نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي داده‌هاي لرزه‌اي در حوزه زمان - بسامد

احسان ذبيحي نائيني و حميدرضا سياهكوهي

موسسه ژئوفيزيك دانشگاه تهران

چكيده

سيگنال لرزه‌اي به هنگام انتشار در زمين به دليل گذر از محيط‌هايي با ويژگي‌هاي كشساني مختلف، محتواي بسامدي متغير با زمان خواهد داشت. به بيان ديگر امواج لرزه‌اي عموماً داراي ماهيتي ناپايا هستند. وجود مخازن هيدروكربور در مسير انتشار امواج لرزه‌اي از جمله عواملي است كه مولفه‌هاي بسامد بالاي سيگنال لرزه‌اي را جذب كرده و پديده‌اي بنام سايه بسامد پايين در مقطع لرزه‌اي ايجاد مي‌كند. اين پديده در لرزه‌نگاري مستقيماً نشانگر حضور هيدروكربور در منطقه است. وجود ناحية خرد شده به خاطر گسلش عاملي ديگر براي كاهش بسامد غالب سيگنال لرزه‌اي است.

هدف اين مطالعه رديابي ناهنجاري‌هاي بسامدي فوق در داده‌هاي واقعي حاصل از لرزه‌نگاري است. براي اين منظور نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي داده‌هاي لرزه‌اي با استفاده از بيناب زمان- بسامد تبديل موجك پيوسته و تبديل فوريه زمان كوتاه محاسبه و نتيجه حاصل از آنها براي آشكارسازي مخزن هيدروكربور و گسل با يكديگر مقايسه شده است. در مرحله بعدي براي افزايش سرعت محاسبات و استفاده از قدرت تفكيك بهينه تبديل موجك پيوسته، نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي مستقيماً از مقياس تعيين و بر روي همان مجموعه داده، اجرا شده است.

واژه‌هاي كليدي: تبديل موجك پيوسته، نشانگر لرزه‌اي، تبديل فوريه زمان كوتاه، سايه بسامد پايين، نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي.

مقدمه

لرزه‌نگاري[1] يا لرزه‌شناسي اكتشافي[2] زائيده علم زلزله‌شناسي[3] است. در لرزه‌نگاري امواج كشسان بوسيله چشمه‌هاي مصنوعي (انفجار يا ارتعاشگرها) در مجاورت سطح زمين توليد و پس از انتشار در لايه‌هاي زمين بازتابيده شده و در سطح توسط گيرنده‌هاي لرزه‌اي ثبت مي‌شوند. مقطع لرزه‌اي نهايي حاصل از تجزيه، تحليل و پردازش لرزه‌نگاشت‌هاي ثبت شده لايه‌هاي مختلف زمين را با توجه به خواص كشساني متفاوت آنها، به تفكيك نشان مي‌دهد. از آنجا كه حضور گاز، نفت و ناحيۀ خرد

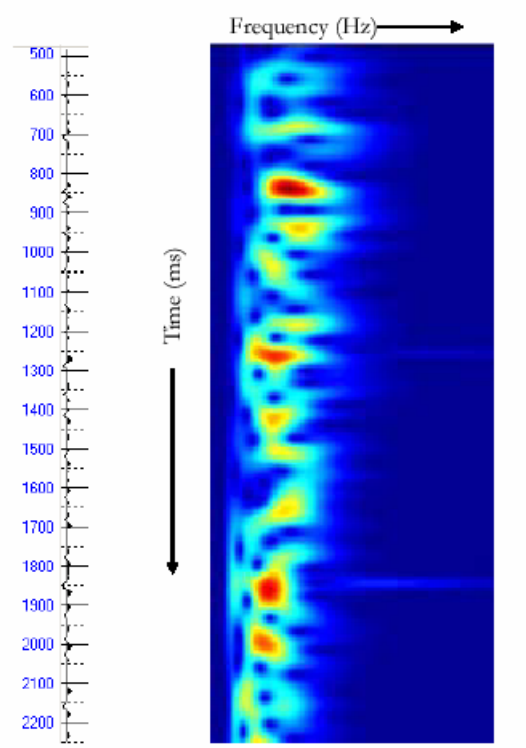
1. Seismic
2. Exploration Seismology
3. Earthquake Seismology

شده بواسطه گسلش هرکدام به نوعي خواص کشساني سنگ را تغيير مي‌دهند، بنابراين انتظار مي‌رود در مقاطع لرزه‌اي بتوان محل تجمع اين سيالات را در زير زمين مشخص نمود. ولي نتايج نهايي لرزه‌نگاري به صورت مقاطع لرزه‌اي و حاوي شكل‌موج‌هاي[1] ثبت شده هستند، كه مستقيماً نشان دهنده حضور سيالات فوق‌الذكر نمي‌باشند. براي نيل به اين منظور لازم است به دنبال اثراتي كه اين سيالات به هنگام گذر پرتوهاي موج از آنها بر روي شكل‌موج بجا مي‌گذارند باشيم كه در لرزه‌نگاري به اين اثرات بجا مانده اصطلاحاً نشانگر لرزه‌اي[2] گويند.

غالباً پديده‌هاي زمين‌شناسي اشاره شده در بالا باعث مي‌شوند بخش انتهايي باند بسامدي مربوط به سيگنال لرزه‌اي بيشتر تضعيف شوند و در نتيجه بسامد غالب سيگنال لرزه‌اي به سمت بسامدهاي پايين انتقال يابد (تنر و شريف، ۱۹۷۷؛ چن و سيدني، ۱۹۹۷؛ بارنس، ۱۹۹۲؛ وانگ، ۲۰۰۴). از اين‌رو انتظار مي‌رود با تبديل مقاطع لرزه‌اي به حوزه‌هايي كه تمركز مولفه‌هاي بسامدي مختلف در زمان را نشان مي‌دهند بتوان ردپاي اين پديده‌هاي زمين‌شناسي را پيدا كرد.

در اين مطالعه براي تعيين موقعيت تمركز هيدروكربور و بررسي احتمالي حضور ناحيهٔ گسل خورده در دو مقطع لرزه‌اي واقعي (يكي از خارج و ديگري در ايران) از نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي با بكارگيري تكنيك‌هايي بر پايه تبديل فوريه زمان كوتاه و تبديل موجك استفاده شده است.

نمونه اين پژوهش قبلاً توسط محققين با استفاده از تبديل هيلبرت صورت گرفته است (تنر و شريف، ۱۹۷۷). بسامد لحظه اي[3] غالباً براي معرفي وابستگي بسامد به زمان بكار مي‌رود. اما اگر سيگنال از نوع باند باريك نباشد، بسامد لحظه اي از اجزاي مختلف بيناب در زمان ميانگين مي‌گيرد (ريول و وترلي، ۱۹۹۱). در چنين مواردي تحليل زمان- بسامد بخوبي اطلاعات بسامدي را در زمان نشان مي‌دهد. شكل ۱ لرزه‌نگاشت ثبت شده در يك ايستگاه و بيناب آن در حوزه زمان- بسامد را نشان مي‌دهد. ماهيت ناپاياي سيگنال لرزه‌اي به وضوح از بيناب زمان- بسامد آن مشخص است. از اين‌رو بيناب زمان- بسامد در تحليل داده‌هاي لرزه‌اي و استخراج نشانگرهاي لرزه‌اي مي‌تواند بسيار مفيد واقع شود.



شكل ۱. سمت چپ لرزه‌نگاشت و سمت راست بيناب زمان- بسامد آن.

تحليل زمان- بسامد

در اين مطالعه براي استخراج نشانگرهاي مطلوب در لرزه‌شناسي از دو روش تحليل زمان- بسامد تبديل فوريه

1. Waveforms
2. Seismic Attribute
3. Instantaneous Frequency

زمان كوتاه[1] و تبديل موجك پيوسته[2] استفاده شده و مزايا و معايب هركدام مورد بررسي قرار گرفته است. تمام الگوريتم‌ها براي محاسبه نشانگرها در محيط Matlab توسط نويسندگان توسعه داده شده است.

در تبديل فوريه زمان كوتاه هر دو تحليل در حوزه‌هاي زمان و بسامد تركيب مي‌شوند، در حوزه زمان سيگنال پنجره مي‌شود (بخش كوچكي از سيگنال برداشته مي‌شود) و سپس تبديل فوريه روي بخش پنجره شده اعمال مي‌شود تا اطلاعات زمان- بسامد محلي بدست آيند. تحليل زمان- بسامد از اين ديدگاه را تبديل فوريه پنجره‌اي يا تبديل فوريه زمان كوتاه گويند و نقشه زمان- بسامد حاصل بيناب‌نما ناميده مي‌شود (ريول و فلاندرين، ۱۹۹۲؛ ريول و وترلي، ۱۹۹۱). تبديل فوريه زمان كوتاه به صورت رابطه (۱) نوشته مي‌شود.

$$Wf(\omega,\tau)=\langle x(t),\varphi(t-\tau)e^{j\omega t}\rangle=\int_{-\infty}^{\infty}x(t)\overline{\varphi(t-\tau)}e^{-j\omega t}dt \qquad (۱)$$

كه در آن $\varphi(t)$ تابع پنجره و τ و ω موقعيت پنجره زمان- بسامد را مشخص مي‌كنند. در تحليل زمان- بسامد مي‌خواهيم كه در حد امكان به قدرت تفكيك زمان- بسامدي بالايي برسيم، به عبارت ديگر مي‌خواهيم پنجره زمان- بسامد در حد امكان كوچك باشد. اما از طرفي اصل عدم قطعيت هايزنبرگ يك كران را براي سطح پنجره لازم مي‌دارد. از اين‌رو در تبديل فوريه زمان كوتاه انتخاب پنجره زماني كوتاه به قدرت تفكيك زماني خوب و برعكس قدرت تفكيك بسامدي ضعيف منجر مي‌شود. از طرف ديگر، پنجره زماني دراز به قدرت تفكيك زماني ضعيف و قدرت تفكيك بسامدي خوب منجر مي‌گردد.

نكته مهم ديگر در اين نوع تحليل زمان- بسامد اين است كه به محض انتخاب پنجره شكل آن در تمام صفحه زمان- بسامد ثابت مي‌ماند (مرتينز، ۱۹۹۸).

تبديل موجك در ابتداي دهه ۱۹۸۰ توسط مورلت و همكاران معرفي شد كه براي ارزيابي داده هاي زلزله بكار رفت (مورلت و همكاران، ۱۹۸۲). از آن زمان تا كنون انواع متفاوتي از تبديلات موجك توسعه يافته اند و كاربردهاي بسيار ديگري پيدا شده است. تبديل موجك پيوسته براي سيگنال $x(t)$ بصورت (۲) تعريف مي‌شود.

$$CWT_x(\tau,a)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\int_{-\infty}^{\infty}x(t)h^*(\frac{t-\tau}{a})dt \qquad (۲)$$

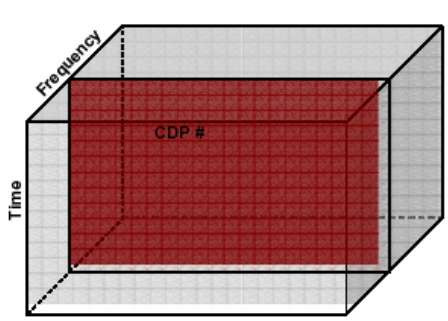
كه در آن، a مقياس، $h(t)$ موجك مادر، τ پارامتر انتقال زماني و فاكتور $\frac{1}{\sqrt{|a|}}$ براي نرماليزه كردن انرژي بكار رفته است. نقشه زمان- مقياس حاصل از تبديل موجك مقياس‌نما ناميده مي‌شود (ريول و وترلي، ۱۹۹۱). مي‌توان نقشه زمان- مقياس تبديل موجك پيوسته را به نقشه زمان- بسامد قابل مقايسه با تبديل فوريه زمان كوتاه تبديل كرد (ابري و همكاران، ۱۹۹۳؛ تورنسي و كمپو، ۱۹۹۸؛ چاكرابرتي و اوكايا، ۱۹۹۵؛ ذبيحي، ۱۳۸۴). تبديل موجك پيوسته در بسامد هاي بالا داراي قدرت تفكيك زماني خوب و در بسامد هاي پايين داراي قدرت تفكيك بسامدي خوب است.

نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي

قدرت تفكيك زمان- بسامدي در تبديل موجك پيوسته خاصيت مطلوب در لرزه‌شناسي اكتشافي است چرا كه براي آشكارسازي سايه‌هاي بسامد پايين مخازن هيدروكربور نياز به قدرت تفكيك بسامدي و براي تفكيك بالا و پايين لايه‌هاي نازك نياز به قدرت تفكيك زماني

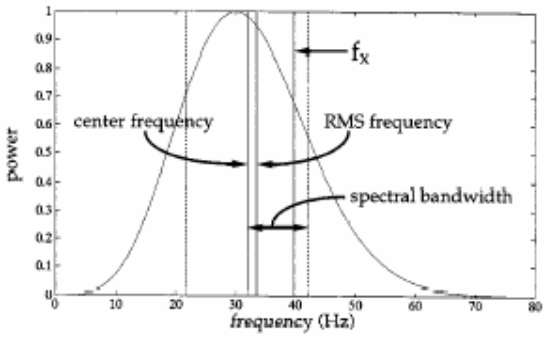
1. Short Time Fourier Transform
2. Continuous Wavelet Transform

داريم كه در بسامدهاي بالا بـا اسـتفاده از تبـديل موجـك پيوسته مقدور خواهد بود. بنابراين نـشانگرهاي حاصـل از تبديل موجك پيوسته داراي قدرت تفكيك زمـان- بـسامد بهتري نسبت به تبديل فوريه زمان كوتاه هستند. در تحليل زمان- بسامد، يك لرزه‌نگاشت يك بعـدي يـك مجموعـه داده دو بعدي توليد مي‌كند كه يـك محـور بـسامد بـه آن اضافه شده است و يك مقطع لرزه‌اي دو بعدي يك حجـم داده سه بعدي توليد مي‌كند كه محـور سـوم آن بـسامد تـا حد نايكوئيست (Nyquist) اسـت. هـر مقطـع تـك‌بـسامد (شكل ۲) از اين حجـم داده سـه بعـدي، مقطـع لـرزه اي تـك‌بـسامد (Single Frequency Seismic Section) ناميـده مي‌شود (ذبيحي، ۱۳۸۴). مقاطع لرزه‌اي تك‌بـسامد كـه بـا استفاده از روش‌هاي تحليل زمان- بـسامد مقـاطع لـرزه‌اي توليد مي‌شوند را مي‌تـوان بـراي آشكارسـازي سـايه‌هـاي كم‌بسامد ناشي از مخازن هيدروكربور و تجزيـه و تحليـل لايه‌هاي نازك با ضخامت حدود تيونينگ (tuning) استفاده كرد (ذبيحي، ۱۳۸۴). هرچنـد مقـاطع لـرزه‌اي تـك‌بـسامد اطلاعات خوبي بـراي آشكارسـازي مخـازن هيـدروكربور بدست مي‌دهند اما با توجه به مطالعه قبلي ديـده شـد كـه تفسير تك بسامدي نيازمند بررسـي حجـم زيـادي از داده هاسـت (ذبيحـي و سـياهكوهي، ۱۳۸۴). تجزيـه زمـان- بسامدي يك مقطـع لـرزه‌اي چنـدين مقطـع لـرزه‌اي تـك بسامدي توليد مي‌كند و در نهايت حجم عظيمي از داده ها ايجاد خواهد شد. چنين رويكردي چندان جالب نيـست و در برخي موارد در بدست آوردن شكل كلي رفتار بسامدي داده ها ممكن است مـوثر واقـع نـشود. همچنـين بدسـت آوردن اطلاعات در يك بسامد خاص همزمان با از دسـت دادن اطلاعات در ديگـر افـق هـا خوهـد بـود. در چنـين مواردي پارامترهاي ميانگين بيناب زمـان- بـسامد محاسـبه مي‌شوند كه موضوع بحث اين مقاله است.

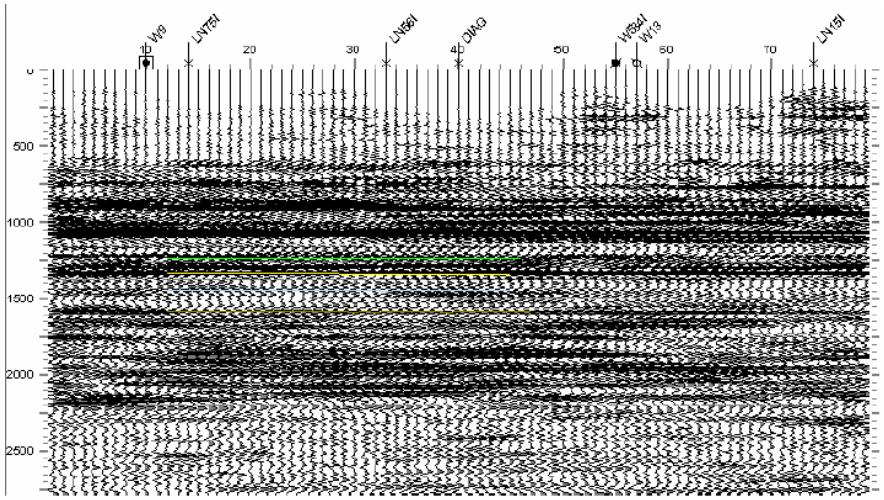


شكل ۲. شكل شماتيك مقطع لرزه اي تك بسامد (رنگ قرمز) در حجم سه بعدي داده هاي لرزه اي حاصل از تحليل زمان- بسامد.

نشانگرهاي بينابي لرزه‌اي از مقاله بـارنس (۱۹۹۳) اقتبـاس شده است. توزيع بسامد در يك سيگنال لرزه‌اي با اسـتفاده از بيناب توان فوريه قابل دستيابي است. در لـرزه شناسـي بازتابي، غالباً اين نوع توزيع بسامد با پارامترهـاي ميـانگين از جمله بسامد مركزي، پهناي باند بينـابي و بـسامد غالـب توضيح داده مي‌شود. شكل ۳ اين اندازه گيري‌هاي بينـابي را با توجه بـه بينـاب موجـك ريكـر ۳۰ هرتـزي نمـايش مي‌دهد.



شكل ۳. بيناب توان موجك ريكر ۳۰ هرتزي و مقايسه بسامد مركزي، پهناي باند و بسامد غالب يا بسامد RMS. بسامد f_x تعريف خاص خود را دارد كه مورد استفاده در اين تحقيق نيست. دو خط نقطه چين فواصل يكساني از بسامد مركزي دارند و فاصله بين آنها دو برابر پهناي باند بينابي است (بارنس، ۱۹۹۳).



شكل ۴. مقطع لرزه اي با يك چاه توليدي نفت *W9*.

از ديدگاه تفسير، نشانگرهاي بينابي متغير با زمان از جمله نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي بسيار مفيدتر از نشانگرهاي بينابي ميانگين هستند. در اين مطالعه نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي با استفاده از تبديل‌هاي زمان- بسامد توسعه داده شده‌اند. نشانگرهاي بينابي لحظه اي از بيناب توان زمان- بسامد به جاي بيناب توان فوريه محاسبه مي‌شوند. بنابراين بسامد لحظه‌اي مركزي، پهناي باند بينابي لحظه‌اي و بسامد غالب لحظه‌اي در حوزه زمان- بسامد را مي‌توان به صورت رابطه (۳) تعريف كرد (ذبيحي، ۱۳۸۴).

بسامد لحظه‌اي مركزي
$$f_c(\tau)=\frac{\int_0^\infty f|E(\tau,f)|^2\,df}{\int_0^\infty |E(\tau,f)|^2\,df}$$

پهناي باند بينابي لحظه‌اي
$$f_b^2(\tau)=\frac{\int_0^\infty (f-f_c(\tau))^2|E(\tau,f)|^2\,df}{\int_0^\infty |E(\tau,f)|^2\,df}$$

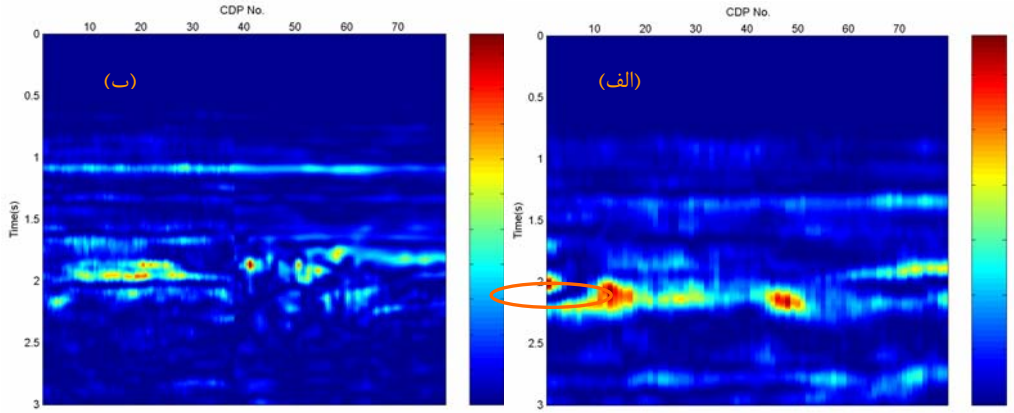
بسامد غالب لحظه‌اي
$$f_r^2(\tau)=\frac{\int_0^\infty f^2|E(\tau,f)|^2\,df}{\int_0^\infty |E(\tau,f)|^2\,df}$$

(۳)

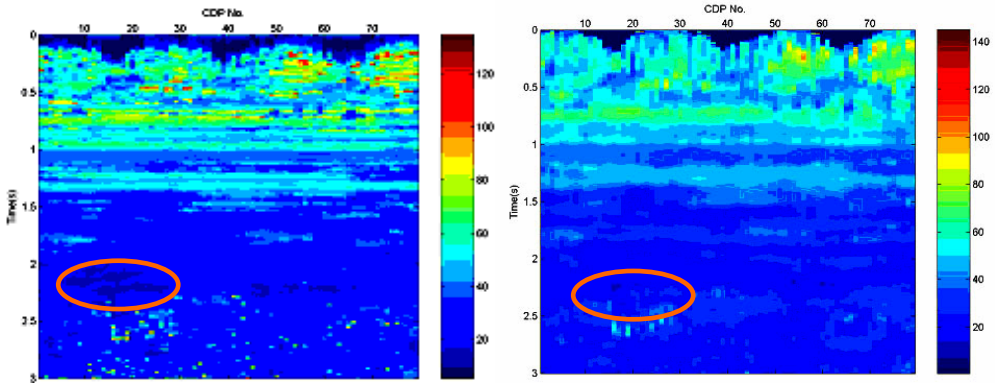
كه در آن $E(\tau,f)$ نقشه زمان- بسامد حاصل از تبديل‌هاي زمان- بسامد است.

به دليل حجم بالاي محاسبات ابتدا نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي بر روي داده‌هاي لرزه‌اي با ۷۹ لرزه‌نگاشت و طول زماني ۳ ثانيه محاسبه شد. شكل ۴ اين مقطع لرزه‌اي با يك چاه توليدي نفت *W9* را نشان مي‌دهد. ناهنجاري كم بسامد با استفاده از نشانگر تك‌بسامد در بسامد ۱۵ هرتز نمايان شده است و در بسامد ۲۶ هرتز (شكل ۵) ناپديد شده است.

در شكل ۶ بسامد غالب لحظه‌اي با استفاده از هر دو روش تبديل موجك پيوسته و تبديل فوريه زمان كوتاه نشان داده شده است. يكي از معايب تبديل فوريه زمان كوتاه انتخاب طول پنجره بهينه است كه در اين مطالعه طول پنجره كه بهترين نتيجه را داد ۲۰۰ ميلي ثانيه است. شكل ۶ بخوبي نشان مي‌دهد كه نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي حاصل از تبديل موجك پيوسته محتواي بسامدي داده‌ها را بخوبي در تمام افق‌ها آشكار كرده و ناهنجاري بسامد پايين ناشي از مخزن نيز مشخص شده كه با نتيجه شكل ۵ همخواني دارد. از طرف ديگر نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي حاصل از تبديل فوريه زمان كوتاه نتيجه مقبولي ارايه نكرده است.



شكل ۵. نشانگر تك بسامد داده هاي شكل ۴ با استفاده از *CWT* (الف) بسامد ۱۵ كه ناهنجاري كم‌بسامد ناشي از مخزن است و (ب) ۲۶ هرتز.



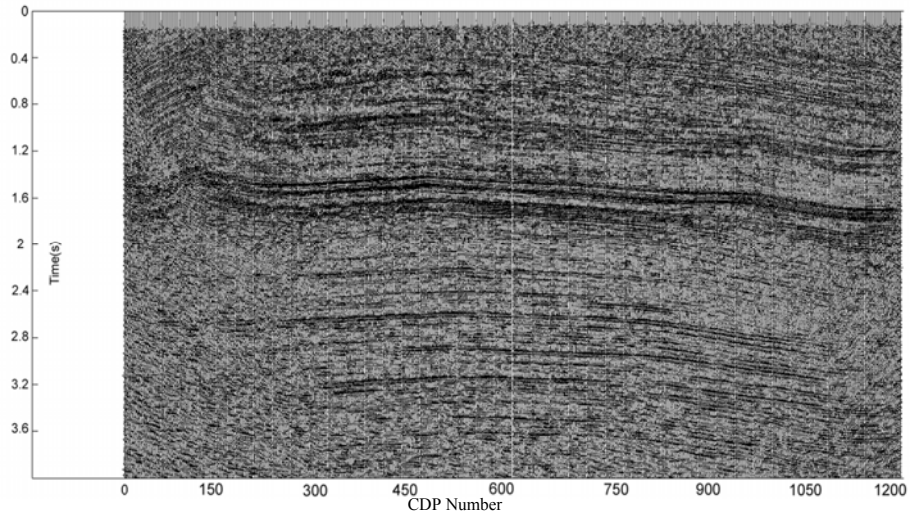
(ب) (الف)

شكل ۶. بسامد غالب لحظه اي حاصل از نقشه زمان- بسامد (الف) تبديل فوريه زمان كوتاه (ب) تبديل موجك پيوسته. وجود ناهنجاري هاي كم بسامد در نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي حاصل از تبديل موجك پيوسته بخوبي شناسايي شده اند.

در اينجا بسامد غالب لحظه‌اي را روي يك مجموعه داده ديگر كه شامل ۱۲۰۰ لرزه‌نگاشت مي‌باشد و مربوط به يكي از مخازن هيدروكربور ايران است را محاسبه مي‌كنيم. طبق اطلاعات اوليه وجود مخزن در CDP شماره ۵۰۰ و زمان ۲۵۰۰ ميلي ثانيه گزارش شده است. ناهنجاري بسامد پايين مخزن هيدروكربور توسط نويسندگان در مطالعه قبلي آشكار شد (ذبيحي و سياهكوهي، ۱۳۸۴). در اين مطالعه بسامد غالب لحظه‌اي بر روي اين داده‌ها محاسبه شده كه نتايج بسيار چشمگيري دارد. شكل ۷ مقطع لرزه‌اي برداشت شده روي اين مخزن را نشان مي‌دهد. پيكان قرمز رنگ نشان‌دهنده وجود گسل‌خوردگي در اين ناحيه است.

شكل ۸ نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي اين مقطع را با استفاده از هر دو روش نشان مي‌دهد. ديده مي‌شود كه اين نشانگر نه تنها ناهنجاري مخزن را آشكار كرده بلكه وجود گسل را نيز به زيبايي به نمايش درآورده است.

در اين مطالعه ما از موجك مورلت براي تبديل موجك پيوسته استفاده كرديم. در موجك مورلت مقياس با بسامد مركزي موجك نسبت عكس دارد (تورنسي و كمپو، ۱۹۹۸)، بنابراين قدم بعدي محاسبه نشانگرهاي



شكل ۷. مقطع لرزه اي با ۱۲۶۰ ردلرزه و طول زماني ۴ ثانيه. وجود مخزن حدود CDP شماره ۵۰۰ و زمان ۲۵۰۰ ميلي‌ثانيه گزارش شده است. بردار فرمز وجود گسل را به وضوح نشان مي‌دهد.

مشابهي از مقياس‌نما است. با اين كار يك مرحله از محاسبات كه تبديل مقياس به بسامد بود حذف شده و نشانگرهاي بينابي لحظه‌اي مستقيماً از مقياس بدست مي‌آيند. نشانگرهايي كه بر اساس مقياس‌نما هستند از سرعت محاسبه بالاتري برخوردار هستند. در يك مقطع لرزه اي با ۱۵۰۰ نمونه در هر ردلرزه سرعت محاسبه اين نوع نشانگرها چهار تا پنج مرتبه بيشتر از محاسبه نشانگرها بر اساس بسامد است. در اين مطالعه ما نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي را مورد استفاده قرار داديم بنابراين به توسعه اين نشانگر بر اساس مقياس‌نما اكتفا مي‌كنيم. نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي بر اساس مقياس‌نما به صورت رابطه ۴ داده مي‌شود.

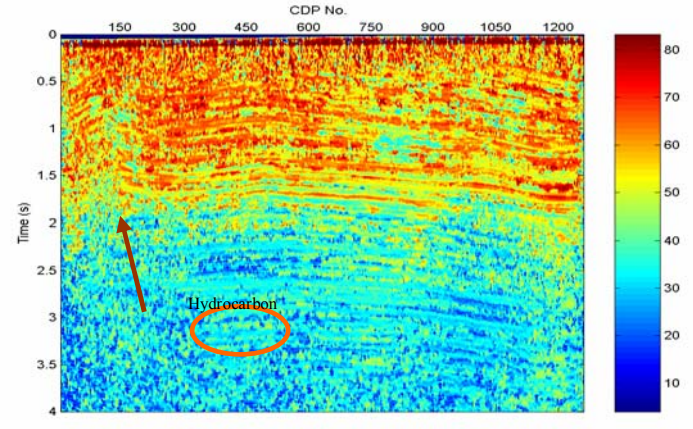
$$\tilde{f}_r^{\,2}(\tau)=\frac{\int_0^{\infty}\frac{1}{a^4}\left|CWT(\tau,a)\right|^2 da}{\int_0^{\infty}\frac{1}{a^2}\left|CWT(\tau,a)\right|^2 da} \qquad (۴)$$

مقايسه اين نشانگر براي يك لرزه‌نگاشت با نشانگري كه از نقشه زمان- بسامد حاصل از تبديل موجك پيوسته، بدست مي‌آيد نشان مي‌دهد كه اين نشانگر نرم تر شده است. چنين چيزي طبيعي است چراكه مقياس نه يك تك بسامد بلكه يك باند بسامدي است. محاسبه نشانگرهاي بر اساس مقياس نما بسيار سريع تر از نشانگرهاي بر اساس نقشه زمان- بسامد حاصل از تبديل موجك پيوسته است. بنابراين از ديدگاه عملي اين نشانگر (رابطه ۴) مفيدتر هستند زيرا در زمان محاسبه بسته به طول و تعداد ردلرزه ها در يك مجموعه داده صرفه جويي مي‌شود.

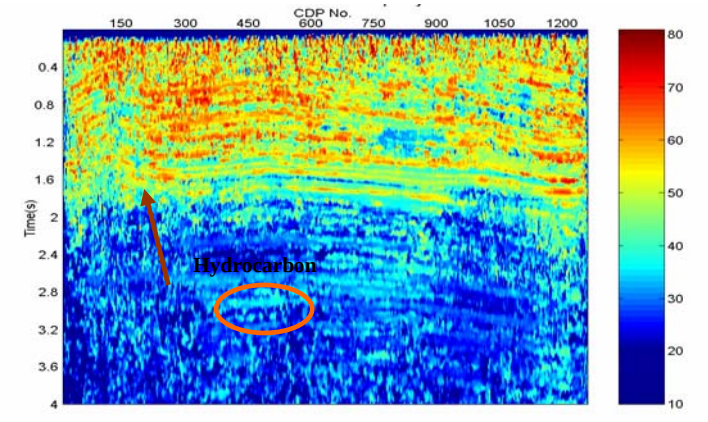
در نهايت نشانگر بسامد غالب لحظه اي را از مقياس‌نما محاسبه كرده ايم (شكل ۹). ديده مي‌شود كه اين نشانگر با نشانگري كه از نقشه زمان- بسامد تبديل موجك پيوسته (شكل ۸-ب) بدست مي‌آيد بسيار شبيه هستند و اختلاف در قدرت تفكيك زمان- بسامد كمينه است.

نتيجه‌گيري

در اين مطالعه توان حوزه زمان- بسامد در ارايه نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي براي دو مقطع لرزه‌اي نشان داده شد. با توجه به حجم زياد محاسبات اولين مقطع لرزه‌اي

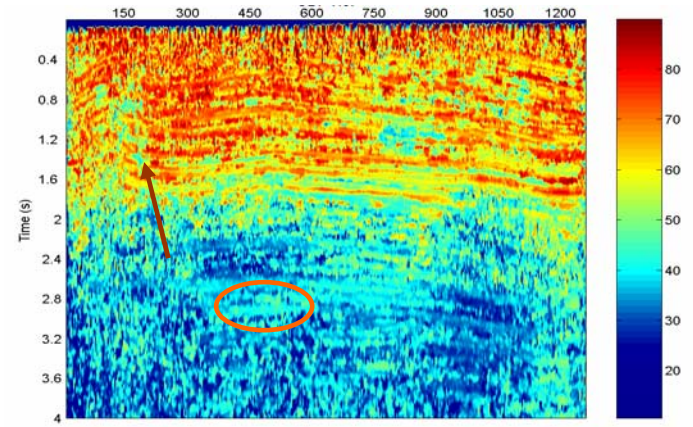


(الف)



(ب)

شكل ۸. بسامد غالب لحظه‌اي داده‌هاي شكل ۷ با استفاده از الف) تبديل فوريه زمان كوتاه با طول پنجره ۱۲۸ ميلي ثانيه ب) تبديل موجك پيوسته كه نيازي به انتخاب طول پنجره ندارد. با مقايسه شكل‌هاي الف و ب ديده مي‌شود كه نشانگر حاصل از تبديل موجك قدرت تفكيك بهتري دارد و ناهنجاري ناشي از مخزن هيدروكربور (بيضي قرمز) و ناهنجاري ناشي از گسل خوردگي (پيكان) بخوبي آشكار شده‌اند.



شكل ۹. نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي بر اساس مقياس‌نما كه در مقايسه با شكل ۸-ب تقريباً داراي قدرت تفكيك زمان-بسامدي يكساني است با اين تفاوت كه سرعت محاسبات بالاتر رفته است.

با حجم داده کم انتخاب شد که به همراه نشانگر تک بسامد آن نشان داد بسامد غالب لحظه‌اي با استفاده از تبديل موجك پيوسته به دليل قدرت تفكيك بهينه نه تنها ناهنجاري كم بسامد مخزن را آشكار كرده بلكه اطلاعات از ديگر افق‌ها را نيز فراهم نموده‌است. مقطع لرزه‌اي دوم با حجم داده زياد مربوط به يكي از مخازن هيدروكربور ايران بود كه با استفاده از نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي ناهنجاري بسامد پايين مخزن بخوبي آشكار شد. همچنين ناهنجاري بسامدي مربوط به گسل در افق‌هاي كم عمق (زمان‌هاي كم) نيز بخوبي خود را در مقطع نشانگر بسامد غالب نشان داد. براي افزايش سرعت محاسبات نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي با استفاده از مقياس ارايه شد كه سرعت محاسبات را چند برابر افزايش داد. بنابراين نشانگر بسامد غالب لحظه‌اي با استفاده از تبديل‌هاي زمان- بسامد مي‌تواند ابزار مفيدي براي آشكارسازي مخازن هيدروكربور و گسل در مقاطع لرزه‌اي باشد.

منابع

۱- ذبيحي نائيني، ا، تحليل مقاطع لرزه اي در حوزه زمان- بسامد براي تصويرسازي لايه هاي نازك و مخازن هيدروكربور، پايان نامه كارشناسي ارشد، موسسه ژئوفيزيك دانشگاه تهران، تهران، ايران،۱۳۸۴.

۲- ذبيحي نائيني، ا، و سياهكوهي، حميدرضا، *نشانگر زمان- بسامد داده‌هاي لرزه‌اي با استفاده از تبديل موجك پيوسته*، مجله فيزيك زمين و فضا (در دست بررسي)، ۱۳۸۴.

3- P., Abry, P., Goncalves, and P., Flandrin, Wavelet-based spectral analysis of 1/f processes: IEEE Internat. Conf. Acoustic, Speech and Signal Processing, 3, 237-240, (1993).

4- A. E., Barnes, Another look at NMO stretch: Geophysics, 57, 749-751, (1992).

5- A. E., Barnes, Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency with application to seismic reflection data: Geophysics, 58, 419-428. (1993).

6- A., Chakraborty, and D., Okaya, Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods: Geophysics, 60, 1906-1916, (1995).

7- Q., Chen, and S., Sidney, Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring: The Leading Edge, 16, 459-469, (1997).

8- S., Mallat, A wavelet tour of signal processing, Academic Press, California, USA, (1999).

9- A., Mertins, Signal analysis: Wavelets, Filter Banks, Time-frequency transforms and applications, John Wiley & Sons, West Sussex, England, (1998).

10- J., Morlet, G., Arens, E., Fourgeau, and D., Giard, Wave propagation and sampling theory: Geophysics, 47, 203-236, (1982).

11- O., Rioul, and M., Vetterli, Wavelets and signal processing: IEEE Signal Processing Magazine, October 1991, (1991).

12- O., Rioul, and P., Flandrin, Time-scale (1992).

13- Energy distributions: A general class extending wavelet transforms: IEEE transactions on signal processing, 40, 1746-1757.

14- M. T., Taner, and R. E., Sheriff, Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphies and hydrocarbon determination: AAPG Memoir, 26, 301-327, (1977).

15- C., Torrence, and G. P., Compo, A practical guide to wavelet analysis: Bulletin of American Meteorological Society, 79, 61-78. (1998).

16- Y., Wang, Q analysis on reflection seismic data: Geophysical Research Letters, 31. (2004).

17- O., Yilmaz, Seismic data analysis, SEG Publication. (2001).