

اثر رفتار نوسانی موجک مادر در تبدیل موجک گسسته به منظور تضعیف نوفه لرزه‌ای تصادفی

محمد ایرانی مهر^۱، محمدعلی ریاحی^{۲*} و علیرضا گودرزی^۳

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

۲. استاد، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

(دریافت: ۹۷/۶/۴، پذیرش نهایی: ۹۷/۱۰/۱۱)

چکیده

ابزارهای پردازش داده لرزه‌ای ویژگی‌های متنوعی دارند و چشم‌پوشی از این ویژگی‌ها اثرگذاری ابزارهای پردازش سیگنال را کاهش می‌دهد. در این تحقیق نقش تفکیک‌پذیری در تبدیل موجک و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک (WQ-factor) موجک مادر بر عملکرد تضعیف نوفه اتفاقی بررسی خواهد شد. در این تحقیق از نسخه دوشاخه تحلیلی تبدیل موجک اتساع گویا (DT-RADWT) به منظور بررسی نقش نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک (WQ-factor) در تبدیل موجک استفاده شده است. این تبدیل‌ها می‌تواند بازه متنوعی از WQ-factor ها را فراهم کنند. برای بررسی تأثیر WQ-factor موجک مادر بر روی عملکرد تبدیل موجک DT-RADWT با WQ-factor های مختلف بر روی داده مصنوعی اعمال می‌شود، در ادامه تحقیق ارتباط بین نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک داده و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک مناسب برای پردازش داده‌های لرزه‌ای بررسی می‌شود، نتایج نشان داد که نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک نگاهت لرزه‌ای ارتباط معناداری با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک مناسب برای تجزیه سیگنال ندارد و ضمناً با افزایش نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک تبدیل موجک، پردازش سیگنال بهتر صورت می‌گیرد. در قسمت بعد، این روش بر داده‌های Sub-Bottom Profiler و همچنین داده‌های خشکی استفاده شده است. نتایج DT-RADWT نشان داد که انتخاب WQ-factor بالا در تبدیل موجک، موجب کاهش بهتر نوفه تصادفی از داده لرزه‌ای خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: نوفه تصادفی، تبدیل موجک گسسته، نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک، تبدیل موجک دوشاخه‌ای، داده دریایی، اتساع گویا.

۱. مقدمه

است. به دلیل انعطاف‌پذیری تبدیل موجک (WT)، انواع متفاوتی از تبدیل موجک معرفی شده است که هر کدام می‌توانند با توجه به قابلیت‌هایشان مورد استفاده قرار گیرند (فوگال، ۲۰۰۹). در این مطالعه، یک تبدیل موجک جدید به نام RADWT (Rational Dilation Wavelet Transform) تبدیل موجک ضریب اتساع گویا و نسخه دو شاخه تحلیلی آن یا Dual-tree RADWT یا به اختصار DT-RADWT برای بررسی نقش تفکیک‌پذیری تبدیل موجک در کاهش نوفه تصادفی از داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌شود. مزیت این تبدیل نسبت به تبدیل موجک گسسته رایج، نمونه‌برداری گویا در آن است که این تبدیل را قادر می‌کند تفکیک‌پذیری فرکانسی بالاتر را

تبدیل موجک ابزاری جدید برای پردازش سیگنال است که می‌تواند به‌طور هم‌زمان اطلاعات زمان و فرکانس سیگنال را فراهم کند. علاوه بر این قادر است برخی از محدودیت‌های تبدیل فوریه را نیز برطرف کند. می‌دانیم تضعیف نوفه با تبدیل سریع فوریه (FFT) ناخواسته اثری پایدار بر تمام باندهای فرکانسی سیگنال ایجاد می‌کند (ایلماز، ۲۰۰۱). تبدیل موجک می‌تواند ناهنجاری‌ها، پالس‌ها و سایر پدیده‌های دارای شروع و پایان را به دلیل طول محدود موجک، بهتر از سینوس‌وارها نشان دهد (مالات، ۲۰۰۸) به همین دلیل در سال‌های اخیر کاربرد زیادی در کارهای علمی و مهندسی داشته

ارائه دهد. به دلیل داشتن ویژگی افزونگی، این تبدیل می‌تواند مانع دگرنامی فرکانسی شود. تبدیل RADWT در سال ۲۰۰۹ معرفی شد (بایرام و سلزینیک، ۲۰۰۹)، این تبدیل می‌تواند بر برخی از محدودیت‌های تبدیل موجک گسسته دوتایی غلبه کند. این تبدیل بیش کامل بوده و بر اساس اتساع گویا (کسری) طراحی شده است. مزیت این روش نسبت به تبدیل موجک گسسته دوتایی این است که این تبدیل دارای نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک‌های مختلفی است (بایرام و سلزینیک، ۲۰۱۱). تبدیل موجک گسسته (DWT) مشابه تبدیل فوریه می‌تواند داده‌ها را به مؤلفه‌های فرکانسی مختلف تجزیه کند، اما برخلاف تبدیل فوریه، تبدیل موجک به ما اجازه می‌دهد تا نوفه‌های ناخواسته را در زمان‌های معین از داده حذف کنیم. این ویژگی DWT به کاربر اجازه می‌دهد تا سیگنال‌های مطلوب را از نوفه‌های ناخواسته جدا کند. به علاوه موجک گسسته به راحتی معکوس پذیر است و اجازه می‌دهد تا سیگنال بعد از جداسازی نوفه بازسازی شود. تاکنون، روش‌های متعددی برای کاهش نوفه تصادفی داده‌های لرزه‌ای پیشنهاد شده است، از جمله این روش‌ها می‌توان $f-x/f-xy$ de-convolution (کانالس، ۱۹۸۴) و (چیس، ۱۹۹۲)، تبدیل موجک گسسته (ایرانی مهر و عابدی، ۲۰۱۷)، تبدیل S (عسکری و سیاهکوهی، ۲۰۰۸)، تبدیل کرولت با کمک منظم‌سازی (لاری و غلامی، ۲۰۱۴)، فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی تانسوری (شکفته زوارم و همکاران، ۱۳۹۴)، تجزیه مد اتفاقی (روشندل کاهو و نجاتی کلاته، ۱۳۸۹) و صافی میانه بر پایه تصمیم‌گیری (باقری و ریاحی، ۲۰۱۶) را نام برد. در سال‌های اخیر تبدیل موجک‌هایی با ضریب اتساع گویا و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک‌های بالا مورد توجه قرار گرفته‌اند. اوشر (۱۹۹۲) نوع جدیدی از تبدیل موجک با ضریب اتساع گویا را معرفی کرد و اشواریا و جایاراج (۲۰۱۴) با استفاده از موجک با ضریب اتساع کسری و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجکی بالاتر از تبدیل موجک رایج به تضعیف نوفه از

سیگنال تصویری پرداختند. باسارد و همکاران (۲۰۰۴) با بالا بردن نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک و بهره بردن از این ویژگی در تبدیل موجک توانستند دقت و کارایی در انقباض (Shrinkage) ضرایب موجک را بهبود بخشند. گودرزی و ریاحی (۲۰۱۳) با افزایش نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک در تبدیل موجک کیفیت تضعیف نوفه لرزه‌ای را افزایش دادند.

RADWT توانایی به دست آوردن بازه متنوعی از نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک‌ها را دارد و می‌تواند در حیطه زمان و فرکانس، برای طراحی مناسب و متمرکز چارچوب (frame) مناسب موجک را طراحی کند و تفکیک پذیری زمان-فرکانس موجک را بهبود دهد (بایرام و سلزینیک، ۲۰۰۹)، در این تحقیق نقش-WQ factor موجک مادر در تبدیل موجک بر عملکرد فیلتر در تضعیف نوفه اتفاقی را بررسی خواهد شد. در ادامه توضیح بیشتری در مورد WQ-factor و نقش آن در تبدیل موجک ارائه خواهد شد. ایرانی مهر و ریاحی (۱۳۹۳) از موجک گسسته ضریب اتساع گویا (RADWT) برای تضعیف نوفه اتفاقی از داده دریایی استفاده کردند. در اینجا از نسخه جدیدتر RADWT با نام DT-RADWT که چگالی بالاتری دارد استفاده خواهد شد و تمرکز ما در این تحقیق بر نقش نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک و تفکیک‌پذیری فرکانسی تبدیل موجک در تضعیف نوفه اتفاقی از داده لرزه‌ای می‌باشد، به علاوه تغییرات نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک لرزه‌ای با افزایش نوفه اتفاقی را بررسی خواهیم کرد در ادامه ارتباط نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک سیگنال لرزه‌ای و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک مناسب برای پردازش با تبدیل موجک بررسی خواهد شد.

۲. روش تحقیق

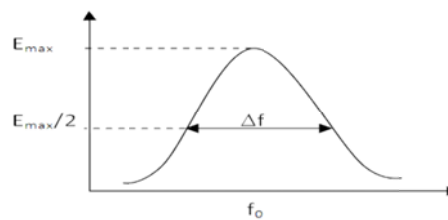
به دلیل سادگی نمونه برداری دوتایی، تبدیل موجک دوتایی رایج‌ترین تبدیل موجک می‌باشد، نمونه برداری در

تبدیل موجک‌های گسسته دوتایی با ضرایب ۲ رخ می‌دهد (میر، ۱۹۹۲) بنابراین تبدیل موجک دوتایی یک تبدیل ساده بازگشت‌پذیر با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک ثابت است و ابزاری نسبتاً مؤثر برای نشان دادن سیگنال‌های قطعه‌ای هموار است. از سوی دیگر تبدیل موجک دوتایی دارای WQ-factor کم و تفکیک‌پذیری فرکانسی پایین است (بایرام و سلزنیگ، ۲۰۰۹). WQ-factor در فیلترهای باندگذر نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند است. شکل ۱ نشان‌دهنده تعریف WQ-factor برای فیلترهای باندگذر است. رابطه ۱ نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک (WQ-factor) و پهنای باند را نشان می‌دهد و $F0$ و Δf به ترتیب نشان‌دهنده فرکانس مرکزی موجک و پهنای باند موجک می‌باشند. پهنای باند محدوده فرکانسی است که نیمی از انرژی طیفی موجک را داشته باشد (یا دامنه طیفی ۷۰٪ درصد از بیشینه).

تبدیل موجک‌های گسسته دوتایی با ضرایب ۲ رخ می‌دهد (میر، ۱۹۹۲) بنابراین تبدیل موجک دوتایی یک تبدیل ساده بازگشت‌پذیر با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک ثابت است و ابزاری نسبتاً مؤثر برای نشان دادن سیگنال‌های قطعه‌ای هموار است. از سوی دیگر تبدیل موجک دوتایی دارای WQ-factor کم و تفکیک‌پذیری فرکانسی پایین است (بایرام و سلزنیگ، ۲۰۰۹). WQ-factor در فیلترهای باندگذر نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند است. شکل ۱ نشان‌دهنده تعریف WQ-factor برای فیلترهای باندگذر است. رابطه ۱ نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک (WQ-factor) و پهنای باند را نشان می‌دهد و $F0$ و Δf به ترتیب نشان‌دهنده فرکانس مرکزی موجک و پهنای باند موجک می‌باشند. پهنای باند محدوده فرکانسی است که نیمی از انرژی طیفی موجک را داشته باشد (یا دامنه طیفی ۷۰٪ درصد از بیشینه).

$$WQf = F0/\Delta f \quad (1)$$

تغییر WQ-factor می‌تواند پهنای باند موجک را تغییر دهد. بایرام و سلزنیگ خانواده‌ای از موجک‌هایی را توسعه دادند که دارای محدوده‌ای از فاکتورهای کیفیت هستند و می‌توانند وضوح فرکانسی بالاتری نسبت به تبدیل موجک دوتایی فراهم کنند (بایرام و سلزنیگ، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱) تبدیل موجک‌های RADWT و DT-RADWT بیش کامل هستند با افزودن و برداشتن صفر به سیگنال ورودی، عمل اتساع گویا را انجام می‌دهند. به همین جهت اطلاعات موجود در داده حفظ می‌شود حتی بهتر از تبدیل موجک رایج می‌تواند اطلاعات را حفظ کند (بایرام و سلزنیگ، ۲۰۰۹).

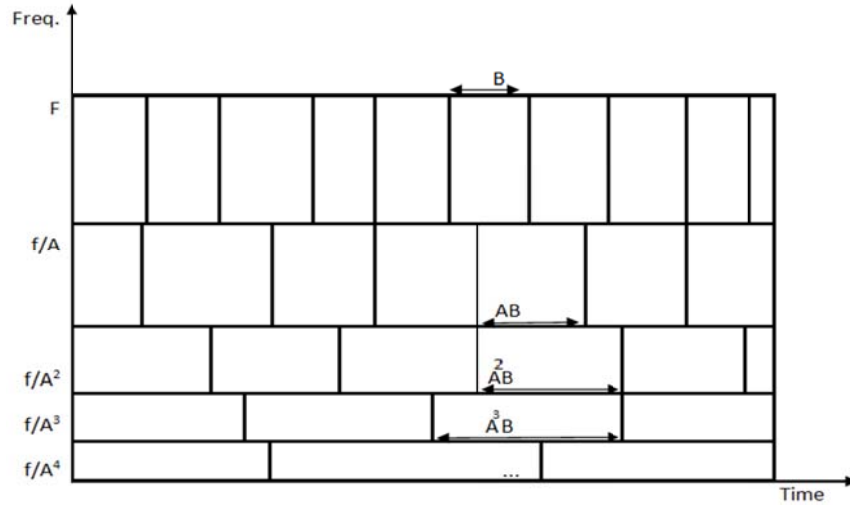


شکل ۱. WQ-factor برای فیلتر باندگذر نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک است.

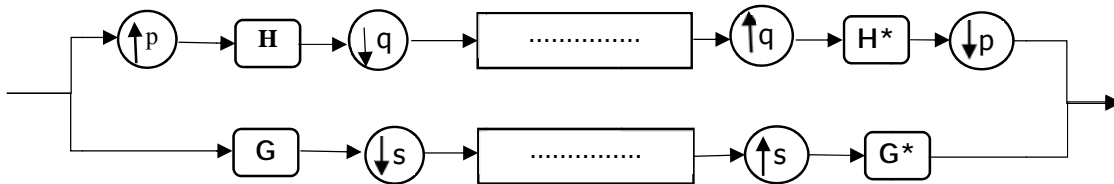
$$q > p \geq 1 \quad (2)$$

$$p/q + 1/s \geq 1 \quad (3)$$

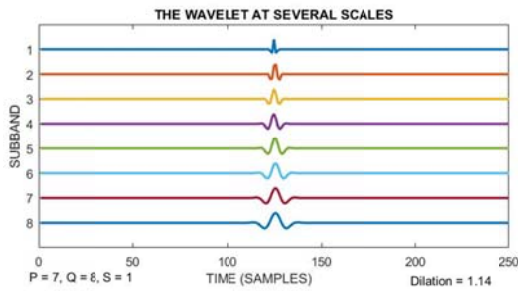
در شکل ۴، دو موجک که توسط ضرایب اتساع مختلف کشیده شده‌اند نشان داده شده است. در شکل ۴-الف موجک مشابه با تبدیل موجک دوتایی با عامل ۲ متسع می‌شود، مشاهده می‌شود که موجک به سرعت اتساع یافته است. در شکل ۴-ب، موجک دارای فاکتور اتساع ۱/۱۴ (یا ۸/۷) است، بنابراین موجک به تدریج اتساع می‌یابد و طیف فرکانسی آن دارای تفکیک‌پذیری بالاتری است.



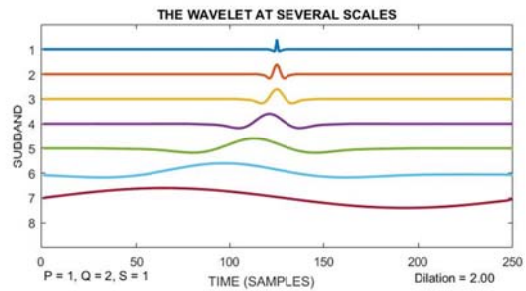
شکل ۲. شبکه نمونه‌برداری در زمان و فرکانس برای تبدیل موجک RADWT. در این نمودار ضریب اتساع عددی گویا و برابر $4/3$ است در این مورد $s=1, p=3, q=4, B=s, A=q/p$ (اقتباس از بایرام و سلزینیک، ۲۰۰۹).



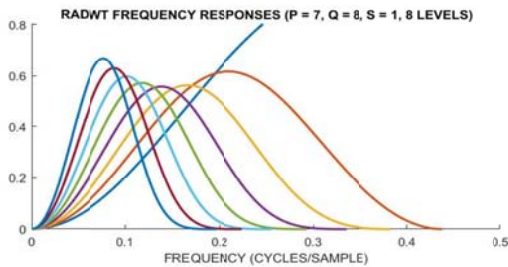
شکل ۳. نمونه‌برداری گویا در RADWT برای فیلتر پایین‌گذر (H) و فیلتر بالاگذر (G). (اقتباس از بایرام و سلزینیک، ۲۰۱۱).



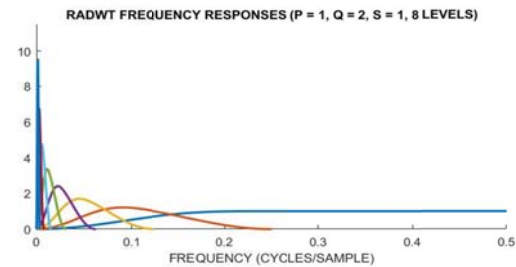
(ب)



(الف)



(د)



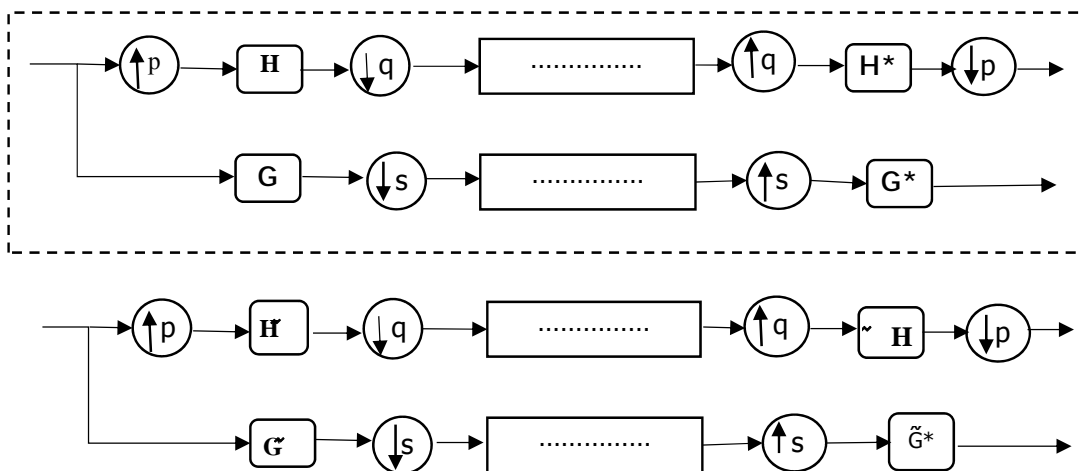
(ج)

شکل ۴. الف) موجک با عامل اتساع ۲ در DWT. ب) موجک با عامل اتساع $1/14$ در DT-RADWT. ج) طیف فرکانسی موجک دوتایی الف) در مقیاس‌های مختلف. د) طیف فرکانسی در مقیاس‌های موجک ب.

periodic) را تسهیل می‌کند. بنابراین استفاده از DT-RADWT انجام کارهایی که معمولاً از محدوده کاری DT-CWT خارج است را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین بر خلاف STFT، DT-RADWT یک تبدیل با WQ-factor ثابت است که می‌تواند یک ویژگی مطلوب در پردازش سیگنال بر اساس "مقیاس" باشد (بایرام و سلزیک، ۲۰۱۱).

تبدیل موجک دوتایی که فیلترها دوشاخه‌ای به کاره کار می‌برند ۲ برابر چگال هستند، زیرا برای یک سیگنال N نقطه‌ای، $2N$ ضریب موجک در DWT می‌دهد (کینگزبری، ۲۰۰۲). اگر فیلترها به روشی خاص طراحی شده باشد، سیگنال‌های زیر باندها از DWT شاخه بالا می‌تواند به عنوان بخشی واقعی تبدیل موجک تفسیر شود و سیگنال‌های زیر باندها DWT شاخه پایین‌تر می‌تواند به عنوان بخشی موهومی تفسیر شود (سلزیک، ۲۰۰۱). تبدیل موجک دو شاخه مختلط به دلیل داشتن دو جفت فیلتر موازی و افزودگی دوبرابر و چگالی دوبرابر، برای برنامه‌های پردازشی و کاربردی مانند حذف نوفه و بهبود کیفیت تصویر بهتر عمل می‌کند (سلزیک، ۲۰۰۴؛ برهانی و صادقی، ۲۰۰۴).

۱-۲. تبدیل موجک دو شاخه‌ای ضریب اتساع گویا با اینکه RADWT وضوح فرکانس را بهبود بخشید، برخی عملیات خاص که مورد نیاز در پردازش سیگنال هستند مانند تشخیص پوشش (envelope) یا تخمین فرکانس لحظه‌ای با RADWT ساده نیست. به همین جهت تبدیل موجک دو شاخه اتساع گویا (DT-RADWT) معرفی شد. به طور خلاصه، قاب DT-RADWT شامل مجموعه یک چارچوب RADWT و تبدیل هیلبرت آن است (بایرام و سلزیک، ۲۰۱۱). DT-RADWT شامل دو بانک فیلتر با ضرایب نمونه‌برداری گویا است ضرایب نمونه‌برداری به صورت موازی به روی سیگنال ورودی اعمال می‌شوند. شکل ۵ یکی از اتم‌های به کاره کار گرفته شده در DT-RADWT را نشان می‌دهد. توجه شود که ضریب اتساع و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باندها موجک در دو شاخه بالا و پایین یکسان می‌باشد. DT-RADWT امکان انتخاب عامل مقیاس‌بندی فریم موجک و WQ-factor اتم‌ها را فراهم می‌کند. این مزیت به نوبه خود منجر به وضوح بیشتر فرکانس نسبت به فریم های موجک دوتایی شده و پردازش سیگنال نیمه دوره‌ای (quasi-



شکل ۵. DT-RADWT شامل دو بانک فیلتر با ضرایب نمونه‌برداری گویا است، ضرایب نمونه‌برداری به صورت موازی به روی ورودی اعمال می‌شوند. سیستم در کادر خط‌چین، مشابه RADWT عمل می‌کند. موجک به کاره کار رفته در شاخه پایین تقریب تبدیل هیلبرت موجک مربوط به شاخه بالا می‌باشد. (اقتباس از بایرام و سلزیک، ۲۰۱۱).

۲-۲. تعیین WQ-factor غالب ردلرزه

در این تحقیق، WQ-factor برای هر ردلرزه، با استفاده از رابطه معرفی شده توسط بارنز (۱۹۹۳) تعیین می‌شود. فرآیند محاسبه WQ-factor ردلرزه لرزه‌ای در رابطه ۴ و ۵ بیان می‌شود. در این رابطه، f_i برابر فرکانس لحظه‌ای است و σ_i پهنای باند لحظه‌ای است q_i نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک لحظه‌ای ردلرزه است. $E(t, f)$ انرژی طیف فرکانسی ردلرزه است (بارنز، ۱۹۹۳) و Q_d نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک غالب ردلرزه می‌باشد. نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک غالب می‌تواند برای ردلرزه با توجه به رابطه ۵، در نظر گرفته شود. WQf نماد نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک در RADWT می‌باشد و برای محاسبه نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک فیلتر معرفی شده

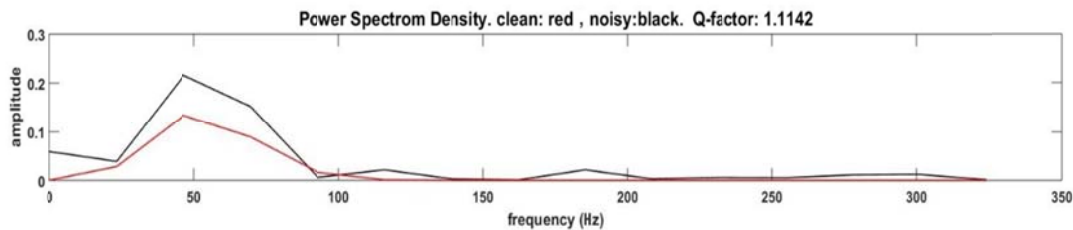
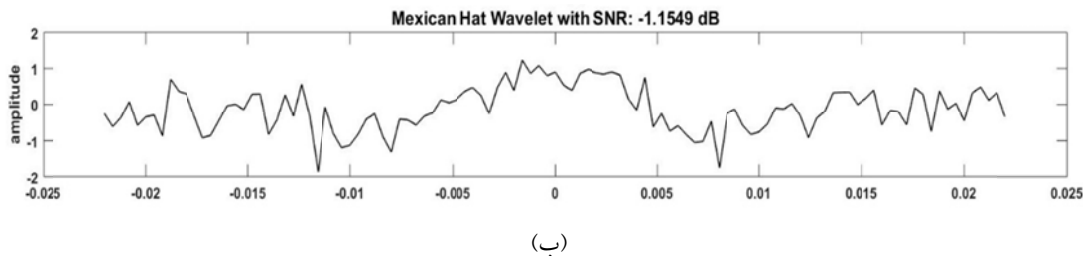
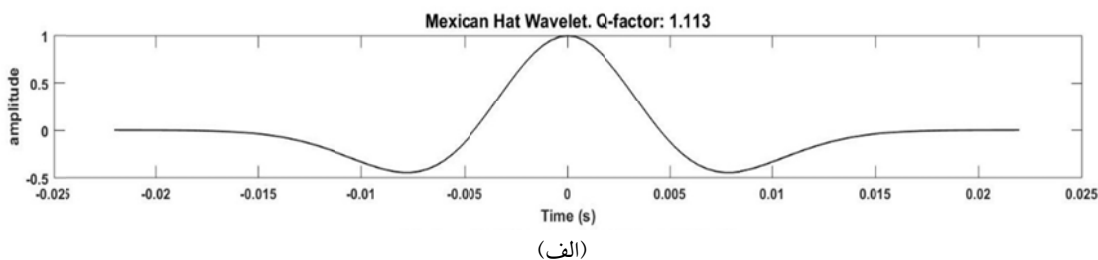
مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه ۶ بیانگر روش محاسبه WQ-factor در RADWT و DT-RADWT با کمک پارامترهای q و p است.

$$q_i = -\frac{\pi f_i(t)}{\sigma_i(t)} \quad (۴)$$

$$Q_d = \frac{\int_0^{\infty} q_i E(t, f) df}{\int_0^{\infty} E(t, f) df} \quad (۵)$$

$$WQf = \frac{f}{BW} = \sqrt{\frac{p}{q}} \frac{1}{1-p} \quad (۶)$$

DT-RADWT و RADWT تبدیل‌های یک بعدی هستند به همین جهت این روش به‌طور جداگانه بر هر ردلرزه اعمال می‌شود. لازم به ذکر است که روش ارائه شده از WQ-factor ثابت برای تحلیل هر ردلرزه استفاده می‌کند.



شکل ۶. الف) موجک ریکر با فرکانس مرکزی ۵۰ Hz. ب) موجک ریکر پس افزودن نوفه سفید، با نسبت سیگنال به نوفه $-1/15dB$. ج) طیف توان فرکانسی موجک الف (قرمز) و ب (سیاه‌رنگ) می‌باشد.

۳-۲. آستانه گیری

روش‌های مختلفی برای انتخاب آستانه ارائه شده است، در این تحقیق روش پیشنهادی دونوهو و جانستون (۱۹۹۴) که در آن آستانه با رابطه ۷ محاسبه می‌شود مورد استفاده قرار گرفته است:

$$T = \sigma \sqrt{2 \log(N)}, \quad (7)$$

که در آن T مقدار آستانه است و σ انحراف معیار نوفه در سیگنال و N طول سیگنال می‌باشد با توجه به ماهیت فرکانس بالای نوفه اتفاقی، ضرایب جزئیات در اولین مرحله از تجزیه و تحلیل سیگنال می‌تواند به عنوان ضرایب جزئیات نوفه در نظر گرفته شوند (جانستون و سیلورمن، ۱۹۹۷). این نکته می‌تواند به صورت رابطه ریاضی زیر نوشته شود:

$$\sigma = \frac{(\text{median}(|w_i|))}{0.6745}, \quad (8)$$

که در آن σ انحراف معیار نوفه و w_i نماد ضرایب جزئیات است که باید متوسط آنها در نظر گرفته شوند. در روش به کار برده، آستانه با توجه به انتخاب WQ-factor تبدیل، مقادیر متفاوتی به دست خواهد آورد.

۳-۴. تأثیر سطح نوفه اتفاقی بر نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک ردلرزه

نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک مورد نظر ما در این تحقیق، نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک در تبدیل موجک می‌باشد که صرفاً از تقسیم نسبت فرکانس میانی به عرض باند موجک مادر به دست می‌آید. علی‌رغم هم‌نام بودن، نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک لرزه‌ای با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک در تبدیل موجک ارتباطی ندارند. تغییر باند فرکانسی سیگنال (اعم از لرزه‌ای یا غیره) می‌تواند عرض باند و در نتیجه نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک غالب در سیگنال را تغییر دهد. برای بررسی

تغییرات WQ-factor موجک لرزه‌ای یک چالش وجود دارد. آیا حضور نوفه تصادفی بر WQ-factor ردلرزه تأثیر می‌گذارد؟ در اینجا این موضوع را با یک موجک ریکر با فرکانس مرکزی ۵۰ Hz با سطوح مختلف نوفه آزمایش می‌شود. به موجک ریکر نوفه سفید اتفاقی با نسبت سیگنال به نوفه‌های متفاوت افزوده می‌شود. مقدار WQ-factor موجک بدون نوفه و موجک آغشته به نوفه با رابطه ۵ محاسبه می‌شود. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با تغییر در سطح نوفه تصادفی، محدوده WQ-factor موجک تغییر قابل توجهی نمی‌کند و می‌توان با تقریب خوبی بیان کرد که اضافه شدن نوفه تصادفی سفید تأثیری بر WQ-factor موجک ندارد. دلیل این امر را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که نوفه گوسی سفید استفاده شده در این آزمون در تمام فرکانس‌ها موجود است بنابراین، به طور متوسط، مقدار ثابت به تمام فرکانس‌ها افزوده می‌شود. در نتیجه، با اضافه کردن یک مقدار ثابت، نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک هنوز ثابت است. در این مورد نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک ریکر اولیه با فرکانس مرکزی ۵۰ هرتز، برابر با ۱/۱۱ بود. رابطه ۹ برای محاسبه نسبت سیگنال به نوفه موجک استفاده می‌شود.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10}(P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}}) \quad (9)$$

شکل ۶-الف موجک استفاده شده را نشان می‌دهد. شکل ۶-ب همان موجک را پس از اضافه کردن نوفه اتفاقی سفید گوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۰/۲۶dB می‌دهد. در شکل ۶-ج، طیف توان موجک بدون نوفه با رنگ قرمز است و موجک آلوده به نوفه با رنگ سیاه نمایش داده شده است. با افزودن نوفه فرکانس مرکزی و عرض باند موجک تغییر ناچیزی می‌کند. اعداد محاسبه شده در ردیف سوم جدول ۱، میانگین ۴۰ بار تکرار در محاسبه WQ-factor موجک می‌باشند.

جدول ۱. WQ-factor موجک ریکر در سطوح مختلف نوفه.

WQ-factor of wavelet	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
SNR(dB)	23.6	17.4	14.1	11.7	9.3	7.8	6.5	5.4	4.2	2.4	1.1	-0.26	-1.2
Average WQ-factor of noisy wavelet	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11

جدول ۲. تضعیف نوفه اتفاقی از موجک ریکر با توسط RADWT و DT-RADWT با WQ-factor های مختلف در سطوح متفاوت نوفه.

p	q	s	WQ-factor	SNR Input dB	SNR DT- RADWT	SNR RADWT
1	2	1	1.41	-1.0	6.45	4.7
2	3	1	2.45	-1.0	5.21	4.57
3	4	1	3.46	-1.0	3.99	3.96
5	6	1	5.47	-1.0	6.44	6.22
6	7	1	6.48	-1.0	7.68	6.88
7	8	1	7.48	-1.0	12.38	9.37
11	12	1	11.49	-1.0	11.51	9.97
7	8	2	7.48	-1.0	11.43	9.65
7	8	3	7.48	-1.0	9.41	9.66
1	2	1	1.41	10	16.61	15.46
2	3	1	2.45	10	15.01	14.07
3	4	1	3.46	10	14.96	14.22
5	6	1	5.47	10	14.62	14.54
6	7	1	6.48	10	17.99	17.72
7	8	1	7.48	10	21.53	20.68
11	12	1	11.49	10	21.91	20.60
7	8	2	7.48	10	19.84	19.13
7	8	3	7.48	10	18.3	17.75
1	2	1	1.41	20	26.38	25.93
2	3	1	2.45	20	26.40	26.33
3	4	1	3.46	20	26.32	26.54
5	6	1	5.47	20	26.91	26.40
6	7	1	6.48	20	27.03	26.85
7	8	1	7.48	20	29.15	28.81
11	12	1	11.49	20	28.25	28.02
7	8	2	7.48	20	28.92	28.94
7	8	3	7.48	20	27.38	27.26

۵-۲. نقش WQ-factor در جداسازی نوفه از موجک ریکر

در این بخش نوفه ثابتی به موجک شکل قبل (شکل ۶-۱)

الف) اضافه شد، دلیل به کار بردن موجک ریکر

به خاطر شباهت زیادی است که به موجک

لرزه‌ای دارد (شریف و گلدارت، ۱۹۹۵)، موجک‌های

حاوی نوفه اتفاقی توسط RADWT و DT-RADWT با

۱- افزایش WQ-factor تبدیل موجک باعث بهبود نسبت

WQ-factor های مختلف تجزیه شد. در اینجا از

سیگنال به نوفه می‌شود.

آستانه‌گیری نرم استفاده شده و آستانه بر اساس

۲- تغییر پارامتر s، در سطوح پایین نوفه اثر قابل توجهی بر

انحراف معیار ضرایب موجک برآورد شده است. روش

نتایج حاصل از تضعیف نوفه ندارد.

آستانه‌گیری در قسمت قبل توضیح داده شده است. سطح

۳- بین WQ-factor موجک لرزه‌نگاری و فاکتور WQ-

نوفه‌های که به ریکر اضافه شده، ۲۰dB و ۱۰dB و ۱dB-

factor مناسب برای کاهش نوفه در تبدیل موجک رابطه

بود. نتایج تضعیف نوفه در جدول ۲ نشان داده شده است.

معینی وجود ندارد.

۴- مطابق رابطه ۶، هنگامی که ضریب اتساع (q/p)

نزدیک به یک باشد WQ-factor مقداری بزرگ خواهد

داشت وضوح فرکانسی زیاد می‌شود و نتیجه حاصل از

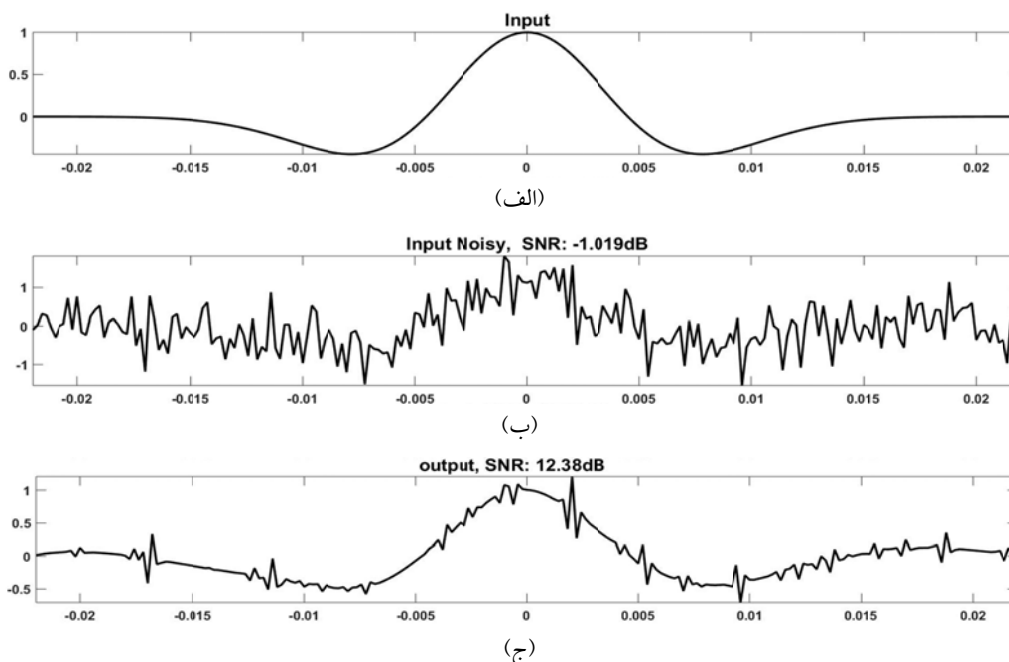
زیاد شدن مقدار نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک و به تبع آن افزایش تفکیک پذیری فرکانسی تبدیل موجک، تضعیف نوفه نتایج بهتری به همراه داشت. با افزایش نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک تبدیل موجک، باند فرکانسی در هر زیرمقیاس محدودتر می شود، اگر باند فرکانسی موجک پهن باشد، ضرایب موجک نوفه می تواند با ضرایب موجک سیگنال منبع همپوشانی داشته باشد، که این نکته آستانه گیری برای استخراج سیگنال اصلی را دشوار می سازد به علاوه به خاطر تطابق رفتار نوسانی بین موجک و داده مد نظر تجزیه زمان فرکانس ارتقاء یافته است. در شکل ۷-الف، موجک ریکر با فرکانس مرکزی ۵۰ هرتز نشان داده شده است. در شکل ۷-ب، به ردلرزه نوفه با شدت با 1dB- اضافه شده است. پارامترهای RADWT به صورت $p=7, q=8, s=1$ انتخاب شدند، در شکل ۷-ج پس از کاهش نوفه، نسبت سیگنال به نوفه به ۱۲/۳۸ dB رسیده است. در شکل ۸ طیف توان موجک شکل ۷ نشان داده شده است. مشاهده می شود که نوفه در همه فرکانس ها وجود دارد.

تضعیف نوفه مقادیر مناسبی به دست خواهند داد.

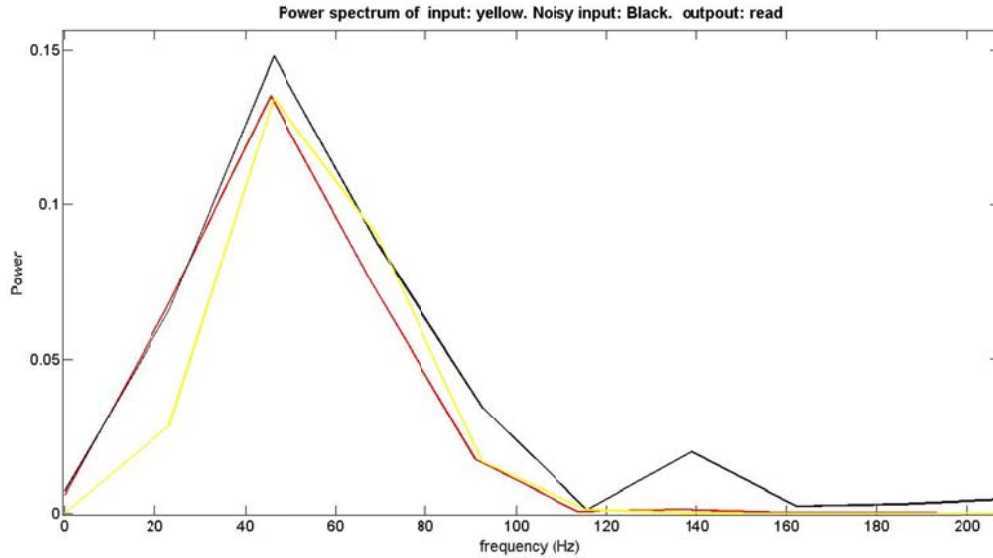
۵- پارامترهای مناسب برای کاهش نوفه $p=7, q=8, s=1$ انتخاب شدند.

۶- هنگامی که سطح نوفه اتفاقی بالا باشد و نگرانی بروز دگرنامی وجود دارد، می توان فاکتور نمونه برداری از فیلتر بالاگذر (s) را برای جلوگیری از تغییر شکل سیگنال ۲ یا ۳ انتخاب شود.

رابطه ۴ نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک لحظه ای و رابطه ۵ نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک غالب ردلرزه را محاسبه می کند. نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک لحظه ای در طول زمان به شدت متغیر است به همین جهت ما نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک ردلرزه را معادل با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک غالب در نظر گرفتیم. طبق نتایج به دست آمده از جدول ۲، مشاهده شد ارتباط معینی بین نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک غالب سیگنال ورودی و نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک مناسب برای تضعیف نوفه اتفاقی با تبدیل موجک وجود ندارد. با



شکل ۷. الف) موجک ریکر با فرکانس مرکزی ۵۰ Hz. ب) موجک ریکر پس از اضافه کردن نوفه سفید با SNR، dB -۱. ج) ریکر ب پس از تضعیف نوفه توسط DT-RADWT. SNR برابر ۱۲/۳۸ dB شده است.



شکل ۸. طیف توان فرکانسی موجک شکل ۷، موجک اولیه: زرد، موجک حاوی نوفه: سیاه، خروجی فیلتر: قرمز.

بازسازی شده توسط تبدیل DT-RADWT، با رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود f_1 ورودی و f_2 خروجی و N تعداد نمونه‌ها است. هدف ما از این جدول بررسی شرایط بازسازی کامل در تبدیل موجک ضریب اتساع گویا می‌باشد.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^N (f_2 - f_1)^2 / N \right]^{1/2} \quad (10)$$

جدول ۳ مقادیر مختلف خطای RMS برای مجموعه‌های مختلف p ، q و s را نشان می‌دهد. تعداد مراحل پردازش هشت مرحله بود. نتایج جدول ۳ منجر به نتیجه‌گیری‌های زیر می‌شود:

- ۱- s باید کمتر یا برابر ۳ باشد.
- ۲- مقدار p باید مقدار کمتر از q داشته باشد.
- ۳- p و q باید اعدادی متوالی باشند.

جدول ۳. خطای RMS برای مقادیر مختلف s, q, p (بدون آستانه‌گیری).

row	p	q	S	RMS Error	REDUNDANCY $= \frac{1 - (\frac{p}{q})^{J+1}}{s - (\frac{p}{q})} + (\frac{p}{q})^{J+1}$	WQ - factor = $\sqrt{\frac{p}{q} \frac{1}{1 - \frac{p}{q}}}$
1	1	2	2	0.004	1	1.41
2	1	2	1	$2.1 \cdot 10^{-15}$	2	1.41
3	1	3	1	$3.9 \cdot 10^{-15}$	1.5	0.86
4	3	4	1	$3.3 \cdot 10^{-14}$	1.33	0.667
5	7	8	1	$1.11 \cdot 10^{-15}$	7.8	2.44

۳. تضعیف نوفه تصادفی با استفاده از DT-RADWT در این بخش DT-RADWT بر داده چشمه مشترک مصنوعی مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. این مدل شامل چهار لایه افقی است که از همگشت (convolution) موجک ریکر با سری ضرایب بازتاب ایجاد شده است. این مدل با افزودن نوفه تصادفی $7/13$ dB به برداشت چشمه مشترک مصنوعی ساخته شده است. در DT-RADWT سه پارامتر p ، q و s برای تعیین ویژگی‌های تبدیل استفاده می‌شود. این سه پارامتر باید انتخاب شوند تا تفکیک‌پذیری سیگنال در حوزه زمان-فرکانس به اندازه کافی افزایش یابد. ابتدا، ما مراحل تجزیه و ترکیب در فیلتر DT-RADWT را بر روی ردلرزه مصنوعی بدون هیچ‌گونه آستانه‌ای انجام دادیم. خطای RMS تفاوت بین ردلرزه اولیه و ردلرزه

نوفه اتفاقی در سطوح بالای نوفه تصادفی مناسب تر است. دلیل این امر نحوه کارکرد این دو نوع آستانه گذاری می باشد، در آستانه گذاری نرم از انقباض موجک (wavelet shrinkage) استفاده می شود. رابطه ۱۱ نحوه آستانه گیری نرم و رابطه ۱۲ نحوه آستانه گیری سخت را نمایش می دهد. T آستانه و مقداری مثبت و w نماد ضرایب موجک می باشد.

$$w = \begin{cases} 0 & \text{if } |w| < T \\ w - T & \text{if } w > T \\ w + T & \text{if } w < -T \end{cases} \quad (11)$$

$$w = \begin{cases} 0 & \text{if } |w| < T \\ w & \text{if } |w| > T \end{cases} \quad (12)$$

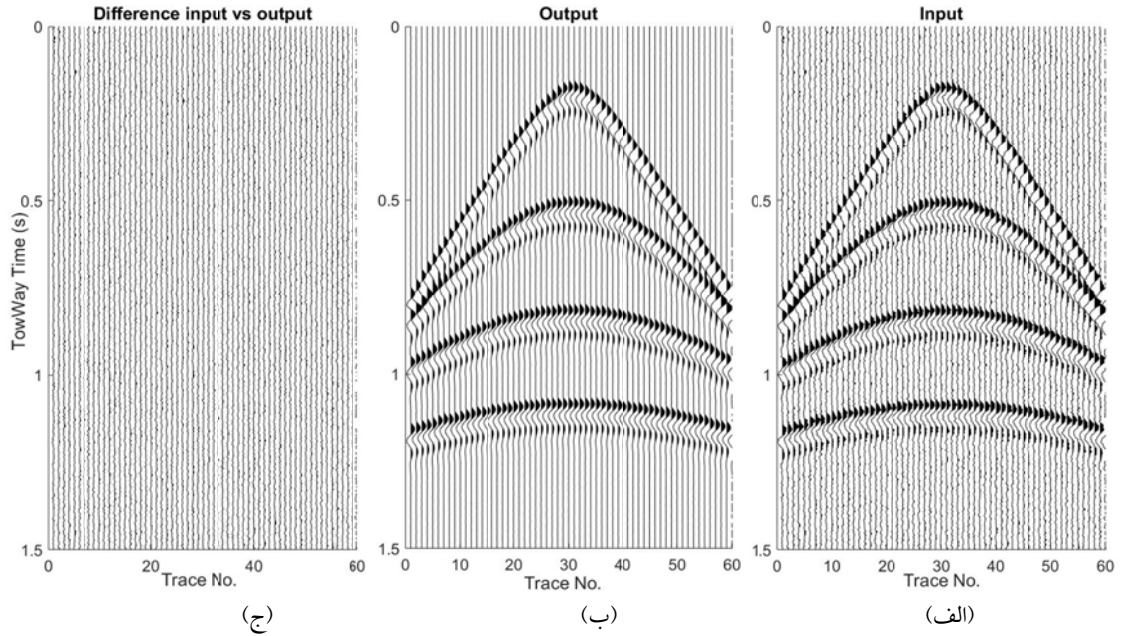
جدول ۴ نشان می دهد زمانی که نسبت سیگنال کم است (<3dB) آستانه گیری نرم بهتر کار می کند. از سوی دیگر، اگر نسبت سیگنال به نوفه زیاد باشد (>3dB) آستانه گیری سخت نتایج بهتر فراهم می کند.

شکل ۹-الف برداشت چشمه مشترک مصنوعی با نوفه افزوده شده با نسبت سیگنال به نوفه ۳/۷ dBs را نشان می دهد، نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک تریس در داده مورد استفاده ۱۶/۲ می باشد. شکل ۹-ب، همان برداشت چشمه مشترک بعد از تضعیف نوفه توسط DT-RADWT و آستانه گیری نرم نشان داده شده است. نسبت سیگنال به نوفه پس از تضعیف نوفه تصادفی ۱۴/۱۸ dB شده است. مشاهده می شود که رویدادها به خوبی حفظ شده و نوفه تصادفی تضعیف شده است.

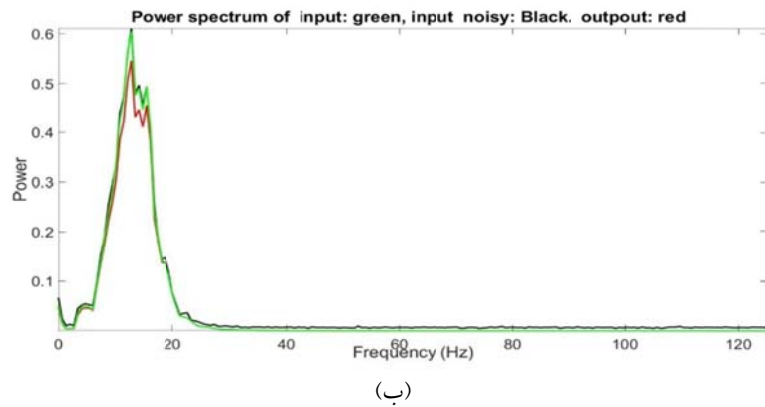
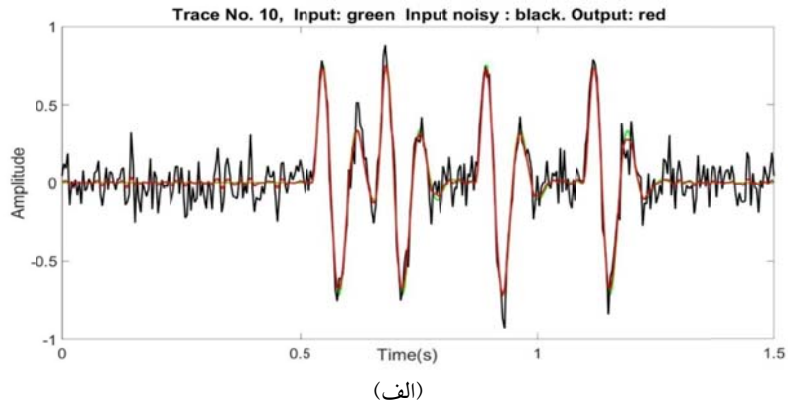
برای مثال، با $p=7, q=8, s=1, J=8$ (تعداد مراحل تجزیه) برای سیگنال لرزه ای مقدار نشت برابر با $15-10 \times 1/1$ است که مقداری ناچیز می باشد باید توجه داشت که پایین بودن اندازه خطای RMS شرط لازم برای انتخاب پارامترهای s, q, p می باشد که نشان دهنده برآورده شدن شروط بازسازی کامل (روابط ۲ و ۳) می باشد. جدول ۳ نشان می دهد که در صورت رعایت دو شرط (۲) و (۳)، DT-RADWT سیگنال را بدون تأثیر نامناسب روی آن حفظ می کند. در اینجا از پارامترهای $p=7, q=8, s=1$ و $J=8$ مرحله از تجزیه و تحلیل برای جدایش نوفه تصادفی از سیگنال استفاده خواهد شد، به این دلیل که این پارامترها می توانند نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک بالای فراهم کنند. دو نوع آستانه گذاری نرم و سخت برای نشان دادن عملکرد تضعیف نوفه با DT-RADWT با WQ-factor بالا استفاده خواهد شد. جدول ۴ نسبت سیگنال به نوفه را برای سطوح مختلف نوفه با روش های آستانه گذاری متفاوت مقایسه می کند. نتایج تضعیف نوفه و بهبود نسبت سیگنال به نوفه در جدول برای آستانه سخت و نرم ارائه شده است. برای مقایسه نقش WQ-factor بالا و WQ-factor پایین SNR داده پس از تضعیف نوفه با DWT با WQ-factor حدود ۱/۵ در ستون ۴ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۴، افزایش WQ-factor منجر به افزایش نسبت سیگنال به نوفه شده است، همچنین آستانه گیری سخت، سیگنال را در سطوح پایین نوفه بهتر حفظ می کند و آستانه گیری نرم برای تضعیف

جدول ۴. مقایسه نسبت سیگنال به نوفه برای سطوح مختلف نوفه با آستانه گذاری های متفاوت با DT-RADWT

row	SNR Noisy trace	SNR filtered trace By DT-RADWT and soft threshold	SNR filtered trace By DT-RADWT hard threshold	SNR filtered trace By DWT, soft threshold	Improvement in dB by DT-RADWT and soft threshold	Improvement in dB by DT-RADWT and hard threshold
1	21.3	28.87	32.44	25.24	7.58	11.15
2	15.26	25.10	31.65	22.31	9.83	16.39
3	11.7	19.26	30.4	16.68	7.52	18.68
4	9.61	16.19	24.43	15.52	6.58	15.20
5	7.31	14.18	17.64	11.72	6.87	10.32
6	5.73	13.58	16.36	12.96	7.86	10.6
7	4.38	12.95	14.59	12.34	8.57	10.21
8	3.22	12.31	13.12	11.56	9.07	9.89
9	2.2	11.62	11.28	10.89	9.41	9.07
10	1.29	10.92	10.11	9.52	9.64	8.82
11	0.26	10.13	9.53	8.72	9.87	9.27
12	-0.56	9.48	8.17	6.25	10.04	8.73



شکل ۹. الف) برداشت چشمه مشترک مصنوعی. با اضافه کردن نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۰/۳۱ dB (ب) همان برداشت بعد از تضعیف نوفه توسط DT-RADWT با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک ۰/۴۸، نسبت سیگنال به نوفه ردلرزه به ۱۴/۱۸ dB رسیده است. ج) تفاوت بخش الف و ب.

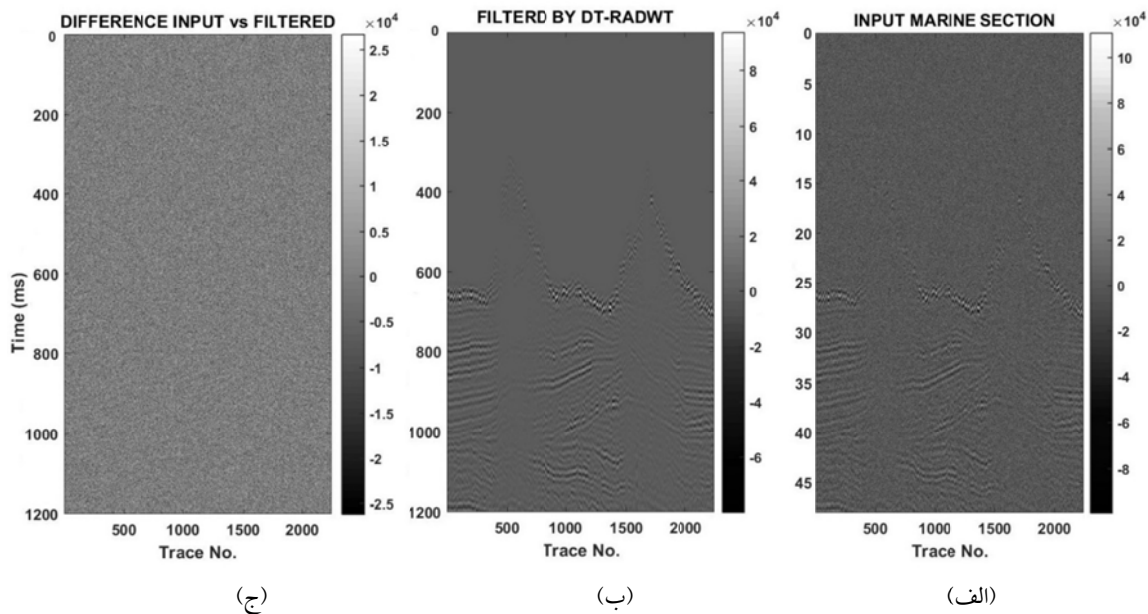


شکل ۱۰. الف) ردلرزه مصنوعی دهم از شکل ۹، ردلرزه بدون نوفه: سبز، ردلرزه آلوده به نوفه: سیاه، ردلرزه پس از تضعیف نوفه: قرمز. ب) طیف فرکانس ردلرزه قبل و بعد از جداسازی نوفه تصادفی. منحنی سبز مربوط به ردلرزه بدون نوفه است، نمودار سیاه طیف فرکانس ردلرزه پس از اضافه کردن نوفه تصادفی و منحنی قرمز طیف فرکانس ردلرزه فیلتر شده است.

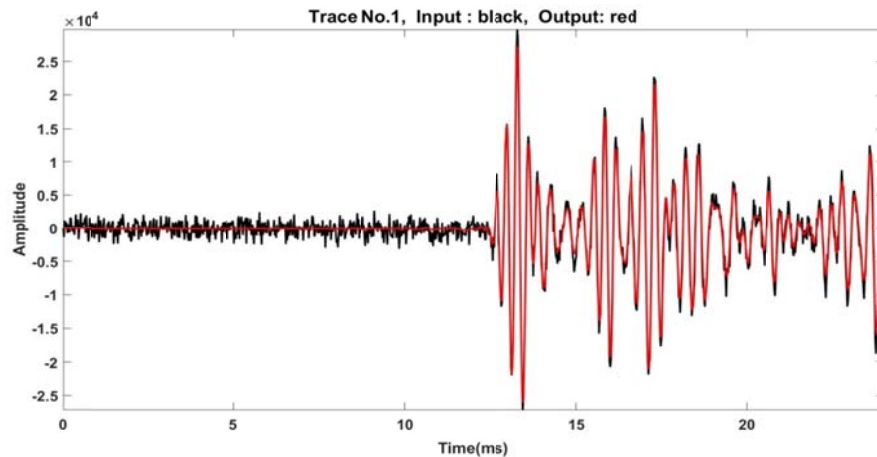
۳-۱. اعمال روش DT-RADWT بر روی داده واقعی
 ما این روش را بر داده لرزه‌نگاری صوتی (Acoustic) دریایی و داده‌های خشکی اعمال کردیم. Sub-bottom profiler ابزاری برای استخراج داده دریایی در عمق کم تا عمق متوسط است، که بر کشتی نصب می‌شود و از امواج صوتی با فرکانس بالا استفاده می‌کند بنابراین تفکیک‌پذیری قائم خوبی دارد (مرکلین و لوچنکو، ۲۰۰۵) از آن برای تشخیص لایه‌های نازک در نزدیکی کف دریا یا لوله‌ها و کانال‌های مدفون در کف آب استفاده می‌شود، همچنین برای تشخیص حضور گاز در گل‌ولای بستر دریا و مواردی مانند این استفاده می‌شود. حضور نوفه تصادفی به دلیل ماهیت فرکانس بالای چشمه، بر کیفیت این نوع داده تأثیر زیادی می‌گذارد. داده‌های به‌دست آمده از Sub-Bottom profiler بر اساس روش پارامتری صوتی (Parametric Acoustic Method) می‌باشد. این نوع داده دریایی با توجه به عمق هدف، دارای محدوده فرکانس بین ۲kHz تا ۱۲kHz است و دامنه سیگنال آن با افزایش عمق به سرعت تضعیف می‌شود همچنین نوفه تصادفی در

همه فرکانس‌های این نوع داده وجود دارد. در این مقاله، پارامترهای مناسب برای انتخاب WQ-factor به‌منظور تضعیف نوفه تصادفی توسط DT-RADWT از آزمایش داده‌های مصنوعی به کمک جدول ۲ انتخاب شده است. نوفه تصادفی از داده‌های دریایی با استفاده از پارامترهای $p=7$, $q=8$, $s=1$ و آستانه‌گذاری نرم از داده تضعیف شد. WQ-factor داده ورودی ۴/۱ محاسبه شد. شکل ۱۱ مقطع اولیه را قبل و بعد از فیلترکردن توسط DT-RADWT نشان می‌دهد. می‌توان دید که سطح نوفه در مقطع کاهش می‌یابد و پیوستگی رویدادها بهبود یافته است.

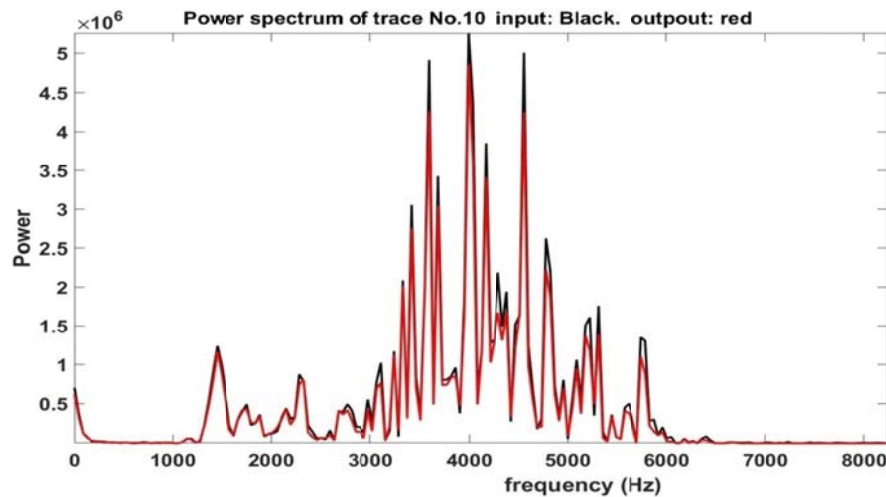
شکل ۱۲ ردلرزه بیستم از داده‌های دریایی شکل ۱۱ را قبل و بعد از تضعیف نوفه نشان می‌دهد. شکل ۱۳ طیف فرکانسی ردلرزه بیستم قبل و بعد از تضعیف نوفه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، می‌توان دید که نوفه تصادفی در همه فرکانس‌ها وجود دارد. لازم به ذکر است که فاصله بین نمونه‌ها ۱۰ میکروثانیه می‌باشد ($F_s=100$ kHz) تا مانع از دگرنامی در محدوده سیگنال ارسال شده دستگاه (۴kHz) شود.



شکل ۱۱. مجموعه اول داده دریایی. الف) مقطع دریایی با دورافت صفر. ب) همان مقطع بعد از تضعیف نوفه با استفاده از تبدیل DT-RADWT. ج) تفاوت بین مقطع‌های الف و ب.



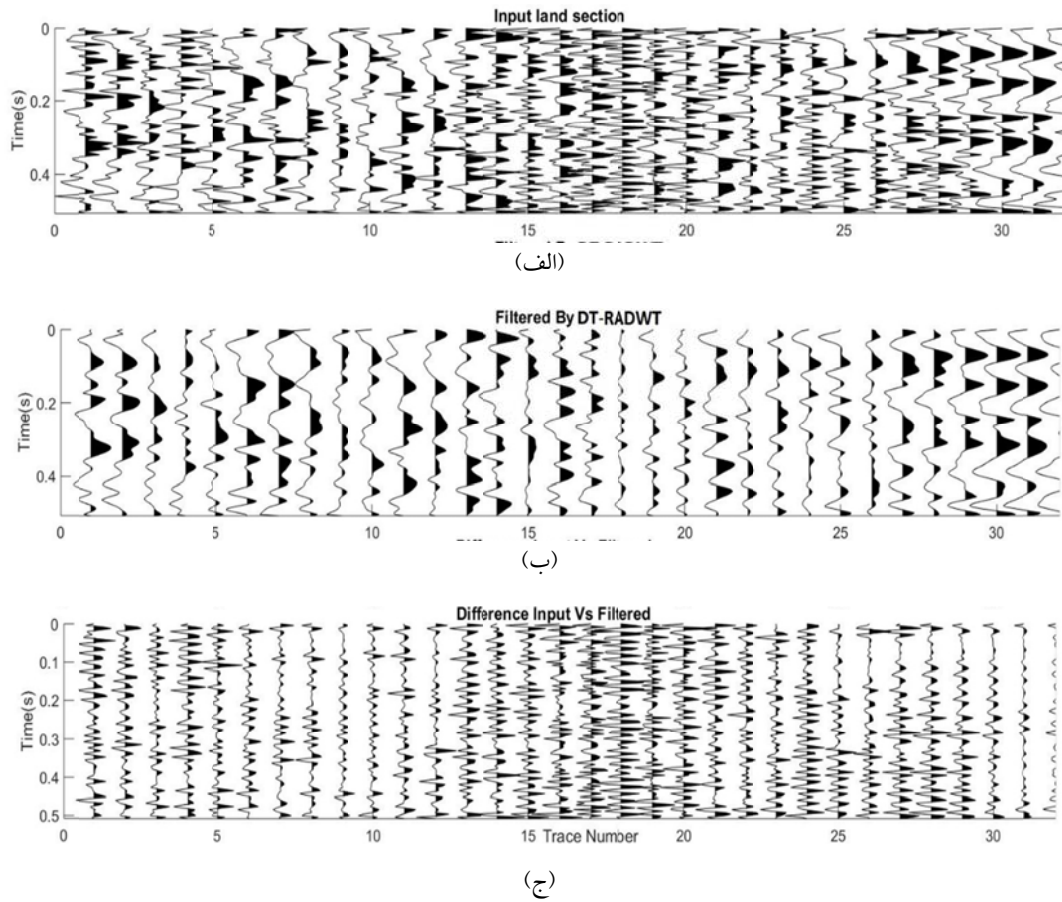
شکل ۱۲. ردلرزه بیستم از داده‌های دریایی شکل ۱۱ قبل و بعد از تضعیف نوفه. سیاه: ردلرزه ورودی. قرمز: ردلرزه فیلتر شده با DT-RADWT با $WQ=7/48$ factor بالا (۷/۴۸).



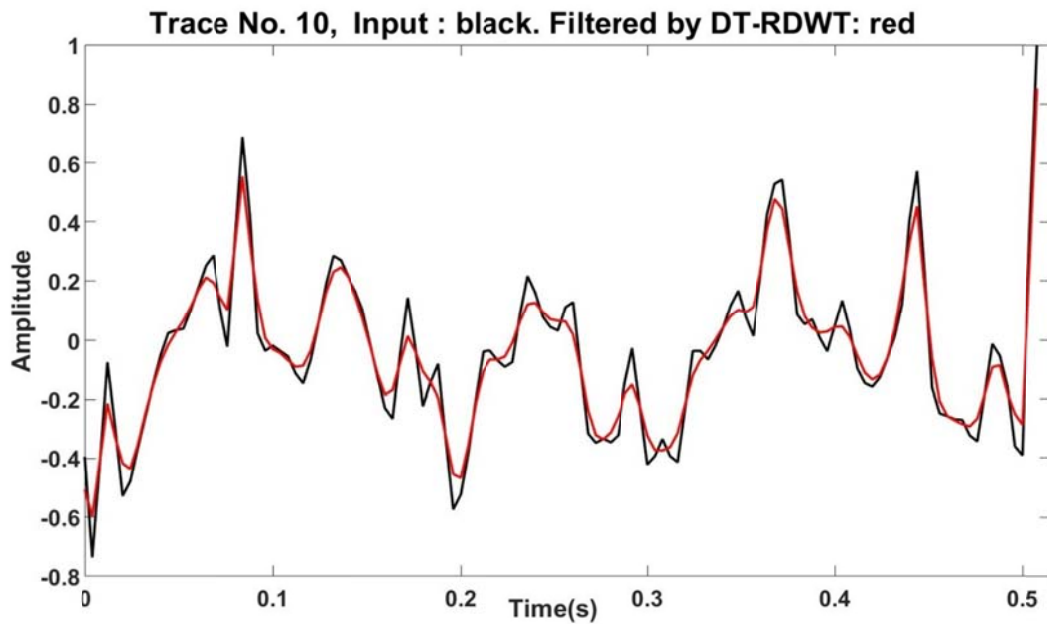
شکل ۱۳. طیف توان فرکانسی داده‌های دریایی ردلرزه بیستم قبل و بعد از تضعیف نوفه تصادفی توسط DT-RADWT. نمودار قرمز: طیف فرکانس ردلرزه ورودی. نمودار سیاه: طیف فرکانس ردلرزه پس از فیلتر کردن با DT-RADWT.

ردلرزه ورودی با رنگ سیاه و ردلرزه فیلتر شده با رنگ قرمز ترسیم شده است. شکل ۱۶ طیف توان فرکانسی تمام مقطع شکل ۱۴ قبل و بعد از تضعیف نوفه تصادفی نمایش داده است. طیف توان ردلرزه ورودی با سیاه و طیف توان فرکانسی مقطع فیلتر شده با DT-RADWT با رنگ قرمز نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که نوفه تصادفی در همه فرکانس‌ها حضور دارد اما در فرکانس‌های بالاتر در مقایسه با فرکانس‌های ۱ تا ۳۵ هرتز، نوفه بیشتری حضور دارد و تبدیل DT-RADWT با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک بالا، در جدایش سیگنال از نوفه موفق بوده است.

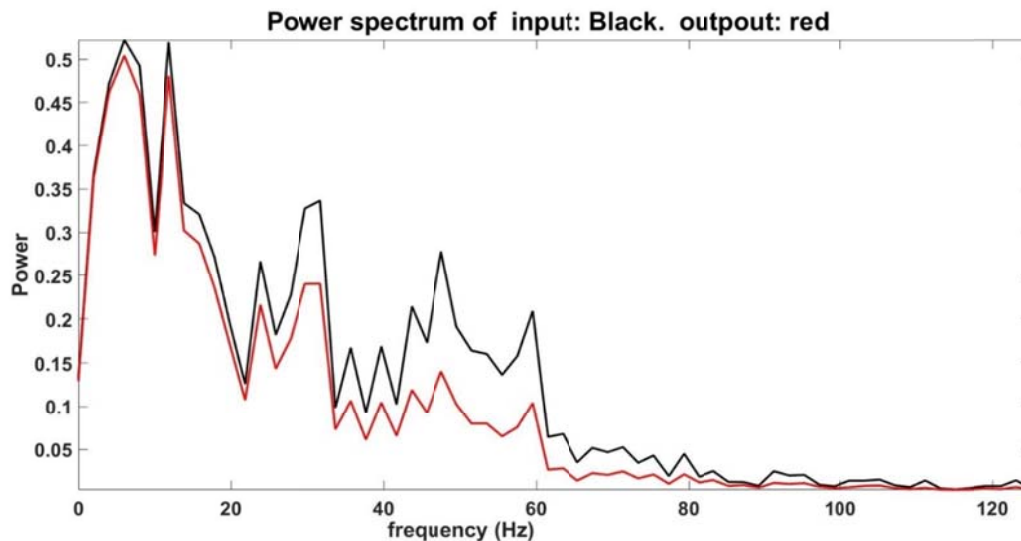
در ادامه روش معرفی شده بر داده خشکی استفاده خواهد شد. در شکل ۱۴-الف قسمتی از داده خشکی که حاوی نوفه تصادفی بالا می‌باشد مشاهده می‌شود ردلرزه‌های ۱۵ تا ۲۰ دارای سطح بالایی از نوفه اتفاقی هستند، DT-RADWT توانسته است مقدار زیادی از نوفه تصادفی را از داده جدا کند. پارامترهای مورد استفاده $p=7$ ، $q=8$ و $s=1$ بودند و WQ-factor تبدیل DT-RADWT، $7/48$ شده است. WQ-factor داده ورودی $0/6$ بود. در شکل ۱۵، ردلرزه شماره ۱۰ از داده شکل ۱۵، قبل و بعد از تضعیف نوفه تصادفی با DT-RADWT نمایش داده شده است.



شکل ۱۴. داده خشکی. الف) مقطع خشکی ورودی ب) مقطع لرزه‌ای پس از استفاده از فیلتر RADWT. ج) تفاوت بین مقطع‌های الف و ب.



شکل ۱۵. ردلرزه شماره ۱۰ از داده شکل ۱۴، قبل و بعد از تضعیف نوفه تصادفی. ردلرزه ورودی: سیاه، ردلرزه فیلتر شده: قرمز.



شکل ۱۶. طیف توان فرکانسی داده خشکی در شکل ۱۴، قبل و بعد از تضعیف نوفه تصادفی. طیف توان داده ورودی: سیاه. طیف توان فرکانسی داده فیلتر شده با DT-RADWT: قرمز.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله نقش رفتار نوسانی موجک مادر در تضعیف نوفه تصادفی از داده لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. WQ-factor نقش مهمی در تعیین تفکیک پذیری موجک دارد. تبدیل RADWT و نسخه دو شاخه تحلیلی آن DT-RADWT می‌تواند بازه محدودی از WQ-factor ها را با انتخاب پارامترهای s ، p و q مناسب فراهم کنند. نقش تغییرات WQ-factor موجک لرزه‌ای با افزایش سطح نوفه اتفاقی بررسی شد و مشاهده شد افزودن نوفه اتفاقی سفید WQ-factor سیگنال را تغییر قابل توجهی نمی‌دهد. تعداد زیادی WQ-factors برای ارزیابی اثر WQ-factors تبدیل موجک بر تضعیف نوفه تصادفی آزمایش شدند و مشاهده شد که با افزایش WQ-factor تبدیل موجک، نسبت سیگنال به نوفه بهبود یافته است. WQ-factor داده نیز محاسبه شد، اما بین WQ-factor مناسب تبدیل موجک برای کاهش نوفه و WQ-factor سیگنال ارتباط معنی داری وجود نداشت. DT-RADWT نسبت به RADWT بهتر توانست نوفه اتفاقی را از سیگنال جدا کند که دلیل آن استفاده از دو بانک فیلتر موازی می‌باشد. این روش بر روی داده‌های مصنوعی با سطح متفاوت نوفه تصادفی اعمال شد و نتایج در جدول ۳ ارائه

شد. مطالعه ما نشان داد که آستانه گذاری نرم در صورت وجود نوفه زیاد مؤثرتر است و در نوفه کم آستانه گذاری سخت نتیجه بهتری ارائه خواهد کرد. این روش بر داده دریایی کم عمق با محتوای فرکانس بالا و داده لرزه‌ای خشکی اعمال شد. نتایج اثربخشی بهتر تضعیف نوفه تصادفی با افزایش تفکیک پذیری موجک مادر در تبدیل موجک را تأیید می‌کند.

مراجع

- ایرانی مهر، م. و ریاحی، م. ع.، ۱۳۹۳، تضعیف نوفه تصادفی با تبدیل موجک گسسته ضریب اتساع گویا، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۸، شماره ۳، ۲۵-۳۵.
- روشندل کاهو، ا. و نجاتی کلاته، ع.، ۱۳۸۹، تضعیف نوفه‌های اتفاقی در داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تجزیه مد تجربی، مجله فیزیک زمین و فضا، ۹، ۱۳۹۰، صفحه ۶۱-۶۸.
- شکفته زوارم، م.، روشندل کاهو، ا. و گرایلو، ه.، ۱۳۹۴، تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی تانسوری، نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۲، شماره ۲، ۱۰۵-۱۱۸.

- Aiswarya, K. and Jayaraj, V., 2014, Image Denoising Based On Symmetrical Fractional Overcomplete Wavelet Transform, *Unique Journal of Engineering and Advanced Sciences*, Vol. 02, no. 1, 101-109.
- Askari, R. and Siahkoochi, H. R., 2008, Ground roll attenuation using the S and x-f-k transforms, *Geophysical Prospecting*, 56, 105-114.
- Auscher, P., 1992, Wavelet bases for L2(R) with rational dilation factor, *Wavelets and Their Applications*. Jones and Barlett, 439-451.
- Bagheri, M. and Riahi, M. A., 2016, Seismic data random noise attenuation using DBM filtering, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* Vol. 57, No. 1, 1-11.
- Barnes, A. E., 1993, Instantaneous spectral bandwidth and dominant frequency with applications to seismic reflection data, *Geophysics*, Vol. 58, No. 3, P. 419-428.
- Baussard, A., Nicolier, F. and Truchetet, F., 2004, Rational multiresolution analysis and fast wavelet transform: application to wavelet shrinkage denoising, *Signal Processing*, Vol., 84, No.10, 1735-1747.
- Bayram, I. and Selesnick, I., 2009, Frequency-domain Design of Overcomplete Rational-Dilation Wavelet Transforms, *IEEE Trans. Signal Process*, Vol. 57, No. 8, 2957-2972.
- Bayram, I. and Selesnick, I., 2011, A Dual-Tree Rational-Dilation Complex Wavelet Transform, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 59, No.12, 6251 - 6256.
- Borhani, M. and Sedghi, V., 2004, 2-D Dual-Tree Wavelet Based Local Adaptive Image Denoising, *The 12nd Iranian Conference on Electrical Engineering*, P. 12_017
- Canales, L., 1984, Random noise reduction: Presented at the 54th Annual International Meeting, SEG. 525-527.
- Chase, M. K., 1992, Random noise reduction by 3-D spatial prediction filtering. *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1992*: pp. 1152-1153
- Donoho, D. L. and Johnstone, I. M., 1994, Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage: *Biometrika*, Vol. 81, P. 425-455.
- Fugal, L. D., 2009, *Conceptual Wavelets in Digital Signal Processing*, Space & Signals Technologies LLC.
- Goudarzi, A. and Riahi, M. A., 2013, TQWT and WDGA-Innovative methods for ground roll attenuation, *J. Geophys. Eng.*, Vol 10, No. 6, P. 065007.
- Irani Mehr, M. and Abedi, M. M., 2017, Random Noise Attenuation Using Variable WQ-factor Wavelet Transform, 79th EAGE Conference and Exhibition, Paris.
- Johnstone, I. M. and Silverman, B. W., 1997, Wavelet threshold estimators for data with correlated noise: *J. R. Statist. Soc. B*, Vol. 59, P. 319- 51.
- Kingsbury, N., 2002, Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals, *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol. 10, No.3, P. 234-253.
- Lari, H. and Gholami, A., 2014, Curvelet-TV regularized Bregman iteration for seismic random noise attenuation, *Journal of Applied Geophysics*, Vol 109, no. 1: 233-241.
- Mallat, S., 2008, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 3rd edition.
- Merklin, L. and Levchenko, O., 2005, *Seismic Engineering Survey in the Caspian Sea for Oil and Gas Companies*, 2nd Workshop "Seabed Acoustics" in Rostock-Warnemünde.
- Meyer, Y., 1992, *Wavelets and Operators*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Sheriff, R. E. and Geldart, L. P., 1995, *Exploration seismology*, 2nd ed, Cambridge university press.
- Selesnick, I., 2001, Hilbert transform pairs of wavelet bases, *IEEE Signal Processing Letters*, Volume 8, No.6, P.170-173.
- Selesnick I., 2004, The Double-Density Dual-Tree DWT, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Volume: 52, Issue: 5. P. 1304-1314.
- Yilmaz, Ö., 2001, *Seismic Data Analysis*, Society of Exploration Geophysicists, second edition.

The effects of oscillatory behavior of the mother wavelet in the discrete wavelet transform in order to suppress seismic random noise

Irani Mehr, M.¹, Riahi, M. A.^{2*} and Goudarzi, A. R.³

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

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

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

(Received: 26 Aug 2018, Accepted: 1 Jan 2019)

Summary

Seismic data have a variable characteristic. Overlooking this important characteristic will reduce the effectiveness of any signal processing tool. Wavelet transform is a useful tool in seismic data processing and in recent years it has been the subject of attention of geophysicists. In this study we investigate the role of the resolution of the wavelet transform and the Q-factor (Q-factor in band-pass filters is the ratio of central frequency to the bandwidth) of the mother-wavelet on the filter performance with the goal of reducing the random noise and examining the effects of the mother wavelet Q-factor and its oscillatory behavior on the filter performance. We use Rational-Dilation Wavelet Transform (RADWT) and Dual-tree RADWT. These methods have the capability to achieve variable frequency resolution that can also provide a variety of Q-factors. To evaluate the effect of Q-factor of mother wavelet on filter function, the DT-RADWT with different Q-factors is applied on a Ricker Wavelet and synthetic shot gathers and the results are discussed in the manuscript. In the following, we investigate the relationship between seismic signal Q-factor and suitable Q-factor for seismic data processing. The method is applied to high-frequency shallow Sub-Bottom Profiler data and land data. In this study, a new wavelet transform called Rational Dilation Wavelet Transform (RADWT) and its Dual Tree analytical version DT-RADWT is used to attenuate random noise in seismic data. These transforms can achieve a limited range of Q-factor by selecting appropriate parameters p , q and s . The advantage of this transform over the common discrete wavelet transforms is that its rational sampling which provides higher time-frequency resolution. We also investigate the effect of Q-factor of mother wavelet on the performance of wavelet transform filters, and the relation between seismic signal Q-factor and Wavelet transform filter Q-factor.

Increasing the Q-factor can reduce the bandwidth of wavelet in each scale. We test the effect of random noise on Q-factor of Ricker wavelet, with different noise levels. The results showed that by changing the level of random noise, the range of Q-factor remains constant. Next, we added the constant noise to Ricker wavelet, and we analyzed the noise-infected wavelet by RADWT and DT-RADWT with different Q-factors, here the soft threshold was used. The result of denoising is presented in Table 2. In last part of manuscript high Q-factor Dual Tree Rational wavelet transform was used to attenuate random noise from synthetic shot gather and marine and land seismic data (figures 9 & 11 & 14 & 15). Suitable parameters for random noise attenuation, p , q , and s was selected respectively 7, 8, 1 that made WT Q-factor 7.48. This research investigated the role of Q-factor value in suppressing random noise from reflection seismic data. Many Q-factors were tested to evaluate the effect of wavelet transform Q-factor on random noise denoising, and it was observed that with an increase in the Q-factor of the wavelet transform, the signal-to-ratio of filtered trace was improved. The data Q-factor was also calculated, but there was no significant correlation between the appropriate Q-factor of WT for noise reduction and the signal Q-factor. DT-RADWT was better than RADWT in distinguish was the random noise from the signal, due to the use of two parallel filter banks. DT-RADWT with high Q-factor was applied to synthetic data with a variable level of random noise and results are summarized in table4. In addition, the method was also applied to real shallow marine data from sub-bottom profiler with a wide frequency content. Results confirm the effectiveness of WT filter which is increased with the increase of wavelet transform Q-factor.

Keywords: Random Noise, Discrete Wavelet Transform, Time-Frequency Domain, Wavelet Q-factor, Offshore Data, Rational Dilation, Dual-Tree Wavelet Transform.

* Corresponding author:

mariahi@ut.ac.ir