

مقایسه نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای دوبعدی میدان نفتی هنديجان و بهرگانسر به روش‌های مختلف

آرش وکیلی^{۱*}، سیده طیبه خلیلی^۱، سیدکیوان حسینی^۱، سید رضا موسوی حرمی^۱ و علی چهرازی^۲

۱- مرکز تحقیقات زمین لرزه‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- گروه پژوهش و توسعه شرکت نفت فلات قاره ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۸

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۱۳

چکیده

منابع هیدروکربنی از مهم‌ترین نیازهای امروز بشر محسوب می‌شود، لذا بهره‌گیری از روش‌هایی با بازدهی بیشتر و هزینه کمتر برای توسعه مخازن نفت و گاز، امری ضروری است. بی‌شک حفاری به دلیل دسترسی مستقیم به اعماق زمین از نقطه نظر جمع‌آوری اطلاعات مخزنی، دارای قطعیتی مناسب می‌باشد ولی به جهت هزینه بالا و نقص ذاتی چاه‌ها در پوشش منطقه، لازم است روشی اتخاذ گردد که با هزینه‌های کمتر، نتیجه‌ای دقیق در اختیار قرار دهد. لرزه‌نگاری از روش‌های موجود در برداشت اطلاعات از سطح می‌باشد که مدل مناسبی از خواص مخزنی ارائه می‌دهد. وارون‌سازی روشی است که با تلفیق داده‌های لرزه‌ای و چاه‌نگاری قدرت تفکیک و صحت مدل مخزن را ارتقا می‌بخشد. حاصل وارون‌سازی، مدل امیدانس صوتی است که نشان‌گر تغییر در جنس لایه‌های زمین یا محتوای سیال آن است. طی این مطالعه مدل امیدانس صوتی، با استفاده از روش‌های مختلف وارون‌سازی لرزه‌ای به‌دست آورده می‌شود. با استفاده از این مدل می‌توان پارامتر تخلخل را محاسبه نمود. در این مطالعه روش‌های پس از برانبارش استفاده شده‌اند. با ترکیب داده‌های لرزه‌ای، اطلاعات نگاره‌ها و افق‌های تفسیری در میدان‌های نفتی هنديجان و بهرگانسر در خلیج فارس، وارون‌سازی لرزه‌ای به روش‌های باند محدود، خارهای پراکنده و بر پایه مدل برروی سازند جهرم در عمق تقریبی ۲۲۰۰ متری و ضخامت ۳۰۰ متر انجام شده است. با مقایسه نتایج حاصل در نهایت به علت خطای کم ۰/۰۸ و هماهنگی بالا (۹۹/۶۵٪) میان امیدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی و امیدانس صوتی حاصل از چاه‌نگاری، روش بر مبنای مدل به‌عنوان مناسب‌ترین روش در این مطالعه معرفی شده است.

کلمات کلیدی: وارون‌سازی لرزه‌ای، بر مبنای مدل، خارهای پراکنده، باند محدود، هنديجان، بهرگانسر

مقدمه

لرزه‌ای به روش‌های باند محدود، خارهای پراکنده و بر پایه مدل انجام و در قالب یک مطالعه موردی به مقایسه نتایج حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای پرداخته شده است. هدف اصلی وارون‌سازی لرزه‌ای در میدان‌های نفتی یاد شده، اهمیت ملی آن در راستای مدل‌سازی حوضه خلیج فارس می‌باشد. موقعیت استراتژیک خلیج فارس و میادین نفتی این حوضه سبب شده است تا با انجام مطالعات مختلف و بررسی نتایج حاصله، بهترین روش‌ها که پاسخ‌های بهینه‌تری در اختیار ما قرار می‌دهند تعیین شده و در نهایت میادین نفتی مذکور به بهترین شکل ممکن توصیف گردند. بنابراین مهم، روش‌های مختلف وارون‌سازی بر روی میادین انجام و نتایج آن مقایسه شده است تا به مدد آن بهترین روش برای این حوضه معرفی گردد و برای حوضه‌های با وضعیت یا داده‌های مشابه به کار رود.

وارون‌سازی لرزه‌ای

واضح است تنها راه مستقیم دست‌یابی به خواص پتروفیزیکی مخزن حفر چاه است، حفاری علی‌رغم این قابلیت مهم و همچنین دقیق بودن اطلاعات حاصله، موجب تحمیل هزینه‌های زیادی می‌شود و همین‌طور به دلیل نقص ذاتی چاه‌ها که در فاصله زیادی از یکدیگر قرار دارند، برای فضاهای خالی بین چاه‌ها هیچ‌گونه اطلاعاتی از پارامترهای مورد نیاز در مدل‌سازی کیفی مخزن به دست نمی‌دهد. به جای استفاده از روش‌های آماری، به‌کارگیری داده‌های لرزه‌ای و وارون‌سازی جهت محاسبه پارامترهای مخزن بسیار منطقی‌تر به نظر می‌آید.

بر مبنای اصول لرزه‌نگاری بازتابی، رد لرزه‌ای حاصل هم‌میخت^۱ سری‌های بازتابی با موجک است (فرمول ۱). رد لرزه‌ای برداشت شده، حاصل هم‌میخت موجک با پاسخ ضربه‌ای^۲ زمین، همراه با تاثیر نویز است [۵].

وارون‌سازی^۱ در ژئوفیزیک، تهیه نقشه‌ای از خواص فیزیکی و شکل لایه‌های زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی تعریف می‌شود [۱]. این تعریف عمومی برای حالت‌های خاص از وارون‌سازی لرزه‌ای، به‌صورت بازیابی نمودارهای مقاومت صوتی از رد لرزه‌ها بیان می‌گردد. به عبارت دیگر، وارون‌سازی روشی است که در آن می‌توان با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای به عنوان ورودی، به یک مدل زمین‌شناسی به‌عنوان خروجی دست یافت. اهمیت وارون‌سازی لرزه‌ای به علت استفاده از داده‌های مختلفی همچون اطلاعات لرزه‌ای و اطلاعات نگاره چاه و اطلاعات زمین‌شناسی است که با هم تلفیق شده و قدرت تفکیک و صحت مدل مخزن را بالا می‌برند. روش‌های مختلفی به منظور وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای وجود دارد که با توجه به داده‌های موجود و شرایط میدان، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق سه روش باند محدود^۲، بر مبنای مدل^۳ و خارهای پراکنده^۴ مورد بحث واقع می‌شوند.

روش باند محدود نخستین بار توسط فرگوسن و مارگراو (۱۹۹۶) جهت تخمین مقاومت لرزه‌ای با باند فرکانسی محدود ارائه شد [۲]. این روش حاصل ارتباط بین یک رد لرزه‌ای و سری مقاومت لرزه‌ای است [۳]. روش بر مبنای مدل برای اولین بار توسط کوک و اشنايدر در سال ۱۹۸۳ معرفی شد [۴]. این روش برخلاف روش‌های وارون‌سازی بازگشتی به نویزهای موجود در داده‌ها حساسیت کمتری دارد (راسل ۱۹۸۸). در روش خارهای پراکنده از توزیع‌های مختلفی برای پارامترهای مدل برای بازیابی فرکانسهای بالا استفاده می‌شود [۵]. اولدنبرگ و همکاران در سال ۱۹۸۳ توزیع نمایی را که معادل نرم L_1 است در روش خارهای پراکنده به کار بردند [۶].

در این تحقیق، با ترکیبی از داده‌های لرزه‌ای دوبعدی، اطلاعات چاه‌ها و افق‌های تفسیری در میدان‌های نفتی هندیجان و بهرگانسر ایران واقع در خلیج فارس، وارون‌سازی

1. Inversion
2. Band Limit
3. Model Based
4. Sparse Spike
5. Convolution
6. Impulse Response

در ادامه به بررسی روش‌های بانند محدود، بر پایه مدل و خارهای پراکنده پرداخته شده است.

روش بر پایه مدل

وارون‌سازی بر مبنای مدل بر اساس الگوریتم برگردان خطی تعمیم یافته عمل می‌کند و تا زمانی که تطابق بین پاسخ لرزه‌ای مصنوعی و پاسخ لرزه‌ای واقعی در محدوده قابل قبول برقرار شود ادامه می‌یابد [۹].

در این روش، رابطه ریاضی وارون‌سازی خطی تعمیم یافته^۲ که به اختصار رابطه (GLI) خوانده می‌شود بین مدل و رد لرزه‌ای به کار گرفته می‌شود و تصحیحات مدل بر مبنای اختلاف حاصل از مقایسه رد لرزه‌ای و رد لرزه‌ای مصنوعی اعمال می‌شود. برای انجام این وارون‌سازی به شیوه خطی تعمیم یافته، نیاز به یک مدل اولیه است که این مدل از داده‌های چاه به دست می‌آید [۱۰]. این روش، مدل زمین‌شناسی واقعی‌تری حاصل می‌کند. برگردان خطی تعمیم یافته با عناوینی چون مدل آشفته، رگرسیون غیرخطی و مدل‌سازی معکوس نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، و برای به دست آوردن بانند وسیعی از امپدانس به کار می‌رود [۱۱].

روش بانند محدود

یکی از روش‌های وارون‌سازی بازگشتی کلاسیک، روش بانند محدود است که اثر موجک را حذف می‌کند [۱۲] چنانچه گویی زمین از یک مجموعه بازتابنده‌ها تشکیل شده باشد. قبل از انجام وارون‌سازی با استفاده از داده‌های چاه و افق‌های زمین‌شناسی یک مدل ساخته می‌شود که تنها حاوی بازه‌ای از فرکانس‌ها می‌باشد. به‌علت ماهیت گیرنده‌ها محتوای فرکانسی پایین در برداشت داده‌های لرزه‌ای ثبت نشده‌اند بنابراین، این محتوای فرکانسی از طریق اعمال فیلتر پایین‌گذر بر روی مدل ساخته شده بر اساس نمودارهای درون چاهی به داده‌ها اضافه شود.

$$\forall t, t \geq 0, \quad x(t) = w(t) * R(t) + N(t) \quad (1)$$

که در آن $x(t)$ رد لرزه‌ای برداشت شده، $w(t)$ موجک لرزه‌ای، $R(t)$ توالی بازتاب‌ها که ناشی از پاسخ ضربه‌ای زمین است و $N(t)$ مقدار نویز موجود می‌باشد.

در فرآیند وارون‌سازی، با واهمامیخت^۱ موجک و رد لرزه‌ای، سری‌های بازتابی حاصل می‌شود که با قرار گرفتن در کنار یکدیگر، در نقش مقطع بازتاب در زیر زمین که نشان‌دهنده خواص امپدانس صوتی است، ظاهر می‌شود.

وارون‌سازی یک روش یکپارچه‌سازی مهم است که با بهره‌گیری از اطلاعات نگاره‌های چاه و داده‌های وارون‌سازی، امپدانس صوتی را به دست می‌دهد [۷].

از آنجا که وارون‌سازی لرزه‌ای اطلاعات فرکانس بالای چاه‌نگاری را با داده‌های لرزه‌ای که حاوی اطلاعات فرکانس پایین می‌باشد ادغام می‌کند، مدل امپدانس صوتی حاصل، یک مدل بانند پهن است که حاوی اطلاعات بیشتری می‌باشد. به همین دلیل تفسیر ساختاری و چینه‌ای داده‌های لرزه‌ای بر اساس داده‌های امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی، دقیق‌تر خواهد بود [۸].

روش‌های مختلف انجام وارون‌سازی روی داده‌های لرزه‌ای پیش برانبارش و پس از برانبارش وجود دارد. در قلمرو پس برانبارش، اطلاعات لرزه‌ای پس از برانبارش به منظور تولید یک مجموعه اطلاعات امپدانس صوتی و تعیین تغییرات روند چگالی تحلیل می‌شوند. فرآیند وارون‌سازی پس از برانبارش به روش‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که با توجه به نیازها و داده‌های موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد، این روش‌ها شامل موارد زیر می‌باشند [۹]:

۱. برگردان به شیوه بر مبنای مدل
۲. برگردان به روش خارهای پراکنده
۳. برگردان به شیوه بانند محدود
۴. استفاده از شبکه عصبی که معمولا این نوع وارون‌سازی در برداشت‌های سه بعدی کاربرد دارد.

1. Deconvolution

2. Generalized Linear Inversion

رساندن خطای موجود بین رد لرزه‌ای و رد لرزه‌ای مصنوعی^۳، مدل امپدانسی با بازتاب‌های پراکنده را بهبود ببخشد. تخمین خازهای پراکنده با استفاده از برون‌یابی کل باند انعکاس‌پذیری صورت می‌پذیرد [۹].

۲- روش بیشترین شباهت: این الگوریتم بر اساس بیشترین شباهت واهمامیخت می‌باشد. این روش بر پایه یک نوع خاص از واهمامیخت با همین نام می‌باشد که در آن سری ضرایب بازتاب، یک سری با پراکندگی اسپاکی در نظر گرفته می‌شود و تخمینی از ضرایب بازتاب پراکنده و موجک را به دست می‌دهد. این روش به لحاظ نتایج دارای اعتبار کمتری نسبت به روش برنامه‌ریزی خطی بر اساس نرم L_1 می‌باشد [۶].

مطالعه موردی

این تحقیق به صورت موردی به مطالعه سازند "جهرم" و مرز آن با سازند پابده در میدان نفتی هنديجان و بهرگانسر واقع در خلیج فارس، می‌پردازد. سه حلقه چاه عمودی از مجموعه چاه‌های حفاری شده، با عمق تقریبی ۴۰۰۰ m در این مطالعه، مورد استفاده قرار گرفته است. طبق گزارش شرکت نفت فلات قاره ایران ضخامت سازند جهرم در چاه‌های مختلف متغیر بوده و به طور میانگین حدود ۳۰۰ m گزارش شده است. طبق مطالعات انجام شده سازند جهرم یک سازند دولومیتی با تنوع دولومیت توده‌ای، نازک لایه و توده‌ای خشن و برجسته می‌باشد. سازند جهرم در میدان هیدروکربنی بهرگانسر هنديجان مورد بررسی قرار گرفته است. میدان نفتی بهرگانسر نیز در شمال استان بوشهر در حد فاصل بندر گناوه به بندردیلم (۴۰ کیلومتری شمال غربی بندر گناوه و ۲۸ کیلومتری بندردیلم)، در منطقه بهرگان قرار دارد.

از مزایای این روش می‌توان به سادگی و زمان کم برای انجام محاسبات و از معایب آن می‌توان به عدم توانایی شناسایی لایه‌های نازک با بهره‌گیری از این روش اشاره کرد [۲].

روش خازهای پراکنده

در وارون‌سازی به روش خازهای پراکنده سری ضرایب بازتاب را برای چندین بازتاب اصلی از رد لرزه‌ای به دست می‌آوریم و باند فرکانسی مدل زمین را به طور کامل باز سازی می‌کنیم، به طوری که دارای همه فرکانس‌های بالا و پایین باشد. یعنی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای با تفکیک‌پذیری^۱ پایین به مقطع امپدانس صوتی، که امکان تفکیک‌پذیری بالاتری برای لایه‌های زیر سطحی دارد برسیم. البته باید فرض کرد پردازش دقیق و صحیح داده‌ها منجر به حذف کامل نویز، بازتاب‌های مکرر، پراش و همچنین تصحیح واگرائی کروی شده است. در روش خازهای پراکنده، وارون‌سازی پهنای باند کامل صورت می‌پذیرد، در حالی که سایر روش‌ها تمام باند پوشش داده نمی‌شود [۶].

در این روش فرض بر این است که سری ضرایب بازتاب زمین از دسته‌ای از رخداد‌های بزرگ (خازهای پراکنده) بر هم نهشته بر زمینه‌ای گوسی از رخداد‌های کوچکتر تشکیل شده است. تکنیک‌های واهمامیخت را می‌توان زیر مجموعه روش‌های خازهای پراکنده در نظر گرفت [۱۰].

روش خازهای پراکنده دارای الگوریتم‌های مختلفی است که نرم‌افزار همسون راسل^۲ دو روش عمده را در بر می‌گیرد:

۱- برنامه‌ریزی خطی: این الگوریتم بازتاب‌های پراکنده‌ای را ایجاد می‌کند. در حالتی که تعداد خازها حداقل باشد بایستی بهترین تطابق بین رده‌های مصنوعی و رد لرزه‌ای واقعی برقرار باشد. این روش بر اساس برنامه‌ریزی خطی بوده و فرض بر این است که موجک موجود، رد لرزه‌ای را کامل می‌پیماید و سعی می‌کند از طریق به حداقل

1. Resolution
2. Hampson-Russell
3. Synthesis Seismogram

۲. تصحیح رابطه عمق- زمان بر اساس داده‌های چک شات^۲
۳. استخراج موجک به صورت آماری^۳
۴. ایجاد رد لرزه‌ای ساختگی بر اساس نگاره‌های صوتی اصلاح شده و چگالی
۵. ایجاد تطابق^۴ بین داده‌های لرزه‌ای و چاه و به دست آوردن رد لرزه‌ای مصنوعی مناسب.
۶. استخراج موجک بر اساس داده‌های چاه
۷. پیک کردن سرسازندها و تفسیرافق‌های ساختمانی
۸. ساخت مدل اولیه
۹. وارون‌سازی به روش‌های مختلف
۱۰. مقایسه نتایج وارون‌سازی با روش‌های مختلف و نتیجه‌گیری

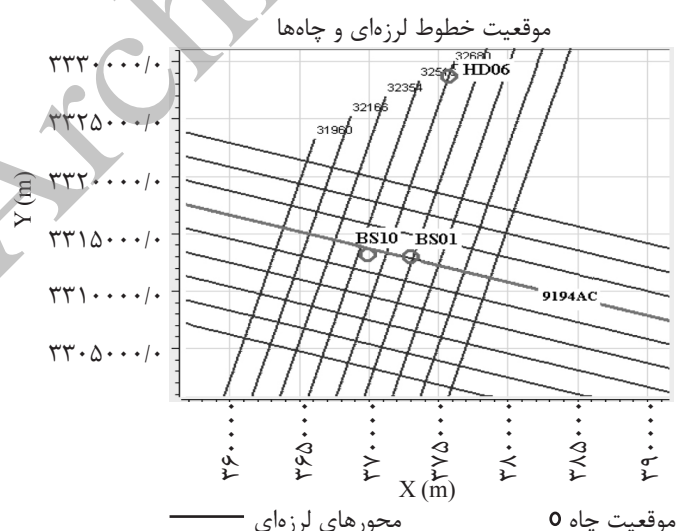
وارون‌سازی داده‌های واقعی

اطلاعات حاصل از چاه‌ها شامل: سر سازندها، چک شات‌ها و نگاره‌های چگالی و صوتی، و نیز اطلاعات لرزه‌ای شامل ۱۷ خط برداشت دریایی (۹ مسیر رفت و ۸ مسیر عمود بر آن)، مجموعه داده‌های ورودی برای انجام این پژوهش می‌باشند (شکل ۱).

میدان هندیدجان در ۳۵ کیلومتری جنوب شهر هندیدجان و ۱۰ کیلومتری جنوب شرق روستای کاپارها^۱ و شمال میدان بهرگانسر در قسمت بالایی خلیج فارس واقع شده است. قسمت‌های شمالی این میدان در نواحی ساحلی و مردابی قرار گرفته است. ساختار هندیدجان یک تاق‌دیس کوچک با روند محوری شمالی- جنوبی است که در روند یکسانی با روند نوروژ- بهرگانسر در ۱۰ کیلومتری شمال ساختار بهرگانسر قرار دارد. به دلیل نزدیکی این میدان به ساختار بهرگانسر انتظار نمی‌رود که تغییرات رخساره‌ای زیادی مشاهده شود. برداشت‌های لرزه‌ای مورد استفاده در این مطالعه برداشت‌های لرزه‌ای دو بعدی دریایی است که شامل ۱۷ خط برداشت می‌باشد. داده‌های برداشت شده چاه نیز شامل طیف متنوعی از نگاره‌ها می‌باشند که از نگاره چگالی و صوتی به منظور محاسبه امیدانس صوتی استفاده شده است.

مراحل وارون‌سازی لرزه‌ای

۱. بارگذاری اطلاعات حاصل از چاه‌نگاری و سپس بارگذاری داده‌های لرزه‌ای

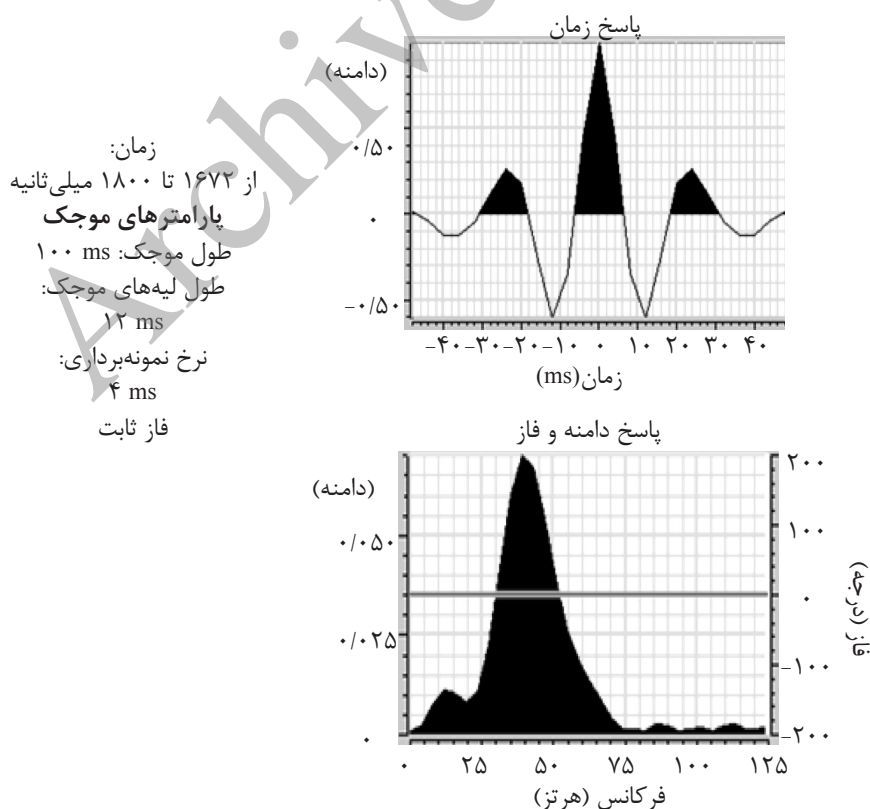


شکل ۱- مسیرهای برداشت لرزه‌ای همراه با موقعیت مکانی چاه‌های مورد استفاده در این تحقیق و مسیر برداشت لرزه‌ای که وارون‌سازی روی آن نمایش داده شده است.

1. Kaparha
2. Check-shots
3. Statistical Wavelet
4. Correlation
5. Well Top

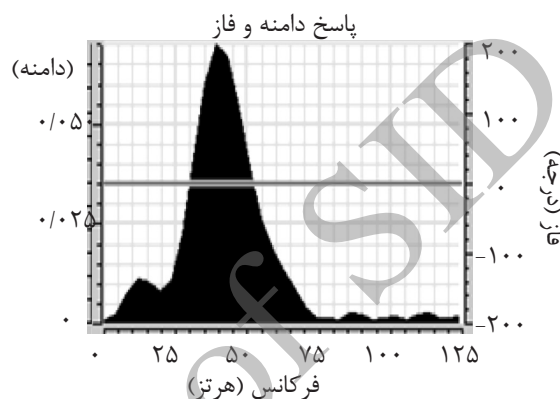
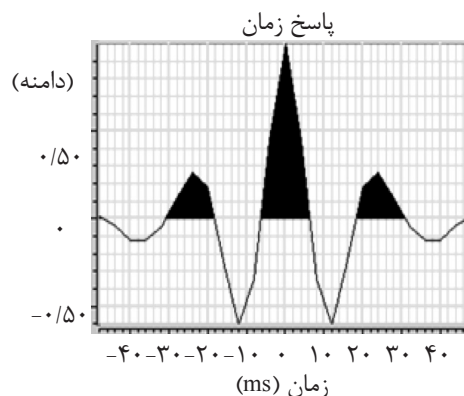
می‌آید. در این روش ابتدا با روش‌های آماری اقدام به استخراج موجک از نزدیک‌ترین صفحه برداشت لرزه‌ای به چاه مورد نظر می‌شود. این موجک در محدوده زمانی سازند هدف و نقاط عمقی مشترک مناسب با چرخش فاز ثابت صفر و پارامترهای متغیر استخراج می‌گردد (شکل ۲). سپس با استفاده از نگاره‌های صوتی اصلاح شده، چگالی و نیز موجک استخراجی، رد لرزه‌ای مصنوعی ایجاد می‌گردد و با ایجاد تطابق بین داده‌های لرزه‌ای و چاه، رد لرزه‌ای مصنوعی اصلاح می‌شود. حال موجک نهایی از دوچاه BS1 و HD6 استخراج شده و برای فرآیند وارون‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۳). سپس با در نظر گرفتن سر سازندها در محل چاه که توسط چک شات به حوزه زمان در آمده‌اند و با بهره‌گیری از داده‌های لرزه‌ای و نقاط روشن و تیره، افق مربوط به سازندهای مورد نظر ردیابی شده و اقدام به پیک کردن سر سازندها و تفسیر افق‌های ساختمانی شده است.

از سه چاه موجود دو چاه BS1 و HD6 برای انجام وارون‌سازی (ساخت مدل اولیه و استخراج موجک نهایی) مورد استفاده قرار گرفت و یک چاه دیگر BS10 برای اعتبار سنجی روش‌های وارون‌سازی به طور کلی کنار گذاشته شد. لازم به ذکر است وارون‌سازی روی تمامی خطوط برداشت صورت گرفت. ولی در این مقاله به نمایش و بررسی نتایج وارون‌سازی در محل چاه BS10 اکتفا نمودیم. در مرحله نخست بر اساس داده‌های چک‌شات، رابطه عمق- زمان تصحیح می‌گردد. این عمل به علت ایجاد همخوانی بین داده‌های چاه‌نگاری که در حوزه عمق برداشت شده‌اند و اطلاعات لرزه‌ای که در حوزه زمان می‌باشند، صورت می‌گیرد و منجر به اصلاح نگاره صوتی می‌شود. یکی از مهم‌ترین بخش‌های وارون‌سازی، انتخاب موجک مناسب می‌باشد. تشخیص موجک مناسب مانع از تفسیرهای غلط ساختمانی می‌شود. بهترین موجک از روش تلفیق داده‌های لرزه‌ای و چاه‌نگاری به دست



شکل ۲- موجک آماری استخراج شده از داده‌های لرزه‌ای

پنجره استخراج موجک:
 از ۱۵۸۰ تا ۱۷۹۰ ms
 نقاط عمقی مشترک:
 از ۳۲۵۹۶ تا ۳۲۶۰۲
 پارامترهای استخراج موجک:
 طول موجک: ۹۰ ms
 طول لیه‌های موجک: ۱۱ ms
 نرخ نمونه‌برداری:
 ۴ ms
 نوع استخراج: فاز ثابت



شکل ۳- آخرین موجک که از اطلاعات چاه به دست آمده و برای وارون‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

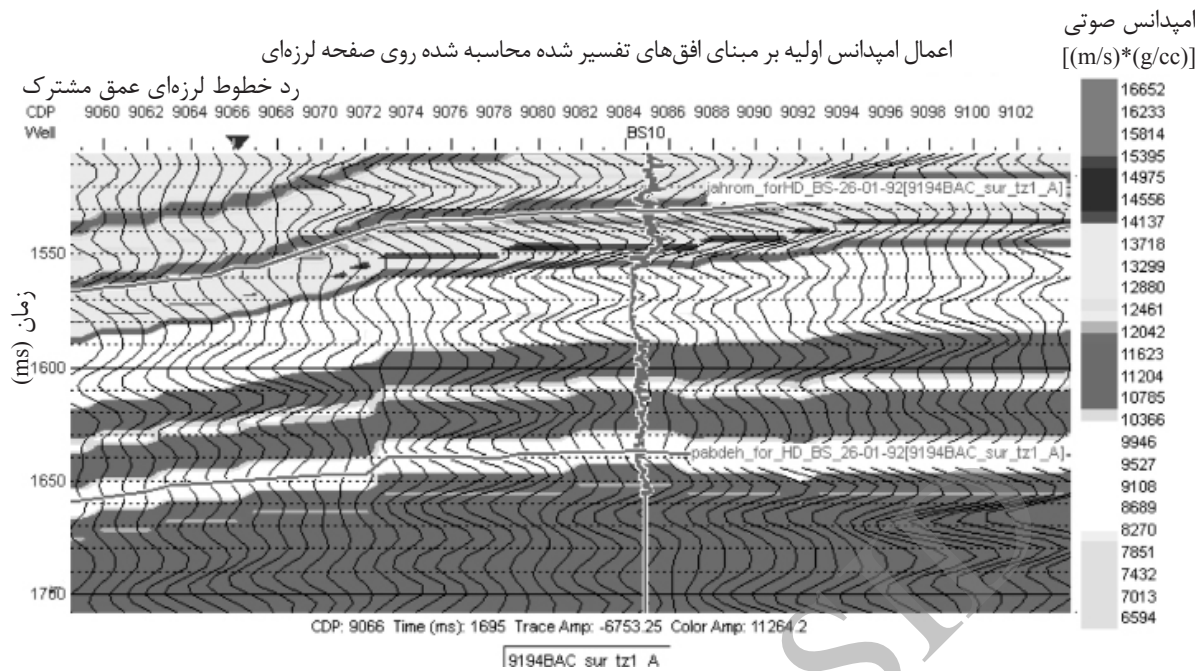
صوتی را با دقتی بیش از سایر روش‌ها به دست آورد. از آنجا که معمولاً یک رابطه نزدیک بین امپدانس صوتی و تخلخل وجود دارد، می‌توان مدل ویژگی‌های سنگ‌شناسی و پارامترهای مخزنی از جمله تخلخل را تخمین زد. جداول ۱ و ۲ و ۳ پارامترهای دخیل در هر سه روش را بیان می‌کنند و میزان تطابق و خطای مشخص شده در کار را نشان می‌دهند.

هنگامی که وارون‌سازی به روش باند محدود انجام می‌گیرد با دو مشکل عمده مواجه هستیم: اول این که باند فرکانسی بازتابنده‌ها به شدت محدود است لذا هنگامی که با موجک لرزه‌ای هم‌میکت می‌شوند، هر دو محدوده فرکانس‌های پایین و بالا از بین می‌روند. و دوم اینکه حضور نویزهای پیوسته یا تصادفی در داده‌های لرزه‌ای باعث می‌شود که بازتابنده‌های تخمین زده شده از حالت واقعی فاصله بگیرند (شکل‌های ۵ و ۶ و جدول ۱ نمایش‌گر نتایج مربوط به روش باند محدود می‌باشد).

در مرحله نخست برای وارون‌سازی لرزه‌ای، با استفاده از نگاره‌های صوتی و چگالی، نگار امپدانس محاسبه شده و با استفاده از افق‌های تفسیری به عنوان راهنما، درون‌یابی می‌شود و یک مدل اولیه ساخته می‌شود که اطلاعات مربوطه به طور معمول فقط اجزای با فرکانس‌های پایین (کمتر از ۱۰ هرتز) در آن استفاده شده است (شکل ۴). به منظور یکسان بودن شرایط مدل‌سازی، الگوریتم وارون‌سازی روش باند محدود، بر مبنای مدل و برنامه‌ریزی خطی خارهای پراکنده روی مدل اولیه یکسان و در حد فاصل زمان‌های بین ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ ms، بین مرز افق‌های تفسیری جهرم و پابده با تولرانس ۱۰- تا ۳۰+ ms، اعمال گردید و عملیات وارون‌سازی با هر سه روش انجام شد.

بحث و نتایج

روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای در تعیین کیفیت مخزن بسیار مهم می‌باشند و با استفاده از آنها می‌توان علاوه بر تفسیر دقیق افق‌های مخزنی، امپدانس



شکل ۴- مدل اولیه ساخته شده در محل چاه BS10

جدول ۳- روش خارهای پراکنده

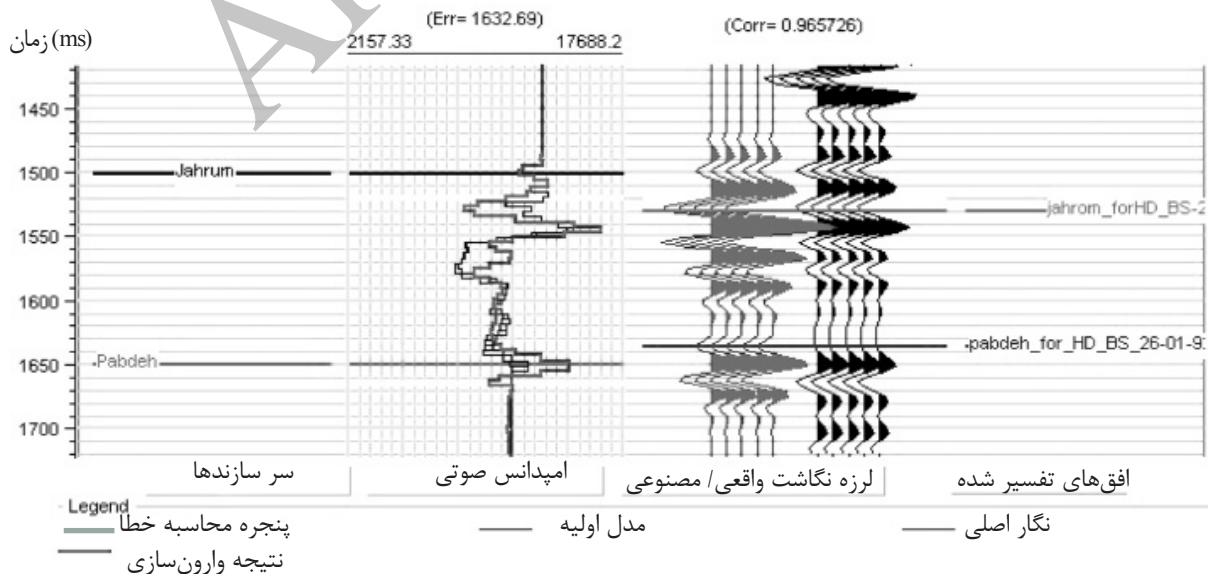
٪. ۸۵	پراکندگی
۱۰هرتز	قید فرکانس بیشینه
۴ میلی ثانیه	نرخ نمونه برداری
۱۲۸	طول پنجره
٪.۹۹/۵۶	میزان تطابق
۰/۰۹	میزان خطا

جدول ۲- روش بر مبنای مدل

۴ میلی ثانیه	میانگین اندازه بلوک
۱	پارامتر خالی شدگی
۴۳	تعداد تکرار
۱۰۰ به صورت تک مقداری	قید سخت
۱	فاکتور تنظیم مقیاس
٪.۹۹/۸۵	میزان تطابق
۰/۰۶	میزان خطا

جدول ۱- روش باند محدود

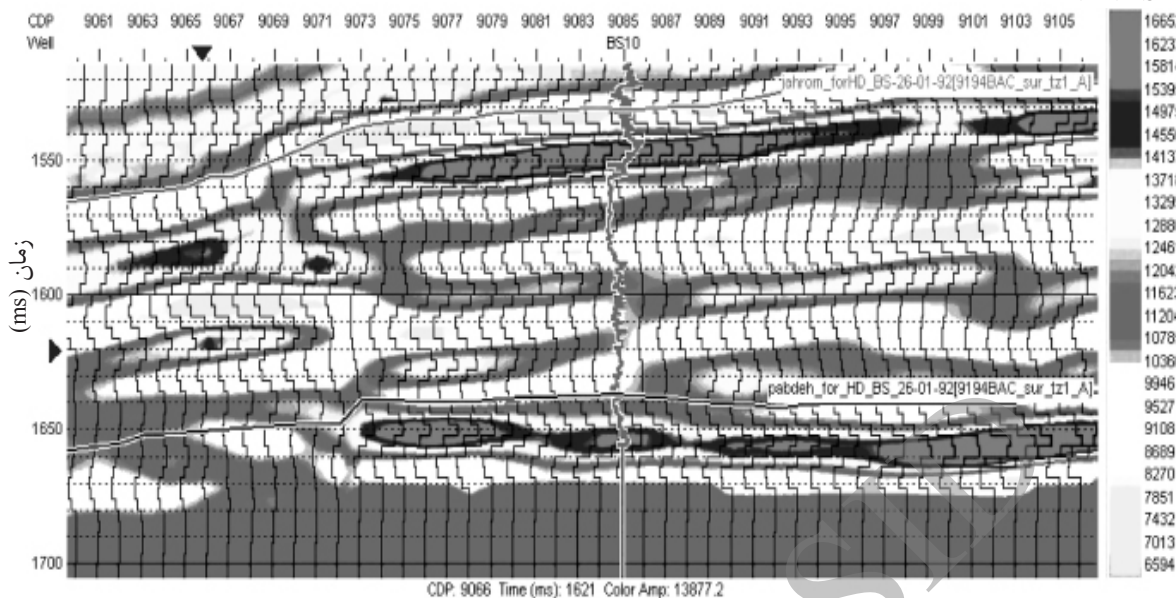
۱۰	f
۴ ms	نرخ نمونه برداری
۱	فاکتور تنظیم مقیاس
٪.۹۶	تطابق



شکل ۵- تحلیل وارون سازی به روش باند محدود در محل چاه BS10

رد خطوط لرزه‌ای عمق مشترک

امپدانس صوتی
[(m/s)*(g/cc)]

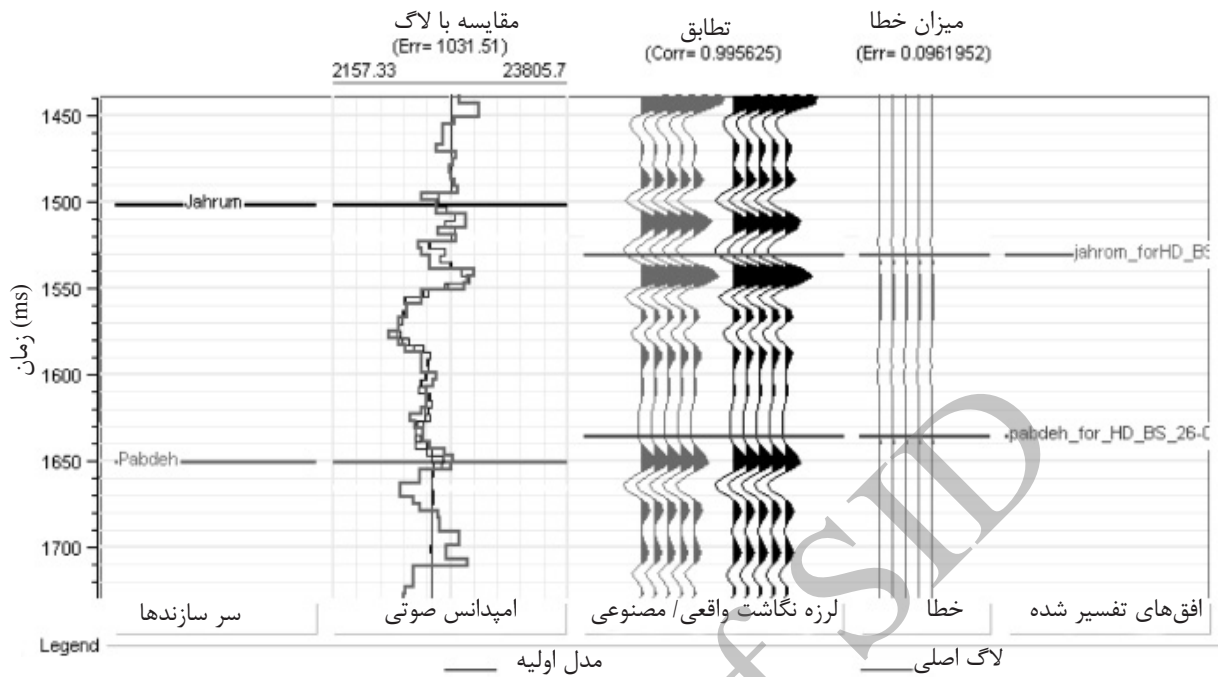


شکل ۶- نمایش نتایج حاصل از وارون‌سازی به روش باند محدود در صفحه 9194BAC در محل مربوط به چاه BS10

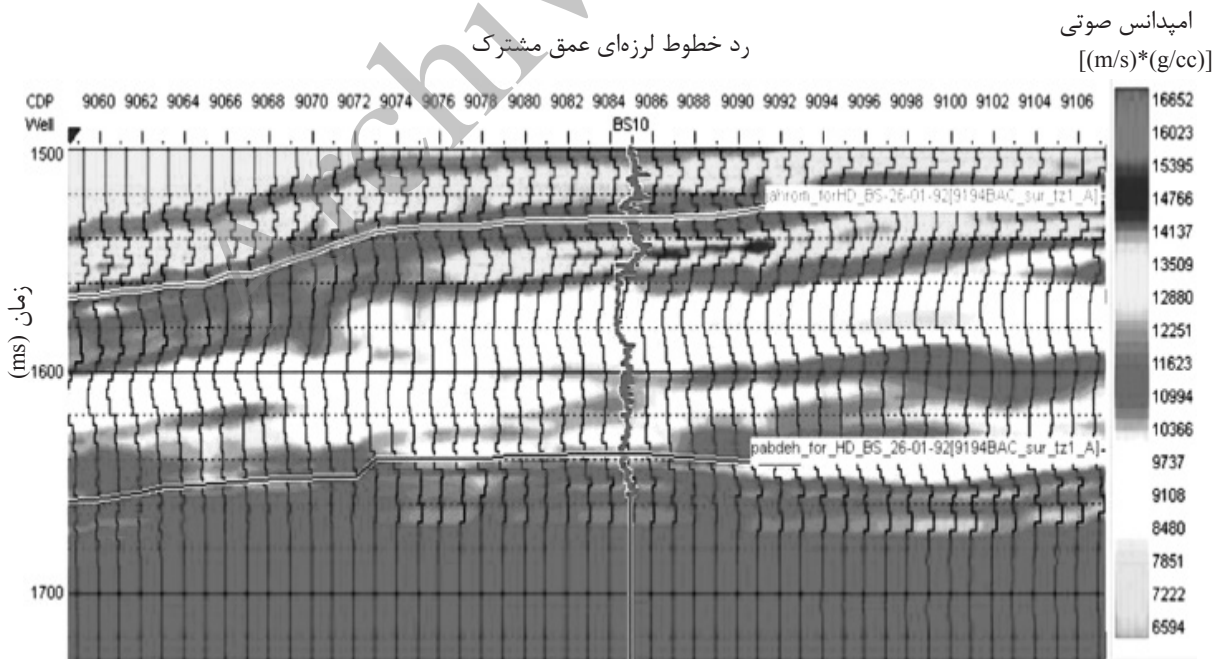
دیگر، به مدل اولیه و موجک حساس‌تر است. هدف از وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده، به دست آوردن مقطع امپدانس صوتی با تفکیک‌پذیری بالا از داده‌های لرزه‌ای با پهنای باند فرکانسی محدود می‌باشد. در این روش ضرایب بازتاب به طور مستقیم از ردهای لرزه‌ای به دست می‌آیند. به دلیل قابل قبول نبودن پاسخ آلفوریتم بیشترین شباهت، در مقایسه با برنامه‌ریزی خطی فقط به ارائه نتایج آلفوریتم برنامه‌ریزی خطی با نرم L_1 می‌پردازیم (شکل ۹ و ۱۰ و جدول ۳). این آلفوریتم، انعکاس پراکنده‌ای را ایجاد می‌کند که بهترین انطباق را بین داده‌های لرزه‌ای واقعی و مصنوعی، دارا می‌باشد. هدف از این کار، ایجاد قیدی برای به حداقل رساندن خارها^۱ است. با این عمل نرم L_1 ضرایب انعکاس نیز حداقل می‌شود که نتیجه آن ایجاد مدلی از زمین، با کمترین لایه‌ها می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این روش استفاده از کل پهنای باند در تخمین انعکاس‌پذیری با محدودیت کم می‌باشد.

وارون‌سازی باند فرکانسی محدود یک آلفوریتم وارون‌سازی بازگشتی کلاسیک می‌باشد که اثر موجک لرزه‌ای را حذف می‌کند. در آلفوریتم بر مبنای مدل، رابطه ریاضی (GLI) بین رد لرزه‌ای مصنوعی و رد لرزه‌ای عمل می‌کند و تصحیح مدل بر مبنای اختلاف حاصل از مقایسه رد لرزه‌ای و رد مصنوعی انجام می‌شود. امپدانس ایجاد شده آنقدر اصلاح می‌گردد تا انطباق کامل (در حد خطای مجاز) برقرار شود. در شکل‌های ۷ و ۸ و جدول ۲ نتایج حاصل از وارون‌سازی به روش بر مبنای مدل نمایش داده شده است. یک پارامتر کنترل کننده وجود دارد که تعیین می‌کند که آلفوریتم، چه زمانی از حرکت به سمت پاسخ نهایی بایستد و ثابت بماند. علت این امر جلوگیری از ورود نویزهای کوچک به داده‌ها و نیز خطاهای مدل‌سازی است تا آلفوریتم را به سمت و سوی اشتباه پیش نبرند. روش بر پایه مدل، با زمین به صورت بلوک‌های امپدانس صوتی رفتار می‌کند و مشکل عدم واحد بودن نتایج وارون‌سازی از راه محدودسازی تعداد لایه‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های رد لرزه‌ای، در نظر گرفته می‌شود. این روش نسبت به روش‌های

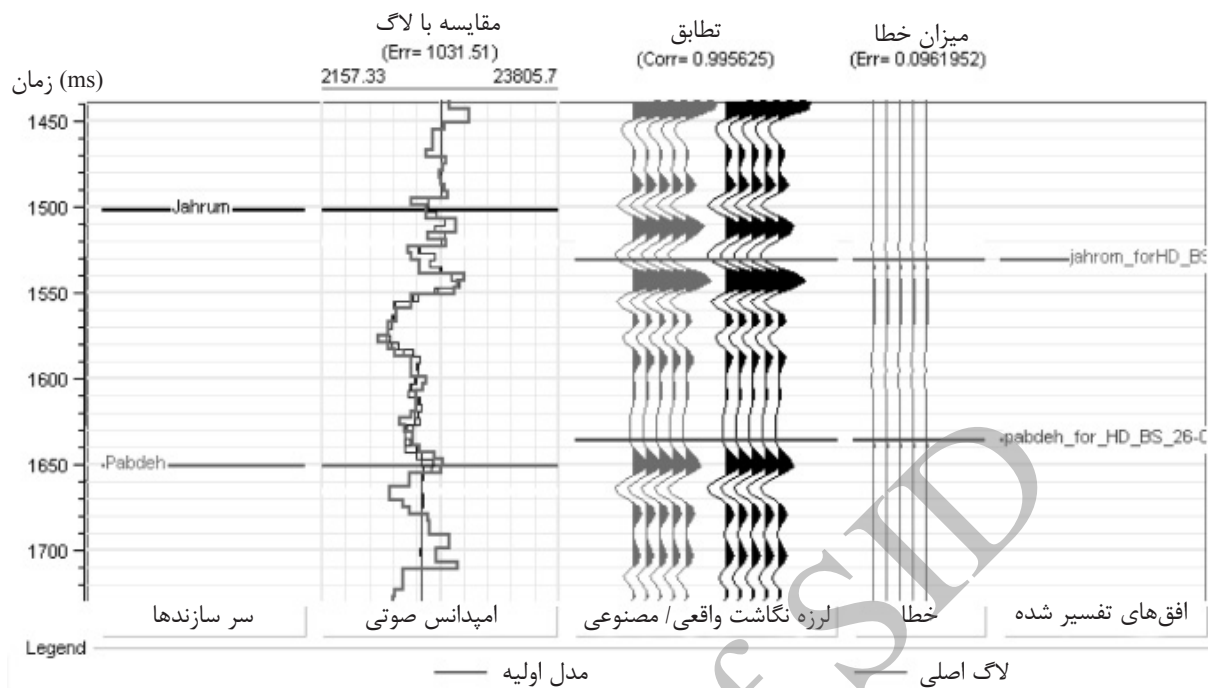
1. Spikes



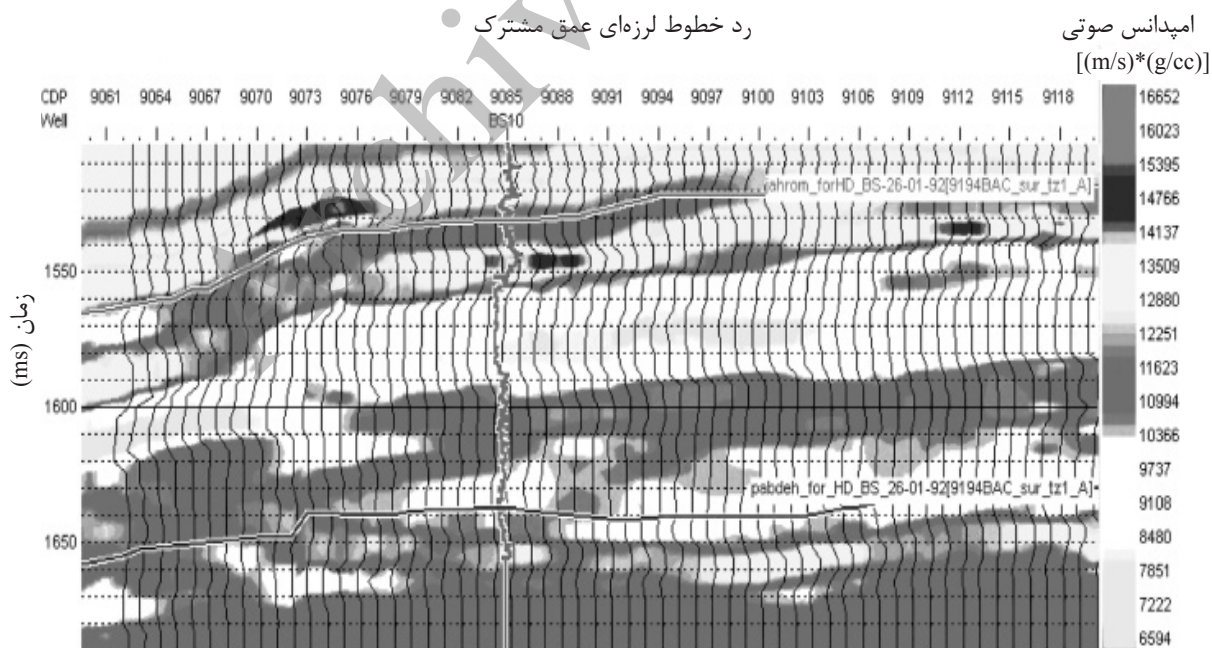
شکل ۷- تحلیل وارون‌سازی به روش مبنای مدل در محل چاه BS10



شکل ۸- نمایش نتایج حاصل از وارون‌سازی به روش بر مبنای مدل در صفحه 9194BAC در محل مربوط به چاه BS10



شکل ۹- آنالیز وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) در محل چاه BS10



شکل ۱۰- نمایش نتایج حاصل از وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده (الگوریتم برنامه‌ریزی خطی) در صفحه 9194BAC در محل مربوط به چاه BS10

می‌شود الگوریتم خارهای پراکنده با برنامه‌ریزی خطی نتیجه خوبی را ارائه می‌کند. ولی طبیعت بلوکی این روش باعث می‌شود جزئیات را به خوبی مشخص نکند. به دلیل قابلیت آن در تخمین مدل زمین در مسافت‌های بسیار دورتر از چاه‌ها، به خصوص در مواردی که تعداد چاه‌ها کم می‌باشد می‌توان از نتایج این روش نیز استفاده نمود.

با مقایسه جداول ۱، ۲ و ۳ می‌توان دریافت که روش برگردان خارهای پراکنده و بر مبنای مدل میزان تطابق بالاتری نسبت به روش باند محدود داشته و روش بر مبنای مدل به دلیل خطای کم همچنین هماهنگی بسیار خوب بین امیدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی و امیدانس صوتی به دست آمده از چاه نگاری، به عنوان روشی مناسب تر برای برگردان داده‌های لرزه‌ای در مطالعه موردی فوق در نظر گرفته می‌شود.

در هر سه روش مرز سازندها به خوبی قابل تشخیص است. مرز بالایی سازند جهرم در همه جا به صورت واضح بوده و به خوبی از سازند بالایی (آسماری B) قابل تشخیص است. اما مرز پایینی این سازند با سازند پابده تدریجی و به هم ریخته دیده می‌شود. در صورت وجود اطلاعات و چاه‌های حفاری شده بیشتر، جزئیات کامل تری آشکار می‌شود و خطا به طبع آن کاهش بیشتری خواهد داشت اما در مخازنی که در وضعیت مشابهی دیده می‌شوند نیز روش فوق توانسته است اطلاعات بسیار مفیدی را ارائه دهد.

در روش خارهای پراکنده، وارون‌سازی پهنای باند کامل صورت می‌پذیرد، در حالی که سایر روش‌ها تمام باند را پوشش نمی‌دهند اما نباید صرف زمان بیشتر که خود ناشی از همین مسئله است را از نظر دور داشت.

در این روش هرچه مقدار قید فرکانس بیشینه بزرگ‌تر باشد، مدل وارون‌سازی شده به مدل اولیه نزدیک‌تر می‌باشد. هرچه اجزای فرکانس پایین در اطلاعات لرزه‌ای را بیشتر حذف شود، تفاوت نگاشت‌های رد لرزه‌ای مصنوعی و واقعی بیشتر نمایان خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به مقایسه سه روش وارون‌سازی لرزه‌ای در میدان نفتی هنديجان- بهرگانسر پرداخته شد. بر اساس نتایج به دست آمده روش بر مبنای مدل دارای میزان تفکیک‌پذیری بالاتری نسبت به دو روش دیگر است.

نتایج مربوط به روش خارهای پراکنده با وجود نمایش تغییرات افقی در بازتاب، از لحاظ تفکیک‌پذیری قائم، پیش‌بینی دقیق و مناسبی انجام نمی‌دهد.

روش باند محدود، علی‌رغم انجام تفکیک‌پذیری نسبی، به دلیل از بین رفتن بخشی از محتوای فرکانسی اطلاعات زیادی در اختیار ما قرار نداده است.

به‌طور کلی همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده

مراجع

- [1]. فرج پور ز، نبی بیدهدی م و رضاترابی م، برگردان داده‌های لرزه‌ای سه بعدی به امیدانس صوتی در یکی از میداین نفتی جنوب غربی ایران، فصلنامه زمین سال ۴، شماره ۳، صفحات ۵۳ تا ۶۶، پاییز ۱۳۸۸.
- [2]. Ferguson R. J. and Margrave G. F., "A simple algorithm for band-limited impedance inversion: the CREWES research report", Vol.8, pp.1-9,1996.
- [3]. Geohorizons Oct. 2002 /2, www.spgindia.org/geohorizon/oct2002/11_15.pdf

- [4]. Cooke D. A. , Schneider W. A., "Generalized linear inversion of reflection seismic data", Geophysics, Vol. 48, pp. 665-676, 1983.
- [5]. Russell B. H., *Introduction to seismic inversion, methods, society of exploration geophysicists*,. Tulsa, OK 86 pp., 1988.
- [6]. Oldenburg D. W. and Scheuer T. levy. "Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms", Geophysics, Vol. 48, pp. 1318-1337, 1983.
- [۷]. معمارضیا، ع. نشان‌گرهای هیدروکربنی، روابط عمومی شرکت نفت فلات قاره ایران، ۱، تعدادصفحات ۳۳۴، ۱۳۸۹.
- [8]. Huss M. and Feary D. A., "Seismic inversion for acoustic impedance and porosity of Cenozoic cool-water carbonate on the upper continental slope of the great Australian bight, Marine Geology, Vol. 215, pp. 123-134, 2005.
- [9]. Hampson-Russell Ltd. *The theory of strata program*, Hampson-Russell Ltd, STRATA May 1999.
- [10]. Lines L. R., and T. J. Ulrych, 1977, "The old and the new in seismic deconvolution and wavelet estimation", Geophysical Prospecting, Vol. 25, pp. 512-540, 1999.
- [11]. Yongzhong XU, C.Tongjun C.Shizhong1, H.Weichuan, and W.Gang, "Comparison between several seismic inversion methods and their application in mountainous coal fields of western China", Mining Science and Technology, Vol. 20, pp. 585-590, 2010.
- [۱۲]. حمیم اسکویی م، علی نژاد طیبی ع، شرقی ی، هاشم‌پور ا، صدیقیان س، وارون‌سازی باند فرکانس محدود بر روی داده‌های ارزش‌های سه بعدی در یکی از میادین جنوب غربی ایران، مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین، یکم تا سوم اسفند ۱۳۹۰.

Archive of SID