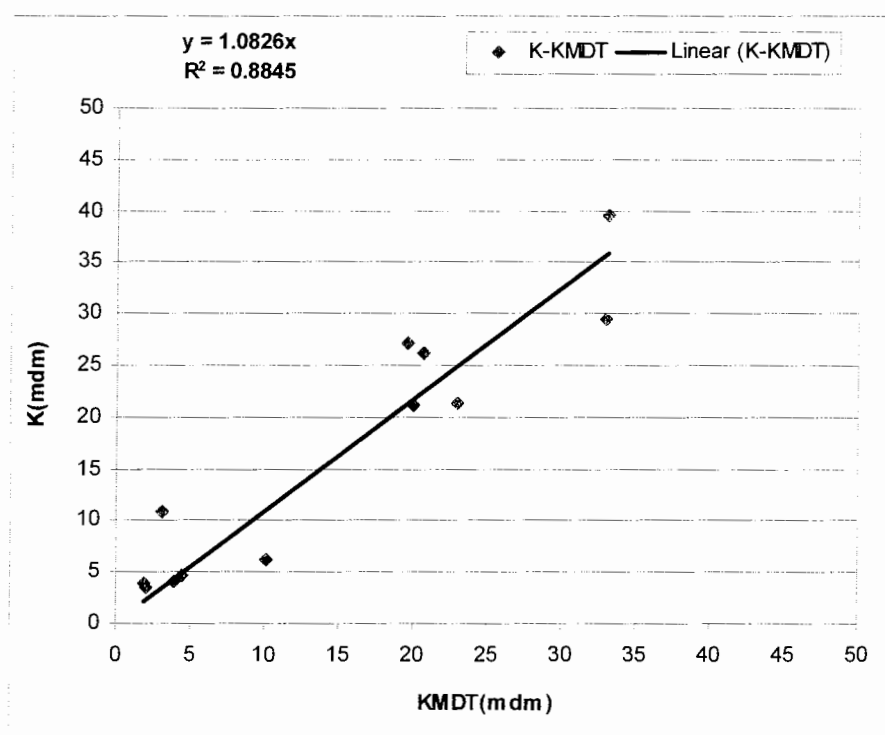


شکل ۴-۱۲- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگارهای مقاومت ویژه نشان می دهد



شکل ۴-۱۳- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگار صوتی نشان می دهد

در نهایت تراوایی محاسبه شده از رابطه (۴-۱۸) را با تراوایی اندازه گیری شده بوسیله ابزار MDT مورد مقایسه قرار می دهیم. همانطور که در شکل (۴-۱۴) مشاهده می شود این نقاط بر روی یک خط به فرم عمومی $y=ax$ قرار دارند که این نشان دهنده تطبیق خوب بین داده های اندازه گیری شده و داده های محاسباتی می باشد.



شکل ۴-۱۴- مقایسه تراوایی محاسبه شده با تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT را در سازند سروک

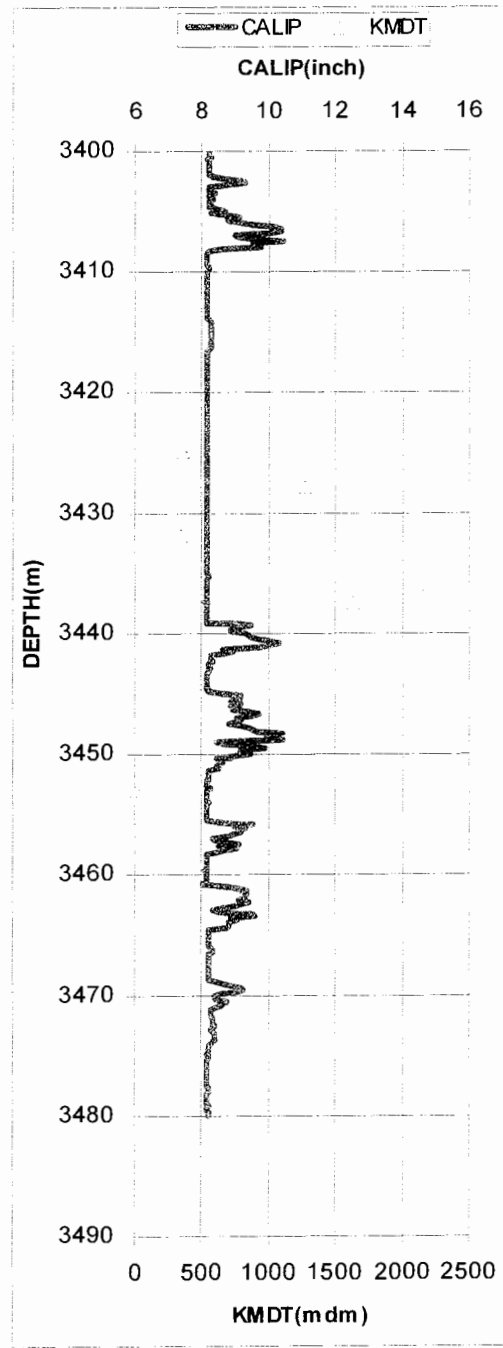
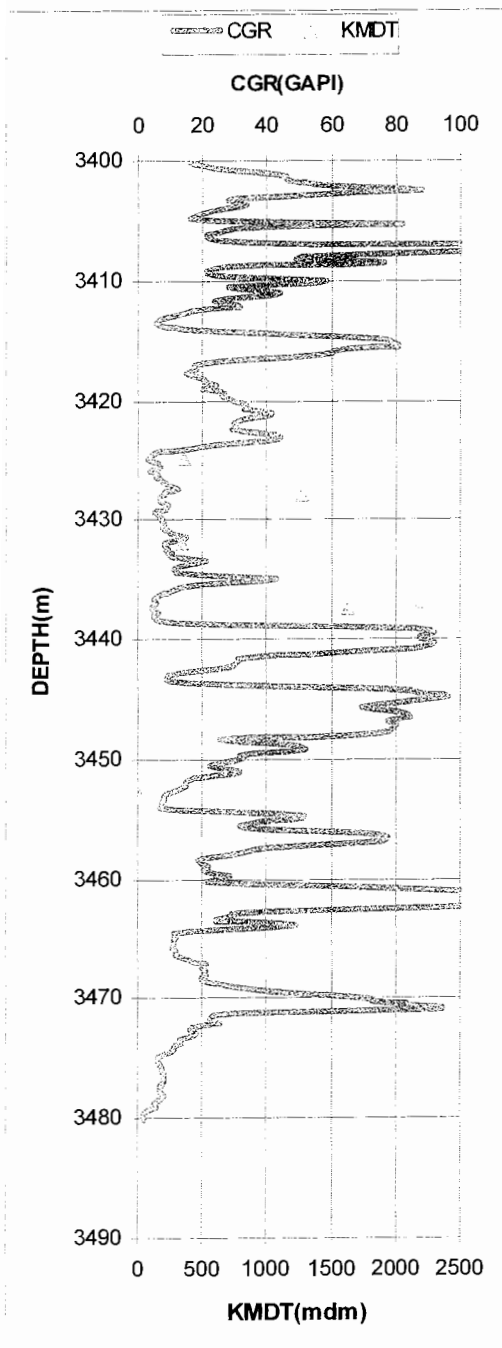
نشان می دهد

۴-۲-۲- سازند بورگان

این سازند مطابق شکل (الف- ۱۸) از عمق ۳۴۰۰ متر آغاز و ۷۰ متر ضخامت دارد و غالباً از ماسه سنگ تشکیل شده است. هدف این است که ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی M، برای ماسه سنگ که در حقیقت مولفه تشکیل دهنده سازند بورگان می باشد تعیین شود و در نهایت یک رابطه ریاضی برای محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی در کل سازند بورگان بدست آید. روش انجام کار و حل مسئله در اینجا مانند روش انجام گرفته در سازند سروک می باشد لذا به منظور اجتناب از آوردن مطالب تکراری از بیان جزئیات خودداری می کنیم.

در سازندگان بورگان نقاط بسیار کمی وجود دارد که در آن تراوایی توسط ابزار MDT تعیین شده است. تست MDT همه این نقاط طبیعی گزارش شده است. داده های MDT سازند بورگان در جدول (ب-۲) آمده است.

داده های تراوایی مربوط به این نقاط مطابق شکل (۴-۱۵) بر روی نگار قطریاب و CGR نمایش داده شده است. در نقاطی که این داده ها برداشت شده مشکل ریزش چاه یا حضور شیل در سازند وجود ندارد. بدین ترتیب از صحت داده ها اطمینان حاصل می گردد.



شکل ۴-۱۵- داده های تراوایی حاصل از MDT را بر روی نگار قطریاب و CGR در سازند بورگان نشان می دهد

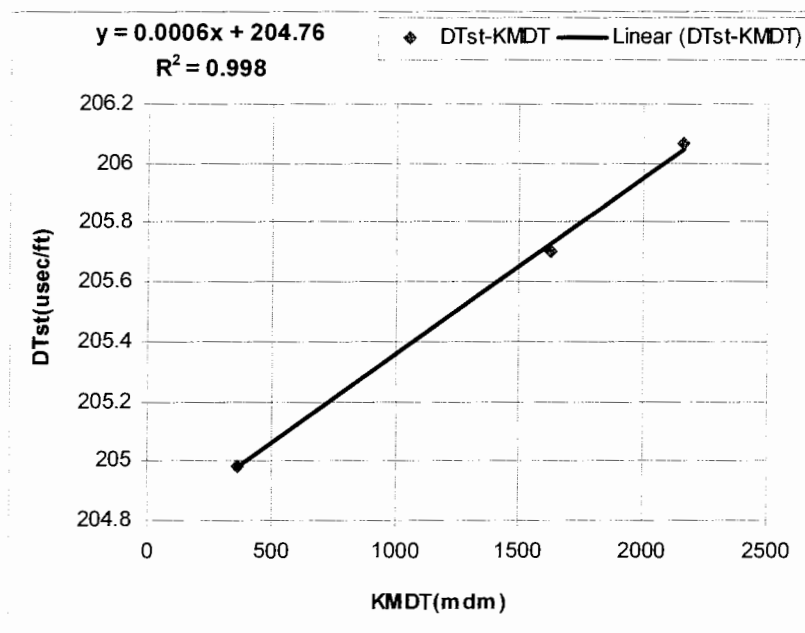
به منظور محاسبه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی برای مولفه های تشکیل دهنده سازند و بدست آوردن یک رابطه ریاضی بین دو پارامتر، ارزیابی پتروفیزیکی انجام شده مورد بررسی قرار می گیرد.

چنانچه ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را در ناحیه مربوط به سازند بورگان مورد بررسی قرار دهیم، مشاهده می کنیم که این سازند از لحاظ سنگ شناسی شامل ماسه سنگ و سنگ آهک که در بعضی نقاط اندکی دولومیتی شده می باشد اما غالب این سازند ماسه سنگی است. پس رابطه (۴-۴) برای این سازند بصورت زیر بیان می شود:

$$M = \sum_{i=1}^k m_i V_i = \sum_{i=1} m_i V_i = m_{LIM} . V_{LIM} + m_{DOL} . V_{DOL} + m_{sand} . V_{sand} \quad (۱۹-۴)$$

گزارش زمین شناسی چاه نفتی A نشان می دهد که نوع سنگ آهک و دولومیت در سازند سروک و بورگان یکسان می باشد [www.Nioc. Com]. بدین ترتیب ضریب تطابق محاسبه شده برای سنگ آهک (m_{LIM}) و دولومیت (m_{DOL}) را که قبلاً در سازند سروک محاسبه گردیده می توان در سازند بورگان نیز بکار برد. بنابراین تنها مجهول در رابطه (۴-۱۹) ضریب تطابق ماسه سنگ (m_{sand}) می باشد. البته بهتر است که بدون در نظر گرفتن گزارش زمین شناسی، نوع سنگ آهک و دولومیت در سازند سروک و بورگان متفاوت فرض شده و ضرایب تطابق برای سنگ آهک و دولومیت در سازند بورگان جداگانه محاسبه گردد که متأسفانه به دلیل عدم وجود داده های MDT مناسب و کافی امکان انجام این کار در این تحقیق وجود نداشت.

از آنجا که در سازند بورگان، نقاط بسیار کمی وجود دارد که در آنها تراوایی از طریق ابزار MDT تعیین شده است لذا تفکیک داده ها به منظور بررسی تاثیر نوع سیال بر تراوایی متاسفانه امکان پذیر نبود. اما بررسی دقیق تر ارزیابی پتروفیزیکی و همچنین حجم کانیهای مختلف در نقاطی که داده MDT وجود دارد نشان می دهد که در چندین نقطه حجم سنگ آهک و دولومیت صفر بوده و این نقاط شامل ماسه سنگ خالص می باشند، لذا چنانچه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی در این نقاط تعیین شود آنگاه این ضریب تطابق همان ضریب تطابق ماسه سنگ خالص خواهد بود. بدین منظور نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی در برابر تراوایی حاصل از MDT برای نقاطی که ماسه سنگ خالص وجود دارد در یک دستگاه مختصات دو بعدی مورد بررسی قرار می گیرد. شکل (۴-۱۶)



شکل ۴-۱۶ نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تراوایی حاصل از MDT برای نقاطی که ماسه سنگ خالص داریم نشان می دهد

فرمول بهترین خط برازش شده به این داده ها عبارتست از:

$$\begin{cases} y = ax + b \\ DTst = 0.0006K_{MDT} + 204.79 \end{cases} \quad (۲۰-۴)$$

در رابطه (۲۰-۴)، $a=0.0006$ شیب بهترین خط برازش شده است که همان ضریب

تطابق بین DTst و K_{MDT} در سازند بورگان می باشد.

$b=204.79$ همان عرض از مبدا خط می باشد که چنانچه $K_{MDT} = 0$ لحاظ شود آنگاه

این مقدار برابر با کندشدگی موج استونلی می شود. در حقیقت این مقدار همان کندشدگی

موج استونلی مربوط به ناحیه ناتراوا می باشد. ($dst_{non-permeable}$)

پس بدین ترتیب با توجه به فرمول (۴-۲۰) رابطه بین کندشدگی موج استونلی و

تراوایی حاصل از ابزار MDT را در سازند بورگان به صورت زیر می توان نوشت:

$$K_{MDT} = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{M} \quad (۴-۲۱)$$

DTst: کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه اکتشافی می باشد.

$dtst_{none-permeable}$: کندشدگی موج استونلی در ناحیه ناتراوا می باشد.

M: ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی می باشد.

K_{MDT} : تراوایی حاصل از ابزار MDT می باشد.

براساس رابطه (۴-۲۰) ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تغییرات تراوایی به

ازای ماسه سنگ خالص برابر 0.0006 می شود. ($m_{sand} = 0.0006$)

مقادیر کندشدگی موج استونلی نواحی ناتراوا که توسط رابطه (۴-۲۰) بدست آمده در

حقیقت مربوط به محدوده ای است که داده MDT وجود دارد لذا به منظور تعمیم رابطه به کل

سازند بورگان و بدست آوردن یک رابطه ریاضی برای محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی در

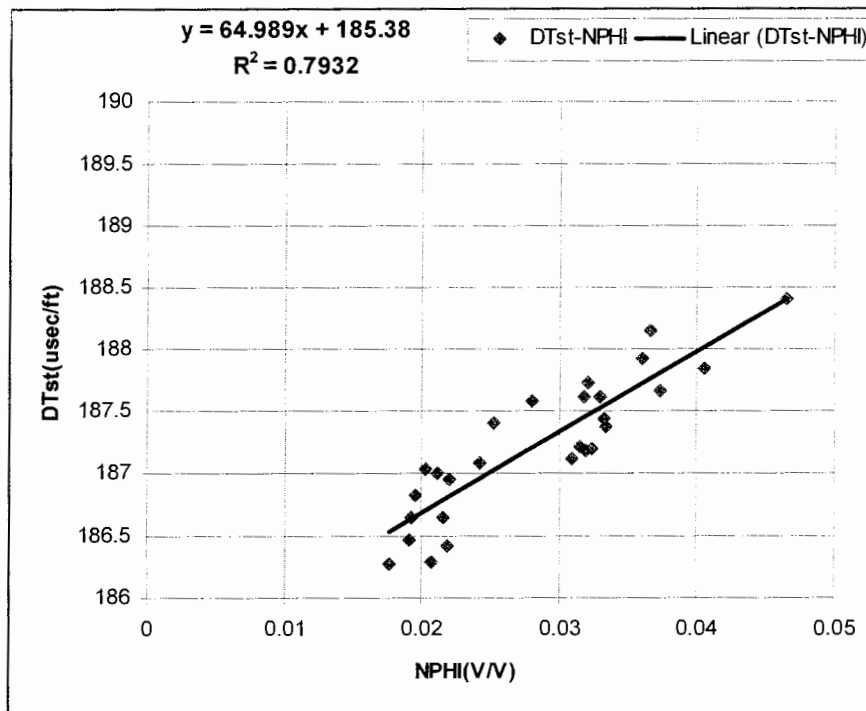
کل سازند لازم است کندشدگی موج استونلی در ناحیه ای که در کل سازند دارای کمترین

تراوایی می باشد و در حقیقت ناحیه ناتراوا محسوب می شود تعیین گردد.

به منظور تعیین کندشدگی ناحیه ناتراوا، تغییرات کندشدگی موج استونلی نسبت به

تخلخل ناشی از نوترون (NPHI) برای محدوده تخلخل های ۰ تا ۵٪ در یک دستگاه مختصات

دو بعدی مورد بررسی قرار می گیرد. (شکل ۴-۱۷)



شکل ۴-۱۷- نحوه تغییرات کندشدگی موج استونلی را در برابر تخلخل ناشی از نوترون (NPHI) نشان می دهد

فرمول بهترین خط برازش شده به این داده ها عبارتست از:

$$\begin{cases} y = ax + b \\ DTst = 64.989\varphi_N + 185.38 \end{cases} \quad (۲۲-۴)$$

در رابطه (۲۲-۴)، $b=185.38$ عرض از مبدا خط است که چنانچه $\varphi_N = 0$ منظور شود

این مقدار برابر $DTst$ می شود. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت که این همان کندشدگی

ناحیه ناتراوا است که به ازای $\varphi_N = 0$ بدست می آید.

$$dtst_{none-permeable} = 185.38 \quad (۲۳-۴)$$

بدین ترتیب با محاسبه کندشدگی موج استونلی در ناحیه ناتراوا، رابطه (۴-۲۳)، و

ضریب تطابق برای مولفه های تشکیل دهنده سازند، رابطه (۴-۲۱) به منظور محاسبه تراوایی از

طریق موج استونلی در کل سازند بورگان بصورت زیر در می آید:

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL}) + (m_{sand} \cdot V_{sand})]} \quad (۴-۲۴ \text{ الف})$$

$$= \frac{DTst - 185.52}{[(1.1306V_{LIM}) + (1.1233V_{DOL}) + (0.0006V_{sand})]} \quad (۴-۲۴ \text{ ب})$$

اما رابطه بالا همانطور که قبلاً گفتیم با یک مشکل روبرو است و آن این است که در آن

مقدار پیچاپیچی مسیره های جریانی و شکل کانالهای ارتباطی حفره ها که بر روی تراوایی تاثیر

می گذارد در آن در نظر گرفته نشده است. بدین منظور فاکتور تخلخل در مسئله لحاظ

می شود.

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL}) + (m_{sand} \cdot V_{sand})]} \cdot PIGN \quad (۴-۲۵)$$

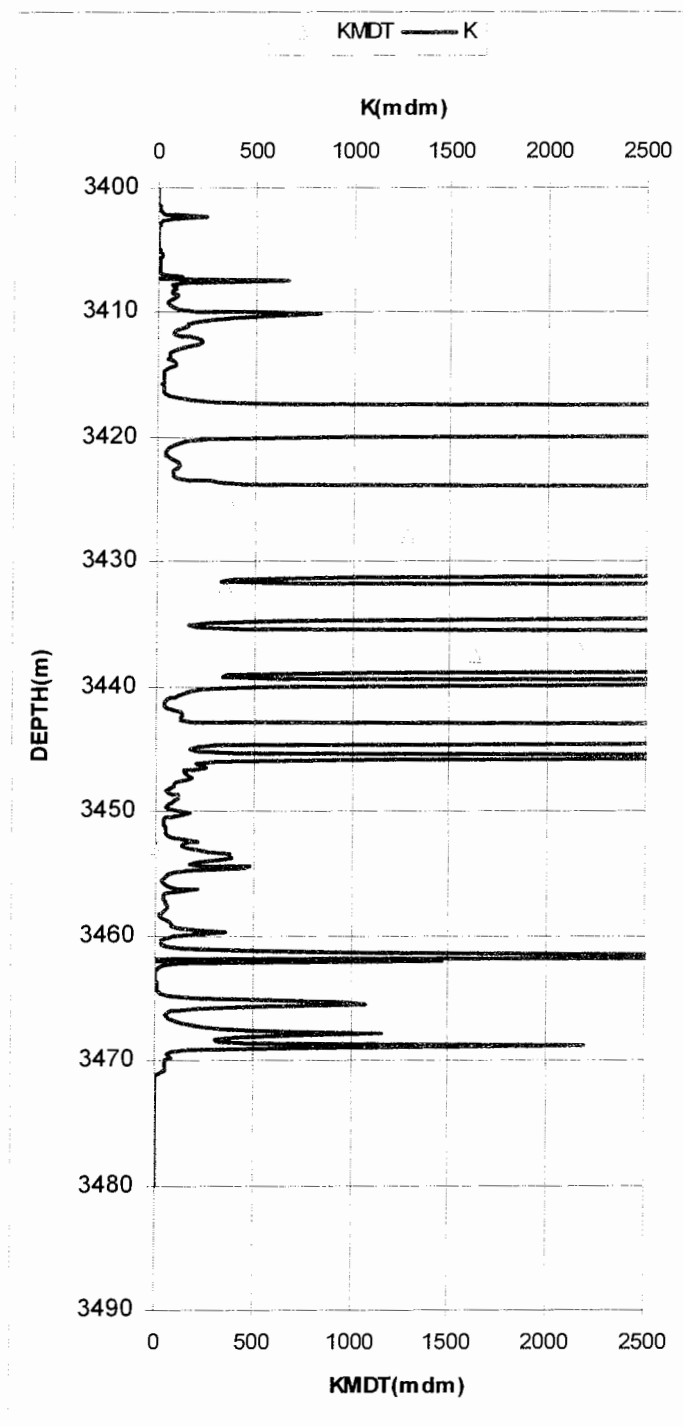
رابطه (۴-۲۵) رابطه ای است که در آن همه فاکتورهای تاثیرگذار بر تراوایی منظور شده

است و بدین ترتیب می توان از طریق کندشدگی موج استونلی تراوایی را محاسبه کرده و

مطابق شکل (۴-۱۸) نگاری پیوسته از تغییرات تراوایی در کل سازند بورگان بدست آورد. با

توجه به اینکه رابطه تخلخل و تراوایی یک رابطه خطی نمی باشد لذا نگار بدست آمده با داده

های MDT تطابق ندارد.



شکل ۴-۱۸- نمودار تراوایی محاسبه شده در سازند بورگان را نشان می دهد

مرحله نهایی کار این است که نگار بدست آمده و داده های حاصل از MDT بر هم

منطبق گردند. بنابر منطق ذکر شده در سازند سروک، بجای وارد کردن PIGN در رابطه (۴)-

(۲۵) توانهایی از این پارامتر در رابطه لحاظ می شود.

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL}) + (m_{sand} \cdot V_{sand})]} \cdot (PIGN)^n \quad (۲۶-۴)$$

با بررسی نگار تراوایی محاسبه شده و وضعیت داده های MDT نسبت به آن، شکل (۴)-

(۱۸)، و مقایسه نمودار تخلخل ناشی از نوترون (NPHI) در سازند بورگان، شکل (ب-۱۸)،

مشاهده می شود که با افزایش میزان تخلخل تراوایی محاسبه شده از داده های MDT فاصله

گرفته و میزان آن افزایش می یابد.

از این رو نتیجه گرفته می شود که n باید بزرگتر از واحد انتخاب شود و به همین دلیل

بطور تجربی توانهای مختلفی از تخلخل را آزمایش کرده که به ازای n=3.5 بهترین تطبیق

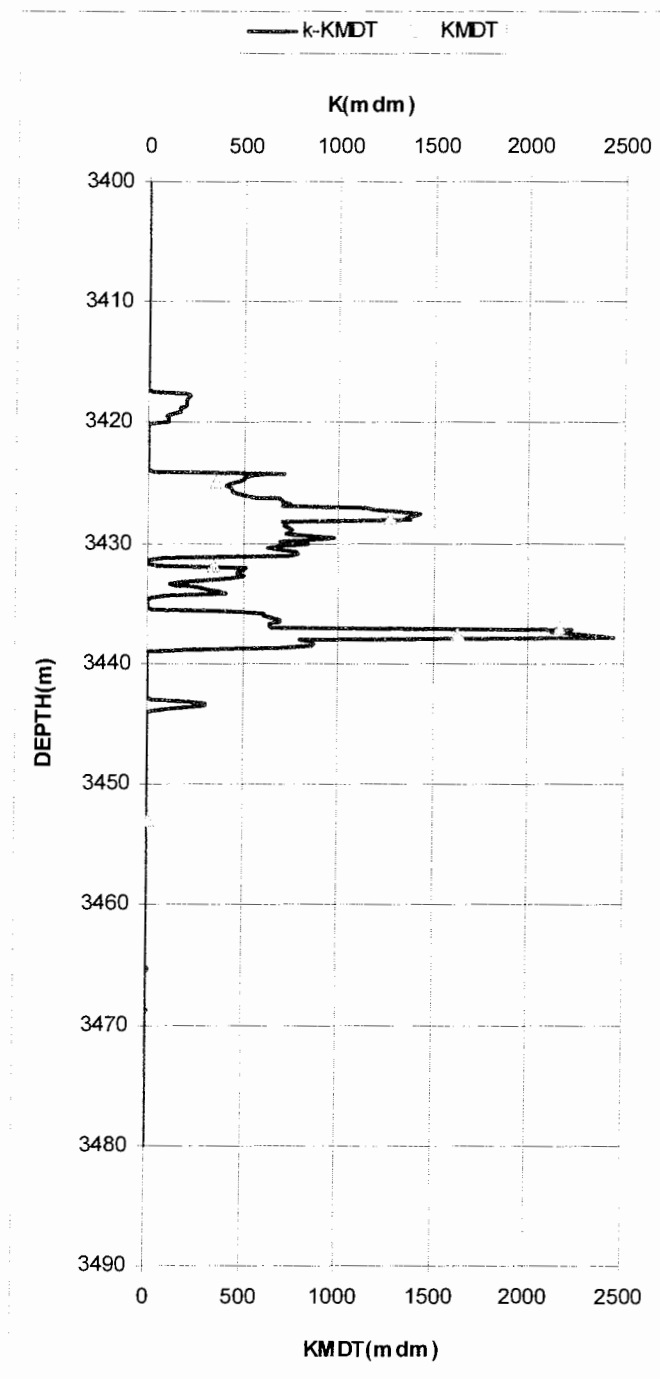
بدست می آید. بدین ترتیب خواهیم داشت:

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{[(m_{LIM} \cdot V_{LIM}) + (m_{DOL} \cdot V_{DOL}) + (m_{sand} \cdot V_{sand})]} \cdot (PIGN)^{3.5} \quad (۲۷-۴)$$

رابطه (۲۷-۴) رابطه نهایی برای محاسبه تراوایی توسط کندشدگی موج استونلی در

سازند بورگان می باشد. در شکل (۴-۱۹) نگار تراوایی بدست آمده از رابطه (۲۷-۴)، نمایش

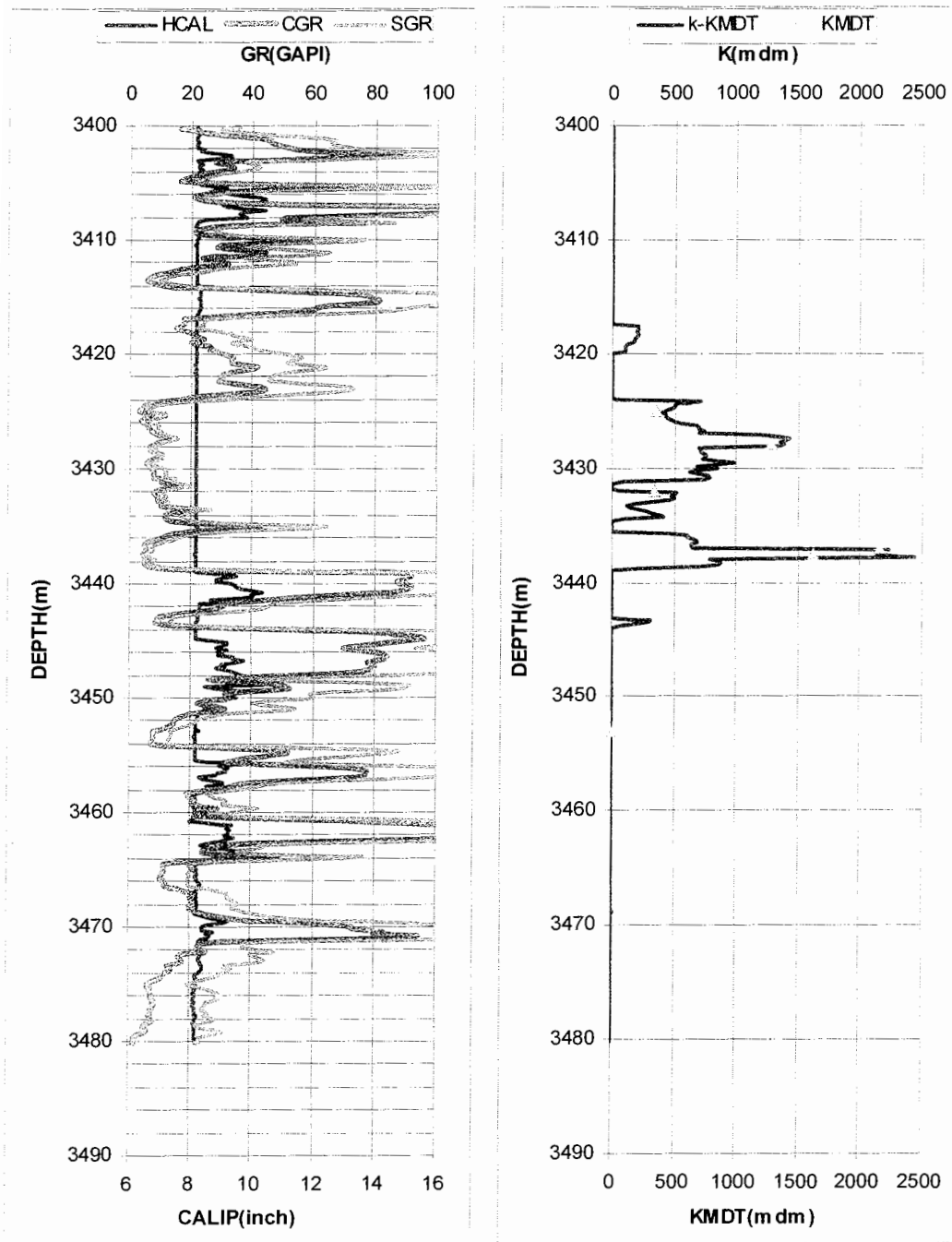
داده شده است.



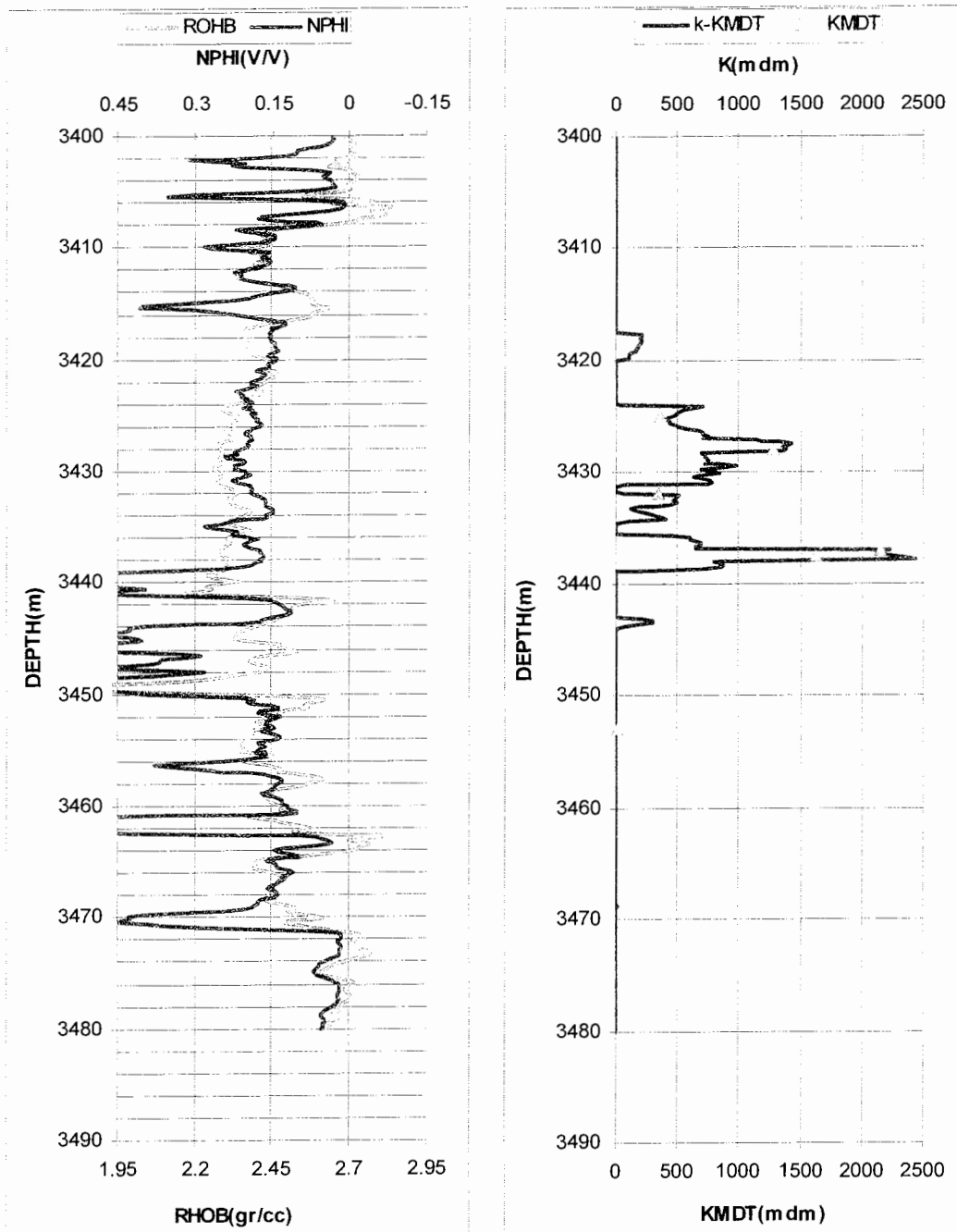
شکل ۴-۱۹- تطابق بین تراوایی محاسبه شده و تراوایی بدست آمده از ابزار MDT را در سازند بورگان نشان

می دهد

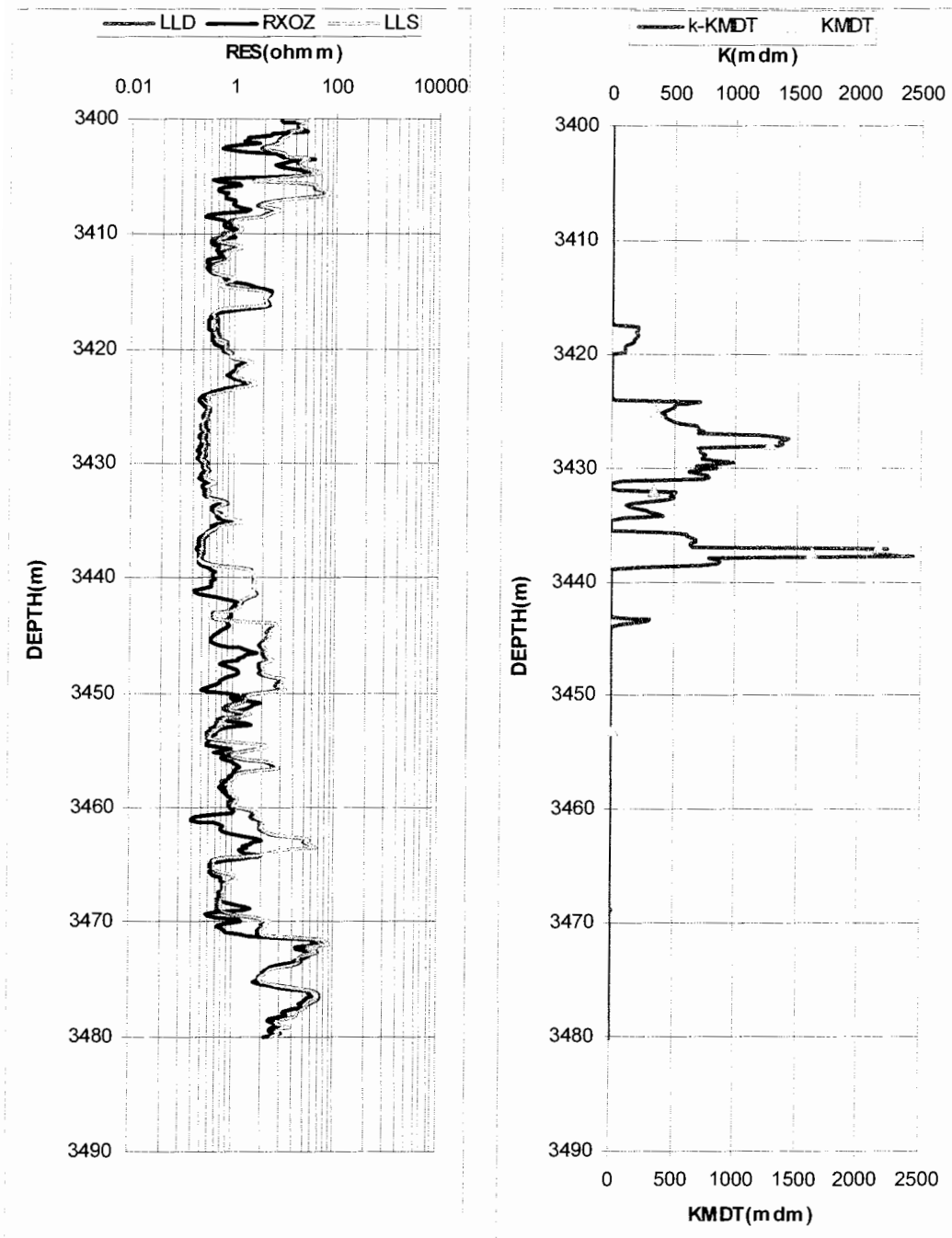
روند تغییرات نگار تراوایی که براساس رابطه (۴-۲۷) محاسبه شده است بوسیله تمام نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی تایید شود. شکل (۴-۲۰) تا (۴-۲۳) بخش بورگان از نظر سنگ شناسی متشکل از ماسه سنگ و لایه های رسی از جنس کائولینیت می باشد. در این بخش، در فواصل مخزنی رگه هایی از سنگ آهک و دولومیت نیز وجود دارد که درصدهای بسیار پایینی است ولی همین رگه ها تاثیر بسیار زیادی در ناهمگونی مخزن دارند. در این بخش نیز، تمامی نقاط تراوایی اخذ شده توسط ابزار MDT، همانطور که نمودارهای قطریاب و طیف سنجی گاما نشان می دهند در نواحی تمیز و عاری از شیل می باشند. نمودارهای مقاومت و تخلخل نوترون و دانسیته هم بیانگر این موضوع هستند که بخش مخزنی بورگان کاملاً آبخیز می باشد. در این بخش نیز سازگاری نسبتاً قابل قبولی بین قرائت های کندشدگی استونلی و مقادیر تراوایی وجود دارد و در فواصلی که این سازگاری وجود ندارد، با توجه به رگه های سنگ آهک (ناهمگونی مخزن) و فاکتورهای تاثیرگذار دیگر از قبیل لایه لایه بودن مخزن و ضریب پیچاپیچی این مسئله قابل توجیه است. از نکات قابل توجه دیگر، میزان بالاتر تراوایی در این بخش نسبت به سازند سروک است که دلیل آن نیز ماسه سنگی بودن بخش بورگان است و قرائت های تراوایی و کندشدگی استونلی نیز موید این موضوع هستند ولی باز ذکر می شود که اثر تخلخل بر مقادیر کندشدگی استونلی نیز باید لحاظ شود.



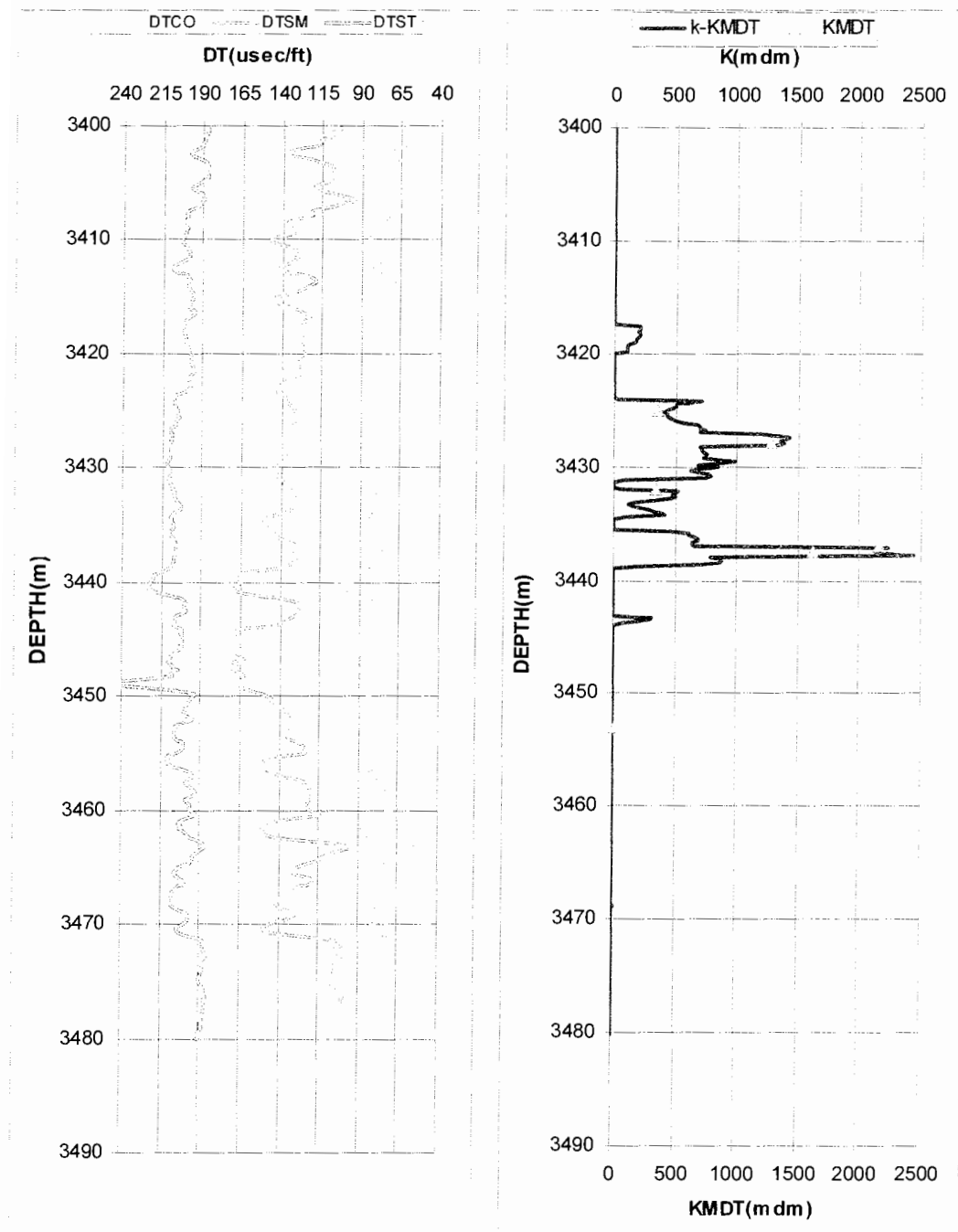
شکل ۴-۲۰- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگارهای قطر یاب و پرتو گاما نشان می دهد



شکل ۴-۲۱- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره های NPHI, ROHB نشان می دهد



شکل ۴-۲۲- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره مقاومت ویژه نشان می دهد



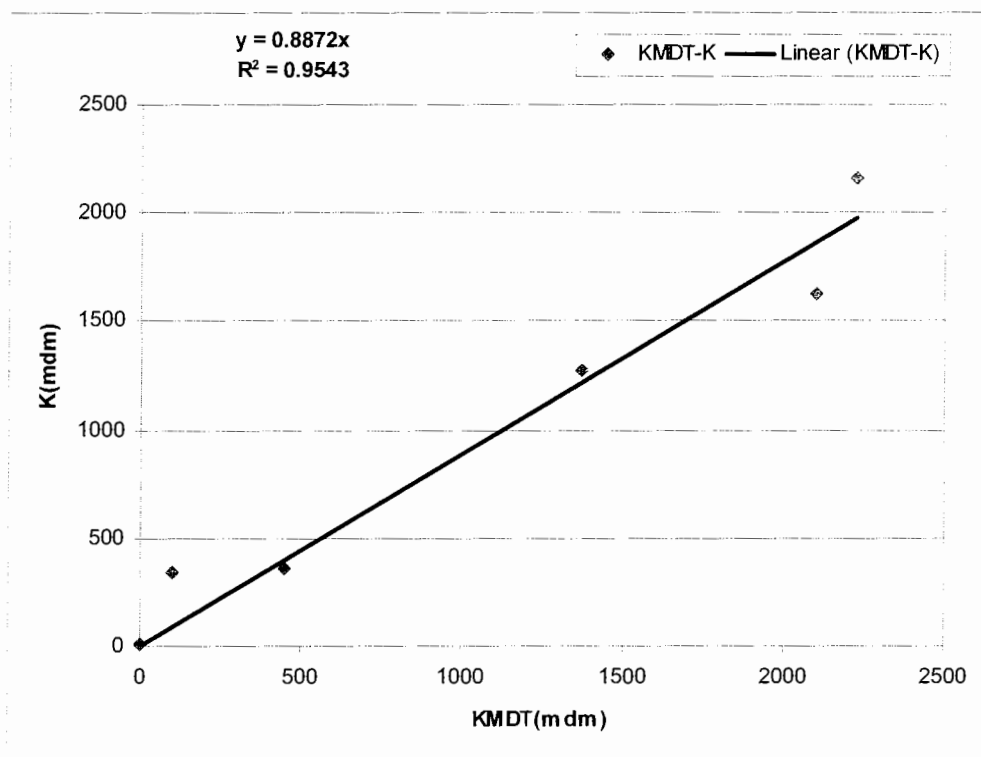
شکل ۴-۲۳- نگار تراوایی محاسبه شده را در مقایسه با نگاره صوتی نشان می دهد

در نهایت تراوایی محاسبه شده از رابطه (۴-۲۷) با تراوایی اندازه گیری شده بوسیله ابزار

MDT را مورد مقایسه قرار می دهیم. همانطور که در شکل (۴-۲۴) مشاهده می شود این نقاط

برروی یک خط به فرم عمومی $y=ax$ قرار دارند که این نشان دهنده تطبیق خوب بین

داده های اندازه گیری شده و داده های محاسباتی می باشد.



شکل ۴-۲۴- مقایسه تراوایی محاسبه شده با تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT را در سازند بورگان

نشان می دهد

۳-۴- جمع بندی مطالب رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی

کندشدگی موج استونلی بصورت کیفی نشان دهنده تغییرات تراوایی می باشد. بدین منظور کندشدگی موج استونلی را با تراوایی متناسب قرار داده و با بررسی فیزیک حاکم بر مسئله و وارد کردن فاکتورهای تاثیر گذار بر این دو پارامتر، این رابطه کیفی، کمی می شود:

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{\sum_{i=1}^n m_i V_i} \cdot (PIGN)^m \quad (28-4)$$

$DTst$: کندشدگی موج استونلی است که از نگار صوتی بدست می آید.

$dtst_{none-permeable}$: کندشدگی موج استونلی مربوط به ناحیه ناتراوا است.

m_i : ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی به ازای هر کدام از مولفه های

تشکیل دهنده سازند است.

V_i : حجم مولفه های تشکیل دهنده سازند است.

$PIGN$: تخلخل میانگین است.

n : تعداد مولفه های تشکیل دهنده سازند است.

m : فاکتور تجربی

به منظور محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی توسط رابطه (۲۸-۴) در هر میدان

نفی مراحل زیر نیاز است که انجام شود:

۱- ابتدا ارزیابی پتروفیزیکی چاه مورد نظر انجام گیرد. هدف از این ارزیابی، تعیین سازندها، بازه های عمقی قرار گیری آنها، مولفه های تشکیل دهنده هر سازند، محاسبه حجم دقیق این مولفه ها در هر عمق و سیالات موجود در سازند می باشد. همچنین مدل پتروفیزیکی چاه به همراه نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در ارزیابی در تحلیل و بررسی مسئله کاربرد دارند.

۲- با استفاده از مدل پتروفیزیکی، سازندها و بازه های عمقی آنها رامشخص کرده و کندشدگی موج استونلی را در ناحیه که دارای کمترین تراوایی می باشد و در حقیقت ناحیه ناتراوا محسوب می شود برای هر سازند بطور جداگانه محاسبه نماییم.

۳- ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی را برای مولفه های تشکیل دهنده سازند محاسبه کنیم. از آنجا که بیشتر سازندهای نفتی در دنیا متشکل از ماسه سنگ و کربنات می باشد لذا در کلی ترین حالت مسئله خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \text{oil - zone : } & \left\{ \begin{aligned} m_{LIM} \cdot V_{LIM} + m_{DOL} \cdot V_{DOL} + m_{sand} \cdot V_{sand} &= M \\ m_{LIM} \cdot V'_{LIM} + m_{DOL} \cdot V'_{DOL} + m_{sand} \cdot V'_{sand} &= M' \\ m_{LIM} \cdot V''_{LIM} + m_{DOL} \cdot V''_{DOL} + m_{sand} \cdot V''_{sand} &= M'' \end{aligned} \right. \quad (4-29\text{-الف}) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} V_{LIM} & V_{DOL} & V_{sand} \\ V'_{LIM} & V'_{DOL} & V'_{sand} \\ V''_{LIM} & V''_{DOL} & V''_{sand} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_{LIM} \\ m_{DOL} \\ m_{sand} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ M' \\ M'' \end{bmatrix} \quad (4-29\text{-ب})$$

۴- در مرحله نهایی، تراوایی را از طریق رابطه (۴-۲۹) بدون در نظر گرفتن توان تخلخل محاسبه کرده و بمنظور تعیین توان تخلخل (m)، که فاکتوری تجربی است، داده های محاسباتی را با داده های اندازه گیری شده (تراوایی حاصل از مغزه، MDT و...) منطبق می سازیم و سپس با استفاده از رابطه بدست آمده نگاری پیوسته از تراوایی را برای سازند مورد نظر بدست می آوریم. نتیجه گیری و بحث بیشتر به فصل بعد موکول می شود.

فصل پنجم

جمع بندی ، نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- جمع بندی

با توجه به اهمیت اطلاعات مربوط به تراوایی در تولید نفت و گاز و مشکلات ذکر شده در مورد تعیین تراوایی از طریق روشهای مستقیم و غیر مستقیم ضرورت مطالعه و بررسی روش های جدید جهت تعیین تراوایی کاملاً محسوس می باشد.

از آنجا که محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی تنها تکنیک موجود جهت ارائه یک اندازه گیری مستقیم و پیوسته تراوایی در سرتاسر گمانه می باشد و با توجه به توانمندیهای ابزار DSI در اندازه گیری و ثبت موج استونلی با کیفیت بالا، تخمین تراوایی از طریق موج استونلی به دست آمده از ابزار DSI به عنوان هدف این پایان نامه تعیین شد.

بمنظور رسیدن به این هدف، ابتدا بوسیله مدول پتروفیزیکی نرم افزار Geofarme چاه نفتی A را مورد ارزیابی پتروفیزیکی قرار می گیرد و مدل پتروفیزیکی چاه مذکور تعیین می شود. بر اساس ارزیابی صورت گرفته سازندهای مورد مطالعه در این چاه از لحاظ سنگ شناسی شامل سنگ آهک، دولومیت و ماسه سنگ بوده و سیالات موجود در این سازندها آب و نفت می باشد.

برای تخمین تراوایی از طریق موج استونلی، با توجه به اینکه تغییرات کندشدگی موج استونلی بطور کیفی نشانگر تغییرات تراوایی می باشد، نحوه تغییرات کند شدگی موج استونلی بدست آمده از ابزار DSI در برابر تراوایی حاصل از ابزار MDT در زونهای آبی و نفتی هر کدام از سازندهای مخزن بطور جداگانه مورد بررسی قرار می گیرد. از آنجا که کندشدگی موج استونلی و تراوایی به شدت تحت تاثیر سنگ شناسی می باشند لذا در هر سازند کندشدگی موج استونلی در ناحیه ای که دارای کمترین تراوایی می باشد و در حقیقت ناحیه ناتراوای آن سازند محسوب می شود تعیین شده و ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی برای تمامی مولفه های تشکیل دهنده هر سازند محاسبه می گردد. بدین ترتیب با کمی کردن رابطه بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی و در نظر گرفتن عوامل تاثیر گذار بر تراوایی یک منطق ریاضی جهت محاسبه تراوایی از طریق کندشدگی موج استونلی در سرتاسر گمانه اکتشافی بدست می آید. اما رابطه بدست آمده با یک مشکل روبرو است و آن اینکه مقدار پیچاپیچی مسیرهای جریان و شکل کانالهای ارتباطی حفره ها که بر تراوایی تاثیر می گذارد در این رابطه در نظر گرفته نشده است. بمنظور لحاظ کردن این تاثیرات، پارامتر پتروفیزیکی تخلخل وارد مسئله شده و تخلخل میانگین مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی در رابطه بدست آمده لحاظ می گردد. در نهایت برای تطبیق نگار تراوایی محاسبه شده با داده های تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT، با توجه به اینکه رابطه بین تخلخل و تراوایی یک

رابطه نمایی می باشد، توان تخلخل بصورت یک فاکتور تجربی برای هر یک از سازندهای مخزن محاسبه می شود.

بدین ترتیب با توجه به مشکلات ناشی از عدم وجود داده های مناسب و کافی، رابطه ای جهت محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی بدست می آید که در آن همه فاکتورهای تاثیر گذار بر تراوایی لحاظ شده و نگاری پیوسته از تغییرات تراوایی در سرتاسر گمانه اکتشافی در اختیار ما می گذارد. روند تغییرات نگار تراوایی محاسبه شده بوسیله تمام نگارهای چاه پیمایی مورد استفاده در ارزیابی پتروفیزیکی تایید می شود و مقایسه داده های تراوایی محاسبه شده و اندازه گیری شده توسط ابزار MDT تطابق خوبی را بین این داده ها نشان می دهد که این امر نشان دهنده صحت رابطه بدست آمده می باشد. ما حاصل این تحقیق دستیابی به چند نتیجه و ارائه چند پیشنهاد جهت بهبود کار می باشد که در ذیل به آن پرداخته می شود.

۵-۲- نتیجه گیری

۱- مزیت اصلی این روش در تخمین تراوایی این است که با ثبت خاصیت ذاتی موج استونلی که همان تاثیرپذیری از تراوایی بوده و کمی کردن رابطه بین پارامترهای فیزیکی این موج و تراوایی، یک نگار پیوسته از تغییرات تراوایی در سرتا سرگمانه اکتشافی در اختیار ما می گذارد.

۲- برای تخمین تراوایی از طریق موج استونلی نیاز است که موج استونلی با کیفیت بالا اندازه گیری و ثبت شود که بدین منظور در این تحقیق از موج استونلی بدست آمده از ابزار DSİ استفاده شده است.

۳- انجام ارزیابی پتروفیزیکی بمنظور اعمال تصحیحات لازم برروی داده های خام و شناخت اساسی و زیربنایی مسئله انجام گرفته و هدف از مشخص کردن مدل پتروفیزیکی، تعیین و محاسبه حجم دقیق مولفه های سنگ های تشکیل دهنده سازندهای مورد مطالعه و سیالات موجود در مخزن می باشد.

۴- مهمترین بخش در تخمین تراوایی از طریق موج استونلی این است که با استفاده از مدل پتروفیزیکی ابتدا سیالات موجود در مخزن و زونهای حاوی این سیالات را در هر یک از سازندهای مخزن مشخص کنیم و سپس با اعمال موارد تاثیر گذار بر تراوایی بهترین دستگاه معادلات را بمنظور محاسبه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی تشکیل دهیم.

۵- با توجه به اینکه اغلب سازندهای نفتی در دنیا شامل ماسه سنگ و کربنات می باشند و از آنجا که سیالات موجود در مخزن در نهایت شامل نفت، آب و گاز می باشد لذا برای محاسبه ضریب تطابق بین کندشدگی موج استونلی و تراوایی در کلی ترین حالت مسئله با سه مجهول مواجه هستیم که بدین منظور لازم است داده های کندشدگی موج استونلی و تراوایی اندازه گیری شده را در زونهای نفتی، آبی و گازی بطور مجزا مورد بررسی قرار داده و معادلات مورد نیاز برای پیدا کردن این مجهولات را بدست آوریم.

۶- با توجه به اینکه تعداد زیادی از داده های Supercharge,MDT گزارش شده بود مجبور به حذف این داده ها شدیم که این امر باعث کاهش دقت در محاسبه ضرایب تطابق گردید.

۷- با در نظر گرفتن اینکه کندشدگی موج استونلی از سنگ شناسی تاثیر می پذیرد، لذا لازم است کندشدگی این موج در ناحیه ناتراوای هر سازند تعیین و در رابطه مربوط به محاسبه تراوایی هر سازند منظور شود. منظور کردن یک مقدار بعنوان کندشدگی ناحیه ناتراوا برای کل سازندهای مورد مطالعه باعث می شود که در بسیاری از نقاط مقداری منفی برای تراوایی محاسبه شود. بدین منظور ما سازند های موجود در مخزن را بطور مجزا مورد بررسی قرار داده و کندشدگی موج استونلی را در ناحیه که دارای کمترین تراوایی می باشد و در حقیقت ناحیه ناتراوا محسوب می شود بطور جداگانه برای هر سازند محاسبه کردیم.

۸- از آنجا که تراوایی از مقدار پیچاپیچی مسیرهای جریان و شکل کانالهای ارتباطی حفره ها تاثیر می پذیرد، لذا بمنظور لحاظ کردن این تاثیرات فاکتور تخلخل را وارد مسئله کردیم. باید توجه داشته باشیم که تخلخل مورد استفاده در تعیین مدل پتروفیزیکی باید در رابطه لحاظ شود.

۹- بمنظور تطبیق داده های تراوایی محاسبه شده با داده های تراوایی اندازه گیری شده، توان تخلخل که فاکتوری تجربی در رابطه محاسبه تراوایی از طریق موج استونلی می باشد محاسبه گردید. با توجه به اینکه نگارهای VDL مناسبی از این چاه در اختیار نداشتیم لذا

محاسبه این فاکتور تجربی برای تمامی زونهای موجود در هر سازند بطور جداگانه امکان پذیر نبود.

۱۰- در این تحقیق سعی شده است که رابطه ای بین قرائت های کندشدگی موج استونلی، مقادیر تراوایی و تخلخل برقرار شود. برای رسیدن به یک رابطه دقیق تر نیاز به بررسی های بیشتر در این زمینه می باشد. در این تحقیق، اطلاعات یک چاه برای انجام کار موجود بود ولی در صورت اطلاعات بیشتر و تعداد چاههای بیشتر در این مخزن شاید بتوان به یک رابطه کلی در این محدوده جغرافیایی برای تراوایی دست یافت.

۵-۳- پیشنهادات

۱- بمنظور بالا بردن دقت کار و تطبیق بهتر بین داده های محاسباتی و داده های اندازه گیری شده پیشنهاد می شود با استفاده از نگارهای VDL و محاسبه ضریب بازتاب موج استونلی (نسبت انرژی موج بازتاب شده به انرژی موج تابیده شده) مرز لایه های تراوا، ناتراوا و شکستگیها در هر سازند مشخص و توان تخلخل که فاکتوری تجربی می باشد برای هر یک از این لایه ها در تمامی سازندهای مورد مطالعه بطور جداگانه تعیین و در نهایت جدولی از این فاکتور تجربی ارائه شود.

۲- با توجه به تاثیر پذیری تراوایی از اشباع شدگی و نوع سیال انجام این کار در یک مخزن گازی پیشنهاد می شود.

۳- پیشنهاد می شود که نتایج تخمین تراوایی از طریق موج استونلی و تشدید مغناطیسی هسته که هر دو روش های غیر مستقیم در تعیین تراوایی می باشند در چاههایی که داده های DSI و NMR هر دو موجود است صورت گرفته و نتایج این دو روش با یکدیگر مقایسه شود.

فهرست منابع

فهرست منابع

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

قولتوقچیان، ه.، ۱۳۶۹. تئوری امواج ، دانشگاه علم و صنعت ایران.

موحد، ب.، ۱۳۷۸. مبانی چاه پیمایی. دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

AL-Adani, N., Barati,A., (2003). New hydraulic unit permeability approach with DSI. The ninth formation evaluation symposium, japan, SLB.

Al-Adani, N., Barati,A., (2003). Petrophysical interpretation, SLB(www.slb.com).

Al-Adani, N., Barati,A., (2003). Permeability estimation from stoneley Wave, SLB(www.slb.com).

Al-Adani, N., Barati,A., (2004). Sonic logging, SLB(www.slb.com).

Al-Adani, N., Barati,A., (2005). Report of Geology. Teh, NIOC(www.nioc.com).

Al-Adani, N., Barati,A., (2005). Report of MDT. Teh, NIOC(www.nioc.com).

Al-Adani, N., Barati,A., (2005). Dipole shear Sonic imager. Tehran, SLB(www.slb.com).

Brie, A., Pampuri,F.,Marsala,A,F.,Meazza,A,O., (1995). “Shear sonic interpretation in gas-bearing sands.” SPE **61**: 145-155.

Brie, A., Johnson,D,L.,pampuri,F., (1998). “Quantitative formation permeability evaluation from stoneley waves.” SPE **64**: 1034-1044.

Brie, A., Pampuri, F., Division, A, A., (1998). "Effective evaluation of fluid mobility from stoneley waves using full biot model inversion." SPE **25**: 486-497.

Brie, A., Sagamihara, F., Kangawa, S., (2000). Petro-physical evaluation of sonic logs in shaly sands. Schlumberger, Japan, SLB.

Brie, A. (2001). A micro-structural model for compressional and shear slownesses interpretation in carbonates. The 42th annual symposium of the SPWLA, Houston, SLB.

Cao, H. (2004). DSI Dipole Shear Sonic Imager, SLB.

Crains, E., R., (2000). Sonic-Well logging. Crain's petrophysical Handbook. Alberta, Calgary, Calgary University.

Harts, E. (2002). Logging history rich with innovation. RHONDA, Exploration Technology RHONDA.

Hearst, J., R., Nelson, P., H., Paillet, F., L., (2002). Acoustic logging. Well logging for physical properties, John Wiley. **1**: 256-302.

Jerzak, W., Siegmann, W., L., (2005). Modeling rayleigh and stoneley waves and other interface and boundary effects with the parabolic equation. Acoustic american society. **45**: 30-43.

LiU, H., L., Johnson, D., L., (1996). Effects of elastic membrane on tube waves in permeable formation. Acoustical society of american. **21**: 178-189.

Shames, I., H., (1982). Mechanics of fluid. New York, McGraw-Hill Book Company.

Telford, W., M., Geldart, L., P., Sheriff, R., E., (1990). Applied Geophysics, Cambridge University.

Tiab, D., Donaldson, E., C., (2004). Porosity and permeability. Theory and practice

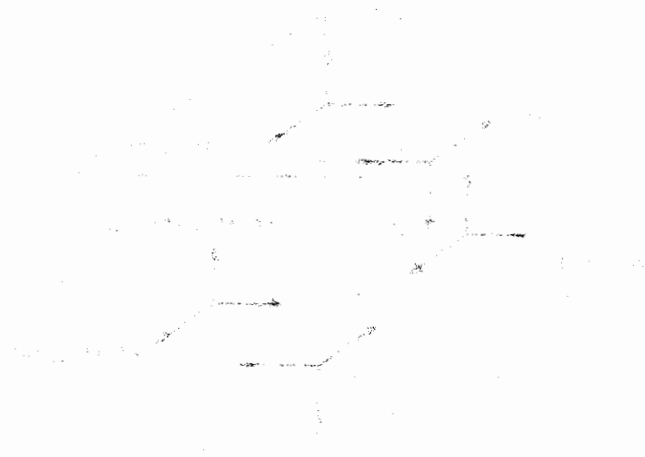
of measuring reservoir rock and fluid transport properties, John wiley and sons. **1:**
87-192.

پیوست - الف

تئوری امواج در محیط های الاستیک

الف-۱- تنش

تنش عبارتست از نیرو بر واحد سطح. چنانچه نیرو به طور عمود بر واحد سطح وارد شود تنش نرمال گفته می شود و اگر نیرو به موازات سطح باشد تنش برشی نامیده می شود. اگر ما یک المان حجم مستطیل شکل به ابعاد $\delta x, \delta y, \delta z$ که تحت تنش درونی واقع شده است را در نظر بگیریم، تنش های عمل کننده بر روی وجوه این المان حجم می تواند به مؤلفه های تنش نرمال و برشی تجزیه شوند. برای مثال σ_{xy} یک تنش برشی بکار گرفته شده در امتداد محور x هاست که بر روی یک صفحه عمود بر محور y ها عمل می کند و σ_{xx} یک تنش نرمال در جهت محور x ها است. شکل (الف-۱)



شکل الف-۱- تنشهای عمل کننده بر یک المان حجم مستطیل شکل به ابعاد $\delta x, \delta y, \delta z$ [هیرست و همکاران].

[۲۰۰۲]

الف-۲- کرنش

هنگامی که یک جسم الاستیک تحت تأثیر تنش‌هایی قرار می‌گیرد، شکل و ابعاد آن

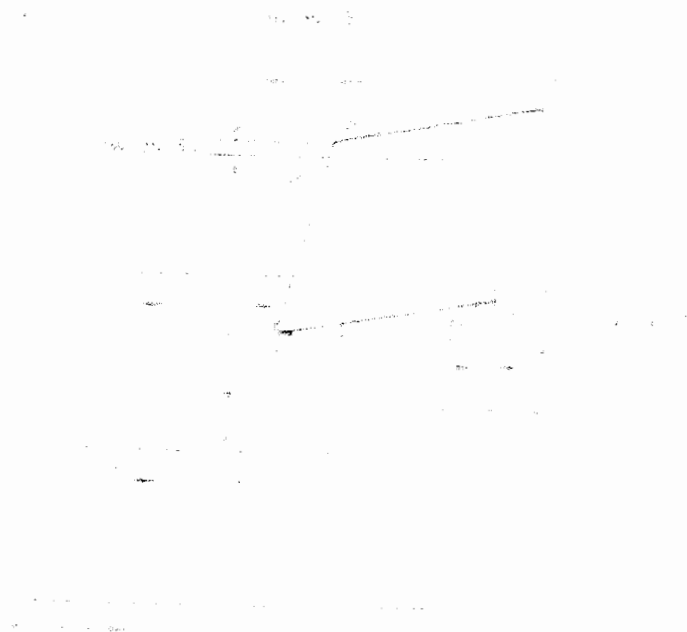
تغییر می‌کند این تغییرات را کرنش می‌نامند. مطابق شکل (الف-۲) مستطیل PQRS را به

ابعاد $\delta x, \delta y$ در صفحه xy در نظر می‌گیریم. هنگامی که این مستطیل تحت تنش واقع

می‌شود نقطه P به نقطه P' تغییر مکان می‌دهد و میزان جابجایی نقطه P به روی محور x,y

به ترتیب برابر w,u می‌باشد چنانچه میزان جابجایی رئوس دیگر مستطیل همانند جابجایی

نقطه P باشد مثل این است که مستطیل به اندازه u در جهت محور xها و w در جهت محور yها جابجا شده است، چون در اینجا هیچ تغییری در شکل و یا اندازه مستطیل صورت نگرفته لذا کرنشی هم وجود ندارد. اما اگر میزان جابجایی w,u برای رئوس مختلف متفاوت باشد کرنش بوجود می آید.



شکل الف-۲- مستطیل PQRS را به ابعاد $\delta X, \delta Y$ در صفحه xy نشان می دهد [هیرست و همکاران، ۲۰۰۲]

اگر $w = w(x, y), u = u(x, y)$ باشد مختصات رئوس مستطیل عبارتند از:

(الف-۱)

$$\begin{array}{ll}
 P(x, y) & P'(x+u, y+w) \\
 Q(x+\delta x, y) & Q'\left(x+\delta x+u+\frac{\partial u}{\partial x}\delta x, y+w+\frac{\partial w}{\partial x}\delta x\right) \\
 S(x, y+\delta y) & S'\left(x+u+\frac{\partial u}{\partial y}\delta y, y+\delta y+w+\frac{\partial w}{\partial y}\delta y\right) \\
 R(x+\delta x, y+\delta y) & R'\left(x+\delta x+u+\frac{\partial u}{\partial x}\delta x+\frac{\partial u}{\partial y}\delta y, y+\delta y+w+\frac{\partial w}{\partial x}\delta x+\frac{\partial w}{\partial y}\delta y\right)
 \end{array}$$

از آنجا که میزان تغییرات w, u بسیار کوچکتر از $\delta x, \delta y$ است لذا می توان از مقادیری مانند $\frac{\partial u}{\partial x}$ صرف نظر کرد. بنابراین با این مفروضات خواهیم داشت [هیرست و همکاران،

: [۲۰۰۲]

• طول اضلاع PS, PQ به ترتیب به میزان $\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)\delta y, \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\delta x$ افزایش پیدا می کنند.

بنابراین $\frac{\partial w}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial x}$ مقدار افزایش طول اضلاع مستطیل را در جهت محور y, x نشان

می دهند. این تغییرات کرنش نرمال نامیده می شود. کرنش نرمال در راستای محور x

به صورت ϵ_{xx} و در راستای محور y به صورت ϵ_{yy} نمایش داده می شود.

• زاویه قائم در نقطه P به میزان $\alpha_1 + \alpha_2 = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ کاهش می یابد. این تغییر

زاویه زمانی اتفاق می افتد که تنش اعمال شده باعث تغییر شکل جسم شود. این

تغییر زاویه کرنش برشی نامیده می شود که به صورت ϵ_{xy} نمایش داده می شود.

• مستطیل حول محور z ، تحت زاویه $\alpha_1 - \alpha_2 = \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial x}{\partial y}$ و در جهت خلاف عقربه

های ساعت یک چرخش کامل انجام می دهد. این چرخش حول محور z با θ_z نشان داده می شود.

• چنانچه میزان جابجایی در راستای محور z را نیز با ξ نشان دهیم آنگاه بردار جابجایی در فضا به صورت $U = U(u, w, \xi)$ نمایش داده می شود و هنگامی که روابط را در سه بعد مورد بررسی قرار دهیم خواهیم دید $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx}$ است.

بنابراین با در نظر گرفتن جابجایی در سه بعد داریم:

کرنش های نرمال:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial w}{\partial y} \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial \xi}{\partial z}\end{aligned}\quad (\text{الف-۲})$$

کرنش های برشی:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} &= \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \\ \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial \xi}{\partial x}\end{aligned}\quad (\text{الف-۳})$$

دوران حول محورها عبارتست از:

$$Rotation = \vec{\nabla} \times \vec{U} = \begin{vmatrix} \theta_x & \theta_y & \theta_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & w & \xi \end{vmatrix} \quad (\text{الف-۴})$$

$$\begin{cases} \theta_x = \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} \\ \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial \xi}{\partial x} \\ \theta_z = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \end{cases} \quad (\text{الف-۵})$$

همانطور که قبلاً اشاره کردیم کرنش همواره با تغییر در شکل و ابعاد جسم همراه است.

وقتی ابعاد جسم تغییر کند حجم آن نیز تغییر خواهد کرد. میزان تغییرات نسبی حجم جسم

در اثر کرنش را انبساط گویند و با Δ نمایش می دهند.

تغییر حجم یک متوازی السطوح به ابعاد $\delta x, \delta y, \delta z$ تقریباً برابر است [هیرست و

همکاران، ۲۰۰۲]:

$$\Delta V \cong (\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}) \delta x \delta y \delta z \quad (\text{الف-۶})$$

بنابراین:

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V} \cong \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$$

(الف-۷)

$$\Delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial \xi}{\partial z} = \vec{\nabla} \cdot \vec{U}$$

الف-۳- قانون هوک

بنابر قانون هوک، میزان آشفته‌گی در یک محیط مستقیماً متناسب است با نیروی منحرف کننده از وضعیت تعادل و تغییرات آنها همسو می باشد. پس از این رو در یک محیط الاستیک با کرنش کوچک، هر کرنش به طور مستقیم با تنش که آنرا ایجاد کرد متناسب است. کرنش کل مجموع کرنشهای ایجاد شده بوسیله تک تک تنش ها می باشد بنابراین هر کرنش یک تابع خطی از تمامی تنش ها است و بر عکس [هیرست و همکاران، ۲۰۰۲].

$$\sigma_{ii} = \lambda \Delta + 2\mu \varepsilon_{ii} \quad i = x, y, z \quad (\text{الف-۸})$$

$$\sigma_{ij} = \mu \varepsilon_{ij} \quad i = j = x, y, z, \quad i \neq j \quad (\text{الف-۹})$$

الف-۴- مدول های الاستیک

همانطور که در معادلات مربوط به قانون هوک، معادلات (الف-۸) و (الف-۹) مشاهده کردیم برای بیان یک رابطه خطی بین تنش و کرنش نیاز به یکسری ضرایب داریم که به این ضرایب مدول های الاستیک می گویند.

• مدول برشی

در معادلات (الف-۸) و (الف-۹) مقادیر μ, λ مدول های الاستیک هستند که به عنوان ثابت های لامه شناخته شده اند. μ مقدار مقاومت جسم را در برابر تنش برشی نشان می دهد و به مدول برشی معروف است. مدول برشی را با G ، نیز نشان می دهند.

- مدول یانگ

بنابر قانون هوک، بین فشار وارد بر یک جسم و تغییرات نسبی طول آن جسم همواره یک رابطه خطی برقرار است. ضریبی که این رابطه خطی را برقرار می کند مدول یانگ نامیده می شود که بیانگر اندازه مقاومت جسم در برابر تغییرات نسبی طول می باشد و با E نمایش داده می شود.

$$E = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{xx}} \quad (\text{الف-۱۰})$$

- نسبت پواسون

نسبت پواسون در حقیقت بیان کننده یک مقدار است که آن مقدار نشان می دهد، ماده در امتداد یک محور افزایش پیدا می کند. هنگامی که یک مقدار معین از آن در امتداد دیگر متراکم شود. بنابراین:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}} = -\frac{\varepsilon_{zz}}{\varepsilon_{xx}} \quad (\text{الف-۱۱})$$

- مدول بالک

مدول بالک ، k ، برای محیط هایی مفید است که فقط تحت تاثیر فشار هیدرواستاتیکی

p ، باشند [همکاران، ۲۰۰۲؛ تلفورد و همکاران، ۱۹۹۰] بنابراین:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = -p \\ \sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{xz} = 0 \end{aligned} \quad (\text{الف-۱۲})$$

و در نتیجه خواهیم داشت:

$$k = -\frac{P}{\Delta} \quad (\text{الف-۱۳})$$

با استفاده از قانون هوک روابط استاندارد بین مدول های الاستیک بدست خواهد آمد.

[هیرست و همکاران، ۲۰۰۲؛ کرین، ۲۰۰۰]:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \quad (\text{الف-۱۴})$$

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \quad (\text{الف-۱۵})$$

$$K = \frac{3\lambda + 2\mu}{3} \quad (\text{الف-۱۶})$$

این روابط در بررسی و شناخت سازندهای اطراف گمانه های اکتشافی و سیالات موجود

در آنها کاربرد بسیاری دارند. بعنوان مثال از آنجا که سیالات نمی توانند تنش برشی را تحمل

کنند بنابراین مدول برشی، μ ، برای سیالات همیشه برابر صفر بوده و $k = \lambda$ می باشد.

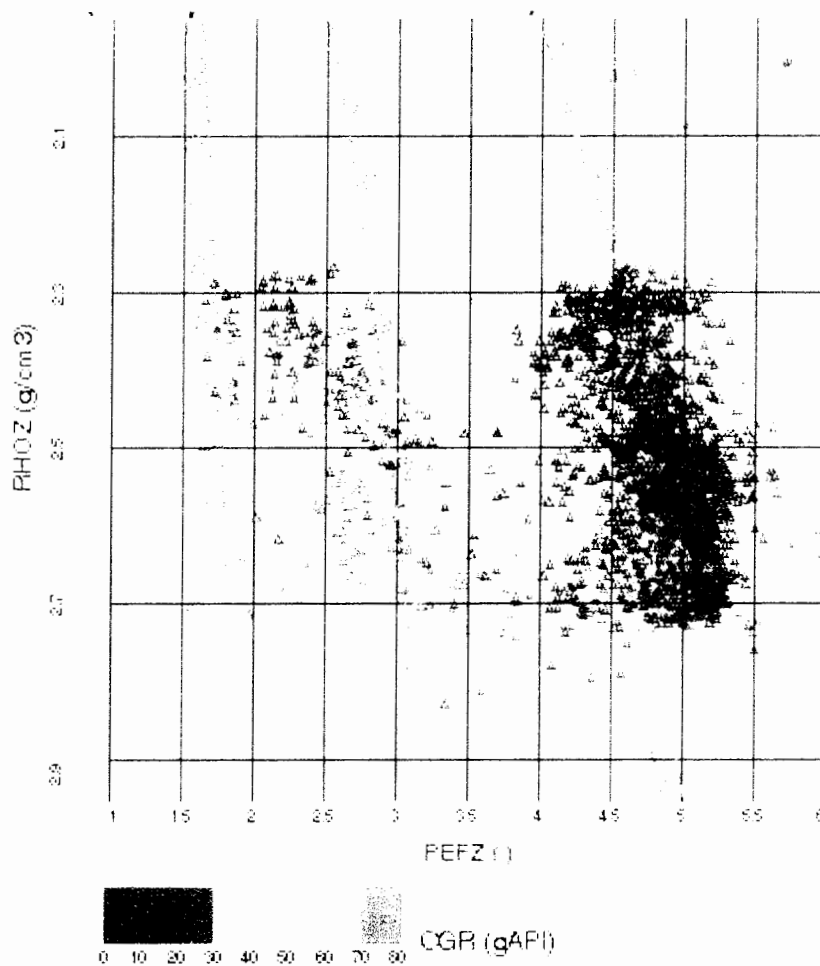
پیوست - ب

همانطور که در فصل سوم اشاره شد در ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A که بوسیله نرم افزار Geoframe انجام شده است بمنظور تعیین سنگ شناسی و نوع سیال درون سازندها از نمودارهای مقاطع مختلفی استفاده شده است که شکل‌های (ب-۱) تا (ب-۱۱) در این بخش مربوط به این نمودارهای مقاطع می باشد ضمناً شکل‌های (ب-۱۲) تا (ب-۲۰) ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A که همان خروجی نرم افزار Geoframe می باشد را نشان می دهد. همچنین داده های تراوایی اندازه گیری شده در سازند سروک و بورگان به ترتیب در جدول (ب-۱) و (ب-۲) آمده است.

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۲) با استفاده از مقادیر جرم مخصوص و

فاکتور فتوالکتریک سنگ شناسی سازندهای مختلف مشخص و مقادیر اشباع شدگی از آب

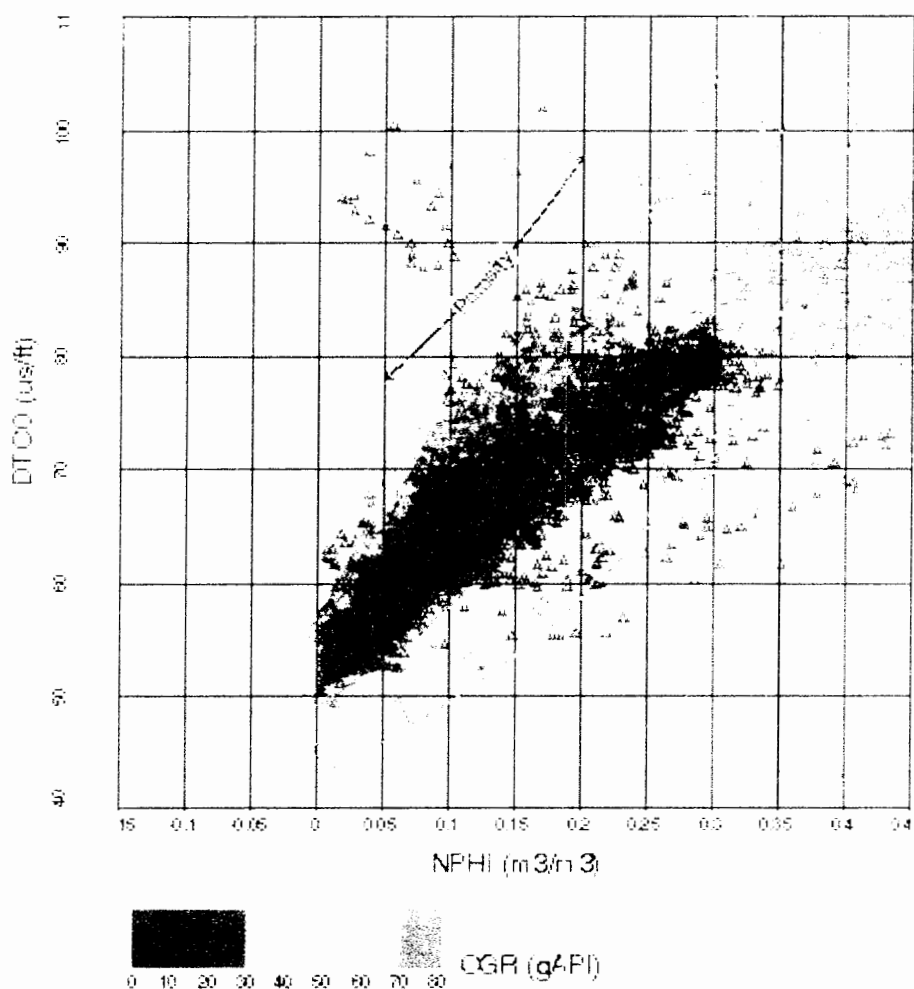
تصحیح گردیده است.



شکل ب-۲- نمودار متقاطع (CP17) Density&Photoelectric Factor که بمنظور تصحیح تخلخل و تعیین

سنگ شناسی بکار رفته است را نشان می دهد

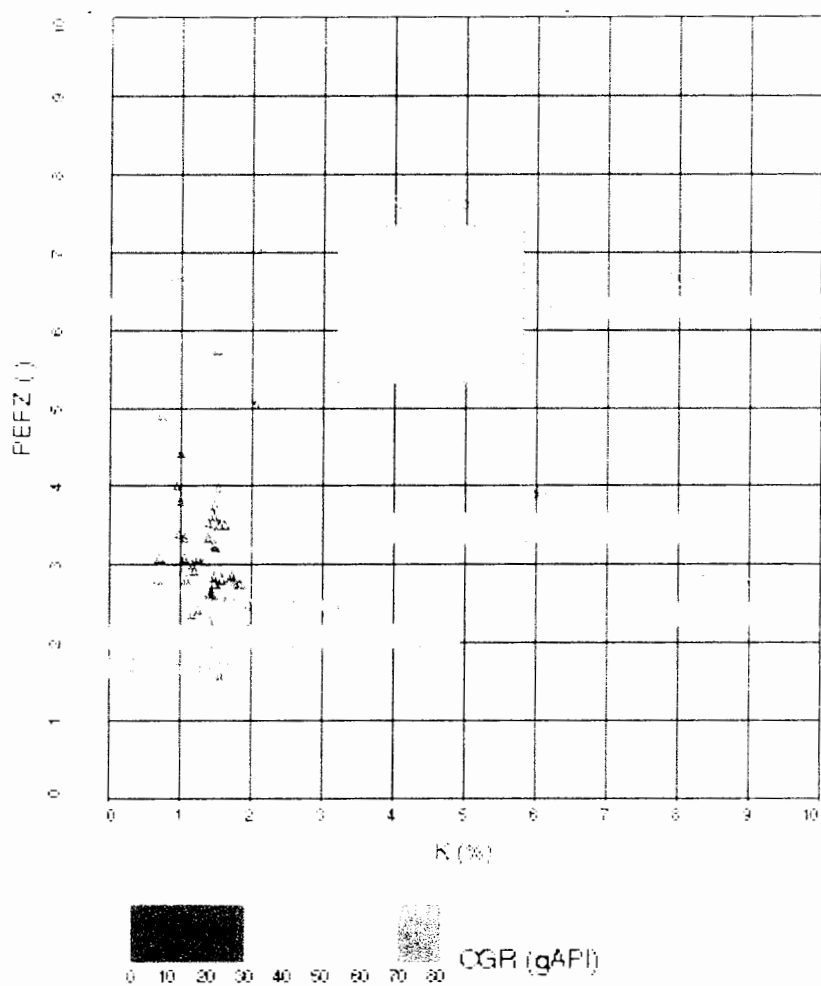
در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۳) با استفاده از مقادیر جرم مخصوص و کندشدگی موج فشاری سنگ شناسی سازندهای مختلف مشخص و تخلخل نوترونی تصحیح گردیده است که در ارزیابی های پتروفیزیکی این تخلخل تصحیح شده را بصورت $\varphi_{Sonic-CNL}$ نشان می دهند.



شکل ب-۳- نمودار متقاطع (CP2AF0) Slowness & Neutron Porosity که بمنظور تصحیح تخلخل و تعیین سنگ شناسی بکاررفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۴) با استفاده از مقدار فاکتور

فتوالکتریک و درصد پتاسیم نوع کانی رسی در سازندهای مختلف مشخص می شود.

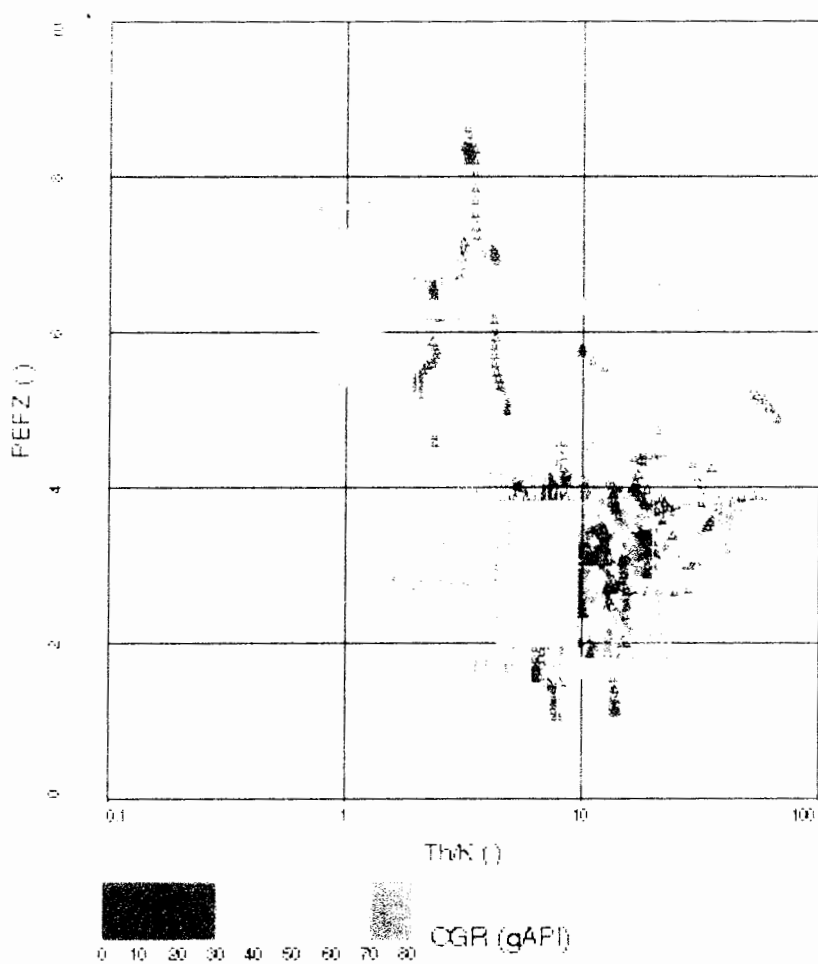


شکل ب-۴- نمودار متقاطع (Photoelectric Factor & Potassium) (CPI8A) که بمنظور تعیین سنگ شناسی

و نوع کانی رسی بکاررفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۵) با استفاده از مقدار فاکتور

فتوالکتریک و نسبت توریم به پتاسیم نوع کانی رسی در سازندهای مختلف مشخص می شود.

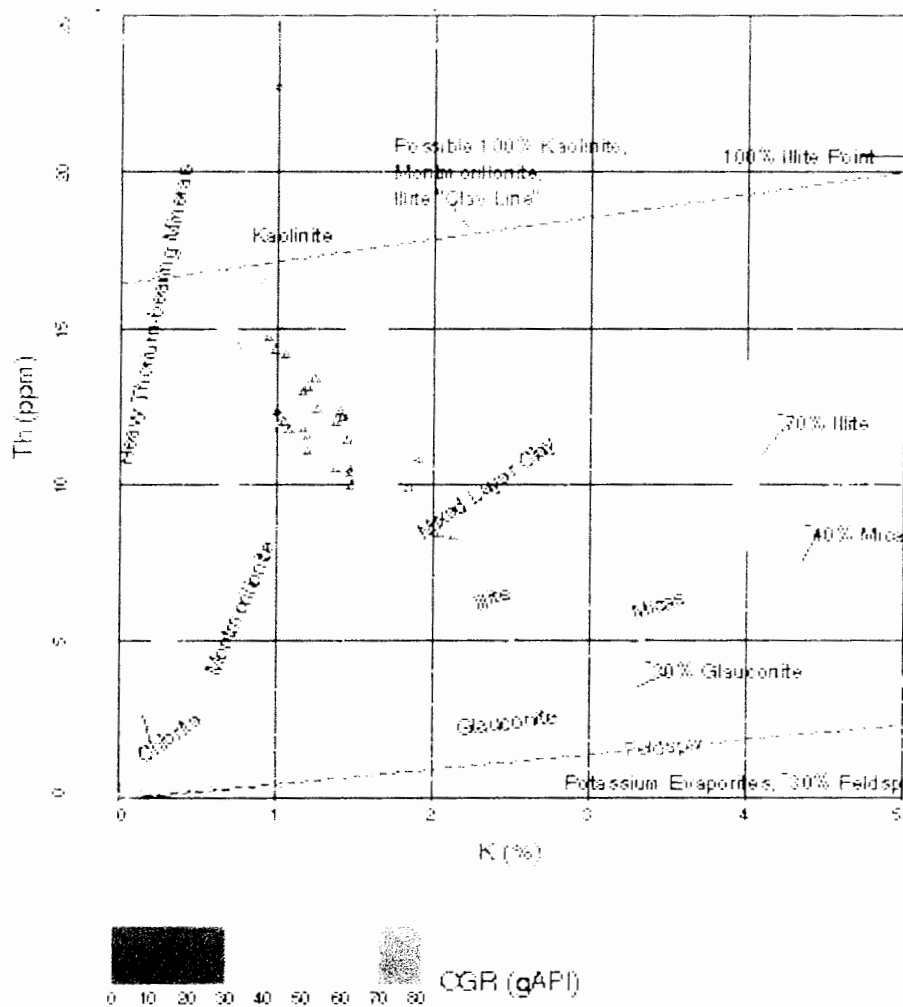


شکل ب-۵- نمودار متقاطع (CP18B) Photoelectric Factor & Thorium and Potassium Ratio که بمنظور

تعیین نوع کانی های رسی بکاررفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۶) با استفاده از درصد پتاسیم و میزان

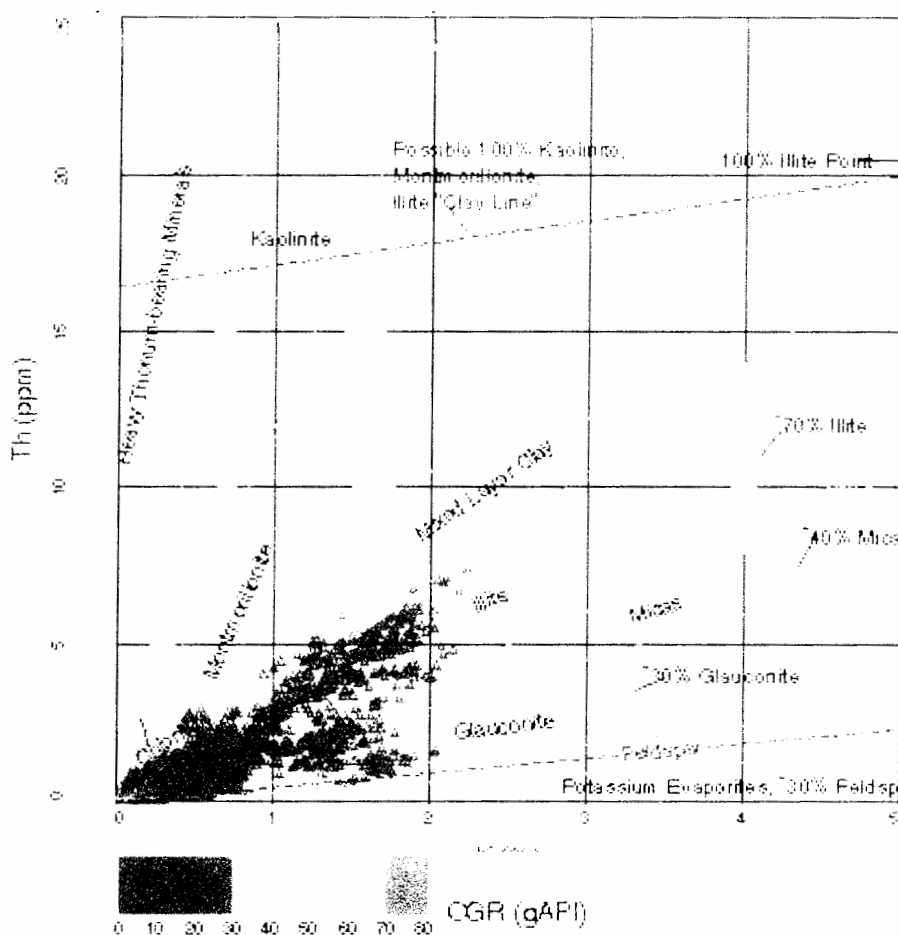
توریم نوع کانی رسی در سازندهای مختلف مشخص می شود.



شکل ب-۶- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که بمنظور نوع کانی رسی بکاررفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۷) با استفاده از درصد پتاسیم و میزان

توریم مشخص می شود که نوع کانی رسی سازند ایلام و سازند های بالای ایلام غالباً ایلیت می باشد.

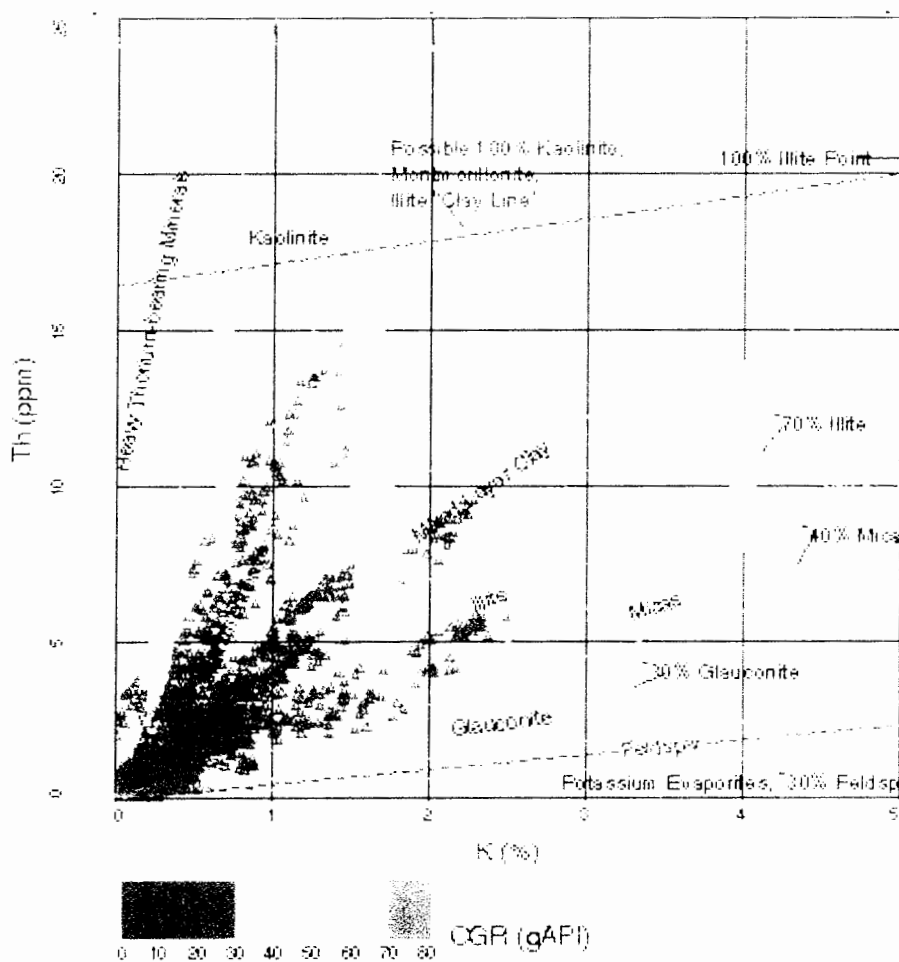


شکل ب-۷- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که بمنظور تعیین نوع کانی رسی در سازند ایلام و سازند های قبل از آن بکاررفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۸) با استفاده از درصد پتاسیم و میزان

توریم مشخص می شود که نوع کانی رسی سازند سروک و بازه های کربناته سازند کژدمی

ایلیت و مونت موریلونیت می باشد.

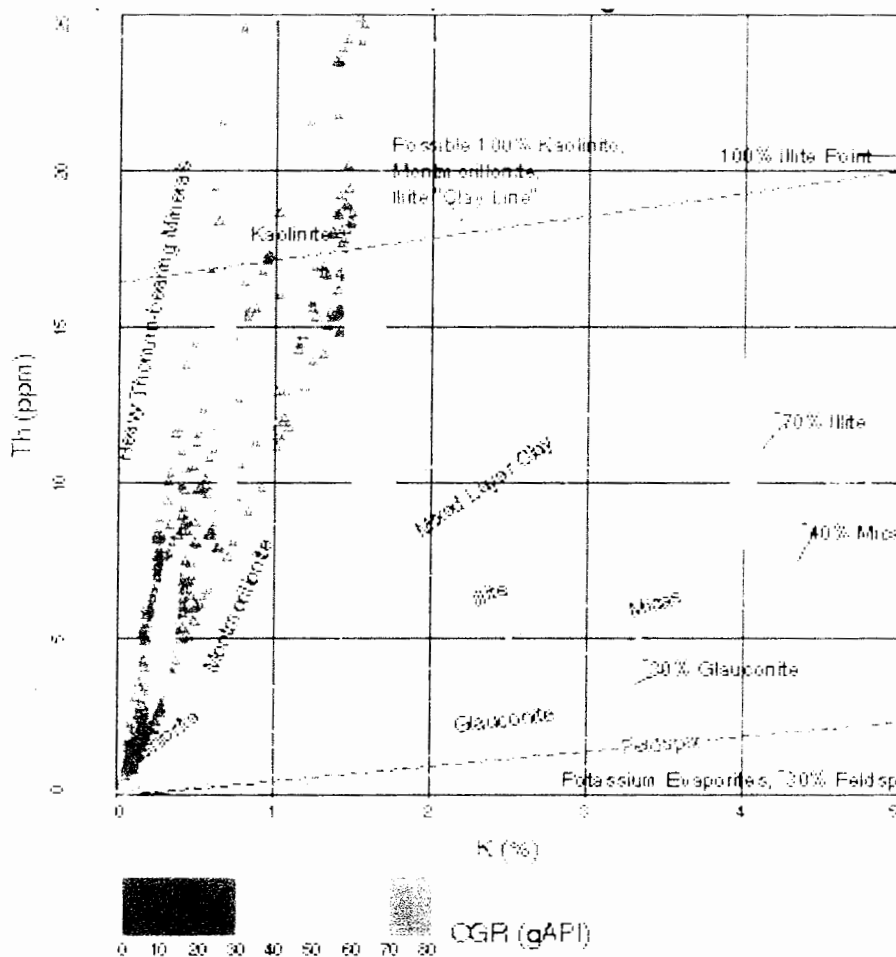


شکل ب-۸- نمودار متقاطع (CP19) Thorium & Potassium که بمنظور تعیین نوع کانی رسی در سازند

سروک و کژدمی (بازه های کربناته) بکاررفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۹) با استفاده از درصد پتاسیم و میزان

توریم مشخص می شود که نوع کانی رسی سازند بورگان غالباً کائولینیت می باشد.



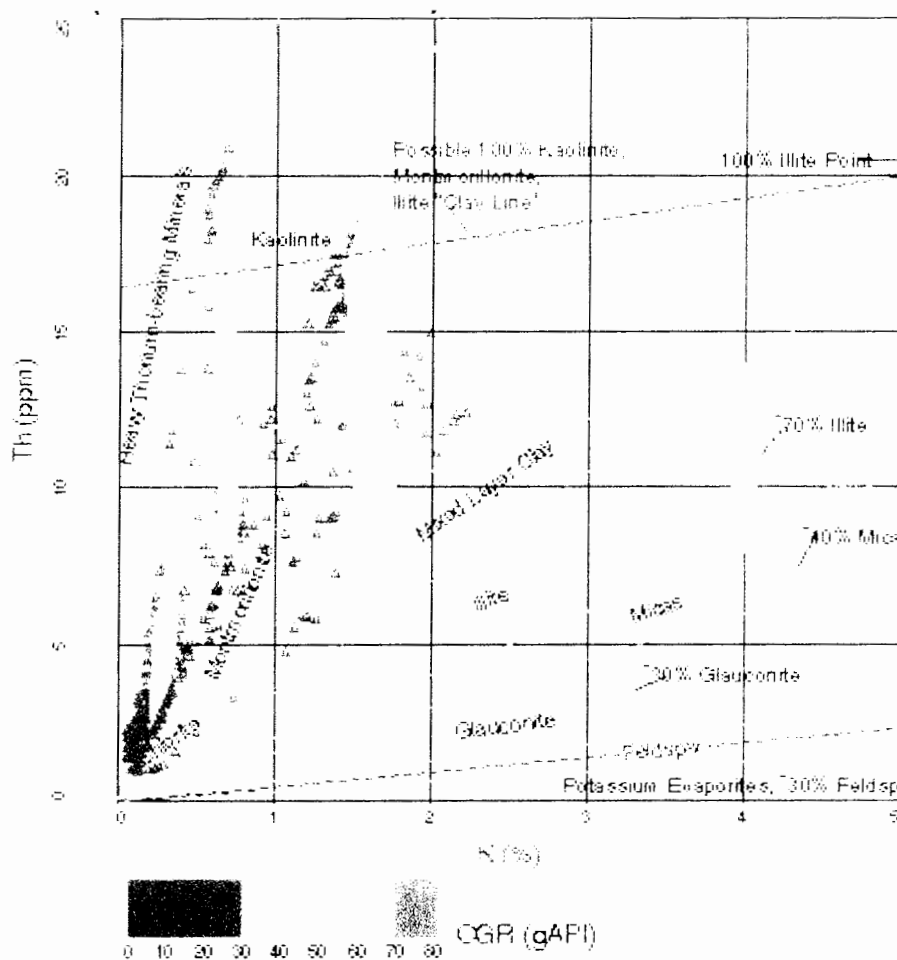
شکل ب-۹- نمودار متقاطع Thorium & Potassium (CP19) که به منظور تعیین نوع کانی رسی در سازند

بورگان بکار رفته است را نشان می دهد

در نمودار متقاطع نشان داده شده در شکل (ب-۱۰) با استفاده از درصد پتاسیم و میزان

توریم مشخص می شود که نوع کانی رسی قسمت پایینی سازند گدوان مونت موریلونیت بوده

که حاوی درصد بالایی از توریم می باشد.

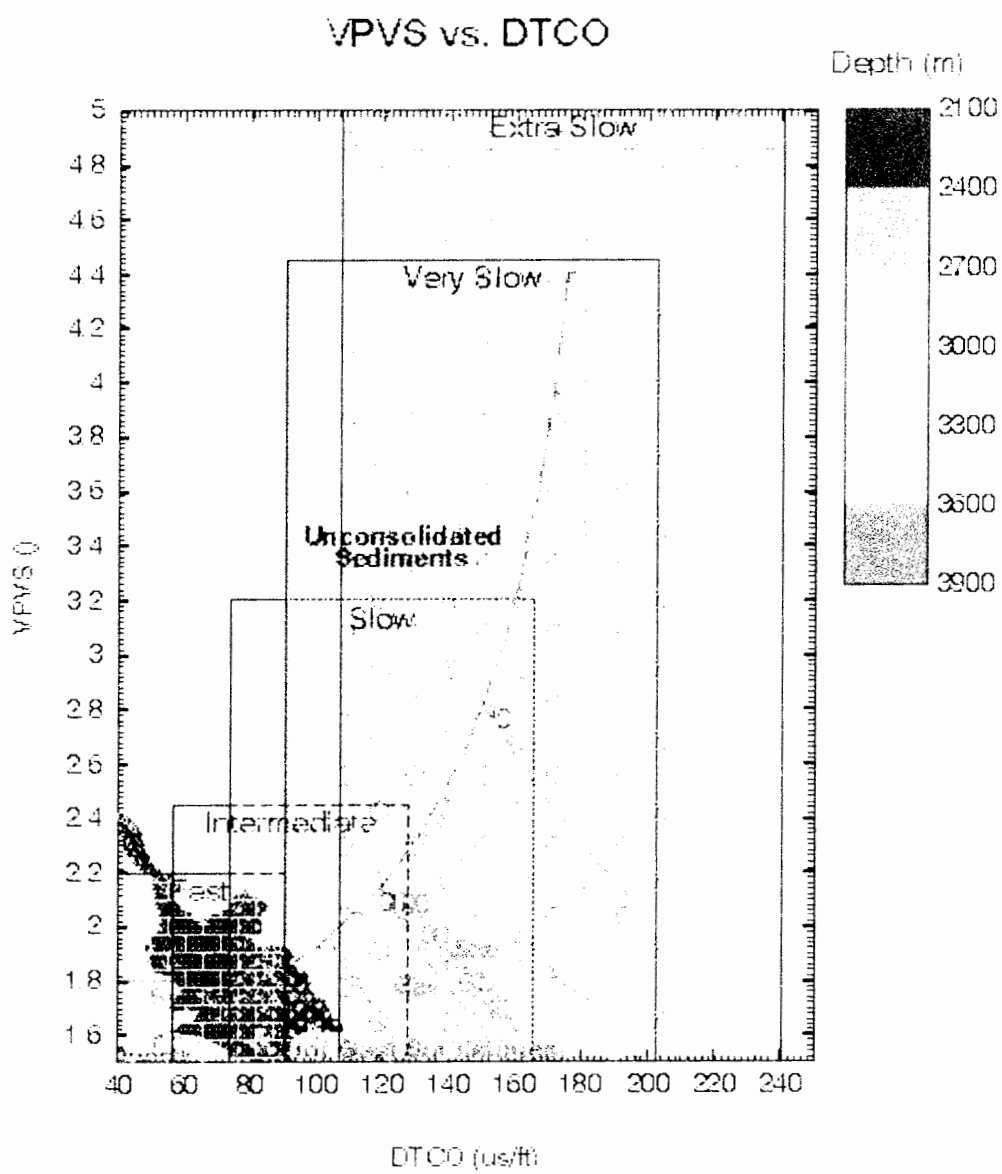


شکل ب-۱۰- نمودار متقاطع Thorium & Potassium (CP19) که به منظور تعیین نوع کانی رسی در قسمت

پایینی گدوان بکار رفته است را نشان می دهد

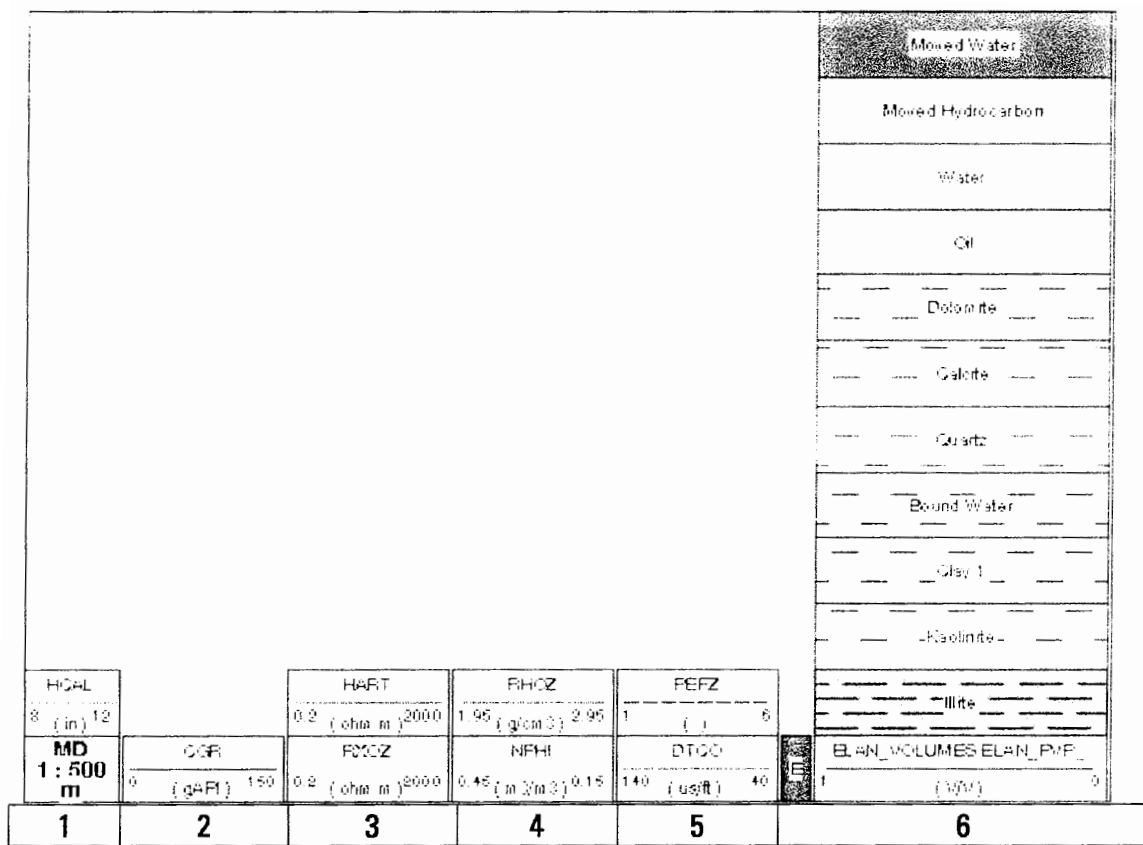
با توجه با اینکه امواج فشاری در تمامی محیطها منتشر شده و امواج برشی فقط در جامدات و سطح مایعات منتشر می شود و اینکه سرعت موج با گذر از فاز جامد به مایع و گاز کاهش می یابد لذا حضور گاز در سازند باعث کاهش سرعت موج فشاری می گردد اما سرعت امواج برشی تغییر پیدا نمی کنند و این باعث کاهش نسبت V_p/V_s می شود. بدین ترتیب در یک نمودار متقاطع از طریق بررسی نحوه تغییرات V_p/V_s نسبت به V_p می توان به حضور گاز در سازند پی برد.

با توجه به موارد فوق هرگاه در نمودار متقاطع (ب-۱۱) روند حرکت داده های V_p/V_s نزولی باشد و داده ها به سمت راست نمودار متمایل شوند این نشانگر حضور گاز در سازند می باشد. روند تغییرات V_p/V_s و محدوده تغییرات V_p در شکل (ب-۱۱) نشان دهنده عدم حضور گاز در چاه A می باشد.

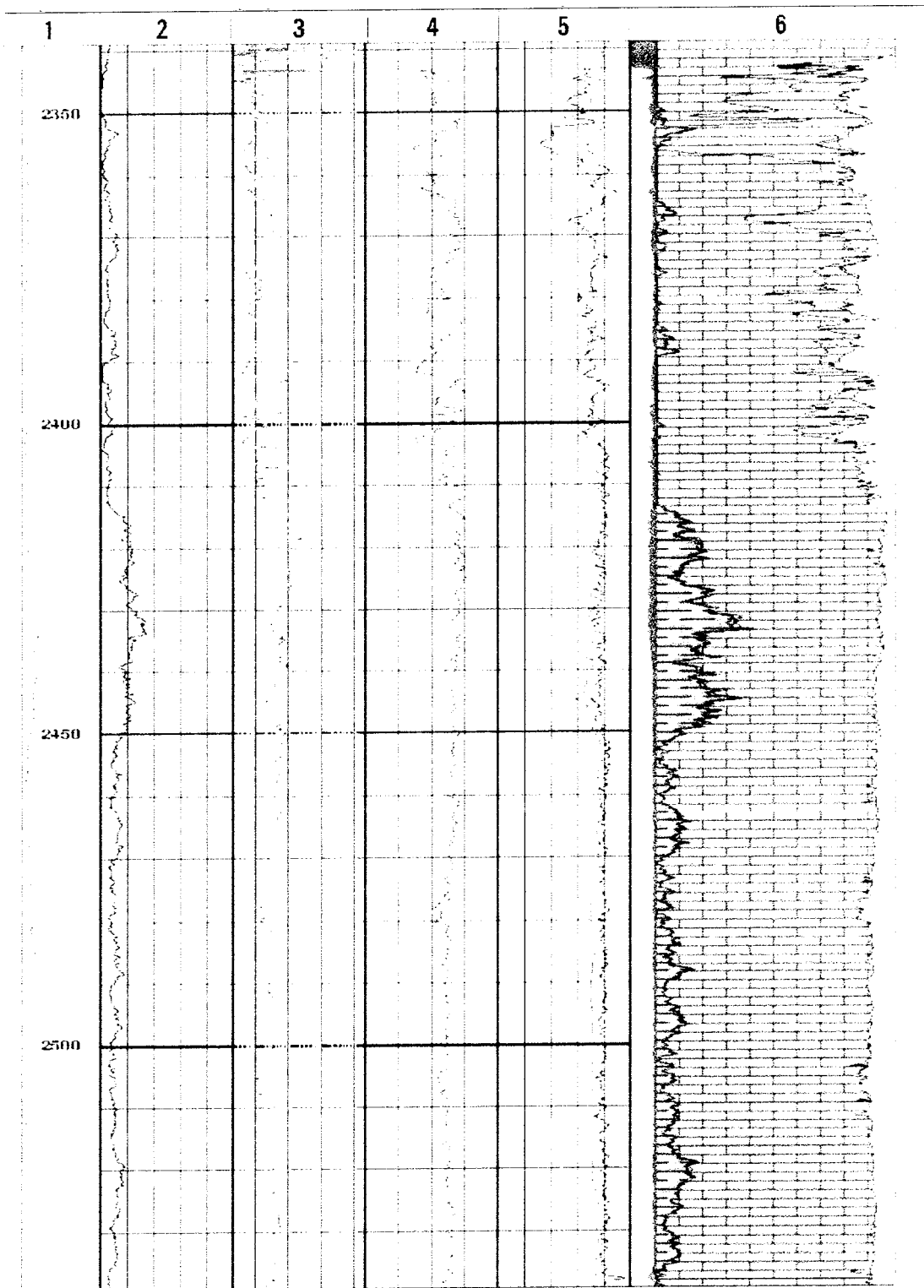


شکل ب- ۱۱- نمودار متقاطع V_p/V_s & DTCO که به منظور تشخیص حضور گاز در سازند بکار گرفته شده

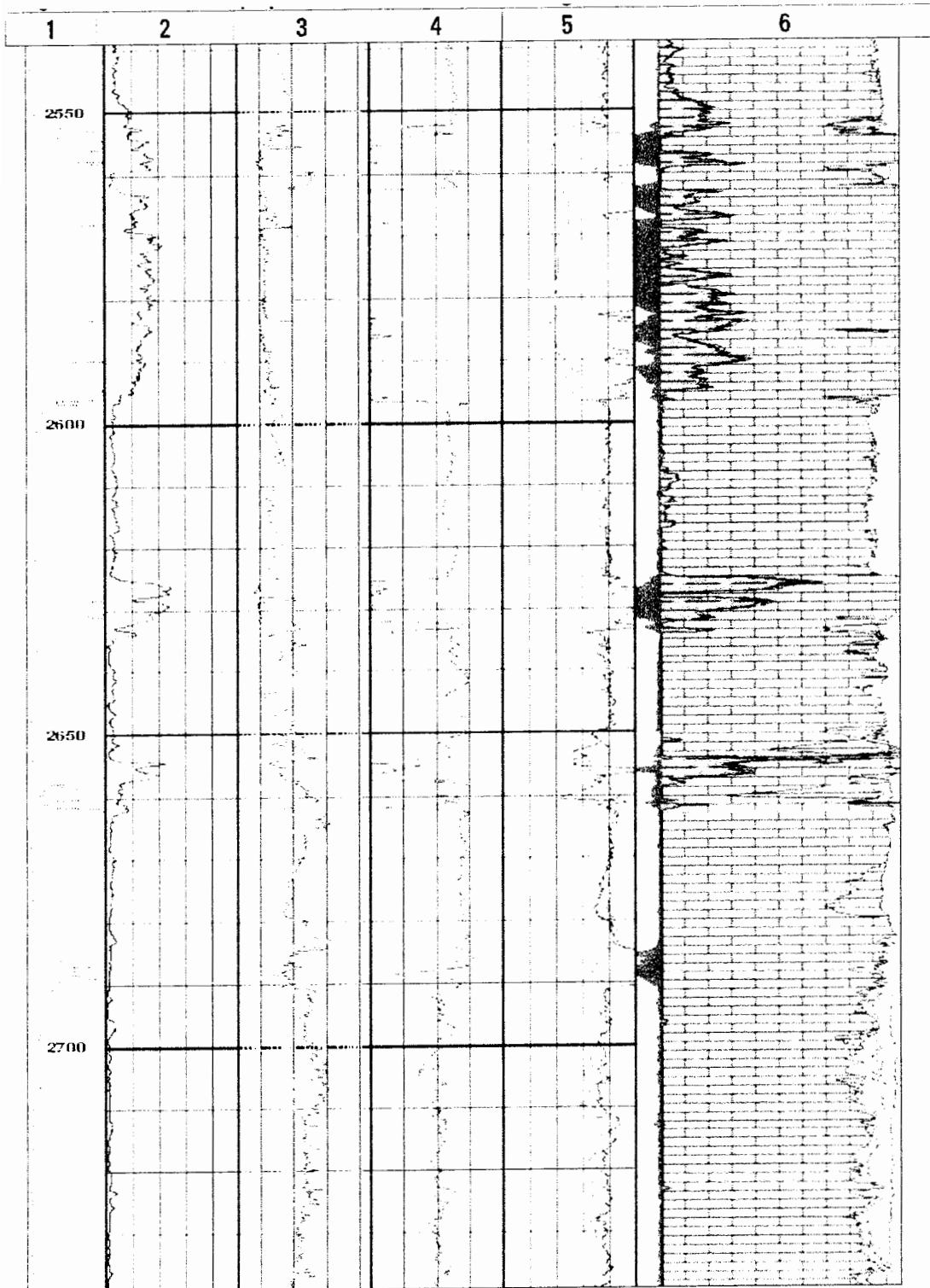
است را نشان می دهد



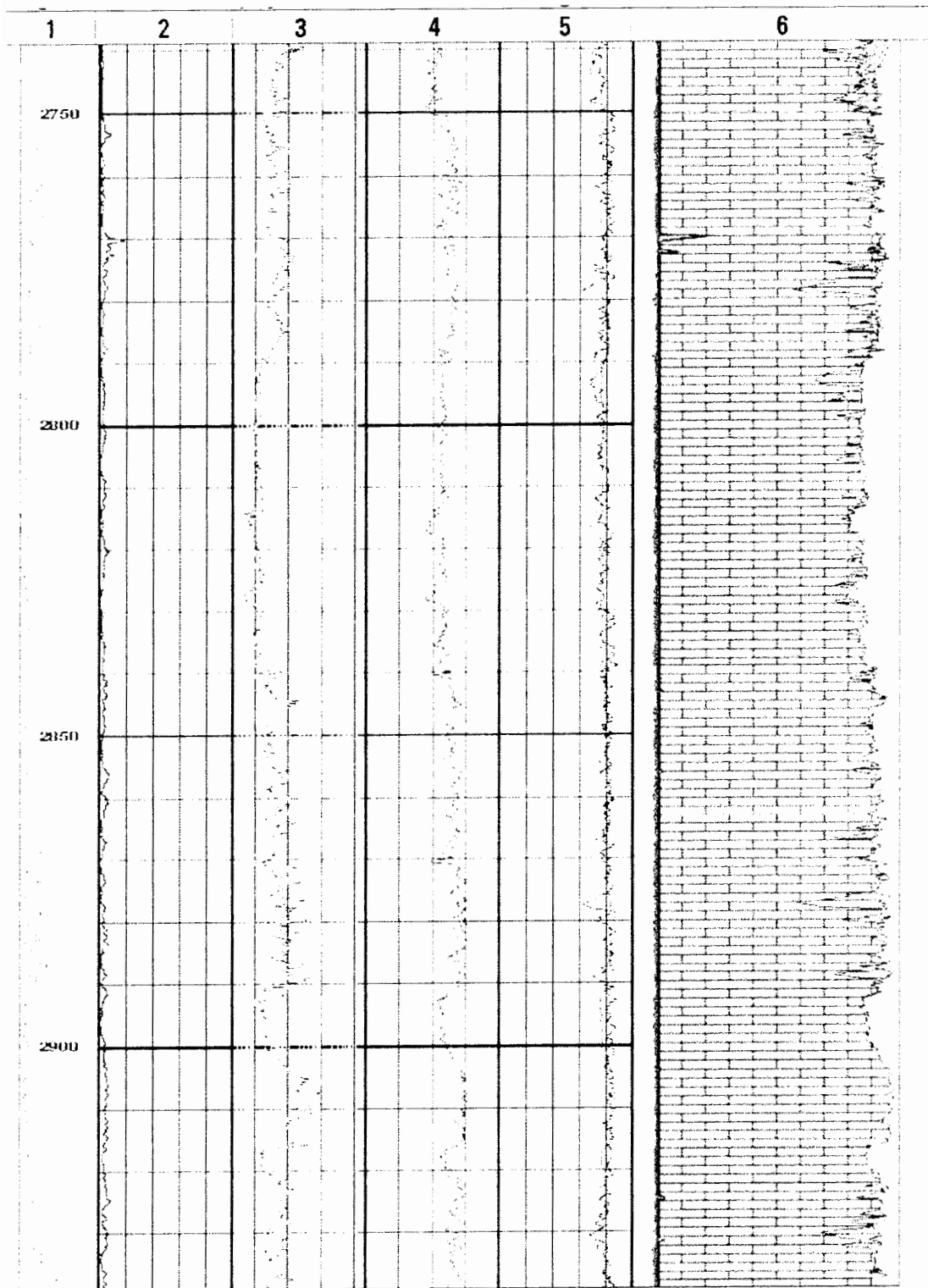
شکل ب- ۱۲- راهنمای خروجی نرم افزار Geo frame را که ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A می باشد نشان می دهد



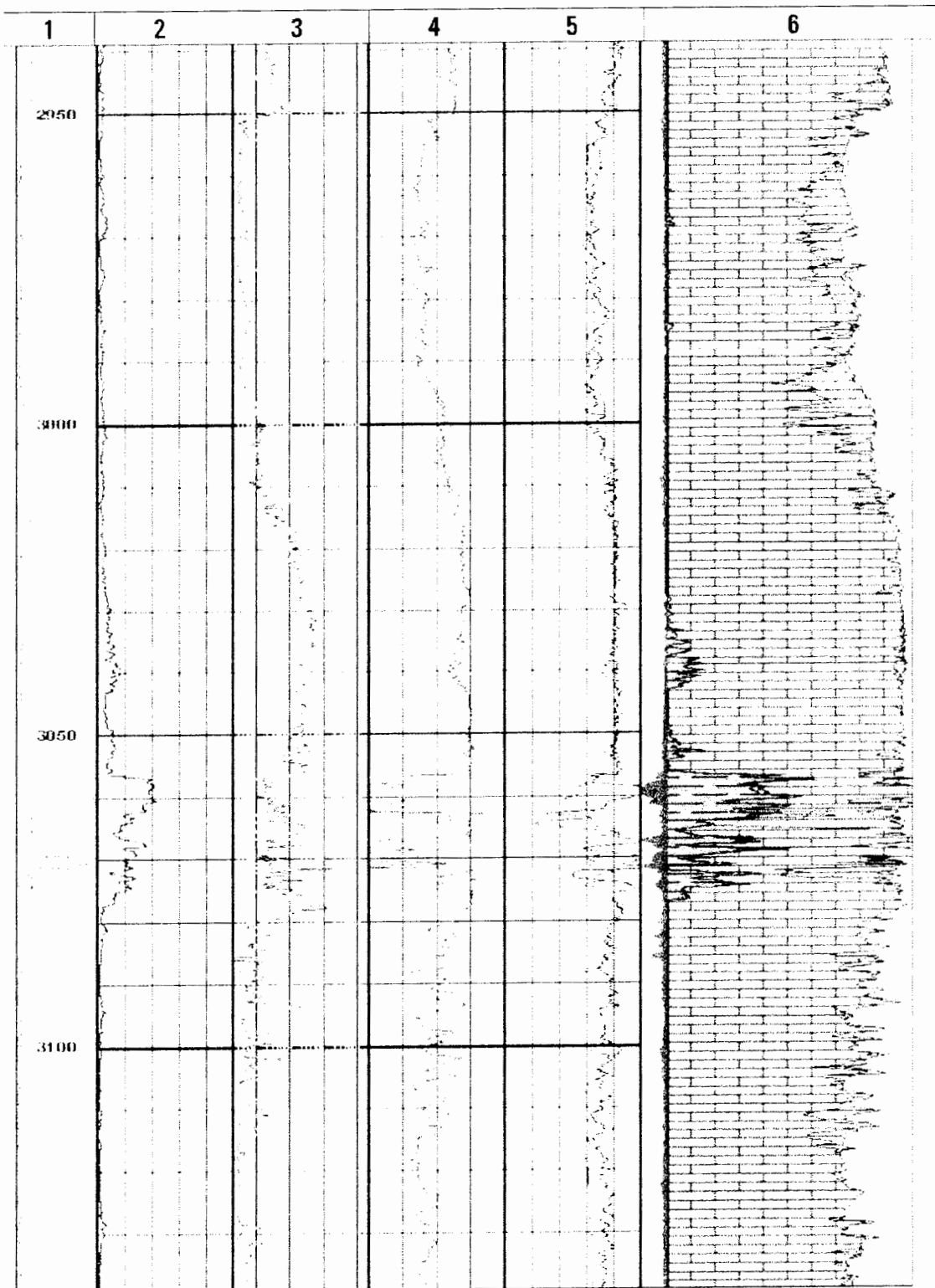
شکل ب- ۱۳- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۳۵۰ متر تا ارتفاع ۲۵۵۰ متر نشان می دهد



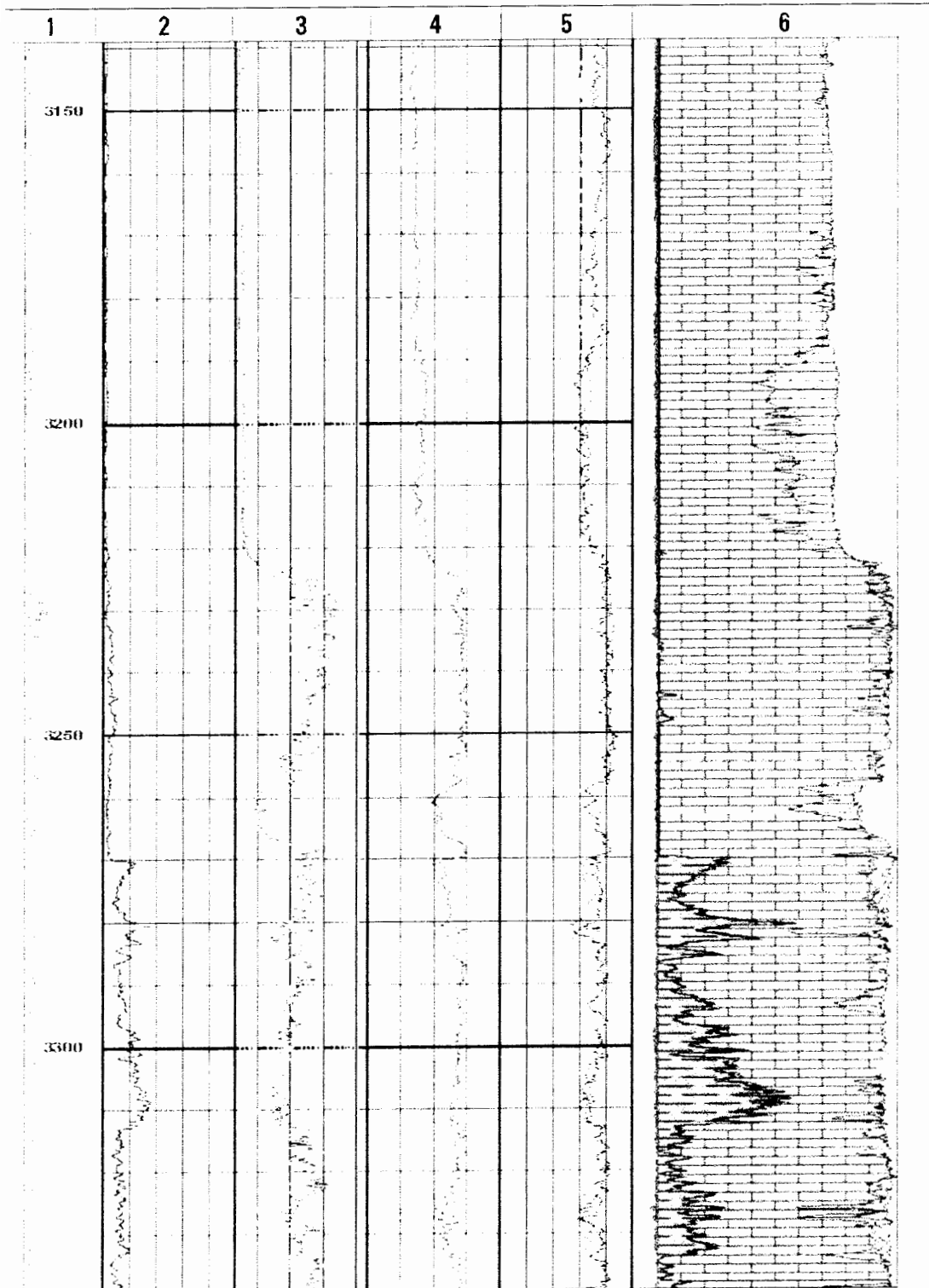
شکل ب-۱۴- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۵۵۰ متر تا ارتفاع ۲۷۵۰ متر نشان می دهد



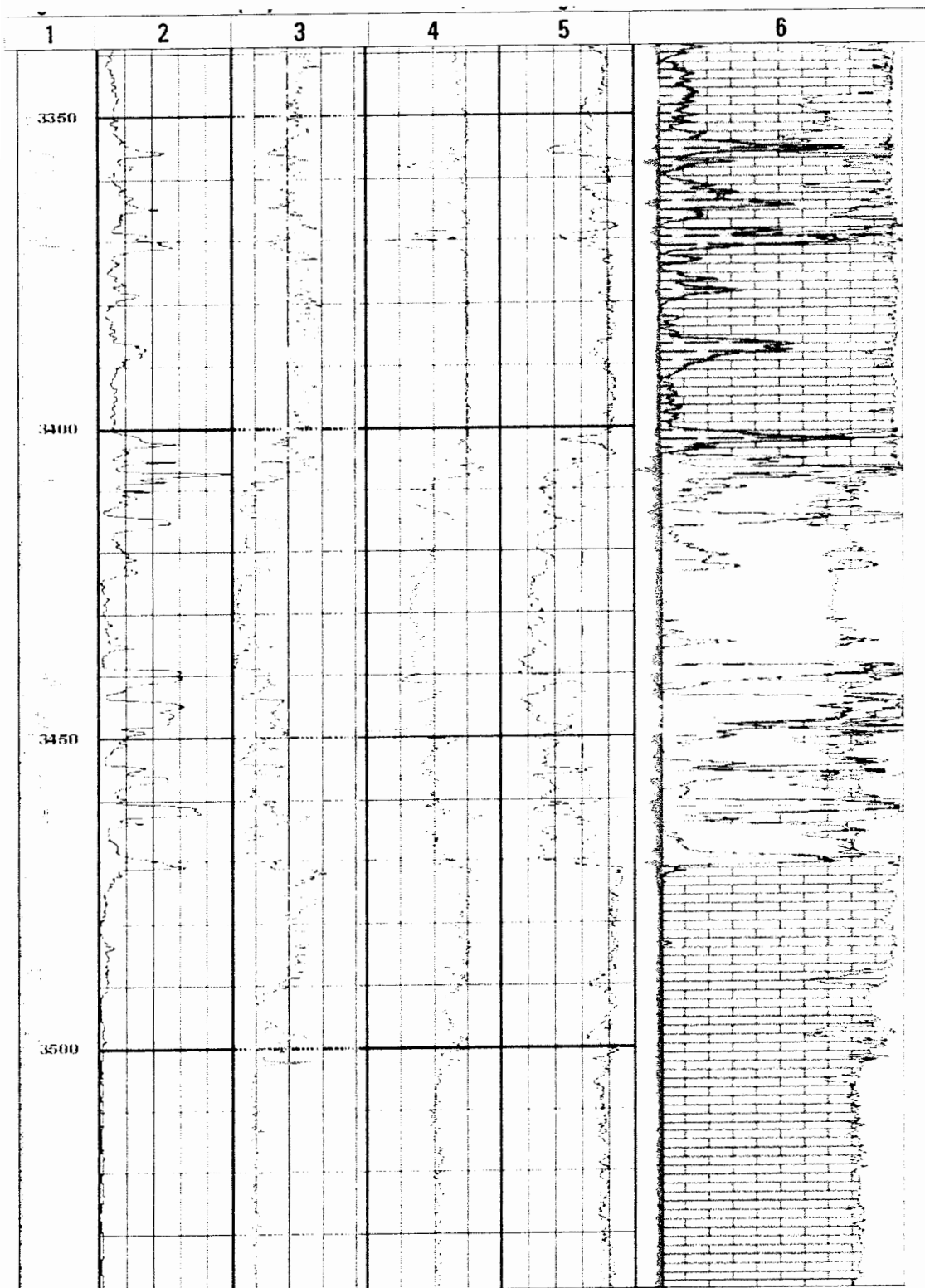
شکل ب- ۱۵- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۷۵۰ متر تا ارتفاع ۲۹۵۰ متر نشان می دهد



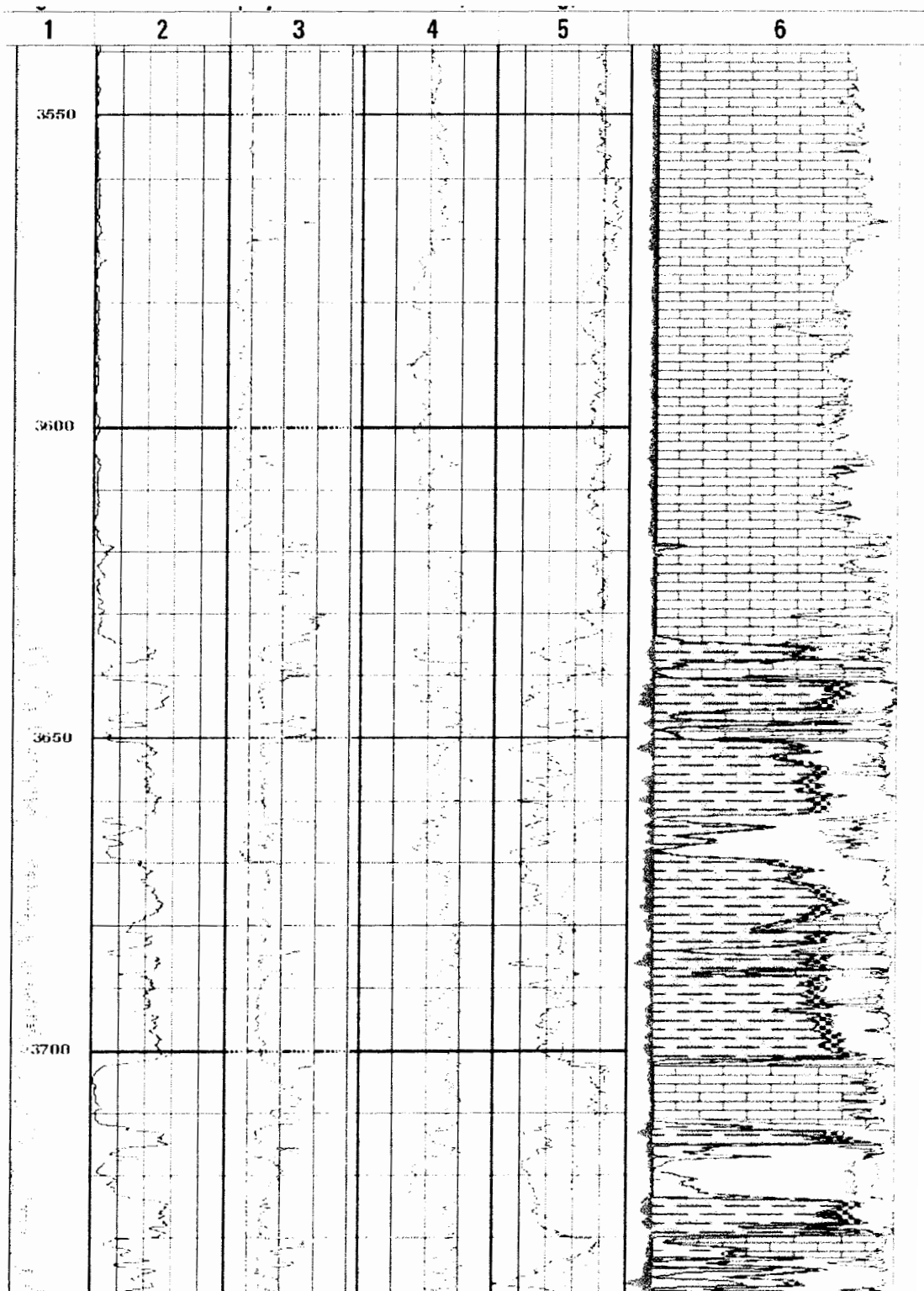
شکل ب- ۱۶- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۲۹۵۰ متر تا ارتفاع ۳۱۵۰ متر نشان می دهد



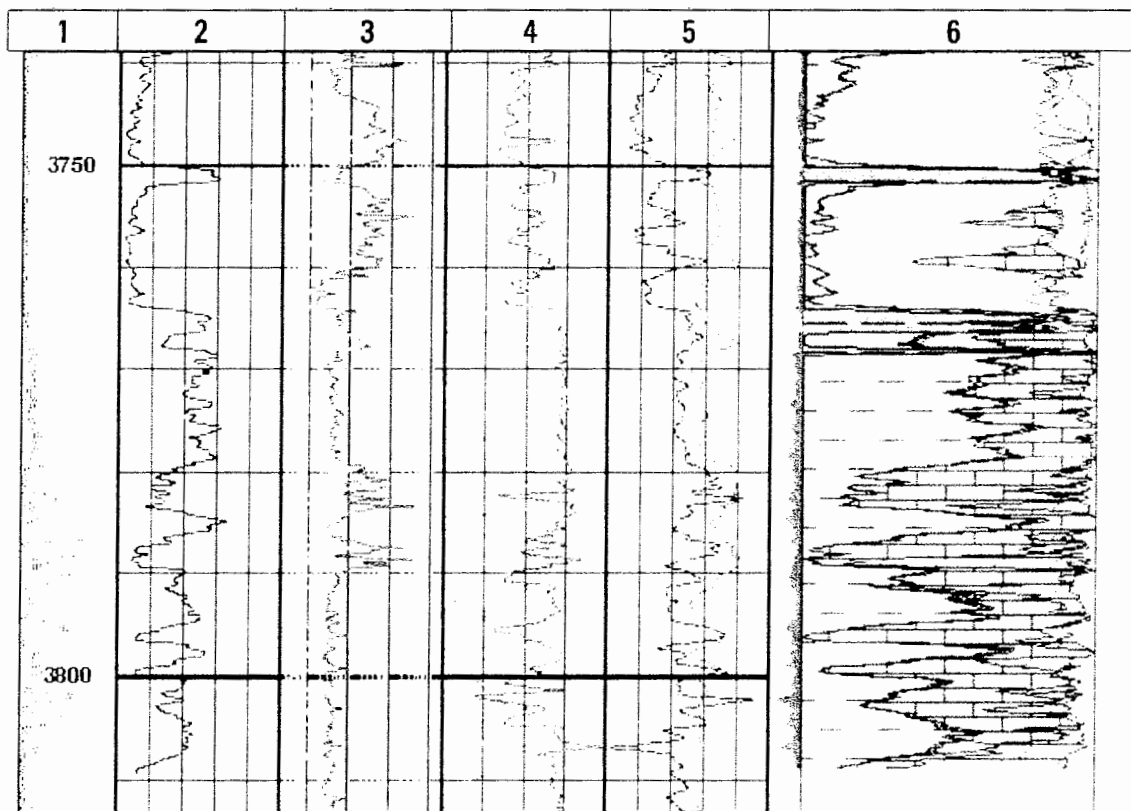
شکل ب- ۱۷- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۱۵۰ متر تا ارتفاع ۳۳۵۰ متر نشان می دهد



شکل ب-۱۸- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۳۵۰ متر تا ارتفاع ۳۵۵۰ متر نشان می دهد



شکل ب- ۱۹- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۵۵۰ متر تا ارتفاع ۳۷۵۰ متر نشان می دهد



شکل ب- ۲۰- ارزیابی پتروفیزیکی چاه نفتی A را از ارتفاع ۳۷۵۰ متر تا ارتفاع ۳۸۰۰ متر نشان می دهد

جدول ب-۱- داده های تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT در سازند سروک

Test type	Depth(m)	KMDT(mdm)
Supercharge	2694.02	1.14
Supercharge	2699.02	1.72
Normal	2703.97	10.09
Normal	2707	1.94
Volumetric	2708.98	2.96
Volumetric	2708.98	4.46
Volumetric	2708.98	6.29
Supercharge	2721.98	1.11
Supercharge	2721.98	1.1
Volumetric	2724.51	3.15
Volumetric	2724.51	4.8
Supercharge	2727.99	0.63
Supercharge	2727.99	0.6
Supercharge	2742.52	0.84
Supercharge	2742.52	0.8
Supercharge	2795.98	0.48
Supercharge	2800.49	0.37
Supercharge	2800.49	.032
Supercharge	2807.46	0.65
Supercharge	2807.46	0.5
Normal	2813.97	2.08
Supercharge	2817.48	0.5
Supercharge	2939.46	0.4
Supercharge	2939.46	0.3
Normal	2959.97	19.55
Normal	2970.95	32.98
Normal	2977.01	82.48
Normal	2989.95	20.03
Normal	3106.47	33.15
Normal	3111.96	3.89
Normal	3117.96	1075
Normal	3119.93	5.94
Normal	3175.02	23.01
Normal	3184.01	20.61
Normal	3220.01	3.14

جدول ب-۲- داده های تراوایی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT در سازند بورگان

Test type	Depth(m)	KMDT(mdm)
Normal	3424.99	360.99
Normal	3427.96	1275.93
Normal	3431.01	344.28
Normal	3437.01	2159.53
Normal	3437.5	1625.01
Normal	3452.96	10.18

Abstract

Permeability is one of the petrophysical properties of oil and gas reservoirs and is defined as the ability of rock to transmit fluids through the porous media. After exploration of any reservoir, permeability information is necessary to optimize the well completion method, oil and gas production and field developments. Permeability of porous media is determined in direct and indirect methods. Direct methods are, core analysis, well testing, and Modular Dynamic Tester (MDT) and indirect methods are using well logging data (porosity, NMR, or resistivity profile) or geological data (facies and fabric). Due to the some restrictions in the direct and indirect methods such as; area of hydrocarbon reservoir, cost, limitation of the data, and accuracy of these methods, study and investigation of new methods is necessary.

Refer to the direct effect of dynamic process between formations and well-bore, on the stoneley waves, and the ability of DSI tools for measurement of high quality stoneley slowness, determination of permeability from the stoneley slowness is the only indirect and continues method in the whole well-bore and has been chosen as the goal of this study.

In this study, first the petrophysical analysis is done, using the Geo-frame software (ELAN+) and petrophysical parameters was determined. As mentioned above, because the stoneley slowness affected by any dynamic process between well-bore and formations, then this parameter is a qualitative indicator of permeability variations in the whole well-bore. After plotting stoneley slowness against permeability (MDT permeability) data, and calibration of these data with permeability, this qualitative indicator converted to a quantitative relationship between permeability, porosity and stoneley slowness.

The final correlation is expressed as:

$$K = \frac{DTst - dtst_{none-permeable}}{\sum_{i=1}^n m_i V_i} \cdot (PIGN)^m$$

Where n is a porosity factor and is necessary to determine that, in each reservoir or single well individually. M is $\sum m_i V_i$, V_i is fraction volume of different lithologies (from petrophysical analysis) and m_i is determined by a cross plot between $DTst$ and permeability data from core, MDT, and other direct permeability data.

In this procedure all reservoir parameters that affect on the permeability was involved, such as; lithology, turtuosity, pore size distributions, and reservoir heterogeneity.

At the end, the result of this correlation has been plotted against other well logging data and there is very good match between this result and other petrophysical properties, however, due to complex nature of permeability in carbonate reservoir most of the time there is not good match between this parameter and other petrophysical properties.

This study has been conducted on the data of a single well and the correlation has been driven for this single well, for more precise correlation that can cover a reservoir or a specific geological area, more data from other wells or reservoir is necessary.



*Shahrood University of Technology
Faculty of Mining Engineering and Geophysics*

**Estimation of formation permeability
of hydrocarbon reservoir
using dipole shear sonic imager(DSI) data**

*This thesis submitted in part fulfillment of the degree of Master of science
in Geophysics*

By
M.Hadavand

Supervisor
*Dr.A.Moradzadeh
Dr.B.Movahed*

Consultant
N.Sabeti

Summer 2006