

کاربردهایی از تبدیل S در لرزه‌نگاری بازتابی

روح‌اله عسگری* و حمیدرضا سیاهکوهی*

* مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵

(دریافت مقاله: ۱۴۳۱، پذیرش مقاله: ۱۴۳۴)

چکیده

با توجه به ویژگی ناپایا بودن داده‌های لرزه‌ای (سیگنال و نوفه)، استفاده از ابزارهای پردازشی که براساس پایا بودن داده‌های ورودی طراحی شده‌اند، چندان مناسب به نظر نمی‌رسند. با توجه به این که تبدیل S توانایی ارائه نمایشی از توزیع زمان-بسامد داده‌ها را دارد، می‌تواند ابزاری برای طراحی فیلترهای متغیر با زمان باشد. در این مقاله ضمن معرفی تبدیل S نتایج برخی از کاربردهای آن در لرزه‌نگاری بازتابی ارائه می‌شود. تضعیف نوفه‌های اتفاقی و امواج سطحی از رکوردهای لرزه‌ای و شناسایی مستقیم هیدروکربور روی مقاطع لرزه‌ای از جمله کاربردهایی است که در این مطالعه بررسی شده است.

فیلترهای طراحی شده در حوزه زمان-بسامد برای تضعیف نوفه‌ها از نوع انطباقی بوده و برای تشخیص موقعیت هیدروکربورها، از مقاطع تک بسامد در حوزه زمان-بسامد و ویژگی منطقه سایه بسامد پایین استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: تبدیل S، حوزه زمان-بسامد، حذف نوفه، سایه بسامد پایین

۱ مقدمه

هایزنبرگ در صفحه زمان-بسامد ثابت باشد. به همین دلیل در این تبدیل قدرت تفکیک بسامدی سیگنال در بسامدهای پایین و قدرت تفکیک زمانی در بسامدهای بالا تضعیف می‌شود.

یکی از تبدیل‌هایی که مشکل تبدیل فوریه زمان کوتاه را ندارد، تبدیل موجک است. تبدیل موجک، سیگنال را به مجموعه‌ای از سیگنال‌های انقباض یافته و اتساع یافته تجزیه می‌کند (مالات، ۱۹۹۹). در تبدیل موجک، با توجه به مقیاس‌پذیر بودن موجک، قدرت تفکیک زمان-بسامد تامین می‌شود. اطلاعات به دست آمده از این تبدیل به صورت توزیع زمان-مقیاس ارائه می‌شود.

در سال ۱۹۹۶، استاکول و همکاران با مقیاس‌پذیر کردن پنجره در تبدیل فوریه زمان کوتاه، روش تبدیل فوریه زمان کوتاه را اصلاح کردند و حاصل کار خود را در حکم تبدیل S معرفی ساختند. در واقع تبدیل S ترکیبی از مفاهیم تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل

معمولاً برای اطلاع یافتن از محتوای بسامدی سیگنال، از تبدیل فوریه استفاده می‌شود. در بسیاری از کارهای پردازشی با توجه به ناپایایی (non-stationary) سیگنال و نوفه، لازم است تا علاوه بر اطلاع یافتن از محتوای بسامدی یک سیگنال، از توزیع زمانی مؤلفه‌های بسامدی آن نیز مطلع باشیم. اما تبدیل فوریه توصیفی از توزیع مؤلفه‌های بسامدی در زمان ارائه نمی‌کند (مالات، ۱۹۹۹).

یکی از راه‌های کسب اطلاع از توزیع مؤلفه‌های بسامدی یک سیگنال در زمان، تبدیل فوریه زمان کوتاه است (گابور، ۱۹۴۶). در این روش تعیین مؤلفه‌های بسامدی یک سیگنال حول t_0 ، مستلزم پایا فرض کردن سیگنال حول t_0 است. برای رسیدن به این هدف، سیگنال در تابعی به نام پنجره ضرب می‌شود. تابع پنجره در همسایگی t_0 دارای مقدار است، با ضرب تابع پنجره در سیگنال، اطلاعات سیگنال را در همسایگی t_0 استخراج می‌کنند. ولی مشکل اساسی این تبدیل ثابت بودن پنجره است که در عمل سبب می‌شود ابعاد بسته

تلفی، موجب تفهیم هرچه بیشتر آن خواهد شد.

۳ کاربرد تبدیل S در تضعیف نوفه اتفاقی

۱-۳ نوفه لرزه‌ای

یکی از موارد مشکل‌ساز در پردازش داده‌های لرزه‌ای وجود نوفه است. وجود نوفه در مراحل متفاوت پردازش داده‌های لرزه‌ای نظیر واهم‌آمیخت، تحلیل سرعت و مهاجرت مشکلات عدیده‌ای ایجاد می‌کند (بیلماز، ۲۰۰۱). مبنای بیشتر فیلترهای متداول برای تضعیف این نوفه‌ها بر تبدیل فوریه است، که با توجه به ناپایا بودن سیگنال و نوفه لرزه‌ای، این فیلترها در عمل محدودیت‌های زیادی دارند. فیلتر متغیر با زمان وینر (وینر، ۱۹۴۹) راه حلی بود که برای مشکل ناپایایی سیگنال و نوفه ارائه شد. در این فیلتر، سیگنال را به چند پنجره زمانی تقسیم و آن را در محدوده پنجره پایا فرض می‌کنند در عین حال فیلتر برای هر پنجره زمانی جداگانه تعریف می‌شود. با توجه به این نکته که بسیاری از پارامترهای ژئوفیزیکی نظیر واریانس و تابع کراس کرولیشن معمولاً با زمان تغییر می‌کنند، لذا روش وینر هم در عمل چندان مطلوب نبود (دیمیری، ۱۹۸۶). بوتن (۱۹۵۲) برای دستگاه‌های خطی متغیر با زمان شیوه‌ای برای تعریف فیلتر پیشنهاد کرد که مبنای آن حل معادله انتگرالی بود. ولی در عمل الگوریتم کلی برای حل انتگرال بوتن (در تعیین ضرایب) وجود ندارد (وانگ، ۱۹۶۹).

از طرف دیگر مطالعات مارگریو (۱۹۹۹)، پینگار و ایتون (۲۰۰۳) نشان داد که برآورد ناپایایی مؤلفه‌های یک سیگنال به کمک تقسیم سیگنال با تابع پنجره و از راه ردلرزه به ردلرزه، روش مناسبی نیست. در این مطالعه ضمن معرفی فیلتر انطباقی بر مبنای تبدیل S، کارایی آن در تضعیف نوفه لرزه‌ای بررسی می‌شود.

۲-۳ نوفه‌های مصنوعی استفاده شده

در این مطالعه از دو نوع نوفه لرزه‌ای مصنوعی استفاده شد. یکی نوفه سفید گاوسی و دیگری نوفه اتفاقی از نوع

موجک است. در تبدیل S ضمن تامین قدرت تفکیک زمان- بسامد، رابطه مستقیم با طیف فوریه نیز حفظ می‌شود که این مهم‌ترین ویژگی تبدیل S نسبت به تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک است.

۲ تبدیل S

تبدیل S تابعی مانند $h(t)$ به صورت زیر بیان می‌شود (استاکول و همکاران، ۱۹۹۶):

$$S\{h(t)\}(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}} e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

که در آن τ بیانگر زمان و f بیانگر بسامد است. می‌توان به آسانی ثابت کرد:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S(\tau, f) d\tau = H(f) \quad (2)$$

که در آن $H(f)$ تبدیل فوریه تابع $h(t)$ است. لذا از رابطه (۲) می‌توان دریافت که تبدیل S تبدیلی کاملاً برگشت پذیر است (برای جزئیات بیشتر به عسگری، ۱۳۸۴ رجوع شود).

۱-۲ فیلتر زمان- بسامد

همچون حوزه فوریه، می‌توان اعمال فیلتر را در حوزه زمان- بسامد با ضرب تبدیل S سیگنال در تابع $TFF(\tau, f)$ که همان فیلتر در حوزه زمان- بسامد است، عملی کرد:

$$S_F\{h(t)\}(\tau, f) = S\{h(t)\}(\tau, f) \times TFF(\tau, f) \quad (3)$$

که در آن $S_F\{h(t)\}(\tau, f)$ تبدیل S تابع فیلتر شده $h(t)$ در حوزه زمان- بسامد است. با توجه به رابطه (۲) خواهیم داشت:

$$H_F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S\{h(t)\}(\tau, f) \times TFF(\tau, f) d\tau \quad (4)$$

که در آن $H_F(f)$ تبدیل فوریه تابع فیلتر شده $h(t)$ است. در ادامه مقاله ارائه مثال‌هایی از کاربرد این طرز

سیگنال و نوفه در حوزه S آشنا شویم. شکل ۱-a چهار موجک ریکر با بسامد مرکزی ۴۰ هرتز را نشان می‌دهد که تبدیل S آن در شکل ۱-b نشان داده شده است. سیگنال شکل ۱-a به همراه نوفه سفید گاوسی در شکل ۱-c نشان داده شده است و تبدیل S مربوطه در شکل ۱-d آمده است. همان‌طور که از شکل ۱-b و شکل ۱-d پیداست، سیگنال در حوزه S به صورت لکه‌هایی متمرکز دیده می‌شود، درحالی‌که انرژی نوفه در کل صفحه زمان-بسامد پخش می‌شود. این پخش‌شدگی انرژی نوفه در مقابل تمرکز انرژی سیگنال می‌تواند مبنایی برای طراحی فیلتر انطباقی باشد؛ بدین ترتیب که هر جا نمونه مورد مطالعه در حوزه S مربوط به سیگنال است، مقدار فیلتر بایستی نزدیک به ۱ و هرگاه نمونه مورد مطالعه مربوط به نوفه است، مقدار فیلتر بایستی تقریباً صفر باشد. لذا دو ابتدایی فیلتر انطباقی به صورت زیر است:

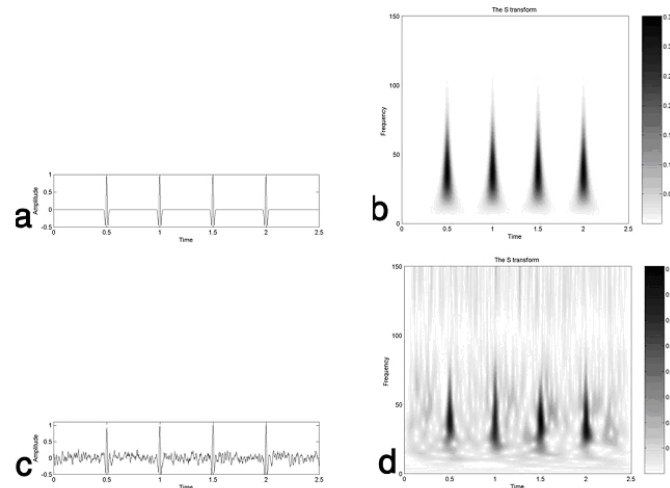
$$\begin{aligned} \text{TFF}(\text{signal}) &\rightarrow 1 \\ \text{TFF}(\text{noise}) &\rightarrow 0 \end{aligned} \quad (۶)$$

تجمعی (عالی‌دانشور، ۱۳۸۳) است. برای تهیه نوفه تجمعی عددی اتفاقی به دلخواه انتخاب و برای تولید عدد اتفاقی بعدی، عدد قبلی با عدد اتفاقی کوچک دیگر جمع می‌شود:

$$\text{Rand}(n+1) = \text{Rand}(n) + (\text{small Random Number}) \leq \text{Threshold} \quad (۵)$$

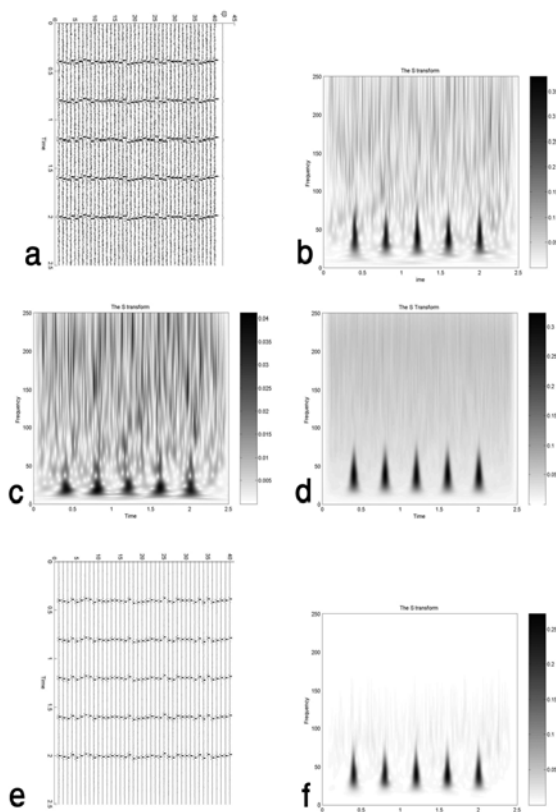
در طول تولید این شکل از نوفه ممکن است عدد تولید شده بسیار بزرگ شود که برای جلوگیری از این امر یک عدد آستانه در برنامه قرار داده می‌شود تا عدد تولید شده از آن بزرگ‌تر نشود. اگر عدد آستانه بزرگ باشد نوفه تولید شده با این برنامه بسامد پایین خواهد بود و اگر عدد آستانه کوچک باشد، نوفه تولید شده، بسامد بالا خواهد بود. مزیت این نوع نوفه به این است که شباهت بیشتری با نوفه لرزه‌ای دارد.

۳-۳ نمایش نوفه سفید گاوسی و سیگنال در حوزه S قبل از ارائه نتایج فیلتر انطباقی، لازم است با نحوه نمایش



شکل ۱. (a) چهار موجک ریکر با بسامد مرکزی ۴۰ هرتز، (b) تبدیل S سیگنال a، (c) سیگنال a به همراه نوفه سفید گاوسی، (d) تبدیل S سیگنال c.

۴۰ است. حاصل برانبارش این رکورد به صورت تک ردلرزه با علامت * در سمت راست شکل (a-۲) نشان داده شده است. شکل b-۲ تبدیل S اولین ردلرزه از رکورد فوق را نشان می‌دهد. شکل c-۲ تبدیل S ردلرزه حاصل از برانبارش رکورد (با علامت *) را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل c-۲ پیداست اطلاعات مربوط به سیگنال به علت تداخل ویرانگر موجک‌ها به هنگام برانبارش از بین رفته است. شکل d-۲ میانگین قدرمطلق تبدیل S ردلرزه‌های رکورد شکل a-۲ را نشان می‌دهد. اگر این شکل را با شکل b-۱ که نشان‌دهنده تبدیل S موجک ریکر است



شکل ۲. (a) رکورد لرزه‌ای مصنوعی، (b) تبدیل S اولین ردلرزه رکورد a، (c) تبدیل S ردلرزه حاصل از برانبارش رکورد a، (d) میانگین قدرمطلق ردلرزه‌های رکورد a، (e) رکورد a پس از اعمال فیلتر انطباقی، (f) تبدیل S اولین ردلرزه رکورد e.

۳-۴ فیلتر انطباقی

فیلتر انطباقی بر مبنای تبدیل S را پینگار و ایتون (۲۰۰۳) پیشنهاد کردند. فیلتر انطباقی برای تک‌ردلرزه، هنگامی که نسبت سیگنال به نوفه بیشتر از ۱ باشد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TFAF(\tau, f) = \left\{ \frac{|S\{h_1\}(\tau, f)|}{\max_{\tau, f} (|S\{h\}(\tau, f)|)} \right\} \quad (7)$$

که در آن $|S\{h_1\}(\tau, f)|$ قدر مطلق تبدیل S سیگنال نوفه‌دار h_1 و $\max_{\tau, f} (|S\{h\}(\tau, f)|)$ بیشینه قدرمطلق تبدیل S سیگنال نوفه‌دار h_1 است.

واضح است در جایی که نمونه مورد مطالعه، سیگنال باشد، قدر مطلق S آن با توجه به تمرکز انرژی سیگنال در صفحه S به مقدار $\max_{\tau, f} (|S\{h_1\}(\tau, f)|)$ نزدیک می‌شود لذا:

$$TFAF(\tau, f) \rightarrow 1$$

و در جایی که نمونه مورد مطالعه، نوفه باشد، با توجه به پخش شدگی انرژی نوفه در صفحه S:

$$TFAF(\tau, f) \rightarrow 0$$

پس معادله (۷) شرط‌های روابط (۶) را تامین می‌کند. البته شرط نهفته‌ای که در فیلتر انطباقی وجود دارد این است که دامنه موجک‌ها در سیگنال تقریباً با هم برابر باشند.

۳-۵ بررسی عملکرد فیلتر انطباقی روی رکورد CMP

در این بخش به بیان چگونگی و عملکرد فیلتر انطباقی برای تضعیف نوفه اتفاقی رکورد CMP پس از تصحیح NMO و قبل از برانبارش می‌پردازیم. در این بررسی‌ها ردلرزه‌ها به صورت اتفاقی به علت استاتیک باقی‌مانده، تا سه صدم ثانیه شیفت داده شده‌اند. شکل a-۲ رکورد CMP مصنوعی را پس از تصحیح NMO نشان می‌دهد. در این رکورد نسبت سیگنال به نوفه ۲ است. نوفه موجود در این رکورد از نوع نوفه سفید گاوسی و موجک به کار رفته از نوع ریکر با بسامد مرکزی ۴۰ هرتز و تعداد فولد

که در آن

$$U(\tau, f) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R |S\{h_r\}(\tau, f)|$$

و

$$V(f) = \min_{\tau} \{U(\tau, f)\}$$

در روابط فوق فرض بر این است که $V(f)$ در هر بسامد مثل f_0 کمترین مقدار $U(\tau, f)$ و تقریباً هم ارز مقدار میانگین دامنه نوفه در بسامد f_0 است (پینگار و ایتون، ۲۰۰۳). به همین علت $V(f_0)$ از $U(\tau, f)$ کم می‌شود تا فیلتر انطباقی برای مواردی با نسبت سیگنال به نوفه کمتر از یک جواب بهتری بدهد.

شکل ۳-ا رکورد لرزه‌ای CMP مصنوعی را پس از تصحیح NMO با نسبت سیگنال به نوفه ($SNR = 0.7$) نشان می‌دهد. نوفه موجود در این رکورد از نوع نوفه سفید گاوسی، موجک به کار رفته در این رکورد، موجک ریکر با بسامد ۴۰ هرتز و تعداد فولد ۲۵ است. در این جا هم ردلرزه‌ها به علت استاتیک باقی مانده، به صورت اتفاقی تا سه صدم ثانیه، شیفت داده شده‌اند. حاصل برانبارش این رکورد به صورت تک‌ردلرزه (با علامت *) در سمت راست شکل نشان داده شده است. شکل ۳-ب تبدیل S اولین ردلرزه از رکورد فوق را نشان می‌دهد. شکل ۳-ج فیلتر شده رک استفاده از فیلتر انطباقی (محاسبه شده توسط ورد یادشده با رابطه (۹)) است و به وضوح موفقیت فیلتر در تضعیف نوفه‌ها از شکل پیداست. برای مشاهده بیشتر اثر فیلتر بر ردلرزه‌ها (در حوزه S)، تبدیل S اولین ردلرزه از شکل ۳-ج در شکل ۳-د نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فیلتر انطباقی در تضعیف نوفه اتفاقی از نوع نوفه سفید گاوسی با نسبت سیگنال به نوفه ($SNR = 0.7$) به خوبی عمل می‌کند.

مقایسه کنیم، متوجه می‌شویم که شکل ۲-د به سیگنال بدون نوفه شبیه‌تر است. لذا براساس شکل ۲-د فیلتر انطباقی در رکورد لرزه‌ای قبل از برانبارش برای نسبت سیگنال به نوفه بیشتر از ۱ ب صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TFAF(\tau, f) = \frac{U(\tau, f)}{\max_{\tau, f} U(\tau, f)} \quad (۸)$$

که در آن:

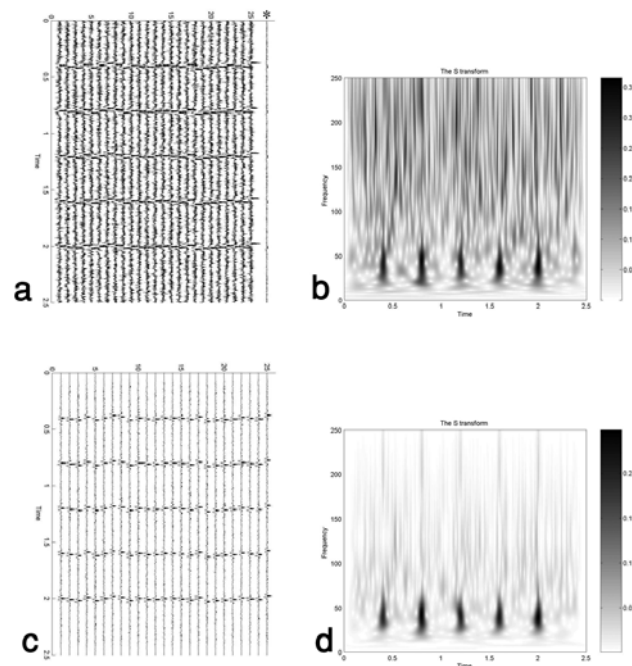
$$U(\tau, f) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R |S\{h_r(t)\}(\tau, f)|$$

R تعداد فولد و $S\{h_r(t)\}(\tau, f)$ تبدیل S ردلرزه r ام از رکورد لرزه‌ای است. با استفاده از فرمول (۸) فیلتر انطباقی برای رکورد شکل ۲-ا به دست آمده است و در تبدیل S هر ردلرزه از شکل ۲-ا ضرب می‌شود. شکل ۲-ب فیلتر شده شکل ۲-ا را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۲-ب آشکار است، نوفه تا حد رضایت‌بخشی تضعیف شده است. شکل ۲-ج تبدیل S اولین ردلرزه از رکورد شکل ۲-ب را نشان می‌دهد. اگر این شکل را با شکل ۲-ب که تبدیل S همین ردلرزه قبل از فیلتر شدن، مقایسه کنیم متوجه می‌شویم که نوفه در صفحه S تضعیف شده است.

۳-۶ فیلتر انطباقی برای نسبت سیگنال به نوفه کمتر از یک

همان‌طور که بیان شد، رابطه (۸) فیلتر انطباقی را برای نسبت سیگنال به نوفه بزرگ‌تر از یک بیان می‌کند. ولی این رابطه برای مواردی با نسبت سیگنال به نوفه کمتر از یک، چندان رضایت‌بخش نیست (پینگار و ایتون، ۲۰۰۳). برای بهبود تضعیف نوفه با فیلتر انطباقی، برای مواردی با نسبت سیگنال به نوفه کمتر از یک، فیلتر انطباقی به صورت رابطه (۹) بیان می‌شود:

$$TFAF(\tau, f) = \frac{U(\tau, f) - V(f)}{\max_{\tau, f} \{U(\tau, f) - V(f)\}} \quad (۹)$$

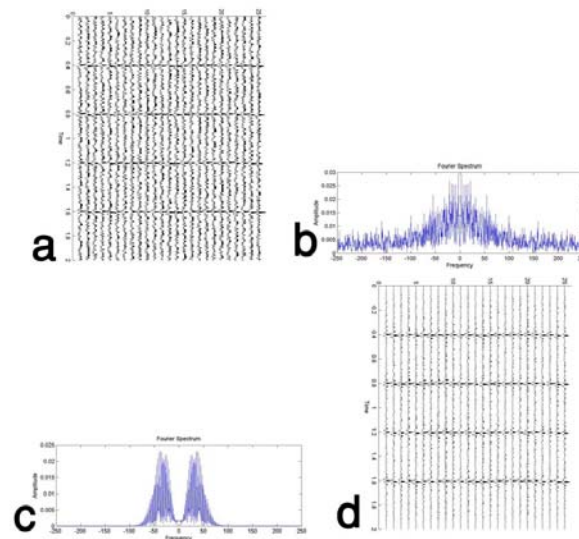


شکل ۳. (a) رکورد لرزه‌ای مصنوعی، (b) تبدیل S اولین ردلرزه از رکورد a، (c) فیلتر شده رکورد a با استفاده از فیلتر انطباقی، (d) تبدیل S اولین ردلرزه از شکل c.

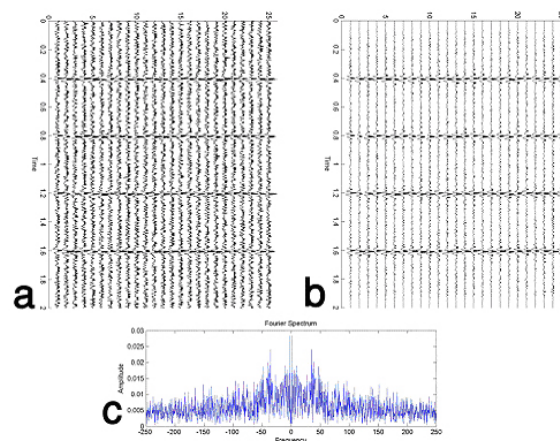
حال کارایی فیلتر انطباقی برای حالتی که همپوشانی بسامدی سیگنال و نوفه از مرحله قبل بیشتر باشد بررسی می‌شود. شکل ۵-a همان رکورد لرزه‌ای مصنوعی استفاده شده را نشان می‌دهد. در اینجا فولد ۲۵ و نسبت سیگنال به نوفه ($SNR = 0.6$) است. شکل ۵-b نیز فیلتر شده رکورد فوق را نشان می‌دهد. شکل ۵-c طیف فوریه نوفه به کار رفته را نشان می‌دهد. اگر طیف دامنه این شکل با مشابه آن در شکل ۴-b مقایسه شود، در می‌یابیم که همپوشانی بسامدی سیگنال و نوفه نسبت به حالت قبل بیشتر شده است. چرا که بیشترین دامنه نوفه بین بسامدهای (۰ تا ۵۰ هرتز) است که طیف فوریه سیگنال نیز در همین بازه قرار دارد. مشاهده می‌شود که فیلتر انطباقی برای حالتی که همپوشانی بسامدی سیگنال و نوفه بیشترین مقدار خود را دارد تا نسبت سیگنال به نوفه ($SNR = 0.6$) جواب قابل قبولی داده است.

۷-۳ عملکرد فیلتر انطباقی در تضعیف نوفه‌های لرزه‌ای نوع تجمعی

نوفه سفید گاوسی چندان به نوفه‌های لرزه‌ای شبیه نیست، لذا از الگوریتم نوفه تجمعی هم برای تولید نوفه استفاده شد. نوفه‌های تولید شده با این الگوریتم به نوفه‌های لرزه‌ای شباهت بیشتری دارد. شکل ۴-a رکورد لرزه‌ای مصنوعی با فولد ۲۵ و نسبت سیگنال به نوفه ($SNR = 0.55$) را نشان می‌دهد. طیف فوریه نوفه در شکل (۴-b) آمده است. با توجه به اینکه بسامد مرکزی موجک در این مقطع ۴۰ هرتز است، شکل ۴-c، همپوشانی بسامدی بین سیگنال و نوفه قابل توجه است. شکل ۴-d فیلتر شده رکورد شکل ۴-a را با استفاده از فیلتر انطباقی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴-d مشاهده می‌شود، فیلتر انطباقی، با توجه به میزان همپوشانی طیف بسامدی نوفه، جواب قابل قبولی برای نسبت سیگنال به نوفه ($SNR = 0.55$) داده است.



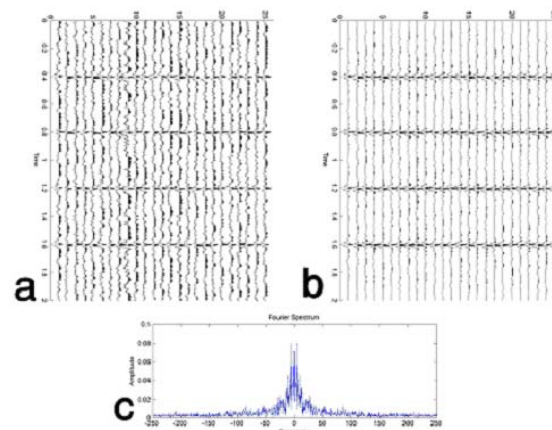
شکل ۴. (a) رکورد مصنوعی، (b) طیف فوریه نوفه، (c) طیف فوریه سیگنال، (d) فیلتر شده شکل a با استفاده از فیلتر انطباقی.



شکل ۵. (a) رکورد مصنوعی، (b) فیلتر شده شکل a با استفاده از فیلتر انطباقی، (c) طیف فوریه نوفه.

است. همان‌طور که در شکل c-۶ آشکار است، در این حالت، نوفه از مؤلفه‌های بسامد پایین تشکیل شده و با سیگنال همپوشانی بسامدی کمتری دارد (با شکل c-۴ مقایسه شود). همان‌طور که از شکل پیداست، در این حالت نیز فیلتر انطباقی برای تضعیف نوفه بسامد پایین با نسبت سیگنال به نوفه $(SNR = 0.63)$ هم جواب قابل قبولی داده است.

در ادامه کارایی فیلتر انطباقی برای تضعیف نوفه‌های بسامد پایین مورد بررسی قرار گرفت. شکل a-۶ مجدداً رکورد لرزه‌ای مصنوعی مورد استفاده را نشان می‌دهد. در این شکل نسبت سیگنال به نوفه $(SNR = 0.63)$ انتخاب شده است. شکل b-۶ فیلتر شده رکورد مصنوعی با استفاده از فیلتر انطباقی را در این حالت نشان می‌دهد. در شکل c-۶ نیز طیف فوریه نوفه به کار رفته نشان داده شده



شکل ۶. (a) رکورد مصنوعی، (b) فیلتر شده شکل a با استفاده از فیلتر انطباقی، (c) طیف فوریه نوفه.

۴ کاربرد تبدیل S در تضعیف امواج سطحی

۱-۴ امواج سطحی

یکی دیگر از مشکلات همیشگی در لرزه‌نگاری بازتابی در خشکی وجود امواج سطحی با دامنه بلند و بسامد پایین است که سبب می‌شود بخش مهمی از اطلاعات مربوط به سیگنال‌های بازتابی پوشیده شود. این امواج به موازات سطح زمین منتشر می‌شوند. روش‌های معمول تضعیف این امواج عبارت‌اند از:

۱. روش عملیاتی. که در آن، روش هنگام عملیات لرزه‌ای براساس طول موج امواج ریلی ارائه لرزه‌یاب طراحی شده بدین طریق امواج سطحی تضعیف می‌شود (شریف و گلدات، ۱۹۹۵).
۲. روش پردازشی. که در آن با استفاده از فیلترهای بسامدی یا سرعتی به تضعیف امواج سطحی پرداخته می‌شود.

روش‌های متداول اکثراً بر مبنای تبدیل فوریه بوده و با فرض پایا بودن سیگنال و نوفه عمل می‌کند. در این مطالعه از ایده فیلتر زمان-بسامد برای تضعیف این دسته از نوفه‌ها استفاده شد. همان‌طور که نشان داده خواهد شد، فیلتر زمان-بسامد طراحی شده بر مبنای تبدیل S، برای

تضعیف این دسته از نوفه‌ها به خوبی عمل می‌کند.

۲-۴ تضعیف امواج سطحی با استفاده از فیلتر زمان-بسامد بر مبنای تبدیل S

تضعیف امواج سطحی با استفاده از تبدیل S در چهار مرحله صورت می‌گیرد:

۱. محاسبه تبدیل S سیگنال و تشخیص موقعیت امواج سطحی در حوزه زمان-بسامد با توجه به بازه بسامدی امواج سطحی.
۲. طراحی فیلتر زمان-بسامد مناسب برای تضعیف امواج سطحی با توجه به گسترش این امواج در صفحه زمان-بسامد.

۳. اعمال فیلتر طراحی شده بر تبدیل S سیگنال.

۴. محاسبه عکس تبدیل S سیگنال فیلتر شده.

استفاده از فیلتر زمان-بسامد برای تضعیف امواج سطحی فکر جدیدی نیست و قبلاً فیلتر زمان-بسامد با استفاده از تبدیل موجک برای تضعیف امواج سطحی به کار رفته است (گودرزی، ۱۳۸۱). مقایسه مراحل تضعیف امواج سطحی با استفاده از فیلتر زمان-بسامد بر مبنای تبدیل موجک (گودرزی، ۱۳۸۱) با چهار مرحله فوق در

نشان می‌دهد. شکل a-۸ رکورد لرزه‌ای حاوی امواج سطحی و شکل b-۸ فیلتر شده رکورد واقعی شکل a-۸ با استفاده از فیلتر زمان-بسامد بر مبنای تبدیل S را نشان می‌دهد.

۵ کاربرد تبدیل S در شناسایی مستقیم مخازن هیدرو کربور در مقاطع لرزه‌ای

۱-۵ منطقه سایه بسامد پایین

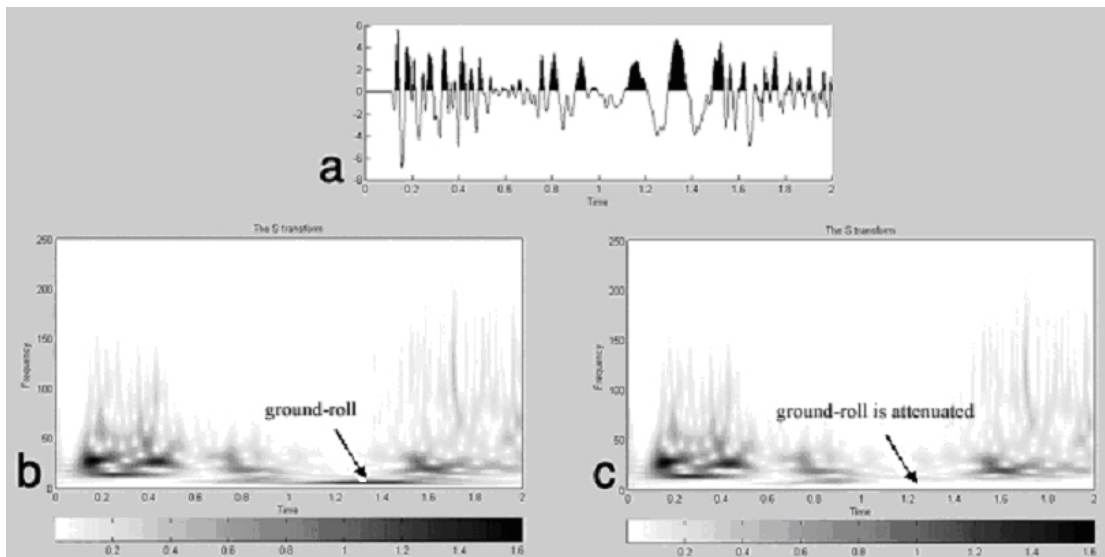
در مقاطع لرزه‌ای حاوی مخازن هیدروکربوری، خاصه مخازن گازی، بسامد لحظه‌ای در بازتابنده‌هایی که بلافاصله زیر مخزن قرار دارند که اصطلاحاً به آن منطقه سایه بسامد پایین (low frequency shadow-zone) گفته می‌شود کاهش می‌یابد. اما این پدیده در بازتابنده‌های عمیق‌تر مشاهده نمی‌شود (تانر و همکاران، ۱۹۷۹). دو علت برای این پدیده می‌توان بیان کرد:

۱. وجود گاز و نفت در سنگ مخزن سبب افزایش جذب سیگنال می‌شود. در این میان بسامدهای بالای موجود در سیگنال با شدت بیشتری جذب می‌شوند.

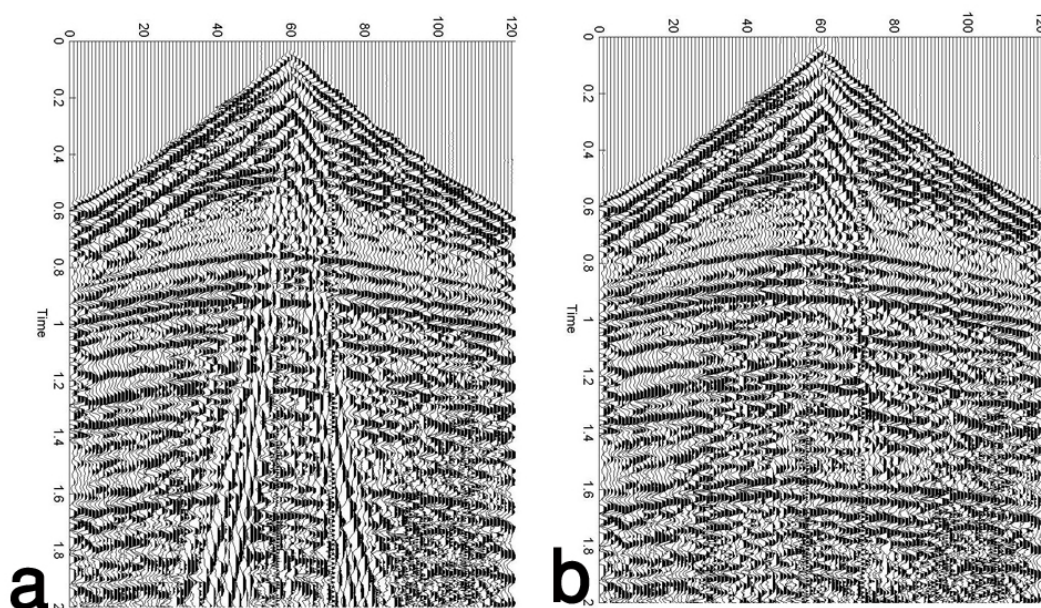
می‌یابیم که فیلتر کردن در حوزه S دارای مراحل کمتر و راحت‌تر (یعنی مشاهده صریح اطلاعات برحسب زمان و بسامد) است و زمان کمتری برای انجام آن صرف می‌شود.

در اینجا کارایی فیلتر زمان-بسامد طراحی شده بر مبنای تبدیل S برای تضعیف امواج سطحی از داده‌های واقعی نیز بررسی شد. برای درک بیشتر جزئیات کار، ابتدا چگونگی اعمال فیلتر روی ردلرزه حاوی امواج سطحی ارائه می‌شود و در نهایت نتیجه فیلتر کردن روی رکورد لرزه‌نگاری نشان داده می‌شود.

شکل a-۷ ردلرزه‌ای را از رکورد شکل a-۸ و شکل b-۷ تبدیل S آن را نشان می‌دهد. با توجه به بازه بسامدی امواج سطحی در این مثال (۰ تا ۱۲ هرتز) در می‌یابیم که تمرکز این امواج در بازه زمانی (۰/۸ تا ۱/۸) ثانیه در صفحه زمان-بسامد است. لذا فیلتر زمان-بسامد طراحی و بر بازه بسامدی (۰ تا ۱۲) هرتز و بازه زمانی (۰/۸ تا ۱/۸) ثانیه اعمال شد. شکل c-۷ تبدیل S سیگنال شکل a-۷ را پس از اعمال فیلتر زمان-بسامد



شکل ۷. (a) ردلرزه‌ای حاوی امواج سطحی، (b) تبدیل S ردلرزه، (c) تبدیل S ردلرزه پس از اعمال فیلتر زمان-بسامد برای تضعیف امواج سطحی.



شکل ۸. (a) رکورد لرزه‌ای واقعی، (b) فیلتر شده رکورد (a) با استفاده از فیلتر زمان-بسامد براساس تبدیل S.

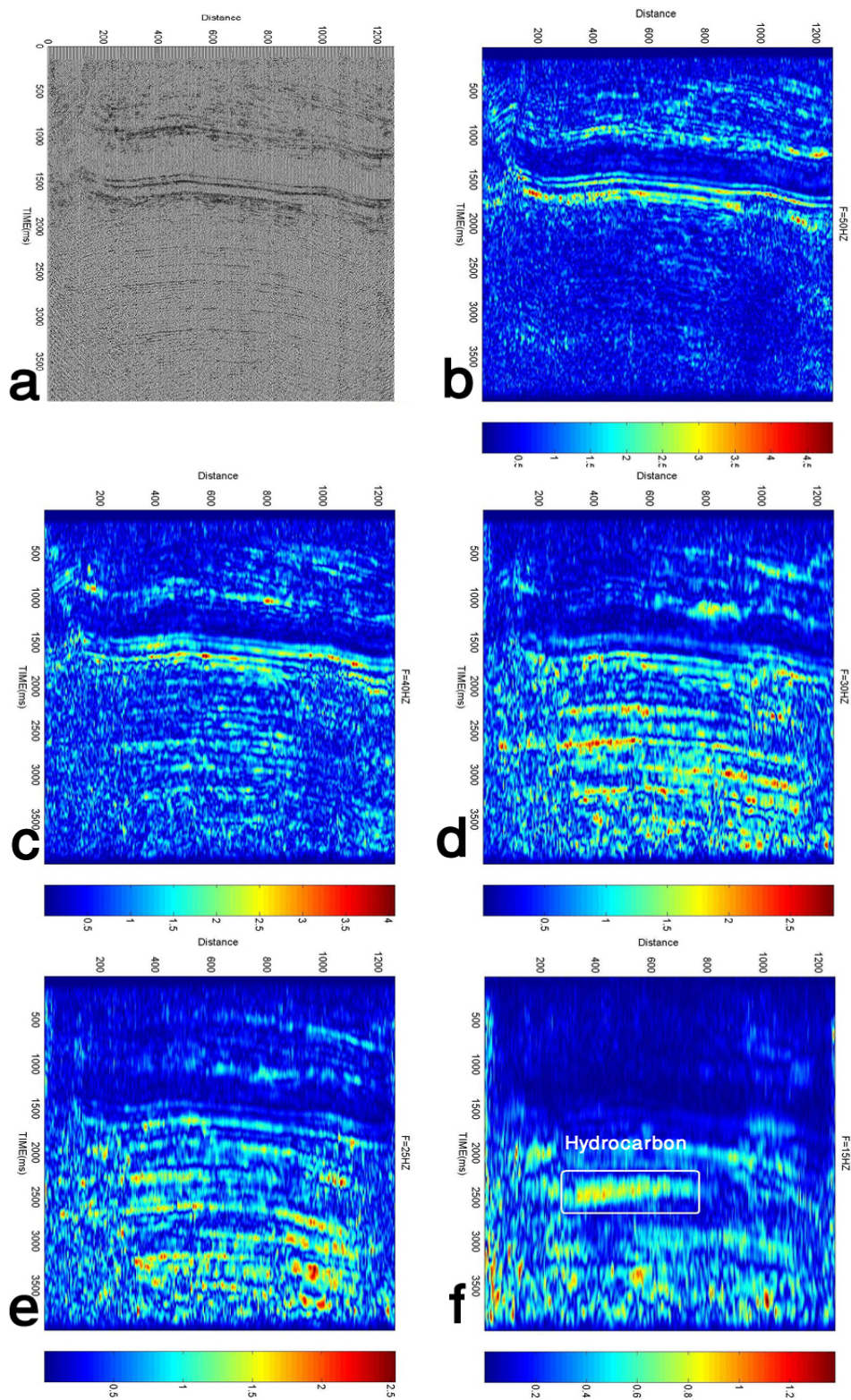
عسگری، ۱۳۸۴) که در عمل تابعی یک متغیره با متغیر زمان است. برای تشخیص مخازن هیدروکربوری با استفاده از تبدیل S به جای نمایش هر ردلرزه در مقطع لرزه‌ای نمایش voice آن به ازای بسامدی خاص (که در این نوشتار از آن در حکم مقطع تک بسامد یاد می‌شود) قرار می‌گیرد.

در این مطالعه پس از محاسبه تبدیل S مقطع لرزه‌ای، حاصل تبدیل به ازای بسامدهای ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۵ و ۱۵ هرتز (که در واقع همان مقاطع دارای تک بسامدند) نمایش داده شد (شکل ۹).

شکل ۹-a مقطع لرزه‌ای واقعی را نشان می‌دهد. در این شکل براساس اطلاعات قبلی حاصل از مطالعات زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی صورت گرفته سازند آسماری در افق زمانی $t=1700\text{ms}$ و براساس اطلاعات حاصله از چاه اکتشافی مخزن در محدوده‌ای اطراف CDP شماره ۵۰۰ و از لحاظ مختصات زمانی در بازه زمانی ۱۷۰۰ تا ۲۵۰۰ میلی ثانیه قرار دارد.

۲. زمان سیر موج برای پرتوهایی که از مخزن عبور کرده‌اند افزایش می‌یابد (به دلیل اینکه حضور گاز موج در مخزن را پایین می‌آورد) این عامل باعث می‌شود که تصحیح NMO به صورت مطلوبی برای آن پرتوها صورت نگیرد. لذا در برانبارش مؤلفه‌های بسامد بالا در آن محدوده خاص از مقطع تضعیف می‌شود (تانر و همکاران، ۱۹۷۹). با استفاده از این خاصیت و با توجه به اینکه تبدیل S قادر است توزیع مؤلفه‌های بسامدی یک سیگنال را در زمان ارائه کند، می‌توان مخازن هیدروکربوری را با استفاده از تبدیل S روی مقاطع لرزه‌ای شناسایی کرد.

۵-۲ کاربرد تبدیل S به مثابه ابزاری برای تشخیص مخازن هیدروکربوری روی مقاطع لرزه‌ای
نمایش تبدیل S یک سیگنال به ازای بسامدی خاص مثل voice، f_0 نامیده می‌شود (استاکول و همکاران، ۱۹۹۶؛



شکل ۹. (a) مقطع لرزه‌ای، (b) نمایش مقطع تک‌بسامد به ازای بسامد ۵۰ هرتز، (c) به ازای بسامد ۴۰ هرتز، (d) به ازای بسامد ۳۰ هرتز، (e) به ازای بسامد ۲۵ هرتز (f) به ازای بسامد ۱۵ هرتز که حاوی منطقه سایه بسامد پایین است.

برابارش و بعد از تصحیح NMO دارد (در حالتی که نسبت سیگنال به نوفه پایین است و ردلرزه‌ها تا سه صدم ثانیه شیفت زمانی به علت تصحیح ایستای باقی مانده دارند).

۲. فیلتر زمان- بسامد طراحی شده بر مبنای تبدیل S برای تضعیف امواج سطحی نسبت به فیلترهای (بسامد گزین) در همان محدوده که نوفه وجود دارد اعمال می‌شود، لذا آسیبی به سیگنال در قسمت‌هایی که نوفه وجود ندارد وارد نمی‌کند، همچنین نسبت به فیلترهای زمان- بسامد که بر مبنای تبدیل موجک است دارای مراحل طراحی و اجرای کمتری است. در این میان مهم‌ترین پارامتری که در طراحی این فیلتر باید مورد توجه قرار گیرد در نظر گرفتن نرم‌کننده مناسب برای جلوگیری از پدیده نامطلوب گیس است.

۳. تبدیل S با نشان دادن مقاطع تک‌بسامد به مثابه ابزاری در شناسایی مخازن هیدروکربور روی مقاطع لرزه‌ای به‌خوبی عمل کرد. ویژگی این نشانگر حساسیت کم آن نسبت به نوفه است.

منابع

عالی‌دانشور، ح.، ۱۳۸۳، تضعیف نوفه‌ها از داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در حوزه $F-XY$ ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

عسگری، ر.، ۱۳۸۴، تبدیل S و کاربردهای آن در پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

گودرزی، ر.، ۱۳۸۱، تضعیف امواج سطحی با استفاده از تبدیل موجک و مقایسه آن با فیلترهای بسامدی میان‌گذر و $f-k$ ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

شکل ۹-b مقطع تک‌بسامد ۵۰ هرتز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، به ازای بسامد ۵۰ هرتز فقط لایه‌های نزدیک به سطح مشخص شده‌اند، علت آن پدیده جذب بسامدهای بالا با زمین بسامد است و این امر حاکی از حضور نداشتن بسامدهای بالا در زمان‌های بزرگ‌تر است.

شکل ۹-c مقطع تک‌بسامد به ازای بسامد ۴۰ هرتز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در این حالت نیز مقطع حاوی اطلاعاتی از لایه‌های نزدیک به سطح است، هر چند این نمایش مقداری اطلاعات از لایه‌های عمیق را نیز در بر دارد.

شکل ۹-d مقطع تک‌بسامد به ازای بسامد ۳۰ هرتز را نشان می‌دهد. مقطع به ازای این بسامد حاوی اطلاعات از لایه‌های عمیق‌تر است. لایه‌های سطحی به ازای این نمایش چندان قابل تشخیص نیستند.

شکل ۹-e مقطع تک‌بسامد به ازای بسامد ۲۵ هرتز را نشان می‌دهد. در این حالت نسبت به شکل قبل اطلاعات کمتری از لایه‌های سطحی و اطلاعات بیشتری از لایه‌های عمیق‌تر وجود دارد.

شکل ۹-f مقطع تک‌بسامد به ازای بسامد ۱۵ هرتز را نشان می‌دهد. با توجه به ویژگی منطقه سایه بسامد پایین، انتظار داریم در قسمت پایین محل تجمع هیدروکربور تبدیل S مقطع به ازای این بسامد دارای مقدار بیشتری باشد. در شکل ۹-f جایی که مقطع بیشترین تجمع را برای دامنه‌های بالا دارد مشخص شده است. لذا می‌توان این تجمع را در حکم سایه بسامد پایین تلقی و اظهار کرد که به احتمال زیاد هیدروکربور در این محدوده وجود دارد.

۶ نتیجه‌گیری

۱. با توجه به اینکه تبدیل S توان کار با سیگنال‌های ناپایا را دارد، لذا فیلتر انطباقی طراحی شده بر مبنای آن توانایی تضعیف نوفه لرزه‌ای را از داده‌های قبل از

- Booten, R. C., 1952, An optimization theory for time-varying linear system with nonstationary inputs: proceeding IRE (Investigative Reporters and Editors) **40**, 977-981.
- Dimri, V. P., 1986, On the time-varying Wiener filter: Geophys. Prospect., **34**, 904- 912.
- Gabor, D., 1946, Theory of communication: J. Elect. Eng., **93**, 429-457.
- Mallat, S., 1999, A wavelet tour of signal processing, Academic Press, London.
- Margrave, G. F., 1999, Seismic signal band estimation by interpretation of f-x spectra: Geophys., **64**, 251-260.
- Pinnegar, C. R., and Eaton, D. W., 2003, Application of the S transform to prestack noise attenuation filtering: J. Geophys. Res., 108(B9), 2422, doi:10.1029/2002JB002258.
- Proakis, J. G., and Manolakis, D. G., 1988, Introduction to digital signal processing, Macmillan Publishing Company, New York.
- Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995, Exploration Seismology. Cambridge University press, New York.
- Stockwell, R. G., Mansinha, L., and Lowe, R. P., 1996, Localization of the complex spectrum: The S transform: IEEE Transactions on Signal Processing, vol. **44**, NO 4.
- Taner, T. M., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, Complex seismic trace analysis: Geophys., **44**, 1041-1063.
- Wang, R. G., 1969, The determination of optimum gate lengths for time-varying Wiener filtering: Geophys., **34**, 683-695.
- Wang, R. G., 1977, Adaptive prediction deconvolution of seismic data: Geophys. Prospect. **25**, 342-381.
- Weiner, N., 1949, Extrapolation, Interpolation and Smoothing of stationary time series, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Yilmaz, O., 2001, Seismic Data Analysis, Soc. of Explor. Geophys., Tulsa, OK.