



ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از فشرده‌سازی تبدیل موجک گسسته

فرهاد ملالی^{۱*}، امین روشندل کاهو^۱، بهزاد تخم‌چی^۱، علیرضا کوردوزی^۲، میراحمد حسینی^۳، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفزیک، دانشگاه شاهرود

چکیده

موجک‌ها نمونه‌های انتقال یافته و مقیاس شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی و نوسانی شدیداً میرا هستند. یکی از روش‌های افزایش پهنای باند و قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای، استفاده از تبدیل موجک است. در این مقاله از تبدیل موجک گسسته پایا به‌عنوان ابزاری برای ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. برای این منظور، ضمن مشخص کردن ضرایب موجک در داده‌های لرزه‌ای در مقیاس‌های بالاتر (فرکانس‌های پایین‌تر) و پیش‌بینی آنها در مقیاس‌های پایین‌تر (فرکانس‌های بالاتر)، نسبت به بالا بردن قدرت تفکیک در داده‌های لرزه‌ای اقدام شده است. روش کار به این صورت بود که ابتدا ردلرزه ورودی با استفاده از تبدیل موجک پایا تجزیه شد و سپس برونیابی برپایه تبدیل هیلبرت انجام گرفت. در نهایت، همه این ضرایب با وارون تبدیل موجک پایا باز گردانده شد که حاصل تبدیل موجک فشرده شده بود. در نتیجه، این روش باعث افزایش قدرت تفکیک در داده‌های لرزه‌ای می‌گردد.

واژگان کلیدی | افزایش قدرت تفکیک، تبدیل موجک گسسته، تبدیل هیلبرت، داده‌های لرزه‌ای، ردلرزه

مقدمه

پهنای باند داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در لرزه‌نگاری انعکاسی پس از عبور از زمین به شدت تضعیف می‌شود؛ به عبارتی، پاسخ چشمه موج لرزه‌ای دارای پهنای زمانی محدود می‌باشد. پس ردلرزه بدست آمده در مرحله عملیات دارای قدرت تفکیک مطلوبی نمی‌باشد. از آنجا که انتشار موج لرزه‌ای در درون زمین یک فیلتر پایین گذر است، مدام باعث میرایی فرکانس‌های بالا و افت پهنای باند فرکانسی داده‌ها می‌گردد که این کاهش پهنای باند فرکانسی مشکلات تفسیر را افزایش می‌دهد. بازگرداندن فرکانس‌های بالا از سیگنال‌های لرزه‌ای باند محدود، یک مشکل بزرگ در اکتشافات ژئوفیزیکی است.

تاکنون روش‌های مختلفی برای افزایش و بهبود قدرت تفکیک زمانی داده‌های لرزه‌ای ارائه شده‌اند. روش‌های وارون‌سازی [۱] که از طریق نگاهت داده‌های لرزه‌ای به اسپایک، قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را افزایش می‌دهند، نیاز به اطلاعاتی در مورد موجک چشمه لرزه‌ای دارند. این اطلاعات یا از طریق نگارهای چاه بدست می‌آیند که در اینصورت فرض می‌شود موجک پایا است و در صورت عدم دسترسی به نگارهای چاه از واهمامیخت^۶ داده‌های لرزه‌ای محاسبه می‌شوند، که در این حالت، سری بازتاب، یک سری اتفاقی یا طیف سفید فرض می‌شود. در روش چرخش طیفی [۲] که برای افزایش قدرت

تفکیک و گسترش پهنای باند فرکانسی داده‌های لرزه‌ای معرفی شده است، فرضیاتی همانند روش قبل مطرح می‌شود. یکی دیگر از مراحل افزایش قدرت تفکیک که به صورت متداول در داده‌های لرزه‌ای انجام می‌شود، واهمامیخت پاسخ ضربه واحد می‌باشد. اما کارایی این روش به عوامل زیادی از جمله میزان نوفه داده، نوع موجک چشمه لرزه‌ای از نظر تأخیر فاز و غیره می‌باشد و در اکثر موارد نتیجه مطلوبی را ایجاد نمی‌نماید [۳]. افزایش پهنای باند فرکانسی سیگنال، باعث افزایش قدرت تفکیک آن می‌گردد. یکی از روش‌های موجود در این زمینه، استفاده از تبدیل فوریه است [۴]. این روش نه تنها قادر به شناسایی سیگنال ناپایا نیست بلکه، هنگامی که پهنای باند سیگنال افزایش می‌یابد، نوفه چندان کاهش پیدا نمی‌کند. یکی از روش‌هایی که اخیراً روی داده‌های لرزه‌ای برای به‌دست آوردن داده‌های با کیفیت بهتر و افزایش قدرت تفکیک آنها انجام می‌گیرد و خاصیت ناپایا بودن داده‌ها را در نظر می‌گیرد، تبدیل موجک است [۶]، [۵]. در این مقاله، هدف، ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا براساس برونیابی برپایه تبدیل هیلبرت است.

۱- تبدیل موجک گسسته

ابتدا روابط موجود در تبدیل موجک، ارائه و در ادامه به تبدیل

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات (mollaeifarhad@yahoo.com)

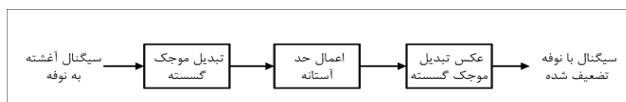
نمونه‌هایش ثابت است. از طرف دیگر، سیگنال بدون نوفه را می‌توان با تعداد محدودی از ضرایب تبدیل موجک نشان داد که دارای دامنه بزرگی هستند و مربوط به اغلب ضرایب تبدیل موجک حاصل از نوفه است. شکل ۲ فرایند حذف نوفه با تبدیل موجک گسسته را نشان می‌دهد.

۲- تبدیل هیلبرت

تبدیل هیلبرت اگرچه در رشته‌های مهندسی الکترونیک و آنالیز و پردازش سیگنال از زمان‌های دور به کار می‌رفته، اما کاربرد آن در ژئوفیزیک از ۱۹۷۰ شروع شده است [۱۱]. روش تبدیل هیلبرت یک روش حل مستقیم است. هدف از به کارگیری تبدیل هیلبرت در تحقیقات ژئوفیزیک، ایجاد معادلات بیشتر برای تعیین پارامترهای ساختارهای مدفون با کاربرد گرادیان کامل داده‌های قابل دسترس است [۱۲]. * برای تعیین پارامترهای ساختارهای مدفون از ریشه‌ها و نقاط تقاطع پتانسیل بی‌هنجاری و گرادیان کامل پتانسیل بی‌هنجاری استفاده می‌شود. بنابراین، مناسب‌ترین فاصله نمونه‌برداری باید انتخاب شود. خطای ± 1 درصد در انتخاب فاصله نمونه‌برداری قابل قبول است [۱۳]. تبدیل هیلبرت را می‌توان از راه‌های گوناگون همچون روش تبدیل فوریه و هم‌میخت، عملی ساخت. در استفاده از تبدیل هیلبرت، پارامتر حل معادلات برای هر ساختار متفاوت است. بنابراین، مدل‌های در نظر گرفته شده برای بی‌هنجاری، قبل از استفاده از تبدیل هیلبرت باید مشخص شوند. در مواردی که تبدیل هیلبرت به‌واسطه تبدیل فوریه به‌دست آمده است، ممکن است نوعی ناپیوستگی در تعیین ریشه‌ها و نقاط انتقال ایجاد شود. این ناپیوستگی را باید قبل از کاربرد تبدیل هیلبرت حذف کرد. همچنین در مواردی که از روش هم‌میخت استفاده می‌شود، یک جابجایی در ریشه‌ها و نقاط انتقال می‌افتد که این جابجایی بستگی به عملگر هم‌میخت دارد. بنابراین، انتخاب طول هم‌میخت باید با دقت کافی صورت گیرد [۱۲]. تبدیل هیلبرت اولین بار در تفسیر داده‌های مغناطیسی بی‌هنجاری‌های دوبعدی مورد استفاده قرار گرفت [۱۴]. در تحقیقات لرزه‌شناسی هم برای تبدیل هیلبرت یک تریس گرفته شده از یک ردلرزه مرکب کاربرد دارد [۱۵]. در روش گرانی نیز از تبدیل هیلبرت برای تعیین پارامترهای گسل استفاده شده است [۱۶].

۳- اعمال روش برای ارتقاء قدرت تفکیک روی داده مصنوعی و واقعی

برای بررسی کارایی روش‌های متداول، از مدل مصنوعی که در اکثر مقالات معتبر، بدان اشاره شده است، استفاده می‌شود. در ساخت ردلرزه مصنوعی، موجک با فاز صفر و با بسامد غالب ۱۵



۲ | فرآیند حذف نوفه با تبدیل موجک گسسته [۱۰]

هیلبرت پرداخته می‌شود. در انتها، نتایج الگوریتم، جهت افزایش قدرت تفکیک ارائه می‌گردد.

تبدیل موجک تابع $x(t)$ به صورت رابطه زیر بیان می‌شود [۷].

$$W_x(a, b) = \int x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (1)$$

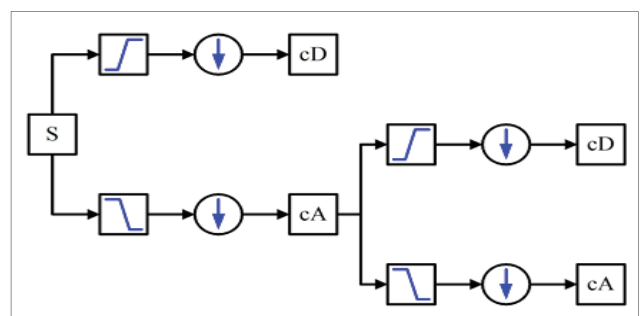
که در آن * نشان‌دهنده مزدوج مختلط، $\psi(a,b)(t)$ موجک، a بیانگر مقیاس و b بیانگر مرکز پنجره موجک یا بیانگر جابجایی در راستای محور زمان است. $\psi(a,b)(t)$ نسخه مقیاس شده (a) و انتقال یافته در زمان (b) موجک مادر است که با استفاده از رابطه (۲) بدست می‌آید.

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

در تبدیل موجک پیوسته، $b \in \mathbb{R}$ و $a \in \mathbb{R}^+ - \{0\}$ است. به عبارت دیگر، محاسبات برای همه مقادیر مقیاس و انتقال صورت می‌گیرد. اما در تبدیل موجک گسسته $(j,k) \in \mathbb{Z}^2$ و $b=k2^j$ و $a=2^j$ است. این به آن معناست که محاسبات تبدیل موجک گسسته در مقادیر خاصی از مقیاس و انتقال (دودویی) به انجام می‌رسد.

مالات با معرفی الگوریتم تبدیل موجک سریع، روشی بر مبنای فیلترها برای محاسبه ضرایب تبدیل موجک گسسته معرفی کرد. این فیلترها به صورت جفت فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در هر مرحله از تجزیه بر روی سیگنال اعمال می‌شود و پس از آن تعداد نمونه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج حاصل، شامل یک سیگنال تقریب کلی (cA) و یک سیگنال جزئیات (cD) است. در مرحله بعد، می‌توان دوباره سیگنال تقریب کلی را تجزیه و عمل را تا هر مرحله از تجزیه ادامه داد. تبدیل موجک گسسته را می‌توان به صورت یک سری بانک فیلتر در نظر گرفت که روی سیگنال اعمال می‌شوند [۹]، [۸]. در شکل ۱ تبدیل موجک به صورت شماتیک نشان داده شده است.

در این مقاله، از تبدیل موجک گسسته پایا استفاده شده است. این تبدیل مانند تبدیل گسسته معمولی است با این تفاوت که دیگر، کاهش تعداد نمونه‌ها صورت نمی‌گیرد و سیگنال، پس از تجزیه تعداد



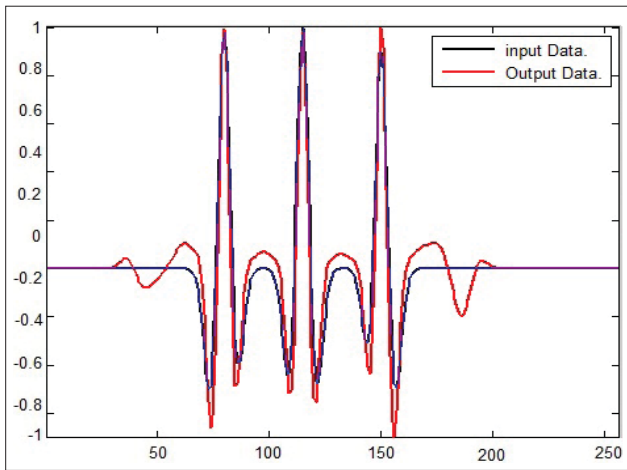
۱ | طرح کلی از روند محاسبات در تبدیل موجک گسسته [۹]



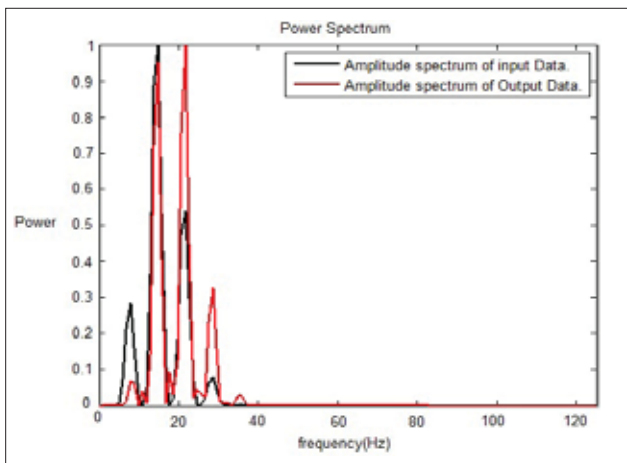
هرتز و زمان ۴ میلی ثانیه استفاده شده است. موجک و سری بازتاب در شکل ۳ نشان داده شده است.

در ادامه، ردلرزه ورودی با استفاده از هم‌میخت موجک و سری بازتاب، ساخته شده و با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا ردلرزه به مقیاس‌های مختلف تجزیه می‌شود. شکل ۴ حاصل هفت مرحله تجزیه از ردلرزه مصنوعی را نشان داده شده است. در مرحله بعد پس از تجزیه ردلرزه، عملیات زیر بر روی ردلرزه ورودی انجام می‌گیرد:

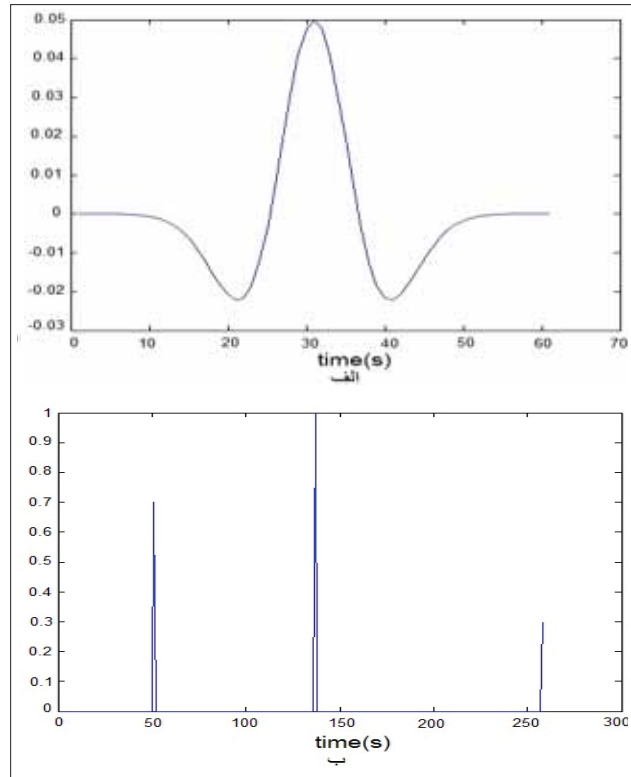
الف: پوش هیلبرت ردلرزه ورودی محاسبه می‌شود.
ب: این پوش با یک پنجره هموار کننده مثلثی (smoother triangular) که نیمی از طول فیلتر مورد نظر است (در این جا طول این فیلتر $\frac{1}{2}$ طول ردلرزه در نظر گرفته می‌شود)، هم‌میخت می‌شود.



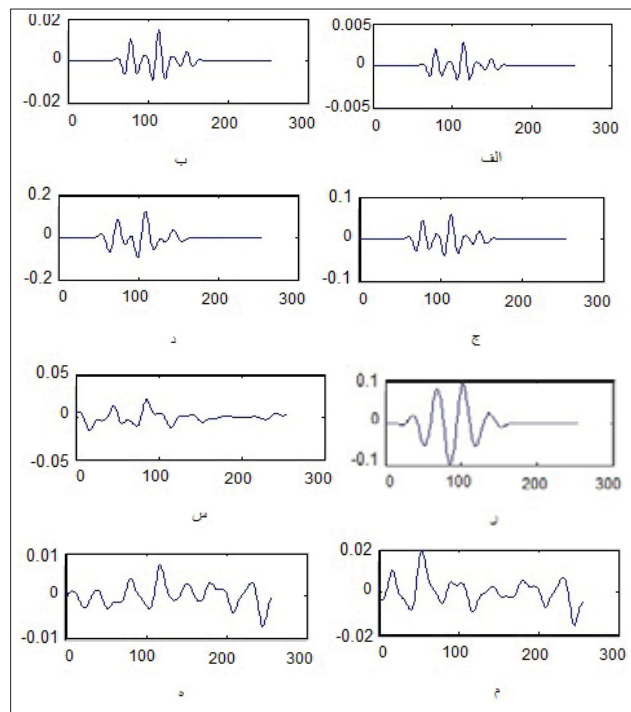
شکل ۵ | تداخل سه بازتابنده با یکدیگر (ردلرزه ورودی سیاه‌رنگ و ردلرزه خروجی قرمز رنگ است)



شکل ۶ | طیف دامنه که در این طیف ارتقای فرکانسی را نشان می‌دهد (طیف دامنه ورودی سیاه‌رنگ و طیف دامنه خروجی قرمز رنگ است)



شکل ۳ | الف) موجک با فاز صفر. ب) سری بازتاب



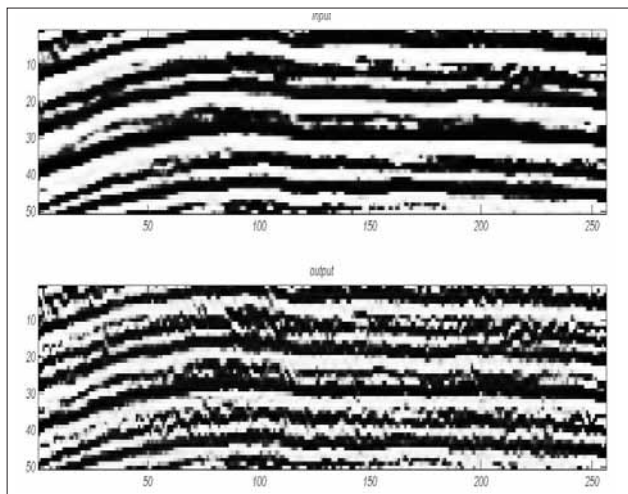
شکل ۴ | مشاهده هفت مرحله تجزیه ردلرزه ورودی با تبدیل موجک گسسته پایا از چپ به راست: الف) ردلرزه ورودی. ب) تا ه) مرحله اول تا هفتم تجزیه ردلرزه ورودی

ج: ردلرزه ورودی به پوش‌های هموار شده تقسیم می‌شود و نهایتاً با یک، نرمالایز می‌گردند.

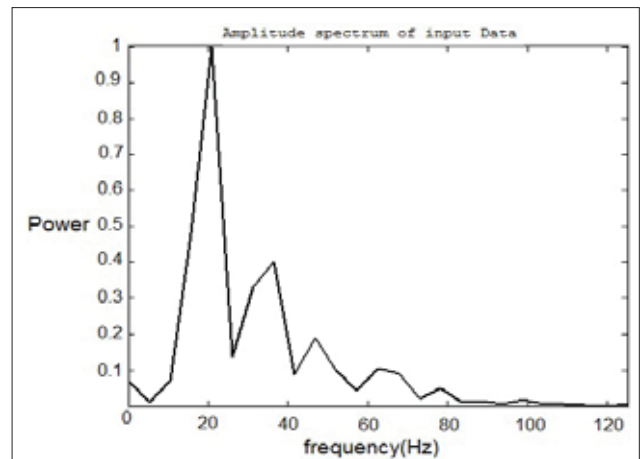
از روی این پوش، مقادیر جایگزینی که صفر هستند، تخمین زده شده و در مکان مورد نظر، قرار می‌گیرد. توجه شود که این روش در صفحه موجک، طول ردلرزه را نمونه‌های نظیر ضرایب موجک از مقیاس‌های مختلف در نظر می‌گیرد و در نهایت همه این ضرایب که باز گردانده شده‌اند، با وارون تبدیل موجک گسسته پایا، تبدیل موجک فشرده شده را ارائه می‌دهد.

شکل ۵ با استفاده از الگوریتم گفته شده، سه بازتابنده را نشان می‌دهد که با یکدیگر تداخل کرده‌اند. در این شکل، ردلرزه ورودی، سیاه‌رنگ و ردلرزه خروجی قرمز رنگ است. این روش به خوبی توانسته است که مرزهای تداخل را مشخص کند و موجک، فشردگی قابل قبولی دارد. شکل ۶ طیف دامنه را نشان می‌دهد. در این طیف، ارتقای فرکانسی کاملاً مشاهده می‌گردد. هدف، فشردگی مورد نظر برای افزایش محدوده فرکانسی جهت تشخیص لایه نازک در یک مقطع لرزه‌ای است. طیف دامنه ورودی سیاه‌رنگ است که محدوده فرکانسی تا ۲۵ هرتز را شامل می‌شود و طیف دامنه خروجی قرمز رنگ بوده و محدوده فرکانسی بیشتر از ۴۰ هرتز را در برمی‌گیرد.

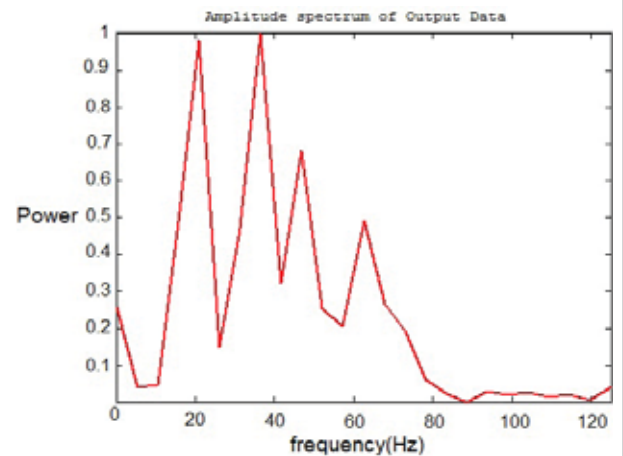
در ادامه، این الگوریتم بر روی داده‌های واقعی انجام شده است که نتایج آن بیان‌کننده افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای است. داده واقعی مورد بررسی در این مقاله، مربوط به میدان نفتی منصوری واقع در جنوب ایران می‌باشد. مقطع لرزه‌ای واقعی دارای ۶۴ ردلرزه و فاصله نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه است. شکل ۷(الف) بیانگر طیف دامنه ورودی داده لرزه‌ای واقعی است که تقریباً نشان‌دهنده محدوده فرکانسی ۴۵ هرتز است؛ شکل ۷(ب) طیف دامنه خروجی داده لرزه‌ای واقعی است که محدوده فرکانسی بیشتر از ۸۰ هرتز را نشان می‌دهد. این افزایش پهنای باند فرکانسی باعث افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای می‌گردد. شکل ۷(ج) مقایسه بین طیف دامنه ورودی و طیف دامنه خروجی داده‌های



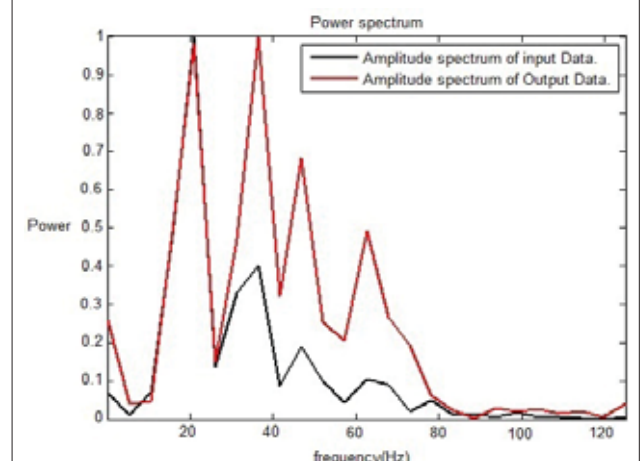
۸ | افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی



شکل ۷(الف)



شکل ۷(ب)



شکل ۷(ج)

۷ | طیف دامنه داده‌های لرزه‌ای واقعی. (الف) طیف دامنه ورودی. (ب) طیف دامنه خروجی. (ج) مقایسه طیف دامنه ورودی و خروجی. رنگ سیاه طیف دامنه داده‌های ورودی و رنگ قرمز طیف دامنه خروجی





نتیجه‌گیری

افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین مراحل پردازش ژئوفیزیکی می‌باشد که در تشخیص لایه نازک کاربرد گسترده‌ای دارد. این کار باعث شناسایی بهتر و دقیق‌تر تله‌های ساختمانی می‌شود و امروزه در اکتشاف منابع هیدروکربوری اهمیت زیادی دارد. در این مقاله برای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای از تبدیل موجک گسسته پایا استفاده گردید. با به کارگیری روش برون‌یابی وابسته به داده، علاوه بر افزایش فرکانس، از تضعیف دامنه جلوگیری شد. استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا و براساس برون‌یابی برپایه تبدیل هیلبرت به عنوان روشی نوین قلمداد می‌گردد که در آن، پوش هیلبرت محاسبه شده، با یک پنجره هموارکننده مثلثی هم‌میخت. می‌توان قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای و درشت‌نمایی آن را افزایش داد. همچنین لایه‌های نازک و تله‌های ساختمانی را شناسایی کرد. هر چه لایه نازک دقیق‌تر شناسایی گردد، تخمین پتانسیل هیدروکربوری محدوده مورد نظر دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. ■

واقعی را نشان می‌دهد که این افزایش پهنای باند فرکانسی را می‌توان مشاهده کرد. شکل ۸ مقطع ورودی و خروجی افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی را نشان می‌دهد. طیف دامنه داده‌های ورودی با رنگ سیاه و طیف دامنه خروجی با رنگ قرمز نشان داده شده است. پس با توجه به الگوریتم بیان شده و نتایج آن که در بالا نشان داده شد و با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ که روی داده واقعی اعمال شده است، می‌توان افزایش پهنای باند فرکانسی و در نتیجه، افزایش قدرت تفکیک داده‌ای را مشاهده کرد. این روش را با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا و براساس برون‌یابی برپایه تبدیل هیلبرت می‌توان به‌عنوان روشی نوین برای ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای به کار برد. به طور کلی می‌توان مسیر انجام الگوریتم ارائه شده برای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را به صورت زیر بیان کرد (شکل ۹).



مسیر انجام الگوریتم افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای

پانویس‌ها

¹mollaeifarhad@yahoo.com

³tokhmechi@ut.ac.ir

⁵ahosseinyre@yahoo.com

²roshandel@shahroodut.ac.ir

⁴aligoudarzi@ut.ac.ir

⁶deconvolution

منابع

- [1] Castagna, J. P., Sun, S., and Siegfried, R. W., 2003, Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons.
- [2] Countiss, M. L., 2002, Frequency-enhanced imaging of stratigraphically complex, thin bed reservoir: A case study from South Marsh Island: *Leading Edge*, 21, 826-836.
- [3] Yilmaz, O., 2001, "Seismic data processing", SEG.
- [4] Zhou, Y., Dellinger J., Gutowski P., and Garossino P., 10-15 october 2004. " seismic resolution enhancement in the wavelet transform domain" AIT, BP America. SEG int Exposition and 74th annual meeting * Denver, Colorado*.
- [5] Mallat, S., 2009 " A Wavelet Tour of Signal Processing" 3th.
- [6] Mallat S., 1999, A wavelet tour of signal processing. Academic Press, New York.
- [7] Poularikas, A. D., 2000, the transform and application Handbook. 2nd edition, CRC Press.
- [8] D. Lee Fugal, Conceptual Wavelets in digital signal processing. 2009 Space & Signal Technologies LLC, All Rights Reserved. www.ConceptualWavelets.com.
- [9] Mundim, E. C., Schots, H. A., and Araujo, J. M., 2006, WTdecon, a colored deconvolution implemented by wavelet transform, the *Leading Edge*, April, 398-401.
- [10] Donoho, D.L., 1995, De-noising by soft-thresholding: *IEEE Trans. On Inf. Theory*, 41, 613-627.
- [11] Bracewell, R. M., 1985, *The Fourier Transform and its Applications*: Mac Graw-Hill, New York, 268 p.
- [12] Akgun, M., 2000, Estimation of some bodies parameters from the self potential method using Hilbert transform: *Journal of the Balkan geophysical society*, 4(2), 29-44.
- [13] Hafez, M. A., 2009, A new approach to interpret self-potential anomaly over a two dimensional inclined sheet using complex gradient analysis: *J Geophys Eng*, 2, 97-102.
- [14] Rao, A. D., Babu, R. H. V., and Sivakumar, S. G. D., 1982, A Fourier transform method for the interpretation of self-potential anomalies due to two-dimensional inclined sheet of finite depth extent: *Pure Appl. Geophys*, 120, 365-74.
- [15] Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, Complex seismic trace analysis: *Geophysics*, 44, 1041-1063.
- [16] Pinar, R., 1985, Karmaşık gradient yönteminin düşey sureksizliklere uygulanması ve bilgisayarlarla gerçekleştirimi: *E. Ü. Bilgisayar Arastırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, Cilt: 8, Sayı: 1. (In Turkish with English Abstract).