مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۳ تا ۲۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۳، صفحه ۱۲-۱۷

محاسبه ضریب جذب نسبی با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی

میثم زارعی[۱]، امین روشندل کاهو[۲]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک (لرزه‌شناسی) دانشگاه شاهرود،
meysamzarei@ut.ac.ir
[۲] استادیار دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود،
roshandel@shahroodut.ac.ir

چکیده

ویژگی‌های فرکانس امواج لرزه‌ای، بیانگر خصوصیات مخزنی، شکستگی‌ها و درزه و شکاف موجود در سنگ‌ها می‌باشد و اطلاعات زیادی را درباره ویژگی‌های فیزیکی سنگ در اختیار قرار می‌دهد. برای مطالعه ویژگی‌های فرکانسی امواج لرزه‌ای نیاز به ابزارهایی در حوزه زمان و فرکانس است که بتوانند قدرت تفکیک مناسبی را همزمان در دو حوزه زمان و فرکانس ایجاد کنند. در این مقاله، از تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی برای آنالیز زمان-فرکانس داده‌های لرزه‌ای مربوط به یکی از مخازن گازی استفاده شده است که قدرت تفکیک مناسبی را به صورت همزمان در دو حوزه زمان و فرکانس نسبت به تبدیل‌های زمان- فرکانس مرسوم مانند توزیع ویگنر- وایل و تبدیل **S** ارائه می‌دهد. نشانگرهای متفاوتی را می‌توان با استفاده از نتایج این تبدیل استخراج کرد و از آن برای شناسایی مخازن هیدروکربن استفاده کرد. در مخازن هیدروکربن و بخصوص گاز، جذب انرژی بالا و فاکتور کیفیت پایین می‌باشد. در این مقاله، از تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی برای محاسبه ضریب جذب نسبی استفاده شده است. نتایج حاصل بخوبی توانسته است در منطقه مورد مطالعه، موقعیت مخازن گازی را مشخص کند.

واژه‌هاي كليدي: تبدیل‌های زمان- فرکانس، مخازن هیدروکربن، تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی، ضریب جذب نسبی

Calculation of relative seismic attenuation using deconvolutive short time Fourier Transform (DSTFT)

Meysam Zarei[1], **Amin Roshandel Kahoo**[2]

[1]*MSc of Geophysics, School of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, University of Shahrood*
[2]*Assistant Professor, School of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, University of Shahrood*

Abstract

Frequency characteristics of seismic waves, represent the reservoir characteristics, fractures and cracks in rocks, and provide a lot of information about the physical properties of rock. To study the frequency characteristics of seismic waves in the time and frequency domain, need a tool that enable simultaneous good resolution in both time and frequency domain. In this paper, the deconvolutive short time Fourier transform (DSTFT) is used to time - frequency analysis of seismic data of a gas reservoir which generate better resolution in both time and frequency domain simultaneously in than traditional time-frequency transform such as Wigner-Ville distribution and S transform. Different seismic attributes can be derived using the results of this transform and it can be used to identify the hydrocarbon reservoirs. Hydrocarbon reservoirs, especially gas, has high energy absorption and low-quality factor. In this paper, the deconvolutive short time Fourier transform is used to calculate the relative absorption coefficient. In the study area, the results are well positioned the gas reservoirs.

Key words: time-frequency transform, hydrocarbon reservoir, deconvolutive short time Fourier transform, relative seismic attenuation

۱ مقدمه

ویژگی‌های فرکانسی امواج لرزه‌ای بیانگر خواص فیزیکی سنگ‌ها می‌باشد. تبدیل‌های زمان- فرکانس با داشتن همزمان اطلاعات زمانی و فرکانسی در داده‌های لرزه‌ای ابزاری مناسب برای مطالعه این ویژگی‌ها هستند. روش‌های مختلفی برای تجزیه طیفی مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه (گابور، ۱۹۴۶)، توزیع ویگنر-وایل (ویگنر، ۱۹۳۲؛ وایل، ۱۹۴۸)، تبدیل موجک (مالات، ۲۰۰۹) و تبدیل S (استاکول و همکاران، ۱۹۹۶) توسط محققان ارائه شده است. در این میان هر یک دارای مزایا و معایب مختلفی هستند که استفاده از این تبدیل‌ها را به کاربردهای خاص محدود می‌کند. در میان تبدیل‌های زمان – فرکانس، توزیع ویگنر - وایل بهترین قدرت تفکیک را دارا می‌باشد، ولی به دلیل وجود جملات متقاطع و تداخل آن با جملات خودهمبسته، نمی‌توان تفسیر درستی از طیف زمان- فرکانس داشت. از نتایج تبدیل‌های زمان- فرکانس نشانگرهای متفاوتی را می‌توان استخراج کرد که در تفسیر مقاطع لرزه‌ای کاربرد فراوانی دارد. به دلیل افت انرژی و میرایی آن در حضور هیدروکربن و به خصوص گاز، یکی از نشانگرهای مورد استفاده در شناسایی مخازن هیدروکربنی، ضریب جذب یا فاکتور کیفیت می‌باشد. در این مقاله، تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی (کیانگ و ون-کای، ۲۰۱۰) برای محاسبه ضریب جذب نسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با حفظ مزایا و رفع معایب تبدیل‌های متداول زمان – فرکانس می‌تواند جایگزین مناسبی برای آن‌ها باشد.

۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی

طیفنگار تبدیل فوریه زمان کوتاه را برای یک سیگنال مانند $x(t)$ بصورت رابطه (۱) می‌توان نوشت (کیانگ و ون-کای، ۲۰۱۰).

$$SPEC_x(t,f) = \left|STFT_x(t,f)\right| = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} WVD_g(t,u)\,WVD_x(t-t, f-u)\,dt\,du \qquad (۱)$$

که در آن، $WVD_g(t,f)$ توزیع ویگنر – وایل پنجره مورد استفاده در تبدیل فوریه زمان کوتاه، $WVD_x(t,f)$ توزیع ویگنر – وایل سیگنال و $STFT_x(t,f)$ تبدیل فوریه زمان کوتاه سیگنال می‌باشند. رابطه (۲) نشاندهنده همامیخت دوبعدی میان توزیع ویگنر – وایل پنجره و توزیع ویگنر – وایل سیگنال می‌باشد.

$$SPEC_x = WVD_h ** WVD_x \qquad (۲)$$

که در آن، ** نشاندهنده همامیخت دوبعدی می‌باشد. طیفنگار تبدیل فوریه زمان کوتاه شامل جملات متقاطع نمی‌باشد ولی در مقابل قدرت تفکیک آن در راستای زمان و فرکانس پایین است. بنابراین با طراحی یک عملگر واهمامیخت دوبعدی بر اساس رابطه (۲) می‌توان توزیع ویگنر – وایل سیگنال را بدون جملات متقاطع و با قدرت تفکیک بالا بدست آورد. برای انجام واهمامیخت از الگوریتم تکراری لوسی – ریچاردسون (لوسی، ۱۹۷۴؛ ریچاردسون، ۱۹۷۲) استفاده می‌گردد که بصورت رابطه (۳) نوشته می‌شود. طیفنگار بدست آمده بعد از تعداد مشخصی تکرار، تبدیل فوریه

زمان کوتاه و اهمامیختی نامیده می‌شود (کیانگ و ون-کای، ۲۰۱۰).

$$WVD_x^{k+1} = WVD_x^k \left[WVD_g ** \frac{SPEC_x}{WVD_g ** WVD_x^k} \right] \qquad (۳)$$

که در آن، $k+1$ شمارنده تکرار و $WVD_x^0 = SPEC_x$ می‌باشد.

۳ محاسبه ضریب جذب نسبی با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه و اهمامیختی

پایه محاسبه ضریب جذب نسبی نتایج مطالعات گو و استیوارت (۲۰۰۶) می‌باشد. برای موج تابشی با طیف دامنه $S(f)$ و پاسخ محیط $G(f)H(f)$، می‌توان طیف دامنه بازتابی $R(f)$ حاصل را بصورت رابطه (۴) نوشت (گو و استیوارت، ۲۰۰۶).

$$R(f) = G(f)H(f)S(f) \qquad (۴)$$

که در آن، $G(f)$ شامل گسترش هندسی، پاسخ ابزاری، جفت‌شدگی گیرنده و منبع، ضریب عبور، ضریب بازتاب و تغییرات فاز بدلیل انتشار می‌باشد. $G(f)$ معمولا مستقل از فرکانس در نظر گرفته می‌شود و با G نمایش می‌دهند. $H(f)$ اثرات جذب در دامنه را نشان می‌دهد. جذب معمولا با فرکانس متناسب است و بنابراین می‌توان $H(f)$ را بصورت رابطه (۵) نوشت (گو و استیوارت، ۲۰۰۶).

$$H(f) = \exp\left(- \int_{path} a_0 df\right) \qquad (۵)$$

که در آن، a_0 ضریب جذب و انتگرال بر روی مسیر انتشار پرتو گرفته می‌شود.

چنانچه طیف دامنه منبع بصورت توزیع گوسی باشد، آنگاه برای طیف دامنه موج دریافتی می‌توان رابطه (۶) را نوشت.

$$S(f) = \exp\left[\frac{(f - f_s)^2}{2s_s^2} \right], \qquad (۶)$$

که در آن، s_s^2 واریانس طیف دامنه موج تابشی و f_s مرکز ثقل فرکانس می‌باشد. اگر اختلاف بین طیف بازتاب دو فرکانس مربوط به ضریب جذب باشد، آنگاه از رابطه (۶) می‌توان مشاهده کرد طیف دامنه موج تابشی تاثیری بر تغییرات طیف دامنه ناشی از جذب ندارد. بنابراین، اختلاف طیف دو فرکانس در موج تابشی که بطور متقارن نسبت به مرکز ثقل فرکانس قرار دارند باید صفر باشد. بنابراین، اختلاف طیف بازتاب دو فرکانس مختلف که نسبت به مرکز ثقل فرکانس (در موج تابشی) بصورت متقارن قرار دارند را می‌توان با تغییرات طیف دامنه بازتابی بدلیل ضریب جذب متناسب دانست (گو و استیوارت، ۲۰۰۶). اگر Δf اختلاف فرکانس با مرکز ثقل فرکانس باشد و ΔR اختلاف طیف دامنه را نشان دهد، می‌توان روابط (۶) و (۷) را نوشت.

$$\Delta R(\Delta f) \approx 2GL\Delta f a_0 \exp\left[\frac{\Delta f^2}{2s_s^2} \right] \qquad (۷)$$

$$a_0 \approx \frac{\Delta R(\Delta f)}{2GL\Delta f} \exp\left[\frac{\Delta f^2}{2s_s^2} \right] \qquad (۸)$$

که در آن، L مسافت انتشار موج می‌باشد. رابطه (۸) نشان می‌دهد که اختلاف طیف دامنه بازتابی برای فرکانس‌هایی که نسبت به مرکز ثقل فرکانس در طیف دامنه تابشی قرار دارند را می‌توان برای محاسبه ضریب جذب استفاده کرد. می‌توان نشان داد که اختلاف طیف بازتاب دو فرکانس که نسبت به مرکز ثقل فرکانس بطور متقارن قرار دارند، با یکدیگر تطابق دارند و اختلاف آن‌ها دو برابر انحراف معیار امواج تابشی است. بنابراین برای ضریب جذب می‌توان رابطه (۸) را نوشت.

$$a_0 \approx \frac{R(f_s - s_s) - R(f_s + s_s)}{2GLs_s \exp(-0.5)} \qquad (۹)$$

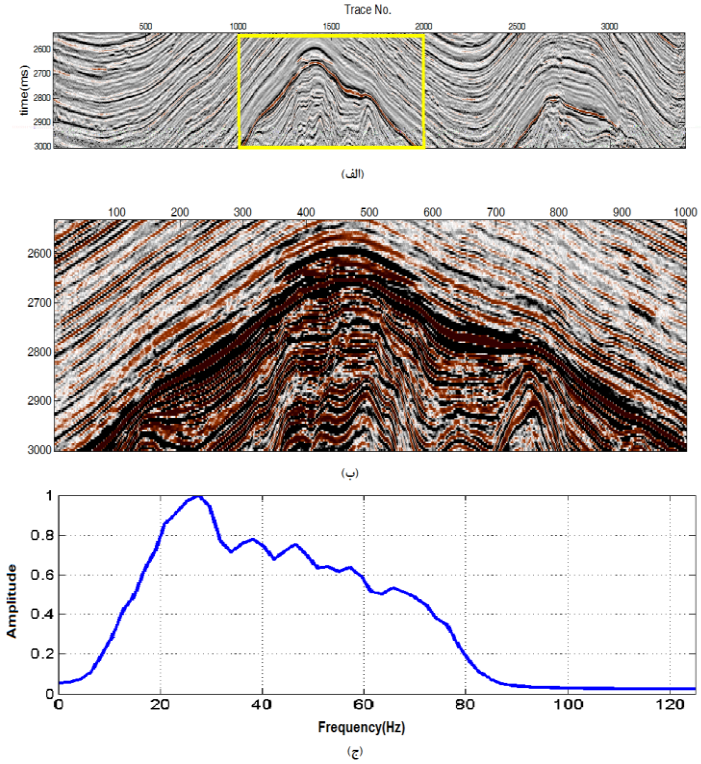
مخرج کسر در رابطه (۹) را با تقریب خوبی در لایه مورد مطالعه می‌توان ثابت فرض کرد و از اختلاف طیف دامنه بازتابی حاصل دو فرکانس برای محاسبه ضریب جذب نسبی استفاده کرد.

در مطالعات لرزه‌ای امواج تابشی را معمولا بصورت موجک ریکر فرض می‌کنند و در مرحله پردازش داده‌های لرزه‌ای حاصل از عملیات صحرایی، واهمامیخت با فاز صفر یا فاز کمینه بر روی داده‌ها انجام می‌شود. بنابراین موجک لرزه‌ای شبیه موجک ریکر می‌باشد. در جدول ۱ برای موجک ریکر با فرکانس‌های مختلف، مرکز ثقل فرکانس و انحراف از معیار حاصل موجک ریکر که دامنه آن با استفاده از یک توزیع گوسی مدوله شده، آورده شده است. مرکز ثقل فرکانس به فرکانس غالب نزدیک می‌باشد که نشان دهنده این است که حالت طیف دامنه شبیه حالت گوسی می‌باشد و می‌توان بدون کم شدن از عمومیت از آن برای محاسبه ضریب جذب استفاده کرد.

جهت بررسی کارآیی روش بر روی داده واقعی از خط گیرنده ۴۱۰ از داده‌های سه‌بعدی برداشت شده بر روی یکی از میادین گازی دریای خزر در محدوده زمانی ۲۵۳۰ میلی‌ثانیه و ۳۰۰۲ میلی‌ثانیه، استفاده گردید. داده‌ها کوچ داده شده زمانی پس از برانبارش می‌باشند. داده‌های اصلی و قسمت جدا شده آن در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌ها با فاصله زمانی نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه برداشت شده‌اند. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، محدوده فرکانسی داده‌ها بین ۱۰ تا ۸۰ هرتز می‌باشد. با توجه به شکل ۱ مشاهده می‌شود که دامنه غالب مربوط به فرکانس ۲۷/۳۵ هرتز می‌باشد. مرکز ثقل فرکانس و انحراف معیار برای موجک ریکر با فرکانس ۲۷/۳۵ هرتز بترتیب برابر ۳۰/۷۵ هرتز و ۱۰/۲۷ هرتز می‌باشد.

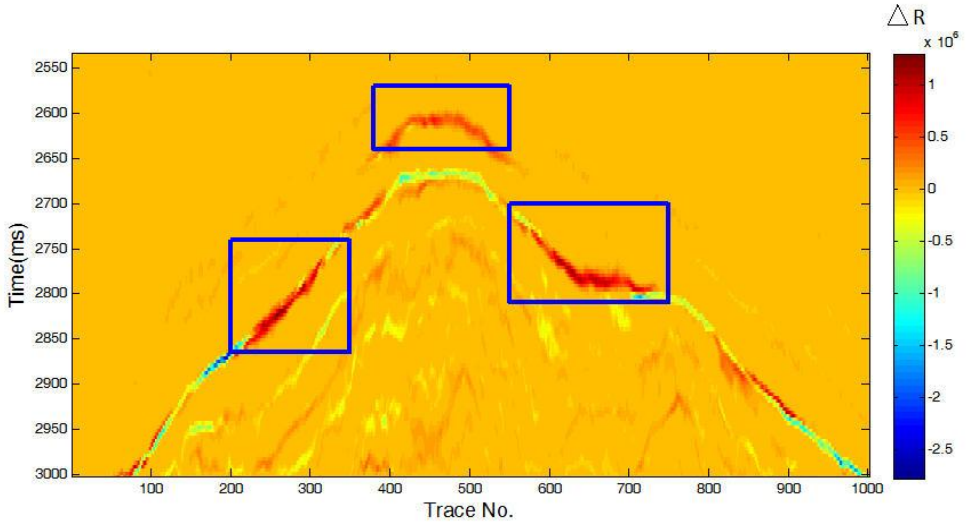
جدول۱. فرکانس غالب موجک ریکر، مرکز ثقل فرکانس و انحراف از معیار آن برای وقتی که دامنه موجک ریکر با توزیع گوسی مدوله شده باشد (گو و استیوارت، ۲۰۰۶).

No.	Dominant frequency	Centroid frequency	Standard deviation
1	25	26.2	11.7
2	30	31.2	14.3
3	35	36.5	16.5
4	40	41.7	19.1



شکل ۱. (الف) مقطع لرزه‌ای حاصل از خط گیرنده ۴۱۰، (ب) مقطع مورد استفاده برای محاسبه ضریب جذب و (ج) طیف دامنه میانگین قسمت (ب).

اختلاف طیف دامنه بازتابی برای دو فرکانس ۴۱ هرتز و ۲۰ هرتز بیان کننده میزان جذب در محیط می‌باشد. شکل ۲ نتایج اختلاف طیف دامنه بازتابی حاصل از اعمال تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی برای دو فرکانس ذکر شده، نشان داده شده است. مکان‌هایی که در شکل با استفاده از کادر مستطیل شکل مشخص شده است، نشان دهنده محل‌های آنومالی می‌باشد. نتایج بدست آمده در این روش منطبق بر مطالعات قبلی است که زارعی (۱۳۹۱) و نیکو و همکاران (۱۳۹۱) روی این میدان انجام داده‌اند و نتایج یکسانی حاصل شده است.



شکل ۲. اختلاف طیف دامنه بازتابی حاصل از فرکانس‌های ۴۱ هرتز و ۲۰ هرتز، مستطیل قرمز رنگ محل‌های با جذب نسبی بالا را نشان می‌دهد.

٤ نتیجه‌گیری

در این مقاله تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی معرفی شد که دارای قدرت تفکیک بالای همزمان در دو حوزه زمان و فرکانس می باشد. در این مقاله، نشانگر لرزه‌ای ضریب جذب نسبی بوسیله تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی معرفی گردید و بر روی یک خط دو بعدی برداشت شده بر روی یک میدان گازی در دریای خزر محاسبه شد. نتایج بدست آمده از محاسبه ضریب جذب نسبی، موقعیت‌هایی را برای مخازن گازی مشخص نمود که مطابقت خوبی با نتایج مطالعات دیگر حاصل از نشانگرهای دیگر بر روی مخزن مورد مطالعه نشان می‌داد. بنابراین می‌توان از نشانگر ضریب جذب نسبی برای شناسایی مخازن گازی استفاده کرد.

منابع

زارعی، م، ۱۳۹۱، شناسایی مخازن هیدروکربن با استفاده از تبدیل‌های زمان فرکانس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.

نیکو و همکاران، ۱۳۹۱، شناسایی سایه‌های فرکانس پایین با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته، مجموعه مقالات پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۶-۲۸ اردیبهشت، دانشکده فیزیک دانشگاه تهران.

Gabor, D., 1946, Theory of communication: Journal of the Institution of Electrical Engineering, **93**, 429-457.

Gu H. and Stewart R., 2006, Calculation of relative seismic attenuation from the reflection time-frequency differences in a carbonate reservoir: CREWES Research Report, Vol.18.

Lucy L. B., 1974, *An iterative technique for the rectification of observed distributions*: Astron. J., vol. 79, no. 6.

Mallat, S., 2009, A wavelet tour of signal processing, 3th edition, Elsevier, USA .

Qiang, Z., and Wen-kai, L., 2010, Spectral decomposition using deconvolutive short time Fourier transform spectrogram: 80th SEG meeting, Denver, Expanded Abstracts, 1581–1585.

Richardson W. H., 1972, *Bayesian-based iterative method of image restoration*: J. Opt. Soci. America, vol. 62, no. 1.

Stockwell, R. G., Mansinha, L., and Lowe, R. P., 1996, Localization of the complex spectrum: The S transform: IEEE Trans. on Signal Process., **44**, 998–1001.

Ville, J., 1948, Theorie et applications de la notion de signal analytique: Cables et Transm, **2A(1)**, 61-74.

Wigner, E. P., 1932, On the quantum correlation for thermodynamic equilibrium: Phys. Rev., **40**, 749-759.