

کاربرد تبدیل موجک پیوسته در تشخیص لایه های نازک

نرجس زهرابی¹ و دکتر عبدالرحیم جواهریان²

چکیده

تبدیل موجک پیوسته (CWT, Continuous Wavelet Transform) ، یکی از روشهای تجزیه طیفی برای تحلیل سیگنال ناپایدار به منظور دست یافتن به قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی بهتر سیگنال است. در میان روشهای تجزیه طیفی، اولین روش تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT, Short Time Fourier Transform) است، در این روش قدرت تفکیک زمان-فرکانس از طریق انتخاب طول پنجره ثابت محدود می شود. در عوض روش تبدیل موجک پیوسته نیازی به انتخاب طول پنجره ندارد و نتایج زمان-فرکانس آن در حوزه زمان-فرکانس ثابت نمی باشند. CWT از بسط و انتقال موجک برای تولید یک نقشه زمان-مقیاس استفاده می کند. سپس برای رسیدن به قدرت تفکیک زمانی خوب در فرکانسهای بالا و قدرت تفکیک فرکانسی خوب در فرکانسهای پائین نقشه زمان-مقیاس حاصل از CWT به نقشه زمان-فرکانس (TFCWT, Time-Frequency Continuous Wavelet Transform) تبدیل می شود.

در این مقاله، ابتدا یک مدل گوه مصنوعی در نظر گرفته می شود و از طیفهای CWT و TFCWT، نشانگرهای مقیاس (فرکانس) قله و دامنه مقیاس (فرکانس) قله استخراج شده و با یکدیگر مقایسه می شوند. مشاهده می شود نشانگرهایی که از طیف TFCWT بدست می آیند در مقایسه با طیف CWT دارای قدرت تفکیک بهتری هستند. سپس همین عمل بر روی داده واقعی اعمال می شود.

کلید واژه ها: تجزیه طیفی، تبدیل موجک پیوسته، لایه نازک، نشانگر لرزه ای و تحلیل زمان-فرکانس

Application of continuous wavelet transform in thin layer detection

Narjess Zohrabi and Dr. Abdolrahim Javaherian

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
² استاد گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

Abstract

The continuous wavelet transform (CWT) is one of the spectral decomposition methods to analysis a nonstationary signal in order to obtain an optimal time and frequency resolution of signals. Among spectral decomposition methods, the first method is the short time Fourier transform (STFT), in this way, time-frequency resolution is limited by predefining a window length. In contrast, the continuous wavelet transform method does not require preselecting a window length and does not have a fixed time-frequency resolution over the time-frequency space. CWT uses dilation and translation of wavelet to produce a time-scale map. Then the time-scale map of CWT is converted to a time-frequency CWT (TFCWT) map to obtain high time resolution at high frequencies and high frequency resolution at low frequencies. This property of the wavelet transform is used for detecting thin layers.

In this thesis, at first a synthetic wedge model is considered, then, the peak scale (frequency) and the peak amplitude of scale (frequency) are extracted from spectrums of CWT and TFCWT. Then, they are compared with each other. It is shown that attributes given by the TFCWT have better resolution in comparison to CWT spectrum. Then exercising the same procedure on real data.

Keywords: spectral decomposition, continuous wavelet transform, thin bed, seismic attributes and time-frequency analysis

شناسایی و آشکارسازی
آنها حائز اهمیت است.
اما این ساختارها در
مقاطع لرزه ای بازتابی
به خوبی قابل تشخیص

مقدمه
با توجه به اینکه
لایه های نازک و کانالها،
محل عبور یا تجمع
هیدروکربورها هستند لذا

چندگانه تولید کند، یعنی همانگونه که سیگنال لرزه ای غیر ایستا است و محتوای فرکانسی آن با زمان تغییر می‌کند، متناسب با این سیگنال غیر ایستا باید طیف زمان-فرکانسی بدست آورد که قدرت تفکیک آن با تغییر محتوای فرکانسی سیگنال تغییر کند. مورلت و همکاران (1982) تبدیل موجک را به عنوان ابزار قدرتمندی که نقص‌های تبدیل فوری را برطرف می‌کرد معرفی نمودند. هرگاه موجک در نظر گرفته شود که تغییر مقیاس آن منجر به تولید محدوده‌های فرکانسی مختلف شود، از هم‌میدخت آن با سیگنال مورد نظر می‌توان قادر به تامین قدرت تفکیک متغیری در حوزه زمان-فرکانس بود. این روش، معروف به تبدیل موجک پیوسته است (مالات، 1999 و مرتینز، 1999).

تبدیل موجک پیوسته

تبدیل موجک ابزاری برای تجزیه یک سیگنال به مؤلفه‌های زمان-فرکانس سیگنال است. تابع $\psi(t)$ ، سیگنال $(\psi \in L^2(R))$ را یک موجک قابل قبول می‌نامند اگر در شرط زیر صادق باشد (آلن و میلز، 2004).

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (1)$$

نیستند. هدف این مقاله استفاده از روشی برای بهبود تفکیک این ساختارهاست. تجزیه طیفی یک ابزار مناسب برای بررسی لایه‌های نازک و کانالهاست. با این روش می‌توان هر ردلرزه را به طیف دامنه، طیف فاز و طیف انرژی آن تجزیه کرد و با بررسی این طیفها ممکن است بتوان محل لایه نازک در مقطع لرزه‌ای را شناسایی کرد. در میان روشهای تجزیه طیفی، اولین روش تبدیل فوریه زمان کوتاه است که تا نیمه اول قرن بیستم میلادی کارآمدترین روش برای پردازش سیگنال بود، ولی با پیشرفت علم و نیازهای جدید نقایص این ابزار کم‌کم نمایان شد. از جمله این نقایص وجود طول پنجره ثابت و همچنین وابسته بودن قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی به طول پنجره انتخابی می‌باشد. بدین ترتیب که با انتخاب پنجره با طول زمانی کوتاه، قدرت تفکیک زمانی خوب و قدرت تفکیک فرکانسی ضعیف می‌شود و با انتخاب پنجره با طول زمانی بلند، قدرت تفکیک فرکانسی خوب و قدرت تفکیک زمانی ضعیف می‌شود. بنابراین باید به دنبال روشی بود که یک صفحه زمان-فرکانس با قدرت تفکیک

که در آن $\Psi(\omega)$ تبدیل فوریه $\psi(t)$ است. رابطه بالا شرط پذیرش نام دارد. با فرض اینکه موجک مادر با رابطه زیر بیان شود:

$$\psi_{\tau,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad (2)$$

اگر $f(t)$ یک تابع مربع انتگرال پذیر باشد، آنگاه تبدیل موجک $f(t)$ بصورت زیر تعریف می شود:

$$CWT[f(t)](\tau, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$

تبدیل موجک یک نگاشت از حوزه زمان یک بعدی به فضای دوبعدی موجک شامل پارامتر مقیاس a و انتقال زمانی τ می باشد. فاکتور $\frac{1}{\sqrt{a}}$ برای نرمالیزه کردن انرژی بکار رفته است. اگر $a > 0$ باشد تابع فشرده شده و اگر $a < 0$ باشد تابع گسترده می شود. از آنجا که معمولاً در تجزیه و تحلیل نتایج لرزه نگاری استفاده از مفاهیمی مانند فرکانس مرسوم تر است، لذا بهتر است مقیاس نامی حاصل از تبدیل موجک پیوسته و یا

خود تبدیل موجک با فرکانس مرتبط گردد. یک روش تبدیل مقیاس به فرکانس، استفاده از موجک به عنوان پنجره تطبیقی است (سینها و همکاران، 2005). این رویکرد با محاسبه تبدیل فوریه از تبدیل موجک

$$F(\omega, \tau) =$$

$$\frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} CWT_f(\tau, a) e^{-j\omega\tau} \Psi(a\omega) \frac{da}{a^{3/2}}$$

پیوسته معکوس عملی است.

رابطه (4) یک معادله اساسی است که امکان محاسبه طیف زمان-فرکانس را از روی تبدیل موجک فراهم می کند. این طیف زمان-فرکانس را TFCWT می نامند. در طیف TFCWT در فرکانسهای پائین قدرت تفکیک فرکانسی بالا و قدرت تفکیک زمانی پائین است و در فرکانسهای بالا قدرت تفکیک فرکانسی پائین و قدرت تفکیک زمانی بالاست بنابراین TFCWT قدرت تفکیک را برای سیگنالهای غیر ایستا بهبود می بخشد. طیف زمان-فرکانس ایجاد شده توسط TFCWT در تفسیر داده های لرزه ای در حوزه فرکانس مورد استفاده قرار می گیرد.

بررسی مدل گوه ای

مدل گوه ای مدل مناسبی برای بررسی لایه نازک است زیرا گوه دارای ضخامت متغیری است که به تدریج کم می شود. طبق تعریف لایه ای نازک به حساب می آید که بازتاب از مرزهای بالایی و پائینی آن با یکدیگر تداخل کنند به طوری که تفکیک آنها در مقطع لرزه ای امکان پذیر نباشد. این در حالی اتفاق می افتد که ضخامت لایه از نصف طول موج کوچک ورودی ($\lambda/2$) کمتر باشد. تعریف لایه نازک به عوامل مختلفی همچون شکل موج بازتاب شده از لایه، زمان دوام موج، روابط فازی بین بازتاب از مرزهای بالایی، پائینی و عوامل دیگر وابسته است. بنابراین لایه ای که مثلاً برای یک فرکانس نازک است الزاماً برای فرکانس بالاتر نازک نخواهد بود (وایدز، 1973).

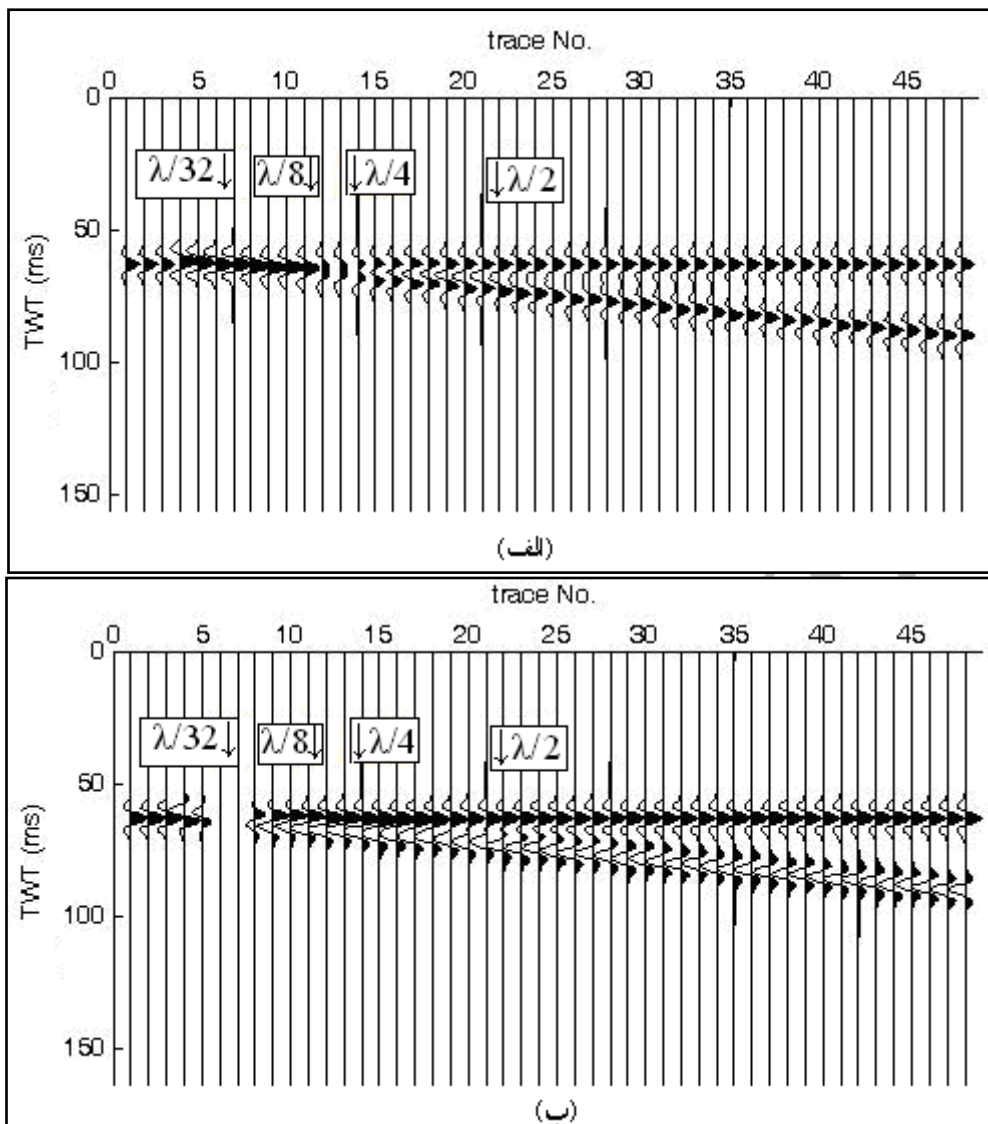
برای بررسی مدل گوه ای، ابتدا باید یک مقطع لرزه ای شامل لایه گوه ای تشکیل داد. بدین منظور از همایخت یک موجک با سری بازتاب زمین در حالتیکه مدل زمین گوه ای در نظر گرفته شده است یک مقطع لرزه ای شامل لایه گوه ای بدست می آید. موجکی که

در اینجا مورد استفاده قرار

می گیرد موجک فاز صفر ریگر است که رابطه آن در حوزه زمان بصورت زیر می باشد (مارفورت و کرلین، 2001):

$$\psi(t) = (1 - 2\pi^2 \omega_m^2 t^2) \exp(-\pi \omega_m t^2) \quad (5)$$

که در آن ω_m فرکانس مرکزی و برابر 35 هرتز در نظر گرفته شده است. همچنین فرض می شود که ضرایب بازتاب دو طرف یکبار $r_1 = r_2 = +0/8$ و بار دیگر $r_1 = +0/8$ و $r_2 = -0/8$ باشند و ضخامت زمانی دو طرفه لایه 1 تا 50 میلی ثانیه و فاصله نمونه برداری 2 میلی ثانیه است. در شکل 1 مقاطع لرزه ای این مدل گوه ای به نمایش درآمده اند. در این شکل ضخامتهای $\lambda/2$ ، $\lambda/4$ ، $\lambda/8$ و $\lambda/32$ بر روی گوه نشان داده شده اند. مشخص است که در ضخامت $\lambda/4$ که ضخامت تیونینگ است امواج عبوری از مرز بالایی و بازتابی از مرز پائینی گوه با یکدیگر ترکیب شده و در حالت $r_1/r_2 > 0$ تداخل سازنده و در حالت $r_1/r_2 < 0$ تداخل ویرانگر را بوجود می آورند.



شکل 1. مقاطع لرزه‌ای شامل یک لایه گوه‌ای با ضخامت زمانی دوطرفه 1 تا 50 میلی ثانیه و فاصله نمونه‌برداری 2 میلی ثانیه. (الف) ضرایب بازتاب دو طرف گوه هم‌علامت و (ب) ضرایب بازتاب مختلف‌العلامت (ظهرابی، 1388).

معمول در تبدیل موجک پیوسته بکار می‌رود

و از مدولاسیون یک موج تخت با تابع گاوسی بدست می‌آید. معادله موجک مورلت در حوزه زمان به صورت رابطه (6) است (تورنس و کومپو، 1998).

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{j\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (6)$$

در این مقاطع بر روی هر رد لرزه تبدیل CWT اعمال می‌شود. موجک مختلفی که غالباً در تحلیل سیگنالها از آن استفاده می‌شود موجک مورلت است، مورلت و همکاران (1982) موجکی را معرفی کردند که به طور

که در آن ω_0 فرکانس است و برابر 2π در نظر گرفته می شود تا شرط پذیرش را ارضا کند. رابطه موجک مورلت در حوزه فرکانس به صورت رابطه (7) است.

$$\Psi(\omega) = \pi^{-1/4} e^{-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2}} \quad (7)$$

دلایل

استفاده از موجک مورلت عبارتند از: (1) طیف دامنه موجک مورلت تنها دارای فرکانسهای مثبت است. (2) در حوزه زمان و فرکانس (طیف دامنه) توزیع گاوسی یا عادی دارد. بنابراین با توجه به این دو ویژگی در موجکهای مورلت، فرکانس مرکزی با مقیاس نسبت عکس دارد، یعنی $a \cong \frac{1}{\omega_0}$.

پس می توان با قرار دادن عکس مقیاس، صفحه زمان-مقیاس را به صفحه زمان-فرکانس تبدیل کرد. (3) موجک مورلت بدلیل داشتن خاصیت اتساع یک موجک مناسب برای تحلیل سیگنالهایست که به تفکیک فرکانسی بالا در فرکانسهای پائین و تفکیک زمانی بالا در فرکانسهای بالا نیاز دارند. همچنین خاصیت انتقال موجب می شود که بتوان محدوای فرکانسی سیگنال را در زمانهای مختلف مورد آزمایش قرار داد و بنابراین نقشه زمان-فرکانسی ایجاد می شود که مطابق با

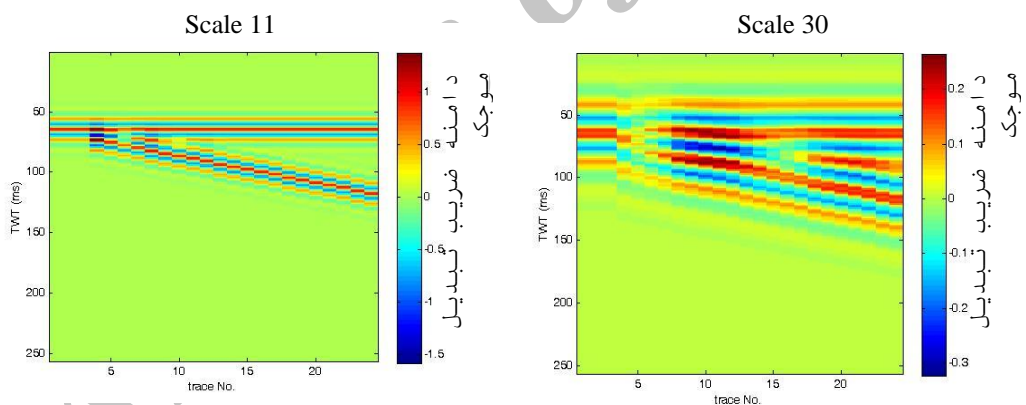
طبیعت غیر ایستای سیگنالهای لرزه ای است (سینها و همکاران، 2005) در اینجا از موجک مورلت با فرکانس 35 هرتز استفاده می شود.

حاصل تبدیل CWT بر روی مقطع لرزه ای، صفحه زمان-مقیاس مربوط به هر رد لرزه است یعنی یک رد لرزه یک بعدی یک مجموعه داده دو بعدی تولید می کند. در واقع یک محور مقیاس به آن اضافه می شود. بنابراین با اعمال این تبدیل بر روی کل مقطع، مکعبی از داده ها بر حسب زمان-مکان (شماره رد لرزه)-مقیاس بدست می آید. سپس از این مکعب داده ها نشانگرهای تک مقیاس، مقیاس قله و دامنه مقیاس قله استخراج می شوند. شکل 2 مقاطع لرزه ای تک مقیاس حاصل از تبدیل موجک پیوسته را نشان می دهد. دیده می شود که در مقیاس 30 لایه ها تفکیک نشده اند اما در مقیاس 11 لایه نازک در حدود زمان 70 تا 80 میلی ثانیه قابل تشخیص است اما به طور واضح تفکیک نشده است. با توجه به اینکه شروع گوه و ابتدای لایه نازک در زمان 64 میلی ثانیه در نظر گرفته شده است می توان گفت که مقطع تک مقیاس قدرت تفکیک نسبتاً خوبی را ارائه داده

است. پس با کاهش مقیاس قدرت تفکیک بهتر می‌شود. در شکل 3 مقاطع لرزه‌ای مقیاس قله در مقیاس 11 برای حالت‌های $r_1/r_2 < 0$ و $r_1/r_2 > 0$ نمایش داده شده‌اند. همانطور که دیده می‌شود برای در شکل 4 مقاطع لرزه‌ای دامنه مقیاس قله در مقیاس 11 نشان داده شده‌اند. در این شکل دیده می‌شود در حالت $r_1/r_2 > 0$ با نازک شدن لایه دامنه مقیاس قله کاهش می‌یابد و از حد تیونینگ به بعد به دلیل ایجاد تداخل سازنده دامنه تا حدود 2 افزایش می‌یابد.

حالتیکه $r_1/r_2 > 0$ است با نازک شدن لایه، نشانگر مقیاس قله یک روند کاهشی دارد و در حالت $r_1/r_2 < 0$ باز هم با نازک شدن لایه مقیاس قله کاهش می‌یابد.

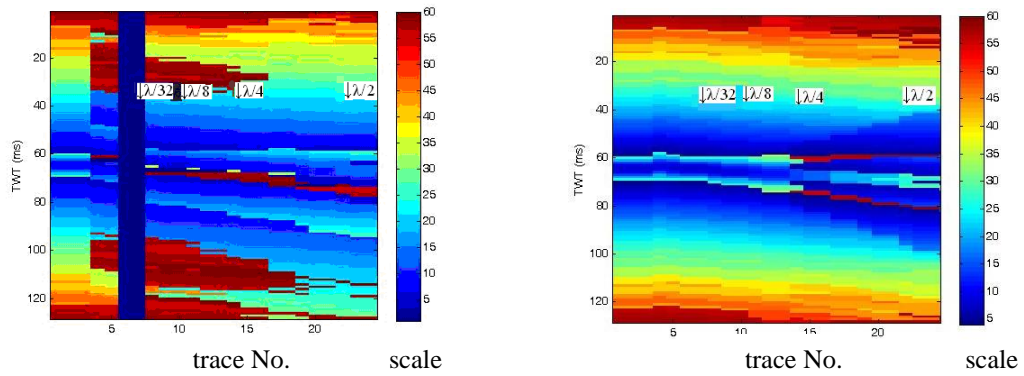
در صورتیکه در حالت $r_1/r_2 < 0$ با نازک شدن لایه مقدار دامنه افزایش می‌یابد. در حد تیونینگ به دلیل شروع تداخل ویرانگر تا $1/5$ افت پیدا می‌کند و در $\lambda/32$ به دلیل تداخل ویرانگر، بازتاب‌ها به طور کامل از بین رفته‌اند.



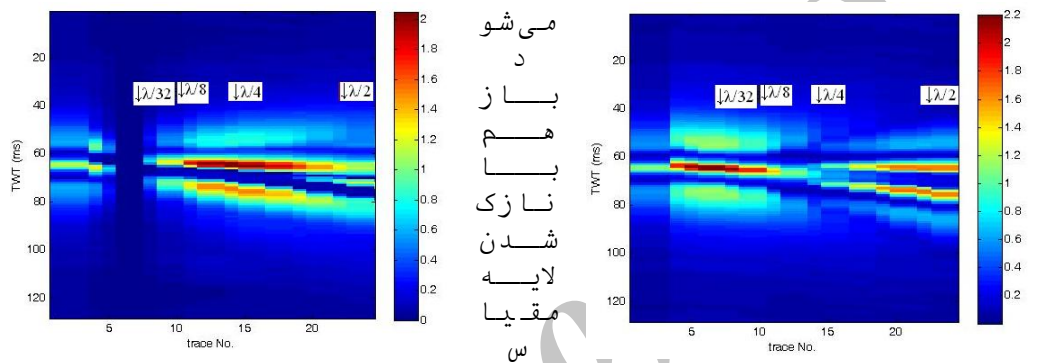
trace No.
(ب)

trace No.
(الف)

شکل 2. مقاطع لرزه‌ای تک مقیاس حاصل از تبدیل موجک پیوسته. (الف) در مقیاس 30 و (ب) در مقیاس 11. دیده می‌شود که با کاهش مقیاس قدرت تفکیک لایه بهتر شده و در زمان 70 تا 80 میلی‌ثانیه لایه نازک قابل تشخیص است (ظهرایی، 1388).



شکل 3. مقاطع لرزه‌ای مقیاس قله در مقیاس 11. (الف) برای حالتیکه $r_1/r_2 > 0$ است. دیده می‌شود که با نازک شدن لایه مقیاس قله یک روند کاهشی دارد و (ب) برای حالتیکه $r_1/r_2 < 0$ است مشاهده



قله کاهش می‌یابد.

شکل 4. مقیاس لرزه‌ای دامنه مقیاس قله در مقیاس 11. (الف) برای حالتیکه $r_1/r_2 > 0$ است دیده می‌شود که با نازک شدن لایه مقدار دامنه مقیاس قله کاهش می‌یابد و از حد تیونینگ به بعد به دلیل ایجاد تداخل سازنده دامنه تا حدود 2 زیاد می‌شود و (ب) در حالت $r_1/r_2 < 0$ با نازک شدن لایه مقدار دامنه افزایش می‌یابد، در حد تیونینگ به دلیل شروع تداخل ویرانگر تا $1/5$ افت پیدا می‌کند و در $\lambda/32$ بازتابها به طور کامل از بین رفته‌اند.

بیشتر از فرکانس غالب موجک به حد تیونینگ می‌رسند، بررسی لایه نازک در حوزه فرکانس برای شناسایی این لایه‌ها مفید است. امروزه از این روش در بسیاری از پروژه‌ها استفاده می‌شود

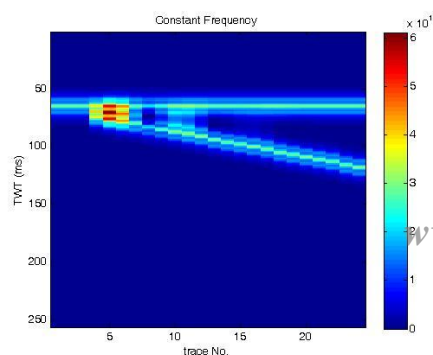
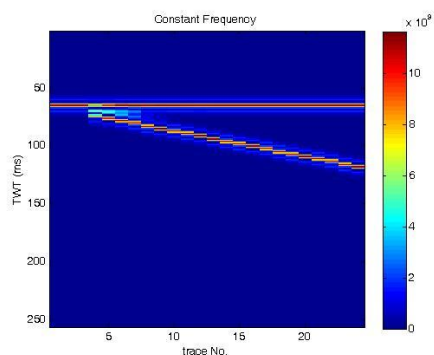
حال با تبدیل مقیاس به فرکانس به بررسی نشانگرهای استخراج شده از طیف زمان-فرکانس تبدیل موجک پیوسته (TFCWT) پرداخته می‌شود. از آنجا که لایه‌های نازکتر در فرکانسهای

(پارتیکا، 2000؛ سینها و همکاران 2004). در شکل 5 مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس حاصل از تبدیل موجک پیوسته در فرکانس‌های 45 و 90 هرتز نشان داده شده‌اند. در فرکانس 45 هرتز که نزدیک به فرکانس غالب موجک است مرزهای بالایی و پائینی لایه به خوبی تفکیک نشده‌اند اما با افزایش فرکانس، لایه در ضخامت بیشتری به حد تفکیک می‌رسد و قدرت تفکیک لایه‌ها بهتر شده و در فرکانس 90 هرتز لایه نازک واقع در زمان 64 میلی‌ثانیه کاملاً مشخص شده است. با توجه به اینکه مقیاس با فرکانس نسبت عکس دارد این نتیجه، با نتایج بدست آمده از طیف زمان-مقیاس همخوانی دارد با این تفاوت که قدرت تفکیک نشانگر حاصل از نقشه مثبت است با نازک شدن لایه، مقدار فرکانس قله افزایش می‌یابد، در ضخامت تیونینگ ($\lambda/4$) این مقدار ناگهان به 160 افت پیدا می‌کند و پس از آن به تدریج تا فرکانس 360 هرتز افزایش می‌یابد. در حالیکه برای $r_1/r_2 < 0$ با نازک شدن لایه فرکانس قله افزایش یافته و در ضخامت تیونینگ ناگهان

زمان-فرکانس بهتر از قدرت تفکیک نشانگر بدست آمده از نقشه زمان-مقیاس است. زیرا مقیاس بیان کننده یک باند فرکانسی است، در فرکانس‌های بالا (مقیاس‌های پائین) باندهای فرکانسی با یکدیگر همپوشانی می‌کنند و موجب پهن‌شدگی در طیف و غیر واضح شدن مقاطع می‌شوند در حالیکه در مقاطع TFCWT مقیاس به فرکانس تبدیل شده و به جای باند فرکانسی با تک فرکانس کار می‌شود بنابراین مقاطع واضح‌تری بدست می‌آید. در شکل 6 روند تغییرات نشانگر فرکانس قله با ضخامت زمانی دوطرفه

لایه نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود برای حالتیکه نسبت ضرایب بازتاب

افت پیدا می‌کند. در شکل 7 مقاطع لرزه‌ای دامنه قله نشان داده شده‌اند. در این شکل دیده می‌شود برای حالتیکه $r_1/r_2 > 0$ است با نازک شدن لایه در ضخامت تیونینگ به دلیل تداخل سازنده مقدار دامنه قله یک روند افزایشی دارد و در حالتیکه $r_1/r_2 < 0$ است با نازک شدن لایه مقدار



در $\lambda/32$ به دلیل تداخل ویرانگر، بازتابها به طور کامل از بین رفته اند.

دامنه افزایش میابد، در حد تیونینگ به دلیل شروع تداخل ویرانگر این مقدار افت پیدا میکند و

دامنه موجک فریب تبدیل

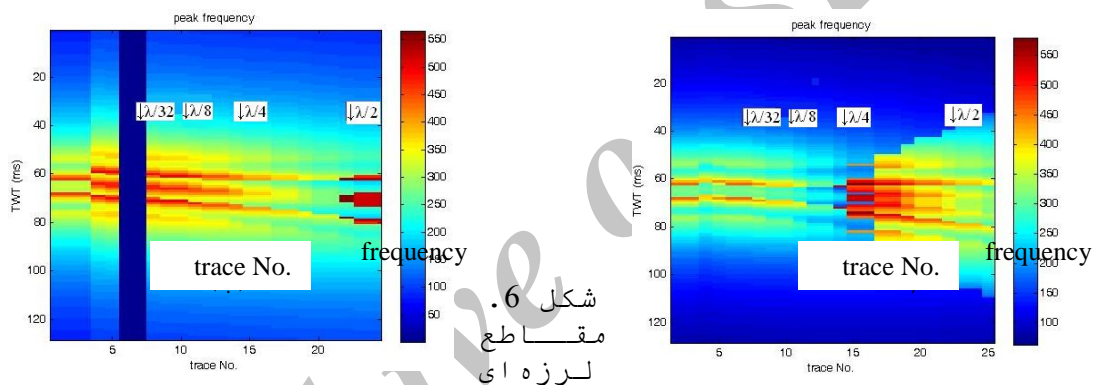
90 Hz

45 Hz

دامنه فریب تبدیل

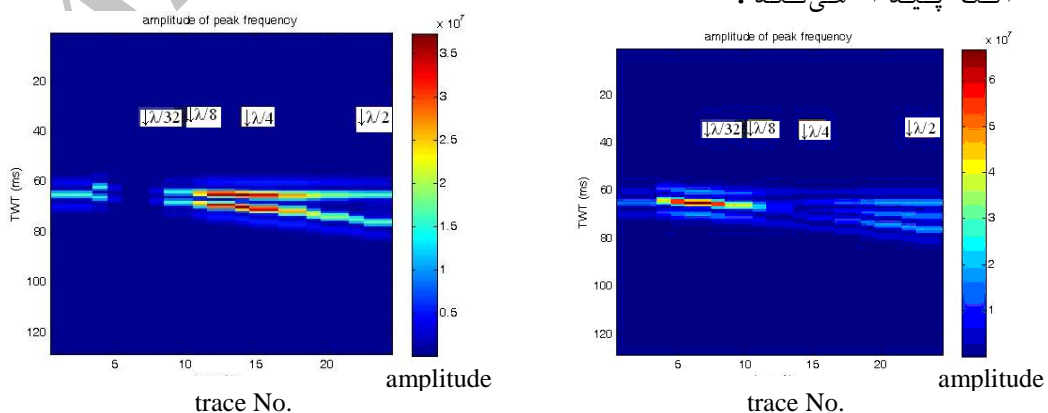
trace No.

شکل 5. مقاطع لرزه ای تک فرکانس حاصل از تبدیل موجک پیوسته در فرکانسهای 45 و 90 هرتز. با افزایش فرکانس قدرت تفکیک مرزهای لایه بهتر میشود و در فرکانس 90 هرتز لایه نازک واقع در ضخامت زمانی دو طرفه 64 میلی ثانیه تفکیک شده است.



شکل 6. مقاطع لرزه ای

فرکانس قله. (الف) در حالت $r_1/r_2 > 0$ با نازک شدن لایه، مقدار فرکانس قله افزایش میابد، در ضخامت تیونینگ ($\lambda/4$) این مقدار ناگهان به 160 افت پیدا میکند و پس از آن به تدریج تا فرکانس 360 هرتز افزایش میابد و (ب) در حالت $r_1/r_2 < 0$ با نازک شدن لایه فرکانس قله افزایش یافته و در ضخامت تیونینگ ناگهان افت پیدا میکند.



شکل 7. مقاطع لرزه ای دامنه قله. (الف) در حالتیکه $r_1/r_2 > 0$ است دیده میشود که با نازک شدن لایه از ضخامت تیونینگ به بعد به دلیل تداخل سازنده مقدار دامنه قله یک روند افزایشی دارد و

(ب) در حالتیکه $r_1/r_2 < 0$ است با نازک شدن لایه مقدار دامنه افزایش می‌یابد، در حد تیونینگ به دلیل شروع تداخل ویرانگر این مقدار افت پیدا می‌کند و در $\lambda/32$ به دلیل تداخل ویرانگر، بازتابها به طور کامل از بین رفته‌اند

آمده‌اند سرعت محاسبه خیلی بالاتری دارند.

اعمال تبدیلات CWT و TFCWT بر روی مقطع لرزه‌ای واقعی

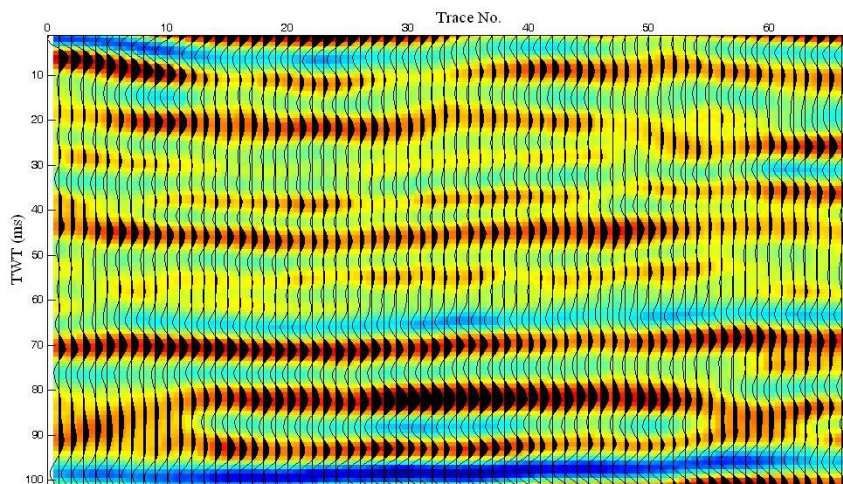
مقطع لرزه‌ای واقعی که مورد بررسی قرار می‌گیرد از روی فایل به نام L100MIG.sgy از نرم افزار Winpicks برداشته شده است و در آن فرکانس غالب موجک 30 هرتز و فاصله نمونه به برداری 2 میلی ثانیه می‌باشد. این مقطع در شکل 8 نشان داده شده است. در ابتدا با اعمال تبدیل CWT و استفاده از نشانگرهای استخراج شده از طیف زمان-مقیاس به بررسی مقطع پرداخته خواهد شد. در شکل‌های 10 و 11 نشانگرهای مقیاس قله و دامنه مقیاس قله در مقیاس 17 نشان داده شده‌اند. از آنجا که در مقطع لرزه‌ای ضرایب بازتاب هم علامت نیستند، انتظار می‌رود که در محل تیونینگ لایه نازک اثر تداخل ویرانگر بازتابها، دامنه‌ها از بین بروند و در این محلها حداقل دامنه دیده شود. در این شکلها محل‌هایی که با بیضی سفید نشان داده شده‌اند،

همانطور که در تعریف لایه نازک اشاره شد، نازک بودن لایه به عوامل مختلفی مانند شکل موجک، زمان دوام موجک و سایر موارد بستگی دارد. از سوی دیگر، از بررسی نشانگرهای بدست آمده نتیجه گرفته می‌شود که روند تغییرات نشانگرهای مقیاس (فرکانس) قله و دامنه مقیاس (فرکانس) قله به عواملی مانند ضخامت زمانی دوطرفه لایه، ضریب بازتاب لایه، علامت ضریب بازتاب و همچنین به فرکانس غالب موجک (این مورد در اینجا بررسی نشد) بستگی دارد و از آنجائیکه در یک مقطع لرزه‌ای واقعی اطلاعاتی در مورد تمامی این پارامترها در دست نیست لذا تنها از وجود آنومالی در این نشانگرها می‌توان به وجود یک واقعه مانند لایه نازک پی برد. همچنین از مقایسه نشانگرهای حاصل از طیف زمان-مقیاس با نشانگرهای حاصل از طیف زمان-فرکانس مشاهده می‌شود که نشانگرهای حاصل از طیف TFCWT دارای وضوح بیشتر هستند اما نشانگرهایی که مستقیماً از مقیاس بدست

مکانهایی هستند که طبق تبدیل CWT لایه نازک تشخیص داده شده است. سپس با تبدیل مقیاس به فرکانس، تبدیل TFCWT بر روی مقطع اعمال شده و نشانگرهای فرکانس قله و دامنه قله مورد بررسی قرار می‌گیرند.

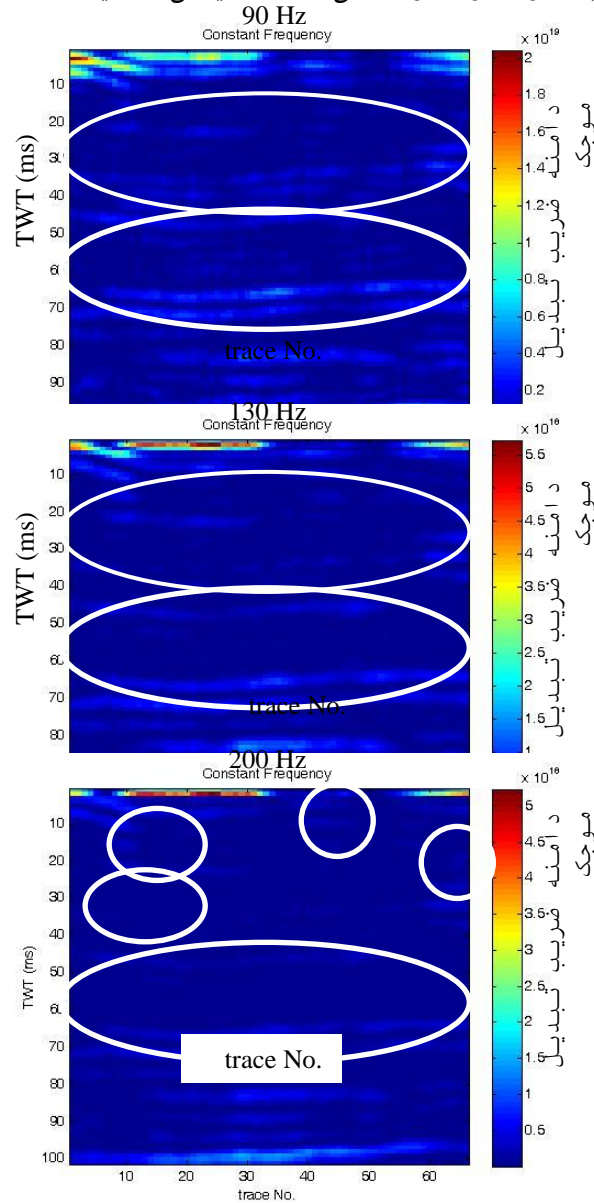
همانطور که بیان شد لایه‌های نازک در فرکانس‌های بالا به حد تیونینگ می‌رسند، بنابراین برای بررسی مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس به منظور شناسایی لایه نازک از برشهای فرکانس بالا استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در مقطع شکل 8 فرکانسهای صفر تا 250 هرتز وجود دارد، از مقاطع لرزه‌ای تک

استفاده شده که در شکل 9 نشان داده شده‌اند. دیده می‌شود که با افزایش فرکانس برش قدرت تفکیک لایه‌ها بهتر می‌شود. در شکل‌های 12 و 13 نشانگرهای فرکانس قله و دامنه قله نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که نشانگرهای حاصل از طیف زمان-فرکانس تبدیل موجب پیوسته از وضوح و قدرت تفکیک بسیار بهتری نسبت به نشانگرهای حاصل از طیف زمان-مقیاس برخوردارند. با استفاده از تبدیل TFCWT می‌توان به قدرت تفکیک زمانی بهتر در فرکانسهای بالا و قدرت تفکیک فرکانسی بهتر در فرکانسهای پائین دست یافت.



فرکانس در فرکانسهای 90، 130 و 200 هرتز

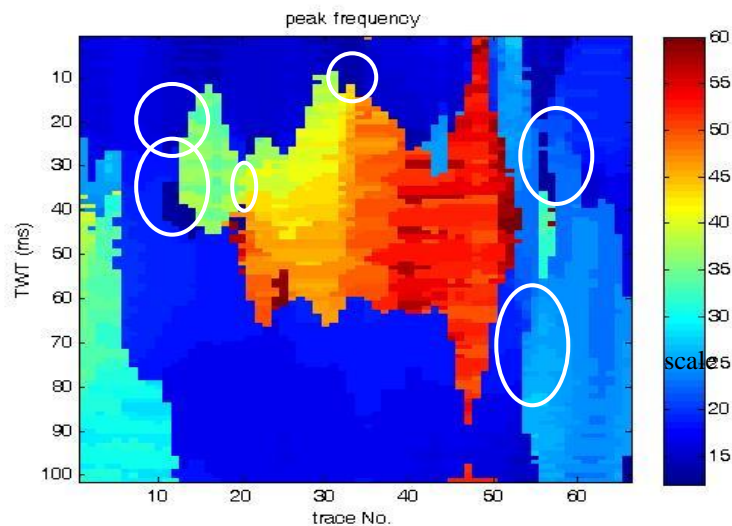
شکل 8. مقطع لرزه ای واقعی برداشته شده از فایل L100MIG.sgy از نرم افزار Winpicks با فرکانس غالب موجک 30 هرتز و فاصله نمونه برداری 2 میلی ثانیه و طول زمانی 100 میلی ثانیه.



لرزه ای

مقطع 130 و 200

شکل 9. مقاطع تک فرکانس در فرکانسهای 90، 130 و 200 هرتز مربوط به لرزه ای شکل 8. در این شکلها بیضیهای سفید نشان دهنده موقعیت لایه نازک آشکار شده در هر فرکانس هستند. مشاهده می شود که در فرکانسهای پائین موقعیتهایی که به عنوان لایه نازک آشکار شده اند گسترده تر هستند و در نواحی غیر از لایه نازک هم آنومالی وجود دارد اما با افزایش فرکانس برش در فرکانس 200 هرتز قدرت تفکیک بهتر می شود و محل لایه نازک به طور دقیقتر آشکار می شود (ظهراپی، 1388).

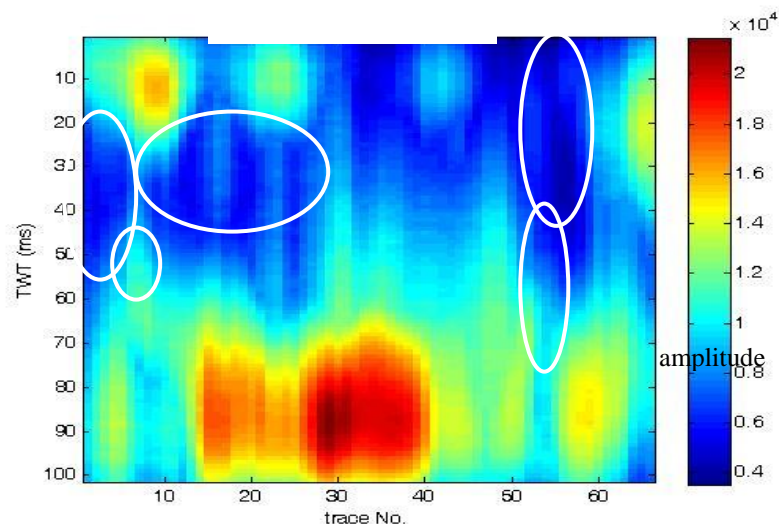


شکل
مقطع

10.

لرزه ای
نشانگر
مقیاس

قله در مقیاس 17 مربوط به مقطع نشان داده شده در شکل 8. در این شکل نشانگر مقیاس قله در محل لایه نازک که با بیضی سفید رنگ نشان داده شده است آنومالیهای کم مقیاسی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که لایه‌های نازک قبل از 30 میلی‌ثانیه بطور جزئی آشکار شده‌اند و لایه نازک بین 70 تا 90 میلی‌ثانیه واضح نیست.

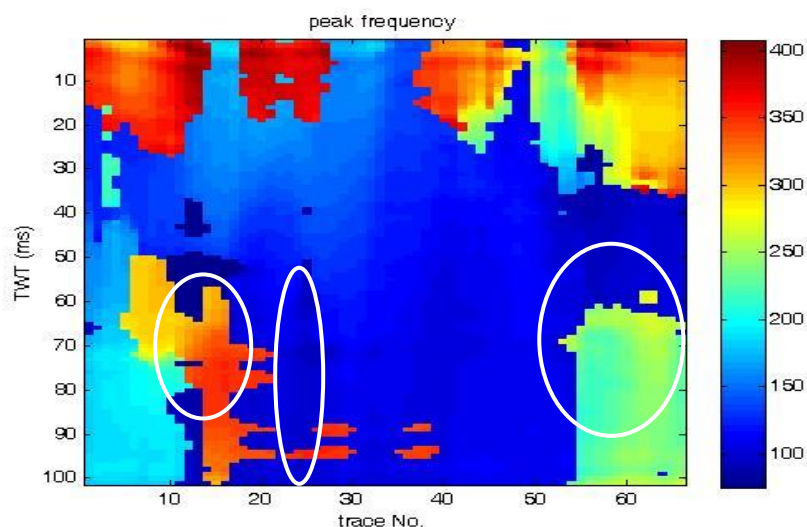


شکل

11.

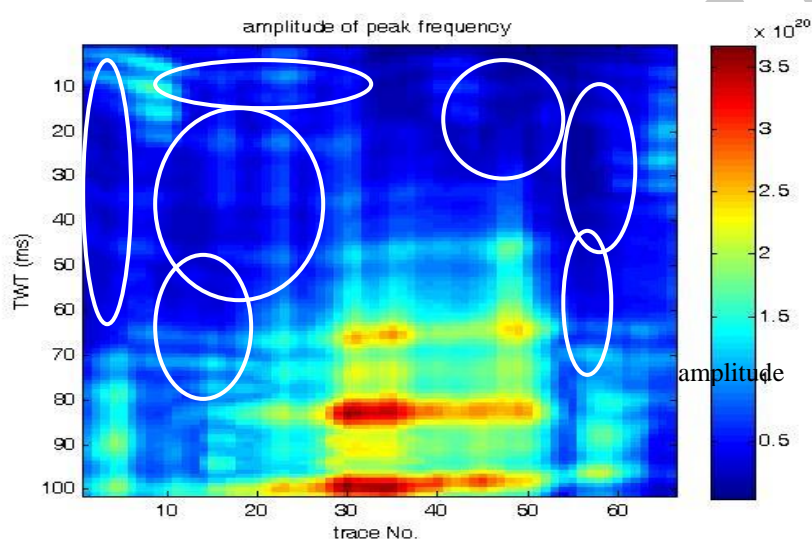
مقطع
لرزه ای
نشانگر
دامنه

مقیاس قله در مقیاس 17 مربوط به شکل 8. در این شکل بیضیهای سفید رنگ نشان‌دهنده آنومالیهای کم دامنه مقیاس قله هستند که محل لایه نازک را مشخص می‌کنند. مشاهده می‌شود که لایه نازک در زمان 70 تا 90 میلی‌ثانیه به خوبی آشکار نشده است.



frequency

شکل 12. مقطع لرزه‌ای نشانگر فرکانس قله مربوط به مقطع نشان داده شده در شکل 8. نشانگر فرکانس قله در محل لایه نازک آنومالیهای کم فرکانس را نشان می‌دهد که این مکانها با بیضیهای سفید رنگ نشان داده شده‌اند. این نشانگر لایه‌های نازک قبل از 30 میلی ثانیه را آشکار نکرده است ولی از مقایسه این شکل با شکل 10 مربوط به نشانگر مقیاس قله مشاهده می‌شود که نشانگر فرکانس قله لایه نازک را در محلهایی که آشکار کرده به‌طور دقیقتر و واضحتر نشان می‌دهد.



13.

شکل

مقطع لرزه‌ای نشانگر دامنه قله مربوط به مقطع نشان داده شده در شکل 8. نشانگر دامنه قله در محل لایه نازک آنومالیهای کم فرکانس را نشان می‌دهد که این مکانها با بیضیهای سفید رنگ نشان داده شده‌اند. این نشانگر لایه‌های نازک قبل از 30 میلی ثانیه و بین 70 تا 90 میلی ثانیه را هم آشکار کرده است و در مقایسه با شکل 11 مربوط به نشانگر دامنه مقیاس قله از دقت و وضوح بیشتری برخوردار است.

این نشانگرها با ضخامت لایه وجود ندارد بنابراین از آنجا که معمولاً اطلاعی در مورد تمامی این پارامترها در مورد یک یک مقطع واقعی در دست نیست، فقط باید از وجود آنومالی در این نشانگرها برای پیدا

نتایج

1- با مطالعه نشانگرهای طیفی نتیجه گرفته می‌شود که مقدار این نشانگرها به عوامل مختلفی مانند ضخامت لایه، مقدار ضرایب بازتاب، نسبت ضرایب بازتاب وابسته است و رابطه یکسانی بین مقدار

کردن محل لایه نازک استفاده کرد و نمی‌توان ضخامت لایه را تشخیص داد.

2- از بررسی مقاطع تک مقیاس و تک فرکانس مشخص می‌شود که با کاهش مقیاس و افزایش فرکانس قدرت تفکیک مرزهای بالایی و پائینی لایه نازک بهتر می‌شود اما در مطالعه مدل گوه مصنوعی چون زمان شروع گوه و فرکانس غالب موج ورودی مشخص بود پیدا کردن فرکانسی که بهترین قدرت تفکیک را ارائه دهد کار مشکلی نبود اما در حالت واقعی که اطلاعاتی از مکان لایه نازک در دست نیست باید به روش آزمون و خطا این فرکانس را پیدا کرد. لذا این روش وقتگیر بوده و مستلزم بررسی حجم عظیمی از داده‌هاست زیرا به تعداد فرکانس‌های موجود در مقطع می‌توان برش تک فرکانس زد.

3- با مقایسه نشانگرهای حاصل از طیف زمان-مقیاس و نشانگرهای حاصل از طیف زمان-فرکانس تبدیل موجک پیوسته نتیجه گرفته می‌شود که نشانگرهایی که از طیف زمان-فرکانس بدست آمده‌اند دارای قدرت تفکیک بهتری هستند ولی در عوض نشانگرهای مربوط به طیف زمان-مقیاس از سرعت محاسبه خیلی بالاتری نسبت به

نشانگرهای ناشی از طیف زمان-فرکانس برخوردارند.

4- در تبدیل موجک پیوسته با تبدیل مقیاس به فرکانس صفحه زمان-فرکانسی تولید می‌شود که قدرت تفکیک فرکانسی در فرکانسهای پائین و قدرت تفکیک زمانی در فرکانسهای بالا در آن بهینه است، بدین ترتیب قدرت تفکیک برای سیگنالهای غیر ایستا بهبود می‌یابد.

تشکر و قدردانی

از سرکار خانم هدی آراسته و جناب آقای امین روشندل کاهو که نتایج مطالعات خود را در اختیار بنده قرار دادند و در جمع آوری این تحقیق یاریم کردند متشکرم.

منابع

- ظهرا بلی، ن.، 1388، کاربرد تجزیه طیفی به روش تبدیل موجک پیوسته در تشخیص لایه های نازک یا کانالهای مدفون قدیمی، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک (گرایش لرزه شناسی)، 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.
- Mallat, S., 1999, A wavelet tour of signal processing: Academic Press.
- Marfurt, K.J., and Kirlin, R.L., 2001, Narrow-band spectral analysis and thin bed tuning: Geophysics, **66**, 1274-1283.
- Mertinz, A., 1999, Signal analysis: Wavelets, filter banks, time-frequency transforms and applications, Hardcover.

- Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E., and Girad, D., 1982, Wave propagation and sampling theory-part II: Sampling theory and complex waves: Geophysics, **47**, 222-236.
- Partyka, G.A., 2000, Seismic attributes sensitivity to energy, bandwidth, phase, and thickness: SEG expanded abstracts, 2409-2412.
- Sinha, S., and Partha S.R., Anno, P.D., and Castagna, J.P., 2005, Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform: Geophysics, **70**, (6), 19-25.
- Sinha, S.K., Routh P.S., Anno, P.D., and Castagna, J.P., 2004, Time-frequency attributes of seismic data using continuous wavelet transform: SEG expanded abstracts, 1481-1484.
- Torrence, C., and Compo, G.P., 1998, A practical guide to wavelet analysis: Bulletin of the American Meteorological Society, **79**, (1), 61-78.
- Widess, M.B., 1973, How thin is a thin bed?: Geophysics, **38**, 1176-1180.