مقایسه نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای دوبعدی میدان نفتی هندیجان 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 دریافت: ۹۳/۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۸

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 هزینه‌ای 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 امپدانس صوتی است که نشان‌گر تغییر در جنس لایه‌های زمین یا محتوای سیال آن است. طی این مطالعه مدل امپدانس 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 هندیجان 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 امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی و امپدانس صوتی حاصل از چاه نگاری، روش بر مبنای مدل به‌عنوان مناسب‌ترین روش در این مطالعه معرفی شده است.

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

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی vakilyarash@gmail.com

مقدمه

وارون‌سازی [1] 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[2]، بر مبنای مدل [3] و خارهای پراکنده[4] مورد بحث واقع می‌شوند.

روش باند محدود نخستین بار توسط فرگوسن ومارگراو (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 اشنایدر 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 درسال ۱۹۸۳ توزیع نمایی را که معادل نرم L_1 است در روش خارهای پراکنده به کار بردند [۶].

دراین تحقیق، با ترکیبی از داده‌های لرزه‌ای دوبعدی، اطلاعات چاه‌ها و افق‌های تفسیری در میدان‌های نفتی هندیجان و بهرگانسر ایران واقع درخلیج فارس، وارون‌سازی 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 درمدل‌سازی 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 همامیخت [5] سری‌های بازتابی با موجک است (فرمول ۱). رد لرزه‌ای برداشت شده، حاصل همامیخت موجک با پاسخ ضربه‌ای[6] زمین، همراه با تاثیر نویز است [۵].

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

$$\forall t, t \geq 0 \quad , \quad x(t) = w(t) * R(t) + N(t) \qquad (۱)$$

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 به‌دست 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 باند 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 می پذیرد 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 باند محدود
۴. استفاده از شبکه عصبی که معمولا این نوع وارون‌سازی در برداشت‌های سه بعدی کاربرد دارد.

در ادامه به بررسی روش‌های باند 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 به‌دست آوردن باند وسیعی از امپدانس به کار می‌رود [۱۱].

روش باند محدود

یکی از روش‌های وارون‌سازی بازگشتی کلاسیک، روش باند 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 بنابرین، این محتوای فرکانسی از طریق اعمال فیلتر پایین‌گذر بر روی مدل ساخته شده بر اساس نمودارهای درون چاهی به داده‌ها اضافه شود.

1. Deconvolution
2. Generalized Linear Inversion

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 خارهای پراکنده

در وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده سری ضرایب بازتاب را برای چندین بازتاب اصلی از رد لرزه‌ای به‌دست می‌آوریم و باند فرکانسی مدل زمین را به‌طور کامل باز سازی می‌کنیم، به‌طوری 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 خارهای 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 (خارهای پراکنده) بر هم نهشته بر زمینه‌ای گوسی از رخدادهای کوچکتر تشکیل شده است. تکنیک‌های واهامیخت را می‌توان زیر مجموعه روش‌های خارهای پراکنده در نظر گرفت [۱۰].

روش خارهای 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 خارها حداقل باشد بایستی بهترین تطابق بین ردهای 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 رساندن خطای موجود بین رد لرزه‌ای و رد لرزه‌ای مصنوعی[۳]، مدل امپدانسی با بازتاب‌های پراکنده را بهبود ببخشد. تخمین خارهای پراکنده با استفاده از برون‌یابی کل باند انعکاس‌پذیری صورت می‌پذیرد [۹].

۲- روش بیشترین شباهت: این الگوریتم بر اساس بیشترین شباهت واهامیخت می‌باشد. این روش بر پایه یک نوع خاص از واهامیخت با همین نام می‌باشد که در آن سری ضرایب بازتاب، یک سری با پراکندگی اسپایکی 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 به‌روش 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 هندیجان 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 هندیجان 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.

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

میدان هندیجان در ۳۵ کیلومتری جنوب شهر هندیجان و ۱۰ کیلومتری جنوب شرق روستای کاپارها [1] 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 هندیجان یک تاقدیس کوچک با روند محوری شمالی- جنوبی است که در روند یکسانی با روند نوروز- بهرگانسر در ۱۰ کیلومتری شمال ساختار بهرگانسر قرار دارد. به‌دلیل 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 امپدانس صوتی استفاده شده است.

مراحل وارون‌سازی لرزه‌ای

۱.بارگذاری اطلاعات حاصل ازچاه‌نگاری و سپس بارگذاری داده‌های لرزه‌ای

۲. تصحیح رابطه عمق- زمان بر اساس داده‌های چک شات [2]

۳. استخراج موجک به صورت آماری [3]

۴. ایجاد رد لرزه‌ای ساختگی بر اساس نگاره‌های صوتی اصلاح شده و چگالی

۵. ایجاد تطابق [4] 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

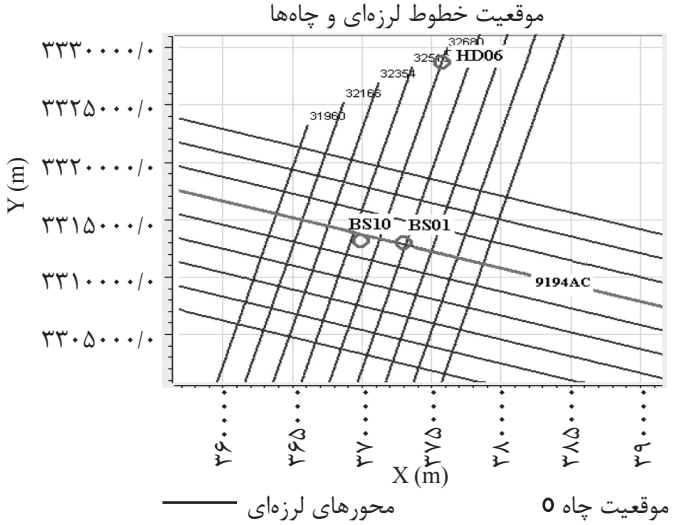
۸. ساخت مدل اولیه

۹. وارون‌سازی به روش‌های مختلف

۱۰. مقایسه نتایج وارون‌سازی با روش‌های مختلف و نتیجه‌گیری

وارون‌سازی داده‌های واقعی

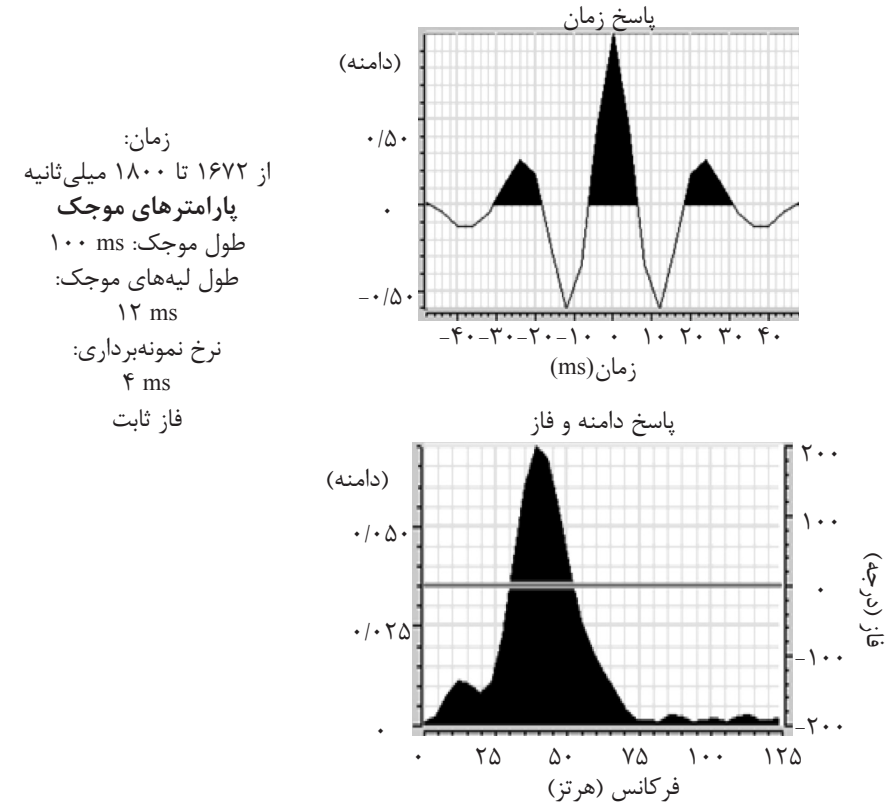
اطلاعات حاصل از چاه‌ها شامل: سر سازندها[5]، چک شات‌ها ونگاره‌های چگالی و صوتی، و نیز اطلاعات لرزه‌ای شامل ۱۷ خط برداشت دریایی (۹ مسیر رفت و ۸ مسیرعمود بر آن)، مجموعه داده‌های ورودی برای انجام این پژوهش می‌باشند (شکل ۱).



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.

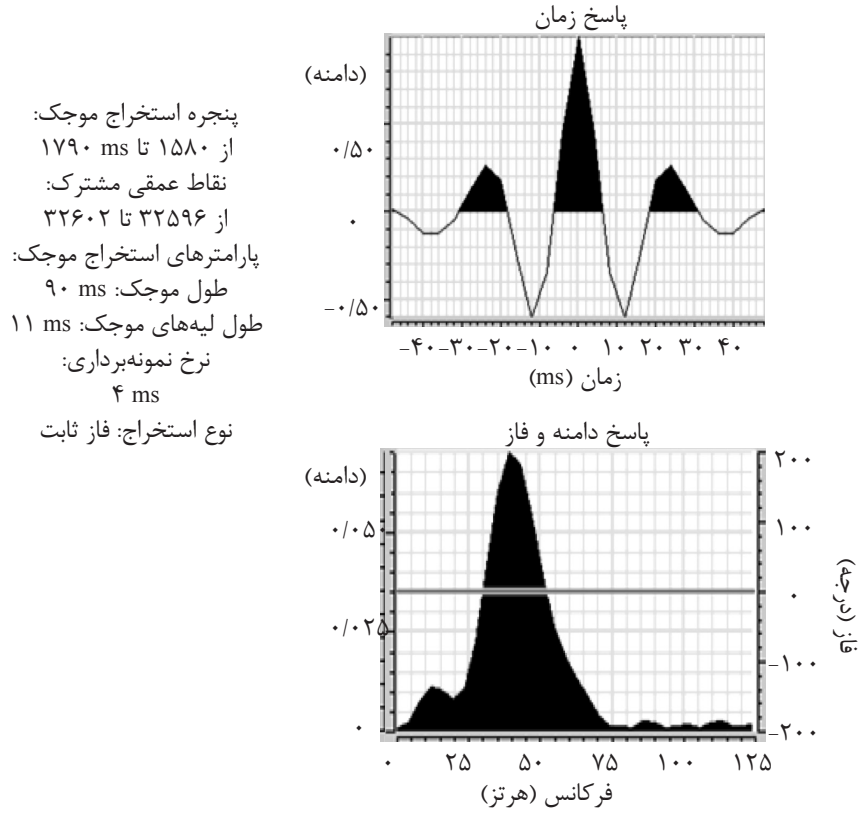
1. Kaparha
2. Check-shots
3. Statistical Wavelet
4. Correlation
5. Well Top

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 به‌علت 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 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 (شکل۲). 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 (شکل۳). 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.



زمان:
از ۱۶۷۲ تا ۱۸۰۰ میلی‌ثانیه
پارامترهای موجک
طول موجک: ۱۰۰ ms
طول لیه‌های موجک:
۱۲ ms
نرخ نمونه‌برداری:
۴ ms
فاز ثابت

شکل ۲- موجک آماری استخراج شده از داده‌های لرزه‌ای



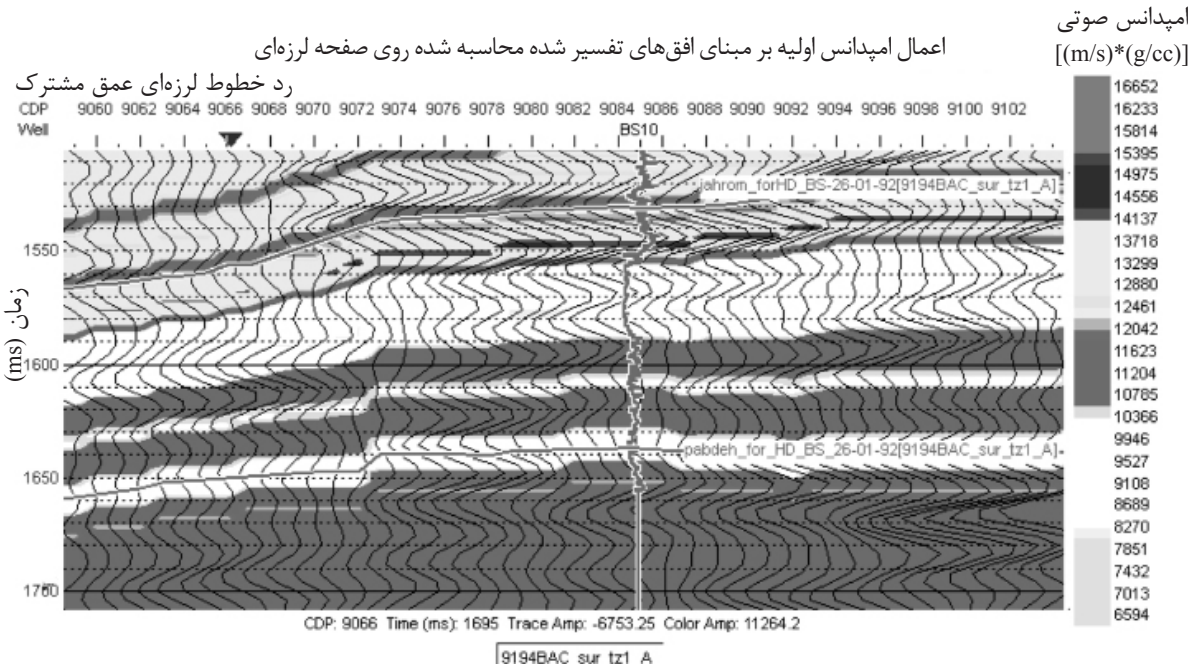
شکل ۳- آخرین موجک که از اطلاعات چاه به‌دست آمده و برای وارون‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

در مرحله نخست برای وارون‌سازی لرزه‌ای، با استفاده از نگاره‌های صوتی و چگالی، نگار امپدانس محاسبه شده و با استفاده از افق‌های تفسیری به‌عنوان راهنما، درون‌یابی می‌شود و یک مدل اولیه ساخته می‌شود که اطلاعات مربوطه به‌طور معمول فقط اجزای با فرکانس‌های پایین (کمتر از ۱۰ هرتز) در آن استفاده شده است (شکل۴). به منظور یکسان بودن شرایط مدل‌سازی، الگوریتم وارون‌سازی روش باند محدود، برمبنای 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 صوتی را با دقتی بیش از سایر روش‌ها به‌دست آورد. از آنجا که معمولا 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.

هنگامی‌که 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 همامیخت 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 جدول۱ نمایش‌گر نتایج مربوط به روش باند محدود می‌باشد).



شکل ۴- مدل اولیه ساخته شده در محل چاه BS10

جدول۱- روش باند محدود

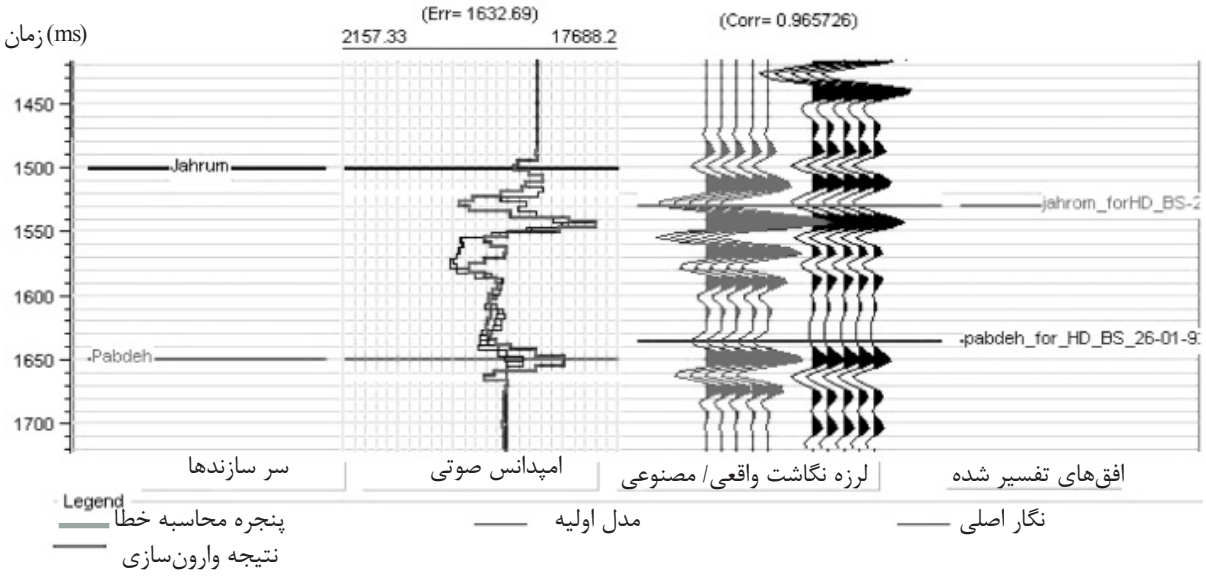
f	۱۰
نرخ نمونه برداری	۴ ms
فاکتور تنظیم مقیاس	۱
تطابق	٪۹۶

جدول ۲- روش بر مبنای مدل

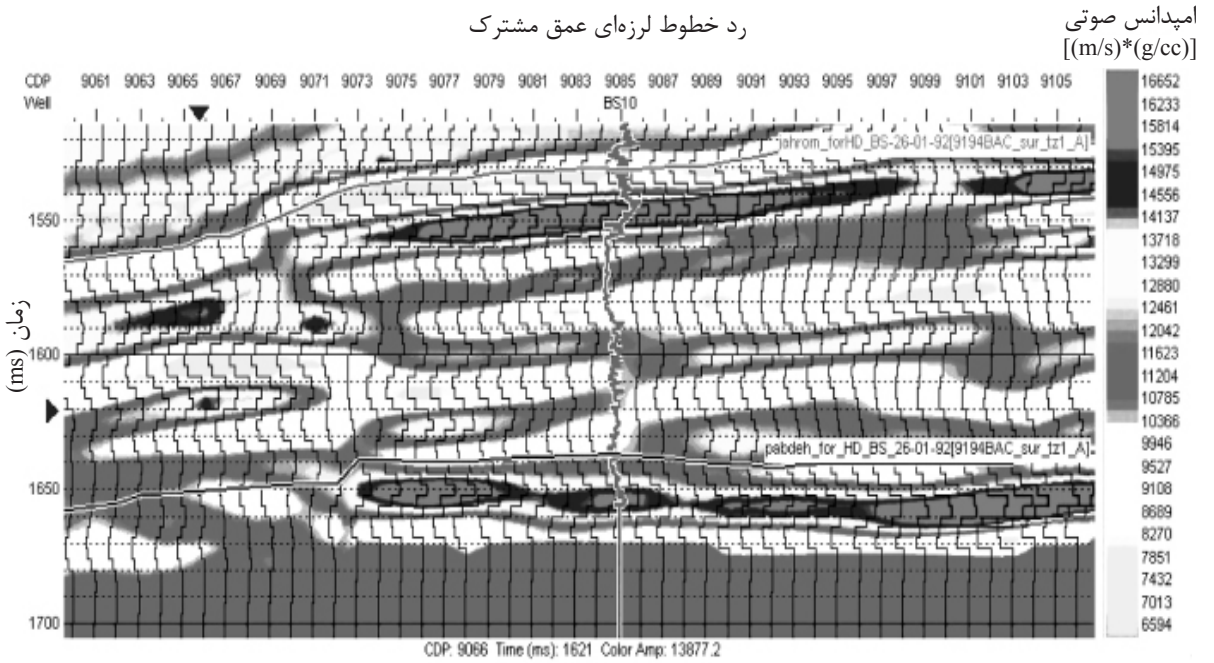
میانگین اندازه بلوک	۴ میلی‌ثانیه
پارامتر خالی شدگی	۱
تعداد تکرار	۴۳
قید سخت	۱۰۰ به‌صورت تک مقداری
فاکتور تنظیم مقیاس	۱
میزان تطابق	٪۹۹/۸۵
میزان خطا	۰/۰۶

جدول ۳- روش خارهای پراکنده

پراکندگی	٪ ۸۵
قید فرکانس بیشینه	۱۰هرتز
نرخ نمونه‌برداری	۴ میلی‌ثانیه
طول پنجره	۱۲۸
میزان تطابق	٪۹۹/۵۶
میزان خطا	۰/۰۹



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



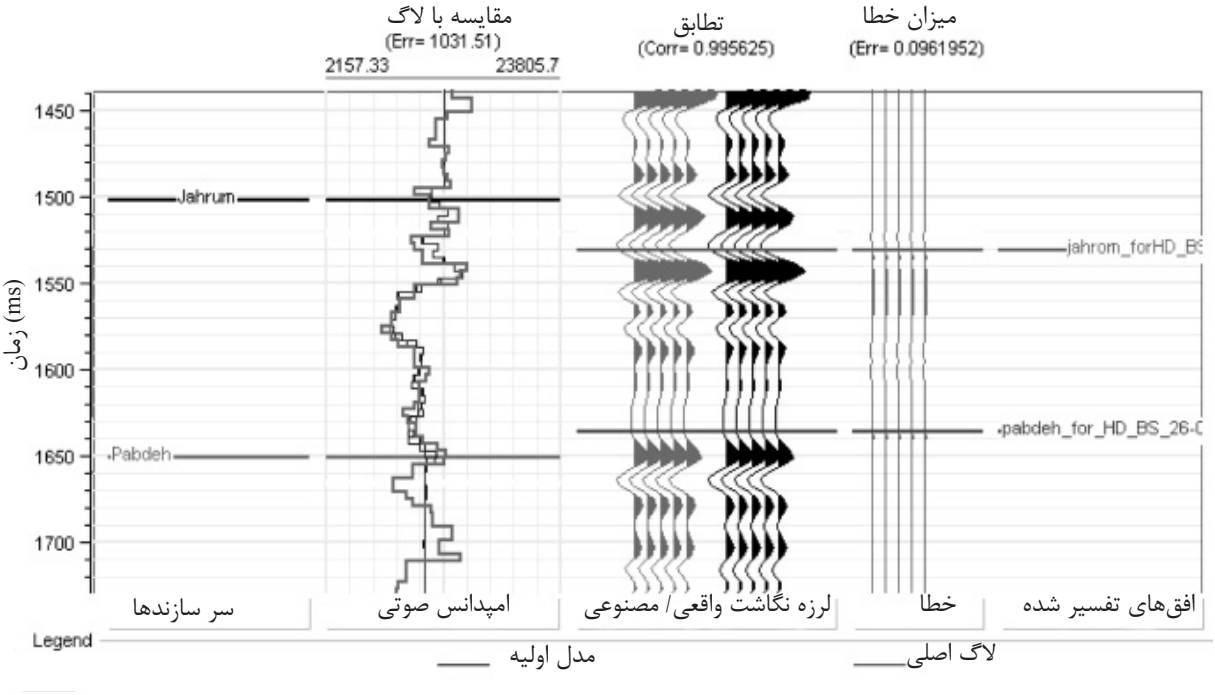
شکل ۶- نمایش نتایج حاصل از وارون‌سازی به روش باند محدود در صفحه 9194BAC در محل مربوط به چاه BS10

وارون‌سازی باند فرکانسی محدود یک الگوریتم وارون‌سازی بازگشتی کلاسیک می‌باشد که اثر موجک لرزه‌ای را حذف می‌کند. در الگوریتم 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 وارون سازی به روش برمبنای مدل نمایش داده شده است. یک پارامتر کنترل کننده وجود دارد که تعیین می‌کند که الگوریتم، 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 الگوریتم را به سمت و سوی اشتباه پیش نبرند.

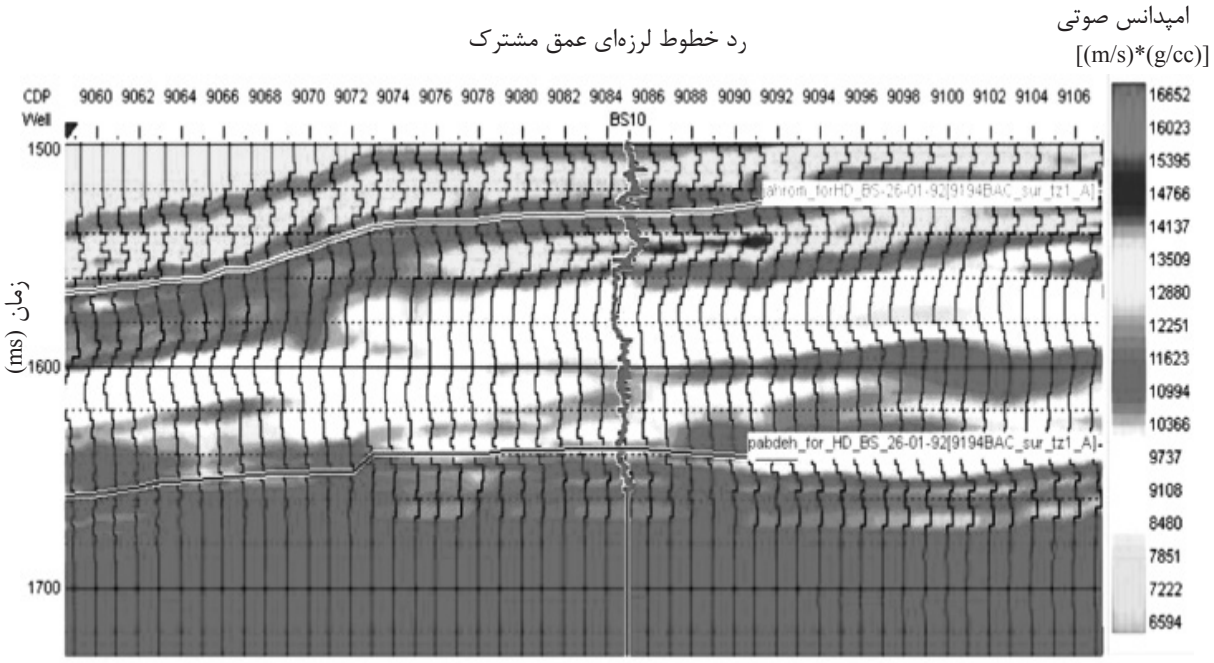
روش بر پایه مدل، با زمین به‌صورت بلوک‌های امپدانس صوتی رفتار می‌کند و مشکل عدم واحد بودن نتایج وارون‌سازی از راه محدودسازی تعداد لایه‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های رد لرزه‌ای، در نظر گرفته می‌شود. این روش نسبت به روش‌های دیگر، به مدل اولیه و موجک حساس‌تر است.

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. به‌دلیل قابل قبول نبودن پاسخ آلگوریتم بیشترین شباهت، در مقایسه با برنامه‌ریزی خطی فقط به ارائه نتایج الگوریتم برنامه‌ریزی خطی با نرم L_1 می‌پردازیم (شکل ۹ و ۱۰ و جدول ۳). این الگوریتم، 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 [1] 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.

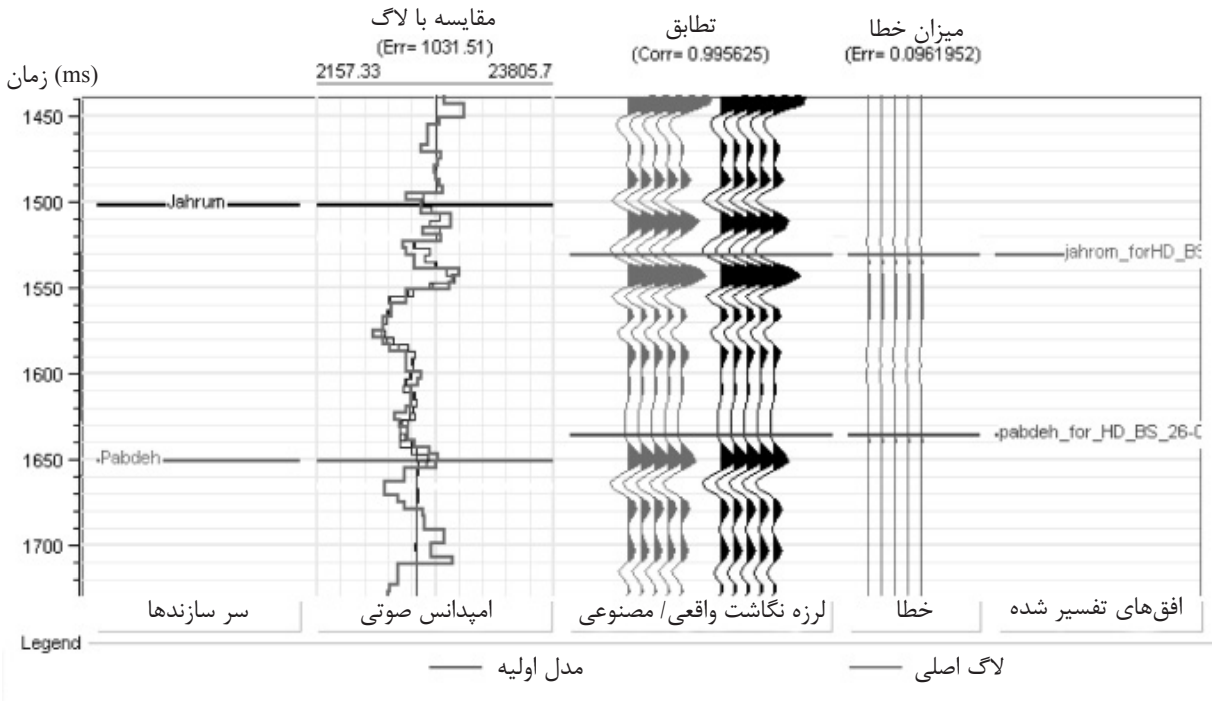
1. Spikes



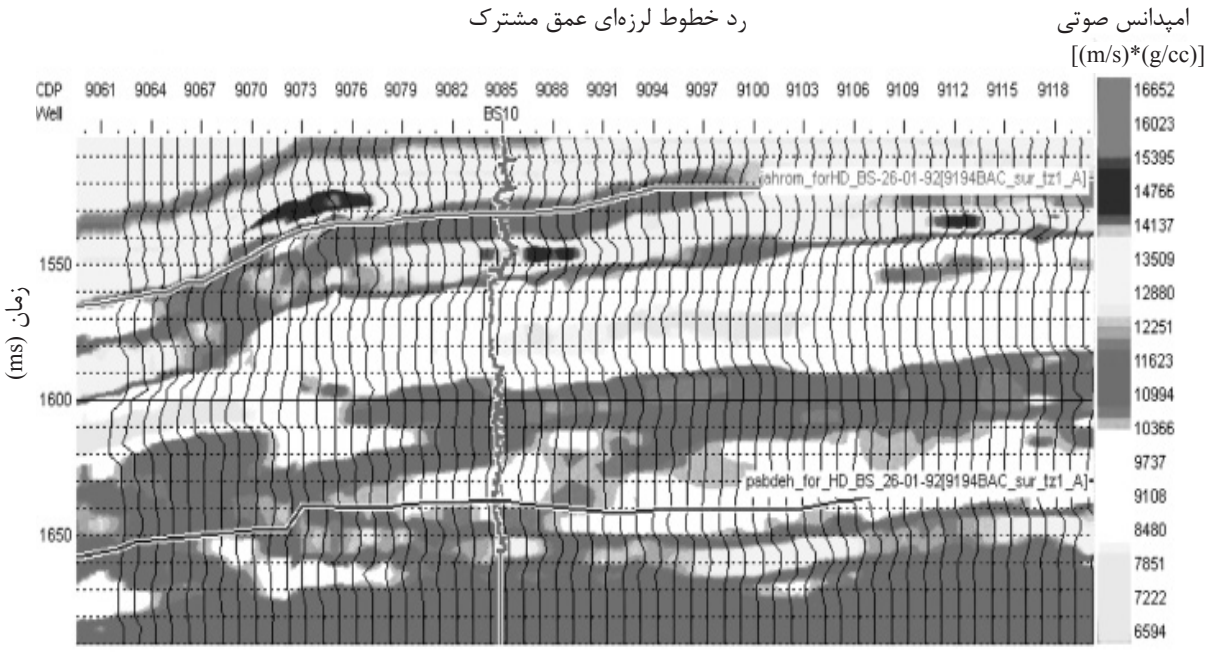
شکل ۷- تحلیل وارون‌سازی به روش مبنای مدل در محل چاه BS10



شکل ۸- نمایش نتایج حاصل از وارون‌سازی به روش برمبنای 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 با روش خارهای پراکنده (الگوریتم برنامه‌ریزی خطی) در صفحه 9194BAC در محل مربوط به چاه BS10

در روش خارهـای پراکنـده، وارون‌سـازی پهنـای بانـد کامـل صـورت می‌پذیـرد، در حالـی کـه سـایر روش‌هـا تمـام بانـد را پوشـش نمی‌دهنـد امـا نبایـد صـرف زمـان بیشـتر کـه خـود ناشـی از همیـن مسـئله اسـت را از نظـر دور داشـت.

در ایـن روش هرچـه مقـدار قیـد فرکانـس بیشـینه بزرگ‌تـر باشـد، مـدل وارون‌سـازی شـده بـه مـدل اولیـه نزدیک‌تـر می‌باشـد. هرچـه اجـزای فرکانـس پاییـن در اطلاعـات لـرزه‌ای را بیشـتر حـذف شـود، تفـاوت نگاشـت‌های رد لـرزه‌ای مصنوعـی و واقعـی بیشـتر نمایـان خواهـد شـد.

نتیجه‌گیری

در ایـن مقالـه بـه مقایسـه سـه روش وارون‌سـازی لرزه‌ای در میـدان نفتـی هندیجـان- بهرگانسـر پرداختـه شـد. بـر اسـاس نتایـج به‌دسـت آمـده روش بـر مبنـای مـدل دارای میـزان تفکیک‌پذیـری بالاتـری نسـبت بـه دو روش دیگـر اسـت.

نتایـج مربـوط بـه روش خارهـای پراکنـده بـا وجـود نمایـش تغییـرات افقـی در بازتـاب، از لحـاظ تفکیک‌پذیـری قائـم، پیش‌بینـی دقیـق و مناسـبی انجـام نمی‌دهـد.

روش بانـد محـدود، علی‌رغـم انجـام تفکیک‌پذیـری نسـبی، به‌دلیـل از بیـن رفتـن بخشـی از محتـوای فرکانسـی اطلاعـات زیـادی در اختیـار مـا قـرار نـداده اسـت.

به‌طـور کلـی همان‌طـور کـه در جـدول ۳ مشـاهده می‌شـود الگوریتـم خارهـای پراکنـده بـا برنامه‌ریـزی خطـی نتیجـه خوبـی را ارائـه می‌کنـد. ولـی طبیعـت بلوکـی ایـن روش باعـث می‌شـود جزئیـات را بـه خوبـی مشـخص نکنـد. به‌دلیـل قابلیـت آن در تخمیـن مـدل زمیـن در مسـافت‌های بسـیار دورتـر از چاه‌هـا، بـه خصـوص در مـواردی کـه تعـداد چاه‌هـا کـم می‌باشـد می‌تـوان از نتایـج ایـن روش نیـز اسـتفاده نمـود.

بـا مقایسـه جـداول ۱، ۲ و ۳ می‌تـوان دریافـت کـه روش برگـردان خارهـای پراکنـده و بـر مبنـای مـدل میـزان تطابـق بالاتـری نسـبت بـه‌روش بانـد محـدود داشـته و روش بـر مبنـای مـدل به‌دلیـل خطـای کـم همچنیـن هماهنگـی بسـیار خـوب بیـن امپدانـس صوتـی حاصـل از وارون‌سـازی و امپدانـس صوتـی به‌دسـت آمـده از چـاه نـگاری، بـه عنـوان روشـی مناسـب تـر بـرای برگـردان داده‌هـای لـرزه‌ای در مطالعـه مـوردی فـوق در نظـر گرفتـه می‌شـود.

در هـر سـه روش مـرز سـازندها بـه خوبـی قابل تشـخیص اسـت. مـرز بالایـی سـازند جهـرم در همـه جـا به‌صـورت واضـح بـوده و بـه خوبـی از سـازند بالایـی (آسـماری B) قابـل تشـخیص اسـت. امـا مـرز پایینـی ایـن سـازند بـا سـازند پابـده تدریجـی و بـه هـم ریختـه دیـده می‌شـود. در صـورت وجـود اطلاعـات و چاه‌هـای حفـاری شـده بیشـتر، جزئیـات کامل‌تـری آشـکار می‌شـود و خطـا بـه طبـع آن کاهـش بیشـتری خواهـد داشـت امـا در مخازنـی کـه در وضعیـت مشـابه‌ای دیـده می‌شـوند نیـز روش فـوق توانسـته اسـت اطلاعـات بسـیار مفیـدی را ارائـه دهـد.

مراجع

[۱]. فـرج پـور ز، نبـی بیدهنـدی م و رضاترابـی م، برگـردان داده‌هـای لـرزه‌ای سـه بعـدی بـه امپدانـس صوتـی در یکـی از میادیـن نفتـی جنـوب غربـی ایـران، فصلنامـه زمیـن سـال ۴، شـماره ۳، صفحـات ۵۳ تـا ۶۶، پاییـز ۱۳۸۸.

[2]. FergusonR. 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 نزاد طیبی ع، شرقی ی، هاشم‌پور ا، صدیقیان س، وارون‌سازی باند فرکانس محدود بر روی داده‌های ارزه‌ای سه بعدی در یکی از میادین جنوب غربی ایران، مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین، یکم تا سوم اسفند ۱۳۹۰.