

# تخمین امیدانس صوتی ماسه‌سنگ‌های کم تراوا با استفاده از روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای: مطالعه موردی از میدان گازی ویچرنج در حوضه پرت استرالیا

مسعود سراج امانی<sup>۱</sup>، رامین نیکروز<sup>۱\*</sup> و علی کدخدائی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۵

## چکیده

امیدانس صوتی را می‌توان نوعی مقاومت سنگ‌ها در برابر انتشار امواج دانست که محصول چگالی و سرعت موج تراکمی سنگ است. ژئوفیزیکدان‌ها تلاش می‌کنند تا امیدانس صوتی لایه‌های سنگ در زمین را از داده‌های لرزه‌ای بازتابی تخمین بزنند که این فرآیند وارون‌سازی لرزه‌ای نام دارد. اختلاف امیدانس صوتی در فصل مشترک لایه‌ها باعث بازتاب امواج لرزه‌ای می‌شود. امیدانس صوتی خاصیت خود سنگ است و هر چه سنگ‌ها سخت‌تر باشند، امیدانس صوتی بالاتری را نشان می‌دهند. به طور کلی، امیدانس صوتی رابطه‌ای قوی با ویژگی‌های پتروفیزیکی مانند شکستگی، میزان اشباع و تخلخل دارد. هدف از این مطالعه، تخمین مدل اولیه امیدانس صوتی با استفاده از روش‌های مختلف وارون‌سازی جهت تعیین مشخصات مخازن و مقایسه نتایج آن‌ها در میدان ویچرنج واقع در حوضه پرت استرالیای غربی می‌باشد. بدین منظور، دو چاه و یک مقطع لرزه‌ای از میدان ویچرنج مورد استفاده قرار گرفت. تمامی مراحل پیش رو با استفاده از نرم‌افزار همپسون-راسل انجام شد. ابتدا تصحیح رابطه عمق-زمان نمودارهای چاه و اطلاعات لرزه‌ای انجام شد. سپس، انطباق رد لرزه مصنوعی حاصل از هم‌آمیخت موجک لرزه‌ای با سری بازتاب تولید شده در محل چاه با داده‌های لرزه‌ای بررسی گردید. در داده‌های لرزه‌ای میدان ویچرنج الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی از جمله مبتنی بر مدل، باند محدود، خطی خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) بررسی شدند. ضریب همبستگی در تمامی روش‌ها میزان قابل قبولی را نشان می‌دهد. با استفاده از استخراج موجک و بررسی الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی، روش مبتنی بر مدل، برترین روش با ضریب همبستگی بالا و خطای کمتر در میان سایر الگوریتم‌ها، جهت مدل‌سازی اولیه استفاده گردید. در بازه زمانی ۲۰۵۰ ms تا ۲۲۵۰، امیدانس صوتی با کاهش چشمگیری روبروست که بیانگر وجود تخلخل در محدوده مخزن است.

**کلمات کلیدی:** امیدانس صوتی، وارون‌سازی، مبتنی بر مدل، باند محدود، خارهای پراکنده، ماسه‌سنگ‌های کم تراوا.

\*مسئول مکاتبات

r.nikrouz@urmia.ac.ir

آدرس الکترونیکی

شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2020.4217.2909)

## مقدمه

نسبت سیگنال به نوفه است [۵]. اگرچه این نوع داده‌ها تفکیک‌پذیری بالاتری نسبت به داده‌های لرزه‌ای دارند، به بخش کوچکی از مخزن یا محیط چاه مربوط می‌شوند و با توجه به پیچیدگی‌های زمین‌شناسی، خطاها در تعمیم داده‌ها به کل مخزن رخ می‌دهد [۶].

## امپدانس صوتی

امپدانس صوتی<sup>۱</sup> را می‌توان به صورت مقاومت سنگ‌ها در برابر انتشار امواج تعریف کرد (یا توانایی سنگ و قابلیت آن در عبور موج صوتی از میان آن) که حاصل چگالی و سرعت موج تراکمی سنگ است [۷]. امپدانس صوتی خاصیت خود سنگ است. تفسیر داده‌های امپدانس صوتی مفاهیم چینه‌نگاری و ساختمانی دقیق‌تر و جزئی‌تری را فراهم می‌کند که می‌تواند از تفسیر داده‌های لرزه‌ای به دست آید. به طور کلی، امپدانس صوتی رابطه‌ای قوی با خصوصیات پتروفیزیکی مانند سنگ‌شناسی و تخلخل دارد [۸]. هر چه سنگ‌ها سخت‌تر باشند، امپدانس صوتی بالاتری را نشان می‌دهند. تخلخل نیز روی سرعت مؤثر است به طوری که هر چه تخلخل بالاتر باشد، سرعت کاهش می‌یابد.

سنگ‌های مختلف، مقادیر امپدانس متفاوتی دارند اما گاهی ممکن است این مقدار دارای همپوشانی باشد یعنی دو سنگ متفاوت یک مقدار امپدانس صوتی داشته باشند. این همپوشانی می‌تواند دلایل مختلفی از جمله عمق دفن، فشردگی تکتونیک، پیشینه دفن، تخلخل بین دانه‌ای، تخلخل ناشی از شکستگی، نوع سیمان و میزان اشباع داشته باشد. در نتیجه از مشاهده تغییرات امپدانس صوتی در داخل یک لایه با ویژگی سنگ‌شناسی مشخص، می‌توان به تغییرات رخساره سنگی در داخل لایه پی‌برد [۹].

رایج‌ترین داده‌های مورد استفاده برای توصیف مخزن داده‌های لرزه‌ای و چاه هستند. داده‌های چاه‌نگاری و اکتشافات لرزه‌ای عموماً برای ارزیابی و اکتشاف منابع هیدروکربنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اطلاعاتی مانند تخلخل، سرعت موج تراکمی، حجم شیل، اشباع آب، نفوذپذیری و لیتولوژی را می‌توان از پردازش و تفسیر نمودارهای چاه‌پیمایی به دست آورد [۱]. داده‌های چاه مانند نمودارها معمولاً قدرت تفکیک قائم کافی را فراهم می‌کنند اما فضای زیادی بین چاه‌ها باقی می‌گذارند. از سوی دیگر، داده‌های لرزه‌ای می‌توانند مشخصات مخزن جزئی بین چاه‌ها را مشخص کنند. با این حال، تفکیک عمودی داده‌های لرزه‌ای در مقایسه با داده‌های چاه، ضعیف است [۲]. بنابراین، می‌توان با استفاده از تلفیق داده‌های چاه و لرزه‌ای، پارامترهای مخازن مانند تخلخل و اشباع را به دست آورد. روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای<sup>۱</sup> به طور گسترده برای تعیین موقعیت مخازن نفت و گاز و همچنین، ارائه اطلاعات در مورد ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌های مخزن استفاده می‌شوند. تغییرات در خواص فیزیکی سنگ مانند چگالی، امپدانس صوتی ارتعاشی، تأثیر قابل توجهی را ایجاد می‌کند که می‌تواند در داده‌های لرزه‌ای با کیفیت بالا مشاهده شود. پیش از این، تنها روش وارون‌سازی لرزه‌ای پس از برانبارش به طور معمول برای تخمین امپدانس صوتی و تعیین مشخصات مخزن مورد استفاده قرار می‌گرفت. با این حال، این روش اطلاعات کافی در مورد مخزن ارائه نمی‌دهد، چرا که امپدانس صوتی به تنهایی قادر به تشخیص اثرات بین لیتولوژی و محتوای سیال نیست. خوشبختانه، این محدودیت با استخراج اطلاعات از داده‌های لرزه‌ای امپدانس برشی برای توصیف محتوای سیال منطقه به شیوه‌ای دقیق برطرف شده است [۳ و ۴]. در حال حاضر با ظهور فن‌آوری‌های جدید، هدف اصلی افزایش قدرت تفکیک وارون‌سازی لرزه‌ای با افزایش

1. Seismic Inversion  
2. Acoustic Impedance

## زمین شناسی میدان ویچرنج و حوضه پرت

حوضه رسوبی پرت در حدود ۱۰۰۰۰۰ km در جهت شمال - جنوب از حاشیه استرالیای غربی امتداد دارد. حوضه پرت در شرق توسط گسل دارلینگ، در غرب توسط فلات قاره اقیانوس هند، در شمال توسط حوضه کارنارون<sup>۱</sup> جنوبی و در جنوب توسط ساحل جنوبی محدود شده است. رسوبات و سنگ‌های آواری قاره‌ای از دوره پرمین تا حال حاضر مهمترین قسمت این حوضه را تشکیل می‌دهد.

میدان گازی ویچرنج<sup>۲</sup> در ۲۲ کیلومتری جنوب شهر باسلتون<sup>۳</sup> و ۲۰۰ km جنوب شهر پرت<sup>۴</sup> واقع شده است (شکل ۱ الف). چاه اول این میدان (ویچرنج-۱) در سال ۱۹۶۸ به وسیله شرکت اتحاد توسعه نفت<sup>۵</sup> باعث کشف ماسه‌سنگ‌های گازی سازند ویلسپی<sup>۶</sup> در محدوده مرکزی ساختار میدان شد و چاه دوم (ویچرنج-۲) در سال ۱۹۸۰ به فاصله ۱ km از جنوب شرق چاه اول حفاری گردید [۱۰]. این میدان یک میدان گازی بزرگ است که در آن ماسه‌سنگ‌های کم تراوی پرمین انباشته شده است. سازند ویلسپی به سن پرمین از گروه سو<sup>۷</sup> به عنوان سنگ مخزن اصلی میدان ویچرنج مشخص شده است (شکل ۱ ب).

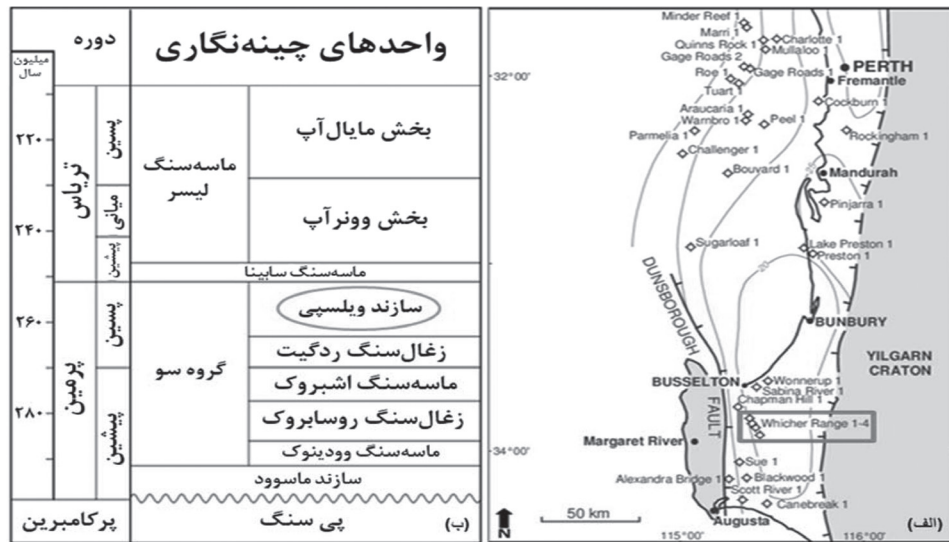
گروه سو با میان لایه‌های ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و زغال‌سنگ مشخص می‌شود. این مجموعه به پنج سازند بخش ماسه‌سنگی شامل وودینوک<sup>۸</sup>، زغال‌سنگ روسابروک<sup>۹</sup>، ماسه‌سنگ اشبروک<sup>۱۰</sup>، زغال‌سنگ ردگیت<sup>۱۱</sup> و ساختارهای ویلسپی تقسیم می‌شود [۱۱]. این سازندها به طور غالب از ماسه سنگ فلدسپاتی با جورشدگی ضعیف مرتبط با یک محیط آواری تشکیل شده‌اند. لایه‌های ماسه سنگی سازند ویلسپی با سن پرمین پسین، سنگ مخزنی میدان مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. این سازند به طور همشیب بالای سازند زغال‌سنگ ردگیت قرار دارد و مرز بالایی آن با سازند ماسه‌سنگی سایننا به سن تریاس می‌باشد که به طور مشخص یک مرز همشیب است [۱۲ و ۱۳]. شیل‌ها، سیلتستون‌ها

و زغال سنگ‌های سازند ویلسپی به عنوان پوش سنگ‌های بین سازندی برای مخازن ماسه سنگی موجود در سازند عمل می‌کنند. در بالای سازند ویلسپی، سازند ماسه سنگی سایننا وجود دارد که به دلیل وجود زیاد رس، سد نفوذپذیری را حاصل می‌کند و همراه شیل‌های موجود، احتمال حضور پوش سنگ ناحیه‌ای بر روی ساختار بیشتر ویچرنج را فراهم می‌سازد. گاز و میعانات ذخیره شده در ماسه سنگ‌های سازند ویلسپی در ساختار ویچرنج، استدلال می‌شود که به صورت درجا، از میان لایه‌های شیل کربن‌دار و زغال سنگ‌ها تولید می‌شوند. همه این رسوبات دارای تمرکز بالایی از کربن آلی قاره‌ای هستند [۱۱ و ۱۴].

## داده‌ها و روش تحقیق

هدف این مطالعه بررسی سازند ویلسپی از گروه سو، در میدان ویچرنج است که به این منظور با استفاده از تلفیق داده‌های مقطع لرزه‌ای شماره ۱۵ و داده‌های دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ (نگارهای صوتی و چگالی) در میدان گازی ویچرنج حوضه پرت واقع در استرالیای غربی، وارون‌سازی لرزه‌ای با روش‌های متفاوتی از جمله مبتنی بر مدل، باند محدود، خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) انجام و به مقایسه نتایج حاصل از روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای پرداخته شده است.

1. Carnarvon
2. Whicher-Range
3. Busselton
4. Perth
5. Union Oil Development
6. Willespie Formation
7. Sue Group
8. Woodynook
9. Rosabrook
10. Ashbrook
11. Redgate



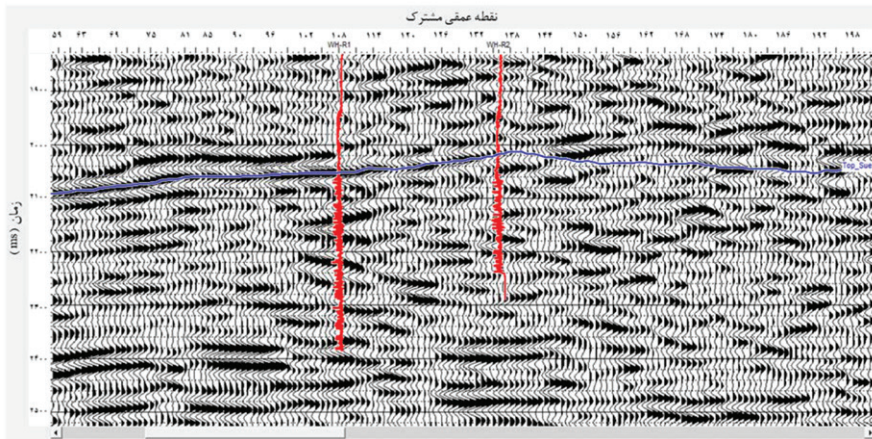
شکل ۱ الف) شمالی کلی از حوضه پرت و میدان ویچرنج واقع در استرالیا غربی [۱۵] و ب) ستون چینه‌نگاری در حوضه پرت جنوبی [۱۶].

سنگ بیشتر مربوطند [۸]. روش‌های مختلفی به منظور وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش<sup>۱</sup> وجود دارد که با توجه به داده‌های موجود و شرایط میدان، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در این مطالعه، از نسخه ۸ نرم‌افزار همپسون-راسل<sup>۲</sup> جهت فرآیند وارون‌سازی و تفسیر استفاده شده است. برای شروع فرآیند وارون‌سازی، داشتن داده‌های لرزه‌ای تماماً برانبارش شده، مدل سرعت فاصله‌ای و افق‌های لرزه‌ای نیاز است. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، منحنی‌های عمودی چاه‌ها می‌باشند و خط افقی، افق لرزه‌ای سازند ویلسپی از گروه سو است.

### وارون‌سازی لرزه‌ای

فرآیند وارون‌سازی لرزه‌ای ابزاری مهم جهت توصیف لرزه‌ای مخزن به شمار می‌آید. در علم ژئوفیزیک نقشه‌برداری ساختار فیزیکی و خواص زیر سطحی زمین با استفاده از یک سری محاسبات کمی در سطح زمین را وارون‌سازی لرزه‌ای گویند [۱۷]. روش وارون‌سازی رهیافتی در قلمرو فرکانس جهت تخمین ضریب بازتاب‌پذیری از داده‌های لرزه‌ای با پهنای باند محدود است. این فرآیند نوفه تصادفی و اثر موجک را از داده لرزه‌ای حذف کرده و آن را به امپدانس تبدیل می‌کند. نتیجه حاصله یک تصویر بهبود یافته از زیر سطح و تولید اطلاعات مهمی است که به فیزیک



شکل ۲ مقطع لرزه‌ای در محل چاه‌های ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲.

1. Post-stack  
2. Hampson-russell

چاه ساخته می‌شود. با اعمال یک موجک دلخواه، لرزه نگاشت مصنوعی محاسبه و سپس با رد لرزه‌ای موجود در محل چاه مطابقت داده می‌شود. این لرزه نگاشت مصنوعی در واقع نتیجه هم‌آمیخت<sup>۲</sup> موجک لرزه‌ای استخراج شده با سری ضرایب بازتابی حاصل از ترکیب نگارهای صوتی و چگالی می‌باشد [۲۱]. لرزه نگاشت مصنوعی با استفاده از فرآیندهای مختلف از قبیل کشیدگی، فشردگی و جابجایی با لرزه نگاشت مرکب تا جایی که میزان همبستگی بین لرزه نگاشت مصنوعی و لرزه نگاشت مرکب نتیجه قابل قبولی از خود نشان دهد، مطابقت داده می‌شود [۲۰]. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، برای نمونه چاه ویچرنج-۱، میدان ویچرنج با داده‌های یک مقطع لرزه‌ای از نگاشت مرکب که تعدادی از رد لرزه‌های موجود در مجاورت چاه ویچرنج-۱ می‌باشد و لرزه نگاشت مصنوعی که حاصل هم‌آمیخت موجک و سری ضرایب بازتابی موجود در محل چاه ویچرنج-۱ می‌باشد، منطبق شد که نتیجه قابل قبولی است.

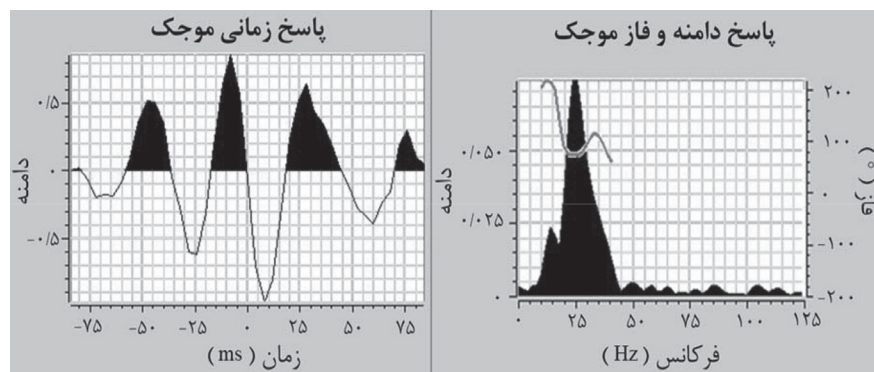
### ساخت مدل اولیه جهت انجام فرآیند

#### وارون‌سازی

در این مرحله با استفاده از نگارهای صوتی و چگالی، نگار امپدانس صوتی محاسبه می‌گردد و با کمک افق تفسیری، مدل اولیه ساخته می‌شود.

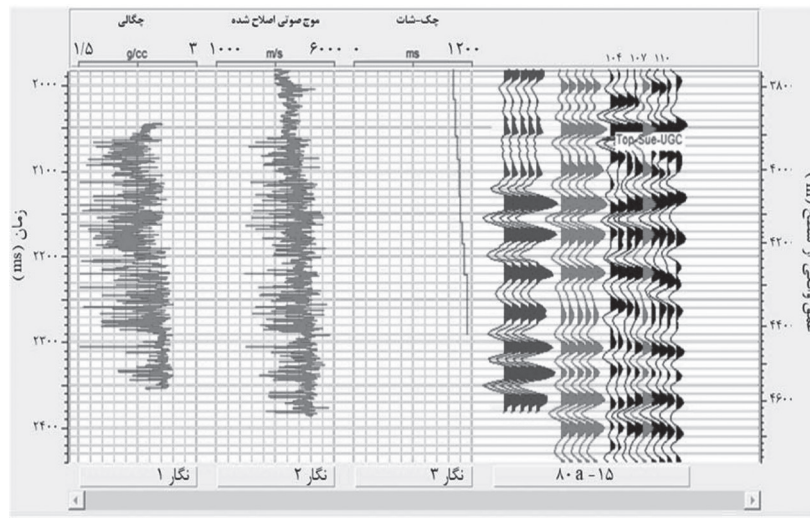
ابتدایی‌ترین مرحله به این صورت است که باید بین داده‌های لرزه‌ای و نمودارهای چاه تطابق ایجاد کنیم. از آنجایی که داده‌های چاه‌پیمایی در واحد عمق (بر حسب متر) برداشت می‌شوند و داده‌های لرزه‌ای در واحد زمان (بر حسب ثانیه) می‌باشند، به منظور تبدیل داده‌های لرزه‌ای سطحی از زمان به عمق و یا داده‌های چاه از عمق به زمان و از طرفی، ایجاد همخوانی بین داده‌ها، از داده‌های چک-شات<sup>۱</sup> استفاده می‌شود و منجر به اصلاح نگار صوتی می‌شود [۱۸ و ۱۹]. داده‌های چک-شات مجموعه‌ای از اطلاعات پیمایشی هستند که در محل چاه‌های حفاری شده حاصل می‌شوند و در نقش پل ارتباطی میان اطلاعات لرزه‌ای و اطلاعات چاه‌پیمایی عمل می‌کنند [۲۰]. پس از بارگذاری داده‌ها، رابطه عمق-زمان بر اساس داده‌های چک-شات تصحیح می‌گردد و هر دو داده (هم لرزه، هم چاه) هم واحد می‌شوند. یکی از مهمترین قسمت‌های وارون‌سازی لرزه‌ای، انتخاب و استخراج موجک مناسب می‌باشد (شکل ۳) چون تشخیص موجک مناسب مانع از تفسیرهای غلط ساختمانی می‌شود. بهترین موجک از روش تلفیق داده‌های لرزه‌ای و چاه‌پیمایی حاصل می‌شود [۱۹].

مرحله بعد ایجاد لرزه نگاشت‌های مصنوعی برای دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ است. با استفاده از نگارهای صوتی اصلاح شده و چگالی، مدلی از سری ضرایب بازتاب و تغییرات امپدانس صوتی در محل هر



شکل ۳ استخراج موجک در محل چاه ویچرنج-۱.

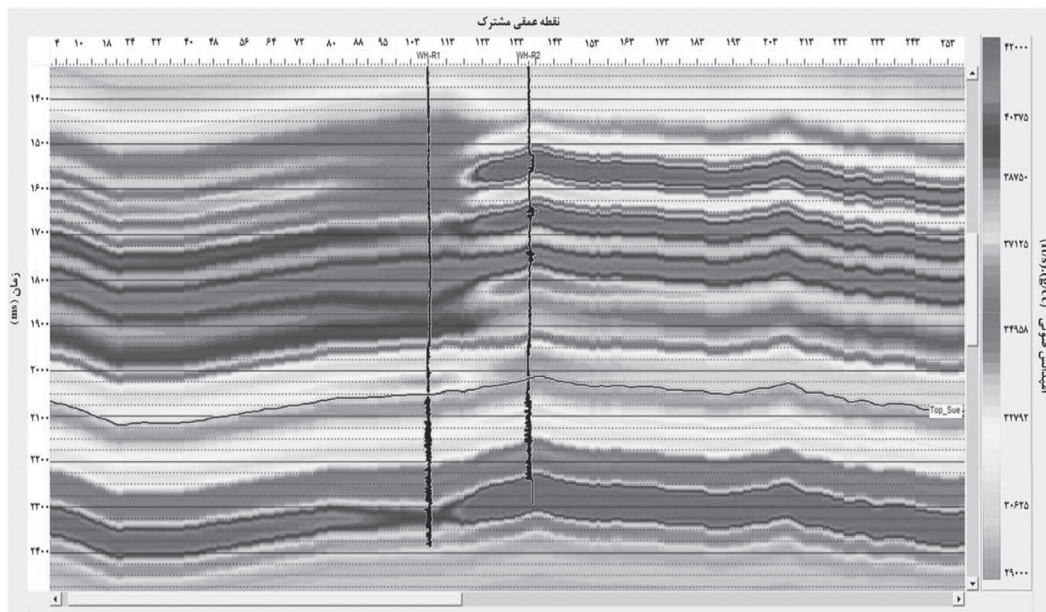
1. Check-shot  
2. Convolution



شکل ۴ تطابق داده‌های چاه و لرزه با میزان همبستگی ۰/۸۶ بین لرزه نگاشت مصنوعی و لرزه نگاشت مرکب در محل چاه ویچرنج-۱.

مدل زمین‌شناسی حاوی اطلاعات فرکانس پایین است [۲۲]. بنابراین مدل اولیه، یک حدس اولیه از ساختار سرعتی لایه است که برای انجام فرآیند وارون‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انجام مدل‌سازی اولیه از برنامه استراتا<sup>۱</sup> در نرم‌افزار همپسون-راسل استفاده می‌شود. شکل ۵ مدل اولیه به دست آمده بر روی مقطع لرزه‌ای شماره ۱۵ در چاه‌های ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ را نشان می‌دهد.

این مدل در واقع مدل امپدانس هست که از درونیابی امپدانس صوتی نگارهای چاه‌ها و واحد زمین‌شناسی (مقاطع لرزه‌ای) به دست می‌آید و مؤلفه فرکانس پایین این مدل گزینه‌ای معتبر جهت وارون‌سازی می‌باشد. یکی از مزیت‌های این مدل محدود کردن جواب‌های ممکن در مرحله وارون‌سازی است چرا که جواب حاصل از وارون‌سازی واحد و یکتا نیست و مزیت دیگر آن



شکل ۵ مدل اولیه تولید شده روی مقطع لرزه‌ای شماره ۱۵ در محل چاه‌های ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲.

## آنالیز روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای

پس از استخراج موجک نهایی و ساخت مدل اولیه امپدانس صوتی، نوبت به انتخاب بهترین روش جهت انجام فرآیند وارون‌سازی می‌رسد. با استفاده از برنامه استراتا روش‌های مختلفی از جمله روش‌های مبتنی بر مدل، باندهای محدود و خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی و بشینه احتمال) مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند. پس از آنالیز روش‌ها، میزان همبستگی و خطا بین نگار صوتی چاه‌ها و امپدانس صوتی محاسبه شده، بهترین روشی که بالاترین میزان همبستگی و کمترین میزان خطا را داراست انتخاب و در مراحل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتایج حاصله سه منحنی شامل منحنی مدل اولیه ساخته شده، منحنی امپدانس صوتی در چاه و منحنی نگار امپدانس صوتی حاصله به وسیله روش وارون‌سازی بر یکدیگر منطبق می‌باشند. در گام بعدی به ترتیب وارون‌سازی پس از برابری روش‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### آنالیز روش وارون‌سازی مبتنی بر مدل

در روش وارون‌سازی مبتنی بر مدل<sup>۱</sup> برای هر رد لرزه‌ای که نیاز به وارون‌سازی دارد، حتماً باید یک مدل اولیه فرضی وجود داشته باشد. این رد مدل اولیه با نسبت دادن اطلاعات نگارهای چاه یا جفت سرعت-زمان در نقاط مختلف حاصل می‌شود و تفسیر این نقاط باعث تولید امپدانس برای هر رد لرزه می‌گردد [۲۳]. اختلاف در مدل به صورت مکرر انجام می‌شود تا جایی که مدل حاصل با داده‌های لرزه‌ای هم‌خوانی قابل قبولی داشته باشد. از طرفی، ممکن است در این روش یک مدل همبستگی بالایی با داده‌های لرزه‌ای داشته باشد ولی مدل واقعی نباشد، چرا که حالت‌های مختلفی از امپدانس صوتی وجود دارد که می‌توانند یکسری ضرایب بازتاب را ایجاد کنند. مدلی که از تلفیق مدل زمین‌شناسی با نگارهای چاه و سایر داده‌ها ساخته می‌شود، به عنوان مهم‌ترین فرآیند

تلفیق اطلاعات پیشنهاد می‌شود [۷]. این روش که مبتنی بر نظریه هم‌میخت است بیان می‌کند که رد لرزه‌ای را می‌توان از هم‌میخت موجک با بازتاب زمین و اضافه کردن نوفه تولید کرد [۲۴]:

$$(۱) \text{ نوفه} + \text{بازتاب زمین} * \text{موجک} = \text{رد لرزه}$$

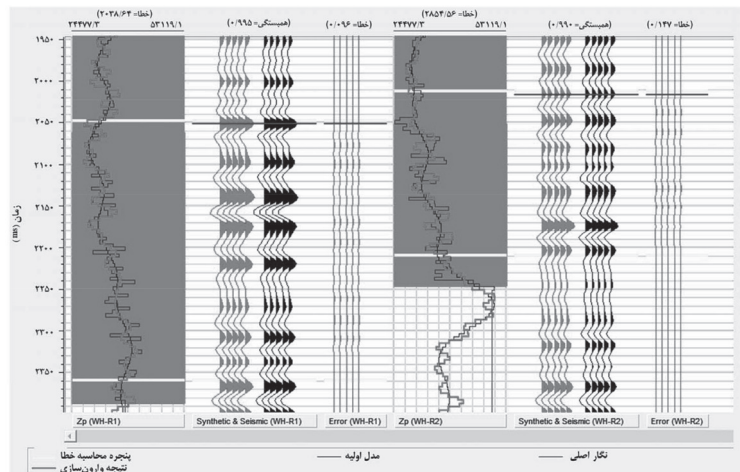
این روش نسبت به روش باندهای محدود، به مدل اولیه و موجک حساس‌تر است و نیز بر خلاف روش خارهای پراکنده، اطلاعات مربوط به ضرایب بازتاب به طور مستقیم از لرزه نگاشت‌ها به دست نمی‌آید و لذا نوفه موجود در داده‌های لرزه‌ای چندان حساس نیست. از مهمترین پارامترهای متغیر در این روش می‌توان به اندازه بلوک‌های مقاومت صوتی و تعداد تکرار اشاره کرد که هر چه اندازه بلوک‌ها کوچکتر باشد، نتیجه نهایی و انطباق با داده‌های واقعی منطقی‌تر خواهد بود. از معایب این روش می‌توان به حساسیت و وابستگی زیاد آن به موجک استخراج شده اشاره کرد. دیگر پارامتر مهم در این روش پارامتر منظم‌سازی<sup>۲</sup> می‌باشد که به منظور تنظیم نتیجه حاصل از واهم‌میخت<sup>۳</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که اگر داده‌های حاصل از واهم‌میخت دارای نوفه و اسپیک فراوان باشند، توسط این فاکتور حذف یا به حداقل می‌رسند. مقادیر پارامترهای متغیر بهینه که در آنالیز روش مبتنی بر مدل مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۱ آمده است.

نتایج حاصل از آنالیز روش مبتنی بر مدل در محل دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

جدول ۱ پارامترهای متغیر بهینه در الگوریتم مبتنی بر مدل.

قید سخت	۱۰۰٪- به صورت تک مقداری
میانگین اندازه بلوک	۴ ms
پارامتر منظم‌سازی	٪۱
تعداد تکرار	۱۰ مرتبه
فاکتور تنظیم مقیاس	۱

1. Model Based  
2. Prewhitening  
3. Deconvolution



شکل ۶ میزان همبستگی و خطا بین امپدانس صوتی در چاهها و امپدانس صوتی حاصل از آنالیز روش مبتنی بر مدل.

لرزه‌ای به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد [۷]. مقادیر پارامترهای متغیر بهینه که در آنالیز این روش مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ پارامترهای متغیر بهینه در الگوریتم باند محدود.

۱۰ Hz	فرکانس قطع بالا
۴ ms	نرخ نمونه برداری
۱	فاکتور تنظیم مقیاس

نتایج حاصل از آنالیز روش باند محدود در محل هر دو چاه ویچررنج-۱ و ویچررنج-۲ در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

### آنالیز روش وارون سازی خارهای پراکنده

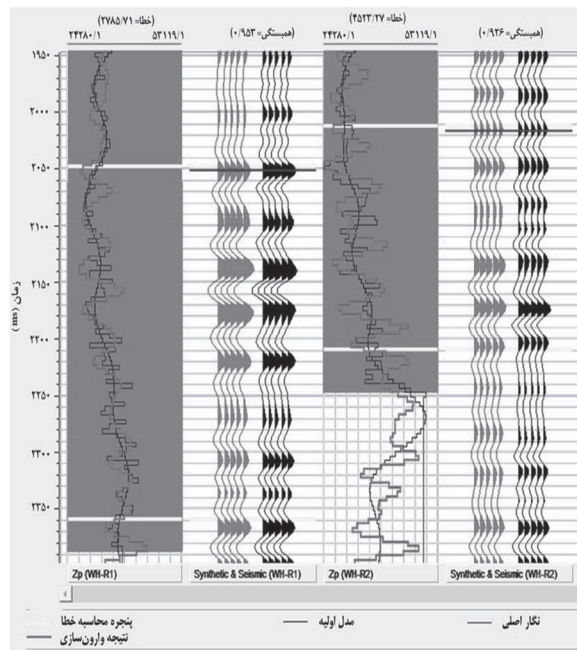
در روش وارون سازی باند محدود فرض ردلرزه‌ای به عنوان سری ضرایب بازتابی فرض درستی نبود و علاوه بر آن محدودیت پهنای باند باعث تقلیل صحت نتیجه وارون سازی می‌شود. در روش خارهای پراکنده تعیین موجک بر پایه مدل ضرایب بازتاب فرض شده صورت می‌گیرد. هدف از وارون سازی به روش خارهای پراکنده، به دست آوردن سری ضرایب بازتاب از رد لرزه و بازسازی کامل باند فرکانسی مدل زمین با فرکانس‌های بالا و پائین است [۲۲]. وارون سازی خارهای پراکنده<sup>۲</sup> به دو روش برنامه ریزی خطی<sup>۳</sup> و بیشینه احتمال<sup>۴</sup> انجام می‌شود:

1. Band Limited
2. Sparse Spike
3. Linear Programming
4. Maximum Likelihood

### آنالیز روش وارون سازی باند محدود

رایج ترین و معمول ترین روش وارون سازی لرزه‌ای، روش باند محدود<sup>۱</sup> می‌باشد که این روش به بازگشتی نیز معروف است. این روش توسط فرگوسن و مارگراو جهت تخمین باند فرکانسی محدود ارائه شد که حاصل ارتباط بین رد لرزه و امپدانس است [۲۵] و بر اساس رابطه ضریب بازتاب و امپدانس صوتی دو محیط بنا نهاده شده است [۷]. با توجه به مدل هم آمیخت، فیلترهای مختلفی بر پاسخ زمین تأثیرگذارند. از آنجایی که برای محاسبه امپدانس صوتی هر لایه از امپدانس صوتی لایه بالاتر استفاده می‌شود و خطاها و اثر نوفه به صورت تجمعی افزایش می‌یابد، پس اثر حضور نوفه در نگار امپدانس صوتی حاصله از این روش بیشتر است. از محدودیت‌های این روش می‌توان به اثر فرکانس محدود موجک با باند محدود اشاره کرد که در آن اجزای فرکانس‌های پایین و بالای بازتاب‌ها تضعیف یا از بین می‌رود و بازتاب پذیری به شدت به محدوده باند بستگی خواهد داشت و مؤلفه‌های بالا و پایین بسامدی از بین می‌روند [۲۶] و تنها قسمتی از باند فرکانسی سری ضرایب بازتاب زمین باقی می‌ماند. از طرفی، وجود نوفه سبب اختلاف نتیجه حاصله با واقعیت می‌شود. با این حال، روش وارون سازی باند محدود، روشی نسبتاً ساده و سریع برای تشخیص تغییرات نسبی امپدانس صوتی است چون تعیین و حذف موجک از نگاشت





شکل ۷ میزان همبستگی بین امپدانس صوتی در چاه‌ها و امپدانس صوتی حاصل از آنالیز روش باند محدود.

جدول ۳ پارامترهای متغیر بهینه در الگوریتم خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی).

پراکندگی <sup>۱</sup>	٪۱۰۰
قید فرکانس	۱۰ Hz
طول پنجره	۱۲۸
نرخ نمونه‌برداری	۴ ms
فاکتور تنظیم مقیاس	۱

نتایج حاصل از آنالیز روش خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) در محل هر دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ در شکل ۸ مشاهده می‌شود.

### بیشینه احتمال

آخرین روشی که در این مطالعه مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد، روش وارون‌سازی خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) است. نظریه اساسی وارون‌سازی بیشینه احتمال به یک نوع خاص واهم‌آمیخت با نام بیشینه احتمال بستگی دارد که سری‌های بازتاب زمین را از داده‌های لرزه‌ای تخمین می‌زند و سپس به امپدانس صوتی تحت وارون‌سازی بیشینه احتمال تبدیل می‌شود.

### برنامه‌ریزی خطی

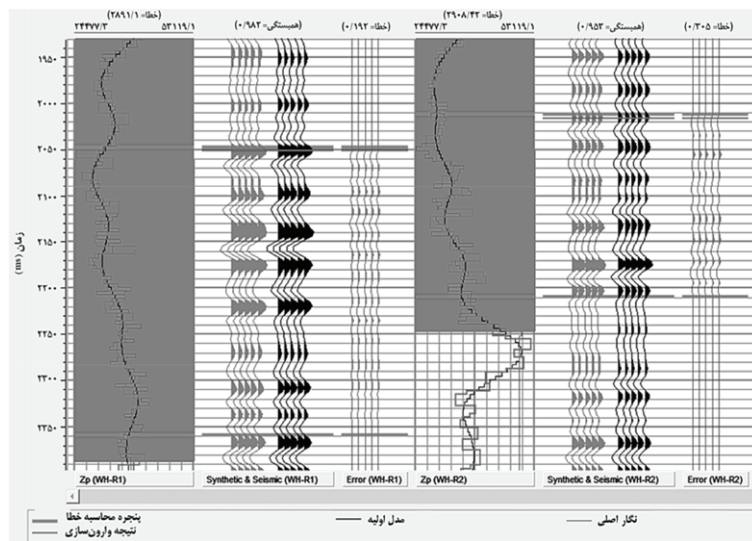
روش سومی که پس از روش مبتنی بر مدل و باند محدود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، روش وارون‌سازی خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) است. اولدن بورگ و همکاران این روش را بر پایه فرض خارهای پراکنده بیان کردند. بر اساس یک مدل هم‌آمیخت بدون نوفه، رد لرزه‌ای حاصل از هم‌آمیخت موجک و سری ضرایب بازتاب زمین می‌باشد. از آنجایی که فقدان باند کامل فرکانسی سبب عدم یکتایی مدل حاصل می‌گردد، به اطلاعات بیشتری نظیر ماهیت لایه‌ای بودن زمین جهت کاهش محدوده جواب‌های ممکن نیاز است. با کاهش نرم  $L_1$  می‌توان یقین حاصل کرد که امپدانس صوتی حاصل حداقل تغییرات ساختاری لایه‌ها را نشان می‌دهد [۲۷]. برای اولین بار لوی با کمینه کردن  $L_1$  ساختار امپدانس را به یک مدل پراکنده نزدیک‌تر نمود [۲۸]:

$$\|L\|_1 = \sum_{n=0}^{N-1} |r_n| \quad (2)$$

مقادیر پارامترهای متغیر بهینه که در آنالیز این روش مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۳ آمده است.

1. Norm

2. Sparseness



شکل ۸ میزان همبستگی و خطا بین امپدانس صوتی در چاه‌ها و امپدانس صوتی حاصل از آنالیز روش خارهای پراکنده (LP).

میزان قابل قبولی را نشان می‌دهند. بیشترین میزان همبستگی حاصله به ترتیب مربوط به روش‌های مبتنی بر مدل، خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی)، باند محدود و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) است. کمترین میزان خطای حاصله به ترتیب مربوط به روش مبتنی بر مدل، خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) است. پس الگوریتم وارون‌سازی مبتنی بر مدل دارای بیشترین میزان همبستگی و کمترین میزان خطا در میان سایر الگوریتم‌هاست. در شکل ۱۰ نیز نمودار متقاطع امپدانس صوتی اصلی و امپدانس صوتی برآورد شده توسط روش‌های وارون‌سازی مبتنی بر مدل، باند محدود، خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) نشان داده شده است.

#### نتایج روش‌های آنالیز وارون‌سازی لرزه‌ای

در این پژوهش روش‌های مختلف وارون‌سازی مشتمل بر وارون‌سازی مبتنی بر مدل، باند محدود، خطی خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی) و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) بررسی شدند و پس از تحلیل و محاسبه میزان همبستگی و خطا بین مقادیر اولیه و مقادیر محاسبه شده، الگوریتم وارون‌سازی مبتنی بر مدل برترین روش با میزان همبستگی بالا و خطای کمتر در میان سایر الگوریتم‌های مورد استفاده شناخته شد (جدول ۵).

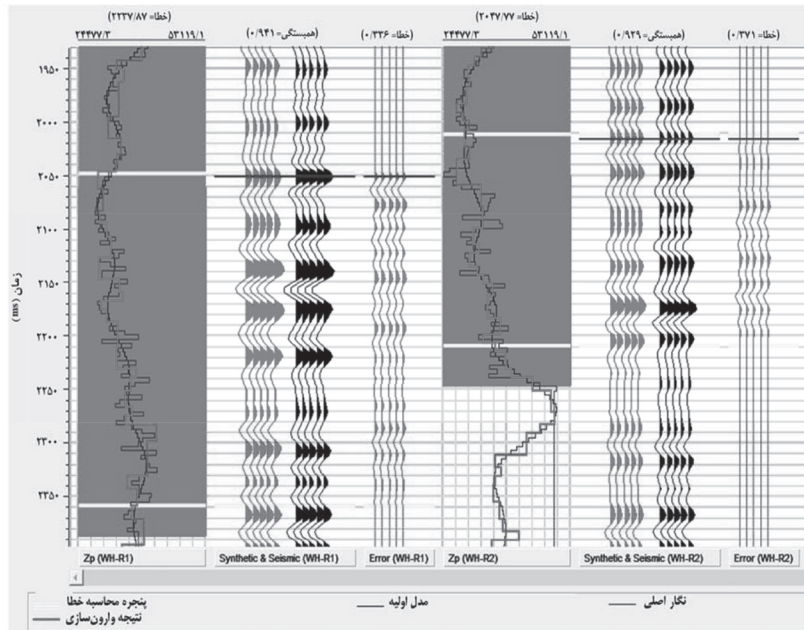
امپدانس صوتی ساختار بلوکی زیر سطحی را نشان می‌دهد و تفسیر لرزه‌ای را افزایش می‌دهد. در این نوع واهم‌امیخت، سری ضرایب بازتاب را یک سری با پراکندگی خار در نظر می‌گیریم. با توجه به این فرض می‌توان یک تابع معین را در نظر گرفت که با کمینه کردن آن، بهینه یا بیشترین احتمال ترکیب ضرایب بازتاب و موجک سازگار با فرض آماری، حاصل شود [۲۹]. مقادیر پارامترهای متغیر بهینه که در آنالیز این روش مورد استفاده قرار گرفتند، در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴ پارامترهای متغیر بهینه در الگوریتم خارهای پراکنده (بیشینه احتمال).

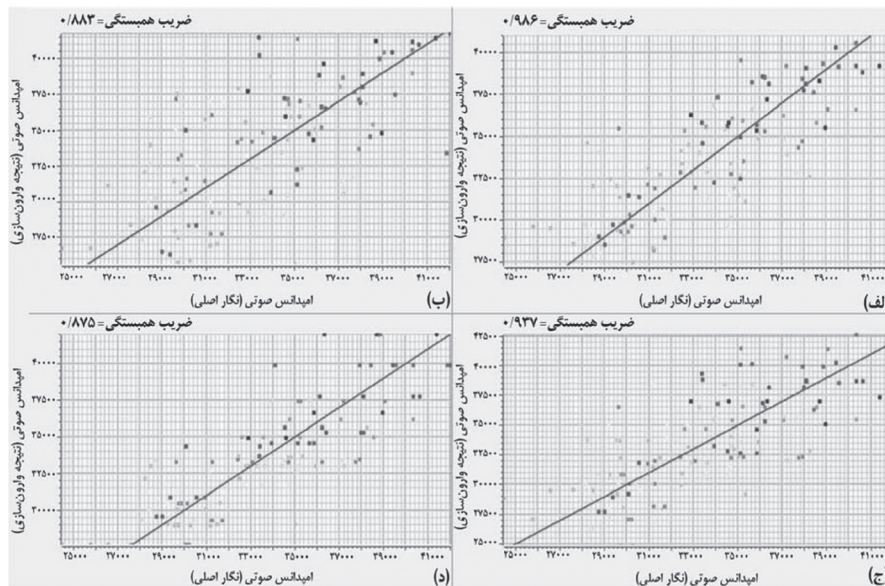
قید سخت	۱۰۰٪ - به صورت تک مقداری
تعداد بیشینه خار	۲۳۳
آستانه ردیابی خار	٪۱۵
تعداد تکرار	۵
نرخ نمونه برداری	۴ ms
فاکتور تنظیم مقیاس	۱

نتایج حاصل از آنالیز روش خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) در محل هر دو چاه ویچررنج-۱ و ویچررنج-۲ در شکل ۹ مشاهده می‌شود.

همان‌طور که از شکل‌ها ملاحظه می‌شود، میزان همبستگی بین نگار اصلی امپدانس صوتی و نگار پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های مختلف وارون‌سازی در هر دو چاه ویچررنج-۱ و ویچررنج-۲



شکل ۹ میزان همبستگی و خطا بین امیدانس صوتی در چاه‌ها و امیدانس صوتی حاصل از آنالیز روش خارهای پراکنده (ML).

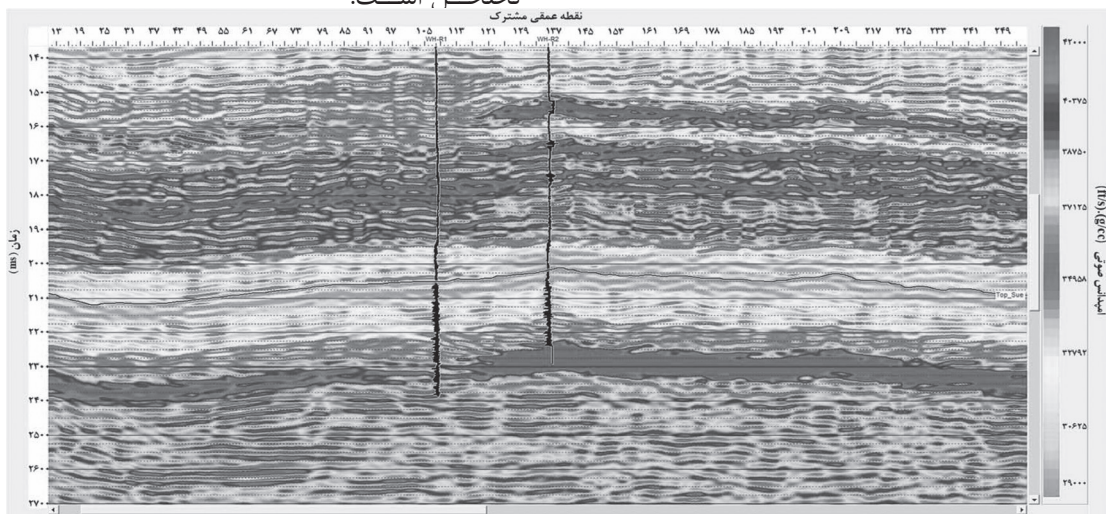


شکل ۱۰ نمودار متقاطع بین نگارهای امیدانس صوتی اصلی و محاسبه شده توسط روش وارون سازی (الف) مبتنی بر مدل، (ب) باند محدود، (ج) خارهای پراکنده (برنامه ریزی خطی) و (د) خارهای پراکنده (بیشینه احتمال).

جدول ۵ مقادیر همبستگی و خطای روش‌های مختلف وارون سازی در محل چاه‌ها.

روش‌ها / چاه‌ها	ویچرنج-۱	ویچرنج-۲
مبتنی بر مدل	میزان همبستگی: ۹۹/۵٪ میزان خطا: ۹/۶٪	میزان همبستگی: ۹۹٪ میزان خطا: ۱۴/۷٪
باند محدود	میزان همبستگی: ۹۵/۳٪ میزان خطا: -	میزان همبستگی: ۹۲/۶٪ میزان خطا: -
خارهای پراکنده (برنامه ریزی خطی)	میزان همبستگی: ۹۸/۲٪ میزان خطا: ۱۹/۲٪	میزان همبستگی: ۹۵/۳٪ میزان خطا: ۳۰/۵٪
خارهای پراکنده (بیشینه احتمال)	میزان همبستگی: ۹۴/۱٪ میزان خطا: ۳۳/۶٪	میزان همبستگی: ۹۲/۹٪ میزان خطا: ۳۷/۱٪

میزان تخلخل در ماسه‌سنگ‌های توالی سازند ویلسپی، دارای طیف وسیعی (از مقدار کم تا زیاد) می‌باشد. در بازه زمانی ۲۰۵۰ ms تا ۲۲۵۰ (ft/s).(g/cc)، امپدانس صوتی از بازه ۳۷۰۰۰ تا ۴۲۰۰۰ (ft/s).(g/cc) در پوش سنگ، به بازه ۳۵۰۰۰ (ft/s).(g/cc) تا ۲۹۰۰۰ (ft/s).(g/cc) در ناحیه مخزن ماسه‌سنگی ویلسپی رسیده است که بیانگر کاهش میزان امپدانس صوتی و افزایش تخلخل است.



شکل ۱۱ نتیجه وارون‌سازی به روش مبتنی بر مدل بر روی مقطع لرزه‌ای شماره ۱۵ در دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲.

تغییرات امپدانس صوتی درون توالی مخزن و افزایش میزان تخلخل در قسمت بالای مخزن که در مقطع لرزه‌ای مشاهده می‌شود، واحدهای متخلخل مخزن در قسمت‌های بالایی سازند واقع شده است.

با مقایسه نتایج، ملاحظه می‌شود که بیشترین و کمترین میزان همبستگی حاصله به ترتیب مربوط به روش مبتنی بر مدل و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) است و کمترین و بیشترین میزان خطای حاصله به ترتیب مربوط به روش‌های مبتنی بر مدل و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال) است. پس الگوریتم وارون‌سازی مبتنی بر مدل با بیشترین میزان همبستگی و کمترین میزان خطا صدرنشین جدول الگوریتم‌ها جهت وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای میدان ویچرنج می‌باشد. این روش دارای میزان تفکیک‌پذیری بالاتری نسبت به سایر

بنابراین روش مبتنی بر مدل جهت انجام فرآیند نهایی وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای و به دست آوردن مقطع وارون‌شده امپدانس صوتی بر روی مقطع لرزه‌ای شماره ۱۵ مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، مقطع وارون‌سازی شده در محل دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود،

## نتیجه‌گیری

روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای مهمترین روش جهت شناسایی سرشت نمایی مخزن می‌باشد. در این مطالعه به مقایسه روش‌های مختلف وارون‌سازی لرزه‌ای در میدان گازی ویچرنج پرداخته شد. تمام نتایج وارون‌سازی لرزه‌ای (مبتنی بر مدل، باند محدود، خارهای پراکنده (برنامه ریزی خطی) و خارهای پراکنده (بیشینه احتمال)) ارتباط نزدیکی با هم دارند. این الگوریتم‌ها در محدوده دو چاه ویچرنج-۱ و ویچرنج-۲ مورد بررسی قرار گرفتند تا نتایج وارون‌سازی امپدانس صوتی را با امپدانس نگار مقاومت مقایسه کنند.

روش وارون‌سازی لرزه‌ای مبتنی بر مدل، برای شناسایی سازندهای ماسه‌سنگی و ساختارهایی با میزان تخلخل بالا بسیار مناسب است. با توجه به

نتیجه قابل قبولی را به دست می‌دهد ولی جزئیات را به خوبی نشان نمی‌دهد.

### تشکر و قدردانی

از جناب دکتر رحیم کدخدائی ایلخچی و سیستم مدیریت اطلاعات نفت و زمین گرمایی استرالیای غربی جهت در اختیار قرار دادن داده‌ها کمال تشکر و قدردانی را داریم.

روش‌هاست و همبستگی خوبی بین امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی و امپدانس نگار مقاومت ایجاد کرده است. روش باند محدود، به دلیل از بین رفتن بخشی از محتوای فرکانسی اطلاعات زیادی در اختیار ما قرار نداده است. روش خارهای پراکنده با ضعف دقت و تعیین در تفکیک‌پذیری قائم مواجه هست. به‌طور کلی پس از الگوریتم وارون‌سازی مبتنی بر مدل، الگوریتم خارهای پراکنده (برنامه‌ریزی خطی)

### مراجع

- [1]. Gholami A, Ansari HR (2017) Estimation of porosity from seismic attributes using a committee model with bat-inspired optimization algorithm, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 152: 238-249.
- [2]. Soleimani F, Hosseini E, Hajivand F (2020) Estimation of reservoir porosity using analysis of seismic attributes in an Iranian oil field, *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10, 4: 1289-1316.
- [3]. Maurya SP, Singh KH, Kumar A, Singh NP (2018) Reservoir characterization using post-stack seismic inversion techniques based on real coded genetic algorithm, *Journal of Geophysics*, 39, 2: 95-103.
- [4]. Maurya SP, Singh KH, Singh NP (2019) Qualitative and quantitative comparison of geostatistical techniques of porosity prediction from the seismic and logging data: a case study from the Blackfoot Field, Alberta, Canada, *Marine Geophysical Research*, 40, 1: 51-71.
- [5]. Kushwaha PK, Maurya SP, Singh NP, Rai P (2019) Estimating subsurface petro-physical properties from raw and conditioned seismic reflection data: A comparative study, 285-306.
- [6]. Somasundaram S, Mund B, Soni R, Sharda R (2017) Seismic attribute analysis for fracture detection and porosity prediction: A case study from tight volcanic reservoirs, Barmer Basin, India, *The Leading Edge*, 36, 11: 947b1-947b7.
- [۷]. رحیمی م، "برگردان داده‌های لرزه‌ای سه بعدی به امپدانس صوتی و کاربرد آن در تخمین تخلخل (میدان گازی گنبدلی)،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۳۸۱.
- [۸]. کدخدائی ایلخچی ع، "تخمین پارامترهای ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی از نمودارهای چاه پیمایی و نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از سیستم‌های هوشمند در میداین هیدروکربنی جنوب ایران،" رساله دکتری، دانشگاه تهران، ایران، ۱۳۸۸.
- [9]. Latimer RB, Davidson R, Van Riel P (2000) An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derived acoustic impedance data, *The leading edge*, 19, 3: 242-256.
- [۱۰]. کدخدائی ایلخچی ر، "سرشت نمایی مخزنی ماسه‌های گازی سفت (کم تراوا) میدان ویچررنج در حوضه پرت واقع در استرالیای غربی،" رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ۱۳۹۳.
- [11]. Pouryousefy E, Johnson L, Ghasemiziarani M (2016) Simulation uncertainties in tight gas reservoirs; case-study on whicher range field in Western Australia, *International Journal of Current Research*, 8: 35367-35374.
- [12]. Crostella A, Backhouse J (2000) Geology and petroleum exploration of the central and southern Perth Basin, Western Australia, 57, Perth, WA: Geological Survey of Western Australia.
- [13]. Kadkhodaie-Ilkhchi R, Kadkhodaie A, Rezaee R, Mehdipour V (2019) Unraveling the reservoir heterogeneity of the tight gas sandstones using the porosity conditioned facies modeling in the Whicher Range field, Perth Basin, Western Australia, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 176: 97-115.
- [14]. Kadkhodaie-Ilkhchi R, Rezaee R, Moussavi-Harami R, Kadkhodaie-Ilkhchi A (2013) Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia, *Journal Petroleum Science and Engineering*, 111: 106-120.
- [15]. Hall PB, Kneale RL (1992) Perth Basin rejuvenated, *The APPEA Journal*, 32, 1: 33-43.
- [16]. Playford PE, Cockbain AE, Low GH (1988) Geology of the Perth basin, south-western Australia and their geological implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 65, 1-4: 229-237.

- [17]. Russell BH (1988), Introduction to seismic inversion methods, Society of Exploration Geophysicists.
- [۱۸]. نیکنام چنارستان سفلی ر، "تخمین نمودارهای پتروفیزیکی با استفاده از وارون سازی داده های لرزه ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران، ۱۳۹۳.
- [۱۹]. وکیلی آ، خلیلی س. ط، حسینی س. ک، موسوی حرمی س. ر. و چهارزی، ع، "مقایسه نتایج حاصل از وارون سازی داده های لرزه ای دو بعدی میدان نفتی هندیجان و بهرگانسر به روش های مختلف"، مجله پژوهش نفت، دوره ۲۵، شماره ۸۲، صفحه ۳۲-۴۴، ۱۳۹۴.
- [۲۰]. جعفری م، "تخمین پارامترهای مخزنی از تلفیق وارون سازی لرزه ای و تحلیل چند نشانگری با استفاده از شبکه عصبی در یکی از میداین نفتی در جنوب ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ایران، ۱۳۹۵.
- [۲۱]. سراج امانی م، نیکروز ر، کدخدائی ع، "تخمین پارامترهای مکانیک سنگ با استفاده از نشانگرهای لرزه ای و شبکه عصبی در سازند سوء حوضه پرت واقع در استرالیا غربی"، اولین همایش ملی پردازش سیگنال و تصویر در ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران، ۱۳۹۸.
- [۲۲]. فرج پور ز، نبی بیدهندی م، ترابی م. ر، "برگردان داده های لرزه ای سه بعدی به امیدانس صوتی در یکی از میداین نفتی جنوب غربی ایران"، فصلنامه زمین، سال چهارم، شماره ۳، صفحه ۵۳-۶۶، ۱۳۸۸.
- [23]. Cooke DA, Schneider WA (1983) Generalized linear inversion of reflection seismic data, *Geophysics*, 48, 6: 665-676.
- [24]. Mallick S (1995) Model-based inversion of amplitude-variations-with-offset data using a genetic algorithm, *Geophysics*, 60, 4: 939-954.
- [25]. Maurya SP, Singh KH (2017) Band limited impedance inversion of Blackfoot field, Alberta, Canada, *Journal of Geophysics*, 38, 1: 57-61.
- [26]. Russell B, Hampson D (2006) The old and the new in seismic inversion, *CSEG Recorder*, 31, 10: 5-11.
- [27]. Oldenburg DW, Scheuer T, Levy S (1983) Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms, *Geophysics*, 48, 10: 1318-1337.
- [28]. Levy S, Fullagar PK (1981) Reconstruction of a sparse spike train from a portion of its spectrum and application to high-resolution deconvolution, *Geophysics*, 46, 9: 1235-1243.
- [29]. Maurya SP, Singh NP (2018), Application of LP and ML sparse spike inversion with probabilistic neural network to classify reservoir facies distribution-A case study from the Blackfoot field, Canada, *Journal of Applied Geophysics*, 159: 511-521.



# Estimation of Acoustic Impedance of the Tight Sandstones Using Seismic Inversion Methods: A Case Study from Whicher-Range Gas Field in the Perth Basin, Australia

Masoud Serajamani<sup>1</sup>, Ramin Nikrouz<sup>\*1</sup> and Ali Kadkhodaie<sup>2</sup>

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, Urmia University, Iran

2. Earth Science Department, Faculty of Natural Science, Tabriz University, Iran

r.nikrouz@urmia.ac.ir

DOI: 10.22078/pr.2020.4217.2909

Received: July/05/2020

Accepted: September/12/2020

## Introduction

There are various methods for inverting seismic data to porosity, which are used according to the available data and field conditions. In this study, four models including (1) Model-based, (2) Band-limited, (3) Sparse Spike (Linear Programming) and (4) Sparse Spike (Maximum Likelihood) are discussed. In the model based inversion method, for every seismic trace that requires inversion, there must be a hypothetical initial model. This trace of the initial model is achieved by linking the well or velocity-time pairs of wells to different points, and the interpretation of these points produces impedance for each seismic trace [1]. The band-limited method was proposed by Ferguson and Margrave (1996) to estimate the frequency of band-limited, which is the result of the relationship between seismic trace and impedance [2]. In the sparse spike method, the wave is determined based on the assumed reflection coefficient model [3].

## Geological Setting

The Perth sedimentary basin stretches approximately 100,000 square kilometers in the North-South direction of the Western Australia margin. About half of this sedimentary basin is 1Km deep in the sea. This basin in southwest Australia is characterized by large amounts of hydrocarbon reserves that hold a large part of the unconventional gas reservoirs. Researches on Petroleum system of this basin indicates extensive source rocks and abundance of reservoir rocks and

structures with suitable time range for oil traps. Continental sediments and clastic rocks from the Permian to present constitute the most important part of the basin [4]. Whicher-Range gas field is located 22 Km south of Busselton and 200 Km south of the Perth city (Figure 1). The field was discovered by Union Oil Development in 1968 [4, 5]. The first well (Whicher-Range 1) was discovered by Union Oil Development in the Willespie Formation gas sandstones in the central part of the field structure due to the low flow of gas in this well which caused a hydraulic failure that did not improve the gas flow. The second well (Whicher-Range 2) was drilled in 1980 by Mesa Australia Limited, 1 Km south-east of the first well. From the structural point of view, the Willespie Formation is about 23 m above the first well. According to tests and studies, the flow rate and permeability of this well was lower than the first well. Based on the results of drilling in two other wells, the presence of gas in the reservoir was confirmed. Investigation of the reservoir rock in the field indicates that a part of low production rate in these wells could be caused by drilling fluids.

## Materials and Methods

### Acoustic Impedance

Acoustic impedance can be defined as the strength of rocks to the propagation of waves, which is the result of the density and velocity of the rock's compressional wave [7].

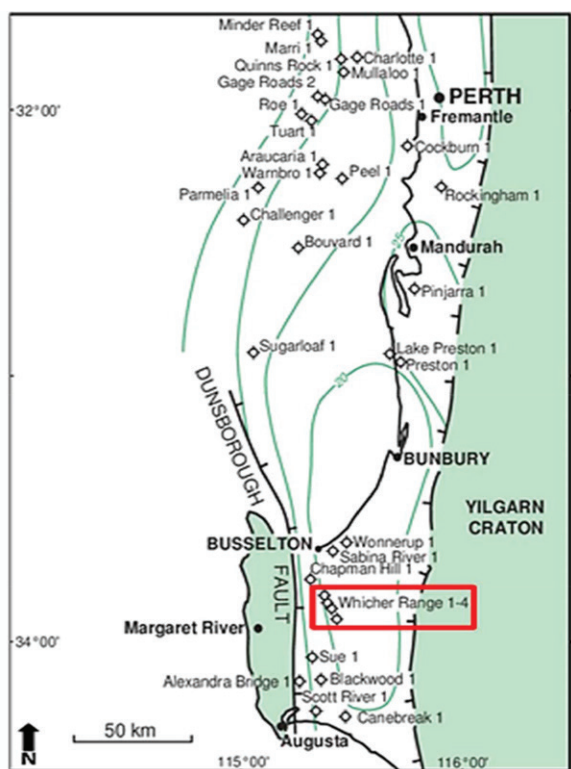


Fig. 1 Location map of Perth Basin and Whicher-Range in Western Australia [6].

Acoustic impedance is the property of the rock itself. Interpretation of acoustic impedance data provides more accurate and detailed concepts of the stratigraphic and structural concepts that can be obtained from the interpretation of seismic data. In general, acoustic impedance is strongly related to petrophysical properties such as lithology and porosity [8].

### Model-based Inversion

In the model-based inversion method, seismic information is compared with the initial model. Then the difference in the model is repeated so that the resulting model is consistent with seismic data. On the other hand, in this method, a model may have a high correlation with seismic data, but it is not a real model, because there are different modes of acoustic impedance that can create a number of reflection coefficients. The model, which is a combination of a geological model with well logs and other data, is proposed as the most important process for combining information [7].

### Band-limited Inversion

The most common method of seismic inversion is the Band-limited method. This method is based on the relationship between reflection coefficient and acoustic impedance of the two environments. This method is relatively simple and fast to detect relative changes in acoustic impedance, because it is not easily possible to determine and remove the wavelet from

seismogram [7].

### Sparse Spike Inversion

In the sparse spike inversion method, the aim is to obtain reflection coefficient series from seismogram and full reconstruction frequency band of earth model, so that include high and low frequencies [3].

### Seismic Inversion

Seismic inversion is a process in which geophysicists attempt to obtain acoustic impedance data from rock layers on Earth using reflection seismic data. The starting point of the inversion process is to have fully post-stack seismic data, distance velocity models, and seismic horizons. First, the seismic data were matched with well logs. Then, synthetic seismic was created for two wells (WR1 and WR2) of the field. The product of density log and DT obtained from sonic log is equal to the impedance. In the next step, the current impedance was transformed from depth to time using the appropriate relation. As a result, the convolution of a suitable wavelet and reflectivity over time caused the synthetic seismic. The model-based method was used to perform the final process of seismic inversion. The inverted section resulting from seismic section 80a-15 is shown along the studied wells in Figure 2.

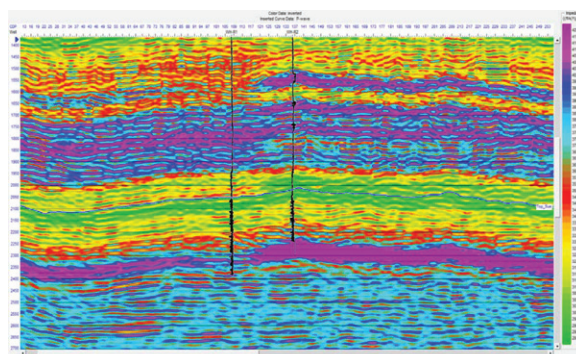


Fig. 2 The result of model-based inversion on seismic section 80a-15 along two wells (WR1 and WR2) of the studied field.

### Results and Discussion

In this study, using sonic and density logs, acoustic impedance is calculated and with the help of horizon, the initial model is constructed. After extracting the final wavelet and creating the initial model of acoustic impedance, it is time to choose the best method to perform the inversion process. The correlation values between the main acoustic impedance and the predicted using different inversion methods in WR1 and WR2 wells are acceptable. The correlation coefficient in all methods shows an acceptable amount. Initial modeling using extracted wavelet and geological model was build. The model-based inversion algorithm was chosen as the best method with the highest correlation coefficient and lowest error, among the other algorithms used.



### Conclusion

The low impedance zone is in the interval of 2050 to 2250 ms, (indicating the Willespie sandstone reservoir of the Sue Group). Acoustic impedance decreases from 37000 (ft/s)\*(g/cc) to 42000 (ft/s)\*(g/cc) in cap rock, to 29000 (ft/s)\*(g/cc) to 35000 (ft/s)\*(g/cc) in the reservoir interval with high porosity.

### References

1. Cooke DA, Schneider WA (1983) Generalized linear inversion of reflection seismic data, *Geophysics*, 48, 6: 665-676.
2. Maurya SP, Singh KH (2017) Band limited impedance inversion of Blackfoot field, Alberta, Canada, *Journal of Geophysics*, 38, 1: 57-61.
3. Farajpour Z, Nabi Bidhendi M, Torabi MR (2009) Inversion of 3D seismic data to acoustic impedance in one of the oil fields in the South West of Iran, *Journal of Earth*, 4th Year, 3: 53-66.
4. Kadkhodaie-Ilkhchi R (2015) Reservoir characterization of the tight gas sands of Whicher Range field in the Perth Basin, Western Australia, Ph.D. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 17-32.
5. Crostella A, Backhouse J (2000) Geology and petroleum exploration in the central and southern Perth Basin: Western Australia Geological Survey, Report 57-85.
6. Hall PB, Kneale RL (1992) Perth Basin rejuvenated, *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 32, 1: 33-43.
7. Rahimi M (2002) 3D seismic inversion to acoustic impedance and its application in porosity estimation (Gonbadly Gas Field), MSc. thesis, University of Tehran, Iran, 51-73.
8. Kadkhodaie-Ilkhchi A (2009) Estimation of the geochemical and petrophysical parameters from well logs and seismic attributes using intelligent systems in the southern Iran hydrocarbon fields, Ph.D. thesis, University of Tehran, Iran, 231-235.