

بهبود وارون‌سازی لرزه‌ای پس از برانبارش مبتنی بر نشانگر AVO عرض از مبدا

عفت بهبودی*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر • ناصر کشاورز فرج‌خواه، اصغر نادری، پژوهشگاه صنعت نفت • یوسف حسن پور مطلق، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت

چکیده

داده‌های لرزه‌ای از معتبرترین ابزارهای مطالعه‌ی نیمه کمی برای شناسایی منابع هیدرات گازی و گاز آزاد زیر آن است. با توجه به عدم وجود داده‌های چاهی در بیش تر زون‌های حاوی هیدرات گازی در آب‌های عمیق اقیانوسی، استفاده از روش‌های وارون‌سازی و مطالعه‌ی نشانگرهای تغییرات دامنه در برابر دورافت، برای ارزیابی گاز محبوس در زیر زون هیدرات گازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا با مشخص شدن محل دقیق زون‌های غنی از هیدرات گازی و گاز آزاد زیر آن هزینه حفاری جهت تولید از این منابع عظیم انرژی، کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های وارون‌سازی، وارون‌سازی برانبارش معمولی داده‌های لرزه‌ای است که در آن، مقاومت صوتی حاصل می‌گردد. هدف از برانبارش معمولی داده‌های لرزه‌ای، افزایش نسبت سیگنال به نوفه است ولی ناهمسانگردی، کشیدگی ایجاد شده در دورافت‌های بیشتر بر اثر برونراند نرمال، خطای آنالیز سرعت موجب تغییر در دامنه شده و مقطع دورافت صفر واقعی را ایجاد نمی‌کند. در حالی که نشانگر عرض از مبدا فارغ از این خطاها، داده‌های مربوط به دورافت صفر را فراهم می‌نماید. لذا مقاومت صوتی حاصل از مقطع دورافت صفر تغییرات محلی زیر سطحی را بهتر از مقاومت صوتی حاصل از داده‌های لرزه‌ای برانبارش شده، بیان می‌دارد. در این تحقیق مقطع نشانگر عرض از مبدا (با حذف تاثیر دورافت‌های دور) تهیه و از نتایج حاصل از وارون‌سازی مقاومت صوتی آن برای تفسیر بهتر گسترش زون گاز آزاد زیر زون هیدرات گازی استفاده گردید. مقاومت صوتی حاصل از مقطع نشانگر عرض از مبدا نسبت به مقطع برانبارش معمولی، گسترش زون گاز آزاد زیر رسوبات حاوی هیدرات گازی و بستر شبیه‌ساز دو گانه بستر دریا را با قدرت تفکیک بالاتری فراهم نمود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۴/۱

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۱۰/۰۸

واژگان کلیدی:

تغییرات دامنه در برابر دورافت، نشانگر عرض از مبدا، مقاومت صوتی، وارون‌سازی لرزه‌ای، گاز آزاد، هیدرات گازی

مقدمه

(۱) $R(\theta_i) \approx R_p + G \sin^2 \theta_i$

که R_p (عرض از مبدا) و G (گرادیان) و θ_i زاویه‌ی برخورد موج تراکمی در محیط λ_m می‌باشند. در عمل عرض از مبدا AVO، ضریب بازتاب نرمال باند محدود را نشان می‌دهد که در مقاطع برانبارش معمولی با استفاده از آن می‌توان نشانگر مقاومت صوتی را استخراج کرد. معمولاً تغییرات مقاومت صوتی را می‌توان به تغییر نوع سیال و میزان اشباع آن نسبت داد. همچنین معمولاً مقطع مقاومت صوتی با میزان تخلخل رسوبات، نسبت عکس دارد. همچنین گرادیان AVO، تغییرات دامنه با دورافت را نشان می‌دهد که مستقیماً به پارامترهای الاستیک و تغییرات نسبت پواسون بستگی دارد [۲]. با توجه به حساسیت بالای تغییرات نسبت پواسون به نوع سیال و میزان اشباع آن در رسوبات، عموماً به‌عنوان بهترین نشانگر پیش از برانبارش در بررسی این موارد شناخته شده است [۲].

اگر دامنه بر حسب توان دوم سینوس زاویه تابش رسم شود، یک خط حاصل می‌گردد که مقادیر عرض از مبدا و گرادیان براساس آن مشخص می‌شود. شکل ۱- نحوه‌ی به‌دست آوردن عرض از مبدا

دامنه امواج بازتابی و عبوری به اختلاف خواص فیزیکی در دو طرف مرز بازتابنده (تغییرات نسبت پواسون، سرعت موج تراکمی، سرعت موج برشی و چگالی) و زاویه برخورد موج اولیه بستگی دارد [۱]. روش AVO^۱ روشی است که می‌تواند برای به‌دست آوردن نسبت پواسون و بررسی وجود یا عدم وجود سیال به‌کار گرفته شود. بنابراین با توجه به نحوه‌ی تغییرات دامنه‌ی بازتاب‌ها با زاویه تابش، خواص الاستیکی و فیزیکی سنگ قابل دستیابی است [۲]. اولین بار زوپریتس [۳] راه‌حل دقیقی برای ضرایب بازتاب و عبوری با زاویه برخورد را برای یک موج تخت پیشنهاد داد که حل دقیق این معادلات امکان‌پذیر نبود. بنابراین به‌منظور ساده‌سازی از تقریب‌های معادلات زوپریتس استفاده گردید که همه‌ی این تقریب‌ها با فرض کوچک بودن اختلاف خواص الاستیک (تغییرات سرعت و تغییرات چگالی) در بین محیط‌های بازتاب معتبر می‌باشد [۴]. از جمله متداول‌ترین تقریب‌ها، تقریب آکی و ریچاردز [۴] و شوی [۵] می‌باشند که شوی معادلات زوپریتس را برای زوایای کمتر از ۳۰ درجه به‌صورت زیر نوشت [۵]:

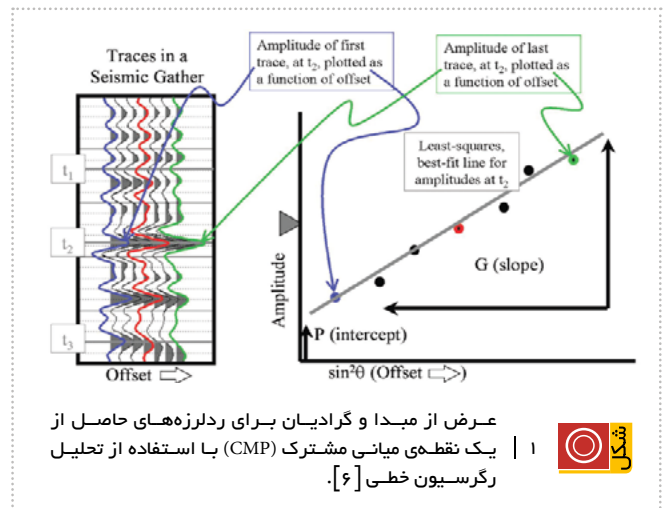
* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (effatbehoodi@aut.ac.ir)

سرعت موج تراکمی افزایش و چگالی اندکی کاهش می‌یابد در حالی که در رسوبات حاوی گاز آزاد، سرعت موج تراکمی کاهش و چگالی اندکی کاهش می‌یابد. بنابراین مقاومت صوتی موج تراکمی در ناحیه اشباع از گاز آزاد موجود در زیر زون هیدرات گازی کاهش می‌یابد [۸]. با توجه به کاهش مقاومت صوتی، معمولاً شیب‌ساز بستر دریا در مقاطع لرزه‌ای به صورت یک بازتابنده قوی با مقادیر دامنه بالا و قطبیت معکوس نسبت به بستر دریا، قابل مشاهده است [۱۰]. همچنین هر چه مقاومت صوتی زون هیدرات بیشتر باشد، می‌تواند بیانگر اثر سیمانی بودن آن باشد [۷].

به منظور شناسایی محل دقیق تجمعات گازی محبوس در زیر زون هیدرات گازی، از تحلیل AVO و وارون‌سازی نشانگرهای حاصل از آن کمک گرفته شد. با توجه به هدف این مطالعه که به طور مستقیم با دامنه بازتابنده‌ها در ارتباط است، از داده‌های پیش از برانبارش که دامنه‌ها در آن بازآوری گردیده بود، استفاده شد. تصحیحات انجام شده به منظور تعیین اندازه صحیح دامنه‌ها شامل شناسایی و اصلاح برداشت‌هایی (یا گیرنده‌هایی) با دامنه خارج از محدوده‌ی معمول، اصلاح اثر گسترش هندسی، اصلاح اثر جذب فرکانسی، تبدیل مقادیر دامنه به ضریب بازتاب و تصحیحات استاتیکی می‌باشند [۱۱]. در این تحقیق ابتدا داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش (که تصحیحات لازم به منظور مطالعه دامنه در برابر دورافت بر روی آن انجام شده بود) و داده‌های سرعت کوچک لرزه‌ای (کوچ لرزه‌ای پیش از برانبارش)، داده‌های پس از برانبارش در نرم‌افزار بارگذاری گردید. سپس با استفاده از ردیابی پرتو و سرعت کوچک لرزه‌ای، داده‌های پیش از برانبارش از حیطه‌ی دورافت به حیطه‌ی زاویه منتقل شده و نشانگر عرض از مبدأ حاصل از نتایج AVO استخراج گردید.

به منظور وارون‌سازی لرزه‌ای ابتدا باید موجک لرزه‌ای استخراج گردد. روش‌های مختلفی جهت استخراج موجک لرزه‌ای وجود دارند که عمده‌ترین این روش‌ها، شامل روش آماری و تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نمودارهای چاه می‌باشند [۱۲]. در تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نمودارهای چاه، ابتدا با اعمال موجک اولیه، لرزه‌نگاشت مصنوعی از هم‌میخت موجک لرزه‌ای و ضریب بازتاب به دست می‌آید. سپس لرزه‌نگاشت مصنوعی با ردلرزه واقعی در محل چاه تطبیق داده می‌شود. اگر خطا زیاد باشد، موجک را تغییر داده و این عمل تا زمانی که تطابق خوبی بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و ردلرزه واقعی ایجاد شود، ادامه پیدا می‌کند. در نهایت با استفاده از لرزه‌نگاشت مصنوعی، مقطع لرزه‌ای و چاه مشابه‌سازی می‌شوند [۱۳]. معمولاً به دلیل دقیق نبودن موجک استفاده شده در ساخت لرزه‌نگاشت مصنوعی، وجود بازتاب‌های چندگانه در داده‌های لرزه‌ای، ناهمگن بودن مواد سازنده‌ی لایه‌ها و دقیق نبودن تبدیل داده‌ها از حوزه عمق به زمان (دقیق نبودن

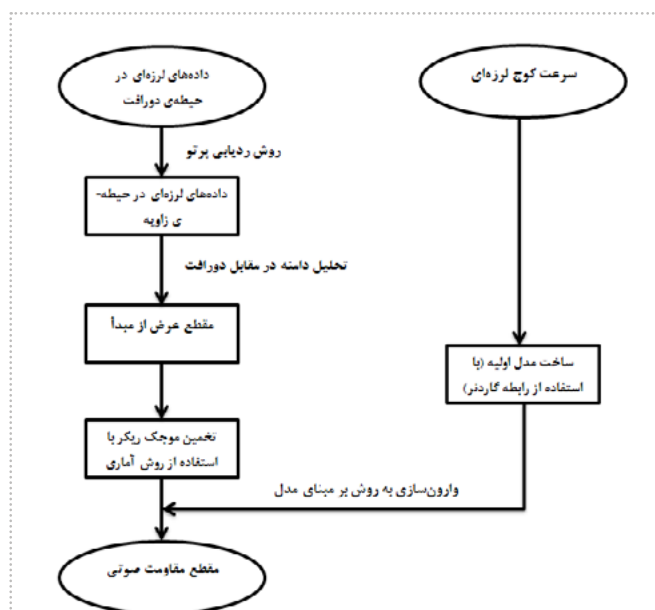
و گرادیان را برای ردلرزه‌های حاصل از یک نقطه‌ی میانی مشترک (CMP) با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی نشان می‌دهد [۶]. برای یک ردلرزه‌ی حاصل از مقاطع برانبارش معمولی، مقدار دامنه برای هر زمان، میانگین مقادیر دامنه برای همه‌ی دورافت‌هاست که در این روش تغییرات نسبی دامنه با دورافت در نظر گرفته نشده است. در این تحقیق برای محاسبه‌ی دامنه‌ی یک ردلرزه در زاویه برخورد نرمال، از داده‌های AVO که تغییرات دامنه با زاویه را نشان می‌دهند، استفاده شده است، زیرا یک مقطع عرض از مبدأ با در نظر گرفتن شرایط مناسب سیگنال به نوفه و با حذف تاثیر دورافت‌های دور بر آورد بهتری از تغییرات دامنه تابش نرمال نسبت به مقطع برانبارش معمولی فراهم می‌کند.



۱- روش تحقیق

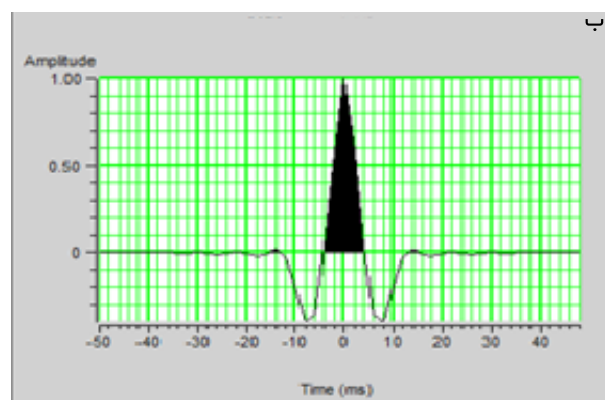
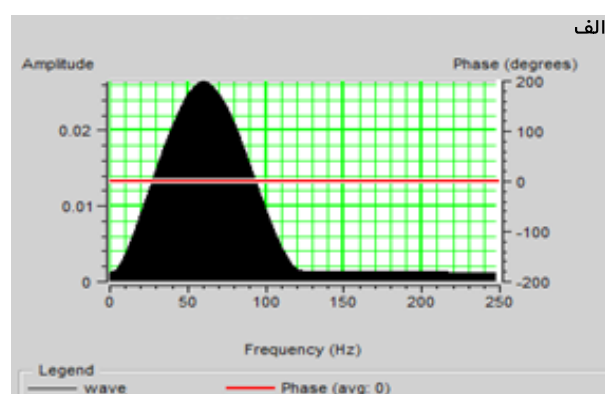
وجود منابع هیدرات گازی با استفاده از بازتابنده شیب‌ساز بستر دریا^۲ که شناخته‌ترین نشانه وجود هیدرات گازی در مقاطع لرزه‌ای می‌باشد در بخش ایرانی دریای عمان با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای به اثبات رسیده است [۷]. بازتابنده شیب‌ساز بستر دریا بازتابنده‌ای است که مرز پایدار زون حضور هیدرات گازی در رسوبات را نشان می‌دهد. بازتابنده شیب‌ساز بستر دریا مرز بین رسوبات حاوی هیدرات گازی (در زون پایداری هیدرات) و رسوبات حاوی گاز آزاد در زیر آن (ناحیه‌ای که به دلیل وجود گرادیان زمین گرمایی، هیدرات گازی ناپایدار شده و گاز آزاد در زیر آن تجمع می‌یابد) را نشان می‌دهد. با توجه به تغییرات جانبی کم در گرادیان زمین گرمایی و دمای بستر آب در عمق زیاد اقیانوس‌ها، عموماً این بازتابنده از عمق آب تأثیر می‌پذیرد و توپوگرافی بستر دریا را تبعیت می‌کند، لذا به نام بازتابنده شیب‌ساز بستر دریا (BSR) معرفی شده است [۹]. به دلیل ناپایداری هیدرات گازی در عمق زیر BSR، لایه‌ای از گاز آزاد در زیر این افق تجمع می‌یابد. در رسوبات حاوی هیدرات گازی

پس از استخراج موجک، باید یک مدل اولیه زمین‌شناسی ساخته شود. کاربرد مدل زمین‌شناسی در وارون‌سازی دو مزیت دارد: مزیت اول آن، محدود کردن جواب‌های ممکن در وارون‌سازی است، زیرا جواب وارون‌سازی یکتا نیست و از نظر ریاضی تعداد بی‌شماری سری مقاومت صوتی وجود دارند که همایخت آنها با موجک، می‌تواند ردلرزه مشاهده شده را تولید کند [۱۴]. ولی در مدل زمین‌شناسی شرط‌های محدود کننده‌ای در هر عمق وجود دارند که جواب وارون‌سازی لرزه‌ای به این شرط‌ها محدود می‌شود. مزیت دوم، ایجاد اطلاعات فرکانس پایین می‌باشد. معمولاً نتیجه‌ی وارون‌سازی در فرکانس‌های پایین‌تر از باندهای لرزه‌ای به‌خوبی محدود نمی‌شود که با استفاده از مدل زمین‌شناسی می‌توان این داده‌ها را جایگزین کرد [۱۴]. برای ساخت مدل اولیه معمولاً از داده‌های نمودار چاهی، اطلاعات افق‌های تفسیر شده، توالی لایه‌ها و ناپیوستگی‌ها استفاده می‌شود [۱۴]. در این تحقیق به دلیل عدم وجود داده درون‌چاهی، از داده‌های سرعت کوچ لرزه‌ای در مرحله پردازش استفاده گردید و سپس با استفاده از رابطه گاردنر (که رابطه بین چگالی و سرعت را بیان می‌کند) تخمین زده شد. در نهایت، مدل اولیه فرکانس پایین مقاومت صوتی با استفاده از فیلتر پایین‌گذر ساخته شد. در شکل ۳، مدل اولیه مقاومت صوتی به‌عنوان ورودی وارون‌سازی نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود مقاومت صوتی با افزایش عمق به صورت پیوسته افزایش می‌یابد و به دلیل فرکانس پایین آن اثری از آنومالی لایه گازی در آن دیده نمی‌شود. لذا این مدل تنها نشان‌دهنده تغییرات عمومی مقاومت صوتی رسوبات

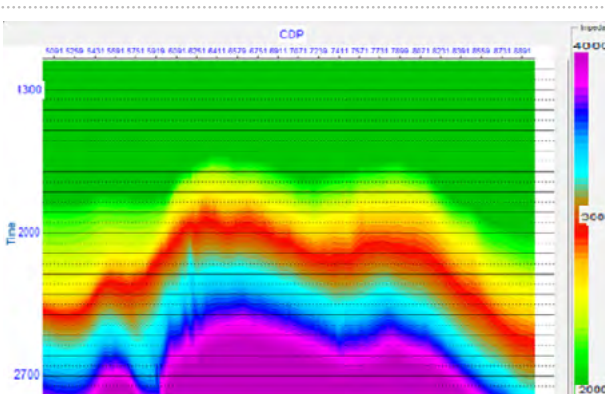


۴ | طرحواره انجام بازیابی مقاومت صوتی موج تراکمی با استفاده از وارون‌سازی مقطع عرض از مبدأ.

عملیات چک‌شات) تطابق کاملی بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و ردلرزه واقعی حاصل نمی‌شود [۱۳]. در این مطالعه به دلیل نبود چاه در منطقه مورد مطالعه از استخراج موجک به روش آماری (مبتنی بر داده‌های لرزه‌ای) استفاده شد که یک موجک ریگر با فاز صفر از داده‌های لرزه‌ای استخراج گردید (شکل ۲-). با توجه به اینکه فاز داده‌های لرزه‌ای موجود طی فرایند پردازش به مقدار صفر تغییر یافته است، لذا فاز صفر برای موجک آماری منظور گردید.



۲ | موجک استخراج شده به روش آماری. الف- نمایش موجک استخراج شده در حیطه‌ی زمان. ب- طیف دامنه و طیف فاز موجک استخراج شده.



۳ | مدل اولیه مقاومت صوتی که با افزایش عمق به صورت پیوسته افزایش می‌یابد.

ناحیه است.

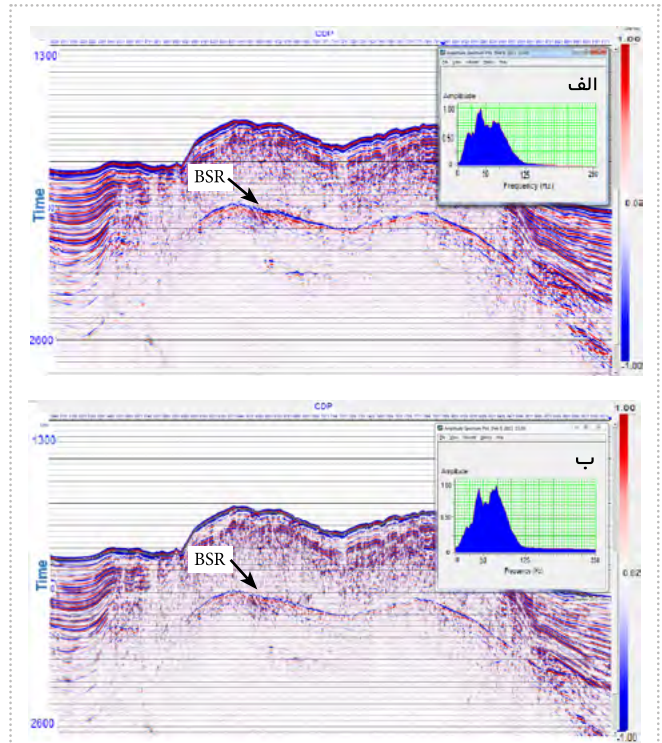
پس از ساخت مدل اولیه و استخراج موجک، وارون‌سازی لرزه‌ای انجام شد. جهت انجام وارون‌سازی بر روی داده‌های موردنظر از روش بر مبنای مدل استفاده شد. در روش وارون‌سازی بر مبنای مدل (وارون‌سازی تعمیم یافته خطی)، ابتدا یک مدل زمین‌شناسی ساخته می‌شود و سپس ردلرزه‌ی مصنوعی حاصل از آن با ردلرزه‌ی واقعی مقایسه می‌گردد. از نتایج مقایسه بین ردلرزه‌ی مصنوعی و ردلرزه‌ی واقعی مقایسه می‌گردد تا مدل اصلاح گردد [۱۴].

در شکل ۴- روند انجام وارون‌سازی لرزه‌ای بر روی داده‌های پیش از برنبارش نشان داده شده است. در شکل ۵- مقطع لرزه‌ای حاصل از برنبارش معمولی و عرض از مبدأ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵-الف می‌بینید مقطع عرض از مبدأ دارای محتوای فرکانسی بالاتری نسبت به مقاطع برنبارش معمولی با محتوای فرکانس پایین در شکل ۵-ب می‌باشد، بنابراین قدرت تفکیک عمودی بالاتری دارند.

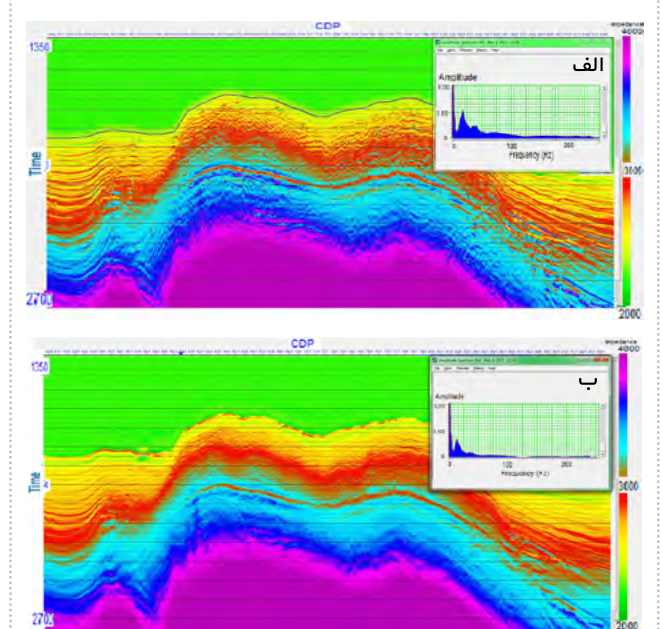
افزایش قدرت تفکیک و افزایش محتوای فرکانسی مقطع مقاومت صوتی موج تراکمی حاصل از مقطع عرض از مبدأ نسبت به مقطع برنبارش شده، می‌تواند به دلیل کشیدگی رخدادها در دورافت‌های بالا بعد از تصحیح برنبارش نرمال، خطای آنالیز سرعت و وجود ناهمسانگردی در مقطع برنبارش شده باشد. در مقطع لرزه‌ای برنبارش شده متداول، ردلرزه‌های با محتوای فرکانسی کم با ردلرزه‌هایی با محتوای فرکانسی بالاتر، میانگین‌گیری می‌شوند. لذا محتوای فرکانسی در این مقاطع کاهش می‌یابد.

در حالی که مقطع عرض از مبدأ که از آنالیز AVO حاصل می‌شود، از وجود ردلرزه‌های کم فرکانس موجود در دورافت‌های زیاد، متأثر نشده و لذا محتوای فرکانسی بالاتری نسبت به مقطع برنبارش معمولی دارد. همچنین با توجه به اینکه وجود ناهمسانگردی در محیط، عموماً تأثیر بیشتری بر داده‌های لرزه‌ای با دورافت بالا دارد، لذا مقطع عرض از مبدأ کمتر از مقطع برنبارش شده معمولی، از این پدیده تأثیر می‌گیرد.

مقطع برنبارش معمولی در دورافت صفر، متوسط دامنه‌هاست در حالی که مقطع عرض از مبدأ با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی، یک مقطع دورافت صفر واقعی می‌باشد. بنابراین با توجه به مزایای مقطع عرض از مبدأ نسبت به مقطع برنبارش معمولی، از مقاومت صوتی حاصل از آن برای تفسیر بهتر استفاده گردید. همان‌طور که در شکل ۶- مشاهده می‌کنید زون حاوی هیدرات گازی با مقاومت صوتی بالا در بالای شیب‌ساز بستر دریا و زون حاوی گاز آزاد در زیر شیب‌ساز بستر دریا قرار دارند. از مقایسه مقاومت صوتی موج تراکمی حاصل از این دو مقطع در شکل ۵- مشاهده گردید که مقطع مقاومت صوتی حاصل از مقطع عرض از مبدأ دارای محتوای فرکانسی بالاتر و در نتیجه قدرت تفکیک



شکل ۵ | الف- مقطع پس از برنبارش. ب- مقطع عرض از مبدأ. مقطع عرض از مبدأ دارای محتوای فرکانسی بالاتری نسبت به مقطع پس از برنبارش می‌باشد.



شکل ۶ | مقایسه مقاومت صوتی موج تراکمی حاصل از مقطع عرض از مبدأ و پس از برنبارش. در قسمت الف مقطع مقاومت صوتی موج تراکمی حاصل از مقطع عرض از مبدأ مشاهده می‌شود که شیب‌ساز دوگانه بستر دریا به وضوح دیده می‌شود. همچنین مقاومت صوتی موج تراکمی حاصل از مقطع عرض از مبدأ دارای محتوای فرکانس بالاتری نسبت به مقطع پس از برنبارش در قسمت ب می‌باشد. بنابراین قدرت تفکیک عمودی بالاتری دارد.

از برانبارش معمولی و وارون‌سازی انجام شده بر روی آنها مورد مقایسه قرار گرفتند که در آن برای محاسبه‌ی دامنه‌ی یک ردلرزه در زاویه برخورد نرمال، از داده‌های AVO که تغییرات دامنه با زاویه را نشان می‌دهند، استفاده شد. مقطع عرض از مبدا با توجه به حذف تأثیر دورافت‌های دور و افزایش باند فرکانسی، مقطع بهتری با قدرت تفکیک عمودی بالاتری نسبت به مقاطع برانبارش معمولی در زوایای نرمال ارائه نمود که از آن می‌توان برای شناسایی لایه‌های نازک و بهتر نشان دادن تجمعات گازی موجود در زیر زون اشباع از هیدرات گازی استفاده کرد. وارون‌سازی بر پایه مدل اعمال شده بر روی مقطع عرض از مبدا، شناسایی خواص لایه‌ها را با آشکارسازی سطح شبیه‌ساز دوگانه بستر دریا در داده‌ی لرزه‌ای مربوط به هیدرات گازی بهبود بخشید. همچنین در قسمت‌هایی که هیدرات دارای مقاومت صوتی بالاست، عملکرد هیدرات در این نواحی از نوع سیمانی پیشنهاد می‌شود. در این مطالعه در مورد ارزیابی و کیفیت سیال نمی‌توان اشاره کرد و تنها شناسایی محدوده هیدرات و گاز امکان‌پذیر است.

عمودی بالاتر می‌باشد. همچنین در مقطع مقاومت صوتی حاصل از مقطع عرض از مبدا، شبیه‌ساز بستر دریا و شبیه‌ساز دوگانه بستر دریا با مقاومت صوتی کمتر نسبت به لایه‌های مجاور با قدرت تفکیک بهتری مشاهده گردید در حالی که شبیه‌ساز دوگانه بستر دریا در مدل اولیه و همچنین مقاومت صوتی موج تراکمی حاصل از برانبارش معمولی مشاهده نمی‌شد (شکل-۶). علاوه‌بر این در شکل-۵، در محدوده CRP^2 ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ در بالای شبیه‌ساز بستر دریا، زون حاوی هیدرات با مقاومت صوتی بالا نسبت به زون هیدرات گازی نواحی مجاور آن مشاهده می‌شود که این می‌تواند نشان از عملکرد سیمانی تجمع هیدرات در این قسمت‌ها باشد. همچنین به‌علت پایین بودن مقاومت صوتی موج تراکمی در زیر BSR در نواحی ذکر شده، زون‌های غنی از گاز آزاد به‌خوبی قابل شناسایی است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مقاطع حاصل از نشانگر AVO (عرض از مبدا) و پس

پانویس‌ها

- 1- Amplitude Variations with Offset 2- Bottom Simulating Reflector 3- Common Reflection Point

منابع

- [1] McGregor, A brief review of AVO anomaly classification, *Geohorizons*, 2007, 34-37.
- [2] Schmitz, T., and Jokat, W., Amplitude versus offset analyses of the deep sedimentary structures at the northern flank of the Porcupine Basin, SW of Ireland, *International Journal of Earth Sciences*, 2007, 96, 171-184.
- [3] Zoeppritz, K., On the reflection and propagation of seismic waves: *Über Erdbebenwelle VII B*, *Gottinger Nachrichten*, 1919, 1, 66-84.
- [4] Aki, K., and Richardh. P., *Quantitative seismology: Theory and Methods*, W. H. Freeman, New York, 1980, 703.
- [5] Shuey, R. T., A simplification of the Zoeppritz equations, *Geophysics*, 1985, 50, 609-614.
- [6] Young, R. A., and LoPiccolo, R. D., A comprehensive AVO classification, *The Leading Edge*, 2003, 22, 1030-1037.
- [7] Hosseini Shoar, B., Javaherian, A., Keshavarz Farajkhah, N., Seddigh Arabani, M., Reflectivity template, a quantitative intercept-gradient AV O analysis to study gas hydrate resources- A case study of Iranian deep sea sediments. *Marine and Petroleum Geology*, 2014, 51, 184-196.
- [8] Salehi, E., Javaherian, A., Ataee Pour, M., Keshavarz Farajkhah, N., and Seddigh Arabani, M., Quantitative seismic pre-stack analysis of potential gas-hydrate resources in the Makran Accretionary Prism: offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 48, 160-170.
- [9] Dai, J., Xu, H., Snyder, F., and Dutta, N., Detection and estimation of gas hydrate using rock physics and seismic inversion; Example from northern deepwater Gulf of Mexico: The Leading Edge, 2004, 23, 61-66.
- [10] Max, M.D., Johnson, A.H., and Dillon, W.P., *Economic geology of natural gas hydrate*: Springer, 2006.
- [11] Salehi, E., Javaherian, A., Ataee Pour, M., Keshavarz Farajkhah, N., and Seddigh Arabani, M., Quantitative seismic pre-stack analysis of potential gas-hydrate resources in the Makran Accretionary Prism: offshore Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 48, 160-170.
- [12] Lines, L.R., and Ulrych T. J., The old and the new in seismic deconvolution and wavelet estimation, *Geophysical Prospecting*, 1977, 25, 512-540.
- [13] Hampson, D., and Galberaith, M., Wavelet extraction by sonic log correlation, *Journal of the CSEG*, 1981, 17, 24-42.
- [14] Russell. H., *Introduction to seismic inversion methods*, SEG, Tulsa, Oklahoma, 1988, 177.