

مطالعه مخزن گازی با استفاده از وارون سازی داده های لرزه ای شبه سه بعدی در

میدان نفتی فردوسی

معراج امامی¹، دکتر مجید نبی بیدهندی² و دکتر ابوالقاسم امامزاده³

چکیده

انعکاس امواج لرزه ای از لایه های زیرزمینی پتانسیل تجمع هیدروکربن را نشان می دهد. هنگامیکه امواج منعکس می شوند، دامنه آنها تغییر می کند که این تغییر اطلاعات مهمی را درباره مواد زیر لایه ها نشان می دهد. اطلاعات دامنه بازتاب لرزه ای برای تعیین امپدانسهای نسبی مواد دو طرف مرز لایه وارون می شوند. همبسته کردن این خصوصیات به دست آمده از روشهای لرزه ای با مقادیر محاسبه شده در چاه، مفسران را قادر می سازد که اطلاعات چاه را در کل حجم لرزه ای گسترش دهند. این فرآیند، خلاء های علمی ما را در مورد ویژگیهای سازند بین چاهها پر کرده و کاهش ریسک در عملیتهای اکتشاف، توسعه و تولید را در میادین به همراه دارد. در این مطالعه، با انجام عملیات وارون سازی روی داده های لرزه ای شبه سه بعدی افقهای گازی کنگان و دالان بالایی و با استفاده از اطلاعات نگارهای اشعه گاما، چگالی و موج P در میدان فردوسی، ابتدا به مدل امپدانس صوتی و با توجه به آن به مدلهای تخلخل، نسبت پواسون و نسبت سرعت موج P به موج S دست می یابیم.

کلید واژه ها: وارون سازی، امپدانس صوتی، همبستگی، استخراج موجک، پوش حداقل مربعات

Gas reservoir study from inversion of pseudo 3D seismic data on Ferdowsi oil field

غذععكعك پكعاعغغقك عالابكع فءكعقءبفءع ع فءعلاپ :فكعك فءعلا غچ

Abstract

لغككفكقءف الاغهعقءعءعءلاملع ما ككلاغ لغنع ذ فءالف لغك فكم قءم قءع لا غر لغم فءكالف لغم عءعءع لا لغنع ذ كاك فم عقم معكعع لاءعكلاعه قءم كعكب ك لقع فلالعك عك عكءلاغءكم لغم هك عك فم علاك ككم كعم لك كققع غن لغم لغكع غع لغم كلالع لاغ كرفك م عء له لغع ككع فم علاك فءك لغم فءككع فم عءع فءك لاف لغ ذ لغع لغ كقءم لغ ك لغع فلقم عكلم لقع فلالعك لغم لغ لغكع فءع كفن فم عقء لا

مقدمه

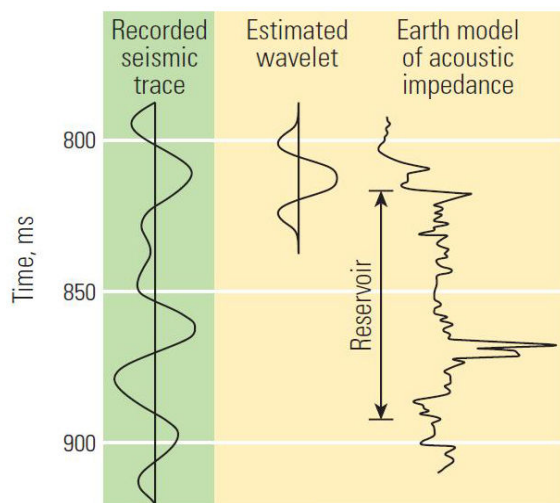
وارون سازی لرزه ای

در بیان ساده، وارون سازی لرزه ای فرآیند تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ و سیالی است که می تواند رکورد لرزه ای موجود را ایجاد کند. وارون سازی، عکس عمل مدلسازی پیشرو است. به عبارت دیگر در این عمل سعی بر این است که با توجه به خروجی، ورودی تعیین شود. در مدلسازی، مدلی از ویژگیهای سازند گرفته می شود (مثلاً امپدانس صوتی حاصل از نگارهای چاه). سپس این مدل با یک موجک یا پالس لرزه ای ترکیب شده و خروجی به صورت یک تریس لرزه ای مصنوعی است. اما وارون سازی با تریسی از داده های لرزه ای ضبط شده آغاز می شود، تاثیر موجک تخمینی حذف شده و نتیجه به صورت امپدانس صوتی در هر نمونه زمانی است (شکل ۱).

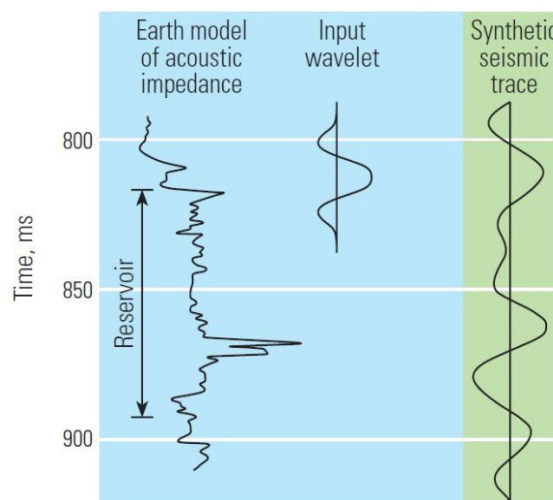
وارون سازی در گستره ای از مقیاسها و سطوح مختلف بکار گرفته می شود:

- محاسبه پروفیلهای تهاجم سیالات درون چاهی با استفاده از نمودارگیری القایی
- ارزیابی کیفیت سیمان پشت جداری با استفاده از نگارهای فوق صوتی
- تفسیر حجمهای گاز، نفت و آب با استفاده از نگارهای تولیدی (انگلمارک، ۲۰۰۵)

- تعیین تراوایی و گسترش مخزن با استفاده از داده های فشار گذار
- تعیین لیتولوژیهای لایه و اشباع سیالات با استفاده از نمودارگیری چندگانه (مرزوکی، ۲۰۰۰)
- نقشه کردن سیالات با استفاده از اندازه گیریهای الکترومغناطیسی عرضی چاه
- یکپارچه سازی اندازه گیریهای الکترومغناطیسی ولرزه ای برای بهبود مرزبندی رسوبات نمکی زیرزمینی



ب



الف

شکل ۱. مدل‌سازی و وارون‌سازی. در مدل‌سازی (شکل الف) مدلی از ویژگی‌های سازند گرفته می‌شود- در این مورد امپدانس صوتی حاصل از نگارهای چاه- با یک موجک یا پالس لرزه ای ترکیب شده و خروجی بصورت یک تریس لرزه ای مصنوعی است. وارون‌سازی (شکل ب) با یک تریس داده های لرزه ای ضبط شده شروع می‌شود، تاثیر موجک تخمینی را حذف کرده و نتیجه بصورت مقادیر امپدانس صوتی در هر نمونه زمانی است.

کیلومتر طول و عرض دارد. این راه حل در مراحل پردازش داده ها نظیر مهاجرت و برانبارش بکار گرفته می‌شود و در نهایت یک عکس لرزه ای که تفهیم آن برای اکثر خوانندگان ممکن است پدید می‌آید. مفسران لرزه ای از این عکس برای تعیین شکل و عمق رفلکتورهای زیرسطحی استفاده می‌کنند (استوارت، ۱۹۹۱ - همپسون و راسل، ۱۹۹۲). در نوع دوم وارون‌سازی، یعنی وارون‌سازی دامنه از زمان رسید و دامنه امواج لرزه ای بازتاب شده در هر نقطه بازتاب استفاده می‌شود و نتیجه امپدانسهای نسبی سازندهایی است که بوسیله رفلکتورهای عکسبرداری شده مرزبندی

متخصصان لرزه ای اکتشاف و تولید از انواع مختلف روشهای وارون‌سازی برای حل مسائل مختلف استفاده می‌کنند. دو نوع عمده وارون‌سازی عبارتند از وارون‌سازی سرعت و وارون‌سازی دامنه.

نوع اول وارون‌سازی، وارون‌سازی سرعت که گاهاً به عنوان وارون‌سازی زمان سیر نیز شناخته شده است برای عکسبرداری عمقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از تریسهای لرزه ای در محلهایی با فاصله گسترده، یک مدل سرعت- عمق از زمین بدست می‌آید که زمانهای رسید ضبط شده امواج لرزه ای را پوشش می‌دهد و چندین کیلومتر عمق و صدها

شده است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۵).

میدان فردوسی

میدان فردوسی در بخش مرکزی خلیج فارس تقریباً در ۱۹۰ کیلومتری جنوب شرقی بوشهر و ۹۰ کیلومتری مرز دریایی ایران واقع شده است. این میدان در سال ۱۹۶۴ کشف شد که یکی از میداین نفت سنگین ایران است. بر اساس مطالعات زمین شناسی و لرزه نگاری مساحت این میدان ۲۰×۱۳ کیلومتر مربع تعیین شده است. اولین چاه این میدان تا عمق ۲۳۱۶ متر و در بالای رسوبات ژوراسیک در سپتامبر ۱۹۶۵ حفر و در ژانویه ۱۹۶۶ پلاگ شد. این امر اولین آزمایش روی این میدان بود که توسط ژئوفیزیکرها بعنوان میدانی عظیم تخمین زده شده بود. اشباع نفت سنگین قابل توجهی در بخش کرتاسه وجود داشت اما به دلیل کمبود انرژی مخزن رسیدن به جریان اقتصادی حتی با وجود عملیاتهای تحریک چاه نظیر اسیدکاری ممکن نبود. دومین چاه تا عمق ۴۰۷۵ متری در اواخر ژانویه ۱۹۶۶ حفر و در مارچ ۱۹۶۷ پلاگ شد. این چاه آزمایش دوم روی میدان فردوسی بود که تا عمق کافی برای دستیابی به سازندهای پرپریمین حفاری شد و نتایج آزمایش اول را مبنی بر وجود ساختمانی عظیم و همچنین وجود مخزن بزرگ نفت سنگین کرتاسه پائینی در چاه ۱ را تأیید کرد. به علاوه مقداری نفت سنگین در سازند سورمه بالایی و گاز ترش در گروه دهرم وجود داشت.

بدلیل اینکه هدف مورد مطالعه، مخزن گازی موجود در میدان است و چاه ۱ فقط نفتی است، پس تنها از اطلاعات چاه ۲ که نفتی و گازی است استفاده می کنیم. افقهای گازی چاه ۲، کنگان و دالان بالایی هستند (جدول ۱).

جدول ۱. افقهای گازی موجود در چاه ۲

| Horizon name | Depth (m) | TWT (ms) |
|--------------|-----------|----------|
| Kangan | 3117 | 1699.47 |
| U-Dalan | 3328 | 1754.95 |

عملیات

برای انجام وارون سازی، داده های ورودی عبارتند از:

- یک یا چند نگار چاه (چگالی، اشعه گاما و موج P)

- یک حجم لرزه ای دو یا سه بعدی
- مجموعه ای از افقها که برای راهنمایی مدل اولیه از آنها استفاده می شود.

جریان کاری معمول برای وارون سازی شامل مراحل زیر است:

۱. شروع نرم افزار Geoview
۲. بارگذاری چاهها در Geoview
۳. شروع نرم افزار Strata
۴. بارگذاری داده های لرزه ای در Strata
۵. بارگذاری افق ها (در صورت وجود) یا

برداشت آنها

۶. همبسته کردن هر چاه با حجم لرزه ای به منظور بهینه سازی تبدیل زمان به عمق
۷. ساخت مدل اولیه

۸. اجرای آنالیز وارون سازی برای تعیین پارامترهای آن

۹. اجرای وارون سازی روی حجم لرزه ای و آنالیز نتایج

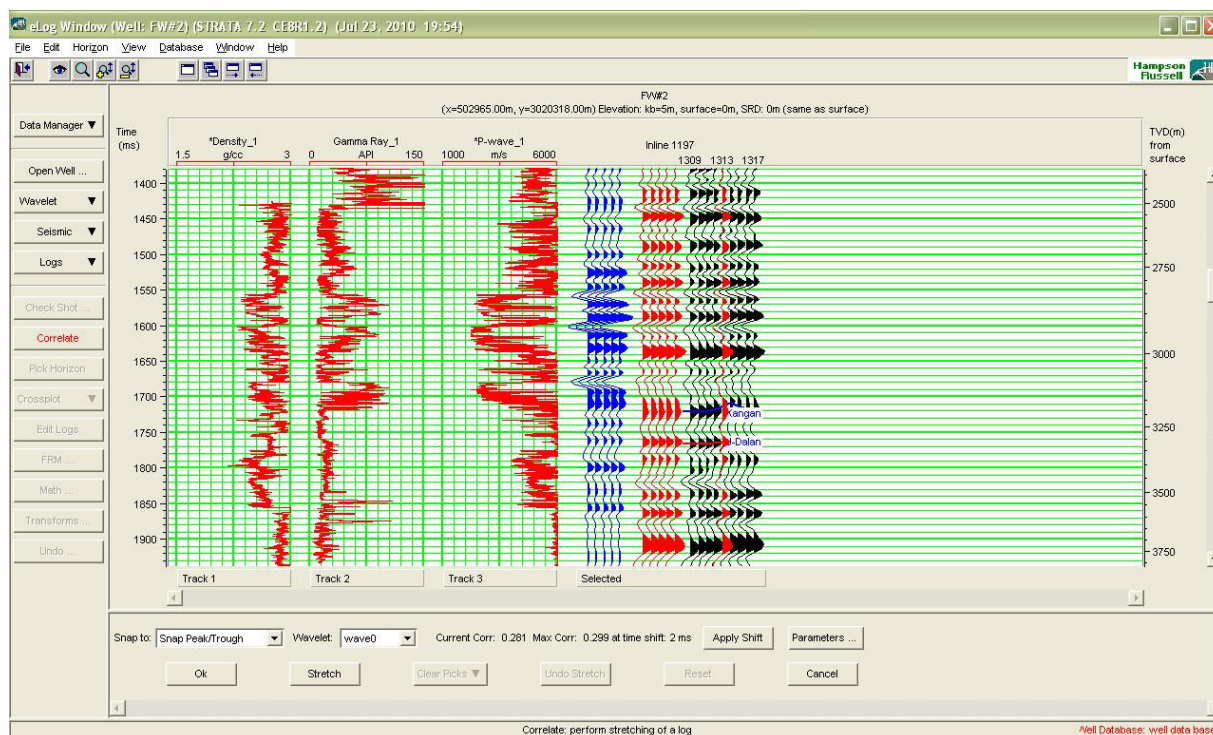
در مراحل ۱ و ۲، بانک داده چاه ساخته شده و آن را در حجم لرزه ای ساخته شده طی مراحل ۳ و ۴ بارگذاری می کنیم. سپس افقهای کنگان و دالان بالایی را برداشت می کنیم. پس از انجام این کار، نوبت به عملیات همبستگی است. همبستگی ابتدایی ۰.۲۹۹ است (شکل ۲). در این شکل، تریس آبی، تریس مصنوعی محاسبه شده از نگارهای چاه (چگالی، اشعه گاما و موج P) و موجک پیش فرض است. تریس قرمز، تریس میانگین اطراف چاه و تریس سیاه، تریس واقعی است. برای افزایش درصد همبستگی، ابتدا موجکی را به صورت آماری استخراج کرده که نتیجه این امر، همبستگی ۰.۳۳۸ است (شکل ۳). سپس با استفاده از اطلاعات چاه ۲ موجکی را استخراج می کنیم که این عمل همبستگی ۰.۳۵ را به همراه دارد (شکل ۴). در نهایت آنالیز همبستگی، عدد ۰.۴۲۵ را نشان می دهد (شکل ۵).

پس از انجام عملیات همبستگی، نرم افزار مدلی

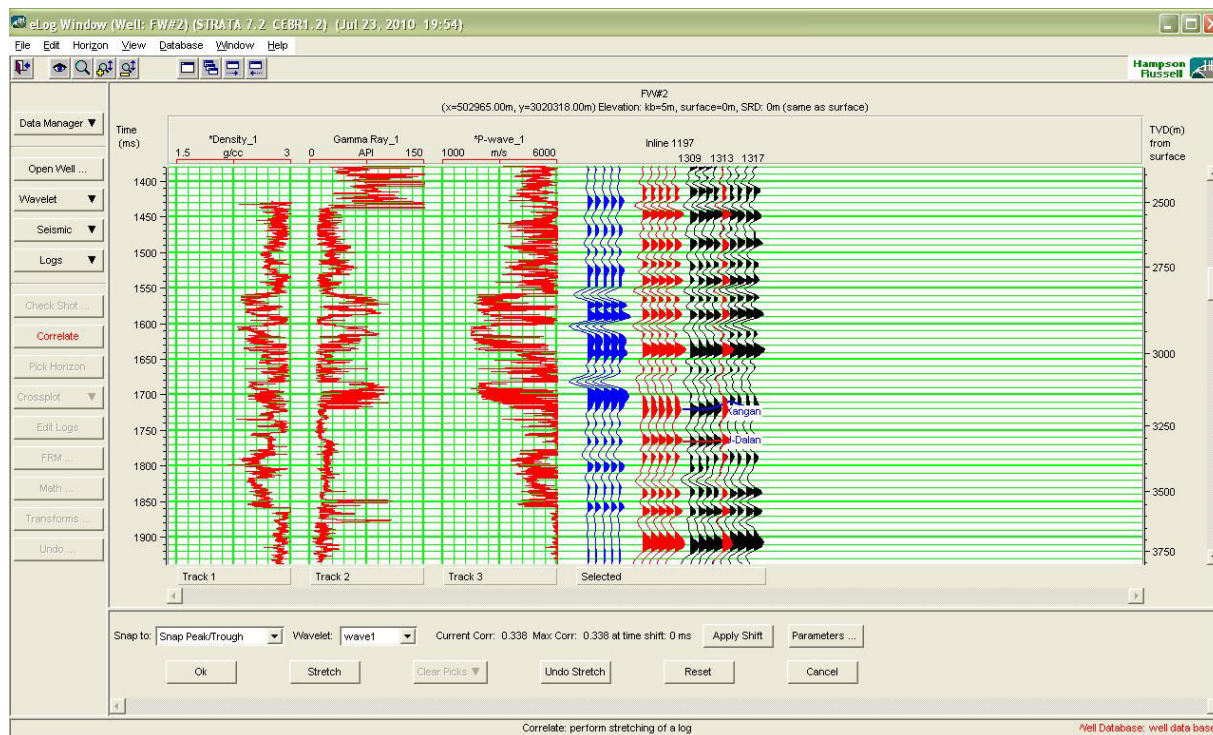
را به عنوان مدل اولیه مانند شکل ۶ می سازد.

بعد از ساخت مدل اولیه، نوبت به وارون کردن حجم لرزه ای است. این امر در دو مرحله صورت می گیرد: ابتدا آنالیزی در محل چاه برای بهینه سازی پارامترها اجرا می شود. سپس عملیات را روی کل حجم با پارامترهای انتخابی مرحله اول اجرا می کنیم. مرحله اول بصورت شکل ۷ است که نتایج عملکرد وارون سازی پایه مدل را در چاه ۲ نشان می دهد. در این شکل پنل سمت چپ، سه منحنی امپدانس را نشان می

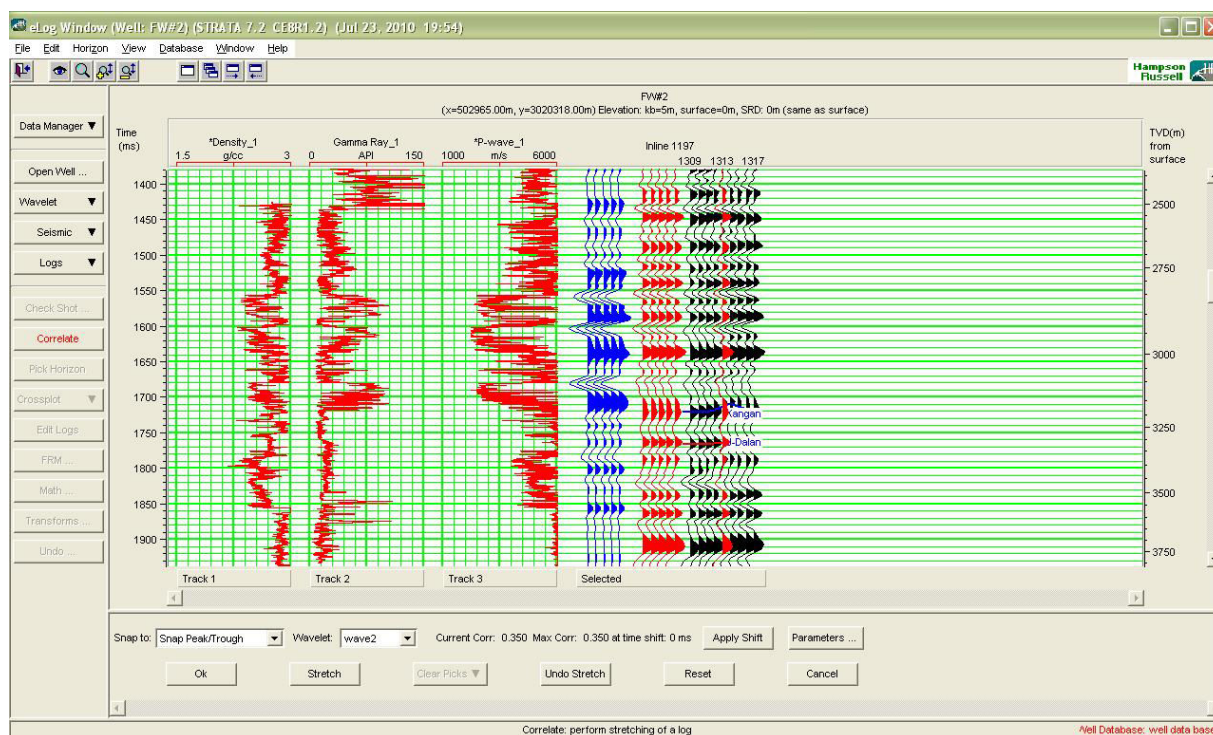
دهد. امیدانس اصلی به رنگ آبی، مدل حدس اولیه به رنگ سیاه و نتیجه وارون سازی نهایی به رنگ قرمز می باشد. پنل میانی، مقایسه بین تریسهای مصنوعی محاسبه شده از نتایج وارون سازی با تریس لرزه ای ورودی است که همبستگی آنها ۰.۹۹ می باشد. پنل سوم نشان دهنده خطا است که اختلاف بین دو مجموعه تریس قبلی است. مرحله دوم، وارون سازی کل حجم و دستیابی به مدل امیدانس صوتی نهایی است(شکل ۸).



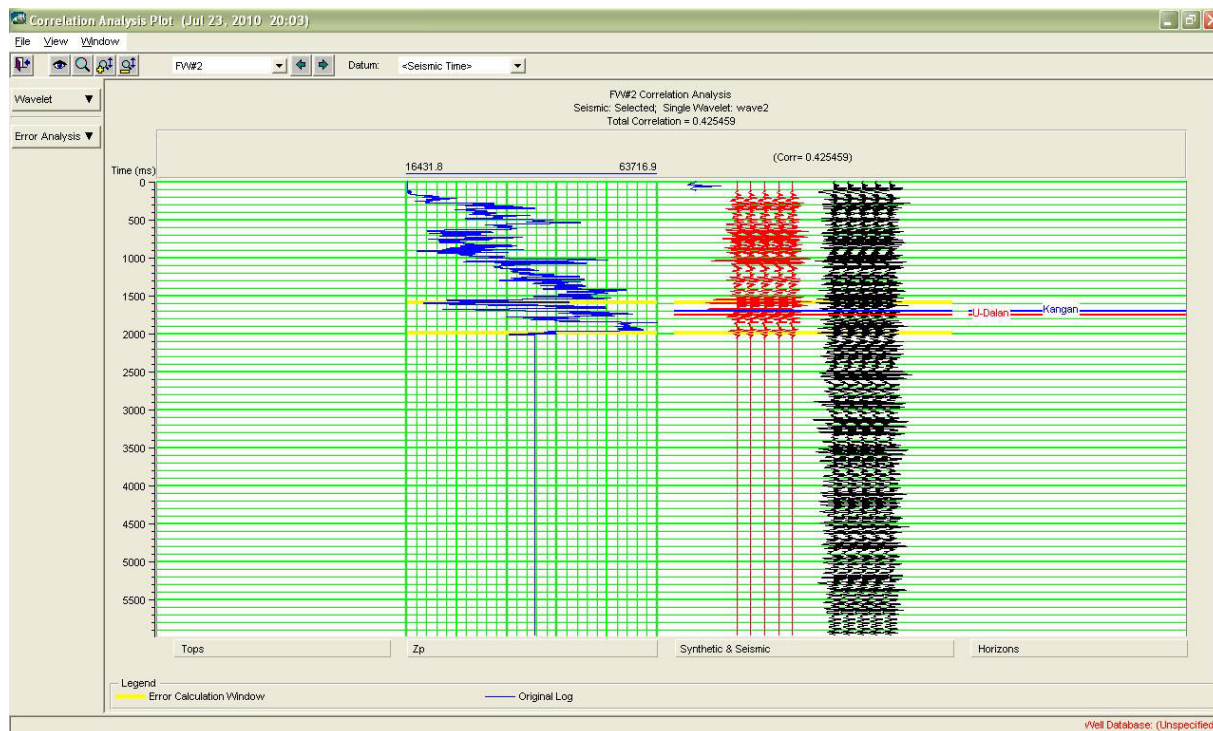
شکل ۲. همبستگی ابتدایی در چاه شماره ۲ بین تریس مصنوعی (آبی) و تریسهای میانگین اطراف چاه (قرمز) و تریس واقعی (سیاه).



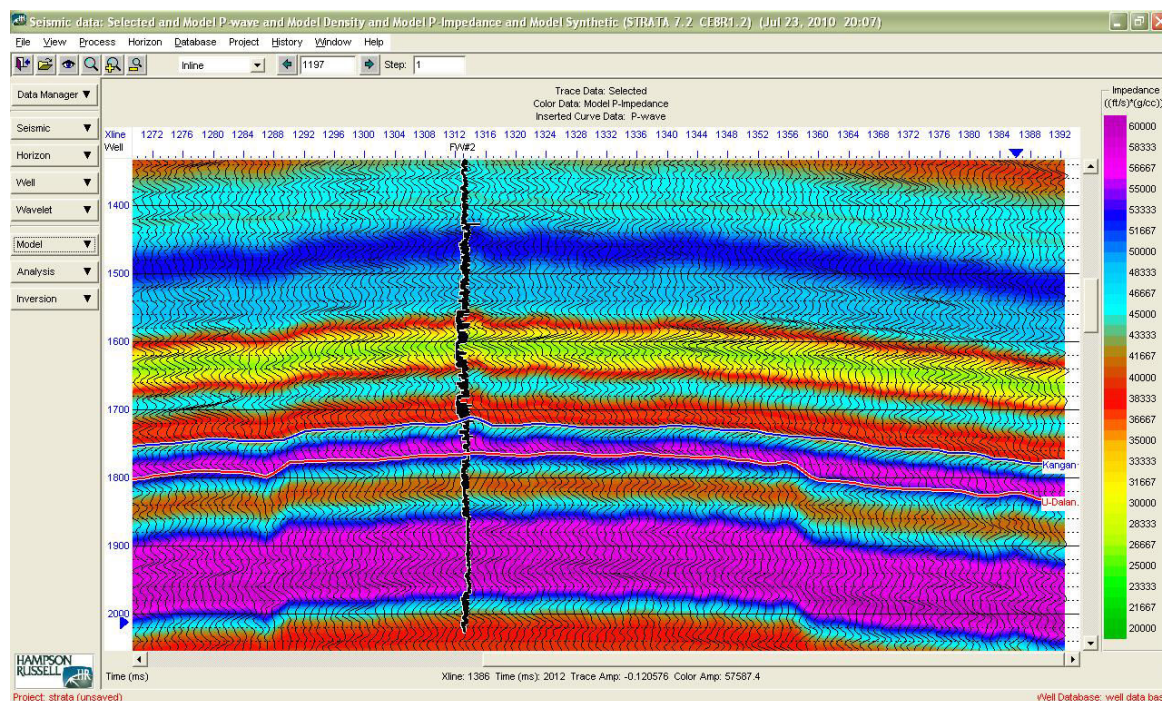
شکل ۳. همبستگی پس از استخراج موجک به صورت آماری که بهبود همبستگی را تا ۰.۳۳۸ نشان می دهد.



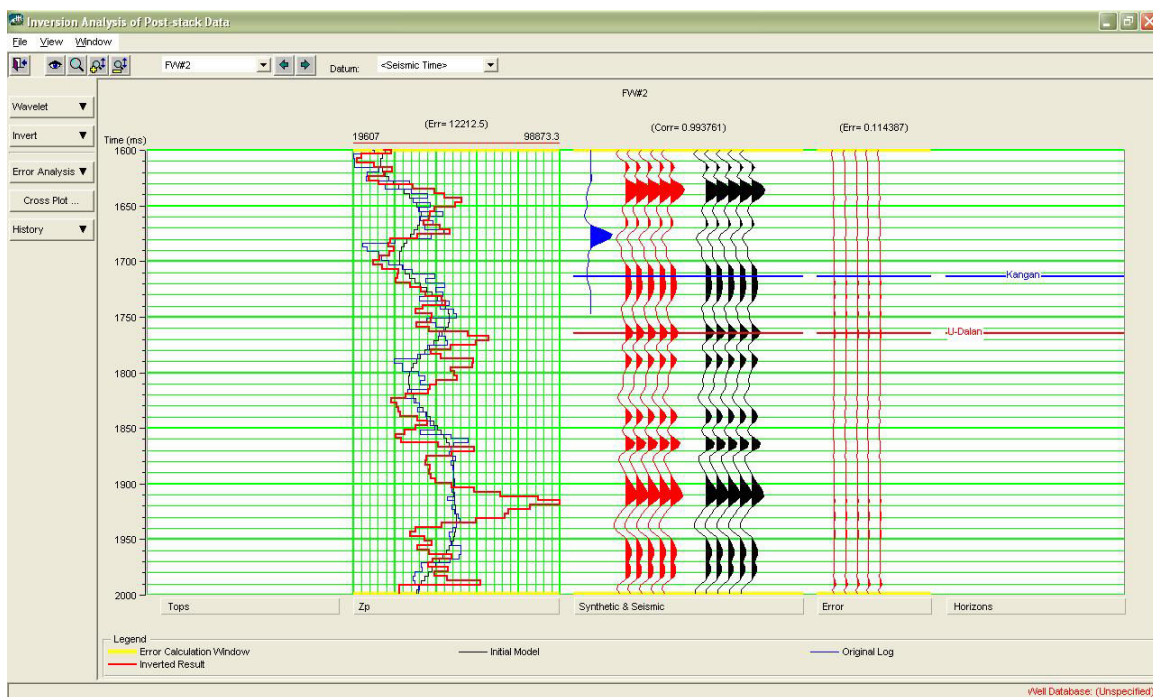
شکل ۴. همبستگی پس از استخراج موجک از چاه شماره ۲ که بهبود همبستگی را تا ۰.۳۵ به همراه دارد.



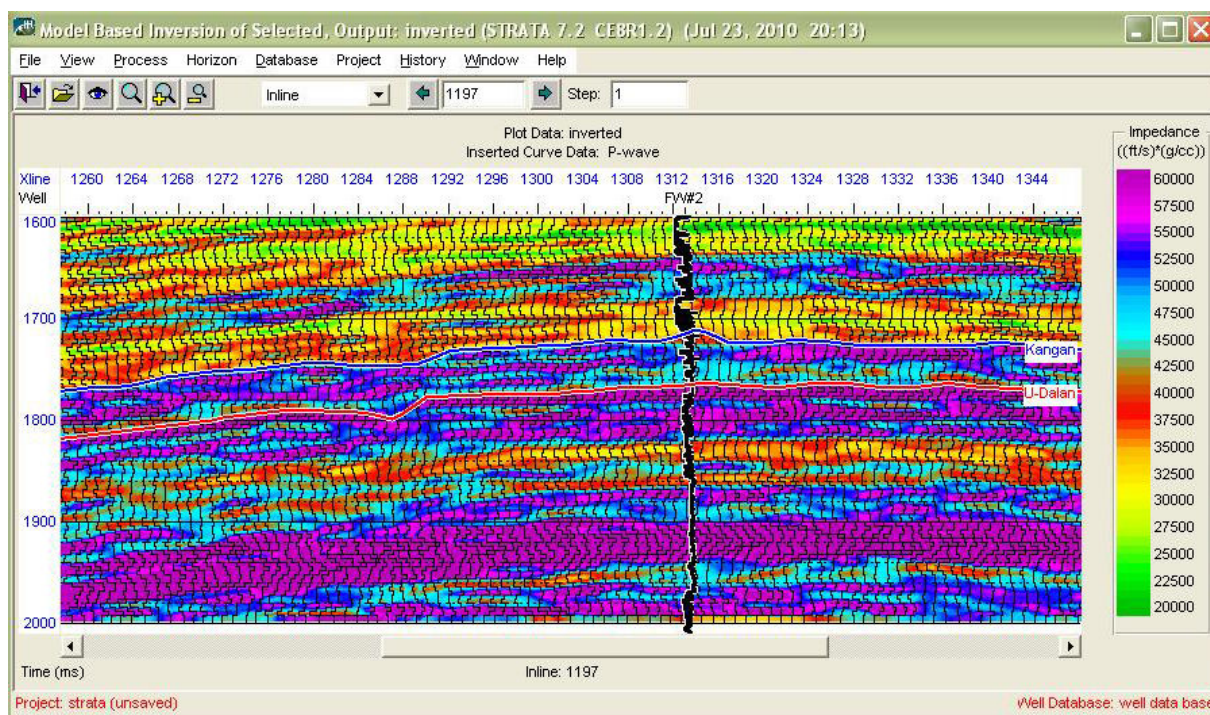
شکل ۵. آنالیز همبستگی در چاه شماره ۲ بین تریسهای مصنوعی (قرمز) و واقعی (سیاه). همبستگی کل ۰.۴۲۵۴۵۹ می باشد.



شکل ۶. مدل اولیه ساخته شده توسط نرم افزار



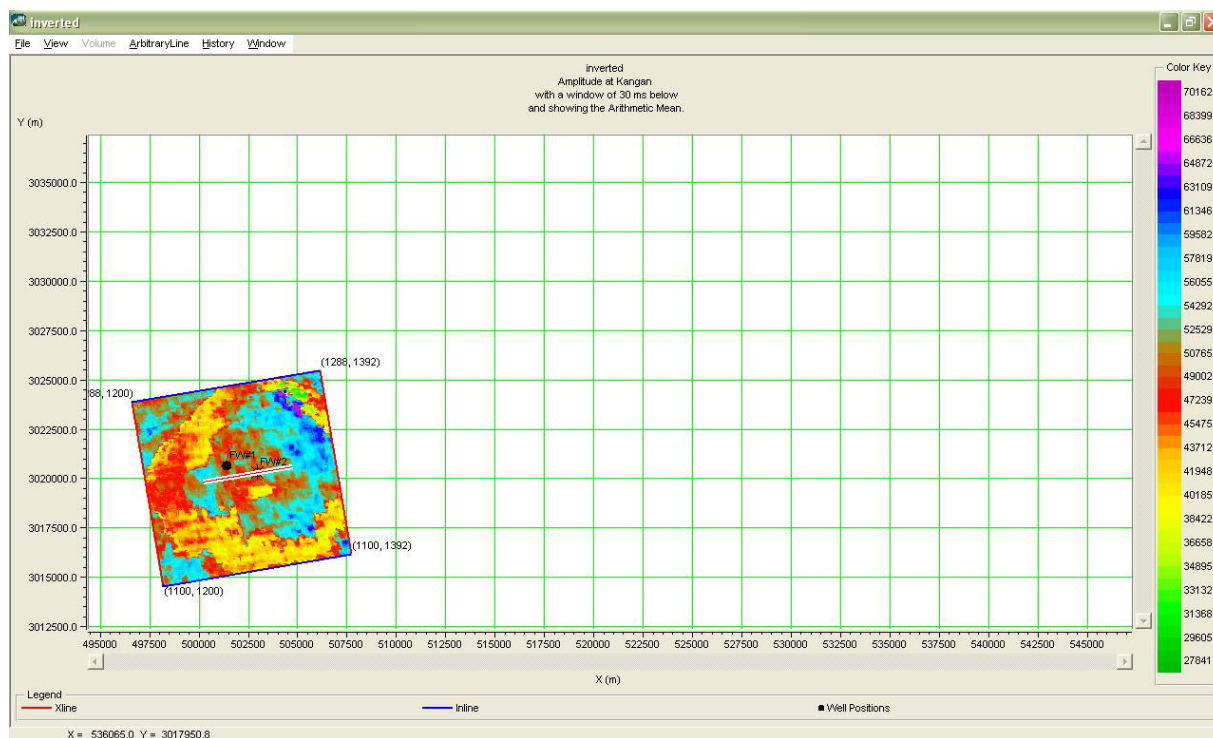
شکل ۷. آنالیز وارون سازی پایه مدل در چاه شماره ۲. پیل سمت چپ معرف منحنی های امپدانس اصلی (آبی)، مدل حدس اولیه (سیاه) و نتیجه وارون سازی نهایی (قرمز) است. پیل میانی، مقایسه بین تریسهای مصنوعی و واقعی است که همبستگی ۰.۹۹ را نشان می دهد. پیل سمت راست نشاندهنده خطاست که اختلاف بین دو مجموعه تریس قبلی می باشد.



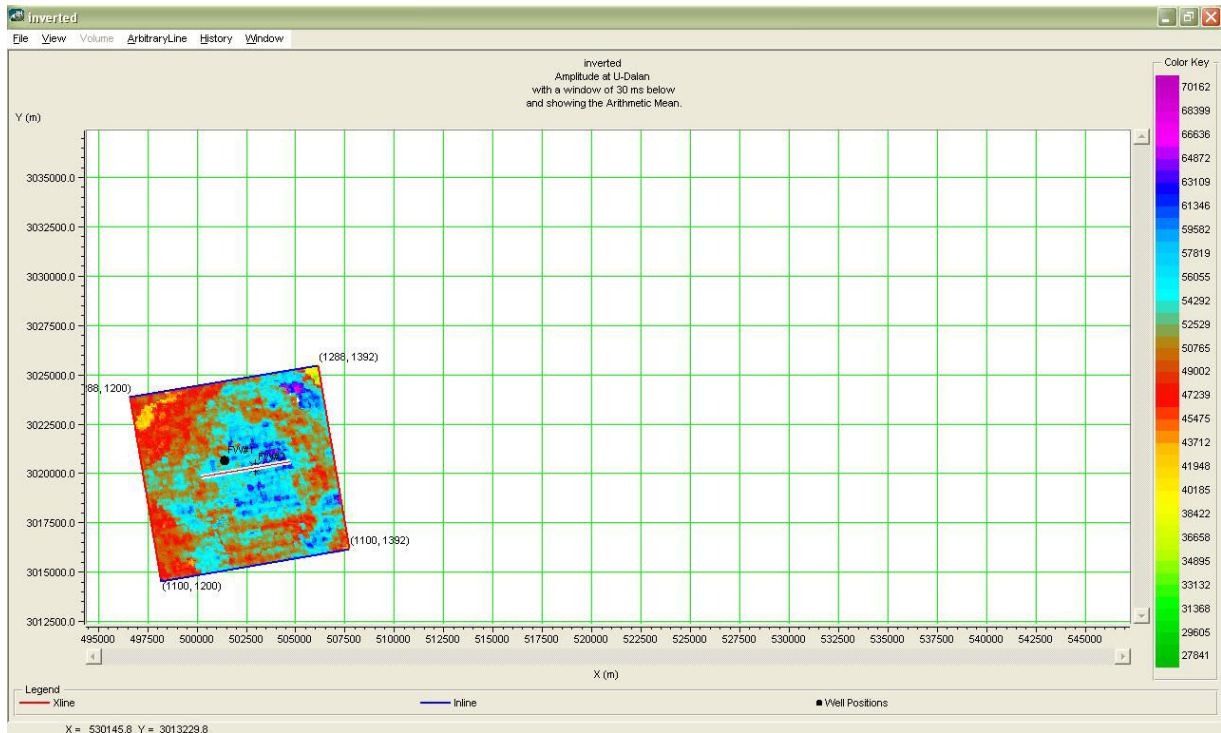
شکل ۸. مدل امپدانس صوتی نهایی

سرعت موج P به موج S را بر حسب امپدانس موج P به دست آورده و پوش حداقل مربعات آنها را روی مدل امپدانس صوتی نهایی اعمال می کنیم. نتیجه به صورت مدل های مذکور است (اشکال ۱۱ تا ۱۳).

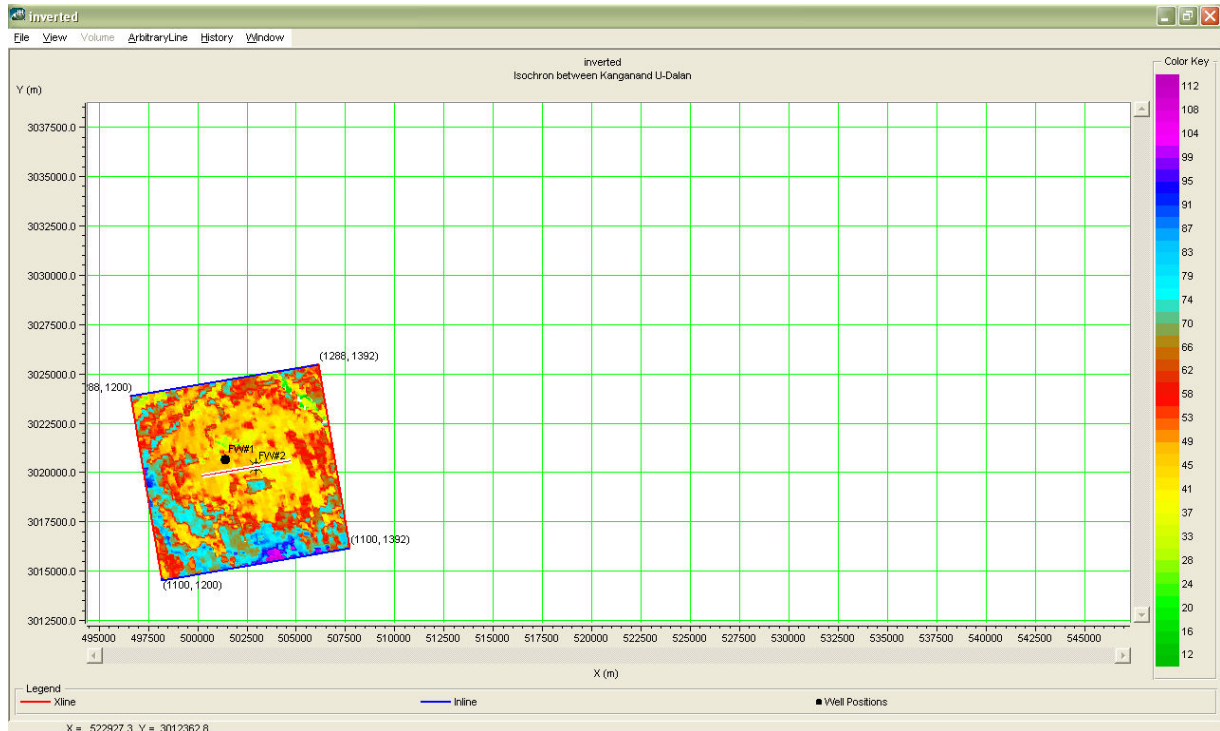
با استفاده از مدل امپدانس صوتی می توان به نقشه های دامنه لرزه ای وارون شده افق های کنگان و دالان بالایی (شکل ۹) و نقشه هم ضخامت وارون شده بین افق های مذکور (شکل ۱۰) دست یافت. برای دستیابی به مدل های تخلخل، نسبت پواسون و نسبت سرعت موج P به موج S، نگار تخلخل را از نگار چگالی، امپدانس موج P را از حاصلضرب موج P در چگالی، نسبت پواسون را از اشعه گاما و نسبت سرعت موج P به موج S را از منحنی های کمکی AVO به دست می آوریم. سپس نمودارهای تخلخل، نسبت پواسون و نسبت



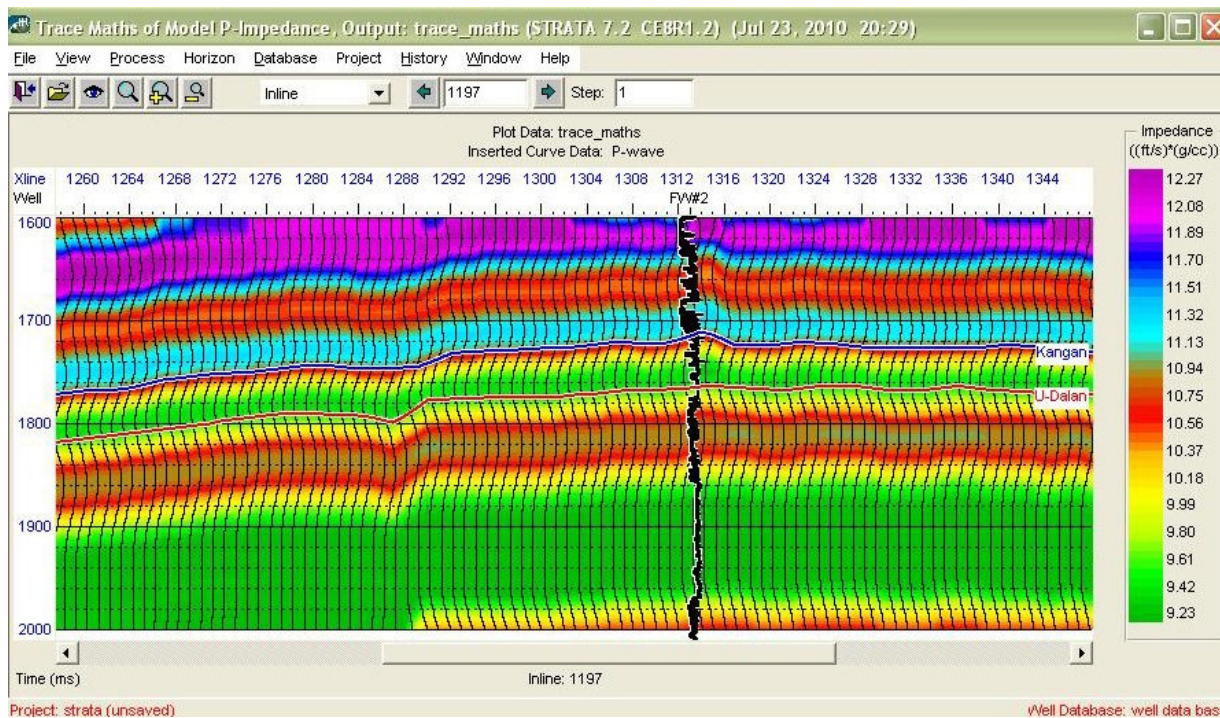
شکل ۹ الف. دامنه لرزه ای وارون شده در افق کنگان



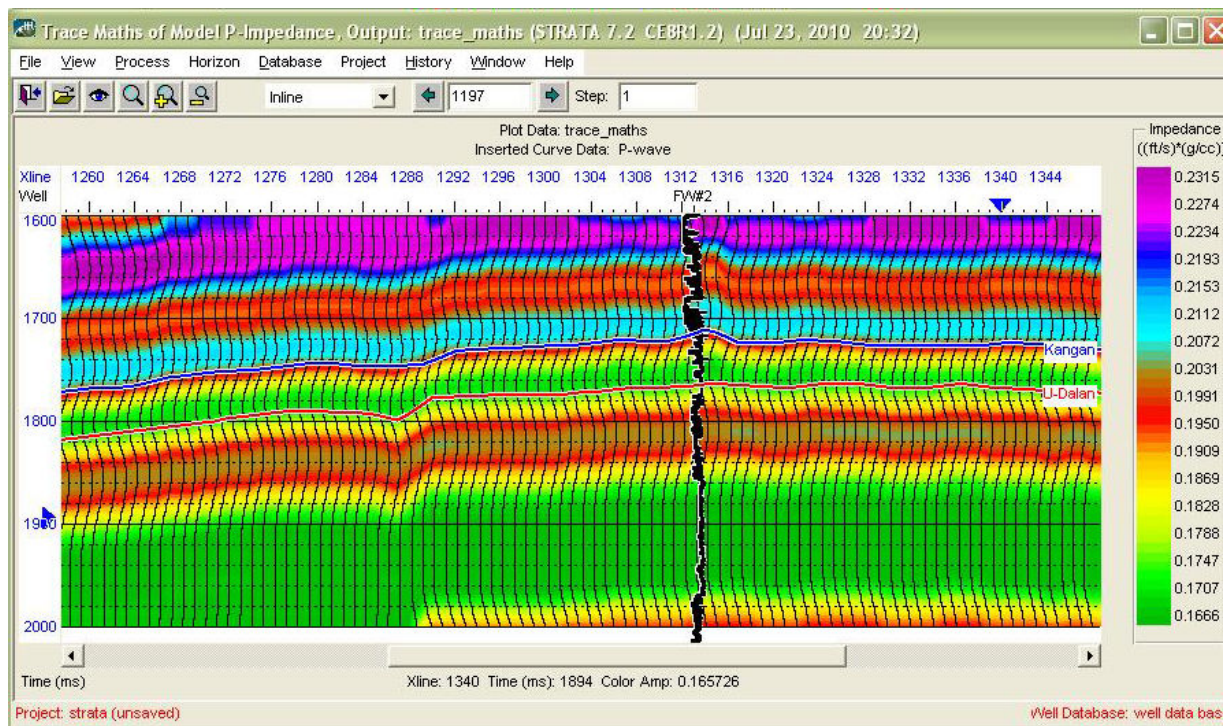
شکل ۹ ب. دامنه لرزه ای وارون شده در افق دالان بالایی



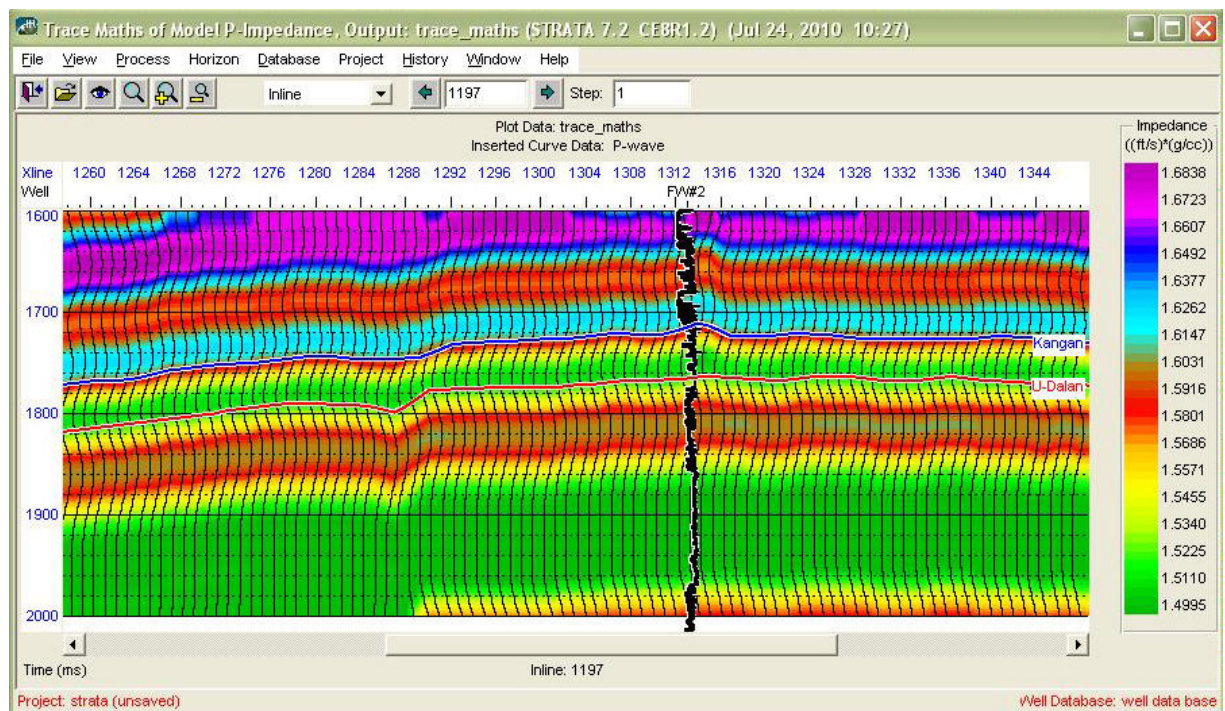
شکل ۱۰. نقشه هم ضخامت وارون شده بین افقهای کنگان و دالان بالایی



شکل ۱۱. مدل تخلخل



شکل ۱۲. مدل نسبت پواسون



شکل ۱۳. مدل نسبت موج P به موج S

نتیجه گیری

با استفاده از وارون سازی داده های لرزه ای شبه سه بعدی در میدان فردوسی به مدل امپدانس صوتی دست پیدا کردیم که با توجه به این مدل، نقشه های دامنه لرزه ای وارون شده و نقشه هم ضخامت در افقهای کنگان و دالان حاصل شدند.

همچنین مدل های تخلخل، نسبت پواسون و نسبت سرعت موج P به موج S بدست آمدند. با استفاده از مدل تخلخل در هر نقطه می توان مقادیر پیچش و فاکتور سازند را محاسبه کرد و با داشتن تقریبی از تراوایی، فاکتورهای سرشت نمایی واحد جریان محاسبه می شوند.

قدردانی

با سپاس فراوان از جناب آقای مهندس سیاوش نوروزی که مساعدت ایشان در انجام این مطالعه بسیار موثر بود.

منابع

- Engelmark, F., 2005, "Binary decomposition of three-term seismic inversion data to estimate recoverable hydrocarbon volumes", SPE 93464.
- Hampson, D.P., Russell, B.H., and Bankhead, B., 2005, "Simultaneous inversion of pre-stack seismic data", Ann. Mtg. Abstracts, SEG, 1633-1637.
- Hampson, D. and Russell, B.H., 1992, "Amplitude versus offset analysis, modeling, and inversion", AVO software documentation, Hampson-Russell Software Services Ltd.
- Marzuki, Z.B., 2000, "Improving the static model of a complex reservoir through the inversion of seismic data", SPE 64740.
- Stewart, R.R., 1991, "Rapid map and inversion of P-SV seismic waves", Geophysics, 56, 859-862.