فصلنامه زمین، سال هفتم، شماره ۲۴، تابستان ۱۳۹۱

تاثیر نشانگر لرزه ای مقاومت صوتی در تخمین تخلخل در بخش ماسه سنگی سازند کژدمی (بورگان) در یکی از میادین نفتی

وحید ساطعی[۱]، دکتر محمد مختاری[۲] و دکتر بهرام عکاشه[۱۳]

چکیده

تخلخل (Porosity) از مهمترین پارامترهائی است که بعنوان یکی از اساسی ترین فاکتورها در مهندسی مخـازن بشمار می‌رود. دانستن این پارامتـر، محققان را قادر می‌سازد تا فرآیندهای توسعه میادین نفـت و گـاز را بـصورت کارا و مؤثر طراحی و مدیریت کنند.

در این مقاله سعی شده که با انجام تعبیر و تفسیر داده‌های لرزه نگاری سه بعدی و آنالیز نگارهای چاه پیمایی، نشانگر لرزه‌ای مقاومت صوتی حاصل از داده‌های لرزه نگاری سه بعدی را جهت تخمین تخلخل در بخـش ماسـه سنگی سازند کژدمی (بورگان) به تصویر بکشیم.

با توجه به اینکه داده‌های چاه چه بصورت مغزه و چه بصورت نگارهای چاه پیمائی فقط در همان نقطـه چـاه معتبر می‌باشند، لذا با استفاده از داده‌های لرزه نگاری سه بعدی می‌توان خصوصیات مخزنی را در مناطق دور تر از چاه نیز گسترش داد.

کلیدواژه‌ها: تخلخل، تعبیر و تفسیر، لرزه نگاری سه بعدی، نگارهای چاه پیمایی،نشانگر لرزه ای، مقاومت صوتی

The Effect of Acoustic Impedance as a Seismic Attribute for Porosity Estimation in Sandstone Member of Kazhdumi Formation (Burgan)of an Oil Field in SW of Iran

Vahid Sateei , Dr. Mohammad Mokhtari and Dr. Bahram Akasheh

Abstract

Porosity is one of the most important parameters, which is considered as one of the fundamental factors in reservoir engineering. By knowing this parameter , specialists are able to design and manage, effectively ,the process of oil and gas fields development.

In this paper an attempt has been made to illustrate the seismic attribute of acoustic impedance, resulted of 3D seismic data by using the interpretation results of 3D seismic data and analysis of well logs.

Due to validity of well data in the form of core sample or well logs data ,

only at the well point , we can extent reservoir properties in the whole field by using of 3D seismic data.

Keywords: Porosity, Interpretation, 3D Seismic, Well Logs, Seismic Attribute, Acoustic Impedance.

۱ـ دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی(نفت) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ـ پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۳ـ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد تهران شمال

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

مناسب ترین نوع مدیریت مخازن هیدروکربنی زمانی امکان پذیر است که توزیع فضائی اجسام سنگ مخزن بخوبی و با جزئیات زیاد بدست آید. از این رو اندازه گیری، محاسبه و ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی و ژئوفیزیکی مخزن ضروری است.

در بین این پارامترها تخلخل یکی از مهمترین شاخصه‌های یک مخزن هیدروکربنی می‌باشد که در امر طراحی و توسعه مخزن (در جهت تعیین دقیق محل چاههای اکتشافی و توسعه‌ای) نقش مؤثری ایفا می‌کند.

تخلخل را می‌توان با استفاده از آنالیز نگارها و مغزه‌ها و همچنین از تلفیق داده‌های لرزه نگاری سه بعدی با نتایج آنالیزهای نگار و مغزه ارزیابی و محاسبه کرد. در بین نگارهای چاه پیمایی، نگار نوترون تنها نگاری است که جهت محاسبه تخلخل طراحی شده است(Serra 2004). از تحلیل این نگار و نتایج آزمایشات مغزه در آزمایشگاه میتوان تخلخل را بطور مستقیم محاسبه کرد. در عین حال با تحلیل نگارهای صوتی و چگالی و تطابق این نگارها با داده‌های لرزه نگاری سه بعدی و همچنین محاسبه نگار مقاومت صوتی از روی آنها میتوان میزان تخلخل را تخمین زد.

هدف از این تحقیق شناخت و تخمین تخلخل در محدوده زیر پوشش لرزه نگاری سه بعدی در بخش بورگان با استفاده از نتایج بدست آمده از

آنالیز نگارهای چاه‌های موجود در یکی از میادین هیدروکربوری جنوب غرب ایران، و همچنین داده‌های لرزه نگاری سه بعدی می‌باشد.

.نشانگر لرزه ای چیست؟

نشانگرهای لرزه ای توابع ریاضی مشتق شده از داده‌های لرزه ای هستند که در حوزه‌های زمان و فرکانس از داده‌های لرزه ای استخراج می‌شوند. این داده‌ها شامل زمان، دامنه، فرکانس و جذب می‌باشند. بر اساس مطالعات جدید، نشانگرهای مشتق شده از زمان شامل داده‌های ساختمانی و نشانگرهای مشتق شده از دامنه شامل داده‌های چینه شناسی و مخزنی هستند. نشانگرهای مشتق شده از فرکانس شامل داده‌هایی در رابطه با خصوصیات مخزن می‌باشند و جذب انرژی نیز نشانگر دیگری است که می‌تواند داده‌هایی در ارتباط با سیال و نفوذپذیری بدهد.(Brown 2001)

نشانگرهای لرزه ای می‌توانند در مراحل قبل و بعد از برانبارش از داده‌های لرزه ای استخراج گردند. اندازه‌گیری تغییرات نشانگر لرزه ای ممکن است در یک محدوده و برای بررسی توزیع یک مشخصه مثل تخلخل صورت گیرد. نشانگرهای لرزه ای بعد از برانبارش می‌توانند روی یک برش زمانی و یا بین دو افق استخراج گردند(Brown 2001).

هر نشانگر لرزه ای می‌تواند سطحی و یا حجمی باشد.نشانگرهای سطحی نشانگرهایی هستند که در روی یک سطح یا یک افق محاسبه می‌شوند. نشانگرهای حجمی نشانگرهایی هستند که بین دو زمان معین یا بین دو افق تفسیر شده، محاسبه می‌گردند.

مقاومت صوتی بعنوان یک نشانگرلرزه ای

شاید بتوان گفت مهم ترین نشانگر لرزه ای که برای یک مقطع لرزه ای تهیه می‌شود، مقاومت صوتی

Archive of SID

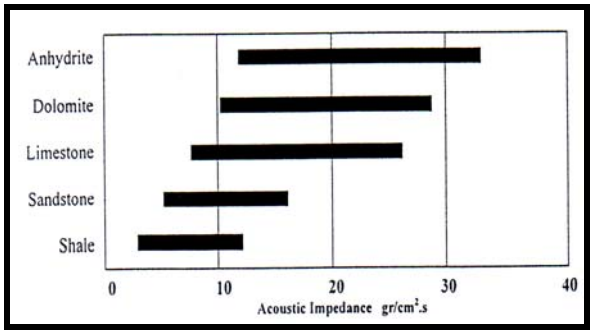
www.SID.ir

است. این نشانگر جزء نشانگرهای مشتق شده از دامنه می‌باشد و در گروه نشانگرهای سطحی قرار می‌گیرد.

مقاومت صوتی حاصلضرب چگالی در سرعت عبور موج از داخل لایه است. به عبارتی می‌توان گفت که مقاومت صوتی، مقاومت سنگها در برابر انتشار امواج الاستیک است. این نشانگر معرف سنگ‌شناسی لایه و نیز تا حدی نشان دهنده سیال موجود در لایه‌های مخزنی می‌باشد.

سنگ‌های مختلف مقادیر مقاومت صوتی متفاوتی دارند. با توجه به شکل شماره ۱ معلوم می‌شود که مقادیر مقاومت صوتی برای سنگ‌های مختلف هم پوشانی دارند، یعنی ممکن است دو سنگ متفاوت یک مقدار مقاومت صوتی داشته باشند(Telford, et al. 1988).

این تشابه می‌تواند علل مختلفی داشته باشد که عبارتند از: عمق تدفین، فشردگی تکتونیکی، پیشینه تدفین، تخلخل بین دانه ای، تخلخل ناشی از شکستگی، نوع شکستگی، نوع سیمان و میزان اشباع خلل و فرج سنگ. در نتیجه از مشاهده تغییرات مقاومت صوتی در داخل یک لایه با ویژگی سنگ شناسی مشخص، می‌توان به تغییرات رخساره سنگی در داخل لایه پی برد(مختاری ۱۳۸۰).



شکل ۱ـ هم‌پوشانی محدوده تغییرات مقاومت صوتی چند سنگ رایج (رسم بر اساس مقادیر کتاب تلفورد و همکاران ۱۹۷۶)

می دانیم که سرعت گذر موج از لایه‌ها با افزایش عمق و نیز تغییر سنگ شناسی تغییر می‌کند.

سنگ‌های سخت تر و محکم تر، سرعت گذر موج را افزایش می‌دهند. از طرفی افزایش تخلخل در مخازن باعث کاهش سرعت گذر موج و نتیجتا کاهش مقاومت صوتی می‌گردد.تاثیر گاز نیز نقش بسزایی در سرعت موج فشاری در لایه‌ها دارد، به طوریکه حضور گاز باعث کاهش سرعت و چگالی لایه گردیده و مقاومت صوتی را کاهش می‌دهد.باید توجه داشت که حضور آب در حفره‌های سنگ سبب افزایش سرعت موج تراکمی و افزایش چگالی می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که مقاومت صوتی مهمترین نشانگری است که با خصوصیات مخزنی نظیر تخلخل و سنگ شناسی در ارتباط است.

روش کار

پس از جمع آوری داده‌های مورد نیاز که عبارت بودند از داده‌های لرزه نگاری سه بعدی، نگارهای چاه پیمایی، داده‌های نقاط کنترلی و کلیه اطلاعات زمین شناسی منطقه، انجام کار در۴ مرحله به شرح زیر دنبال شد.

۱- ابتدا با کالیبره کردن نگارهای چاه با داده‌های نقاط کنترلی (Check Shots) این نگارها را از حوزه عمق به زمان تبدیل کرده تا چاه و مقطع لرزه ای هم حوزه شوند.

۲- در مرحله دوم اقدام به ساخت لرزه نگاشت مصنوعی می‌کنیم. برای این کار ابتدا با استفاده از نگار

Archive of SID

www.SID.ir

صوتی (Sonic Log) و نگار چگالی (Density Log)، نگار مقاومت صوتی در محل چاه محاسبه می‌شود.

$$I = \rho \cdot V \quad \text{(رابطه ۱)}$$

ρ چگالی در محل نمونه، V سرعت موج P در محل نمونه و I مقدار مقاومت صوتی در محل نمونه می‌باشد. با توجه به رابطه موجود بین مقاومت صوتی و ضرایب بازتاب که در زیر آمده سری ضرایب بازتاب در محل چاه بدست می‌آید.

$$R = \frac{I - I_{-1}}{I + I_{-1}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در محاسبه این ضرایب، چند نکته باید در نظر گرفته شود، از جمله اینکه انتخاب نرخ نمونه برداری صحیح باشد.

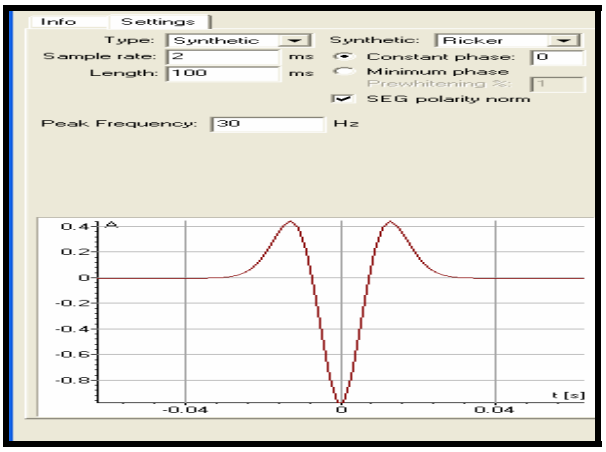
با توجه به نرخ نمونه برداری داده‌های لرزه ای و نگارهای چاه و همچنین در نظر گرفتن خطاهای مربوط به تبدیل نگارهای چاه از نگارهای عمقی به نگارهای زمانی، با مشخص شدن ضرایب بازتاب در محل چاه، با روش‌های مختلفی موجک لرزه ای استخراج می‌گردد. در این مطالعه از روش واهمآمیخت جهت استخراج موجک لرزه ای استفاده شده است. هدف از واهمامیخت پیداکردن فیلتری است که موجک ورودی را به شکل خروجی مورد پسند و مناسب تبدیل نماید. این روش را روش فیلتر ونر- لوینسون (Wiener-Levinson) نیز گویند. اگر یک موجک با n نمونه در نظر گرفته شود، معادله ونر لوینسون به شرح زیر خواهد بود.

$$R * F = G \quad \text{(رابطه ۳)}$$

به طوری که R لرزه نگاشت همآمیخت ورودی، F فیلتر مطلوب و G موجک مناسب خروجی است. حل معادله فوق به شرح زیر است:

$$F = R^{-1}G \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که R^{-1} لرزه نگاشت معکوس لرزه نگاشت R است.



شکل ۲ـ برآورد موجک در فاز صفر

لرزه نگاشت مصنوعی از همآمیخت موجک لرزه‌ای و ضریب بازتاب (RC) ساخته می‌شود (Mari, et al. 1997).

RC* Wavelet = Synthetic Seismogram

۳- در مرحله سوم، از داده‌های لرزه‌نگاری، لرزه‌نگاشت لرزه‌ای و مقطع مقاومت صوتی برآورد می‌شود.

اکنون وارد مرحله حساس تطابق بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و نگاشت لرزه ای حاصل از داده‌های لرزه نگاری سه بعدی رسیده است.

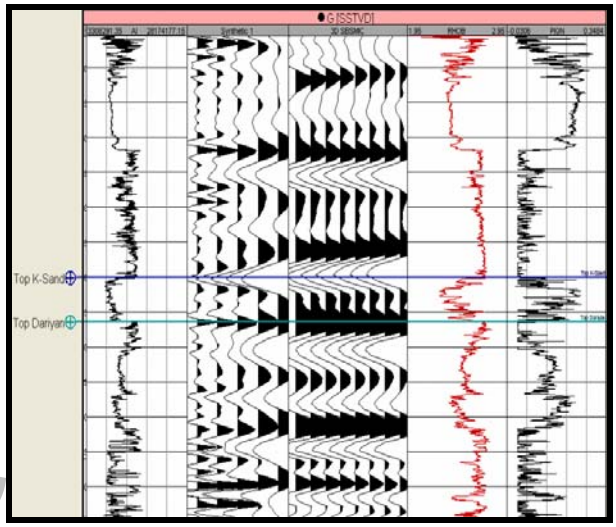
البته نباید انتظار داشته باشیم که داده‌های لرزه ای از نظر دامنه (Amplitude)، فرکانس و فاز دقیقاً با داده‌های درون چاهی منطبق باشند، زیرا همانطور که می‌دانیم زمین در رابطه با عبور انرژی همانند یک فیلتر عمل می‌کند. برای مثال فرکانس‌های مورد نظر در امواج لرزه ای بین ۸ تا ۸۰ هرتز است، در حالیکه فرکانس‌های مورد استفاده در نگار صوتی

Archive of SID

www.SID.ir

(Sonic Log) بین ۱۰ تا ۳۰ کیلو هرتز می‌باشد (معمارضیاء ۱۳۸۳).

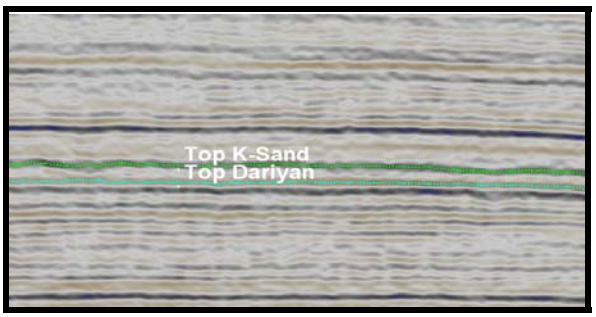
در اینجا با یک جابجای در حد ۸- میلی ثانیه بلوک لرزه ای را به سمت بالا شیفت داده تا بهترین تطابق بین آن و لرزه نگاشت مصنوعی حاصل شود (شکل شماره ۳).



شکل ۳ـ تطابق نگارهای چاه پیمایی، لرزه نگاشت مصنوعی و داده‌های لرزه ای سه بعدی در چاه G

از تطابق بین لرزه نگاشت مصنوعی و لرزه نگاشت لرزه ای میتوان در تعبیر و تفسیر افق‌های زمانی استفاده کرد و در واقع با ارزش ترین ابزار برای تعیین محل سر سازندها همین لرزه نگاشت‌ها می‌باشند.

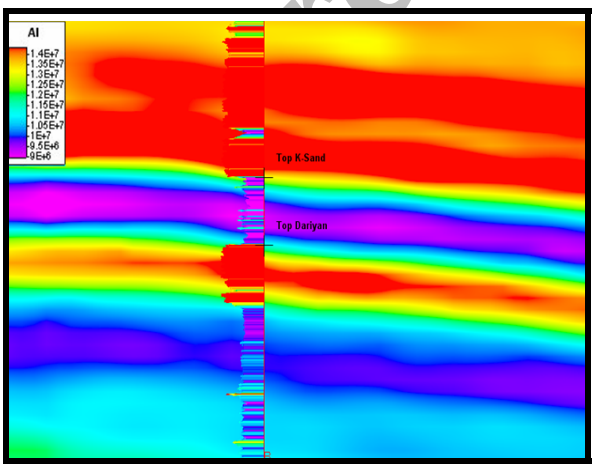
بنابراین پس از اطمینان از محل قرارگیری سر سازندها در داده‌های لرزه ای اقدام به پیک کردن آنها بر روی داده‌ها می‌کنیم.



شکل ۴ـ نمایش سر سازندها درتعبیر و تفسیر لرزه ای

پس از تعیین محل سر سازندها اقدام به استخراج نشانگر لرزه ای مقاومت صوتی می‌کنیم.

با مشاهده شکل شماره ۵ متوجه می‌شویم که میزان مقاومت صوتی در بخش بورگان در حد بسیار پایین ارزیابی شده است. نتیجه اینکه تخلخل موجود در این بخش در حد بالا تخمین زده می‌شود.این نتیجه را می‌توان با تحلیل شکل شماره ۳ نیز قوت بخشید. همانطور که از این شکل بر می‌آید در محل بخش بورگان (k-sand) نگار مقاومت صوتی و چگالی روند کاهشی نشان داده‌اند. برای اطمینان بیشتر می‌توان نگار مقاومت صوتی را در محل چاه‌ها با مقطع مقاومت صوتی حاصل از داده‌های لرزه‌ای مطابقت داد(شکل شماره ۵).



شکل ۵ـ مقایسه مقاومت صوتی در داده‌های چاه پیمایی و لرزه ای دربخش بورگان (چاهB)

www.SID.ir

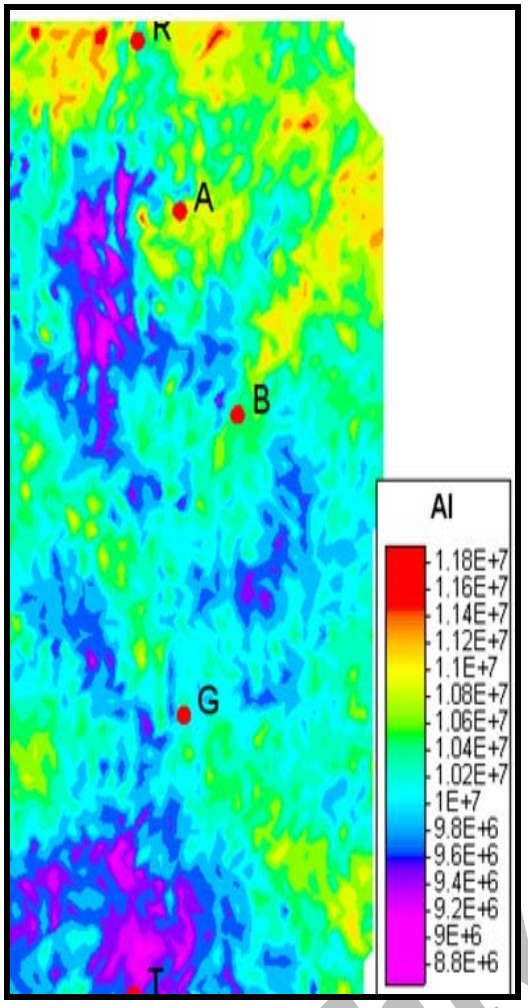
در شکل ۵ میزان مقاومت صوتی در بخش بورگان نسبت به لایه‌های بالا و پایین بسیار کمتر دیده می‌شود واین امر با مقایسه نگار برآوردی مقاومت صوتی در چاه B نیز تایید شده است.

۴- در مرحله چهارم با تهیه یک برش حجمی از مقطع مقاومت صوتی در بخش بورگان روند توزیع مقاومت صوتی و در نتیجه تخلخل را در کل محدوده تحت پوشش لرزه نگاری سه بعدی در این بخش بررسی می‌کنیم.

در واقع هدف اصلی از استخراج مقاومت صوتی رسیدن به همین برش حجمی می‌باشد.

یکی از ابزارهای بسیار قوی برای مطالعات تحت الارضی و تعیین محل چاه‌های توسعه ای در میادین هیدروکربنی برشهای حاصل از نشانگرهای لرزه ای می‌باشد.

با تحلیل این برش میتوان نتیجه گرفت که د ر مجموع بخش جنوبی میدان جهت تولید از مخزن بورگان مناسب تر از بخش شمالی آن می‌باشد. زیرا میزان مقاومت صوتی از سمت شمال به جنوب روند نزولی دارد. در نتیجه طبیعتا میزان تخلخل در بخش جنوبی میدان در این افق بیشتر می‌باشد.



شکل ۶ـ نمایش برش حجمی از مقاومت صوتی در بخش بورگان

با دقت در محل ورود چاه‌ها به بخش بورگان متوجه می‌شویم که این محل‌ها دارای مقاومت‌های صوتی مختلفی می‌باشند.که این مقاومت‌ها ارتباط مستقیم با تخلخل موجود در محل ورود چاه‌ها به سازند دارند.در این راستا محل ورود چاه T در بخش بورگان دارای بهترین تخلخل و محل ورود چاه A در ضعیفترین حالت تخلخل قرار می‌گیرد. در واقع نتیجه ای که از برش مقاومت صوتی حاصل از استخراج نشانگرهای لرزه ای میتوان گرفت این است که بجز چاه‌های T و G

Archive of SID

www.SID.ir

محل چاه‌های دیگر میدان بدرستی انتخاب نشده و میزان بهره دهی آنها میتواند اقتصادی نباشد.

البته باید این موضوع را در نظر داشت که ضخامت بخش بورگان نسبتا کم می‌باشد. ودر واقع این بخش به عنوان یک لایه نازک در میادین نفتی جنوب غرب کشور بررسی میشود بنا براین با توجه به این موضوع که اثرات هم کوکی موجک لرزه ای در لایه‌هایی که ضخامت آنها کمتر از ۱/۴ طول موج لرزه ای باشد، موجب خارج شدن لایه از محدوده شناخت امواج لرزه ای میشود، می‌تواند در نتایج تاثیر گذاشته و ما را در تخمین سرشت مخزنی دچار سردرگمی کند(معمارضیاء ۱۳۸۳). امروزه برای جلوگیری از این خطاها روش برگردان لرزه ای را جهت رسیدن به مقاطع مقاومت صوتی دنبال می‌کنند. در این روش با حذف اثر موجک لرزه ای و اضافه نمودن اجزاء فرکانس پایین نگارهای چاه به داده‌های لرزه ای سعی می‌شود با ایجاد باند فرکانسی بالا در داده‌ها ضخامت واقعی لایه را حساب کرده و خصوصیات مخزنی را با دقت بسیار بالا تخمین بزنند.

تخمین تخلخل در بخش بورگان

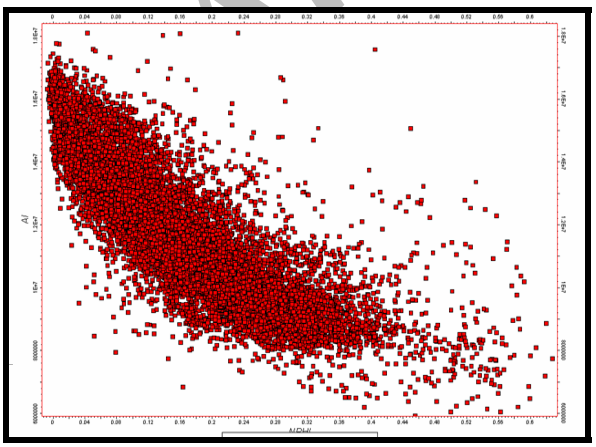
از موارد کاربرد مقاومت صوتی بعنوان یک نشانگر لرزه ای که در این مقاله تهیه شده است، تخمین تخلخل سنگ و سایر پارامترهای پتروفیزیکی میباشد.از میان خواص پتروفیزیکی مختلف تخلخل ارتباط مشخص تر و قابل توجیه تری با مقاومت صوتی دارد. این سرشت مخزنی یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی مخازن هیدروکربنی میباشد.بعنوان مثال یکی از ابزارهای بسیار قوی در تعیین حجم ذخیره درجای اولیه مخازن هیدروکربنی(STOIIP)بوده که میبایست تا حد امکان درست و دقیق تخمین زده شود.

همانطور که قبلا ذکر شد روش‌های مختلفی برای تعیین تخلخل وجود دارد.در این میان استفاده از نگارهای چاه در کارهای نفتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

یکی دیگر از راه‌های تخمین تخلخل، استفاده از نشانگرهای لرزه ای می‌باشد.در اینجا تخمین تخلخل هم از راه استفاده از نگارهای چاه و هم از راه دوم یعنی استفاده از نشانگرهای لرزه ای انجام شده است.

با رسم دیاگرام تقاطعی بین نگار مقاومت صوتی و تخلخل معادله انتقال از حوزه مقاومت به حوزه تخلخل را بدست آوردیم (شکل شماره ۷).

در شکل شماره ۷ مشاهده می‌شود که هر چه از میزان مقاومت صوتی کاسته شود بر میزان تخلخل افزوده می‌شود.



شکل ۷ـ دیاگرام تقاطعی مقاومت صوتی و نگار تخلخل در چاه G

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

۱- استفاده همزمان از داده‌های نگارهای چاه پیمایی و داده‌های لرزه نگاری سه بعدی بهترین روش جهت تخمین و ارزیابی تخلخل در مخازن هیدروکربنی می‌باشد.

۲- بکارگیری همزمان داده‌های لرزه ای و نگارهای چاه مناسب ترین راه برای استخراج موجک لرزه ای می‌باشد.

۳- در هنگام عملیات تعبیر و تفسیر لرزه ای مفسر باید بادقت زیاد محل قرارگیری افق‌های مورد نظر را با داده‌های دیگر مثل نگارهای چاه و لرزه نگاشت مصنوعی مطابقت دهد.

۴- با توجه به نقشه‌ها و برش‌های مقاومت صوتی بدست آمده، مشخص می‌شود که نتیجه کار قابل قبول بوده و شمای کلی لایه مخزنی درست تشخیص داده شده است.در عین حال وضوح و دقت نتیجه بدست آمده بوسیله نرم افزار قابل ذکر است.

۵- با توجه به برش مقاومت صوتی حاصل از بخش بورگان مشخص می‌شود که میزان تخلخل در این بخش برای همه چاه‌ها یکسان نمی باشد بلکه این میزان از طرف شمال به طرف جنوب میدان کاهش پیدا کرده است.

پیشنهادات

۱- اعمال بر گردان لرزه ای بر روی داده‌های لرزه نگاری سه بعدی مخصوصا در مورد لایه‌هایی که ضخامت آنها کمتر از ۱/۴ طول موج لرزه ای است.

۲- برداشت داده‌های لرزه نگاری سه بعدی در بخش‌هایی از میدان که زیر پوشش لرزه نگاری قرار نگرفته است.

۳- استفاده از داده‌های خروجی از تعبیر و تفسیر لرزه ای در ساخت مدل استاتیکی مخزن.

۴- به روز رسانی داده‌های تعبیر و تفسیر پس از حفاری چاه‌های جدید.

۵- برنامه ریزی جهت حفاری و تولید از مخزن بورگان در بخش جنوبی میدان.

۶- با توجه به ضخامت محدود بخش بورگان، طراحی چاه‌های جهت دار و افقی در این بخش (در صورتی که تکنولوژی روز اجازه دهد) می‌تواند به تولید بیشتر از این میدان کمک کند.

منابع

ـــ مختاری، م.، ۱۳۸۰، لرزه نگاری آسان، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی، ص ۵۱-۹

ـ معمار ضیاء، ع.، ۱۳۸۳، نقش تعبیر و تفسیر داده‌های لرزه ای باز تابی در اکتشاف منابع هیدرو کربوری، روابط عمومی شرکت نفت فلات قاره ایران، ص ۵۴-۲۱ و ص۲۶۳-۲۰۸.

- Brown,A., 2001, Understanding Seismic Attributes, Geophysics, Original from the University of Michigan Vol.66 , p.47-49.

- Mari, J. L., and Glangeaud, F., and Coppens, F., 1997, Signal Processing for Geologists and Geophysicists,Edition Technip 27 Rue Ginoux 75737 Paris Cedecx

Archive of SID

www.SID.ir

15 France, Chapter 2, p. 141-156 and Chapter 3, p. 163-168.

- Serra, O., and L.,(2004), Well Logging, Data Acquisition and Application, Edition Serralog 25 Rue Des Chaumieres 14370 Mery Corbon France, Chapter 15 p. 297-319.

- Telford, W. M., and Sheriff, R. E., And Geldart, L.P., and Keys, D.A.,1976, Applied Geophysics, Cambridge University Press.

Archive of SID