

برآورد ضریب جذب امواج لرزه‌ای با استفاده از روش توزیع ویگنر- وایل نمای هموار شده

امین روشندل کاهو^{۱*}، حمیدرضا سیاهکوهی^۲

^۱ دانشجوی دکتری ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۷/۱/۱۷، پذیرش نهایی: ۸۸/۷/۲۱)

چکیده

امروزه در لرزه‌نگاری از میرایی دامنه امواج به‌منزله یک نشانگر برای شناسایی مستقیم موقعیت ذخایر هیدروکربن استفاده می‌شود. میرایی امواج لرزه‌ای معمولاً با پارامتری با نام فاکتور کیفیت به صورت کیفی برآورده می‌شود. در این مقاله ضریب جذب امواج لرزه‌ای به صورت کمی تعیین می‌شود. میرایی امواج لرزه‌ای معمولاً در حوزه بسامد و براساس طیف توان و روش‌های آماری مورد بررسی قرار می‌گیرد. رفتار میرایی ناپایا است و از آنجا که تبدیل فوریه ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌های ناپایا در حوزه بسامد نیست، در این مقاله از روش توزیع ویگنر- وایل نمای هموارشده (smoothed pseudo Wigner-Ville) برای محاسبه مستقیم ضریب جذب (بدون نیاز به محاسبه طیف توان) استفاده شده است. این توزیع یکی از توزیع‌هایی است که جملات عرضی آن به‌مراتب از توزیع ویگنر- وایل کمتر است. جملات عرضی در توزیع ویگنر- وایل نمای هموارشده با هموار کردن نمایش زمان- بسامد تضعیف می‌شوند.

کارایی روش پیش‌گفته روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی بررسی می‌شود. مقایسه نتایج به‌دست آمده با اطلاعات چاه و نتایج وارون لرزه‌ای، حاکی از موفقیت این روش در برآورد ضریب جذب و شناسایی موقعیت بی‌هنجاری‌های مرتبط با آن است.

واژه‌های کلیدی: میرایی امواج لرزه‌ای، توزیع ویگنر- وایل نمای هموارشده، ضریب جذب، حوزه زمان- بسامد.

Seismic attenuation coefficient estimation using smoothed pseudo Wigner-Ville distribution

Roshandel Kahoo, A.¹ and Siahkoochi, H. R.²

¹Ph.D. student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 26 Jan 2009, Accepted: 12 May 2009)

Abstract

Elastic energy of seismic wave is lost through propagation into the earth. Various factors affect seismic energy. Some of them are frequency independent and recovered in processing steps. But other factors such as intrinsic absorption of medium are frequency dependent and cannot be recovered by processing methods. Lost energy caused by these factors is called attenuation. There are various methods to study the attenuation of seismic energy.

Because of the frequency dependency behaviour of attenuation, it acts as a non-stationary quantity. Attenuation coefficient is usually studied in frequency domain based on power spectrum and statistical methods. Since Fourier transform does not consider the

temporal variation of frequency content of seismic data, and due to the dependence of attenuation to frequency we used time-frequency tools in this study. Time-frequency transforms such as short-time Fourier transform, wavelet transform and S-transform are common tools in the processing and interpretation of seismic data. In this study, we used the Wigner-Ville distribution as a time-frequency tool to study the seismic wave attenuation.

Wigner-Ville Distribution: Wigner-Ville distribution (WVD) of a signal $x(n)$ is defined as (Boashash, 2003):

$$\text{WVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (1)$$

The importance of the WVD is due to its marginal property and high resolution of time and frequency axis. But the existence of cross-term in WVD limited its application in engineering and science. Pseudo WVD (PWVD) and Smoothed Pseudo WVD (SPWVD) are two well-known methods with less cross-term than WVD. PWVD and SPWVD are defined as (Polarikas, 2000):

$$\text{PWVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (2)$$

$$\text{SPWVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) \int_{-\infty}^{+\infty} g(s-t) x\left(s + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(s - \frac{\tau}{2}\right) ds e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (3)$$

where, $h(t)$ is the smoothing window which acts on frequency direction of distribution and $g(t)$ is the smoothing window which acts on time direction of distribution. These two methods reduce the cross-term but extend the auto-term. In our study the noiselessness of distribution is more important than resolution. Therefore, we use SPWVD in our study.

Attenuation Estimation: The results of Zhang and Ulrich (2002) are the principle of attenuation estimation based on SPWVD. They show that the effect of attenuation on seismic wavelet can be referred as:

- 1- Peak frequency shift to lower frequencies.
- 2-Frequencies above the peak frequency are affected by attenuation more than frequencies which belong below the peak frequency.

The slope of the line which is fitted to WVD at each time for frequency range between peak frequency to half of Nyquist frequency can be used as a attenuation coefficient based on the relation below (Yandong and Xiaodong, 2007):

$$\text{SPWVD}_x(t_0, f) = A_{f_c} e^{(-\lambda f)} \quad (4)$$

where, f_c is the centroid frequency and is defined as:

$$f_c = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f \times \text{SPWD}_x(t_0, f) df}{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{SPWD}_x(t_0, f) df} \quad (5)$$

Because centroid frequency is less sensitive to noise than peak frequency, we used centroid frequency instead of peak frequency.

We investigated the efficiency of the method on both synthetic and real seismic data. Comparison of results with well logs and inversion of seismic data showed that this

method can estimate both the attenuation coefficient and related anomaly location properly.

Keywords: seismic attenuation, smoothed pseudo Wigner-Ville distribution, attenuation coefficient, time-frequency domain.

۱ مقدمه

$$A(x) = A(x_0) \left(\frac{x_0}{x} \right)^n e^{-\alpha(x-x_0)} \quad (1)$$

که در آن، $A(x)$ دامنه موج در فاصله x از منبع، $A(x_0)$ دامنه موج در فاصله x_0 از منبع، $\left(\frac{x_0}{x}\right)^n$ کاهش دامنه براساس گسترش هندسی، $e^{-\alpha(x-x_0)}$ کاهش دامنه براساس میرایی، α ضریب جذب است. توان n در عامل گسترش هندسی به هندسه موج منتشر شونده وابسته و مقدار آن برای موج تخت $n=0$ است.

رایج‌ترین مقیاس برای برآورد میزان جذب محیط، کمی بدون بُعد به نام فاکتور کیفیت، Q است که تعاریف زیادی برای آن عرضه شده است. اما به‌طور کلی فاکتور کیفیت عبارت است از نسبت انرژی ذخیره شده به انرژی تلف شده در هر دوره تناوب. تاکنون روش‌های متفاوتی برای بررسی ضریب جذب یا فاکتور کیفیت معرفی شده‌اند (لی و همکاران، ۲۰۰۶؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۳؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۶؛ بای و لی، ۱۹۹۹؛ لی و همکاران، ۲۰۰۴؛ تای و همکاران، ۲۰۰۶؛ یان‌دونگ و زیادونگ، ۲۰۰۷؛ چن و جاو، ۲۰۰۷؛ گوو و همکاران، ۲۰۰۷). به‌خاطر وابستگی میرایی به بسامد، بسامدهای زیاد سریع‌تر از بسامدهای کم جذب می‌شوند. این ویژگی ناپایا بودن کمیت جذب در طول ردلرزه ایجاب می‌کند تا از ابزارهای ریاضی زمان-بسامد استفاده شود. روش مورد استفاده در این تحقیق عمدتاً از مزیت‌های حوزه زمان-بسامد بهره می‌برد.

تبدیل‌های زمان-بسامد، درحکم ابزاری متداول برای بررسی سیگنال‌ها، به‌خصوص سیگنال‌هایی که در آنها

امواج لرزه‌ای به هنگام انتشار درون زمین بر اثر تبدیل بخشی از انرژی کشسان آن به گرما، میرا می‌شود. بررسی میرایی به دلایل گوناگون از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (در، ۱۹۹۸؛ کاراتو، ۱۹۹۸؛ مینستر، ۱۹۸۰؛ رومانویچ و دورک، ۲۰۰۰)، برای مثال:

- میرایی باعث تغییر در شکل و دامنه موجک منبع می‌شود. منظور کردن این عامل برای ساخت لرزه‌نگاشت مصنوعی و مقایسه آن با لرزه‌نگاشت واقعی در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی بسیار حیاتی است.

- روش‌های لرزه‌ای برای شناسایی انفجارهای هسته‌ای و تعیین موقعیت آنها به میرایی امواج لرزه‌ای بسیار حساس هستند.

- از آنجا که میرایی به دما و حضور سیال وابسته است، لذا در لرزه‌شناسی بزرگ‌مقیاس، می‌توان از آن درحکم یک پارامتر برای شناسایی خواص درون زمین استفاده کرد.

تحقیقات نشان داده است که افت انرژی امواج لرزه‌ای را می‌توان به چهار عامل عمده گسترش هندسی، کاهش انرژی در اثر عبور، جذب در محیط غیرکشسان و پراکندگی نسبت داد (پویول، ۲۰۰۳). دو عامل اول مستقل از بسامد هستند و معمولاً در مراحل پردازش تا حد زیادی جبران می‌شوند. به‌خاطر پیچیدگی پدیده جذب و میرایی، تاکنون سازوکار آن به‌طور کامل شناخته نشده است و در عمل برای مدل‌سازی اثر میرایی و پراکندگی، کاهش نمایی دامنه با فاصله را برای امواج لرزه‌ای در نظر می‌گیرند.

دامنه موج در دو فاصله x و x_0 از منبع را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) نشان داد.

استفاده از توزیع ویگنر- وایل نما است. توزیع ویگنر- وایل نما به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود:

$$\text{PWVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (4)$$

که در آن، $h(t)$ پنجره زمانی متقارن است. در واقع این پنجره‌ای کردن در زمان معادل هموار کردن توزیع در راستای محور بسامد است (رابطه (۵)).

$$\text{PWVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(v - \xi) \text{WVD}_x(t, \xi) d\xi \quad (5)$$

که در آن، $H(v)$ تبدیل فوریه $h(t)$ است که به خاطر خاصیت نوسانی آن جملات متقاطع نسبت به توزیع ویگنر- وایل کمتر است (پولاریکاس، ۲۰۰۰). در مقابل تضعیف جملات متقاطع، این عمل باعث افزایش پهنای باند بسامدی جملات دیگر (auto-term) می‌شود.

روش دیگر حذف جملات متقاطع، استفاده از شکل هموار شده توزیع ویگنر- وایل است. رابطه این توزیع به صورت رابطه ۶ است.

$$\text{SWVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Pi(s - t, \xi - f) \text{WVD}_x(s, \xi) ds d\xi \quad (6)$$

که در آن، $\Pi(t, f)$ عامل هموارکننده توزیع ویگنر- وایل است. چنانچه عامل هموارکنندگی به صورت جملات جدا در نظر گرفته شود، یعنی $\Pi(t, f) = g(t)H(-v)$ ، شکل هموار شده توزیع ویگنر- وایل نما به دست می‌آید (رابطه (۷)).

$$\text{SPWVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) \int_{-\infty}^{+\infty} g(s - t) x\left(s + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(s - \frac{\tau}{2}\right) ds e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (7)$$

در این توزیع هموارشدگی در هر دو راستای زمان و

محتوای بسامدی با زمان تغییر می‌کند (ناپایا) استفاده می‌شود (ماتوس و همکاران، ۲۰۰۵؛ کستگنا و همکاران، ۲۰۰۳؛ سینها و همکاران، ۲۰۰۵؛ لیته و همکاران، ۲۰۰۸؛ عسکری و سیاه‌کوهی، ۲۰۰۸). گابور (۱۹۴۶) با معرفی تبدیل فوریه زمان کوتاه (تبدیل گابور) پایه‌گذار پیشرفت‌ها در زمینه تحلیل سیگنال در حوزه زمان - بسامد محسوب می‌شود. در این مقاله از شکل خاصی از توزیع ویگنر- وایل به منظور برآورد کردن ضریب جذب در حوزه زمان - بسامد استفاده می‌شود.

توزیع ویگنر- وایل

توزیع ویگنر- وایل یک سیگنال مانند $x(t)$ به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (بوآشاش، ۲۰۰۳).

$$\text{WVD}_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (2)$$

از خواص این توزیع می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

- خاصیت حاشیه‌ای (جمع توزیع در راستای محور بسامد، توان لحظه‌ای سیگنال و در راستای زمان طیف توان سیگنال را تولید می‌کند).

- قدرت تفکیک زمانی و بسامدی بیشتر

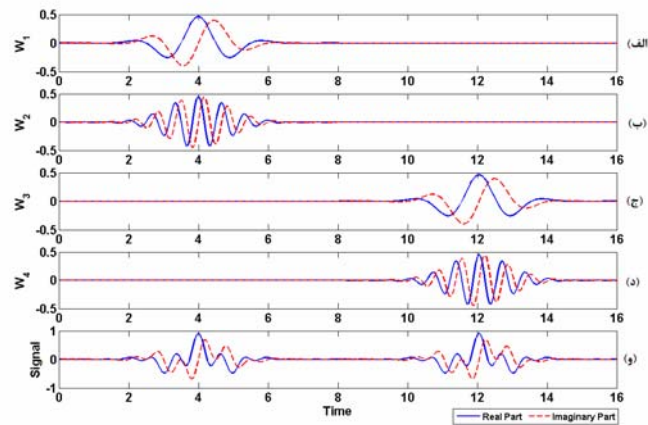
اما با توجه به این دو خاصیت به دلیل حضور جملات متقاطع (cross-term) (رابطه (۳)) استفاده از این توزیع را محدود ساخته است. برای مثال توزیع ویگنر- وایل سیگنال $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$ به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\text{WVD}_x(t, f) = \text{WVD}_{x_1}(t, f) + \text{WVD}_{x_2}(t, f) + \underbrace{2\text{real}\left(\text{WVD}_{x_1 x_2}(t, f)\right)}_{\text{cross-terms}} \quad (3)$$

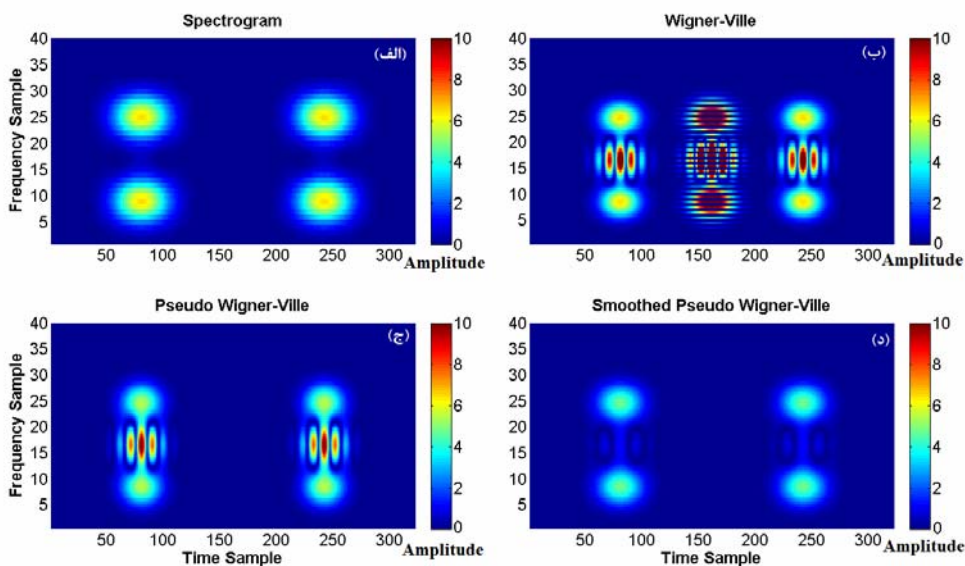
محققان روش‌های گوناگونی برای حل مشکل جملات متقاطع مطرح کرده‌اند که یکی از این روش‌ها

مشاهده می‌شود، دو توزیع ویگنر-وایل نما و هموار شده توزیع ویگنر-وایل نما با وجود از دست دادن قدرت تفکیک نسبت به توزیع ویگنر-وایل، جملات اضافی در صفحه زمان- بسامد را به‌خوبی حذف کرده و از قدرت تفکیک بهتری نسبت به روش طیف نگاشت برخوردار است. دلیل استفاده از موجک مختلط عرضه حالت کلی است. چنانچه از موجک حقیقی مورلت استفاده شود خللی ایجاد نمی‌شود و نتایج حاصل از اعمال روش قابل قبول برای آن حالت خاص خواهد بود.

بسامد صورت می‌گیرد. این هموارشدگی تا حد بسیار مطلوبی جملات متقاطع را حذف می‌کند ولی باعث کاهش قدرت تفکیک زمانی و بسامدی آن هم می‌شود. در شکل ۱ چهار موجک مورلت مختلط با یکدیگر جمع شده و یک سیگنال را تشکیل داده‌اند. در شکل ۲ نیز توزیع زمان- بسامد حاصل از چهار روش متفاوت (۱) طیف‌نگاشت (spectrogram)، (۲) توزیع ویگنر-وایل، (۳) توزیع ویگنر-وایل نما و (۴) توزیع ویگنر-وایل نما هموار شده نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها



شکل ۱. (الف) تا (د) چهار موجک مورلت مختلط، (و) سیگنال حاصل جمع (الف تا د).



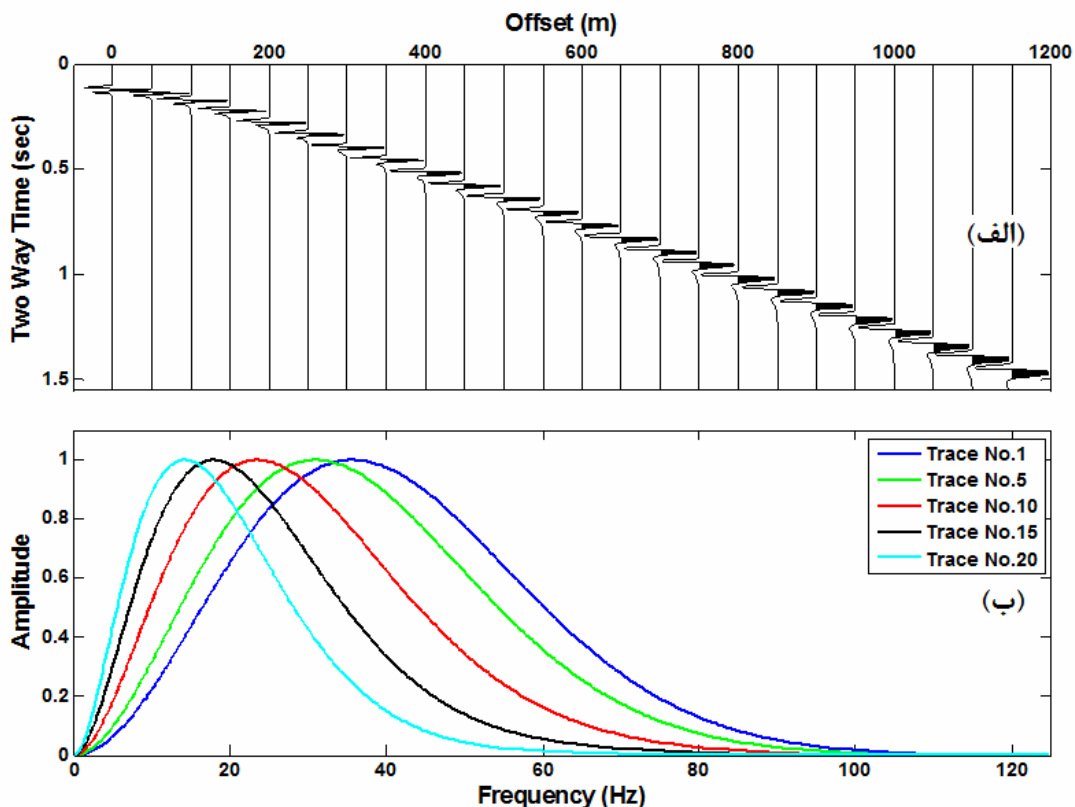
شکل ۲. دامنه توزیع زمان-بسامد سیگنال شکل ۱ با استفاده از چهار روش (الف) طیف‌نگاشت، (ب) توزیع ویگنر-وایل، (ج) توزیع ویگنر-وایل نما و (د) توزیع ویگنر-وایل نما هموار شده.

۲ برآورد ضریب جذب

پایه برآورد ضریب جذب با استفاده از توزیع ویگنر-وایل براساس نتایج ژانگ و اولریچ (۲۰۰۲) است. همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود، به‌خاطر منظورکردن اثر جذب در یک برداشت نقطه میانی مشترک که با موجک ریکر ۴۰ هرتز و فاصله نمونه برداری ۴ میلی‌ثانیه ساخته شده است، بسامد قله در طیف دامنه به سمت بسامدهای کم انتقال می‌یابد. لازم به ذکر است به‌منظور نمایش بهتر برداشت نقطه میانی مشترک در حضور عامل میرایی، ردلرزه‌ها به مقدار بیشینه خودشان نرمال شده‌اند. همچنین با توجه به دامنه بسامدهای بعد از بسامد قله، می‌توان مشاهده کرد که اثر جذب روی بسامدهای بالاتر بسیار چشمگیرتر از اثر آن روی بسامدهای کم است. بنابراین

نرخ کاهش دامنه در محدوده بسامدی بین بسامد قله تا نصف بسامد نایکوست را می‌توان معیاری برای تعیین میرایی امواج لرزه‌ای در نظر گرفت.

در شکل ۴ لگاریتم طیف توزیع ویگنر-وایل نمای هموار شده برای ردلرزه ۱۵ در زمان ۹۲۴ میلی‌ثانیه رسم شده است (خط آبی). همان‌طور که مشاهده می‌شود از بسامد قله تا نصف بسامد نایکوست با تقریب خوبی دارای روند خطی است. به عبارت دیگر لگاریتم طیف توزیع ویگنر-وایل نمای هموارشده در این محدوده بسامدی با بسامد ارتباط خطی دارد. با برازش یک خط به این محدوده بسامدی می‌توان نرخ کاهش آنها را محاسبه کرد. در واقع شیب این خط، به‌نوعی میرایی و ضریب جذب را توصیف می‌کند.



شکل ۳. (الف) برداشت نقطه میانی مشترک با موجک ریکر ۴۰ هرتز و فاصله نمونه برداری ۴ میلی‌ثانیه. هر ردلرزه به بیشینه مقدار دامنه‌اش نرمال شده و (ب) طیف دامنه تعدادی از ردلرزه‌های شکل (الف) پس از نرمال شدن.

ضریب جذب است.

۳ اعمال روش روی داده لرزه‌ای مصنوعی و واقعی
ردلرزه مصنوعی موردنظر در حالت بدون نوفه در شکل
۵-الف) از دو موجک تشکیل شده است. هر دو
موجک، از نوع ریکر با بسامد غالب ۳۰ هرتز است، با این
تفاوت که فاکتور کیفیت اعمال شده روی موجک اول
بزرگ‌تر از موجک دوم است (یعنی جذب برای موجک
اول کمتر لحاظ شده است). در شکل ۶ طیف دامنه
هریک از این دو موجک نشان داده شده است. همان‌طور
که در شکل ۵-الف) مشاهده می‌شود، ضریب جذب
محاسبه شده (خط چین سرخ) برای موجک دوم از ضریب
جذب محاسبه شده مربوط به موجک اول بیشتر است. در
شکل ۷ نتایج مربوط به حالتی که به ردلرزه مصنوعی نوفه
هم اضافه شده، نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد
که الگوریتم پیش‌گفته برای برآورد ضریب جذب در
حضور نوفه کارایی مناسبی دارد و ضریب جذب را با
دقت مناسب برآورد می‌کند.

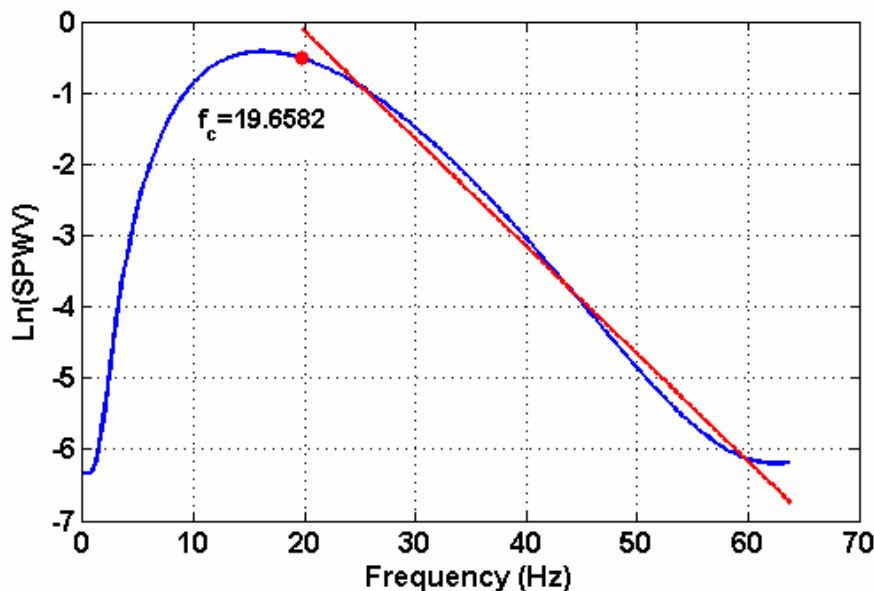
به منظور پایداری روش در برابر نوفه، به جای بسامد
قله از بسامد مرکز گرانی (رابطه ۸) برای تعیین مرز پایین
محدوده استفاده شد (نقطه سرخ در شکل ۴). همچنین مرز
بالایی محدوده برای این منظور نیز نصف بسامد نایکوست
انتخاب می‌شود، زیرا در رابطه این توزیع (رابطه ۲))
مقدار جابه‌جایی برابر با $\tau/2$ است، لذا در محاسبات تا
محدوده نصف بسامد نایکوست تاثیر دارند. در شکل ۴
خط سرخ نشان‌دهنده خط برازش شده در این محدوده
است (یان‌دونگ و زیادونگ، ۲۰۰۷).

$$f_c = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f \times SPW_x(t_0, f) df}{\int_{-\infty}^{+\infty} SPW_x(t_0, f) df} \quad (8)$$

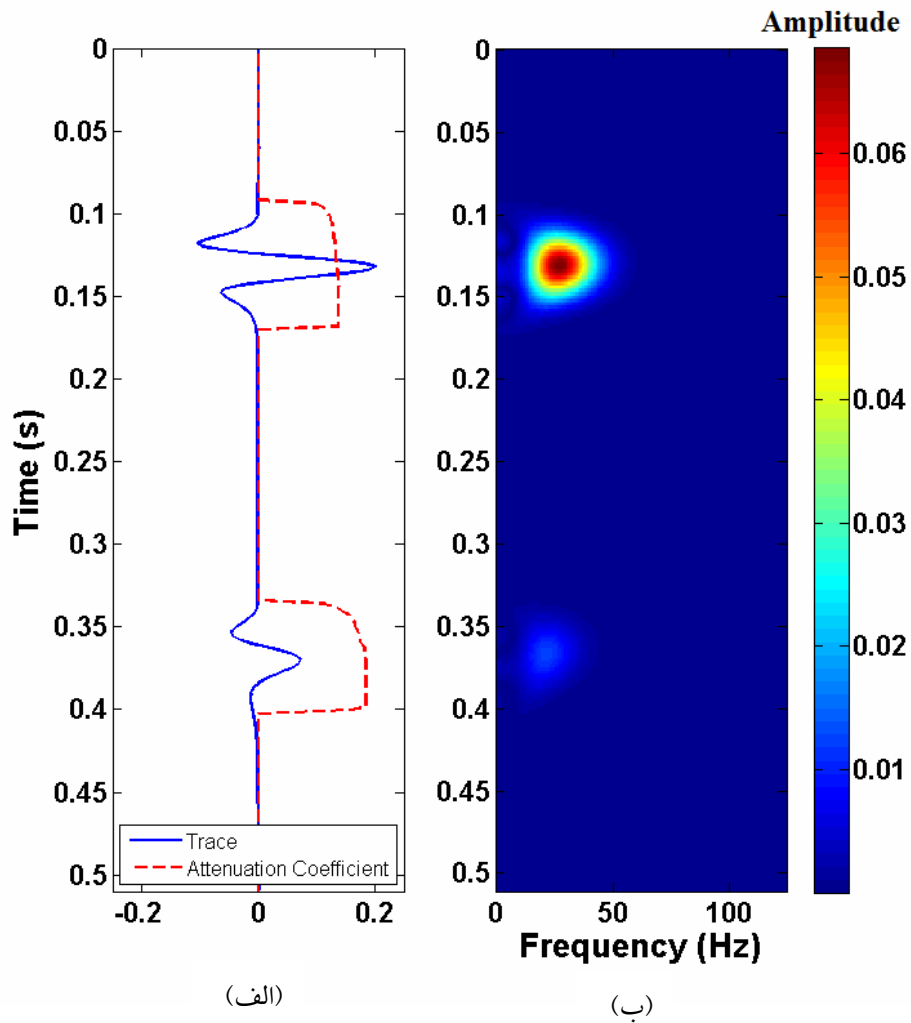
با در نظر گرفتن شیب خط برازش داده شده درحکم
میرایی، رابطه میان ضریب جذب و بسامد در محدوده
بسامدی بیان شده به صورت رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$SPWVD_x(t_0, f) = A_{f_c} e^{(-\lambda f)} \quad (9)$$

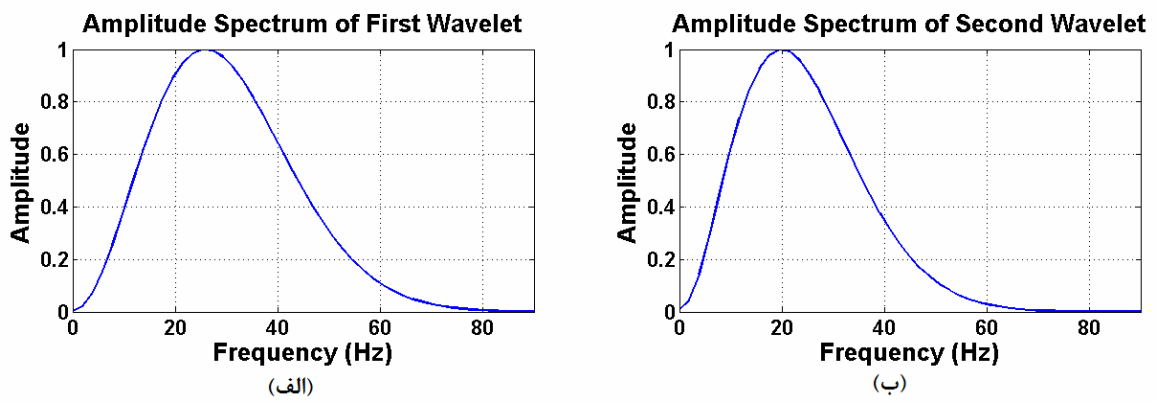
که در آن، دامنه بسامد مرکزی در زمان t_0 و λ



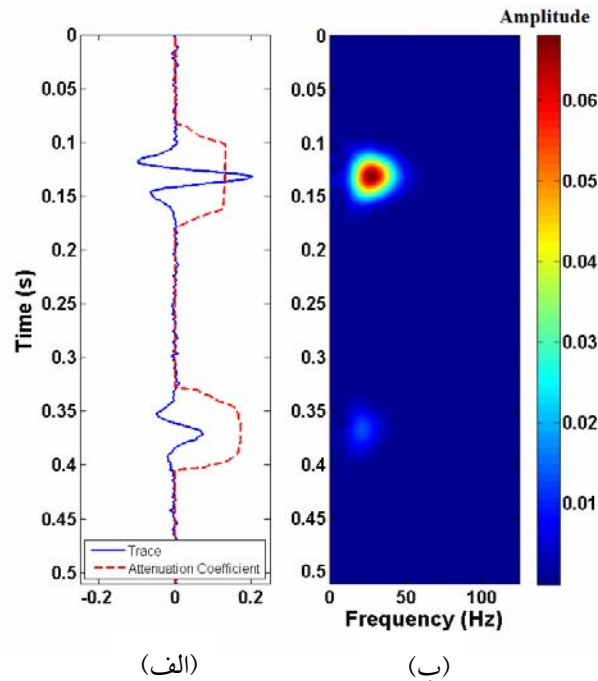
شکل ۴. لگاریتم طیف ویگنر-وایل نمای هموار شده (خط آبی) و خط برازش داده شده (خط سرخ) به محدوده بسامد مرکزی (نقطه سرخ) تا نصف بسامد نایکوست.



شکل ۵. (الف) ردلززه مصنوعی (خط آبی) و ضریب جذب برآورد شده (خط چین سرخ)، (ب) توزیع ویگنر-وایل نمای هموار شده برای ردلززه مصنوعی.



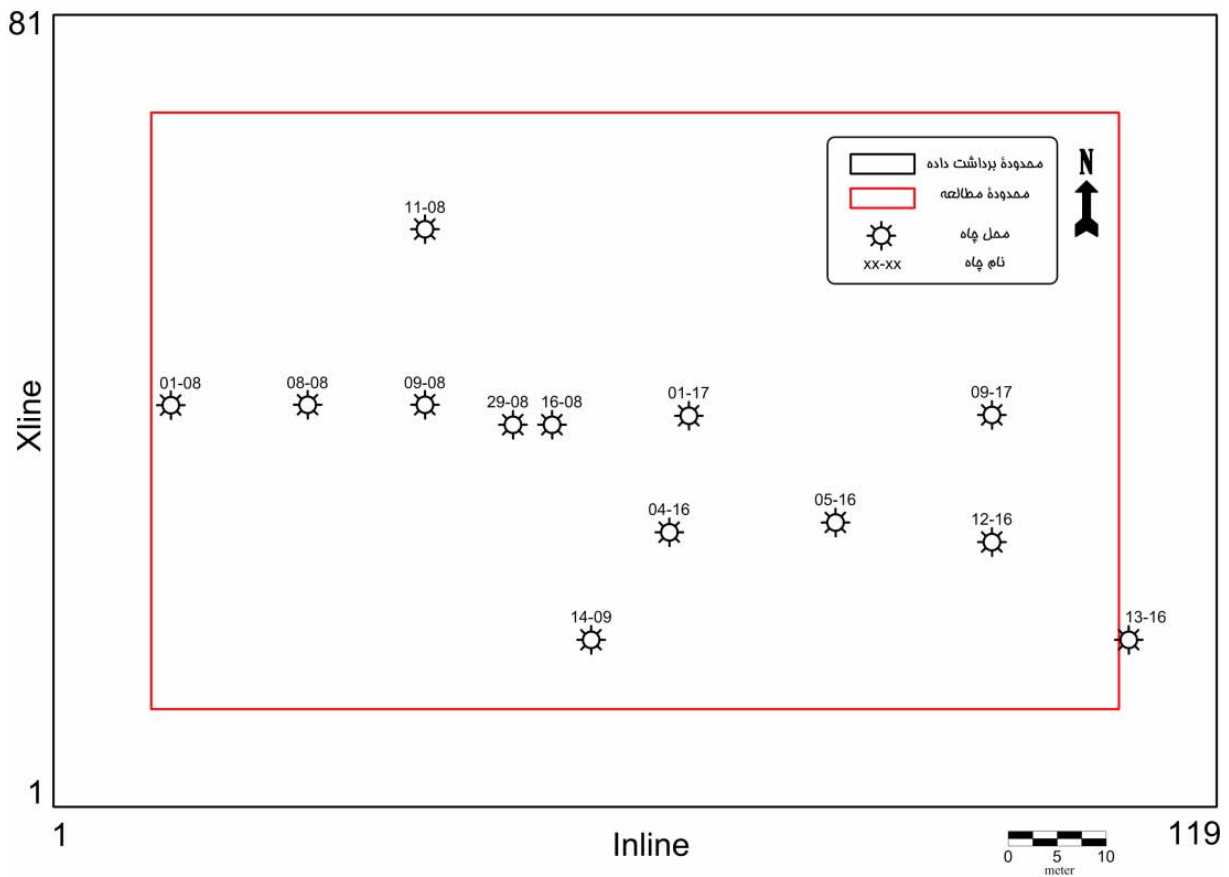
شکل ۶. طیف دامنه موجک اول (الف) و طیف دامنه موجک دوم (ب) در ردلززه شکل ۵- (الف).



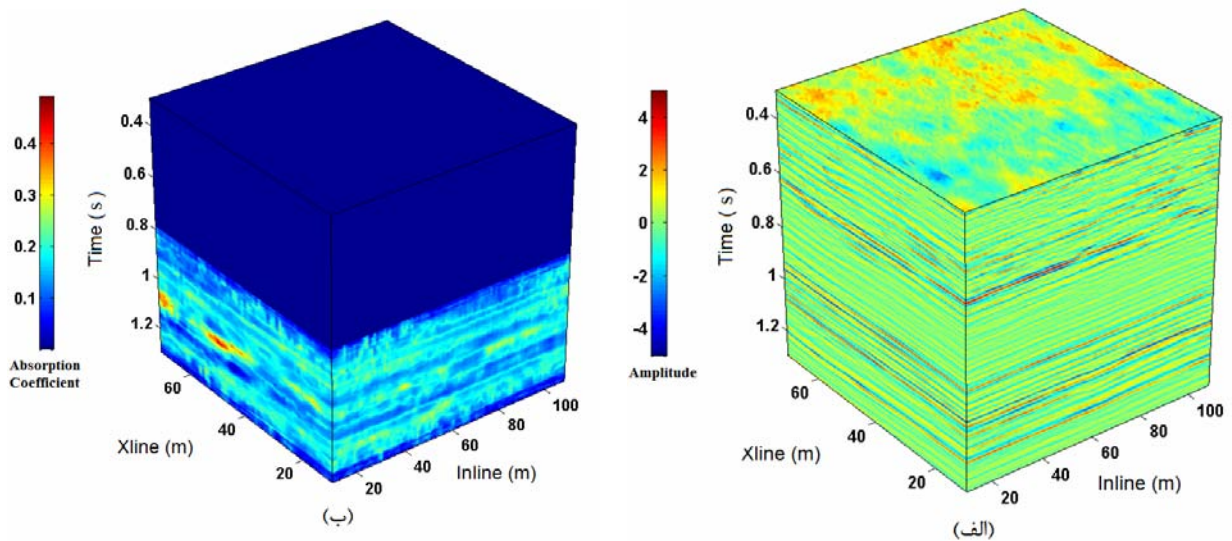
شکل ۷. (الف) رد لرزه مصنوعی دارای نوفه (خط آبی) و ضریب جذب برآورد شده (خط چین سرخ)، (ب) توزیع ویگنر- وایل نمای هموار شده برای رد لرزه مصنوعی.

ضریب جذب در راستای خط گیرنده ۸۰ و خط چشمه ۴۱ حاصل از اعمال روش نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، حدوداً در افق $1/0.60$ ثانیه ناحیه‌ای با ضریب جذب زیاد قرار دارد که احتمال حضور مخزن هیدروکربنی در آن ناحیه از سایر مناطق بیشتر است. به منظور بررسی بیشتر، برشی افقی در افق 1.060 میلی‌ثانیه تهیه شد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۱۰- (الف) نگارهای مقاومت صوتی موج P برای سه چاه 01-08، 08-08 و 09-08 روی داده‌های لرزه‌ای نمایش داده شده است. روی نگارها سطح بالای افق منویل (لایه مخزنی) با خط چین نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود یک ناحیه با ضریب جذب زیاد در این افق قرار گرفته است. نتایج حاصل با نگارهای حاصل از چاه دارای همبستگی زیادی هستند. در شکل ۱۱ مدل مخزن شبیه‌سازی شده در سه بُعد نشان داده شده است.

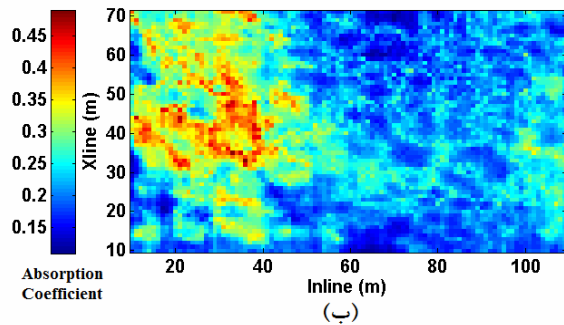
این روش ابزاری مناسب برای شناسایی موقعیت ذخایر هیدروکربنی و ناحیه‌های خرد شده است. زیرا محیط‌های نام‌برده دارای جذب بالایی هستند و با کمک ضریب جذب می‌توان موقعیت آنها را درون داده‌های لرزه‌ای شناسایی کرد. به منظور بررسی کارآیی روش روی داده‌های واقعی، قسمتی از داده‌های لرزه‌ای سه بُعدی عرضه شده در نرم‌افزار Hampson-Russell انتخاب شد. این داده‌ها در ۱۱۹ خط گیرنده و ۸۱ خط منبع با فاصله نمونه برداری زمانی ۲ میلی‌ثانیه برداشت شده‌اند. در محل داده‌ها ۱۳ عملیات چاه‌نگاری صورت گرفته است که شکل ۸ موقعیت چاه‌ها نسبت به خطوط لرزه‌نگاری را نشان می‌دهد. مکعبی با ۱۰۰ خط گیرنده و ۶۲ خط منبع از کل داده‌ها برای محاسبات انتخاب شد که در شکل ۹- (الف) نشان شده است. روش روی قسمتی از داده‌ها که احتمال حضور لایه مخزنی وجود داشت، یعنی از افق 0.790 میلی‌ثانیه تا $1/3$ ثانیه، اعمال شد. در شکل ۹- (ب) مکعب



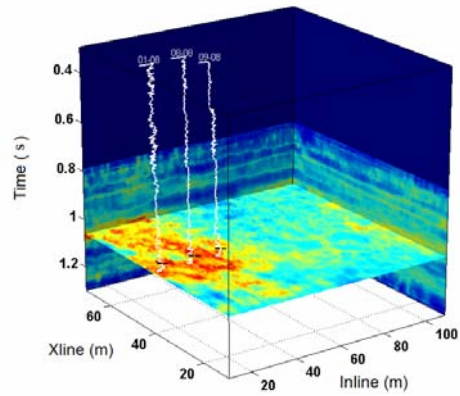
شکل ۸. موقعیت چاه‌ها نسبت به خطوط لرزه‌نگاری.



شکل ۹. (الف) مکعب داده‌های لرزه‌ای و (ب) مکعب حاصل از اعمال الگوریتم برآورد کمی ضریب جذب (نواحی سرخ رنگ جذب زیاد را نشان می‌دهند).

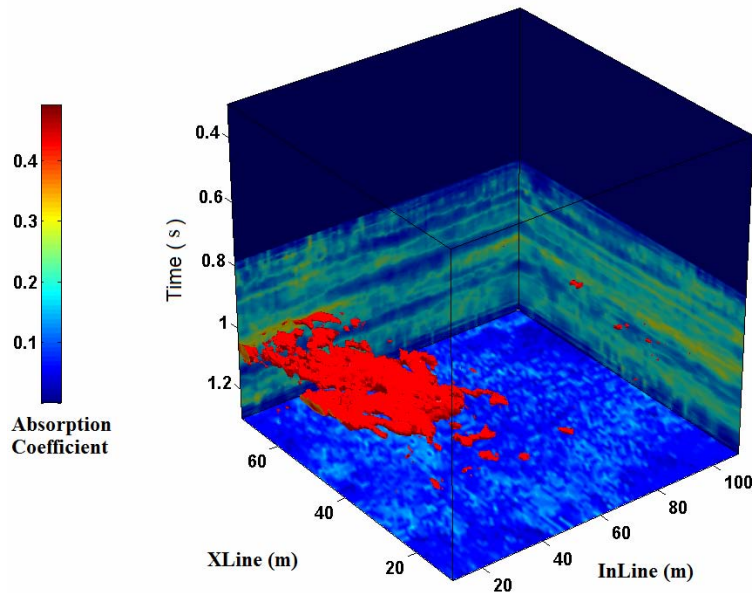


(ب)



(الف)

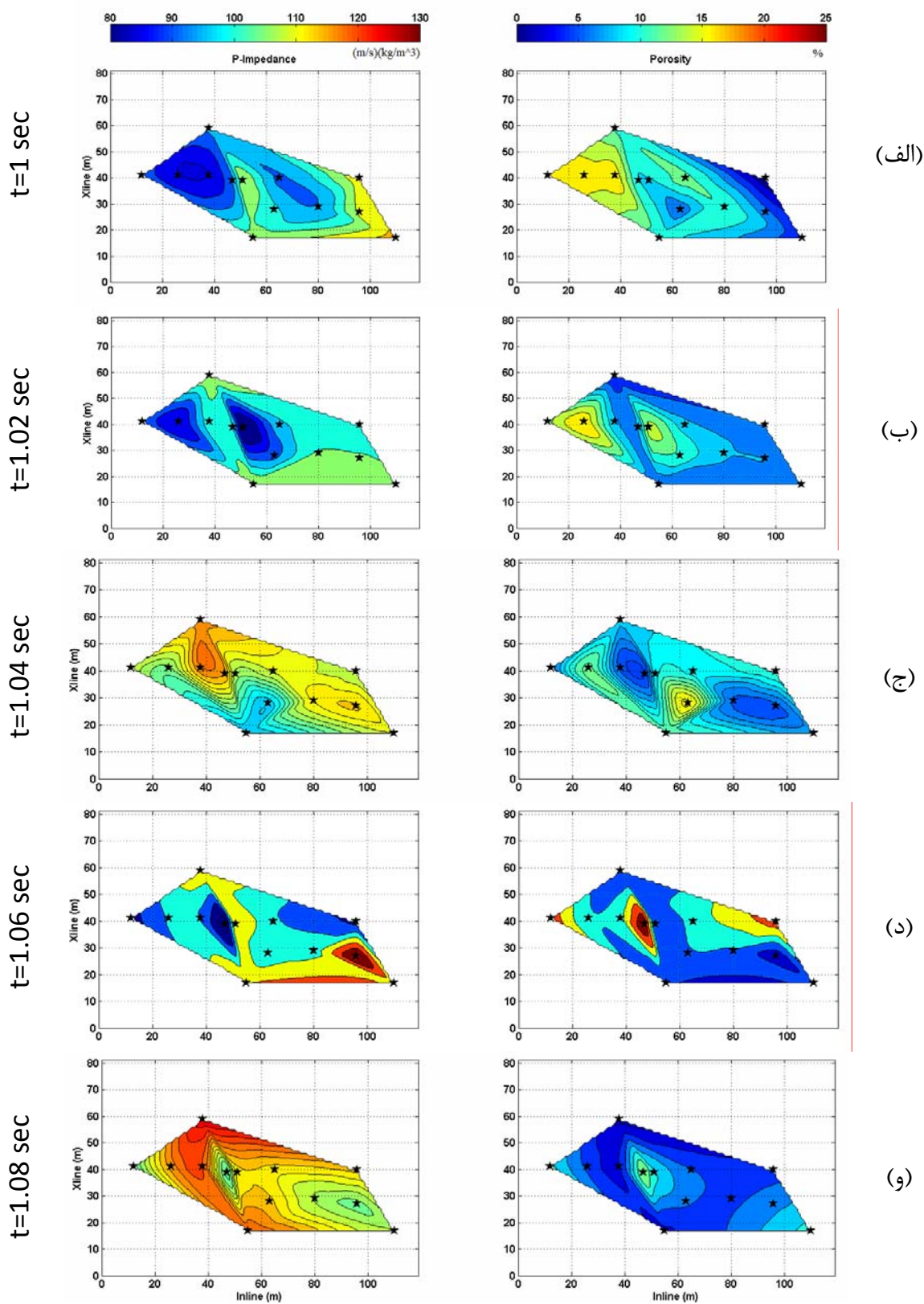
شکل ۱۰. (الف) نمایش سه‌بعدی برش افقی در افق ۱۰۶۰ میلی‌ثانیه به همراه نگار مقاومت صوتی موج P در سه چاه متفاوت و (ب) نمایش دو‌بعدی آن (نواحی با رنگ سرخ جذب بیشتری دارند).



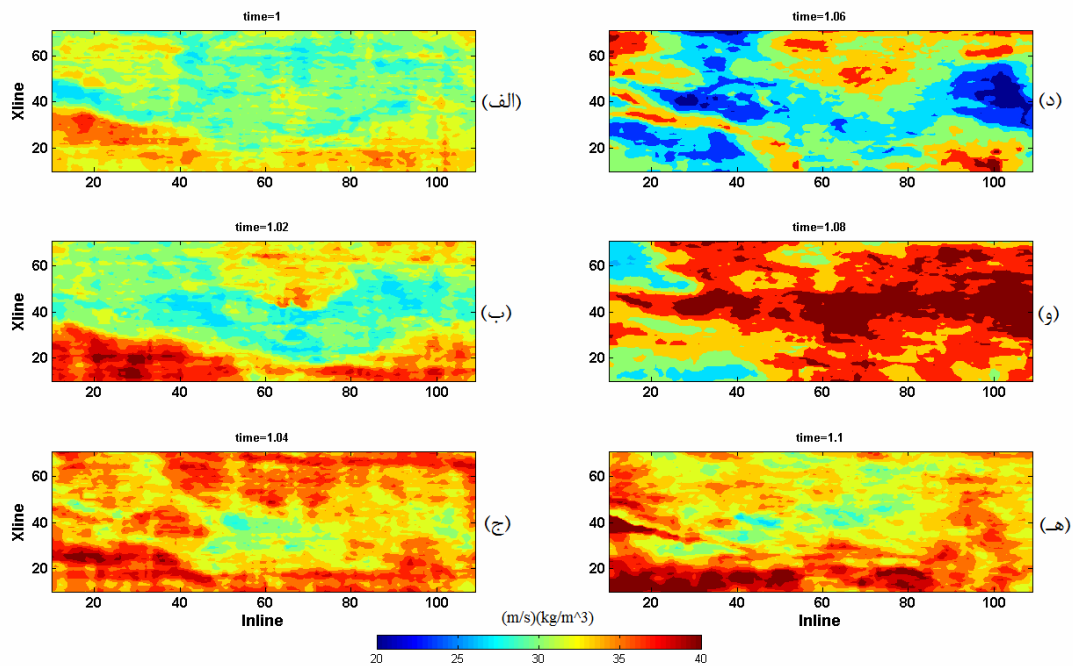
شکل ۱۱. مدل سه‌بعدی مخزن احتمالی (نواحی سرخ نشان‌دهنده جذب زیاد است).

جذب از روی داده‌های لرزه‌ای با استفاده از توزیع ویگنر-وایل نمای هموار شده تطابق کاملی دارند. در شکل ۱۳ نتایج وارون همان داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی به مقاومت صوتی که با نرم‌افزار Hampson-Russell صورت گرفته، نشان داده شده است. این نتایج نیز با نتایج حاصل از برآورد ضریب جذب همخوانی زیاد دارد و مقاومت صوتی لرزه‌ای کمی را در افق ۱۰۶۰ میلی‌ثانیه نشان می‌دهد.

به‌منظور تایید صحت نتایج به‌دست آمده منحنی هم‌تراز مقاومت صوتی موج P و تخلخل حاصل از نگارهای چاه‌های موجود در منطقه در اعماق زمانی ۱، ۱/۰۲، ۱/۰۴، ۱/۰۶ و ۱/۰۸ ثانیه تهیه شد که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. براساس شکل، در افق زمانی ۱/۰۶ ثانیه مقدار مقاومت صوتی موج P کم و درعین حال تخلخل زیاد در محل چاه‌های 01-08، 08-08 و 09-08 دیده می‌شود که با نتایج حاصل از روش برآورد ضریب



شکل ۱۲. منحنی هم‌تراز مقاومت صوتی موج P (ستون سمت چپ) و تخلخل (ستون سمت راست) برای زمان‌های (الف) ۱ ثانیه، (ب) ۱/۰۲ ثانیه، (ج) ۱/۰۴ ثانیه، (د) ۱/۰۶ ثانیه و (و) ۱/۰۸ ثانیه.



شکل ۱۳. مقاطع زمانی مقاومت صوتی لرزه‌ای حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های لرزه‌ای با نرم‌افزار Hampson-Russell (راهنمای نرم‌افزار Hampson-Russell) در زمان‌های (الف) ۱، (ب) ۱/۰۲، (ج) ۱/۰۴، (د) ۱/۰۶، (و) ۱/۰۸ و ۱/۱ ثانیه.

معمولی است. این ویژگی از توزیع ویگنر-وایل نمای هموارشده در برآورد مستقیم ضریب جذب به جای فاکتور کیفیت در حوزه زمان-بسامد نیز مشاهده شد. برای کاربردهای لرزه‌شناسی الگوریتم روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی اعمال شد. نتایج به دست آمده حاکی از موفقیت این روش به مثابه یک نشانگر لرزه‌ای در برآورد کردن مقدار ضریب جذب و شناسایی موقعیت بی‌هنجاری‌های مرتبط با آن است. روش معرفی شده در این تحقیق، روشن ساخت که می‌توان با استفاده از برش‌های زمانی حاصل از مکعب ضرایب جذب، الگوی بی‌هنجاری‌های مربوط به ضریب جذب و میرایی را به دست آورد.

منابع

Askari, R., and Siahkoohi, H. R., 2008, Ground roll attenuation using the S and x-f-k transforms: Geophysical Prospecting, **56**, 105-114.

۴ بحث و نتیجه‌گیری

امواج لرزه‌ای به هنگام انتشار درون زمین بر اثر تبدیل بخشی از انرژی کشسان آن به گرما، میرا می‌شود. میزان میرایی امواج لرزه‌ای به جنس و محتوای سیال درون حفره‌های سازندها بسیار وابسته است. لذا از آن می‌توان به‌منزله نشانگری برای شناسایی مناطق حاوی هیدروکربن استفاده کرد. به‌خاطر وابستگی میرایی به بسامد، بسامدهای زیاد، سریع‌تر از بسامدهای پایین جذب می‌شوند. این ویژگی ناپایا بودن کمیت جذب در طول ردلرزه ایجاب می‌کند تا از ابزارهای ریاضی زمان-بسامد استفاده شود. در میان این ابزارها، توزیع ویگنر-وایل به دلیل اینکه مستقیماً توزیع چگالی انرژی را در حوزه زمان-بسامد محاسبه می‌کند برای تعیین ضریب جذب مناسب‌تر به نظر می‌رسد. نتایج این تحقیق نشان داد که توزیع ویگنر-وایل نمای هموارشده، هم دارای قدرت تفکیک بیشتر و هم جملات متقاطع کمتری نسبت به توزیع ویگنر-وایل

- Liu, X. Q., Shen, P., and Li, H., 2003, Time-frequency energy attenuation factor and its application on the basis of Gauss linear modulation frequency continuous wavelet transform: *Earthquake Research in China*, **19**, 225-235.
- Matos, M. C., P. Osorio, E. C. Mundim, and M. Moraces, 2005, Characterization of thin beds through joint time-frequency analysis applied to a turbidite reservoir in Campos Basin, Brazil: 75th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1429-1432.
- Minster, J., 1980, Anelasticity and attenuation, in *Dziewonski: physics of the earth's interior*, North-Holland, Amsterdam, 152-212.
- Poularikas, A., 2000, *The transforms and applications handbook: second edition*, A CRC Handbook Published in Cooperation with IEEE Press, USA.
- Pujol, J., 2003, *Elastic wave propagation and generation in seismology*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, Cambridge, United Kingdom.
- Romanowicz, B., and Durek, J., 2000, Seismological constraints on attenuation in the earth: a review: *Earth's deep interior: mineral physics and tomography from atomic to the global scale*, Geophysical Monograph 117, American Geophysical Union, 161-179.
- Sinha, S., Routh, P. S., Anno, P. D., and Castagna, J. P., 2005, Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform: *Geophysics*, **70**, P19-P25.
- Tai, S., Han, D., and Castagna, J. P., 2006, Attenuation estimation with continuous wavelet transforms: 76th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstract, 1933-1936.
- Yandong, L., and Xiaodong, Z., 2007, Wigner-Ville distribution and its application in seismic attenuation estimation: *Applied geophysics*, **4**, 245-254.
- Zhang, C. J., and Ulrych, T. J., 2002, Estimation of quality factor from CMP records: *Geophysics*, **67**, 1542-1547.
- Bai, H., and Li, K. P., 1999, Stratigraphic absorption compensation based on time-frequency analysis: *Oil Geophysical Prospecting*, **34**, 642-648.
- Boashash, B., 2003, *Time frequency signal analysis and processing: A comprehensive reference*, Elsevier, UK.
- Castagna, J. P., Sun, S., and Siegfried, R. W., 2003, Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons: *The Leading Edge*, **22**, 120-127.
- Chen, W., and Gao, J., 2007, Characteristics of seismic attenuation extraction using MBMSW wavelets: 67th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstract, 1417-1420.
- Der, Z., 1998, High frequency P- and S- wave attenuation in the earth: *Pure Appl. Geophys.*, **153**, 273-310.
- Gabor, D., 1946, Theory of communication: *J. IEEE (London)*, 93(III), 429-457.
- Gu, H., Stewart, R., Li, Z., Qi, L., and Yang, L., 2007, Calculation of relative seismic attenuation from reflection time-frequency differences in carbonate reservoir: 67th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstract, 1495-1498.
- Hampson-Russell Software CE8/R4 Manual (2009), CGG Veritas Company, Calgary, Canada.
- Karato, S., 1998, A dislocation model of seismic wave attenuation and micro-creep in the earth: *Harold Jeffreys and the rheology of the solid earth: Pure Appl. Geophys.*, **153**, 239-256.
- Leite, F. E. A., Montagne, R., Corso, G., Vasconcelos, G. L., and Lucena, L. S., 2008, Optimal wavelet filter for suppression of coherent noise with an application to seismic data: *Physica A*, **387**, 1439-1445.
- Li, H., Zhao, W., Cao, H., Yao, F., and Shao, L., 2006, Measures of scale based on the wavelet scalogram with applications to seismic attenuation: *Geophysics*, **71**, V111-V118.
- Li, H., Zhao, W., Cao, H., Yao, F., and Shao, L., 2004, Characteristics of seismic attenuation in gas rocks in the domain of wavelet scales: *Chinese Journal of Geophysics*, **47**, 1005-1012.
- Liu, X. W., Nian, J. B., and Liu, H., 2006, Analysis of seismic wave energy attenuation based on generalized S-transform: *Exploration Geophysics*, **29**, 20-24.