



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته ژئوفیزیک گرایش لرزهشناسی

پایاننامه کارشناسی ارشد

تفکیک لیتولوژی در مناطق دارای هیدروکربن توسط تحلیل AVO در برانبارش لیتولوژی

نگارنده: محمد احمدی دیزگانی

استاد راهنما: دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

استاد مشاور: دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

شهریور ۱۳۹۵

میں تھدیم اثر

... تقديم به بدر و مادر * *

سمر وقدردانی

از اساد کرامی دکتر مهرداد سلیانی متفرد که رابهایی این پایان نامه را به حهده داشتاند کال مشکر را دارم. از اساد عزیز جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی که مثاوره این پایان نامه را به حمده داشتاند ساسکذارم. تهچنین از جناب آقای مهندس اصغر نادری از بخش ژنوفتریک دپارتان زمین شناسی پژد سکاه نفت بی نهایت سپاسکذارم.

تعهد نامه

اینجانب محمد احمدی دیزگانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک گرایش لرزهنگاری دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " تفکیک لیتولوژی در مناطق دارای هیدروکربور توسط تحلیل AVO در برانبارش لیتولوژی " تحت راهنمائی استاد گرامی جناب آقای دکتر مهرداد سلیمانی منفرد متعهد می شوم.

- تحقیقات این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
 - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود"
 و یا "Shahrood, University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بودهاند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته و یا استفاده شده است
 اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

90/08/18

محمد احمدی دیزگانی

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامههای رایانهای، نرمافزار و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود میباشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از مقاطع برانبارش شده توسط زمینشناسان برای یافتن ساختارهای زیر سطحی بسیار معمول است. پیشرفت علم تفسیر دادههای لرزهنگاری سبب شده است تا محققان علاوه بر ساختارهای زیر سطحی در جستجوی اطلاعات بیشتری از دادههای لرزهای باشند. روشهای مختلف مطالعهی تغییرات دامنه در مقابل دورافت باعث شده تا محققان در جستجوی سیالهای هیدروکربوری و تعیین لیتولوژی باشند.

در این پایاننامه با استفاده از روش مقاومت الاستیک توسعه یافته و استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی و الاستیکی تمیز لیتولوژی در مقاطع مقاومت توسعه یافته انجام می شود. وارون سازی اطلاعات دامنه در مقابل دورافت اطلاعات داده های قبل از برانبارش را که در برانبارش های عادی از بین می رود را حفظ می کند. با استفاده از همبستگی نگارهای پتروفیزیکی در زوایای مختلف کای با نگارهای مقاومت الاستیک توسعه یافته بهترین زاویه برای به دست آوردن مقطع بازتابی انتخاب می شود و سپس با استفاده از تقریب های معادلات زوئپریتز مقطع بازتابی در زاویه مورد نظر به دست می آید.

نتایج حاصل از وارونسازی مقاطع بازتابی در زوایای مختلف برای تمیز لیتولوژی کمترین اثر سیال را در مقطع وارون نشان میدهد. مقاطع وارون مقاومت الاستیک توسعه یافته نتایج بهتری را نسبت به مقاومت صوتی به دست میدهد.

كلمات كليدى: تغييرات دامنه در مقابل دورافت، مقاومت الاستيك توسعه يافته، وارونسازى، ليتولوژى

۱ فصل اول کلیات ومروری بر مطالعات گذشته۱
۱–۱– مقدمه۲
۲-۱- سابقه موضوع۴
۵-۳- ضرورت انجام تحقیق و اهداف پایان نامه۵
۴-۱- ساختار پایاننامه
۲فصل دوم وارونسازی لرزهای و مقاومت الاستیک توسعه یافته
۲-۱- وارونسازی
۲-۲- روشهای وارونسازی
۲-۲-۱ روشهای وارونسازی قطعی
۲-۲-۱-۱ وارونسازی بازگشتی
۲-۲-۲- وارونسازی خارهای پراکنده
۲-۲-۲- وارونسازی به استناد مدل
۲-۲-۲ وارونسازی احتمالی
۲–۳– مقاومت صوتی
۲–۴– مقاومت الاستیک

۲۱	٢–۵– مقاومت الاستيك توسعه يافته
سعه یافته و وارونسازی۲۷	٣فصل سوم تهيهى مقاطع مقاومت الاستيک تو
۲۸	۳-۱- مروری بر زمین شناسی منطقه
۳۱ ۵۰	۳–۲– دادههای موجود و پردازشهای انجام شد
۳۲	۳-۳- ارزیابی پتروفیزیکی
۳۴	۳-۴- ارتباط چاه و لرزه
۳۹	۵-۳- نشانگرهای A و B
۴۱	۶-۳- مقاطع EEI و وارونسازی
۴۱	۲–۶–۳ نسبت <i>VpVs</i> نسبت
۴۵	۳–۶–۲ نگار گاما
۴۸	۳-۶-۳- بررسی LMR
۵۷	۴فصل چهارم نتیجه گیری و پیشنهادات
۵۸	۴-۱- نتیجه گیری
۵۹	۲-۴- پیشنهادات
۶۱	مراجع

فهرست انتكال

شکل ۱۰۰۱ رابطه ی کلی بین دامنه بازتاب و زاویه ی نرمال و دامنه بازتاب با افزایش دورافت برای
AVO مختلف
شکل ۲-۱ مدلسازی پیشرو و وارونسازی
شکل ۲-۲ مفهوم وارونسازی لرزهای یک رد لرزه به مقاومت صوتی
شکل ۲-۳ مثالی از وارونسازی یک ردلرزه به روش خارهای پراکنده
شکل ۲-۴ اصول روش وارونسازی۱۸
شکل ۲-۵ تغییر زاویه تابش در مقاومت الاستیک توسعه یافته
شکل ۲-۶ مقایسه مقاومت الاستیک محاسبه شده و نگارهای الاستیک اندازه گیری شده دریک
حاه
*
» شکل ۲-۲ وارونسازی EEI
» شکل ۲-۲ وارونسازی EEI شکل ۲-۱ گرابن وایکینگ واقع در دریای شمال
" شکل ۲-۷ وارونسازی EEI شکل ۳-۱ گرابن وایکینگ واقع در دریای شمال شکل ۳-۲ سازند هیمدال با سن پالئوسن(مدیریت نفت نروژ)
۳ شکل ۲-۷ وارونسازی EEI ۲۵ شکل ۲-۱ گرابن وایکینگ واقع در دریای شمال ۳۰ شکل ۳-۲ سازند هیمدال با سن پالئوسن(مدیریت نفت نروژ)۳۰ شکل ۳-۳ نگارهای چاه مطالعاتی۳۱
 ۳۵ شکل ۲-۷ وارونسازی EEI
۳ شکل ۲-۲ وارون سازی EEI

۳۶	شکل ۳-۶ مقاومت صوتی به دست آمده از نگار صوتی و نگار چگالی
۳۷	شکل ۳-۷ موجک استخراج شده
۳۸	شکل ۳-۸ تصویر لرزه نگاشت مصنوعی قبل از همبستگی
۳۹	شکل ۳-۹ تغییرات لرزه نگاشت مصنوعی بعد از همبستگی
۴۰	شکل ۳-۱۰ تصویر نشانگر A از دادههای ضبط شده
۴۰	شکل ۳-۱۱ نشانگر Bحاصل از دادههای ثبت شده
۴۱	شکل ۳-۱۲ نمودار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی
رزواياى	شکل ۳-۱۳ نمودار همبستگی نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی و EEI د
۴۲	مختلف
ئىارى بە سىر	شکل ۳-۱۴ مقایسه نگار EEI در زاویهی ۵۴ درجه و مقایسهی با نگار نسبت سرعت موج فن
۲۳	سرعت موج برشی
ى ۴۴.	شکل ۳-۱۵ مقطع بازتابی حاصل از زاویه نگار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برش
۴۵	شکل ۳-۱۶ مقطع وارون حاصل از زاویه نگار سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی
¥9	شکل ۳-۱۷ نمودار تعیین مقدار همبستگی برای نگار گاما در زوایای مختلف
۴۷	شکل ۳-۱۸ نمودار نگار گاما و نگارEEI در زاویهی مربوطه
۴۷	شکل ۳-۱۹ مقطع بازتابی حاصل از نگار گاما
۴۸	شکل ۳-۲۰ مقطع حاصل از وارونسازی مقطع بازتابی گاما
۴۹	شکل ۳-۲۱ نمودار لاندا

ار همبستگی برای نمودار لاندا ٥٠	۲۲-۳ مقد	شکل
سه نگار EEI در زاویهی مربوطه ونگار لاندا ۵۰	۲۳-۳ مقای	شکل
لع بازتابی حاصل از زاویهی کای مربوط به نگار لاندا۵۱	۲۴-۳ مقط	شكل
لع وارون حاصل از مقطع بازتابی لاندا ۵۱	۲۵-۳ مقط	شكل
دار ميو -رو	۲۶-۳ نمو	شكل
دار مقدار همبستگی نگار میو- رو ۵۳	۲۷-۳ نمو،	شكل
دار EEI محاسبه شده در زاویهی مربوطه و مقایسهی آن با نمودار میو-رو ۵۳	۲۸-۳ نمو	شكل
لع بازتابی حاصل از زاویهی کای مربوط به نگار میو	۲۹-۳ مقط	شکل
لع وارون حاصل از مقطع بازتابی میو ۵۴	۳۰-۳ مقط	شکل

فهرست جداول

۳۱	چاہ مطالعاتی	موجود در ج	نگار های	جدول ۳-۱
----	--------------	------------	----------	----------

۱ فصل اول

کلیات ومروری بر مطالعات کدسته .

۱-۱- مقدمه

بسیاری از مفسران همچنان از مقاطع برانبارش شده^۱ برای تفسیرهای معمول لرزهای با تکیه بر ساختارهای زمانی و عمقی برای شناسایی تلههای ساختاری (برای مثال تله های ساختاری محدود به ⁷سل^۲)، یا تلههای چینهای (تلههای گوهای^۳) استفاده کنند. فرض اولیه مقطع برانبارش شده این است که دامنههای برانبارش شده در مرزهای ساختارهای زمینشناسی پاسخ معنی داری میدهد و نوفه زدایی[†] دادههای لرزهای بر روی محدودهی معین از دورافتهای^۵ مختلف در زوایای مختلف، دادههای بهتری را برای نمایش ساختارهای زمینشناسی به ما ارائه میدهد. در بستههای نرم افزاری تفسیر دادههای لرزهای، نرمافزار برجستگیها^۶ و یا فررفتگیهای^۷ دامنهی رد لرزهها را به صورت خودکار انتخاب میکنند اما وجود تغییرات دامنه در مقابل دورافت^۸ به صورت ذاتی در دادهها، انتخاب دامنه در نرم افزار را دچار مشکل میکند [۱].

مقاطع برانبارش شدهی لرزهای را میتوان بصورت مجموعی از ضرایب بازتاب بر روی محدودهی دورافت مشخصی دانست. این ضرایب به زاویهی مسیر پرتو از یک فرستنده به یک گیرنده و اختلاف الاستیک بین لایههایی است که پرتو از آنها عبور کرده است، بستگی دارند. در برخی از مخازن حضور هیدروکربن باعث تغییر رفتار AVO میشود که سبب تغییر در اثر لرزهای ثبت شده از مخزن برروی مقطع برانبارش شده میشود.

رادرفورد و ویلیامز^۹(۱۹۸۹) طبقهبندی اولیه و اصلی AVO را ارائه دادند [۲]. ماسههای گازدار که

- ² Fault Bounded
- ³ Pinch out
- ⁴ Denoising
- ⁵ Offsets

⁶ Picks

⁷ Troughs

- ⁸ Amplitude versus Offset (AVO)
- ⁹ Rutherford and Williams

¹ Stack Section

در زیر لایههای شیلی قرار داشتند از نظر مقاومت صوتی^۱ در طبقهبندی رادرفورد و ویلیامز به صورت زیر دستهبندی شدند:

> کلاس یک — ماسههای با مقاومت صوتی بالا کلاس دو — ماسههای با تباین مقاومت صوتی نزدیک به صفر کلاس سه — ماسههای با مقاومت صوتی پایین

در سمت راست شکل (۱-۱) طبقهبندی رادرفورد و ویلیامز به صورت مقطع عرضی از زمان تلاقی بازتاب صفر و گرادیان مشاهده می گردد.



شکل(۱-۱) رابطهی کلی بین دامنهی بازتاب و زاویهی نرمال و دامنهی بازتاب با افزایش دورافت [۳]

تغییر رفتار AVO میتواند به عنوان شناساگر هیدروکربن مخزن نیز عمل کند مثلا نقاط روشن^۲ (منفی) در دورافتهای دور روشنتر (منفی تر) میشود که بیشتر نشان دهندهی کلاس سوم آنومالی AVO است [۴]. دیگر کلاسهای AVO تغییرات کم رنگتری هستند که بر روی مقاطع برانبارش شده کمتر قابل

¹ Acoustic Impedance

تفسیر هستند و شاید قابل مشاهده نباشند. برای مثال تغییر قطبیت یا یک نقطه تیره^۱ به راحتی در تفسیر سنگهای دارای هیدروکربن نادیده گرفته میشود [۵].

در گذشته آگاهی از تغییرات AVO از ملزومات مطالعهی ساختاری به حساب نمیآمد، که این موضوع امروزه در حال تغییر است. استفاده از تکنولوژی AVO در ۱۵ سال گذشته باعث شده تا شرکتهای زیادی به جمعآوری دادههای موج فشاری (P) و موج برشی (S) رو بیاورند. تحلیل دادههای موج فشاری^۲ و موج برشی^۳ این واقعیت را نمایان کرده است که AVO میتواند نقش مهمی در تعیین لیتولوژی داشته باشد. علاوه بر این موضوع پیشرفتهای علم فیزیک سنگ^۴ نیز کمک شایانی به تفسیر دادههای لرزهای کرده است. در این پایاننامه از روشهای مرسوم تفسیر دادههای لرزهای مانند استفاده از مقاطع تمام برانبارش شده تا حد امکان استفاده نشده و به استفاده از محصولات لرزهای^۵ که تغییرات لیتولوژی را برای

۲-۱- سابقه موضوع

روشهای زیادی برای AVO ایجاد شدهاند که به طور کلی به دو دسته تحلیل بازتاب AVO و وارونسازی AVO به مقاومت تقسیم میشوند. روش زمان تلاقی نقطه بازتاب – گرادیان توسط اکی و ریچاردز^۶ (۱۹۸۹) از روشهای معمول در روش بازتاب AVO است. با استفاده همزمان از زمان تلاقی نقطه بازتاب^۷ و گرادیان^۸ داده پاسخ لرزهای به کلاسهای مختلف AVO تقسیم, بندی می شوند [۶].

- ⁵ Seismic Product
- ⁶ Aki and Richards
- ⁷ Intercept
- ⁸ Gradient

¹ Dim Spot

² Compressional

³ Shear

⁴ Roch Physics

استراندر^۱ (۱۹۸۴) نشان داد حضور گاز در ماسه که در قسمت بالایی با شیل احاطه شده باشد باعث تغییرات دامنه در مقابل دورافت در دادههای لرزهای قبل از برانبارش می شود [۷]. استراندر (۱۹۸۴) همچنین مشاهده کرد که این تغییر همراه با کاهش نسبت پواسون^۲ در اثر حضور گاز است. شویی^۳ (۱۹۸۵) با استفاده از معادلات زوئپریتز ^۴به صورت ریاضی نشان داد که ثابت الاستیکی که به صورت مستقیم با بازتاب از دورافتهای متفاوت رابطه دارد، نسبت پواسون است [۵].

روش فرمول نویسی اسمیت و گیلدو^۵(۱۹۸۷) این اجازه را میدهد که برانبارش از زاویهها به صورت همزمان به حجم بازتاب موج فشاری و حجم بازتابی موج برشی تبدیل شود [۸]. در روش اسمیت برانبارش وزنداری از حجمهای موج فشاری و موج برشی فاکتور سیال^۶ را به ارمغان میآورد [۹].

در روش ^۷EI، مقدار AI معادل را برای دادههای بازتابی از دورافت غیرصفر بدست میآید، این کار اجازه وارونسازی مستقیم برای دورافت دور (زوایای دور) به حجم EI را میدهد.

روش ^۸EEI محصول وارونسازی لرزهای را با یک مشخصهی پتروفیزیکی وفق^۹ میدهد. این روش را می توان به صورت مستقیم بر حجم نقطه زمان تلاقی بازتاب (I) و حجم گرادیان(G) اعمال کرد [۱].

1-۳- ضرورت انجام تحقيق و اهداف پايان نامه

مشکل مهم و بزرگ در دنیای لرزهنگاری اکتشافی ابهامات زیر سطحی است. متخصصان پس از جمع آوری و تحلیل دادهها همواره به دنبال تصویر سازی بهتری از زیر سطح هستند که این تصویر صحت و

 ¹ Ostrander
 ⁶ Fluid Factor

 ² Possion Ratio
 ⁷ Elastic Impedance

 ³ Shuey
 ⁸ Extended Elastic Impedance

 ⁴ Zoeppritz
 ⁹ Tune

 ⁵ Smith and Gildow
 ⁶ Fluid Factor

دقت بیشتر و خطر پذیری کمتری را برای خشک بودن یک چاه^۱ ارائه میدهد.

روشهای لرزهنگاری بازتابی در ابتدا به عنوان ابزار مفیدی برای شناسایی ساختارهایی که به عنوان تله عمل کردند (مانند تاقدیسها^۲) به کار رفت. تلاشهای زیادی برای افزایش درک و آگاهی از دامنهی امواج لرزهای صورت گرفته است. این نکته به اثبات رسیده است که مقادیر قابل توجهی از اطلاعات در دامنه امواج بازتابی نهفته است که با تخلخل، لیتولوژی و تغییرات سیال در زیر سطح زمین رابطه دارد.

اگرچه دامنهی امواج لرزهای نشان دهندهی نسبتا خوبی از ساختار زیر سطحی است اما مطالعات زیادی این نکته را نشان داد که دامنهی امواج لرزهای نشانگر مبهمی از هیدروکربن است. برای حل کردن این مشکل دامنه در مقابل دورافت (AVO) به عنوان ابزاری تجاری برای تحلیل دادههای لرزهای قبل از برانبارش به کار رفت. پاسخ AVO از بازتاب زیر سطح عموما به عنوان تابعی از زاویهی تابش رخداد لرزهای است. تفسیر بازتاب در دورافت به سرعت موج فشاری، موج برشی و تمایز چگالی^۳ بر روی یک سطح بستگی دارد. تغییر در سیال و تغییر در لیتولوژی می تواند درسرعت موج فشاری و سرعت موج برشی و چگالی اثر

برای شناسایی لیتولوژی باید اطلاعات لرزهای، پتروفیزیکی و زمین شناسی ادغام شوند تا اطلاعات مرتبط با لیتولوژی در دادههای لرزهای نمایان تر شود. چاهها می توانند مشخصههای زیادی از مخزن را در مقیاس عمودی اندازه گیری کنند که این کار هزینه بالایی خواهد داشت. در طرف دیگر دادههای لرزهای نمونهبرداری پیوستهای را با هزینهای به نسبت کمتر عموما در مقیاس زیاد خواهد داشت. برای فایق آمدن به مشکل، وارونسازی لرزهای برای تخمین زدن مشخصههای الاستیک معرفی شد. خروجی حاصل از

³ Density Contrast

¹ Dry Wells

² Anticline

وارونسازی از EEI تخمین بهتری از نشانگرهای دادهی لرزهای با پهنای باند محدود از دادههای لرزهای را به ما میدهد.

هدف اصلی این مطالعه کاربرد روش EEI و وارونسازی آن به منظور بهبود تمیز لیتولوژی از حالت عادی است. مقایسه پارامترهای الاستیک و حساسیت آن برای تفکیک لیتولوژی در روش EEI مبحثی است که به تازگی معرفی شده است.

۱–۴– ساختار پایاننامه

در فصل اول در ابتدا به طور کلی و به صورت خلاصه مروری به روش های AVO و کارهای انجام شده توسط محققان قبلی اشاره خواهدشد. در فصل دوم ابتدا توضیحاتی در مورد وارونسازی لرزهای و انواع آن در لرزهنگاری بازتابی گفته خواهد شد. سپس در همین فصل، مقدماتی درمورد روش مقاومت صوتی و محدودیتهای آن بیان خواهد شد و سپس به روش مقاومت الاستیک EI پرداخته خواهد شد. در پایان این فصل روش EEI توضیح داده خواهد شد. در فصل سوم ابتدا مروری کلی بر منطقه مورد مطالعه انجام می شود و سپس به بررسی دادههای موجود پرداخته خواهد شد. پس از آن پردازشهای انجام شده بر روی دادهها و سپس به بررسی دادههای موجود پرداخته خواهد شد. پس از آن پردازشهای انجام شده بر روی دادهها برشمرده خواهد شد. نتایج ارزیابی پتروفیزیکی برای تعیین لیتولوژی با استفاده از نگارهای موجود به بحث گذاشته می شوند و سپس روش وارونسازی EEI بر روی دادههای موجود برای پارامترهای الاستیک مورد نظر به کار خواهد رفت. در فصل چهارم و پایانی ابتدا نتایج بدست آمده مقایسه و ارزیابی می شوند و در انتهای فصل پیشنهادات این پایاننامه برای مطالعات بعدی عرضه خواهد شد.

۲ فصل دوم

وارون سازى لرزداى ومقاومت الاستيك توسعه يافته

۲-۱- وارونسازی^۱

فرآیند وارونسازی برعکس مدلسازی پیشرو^۲ است که به جای استفاده از پارامترهای مدل زمین و محاسبهی یک لرزهنگاشت مصنوعی تلاش دارد تا با استفاده از دادههای لرزهای موجود پارامترهای مدل زمین را تخمین بزند. برای یک دسته دادهی مشخص، وارونسازی تلاش دارد تا مدلی را ارائه دهد که با زمینشناسی محلی در تضاد نباشد. فرآیند وارونسازی به فرآیند مدلسازی پیشرو نزدیک است و مقایسه بین دو فرآیند در شکل (۲–۱) آمده است. مدلسازی پیشرو یک رابطهی ریاضی (مانند معادله ی موج) را استفاده می کند تا پاسخ زمین را برای پارامترهای مدل بسازد. این پارامترها عموما شامل مشخصهای سنگ و هندسه بازتاب لایههای سنگ است.



شکل(۱-۲) : مدلسازی پیشرو و وارونسازی [۱۰]

² Forward modeling

¹ Inversion

در مدلسازی لرزهای، معادلهی الاستیک موج، از پارامترهای چگالی سنگ و سرعت موج برای تولید یک لرزهنگاشت مصنوعی به عنوان مدل پاسخ استفاده می کند. همان طور که در شکل (۲–۱) دیده می شود وارونسازی یا مدلسازی وارون از فرآیند معکوس مدلسازی پیشرو استفاده می کند. وارونسازی سعی دارد تا مدل زمین شناسی را برای داده های بدست آمده تعیین کند که با مشاهدات هماهنگی داشته باشد. در فرآیند وارون سازی تلاش برای تعیین پارامترهای سنگ است که پاسخ مدل از این پارامترها با داده های موجود همخوانی داشته باشد [۱۰].

۲-۲- روشهای وارونسازی

انواع روشهای وارونسازی به طور کلی به دو دسته قطعی^۱ و احتمالی^۲ تقسیم می شوند. روشهای قطعی بر اساس حداقل کردن تفاوت مدل لرزهای و داده واقعی لرزهای است، وارونسازی احتمالی به بررسی غیر یکتایی مدلهای مقاومت به صورت آماری می پردازد [۱۱].

۲-۲-۱ روشهای وارونسازی قطعی

روشهای زیادی برای وارونسازی دادههای لرزهای به شکل قطعی است و در این پایاننامه به اختصار چندین روش معرفی خواهد شد. مزیت روشهای وارونسازی قطعی نسبت به روشهای احتمالی سهولت استفاده از آنها است. روش وارونسازی قطعی بر اساس حداقل کردن تفاوت بین ردلرزهی مدل شده و ردلرزه حقیقی عمل می کند. متخصصان روش واحدی را به عنوان برترین روش در وارونسازی قطعی انتخاب نکردهاند، اما به کارگیری دقیق و صحیح هر مرحله در طول فرآیند وارونسازی مهمتر از انتخاب الگوریتم روش وارونسازی قطعی عنوان شده است.

² Stochastical

¹ Deterministic

۲-۲-۱-۱- وارونسازی بازگشتی^۱

به دست آوردن مقادیر امپدانس مطلق از دادههای لرزهای شامل مقیاس کردن مقطع بازتابی به ضرایب بازتاب و اضافه کردن جزء فرکانس پایین (که از درون یابی دادههای چاه بدست میآیند و یا از سرعت برانبارش که به مقادیر امپدانس مقیاس شده باشند) به آنها بدست میآید. به دلیل بالا بودن فرکانس مقطع بازتابی، ضرایب بازتاب به دست آمده از ردلرزهها فاقد جزء فرکانس پایین هستند، از این رو در مقیاس کردن دادهها، ضرایب بازتاب باید جزء فرکانس پایین به این مقادیر افزوده شوند. مقادیر امپدانس در معادلهی ادران دادهها، ضرایب بازتاب باید جزء فرکانس پایین به این مقادیر افزوده شوند. مقادیر امپدانس در معادلهی نظر گرفتن اثر موجک معادلهی کاملی نیست اما اصل و مقدمهای بر وارونسازی دامنه بازتابی است [۱۲].

$$AI_{i+1} = AI_i \left[\frac{1+r_i}{1-r_j} \right]$$
(1-7)

در معادلهی (۲-۱) AI مقاومت صوتی لایهی iام وAI_{i+1} مقاومت صوتی لایه i+۱م و r_i ضریب بازتاب بین لایهی iام و لایهی i+1م است.

۲-۲-۱-۲- وارونسازی خارهای پراکنده^۲

وارونسازی به روش قطعی عموما به عنوان استفاده از مدل همآمیختی^۳ به صورت معکوس است. در شکل (۲-۲) ضرایب بازتاب از واهمآمیخت^۴ رد لرزه از موجک لرزهای به دست آمده است. خروجی این روش سری ضرایب بازتاب با پهنای باند زیاد هستند، که این روش وارونسازی با پهنای باند زیاد نیز نامیده میشود.

³ Convolutional

⁴ Deconvolution

¹ Recursive

² Sparse Spike

برای رسیدن به مقدار مقاومت صوتی مطلق، باید دادههای لرزهای بازتابی با دادههای جزء فرکانس بالا ادغام شوند. یکی از راهها وارد کردن مقدار مقاومت صوتی برای بالاترین لایه و استفاده از فرمول بازگشتی است. در واقعیت این کار نیازمند اطلاعاتی از تفسیر ردلرزه به ردلرزه است. برای مثال مدل ساخته شده براساس داده چاه در محل و یا اطلاعات زمینشناسی منطقه، جواب به دست آمده را محدود می کند.



شکل (۲-۲) مفهوم وارون سازی لرزهای یک رد لرزه به مقاومت صوتی [۱۱]

ساخته شدن یک ردلرزه از مقادیر ضرایب بازتاب متفاوت باعث به وجود آمدن روش خارهای پراکنده شد. روش حداکثر شباهت همپسون و راسل(۱۹۸۵) مثالی از روش خارهای پراکنده است [۱۳]. شکل (۲–۳) نشان دهنده اصول وارونسازی خارهای پراکنده است. شکل (۲–۳) نشان دهنده رابطهی بین مقاومت صوتی نگار چاه، ضرایب سری بازتاب، ردلرزه و تقریب امپدانس از روش خارهای پراکنده است. وارونسازی با روش خارهای پراکنده با اعمال محدودیتها سعی در کاهش جواب غیر یکتا و یافتن جواب وارون نزدیک به واقعیت را دارد. یکی از مزایای روش وارونسازی خارهای پراکنده، تلاش آن برای تولید مدلی ساده است که با دادههای لرزهای تطابق داشته باشد، بنابراین توجه زیادی به دادههای لرزهای دارد و تغییرات امپدانس را زمانی تولید می کند که با پاسخ لرزهای همخوانی داشته باشد. تغییرات امپدانس حاصل از وارونسازی ممکن است توصیفی ساده از زمین شناسی زیر سطحی باشد، پس نتایج وارون سازی خارهای پراکنده همواره با زمین شناسی دادههای چاه و مشاهدات دیگر تطبیق کامل نخواهد داشت.



شکل(۲-۳) مثالی از وارونسازی یک ردلرزه به روش خارهای پراکنده [۱۱]

۲-۲-۱-۳- وارونسازی به استناد مدل

روش های وارونسازی به استناد مدل را میتوان به جرأت پرکاربرد ترین روش وارونسازی دادههای لرزهای نامید که به صورت تجاری نیز به نام وارونسازی به استناد مدل (وارونسازی هم آمیختی) نامیده میشود [۱۲]. وارونسازی به استناد مدل از یک مدلسازی پیشرو تکرار شونده^۲ و روند مقایسهای بهره میبرد. این فرآیند نیازمند مدل اولیهای است که در مقابل داده لرزهای بررسی شده باشد. مدل اولیه ممکن است از درونیابی دادههای چاه (اجرای یک فیلتر پایین گذر بر روی دادههای چاه برای بدست آوردن مدل اولیه در اغلب موارد ضروری است) بدست آید. منبع احتمالی دیگری که برای یک مدل اولیه عمومی به کار

¹ Model Based

² Iterative

می رود، ممکن است حجمی از دادههای برانبارش شده لرزهای باشد. سرعت دادههای برانبارش شده لرزهای را می توان به سرعت های بازهای ^۱ تبدیل کرد، این کار با استفاده از فرمول دیکس در معادلهی (۲–۲) انجام می شود.

$$V_{\rm INT} = \left[\frac{t_2 V_{\rm RMS2}^2 - t_1 V_{\rm RMS1}^2}{t_2 - t_1}\right]^{1/2}$$
(Y-Y)

در معادلهی (۲–۲) V_{INT} برابر با سرعت بازهای، t_1 زمان رسید به اولین بازتابنده، t_2 زمان رسید به دومین بازتابنده، V_{RMS1} جذر میانگین مربعات سرعت تا اولین بازتابنده، V_{RMS2} جذر میانگین مربعات سرعت تا دومین بازتابنده است. نتیجه نهایی وارونسازی بدست آمده در مقابل مقاومت صوتی مقایسه میشود و خطای بین مقاومت صوتی هر دو محاسبه و به حداقل رسانیده میشود. الگوریتمهای متفاوتی در فرآیندهای وارونسازی به کار برده میشوند. برای مثال در روش خطی وارونسازی به دلیل پیچیدگی الگوریتم و حجم محاسبات بالا مدت محاسبات ممکن است از چندین دقیقه به چندین روز برسد. وارونسازی به استناد مدل با استفاده از محدودیتها اجازه نمیدهد تا جواب وارونسازی از مدل اولیه زمین شناسی دور شود و جواب غیر صحیحی به نظر برسد. محدودیتها ممکن است محدودیتهای شدید باشد که عبور از آنها ممنوع باشد. همچنین این محدودیتها می توانند ساده باشند که تا حدی اجازه ایجاد خطا در مدل مصنوعی را میدهد. محدودیتهای روش اول می تواند به عنوان حداکثر تغییرات از مقاد یر مدل اولیه باشد محدودیت-می دهد. محدودیتهای روش اول می تواند به عنوان حداکثر تغییرات از مقاد یر اولیه باشد محدودیت-می دهد. محدودیتهای روش اول می تواند به عنوان حداکثر تغییرات از مقاد یر مدل اولیه باشد محدودیت-می دهد. محدودیتهای روش اول می تواند به عنوان حداکثر تغییرات از مقاد یر اولیه باشد محدودیت-مای روش دوم پارامترهای وزندهی هستند که تعیین کننده انحراف مدل امیدانس از مقادیر اولیه و خطای مدل مصنوعی هستند.

۲-۲-۲- وارونسازی احتمالی

وارونسازی احتمالی در مقایسه با وارونسازی قطعی که جوابی با حداقل خطا برای مسئله وارونسازی

¹ Interval Velocity

پیدا می کند، تلاش دارد تا پتانسیل تفسیر جوابهای مسئله وارون را توصیف کند. وارونسازی احتمالی بر خلاف روش وارونسازی قطعی یک جواب بهینه را به مسئله نمی دهد. در ابتدا حالات متفاوتی از امپدانس زیر سطح تولید شده که مدل مصنوعی آنها با دادههای لرزهای در موقعیت چاه همخوانی دارند. اگر تعداد راههای کافی برای تولید حالات متفاوت از مقاومت صوتی وجود داشته باشد، پاسخ بهینه پاسخی نزدیک به وارونسازی قطعی خواهد بود.

۲-۳- مقاومت صوتی

تجمع هیدروکربنها در زیر سطح توسط فاکتورهای زمین شناسی زیادی از جمله نوع سنگ ، عمق سنگ، تخلخل، تراوایی، محتوای سیال و ساختار سنگ کنترل میشود. مهم ترین منبع اطلاعات در این جا مغزهها^۱ و یا خردههای حفاری^۲ هستند. هنگامی که مغزه در دسترس متخصصان نباشد نگارهای^۳ چاهپیمایی توسط مطالعه غیر مستقیم بدست میآیند. یکی از نگارهای مهم نگار صوتی^۴ است که نمودار پیوستهای از سرعت عبور موج صوتی از درون سنگها را به دست میدهد. فاست^۵ (۱۹۵۱) نشان داد که سرعت سنگ معنوان تابعی از شرایط زمین شناسی (لیتولوژی،سن و عمق) تغییر می کند [۱۵]. اندازه گیریهای لرزهای مقادیر دامنه بازتاب میباشند که با سرعت صوتی ارتباط دارد. تغییرات دامنه در مرزهای زمین شناسی به ساختارهای زیر سطحی است، اما دامنهی امواج اطلاعاتی مربوط به نوع سنگ و تخلخل را نیز در خود دارد. دادههای لرزهای و دادههای نگار صوتی اطلاعات مشابه دارند دامنهی بازتابی ردلرزه عمدتا با تغییر سرعت دادههای لرزهای و دادههای نگار صوتی اطلاعاتی مربوط به نوع سنگ و تخلخل را نیز در خود دارد.

⁴ Sonic Log

⁵ Faust

۱۶

¹ Well Cores

² Cuttings ³ Logs

ارتباط بین نگار صوتی و ردلرزه در ضریب بازتاب است. اگر چگالی و سرعت برای ما آشکار باشد ضریب بازتاب توسط معادله (۲–۳) نشان داده می شود.

$$R_{i} = (V_{i+1}\rho_{i+1} - \rho_{i}V_{i})/(\rho_{i+1}V_{i+1} + \rho_{i}V_{i})$$
(r-r)

در معادله (۳–۲) جن Ri (۳–۲) مریب بازتاب I موiV سرعت لایه ام و V_{i+1} سرعت در لایه است، مقدار ρ_i چگالی لایه ام و ρ_{i+1} چگالی لایه است. تاثیر چگالی در رابطه الا عموما کم است، این جمله بدین معناست که تغییرات چگالی به مقدار ناچیزی خواهد بود و می توان آن را نادیده گرفت. پس زمانی که چگالی موجود نباشد می توان ضریب بازتاب را از معادله (۲–۴) بدست آورد.

$$R_{i} = (V_{i+1} - V_{i})/(V_{i+1} + V_{i})$$
(F-T)

R_i مقدار (۲–۹) مقدار V_i سرعت لایهی ilم، مقدار V_{i+1} سرعت در لایهی بعد است و مقدار R_i برای لایههای مورد نظر به دست برابر با ضریب بازتاب در لایهی ilم خواهد بود. هنگامی که ضرایب بازتاب برای لایههای مورد نظر به دست آمد سری ضرایب بازتاب تشکیل داده میشود و با موجک لرزهای هم آمیخته میشود و ردلرزهی مصنوعی را تولید می کند. هدف وارونسازی یک بعدی برداشتن اثر موجک از روی ردلرزه برای بدست آوردن ضرایب بازتاب و در نهایت به دست آوردن مقاومت صوتی لایه هاست. هنگام کار با دادههای لرزهای (شکل ۲–۹) فرض بر این است که داده عاری از نوفه (برای مثال نوفههای چندگانه) و اثر جذب و ... باشد.

¹ Multiples



شکل ۲-۴ اصول روش وارونسازی [۱۶]

۲-۴- مقاومت الاستيك

ایده اصلی روش وارونسازی به استناد مدل مقاومت صوتی(AI) برخورد موج فشاری در زاویهی نرمال به سطح بازتاب در لایههای زمین است. اگر چه در برخی شرایط مانند محدودهی دورافت کم در رکوردهای نقطه عمقی مشترک^۱، فرض گفته شده قابل استفاده باشد و نتایج وارونسازی نتایج قابل قبولی خواهند شد، اما در برخی از ذخایر هیدروکربن مقدار مقاومت صوتی مشاهده شده بین سنگ مخزن اشباع شده از هیدروکربن و شیلهای پوش سنگ^۲ مقادیر نسبتا مشابهی است. تمیز بین دو مقاومت صوتی نزدیک به هم بسیار مشکل خواهد بود و حتی در برخی موارد تحلیل و تفکیک سنگ مخزن و محیط احاطه کنندهی آن

² Cap Rock

¹ Common Depth Point Gathers

بر روی دادههای لرزهای با دورافت صفر غیر ممکن است [۱۱]. با پیشرفت روشهای AVO، جداسازی سنگ مخزن هیدروکربن دار و محیط احاطه کنندهی آن (پوش سنگ) آسان تر از گذشته شده و روشهای AVO مطالعه و تحلیل دادههای دورافت غیر صفر را ضرورت بخشید. پارامترهای الاستیک که توسط روش کانلی به دست آمد، برای تمیز سیال و تخمین لیتولوژی در بسیاری از مخازن به کار گرفته شد.

به صورت خلاصه مقاومت الاستیک (EI) یک عمومی سازی از مقاومت صوتی برای زوایای متفاوت از برخورد پرتو لرزهای است. مقاومت الاستیک قالبی مناسب برای وارونسازی دادههای لرزهای با دورافت غیر صفر است. نتایج مطلوب کانلی (۱۹۹۱) نشان داد که استفاده از روش مقاومت الاستیک نتایج بهتری را در مقایسه با استفاده کمی از اطلاعات AVO به ما میدهد (برای مثال از روشهای کمی میتوان روش زمان تلاقی نقطه بازتاب و گرادیان^۱ را نام برد) [۱۱].

تقریب EI از معادلات خطی زوئپریتز به دست آمده است، که تقریب دوجزئی اکی و ریچاردز نمونهای از این تقریب هاست. رابطه مقاومت الاستیک توسط معادله (۲-۵) نشان داده شده است.

$$EI(\theta) = V_P^a * V_S^b * \rho^c$$
(a-r)

a= $1 + \sin^2(\theta)$ b= $-8K\sin^2(\theta)$ c= $1 - 4K\sin^2(\theta)$

$$K = (\frac{V_s}{V_p})^2$$

ho که در معادله (۲-۵)، heta زاویهی برخورد پرتو، $V_{
m p}$ سرعت موج فشاری، $V_{
m s}$ سرعت موج برشی،

¹ Intercept and Gradient Method

چگالی است. فاکتور K در اغلب موارد ثابت در نظر گرفته می شود و مقدار آن برابر با نسبت میانگین سرعت برشی به میانگین سرعت موج فشاری در سطح بازتاب مورد نظر یا ناحیهی مورد نظر ^۱ است [۱۷].

کانلی (۱۹۹۱) نشان داد که EI با افزایش زاویهی برخورد در مقایسه با AI(مقاومت صوتی) کاهش می اید. محدودیت استفاده از زاویهی برخورد در معادلهی (۲-۵) مسئلهی مهم در روش مقاومت الاستیک بود اما مشکلات اصلی در روش مقاومت الاستیک به کار بردن واحدهای متفاوت و دیمانسیونهای مختلف و مقادیری بود که برای زاویههای مختلف به صورت یکسان مقیاس نمی شدند [۸۸]. به عبارت دیگر مقادیر و مقادیری بود که برای زاویه مختلف به صورت یکسان مقیاس نمی شدند [۸۸]. به عبارت دیگر مقادیر او مقادیری بود که برای زاویه مختلف به صورت یکسان مقیاس نمی شدند [۸۸]. به عبارت دیگر مقادیر و مقادیری بود که برای زاویه می مختلف به صورت یکسان مقیاس نمی شدند [۸۸]. به عبارت دیگر مقادیر او مقادیری بود که برای زاویه می مختلف به صورت یکسان مقیاس نمی شدند (۸۰]. به عبارت دیگر مقادیر او معادی محدودیت EI با واحد خاصی ندارند و با تغییر زاویه، مقدار آنها تغییر زیادی خواهد داشت. مسئلهی محدودیت I با واحد فی ثابتهای نرمال شده می β_0 ، β_0

$$EI(\theta) = \alpha_0 \rho_0 \left[\left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^a * \left(\frac{\beta}{\beta_0} \right)^b * \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^c \right]$$

$$a = 1 + \sin^2(\theta)$$

$$b = -8K \sin^2(\theta)$$

$$c = 1 - 4K \sin^2(\theta)$$

$$K = \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2$$

مقادیر ho ، eta به ترتیب سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی بر روی ناحیهی مورد نظر

¹ Zone of Interest (ZOI)

۲–۵– مقاومت الاستيك توسعه يافته

وایت کام (۲۰۰۲) مفهوم مقاومت الاستیک را با حذف وابستگی دیمانسیون در زاویههای مختلف تابش بهبود بخشید. وایت کام دریافت که برخی از مشخصههای سنگ را از رکوردهای لرزهای موجود به دلیل محدودیت زاویهی بازتاب از زاویه تابش بین ۰ تا ۳۰ درجه نمی توان پیش بینی کرد. این مسئله به دلیل وجود مقدار (θ) $\sin^2(\theta)$ در رابطههای خطی تقریب زوئپریتز بود. مقدار (θ) $\sin^2(\theta)$ برای تخمین برخی از مشخصههای پتروفیزیکی باید بزرگتر از یک شود که این کار غیر ممکن است. مقادیر بازتاب بیش از یک با مشخصههای پتروفیزیکی باید بزرگتر از یک شود که این کار غیر ممکن است. مقادیر بازتاب بیش از یک با تباین مقاومت صوتی منفی همراه هستند که این امپدانس غیر واقعی خواهد بود [۱۹]. بنابراین وایت کام مفهوم مقاومت الاستیک توسعه یافته (تعمیم یافته) EEI را برای حل محدودیتهای مقاومت الاستیک معرفی کرد. وایت کام محدودهی زاویه صفر تا سی درجه را با جانشینی (χ) به جای (θ) \sin^2 به صفر تا نود درجه توسعه داد. در شکل (۲–۵) متغیر زاویهی تابش θ به χ (زاویه کای یا زاویه تصویر سازی) تغییر داده شده که از مثبت ۹۰ تا منفی ۹۰ تغییر میکند. رابطهی مقاومت الاستیک توسعه یافته در معادلهی

$$EEI(\chi) = \alpha_0 \rho_0 \left[\left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)^p * \left(\frac{\beta}{\beta_0}\right)^q * \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^r \right]$$

$$p=(\cos\chi + \sin\chi)$$
(V-Y)

$q=-8Ksin\chi$

$r = (\cos \chi - 4K \sin \chi)$



شکل (۲-۵) تغییر زاویه تابش در مقاومت الاستیک توسعه یافته [۱۸]

در معادلهی (۲-۷) م، β ، α به ترتیب سرعت موج فشاری، سرعت موج برشی، چگالی و ρ ، β ، α (۷-۲) در معادلهی (۲-۷) میانگین سرعت موج فشاری، میانگین چگالی بر روی سطح مورد ρ_0 به ترتیب میانگین سرعت موج فشاری به ترعی موج فشاری نظر و یا ناحیه مورد نظر میباشد. فاکتور K بیانکننده نسبت سرعت موج برشی به سرعت موج فشاری است که اغلب ثابت در نظر گرفته میشود.

تفاوت اصلی بین مقاومت توسعه یافته و مقاومت الاستیک نرمال شده متغییر χ است. مقاومت الاستیک توسعه یافته تابعی از χ (به صورت انتزاعی) و مقاومت الاستیک نرمال شده تابعی از θ (زاویهای به صورت حقیقی که از مشاهدات فیزیکی به دست آمده) است. تغییر متغییر در مقاومت الاستیک توسعه یافته صورت حقیقی که از مشاهدات فیزیکی به دست آمده) است. تغییر متغییر در مقاومت الاستیک توسعه یافته مورت می کند. کارایی و دامنه به کار گیری آن را نسبت به مقاومت الاستیک و مقاومت الاستیک نرمال شده زیادتر می کند. مسئلهی مهم در به کار گیری آن را نسبت به مقاومت الاستیک و مقاومت الاستیک نرمال شده زیادتر می کند. مسئله مهم در به کار گیری زاویه χ امکان محاسبه مقادیر امپدانس فراتر از محدوده مشاهدات زاویه θ است. برای مثال زمانی که مقدار امپدانس برشی 2.15 به (θ) می نشبت داده می شود، واضح است که است. برای مثال زمانی که مقدار امپدانس برشی می از را ز برون یابی خطی دادههای لرزهای بدست این مقدار بصورت فیزیکی قابل ثبت شدن نیست اما می توان آن را از برون یابی خطی دادههای لرزهای بدست

آورد [۲۰].

مقدار لاگ مقاومت الاستیک توسعه یافته (EEI) در زاویه ی χ برابر با صفر شبیه به مقدار لاگ مقاومت الاستیک (EI) درزاویه AI هستند. مقاومت الاستیک (EI) درزاویه ی θ برابر با صفر است. که هر دو مقدار برابر با مقاومت صوتی AI هستند. وایت کام روش سادهای برای استخراج حجمهای مقاومت صوتی و الاستیک از دادههای لرزهای به دست آورد که این دادهها به تغییرات سیال و لیتولوژی حساس هستند. در شرایط مشخص مقدار نگار EEI در زاویههای مختلف χ (شکل۲-۶) متناسب با پارامترهای متفاوت از الاستیک سنگ می باشد [۲۱].

به بیان دیگر بر اساس همبستگی نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته با پارامترهای پتروفیزیکی مخزن (مانند حجم شیل و اشباع آب و تخلخل) و یا یک پارامتر الاستیک (مانند مدول حجمی، مدول برشی و ثابت های لامه و ...) میتوان زاویهی بهینه χ را برای نگارهای مقاومت الاستیک توسعه یافته به دست آورد [۲۲]. نگار به دست آمده میتواند در همبستگی چاه برروی دادههای لرزهای به کار رود. سهولت روش EEI تولید کردن حجم نشانگرهای EEI است که با پارامتر پتروفیزیکی مورد نظر تطابق دارد. معادله(۲–۸) تقریب خطی دو جزئی از معادلهی زوئپریتز برای بازتاب است. در معادله(۲–۸) A برابر با زمان تلاقی نقطه بازتاب و B گرادیان است.

$$R_{\rm P}(\theta) = A + B \sin^2(\theta) \tag{A-T}$$



شکل (۲-۶) مقایسه مقاومت الاستیک محاسبه شده و نگار های الاستیک اندازه گیری شده دریک چاه [۱۸]

با جانشانی χ به جای θ توسط وایت کام در معادله (۲–۸) زاویه از منفی نود درجه تا مثبت نود درجه تغییر می کند و معادله (۲–۸) به صورت معادله (۲–۹) نوشته خواهد شد.

$$R_{P}(\chi) = A + Btan(\chi) \tag{9-7}$$

در این پایاننامه وارونسازی مقاومت الاستیک توسعه یافته برای بدست آوردن دادههای لرزهای مختلف که با پارامترهای پتروفیزیکی و الاستیکی حساس به لیتولوژی از جمله نسبت سرعت موج برشی به فشاری،
ضرایب لامه (LMR)، و.... به کار خواهد رفت. شکل(۲–۷) نشان دهندهی مفهوم عمومی وارونسازی EEI است. همانند روشهای معمول وارونسازی در دادههای لرزمای، در ابتدا یک مدل زمینشناسی از دادمها ساخته میشود، این مدل معمولا مدل سرعتی است که بر اساس اختلاف سرعت در آن لایهها جداسازی میشوند. سپس حجم دادمهای لازم برای وارونسازی از تقریب معادلات زوئپریتز به دست میآید و درنهایت نرمافزار همپسون و راسل با استفاده از الگوریتمهای وارون سازی از دادمهای بازتابی EEI و مدل اولیهی EEI، مقاومت الاستیک توسعه یافته را محاسبه میکند. وارونسازی مقاومت الاستیکی توسعه یافته شامل ساختن دادمهای مقاومت الاستیک توسعه یافته در زاویه (۲) و ایجاد مدل مقاومت الاستیکی توسعه یافته در زاویه (۲) وارونسازی آن با الگوریتمهای وارونسازی برای رسیدن به جواب نهایی است.



شکل (۲-۲) وارونسازی EEI [۲۰]

۳ فصل سوم

تهيدي مقاطع مقاومت الاستيك توسعه مافته و

وارون سازی

۳-۱- مروری بر زمینشناسی منطقه

دریای شمال یکی از دریاهای حاشیهای اقیانوس اطلس میباشد که در بین کشورهای بریتانیای کبیر، اسکاندیناوی، آلمان، هلند، بلژیک و فرانسه قرار دارد. دریای شمال (شکل ۳–۱) دارای طول بیش از ۹۷۰ کیلومتر و ۵۸۰ کیلومتر عرض و مساحتی بالغ بر ۵۷۰٬۰۰۰ کیلومتر مربع است.

توپوگرافی دریای شمال عمدتا نشأت گرفته از تاثیر ساختارهای ژرف زمینشناسی بر الگوهای نهشتگی رسوبی حوزه رسوبی دریای شمال است. نفت و گاز دریای شمال از گلسنگ ^۱هایی با عمق زیاد از حدود ۶۵ میلیون سال پیش تا به امروز به وجود آمدهاند. الگوهای منطقهای رسوب گذاری در پالئوسن تغییرات زیادی دارد و عمدتا ذرات درشت آواری رسوب گذاری شده در منطقه جنوبی گراین وایکینگ^۲ با سن پالئوسن از جریانهای رسوبگذاری و توربیدایتها تشکیل شدهاند. سازند هیمدال^۳ در نمودار شکل (۳– ۲) با سن پالئوسن از سازندهای دارای هیدروکربن در مناطق شمالی، واقع در دریای شمال است [۲۴].

سازند هیمدال دارای لایههای ماسهسنگی ضخیم است. درون این سازند لایههایی به صورت متناوب از جنس ماسهسنگ نازک لایه و گلسنگهای نازک لایه دیده میشود. ماسهسنگها به صورت جزئی دارای سیمان شدگی هستند و جورشدگی آنها نیز از ریز به درشت است. مقادیر متغیری از گلاکونیت به همراه کلسیت در لایههای ماسهسنگی دیده شده است. لایههای گلسنگ دارای لایهبندی ضعیف و اغلب آنها بدون کلسیت هستند.

³ Heimdal

¹ Mud Stone

² South Viking Graben



شکل (۳-۱) گرابن وایکینگ واقع در دریای شمال [۲۳]

Group	System	Series	Stage	Central North sea	Norwegian- Danish Basin	Southern Viking Graben	Tampen Spur	Horda Platform					
dland	QUATERNARY	Plei Holo	U Calabria Gela										
Nor	GENE	Plio	Pia Zan	 Utsira 									
Hordaland	PALAEOGENE NEO	lig Mio	Mess - Aquit Chat			Skade S							
		Eoc O	Rup Pria - Vorer			Station State	Grid States	Balder — — — —					
Roga- land		Pal	Than - Dan	Kinderson Lista		Heimdal	Hermod Hermod S	Sele Lista Vàle					
Shetland	CRETACEOUS	υ	Maast Camp Sant Coni	Tor	Hod	Tor Jorsalfare Hod Kyrre	Jorsalfare Kyrre	Hardråde					
			Tur Cen	Blodøks	Blodøks	Tryggwason Blodeks Svarte	Tryggvason Blodgks Svartg	Svarte					
Cromer Knoll		L	Alb Apt Barr Haut Valang Berr	Rødby Sola Sola Sola Sola Sola Sola Sola Sola	Sola Sauda	Rank Sola Asgard	Rødby 	A Sola					
'iking/Tyne/ Boknfjord and	JURASSIC	U	Tith Kimm Oxf	Farsund Haugesund	Flekkefjord Tau Egersund	Draupne Brae	Draupn Heather	e Draupne e Sognefjord Heather					
Brent/ Fladen Vestl		м	Call Bath Bajoc Aalen	Bryne Fm	Sandnes Bryne Fm	Hugin Sleipner Fm	Tarbert — Ness — — Etive	Ness Oseberg					
Dunlin		L	Toarc Plienc Sinem Hett		E Fjerritslev		Drake Cook Nansen A	Drake Cook mundsen Johansen					
in statund Jylland Mors Hegre	RIASSIC	υ	Rhæt Nor	Gassum	Skagerrak		Eiriksson Raude Lunde	Lunde					
		м	Carn Ladin Anis	Skagerran	Alke —	Alke Lomvi	Alke Lomvi	Alke == =					
	1	L Lopin-	Olenek Induan Changhsi -	Smith Bank	Smith Bank	Smith Bank Zechstein	Upper Rotliegend 2	Ieist					
Rotiegend Zechsi equ	PERMIAN	Gian Gualian Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Guada- Gua	Wuchi Capitan - Roadian Kung Artin Sakm Assel	Upper howesened	,	1		-					
	CARBONIFEROUS	Pennsyl- vanian	Gzel Kasim Moscov Bash										
		Mississ- ipian	Serpuk Vise Tour			2		_					
Uplifted/eroded area Calcareous shales, limestone and marl stringers Clastic continental deposits, mainly sandstone Coastal, deltaic and flood-plain deposits Clastic continental deposits, mainly shale and siltstone Coastal, deltaic and flood-plain deposits Salt (halite) Shallow-marine deposits, mainly shale Deep-marine carbonate deposits Deep-marine deposits, mainly shale Volcanic deposits Deep-marine deposits, mainly shale													

شکل (۳-۲) سازند هیمدال با سن پالئوسن (مدیریت نفت نروژ)

۲-۳- دادههای موجود و پردازشهای انجام شده

دادههای موجود شامل دادههای چاه و دادههای لرزهای قبل از برانبارش در یکی از چاههای میدان هیمدال در دریای شمال میباشد. نگارهای چاه هدف در چاه مورد مطالعه در کشور نروژ توسط شرکت نورسک هیدرو^۱ در قسمت شمالی گرابن وایکینگ ثبت شده است. نگارهای موجود شامل سرعت موج فشاری (V_P)، سرعت موج برشی (V_S)، چگالی کپه ای (RHOB)، پرتو گاما (GR)، تخلخل نوترون (NPHI) است. در شکل(۳–۳) نگارهای موجود برای مطالعه به نمایش گذاشته شده اند.



شکل (۳-۳) نگارهای چاه مطالعاتی

جدول ۱ نگارهای موجود در چاه مطالعاتی

Resistivity	RHOB	NPHI	GR	Vs	V _p	نگار
X	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	\checkmark	چاہ هدف

¹ Norskhydr

دادههای لرزهای مورد استفاده شامل یک خط برداشت دو بعدی از برداشت سه بعدی SK است. خط برداشت دو بعدی از XLINE 1326 بدست آمده است. پیش پردازشهای انجام شده فیلتر FK، بازیابی دامنه^۱، حذف چندگانهها به روش رادون^۲، و مهاجرت قبل از برانبارش با برونراند شیب و برونراند نرمال است. در شکل (۳–۴) دادههای لرزهای موجود به نمایش در آمده است.



شکل (۳-۴) دادههای قبل از برانبارش

۳-۳- ارزيابي پتروفيزيكي

نگارها و دادههای مغزه اطلاعات ورودی ارزیابی پتروفیزیکی هستند که توسط روشهای مختلفی مورد تفسیر و ارزیابی قرار می گیرند. روشهای کلاسیک تفسیر دادههای چاه مانند آنالیز مغزه و یا استفاده از نمودارهای متقاطع^۳ و تفسیر دستی نگارهای موجود به دلیل دقت پایین و هزینهی عملیاتی کاربرد

³ Cross plots

¹ Gain Recovery

² Radon Demultiple

کمتری را از روشهای نوین پتروفیزیکی دارد. از همین رو برای موفقیت در تخمین ذخایر و صحت بالاتر در تفسیر دادهها از روش نوین مبتنی بر آمار و احتمالات در ارزیابی دادههای پتروفیزیکی که عموما دارای بیش از یک متغیر هستند استفاده میشود. در این تحقیق برای ارزیابی پتروفیزیکی از نرم افزار ژئولاگ استفاده شده است.

قبل از ارزیابی پتروفیزیکی نمودارها باید در ابتدا ویرایش و آماده سازی شوند و سپس محاسبات مقدماتی بر روی آنها انجام شود و بعد از آن تصحیحات محیطی بر روی نگارهای چاه مورد نظر اعمال شود. در پایان روشهای قطعی و یا آماری در ارزیابی پتروفیزیکی برای تعیین لیتولوژی استفاده میشود.

در روشهای قطعی از نمودارهای متقاطع استفاده میشود اما در روشهای آماری به دلیل انعطاف-پذیری بیشتر و دقت بالاتر نمودارهای متقاطع به تنهایی مورد استفاده قرار داده نمیشوند. در روش چند متغیره در نرمافزار ژئولاگ پاسخ نهایی به صورت درصد حجمی اجزاء تشکیل دهندهی سازند نمایش داده میشود. در چاه هدف در عمق ۲۱۵۳ متری زون هیمدال را در ارزیابی حاصل از نرم افزار ژئولاگ را مشاهده میکنید که در شکل (۳–۵) این مرز از ناحیه بالا به پایین ارزیابی تفکیک شده است. نتیجه نهایی ارزیابی با نرم افزار ژئولاگ به صورت یک ستون لیتولوژی در شکل(۳–۵) قابل مشاهده است. حضور کوارتز در قسمت مخزن و تخلخل نسبی بالای آن تایید کننده زون مخزنی سازند هیمدال در این منطقه است. همچنین در عمق ۲۵۱۰متری تا ۲۵۱۰ متری نتایج ارزیابی پتروفیزیکی وجود لایه شیلی را در این قسمت تایید میکند. این لایه در قسمت پایین و کف مخزن هیمدال قرار دارد. همچنین در قسمت بالای مخزن تایید میکند. این لایه در قسمت پایین و کف مخزن هیمدال قرار دارد. همچنین در قسمت بالای مخزن تایید میکند. این میز و تخلخل متری نیز وجود لایهی نفوذ ناپذیر از همین جنس در نتایج ارزیابی همای مخزن تایید میکند. این مینای میز و تود لایه مخزن هیمدال قرار دارد. همچنین در قسمت بالای مخزن تایید میکند. این مین میز و تفایی این و کف مخزن هیمدال قرار مارد. همچنین در قسمت بالای مخزن

¹ Geolog



شکل (۳-۵) لیتولوژی زون هیمدال حاصل از ارزیابی که در عمق ۲۱۵۳ متری لیتولوژی زون مخزنی نمایان می شود.

۳-۴- ارتباط چاه و لرزه

بهترین راه برای تایید صحت اطلاعات زیر سطحی لرزهای مقایسه تصویر لرزهای و اطلاعات چاه از طریق ارتباط چاه و لرزه است. در این پایاننامه به دلیل گستردگی زیاد مبحث ارتباط چاه با لرزه از پرداختن کلی به این موضوع خودداری شده و به صورت خلاصه به بررسی ارتباط چاه و لرزه پرداخته خواهد شد.

تنها راه ارتباطی دادههای چاه و دادههای لرزهای موجک لرزهای^۲ است، پس در تعیین موجک لرزهای

² Seismic Wavelet

¹ Well Tie

باید از دقت زیادی استفاده شود تا صحت موجک در مدلسازی پیشرو بالا برود و نتایج قابل قبولی به دست آید. در ابتدا بصورت مختصر چندین روش ارتباط دادههای چاه و لرزهای بررسی میشود و روش پایانی و مورد استفاده در مدلسازی پیشرو و نتایج آن در پایان این بخش نشان داده خواهد شد.

روش همبستگی سرعت^۱

در این روش اطلاعات چاه و اطلاعات لرزهای با استفاده از مقادیر سرعت همبسته میشود و مقادیر دامنه دادههای لرزهای در روش همبستگی سرعت به کار نمیرود. برعکس روشهای معمول در این روش از لرزهنگاشتهای مصنوعی استفاده نمیشود. امتیازات این روش نسبت به سایر روشها عبارتند از: پیوستگی بالاتر لایههای سرعت نسبت به لایههای بازتابی، کاهش زمان پیوستگی دادههای چاه و دادههای لرزهای.

روش پروفیل لرزهای عمودی ^۲

روشهای متعددی برای برداشت پروفیل عمودی لرزهای وجود دارد. دادههای پروفیل لرزهای عمودی توسط ارتعاشات منبع سطحی و ثبت داده توسط ژئوفونهای قرار گرفته درون چاه به دست میآیند. موقعیت عمقی لایههای چینه شناختی از بررسیهای پتروفیزیکی مشخص است و زمان متناظر چینه شناختی سازند (زمان رسید لرزهای) از روش پروفیل قائم لرزهای به دست میآید. مزایای دادههای پروفیل لرزهای عمودی عبارت است از: جزئیات بسیار بالا ومعلوم بودن موجک لرزهای.

مدلسازی پیشرو لرزهای برای ساخت لرزهنگاشت مصنوعی از نگار صوتی و چگالی

برای ساخت لرزهنگاشت مصنوعی از نگار صوتی و نگار چگالی از دادههای چاه، نگار صوتی و نگار چگالی باید از ویرایش و تصحیح خوبی برخوردار باشند و دادههای لرزهای برداشت شده باید تا حد امکان

² Vertical Seismic Profiling (VSP)

¹ Velocity Correlation Method

نمایش صحیحی از چینهنگاری و مشخصههای سنگ را داشته باشد. هدف نهایی در ساخت لرزهنگاشت مصنوعی به دست آوردن موجک لرزهای است. پس از اصلاحات لازم بر روی نگارهای چاه با استفاده از مدل هم آمیختی که مسیر پرتو به صورت مفروض عمودی و لایهها دراین مدل افقی هستند، مقاومت صوتی لایهها بدست خواهد آمد. مقاومت صوتی (امپدانس) بدست آمده از هر لایه با فرض افقی بودن لایهها و هموژن بودن و همسانگرد بودن لایه در شکل (۳–۶) به دست آمده است.



شکل (۳-۶) مقاومت صوتی به دست آمده از نگار صوتی و نگار چگالی

در ادامه ناحیهی مورد نظر در دادههای لرزه انتخاب می شوند و سپس با استفاده از نرم افزار همپسون راسل موجک لرزهای از دادههای موجود استخراج می شود که این موجک در شکل(۳–۷) نشان داده شده است. موجک لرزهای توسط نرمافزار همپسون راسل به صورت آماری استخراج می شود. در استخراج موجک از دادههای لرزهای و بدون استفاده از دادههای چاه ساده ترین راه در نظر گرفتن فاز صفر برای موجک است.



شکل (۲-۳) موجک استخراج شده

پس از استخراج موجک لرزهای، همبستگی لرزهنگاشت مصنوعی را با دادههای لرزهای ضبط شده به بالاترین مقدار می رسانیم. به منظور افزایش مقدار همبستگی با استفاده از جابهجایی زمانی^۱، جابه جایی زمانی باقیمانده از تصحیح استاتیک را به حداقل مقدار می سانیم و سپس با استفاده از فشردگی^۲ و کشیدگی^۳ زمانی، دامنههای نظیر به نظیر را در لرزهنگاشت مصنوعی و لرزهنگاشت ضبط شده را به یکدیگر نزدیک می کنیم. مراحل بالا را تا زمانی تکرار می کنیم که همبستگی لرزهنگاشت مصنوعی و لرزهنگاشت حقیقی به حداکثر مقدار خود برسد. در شکل (۳–۸) شکل لرزهنگاشت مصنوعی قبل از همبستگی با چاه نشان داده شده است. مقدار همبستگی قبل از ایجاد ارتباط چاه ودادهی لرزهای ۱۲ درصد است. در شکل (۳–۸)

³ Strech

¹ Time Shift

² Squeeze

در بخش(۳–۷) هستند. ردلرزههای قرمز رنگ که به ردلرزههای ترکیبی معروفاند، از میانگین گیری تعداد ردلرزهی انتخابی توسط کاربر بدست میآید. ردلرزهی آبی رنگ از همآمیخت موجک استخراج شده در هر مرحله و مقدار امپدانس محاسبه شده از نگار سرعت موج فشاری و نگار چگالی بدست آمده است که ردلرزهی مصنوعی نام دارد.



شکل (۸-۳) تصویر لرزه نگاشت مصنوعی قبل از همبستگی

در شکل (۳-۹) مقدار همبستگی با دادهها بعد از استخراج موجک و ایجاد جابجایی زمانی و فشردگی و کشیدگیهای لازم به حداکثر مقدار ممکن (حدود ۷۰ درصد) رسیده است. در شکل (۳-۹) ردلرزهی سیاه رنگ نمایش دهنده ردلرزههای حقیقی برانبارش شده است. ردلرزههای قرمز رنگ که به ردلرزههای ترکیبی معروفاند، از میانگین گیری تعداد ردلرزهی انتخابی توسط کاربر بدست میآید. ردلرزهی آبی رنگ از هم-آمیخت موجک استخراج شده و مقدار امپدانس محاسبه شده بدست آمده است، که ردلرزهی آبی رنگ ردلرزهی مصنوعی نام دارد.



شکل (۹-۳) تغییرات لرزهنگاشت مصنوعی بعد از همبستگی

B - ۵- ۲- نشانگرهای A و B

با استفاده از تقریب اِکی و ریچاردز مقادیر A و B از دادههای لرزهای قبل از برانبارش استخراج خواهد شد. تقریب اِکی و ریچاردز رابطهی خطی بین دامنهها و دورافت را نشان می دهد. در شکل (۳–۱۰) نشانگر A و در شکل(۳–۱۱) نشانگر B نمایش داده شده است. مقدار A عبارت است از مقدار ضریب بازتاب موج فشاری در زاویهی نرمال که این مقدار زمان تلاقی بازتاب نامیده می شود. مقدار B گرادیان تغییرات دامنه با دورافت است که رابطهی مستقیمی با تغییرات نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی دارد. در مطالعات مقاطع عرضی این دو نشانگر به دلیل کوچک بودن مقادیر A و B عموما از حاصلضرب این دو مقدار استفاده می شود. در این قسمت مقادیر حاصل برای به دست آوردن مقطع بازتابی در زاوایای کای مورد نظر به کار خواهند رفت.



شکل (۳-۱۰) تصویر نشانگر A از دادههای ضبط شده



شکل (۳-۱۱) نشانگر **B** حاصل از دادههای ثبت شده

۳-۶- مقاطع EEI و وارونسازی

۳-۹-۱-۹-۱ نسبت را برده می شود. این نسبت را برده می شود. این نسبت را برده می شود. این نسبت برای تعیین نوع سیال نیز به کار می رود. سرعت موج فشاری به تغییرات سیال نسبت به سرعت موج نسبت برای تعیین نوع سیال نیز به کار می رود. سرعت موج فشاری به تغییرات سیال نسبت به سرعت موج برشی بیشتر حساسیت نشان می دهد. موج فشاری از بدنه سنگ و از سیال سنگ عبور می کند و در محیط مای گازی سرعت کمتری را از خود نشان می دهد. موج برشی برخلاف موج فشاری نسبت به تغییرات سیال نمان دهنده ی مای گازی سرعت کمتری را از خود نشان می دهد. موج برشی برخلاف موج فشاری نسبت به تغییرات سیال حساسیت کمی را از خود نشان می دهد. و بیشتر از بدنه سنگ عبور می کند. شکل (۳-۱۲) نشان دهنده ی نمودار نسبت موج فشاری به تغییرات سیال منده می مای گازی سرعت کمی را از خود نشان می دهد. و بیشتر از بدنه سنگ عبور می کند. شکل (۳-۱۲) نشان دهنده ی نمودار نسبت موج فشاری به موج برشی است.



شکل (۳-۱۲) نمودار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی

در شکل (۳–۱۳) مقدار همبستگی نمودار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی با نمودار-های EEI در زوایای مختلف نشان داده شده است. حداکثر مقدار همبستگی در شکل(۳–۱۳) نشان دهندهی زاویهی χ مورد نظر برای به دست آوردن مقطع بازتابی از نمودار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی است.



شکل (۳-۳) نمودار همبستگی نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی و EEI درزوایای مختلف

در شکل (۳–۱۴) نگار EEI در زاویه χ مربوطه و نگار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی با هم مقایسه شده است. در شکل (۳–۱۴) نگار نسبت سرعت فشاری به سرعت برشی بدون بعد است. اما نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته دارای بعد است. از لحاظ دیمانسیون نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته دیمانسیونی به مانند مقاومت صوتی خواهد داشت. مقایسه دو نگار نشان دهندهی انتخاب زاویه صحیح برای نسبت سرعت موج فشاری به موج برشی است که در ادامه برای بدست آوردن مقطع بازتابی به کار خواهد رفت.



شکل (۳-۱۴) مقایسه نگار EEI در زاویهی ۵۴ درجه و مقایسهی با نگار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی در شکل (۳–۱۵) مقطع بازتابی حاصل از زاویه χ = 54 که با استفاده از معادله (۲–۹) به دست آمده است.



شکل (۳-۱۵) مقطع بازتابی حاصل از زاویه نگار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی

نتایج وارونسازی حاصل برای نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی و نگارهای آن در شکل (۳–۱۶) نشان داده شده است. در مقطع وارون برای نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی در قسمت مخزنی ماسه سنگی این مقدار با مقادیر بالا و پایین لایه مخزنی دارای تفاوت است. نتایج وارون از مقطع بازتابی حاصل برای نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی و نگار نسبت سرعت موج فشاری به نسبت سرعت موج برشی در شکل(۳–۱۶) نشان داده شده است. در مقطع وارون مقاومت الاستیک فشاری به نسبت سرعت موج برشی در شکل(۳–۱۶) نشان داده شده است. در مقطع وارون مقاومت الاستیک فشاری به سرعت موج برشی در شکل(۳–۱۶) نشان داده شده است. در مقطع وارون مقاومت الاستیک موجه یافته در شکل (۳–۱۶)، مقدار امپدانس از زیر افق شماره ۱ در جایی که نگار نسبت سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی مقدار بالایی دارد و لایه شیلی است، دارای مقداری ثابت نزدیک به ۵۵۰۰ متر بر ثانیه در گرم بر سانتیمتر مکعب است. با ورود به زون مخزنی به دلیل افزایش عمق و به تبع آن افزایش سرعت و چگالی مقدار امپدانس افزایش مییابد تا به لایهی شیلی برسد. درلایهی شیلی کاهش امپدانس مشاهده میشود و با عبور از لایهی شیلی در زیر مخزن مقدار امپدانس در مقطع وارون مقاومت الاستیک توسعه یافته افزایش مییابد. تغییرات امپدانس توسعه یافته در همهی مقاطع به شکل بالاست و

تنها كيفيت اين مقاطع با يكديگر متفاوت است.



شکل (۳-۱۶) مقطع وارون حاصل از زاویه نگار سرعت موج فشاری به سرعت موج برشی

۳-۶-۲ نگار گاما

سنگهای شیلی در حالت کلی از سنگهای آواری مانند ماسهسنگ و یا سنگهای کربناته دارای مقدار رادیواکتیویته بیشتری هستند. حجم شیل به صورت درصد و یا نسبتی از کل یک سنگ از نگار پرتو گاما به دست میآید و نشان دهندهی حضور و یا عدم حضور رس در سنگ هاست.

در شرایط معمول مقادیر حجم شیل پایین نشان دهندهی رخسارههای تمیز مانند ماسهسنگ است و مقادیر حجم شیل بالا نشان دهندهی رس بالاست که میتواند به عنوان یک رخسارهی شیلی در نظر گرفته شود. در شکل (۳–۱۷) مقدار همبستگی نگار پرتو گاما و نگار EEI نشان داده شده است. حداکثر همبستگی در زاویهی χ مربوطه نشان دهندهی زاویهی کای برای به دست آوردن مقطع بازتابی از پرتو گاما در آن زاویه است.



شکل (۳-۱۷) نمودار تعیین مقدار همبستگی برای نگار گاما در زوایای مختلف

در شکل (۳–۱۸) نگار EEI در زاویهی مربوطه و نگار پرتو گاما آورده شده است. در شکل (۳–۱۸) نگار پرتو گاما و نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته در زاویه ۹۰ درجه نشان داده شده است. به دلیل همبستگی کم نمودار پرتو گاما و نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته در برخی از قسمتهای نگار تشابه خوبی دیده نمیشود. نگار شکل (۳–۱۸) میتواند نشان دهندهی این موضوع باشد که نگارهای مقاومت الاستیک توسعه یافته در زاوایای متفاوت میتواند تشابه زیادی را با نگارهای الاستیک را از خود نشان دهد، اما این نگار نمیتواند تشابه خوبی را با نگارهایی مانند نگار گاما داشته باشد.



شکل (۳-۱۸) نمودار نگار گاما و نگار EEI در زاویهی ۹۰ درجه

در شکل (۲–۱۹) مقطع بازتابی حاصل از معادله (۲–۹) در زاویه $\chi = 90 = \chi$ نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۹) مقطع بازتابی حاصل از نگار گاما

در شکل (۳–۲۰) مقطع حاصل از وارونسازی مقطع بازتابی برای پرتو گاما و نگار پرتو گاما برای مقایسه آورده شده است.



شکل (۳-۲۰) مقطع حاصل از وارونسازی مقطع بازتابی گاما

LMR¹ بررسی

ضرایب لامه شامل ضریب فشردگی ناپذیری (λ) و ضریب سختی (μ) است. مقادیر ضرایب لامه برای ضریب لامه (λ) از معادله((-1) به دست میآید.

$$Z_p^2 = (\rho V_p)^2 = (\lambda + 2\mu) \Longrightarrow \lambda_p = Z_p^2 - 2Z_s^2$$
(1-7)

¹ Lambda-Mu Rhob

³ Ridgidity

² Incompressibility

ضریب لاندا-رو یا فشردگی ناپذیری پارامتر مفیدی برای تمیز سیال در سنگ است. مطالعات نشان داده است که ماسه سنگهای شامل هیدروکربن در مقایسه با ماسه سنگهای دارای آب دارای چگالی کمتری هستند و فشردگی بالاتری را نسبت به ماسه سنگهای اشباع از آب نشان میدهند. در شکل(۳-۲۱) مقادیر نگار لاندا-رو برای چاه هدف نشان داده شده است.



شکل (۲۱-۳) نمودار لاندا

در شکل (۳-۲۲) مقادیر همبستگی EEI و نگار های لاندار-رو نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۲) مقدار همبستگی برای نمودار لاندا

در شکل(۳–۲۳) نگار EEI در زاویه ی $\chi = 18$ محاسبه و با نگار لاندا مقایسه شده است.



شکل (۳-۲۳) مقایسه نگار EEI در زاویهی مربوطه ونگار لاندا

در شکل (۳–۲۴) مقطع بازتابی حاصل از نگار لاندا-رو با استفاده از معادله (۲–۹) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۴) مقطع بازتابی حاصل از زاویهی کای مربوط به نگار لاندا

در شکلهای (۳-۲۵) مقطع وارون حاصل از مقطع بازتابی لاندار-رو نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۵) مقطع وارون حاصل از مقطع بازتابی لاندا

ضریب MU-RHO به عنوان مقاومت در برابر کنش در سنگ تعریف می شود، که حاصل آن تغییر شکل در سنگ بدون ایجاد تغییر در حجم سنگ است. پارامتر مو-رو به دلیل رابطهی آن با ماتریس سنگ بسیار مفید است. برای مثال کوارتز کانی اصلی در ماتریس سنگ هاست و مقادیر سختی زیادی از خود نشان می دهد، در حالی که کانی های شیل مقادیر متفاوتی از سختی را نشان می دهد. ضریب (µ) از معادله (۳-۲) به دست می آید.

$$Z_s^2 = (\rho V_S)^2 = \mu \rho \tag{7-7}$$

در معادلهی (۲–۳) Z_s مقاومت موج برشی، ρ چگالی، V_p سرعت موج فشاری است. در شکل (۳–۲۶) مقادیر نگار میو-رو برای چاه هدف نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۶) نمودار میو -رو

Correlation between target and EEI curves - WELL-2 Coefficient 1.00 0.75-0.50-0.25-0--0.25 -0.50--0.75--1.00 -40 -30 -20 0 Angle (Chi) 10 20 30 40 50 60 70 80 -60 -50 -10 -80 -70 Legend Mu-Rho (max 0.992943 @ -41 deg)

در شکل (۳-۲۷) مقادیر همبستگی EEI در زاویهی مربوطه و نگار میو -رو نشان داده شده است.

شکل (۳-۲۷) نمودار مقدار همبستگی نگار میو- رو

در شکل(۳–۲۸) نگار EEI در زاویه ی $\chi = -41$ محاسبه و با نگار میو مقایسه شده است.



شکل (۳-۲۸) نمودار EEI محاسبه شده در زاویهی مربوطه و مقایسهی آن با نمودار میو-رو

در شکل (۳–۲۹) مقطع بازتابی حاصل از نگار میو-رو با استفاده از معادله (۲–۹) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۹) مقطع بازتابی حاصل از زاویهی کای مربوط به نگار میو

در شکلهای (۳-۳۰) مقطع وارون حاصل از مقطع بازتابی میو-رو نشان داده شده است.



شکل (۳-۳۰) مقطع وارون حاصل از مقطع بازتابی میو

پس از بررسی مقاطع وارون حاصل از مقاطع بازتابی در زاویای مختلف کای، مقاطع وارون حاصل از

نمودار نسبت سرعت فشاری به سرعت موج برشی و میو-رو بهترین تفکیک مقدار امپدانس را برای لیتولوژی نشان میدهند. نمودار میو-رو که در قسمت بالایی مقادیر امپدانس به دلیل وجود لایه شیلی مقادیر پایین را نشان میدهد و پس از آن در قسمت مخزنی با افزایش عمق، مقدار امپدانس افزایش مییابد. اما با رسیدن به قسمت شیلی در پایین مقطع، مقادیر امپدانس به طور ناگهانی کاهش مییابد که این تغییر نیز با نگار میو-رو در شکل(۳–۳۰) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از مقاومت الاستیک توسعه یافته که در این تحقیق به دست آمده، به دلیل نبود اطلاعات چاه دیگر برای تایید نتایج قابل استناد نیستند.

۴ فصل جمارم ۲

بيم بيم ويشهادات

۴-۱- نتیجهگیری

روشهای مطالعه تغییرات دامنه در مقابل دورافت به طور کلی به دو دسته روشهای دامنه در مقابل دورافت از دادههای بازتابی و مقاومت الاستیک دامنه در مقابل دورافت تقسیم میشود. در برانبارشهای معمول دادههای پیش از برانبارش در نهایت یک مقطع برانبارش را در اختیار مفسر قرار میدهند. اما در روش AVO با توجه به نیاز مفسر به اطلاعات لرزهای برای تفسیر مورد نیاز مفسر، روش مورد نظر از روشهای دامنه درمقابل دورافت انتخاب میشود. در روشهای بازتابی عموما با استفاده از تغییر دامنه در مقابل دورافت در نمودار متقاطع و نمودار رگرسیون تفسیرهای ممکن برای لیتولوژی یا سیال انجام شود. اما در روش مقاومت الاستیک توسعه یافته مقادیر امپدانس حاصل از وارونسازی نتیجه ملموستری را برای تخمین لیتولوژی در مراحل بعدی به زمینشناس ارائه میدهد.

بررسیهای صورت گرفته بر روی مقاطع مقاومت الاستیک توسعه یافته در این پایاننامه نشان دهنده-ی وجود تغییرات امپدانس نسبی در توالی شیلی-ماسهای در بالا و پایین مخزن هیمدال در این مقاطع میباشد. برای بررسی تغییرات لیتولوژی اثر سیال بر روی دادههای لرزهای باید به حداقل رسانیده شود. این کار توسط انتخاب زوایای مختلف کای از طیف مقاومت الاستیک توسعه یافته که شامل منفی نود تا مثبت نود درجه است میباشد. انتخاب زاویهی کای بر اساس همبستگی نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته با منام منفی نود تا مثبت نگارهایی که ارتباط موثری با تغییرات لیتولوژی در دادهها از خود نشان دهند، انجام شده است.

در بررسی همبستگی نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته و نگار سرعت موج فشاری به موج برشی زاویهی بدست آمده برابر با مقدار ۵۴ درجه میباشد. در بررسی همبستگی نگار مقاومت الاستیک توسعه یافته و نگار میو-رو زاویهی منفی۴۱ درجه بالاترین مقدار همبستگی را بدست میدهد. با استفاده از زوایای کای بدست آمده، مقاطع بازتابی از مقاومت الاستیک توسعه یافته (REEI) بدست میآید. با توجه به این نکته تغییرات لیتولوژیک بیشترین اثر را در مقدار بازتاب از ساختارهای زیر سطحی به صورت عمودی و جانبی در مقاطع دارا میباشند، با کمینه کردن اثر کلی بازتاب بر مقاطع بازتابی انتظار حضور تغییرات لیتولوژیک در این مقاطع بالا میرود. در مرحله آخر وارونسازی مقاطع بازتابی از زوایای مختلف کای، مقادیر امپدانس نسبی را از مقاطع بازتابی مقاومت الاستیک توسعه یافته بدست میدهد. بررسی تغییرات لیتولوژیک بین دو افق لیتولوژیک در مقاطع امپدانس نشان دهنده افزایش امپدانس نسبی در قسمت شیلی، سپس افزایش مقاومت در لایه ماسهای و با رسیدن به لایه شیلی کاهش مقدار امپدانس نسبی را در مقاطع وارون خواهیم داشت.

۲-۴ پیشنهادات

در بخش ارزیابی پتروفیزیکی برای تعیین لیتولوژی به کارگیری همه نگارهای موجود اعم از نمودارهای مقاومت و نمودارهای صوتی و القایی و ... و استفاده از آنالیزهای مغزه و مقاطع صیقلی اطمینان بالاتری را به مفسر در مراحل بعد خواهد داد.

در بخش فیزیک سنگ، جانشانی سیال برای تامین اثر سیال بر نگار های صوتی کافی نیست استفاده از قالبهای فیزیک سنگ و محدود کردن پاسخ AVO در این مرحله بسیار مهم است.

در این پایاننامه فقط از یک چاه برای بررسی مقاومت الاستیک در یک مقطع دو بعدی استفاده شده است. استفاده از چندین چاه برای به کار بردن روش مقاومت الاستیک توسعه یافته دادههای لرزهای صحت بالاتری را در نتایج حاصل ایجاد خواهد کرد.

روش مقاومت الاستیک توسعه یافته از جمله روشهای وارونسازی اطلاعات دامنه در مقابل دورافت است. روشهای AVO از جمله روشهای بازتابی و روشهای مقاومت الاستیک رابطهی زیادی با هم دارند. روابط به کار رفته در هر دو نوع روش مجزا از هم نیستند و ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند. پس از بررسی یکی از روشهای مقاومت دامنه در مقابل دورافت، به عنوان مثال مقاومت توسعه یافته باید از روشهای همارز بازتابی مطالعه دامنه در مقابل دورافت از جمله آنالیز گرادیان و… بهره برد.
مراجع

[1] Kemper. Micheal. A.C and Waters, Kester D., (2014) "Find the rocks and fluid will follow, avo as a tool for lithology discrimination." Interpretation, Vol2, NO2, P27.

[2] Rutherford S. R. and Williams R. H. (1989). "Amplitude-versus-offset variations in gas sands." GEOPHYSICS, 54(6), 680-688.

[3] Mc gregor.A, (2007) "A brief review of AVO anomaly classification", Geohorizon, 3, New Dehli, India.

[4] Castagna J.P. And Swan H. W. And Foster D. J., (1998)"**Framework for AVO Gradient** and Intercept Interpretation", Geophysics, Vol3, No3, Pp948

[5] Shuey .R .T, (1985), "A Simplification of the Zoeppritz Equation", Geophysics, Vol50, No4 Pp609

[6] Aki, K. and Richards, P. G. (1980). "Quantitative Seismology". San Francisco, Freeman

[7] Ostrander W. J. (1984), "Plane-wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence", GEOPHYSICS, No 10, Vol 49, pp. 1637-1648

[8] Smith, G. C. and Gidlow, P. M. (1987). "Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas." Geophysical Prospecting, 39, 915–942.

[9] Mavco G. Mukerij T. and Avseth .P, (2005) "Quantative Seismic Interpretation", Cambridge University Press, UK, P180

[10] Lines .R .L And Newrick .R .T, (2004) "Fundamentals of Geophysical Interpretations", Vol1, SEG, USA, P124

[11] Simm .R And Bacon M, (2014), "Seismic Amplitude an Interpreters Handbook", Cambridge University Press, UK, P198

[12] Russell B.H, (1988), "Introduction to Seismic Inversion Methods", Vol1, SEG, USA, P1

[13] Hampson, A. J. and Russell, B. (1985). "Maximum-likelihood seismic inversion" (abstract no. SP-16). National Canadian CSEG meeting, Calgary, Alberta. [14] Gardner G. H. And Gardner L. W. And Gregory A. R, (1974) "Formation Velocity and Density-The Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps" Geophysics, Vol39, No6, P700-780

[15] Faust, L. Y. (1953). "A velocity function including lithologic variation." Geophysics, 18, 271–288

[16] Bacon M. And Simm R and Redshaw T., (2003), "**3D Seismic Interpretation**", Press Syndicate of University Of Cambridge, UK, P156

[17] Connolly .P (1999), "Elastic Impedance", The Leading Edge, No18, P 438-452

[18] Whitecombe .D .N And Connolly .P .A And Reagan .R And Redshaw .T .C, (2002),"Extended Elastic Impedance for Fluid and Lithology Prediction" Vol67, No1, P63

[19] Hicks .G .J And Francis .A.M, (2006), "Extended Elastic Impedance and Its Relation to AVO Crossploting and V_p/V_s", EAGE 68th Conference, P56, Vienna, Austria

[20] Gharaee Shahri .S .A, (2013), M.S dissertation "Application of Extended Elastic Impedance (EEI) To Improve Reservoir Characterization", Department Of Petroleum Geophysics And Applied Geophysics, NTNU

[21] Connoly P.(2003), "Lithology And Fluid Prediction In Impedance Domain-Workshop On Lithology And Fluid Prediction", EAGE 65th, Rome, Italy.

[22] Neves F. And Mustafa H. And Rutty P., (2004), "Pseudo Gamma Ray Volume from Extended Elastic Impedance, Inversion for Gas Exploration", Leading Edge, Vol7, No3, Pp536

[23] Zervos F. A, (1986), P.H.D Thesis "Geophysical Investigation of Sedimentary Basin Developed In Viking Graben, North Sea" Department Of Geophysics, University Of Edinburgh

[24] British Geological Survey ,(2001), "North Sea Geology", Technical Report, No8, Crown Copyrights, UK, Vol1, pp3

ABSTRACT

Using full stack seismic sections by geologists to find subsurface structures is conventional. Advances in seismic data interpretation have made interpreters to look forward for extracting additional information from seismic data. Various techniques in amplitude variation with offset studies led researchers to search for hydrocarbon fluids and lithology changes.

In this Thesis we have used extended elastic impedance sections and petrophysical logs for lithology discrimination. Inverting prestack data preserves information which can be easily missed in ordinary stacked data. By using correlation between petrophysical logs of interest and extended elastic impedance log, we get the best angle for reflectivity section of extended elastic impedance. After using Aki_Richards approximation of Zoeppritz equation we get the reflectivity section of interested parameter. By inverting reflectivity sections of various parameter of interest, we can compare the EEI section of interest.

The ultimate results for lithology discrimination shows that inverted reflectivity sections of EEI shows the least possible effects of fluid on EEI sections. Extended elastic impedance sections shows better results in comparison to acoustic impedance.

Key words:

Amplitude variation with offset, Extended elastic impedance, Inversion, Litholog



Shahrood University of Technology Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics MSc Thesis in Geophysics seismology

Lithology discrimination in hydrocarbon bearing zone via AVO analysis through lithology stack

By: Mohammad Ahmadi Dizgani

Supervisor:

Dr Mehrdad Soleimani

Advisor:

Dr Aboalghasem Kamkar Rouhani

September 2016