

نشانگرهای طیفی لحظه‌ای به دست آمده از نقشه زمان - مقیاس تبدیل موجک پیوسته (CWT)

مصطفی یاری^{۱*}، رضا محیبان^۱ و محمد علی ریاحی^۲

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۲۱

چکیده

در لرزه‌شناسی اکتشافی نشانگرهای طیفی لحظه‌ای مانند بسامد مرکزی، بسامد ریشه میانگین مربعات (rms) و پهنای باند که بیشتر برای توصیف خواص وابسته به بسامد سنگ‌ها به کار گرفته می‌شوند از نقشه زمان - بسامد (طیف نما) قابل استخراج هستند. این نشانگرها با استفاده از نظریه احتمال تعریف می‌شوند. طیف نما را می‌توان از روش‌های تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT)، تبدیل موجک پیوسته (CWT) و تبدیل موجک پیوسته زمان - بسامد (TFCWT) به دست آورد که روش‌های CWT و TFCWT نیازی به انتخاب پنجره زمانی که برای روش STFT ضروری است، ندارند و در مقابل، تفکیک پذیری زمان - بسامد بهتری نسبت به STFT دارند. در این پژوهش با استفاده از روابط ریاضی، روشی ارائه شده است که نشانگرهای طیفی لحظه‌ای را از نقشه زمان - مقیاس (مقیاس نما) محاسبه می‌کند که این نشانگرها شبیه نشانگرهای به دست آمده از طیف نما TFCWT هستند، با این تفاوت که در اینجا دیگر نیازی به تبدیل مقیاس نما به طیف نما که زمان محاسبات را طولانی تر خواهد کرد، نیست.

کلیدواژه‌ها: تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک پیوسته، تبدیل موجک پیوسته زمان - بسامد، بسامد مرکزی، بسامد ریشه میانگین مربعات (rms)، پهنای باند.

E-mail: yari.mostafa64@gmail.com

*نویسنده مسئول: مصطفی یاری

۱- مقدمه

نیازی نیست که نقشه زمان - مقیاس را به نقشه زمان - بسامد تبدیل کرد. از مقایسه نشانگرهای طیفی لحظه‌ای CWT و TFCWT برای یک مقطع لرزه‌ای درمی‌یابیم که مشابهت زیادی میان نشانگرهای این دو روش وجود دارد؛ هر چند نشانگرهای به دست آمده از روش CWT کمی نرم‌تر از نشانگرهای حاصل از روش TFCWT هستند. افزون بر این محاسبه نشانگرها به روش CWT و TFCWT نیازی به یک پنجره از پیش انتخاب شده که برای روش STFT ضروری است، ندارد (Cohen, 1995) و همچنین خاصیت اتساع و انتقال موجک سبب ایجاد تفکیک پذیری بسامدی خوب در بسامدهای پایین و تفکیک پذیری زمانی خوب در بسامدهای بالا در روش CWT و TFCWT می‌شود. در این پژوهش نشانگرهای طیفی لحظه‌ای CWT با TFCWT و STFT روی مجموع داده‌های لرزه‌ای یکی از مخازن گازی خلیج فارس به کار برده و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

۲- نشانگرهای طیفی لحظه‌ای

در لرزه‌شناسی اکتشافی، نشانگرهای طیفی لحظه‌ای عبارتند از بسامد مرکزی، پهنای باند و بسامد rms. این مقادیر با استفاده از نظریه احتمال به عنوان گشتاورهای مختلف توزیع زمان - بسامد تعریف شده‌اند. بسامد مرکزی یک میانگین طیفی است، پهنای باند طیفی انحراف معیار از مقدار میانگین است و بسامد rms بسامد غالب نامیده می‌شود. در طرح‌های صنعتی این ویژگی‌ها به عنوان نشانگر طیفی لحظه‌ای برای شناسایی مخازن هیدروکربنی استفاده می‌شوند. همچنین این نشانگرها برای نشان دادن خواص طیفی داده‌های لرزه‌ای یا تحلیل بسامدهایی که بر اثر پردازش تغییر کرده‌اند به کار می‌روند. شکل ۱ معیارهای میانگین طیفی روی طیف ۳۰ هرتز موجک ریکر که توسط Barnes (1993) انجام شده است را نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن نشانگرهای طیفی لحظه‌ای از طیف زمان - بسامد استفاده می‌شود که توسط روش‌های مختلف مثل تبدیل فوریه زمان کوتاه یا تبدیل موجک پیوسته به دست می‌آید. Sinha et al. (2005) این نشانگرهای طیفی لحظه‌ای را بر پایه یکی از اجزای تبدیل موجک به نام مقیاس به دست آوردند و بیان داشتند که

نشانگرهای طیفی لحظه‌ای به عنوان یک ابزار لرزه‌ای مناسب برای تشخیص ویژگی‌های وابسته به بسامد سنگ‌های مخازن نفتی استفاده می‌شوند. برای نمونه هنگامی که یک سیگنال لرزه‌ای به نقشه زمان - مقیاس تجزیه می‌شود، ویژگی‌های بسامدی سیگنال لرزه‌ای که با زمان تغییر می‌کند در آن آشکار می‌شود. روش‌های مختلف تجزیه طیفی برای تفسیر و تحلیل داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ از جمله روش STFT که از آن برای تشخیص لایه‌هایی استفاده می‌شود که سترایشان کمتر از سترای تیونینگ است (Peyton et al., 1998; Partyka et al., 1999). Bradford (1999) با استفاده از پایه فیزیکی تجزیه موجک - تطابق، تضعیف سیگنال لرزه‌ای و امواج رادار نفوذکننده در زمین را مورد مطالعه قرار داد (Bradford & Wu, 2007). Castagna & Seigfried (2003) با به کار بردن تجزیه به روش تعقیب تطابق (MPD) بی‌هنجاری‌های کم بسامد ناشی از مخازن گازی را بررسی کرد. Sinha et al. (2005) بر مبنای روش CWT روش TFCWT را برای آشکارسازی کانال‌ها و سایه‌های کم بسامد ایجاد شده توسط مخازن گازی به کار بردند. Barnes (1993) نشانگرهای طیفی لحظه‌ای مانند بسامد مرکزی، بسامد rms و پهنای باند را با استفاده از تعاریف نظریه احتمالات به دست آورد. نشانگرهای طیفی لحظه‌ای را می‌توان از نقشه‌های زمان - بسامدی که از روش‌های CWT و TFCWT به دست آمده‌اند استخراج کرد. همچنین Sinha et al. (2009) روابط ریاضی جدیدی ارائه کردند که نشانگرهای طیفی لحظه‌ای را از نقشه زمان - مقیاس به دست می‌آورد. روش TFCWT به این صورت است که از وارون تبدیل موجک پیوسته تبدیل فوریه گرفته می‌شود تا از نقشه زمان - مقیاس، نقشه زمان - بسامد تولید شود (Sinha et al., 2005). اگر مقیاس رابطه وارونی با بسامدی مرکزی موجک داشته باشد، نشانگرهای حاصل از نقشه زمان - مقیاس روش CWT مشابه نشانگرهای به دست آمده از نقشه زمان - بسامد روش TFCWT است. به این دلیل در تبدیل موجک پیوسته به طور گسترده‌ای از موجک مورلت استفاده می‌شود که در آن بسامد و مقیاس تقریباً یک نسبت وارون با هم دارند (Torrence & Compo, 1998). محاسبه نشانگرهای CWT به طور قابل ملاحظه‌ای آسان‌تر از محاسبه آنها به روش TFCWT است زیرا در روش CWT

با گرفتن تبدیل فوریه از مقیاس نما روی τ خواهیم داشت:

$$F[F_W(\sigma, \tau)] = F(\omega) \sqrt{\sigma} \psi^*(\sigma\omega) \quad (6)$$

بنابراین رابطه ۴ را می‌توان بر حسب تبدیل فوریه وارون نوشت:

$$F_W(\sigma, \tau) = \int F(\omega) \sqrt{\sigma} \psi^*(\sigma\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \quad (7)$$

حال معادله چگالی توان در حوزه موجک که به صورت زیر است را مورد بررسی

قرار می‌دهیم (Mallat, 1999):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} d\tau \int_0^{+\infty} \frac{|F_W(\sigma, \tau)|^2}{\sigma^2} d\sigma \\ &= \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} d\tau \int_0^{+\infty} \frac{F_W^*(\sigma, \tau) F_W(\sigma, \tau)}{\sigma^2} d\sigma \end{aligned} \quad (8)$$

با جایگزین کردن معادله ۷ در معادله ۸ و حذف متغیر τ خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{C_\psi} \int_0^{+\infty} \frac{|F_W(\sigma, \tau)|^2}{\sigma^2} d\sigma \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} |F(\omega, \tau)|^2 d\omega = 2 \int_0^{+\infty} |F(\omega, \tau)|^2 d\omega \end{aligned} \quad (9)$$

این معادله نشان می‌دهد که اگر ω را برابر $\frac{k_\psi}{\sigma}$ قرار دهیم، یک برابری در انرژی کل میان مقیاس نما و طیف نما وجود دارد. طرف چپ معادله ۹ به طرف راست معادله تغییر می‌کند. (Hlawatsch & Boudreaux-Bartels, 1992) رابطه‌ای معرفی کردند که در آن بسامد مرکزی موجک با مقیاس رابطه وارون دارد زیرا $\omega = 2\pi f$ است (Abry et al., 1993). پس می‌توان نوشت:

$$f = \frac{k_\psi}{\sigma} \quad (10)$$

که در آن f ، σ و k_ψ به ترتیب بسامد، مقیاس و ثابت موجک هستند. با توجه به معادله بالا می‌توان روابط مربوط به نشانگرها را بر حسب مقیاس نوشت (Sinha et al., 2009):

$$\tilde{f}_c(t) = \frac{k_\psi \int_0^\infty \frac{1}{\sigma^3} |F_W(\sigma, t)|^2 d\sigma}{\int_0^\infty \frac{1}{\sigma^2} |F_W(\sigma, t)|^2 d\sigma} \quad (11)$$

$$\tilde{f}_R^2(t) = \frac{k_\psi^2 \int_0^\infty \frac{1}{\sigma^4} |F_W(\sigma, t)|^2 d\sigma}{\int_0^\infty \frac{1}{\sigma^2} |F_W(\sigma, t)|^2 d\sigma} \quad (12)$$

$$\tilde{f}_{BW}^2(t) = \frac{k_\psi^2 \int_0^\infty \frac{(k_\psi - \sigma \tilde{f}_c)^2}{\sigma^4} |F_W(\sigma, t)|^2 d\sigma}{\int_0^\infty \frac{1}{\sigma^2} |F_W(\sigma, t)|^2 d\sigma} \quad (13)$$

که $\tilde{f}_c(t)$ ، $\tilde{f}_R(t)$ و $\tilde{f}_{BW}(t)$ به ترتیب بسامد مرکزی لحظه‌ای، بسامد rms لحظه‌ای و پهنای باندی لحظه‌ای هستند که از مقیاس نما $F_W(\sigma, t)$ به‌دست آمده‌اند. مقیاس نشان‌دهنده تک بسامد نیست بلکه یک باند بسامدی را نشان می‌دهد که این باند برای موجک مورلت به‌صورت باریک و موضعی است. با توجه به این که طیف CWT بر پایه باند بسامدی محاسبه می‌شود و با گرفتن بسامد مرکزی باند بسامدی نمایش داده می‌شود، این باندهای بسامدی با یکدیگر همپوشانی دارند که این همپوشانی با افزایش بسامد بیشتر خواهد شد و این سبب یک اتلاف انرژی در طیف CWT می‌شود که به یک تضعیف نادرست در سیگنال خواهد انجامید. بنابراین، نشانگرهای محاسبه‌شده از مقیاس نما نرم‌تر از نشانگرهای محاسبه‌شده از طیف نمای TFCWT هستند. چون مقیاس موجک‌ها خاصیت دوتایی دارد، بنابراین نیازی نیست که هر بسامد به‌وسیله مقیاس متناظر نمایش داده شود و تنها تعداد کمی از مقیاس‌ها برای نمایش تمام طیف بسامدی یک سیگنال نیاز است (Torrence & Compo, 1998).

این نشانگرها که حاصل از نقشه زمان-مقیاس هستند، در آشکارسازی سایه‌های کم‌بسامد ناشی مخارن گازی بسیار مفید هستند.

در CWT سیگنال از حوزه زمان به حوزه زمان-مقیاس منتقل و طیف زمان-مقیاس (مقیاس‌نما) آن رسم می‌شود. این حالت شباهتی به نقشه زمان-بسامد (طیف‌نما) که از تبدیل فوریه زمان کوتاه به دست می‌آید ندارد. اگرچه چندین روش برای تبدیل طیف زمان-مقیاس به طیف زمان-بسامد وجود دارد، روابط جدید ریاضی برای محاسبه نشانگرهای طیفی معرفی می‌شود که از مقیاس‌نما به‌دست آمده است (Barnes, 1993). در این روابط، دیگر از تبدیل مقیاس‌نما به طیف زمان-بسامد چشم‌پوشی می‌شود و نشانگرهای طیفی لحظه‌ای از مقیاس‌نما تهیه خواهند شد. افزون بر این برای به‌دست آوردن این نشانگرها بر پایه CWT دیگر نیازی به انتخاب طول پنجره که در تبدیل فوریه زمان کوتاه ضروری می‌باشد، نیست.

میانگین طیف توان لحظه‌ای، بسامد مرکزی لحظه‌ای خوانده می‌شود و به‌عنوان اولین گشتاور طیف توان زمان-بسامد در طول محور بسامد معرفی می‌شود:

$$f_c(t) = \frac{\int_0^\infty f |w(f, t)|^2 df}{\int_0^\infty |w(f, t)|^2 df} \quad (1)$$

که در آن $f_c(t)$ بسامد مرکزی و $w(f, t)$ نقشه زمان-بسامد است که از روش‌های STFT و TFCWT یا دیگر روش‌های تجزیه طیفی به‌دست می‌آید. ریشه مربع گشتاور دوم طیف توان زمان-بسامد در طول محور بسامد، بسامد rms لحظه‌ای $f_R(t)$ نامیده می‌شود (Papoulis, 1984):

$$f_R^2(t) = \frac{\int_0^\infty f^2 |w(f, t)|^2 df}{\int_0^\infty |w(f, t)|^2 df} \quad (2)$$

انحراف استاندارد در مورد بسامد مرکزی لحظه‌ای، پهنای باند طیف لحظه‌ای ($f_{BW}(t)$) خوانده می‌شود که به‌صورت زیر است:

$$f_{BW}^2(t) = \frac{\int_0^\infty (f - f_c)^2 |w(f, t)|^2 df}{\int_0^\infty |w(f, t)|^2 df} \quad (3)$$

همه معادله‌های بالا با نشان‌گذاری‌های مختلف از مقاله Barnes (1993) برگرفته شده است. شباهت قابل ملاحظه‌ای میان نشانگرهای به‌دست آمده از TFCWT و مقیاس CWT دیده می‌شود. محاسبه نشانگرها بر پایه مقیاس‌نما بسیار سریع‌تر از آنتهای است که بر پایه TFCWT به‌دست می‌آیند. بنابراین تعریف نشانگر بر پایه مقیاس از نظر محاسبه‌ای در هزینه به‌دست آوردن اطلاعات مؤثر است و سبب می‌شود که زمان قابل ملاحظه‌ای بر حسب طول و تعداد لرزه‌نگاشت‌ها در مجموعه داده‌های ۲ یا ۳ بعدی صرفه‌جویی شود. برای محاسبه نشانگرهای طیفی لحظه‌ای از نقشه زمان-مقیاس به روش CWT، فرمول‌های بالا قابل استفاده نیستند و باید تصحیح شوند. ابتدا از فرمول CWT خواهیم داشت (Mallat, 1999; Sinha et al., 2005):

$$F_W(\sigma, \tau) = \langle f(t), \psi_{\sigma, \tau}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \psi^*\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) dt \quad (4)$$

که $\psi^*(t)$ مزدوج مختلط از تابع موج $\psi(t) \in L^2(R)$ است. $\tau \in R$ و $F_W(\sigma, \tau)$ به ترتیب متغیر انتقال و نقشه زمان-مقیاس (مقیاس‌نما) هستند. معادله بالا را می‌توان به‌صورت همایخت دو تابع نوشت:

$$F(\sigma, \tau) = f(\tau) * \left(\frac{1}{\sigma} \psi^*\left(\frac{-\tau}{\sigma}\right) \right) \quad (5)$$

۳- مقایسه نتایج حاصل از روش‌های STFT، CWT و TFCWT روی داده‌های مصنوعی و حقیقی

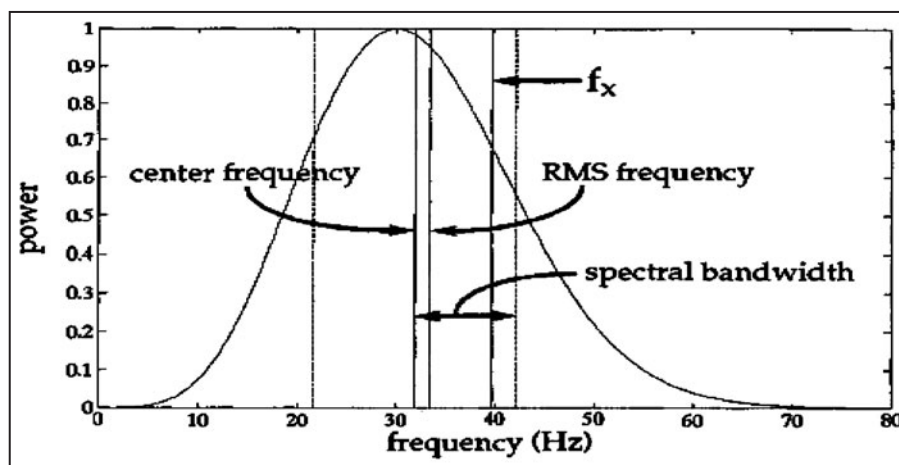
Sinha et al. (2009) نشانگرهای طیفی لحظه‌ای به دست آمده از نقشه زمان-مقیاس روش CWT را با نشانگرهای حاصل از نقشه زمان-بسامد TFCWT برای رد لرزه‌ای شکل ۲- الف مورد مقایسه قرار دادند (شکل‌های ۲- ب و د). همان‌گونه که دیده می‌شود شباهت زیادی میان نشانگرهای به دست آمده از دو روش وجود دارد ولی به دلیل همپوشانی باند بسامدی از یک مقیاس به مقیاس دیگر، نشانگرهای حاصل از روش CWT کمی نرم‌تر (تصاویر وضوح پایین‌تری دارند) از نشانگرهای محاسبه شده از روش TFCWT هستند. این نشان می‌دهد که روش CWT به مقدار کمی تفکیک پذیری پایین‌تری نسبت به روش TFCWT دارد. اما به دلیل اینکه در محاسبه نشانگرها به روش CWT نیازی به تبدیل از نقشه زمان-مقیاس به نقشه زمان-بسامد نیست، سرعت محاسبه نشانگرها به وسیله این روش خیلی بالاتر از روش TFCWT است.

در این پژوهش نشانگرهای طیفی لحظه‌ای به دست آمده از روش‌های STFT، CWT و TFCWT برای مقطع لرزه‌ای شکل ۳ مقایسه شدند، تا هرگونه تفاوت میان این روش‌ها به خوبی نمایان شود. در شکل‌های ۴ و ۵ نشانگرهای بسامد مرکزی و بسامد rms حاصل از نقشه زمان-بسامد توسط روش TFCWT نشان داده شده است. در شکل‌های ۶ و ۷ همان نشانگرها که با استفاده از نقشه زمان-مقیاس حاصل از روش CWT به دست آمده‌اند، مشاهده می‌شوند. همان‌گونه که دیده می‌شود، میان نشانگرهای به دست آمده از این دو روش شباهت قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. ولی چون زمان محاسبه نشانگرهای مقیاس‌نما خیلی کمتر از نشانگرهای طیف‌نمای TFCWT است، بنابراین استفاده از نشانگرهای مقیاس‌نما برای طرح‌های صنعتی مطلوب‌تر است. برای محاسبه نشانگرها به روش STFT از یک پنجره زمانی به طول

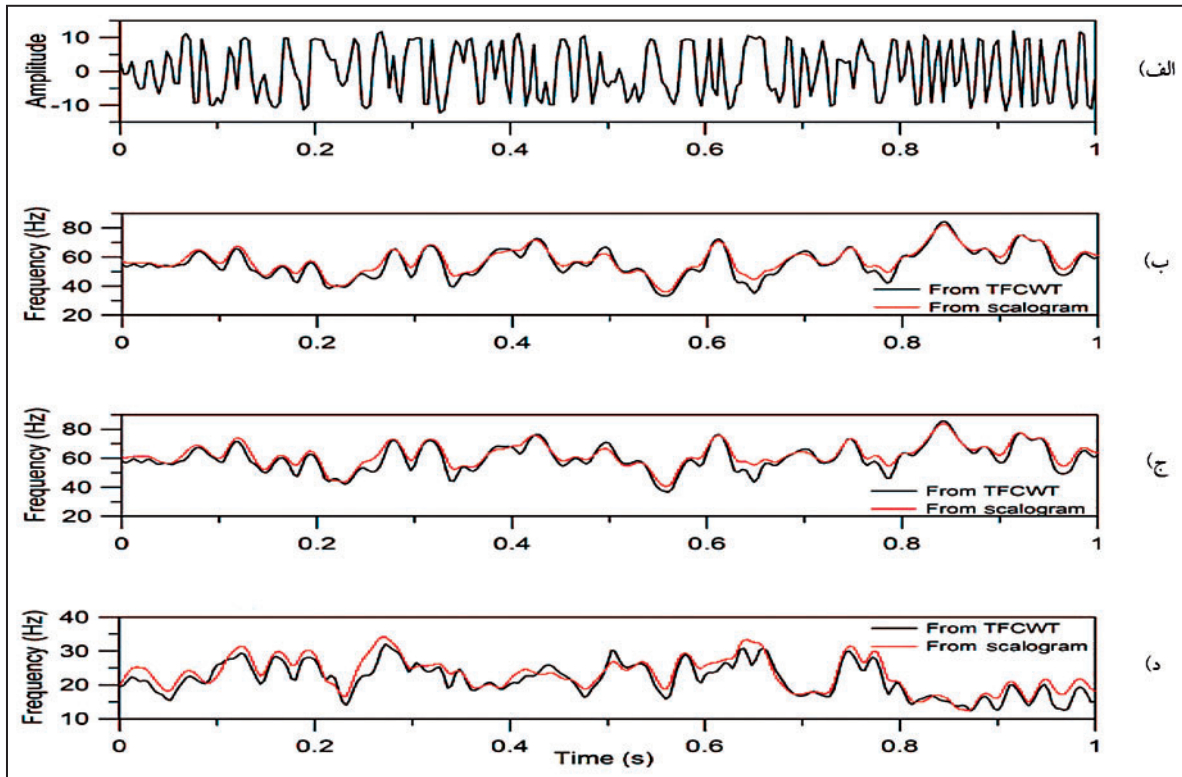
۲۰۰ میلی‌ثانیه استفاده شده و به این دلیل که در این روش طول پنجره زمانی ثابت است در نتیجه تفکیک پذیری زمان-بسامدی ثابت خواهد بود. بنابراین محتوای بسامدی داده‌ها در نشانگر حاصل از این روش به خوبی تشخیص داده نمی‌شود که در شکل‌های ۸ و ۹ این ضعف برای روش STFT به روشنی مشاهده می‌شود. به طور تجربی بسامد غالب برای بی‌هنجاری‌های گازی میان ۱۰ تا ۳۵ هرتز است. مخزن گازی مورد مطالعه با توجه به تفکیک پذیری مطلوب به راحتی در شکل‌های یادشده قابل تشخیص است به گونه‌ای که محل حضور گاز با بیضی نشان داده شده است. برای همه شکل‌های حاصل از نشانگرها، محدوده بسامدی میان ۲۰ تا ۸۰ هرتز در نظر گرفته شده است.

۴- نتیجه‌گیری

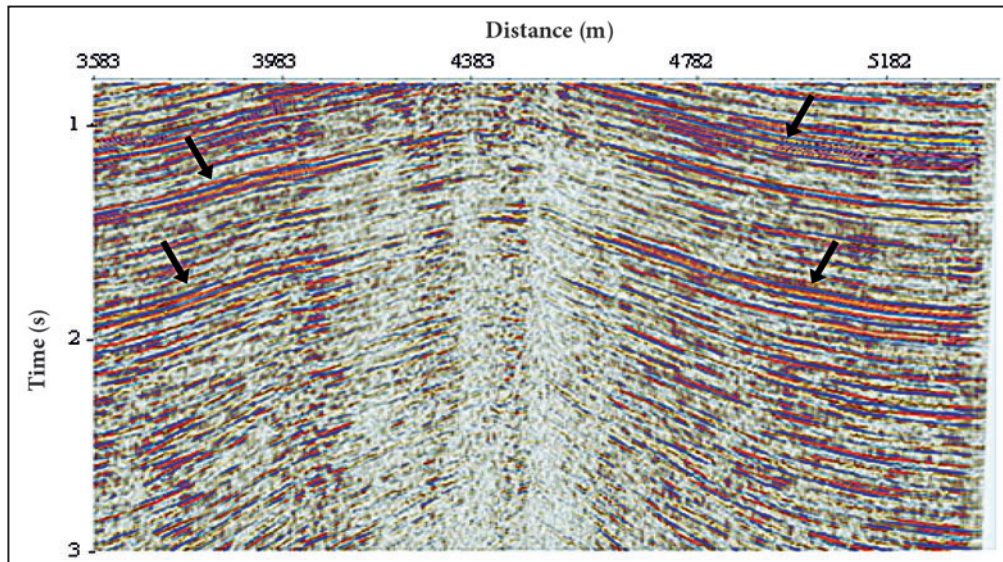
در این پژوهش از روابط ریاضی استفاده شد که امکان محاسبه نشانگرهای طیفی لحظه‌ای را به طور مستقیم از مقیاس‌نما فراهم ساخت. این نشانگرهای طیفی لحظه‌ای نسبت به نشانگرهای TFCWT کمی نرم‌تر (دارای تصاویر با وضوح پایین‌تر) هستند. اما به دلیل این که روش CWT نیازی به تبدیل نقشه زمان-مقیاس به نقشه زمان-بسامد که برای روش TFCWT ضروری است، ندارد، محاسبه این نشانگرها سریع‌تر انجام می‌گیرد و به همین دلیل کاربران روش CWT را به روش TFCWT ترجیح می‌دهند. افزون بر این چون نشانگرهای حاصل از روش CWT نیازی به پنجره زمانی از پیش انتخاب شده ندارند، تفکیک پذیری زمان-بسامدی بالاتری نسبت به نشانگرهای به دست آمده از نقشه زمان-بسامد روش STFT دارند. بنابراین با نشانگرهای به دست آمده از روش CWT ویژگی‌های وابسته به بسامد مخازن هیدروکربوری بررسی و محل تجمع گاز تعیین شد.



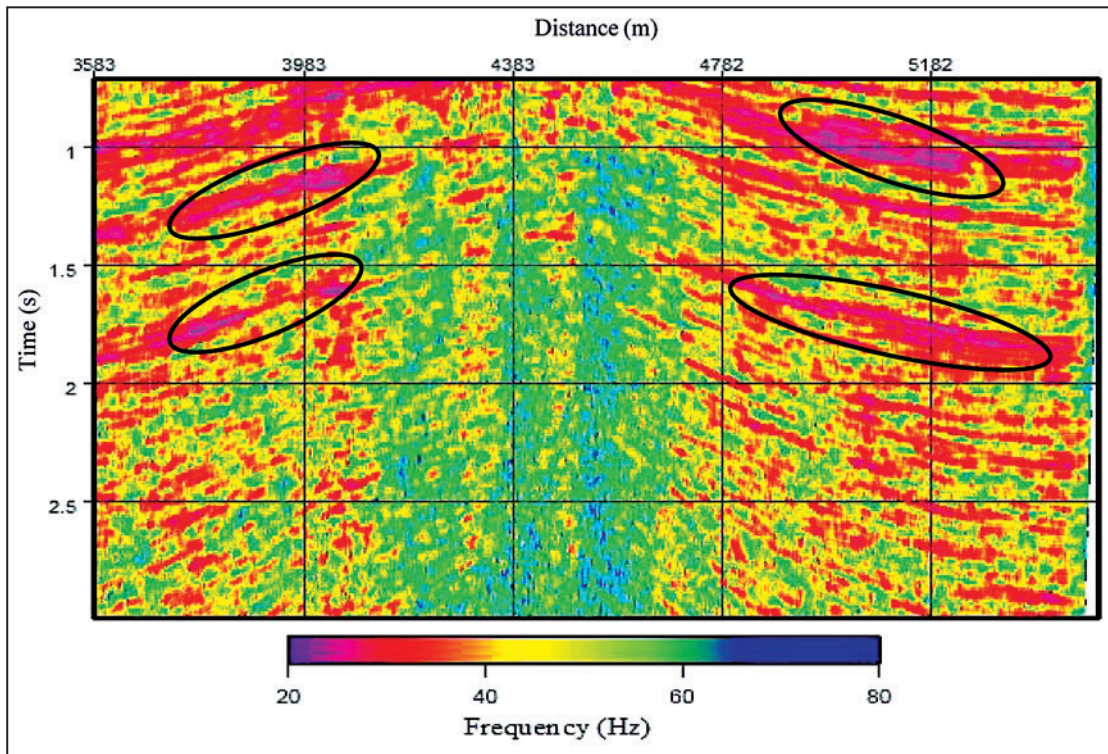
شکل ۱- طیف توان ریشه موجک ریگر، بسامد مرکزی، پهنای باندی و بسامد rms آن (Barnes, 1993).



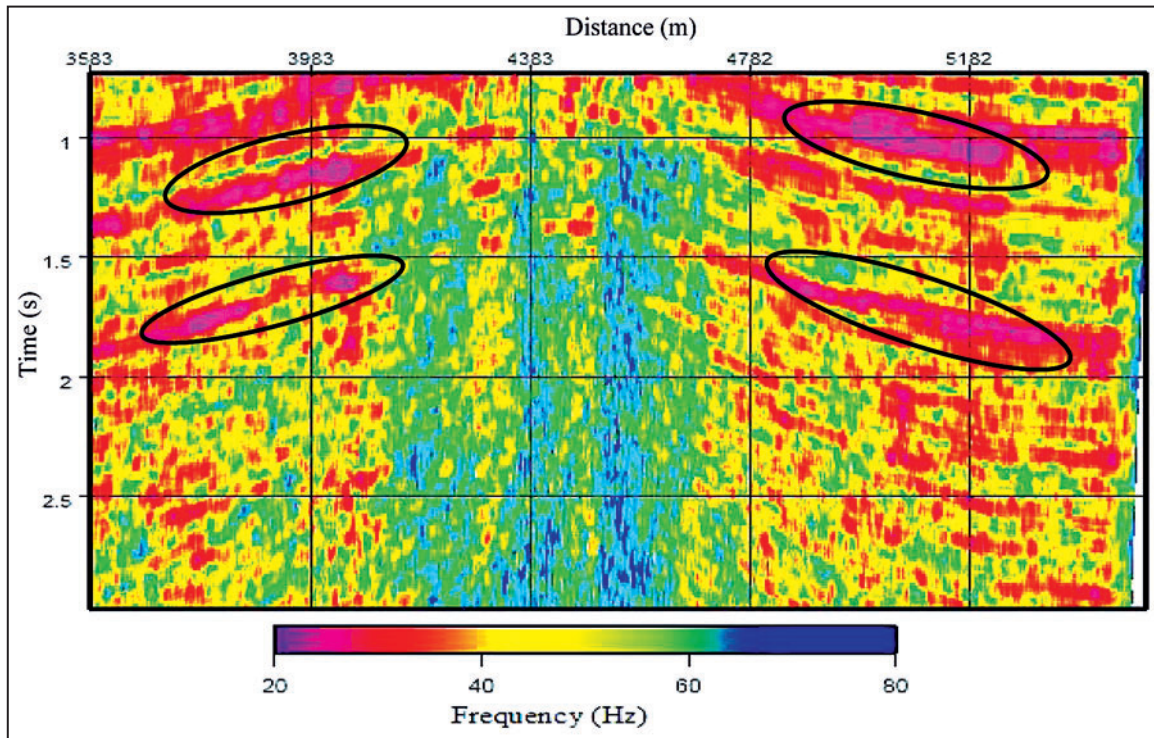
شکل ۲- الف) یک رد لرزه‌ای به طول ۱ ثانیه که در هر ۴ میلی‌ثانیه نمونه‌برداری شده است و نشانه‌های طیفی لحظه‌ای محاسبه شده از این رد ب) بسامد مرکزی، ج) بسامد rms و د) پهنای باند. نشانه‌های CWT با رنگ سرخ و نشانه‌های TFCWT با رنگ سیاه مشخص شده‌اند (Sinha et al., 2009).



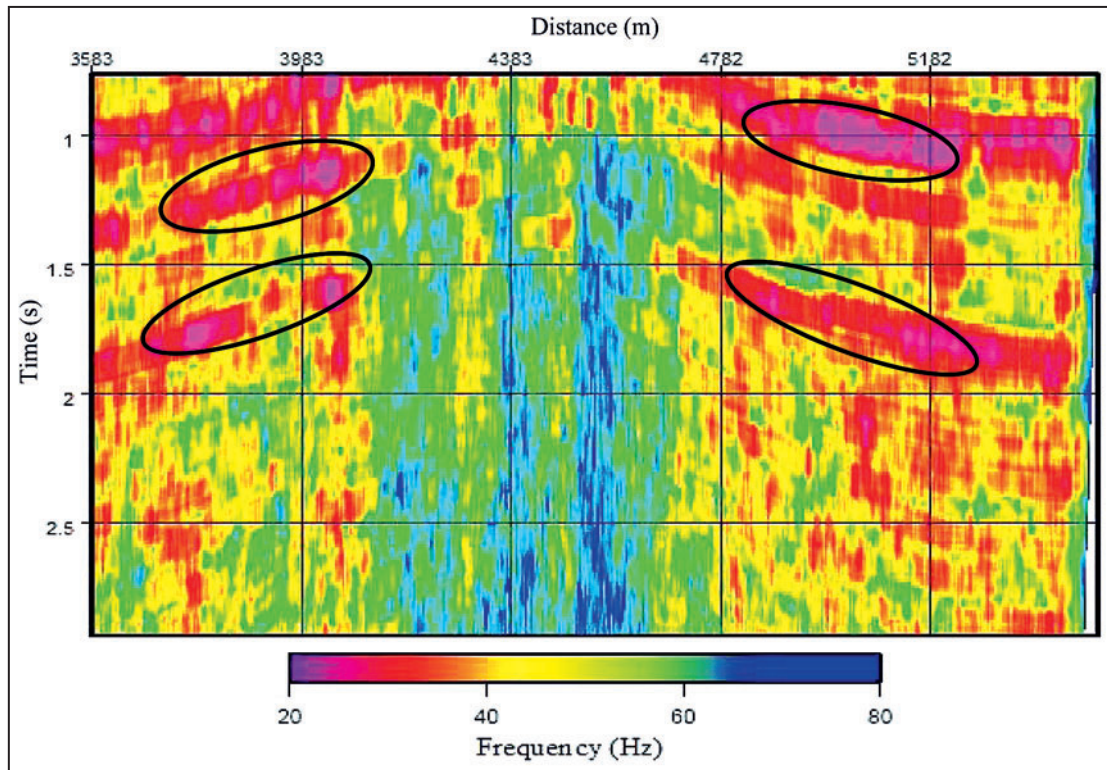
شکل ۳- مقطع لرزه‌ای مورد مطالعه متعلق به یکی از مخازن گازی خلیج فارس، در این شکل پیکان‌های سیاه رنگ سایه‌های کم بسامد مخزن گازی را نشان می‌دهند.



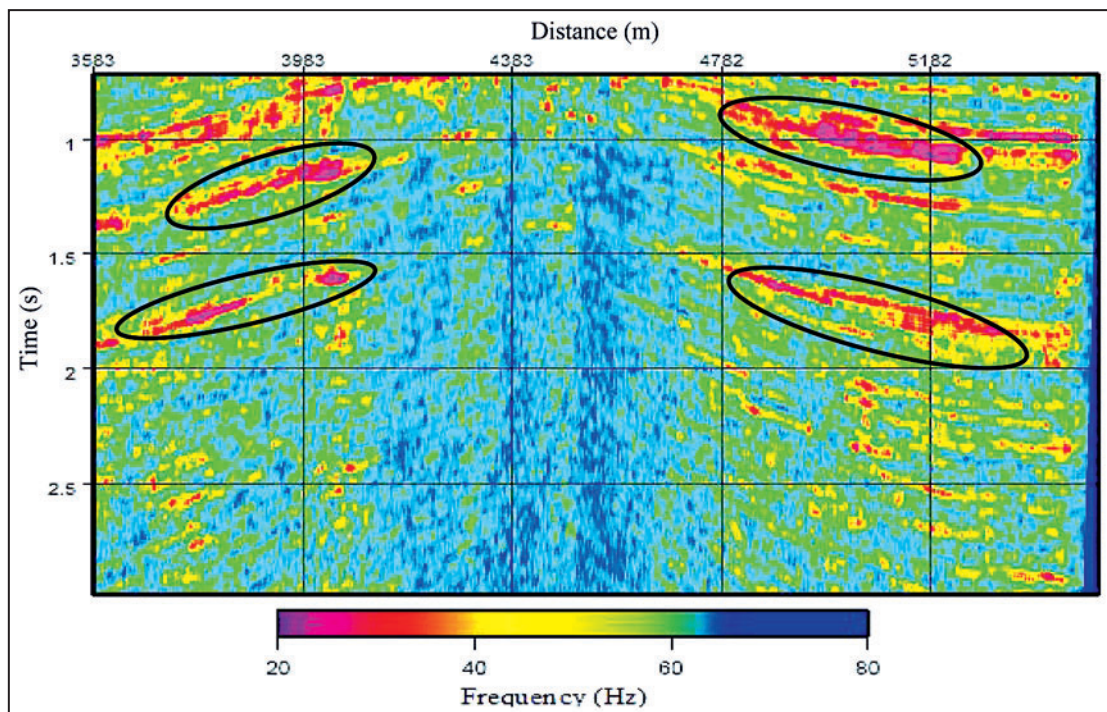
شکل ۴- نشانگر بسامد مرکزی لحظه‌ای محاسبه شده از نقشه زمان- بسامد روش TFCWT. محل حضور گاز با بیضی روی شکل مشخص شده است.



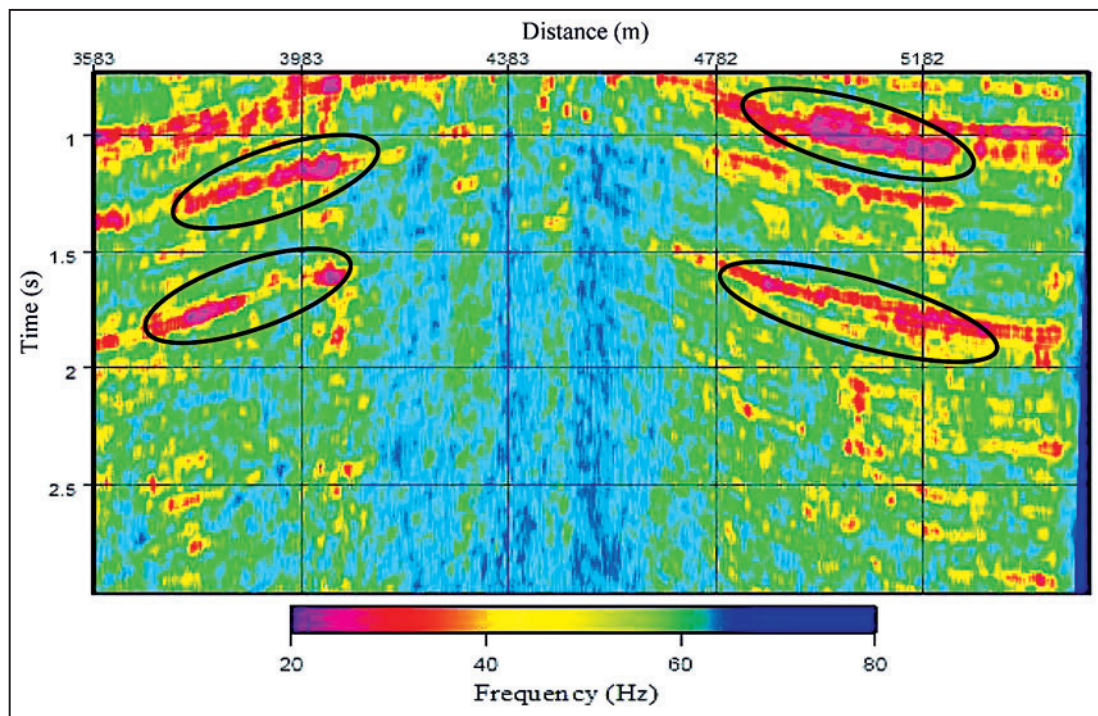
شکل ۵- نشانگر بسامد مرکزی لحظه‌ای محاسبه شده از نقشه زمان- مقیاس روش CWT. محل حضور گاز با بیضی روی شکل مشخص شده است.



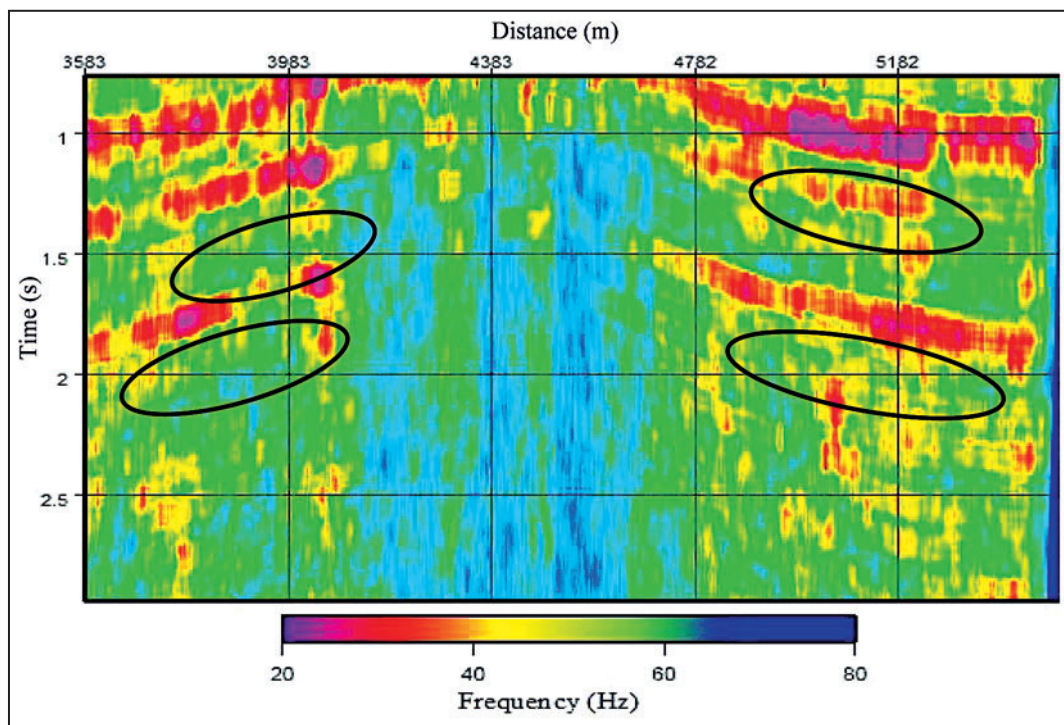
شکل ۶- نشانگر بسامد مرکزی لحظه‌ای محاسبه‌شده از نقشه زمان- بسامد روش STFT با پنجره به طول ۲۰۰ میلی‌ثانیه. محل حضور گاز با بیضی روی شکل مشخص شده است.



شکل ۷- نشانگر بسامد rms لحظه‌ای محاسبه‌شده از نقشه زمان- بسامد روش TFCWT. محل حضور گاز با بیضی روی شکل مشخص شده است.



شکل ۸- نشانگر بسامد rms لحظه‌ای محاسبه شده از نقشه زمان- بسامد روش CWT. محل حضور گاز با بیضی روی شکل مشخص شده است.



شکل ۹- نشانگر بسامد rms لحظه‌ای محاسبه شده از نقشه زمان- بسامد روش STFT با پنجره به طول ۲۰۰ میلی ثانیه. محل حضور گاز با بیضی روی شکل مشخص شده است.

References

- Abry, P., Goncalves, P. & Flandrin, P., 1993- Wavelet-based spectral analysis of 1/f processes: IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 3, 237–240.
- Barnes, A. E., 1993- Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency with applications to seismic reflection data: Geophysics, 58, 419–428
- Bradford, J. H., 1999- characterizing shallow aquifers with wave propagation based geophysical techniques: Ph.D. dissertation, Rice University.
- Bradford, J. H. & Wu, Y., 2007- Instantaneous spectral analysis: Time-frequency mapping via wavelet matching with application to contaminated site characterization by 3DGPR: The Leading Edge, 26, 1018–1023.
- Castagna, J. P., Sun, S. & Seigfried, R. W., 2003- Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons: The Leading Edge, 22, 120–127.
- Cohen, L., 1995- Time-frequency analysis: Prentice-Hall, Inc. de Voogd N., and H. den Rooijen, 1983, Thin-layer response and spectral bandwidth: Geophysics, 48, 12–18.
- Hlawatsch, F. & Boudreaux-Bartels, G. F., 1992- Linear and quadratic time-frequency signal representations: IEEE Signal Processing, 9, 21–67.
- Mallat, S., 1999- a wavelet tour of signal processing, 2nd ed.: Academic Press Inc.
- Papoulis, A., 1984- Probability random variables and stochastic processes: McGraw-Hill Book Co.
- Partyka, G., Gridley, J. & Lopez, J., 1999- Interpretational applications of Spectral decomposition in reservoir characterization: The Leading Edge, 18, 353–360.
- Peyton, L., Bottjer, R. & 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, 1294–1298.
- Sinha, S., Routh, P. S. & Anno, P. D., 2009 - instantaneous spectral attributes using scales in continuous-wavelet transform: Geophysics, 74, no. 2, P137–P142.
- Sinha, S., Routh, P. S., Anno, P. D. & Castagna, J. P., 2005- Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform: Geophysics, 70, no. 6, P19–P25.
- Torrence, C. & Compo, G. P., 1998- a practical guide to wavelet analysis: Bulletin of the American Meteorological Society, 79, 61–78.

Instantaneous Spectral Attributes Obtained from Time-Scale Map Continuous Wavelet Transform (CWT)

M. Yari ^{1*}, R. Mohebian ¹ & M. A. Riahi ²

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

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

Received: 2011 January 23

Accepted: 2011 November 12

Abstract

Instantaneous spectral attributes such as center frequency, root-mean-square frequency and bandwidth often are extracted from time-frequency spectrum to describe frequency- dependent rock properties in exploration seismic. These attributes are defined using probability theory. A time-frequency map (spectrogram) can be obtained from methods such as short-time Fourier transform (STFT), continuous-wavelet transform (CWT) and time-frequency continuous-wavelet transform (TFCWT) that methods CWT and TFCWT does not require preselecting a time window, which is essential in STFT and have better time-frequency resolution than STFT. In this paper is applied method using mathematical formulas which compute the instantaneous spectral attributes from the scalogram that these attributes are similar to attributes obtained from spectrogram TFCWT. Except that here not need to convert scalogram into spectrogram computing time will be longer.

Key words: Short-time Fourier transforms (STFT), Continuous Wavelet Transform (CWT), Time-Frequency Continuous Wavelet Transform (TFCWT), Center frequency, Root-mean-square frequency, Bandwidth.

For Persian Version see pages 67 to 74

*Corresponding author: M. Yari; E-mail: yari.mostafa64@gmail.com