

تصحیح استاتیک باقی مانده با استفاده از تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر

زهرا صادقی^۱ و علیرضا گودرزی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
۲. دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

(دریافت: ۹۹/۴/۸، پذیرش نهایی: ۹۹/۱/۵)

چکیده

تغییرات سریع در خواص فیزیکی، سرعت و توپوگرافی لایه نزدیک به سطح، باعث ایجاد استاتیک های طول موج کوتاه و بروز بی نظمی هایی در هذلولی های زمان رسیده های دریافت شده از افق های بازتاب زیرسطحی می شود. این عامل بر دیگر مراحل پردازش و همچنین بر کیفیت تفسیر نهایی تأثیر می گذارد. استاتیک های باقی مانده در واقع نوفه های فرکانس بالا هستند و باید به گونه ای حذف شوند که کمترین آسیب به داده اصلی برسد. برای این منظور بهترین راه استفاده از حوزه های تبدیل است. استفاده از تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر، یک روش جدید و مورد اطمینان برای حل مشکلات پردازشی است. پس از بررسی های صورت گرفته مشخص شد که این روش وابستگی به تعیین مقدار پارامتر کیفیت ندارد. با استفاده از این تبدیل فرکانس های بالا از داده های فرکانس پایین جدا می شوند و می توان با اعمال فیلتر پایین گذر این فرکانس ها را حذف کرد، در نتیجه میزان جابه جایی زمانی برای تصحیح استاتیک باقی مانده که باید بر روی کل ردلرزه ها اعمال شود به دست خواهد آمد. در این پژوهش موفقیت این روش بر روی داده های مصنوعی و واقعی نشان داده خواهد شد.

واژه های کلیدی: تصحیح استاتیک باقی مانده، تبدیل موجک، نوفه زدایی، تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر.

۱. مقدمه

(normal moveout)، تحلیل سرعت و برانبارش (stack) بسیار مهم است.

سیگنال ها با شروع از چشمه، مسیرهای متفاوتی را طی می کنند تا به گیرنده برسند پس اثر لایه های نزدیک به سطح روی هر کدام از آنها متفاوت است. یکی از فرض هایی که در تخمین استاتیک باقی مانده در نظر می گیرند، فرض سطح تراز همسان (surface-consistent) است. طبق این فرض، مقدار تصحیح لازم برای کل یک ردلرزه را یکسان در نظر می گیرند که به دلیل اختلاف زیاد سرعت لایه هوازده و لایه زیرین آن، در بیشتر موارد این فرض با خطای کم صادق است (شریف و جلدارت، ۱۹۸۲). پس می توان گفت منظور از تصحیح استاتیک باقی مانده، جابه جایی های زمانی است که بر ردلرزه ها اعمال می شود، تا همه به یک سطح مبنا بروند و بتوان اثر عبور موج از لایه های با تغییرات شدید را اصلاح کرد (غلامی، ۲۰۱۳).

از سال ۱۹۶۰ تاکنون روش های زیادی برای تصحیح

به هم ریختگی جبهه موج دریافت شده در اثر تغییرات سرعت و ضخامت و همچنین خواص فیزیکی لایه هوازده در برداشت داده های لرزه ای اجتناب ناپذیر است. اگر می توانستیم در هنگام برداشت چشمه ها و گیرنده ها را به زیر لایه هوازده منتقل کنیم این به هم ریختگی ها به وجود نمی آمد اما از آنجایی که این عمل غیرممکن است، اثرات ایجاد شده باید تا حد ممکن در پردازش تصحیح شوند. این واپیچش های جبهه موج در طی پردازش در دو مرحله حذف می شوند، تصحیح استاتیک و تصحیح استاتیک باقی مانده (ایلماز، ۲۰۰۱).

پس از حذف استاتیک های طول موج بلند، که به تصحیح استاتیک ارتفاع معروف است، داده تا حدودی هموار می شود. اما اثرات استاتیک باقی مانده، که طول موج کم و فرکانس بالایی دارند، هنوز در داده وجود دارند و باید به وسیله تصحیح استاتیک باقی مانده حذف شوند. این کار برای مراحل دیگر پردازش مانند برون راند نرمال

در این مقاله سعی داریم روش جدیدی برای تصحیح استاتیک باقی مانده ارائه کنیم. استاتیک‌های باقی مانده را می‌توان به عنوان قسمت فرکانس بالای سیگنال در نظر گرفت. با استفاده از تبدیل موجک می‌توان فرکانس‌های بالا را شناسایی کرد و به کمک فیلتر پایین‌گذر آنها را حذف کرد و از این طریق جابه‌جایی لازم برای تصحیح استاتیک باقی مانده را محاسبه کرد.

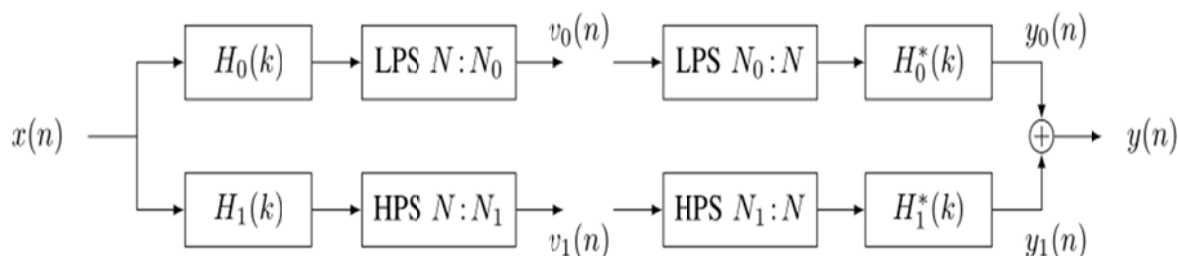
۲. روش پژوهش

تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم‌پذیر (TQWT) یک تبدیل موجک انعطاف‌پذیر کاملاً گسسته است. فاکتور کیفیت (Q) بر رفتار نوسانی موجک تأثیر می‌گذارد. به این صورت که هرچه مقدار این فاکتور بیشتر باشد، سیگنال خاصیت نوسانی بیشتری خواهد داشت. فاکتور کیفیت یک سیگنال نوسانی به صورت نسبت فرکانس مرکزی آن به طول باندهش تعریف می‌شود. تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم‌پذیر، گسسته و نسبتاً بیش‌نمونه است و خاصیت بازسازی کامل دارد. فاکتور کیفیت این تبدیل و میزان افزونگی آن توسط کاربر قابل تنظیم است و در یک بانک فیلتر دو کاناله تکرارشونده توسعه یافته است. این بانک فیلتر، سیگنال ورودی را به وسیله فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر، به دو بخش فرکانس بالا و فرکانس پایین تقسیم می‌کند. (شکل ۱).

استاتیک باقی مانده پیشنهاد شده است. تعدادی از این روش‌ها بر اساس وارون‌سازی زمان‌رسید و به دست آوردن جابه‌جایی لازم برای اثرات چشمه و گیرنده عمل می‌کنند (تانر و همکاران، ۱۹۷۴؛ ویگینز و همکاران، هترلی و همکاران، ۱۹۹۴). برخی از روش‌ها از کمینه‌کردن تابع خطا، که توسط وارون‌سازی خطی انحراف‌های زمان‌رسید به دست می‌آید، استفاده می‌کردند که در حضور نوفه عملکرد ضعیفی داشت (تانر و همکاران، ۱۹۷۴). دسته‌ای دیگر از روش‌ها توان برانبارش را از طریق حل یک مسئله وارون غیرخطی حداکثر می‌کنند (رانن و کلرپوت، ۱۹۸۵).

اولین بار بحث موجک توسط هار (۱۹۱۰) مطرح شد. سپس گراسمن و همکاران (۱۹۸۹) تبدیل موجک پیوسته را فرمول‌بندی کردند. موجک‌های متعامد توسط دایچی (۱۹۹۰) معرفی شدند و در نهایت بانک فیلتر موجک گسسته معرفی شد.

موجک یک شکل موج با زمان محدود و میانگین صفر است و امکان بررسی رویدادهای کوتاه‌مدت و سیگنال‌های ناپایا را می‌دهد. در سال‌های اخیر حوزه‌های تبدیل کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده‌اند و به مبحث تصحیح استاتیک نیز وارد شده‌اند. در نهایت برخی روش‌های نوفه‌زدایی و تصحیح استاتیک باقی مانده در حوزه زمان فرکانس مطرح شدند (البث و همکاران، ۲۰۰۸) و (آقامیری و غلامی، ۱۳۹۵).



شکل ۱. مراحل تجزیه و ترکیب یک بانک فیلتر دو کاناله برای یک سیگنال با طول محدود. سیگنال‌های زیر بانده $v_0(n)$ و $v_1(n)$ به ترتیب طول N_0 و N_1 دارند.

با طول محدود، به وسیله یک بانک فیلتر تکرار شونده بر روی دو کانال پایین گذر آن به دست می آید و N, N_0, N_1 پارامترهایی هستند که باید در هر مرحله تعیین شوند. TQWT برای سیگنال N نقطه ای X برای $1 \leq j \leq J$ که z شماره مرحله و J تعداد مراحل را مشخص می کند، $N^{(j)}$ طول سیگنال ورودی در مرحله z و $N_0^{(j)}$ و $N_1^{(j)}$ طول زیرباندهای تولید شده در این مرحله از بانک فیلتر را نشان می دهد. زمانی که زیرباند پایین گذر در مرحله z تولید می شود آن را با $c^{(j)}$ و زمانی که زیرباند بالا گذر ضرایب موجک تشکیل می دهد آن را با $w^{(j)}$ نشان می دهیم. حال با قرار دادن این ها داریم:

$$N_0^{(j)} \approx \alpha^j N \text{ و } N_1^{(j)} \approx \alpha^{j-1} \beta N \quad (9)$$

پس داریم:

$$N^{(1)} = N, N^{(j)} = N_0^{j-1}, 2 \leq j \leq J \quad (10)$$

با استفاده از این روابط، تبدیل موجک با سیگنال ورودی به طول N و پارامترهای α و β و شماره مرحله J تعیین می شود.

TQWT با این شرایط به صورت زیر اجرا می شود:

$$C^{(0)} \leftarrow \text{DFT}\{x\} \quad (11)$$

$$\{C^{(j)}, W^{(j)}\} \leftarrow \text{AFB}(C^{j-1}, N_0^{(j)}, N_1^{(j)}) \quad (12)$$

$$w^{(j)} \leftarrow \text{DFT}^{-1}\{W^{(j)}\} \quad (13)$$

$$c^{(j)} \leftarrow \text{DFT}^{-1}\{C^{(j)}\} \quad (14)$$

در این روابط AFB ، بخش تجزیه بانک فیلتر را نشان می دهد. معکوس این تبدیل به صورت زیر اجرا می شود:

$$C^{(j)} \leftarrow \text{DFT}\{c^{(j)}\} \quad (15)$$

$$W^{(j)} \leftarrow \text{DFT}\{w^{(j)}\} \quad (16)$$

$$C^{(j-1)} \leftarrow \text{SFB}(C^{(j)}, W^{(j)}, N^{(j)}) \quad (17)$$

$$y = \text{DFT}^{-1}\{C^{(0)}\} \quad (18)$$

که SFB ، بخش ترکیب بانک فیلتر را نشان می دهد.

در این مقاله می خواهیم برای حذف استاتیک های

TQWT به وسیله فاکتور کیفیت و نرخ افزونگی آن (r) تعیین می شود. این دو مقدار توسط پارامترهای مقیاس α و β مشخص می شوند.

اگر $0 < \alpha \leq 1$ باشد، مقیاس گذاری پایین گذر به این صورت تعیین خواهد شد:

$$Y(\omega) = X(\alpha\omega), \quad |\omega| \leq \pi \quad (1)$$

اگر $\alpha \geq 1$ باشد، تابع مقیاس پایین گذر به این صورت خواهد بود:

$$Y(\omega) = \begin{cases} X(\alpha\omega) & |\omega| \leq \pi/\alpha \\ 0 & \pi/\alpha < |\omega| \leq \pi \end{cases} \quad (2)$$

زمانی که $0 < \beta \leq 1$ باشد، تابع مقیاس بالا گذر با پارامتر β به این صورت تعریف می شود:

$$Y(\omega) = \begin{cases} X(\beta\omega + (1-\beta)\pi), & 0 < \omega < \pi \\ X(\beta\omega - (1-\beta)\pi), & -\pi < \omega < 0 \end{cases} \quad (3)$$

زمانی که $\beta \geq 1$ است، تابع مقیاس بالا گذر به این صورت خواهد بود:

$$Y(\omega) \begin{cases} 0, & |\omega| < (1-1/\beta)\pi \\ X(\beta\omega + (1-\beta)\pi), & (1-1/\beta)\pi < \omega < \pi \\ X(\beta\omega - (1-\beta)\pi), & -\pi < \omega < -(1-1/\beta)\pi \end{cases} \quad (4)$$

برای مقیاس گذاری پایین گذر با پارامتر مقیاس α ، زیرباند $v_0(n)$ ، نرخ نمونه برداری αf را به دست می آورد که f_s ، فرکانس نمونه برداری سیگنال ورودی است. برای مقیاس گذاری بالا گذر با پارامتر مقیاس β ، زیرباند $v_1(n)$ ، نرخ نمونه برداری βf را به دست خواهد آورد که f_s ، نرخ نمونه برداری سیگنال ورودی است. این پارامترها به این صورت باهم مرتبط هستند:

$$r = \frac{\beta}{1-\alpha} \quad (5)$$

$$Q = \frac{2-\beta}{\beta} \quad (6)$$

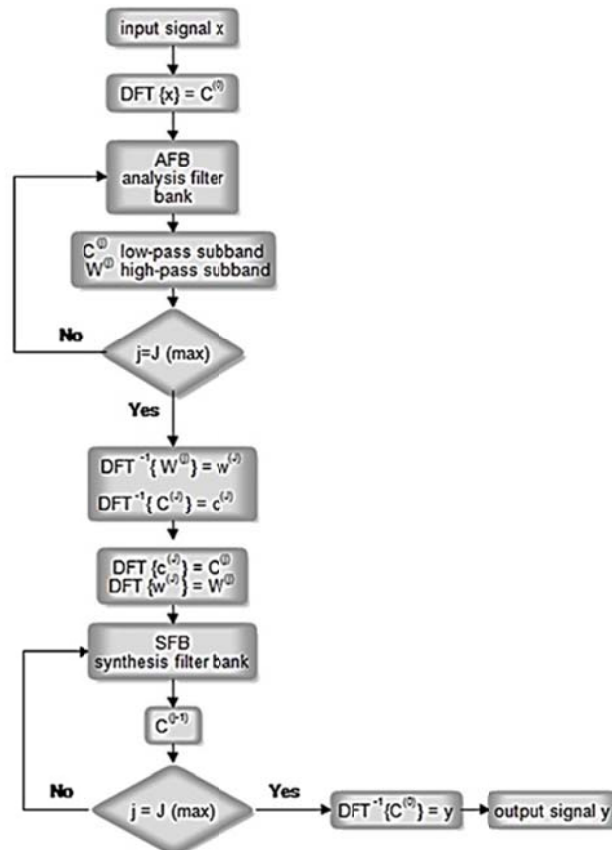
$$\alpha = 1 - \frac{\beta}{r} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{2}{Q+1} \quad (8)$$

تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر، برای سیگنالی

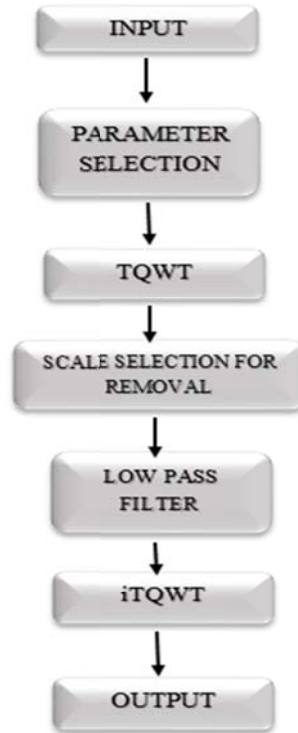
بیشتر باشد، با توجه به اینکه جزئیات بیشتری خواهیم داشت نتیجه موفقیت آمیزتر خواهد بود، بنابراین این مقدار نسبتاً بالا در نظر گرفته شده است. روش انجام شده به این صورت است که تبدیل موجک بر روی داده پس از تصحیح برون افت نرمال، اعمال می شود. استاتیک‌های باقی مانده که به صورت فرکانس‌های بالا نمایان می شوند، شناسایی شده و با اعمال فیلتر پایین گذری که به شکل توضیح داده شده در بالا طراحی می شود، حذف می شوند. سپس معکوس TQWT بر داده اصلاح شده اعمال می شود. در مرحله بعد با محاسبه میزان این تصحیح، مقدار جابه‌جایی زمانی که باید بر روی کل رد لرزه اعمال شود، به دست می آید و در مرحله نهایی کافی است با اعمال این میزان تصحیح بر داده‌ها، اثر استاتیک باقی مانده حذف شود. در ادامه با توضیحات بیشتر نحوه عملکرد روش واضح تر خواهد شد.

باقی مانده از روی داده قبل از برانبارش، از TQWT کمک بگیریم. مزیت این روش قابل تعیین بودن فاکتور کیفیت است و می توان با توجه به رفتار نوسانی سیگنال موردنظر، فاکتور Q را انتخاب کرد تا بهینه ترین استفاده از تبدیل موجک صورت گیرد. با توجه به بحث بازسازی کامل (Perfect Reconstruction) در تبدیل موجک ارائه شده توسط سلزینیک (۲۰۱۱) حساسیتی روی انتخاب پارامترها وجود ندارد و فاکتور کیفیت می تواند تمامی مقادیر حقیقی را شامل شود. نحوه تخمین پارامتر Q بر اساس روش های ارائه شده در گودرزی و ریاحی (۲۰۱۳) انجام می شود که به شکل قرارداد فرکانس مرکزی به جای فرکانس غالب در تعریف فاکتور کیفیت توضیح داده شده در پژوهش بارنس (۱۹۹۳) صورت گرفته است. پارامتر بعدی تعداد مقیاس های تجزیه است که مقداری اختیاری است و هر چه



شکل ۲. الگوریتم تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر و وارون آن.

نتایج روش هم تراز سطح، جهت مقایسه در داده مصنوعی اعمال شد. همان طور که مشاهده می شود در نقاط میانی بین تریس های ۴۰ تا ۸۰ و همچنین قبل از تریس شماره ۱۰۰ اعوجاج مشاهده می شود. از طرفی در نقاط ابتدایی و انتهایی مقطع به ویژه تریس اول و تریس آخر نتایج روش مقایسه شده با شکل ۴-ج بیانگر خطای روش هم تراز سطح است. نتایج حاصل از برانبارش شکل های ۴-الف تا د در شکل ۴-ه آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود روش پیشنهادی بر مبنای تبدیل موجک گسسته توانسته است رویدادها را تا حد قابل قبولی به خط کند و خروجی روش هم تراز سطح نیز نتایج قابل قبولی ارائه داده است. اما وجود اعوجاجات ذکر شده که مانع از به خط شدگی رویدادها شده است، این باعث شده که سطح دامنه ای در رویدادهای همدوس پایین تر از روش پیشنهادی بر مبنای تبدیل موجک باشد. طیف توان داده های مصنوعی (شکل ۴-و) نشان دهنده این واقعیت است که روش پیشنهادی در این مقاله در این نوع خاص از داده مصنوعی بیشترین انطباق را با داده ورودی بدون استاتیک دارد (منحنی های آبی و قرمز). از طرفی روش هم تراز سطح که در این داده استفاده شده است علی رغم اینکه در داده های با فرکانس میانه عملکرد نسبتاً خوبی داشته است و انطباق منحنی سبز رنگ با منحنی های آبی و قرمز بین فرکانس های ۱۰-۴۰ قابل توجه است، اما برای فرکانس های بالاتر نتیجه منطبق بر انتظارات نیست. وجه دیگر این پاسخ فرکانسی در فرکانس های پایین تر از ده هرتز بارز می شود، به نحوی که همان طور که از منحنی آبی رنگ بر می آید. دامنه فرکانس ها در این منطقه صفر است اما منحنی سبز رنگ که مربوط به روش هم تراز سطح هست مقداری، هر چند ناچیز به فرکانس های پایین تر نسبت داده است. از این رو می توان این اختلاف را نشانگر عدم توانایی روش هم تراز سطح در، به خط کردن رویداد تخت پس از اعمال تصحیحات استاتیک باقی مانده تلقی کرد.



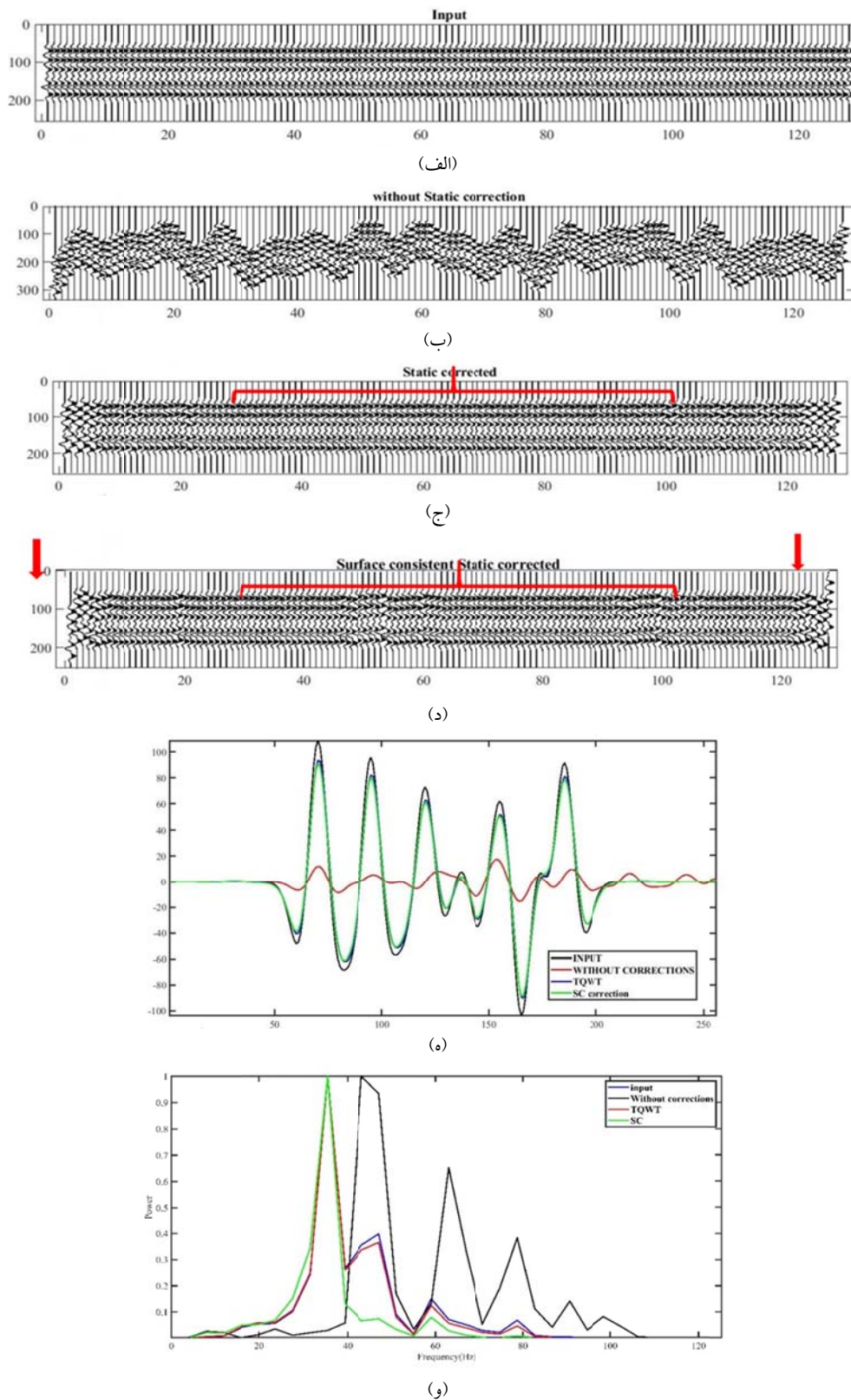
شکل ۳. الگوریتم تعیین میزان جابه جایی زمانی لازم برای تصحیح استاتیک باقی مانده با استفاده از تبدیل موجک گسسته با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر.

۳. اندازه گیری، مشاهده و محاسبه

۳-۱. اعمال روش بر داده مصنوعی

به منظور آزمودن عملکرد روش پیشنهاد شده برای تصحیح استاتیک باقی مانده، ابتدا آن را بر روی داده های مصنوعی اعمال می کنیم. در داده های مصنوعی به کاررفته، از موجک ریگر با فرکانس غالب ۱۰ هرتز و زمان نمونه برداری ۴ میلی ثانیه استفاده شده است و در ادامه مقداری استاتیک اضافی به آن اضافه شده است. همچنین برای تبدیل موجک با فاکتور Q تنظیم پذیر، پارامترهای فاکتور کیفیت و افزونگی تبدیل موجک را به این صورت در نظر می گیریم: $Q=20$ و $r=20$

در شکل ۴-ب، داده قسمت الف بعد از اعمال استاتیک و بدون نوفه تصادفی نشان داده شده است که با حذف اعوجاجات، همدوسی بسیار خوبی ایجاد کرده است و رویدادها به وضوح قابل تشخیص هستند. در شکل ۴-د

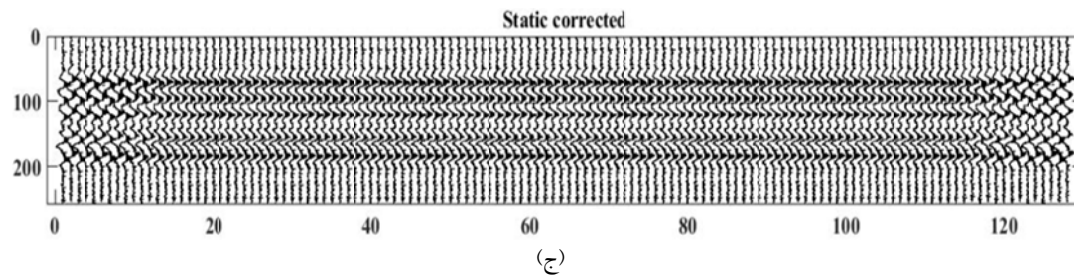
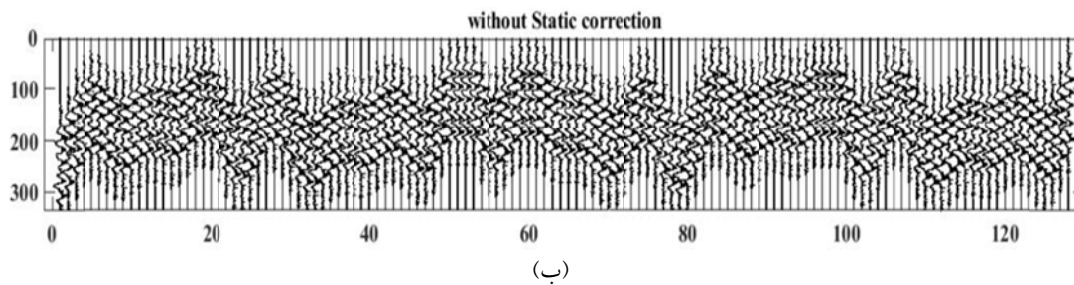
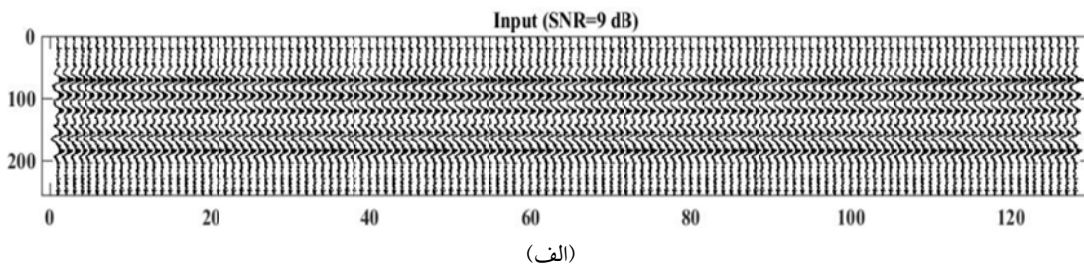


شکل ۴. داده مصنوعی بدون نوفه. الف) داده ورودی، ب) داده بدون تصحیح استاتیکی باقی مانده، ج) پس از تصحیح استاتیکی باقی مانده، د) روش Surface consistent. ه) برابری نتایج الف تا د، و) طیف دامنه پهن.

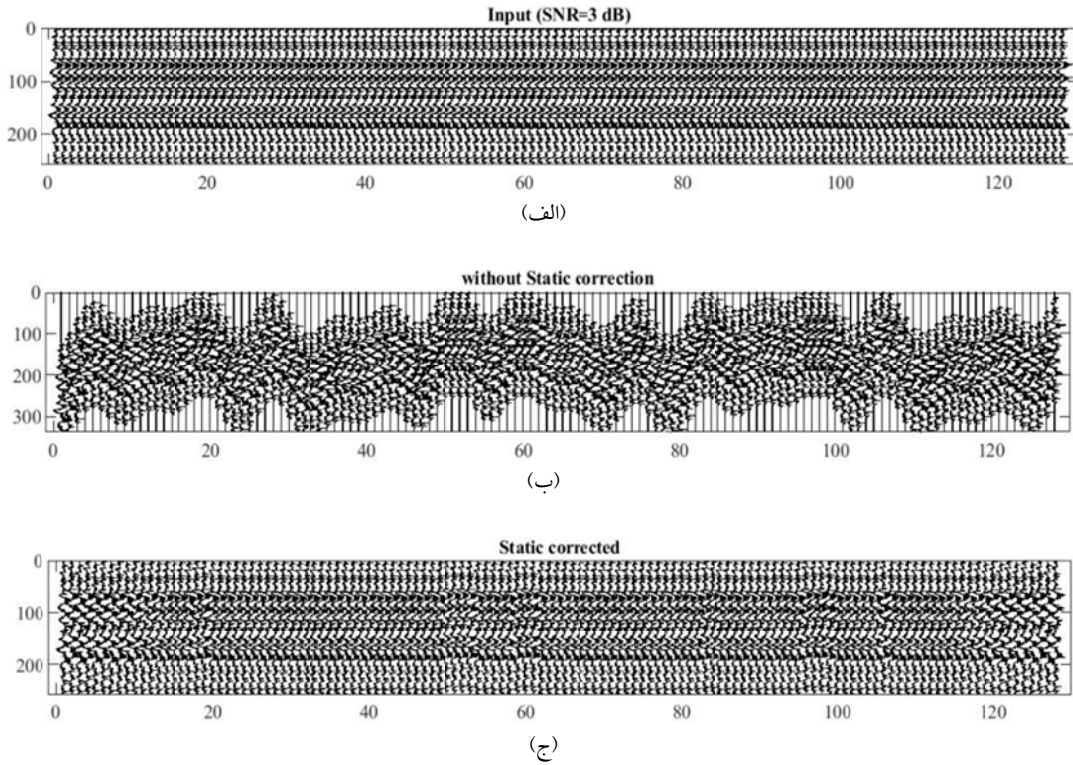
و قسمت ج، داده را پس از اعمال روش نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود این روش توانایی خوبی را در تصحیح استاتیک باقی مانده در حضور نوفه نشان می‌دهد.

در شکل ۶، نوفه تصادفی افزایش یافته و نسبت سیگنال به نوفه ۳ می‌باشد. تصحیح استاتیک به روش TQWT بر آن اعمال شده است. نتایج نشان‌دهنده قدرت خوب روش پیشنهادی در حضور نوفه است.

از آنجاکه نوفه‌ها در برداشت‌های لرزه‌ای گریزناپذیرند، یک روش عملی باید بتواند در حضور نوفه نیز عملکرد خوبی داشته باشد. برای آزمایش میزان توانایی این روش در حضور نوفه، به داده قبلی نوفه تصادفی (نوفه سفید گوسی) اضافه کرده و بار دیگر روش را اعمال می‌کنیم. در شکل ۵-الف، داده مصنوعی به اضافه نوفه سفید گوسی است و نسبت سیگنال به نوفه ۹ است. در قسمت ب، استاتیک قبلی به آن اضافه شده



شکل ۵. داده مصنوعی نوفه دار. الف) داده ورودی با نسبت سیگنال به نوفه ۹، ب) بدون تصحیح استاتیک باقی مانده، ج) پس از تصحیح استاتیک باقی مانده.

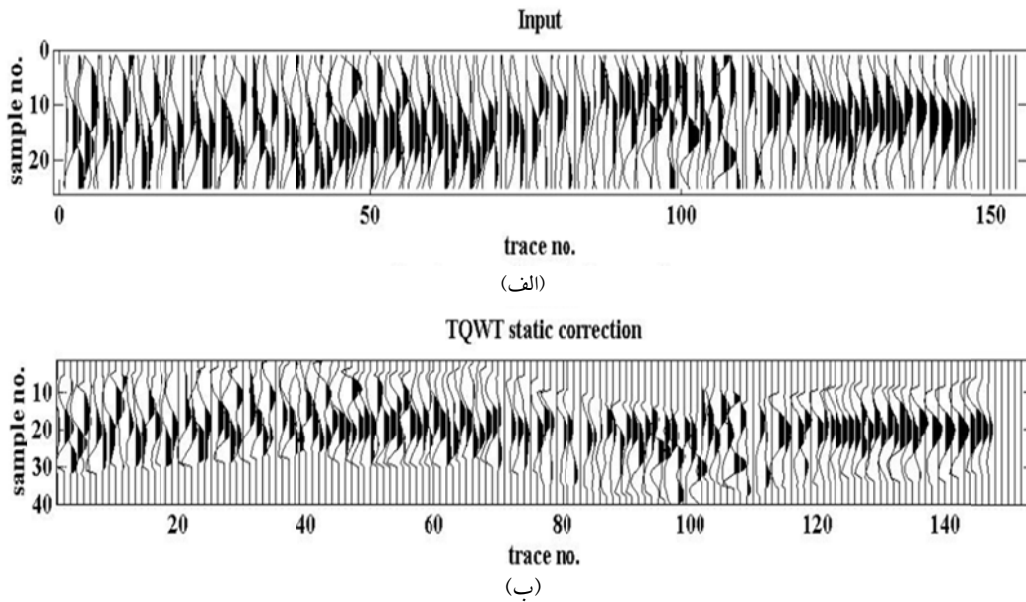


شکل ۶. داده مصنوعی نوفه دار. الف) داده ورودی با نسبت سیگنال به نوفه ۳، ب) بدون تصحیح استاتیک باقی مانده، ج) پس از تصحیح استاتیک باقی مانده.

۳-۲. اعمال روش بر داده واقعی

برای اطمینان از عملکرد روش، آن را بر روی داده واقعی پیش از برانبارش اعمال می‌کنیم. شکل ۷-الف، داده واقعی را نشان می‌دهد. در قسمت ب تصحیح استاتیک با

استفاده از تبدیل موجک با پارامترهای $Q=3$ و $r=2$ صورت گرفته است. روش استاتیک‌های باقی مانده را تا حد زیادی حذف کرده و می‌توان منظم شدن جبهه‌های موج را در داده واقعی بعد از تصحیح به خوبی مشاهده کرد.



شکل ۷. داده واقعی. الف) داده ورودی، ب) پس از تصحیح استاتیک باقی مانده.

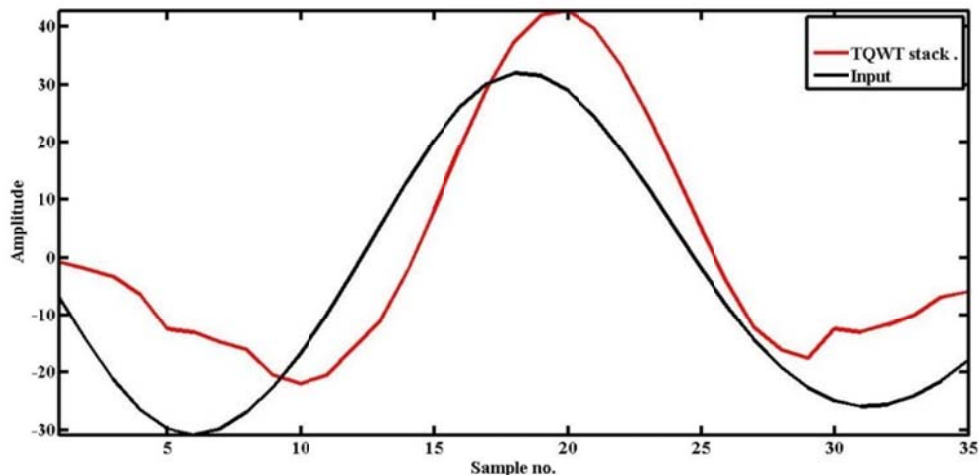
۴. بحث

روند تصحیح استاتیک باقی مانده قله‌ها و دره‌های سیگنال طی جابه‌جایی اندکی، به خط می‌شوند و برانبارش سبب تقویت رویدادها می‌شود. در شکل ۸ تغییر شکل در دو طرف شکل رویداد ناشی از همین موضوع است. همچنین جابه‌جایی زمانی اندکی که در شکل پس از تصحیح دیده می‌شود، یکی از تأثیرات تصحیح استاتیک است و به دلیل وجود جابه‌جایی زمانی در تعریف تصحیح استاتیک، در موجک نهایی نیز به دلیل به خط‌شدگی کامل رویدادها جابه‌جایی زمانی در اول، آخر و یا میانه رویدادها رخ می‌دهد. در واقع این جابه‌جایی حاصل جابه‌جایی‌های نمونه‌ها در افق‌هایی است که سیگنال در آنها وجود دارد.

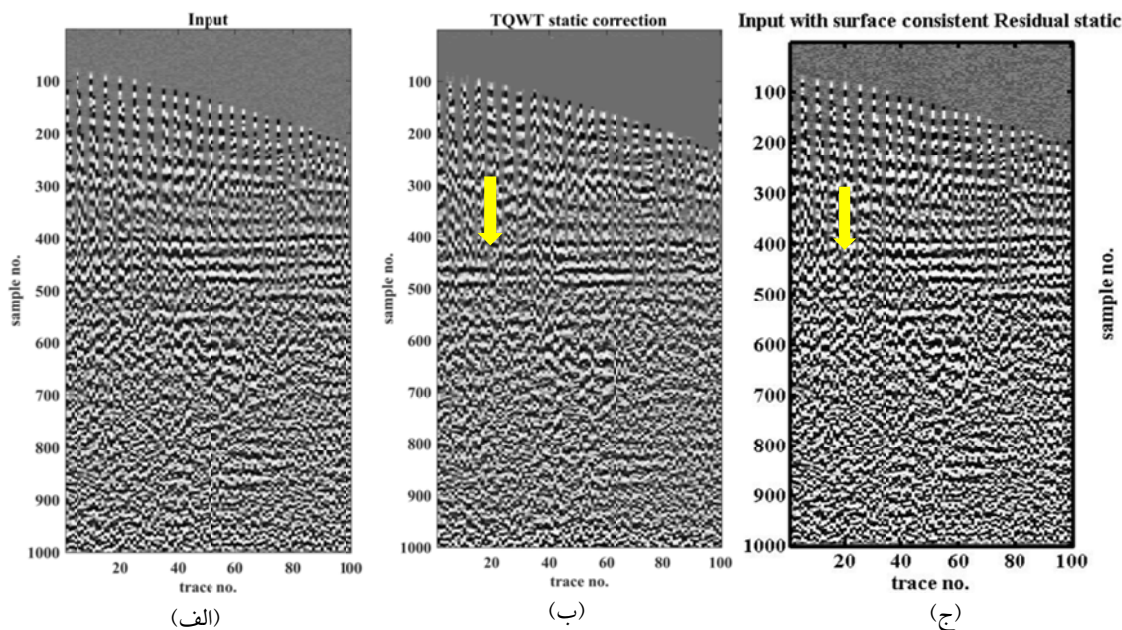
در شکل ۹، یک داده فول‌شات واقعی نشان داده شده است، که تصحیح استاتیک با استفاده از TQWT بر روی آن اعمال شده است و با روش مرسوم تصحیح استاتیک باقی مانده، روش سطح تراز همسان، مقایسه شده است. ظهور شکل رویدادها پس از برداشتن اثر استاتیک‌های باقی مانده در مقطعی که با روش TQWT تصحیح شده است به‌طور قابل مقایسه‌ای بیشتر از مقطعی است که از روش سطح تراز همسان در تصحیح آن استفاده شده است.

برای بررسی بهتر نتایج این روش، نمودار دامنه برحسب نمونه در شکل ۸ را در نظر می‌گیریم. این شکل یک رویداد منتخب از داده واقعی شکل ۷ است. نمودار سیاه‌رنگ ردلرزه تک‌چشمه واقعی را نشان می‌دهد و نمودار قرمز رنگ، داده پس از برانبارش بعد از اعمال تصحیح استاتیک با تبدیل موجک با فاکتور Q تنظیم پذیر را نشان می‌دهد. هرچه تصحیح استاتیک باقی مانده، رویدادها را در مقطع پیش از برانبارش بیشتر به خط کند و دره‌ها و قله‌ها را ردیف‌تر کند، در مقطع پس از برانبارش تخریب کمتری صورت می‌گیرد و شکل رویداد واضح‌تری خواهیم داشت. علاوه بر این هرچه دامنه رویداد بیشتر و طول موج آن کمتر باشد، شکل رویداد در مقطع با وضوح بیشتری دیده خواهد شد.

همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، می‌توان عملکرد بهتر استفاده از TQWT را در افزایش دامنه مشاهده کرد. از طرفی کاهش طول موج نیز پس از تصحیح استاتیک باقی مانده در مقایسه با داده ورودی مشخص است. در



شکل ۸. نمودار دامنه یک رویداد واقعی پس از برانبارش. رنگ قرمز پس از اعمال تصحیح به روش TQWT.



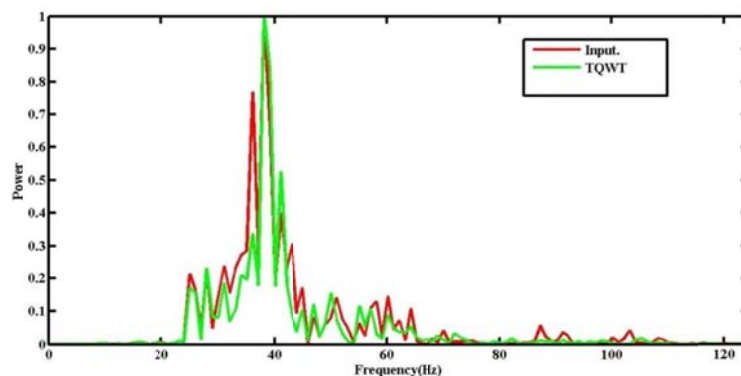
شکل ۹. الف) یک داده فول شات واقعی، ب) پس از تصحیح به روش TQWT، ج) پس از تصحیح با روش سطح تراز همسان.

فرکانس‌ها نشان‌دهنده حذف تقریبی داده‌های فرکانس‌های بالا است. در شکل ۱۰، نمودار توان برحسب فرکانس نشان داده شده است. برای بهتر دیده شدن دامنه هر فرکانس از طیف توان استفاده کردیم. همان طور که از شکل ۱۰ برمی‌آید؛ در فرکانس‌های بالا، که مرتبط با نوفه‌های اتفاقی است و یکی از نتایج برانبارش صحیح است توان و به عبارتی دامنه این فرکانس‌ها، پس از تصحیح استاتیک باقی‌مانده به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

منحنی رنگ سبز در شکل ۱۰ استفاده از روش TQWT را نشان می‌دهد که در فرکانس‌های بیشتر از ۴۲ و کمتر از ۳۷ عملکرد مناسبی دارد.

در عملیات لرزه‌ای سیگنالی از چشمه وارد زمین می‌شود. با عبور این سیگنال از لایه‌های زمین و به‌خصوص لایه کم‌سرعت هوازده، سیگنال ورودی با میرایی مواجه می‌شود و دامنه آن کاهش می‌یابد. با بررسی دامنه داده پس از برانبارش، قبل و بعد از تصحیح استاتیک باقی‌مانده می‌توان به تأثیر مهم این تصحیح بر برطرف کردن اثر میرایی پی برد. TQWT در بازسازی دامنه میرا شده داده نیز عملکرد خوبی نشان می‌دهد.

فرکانس‌های بالا، در واقع همان نوفه‌های طول‌موج‌های کوتاه استاتیک باقی‌مانده هستند و هدف از اعمال تصحیحات حذف آنهاست. پس کاهش دامنه این

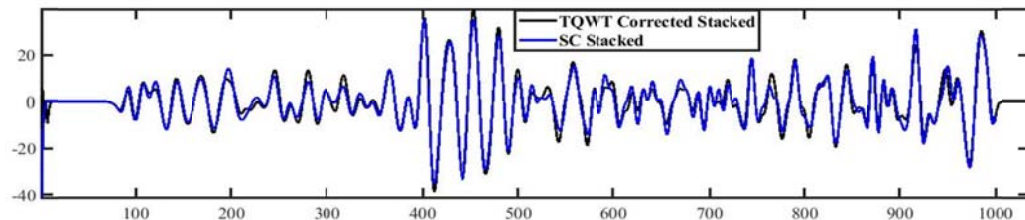


شکل ۱۰. نمودار توان برحسب فرکانس، نمودار سبزرنگ پس از اعمال تصحیح به روش TQWT.

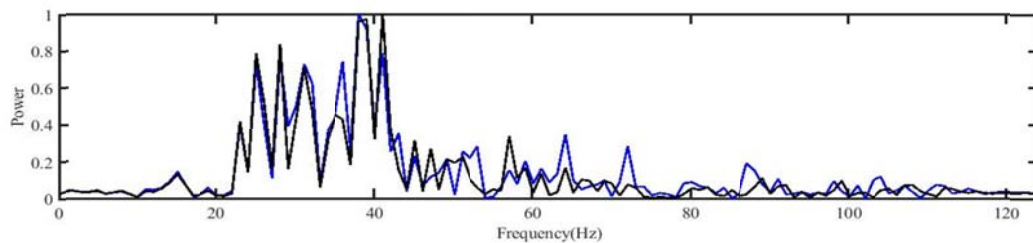
شکل ۱۱-ب بر می آید در منحنی آبی رنگ که مرتبط با روش هم تراز سطح است، در فرکانس های بالاتر نتیجه همدوسی به اندازه روش TQWT نتوانسته است که نوفه های اتفاقی را کاهش دهد. از طرفی برای اغلب فرکانس ها دامنه به خط شده در روش مطرح شده بالاتر از روش هم تراز سطح است. اما برای فرکانس های پایین تر به ویژه پایین تر از ۲۵ هرتز توانایی هر دو روش برای این سیگنال یکسان ارزیابی می شود. از نظر زمان محاسبات علی رغم بیشتر بودن محاسبات روش TQWT با توجه به استراتژی radix2-fft که در محاسبات لحاظ شده است از نظر سرعت نتیجه گیری با توجه به جدول شماره ۱ روش مطرح شده و روش هم تراز سطح، یکسان ارزیابی شدند.

اگر برابری به خوبی انجام شود سیگنال ها تقویت خواهند شد که در شکل ۱۱-الف، می توان حوالی فرکانس غالب سیگنال افزایش دامنه را به خوبی مشاهده کرد. از طرفی نوفه های اتفاقی که در فرکانس های بالا نمایان می شوند، حذف خواهند شد و می توان در قسمت ب، تأثیر روش TQWT بر حذف نوفه های فرکانس بالا را با اثر روش سطح تراز همسان که یک روش معمول در تصحیح استاتیک باقی مانده است، مقایسه کرد.

به خط شدگی رویدادها و برابری آنها پس از اعمال تصحیح برون راند نرمال و متعاقب آن اعمال تصحیحات استاتیک باقی مانده منجر به تقویت سیگنال و تضعیف رویدادهای ناهمدوس در داده می شود. همان طور که از



(الف)



(ب)

شکل ۱۱. الف) مقایسه اثر روش TQWT و استفاده از یک روش مرسوم بر روی داده، بعد از برابری، ب) مقایسه طیف توان بر حسب فرکانس داده برابری شده بعد از اعمال روش TQWT و روش تصحیح استاتیک باقی مانده مرسوم.

جدول ۱. زمان اجرای برنامه در یک سیستم محاسباتی یکسان.

روش / نوع داده	هم تراز سطح	TQWT
داده مصنوعی	۴/۵S	۴/۸S
داده واقعی	۳۰S	۳۲S

۵. نتیجه گیری

در این مقاله تصحیح استاتیک باقی مانده با استفاده از تبدیل موجک با فاکتور Q تنظیم پذیر بررسی شد. در این تبدیل فاکتور کیفیت بر اساس رفتار نوسانی سیگنال تنظیم می شود، تا تبدیل موجک بتواند با سیگنال مورد استفاده هماهنگ شود. تبدیل موجک با فاکتور کیفیت تنظیم پذیر (TQWT) با استفاده از DFT اجرا می شود. اعمال تصحیح استاتیک باقی مانده با این روش بر داده قبل از برانبارش، حذف تقریباً کامل استاتیک های باقی مانده از روی داده را نشان می دهد. مقایسه نتایج نشان داد که روش معرفی شده علاوه بر سرعت بیشتر از دقت بالاتری نیز برخوردار است. این روش باید بر روی داده تصحیح برون راند نرمال شده انجام شود که شرط تخت در نظر گرفتن لایه ها را الزامی

می کند.

همچنین اعوجاجات کمی که در ابتدا و انتهای ردلرزه ها دیده می شوند را می توان نقص اساسی این روش دانست که خاصیت ذاتی تبدیل موجک می باشد. همین طور به علت اینکه اطلاعات قبل و بعد، در گوشه های سیگنال وجود ندارند تبدیل موجک نتوانسته است عملکرد خوبی داشته باشد.

مراجع

سیدآقامیری، س. ح. و غلامی، ع.، ۱۳۹۵، حذف اثر استاتیک باقیمانده با نوفه زدایی در حوزه مکان- فرکانس (f-x)، پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، (۱)۲، ۹-۱. doi: 10.22044/jrag.2016.652

- Barnes, A., 1993, Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency with applications to seismic reflection data. *GEOPHYSICS*, 58(3), 419-428.
- Daubechies, I., 1990, Orthonormal bases of compactly supported wavelets., 41, 909-996.
- Elboth, T., Geoteam, F., Hayat Qaisrani, H. and Hertweck, T., 2008, Denoising seismic data in the time-frequency domain, SEG Las Vegas 2008 Annual Meeting.
- Gholami, A., 2013, Residual statics estimation by sparsity maximization, *Geophysics*, 78 (1), 11-19
- Goudarzi, A. and Riahi, M., 2013, TQWT and WDGA: innovative methods for ground roll attenuation. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10(6).
- Grosman, A., Martinet, R. and Morlet, J., 1989, Reading and understanding continuous wavelet transform, Proc, Int'l Conf. Wavelets, 2-20.
- Haar, A., 1910, Zur Theorie der orthogonalen Funktionensysteme, *Mathematische Annalen*, 69 (3), 331-371, doi:10.1007/BF01456326.
- Hatherly, P., Urosevic, M., Lambourne, A. and Evans, B. J., 1994, A simple approach to calculating refraction statics corrections, *Geophysics*, 59, 156-160.
- Ronen, J. and Claerbout, J. F., 1985, Surface-consistent residual statics estimation by stack-power maximization, *Geophysics*, 50, 2759-2767.
- Selesnick, I. W., 2011, Wavelet transform with tunable Q-factor. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 59, 3560-3575.
- Sheriff, R. E. and Geldart, L. P., 1982, *Exploration Seismology*, Cambridge University Press.
- Taner, M. T., Koehler, F. and Alhilali, K. A., 1974, Estimation and correction of near-surface time anomalies, *Geophysics*, 39, 441-463.
- Wiggins, R. A., Larner, K. L. and Wisecup, R. D., 1976, Residual statics analysis as a general inverse problem, *Geophysics*, 41, 922-938
- Yilmaz, Ö., 2001, *Seismic data analysis*, Society of exploration geophysicists Tulsa.

Residual static correction Using Tunable Q Factor Discrete Wavelet Transform

Sadeghi, Z.¹ and Goudarzi, A. R.^{2*}

1. M.Sc. Student, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

2. Associate Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

(Received: 28 June 2020, Accepted: 24 Jan 2021)

Summary

The derivation of the static reference corrections was generally based on a fairly simple geological model close to the surface. The lack of detailed information near the surface leads to inaccuracies in this model and, therefore, in static corrections. Residual static corrections are designed to correct small inaccuracies in the near-surface model. Their application should lead to an improvement of the final section treated compared to that in which only static corrections is applied. For example, if the final stacked section is to be inverted to produce an acoustic impedance section, it is important that the variations in amplitude along the section represent the changes in the reflection coefficient as close as possible. This is unlikely to be the case if small residual static errors are present. In addition, static reference corrections are not a unique set of values because a change in reference results in a different set of corrections. Due to variation in the Earth's surface, velocities, and thicknesses of near-surface layers, the shape of the travel time hyperbola changes. These deviations, called static, result in misalignments and events lost in the CMP, so they must be corrected during the processing. After correcting the statics of long wavelengths, there are still some short-wavelength anomalies. These "residual" statics are due to variations not counted in the low-velocity layer. The estimation of the residual static in complex areas is one of the main problems posed by the processing of seismic data, and the results from this processing step affect the quality of the final reconstructed image and the results of the interpretation. Residual static can be estimated by different methods such as travel time inversion, power stacking, and sparsity maximization, which are based on a coherent surface assumption. An effective method must be able to denoise the seismic signal without losing useful data and have to function properly in the presence of random noise. In the frequency domain, it is possible to separate the noise from the main data, so denoising in the frequency domain can be useful. Besides, the transformation areas are data-driven and require no information below the surface. The methods in the frequency domain generally use the Fourier transform, which takes time and has certain limits. Wavelet transformation methods always provide a faster procedure than Fourier transformation. We have found that this type of wavelet transform could provide a data-oriented method for analyzing and synthesizing data according to the oscillation behavior of the signal. Tune able Q Factor Discrete Wavelet Transform (TQWT) is a new method that provides a reliable framework for the residual static correction. In this transformation, the quality factor (Q), which relates to the particular oscillatory behavior of the data, could be adjusted in the signal by the user, and this characteristic leads to a good correspondence with the seismic signal. The Q factor of an oscillatory pulse is the ratio of its center frequency to its bandwidth.

TQWT is developed by a tow channel filter bank. The use of a low-pass filter eliminates high-frequency data; these high-frequency components are the effect of residual static. After filtering, the data will be smoother; this amount of correction gives the time offset for the residual static correction. This time difference must apply to all traces. Applying this method to synthetic and real data shows a good correction of the residual static.

Keywords: residual static correction, discrete wavelet transform, denoising, quality factor.

* Corresponding author:

a.goudarzi@kgut.ac.ir