

مقایسه روش‌های تجزیه طیفی برای شناسایی کانال‌ها در یکی از مخازن جنوب غربی ایران

رضا محیبیان^۱، مصطفی یاری^۱ و محمدعلی ریاحی^{۱*}

^۱ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۳۰)

چکیده

از اولین روش‌های زمان-بسامد در تجزیه طیفی تبدیل فوریه زمان-کوتاه (STFT) است. در این روش پنجره‌ای مناسب با طول ثابت در نظر گرفته می‌شود. امواج لرزه‌ای از جمله امواج غیرپایا هستند که محتوای بسامدی متغیر با زمان دارند. از این رو باید از روش‌هایی بهره گرفت که طول پنجره در آنها متغیر با بسامد باشد. از جمله روش‌هایی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تبدیل S است. در این روش تفکیک‌پذیری زمانی و بسامدی در صفحه زمان-بسامد تغییر می‌کند تا یک تحلیل با تفکیک‌پذیری چندگانه به دست آید. علاوه بر این روش دیگری تحت عنوان تجزیه با تعقیب تطابق (MPD)، که روش جدیدتری نسبت به روش‌های پیش‌گفته است، وجود دارد که در الگوریتم خود از توزیع ویگنر-ویل استفاده می‌کند. در این مقاله از مقاطع لرزه‌ای تک‌بسامد که با استفاده از روش‌های زمان-بسامد مقاطع لرزه‌ای حاصل شده است، برای تشخیص کانال‌ها استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های سیگنال ناپایا، طیف زمان-بسامد، تبدیل موجک پیوسته، نشانگر مستقیم مخازن هیدروکربنی، تعقیب تطابق، سیگنال لرزه‌ای

Comparison of spectral decomposition methods to detect channels in one of the reservoirs of southwest Iran

Reza Mohebian¹, Mostafa Yari¹ and Mohamad Ali Riahi^{1*}

¹Institute of Geophysics, University of Tehran

(Received: 16 May 2011, accepted: 21 December 2011)

Summary

Spectral decomposition has provided a means for observing those features in seismic data that are not always clear in the time domain. There are several approaches that can be used to produce a spectral decomposition of a seismic trace. A case history of using the spectral decomposition and coherency to interpret incised valleys was shown by Peyton et al. (1998). Partyka et al. (1999) used a windowed spectral analysis to produce discrete-frequency energy cubes for applications in reservoir characterization. Continuous wavelet

*Corresponding author:

mariahi@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

transform (CWT) was introduced by Morlet et al. (1982). In CWT, time frequency atoms are chosen in such a way that its time support changes for different frequencies according to Heisenberg's uncertainty principle (Mallat, 1999; Daubechies, 1992). In early years, transforming the seismic traces into time and frequency domain was done via a windowed Fourier transform, called the Short Time Fourier Transform (STFT). In STFT, the time-frequency resolution is fixed over the entire time-frequency space by reselecting a window length. Therefore, the resolution in the seismic data analysis becomes dependent on a user-specified window length. This problem can be resolved by an S-transform. The window used in this method at any given moment is adapted to the frequency analysis. In this method, time and frequency resolution will change the window of the time-frequency to obtain a multi-resolution analysis. The CWT commonly used in the data compression decomposes the signal from the time domain to a time-scale domain using the orthogonal wavelets that vary in length and frequency by a factor of two. In contrast, the S-transform decomposes the signal from the time domain to a time-frequency domain using the non-orthogonal variable size Morlet wavelet (Mallat, 1999; Stockwell, 1996; Sinha, et al., 2005). While being computationally more intensive than the orthogonal wavelet transform, the nonorthogonal S-transform provides an added time and frequency resolution valuable for interpretation.

Stockwell et al. (1996) interpreted the S-transform as a combination of CWT and STFT. The difference between the S-transform and STFT is that the Gaussian window is a function of time and frequency for the S-transform, while it is only a function of time for the Short Time Fourier Transform (STFT).

Another method of spectral decomposition is Matching Pursuit Decomposition (MPD). MPD involves a cross-correlation of the wavelet dictionary against the seismic trace. The projection of the best correlating wavelet on the seismic trace is then subtracted from that trace. The wavelet dictionary is then cross-correlated against the residual, and again the best correlated wavelet projection is subtracted. The process is repeated iteratively until the energy left in the residual falls below some acceptable threshold (Castagna, 2006).

MPD has been used recently in a seismic signal analysis (Castagna et al., 2003; Liu and Marfurt, 2005). Wang et al. (2007) has applied an inverse- Q filter to the seismic signals to show the existence of a low-frequency shadow. One of the applications of the spectral decomposition is to detect the geological structures with less thickness such as buried channels. Filled with porous rocks, and located in a non-porous environment, the channels will be a good place for hydrocarbon reserves. For this reason, from the past, detection of the boundary of these channels and lithologic features inside them has been essential in explorations of these reserves.

In this paper, we investigated the application and efficiency of the S-transform and MPD methods in the time-frequency analysis of the seismic sections to delineate and detect a buried channel in Sarvak Formation in one of the oil fields located in the South West of Iran. The results from the MPD and S-transform were compared with an STFT applying to the single frequency seismic sections at frequencies 15 Hz and 25 Hz.

Key words: Models of nonstationary signal, time-frequency spectrum, continues wavelet transform, hydrocarbon reservoir's direct attribute, matching persuade, seismic signal

۱ مقدمه

تجزیه طیفی، عبارت است از کلیه روش‌هایی که طیف بسامدی را در پنجره‌ای به مرکز هر نمونه زمانی از ردلرزه می‌دهند. این طیف ممکن است طیف دامنه، طیف فاز و طیف انرژی باشد. بنابراین حاصل اعمال تجزیه طیفی روی یک ردلرزه، صفحه نمایش زمان- بسامد مربوط به آن ردلرزه است. اولین روشی که برای به دست آوردن طیف زمان- بسامد یک سیگنال لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفت، روش تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT) بود که در این تبدیل فوریه روی پنجره‌های زمانی کوچکی صورت می‌گیرد (مالات، ۱۹۹۹؛ مرتین، ۱۹۹۸). در این روش پنجره‌ای مناسب با طول ثابت در نظر گرفته می‌شود، در هر لحظه در ردلرزه ضرب می‌شود و تبدیل فوریه روی ردلرزه پنجره شده اعمال می‌شود که این امر باعث تفکیک پذیری زمان- بسامد ثابت می‌شود. به دلیل طبیعت ناپایایی سیگنال‌ها که در آنها بسامد با زمان تغییر می‌کند، به یک پنجره متغیر با زمان نیاز داریم (چاکرابرتی و اوکایا، ۱۹۹۵). از این رو باید از روش‌هایی بهره گرفت که طول پنجره در آنها متغیر با بسامد باشد. استاکول و همکاران در ۱۹۹۶ تبدیل S را معرفی کردند. تبدیل S ابزار مفیدی برای تحلیل توزیع زمان- بسامد محلی با استفاده از یک پنجره وابسته به بسامد است و از جهاتی دارای شباهت‌هایی با تبدیل فوریه زمان کوتاه و شباهت‌هایی با تبدیل موجک است. در این تبدیل، مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه، از تبدیل فوریه پنجره‌ای استفاده شده است. با این تفاوت که در این تبدیل، مانند تبدیل موجک عرض و دامنه پنجره به بسامد (f) وابسته است. این ارتباط در مورد عرض با بسامد به صورت معکوس و در ارتباط با بزرگی به صورت مستقیم است. در تبدیل S برخلاف تبدیل موجک از اتم زمان - بسامد سینوس‌وار فوریه مختلط استفاده شده است. این اتم‌ها برخلاف موجک‌هایی که در تبدیل موجک استفاده می‌شوند با

انتقال، شکل قسمت حقیقی و موهومیشان تغییر می‌کند (روشندل، ۱۳۸۸). مزیت تبدیل S بر تبدیل فوریه زمان- کوتاه این است که برای تحلیل بسامد کم از یک پنجره زمانی بلندتر و درعین حال برای تحلیل بسامد زیاد از یک پنجره زمانی کوتاه‌تر استفاده می‌کند که این ویژگی، تفکیک پذیری زمان- بسامد بهینه را به ما خواهد داد. ماتوس و همکاران در ۲۰۰۵ بسامدهای قله حداکثر را که با تبدیل S محاسبه شده بود برای توصیف خصوصیات مخزن امتحان کردند (ماتوس، ۲۰۰۵؛ لیو، ۲۰۰۶). این روش علاوه بر حفظ تفکیک پذیری بسامدی زیاد، باعث بهبود تفکیک پذیری سیگنال در حوزه زمان می‌شود

در این مقاله علاوه بر روش‌های اشاره شده، روش دیگری که با عنوان تعقیب تطابق (MPD) شناخته می‌شود و الگوریتم آن را اولین بار ملات و ژانگ (۱۹۹۳) مطرح ساختند، مورد بررسی قرار گرفته است. این روش برای تشخیص لایه‌های نازک (مارفورت و کرلین، ۲۰۰۱) شناسایی کانال‌ها (لیو، ۲۰۰۶) و تعیین محدوده مخازن هیدروکربنی (وانگ، ۲۰۰۷)، مورد استفاده قرار گرفته است. این روش علاوه بر حفظ تفکیک بسامدی زیاد، باعث بهبود تفکیک پذیری سیگنال در حوزه زمان که از توزیع ویگنر- ویل در الگوریتم خود استفاده می‌کند می‌شود، با این توضیح که مشکل عبارت‌های تداخلی را ندارد.

۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT)

برای غلبه بر محدودیت‌های تبدیل فوریه استاندارد در تحلیل بسامدی سیگنال‌های ناپایا، گابور تبدیل فوریه زمان- کوتاه (STFT) را معرفی کرد. مزیت STFT این است که از یک پنجره با طول ثابت و دلخواه $g(f)$ برای تحلیل استفاده می‌کند و روی آن فرض می‌شود که سیگنال ناپایای واقعی تقریباً پایا است. تبدیل فوریه زمان- کوتاه، یک چنین سیگنال شبه پایای $x(f)$ را با استفاده از

برسیم، به عبارت دیگر می‌خواهیم پنجره زمان- بسامد در حد امکان کوچک باشد. اما از طرفی با توجه به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ (رابطه ۲) یک کران برای سطح پنجره لازم است (ذبیحی نائینی، ۱۳۸۴).

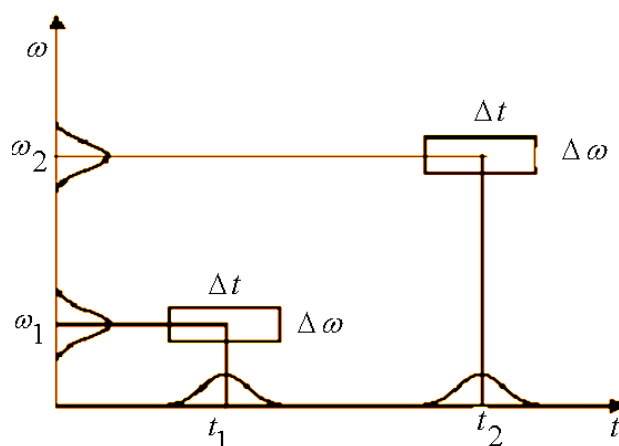
$$\Delta t \Delta \omega \geq \frac{1}{2}, \quad (2)$$

که طول پنجره زمانی (قدرت تفکیک زمانی) با پارامتر Δt و طول پنجره بسامدی (قدرت تفکیک بسامدی) با پارامتر $\Delta \omega$ نشان داده شده است. نکته مهم اینکه، به محض انتخاب تابع پنجره برای تبدیل فوریه زمان کوتاه، تفکیک پذیری زمان- بسامدی در کل صفحه زمان- بسامد ثابت می‌ماند. این مطلب به طور اجمالی در شکل (۱) نشان داده شده است. در نتیجه پنجره‌های با طول کوتاه، تفکیک زمانی خوب و پنجره‌های با طول بلند، تفکیک بسامدی خوبی به دست می‌دهند. با انتخاب پنجره، تفکیک پذیری، زمان- بسامدی ثابت خواهد شد که به دلیل تغییر محتوای بسامدی سیگنال‌های ناپایا، به منزله مشکل بنیادی STFT در تحلیل طیفی تلقی می‌شود (چاکرابتی و اوکایا، ۱۹۹۵).

پنجره متحرک $g(t)$ از زمان‌های متفاوت τ به نمایش دو بُعدی زمان- بسامد $S(\tau, f)$ تجزیه می‌کند بنابراین تبدیل فوریه سیگنال پنجره شده، STFT را به دست می‌دهد:

$$STFT_x(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) g^*(t - \tau) e^{-i2\pi ft} dt, \quad (1)$$

همان‌طور که از تعریف تبدیل فوریه زمان کوتاه مشخص است، حاصل این تبدیل، تابعی مختلط شامل اطلاعات فاز و دامنه است. هر دو این اطلاعات برای بازسازی سیگنال ضروری‌اند و گاه اطلاعات فاز برای تحلیل‌های خاص به کار می‌آید. اما اغلب مربع دامنه که توزیع چگالی انرژی را به دست می‌دهد ترجیح داده می‌شود و آن را طیف‌نما، می‌نامند برده می‌شود (ریول و فلاندرین، ۱۹۹۲). با توجه به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ: «این غیرممکن است که بسامد دقیق و زمان دقیق رخداد این بسامد در یک سیگنال معلوم باشد». به عبارت دیگر یک سیگنال را نمی‌توان به سادگی در حکم یک نقطه در فضای زمان- بسامد نمایش داد. موقعیت پنجره زمان- بسامد با پارامترهای τ و ω معین می‌شود. در آنالیز زمان- بسامد می‌خواهیم که در حد امکان به تفکیک پذیری زمان- بسامدی زیادی



شکل ۱. نمایش اصل عدم قطعیت در صفحه زمان- بسامد تبدیل فوریه زمان کوتاه، که در کل صفحه جعبه عدم قطعیت هایزنبرگ ثابت می‌ماند. (ادیسون، ۲۰۰۲).

۳ تبدیل S

مورلت و همکاران (۱۹۸۲) موجک مختلط W_M را با ردلرزه ورودی $U(t)$ دگرهمبسته کردند (مورلت، ۸۲a، ۱۹). طیف دامنه لحظه‌ای ردلرزه مدول ضرایب دگرهمبستگی مختلط است. تحلیل موجک مورلت با رابطه (۳) داده می‌شود:

$$U_M(\tau, f) = \int u(t) W_M dt, \quad (3)$$

که $U_M(\tau, f)$ طیف زمان-بسامد مختلط و W_M موجک مورلت مختلط و معادله ریاضی آن به صورت رابطه (۴) است:

$$W_M = e^{-(\tau-t)^2 f^2 \ln 2} e^{-2\pi f t}, \quad (4)$$

رابطه‌ای برای تبدیل معرفی کردند که در آن دامنه موجک تابعی از بسامد موج حامل است (استاکول و همکاران، ۱۹۹۶).

$$U_S(\tau, f) = \int u(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau-t)^2 f^2}{2}} e^{-i 2\pi f t} dt, \quad (5)$$

که $U_S(\tau, f)$ طیف زمان-بسامد مختلط، $U(t)$ ردلرزه ورودی، f بسامد، τ نقطه زمانی تحلیل و t زمان است. با مقایسه روابط (۳) و (۵) دریافت می‌شود که تبدیل S کاملاً مشابه با روش تحلیل موجک مورلت است. تنها تفاوت بین تبدیل S و تحلیل موجک مورلت این است که تابع زمان-بسامد تبدیل S با بسامد حامل f مقیاس می‌شود. تبدیل موجک پیوسته با استفاده از موجک‌های متعامد، سیگنال را از حوزه زمان به حوزه زمان-مقیاس تجزیه می‌کند. در مقابل، تبدیل S یک سیگنال را از حوزه زمان به حوزه زمان-بسامد با استفاده از موجک‌های مورلت غیرمتعامد با اندازه متغیر تجزیه می‌کند (مالات، ۱۹۹۹؛ استاکول و همکاران، ۱۹۹۶؛ سینها و همکاران، ۲۰۰۵). تفاوت بین تبدیل S و STFT هم این است که پنجره گاوسی برای STFT فقط تابعی از زمان است، در حالی که برای تبدیل S تابعی از زمان و بسامد است. استاکول و همکاران (۱۹۹۶) تبدیل S را به منزله

ترکیبی از CWT و STFT تفسیر کردند.

۴ تجزیه با تعقیب تطابق (MPD)

در روش تعقیب تطابق یک بانک موجک با خصوصیات گوناگون ساخته می‌شود. بانک موجک با مقیاس کردن، تبدیل کردن و مدوله کردن یک تابع موجک واحد تولید می‌شود، بنابراین توابع اساسی که تولید می‌شوند ترکیبی از همه گستره‌های ممکن زمان و بسامد را دارند. این روش طیف زمان-بسامد با تفکیک‌پذیری زیادی از سیگنال لرزه‌ای به دست می‌دهد.

روش تعقیب تطابق از تطابق بیرونی موجک‌های موجود در بانک موجک با لرزه‌نگاشت لرزه‌ای استفاده می‌کند. سپس تصویر بهترین موجک تطبیق شده روی لرزه‌نگاشت لرزه‌ای از لرزه‌نگاشت کسر می‌شود بعد از آن موجک‌های موجود در بانک موجک با باقی‌مانده لرزه‌نگاشت تطبیق خارجی می‌شوند، و دوباره تصویر بهترین موجک تطبیق شده کسر می‌شود. این فرایند به صورت تکرار شونده ادامه می‌یابد تا جایی که انرژی موجود در باقی‌مانده، کمتر از یک حد قابل قبول شود. تا زمانی که بانک موجک شرایط قابل قبول بودن (تبدیل فوریه بانک موجک در بسامد صفر ناپدید می‌شود)، این فرایند همگرا خواهد بود. خروجی این فرایند فهرستی از موجک‌ها با زمان رسیدها و دامنه‌های مربوط برای هر لرزه‌نگاشت لرزه‌ای خواهد بود (مالات و ژانگ، ۱۹۹۳).

خانواده‌ای از اتم‌های زمان-بسامد را می‌توان با مقیاس‌دهی، انتقال و مدوله کردن یک تک‌تابع پنجره‌ای تولید کرد. برای هر مقیاس $s > 0$ ، بسامد مدوله کردن ξ و انتقال u ، $\gamma(s, u, \xi)$ مشخص شده است و رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$g_\gamma(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} g\left(\frac{t-u}{s}\right) e^{i \xi t}, \quad (6)$$

برای بانک‌های اتم‌های زمان-بسامد، تعقیب تطابق یک

واضح از توزیع انرژی $f(t)$ در صفحه زمان-بسامد ایجاد کرد. بنابراین فقط اولین مجموع باقی می ماند و رابطه (۱۰) تعریف می شود (مالات و ژانگ، ۱۹۹۳):

$$Ef(t, \omega) = \sum_{n=0}^{+\infty} \left| \langle R^n f, g_{\gamma n} \rangle \right|^2 W g_{\gamma n}(t, \omega), \quad (10)$$

که بر همین اساس نقشه های حاصل از این روش در حیطه دوبعدی زمان-بسامد حاصل می شود.

۵ اعمال روش روی داده واقعی

کانالها یکی از مهم ترین نقش های اکتشافی را در چینه شناسی دارند. کانالها اغلب از سنگ های متخلخل پر شده اند و در یک محیط نامتخلخل قرار گرفته اند. کانال های مدفون رودخانه ای عمدتاً از جنس ماسه سنگ هستند و اگر این کانالها در موقعیت مناسبی مانند وجود یک بخش سیل کننده در بالا، وجود پوش سنگ یا محصور شدن در یک بخش ناتراوا قرار گیرد می توانند مخازن نفتی و گازی مناسبی را به وجود آورند (لیو و مارفورت، ۲۰۰۶). از این رو تشخیص کانالها و تعیین محدوده آنها اهمیت ویژه ای دارد. همان طور که گفته شد، یکی از کاربردهای روش های تجزیه طیفی، تشخیص لایه های نازک (مارفورت و کرلین، ۲۰۰۱) و شناسایی کانالها است. برای همین منظور در این مقاله از داده های یکی از میادین نفتی جنوب ایران استفاده شده است. سازند مورد بررسی سازند سروک است. این میدان دارای کانال های مدفون رودخانه ای جالب و مناسب برای آزمودن کارایی روش های تجزیه طیفی در شناخت پدیده کانال است. ضخامت کم این گونه رخدادهای در برابر سازندهای متداول در زمین شناسی ناچیز است و فقط در برش های زمانی قابل تشخیص اند و اصولاً به کارگیری این روش معمولاً روی برش های زمانی امکان پذیر است. بنابراین برای تشخیص کانال از یک برش زمانی در $t=1.8$ s

تبدیل زمان-بسامد تطبیقی می دهد. و هر تابع را به یک مجموع از اتم های زمان-بسامد مختلط تجزیه می کند که بهترین قیاس را با باقی مانده اش داشته باشد. تعقیب تطابق هر تابع را به این صورت تجزیه می کند:

$$f = \sum_{n=0}^{+\infty} \langle R^n f, g_{\gamma n} \rangle g_{\gamma n}, \quad (7)$$

از تجزیه هر $f(t)$ در یک بانک زمان-بسامد، یک توزیع انرژی زمان-بسامد جدید با اضافه کردن توزیع دیگر هر اتم انتخاب شده به دست می آید. توزیع دیگر متقاطع دو تابع $f(t)$ و $h(t)$ که توسط رابطه (۸) تعریف می شود، فرا خوانده می شود:

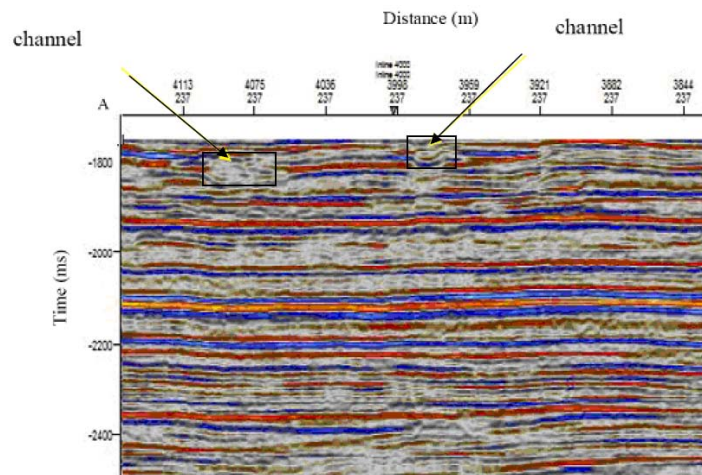
(۸)

$$W[f, h](t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t + \tau/2) \overline{h(t - \tau/2)} e^{-i\omega\tau} d\tau,$$

توزیع دیگر $f(t)$ عبارت است از $wf(t, \omega) = w[f, f](t, \omega)$ چون توزیع دیگر درجه دو است، از تجزیه اتمی (۸)، به دست می آید:

$$Wf(t, \omega) = \sum_{n=0}^{+\infty} \left| \langle R^n f, g_{\gamma n} \rangle \right|^2 W g_{\gamma n}(t, \omega) + \sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{m=0, m \neq n}^{+\infty} \langle R^n f, g_{\gamma n} \rangle \overline{\langle R^m f, g_{\gamma m} \rangle} W[g_{\gamma n}, g_{\gamma m}](t, \omega), \quad (9)$$

همان طور که در قسمت ابتدایی در مورد الگوریتم تعقیب تطابق گفته شد، این روش سیگنال را به صورت مجموعه ای از موجک ها تجزیه می کند. حال وقتی از این سیگنال که به صورت موجک های مجزا درآمده اند تبدیل دیگر گرفته می شود (طبق رابطه ۹) طیف زمان-بسامد حاصل به صورت مجموع طیف زمان-بسامد موجک های هم نام (جمله اول) و طیف زمان-بسامد حاصل از موجک های ناهم نام یا همان عبارت های تداخلی (جمله دوم) تبدیل می شود. حال به راحتی می توان با حذف جمله دوم که مربوط به عبارت های تداخلی است، یک تصویر



شکل ۲. مقطع عمودی لرزه‌ای مربوط به cross line شماره ۳۲۷. پیکان‌ها موقعیت دوشاخه کانال را نشان می‌دهند. این مقطع روی شکل (۳) با خط AB نشان داده شده است.

باشیم که در واقع شامل دورافت و زمان باشد، وقتی آن را به حیطه زمان-بسامد انتقال می‌دهیم، یک بعد بسامد به آن اضافه می‌شود و به سه‌بعدی تبدیل می‌شود. اما اگر داده ما سه‌بعدی باشد و بخواهیم آن را به حیطه زمان-بسامد بیاوریم با اضافه شدن بعد بسامد یک حجم چهاربعدی برای ما حاصل می‌شود که کار را دشوار می‌سازد. برای راحتی کار می‌توانیم داده سه‌بعدی را به صورت مجموعه‌ای از مقاطع عرضی که هر کدام از آنها دارای دو بُعد است در نظر بگیریم. حال می‌توانیم برای هر کدام از این مقاطع عرضی، تفکیک‌پذیری زمان-بسامدی را داشته باشیم و با کنار هم قرار دادن آنها می‌توانیم تفکیک‌پذیری زمان-بسامد مربوط به حجم داده سه‌بعدی را داشته باشیم. حال می‌توان افق‌ها یا برش‌های زمانی را از این حجم داده سه‌بعدی براساس خطوط افقی و قائم (inline و cross line) جدا کرد و یک حجم مکان-بسامد به دست آورد. شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب مقاطع تک‌بسامد حاصل از روش تبدیل فوریه زمان-کوتاه (STFT) و همچنین شکل‌های (۵) و (۶) مقاطع تک‌بسامد حاصل از روش تبدیل (S) را در بسامدهای ۱۵ و ۲۵ هرتز نشان می‌دهند. پیکان‌ها موقعیت شاخه‌های کانال را نشان می‌دهند.

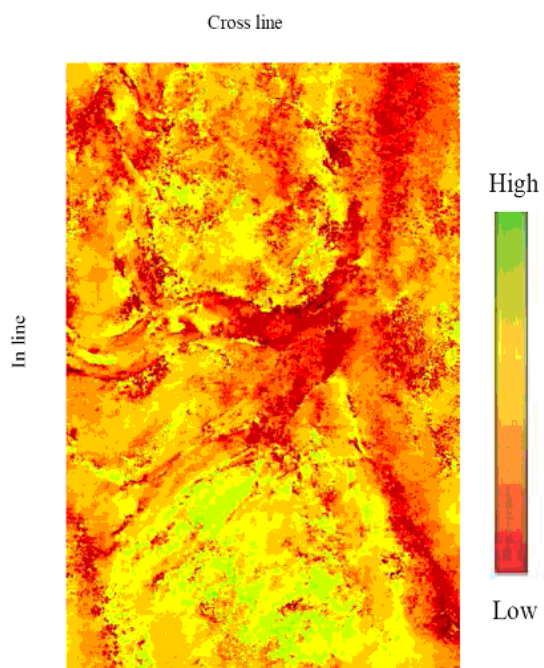
استفاده شده است. شکل (۲) موقعیت کانال مورد بررسی را در مقطع عمودی لرزه‌ای نشان می‌دهد. این شکل روش (STFT) با پنجره بهینه ۴۰۰ میلی ثانیه هرچند که مربوط به cross line شماره ۳۲۷ است که هر دو شاخه کانال را قطع می‌کند. محدوده بسامدی مورد بررسی بین ۵ تا ۴۰ هرتز، با فواصل ۵ هرتزی در نظر گرفته شده است که به دلیل طولانی شدن مقاله امکان اینکه همه تصاویر آورده شود وجود نداشت. به همین خاطر فقط تصاویر مقاطع تک‌بسامدی ۲۵ و ۱۵ هرتز که تصویر بهتر و واضح‌تری از کانال به دست داده‌اند در زیر آورده شده است.

همان‌طور که می‌دانیم بسامدهای متفاوت، نشان‌دهنده ضخامت‌های متفاوتی هستند. در واقع ضخامت همکوک (tuning) کمتر در بسامدهای بیشتر، بهتر قابل مشاهده هستند و همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود در بسامد ۲۵ هرتز حاشیه کانال که ضخامت کمتری دارد با وضوح بیشتری نسبت به بسامد ۱۵ هرتز قابل مشاهده است. در واقع با افزایش بسامد قسمت‌هایی از کانال که ضخامت کمتری دارند خود را بهتر نمایش می‌دهند در مقابل بسامدهای کمتر، ضخامت‌های بیشتر را بهتر نشان می‌دهند. همان‌طور که می‌دانیم اگر یک داده دو‌بعدی داشته

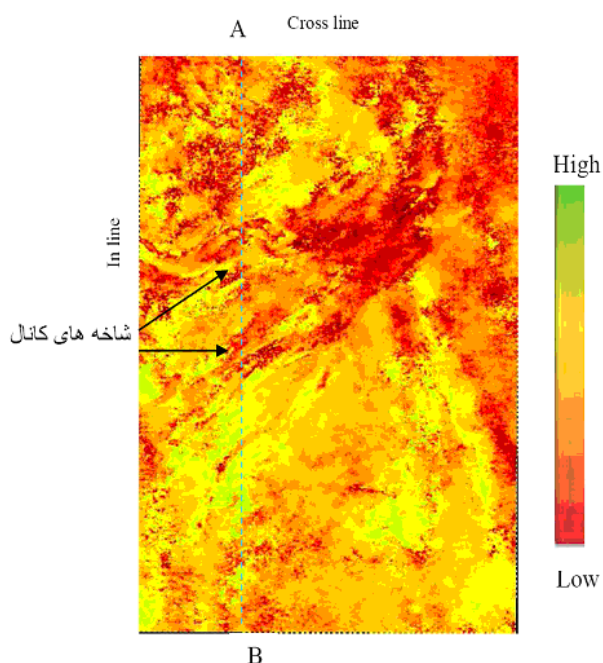
وضوح تصویر بیشتری را نشان می‌دهد. شاخه‌های کانال را به خوبی نمایش داده است. علاوه بر این همان‌طور که در بالا اشاره شد، با توجه به اینکه مقطع مربوط به ۲۵ هرتز بسامد بیشتری نسبت به ۱۵ هرتز دارد، انتظار می‌رود که لبه‌های کانال را بهتر نمایش دهد؛ که این امر به وضوح در شکل‌ها قابل مشاهده است. از طرف دیگر، زمان اجرای برنامه برای روش تعقیب تطابق نسبت به دو روش دیگر طولانی‌تر است که این از معایب این روش به حساب می‌آید، لازم به ذکر است که مبنای برنامه‌های نوشته شده برای روش‌های تجزیه طیفی الگوریتم لیو و مارفورت (۲۰۰۶) است و در این مقاله، الگوریتم پیش گفته مورد استفاده قرار گرفته است.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، روش تبدیل (S) شاخه‌های کانال را با وضوح بیشتری نشان می‌دهد اما کانال را تا حدودی مشخص می‌کند اما با توجه به انتخاب طول پنجره ثابت و بحث عدم قطعیت که در بالا به آن اشاره شد، تفکیک پذیری زمان-بسامدی تا حدودی کاهش می‌یابد.

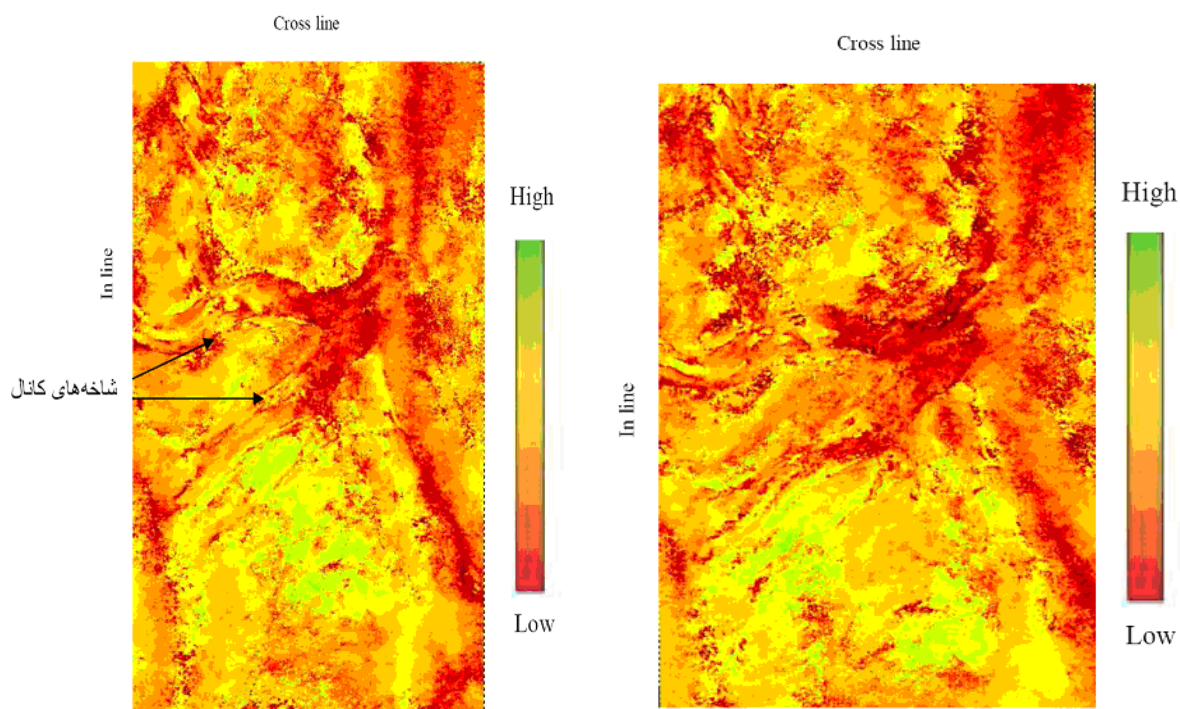
همچنین، شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب مقاطع تک بسامد حاصل از روش تعقیب تطابق را در بسامدهای ۱۵ و ۲۵ هرتز نشان می‌دهند. با توجه به الگوریتم تکراری که در روش تعقیب تطابق مورد استفاده قرار می‌گیرد، تفکیک پذیری بسامدی بهتری نسبت به دو روش (STFT) و تبدیل (S) دارد و همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود



شکل ۴. مقطع تک بسامد ۲۵ هرتز حاصل از روش تبدیل فوریه زمان-کوتاه (STFT) با طول پنجره ۴۰۰ میلی ثانیه مربوط به برش زمانی ۱۸۰۰ میلی ثانیه.

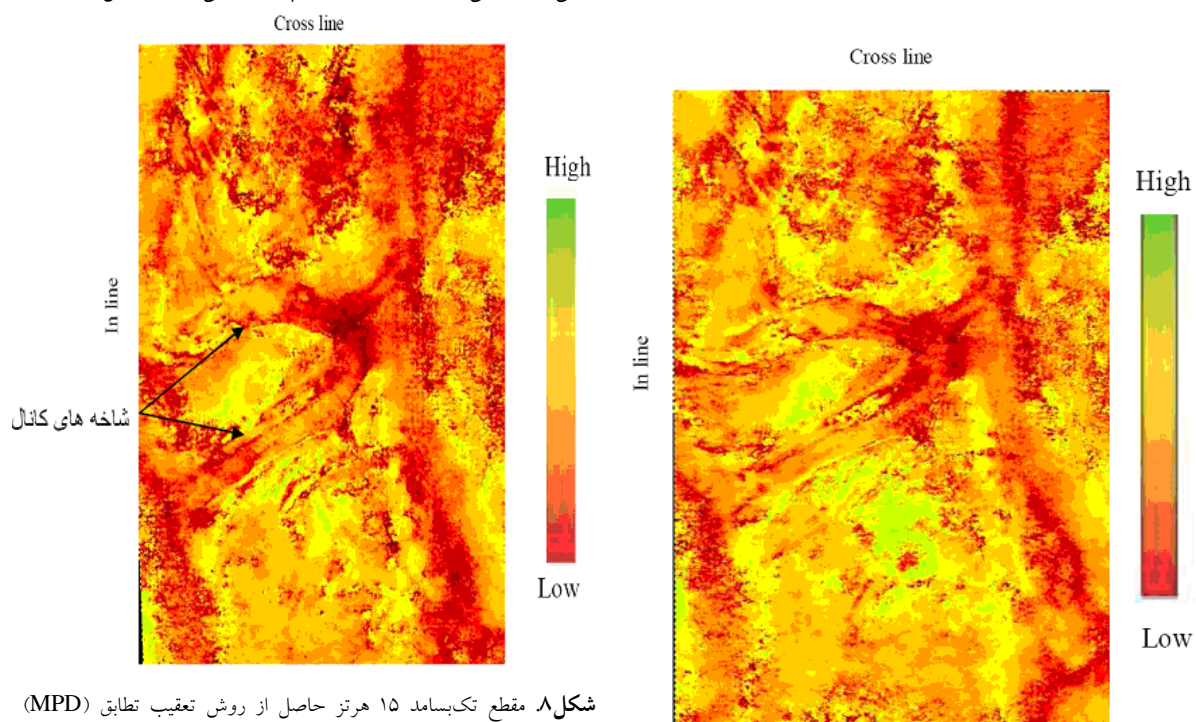


شکل ۳. مقطع تک بسامد ۱۵ هرتز حاصل از روش تبدیل فوریه زمان-کوتاه (STFT) مربوط به برش زمانی ۱۸۰۰ میلی ثانیه. شاخه‌های کانال با پیکان مشکی رنگ مشخص شده است.



شکل ۵. مقطع تک‌بسامد ۱۵ هرتز حاصل از روش تبدیل (S) مربوط به برش زمانی ۱۸۰۰ میلی‌ثانیه.

شکل ۶. مقطع تک‌بسامد ۲۵ هرتز حاصل از روش تبدیل (S) مربوط به برش زمانی ۱۸۰۰ میلی‌ثانیه. شاخه‌های کانال با پیکان مشکی‌رنگ مشخص شده است.



شکل ۷. مقطع تک‌بسامد ۱۵ هرتز حاصل از روش تعقیب تطابق (MPD) مربوط به برش زمانی ۱۸۰۰ میلی‌ثانیه

شکل ۸. مقطع تک‌بسامد ۱۵ هرتز حاصل از روش تعقیب تطابق (MPD) مربوط به برش زمانی ۱۸۰۰ میلی‌ثانیه. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در روش MPD شاخه‌های کانال با وضوح بیشتری دیده می‌شوند که این نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری بهتر این روش نسبت به دو روش قبلی است.

۶ نتیجه گیری

همان‌طور که نتیجه این بررسی نشان داد، تبدیل فوریۀ زمان کوتاه، نقشۀ زمان-بسامد تحت عنوان طیف‌نما تولید می‌کند که این طیف‌نما به طول پنجره بستگی دارد و با انتخاب طول پنجره تفکیک‌پذیری زمان-بسامدی ثابت خواهد شد. به دلیل تغییر محتوای بسامدی سیگنال‌های لرزه‌ای، این یک محدودیت برای روش تبدیل فوریۀ زمان کوتاه به حساب می‌آید. در مقابل تبدیل S که پنجره مورد استفاده آن در هر لحظه به بسامد مورد تحلیل تطبیق داده می‌شود. باعث می‌شود که تفکیک‌پذیری زمانی و بسامدی در صفحه زمان-بسامد تغییر کند و به این ترتیب، تحلیلی بر پایه تفکیک‌پذیری چندگانه خواهیم داشت که باعث تفکیک‌پذیری بیشتر این روش می‌شود، علاوه بر این در این مقاله از روش تجزیه طیفی به روش تعقیب تطابق برای شنایابی کانال‌ها استفاده شد. این روش از یک الگوریتم تکرار استفاده می‌کند و عملیات را آنقدر ادامه می‌دهد تا به یک حد آستانه که به مثابه نوفه تلقی می‌شود برسیم. این روش در پایان از توزیع ویگنر-ویل برای محاسبه نقشه زمان-بسامد استفاده می‌کند که باعث می‌شود تفکیک-پذیری زمان-بسامدی بیشتری نسبت به دو روش قبلی فراهم شود؛ درحالی‌که زمان اجرای برنامه آن نسبت به دو روش قبلی طولانی‌تر است و این می‌تواند یکی از معایب این روش به حساب آید.

منابع

- Addison, P. S., 2002, The Illustrated wavelet transform handbook: Institute of physics publishing, Bristol and Philadelphia, 351.
- Castagna, J. P., Sun, S. and Siegfried, R., 2003, Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons: The Leading Edge, **22**, 120-127.
- Castagna, J. P., and Sun, S., 2006, Comparison of spectral decomposition methods: First Breaks, 24, March 2006, 43-47.
- Chakraborty, A. and Okaya, D., 1995, Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods: Geophysics, **60**, 1906-1916.
- Liu, J., 2006, Spectral decomposition and its application in mapping stratigraphy and hydrocarbons: thesis, Ph.D., Department of Geosciences, University of Houston.
- Liu, J., and Marfurt, K. J., 2007, Instantaneous spectral attributes to detect channels: Geophysics, **72**, 23-31.
- Mallat, S. and Zhang, Z., 1993, Matching pursuits with time-frequency dictionaries: IEEE Transactions on Signal Processing, **41**, 3397-3415.
- Mallat, S., 1999, A wavelet tour of signal processing: Academic Press, 2nd edition, San Diego, California.
- Marfurt, K. J., and Kirlin, R. L., 2001, Narrow-band spectral analysis and thin-bed tuning: Geophysics, **66**, 1274-1283.
- Mertins, A., 1998, Signal analysis: wavelets, filterbanks, time-frequency transforms and applications: John Wiley & Sons, West Sussex, England.
- Matos, M. C., Osorio, P., Mundim, E. C., and Moraces, M., 2005, Characterization of thin beds through joint time-frequency analysis applied to a turbidite reservoir in Campos Basin, Brazil: 75th Annual International Meeting of SEG, Houston, Expanded Abstracts, 1429-1432.
- Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E. and D. Giard, 1982, Wave propagation and sampling theory: Part I, Complex signal and scattering in multilayered media: Geophysics, **47**, 203-221.
- Partyka, G. A., Gridley, J. and Lopez, J., 1999, Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization: The Leading Edge, **18**, 353-360.
- Peyton, L., Bottjer, R. and Partyka, G., 1998, Interpretation of incised valleys using new 3-D seismic techniques: A case history using spectral decomposition and coherency: The Leading Edge, **17**, 1023-1030.
- ذبیحی نائینی، ا.، ۱۳۸۴، تحلیل مقاطع لرزه‌ای در حوزه زمان-بسامد برای تصویرسازی لایه‌های نازک و مخازن هیدروکربور: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- روشندل کاهو، ا.، ۱۳۸۸، بهبود تبدیل‌های زمان-بسامد در مطالعه داده‌های لرزه‌ای: پایان‌نامه دکتری، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

- Geophysics, **70**, 19-25.
- Stockwell, R. G., Mansinha, L., and Lowe, R. P., 1996, Localization of the complex spectrum: The S-Transform: IEEE Transactions on Signal Processing, **44**, 998-1001.
- Wang, Y., 2007, Seismic time-frequency spectral decomposition by matching pursuit: Geophysics, **72**, V13-V20.
- Leading Edge, **17**, 1294-1298.
- Rioul, O., and Flandrin, P., 1992, Time-scale energy distributions: A general class extending wavelet transforms: IEEE transactions on signal processing, **40**, 1746-1757.
- Sinha, S., Routh, R., Anno, P., and Castagna, J., 2005, Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform: