

کاربرد تحلیل طیفی لحظه‌ای در شناسایی سایه‌های فرکانس پایین وابسته به هیدروکربورها

مهدی قانع عزآبادی^۱ و دکتر عبدالرحیم جواهریان^۲

چکیده

تحلیل طیفی لحظه‌ای یک روش تحلیل زمان - فرکانس پیوسته است که یک طیف فرکانسی را برای هر نمونه زمانی از یک ردلرزه ایجاد می‌نماید. تحلیل طیفی ابزار قدرتمندی برای تحلیل داده‌های لرزه‌ای است. از آنجا که تحلیل طیفی یک فرایند غیر واحد است روش‌های مختلفی برای محاسبه آن وجود دارد. تبدیل فوریه امکان بررسی محتوای فرکانسی سیگنال را فراهم می‌کند، اما برای سیگنال‌های ناپایا، از جمله سیگنال لرزه‌ای، که محتوای فرکانسی آنها با زمان تغییر می‌کند تبدیل یک بعدی به فضای فرکانس برای پاره‌ای از اهداف پردازشی کافی نیست. قبلاً انتقال ردلرزه به فضای زمان - فرکانس را با استفاده از تبدیل فوریه روی پنجره‌های کوچکی بدست می‌آوردند. این روش تحت عنوان تبدیل فوریه زمان کوتاه شناخته می‌شد قدرت تفکیک زمان - فرکانس در روش تبدیل فوره زمان کوتاه با انتخاب طول پنجره محدود می‌شد بعدها مشکل پنجره کردن در تحلیل زمان - فرکانس با استفاده از تبدیل موجک پیوسته برطرف شد. تبدیل موجک پیوسته از خاصیت تغییر مقیاس و جابجایی موجک استفاده می‌کند و نقشه زمان - مقیاس سیگنال را تهیه می‌کند. تبدیل مقیاس به فرکانس منجر به نقشه زمان - فرکانس می‌شود که قابل مقایسه با نقشه زمان - فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه است. در تحلیل طیفی لحظه‌ای با بکارگیری تبدیل موجک پیوسته قدرت تفکیک فرکانسی بالا در فرکانس‌های پایین و قدرت تفکیک زمانی بالا در فرکانس‌های بالا بدست می‌آید.

هدف این مطالعه ردیابی ناهنجاری‌های فرکانس پایین در داده‌های واقعی حاصل از لرزه‌نگاری است. وجود مخازن هیدروکربور در مسیر انتشار امواج لرزه‌ای از جمله عواملی است که مؤلفه‌های فرکانس بالای سیگنال لرزه‌ای را جذب کرده و پدیده‌ای بنام سایه فرکانس پایین در مقطع لرزه‌ای ایجاد می‌کند. این پدیده در لرزه‌نگاری مستقیماً نشانگر حضور هیدروکربور در منطقه است. برای این منظور نشانگر لرزه‌ای تک فرکانس و نشانگرهای طیفی لحظه‌ای با استفاده از طیف زمان - فرکانس تبدیل موجک پیوسته محاسبه و نتیجه حاصل از آنها برای آشکارسازی مخزن هیدروکربور بکار می‌رود. در مرحله بعدی برای افزایش سرعت محاسبات، نشانگرهای طیفی لحظه‌ای مستقیماً از مقیاس تعیین و بر روی همان مجموعه داده اجرا شده است. سایه‌های فرکانس پایین مربوط به مخازن هیدروکربوری به خوبی خود را در مقطع لرزه‌ای تک فرکانس و نشانگرهای طیفی لحظه‌ای نشان دادند که آن را می‌توان به عنوان نشانگر مستقیم هیدروکربورها در نظر گرفت.

کلیدواژه‌ها: تحلیل طیفی لحظه‌ای، تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک پیوسته، سایه فرکانس پایین، نشانگر تک فرکانس، نشانگرهای طیفی لحظه‌ای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال E-mail: Mehdi_Ghane2006@yahoo.com

۲- استاد بازنشسته مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران javaheri@ut.ac.ir

Application of instantaneous spectral analysis in detection of low- frequency shadows associated with hydrocarbons

Mehdi Ghane Ezabadi and Dr. Abdolrahim Javaherian

Abstract

Instantaneous spectral analysis is a continuous time-frequency analysis technique that provides a frequency spectrum for each time sample of a seismic trace. Spectral analysis is a powerful tool for analysis of seismic data. Fourier transform determines the frequency contents of a signal. But for analysis of non-stationary signals, 1D transform to frequency domain is not sufficient. In early years, transforming of seismic traces into time and frequency domains was done with windowed Fourier transform, called a short time Fourier transform (STFT). In this method, the resolution of the results in the time-frequency domain is controlled by the width of the selected window. Continuous wavelet transform (CWT) is a remedy to solve this problem by using the scaleable wavelets. CWT uses dilation and transition of a wavelet to produce a time-scale map. By converting the scale to frequency one can get the time-frequency map which is comparable to the time-frequency map obtained from STFT. Converting a scalogram into a time-frequency spectrum using the center frequency of a scale gives an erroneous attenuation in the spectrum. The time-frequency continuous wavelet transform (TFCWT) overcomes this problem and gives a more robust technique of time-frequency localization. Since TFCWT is fundamentally derived from the continuous-wavelet transform, wavelet dilation and compression effectively provides the optimal window length, depending upon the frequency content of the signal. Thus, it eliminates the subjective choice of a window length and provides an optimal time-frequency spectrum without any erroneous attenuation effect for a nonstationary signal. Instantaneous spectral analysis utilizing TFCWT provides high-frequency resolution at low frequencies and high time resolution at high frequencies. Mapping of a seismic trace into the time-frequency domain produces a two dimensional data set by adding a frequency axis. In a similar way a 2D seismic section will generate a 3D data cube in which the third axis is the frequency up to the Nyquist frequency. Sections of single frequency extracted from the cube are called single frequency seismic section (SFS). Comparison of different SFSs can be utilized to detect low-frequency shadows caused by the presence of the hydrocarbon reservoirs. This method can potentially be utilized as a tool for direct hydrocarbon detection.

In this study, we applied TFCWT on 2D seismic sections and extracted a single frequency seismic attribute and instantaneous spectral attributes. The purpose of this study is to detect low-frequency anomalies in the real data is obtained from seismic. Hydrocarbon reservoirs in the path of seismic propagation, including the factors that high-frequency seismic signal components absorb and phenomenon called low-frequency shadows creates in the seismic section. This phenomenon directly indicates the presence of hydrocarbons in the region in seismic. For this purpose, single- frequency seismic sections and instantaneous spectral attributes using time-frequency continuous wavelet transform spectrum are calculated and the results of them used to detect hydrocarbon reservoirs. In the next stage, for increasing computational speed, instantaneous spectral attributes directly determined by time-scale spectrum and results implemented on the same data set.

Keywords: instantaneous spectral analysis, short time Fourier transform, continuous wavelet transform, low-frequency shadow, single-frequency section, instantaneous spectral attributes

زمان را نشان می‌دهند بتوان ردپای این پدیده‌های زمین‌شناسی را پیدا کرد.

تحلیل طیفی لحظه‌ای

تحلیل طیفی لحظه‌ای یک روش تحلیل زمان - فرکانس پیوسته است که یک طیف فرکانسی را برای هر نمونه زمانی از یک ردلرزه ایجاد می‌نماید (کاستاگنا و همکاران، ۲۰۰۳). تحلیل طیفی ابزار قدرتمندی برای تحلیل داده‌های لرزه‌ای است. از آنجا که تحلیل طیفی یک فرایند غیر واحد است روش‌های مختلفی برای محاسبه آن وجود دارد.

تبدیل فوریه امکان بررسی محتوای فرکانسی سیگنال را فراهم می‌کند، اما برای سیگنال‌های ناپایا، از جمله سیگنال لرزه‌ای، که محتوای فرکانسی آنها با زمان تغییر می‌کند تبدیل یک بعدی به فضای فرکانس برای پاره‌ای از اهداف پردازشی کافی نیست (مالات، ۱۹۹۹).

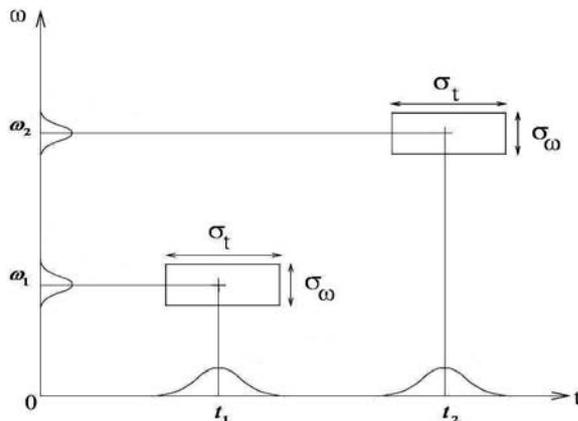
تبدیل فوریه به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

که در آن $X(\omega)$ تبدیل فوریه $x(t)$ نام دارد.

از اولین روش‌ها در بدست آوردن طیف محلی، تبدیل فوریه زمان کوتاه است. در این روش پنجره‌ای مناسب با طول ثابت در نظر گرفته شده، و در هر لحظه در ردلرزه ضرب می‌شود و تبدیل فوریه بر روی ردلرزه پنجره شده اعمال می‌گردد تا اطلاعات زمان - بسامد محلی بدست آیند. تحلیل طیفی لحظه‌ای از این دیدگاه را تبدیل فوریه

در لرزه‌نگاری امواج کشسان بوسیله چشمه‌های مصنوعی در مجاورت سطح زمین تولید و پس از انتشار در لایه‌های زمین بازتابیده شده و در سطح توسط گیرنده‌های لرزه‌ای ثبت می‌شوند. مقطع لرزه‌ای نهایی حاصل از تجزیه، تحلیل و پردازش لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده لایه‌های مختلف زمین را با توجه به خواص کشسانی متفاوت آنها، به تفکیک نشان می‌دهد. از آنجا که حضور گاز و نفت به نوعی خواص کشسانی سنگ را تغییر می‌دهند، بنابراین انتظار می‌رود در مقاطع لرزه‌ای بتوان محل تجمع این سیالات را در زیر زمین مشخص نمود. ولی نتایج نهایی لرزه‌نگاری به صورت مقاطع لرزه‌ای و حاوی شکل موج‌های ثبت شده هستند، که مستقیماً نشان دهنده حضور سیالات فوق‌الذکر نمی‌باشند. برای نیل به این منظور لازم است به دنبال اثراتی که این سیالات به هنگام گذر پرتوهای موج از آنها بر روی شکل موج بجا می‌گذارند بود که در لرزه‌نگاری به این اثرات بجا مانده اصطلاحاً نشانگرهای لرزه‌ای گویند. غالباً پدیده‌های زمین‌شناسی اشاره شده در بالا باعث می‌شوند بخش انتهایی باند بسامدی مربوط به سیگنال لرزه‌ای بیشتر تضعیف شوند و در نتیجه فرکانس غالب سیگنال لرزه‌ای به سمت فرکانس‌های پایین انتقال یابد (تتر و شریف، ۱۹۹۷؛ چن و سیدنی، ۱۹۹۷؛ بارنز، ۱۹۹۲a؛ وانگ، ۲۰۰۴). از این رو انتظار می‌رود با تبدیل مقاطع لرزه‌ای به حوزه‌هایی که تمرکز مؤلفه‌های فرکانسی مختلف در



شکل ۱- طرحواره اصل عدم قطعیت در صفحه زمان - بسامد تبدیل فوریه زمان کوتاه. جعبه عدم قطعیت هاینبرگ در تمام صفحه ثابت است (مالات، ۱۹۹۹).

این مسئله باعث ایجاد مشکل در قدرت تفکیک می‌گردد و به همین دلیل محققین شروع به مطالعه بر روی تبدیل موجک و جایگزین کردن آن به جای تبدیل فوریه پنجره‌ای شدند.

تبدیل موجک توسط مورلت و همکاران (۱۹۸۰) معرفی شد که برای ارزیابی داده‌های زلزله بکار رفت (مورلت و همکاران، ۱۹۸۲). از آن زمان تاکنون انواع متفاوتی از تبدیلات موجک توسعه یافته‌اند و کاربردهای بسیار دیگری پیدا شده است. برای غلبه بر محدودیت قدرت تفکیک تبدیل فوریه زمان کوتاه می‌توان تصور کرد که قدرت تفکیک σ_t و σ_ω در صفحه زمان - فرکانس تغییر می‌کنند تا یک تحلیل با قدرت تفکیک چندگانه بدست آید (شکل ۲). در این حالت قدرت تفکیک فرکانسی بالا در فرکانس‌های پایین و قدرت تفکیک زمانی بالا در فرکانس‌های بالا ایجاد خواهد شد.

پنجره‌ای یا تبدیل فوریه زمان کوتاه گویند (ریول و فلاندرین، ۱۹۹۲؛ ریول و وترلی، ۱۹۹۱). تبدیل فوریه زمان کوتاه به صورت رابطه (۲) نوشته می‌شود

$$STFT_x(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \varphi(t - \tau) e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

که در آن $\varphi(t)$ تابع پنجره و τ و ω موقعیت پنجره زمان - فرکانس را مشخص می‌کنند.

نقشه زمان - فرکانس حاصل طیف نامیده می‌شود و به صورت مربع دامنه تبدیل فوریه زمان کوتاه تعریف می‌شود

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |STFT_x(\tau, \omega)|^2 d\omega d\tau = E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (3)$$

و از آنجایی که توزیع چگالی انرژی سیگنال را در کل صفحه زمان - فرکانس می‌دهد می‌تواند مفید باشد.

در تحلیل طیفی لحظه‌ای آنچه مورد نظر است اینست که تا حد امکان قدرت تفکیک زمان - فرکانس بالایی ایجاد شود، به عبارت دیگر پنجره زمان - فرکانس در حد امکان کوچک باشد. اما از طرفی اصل عدم قطعیت یک کران را برای سطح پنجره لازم می‌دارد (مالات، ۱۹۹۹).

$$\sigma_t \sigma_\omega \geq \frac{1}{2} \quad (4)$$

نکته مهم اینکه، به محض انتخاب تابع پنجره برای تبدیل فوریه زمان کوتاه، قدرت تفکیک زمان - فرکانس در کل صفحه زمان - فرکانس ثابت می‌ماند. این مطلب به طور طرحواره در شکل ۱ نشان داده شده است.

تبدیل فوریه موجک مادر بصورت رابطه زیر

تعریف می‌شود (مرتینز، ۱۹۹۸)

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt \quad (7)$$

شرط پذیرش موجک مادر به قرار زیر است

(آلن و میلز، ۲۰۰۴)

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|H(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (8)$$

این شرط به معنی آن است که موجک مادر هیچ

مولفه DC نداشته باشد یعنی $H(0) = 0$

به این ترتیب

$$H(0) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt = 0 \quad (9)$$

به عبارت دیگر می‌توان گفت شرط پذیرش

معادل صفر شدن انتگرال موجک مادر است و برای

اینکه این شرط ارضا شود موجک مادر باید شامل نوساناتی باشد تا نواحی منفی و نواحی مثبت همدیگر را خنثی کنند.

موجک مختلطی که به طور معمول در تبدیل

موجک پیوسته به کار می‌رود موجک مورلت است

که توسط مورلت (۱۹۸۲) معرفی شد. این موجک

از مدولاسیون یک موج تخت با تابع گاوسی

بدست می‌آید و در حوزه زمان به صورت رابطه

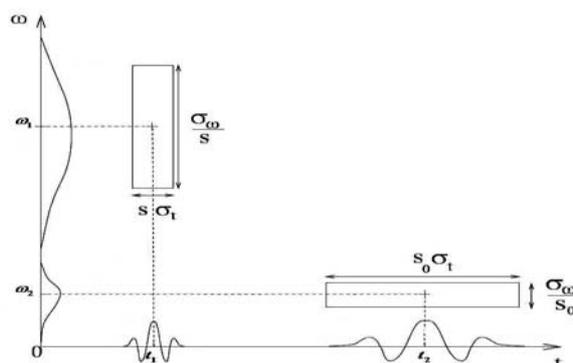
(۱۰) است (تورنس و کومپو، ۱۹۹۸)

$$h(t) = \pi^{-1/4} e^{j\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (10)$$

در حوزه فرکانس موجک مورلت به صورت

زیر است (تورنس و کومپو، ۱۹۹۸)

$$h(\omega) = \pi^{-1/4} e^{-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2}} \quad (11)$$



شکل ۲- طرحواره عدم قطعیت زمان - فرکانسی در تبدیل موجک پیوسته. شکل جعبه عدم قطعیت‌های زینبرگ در هر زمان و فرکانس خاص تغییر می‌کند (مالات، ۱۹۹۹).

تبدیل موجک پیوسته برای سیگنال $x(t)$ بصورت

رابطه (۵) تعریف می‌شود (ریول و وترلی، ۱۹۹۱)

$$CWT_x(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) h^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (5)$$

که در آن، s مقیاس، $h(t)$ موجک مادر، τ

پارامتر انتقال و فاکتور $\frac{1}{\sqrt{|s|}}$ برای نرمالیزه کردن

انرژی بکار رفته است. نقشه زمان - مقیاس حاصل

از تبدیل موجک پیوسته مقیاس‌نما نامیده می‌شود

(ریول و وترلی، ۱۹۹۱) و به صورت مربع دامنه

تبدیل موجک پیوسته تعریف می‌شود.

$$\iint |CWT_x(\tau, a)|^2 \frac{d\tau da}{a^2} = E_x = \int |x(t)|^2 dt \quad (6)$$

موجک مادر به عنوان تابع کرنل این نوع تبدیل

سیگنال باید به گونه‌ای طراحی شود که تبدیل

معکوس پذیر باشد یعنی تبادل متناظری وجود داشته

باشد که امکان بازسازی سیگنال را از تبدیل موجک

پیوسته آن فراهم کند. خاصیتی که باید توسط

موجک مادر ارضا شود تا تبدیل موجک معکوس

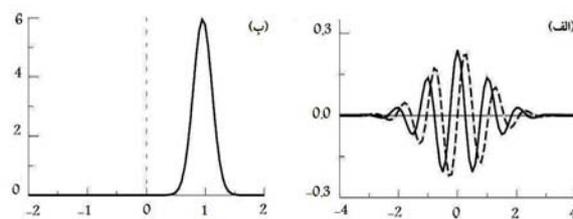
وجود داشته باشد شرط پذیرش نام دارد.

برای تبدیل نقشه زمان - مقیاس به نقشه زمان - فرکانس چندین روش وجود دارد. روش مورد استفاده در این مطالعه محاسبه طیف فرکانس سیگنال با استفاده از موجک به عنوان پنجره تطبیقی می‌باشد (سینها و همکاران، ۲۰۰۵a). در این روش با گرفتن تبدیل فوریه از تبدیل موجک پیوسته معکوس، نقشه زمان - مقیاس به نقشه زمان - فرکانس تبدیل می‌شود و نمایش دقیق‌تری از زمان - فرکانس توسط تبدیل موجک پیوسته زمان - فرکانس (TFCWT) ارائه می‌شود.

$$X(\omega, \tau) = \frac{1}{c} \int_{-\infty}^{\infty} CWT_x(\tau, a) e^{-j\omega\tau} H(a\omega) \frac{da}{a^{3/2}} \quad (14)$$

رابطه (۱۴) یک معادله اساسی است که اجازه می‌دهد طیف زمان - فرکانس از روی تبدیل موجک پیوسته محاسبه شود. این طیف زمان - فرکانس را TFCWT می‌نامند (سینها، ۲۰۰۲). پنجره تطبیقی در تبدیل موجک پیوسته باعث می‌شود قدرت تفکیک فرکانسی در فرکانس‌های پایین و قدرت تفکیک زمانی در فرکانس‌های بالا خوب باشد. این خاصیتی مطلوب در لرزه‌شناسی اکتشافی است چرا که در محدوده فرکانس‌های پایین، قدرت تفکیک فرکانس‌ها یک نیاز اساسی است و در فرکانس‌های بالا قدرت تفکیک زمانی بسیار مفیدتر از اطلاعات فرکانسی هستند. یک ردلرزه مصنوعی در شکل ۴- الف مشاهده می‌شود که شامل زمان رسیده‌های کوتاه با ترکیبی از موجک‌ها با فرکانس مرکزی مختلف است. اولین رسید در ردلرزه مصنوعی حاصل یک بازتاب انفرادی است. رخداد

موجک مورلت در حوزه زمان و فرکانس در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- (الف) موجک مورلت در حوزه زمان. خط ضخیم بخش حقیقی و خط نازک بخش موهومی موجک است. (ب) موجک مورلت در حوزه فرکانس (تورنس و کومپو، ۱۹۹۸).

اظهار شد معکوس پذیری تبدیل موجک منوط به شرط پذیرش است. بنابراین تبدیل معکوس تبدیل موجک پیوسته به صورت زیر تعریف می‌شود (مرتینز، ۱۹۹۸).

$$x(t) = \frac{1}{c} \iint_{s>0} CWT(\tau, s) h_{s,\tau}(t) \frac{ds d\tau}{s^2} \quad (12)$$

c ثابتی است که به صورت رابطه ۱۳ تعریف می‌شود

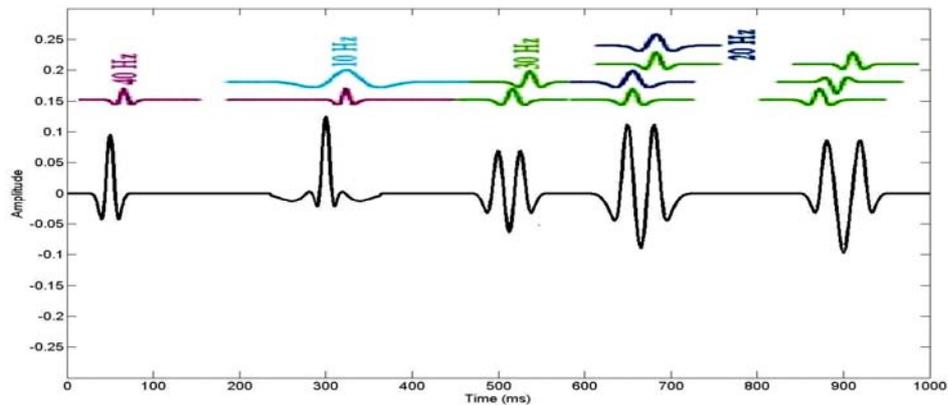
$$c = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|H(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (13)$$

از آنجاکه عموماً در تجزیه و تحلیل نتایج لرزه‌نگاری استفاده از مفاهیم فیزیکی همچون فرکانس مرسوم‌تر است لذا مفیدتر خواهد بود مقیاس نمای حاصل از تبدیل موجک پیوسته به نوعی با فرکانس مرتبط گردد. مقیاس در واقع نمایش دهنده یک باند فرکانسی است و یک تک فرکانس نیست. تبدیل مقیاس به فرکانس منجر به نقشه زمان - فرکانس می‌شود که قابل مقایسه با نقشه زمان - فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه است (چاکرابرتی و اوکایا، ۱۹۹۵).

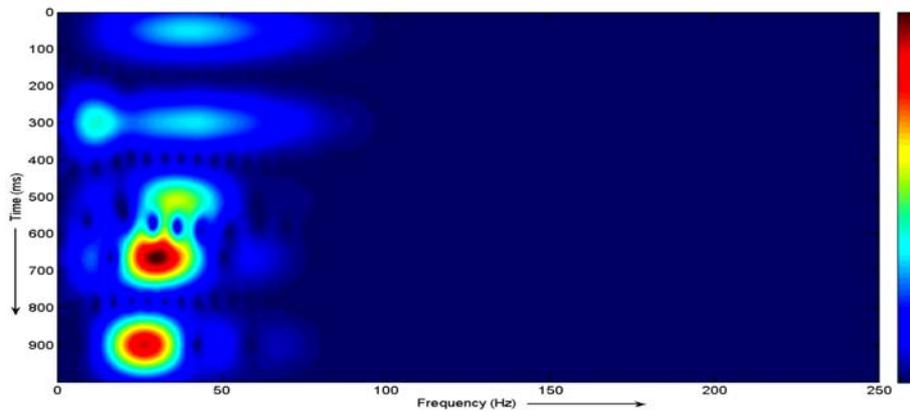
طیف‌های فرکانسی موجک‌های تشکیل دهنده آن ردلرزه تولید می‌شود بنابراین در هر موقعیت زمانی، طیف فرکانسی از روی هم قرار گرفتن طیف‌های موجک‌های تشکیل دهنده در مجاورت آن نمونه زمانی تهیه می‌شود. تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته دارای قدرت تفکیک فرکانسی خوب در فرکانس‌های پایین و قدرت تفکیک زمانی خوب در فرکانس‌های بالا است (شکل ۴-ج). دیده می‌شود که بدون هیچ نیازی به تنظیم طول پنجره بهینه رخدادها به خوبی از هم تمیز داده شده‌اند. در مقایسه با تبدیل فوریه زمان کوتاه، تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته قدرت تفکیک زمان - فرکانس بهینه‌ای ایجاد می‌کند. به عنوان مثال رخداد دوم که ترکیبی از دو موجک با فرکانس مرکزی مختلف ۱۰ و ۴۰ هرتز است در روش تبدیل موجک پیوسته به خوبی از هم تفکیک داده شده‌اند در صورتیکه در تبدیل فوریه زمان کوتاه به دلیل اصل عدم قطعیت قدرت تفکیک محدودی ایجاد خواهد شد.

دوم ترکیبی از دو رخداد با فرکانس مرکزی مختلف در یک زمان یکسان است. رخداد سوم از دو رسید تداخلی با فرکانس یکسان تشکیل شده است. رخداد چهارم از چهار رسید مجزا در دو زمان مختلف تشکیل شده است و رخداد آخر شامل ۳ رسید با فرکانس یکسان که در محور زمان به فاصله نزدیک قرار گرفته‌اند. تحلیل طیفی لحظه‌ای طیف دامنه را برای هر نمونه زمانی از یک ردلرزه ایجاد می‌کند. به این نکته توجه شود که دوام زمانی طیف وابسته به دوام زمانی موجک در حوزه زمان است. در روش تبدیل فوریه زمان کوتاه به دلیل استفاده از پنجره زمانی برای تحلیل طیفی و وجود اصل عدم قطعیت‌هایزبرگ، قدرت تفکیک قائم محدود خواهد بود و در نتیجه انرژی طیف در طول پنجره زمانی توزیع می‌شود و سبب قدرت تفکیک محدود خواهد شد (شکل ۴-ب). مشکل دیگر تبدیل فوریه زمان کوتاه این است که گوشه‌های جانبی رسیده‌ها به صورت وقایع مجزا خود را در تحلیل زمان - فرکانس نشان خواهند داد بنابراین انتخاب پنجره‌های بلند تعیین ویژگی‌های طیفی وقایع مجزا را دچار مشکل می‌کند. در نتیجه همانطور که در شکل ۴-ب مشاهده می‌شود رسیده‌های چندگانه موجود در یک پنجره زمانی بلند، در تحلیل زمان - فرکانس قابلیت تفکیک زمانی ندارند.

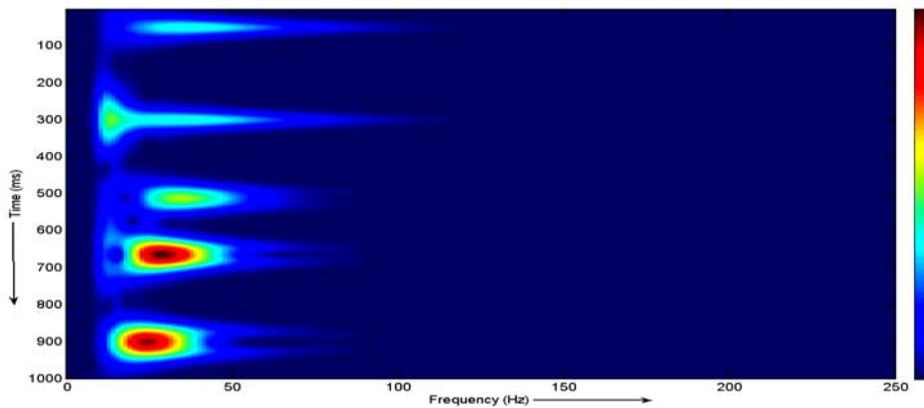
در تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته ردلرزه به موجک‌های تشکیل دهنده آن تجزیه می‌شود. اصل روی هم قرار گرفتن بیان می‌کند که طیف فرکانس یک ردلرزه از مجموع



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴. تحلیل طیفی لحظه‌ای ردلرزه مصنوعی به روش تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک پیوسته: (الف) ردلرزه مصنوعی با زمان رسیدهای کوتاه و موجک‌های تشکیل دهنده آن (کد رنگ نشان دهنده فرکانس مرکزی موجک است)، (ب) تبدیل فوریه زمان کوتاه با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه و (ج) تبدیل موجک پیوسته بدون تنظیم طول پنجره بهینه. دامنه‌ها به یک نرمالیز شده است و رنگ قرمز نشان دهنده دامنه بیشینه و رنگ آبی نشان دهنده دامنه صفر است (قانع، ۱۳۸۸).

سایه‌های فرکانس پایین

تنر و همکاران (۱۹۷۹) آنومالی‌های فرکانس پایین را برای بازتاب‌های زیر مخازن گازی و هم‌چگال آن در مقاطع لرزه‌ای نشان دادند، در حالیکه هیچ توضیح قانع‌کننده‌ای برای توجیح این پدیده نداشتند. از آن زمان تاکنون تفسیرهایی بر مبنای شناسایی منطقه فرکانس پایین غیر عادی در زیر مخازن هیدروکربوری انجام گرفته است.

مکانیزم‌های ممکن جهت ایجاد آنومالی فرکانس پایین به دو دسته عوامل مرتبط با فرایند برانبارش و عوامل غیر مرتبط با فرایند برانبارش تقسیم می‌شوند (ابروم، ۲۰۰۴). مکانیزم‌های مرتبط با فرایند برانبارش با تاثیر گذاشتن بر روی فرکانس ظاهری آن را کاهش می‌دهند که از آن جمله می‌توان به دو عامل برانبارش نادرست که باعث می‌شود بطور گزینشی فرکانس‌های بالاتر بیشتر تقلیل یابند و هم‌چنین کشیدگی در اثر تصحیح برونراند نرمال اشاره کرد (بارنز، ۱۹۹۲) که در عامل دوم ردلرزه‌های با فاصله چشمه - گیرنده دورتر بیشتر تحت تاثیر کشیدگی قرار می‌گیرند و سبب افت غیر عادی فرکانسی در فواصل چشمه - گیرنده دورتر می‌شود. اگر مکانیزم‌ها مرتبط با فرایند برانبارش باشند، می‌توان انتظار داشت که آنومالی‌های فرکانس پایین در مقاطع چشمه - گیرنده مشترک در اثر عوامل پردازشی موجود نباشد. عوامل غیر مرتبط با فرایند برانبارش، حتی مقاطع چشمه - گیرنده مشترک را هم تحت تاثیر قرار می‌دهند و می‌توانند به هر یک

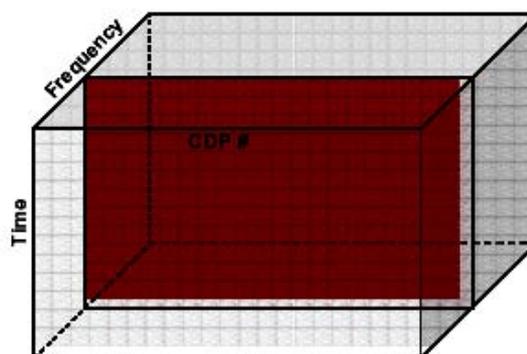
از عوامل میرایی ذاتی، بازتاب‌های چندگانه دامنه بالا از بالا و پایین مخازن گازی و یا به عوامل پردازشی داده‌ها مربوط گردد (ابروم، ۲۰۰۴). بر طبق مطالعات کاستاگنا و همکاران (۲۰۰۳) این سایه‌ها اغلب به انرژی اضافی ایجاد شده در فرکانس‌های پایین مرتبط می‌شود تا میرایی ترجیحی فرکانس‌های بالاتر. یک تفسیر ممکن دیگر این است که این سایه‌ها امواج برشی تبدیل شده محلی هستند که اساساً به عنوان امواج اولیه سیر می‌کنند و بنابراین اندکی بعد از بازتاب‌های اولیه اصلی دریافت می‌شوند. سایه‌های کم فرکانس در محل مخزن هیدروکربور یا زیر آن نیز پدیده آشنایی است. در ادامه به مطالعه و شناسایی سایه‌های فرکانس پایین وابسته به مخازن هیدروکربوری با استفاده از نشانگر مقطع لرزه‌ای تک فرکانس و نشانگرهای طیفی لحظه‌ای پرداخته می‌شود.

مقطع لرزه‌ای تک فرکانس

روش‌های تحلیل طیفی لحظه‌ای یک ردلرزه یک بعدی را به صفحه زمان - فرکانس می‌برد. بنابراین یک ردلرزه یک بعدی یک مجموعه داده دوبعدی تولید می‌کند که یک محور فرکانس به آن اضافه شده است و یک مقطع لرزه‌ای دوبعدی یک حجم داده سه بعدی تولید می‌کند که محور سوم آن فرکانس تا حد نایکوست است. هر مقطع تک فرکانس از این حجم داده سه بعدی مقطع

پیوسته بطور مستقل مورد بررسی قرار می‌گیرد و تفاوت‌های این دو روش تحلیل طیفی لحظه‌ای واضح‌تر می‌شود. همانطور که بیان شد، تبدیل فوریه زمان کوتاه طیف نماهای متفاوتی بسته به طول پنجره انتخابی تولید می‌کند. در ادامه طیف نماهای به طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه مورد بررسی قرار می‌گیرد زیرا این طول پنجره در این مطالعه بهترین نتایج را برای شناسایی سایه‌های فرکانس پایین به روش تبدیل فوریه زمان کوتاه بدست داده است. شکل ۷ و شکل ۸ مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس (۱۵ و ۳۰ هرتز) حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه را نشان می‌دهند. با توجه به نتایج این تحقیق و مطالعات سان و همکاران (۲۰۰۲) و سینها (۲۰۰۲) مشکل کار با مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه این است که به دلیل عدم قدرت تفکیک بهینه در این نوع تحلیل طیفی، سایه‌های فرکانس پایین در نواحی دیگر غیر از مخزن نیز پدیدار می‌شوند (شکل ۷). شکل ۹ مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته در فرکانس ۱۵ هرتز را نشان می‌دهد. وجود سایه‌های کم فرکانس در این شکل به وضوح مشهود است. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود در مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل موجک پیوسته در فرکانس ۳۰ هرتز سایه فرکانس پایین ناپدید شده است و افق‌های دیگر مقطع لرزه‌ای ظاهر می‌شوند. شکل ۱۱ مقطع لرزه‌ای واقعی برانبارش شده از یکی از

لرزه‌ای تک فرکانس نامیده می‌شود. طرحواره حجم داده سه بعدی با یک محور فرکانس در شکل ۵ نشان داده شده است. هر صفحه عمود بر محور فرکانس و موازی با صفحه شماره نقطه عمقی مشترک و زمان یک مقطع لرزه‌ای تک فرکانس است.



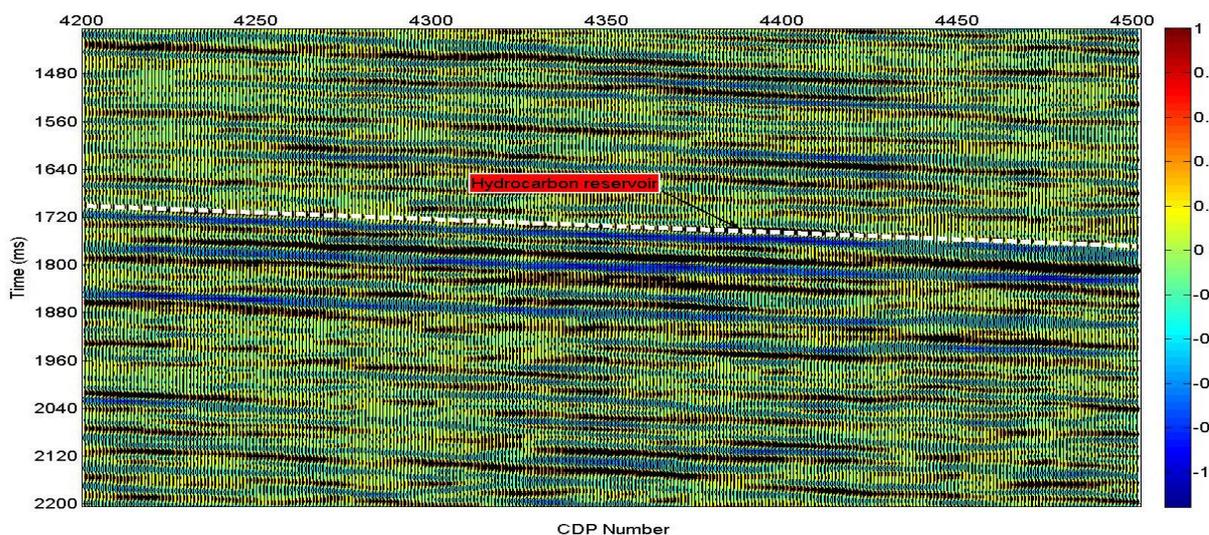
شکل ۵- طرحواره مقطع لرزه‌ای تک فرکانس (رنگ قرمز) در حجم سه بعدی داده‌های لرزه‌ای حاصل از تحلیل زمان - فرکانس (ذبیحی، ۱۳۸۴)

مقایسه مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس متفاوت می‌تواند برای آشکارسازی سایه‌های فرکانس پایین که توسط مخازن هیدروکربور ایجاد شده‌اند بکار رود. به دلیل حجم محاسبات بالا در تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش TFCWT در ابتدا قسمتی از یک مقطع لرزه‌ای برانبارش شده از یکی از میداین گازی جنوب ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۶). در مرحله بعد یک خط لرزه‌نگاری از یکی از میداین گازی جنوب ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد و به شناسایی سایه‌های فرکانس پایین پرداخته می‌شود.

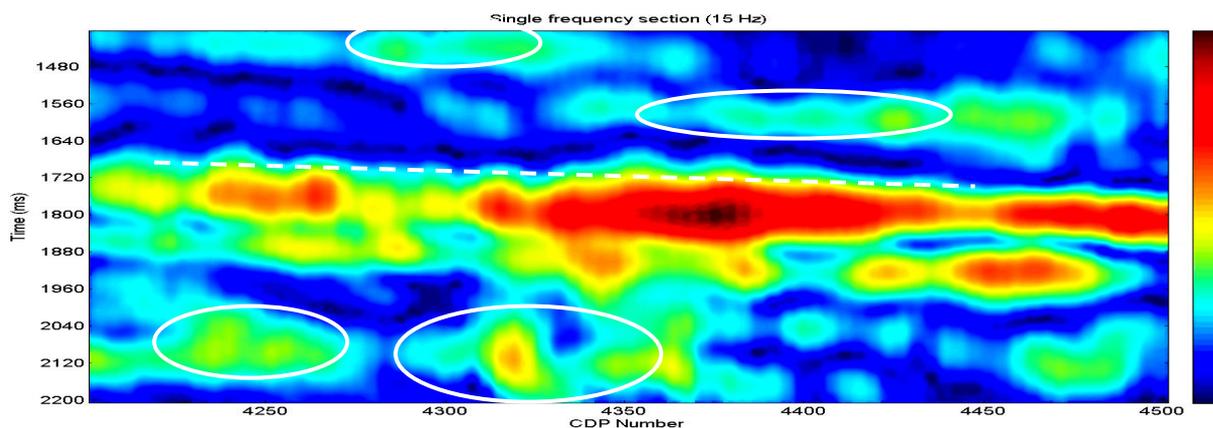
شکل ۶ قسمتی از یک مقطع لرزه‌ای واقعی برانبارش شده از یکی از میداین گازی جنوب ایران را نشان می‌دهد. در ادامه مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک

لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته در فرکانس‌های ۱۵ و ۳۰ هرتز در شکل ۱۴ و شکل ۱۵ نمایش داده شده‌اند. وجود سایه فرکانس پایین ناشی از مخزن گازی توسط مستطیل سرخ رنگ مرتبط با سازند کنگان و بیضی سفید رنگ مرتبط با افق گازی دیگر در شکل ۱۴ نشان داده شده است. شکل ۱۵ مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته در فرکانس ۳۰ هرتز را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که با افزایش فرکانس افق‌های دیگر مقطع لرزه‌ای ظاهر می‌شوند و سایه فرکانس پایین ناپدید شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود به ازای فرکانس ۳۰ هرتز لایه‌های نزدیک به سطح نیز مشخص شده‌اند، علت آن پدیده جذب فرکانس-های بالا با زمین فرکانس است و این امر حاکی از حضور نداشتن فرکانس‌های بالا در زمان‌های بزرگ‌تر است.

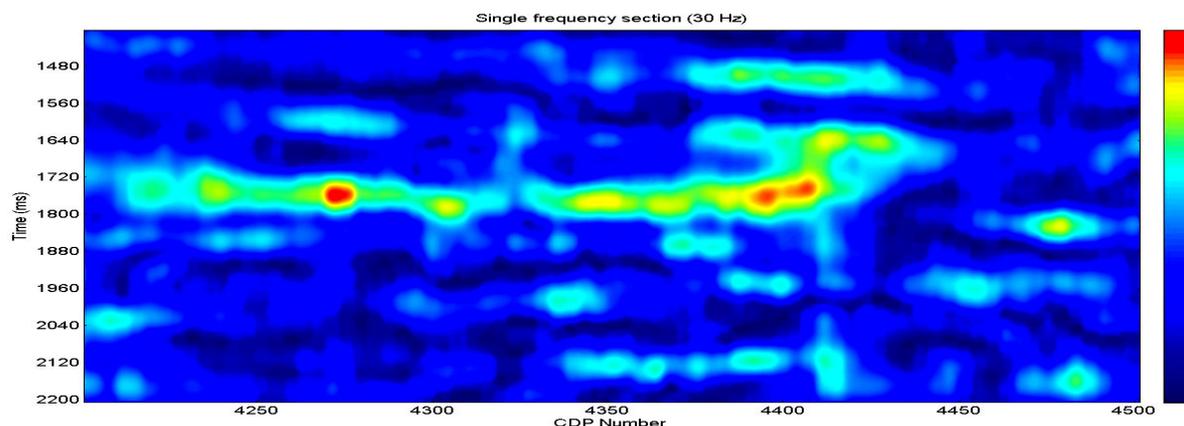
میادین گازی جنوب ایران را نشان می‌دهد. براساس اطلاعات قبلی و حاصل از مطالعات زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی صورت گرفته سازند کنگان در افق زمانی ۱۶۲۸ میلی ثانیه قرار دارد. افق گازی دیگری نیز در زمان پایین‌تر در حوالی ردلرزه شماره ۱۲۰۰ گزارش شده است. شکل ۱۲ مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه در فرکانس ۱۵ هرتز با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه را نشان می‌دهد. به دلیل عدم قدرت تفکیک بهینه در این روش علاوه بر سایه فرکانس پایین وابسته به مخزن گازی آنومالی‌های دیگری نیز در شکل مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود این سایه فرکانس پایین در مقطع تک فرکانس ۳۰ هرتز ناپدید شده است و افق‌های دیگر مقطع لرزه‌ای ظاهر شده‌اند ولی به دلیل عدم قدرت تفکیک بهینه از تفکیک بالایی برخوردار نیست. مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی



شکل ۶- قسمتی از یک مقطع لرزه‌ای واقعی از یکی از میادین گازی جنوب ایران. افق گازی با خط چین سفید رنگ مشخص شده است. کد رنگ نشان دهنده مقدار ضرایب بازتاب است (قانع، ۱۳۸۸)



شکل ۷- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه شکل ۶ در فرکانس ۱۵ هرتز با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه. افق گازی با خط چین سفید رنگ مشخص شده است. دیده می‌شود که آنومالی‌های کم فرکانس در نواحی غیر از مخزن نیز ظاهر شده‌اند (بیضی‌های سفید رنگ) (قانع، ۱۳۸۸)



شکل ۸- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه شکل ۶ در فرکانس ۳۰ هرتز با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه. دیده می‌شود که سایه کم فرکانس ناپدید شده است (قانع، ۱۳۸۸).

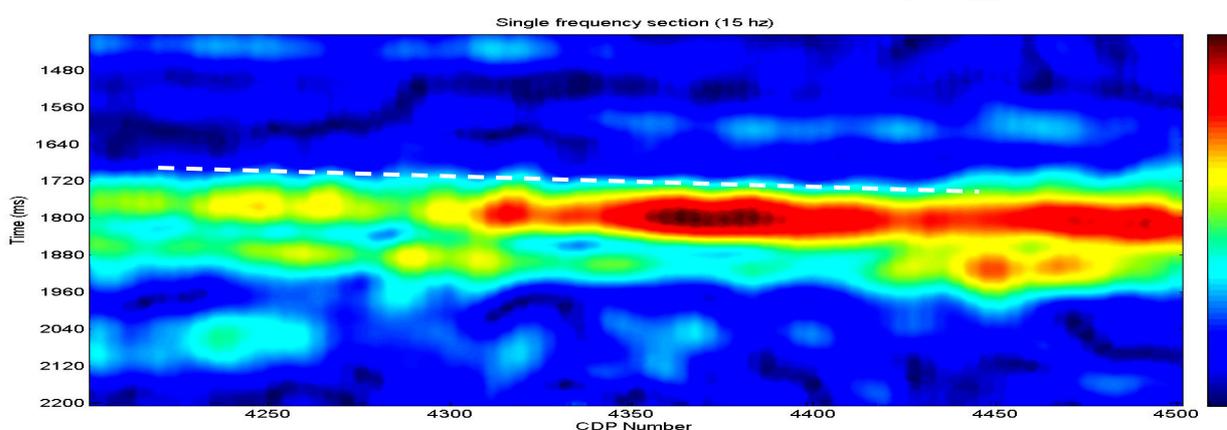
نشانه‌های طیفی لحظه‌ای

هر نوع اندازه‌گیری بر اساس هندسه، دینامیک و یا خواص آماری داده‌های لرزه‌ای، نشانه‌گر لرزه‌ای نامیده می‌شود (چن و سیدنی، ۱۹۹۷). نشانه‌گرهای لرزه‌ای ابزار مناسبی برای درک فیزیک سنگ و زمین شناسی از داده‌های لرزه‌ای هستند. هرچند مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس اطلاعات خوبی برای آشکارسازی مخازن هیدروکربور بدست می‌دهند اما

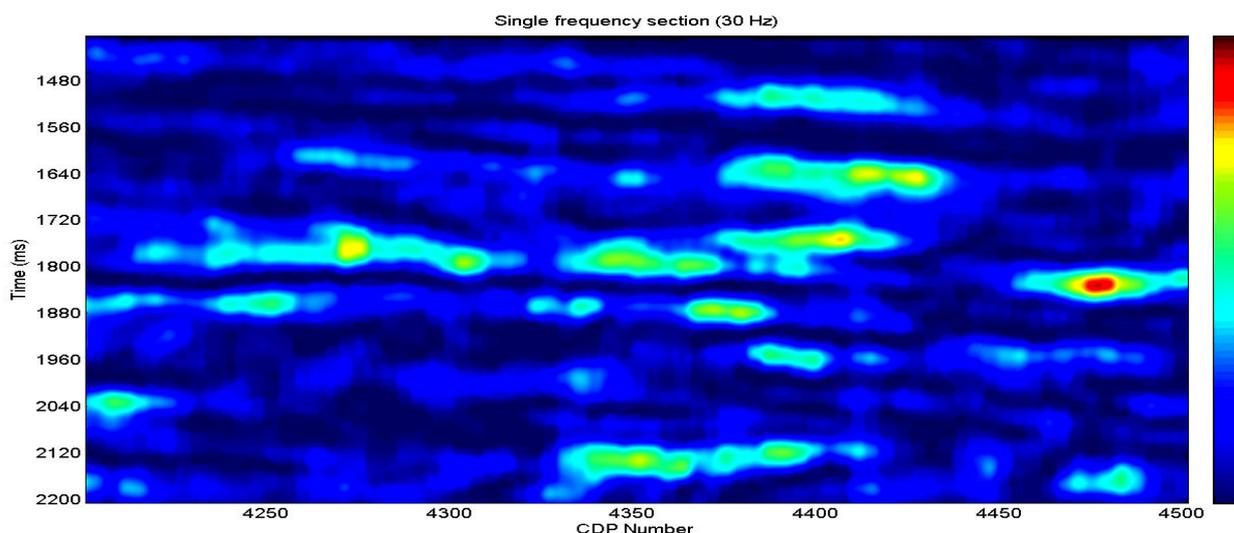
با توجه به مطالعه قبلی دیده شد که تفسیر تک فرکانسی نیازمند بررسی حجم زیادی از داده‌هاست. تحلیل زمان - فرکانس یک مقطع لرزه‌ای چندین مقطع لرزه‌ای تک فرکانس تولید می‌کند و در نهایت حجم عظیمی از داده‌ها ایجاد خواهد شد. چنین رویکردی چندان جالب نیست و در برخی موارد در بدست آوردن شکل کلی رفتار فرکانسی داده‌ها ممکن است مؤثر واقع نشود. همچنین بدست

قابل دستیابی است. در لرزه شناسی بازتابی، غالباً این نوع توزیع فرکانس با پارامترهای میانگین از جمله فرکانس مرکزی، پهنای باند طیفی و فرکانس غالب توضیح داده می‌شود. شکل ۱۶ این اندازه گیری‌های طیفی را با توجه به طیف توان موجک ریکر ۳۰ هرتزی نمایش می‌دهد.

آوردن اطلاعات در یک فرکانس خاص همزمان با از دست دادن اطلاعات در دیگر افق‌ها خواهد بود. در چنین مواردی پارامترهای میانگین طیف زمان - فرکانس محاسبه می‌شوند که موضوع بحث این بخش است. نشانگرهای طیفی لحظه‌ای از مقاله بارنز (۱۹۹۳) اقتباس شده است. توزیع بسامد در یک سیگنال لرزه‌ای با استفاده از طیف توان فوریه



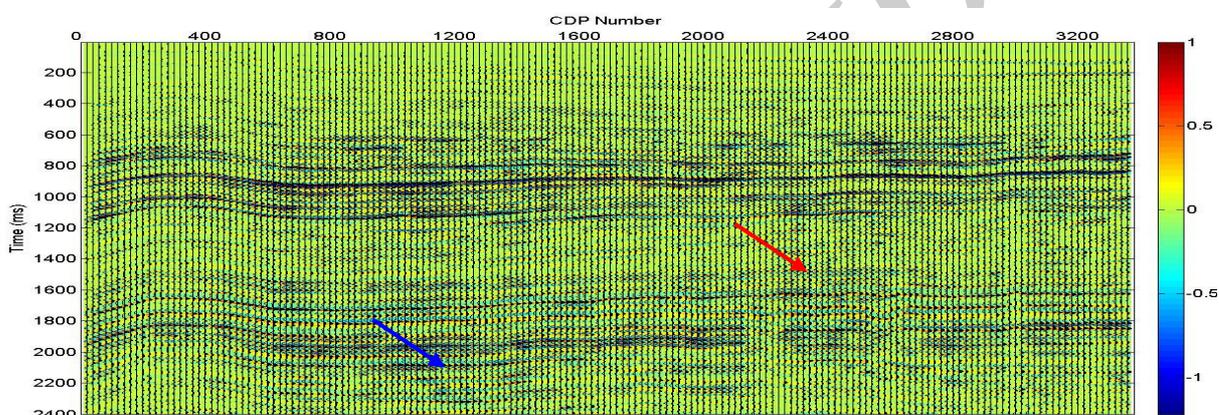
شکل ۹- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته شکل ۶ در فرکانس ۱۵ هرتز. افق گازی با خط چین سفید رنگ مشخص شده است. سایه فرکانس پایین ناشی از مخزن به خوبی نشان داده شده است (آنومالی‌های دامنه بالا) (قانع، ۱۳۸۸).



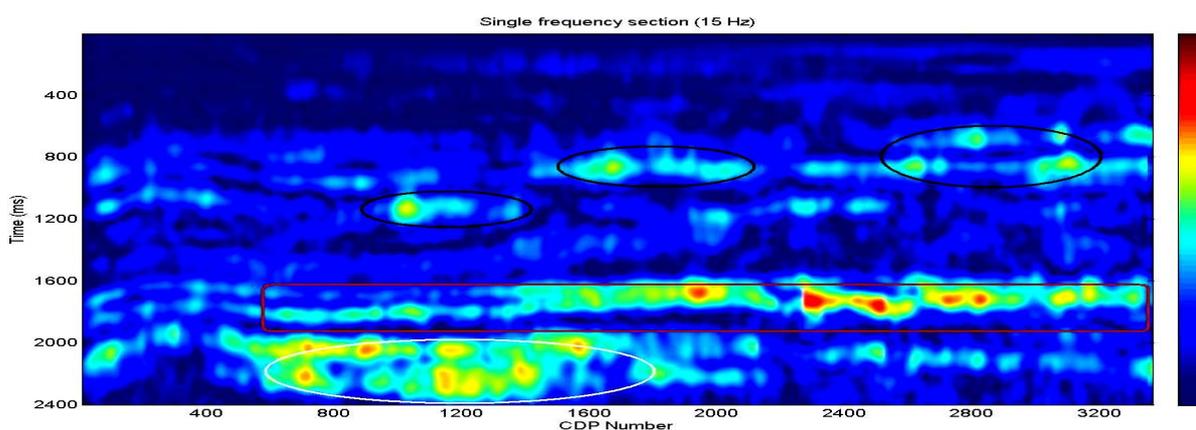
شکل ۱۰- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای شکل ۶ به روش تبدیل موجک پیوسته در فرکانس ۳۰ هرتز. دیده می‌شود که با افزایش فرکانس افق‌های دیگر ظاهر می‌شوند و سایه کم فرکانس ناپدید شده است. (قانع، ۱۳۸۸).

از دیدگاه تفسیر، نشانگرهای طیفی متغیر با زمان از جمله نشانگرهای طیفی لحظه‌ای بسیار مفیدتر از نشانگرهای طیفی میانگین هستند. نشانگرهای طیفی لحظه‌ای از طیف توان لحظه‌ای به جای طیف توان فوریه محاسبه می‌شوند. در بخش ۲ روش‌های محاسبه طیف توان لحظه‌ای یا نقشه‌های زمان - فرکانس ارائه شد. یک روش تبدیل فوریه زمان کوتاه بود و روش دیگر، که یک روش جدید در

محاسبه طیف زمان - فرکانس است، تبدیل موجک پیوسته نام داشت که *TFCWT* را نتیجه می‌داد. از آنجا که تبدیل موجک قدرت تفکیک زمان - فرکانس بهینه را در کل صفحه زمان - فرکانس نتیجه می‌داد، نشانگرهای طیفی لحظه‌ای که از میانگین گیری *TFCWT* بدست می‌آیند نمایش بهتری از



شکل ۱۱- مقطع لرزه‌ای واقعی با ۳۳۵۰ ردلرزه و طول زمانی ۲/۴ ثانیه از یکی از میدین گازی جنوب ایران. وجود مخزن گازی (سازند کنگان) در افق زمانی ۱/۶۲۸ ثانیه گزارش شده است (بردار سرخ رنگ). افق گازی دیگری در زمان‌های بالاتر حوالی ردلرزه شماره ۱۲۰۰ گزارش شده است (بردار آبی رنگ). کد رنگ نشان دهنده ضرایب بازتاب است (قانع، ۱۳۸۸).

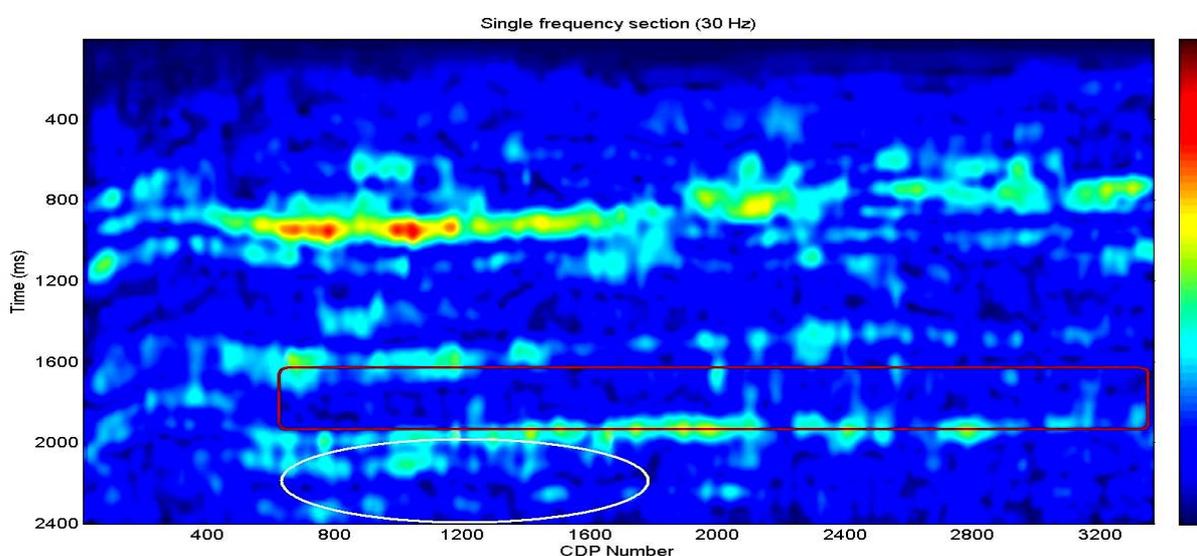


شکل ۱۲- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه شکل ۱۱ در فرکانس ۱۵ هرتز با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه. سایه‌های فرکانس پایین مرتبط با مخزن گازی در افق زمانی ۱/۶۲۸ با مستطیل سرخ رنگ و مخزن گازی در حوالی ردلرزه شماره ۱۲۰۰ با بیضی سفید رنگ نشان داده شده است. دیده می‌شود که آنومالی‌های کم فرکانس در نواحی غیر از مخزن نیز ظاهر شده‌اند (بیضی‌های سیاه رنگ) (قانع، ۱۳۸۸)

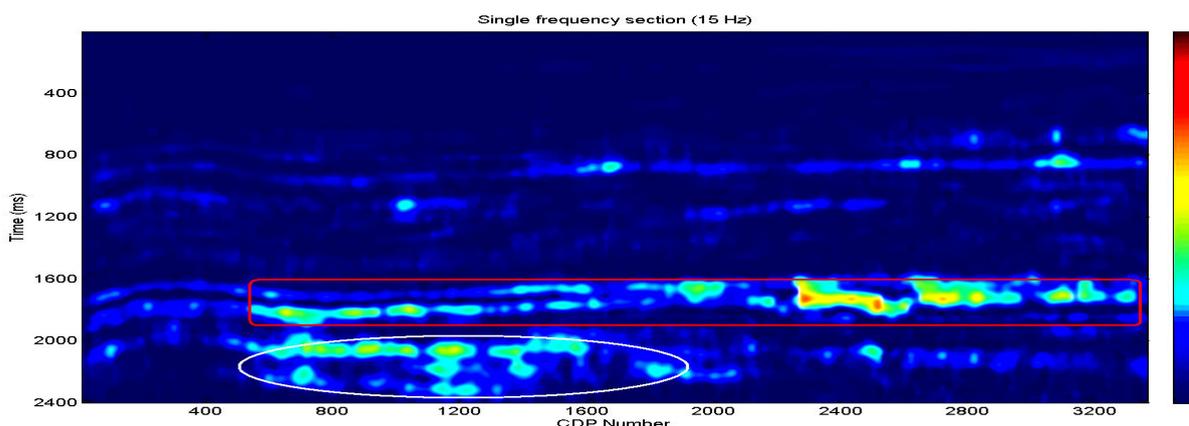
$$f_c(\tau) = \frac{\int_0^{\infty} |E(\tau, f)|^2 df}{\int_0^{\infty} |E(\tau, f)|^2 df} \quad (15)$$

$$f_b^2(\tau) = \frac{\int_0^{\infty} (f - f_c(\tau))^2 |E(\tau, f)|^2 df}{\int_0^{\infty} |E(\tau, f)|^2 df} \quad (16)$$

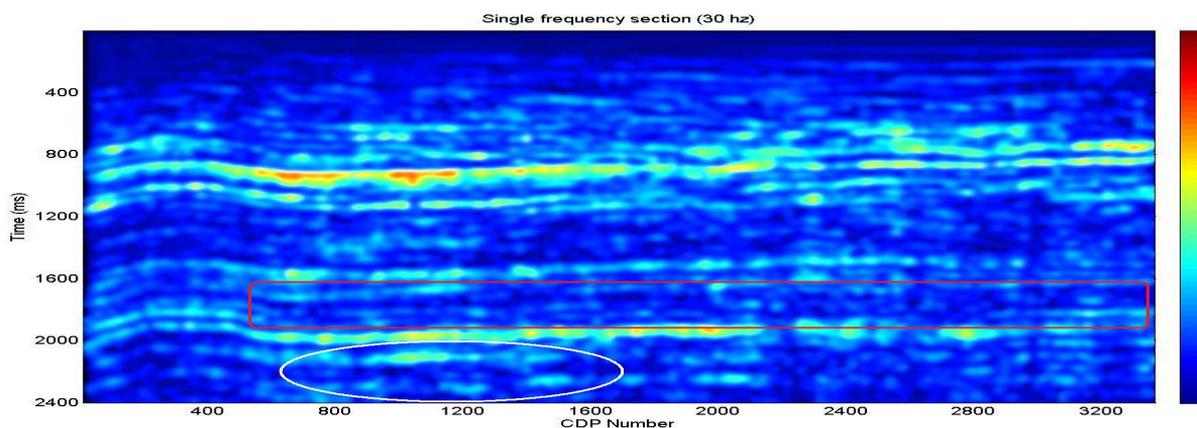
سیگنال لرزه‌ای نسبت به میانگین‌گیری طیف نما بدست می‌دهند که مبنای کار در این مطالعه به شمار می‌رود. بنابراین فرکانس مرکزی لحظه‌ای، پهنای باند طیفی لحظه‌ای و فرکانس غالب لحظه‌ای در حوزه زمان - فرکانس را می‌توان به صورت روابط (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) تعریف کرد:



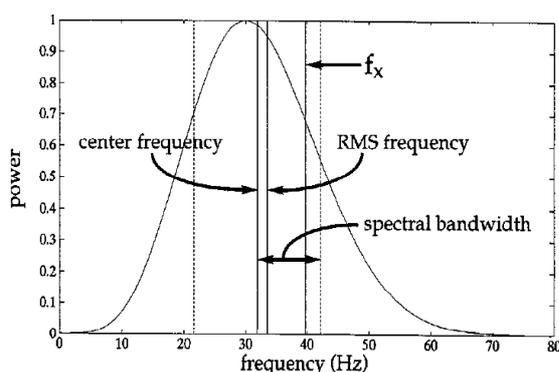
شکل ۱۳- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل فوریه زمان کوتاه شکل ۱۱ در فرکانس ۳۰ هرتز با طول پنجره ۲۵۰ میلی ثانیه. دیده می‌شود که در مقایسه با شکل ۱۲ سایه‌های کم فرکانس ناپدید شده است. افق‌های دیگر مقطع لرزه‌ای قدرت تفکیک مناسبی در این طول پنجره ندارند (قانع، ۱۳۸۸).



شکل ۱۴- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته در فرکانس ۱۵ هرتز. سایه فرکانس پایین ناشی از مخزن گازی (سازند کنگان) توسط مستطیل سرخ رنگ نشان داده شده است. سایه فرکانس پایین دیگر ناشی از افق گازی دیگری در حوالی ردلرزه شماره ۱۲۰۰ است که با بیضی سفید رنگ نشان داده شده است (قانع، ۱۳۸۸).



شکل ۱۵- مقطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای شکل ۱۱ به روش تبدیل موجک پیوسته در فرکانس ۳۰ هرتز. دیده می‌شود که با افزایش فرکانس افق‌های دیگر مقطع لرزه‌ای ظاهر می‌شوند و سایه‌های فرکانس پایین ناشی از مخازن گازی (مستطیل سرخ رنگ و بیضی سفید رنگ) ناپدید شده است (قانع، ۱۳۸۸).



شکل ۱۶- طیف توان موجک ریگر ۳۰ هرتزی و مقایسه فرکانس مرکزی، پهنای باند و فرکانس جذر میانگین مربعی. دو خط نقطه چین فواصل یکسانی از فرکانس مرکزی دارند و فاصله بین آنها دو برابر پهنای باند طیفی است (بارنز، ۱۹۹۳).

در این مطالعه برای شناسایی سایه‌های فرکانس پایین وابسته به هیدروکربورها نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای به کار گرفته شده است (برای مشاهده نشانگرهای دیگر به قانع ۱۳۸۸ رجوع شود). سایه‌های فرکانس پایین مربوط به مقاطع لرزه‌ای واقعی، در بخش قبل به خوبی توسط نشانگر لرزه‌ای تک فرکانس آشکار شد. در ادامه

$$f_r^2(\tau) = \frac{\int_0^{\infty} f^2 |E(\tau, f)|^2 df}{\int_0^{\infty} |E(\tau, f)|^2 df} \quad (17)$$

که در آن $f_c(\tau)$ فرکانس مرکزی لحظه‌ای، $f_b(\tau)$ پهنای باند طیفی لحظه‌ای، $f_r(\tau)$ فرکانس غالب لحظه‌ای و $E(\tau, f)$ نقشه زمان - فرکانس حاصل از تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته است. معادلات فوق از مقاله بارنز (۱۹۹۳) اقتباس شده است. پهنای باند طیفی لحظه‌ای و فرکانس مرکزی لحظه‌ای کاملاً مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند، در حالیکه فرکانس غالب لحظه‌ای یک تابع از این دو مورد است و می‌تواند جانشین هر یک از این دو مورد شود. مجموع این نشانگرها برای تحلیل با جزئیات داده‌های لرزه‌ای بازتابی به کار گرفته می‌شوند.

$$f_c = \frac{k_h}{s} \quad (18)$$

که در آن f_c فرکانس مرکزی، s مقیاس و k_h ثابت وابسته به موجک است. فرکانس مرکزی را می‌توان بیانگر فرکانس f در هر مقیاس دانست. با دیفرانسیل‌گیری و جایگزینی f_c با f ، می‌توان نوشت:

$$df = -\frac{k_h}{s^2} ds \quad (19)$$

با تغییر فرکانس به مقیاس در روابط (۱۵)، (۱۶)

و (۱۷) و جایگذاری $k_h = 1$ ، می‌توان نوشت:

$$\tilde{f}_c(\tau) = \frac{\int_0^\infty \frac{1}{s^3} |CWT(\tau, s)|^2 ds}{\int_0^\infty \frac{1}{s^2} |CWT(\tau, s)|^2 ds} \quad (20)$$

$$\tilde{f}_b^2(\tau) = \frac{\int_0^\infty \frac{(1-sf_c)^2}{a^4} |CWT(\tau, s)|^2 ds}{\int_0^\infty \frac{1}{s^2} |CWT(\tau, s)|^2 ds} \quad (21)$$

$$\tilde{f}_r^2(\tau) = \frac{\int_0^\infty \frac{1}{s^4} |CWT(\tau, s)|^2 ds}{\int_0^\infty \frac{1}{s^2} |CWT(\tau, s)|^2 ds} \quad (22)$$

که در آن \tilde{f}_c فرکانس مرکزی لحظه‌ای، \tilde{f}_b پهنای باند طیفی لحظه‌ای، \tilde{f}_r فرکانس غالب لحظه‌ای و $CWT(\tau, s)$ نقشه زمان - مقیاس حاصل از تبدیل موجک پیوسته است (سینها و همکاران، ۲۰۰۵b). با این کار یک مرحله از محاسبات که تبدیل مقیاس به فرکانس بود حذف شده و نشانگرهای طیفی لحظه‌ای مستقیماً از مقیاس بدست می‌آیند. نشانگرهایی که بر اساس مقیاس‌نما هستند از سرعت محاسبه بالاتری برخوردار هستند. در این

نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای بر روی همان داده‌ها محاسبه شده که نتایج بسیار چشمگیری دارد. شکل ۱۷ نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای حاصل از نقشه زمان - فرکانس تبدیل موجک پیوسته مقطع لرزه‌ای شکل ۶ را نشان می‌دهد. سایه فرکانس پایین به خوبی خود را در نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای نشان می‌دهد. در این شکل خط چین سفید نشان دهنده سطح افق مخزن هیدروکربوری است. شکل ۱۸ نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای حاصل از نقشه زمان - فرکانس تبدیل موجک پیوسته مقطع لرزه‌ای شکل ۱۱ را نشان می‌دهد. افق تفسیر شده، که یک مخزن گازی است در نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای با مستطیل سرخ رنگ مشخص شده است. بیضی سفید رنگ افق گازی دیگری را نشان می‌دهد که گسترش زیادی نداشته و در حوالی نقطه عمقی مشترک ۱۲۰۰ گزارش شده است.

در این مطالعه از موجک مورلت برای تبدیل موجک پیوسته استفاده شد. در موجک مورلت مقیاس با فرکانس مرکزی موجک نسبت عکس دارد (سینها و همکاران، ۲۰۰۵b)، بنابراین قدم بعدی محاسبه نشانگرهای مشابهی از مقیاس‌نما است.

نمایش زمان - مقیاس یک سیگنال یک بعدی مقیاس‌نما نام دارد. هر مقیاس نمایش دهنده یک باند فرکانسی است و پهنای باند با تغییر مقیاس تغییر می‌کند. برای یک موجک متقارن نظیر موجک مورلت، فرکانس مرکزی موجک در هر مقیاس رابطه معکوس با مقیاس دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت (سینها و همکاران، ۲۰۰۵b)

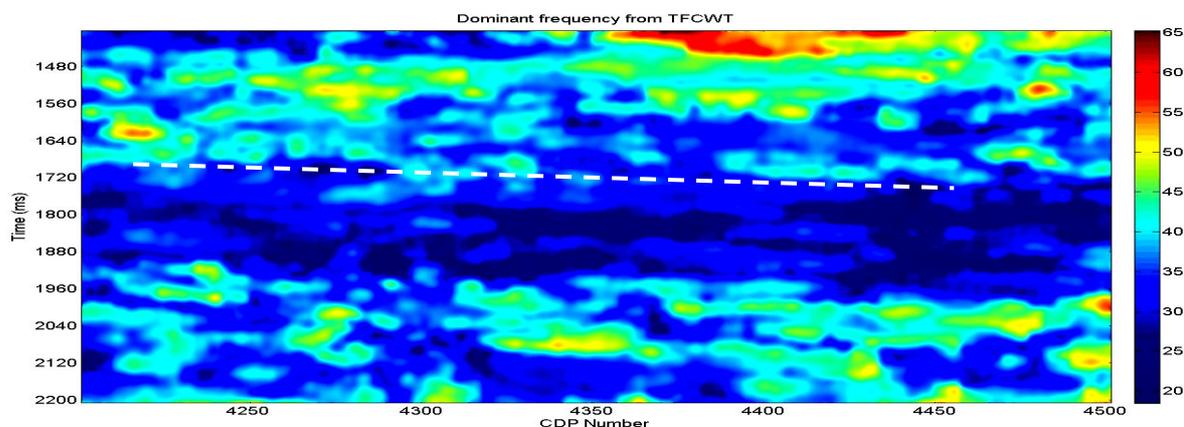
نیاز اساسی است با استفاده از الگوریتم تدوین شده بر اساس تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته، در این تحقیق از این ویژگی استفاده شد و سایه‌های فرکانس پایین وابسته به هیدروکربورها با نشانگرهای طیفی لحظه‌ای و نشانگر تک فرکانس آشکار شد. سایه‌های فرکانس پایین مربوط به مخازن هیدروکربوری به خوبی خود را در مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس نشان دادند که می‌توان به عنوان نشانگر مستقیم هیدروکربورها در نظر گرفت.

برای افزایش سرعت محاسبات نشانگرهای طیفی لحظه‌ای با استفاده از مقیاس نما ارائه شد که سرعت محاسبات را چند برابر افزایش داد. بنابراین نشانگرهای طیفی لحظه‌ای با استفاده از طیف توان لحظه‌ای می‌تواند ابزار مفیدی برای آشکارسازی مخازن در مقاطع لرزه‌ای باشند.

مطالعه نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای بر روی داده‌ها اعمال می‌شود (شکل ۱۹ و شکل ۲۰). مقایسه این نشانگرها با نشانگرهایی که از نقشه زمان - فرکانس حاصل از تبدیل موجک پیوسته، بدست می‌آید (شکل ۱۷ و شکل ۱۸) نشان می‌دهد که این نشانگر نرم‌تر شده است و اختلاف در قدرت تفکیک زمان - فرکانس کمینه است. چنین چیزی طبیعی است چرا که مقیاس نه یک تک فرکانس بلکه یک بانده فرکانسی است.

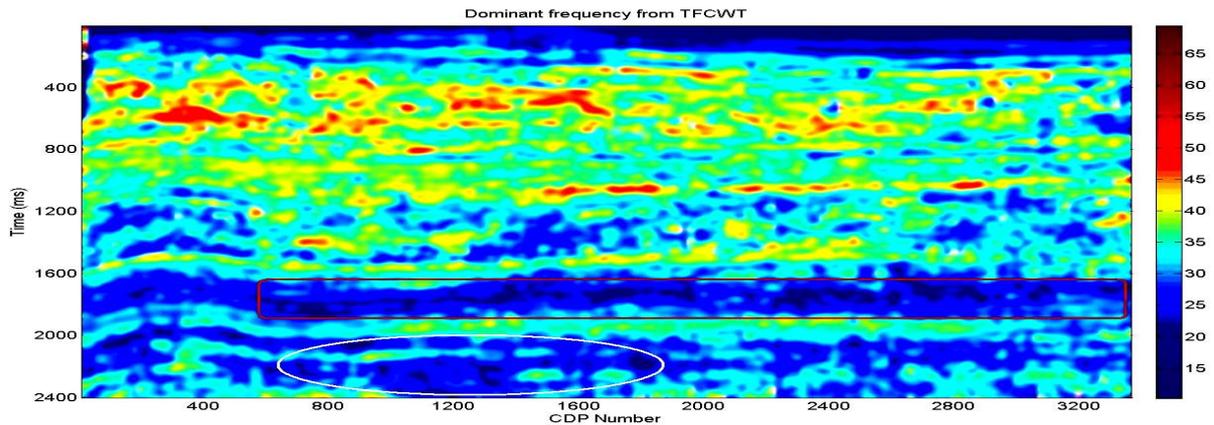
نتیجه‌گیری

در لرزه‌نگاری تحلیل درست از نشانگرها نقش مهمی را در بدست آوردن اطلاعات زیرسطحی بازی می‌کند. همانطور که نتایج این بررسی نشان داد با تحلیل طیفی لحظه‌ای به روش تبدیل موجک پیوسته تا حدی مشکلات تبدیل فوریه زمان کوتاه برطرف شد. از آنجا که در لرزه‌شناسی اکتشافی در محدوده فرکانس‌های پایین تفکیک فرکانس‌ها یک

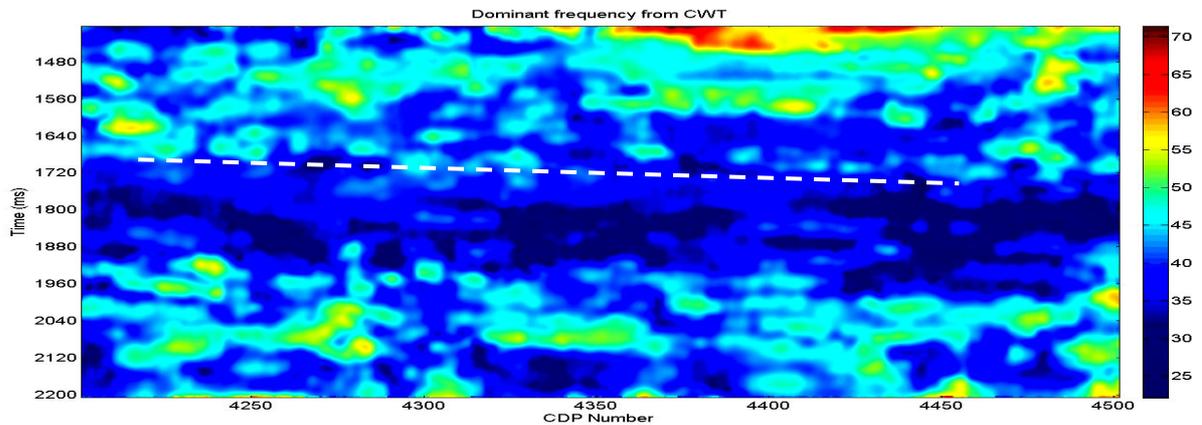


شکل ۱۷- نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای حاصل از نقشه زمان - فرکانس تبدیل موجک پیوسته مقطع لرزه‌ای شکل ۶. سایه فرکانس پایین وابسته به مخزن هیدروکربوری به خوبی شناسایی شده است. خط چین سفید سطح افق مخزن گازی را نشان می‌دهد (قانع، ۱۳۸۸).

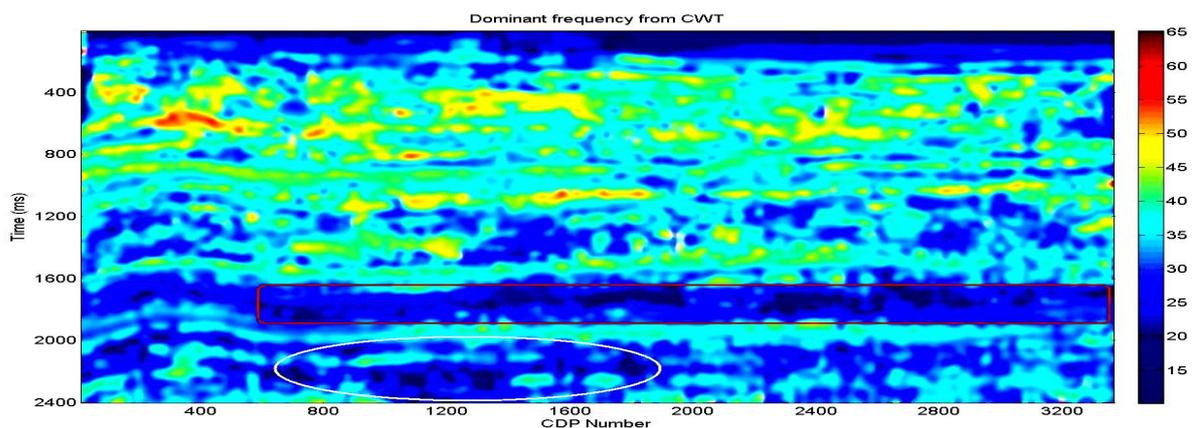
کاربرد تحلیل طیفی لحظه‌ای در شناسایی سایه‌های فرکانس پایین وابسته به هیدروکربورها



شکل ۱۸- فرکانس غالب لحظه‌ای حاصل از نقشه زمان - فرکانس تبدیل موجک پیوسته مقطع لرزه‌ای شکل ۱۱. وجود سایه‌های فرکانس پایین بخوبی شناسایی شده است. مستطیل سرخ رنگ، سایه فرکانس پایین مرتبط با افق گازی تفسیر شده (سازند کنگان) را نشان می‌دهد. بیضی سفید رنگ سایه فرکانس پایین مرتبط با افق گازی دیگر را نشان می‌دهد (قانع، ۱۳۸۸).



شکل ۱۹- نشانگر فرکانس مرکزی لحظه‌ای حاصل از مقیاس نمای تبدیل موجک پیوسته مقطع لرزه‌ای واقعی شکل ۶. اختلاف آن با شکل ۴-۱۰ در قدرت تفکیک زمان - فرکانس کمینه است. خط چین سفید سطح افق مخزن گازی را نشان می‌دهد (قانع، ۱۳۸۸).



شکل ۲۰- نشانگر فرکانس غالب لحظه‌ای حاصل از مقیاس نمای تبدیل موجک پیوسته مقطع لرزه‌ای شکل ۱۱. وجود سایه فرکانس پایین بخوبی توسط این نشانگر نشان داده شده است. مستطیل سرخ رنگ، سایه فرکانس پایین مرتبط با افق گازی تفسیر شده (سازند کنگان) را نشان می‌دهد. بیضی سفید رنگ سایه فرکانس پایین مرتبط با افق گازی دیگر (حوالی ردلرزه ۱۲۰۰) را نشان می‌دهد (قانع، ۱۳۸۸).

- Edge, 16, 459-469.
- Ebrom, D., 2004, The low-frequency gas shadow on seismic sections: The Leading Edge, 23, 772.
 - Mallat, S., 1999, A wavelet tour of signal processing: Academic Press.
 - Mertins, A., 1998, Signal analysis: Wavelets, filter banks, Time-frequency transforms and applications, John Wiley & Sons, West Sussex, England.
 - Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E., and Giard, D., 1982, Wave propagation and sampling theory: Geophysics, 47, 203-236.
 - Rioul, O., and Flandrin, P., 1992, Time-scale energy distributions: A general class extending wavelet transforms: IEEE T. Signal Proces., 40, 1746-1757.
 - Rioul, O., and Vetterli, M., 1991, Wavelets and signal processing: IEEE Signal Processing Magazine, 14-38.
 - Sinha, S., 2002, Time-frequency localization with wavelet transform and its application in seismic data analysis: Master's thesis, University of Oklahoma, OK.
 - Sinha, S., Routh, P.S., Anno, P.D., and Castagna, J.P., 2005a, Scale attributes from continuous wavelet transform: SEG, expanded abstracts, 779-781.
 - Sinha, S., Routh, P.S., Anno, P.D., and Castagna, J.P., 2005b, Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transforms: Geophysics, 70, 19-25.
 - Taner, M.T., and Sheriff, R.E., 1997, Application of amplitude, frequency and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon determination: AAPG Memoir, 26, 301-327.
 - Torrence, C., and Compo, G.P., 1998, A practical guide to wavelet analysis: Bulletin of American Meteorological Society, 79, 61-78.
 - Wang, Y., 2004, Q analysis on reflection seismic data: Geophysical Research Letters, 31. L17606.

تشکر و قدردانی

از آقایان مهندس نوروزی و مهندس کاظمینی در شرکت مهندسی و توسعه نفت به خاطر حمایت‌های بی دریغشان تشکر می‌شود.

منابع

- ذبیحی نائینی، ا.، و سیاهکوهی، ح.، ۱۳۸۴، نشانگر زمان - بسامد داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک پیوسته، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۴، ۱۴-۱.
- قانع عزآبادی، م.، ۱۳۸۸، کاربرد تحلیل طیفی لحظه‌ای در شناسایی سایه‌های فرکانس پایین وابسته به هیدروکربورها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- Allen, R.L., and Mills, D.W., 2004, Signal analysis: time, frequency, scale and structure: Interscience [Hoboken], IEEE Press.
- Barnes, A.E., 1992, Another look at NMO stretch: Geophysics, 57, 749-751.
- Barnes, A.E., 1993, Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency with application to seismic reflection data: Geophysics, 58, 419-428.
- 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.
- Chakraborty, A., and Okaya, D., 1995, Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods: Geophysics, 60, 1906-1916.
- Chen, Q., and Sidney, S., 1997, Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring: The Leading