

## تضعیف نوفه‌ی زمین غلت در داده‌ی لرزه‌ای با استفاده از روش بانک فیلتر جهتی هرمی با ساختار درختی دوتایی و مقایسه‌ی آن با روش f-k

سید احمد مرتضوی\*، عبدالرحیم جواهریان، حمیدرضا امین‌داور، دانشگاه صنعتی امیرکبیر • مجید نبی بیدهندی، مؤسسه‌ی ژئوفیزیک  
دانشگاه تهران • سیاوش ترابی، شرکت ژئوفیزیک دانا • محمدرضا بختیاری، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

### چکیده

داده‌ی لرزه‌ای برداشت شده معمولاً با نوفه همراه است که این نوفه‌ها در مراحل بعدی پردازش غالباً مشکلاتی ایجاد می‌کنند. بنابراین همواره مسأله‌ی تضعیف نوفه از اساسی‌ترین و مهم‌ترین مراحل پردازش بوده است. یکی از مهم‌ترین نوفه‌ها در خشکی، زمین غلت است. نوفه‌ی زمین غلت از گروه نوفه‌های همدوس است و نسبت به سیگنال‌ها، سرعت و فرکانس کمتر و دامنه‌ی بزرگتری دارد. زمین غلت خاصیت پاششی دارد و سیگنال‌ها را در منطقه‌ای بادبزی شکل می‌پوشاند. روش‌های متعددی برای تضعیف نوفه وجود دارد که متداول‌ترین آنها استفاده از فیلتر f-k است. روش بانک فیلتر جهتی هرمی با ساختار درختی دوتایی (PDTDFB) روشی قوی در پردازش تصویر است که می‌تواند مؤلفه‌های یک تصویر را در مقیاس‌ها و جهات مختلف تجزیه کند. با استفاده از این روش الگوریتمی تطبیقی به نام Adaptive PDTDFB طراحی شده که می‌تواند با استفاده از انرژی، زیرباندهای حاوی نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی را تشخیص داده و تضعیف نماید. الگوریتم، مرحله‌ی دومی نیز دارد که در آن نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی باقیمانده از مرحله‌ی قبل تضعیف می‌شود. الگوریتم روی داده‌ی مصنوعی و واقعی اعمال و نتایج ارزیابی شده‌اند. بر اساس ارزیابی‌ها، فیلتر پیشنهادی به‌خوبی توانسته نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی را با کمیت‌های بهینه برای الگوریتم تضعیف نماید. همچنین مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش f-k (به‌عنوان روش متداول) نشان می‌دهد که الگوریتم طراحی شده، بهتر از روش f-k، نوفه را فیلتر کرده است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۹/۱۵

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۱۰/۱۴

### واژگان کلیدی:

نوفه‌ی زمین غلت، تضعیف، فیلتر تطبیقی، بانک فیلتر جهتی هرمی با ساختار درختی دوتایی

### مقدمه

تغییر حیطه در داده اغتشاش ایجاد کند [۱]. ایراد دیگر اینست که کاربر باید محدوده‌ی مورد نظر به‌عنوان نوفه‌ی زمین غلت را در حیطه‌ی فرکانس-عدد موج تعیین کند که این مسأله علاوه بر آنکه نیاز به تجربه و تخصص دارد، بسیار نیز زمان‌بر خواهد بود. روش tau-p از دیگر روش‌های مرسوم است [۱] که در آن ابتدا داده را از حیطه‌ی زمان-مکان به حیطه‌ی زمان-متغیر پرتو می‌برند، در آنجا حیطه‌ی زمین غلت به‌دلیل اختلاف سرعت با بازتاب‌ها از آنها جدا می‌شود و با حذف محدوده‌ی حاوی زمین غلت و بازگرداندن داده، آنرا تضعیف می‌کند. ایراد این روش آنست که در اثر تبدیل tau-p و بازگردانی آن به حیطه‌ی t-x داده آسیب خواهد دید. دسته‌ی دیگری از روش‌ها که در تضعیف نوفه‌ی زمین غلت کارآیی دارند روش‌هایی مانند تبدیل کارهون-لویو (K-L) و تجزیه‌ی مقدار منفرد<sup>۱</sup> (SVD) هستند که از مقادیر ویژه بهره می‌برند. لیو در ۱۹۹۹ روشی ارائه کرد که در آن نوفه‌ی زمین غلت تا حد امکان به‌صورت افقی در آمده و سپس با استخراج نوفه‌ی همدوس، آنها را از داده کم می‌کند. این روش باعث آشفتگی کمتر در سیگنال‌های بازتابی می‌شود [۲]. در ۲۰۰۳ تیاپکین و همکاران پیشنهاد کردند که با استفاده از روش خطی‌سازی لیو برای افقی‌سازی نوفه‌ی همدوس

حضور نوفه‌ی زمین غلت در عملیات برداشت داده‌ی لرزه‌ای در خشکی عموماً اجتناب‌ناپذیر بوده و گاهی تا حدی بر سیگنال اثر می‌گذارد. به‌همین دلیل بدون پردازش، استفاده از داده غیرممکن است. بنابراین مرحله‌ی تضعیف نوفه‌ی زمین غلت همواره از اصلی‌ترین مراحل پردازشی به‌حساب می‌آید. نوفه‌ی زمین غلت با دامنه‌ی بزرگ‌تر و با سرعت و فرکانس کمتر از بازتاب‌ها، آنها را می‌پوشاند و اگر تضعیف نشود مانعی برای تهیه‌ی تصویر مناسب از لایه‌های زیرسطحی خواهد بود.

تا کنون روش‌های متعددی برای تضعیف نوفه‌ی ارائه شده که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. یکی از روش‌ها استفاده از فیلترهای فرکانسی یک‌بعدی است. ایراد این روش آنست که در بسیاری از موارد دیده می‌شود که محدوده‌ی فرکانسی بازتاب‌ها بسیار به زمین غلت نزدیک بوده و استفاده از این فیلتر باعث تضعیف بازتاب‌ها می‌گردد. فیلتر فرکانسی دوبعدی یا فیلتر فرکانس-عدد موج (f-k) روش متداول دیگری است که ابتدا با استفاده از فوریه‌ی دوبعدی، داده به حیطه‌ی فرکانس-عدد موج منتقل می‌شود و سپس با توجه به خصوصیات فرکانس و سرعت کم زمین غلت، آنها را تضعیف می‌کند. ایراد این روش آنست که امکان دارد در مرحله‌ی

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (mortazavi.ahmad@yahoo.com)

### ۱- مبانی روش

خانواده‌ی روش‌های بانک فیلتر جهتی، انواع متعددی دارند که در این بخش اصلی‌ترین آنها به همراه سیر تکاملشان ارائه شده است.

#### ۱-۱- روش بانک فیلتر جهتی<sup>۵</sup> (DFB)

روش بانک فیلتر جهتی نخستین بار در ۱۹۹۲ توسط بامبرگر و اسمیت معرفی شده [۱۲] و برای تجزیه‌ی یک تصویر به مؤلفه‌های سازنده‌اش در جهات مختلف استفاده گردید. آنها برای تجزیه از یک بانک فیلتر چندفازی استفاده کردند. در شکل ۱-الف تجزیه‌ی تصویر به زیرباندهای جهتی مختلف نشان داده شده است. برای تجزیه‌ی تصویر در جهات مختلف از بانک فیلترهای دوبعدی مختلف مانند بانک فیلتر بادبزی و الماسی به همراه عملیات کاهش ابعاد ماتریس<sup>۶</sup> در هنگام تجزیه و افزایش<sup>۷</sup> آن در هنگام بازسازی استفاده می‌شود. ایراد بزرگ این روش آنست که در فرکانس‌های کم نمی‌تواند به خوبی پدیده‌ها را از یکدیگر تفکیک کند. این اولین روش معرفی شده در خانواده‌ی بانک فیلتر جهتی بود که به‌عنوان اساس و پایه‌ی توسعه‌ی روش‌های بعدی استفاده شد.

#### ۲-۱- روش لاپلاسین هرمی<sup>۸</sup> (LP)

این روش از روش‌های خانواده‌ی بانک فیلتر جهتی نیست و قبل از آن در ۱۹۸۳ توسط برت و ادلسون به‌عنوان روشی چندمقیاسی<sup>۹</sup> برای ساخت مقیاس‌های مختلف از یک تصویر به‌وجود آمده است [۱۳]. این روش می‌تواند تصویری را به‌عنوان ورودی بگیرد و مقیاس‌های مختلف از آنرا تهیه کند. از این روش جهت کمک به روش بانک فیلتر جهتی برای حل مشکل مربوط به فرکانس‌های کم استفاده شد.

#### ۳-۱- روش بانک فیلتر جهتی هرمی<sup>۱۰</sup> (PDFB)

همان‌گونه که بیان شد روش بانک فیلتر جهتی در فرکانس‌های کم نمی‌توانست پدیده‌ها را به خوبی از یکدیگر تفکیک کند. برای حل این مشکل دو و وترلی در ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ با ترکیب روش لاپلاسین هرمی به‌عنوان یک روش چندمقیاسی و روش بانک فیلتر جهتی به‌عنوان یک روش چندجهتی<sup>۱۱</sup>، روش جدیدی به‌نام بانک فیلتر جهتی هرمی پدید آوردند که می‌توانست پدیده‌های با فرکانس کم را نیز به خوبی تفکیک پدیده‌ها در فرکانس‌های زیاد حل کند [۱۴ و ۱۵]. شماییک نحوه‌ی عملکرد این روش در شکل ۱-ب ارائه شده است. بدین صورت که روی یک تصویر ورودی ابتدا لاپلاسین هرمی اعمال شده و مقیاس‌ها (یا سطوح<sup>۱۲</sup>) مختلف از آن ساخته می‌شود و پس از آن روی هر مقیاس بانک فیلتر جهتی اعمال شده و مؤلفه‌های تصویر در جهات مختلف تفکیک می‌شوند. این کار می‌تواند در سطوح زیادی ادامه یابد.

خطی، زمین غلت در یک یا چند پنجره‌ی زمانی در داده‌ی چشمه مشترک افقی گردد. در هر پنجره، زمین غلت خود را در تصاویر مشخصه‌ی ابتدایی نشان داده و از داده کسر می‌گردد [۳]. تصاویر مشخصه‌ی باقیمانده بیانگر سیگنال هستند. در ۲۰۱۳ مرتضوی و جواهریان علاوه بر اعمال تجزیه‌ی مقدار منفرد تطبیقی بر داده برای تضعیف نوفه‌ی زمین غلت، عملکرد این روش را در مقابل سطوح مختلفی از نوفه بررسی کردند [۴]. اما به‌طور کلی ایراد این روش‌ها آنست که تنها زمانی می‌توانند کارآیی مناسبی داشته باشند که نوفه‌ی زمین غلت با استفاده از روشی به‌خوبی افقی شده باشد. در غیر این صورت کارآیی فیلتر کاهش می‌یابد.

از دیگر روش‌هایی که در تضعیف نوفه‌ی زمین غلت کارآیی دارد استفاده از تبدیل شعاعی<sup>۱۳</sup> است. با استفاده از این تبدیل نوفه‌ی زمین غلت از حیطه‌ی مکان-زمان به حیطه‌ی سرعت ظاهری-زمان برده شده و در این حیطه به‌صورت پدیده‌های قائم دارای کشیدگی به‌ویژه در زمان‌های کم درمی‌آید؛ در حالی که بازتاب‌ها به‌صورت هذلولی هستند. هنلی در ۱۹۹۹ از این خاصیت برای جداسازی امواج زمین غلت و بازتاب‌ها و تضعیف امواج زمین غلت بهره برد. از دیگر روش‌هایی که در سالیان اخیر در تضعیف نوفه‌ی زمین غلت استفاده شده، تبدیل کروئت است [۵]. در این تبدیل نوفه‌ی زمین غلت بر اساس محتوای فرکانس و شیب (سرعت) متفاوت نسبت به بازتاب‌ها، در زیرباندهای متفاوتی نسبت به آنها در حیطه‌ی کروئت قرار گرفته و جداسازی و تضعیف را امکان‌پذیر می‌کند. یارهام و همکاران در ۲۰۰۶ و ژانگ و همکاران در ۲۰۱۰ از این خاصیت برای تضعیف نوفه‌ی زمین غلت استفاده کردند [۶ و ۷]. حمیدی و همکاران در ۲۰۱۳ از تبدیل موجک برای تضعیف نوفه‌ی زمین غلت استفاده کردند [۸]. ترابی و همکاران در ۲۰۱۳ تبدیل کانونی را برای تضعیف نوفه‌ی زمین غلت به کار بردند [۹].

تا کنون خانواده‌ی روش‌های بانک فیلتر جهتی، کاربرد کمی در پردازش داده‌های لرزه‌ای داشته‌اند اما در بخش‌های مختلف پردازش تصویر به کار رفته‌اند. مثلاً محمدخان و همکاران در ۲۰۰۴ از بخشی از کار خود برای بهبود یک تصویر آنژیوگرام<sup>۱۴</sup> از این روش برای جداسازی رگ‌های موجود در تصویر آنژیوگرام در راستاهای مختلف بهره بردند [۱۰]. ما و همکاران در ۲۰۱۰ از این روش برای تشخیص لبه‌های<sup>۱۵</sup> پدیده‌های مختلف موجود در یک تصویر استفاده کردند [۱۱]. در این مقاله ابتدا خانواده و سیر تکاملی روش‌های بانک فیلتر جهتی معرفی شده و سپس مراحل تضعیف نوفه‌ی زمین غلت با بهره‌گیری از بانک فیلتر جهتی هرمی با ساختار درختی دوتایی به‌صورت تطبیقی و نتایج اعمال این فیلتر با بهره‌گیری از کمیت‌های تأثیرگذار بهینه روی داده‌های مصنوعی و واقعی بررسی می‌شود. در پایان نیز عملکرد این روش در برابر روش f-k (به‌عنوان روشی مرسوم) بررسی می‌گردد.

در سطوح مختلف و در هر دو شاخه نشان داده شده و در سمت راست آن نحوه‌ی بازسازی تصویر با استفاده از زیرباندهای تجزیه شده ارائه گردیده است.

#### ۱-۵- تضعیف نوفه‌ی زمین غلت با استفاده از Adaptive PDTDFB

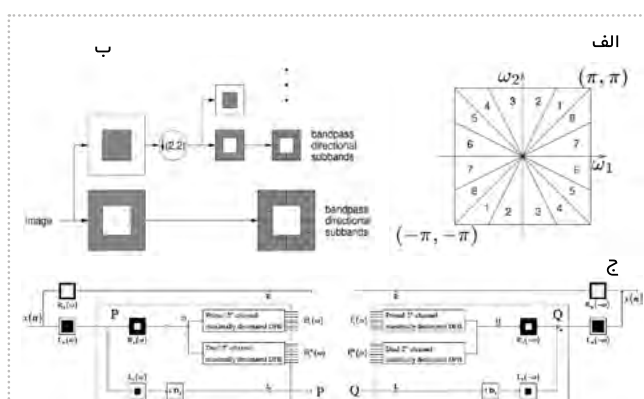
نوفه‌ی زمین غلت نسبت به بازتاب‌ها دامنه‌ی قوی‌تر و فرکانس و سرعت کمتری دارد. بر همین اساس پس از اعمال PDTDFB و تجزیه‌ی تصویر به مؤلفه‌های سازنده‌اش در سطوح و جهات مختلف، زیرباندهایی وجود خواهند داشت که به‌طور عمده حاوی نوفه‌ی زمین غلت هستند. همچنین برخی از زیرباندها نیز به‌طور عمده حاوی بازتاب‌ها هستند. البته یکی از مشکلات اصلی در تضعیف نوفه‌ی زمین غلت، نوفه‌ی زمین غلتهای است که دچار دگرگونی مکانی شده است. بنابراین تضعیف آن نیز از موارد مهم در ارزیابی عملکرد روش است. بررسی‌ها نشان داد که برخی زیرباندها هم به‌طور عمده حاوی نوفه‌ی زمین غلت دگرگونی شده هستند. در شکل ۲- داده‌ی مصنوعی تولید شده بر اساس جدول ۱- ارائه شده که نوفه‌ی زمین غلت آن با استفاده از نرم‌افزار CPS programming (Hermann-2013) تولید شده است [۱۷].

در این داده، فاصله‌ی بین ردلرزه‌ها ۲۵ متر و فاصله‌ی بین چشمه و اولین گیرنده ۲۰۰ متر است. چشمه در عمق ۱۴ متری قرار گرفته و فاصله‌ی بین نمونه‌های زمانی نیز ۴ میلی‌ثانیه است. این مدل مدلی هفت لایه با دو لایه‌ی هوازده است. بازتاب‌های موجود در آن نیز با استفاده از نرم‌افزار MATLAB تولید شده است. همان‌طور که در طیف فرکانس-عدد موج مشخص است بخشی از نوفه‌ی زمین غلت دچار دگرگونی نسبتاً شدیدی شده که با پیکان زرد رنگ مشخص گردیده است. به دلیل هم‌پوشانی این پدیده با بازتاب‌ها، تفکیک و جداسازی آنها از بازتاب‌ها عموماً با مشکل مواجه می‌شود که این مسأله‌ی مهمی است. در شکل ۳- زیرباندهایی از داده‌ی شکل ۲- الف در حیطه‌ی PDTDFB ارائه شده که به‌طور عمده حاوی نوفه‌ی زمین غلت، بازتاب‌ها و نوفه‌ی زمین غلت دگرگونی شده هستند. شکل نشان می‌دهد که این روش می‌تواند در زیرباندهایی این پدیده‌ها را از یکدیگر جدا کند. پدیده‌ها را تنها می‌توان با طراحی الگوریتمی که بتواند آنها را شناسایی کند جدا نمود. همچنین روی هر یک از زیرباندها تبدیل معکوس PDTDFB اعمال شده تا آن زیرباند در حیطه‌ی زمان نیز نمایش داده شود.

بر اساس موارد مذکور، یک الگوریتم تطبیقی و هوشمند طراحی شد تا بتواند نوفه‌ی زمین غلت و نوفه‌ی زمین غلت با دگرگونی مکانی را تشخیص داده و آنها را از داده تضعیف نماید. این الگوریتم در دو مرحله کار می‌کند. در مرحله‌ی اول نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرگونی مکانی را تضعیف می‌کند و در مرحله‌ی دوم نوفه‌ی زمین غلت با دگرگونی مکانی باقیمانده در داده را به‌طور کامل تضعیف می‌نماید. برای این منظور با مقادیر مناسب و بهینه برای

#### ۱-۴- روش بانک فیلتر جهتی هرمی با ساختار درختی دوتایی<sup>۱۳</sup> (PDTDFB)

این روش در ۲۰۰۶ توسط نگویین طراحی شد [۱۶]. اصول این روش در واقع همان اصول روش بانک فیلتر جهتی هرمی است؛ با این تفاوت که از یک ساختار درختی دوتایی استفاده می‌کند و همین مطلب باعث می‌شود هنگام بازسازی، پدیده‌هایی از تصویر که دچار دگرگونی مکانی شده‌اند و در هر شاخه از ساختار دوتایی قرار دارند یکدیگر را خنثی کرده و نتیجه‌ی آن تصویری با دگرگونی مکانی بسیار ناچیز باشد. این مسأله مزیت اصلی این روش نسبت به روش بانک فیلتر جهتی هرمی است. در شکل ۱- ج شماتیک ساختار مربوط به این روش ارائه شده است. در سمت چپ این شکل مرحله‌ی مربوط به تجزیه‌ی تصویر به زیرباندهای سازنده‌اش

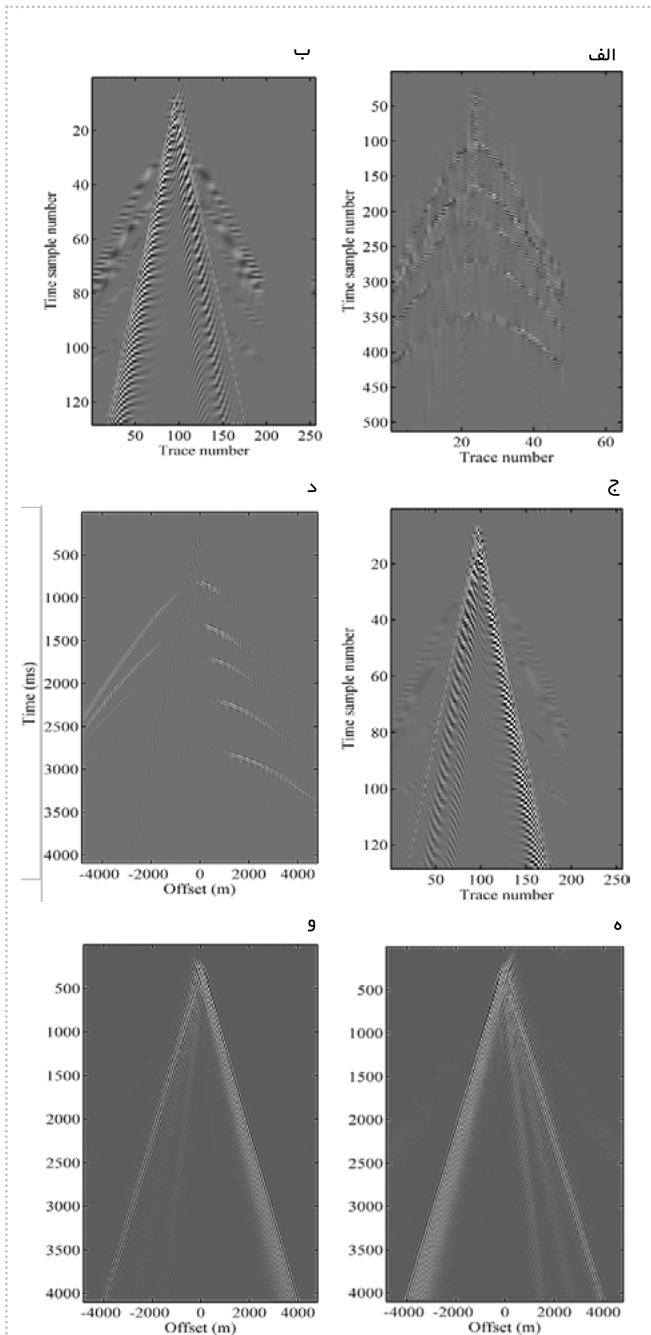


شکل ۱ | الف) بانک فیلتر جهتی (دو و وترلی؛ ۲۰۰۱) ب) بانک فیلتر جهتی هرمی (دو و وترلی؛ ۲۰۰۵) ج) بانک فیلتر جهتی هرمی با ساختار درختی دوتایی (نگویین؛ ۲۰۰۶)

شکل ۲ | مدل زمین با دو لایه‌ی هوازده که برای تولید داده‌ی مصنوعی شکل ۲- استفاده شده است [۱۸]

Layer no.	Thickness (km)	P-wave velocity (km/s)	S-wave velocity (km/s)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
1	0.003	0.7	0.25	1.4
2	0.01	1.9	1.1	1.8
3	0.9	2.2	1.2	2
4	0.6	2.4	1.4	2.2
5	0.5	2.7	1.5	2.4
6	0.7	2.9	1.6	2.5
7	0.9	3	1.7	2.7
8	Half space	3.3	1.9	2.8

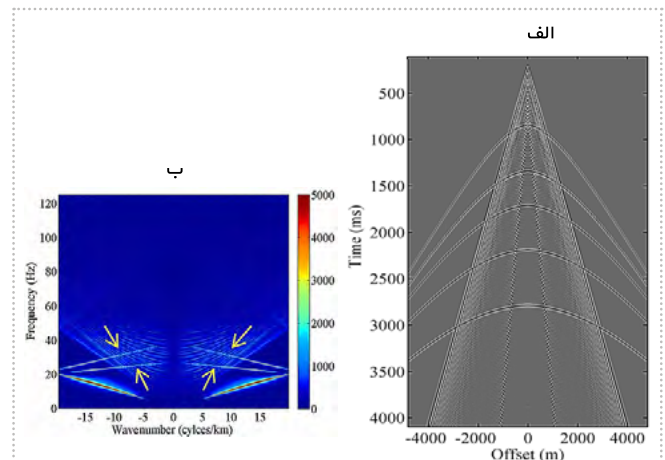
غلت با دگرنامی مکانی بوده و آنهایی که در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند شامل پدیده‌های دیگر مانند بازتاب‌ها یا نوفه‌ی تصادفی هستند. تعدادی از زیرباندهای ابتدایی انتخاب می‌شوند. در پایان این مرحله، شماره‌ی زیرباندهایی که دربرگیرنده‌ی نوفه‌ی زمین غلت یا زمین غلت با دگرنامی مکانی هستند مشخص شده‌اند.



الف) یکی از زیرباندها در حیطه‌ی PDTDFB که به‌طور عمده به‌ترتیب حاوی بازتاب‌هاست (ب-ج) زیرباندهایی که در حیطه‌ی PDTDFB به‌طور عمده حاوی نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی هستند (د) زیرباند قسمت-الف در حیطه‌ی زمان (و-ه) زیرباندهای به‌ترتیب ب-ج در حیطه‌ی زمان



تعداد سطوح و تعداد زیرباندها در هر سطح، داده از حیطه‌ی زمان به حیطه‌ی PDTDFB برده می‌شود. پس از این مرحله هر یک از زیرباندهای موجود به‌تنهایی به حیطه‌ی زمان بازگردانده می‌شوند. بدین معنا که تنها همان زیرباند باقیمانده و سایر زیرباندها برابر صفر قرار می‌گیرند. از آنجا که روش PDTDFB از یک ساختار درختی دوتایی بهره می‌برد و در یک زیرباند یکسان در هر دو درخت پدیده‌هایی با کاراکترهای مشابه (اما نه دقیقاً یکسان) قرار می‌گیرد و از سوی دیگر در یکی از دو درخت، در یک جهت یکسان، در سطوح مختلف پدیده‌های یکسان با مقیاس‌های مختلف قرار می‌گیرد، برای کاهش زمان محاسبات این کار تنها در یکی از دو درخت و آخرین سطح (مقیاس) انجام می‌شود. پس از این مرحله روی داده‌ی موجود در حیطه‌ی زمان یک فیلتر سرعت (در محدوده‌ی سرعت نوفه‌ی زمین مثلاً ۱۵۰۰-۵۰۰ متر بر ثانیه) روی هر یک از زیرباندهای موجود در حیطه‌ی زمان اعمال می‌گردد. سپس در محدوده‌ی باقیمانده انرژی محاسبه می‌شود. به‌دلیل اینکه پدیده‌های حاوی نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی نسبت به سایر پدیده‌ها مانند نوفه‌ی تصادفی و بازتاب‌ها دامنه‌ی قوی‌تری دارند زیرباندهایی که به‌طور عمده حاوی نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی هستند از لحاظ انرژی در رتبه‌ی بالاتری قرار می‌گیرند. علت اینکه فیلتر سرعت اعمال می‌شود آنست که پس از اعمال آن تنها محدوده‌ای که حاوی نوفه‌ی زمین غلت است باقی می‌ماند و انرژی محاسبه شده در این محدوده بهتر می‌تواند نوفه را از سایر پدیده‌ها تفکیک نماید. مثلاً اگر بازتاب‌های قوی در یکی از زیرباندها در دورافت دور وجود داشته باشند در محاسبات جهت محاسبه‌ی انرژی وارد نمی‌شوند. پس از محاسبه‌ی انرژی، مقادیر آن از صعودی به نزولی مرتب می‌شوند. زیرباندهایی که مقادیر ابتدایی قرار می‌گیرند به‌طور عمده حاوی نوفه‌ی زمین غلت یا زمین



الف) داده‌ی مصنوعی تولید شده بر اساس جدول-۱ حاوی نوفه‌ی زمین غلت، زمین غلت با دگرنامی مکانی و بازتاب‌ها (ب) طیف فرکانس-عدد موج شکل-الف که در آن نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی با پیکان زرد مشخص شده است



زمان برده می‌شوند. با استفاده از تبدیل فوری‌ی دوبعدی انرژی پدیده‌های مختلف در دورافت‌های مثبت و منفی محاسبه می‌شود. برای هر زیرباند یکی از دو حالت زیر به دست می‌آید: ■ اگر در دورافت‌های مثبت در زیرباندی که به حیطه‌ی زمان برده شده پدیده‌های با شیب منفی (نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی و پدیده‌های برگشتی<sup>۴</sup>) انرژی بیشتری داشتند، دورافت مثبت در آن برابر صفر قرار داده می‌شود.

■ اگر در دورافت‌های منفی در زیرباندی که به حیطه‌ی زمان برده شده پدیده‌های با شیب مثبت (نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی و پدیده‌های برگشتی) انرژی بیشتری داشتند، دورافت منفی در آن برابر صفر قرار داده می‌شود.

پس از داده باقیمانده بازسازی می‌شود. اگر مرحله‌ی قبلی روی کل رکورد چشمه‌ی مشترک اعمال شده باشد این مرحله نیز روی کل داده اعمال می‌گردد. اما اگر مرحله‌ی قبلی تنها روی بخش نوفه‌ی زمین غلت اعمال شده باشد این مرحله نیز به همین ترتیب خواهد بود. بر اساس موارد ذکر شده کمیت‌های تأثیرگذار بر عملکرد این روش ارائه شده‌اند:

پس از این مرحله به دو طریق می‌توان فیلتر را روی داده اعمال کرد: ■ کل رکورد چشمه‌ی مشترک به حیطه‌ی PDTDFB برده شود و شماره‌ی زیرباندهای تعیین شده در مرحله‌ی قبل روی آن در تمامی سطوح و در هر دو درخت برابر صفر قرار گیرند. بدین ترتیب نوفه‌ی زمین غلت و نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی تضعیف خواهند شد.

■ فیلتر تنها روی بخش بادبزی شکل حاوی نوفه‌ی زمین غلت اعمال گردد. بنابراین شماره‌ی زیرباندهای تعیین شده در مرحله‌ی قبل، در تمامی سطوح و هر دو درخت، تنها در محدوده‌ی زمین غلت (که با فیلتر سرعت مرحله‌ی قبل جدا شده) در حیطه‌ی PDTDFB برابر صفر قرار می‌گیرند. بدین ترتیب نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی تضعیف خواهند شد.

پس از انجام مرحله‌ی اول به هر یک از دو طریق مذکور، نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی به‌طور عمده تضعیف خواهند شد. اما برای اینکه نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی باقیمانده در داده به‌طور کامل تضعیف گردد یک مرحله فیلتر دیگر در نظر گرفته شده است. در این مرحله زیرباندهایی که از مرحله‌ی قبل باقیمانده و برابر صفر قرار نگرفته‌اند به حیطه‌ی



به نتایج مربوط به هر داده ارائه شده است. شکل ۵- انرژی محاسبه شده در محدوده‌ی بادبزی شکل نوفه‌ی زمین غلت برای رکورد مصنوعی چشمه‌ی مشترک شکل ۲- را نشان می‌دهد. انرژی مربوط به آخرین سطح تجزیه‌ی داده در یکی از دو درخت است. به دلیل اینکه در هر سطح داده به ۱۶ زیرباند جهتی تجزیه شده، تعداد ۱۶ انرژی محاسبه شده است. در شکل الف- انرژی مربوط به هر زیرباند آورده شده و در قسمت ب- انرژی مرتب شده به صورت صعودی به نزولی ارائه گردیده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است زیرباندهای ۱-۸ و ۹-۱۶ در قسمت الف- انرژی بیشتری دارند که معادل زیرباندهای ۳ و ۴ و ۱ و ۲ در قسمت ب- هستند. این زیرباندها دربرگیرنده‌ی نوفه‌ی زمین غلت و

■ **تعداد سطوح و تعداد زیرباندهای هر سطح:** اگر تعداد سطوح کم باشد تمام انرژی داده در سلول مرکزی تمرکز کرده و امکان جداسازی پدیده‌های مختلف وجود نخواهد داشت. با افزایش تعداد سطوح نیز حجم محاسبات افزایش و ابعاد ماتریس‌های زیرباند کاهش ناگهانی یافته و عملاً امکان کار را از آنها می‌گیرد. از طرف دیگر با افزایش تعداد زیرباندهای جهتی در هر سطح نیز حجم داده و محاسبات افزایش می‌یابد و با کاهش آن نیز ممکن است پدیده‌های نسبتاً مشابه از لحاظ شیب امکان جداسازی نداشته باشند.

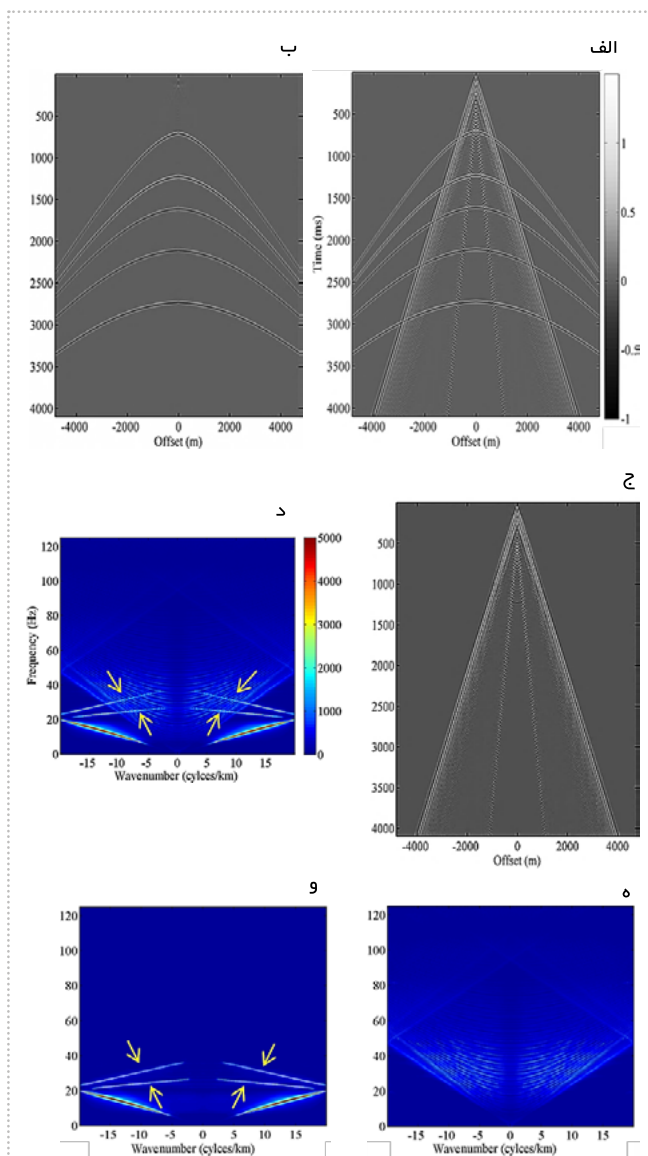
■ **تعیین محدوده‌ی سرعت مربوط به نوفه‌ی زمین غلت:** برای محاسبه‌ی انرژی بهتر است تنها محدوده‌ی حاوی نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی در نظر گرفته شود. به همین علت که ممکن است در خارج محدوده‌ی بادبزی شکل نوفه‌ی زمین غلت در یک زیرباند بازتابنده‌های قوی وجود داشته باشد و با این محاسبه انرژی آنها در رتبه بالاتری قرار گرفته و با انتخاب به اشتباه برابر صفر قرار گیرند.

■ **تعداد زیرباندهای با انرژی بیشتر که به عنوان زیرباند دربرگیرنده‌ی نوفه‌ی زمین غلت برای صفر قرار گرفتن انتخاب می‌شوند:** این متغیر مهم‌ترین و تأثیرگذارترین متغیر مربوط به کارکرد این روش است. با افزایش تعداد زیرباندهای انتخابی، نوفه‌ی زمین غلت بیشتری تضعیف شده و به سیگنال نیز آسیب بیشتری وارد می‌گردد اما با کاهش تعداد زیرباند انتخابی نوفه‌ی بیشتری در داده باقی خواهد ماند. بنابراین انتخاب تعداد بهینه اهمیت زیادی دارد.

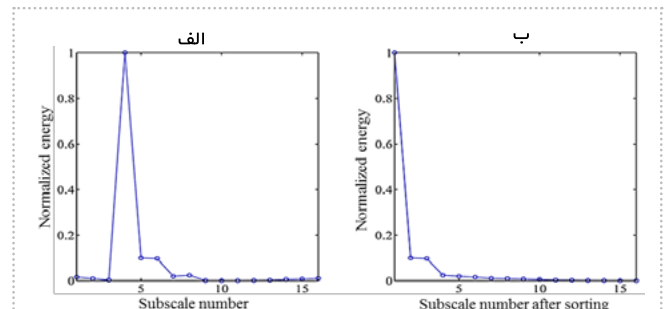
بر اساس موارد ذکر شده طرح‌واره‌ی مربوط به این روش در شکل ۴- ارائه شده است.

## ۲- بررسی نتایج اعمال فیلتر روی داده‌های مصنوعی و واقعی

الگوریتم طراحی شده، روی رکورد چشمه‌ی مشترک مصنوعی (شکل ۲) و یک رکورد چشمه‌ی مشترک واقعی اعمال شده و نتایج در ادامه ارائه گردیده‌اند. لازم به توضیح است که کمیت‌های بهینه برای هر یک از داده‌های مورد استفاده در این مقاله در بخش مربوط



شکل ۴ الف) رکورد چشمه‌ی مشترک مصنوعی (ب) داده پس از اعمال فیلتر Adaptive PDTDFB (ج) اختلاف بین شکل‌های الف و ب (د-ه) طیف فرکانس-عدد موج مربوط به قسمت‌های الف-ج



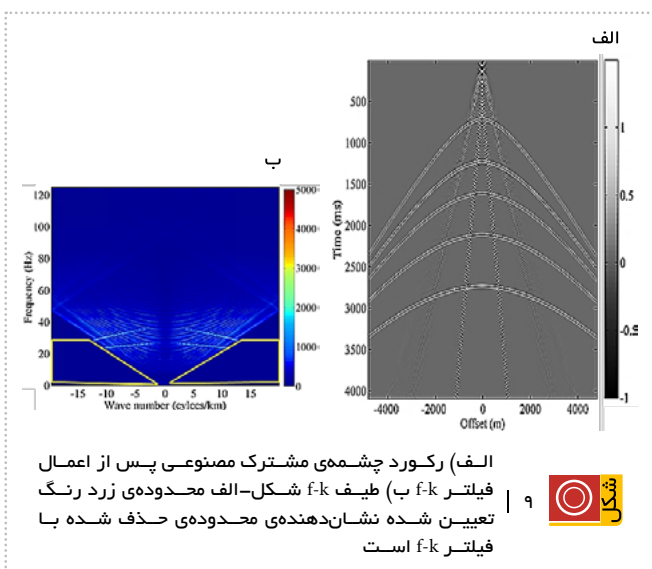
شکل ۵ الف) انرژی محاسبه شده‌ی نرمال شده در زیرباندها در محدوده‌ی نوفه‌ی زمین غلت در بالاترین سطح (ب) قسمت-الف پس از اعمال ترتیب صعودی به نزولی

نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی که با سیگنال هم‌پوشانی دارد به‌خوبی تضعیف شده و آسیبی نیز به سیگنال وارد نگردیده است. در ادامه فیلتر روی یک رکورد چشمه‌ی مشترک واقعی مربوط به میداین هیدروکربنی اعمال شده است. با استفاده از الگوریتم دومرحله‌ای شرح داده شده، نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی تضعیف شده است. شکل ۷- نتایج مربوط به اعمال فیلتر روی داده‌ی واقعی مربوط به یکی از میداین هیدروکربنی را نشان می‌دهد. این رکورد شامل دو ثانیه داده است که در آن فاصله‌ی بین ردلرزه‌ها ۳۰ متر و نمونه‌گیری زمانی نیز ۴ میلی‌ثانیه است. بر اساس نتایج، این روش به‌خوبی توانسته ضمن حفظ بازتاب‌ها، نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی را تضعیف نماید.

در شکل ۸- طیف دامنه‌ی داده، قبل و بعد از اعمال فیلتر برای داده‌ی مصنوعی (شکل ۶) و واقعی (شکل ۷) به ترتیب در قسمت‌های الف و ب ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که روش مذکور توانسته به‌خوبی نوفه را تضعیف کند.

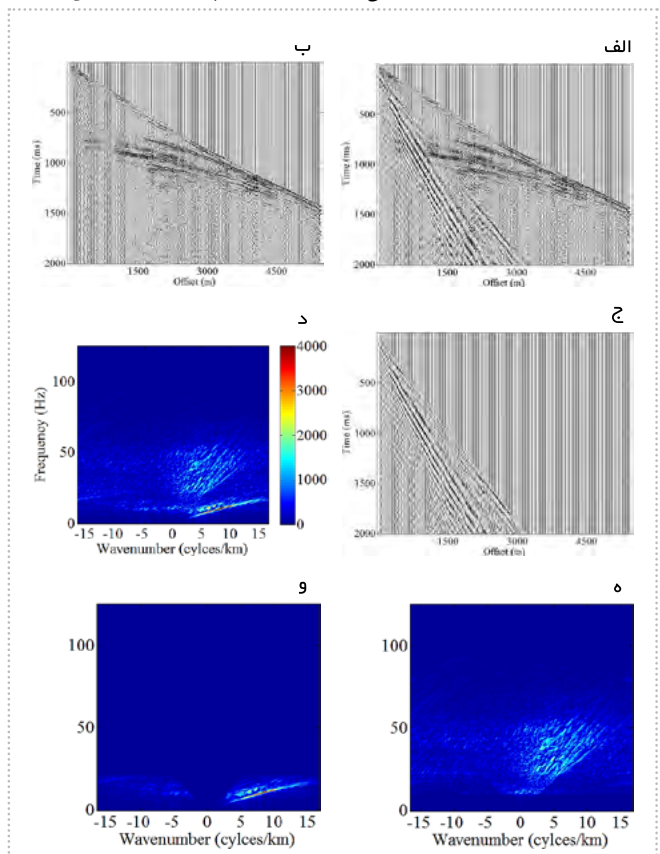
برای مقایسه‌ی عملکرد روش Adaptive PDTDFB با سایر روش‌های مرسوم، روی رکورد مصنوعی (شکل ۶-الف)، فیلتر f-k با استفاده از یکی از نرم‌افزارهای تجاری اعمال شده است. در شکل ۹- نتایج مربوط اعمال فیلتر f-k روی داده‌ی مصنوعی ارائه شده است. بخشی که در طیف فرکانس-عدد موج با رنگ زرد مشخص گردیده، بخشی از داده است که در حیطه‌ی f-k حذف شده است.

لازم به توضیح است که جهت اعمال فیلتر f-k در شکل ۹، محدوده‌ی زرد رنگ مورد نظر جهت حذف در حیطه‌ی f-k به گونه‌ای انتخاب شده که تنها نوفه‌ی زمین غلت را تضعیف کرده و به سیگنال آسیبی وارد نکند. در نتیجه نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی به دلیل هم‌پوشانی با سیگنال در داده باقی می‌ماند. همین نکته مزیت روش Adaptive PDTDFB نسبت به روش f-k است. زیرا در مواردی که نوفه‌ی زمین غلت با دگرنامی مکانی است و با سیگنال هم‌پوشانی

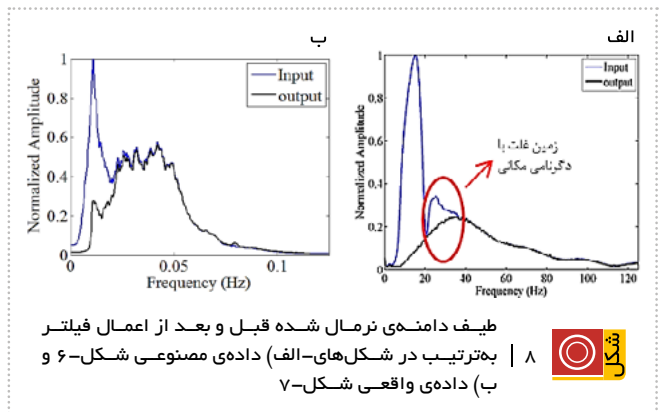


زمین غلت با دگرنامی مکانی هستند. پس از انتخاب چهار زیرباند با انرژی بیشتر، بر اساس الگوریتم دومرحله‌ای بیان شده، نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی، در داده تضعیف شده‌اند که نتایج آن در شکل ۶- ارائه گردیده است.

بر اساس نتایج، این روش به‌خوبی توانسته نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت دگرنامی شده را بدون آسیب رساندن به بازتاب‌ها تضعیف نماید. همان‌طور که در شکل نیز با علامت پیکان مشخص شده،



الف) رکورد چشمه‌ی مشترک واقعی مربوط به یکی از میداین هیدروکربنی (ب) داده پس از اعمال فیلتر Adaptive PDTDFB (ج) اختلاف بین شکل‌های الف و ب (د-و) طیف فرکانس-عدد موج شکل‌های الف تا ج



■ اصلی ترین متغیر در این روش مربوط به مرحله‌ی انتخاب تعداد زیرباندهای پرنرژوی حاوی نوفه‌ی زمین غلت است. با افزایش تعداد این زیرباندها، نوفه‌ی بیشتری تضعیف شده و سیگنال نیز آسیب می‌بیند. با کاهش تعداد زیرباندها نیز نوفه‌ی بیشتری در داده باقی خواهد ماند.

■ در این مقاله عملکرد روش Adaptive PDTDFB با روش f-k (به‌عنوان یک روش متداول در صنعت) مقایسه شد. نتایج و ارزیابی‌های کیفی و کمی نشان می‌دهد که این روش تضعیف را بهتر از روش f-k انجام داده؛ به‌ویژه در تضعیف نوفه‌ی زمین غلت دگرنامی شده.

دارد روش f-k تضعیف عمل می‌کند؛ در حالی که الگوریتم طراحی شده می‌تواند نوفه با دگرنامی مکانی را بدون آسیب رساندن به سیگنال تضعیف کند.

### نتیجه‌گیری

■ بر اساس نتایج روش Adaptive PDTDFB برای تضعیف نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت با دگرنامی مکانی، می‌توان گفت که فیلتر طراحی شده به‌خوبی توانسته نوفه‌ی زمین غلت و زمین غلت دگرنامی شده را تضعیف کند.

### پانویس‌ها

1- Singular value decomposition	6- Down-sampling	11- Multi-directional
2- Radial domain	7- Up-Sampling	12- Levels
3- Angiogram	8- Laplacian pyramid	13- Pyramidal dual tree directional filter bank
4- Edge	9- Multi-scale	14- Back scatter
5- Directional filter bank	10- Pyramidal directional filter bank	

### منابع

- [1] Yilmaz, O., Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data (Vols. 1 & 2): Society of Exploration Geophysicists, 2001.
- [2] Liu, X., Ground roll suppression using the Karhunen-Loeve transform: Geophysics, 1999, 64, 564-566.
- [3] Tyapkin, Y. K., Marmalyevskyy, N. Y. and Gornyak, Z. V., Source generated noise attenuation using the singular value decomposition: 75th Annually International Mtg. Soc. Expl. Geophys., Houston, Expanded Abstracts, 2003, 2044-2047.
- [4] Mortazavi, S. A. and A. Javaherian, The effect of signal-to-noise ratio on ground roll attenuation using adaptive singular value decomposition: A case study from South West of Iran: Journal of Seismic Exploration, 2013, 22, 427-447.
- [5] Henley, D. C., Coherent noise attenuation in radial trace domain: introduction and demonstration: CRWES Research Report, 1999, 11.
- [6] Yarham, C., U. Boeniger, and F. J. Herrmann, Curvelet-based ground roll removal: 78th SEG annual meeting, New Orleans, 2006, 2777-2782.
- [7] Zhang, Zh.Y., X. D. Zhang, H.Y. Yu, and X. H. Pan, Noise suppression based on a fast discrete curvelet transform: Journal of Geophysics and Engineering, 2010, 7, 105-112.
- [8] Hamidi, R., A. Javaherian, and A. M. Reza, Comparison of 1DWT and 2DWT transforms in ground roll attenuation: Journal of Seismic Exploration, 2013, 22, 49-76.
- [9] Torabi, S., and A. Javaherian, Ground roll attenuation by Focal transform: International Geophysical Conference and Oil & Gas Exhibition, Istanbul, 2012.
- [10] Khan, M. A. U., M. K. Khan, and M. Aurangzeb Khan, Coronary angiogram image enhancement using decimation-free directional filter banks: International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004, 441-444.
- [11] Ma, S. F., G. F. Zheng, L. X. Jin, S. L. Han, and R. F. Zhang, Directional multiscale edge detection using Contourlet transform: 2nd International Conference on Advanced Computer Control, 2010, 58-62.
- [12] Bamberger, R. H., and M. J. T. Smith, A filter bank for the directional decomposition of images: theory and design: IEEE Transactions on Signal Processing, 1992, 40, no.7, 882-893.
- [13] Burt, P. J. and E. H. Adelson, The Laplacian pyramid as a compact image code: IEEE Transaction on Communication, 1983, 31, no.4, 532-540.
- [14] Do, M. N., and M. Vetterli, Pyramidal directional filter banks and curvelets, IEEE International Conference on image processing (ICIP), Thessaloniki, Greece, 2001, 158-161.
- [15] Do, M. N., and M. Vetterli, The contourlet transform: An efficient directional multiresolution image representation: IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14, 2091-2106.
- [16] Nguyen, T., The multiresolutional directional filter bank, PhD thesis, The University of Texas, Arlington, 2006.
- [17] Herrmann, R.B., Computer programs in seismology, 2013, <http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/ComputerPrograms.html>