

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک
پایان نامه کارشناسی ارشد لرزه شناسی

تضعیف نوفه تصادفی داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از تبدیل شیرلت

نگارنده

سیدسعید پیشوا

استاد راهنما

دکترامین روشندل کاهو

دکتر علی نجاتی کلاته

استاد مشاور

دکتر محمد رداد

شهریور ۹۷

تقدیم به

زیباترین واژه‌ها در لغت‌نامه دلم...

پدر و مادر مهربانم، که زندگی‌ام را مدیون مهر و عطوفت آن‌هامی‌دانم

خواهرم، همراه همیشگی و پشتوانه‌ی زندگی‌ام

تمامی دوستان مهربانم

و همه کسانی که دوستشان دارم.....

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری خداوند موفق به دفاع از پایان‌نامه‌ی خویش شدم بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌منت و خالصانه اساتید گران‌قدر جناب آقای دکتر امین روشندل کاهو و آقای دکتر علی نجاتی کلاته که راهنمایی این‌جانب را بر عهده داشته‌اند و استاد مشاورم جناب آقای دکتر محمد رداد، کمال تشکر را بنمایم. همچنین از پدر و مادر و تمامی اساتید و دوستانی که با الطاف صمیمانه‌ی خود طی این مسیر را بر من هموار کردند تشکر می‌نمایم. از زحمات داوران محترم آقای دکتر سلیمانی و آقای دکتر نگهبان که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفته و کمک به هرچه بهتر شدن این کار کردند؛ تشکر می‌کنم.

تعهد نامه

این جانب سیدسعید پیشوا دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک- لرزه‌شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه تضعیف نوفه تصادفی داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از تبدیل شیرلت تحت راهنمایی آقای دکتر امین روشندل کاهو و آقای دکتر علی نجاتی کلاته متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

تصاویر لرزه‌ای به میزان قابل توجهی به کیفیت داده‌ها وابسته‌اند. روش لرزه‌ای یک ابزار ژئوفیزیکی مهم جهت مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی است که به وسیله‌ی آن می‌توان اطلاعات زمین‌شناسی را در یک محدوده گسترده بدون اندازه‌گیری مستقیم خواص آن ناحیه به دست آورد. داده‌های لرزه‌ای ثبت‌شده به صورت خام قابل تفسیر نیستند. برای اینکه بتوان این داده‌ها را آماده تفسیر نمود بایستی مراحل مختلف پردازشی بروی آن‌ها اعمال شود. با توجه به اینکه داده‌های ثبت‌شده اغلب حاوی نوفه می‌باشند، برای اینکه خروجی مراحل مختلف پردازش برای تفسیر مناسب باشد، بایستی فرایند تضعیف نوفه بروی آن‌ها اعمال گردد. حضور نوفه‌ها در داده‌های لرزه‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است که به‌خودی‌خود سبب کاهش پیوستگی رویدادهای بازتابی می‌گردد و در کیفیت مراحل مختلف پردازش داده‌های لرزه‌ای اعم از واهمامیخت، مهاجرت و آنالیز سرعت نقش بسزایی را ایفا می‌کنند. تضعیف این دسته از نوفه‌ها به‌خصوص زمانی که نسبت سیگنال به نوفه پایین باشد، بسیار دشوار است. تضعیف نوفه‌های تصادفی از داده‌های لرزه‌ای یکی از مراحل مهم در پردازش می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی جهت تضعیف این دسته از نوفه‌ها ارائه گردیده است که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارد. در این پایان‌نامه برای تضعیف نوفه تصادفی داده‌های لرزه‌ای بازتابی از آستانه‌گذاری در حوزه تبدیل شیرلت استفاده شده است. تبدیل شیرلت یک الگوریتم سریع و با دقت بالا به‌خصوص در لبه‌ها و مرزها است که امروزه بسیار مورد توجه واقع شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از تبدیل شیرلت جهت تضعیف نوفه داده‌های لرزه‌ای از جمله روش‌های موثر در این حوزه می‌باشد. الگوریتم تبدیل شیرلت در این پایان‌نامه به ازای مقادیر مختلف داده و انواع داده‌ها اعم از داده‌های ساده، داده‌های پیچیده، و نیز داده واقعی مورد مطالعه قرار گرفت. به طور کلی این الگوریتم روشی موثر و قوی در تضعیف نوفه داده‌ها می‌باشد و با استفاده از این الگوریتم می‌توان به نتایج قابل قبولی دست پیدا کرد. تبدیل شیرلت به خوبی جایگزین روش‌های دیگر تضعیف نوفه می‌شود و توانایی کاملی

در برخورد با انواع داده‌های لرزه‌ای از خود دارد.

کلمات کلیدی: نوفه همدوس و ناهمدوس، نوفه تصادفی، تبدیل شیرلت، تضعیف نوفه، تبدیل

دوبعدی

فهرست مطالب

- ۱- فصل اول: کلیات ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۲
- ۳-۱- پیشینه تحقیق ۳
- ۴-۱- هدف از انجام این پایان نامه ۵
- ۵-۱- ساختار پایان نامه ۶
- ۲- فصل دوم: مفاهیم کاربردی و برخی روشهای مرسوم تضعیف نوفه تصادفی ۷
- ۱-۲- مقدمه ۸
- ۲-۲- سیگنال و نوفه ۸
- ۱-۲-۲- سیگنال ۸
- ۲-۲-۲- نوفه ۹
- ۳-۲-۲- نوفه ناهمدوس ۹
- ۴-۲-۲- نوفه همدوس ۱۱
- ۳- فصل سوم: ابزار و روش تحقیق ۱۷
- ۱-۳- مقدمه ۱۸
- ۲-۳- تبدیل فوریه ۲۰

- ۳-۳- تبدیل فوریه زمان کوتاه (*STFT*) ۲۲
- ۴-۳- تبدیل موجک ۲۴
- ۳-۴-۱- تبدیل موجک پیوسته (*CWT*) ۲۶
- ۳-۴-۲- گسسته‌سازی تبدیل موجک پیوسته ۲۸
- ۳-۴-۳- تبدیل موجک گسسته (*DWT*) ۲۹
- ۴-۴-۳- تبدیل موجک گسسته دوبردهی ۳۲
- ۵-۳- تبدیل کمانک ۳۴
- ۳-۵-۱- تعریف کمانک ۳۵
- ۳-۵-۲- تبدیل ریجالت ۳۶
- ۳-۵-۳- تبدیل کمانک نسل اول ۳۸
- ۳-۵-۴- تبدیل کمانک نسل دوم ۳۹
- ۳-۶- تبدیل شیرلت ۴۰
- ۳-۶-۱- تئوری پیوستگی ۴۱
- ۳-۶-۲- تئوری گسسته ۴۲
- ۳-۶-۳- کاربردهای تبدیل شیرلت ۴۳
- ۴- فصل چهارم: اعمال الگوریتمهای تبدیل شیرلت روی داده ۴۹
- ۴-۱- مقدمه ۵۰
- ۴-۲- تضعیف نوفه با استفاده از تبدیل شیرلت ۵۰
- ۴-۳- پارامترهای مؤثر در تضعیف نوفه با استفاده از تبدیل شیرلت ۵۲

۵۲	۴-۴- نتایج داده‌های مصنوعی.....
۵۶	۴-۵- نتایج داده‌های واقعی.....
۶۱	۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....
۶۲	۵-۱- نتیجه‌گیری.....
۶۲	۵-۲- پیشنهادها.....
۶۵	۶- منابع و مأخذ.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. الف) یک رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک (*CMP*) همراه با نوفه تصادفی باند
فرکانسی محدود که از یک رد لرزه به رد لرزه دیگر تغییر می‌کند. (ب و ج) همان مقطع پس از
تضعیف نوفه تصادفی با فیلتر فرکانس-عدد موج. در زیر هر شکل طیف فرکانس-عدد موج هر رکورد
رسم شده است. ۱۱
- شکل ۱-۳. سیگنال پایا با فرکانسهای ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز. ۲۱
- شکل ۲-۳. طیف دامنه سیگنال شکل ۱-۳. ۲۱
- شکل ۳-۳. سیگنال ناپایا با فرکانسهای ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز در زمانهای متفاوت. ۲۲
- شکل ۴-۳. طیف دامنه سیگنال شکل ۳-۳. ۲۲
- شکل ۵-۳. عملکرد تبدیل فوریه زمان کوتاه (بوآشاش، ۲۰۰۳). ۲۳
- شکل ۶-۳. سمت چپ نمای یک موج (سینوسی) و سمت راست نمای یک موجک است. ۲۶
- شکل ۷-۳. نمایش تفکیک‌پذیری در صفحات مختلف؛ الف) صفحه زمان، ب) صفحه فرکانس،
ج) صفحه زمان-فرکانس در تبدیل فوریه زمان کوتاه و د) صفحه زمان-مقیاس در تبدیل موجک. ۲۸
- شکل ۸-۳. گسسته‌سازی صفحه زمان-مقیاس. ۲۹
- شکل ۹-۳. فرآیند فیلتر نمودن در ابتدایی‌ترین سطح. ۳۰
- شکل ۱۰-۳. درخت تجزیه موجک (بانک فیلتر). ۳۱
- شکل ۱۱-۳. نمایش مراحل تفکیک و بازسازی سیگنال با استفاده از فیلترهای فرکانسی بالاگذر و
پایین‌گذر. ۳۲

- شکل ۳-۱۲. تبدیل موجک گسسته دوبعدی در اولین سطح. ۳۳
- شکل ۳-۱۳. تجزیه یک تصویر با استفاده از تبدیل موجک گسسته دوبعدی تا سه مرحله. ۳۳
- شکل ۳-۱۴. (الف) تصویر هشت ضلعی (ب) تجزیه تصویر بعد از اعمال تبدیل موجک گسسته دوبعدی. ۳۴
- شکل ۳-۱۵. (الف) تصویر کمانک در حوزه مکان، (ب) همان کمانک در حوزه فرکانس. ۳۵
- شکل ۳-۱۶. (الف) یک نمونه ریجالت، (ب) و (ج) و (د) به ترتیب از دوران، اتساع و انتقال ریجالت (الف) حاصل شده‌اند. ۳۶
- شکل ۳-۱۷. اعمال تبدیل ریجالت بر روی یک داده. ۳۷
- شکل ۳-۱۸. طرح شماتیک تبدیل کمانک گسسته نسل اول. ۳۹
- جدول ۳-۱. مقداردهی مقیاس با توجه به ابعاد داده. ۴۵
- شکل ۳-۱۹. نمایش تبدیل شیرلت در حوزه فرکانس و ابعاد شیرلت. ۴۵
- شکل ۳-۲۰: نمایش ضرایب شیرلت بر روی ۸ ضلعی منتظم. ۴۶
- شکل ۳-۲۱: شیرلت‌های مختلف و نمایش جابجایی آن‌ها با توجه به اضلاع ۸ ضلعی. ۴۶
- شکل ۳-۲۲: فرکانس‌های مختلف جهت بررسی تاثیر مقیاس روی آن‌ها. ۴۷
- شکل ۳-۲۳: تاثیر مقیاس‌های مختلف بر روی شکل ۳-۲۲. ۴۸
- شکل ۴-۱: داده مصنوعی ساده. (الف) داده بدون نوفه. (ب) داده حاوی نوفه. (ج) طیف دامنه. ۵۳
- شکل ۴-۲: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۴. (الف) داده تضعیف نوفه شده. (ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. (ج) طیف دامنه. ۵۴
- شکل ۴-۳: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۴. (الف) داده تضعیف

نوفه شده. ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. ج) طیف دامنه ۵۴

شکل ۴-۴: داده مصنوعی پیچیده با نوفه ۴- الف) داده اصلی. ب) داده حاوی نوفه. ج) طیف دامنه ۵۵

شکل ۴-۵: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۴- الف) داده تضعیف

نوفه شده. ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. ج) طیف دامنه ۵۵

شکل ۴-۶: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۴- الف) داده تضعیف

نوفه شده. ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. ج) طیف دامنه ۵۶

شکل ۴-۷: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۲۰ و عرض ۲۰، همپوشانی

طولی ۸ و عرضی ۸ و حد آستانه‌گذاری ۱۰. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه ۵۷

شکل ۴-۸: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۵۰ و عرض ۳۰، همپوشانی

طولی ۲۰ و عرضی ۱۰ و حد آستانه‌گذاری ۲۰. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه ۵۷

شکل ۴-۹: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۱۵۰ و عرض ۳۵، همپوشانی

طولی ۷۰ و عرضی ۱۲ و حد آستانه‌گذاری ۲۵. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه ۵۸

شکل ۴-۱۰: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۲۰۰ و عرض ۳۵، همپوشانی

طولی ۸۰ و عرضی ۱۳ و حد آستانه‌گذاری ۲۰. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه ۵۸

۱- فصل اول:

کلیات

در هر شاخه‌ای از علوم که با برداشت داده سروکار دارد، داده‌های برداشت شده عموماً با انرژی‌های ناخواسته‌ای همراه هستند که به آن‌ها نوفه می‌گویند. یک تضعیف نوفه خوب جواب‌های قابل قبولی را چه در اعمال پردازشی و چه در اعمال تفسیری حاصل می‌نماید. به این منظور روش‌های مختلفی ارائه گردیده است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد.

۱-۲- تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق

روش لرزه‌ای بازتابی یکی از روش‌های مطالعه ساختار زیرسطحی به‌منظور اکتشاف هیدروکربن می‌باشد. سیگنال‌های لرزه‌ای که از زمین بازتاب می‌شوند، حاوی اطلاعات مهمی از لایه‌های زمین می‌باشند. بنابراین کیفیت بالای داده‌ها می‌تواند در استخراج این اطلاعات کمک شایانی کند [Sheriff & Geldart, 1995]. تصویرسازی لرزه‌ای به‌شدت به کیفیت داده‌های لرزه‌ای وابسته‌اند. داده‌های لرزه‌ای خام همواره حاوی انرژی‌های ناخواسته‌ای هستند. از این انرژی‌های ناخواسته و نامطلوب در لرزه‌شناسی به‌عنوان نوفه یاد می‌شود [Yilmaz, 2001]. حضور این نوفه‌ها و تداخل آن‌ها با سیگنال مطلوب باعث تغییر شکل سیگنال اصلی شده و در نهایت باعث تغییر یا از بین رفتن اطلاعات مورد نیاز می‌گردد. نوفه‌های لرزه‌ای متعددی در داده‌های لرزه‌ای دیده می‌شود. به‌منظور کاهش مؤثر اثر نوفه بایستی توجه نمود که تضعیف چه نوع نوفه‌ای نیاز است. نوفه‌ها در حالت کلی به دودسته نوفه همدوس و ناهمدوس دسته‌بندی می‌شوند [Chen et al., 2015]. نوفه‌های همدوس با سیگنال اصلی دارای همبستگی انرژی می‌باشند که این همبستگی یا در حوزه‌ی مکان-زمان و یا در حوزه‌ی زمان، وجود دارد و رفتار آن‌ها در هر رد لرزه قابل پیش‌بینی است [Schlumberger, 2009]. برای نوفه همدوس می‌توان به نوفه‌های زمین‌غلت^۱ اشاره کرد، اما در مقابل نوفه‌های تصادفی شامل نوفه در جهت زمانی می‌باشند و از یک رد لرزه به رد لرزه‌ی دیگری متفاوت است؛ بنابراین از لحاظ

^۱ Ground Roll

انرژی با سیگنال اصلی، همبستگی وجود ندارد و رفتار آن‌ها در رد لرزه‌های مجاور غیرقابل پیش‌بینی است [Schlumberger, 2009]. به همین دلیل به نوفه‌های ناهمدوس نوفه تصادفی نیز گفته می‌شود. تفسیر ساختاری و چینه‌ای مقاطع لرزه‌ای که حاوی کمترین میزان نوفه تصادفی و همدوس می‌باشند، به مراتب راحت‌تر است. با پیشرفت اکتشافات نفتی و گازی ساختارهای زیرسطحی هدف در اکتشاف روزبه‌روز پیچیده‌تر می‌شوند و نیاز به دسترسی به داده‌های باکیفیت‌تر لرزه‌ای بیش‌ازپیش احساس می‌شود. تضعیف این دسته از نوفه‌ها به‌خصوص زمانی که نسبت سیگنال به نوفه پایین باشد، بسیار دشوار می‌باشد. تضعیف نوفه‌های تصادفی از داده‌های لرزه‌ای یکی از مراحل مهم در پردازش می‌باشد که نقش بسزایی در تفسیر داده‌های لرزه‌ای ایفا می‌کند. روش‌های تضعیف نوفه در داده‌های لرزه‌ای در دو حوزه‌ی فیزیکی زمان-مکان و یا حوزه تبدیلی انجام می‌شود. در پردازش سیگنال برای تضعیف نوفه از اختلاف میان سیگنال اصلی و نوفه بهره می‌گیرند که اساس این روش‌ها انتقال سیگنال به حوزه دیگر است که در این حوزه سیگنال و نوفه به‌راحتی از هم قابل تفکیک می‌باشند. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به روشی مثل روش فیلتر $f-k$ اشاره کرد که از انتقال سیگنال به حوزه جدید بهره می‌برد. بنابراین، مطالعه برای روش‌های تضعیف نوفه پراهمیت جلوه می‌کند. علی‌الخصوص که این مهم سبب دسترسی به داده‌هایی باقابلیت اطمینان بالاتر و دقیق‌تر می‌شود که به‌نوبه خود ریسک‌های تفسیری و اکتشافی را نیز کاهش می‌دهد.

۱-۳- پیشینه تحقیق

بهبود نسبت سیگنال به نوفه داده‌های لرزه‌ای یک اصل اجتناب‌ناپذیر در پردازش داده‌های لرزه‌ای جهت به دست آوردن تصاویر باکیفیت می‌باشد. به همین دلیل، روش‌های مختلفی برای کاهش نوفه‌های تصادفی در لرزه‌شناسی معرفی شده است که به‌سرعت در این چندساله توسعه پیدا کرده‌اند. در دهه‌های گذشته روش‌های مختلفی جهت تضعیف نوفه پیشنهاد گردیده است، برای مثال مین^۱ روش

^۱ Mayne

برابارش نقطه میانی مشترک جهت تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای را معرفی نمود که بر اساس میانگین‌گیری از رد لرزه عمل می‌کند و این روش یکی از مراحل پردازشی در داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. نوفه تصادفی رفتار تصادفی دارد به همین دلیل این نوع نوفه غیرقابل پیش‌بینی است. بر طبق این خاصیت نوفه فیلتر پیش‌بینی خطا در حوزه $f-x$ و $t-x$ [Abma & Clearbout, 1995]، واهمامیخت $f-x$ [Gulunay, 2001] ایجاد گردیده است. در سال ۱۹۸۴ Canales برای نخستین بار روش فیلتر پیشگو^۱ (واهمامیخت) در حوزه‌ی زمان-مکان را بر روی داده‌های لرزه‌ای اعمال کرد و این روش به دلیل سهولت استفاده بر روی داده‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و در کارهای صنعتی همچنان از آن استفاده می‌گردد. این روش برای رویدادهای خطی موجود در داده‌های لرزه‌ای نتایج خوبی به همراه دارد که رویدادهای خطی و شبه خطی به‌صورت جمع جبری هارمونیک‌ها مشاهده می‌گردند؛ از طرفی برای رویدادهای حاوی پیچیدگی نتایج به‌دست‌آمده چندان مناسب نیست [Hykin & Van Vin, 2007]. از جمله راه‌های مقابله با وابستگی خطی رویدادها استفاده از واهمامیخت فرکانس-مکان محلی با پنجره‌های کوچک است. با این حال تغییر اندازه طول پنجره در آثار نوفه‌زدایی اثراتی به‌جا می‌گذارد که این اندازه به داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده وابسته است. از جمله دیگر روش‌ها می‌توان به فیلتر پیک زمان-فرکانس [Boashash & Mesbah, 2004; Lui, 2014]، آنالیز طیف تکین^۲ در حوزه مکان فرکانس [Sacchi, 2009; oropozza & et al., 2010]، آنالیز مؤلفه اصلی پایدار حوزه $t-f-x$ [Cheng et al., 2015]، تجزیه مد تجربی^۳ [Bekara, 2009]، فیلتر برداری میانه [Lui, 2013] اشاره نمود. در میان این روش‌ها، تبدیل در حوزه انقباض^۴ نیز برای تضعیف نوفه روشی مؤثر است. این روش‌ها در کل به سه مرحله اصلی تقسیم می‌شوند: (۱) تبدیل داده لرزه‌ای نوفه دار به حوزه تبدیلی، (۲) انقباض به‌وسیله آستانه در حوزه تبدیل‌شده و (۳) بازیابی سیگنال تضعیف نوفه

^۱ Prediction Filter

^۲ Singular Value Decomposition

^۳ Empirical Mode Decomposition

^۴ Shrinkage

شده به وسیله معکوس آن تبدیل. این تبدیل‌ها با انتخاب نوع تبدیل بسیار متنوع‌اند: تبدیل موجک^۱ [Goudarzi, 2012] [Riahi, 2012]، تبدیل زمان فرکانس^۲ [Chen et al., 2015]، تبدیل کمانک^۳ [Candes] [Donoho, 2006]، کانتورلت^۴ [Do & Vetterly, 2005] و تبدیل شیرلت^۵ [Gou & Labate, 2007; Hauser, 2012]. سه روش آخر روش‌های فوق‌العاده مؤثری در تضعیف نوفه می‌باشند، علی‌الخصوص تبدیل کمانک و شیرلت، که در چهارچوب مؤلفه‌های جهتی فعالیت دارند که توانایی تهیه جزییات هندسی بیشتری را دارند. که به تبع آن انتظارات بیشتری را در زمینه‌ی تضعیف نوفه تصاویر لرزه‌ای برآورده می‌کنند.

۱-۴- هدف از انجام این پایان‌نامه

داده‌های لرزه‌ای به وسیله تعداد بسیار زیادی از نوفه‌های همدوس و غیرهمدوس تحت تأثیر قرار می‌گیرند. همان‌طور که گفته شد، مرسوم‌ترین نوع نوفه در داده‌های لرزه‌ای نوفه تصادفی می‌باشد. نوفه ناهمدوس که به صورت نوسان‌های تصادفی در تمام زمان‌ها و فرکانس‌ها تعریف می‌شود، با سیگنال لرزه‌ای غیرهمبسته می‌باشد. نوفه‌ها باعث کاهش نسبت سیگنال به نوفه و تفکیک‌پذیری تصاویر می‌گردند، که به واسطه آن بر روی پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای تأثیرگذارند. لذا، تضعیف نوفه قبل از انجام مراحل پردازشی و تفسیر امری واجب و ضروری است. تضعیف نوفه تصادفی از دو دیدگاه بررسی می‌شود: (۱) جدایی مؤثر سیگنال‌ها و نوفه‌ها و (۲) حفظ سیگنال در لبه‌ها. از آنجایی که هیچ روشی قادر تضعیف تمامی نوفه‌ها نیست و اغلب روش‌ها بر روی سیگنال نیز تأثیر مخرب دارند، لذا یافتن روشی که آسیب کمتری به سیگنال وارد نماید، حائز اهمیت جلوه می‌کند. در این پایان‌نامه، سعی می‌شود که با استفاده از یک تبدیل جدید به نام تبدیل شیرلت عملیات تضعیف نوفه داده‌های

^۱ Wavelet Transform

^۲ Time-Frequency Transform

^۳ Curvelet Transform

^۴ Contourlet Transform

^۵ Shearlet Transform

لرزه‌ای انجام می‌شود.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه دارای پنج فصل می‌باشد. پس از بیان مقدمه، تاریخچه، هدف و ضرورت انجام پایان‌نامه، در فصل دوم مفاهیم کلی سیگنال و نوفه و روش‌های متداول تضعیف نوفه تصادفی مطرح می‌شود. در فصل سوم مروری گذرا به تبدیل‌های زمان-فرکانس متداول تا تبدیل کمانک و همچنین به توضیح مبانی و روش کار تبدیل شیرلت پرداخته می‌شود. در فصل چهارم روش‌های مذکور بر روی داده‌های لرزه‌ای واقعی اعمال می‌شود و نتایج آن‌ها با نتایج یک روش متداول مقایسه می‌شود. در پایان نتایج حاصل از پایان‌نامه و پیشنهادها به دست‌آمده از این تحقیق ارائه می‌شود.

۲- فصل دوم:

مفاهیم کاربردی و برخی روش‌های مرسوم تضعیف نوفه

تصادفی

در این فصل ابتدا به بیان مفاهیم کلی سیگنال و نوفه پرداخته و در ادامه به دسته‌بندی نوفه‌های لرزه‌ای پرداخته می‌شود. در نهایت چند روش مرسوم تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای معرفی می‌گردد.

۲-۲-سیگنال و نوفه

در علم پردازش سیگنال، جهت تضعیف نوفه از اختلاف مشخصات بین سیگنال و نوفه استفاده می‌گردد. غالب روش‌های تضعیف نوفه، داده‌ها را با استفاده از یک تبدیل به حوزه‌ای که نمایش بهتری از مرز تفکیک سیگنال و نوفه را ارائه دهند، انتقال داده می‌دهند و با شناسایی نوفه و صفر کردن ضرایب آن‌ها و برگردان داده اصلاح‌شده به حوزه اول، سیگنال بدون نوفه را بازیابی می‌کنند. برای این منظور، درک درست از سیگنال و نوفه و اختلاف بین آن‌ها الزامی است.

۲-۲-۱-سیگنال

سیگنال تابعی از یک یا چند متغیر مستقل است که اطلاعاتی درباره رفتار فیزیکی یک سیستم را دارا می‌باشد [Oppenheim et al., 1997]. مفهوم سیگنال را می‌توان برای توصیف انواع پدیده‌های فیزیکی به کار گرفت. بسته به اینکه ماهیت ویژگی مورد مطالعه چگونه باشد، می‌توان تعاریف مختلفی از سیگنال داشت. به‌عنوان نمونه سیگنال تصویری، سیگنال صوتی، سیگنال مکانیکی، سیگنال الکتریکی و همین‌طور سیگنال لرزه‌ای از دسته مهم سیگنال‌ها می‌باشد.

ارائه یک تعریف دقیق از سیگنال لرزه‌ای دشوار است، به این دلیل که مرز بین سیگنال و نوفه به‌شدت به تحلیل پردازشگر از مسئله بستگی دارد. به‌طور کلی، در لرزه‌شناسی اکتشافی، کلمه سیگنال به هر رویدادی در رد لرزه‌ها اطلاق می‌شود که از آن اطلاعاتی استخراج گردد [Telford et al., 1990]. سیگنال لرزه‌ای می‌تواند شامل بازتاب از مرز دو لایه با خواص الاستیکی متفاوت، امواج شکست مرزی در مطالعات لرزه‌نگاری مهندسی و حتی برخی پراش‌های خاص که می‌توانند برای تشخیص موقعیت

برخی رخساره‌های زیرسطحی کمک کند، باشد. حتی در بعضی از مطالعات مهندسی، امواج سطحی و زمین‌غلت به‌عنوان سیگنال در نظر گرفته می‌شود و از مطالعه پاشش آن‌ها، اطلاعاتی در رابطه با سرعت موج S به دست می‌آورند.

۲-۲-۲-نوفه

در لرزه‌نگاری بازتابی به هر سیگنال به غیر از امواج بازتابی که توسط گیرنده دریافت می‌شود، سیگنال غیرواقعی، نوفه و یا امواج مزاحم گفته می‌شود [Telford et al., 1990]. این سیگنال‌ها در داده‌برداری لرزه‌ای بازتابی ایجاد مزاحمت می‌کنند و باعث نزول کیفیت مقطع لرزه‌ای می‌شوند.

به سیگنال‌های لرزه‌ای کاذب ناشی از حرکت زمین، که ربطی به بازتابنده‌ها ندارند نوفه می‌گویند

[Dobrin & Savit, 1988].

نسبت سیگنال به نوفه که به‌اختصار به صورت S/N نمایش داده می‌شود برابر نسبت انرژی سیگنال دربخش معینی از رد لرزه به کل انرژی نوفه در همان بخش است. کوچک بودن نسبت سیگنال به نوفه نشانه‌ای از پایین بودن کیفیت داده‌است. به‌طور کلی اگر S/N کوچک‌تر از واحد باشد، کیفیت رد لرزه در حد مرزی است و با کاهش بیشتر این نسبت، کیفیت مقطع لرزه‌ای به‌شدت افت می‌کند.

نوفه‌های لرزه‌ای در حالت کلی از لحاظ همبستگی انرژی آن‌ها با انرژی سیگنال اصلی به دو دسته

نوفه‌های همدوس و نوفه‌های ناهمدوس تقسیم می‌شوند [Sheriff & Geldart, 1995; Yilmaz, 2001].

۲-۲-۳-نوفه ناهمدوس

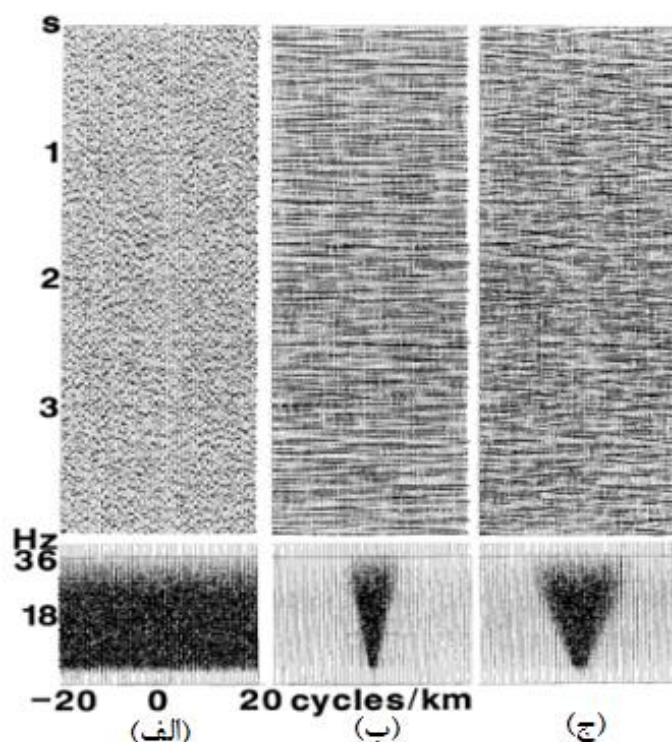
این نوع از نوفه‌ها از لحاظ انرژی با سیگنال اصلی همبستگی ندارند. درواقع فاز نوفه در رد

لرزه‌های مجاور مستقل است و رفتاری غیر قابل پیش‌بینی دارد. از این رو به آن‌ها، نوفه‌های تصادفی

نیز گفته می‌شود. این دسته از نوفه‌ها به‌صورت نوسان‌های تصادفی در تمام زمان‌ها و فرکانس‌ها

مشاهده می‌شوند. در یک عملیات لرزه‌نگاری خشکی، نوفه تصادفی از طریق عواملی چون تجهیزات برداشت، وسایل نقلیه، باد، خطوط برق فشارقوی، حرکت حیوانات و همچنین عبور و مرور افرادی که در حال کار هستند، ایجاد می‌شود [Oropoza, 2010]. در یک عملیات لرزه‌نگاری دریایی، نوفه تصادفی می‌تواند از طریق عواملی چون قایق‌های عبوری در منطقه محل برداشت داده (این نوع نوفه می‌تواند حتی از صدها کیلومتر دورتر برسد)، امواج آب و ... ایجاد شود [Oropoza, 2010]. همچنین داده‌های دریایی که در شرایط بد آب و هوایی برداشت می‌شوند، دارای کیفیت پایین‌تری نسبت به داده‌هایی است که در شرایط مطلوب آب و هوایی برداشت می‌شوند. البته باید به این نکته توجه داشت که برداشت داده بدون نوفه تقریباً غیرممکن است. تمام تلاش‌ها در مراحل برداشت داده و نیز پردازش، ارتقای کیفیت داده‌های برداشت‌شده و مقابله با نوفه‌ها است.

روش‌های زیادی برای تضعیف این نوفه وجود دارد که از جمله فیلتر پیش‌گو [Canales, 1984] و فیلتر غیرخطی پیش‌گو [Gulunay, 2000] را می‌توان نام برد. برای تضعیف نوفه ناهمدوس فرض می‌شود که مجموع دامنه‌های نوفه ناهمدوس صفر است [Yilmaz, 2001]. شکل ۱-۲ یک رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک (CMP) همراه با نوفه تصادفی و تضعیف آن با استفاده از فیلتر فرکانس-عدد موج با ناحیه رانش متفاوت را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱. (الف) یک رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک (CMP) همراه با نوفه تصادفی باند فرکانسی محدود که از یک رد لرزه به رد لرزه دیگر تغییر می‌کند. (ب و ج) همان مقطع پس از تضعیف نوفه تصادفی با فیلتر فرکانس-عدد موج. در زیر هر شکل طیف فرکانس-عدد موج هر رکورد رسم شده است [Yilmaz, 2001].

۲-۲-۴-نوفه همدوس

این دسته از نوفه‌ها که به آن‌ها نوفه‌های منظم نیز گفته می‌شود، دارای روند مشخصی می‌باشند و در داده لرزه‌ای به صورت سیگنال مشاهده می‌شوند. انرژی نوفه‌های همدوس یا فقط در حوزه‌ی زمان، یا در هر دو حوزه زمان و مکان با انرژی سیگنال همبستگی دارد. در واقع رفتار آن‌ها از هر رد لرزه به رد لرزه‌ی دیگر قابل پیش‌بینی است [Schlumberger, 2009]. به همین دلیل به دو دسته نوفه‌های همدوس مکانی و زمانی تقسیم می‌شوند. نوفه‌های همدوس مکانی مانند امواج زمین‌غلت، بازتاب‌های تکراری^۱، امواج هوا^۲، پراکنش‌های کناری^۳ و امواج هدایت‌شده^۴ هستند که هم در راستای زمان و هم در راستای مکان با سیگنال بازتابی همبسته هستند و به آن نوفه چشمه هم گفته می‌شود. نوفه

^۱ Multiples

^۲ Air Waves

^۳ Side-Scattered noise

^۴ Guided waves

همدوس مکانی خود به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می‌شود. نوفه همدوس مکانی خطی به دلیل اینکه در رکوردهای چشمه مشترک به صورت خطی قابل مشاهده هستند، به این صورت نام گذاری شده‌اند [Oropoza, 2010]. امواج زمین‌غلت، امواج هوا، پراکنش‌های کناری و امواج راهنما جزء نوفه‌های همدوس مکانی خطی می‌باشند. دسته دوم نوفه همدوس مکانی غیرخطی نام‌گذاری شده‌اند. چندگانه‌ها و امواج شبیح نمونه‌هایی از این دسته هستند.

در مورد نوفه همدوس زمانی باید خاطر نشان کرد که این نوع نوفه توسط چشمه‌های لرزه‌ای تولید نمی‌شود و فقط در راستای زمان همبسته هستند. نمونه بارز آن ردلرزه‌هایی هستند که تمام یا بخش بزرگی از آن‌ها با نوفه دامنه بالا آلوده و تخریب می‌شوند [Oropoza, 2010]. مانند ردلرزه‌ای که بر اثر نوفه‌های ترافیکی و خطوط انتقال برق فشار قوی آلوده شده‌اند.

روش‌هایی که تاکنون جهت تضعیف نوفه در داده‌های لرزه‌ای بررسی شد، روش‌های حوزه زمان-مکان یا فرکانس-مکان بودند. سیگنال از لحاظ تغییر محتوای فرکانسی متغیر با زمان به دودسته پایا و ناپایا تقسیم می‌شوند. سیگنال پایا همان‌گونه که از اسم آن مشخص است، نوعی از سیگنال‌ها هستند که محتوای فرکانسی آن‌ها با گذشت زمان ثابت می‌ماند. سیگنال‌های ناپایا در طرف مقابل؛ به سیگنال‌هایی خطاب می‌شود که محتوای فرکانسی آن‌ها نسبت به زمان متغیر است. عملکرد زمین به‌عنوان فیلتری پایین‌گذر سبب تغییر محتوای فرکانسی سیگنال‌های لرزه‌ای با انتشار در داخل زمین می‌گردد که این علت اصلی ناپایا بودن داده‌های لرزه‌ای است. نمایش حوزه زمان و فرکانس دو طریقه نمایش کلاسیک سیگنال‌ها می‌باشد. سیگنال‌های لرزه‌ای اغلب تابع زمان‌اند و در این حوزه در هنگام ترسیم سیگنال، دامنه مقادیر مختلف سیگنال برحسب زمان رسم می‌گردد. با این حال تمامی اطلاعات مورد نیاز در این حوزه قابل دستیابی نیست. به همین جهت برای حصول اطلاعات کامل‌تر و بهتر، مطالعه سیگنال در یک نمایش دیگر مفید واقع می‌شود که این مهم با بسط سیگنال به‌وسیله مجموعه‌ای کامل از توابع قابلیت انجام را دارا می‌باشد. از منظر ریاضیات، راه‌های بسیار زیادی جهت

انجام این کار وجود دارد. آنچه یک نمایش خاص را پراهمیت جلوه می‌دهد، آن دسته از ویژگی‌های سیگنال است که در آن حوزه قابلیت درک بهتری داشته باشند. پس، هدف از اعمال تبدیل ریاضی بر سیگنال به دست آوردن اطلاعات اضافی یا پنهان در سیگنال می‌باشد. در کنار زمان، فرکانس مهم‌ترین حوزه جهت نمایش سیگنال است؛ چون بسیاری از اطلاعات سودمند در محتوای فرکانسی یک سیگنال نهفته است. معادلات ریاضی در حوزه فرکانس به وسیله فوریه ارائه گردید، به همین خاطر به آن طیف فوریه نیز گفته می‌شود. جهت سنجش محتوای فرکانسی یک سیگنال از تبدیل فوریه استفاده می‌گردد. اما به علت اینکه سیگنال‌های لرزه‌ای اغلب ناپایا می‌باشند، تبدیل فوریه در تحلیل این سیگنال‌ها بازده خوبی ندارد. به همین علت در حوزه زمان و فرکانس به تنهایی اطلاعات سیگنال قابل استخراج نیست. از آنجایی که این دو حوزه قابل جمع نیستند، دسترسی به اطلاعات زمانی و فرکانسی به صورت هم‌زمان امکان‌پذیر نیست. لذا نمایشی مناسب از تغییرات محتوای فرکانسی سیگنال با زمان به دست نمی‌آید. به منظور رفع این مسائل حوزه‌ای که امکان نمایش هم‌زمان اطلاعات زمانی و فرکانسی را داشته باشد ارائه گردید؛ که به نام حوزه زمان-فرکانس شناخته می‌شود. سیگنال‌های لرزه‌ای بهترین نمایش را در حوزه زمان-فرکانس به سبب توزیع مناسب انرژی سیگنال در صفحه زمان-فرکانس دارا می‌باشند. در چند دهه اخیر انواع متنوعی از این تبدیل‌ها ارائه شده‌اند که تبدیل‌های زمان-فرکانس نامیده می‌شوند و به طور وسیعی در حوزه پردازش سیگنال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین این تبدیل‌ها می‌توان به تبدیل فوریه زمان کوتاه^۱ اشاره کرد [Gabor, 1946]. اندکی بعد با بهبود این تبدیل به تبدیل موجک دست یافتند که کارایی بسیار زیادی در پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای دارد. از جمله دیگر تبدیل‌های زمان-فرکانس می‌توان به تبدیل S اشاره نمود. هر کدام از تبدیل‌های معرفی گردیده دارای مزایا و معایبی می‌باشند. برای مثال، اصل عدم قطعیت در تبدیل فوریه زمان کوتاه یا همان وابستگی قدرت تفکیک تبدیل فوریه زمان کوتاه به طول پنجره از ضعف‌های این تبدیل محسوب می‌شود. روش‌های زمان-فرکانس را می‌توان به دودسته‌ی

^۱ Short Time Fourier Transform

خطی و درجه دوم تقسیم نمود. تبدیل‌های خطی دارای پیچیدگی‌های محاسباتی کم، ولی دارای قدرت تفکیک پایین در نظر گرفت؛ درحالی‌که تبدیل‌های درجه دوم دارای قدرت تفکیک به‌مراتب بالاتری هستند. دستیابی به تبدیل‌هایی که توانایی نمایش جزئیات دقیق توزیع انرژی را داشته باشند، امری است به‌مراتب مهم که بایستی مورد توجه واقع گردد. از طرفی دیگر تضعیف نوفه‌ها در داده‌های لرزه‌ای که بر مبنای اختلاف انرژی در صفحه زمان-فرکانس می‌باشد، نیازمند اطلاعات دقیق زمانی و فرکانسی است. از نتایج این‌گونه نیازمندی‌ها در پردازش سیگنال‌ها، اهمیت تبدیلی که قدرت تفکیک بالایی را داشته باشد را امری ضروری جلوه می‌دهد.

در ادامه، به توصیف روش‌های تضعیف نوفه‌های تصادفی در حوزه زمان-فرکانس پرداخته می‌شود. از جمله این تبدیل‌ها تبدیل موجک گسسته و پیوسته است. تبدیل موجک ابزاری مؤثر در تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای قلمداد می‌شود. تبدیل موجک گسسته به‌منظور تضعیف نوفه‌های تصادفی و زمین‌غلت و امواج سر^۱ پیشنهاد شد [Miao & Cheadle, 1998]. تبدیل موجک نسل دوم^۲ را برای تضعیف نوفه‌های تصادفی ارائه دادند [Cao & Chen, 2005]. مدتی بعد روشی تحت عنوان تبدیل موجک پیوسته و گسسته برای تضعیف نوفه یک رد لرزه دورافت صفر قائم^۳ (VSP) پیشنهاد گردید [Ouadfeul & Aliouane, 2013]. یک روش متداول برای استفاده از تبدیل موجک در تضعیف نوفه استفاده از آستانه گذاری برای تضعیف نوفه تصادفی می‌باشد. آستانه گذاری به دو نوع نرم^۴ و سخت^۵ تقسیم می‌شود. برای تضعیف نوفه در پردازش سیگنال‌ها از آستانه‌گذاری نرم استفاده شد [Donoho, 1996]. تعیین مقدار آستانه در روش وی امری بسیار مهم بوده که او برای تعیین این آستانه از مفهوم میانه استفاده کرد.

^۱ Head wave

^۲ Second Generation Wavelet Transform

^۳ Vertical Zero Offset

^۴ Soft Thresholding

^۵ Hard Thresholding

فیلتر قله زمان-فرکانس^۱ مدتی بعد مطرح گردید [Boashash, 2004]. این روش سیگنال نوفه‌دار را به صورت سیگنال تحلیلی کدگذاری می‌کند. بعد از آن توزیع زمان-فرکانس آن محاسبه گردیده و در انتها با انتخاب بیشینه فرکانس توزیع زمان-فرکانس آن، سیگنال تمیز حاصل می‌شود. از تبدیل‌های مختلفی برای این روش می‌توان بهره گرفت که خود بواشاش از توزیع ویگنر-ویل استفاده کرد و به وسیله آن سیگنال ناپایا را از نوفه تصادفی با کمک مدوله کردن فرکانس و تخمین فرکانس لحظه‌ای، با در نظر گرفتن بیشینه توزیع زمان-فرکانس بهبود داد. در سال‌های اخیر از این روش به طور موفقیت‌آمیزی در داده‌های لرزه‌ای استفاده گردیده است. اما این روش نیز محدودیت‌هایی دارد. از جمله این محدودیت‌ها فیلتر بیشینه زمان-فرکانس معمول برای تمامی فرکانس‌های یک سیگنال تنها یک پنجره با طول ثابتی را در نظر می‌گرفت؛ در حالی که سیگنال‌هایی با فرکانس‌های متفاوت پنجره‌هایی را با طول متفاوت نیازمندند. تبدیل رد لرزه شعاعی فیلتر بیشینه زمان-فرکانس (RT- TFPF) را ارائه an که بر مبنای استفاده از تبدیل شعاعی رد لرزه است.

از طرفی هرچه یک تبدیل نمایش تنک‌تری^۲ را ارائه دهد، امکان بررسی آن تبدیل نیز به مراتب بیشتر می‌شود؛ به همین جهت تضعیف نوفه تصادفی با استفاده از تبدیل‌های تنک مبنای، پرکاربردترین روش‌های تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای می‌باشند. در این روش‌ها فرض بر این است که داده‌های لرزه‌ای در یک حوزه تبدیلی، تنک می‌باشند. تعدادی از این تبدیل‌ها که برای تضعیف نوفه در داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: تبدیل موجک، تبدیل ریجالت^۳، تبدیل کمانک، تبدیل کانتورلت، تبدیل شیرلت و تبدیل سائزلت^۴ که در فصل سوم به مزایا و معایب این روش‌ها پرداخته می‌شود.

^۱ Time-Frequency Peak Filtering

^۲ Sparse

^۳ Ridgelet Transform

^۴ Seislet Transform

۳- فصل سوم:

ابزار و روش تحقیق

ایده نمایش یک تابع برحسب مجموعه کاملی از توابع پایه، اولین بار توسط فوریه^۱ (۱۸۸۲)، ریاضیدان و فیزیکدان فرانسوی طی رساله‌ای در آکادمی علوم راجع به انتشار حرارت، برای نمایش توابع به کار گرفته شد. در واقع برای آن که یک تابع $f(x)$ به شیوه‌ای ساده و فشرده نمایش داده شود، فوریه ثابت کرد که می‌توان از محورهای استفاده کرد که به کمک مجموعه‌ای نامتناهی از توابع سینوسی ساخته شوند. به عبارت دیگر فوریه نشان داد که یک تابع $f(x)$ را می‌توان به وسیله حاصل جمع بی‌نهایت تابع سینوسی و کسینوسی نمایش داد. پایه‌های فوریه به صورت ابزارهایی اساسی با کاربردهایی فوق‌العاده مؤثر در علوم درآمده‌اند، زیرا برای نمایش انواع متعددی از توابع و در نتیجه کمیت‌های فیزیکی فراوان به کار می‌روند. با گذشت زمان، ضعف پایه‌های فوریه نمایان شد، به عنوان مثال دانشمندان پی بردند که پایه‌های فوریه و نمایش توابع سینوس‌وار در مورد سیگنال‌های پیچیده نظیر تصاویر، نه تنها ایده‌آل نیستند بلکه از شرایط مطلوب دورند و به شکل کارآمدی قادر به نمایش ساختارهای گذرا نظیر مرزهای موجود در تصاویر نیستند. همچنین آن‌ها متوجه شدند که تبدیل فوریه فقط برای توابع پایا مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای توابع غیر پایا کارآمد نیست.

ریاضیدانان به قصد تحلیل ساختارهای تکین^۲ به فکر اصلاح پایه‌های فوریه افتادند و بعد از متوجه شدن که پایه‌های فوریه بهترین ابزار ممکن در اکتشافات زیرزمین نیستند [Morelet, 1970]، این موضوع در آزمایشگاهی متعلق به الف آلکین^۳ منجر به اکتشاف موجک‌ها گردید.

نخستین پایه‌های موجکی متعامد در سال ۱۹۸۰ کشف شد [Meer, 1980] (تعامد نوعی از ویژگی‌ها را بیان می‌کند که موجب تسهیلات فراوانی در استدلال و محاسبه می‌شود، پایه‌های فوریه نیز متعامدند). مفهوم موجک و تبدیل موجک به عنوان یک ابزار برای آنالیز

^۱ Fourier

^۲ Singular Value Decomposition

^۳ Alph Alkin

سیگنال زمین‌لرزه معرفی گردید [Morelet, 1982] و [Grossman, 1985] فیزیکدان نظری فرانسه نیز معکوس تبدیل را برای تبدیل موجک به دست آورد.

در ۱۹۸۷ از پایه‌های موجک متعامد توانستند آنالیز چند تفکیکی را بسازند [Meer & Malat, 1987] و تجزیه موجک‌ها و الگوریتم‌های بازسازی را با به‌کارگیری آنالیز چند تفکیکی به وجود آورده شد [Malat, 1989]. سپس موجک‌ها را به فضای دوبعدی و سپس به فضاهایی با ابعاد دیگر گسترش دادند و بدین ترتیب بود که آنالیز موجکی پایه‌گذاری گردید [Morenzi & Antoine, 1990].

تبدیل‌های ریاضی برای به دست آوردن اطلاعات اضافی از سیگنال‌ها (که از خود سیگنال قابل‌دستیابی نیستند) استفاده می‌شوند. برای پردازش سیگنال، تبدیل‌های ریاضی زیادی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که در میان آن‌ها تبدیل فوریه مشهورترین به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر تبدیل موجک به‌عنوان یکی از تبدیل‌های ریاضی کارآمد در زمینه‌ی پردازش سیگنال معرفی شده است.

بسیاری از سیگنال‌های مورد مطالعه در شاخه‌های متفاوت علمی و مهندسی، سیگنال‌های حوزه زمان هستند. به این معنی که آنچه سیگنال نشان می‌دهد، تابعی از زمان می‌باشد. معمولاً لفظ سیگنال تنها به توابع حوزه زمان (مانند رکورد یک زلزله یا یک رد لرزه) گفته می‌شود. در حالی که می‌توان پاسخ‌های حوزه مکان را نیز سیگنال نامید. مثلاً رد لرزه ثبت شده از یک برداشت چاه پیمایی، حوزه مکان به حساب می‌آید.

در یک نگاه کلی هدف از اعمال یک تبدیل ریاضی بر یک سیگنال، به دست آوردن اطلاعات اضافی است که در سیگنال خام اولیه قابل دسترس نیست. در بسیاری موارد اطلاعات سودمند سیگنال در محتوای فرکانسی آن نهفته است که به آن طیف سیگنال می‌گویند. به بیان دیگر طیف یک سیگنال نشان‌دهنده فرکانس‌های موجود در آن سیگنال می‌باشد.

۳-۲- تبدیل فوریه

تبدیل فوریه سیگنال را به توابع نمایی مختلط (توابع سینوس و کسینوس) تجزیه می‌کند و سیگنال را با استفاده از رابطه (۳-۱) از حوزه زمان به حوزه فرکانس می‌برد [Proakis & Manalokis, 1996].

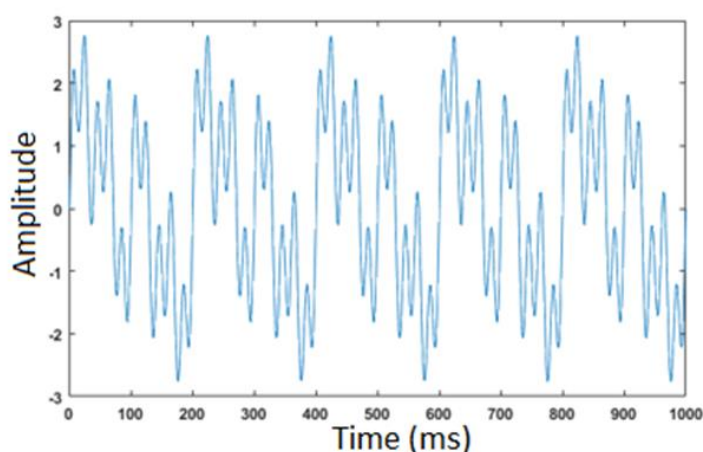
$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-2j\pi ft} dt \quad (۳-۱)$$

رابطه (۳-۱) تبدیل فوریه سیگنال پیوسته $x(t)$ را نشان می‌دهد که در آن f فرکانس و t زمان می‌باشد. حدود انتگرال در رابطه (۳-۱) بین $-\infty$ تا $+\infty$ می‌باشد، این نشان می‌دهد که یک فرکانس غالب، صرف‌نظر از اینکه در چه زمان‌هایی در سیگنال ظاهر شود، حاصل انتگرال را به یک‌میزان تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نکته ناکارآمدی تبدیل فوریه را در آنالیز سیگنال‌هایی که فرکانس متغیر دارند، نشان می‌دهد. این‌گونه سیگنال‌ها در اصطلاح ناپایا نامیده می‌شوند [Gabor, 1948; Polikar, 2001]. تبدیل فوریه تنها بیان‌کننده این است که فرکانس f در سیگنال موردنظر وجود دارد یا خیر، اما هیچ نوع اطلاعاتی در مورد بازه زمانی متناظر با پدیداری آن فرکانس در اختیار نمی‌گذارد. لذا توجه به پایا بودن یا نبودن سیگنال، پیش از انجام آنالیز فوریه الزامی است.

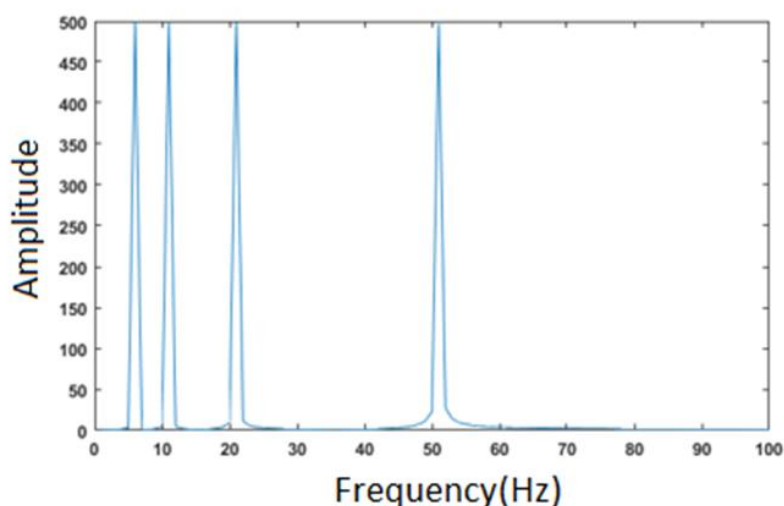
به‌منظور روشن‌تر شدن موضوع، دو سیگنال $x_1(t)$ و $x_2(t)$ مفروض است. سیگنال $x_1(t)$ حاصل جمع چهار سیگنال سینوسی با فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز مطابق رابطه (۳-۲) می‌باشد که در تمام زمان‌ها حضور دارند.

$$x_1(t) = \sin(10\pi t) + \sin(20\pi t) + \sin(40\pi t) + \sin(100\pi t) \quad (۳-۲)$$

شکل ۳-۱ سیگنال $x_1(t)$ و شکل ۳-۲، طیف دامنه آن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در طیف دامنه سیگنال $x_1(t)$ در فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز یک قله مشاهده می‌شود که نشان از حضور فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز در سیگنال $x_1(t)$ می‌باشد.

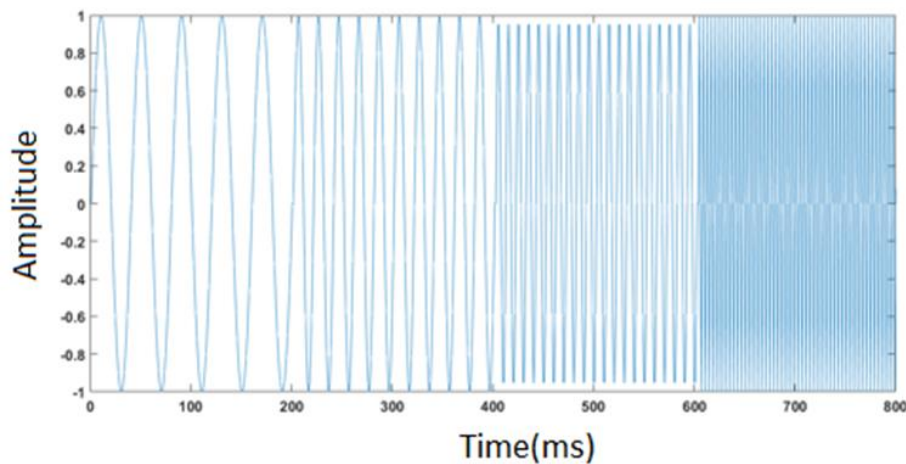


شکل ۳-۱. سیگنال پایا با فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز.

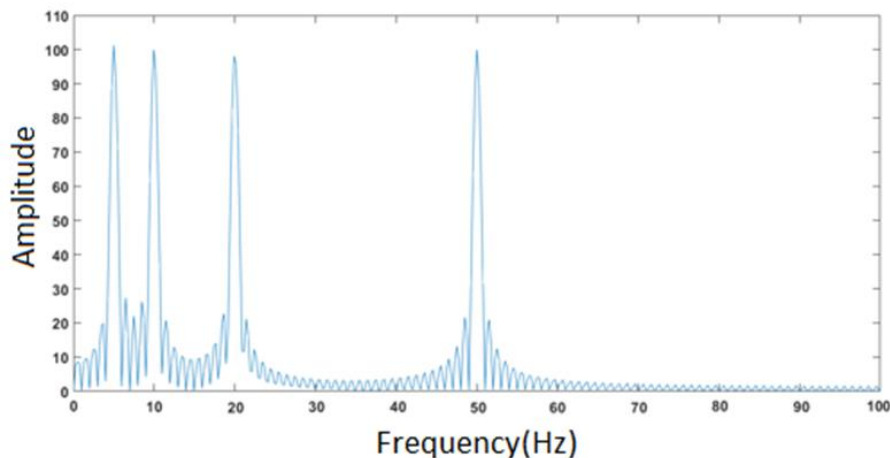


شکل ۳-۲. طیف دامنه سیگنال شکل ۳-۱

سیگنال $x_2(t)$ از پشت سر هم قرار گرفتن سیگنال‌های سینوسی با فرکانس‌های به ترتیب ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز ایجاد شده است. شکل ۳-۳ سیگنال $x_2(t)$ و شکل ۳-۴، طیف دامنه آن را نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود، طیف دامنه دو سیگنال دارای قله‌هایی تقریباً مشابه هستند و حضور فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز را در هر دو سیگنال نشان می‌دهند و هیچ‌گونه اطلاعات زمانی در اختیار قرار نمی‌دهند. لذا تبدیل فوریه ابزار مناسبی برای تمایز بین این دو سیگنال نیست. بنابراین باید تبدیل‌هایی را مورد استفاده قرار داد که به نوعی اطلاعات زمانی را برکنار اطلاعات فرکانسی به طور هم‌زمان داشته باشد. اولین تلاش در این زمینه منجر به معرفی تبدیل فوریه زمان کوتاه گردید [Gabor, 1948].



شکل ۳-۳. سیگنال ناپایا با فرکانس‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ هرتز در زمان‌های متفاوت.



شکل ۳-۴. طیف دامنه سیگنال شکل ۳-۳.

۳-۳- تبدیل فوریه زمان کوتاه^۱ (*STFT*)

مهم‌ترین ضعف تبدیل فوریه در آنالیز سیگنال ناپایا می‌باشد. برای رفع این مشکل، تبدیل فوریه زمان کوتاه ارائه شد. در این حالت سیگنال به بخش‌هایی به اندازه کافی کوچک تقسیم می‌گردد به طوری که بتوان هر یک از این بخش‌ها را پایا فرض کرد. سپس تبدیل فوریه در هر بازه (پنجره) به طور جداگانه انجام و نتایج به ترتیب مجاور هم قرار داده می‌شوند. این نکته در شکل ۳-۳ نیز به وضوح دیده می‌شود، چرا که به وضوح این سیگنال ناپایا در هر بازه $0/2$ ثانیه‌ای پایا است. حاصل این تبدیل، سیگنال ورودی را در دو بعد زمان و فرکانس نشان می‌دهد و این روش می‌تواند اطلاعاتی را

^۱ Short Time Fourier Transform

راجع به اینکه در چه زمانی کدام فرکانس‌ها ثبت شده‌اند، بدهد. از نظر ریاضی تبدیل فوریه زمان کوتاه به صورت رابطه (۳-۳) نمایش داده می‌شود.

$$STFT_x(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\omega^*(t - \tau)e^{-2j\pi ft} dt \quad (3-3)$$

در رابطه بالا $\omega(t)$ تابع پنجره و τ مقدار جابجایی پنجره در هر مرحله است. در حقیقت، تبدیل فوریه زمان کوتاه، همان تبدیل فوریه سیگنال پنجره شده است. با شروع از ابتدای سیگنال، تابع پنجره در سیگنال ضرب شده و سپس تبدیل فوریه این سیگنال پنجره شده محاسبه می‌گردد، در گام بعد پنجره به میزان τ انتقال می‌یابد و روند قبل مجدداً تکرار می‌شود. شکل ۳-۵ مفهوم تبدیل فوریه زمان کوتاه را به خوبی نمایش می‌دهد. معمولاً در عمل به هنگام اجرای تبدیل فوریه زمان کوتاه، طول پنجره زمانی انتخاب شده برای تمام طول سیگنال یکسان است. همان‌طور که در شکل ۳-۵ ملاحظه می‌شود، قدرت تفکیک زمان-فرکانس در کل صفحه زمان-فرکانس تغییر نکرده است و این ضعف اصلی تبدیل فوریه زمان کوتاه است [Louise & Rieder, 1997].



شکل ۳-۵. عملکرد تبدیل فوریه زمان کوتاه

در تبدیل فوریه، مشکلی در تفکیک‌پذیری فرکانسی وجود ندارد. به‌طور مشابه، در حوزه زمان نیز مشکلی در تفکیک‌پذیری زمانی وجود ندارد. آنچه باعث می‌شود در حوزه فرکانس بهترین تفکیک-پذیری فرکانسی وجود داشته باشد، هسته نمایی $e^{-2j\pi ft}$ است که در تمام زمان‌ها، از $-\infty$ تا $+\infty$ حضور دارد. حال آن‌که در تبدیل فوریه زمان کوتاه طول پنجره مورد استفاده متناهی است که سبب کاهش تفکیک‌پذیری فرکانسی می‌گردد [Malat, 2009]. به‌عبارت‌دیگر، در تبدیل فوریه زمان کوتاه، موقعیت زمانی دقیق مؤلفه فرکانسی در دسترس نیست، بلکه مطابق شکل ۳-۵ اطلاعات یک باند

فرکانسی در یک محدوده زمانی در دسترس می‌باشد. لذا به دلیل محدود بودن طول پنجره، تفکیک-پذیری فرکانسی تبدیل فوریه زمان کوتاه بهترین خواهد بود [Polikar, 2001; Boashash, 2003]. با انتخاب پنجره زمانی بزرگ، تفکیک‌پذیری فرکانسی افزایش می‌یابد. حال آنکه تفکیک‌پذیری زمانی یک پنجره بزرگ کم است. در مقابل، با انتخاب پنجره زمانی کوچک، تفکیک‌پذیری زمانی مناسب می‌باشد، اما تفکیک‌پذیری فرکانسی نامناسب خواهد بود. از آنجاکه پنجره به کاررفته در محاسبه تبدیل فوریه زمان کوتاه ثابت است، لذا برحسب سیگنال مورد تحلیل، بایستی نوعی مصالحه بین تفکیک‌پذیری زمانی و فرکانسی برقرار باشد، زیرا نمی‌توان هم‌زمان برای هر دو تفکیک‌پذیری مقدار مناسب در نظر گرفت.

مشکل تفکیک‌پذیری ثابت در تبدیل فوریه زمان کوتاه ریشه در اصل عدم قطعیت هایزنبرگ دارد [Polikar, 2001; Malat, 1989]. طبق این اصل نمی‌توان توصیف زمان-فرکانس یک سیگنال را به‌طور دقیق داشت، یعنی نمی‌توان فهمید که در یک سیگنال به‌طور دقیق چه مؤلفه‌های فرکانسی در چه زمان‌هایی وجود دارد، بلکه تنها می‌توان فهمید که در کدام بازه‌های زمانی، چه باند فرکانسی موجود است. این اصل به‌طور مستقیم به مفهوم تفکیک‌پذیری برمی‌گردد و به دلیل پنجره مورد استفاده ایجاد می‌شود. اگرچه مشکلات تفکیک‌پذیری زمان و فرکانس در نتیجه یک پدیده فیزیکی (اصل عدم قطعیت هایزنبرگ) بوده و ربطی به نوع تبدیل مورد استفاده ندارد، می‌توان از یک رویکرد جایگزین برای تحلیل سیگنال‌ها استفاده نمود که اصطلاحاً آنالیز تفکیک چندگانه نامیده می‌شود [Polikar, 2001; Malat, 1989] که سنگ بنای تبدیل موجک می‌باشد.

۳-۴- تبدیل موجک

منظور از آنالیز تفکیک چندگانه، تحلیل سیگنال در فرکانس‌های مختلف با تفکیک‌پذیری‌های متفاوت است. بدین ترتیب، برخلاف تبدیل فوریه زمان کوتاه، در آنالیز تفکیک چندگانه، با هر یک از مؤلفه‌های فرکانسی به‌طور یکسان رفتار نمی‌شود. در حقیقت هدف آنالیز تفکیک چندگانه، ارائه

تفکیک‌پذیری زمانی مناسب و تفکیک‌پذیری فرکانسی نادقیق در فرکانس‌های بالا و در مقابل، تفکیک-پذیری فرکانسی خوب و تفکیک‌پذیری زمانی ضعیف در فرکانس‌های پایین است. این رویکرد به‌ویژه در کاربردهایی که سیگنال مورد تحلیل دارای مؤلفه‌های فرکانس بالا در مدت‌زمان کوتاه بوده و مؤلفه‌های فرکانس پایین آن‌ها برای بازه‌های بلند زمانی باقی می‌مانند، مفید می‌باشد.

تئوری موجک برای غلبه بر مشکلات تبدیل فوریه زمان کوتاه ارائه گردیده است. در این روش، مسئله تقسیم سیگنال به بخش‌های مختلف، با استفاده از مقیاس‌گذاری و انتقال دادن یک تابع حل می‌شود.

تبدیل موجک یک تبدیل خطی است که هدف از آن انتقال سیگنال از حوزه زمان به حوزه زمان-مقیاس می‌باشد. ویژگی اصلی تبدیل موجک در مقابل تبدیل فوریه زمان کوتاه این است که تمامی توابع پایه از انتقال و مقیاس یک تابع به نام موجک مادر به دست می‌آیند. یک موجک در حکم تابعی تعریف می‌شود که میانگین صفر دارد و هم در زمان و هم در فرکانس متمرکز است.

همان‌طور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، موج یک تابع نوسانی در زمان یا مکان می‌باشد درحالی‌که موجک شکلی از موج است با انرژی محدود و مقدار متوسط صفر. بنابراین در تبدیل فوریه و تبدیل فوریه زمان کوتاه از موج برای آنالیز سیگنال استفاده می‌شود درحالی‌که در تبدیل موجک از موجک برای آنالیز سیگنال استفاده می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، در تبدیل فوریه زمان کوتاه از یک پنجره زمانی از پیش تعیین شده استفاده می‌شود که این امر باعث تفکیک‌پذیری ثابت در صفحه زمان-فرکانس می‌شود. به دلیل طبیعت ناپایای سیگنال لرزه‌ای، فرکانس با زمان تغییر می‌کند، بنابراین یک پنجره با طول متغیر با زمان نیاز است



شکل ۳-۶. سمت چپ نمای یک موج (سینوسی) و سمت راست نمای یک موجک است [Fogal, 2009]

۳-۴-۱- تبدیل موجک پیوسته^۱ (CWT)

تبدیل موجک پیوسته به عنوان روش جایگزین برای تبدیل فوریه زمان کوتاه ارائه گردید و هدف آن فائق آمدن بر مشکلات مربوط به تفکیک پذیری در تبدیل فوریه زمان کوتاه است. در تبدیل موجک پیوسته مشابه با تبدیل فوریه زمان کوتاه، همبستگی^۲ سیگنال مورد نظر با موجک محاسبه می شود که در حقیقت نقش همان تابع پنجره را دارد. اختلاف عمده میان تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک وجود دارد که عبارت اند از:

- در تبدیل موجک، از سیگنال پنجره شده، تبدیل فوریه گرفته نمی شود، بلکه همبستگی عرضی میان سیگنال و موجک محاسبه می شود.

- در تبدیل موجک، عرض پنجره برای مؤلفه های فرکانسی مختلف، متفاوت است که به طور حتم مهم ترین ویژگی تبدیل موجک است [Malat, 1989].

بر این اساس، تبدیل موجک پیوسته به صورت رابطه (۳-۴) تعریف می گردد [Malat, 1999; 2009].

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (۴-۳)$$

در رابطه (۳-۴)، τ و s به ترتیب پارامتر مقیاس و انتقال می باشند. علامت * نشان دهنده مزدوج

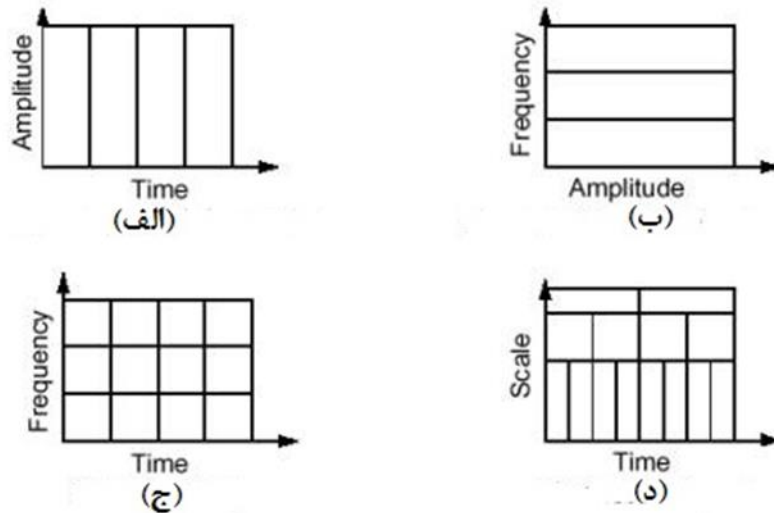
^۱ Continuous Wavelet Transform

^۲ Correlation

مختلط است. τ مشابه با مفهوم انتقال زمانی در تبدیل فوریه زمان کوتاه است که میزان جابجایی پنجره را معلوم می‌کند. اما برخلاف تبدیل فوریه زمان کوتاه، در تبدیل موجک به‌طور مستقیم پارامتر فرکانس وجود ندارد و در مقابل، از پارامتر مقیاس استفاده می‌شود که به‌طور معکوس با فرکانس ارتباط دارد. در رابطه (۳-۴)، ψ تابع پنجره است که موجک نامیده می‌شود [Audison, 2009].

همان‌طور که بیان شد، در تبدیل موجک به‌جای فرکانس، پارامتر مقیاس وجود دارد. مفهوم مقیاس در تبدیل موجک همانند مفهوم مقیاس در نقشه می‌باشد به‌عبارت‌دیگر، در تبدیل موجک نیز مقیاس‌های بزرگ، متناظر با یک دید کلی و فارغ از جزئیات به سیگنال است (متناظر با فرکانس‌های پایین) و مقیاس‌های کوچک، متناظر با نگاه به جزئیات سیگنال است و لذا در تناظر با فرکانس‌های بالا خواهد بود [Polikar, 2001]. بنابراین در تبدیل موجک پیوسته نیازی به تنظیم طول پنجره نیست و می‌توان با تغییر دادن مقیاس موجک، طول پنجره بهینه را با توجه به محتوای فرکانسی داده‌ها به دست آورد.

در شکل ۳-۷، تفکیک‌پذیری تبدیل موجک در مقایسه با نمایش زمانی و فرکانسی و تبدیل فوریه زمان کوتاه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، صفحه زمان-مقیاس تبدیل موجک، برخلاف صفحه زمان-فرکانس تبدیل فوریه زمان کوتاه دارای قدرت تفکیک چندگانه است.



شکل ۳-۷. نمایش تفکیک پذیری در صفحات مختلف؛ (الف) صفحه زمان، (ب) صفحه فرکانس، (ج) صفحه زمان-فرکانس در تبدیل فوریه زمان کوتاه و (د) صفحه زمان-مقیاس در تبدیل موجک (بوآشاش، ۲۰۰۳).

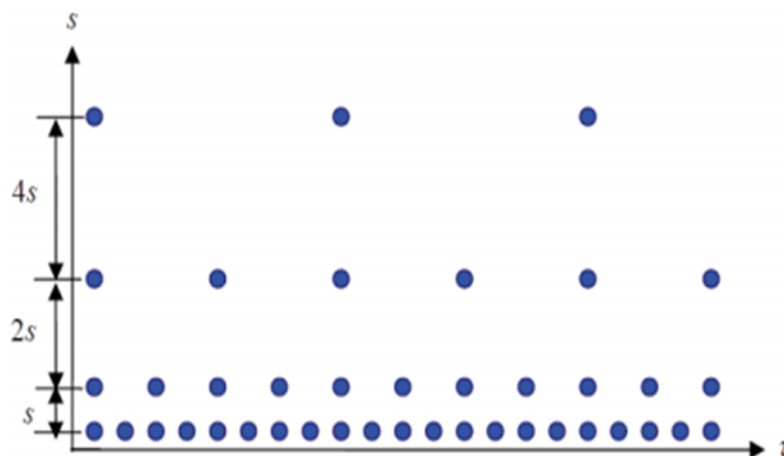
۳-۴-۲- گسسته‌سازی تبدیل موجک پیوسته

در تبدیل موجک پیوسته تغییرات s و τ به آرامی و به صورت پیوسته صورت می‌گیرد که این کار باعث افزونگی^۱ در داده‌ها می‌شود. لذا با توجه به نوع سیگنال‌هایی که در لرزه‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرد و برای کاربرد عملی در کامپیوتر لازم است از نسخه گسسته شده آن استفاده شود [Plikar, 2001].

برای گسسته‌سازی تبدیل موجک پیوسته ساده‌ترین روش، نمونه‌برداری از صفحه زمان-مقیاس در نقاط مختلف آن است که با تغییر مقیاس، می‌توان نرخ نمونه‌برداری را تغییر داد. بدین ترتیب در مقیاس‌های بالاتر (فرکانس‌های پایین‌تر) می‌توان نرخ نمونه‌برداری را با توجه به فرکانس نایکوئیست، کاهش داد. نمونه‌برداری نایکوئیست، حداقل نرخ نمونه‌برداری مجاز از سیگنال پیوسته در زمان است که قابل بازسازی می‌باشد. بنابراین با کاهش نرخ نمونه‌برداری در فرکانس‌های پایین، زمان محاسبات به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [Malat, 1989; Polikar, 2001]. برای گسسته‌سازی مقیاس از $s = s_0^j$ و زمان از $\tau =$

^۱ Redundancy

$k s_0^j \tau_0$ استفاده می‌شود که نشان می‌دهد گسسته‌سازی برحسب یک درجه‌بندی لگاریتمی صورت می‌پذیرد به نحوی که برای هر مقیاس، یک نرخ نمونه‌برداری جداگانه استفاده می‌شود. شکل ۳-۸ نحوه گسسته‌کردن تبدیل موجک پیوسته را با استفاده از روش بالا نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸. گسسته‌سازی صفحه زمان-مقیاس (مالات، ۱۹۸۹؛ پولیکار، ۲۰۰۱).

۳-۴-۳- تبدیل موجک گسسته^۱ (DWT)

شکل متداول امروزی تبدیل موجک گسسته در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید [Doubichés, 1988]. گسسته کردن تبدیل موجک پیوسته امکان محاسبه آن را با کامپیوتر فراهم می‌کند، اما این یک تبدیل گسسته صحیح نیست. حقیقت امر این است که سری‌های موجک در واقع یک نسخه نمونه‌برداری شده از CWT هستند و اطلاعاتی که بخصوص در مواقعی که بازسازی سیگنال مدنظر است، ارائه می‌دهند، به شدت تکراری است. این تکرار از طرف دیگر، به زمان محاسبات و منابع قابل توجهی نیاز دارد. تبدیل موجک گسسته اطلاعات کافی و مناسبی را هم در مورد تجزیه و هم ترکیب سیگنال اصلی با درصد کاهش قابل توجهی در زمان محاسبات، ارائه می‌دهد. در DWT پارامترهای انتقال و مقیاس به‌طور غیر پیوسته مطابق رابطه (۳-۵) انتخاب می‌شوند.

^۱ Discrete wavelet transform

$$a = 2^{j/2}, \quad b = 2^j t - k \quad (5-3)$$

که k و j اعداد صحیح هستند. لذا، موجک‌های مقیاس و شیفت داده شده به صورت رابطه (3-6) به دست می‌آید.

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (6-3)$$

تبدیل موجک گسسته در واقع تجزیه سیگنال یا رد لرزه به باندهای مختلف فرکانسی (مقیاسی) است. در تبدیل موجک گسسته دو دسته تابع برای تجزیه به کار می‌روند [Doubiches, 1988; Malat, 1989]:

- توابع مرتبط با مقیاس

- توابع مرتبط با موجک مادر

که به ترتیب مربوط به فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر هستند. تفکیک سیگنال به باندهای فرکانسی مختلف، با فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر صورت می‌گیرد [Doubiches, 1988; Malat, 1989].

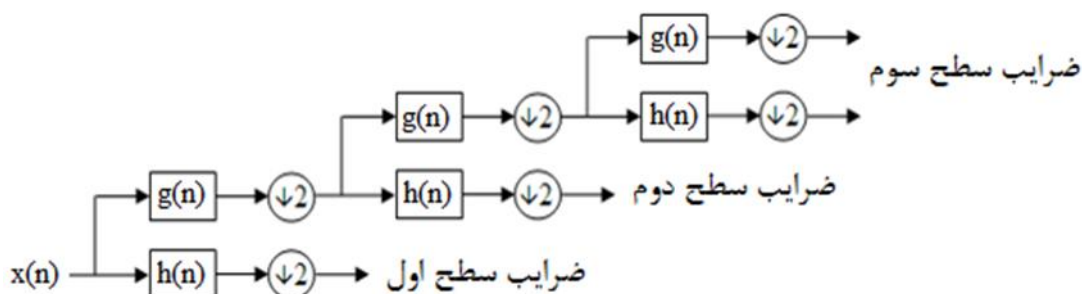
در عمل سیگنال اولیه از دو فیلتر عبور داده می‌شود که عبارت‌اند از فیلترهای بالاگذر ($h(n)$) و پایین‌گذر ($g(n)$) و این یک سطح از عملیات تفکیک سیگنال با تبدیل موجک گسسته را تشکیل می‌دهد. شکل 3-9 فرآیند تجزیه یک سیگنال در ابتدایی‌ترین سطح توسط تبدیل موجک گسسته را نشان می‌دهد.



شکل 3-9. فرآیند فیلتر نمودن در ابتدایی‌ترین سطح [Malat, 1999].

با توجه به اینکه ضرایب خروجی فیلتر پایین‌گذر، شکل اولیه سیگنال را دنبال می‌کنند به همین دلیل به این ضرایب تقریب^۱ گفته می‌شود. همچنین ضرایب خروجی فیلتر بالاگذر، جزئیات فرکانس بالای سیگنال را در بردارند، به همین دلیل به این ضرایب جزئیات^۲ گفته می‌شود. پس از هر مرحله اعمال دو فیلتر، یک مرحله فرآیند زیر نمونه‌برداری^۳ نیز انجام می‌شود. به این معنی که تعداد نمونه‌ها نسبت به حالت اولیه با ضریب ۲ کاهش می‌یابد. این فرآیند باعث می‌شود که دقت تفکیک زمانی نصف اما دقت تفکیک فرکانسی دو برابر شود و این در حالی است که باند فرکانسی سیگنال در هر مرحله نصف باند فرکانسی سیگنال قبلی است. البته در نوع تبدیل موجک گسسته پایا دیگر فرآیند زیر نمونه‌برداری انجام نمی‌شود.

فرآیند اعمال فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر می‌تواند بر روی خروجی‌های مرحله قبل مجدداً انجام شود و این عمل تا هر تعداد که لازم باشد، تکرار می‌شود. البته در عمل، تکرار فرآیند بر روی خروجی حاصل از فیلتر پایین‌گذر در هر مرحله انجام می‌شود. در شکل ۳-۱۰ فرآیند تجزیه یک سیگنال در سه سطح توسط تبدیل موجک گسسته نشان داده شده است. به این شکل درخت تجزیه موجک می‌گویند که به نام بانک فیلتر شناخته شده است [Malat, 1999; 2009].



شکل ۳-۱۰. درخت تجزیه موجک (بانک فیلتر) (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

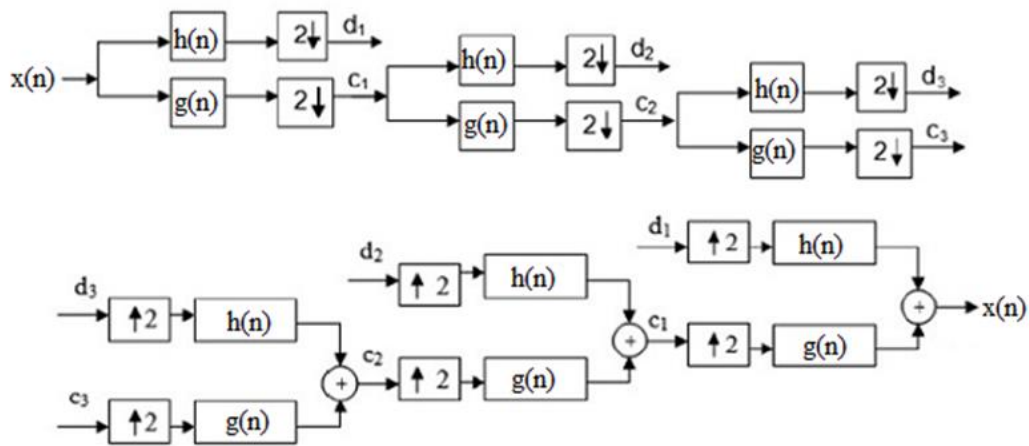
برای بازسازی سیگنال، عکس عملیات فوق صورت می‌پذیرد. سیگنال‌ها در هر مرحله با نرخ

^۱ Approximation

^۲ Detail

^۳ Downsampling

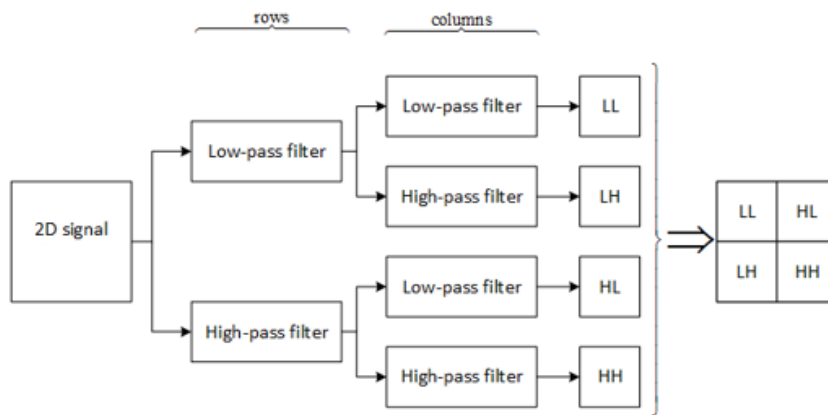
نمونه‌برداری دو برابر از فیلترهای $(g(n))$ و $h(n)$ عبور کرده و سپس جمع می‌شوند. در شکل ۳-۱۱ مراحل تجزیه و بازسازی سیگنال توسط تبدیل موجک گسسته به صورت شماتیک نشان داده شده است.



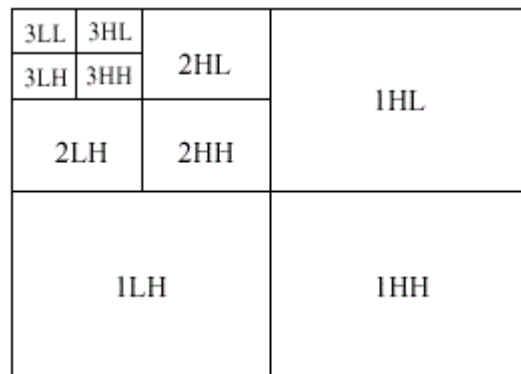
شکل ۳-۱۱. نمایش مراحل تفکیک و بازسازی سیگنال با استفاده از فیلترهای فرکانسی بالاگذر و پایین‌گذر

۳-۴-۴- تبدیل موجک گسسته دوبعدی

برای انجام تبدیل موجک گسسته دوبعدی بر روی یک سیگنال دوبعدی کافی است که ابتدا فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در راستای افقی بر روی سیگنال دوبعدی اعمال شود و در مرحله بعد فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر بر روی خروجی دو فیلتر قبل در راستای عمودی اعمال می‌شود. سپس با کنار هم قرار دادن خروجی‌ها، مطابق شکل ۳-۱۲، یک مرحله تبدیل موجک گسسته دوبعدی به دست می‌آید. به منظور محاسبه تبدیل موجک برای سطح بعدی، مراحل فوق بر روی خروجی دو مرحله اعمال فیلتر پایین‌گذر تکرار می‌شود. در شکل ۳-۱۳ تبدیل موجک گسسته دوبعدی تا سه مرحله تکرار نشان داده شده است.

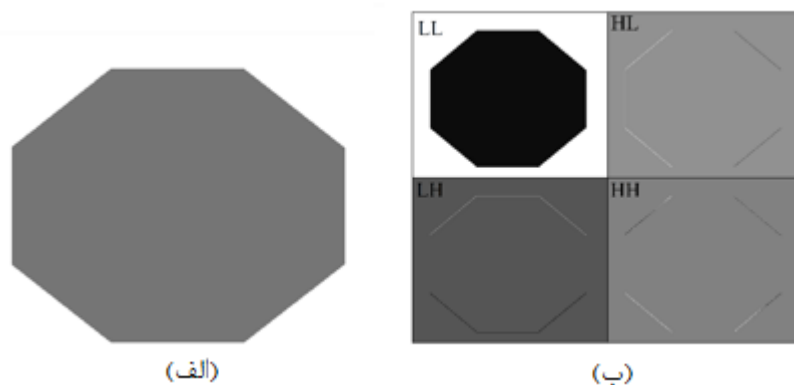


شکل ۳-۱۲. تبدیل موجک گسسته دوبعدی در اولین سطح



شکل ۳-۱۳. تجزیه یک تصویر با استفاده از تبدیل موجک گسسته دوبعدی تا سه مرحله

همان‌طور که در شکل ۳-۱۲ مشاهده می‌شود، سیگنال دوبعدی بعد از عبور از فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر به چهار زیرباند تجزیه می‌شود. زیرباند تقریبی (LL) یک تقریب کلی از سیگنال مورد تجزیه را نمایش می‌دهد. زیرباند عمودی (HL) جزئیات عمودی سیگنال، زیرباند افقی (LH) جزئیات افقی و زیرباند قطری (HH) تغییرات قطری سیگنال را بارز می‌کند. به‌منظور درک بهتر این موضوع از تصویر هشت‌ضلعی (شکل ۳-۱۴ الف)) در محیط نرم‌افزار *MATLAB* تبدیل موجک گسسته دوبعدی گرفته‌شده و نتیجه تجزیه آن در شکل ۳-۱۴ ب) نشان داده‌شده است.



شکل ۳-۱۴. (الف) تصویر هشت‌ضلعی (ب) تجزیه تصویر بعد از اعمال تبدیل موجک گسسته دوبعدی. همان‌طور که مشاهده می‌شود، خطوط عمودی شش‌ضلعی در مؤلفه عمودی (HL) حاصل از تبدیل موجک گسسته دوبعدی ظاهر شده است. همین‌طور خطوط قطری در مؤلفه قطری (HH) و خطوط افقی در مؤلفه افقی (LH) قابل مشاهده است. یک تقریب کلی از تصویر هشت‌ضلعی نیز در مؤلفه تقریب (LL) حاصل از تبدیل موجک گسسته دوبعدی ظاهر شده است.

۳-۵- تبدیل کمانک

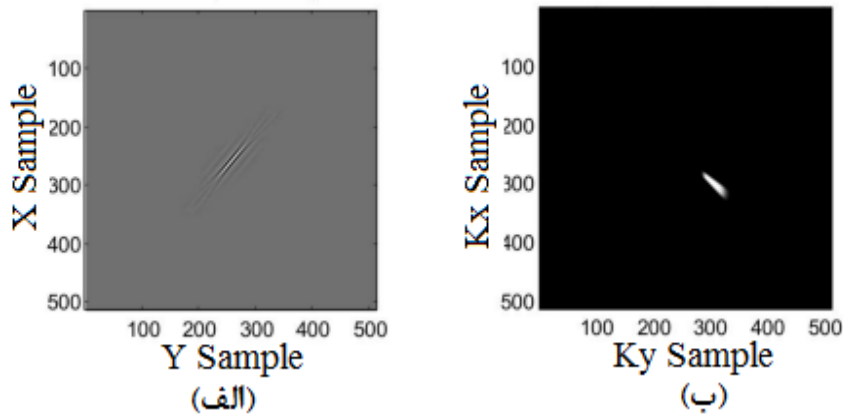
تبدیل کمانک تلاش دارد که تبدیل موجک را قدرتمندتر از آنچه هست نشان دهد. لذا این تبدیل نقاط ضعف موجک را برطرف نموده و نقاط قوت آن را تقویت می‌نماید. یکی از نقاط ضعف تبدیل موجک عدم توانایی در بازسازی لبه‌ها می‌باشد. تبدیل کمانک این ضعف را برطرف ساخته و به بیان دیگر کیفیت لبه‌ها را پس از بازسازی ارتقا می‌بخشد [Fadili & Stark, 2007].

موجک‌ها قادر به توصیف اجزای ناهمسانگرد^۱ نیستند و بنابراین قادر به توصیف لبه‌ها نخواهند بود. زیرا تبدیل موجک دارای عناصر جهتی نمی‌باشد. بنابراین کمانک‌ها به جهان علم معرفی شدند تا با استفاده از نظمی که در لبه‌ی منحنی‌ها وجود دارد این مشکل را حل نمایند. کمانک‌ها ابزارهایی چندمقیاسی و قادر به انتخاب جهت می‌باشند.

^۱ Anisotropic

۳-۵-۱-تعریف کمانک

کمانک در فضای دوبعدی، شکلی از موج است که در یک جهت مانند یک لبه (ridge) هموار است و در جهت عمود بر آن نوسان می‌کند. ابعاد آن در زمان و فرکانس از قانون مقیاس‌گذاری سهمی (ناهمسانگرد) تبعیت می‌کند به طوری که عرض آن برابر با توان دوم طول آن است. کمانک در زمان و فرکانس بسیار متمرکز است (شکل ۳-۱۵). یعنی جز در بازه بسیار کوچک در بقیه نقاط مقدار صفر دارد [Candes, 2003]. بنابراین ویژگی‌ها به راحتی قابل انطباق با پدیده‌های موجود در مقاطع لرزه-نگاری مانند بازتاب‌ها و غیره می‌باشد.



شکل ۳-۱۵. (الف) تصویر کمانک در حوزه مکان، (ب) همان کمانک در حوزه فرکانس.

کمانک‌ها از اتساع، دوران و انتقال یک تابع خاص (ψ) به نام کمانک مادر حاصل می‌شوند. تابع

ψ با پارامتر مقیاس ($0 < a < 1$)، جهت (θ) و موقعیت (b) اندیس‌گذاری می‌شود:

$$\psi_{a,b,\theta}(x) = a^{-3/4} \psi(D_a R_\theta(x - b)) \quad (7-3)$$

که در آن $D_a = \begin{pmatrix} 1/a & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{a} \end{pmatrix}$ ، ماتریس مقیاس‌گذاری سهمی و R_θ دوران به اندازه‌ی θ رادیان

است.

۳-۵-۲- تبدیل ریجالت

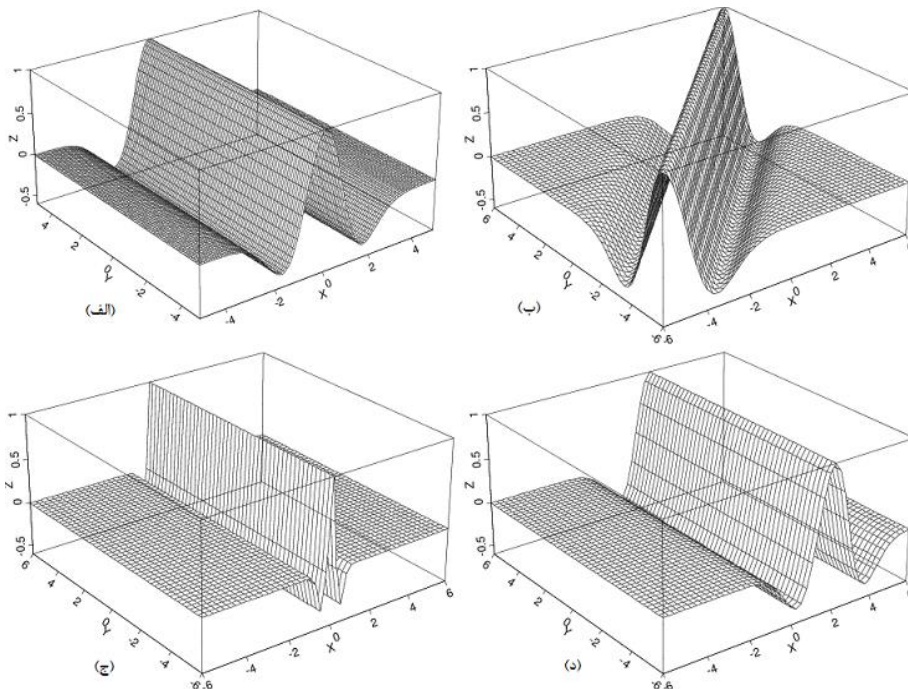
قبل از تبدیل کمانک تبدیلی به نام تبدیل ریجالت معرفی گردیده است. تئوری ریجالت توسط

کندس (۱۹۹۸) ارائه شده است. تابع پایه ریجالت به صورت رابطه (۳-۸) بیان می شود.

$$\psi_{a,b,\theta}(x_1, x_2) = a^{-1/2} \psi\left(\frac{x_1 \cos(\theta) + x_2 \sin(\theta) - b}{a}\right) \quad (۳-۸)$$

که در آن a پارامتر مقیاس، θ پارامتر جهت و b پارامتر انتقال است. در شکل ۳-۱۶ چند نمونه

ریجالت نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶. (الف) یک نمونه ریجالت، (ب) و (ج) و (د) به ترتیب از دوران، اتساع و انتقال ریجالت (الف) حاصل شده اند

[Fadili & Starck, 2007]

تبدیل ریجالت در حقیقت همان تبدیل موجک است که بر قطعات تبدیل رادون اعمال می گردد.

ایدهی این تبدیل این است که ابتدا تبدیل رادون را بر روی تصویر (سیگنال) دوبعدی مورد نظر اعمال

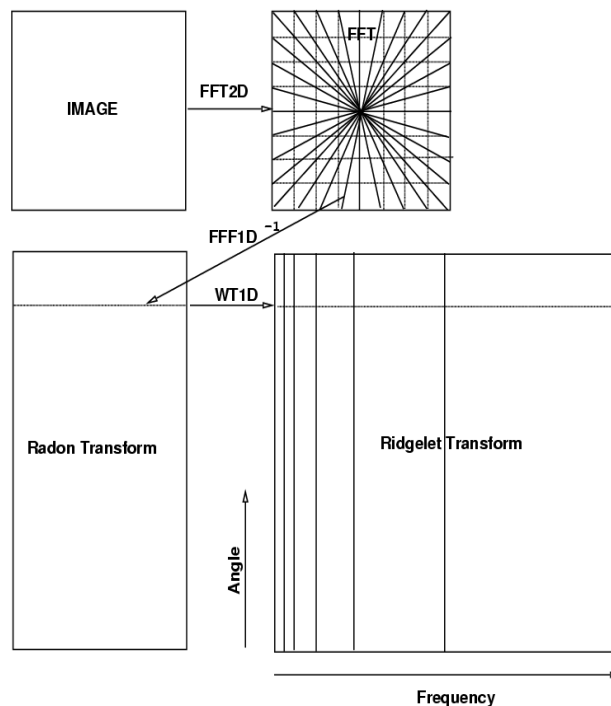
کرده و سپس تبدیل موجک یک بعدی بر روی آن اعمال شود. الگوریتم تبدیل ریجالت به طور خلاصه

در زیر آمده است [Candes & Donoho, 1999]:

- محاسبه تبدیل فوریه دوبعدی

- استخراج خطوط عبوری از میان مبدأ مختصات در حوزه فوریه دوبعدی
- محاسبه تبدیل فوریه معکوس یکبعدی هر خط (که در واقع دستیابی به تبدیل رادون بلوک مربوطه می‌باشد).
- محاسبه تبدیل موجک یکبعدی قطعات تبدیل رادون

در شکل ۳-۱۷ به صورت شماتیک، الگوریتم تبدیل ریجالت بر روی سیگنال دو بعدی نمایش داده شده است. شرح مفصل این تبدیل خارج از حوزه این پایان‌نامه است و لذا به بیان این مفاهیم بسنده می‌شود.



شکل ۳-۱۷. اعمال تبدیل ریجالت بر روی یک داده [Candes & Donoho, 1999]

همان‌طور که ذکر شد کمانک‌ها به علت غلبه بر مشکلات موجک‌ها شکل گرفته‌اند و همانند موجک‌ها از خانواده تبدیل‌های با وضوح چندگانه می‌باشند. از جمله دلایل برتری این تبدیل نسبت به ابزارهای هم‌خانواده خود می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [Candes & Donoho, 1999]:

-نمایش مطلوب‌تری از مدل‌های قطعه هموار

-نمایش تنک‌تر از تصویر (سیگنال)

-همخوانی بهتر با تصاویر بد وضع

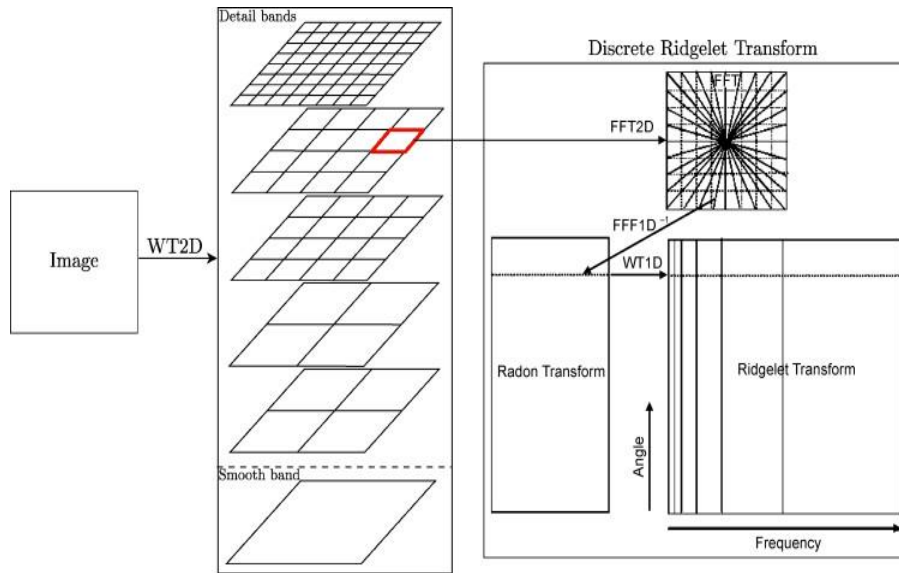
تبدیل کمانک در سال‌های اخیر به دنیای علم معرفی شده و پس از معرفی آن به سرعت در علوم مختلف از جمله ژئوفیزیک، نجوم، مهندسی پزشکی و نیز دیگر علوم وابسته به پردازش تصویر به سرعت گسترش یافته است. در این بخش به انواع مختلف تبدیل کمانک پرداخته می‌شود.

۳-۵-۳- تبدیل کمانک نسل اول

در مطالب گذشته توضیح مختصری در مورد تبدیل ریجالت ارائه شد. یکی از نواقص این تبدیل عدم توانایی آن در بازسازی لبه‌های منحنی شکل در تصاویر دوبعدی است. کمانک نسل اول تلاشی است در جهت حذف این نقیصه. در این نوع تبدیل کمانک با استفاده از ریجالت‌های ریزمقیاس می‌توان بر این مشکل غلبه نمود. در این رویکرد تصویر را به قطعات بسیار کوچکی تقسیم نموده و آن را به اصطلاح محلی می‌نمایند. لذا تبدیل ریجالت خطوط منحنی را مانند خطوطی راست خواهد دید و به خوبی آن را بازسازی خواهد نمود [Candes & Donoho, 2000]. با استفاده از تبدیل کمانک نسل اول می‌توان یک تصویر را با یک تبدیل ولی با اندازه‌های مختلف بلوک تجزیه نمود (شکل ۳-۱۸). اندازه بلوک‌ها در هر سطح از مقیاس می‌تواند تغییر کند. یعنی در آن سطوح مختلفی از ریجالت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجزیه گسسته کمانک‌ها به صورت زیر می‌باشد [Candes & Donoho, 2000]:

- تجزیه تصویر به زیرباندها با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی

- تجزیه پنجره‌ها با استفاده از ریجالت



شکل ۳-۱۸. طرح شماتیک تبدیل کمانک گسسته نسل اول [Candes & Donoho, 2000]

۳-۵-۴- تبدیل کمانک نسل دوم

از جمله مشکلات تبدیل کمانک نسل اول می‌توان به پیچیدگی بازسازی به وسیله این روش اشاره نمود. همچنین این نوع تبدیل از همپوشانی پنجره‌ها استفاده می‌کند که این خود باعث افزایش حجم محاسبات می‌شود. اما کمانک نسل دوم نمایش ساده‌تری را ارائه می‌نماید. همچنین این نسل از کمانک‌ها دارای پنجره‌هایی کنار هم است که باعث کاهش قابل توجه حجم محاسبات می‌گردد. به علاوه این تبدیل در الگوریتم خود از ریجالت استفاده نمی‌نماید که این خود عاملی است که بر سرعت آن می‌افزاید.

از ضرب یک کمانک $\varphi_{j,l,k}$ در یک تابع $f \in L^2(\mathbb{R}^2)$ ضرب کمانک حاصل می‌شود:

$$c(j, k, l) = \langle f, \varphi_{j,l,k} \rangle = \int_{\mathbb{R}^2} f(x) \overline{\varphi_{j,l,k}(x)} dx \quad (9-3)$$

این ضرب برای حالت گسسته به صورت رابطه (۳-۱۰) تعریف می‌شود.

$$C^D(j, l, k) = \sum_{0 \leq t_1, t_2 < n} f[t_1, t_2] \varphi_{j,l,k}^D[t_1, t_2] \quad (10-3)$$

۳-۶- تبدیل شیرلت

شیرلت در سال‌های اخیر به واسطه چهارچوب موفقیت‌آمیز این تبدیل برای نمایش داده‌های چندبعدی ایجاد شد. در اصل، بعد از مشخص شدن این موضوع که روش‌های چندمقیاسه سنتی تأثیر چندانی در نشان دادن لبه‌ها و دیگر خصوصیات ناهمسانی که اغلب مواقع به‌عنوان پدیده‌های چندبعدی شناخته می‌شوند ندارند، چندین روش به‌منظور غلبه بر این محدودیت‌ها ارائه گشت. نمایش شیرلت از آنجایی که ترکیب چندین خصیصه مطلوب یکتا را ارائه می‌دهد حائز اهمیت جلوه می‌کند. این تبدیل دارای یک یا تعداد محدودی توابع تولیدی است. نمایش تنک مطلوبی را برای دسته بزرگی از داده‌های چندبعدی ارائه می‌دهد. توانایی استفاده در توابع آنالیزی فشرده را دارا می‌باشد. الگوریتم اجرایی سریعی داشته و با حوزه پیوسته و گسسته به‌طور یکسانی برخورد دارد.

تبدیل موجک، معروف‌ترین تبدیل چندمقیاسی است. به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های موجک از جمله نداشتن انتخاب جهت، تبدیل کمانک و کانتورلت و شیرلت در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند، که هر یک به‌نوعی در جهت بهبود محدودیت‌های دیگری توسعه یافته‌اند. تبدیل موجک توانایی شناسایی جهت‌ها را به‌طور دقیقی ندارد. از آنجایی که این تبدیل کمتر می‌تواند به دو بحث مقیاس و شیفت بپردازد، سعی در استفاده از تبدیلی شد که این معایب را مرتفع سازد. درعین حال اغلب جنبه‌های ریاضیاتی تبدیل موجک را نیز حفظ نماید. از جمله معیارهای مدنظر برای این تبدیل به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- ✓ سیستم موردنظر بایستی پیوستگی داشته باشد.
- ✓ تبدیل بتواند به‌عنوان ضرایب ماتریسی نماینده‌های واحد گروهی خاصی در نظر گرفته شود.
- ✓ ساخته‌های MRA در ارتباط با این تبدیل باشند.

به همین علت بحث تبدیل شیرلت به میان آمد که تمامی ضوابط بالا را در نظر می‌گیرد.

همانند تبدیل کمانک، تبدیل شیرلت یک تبدیل چندبعدی است که به منظور آنالیزهای جهتی چندمقیاسه توسعه پیدا کرد. تبدیل شیرلت به طور موفقیت آمیزی بر روی امور پردازشی تصاویر رده پایین (low level) همچون تضعیف نوفه آن‌ها، واهمامیخت تصویر به خوبی امور پردازشی رده بالا همچون تشخیص لبه‌ها و تعیین خصوصیات آن‌ها اعمال شده است [Gou & Labate, 2007; Hauser, 2012; Kutunik, 2012]. تبدیل شیرلت همچنین نتایج مطلوبی را در داده‌های لرزه‌ای به منظور درون‌یابی نشان داده است.

شیرلت، تقریب مطلوب از یک تصویر را به صورت تنک ارائه می‌دهد و دستیابی به انتخاب مسیر در شیرلت آسان است. علاوه بر آن امکان تغییرناپذیری با جابجایی را نیز دارد. شیرلت در سال ۲۰۰۵ بر اساس سیستم معین معرفی گردید، سپس در سال ۲۰۰۷ بهبود پیدا کرد و در سال ۲۰۰۹ انتشار تنوع کلی برای تضعیف نوفه بر اساس شیرلت انجام شد. در همان سال کانوولوشن معکوس بر مبنای شیرلت انجام شد. در سال ۲۰۱۲ تضعیف نوفه بر اساس شیرلت non-sampled انجام شد و در سال ۲۰۱۳ تضعیف نوفه بر اساس شیرلت با آستانه‌گیری بیزین از طریق بازنمود تنک انجام شد. یکی از انگیزه‌های اصلی معرفی چارچوب شیرلت استخراج تقریب تنک بهینه از توابع چندمتغیره است. همان طور که مشاهده می‌شود شیرلت به عنوان یک چارچوب چندمقیاسی با حساسیت بالا به جهت و بازنمایی تنک‌تر در تضعیف نوفه کارآمدتر است.

۳-۶-۱- تئوری پیوستگی

ایده اولیه تبدیل شیرلت با استفاده از گروه dilation دو مولفه‌ای است؛ که شامل نتایج ماتریس‌های مقیاسی سهمی‌وار و ماتریس‌های شیرلت می‌باشد. بنابراین تبدیل شیرلت شامل سه پارامتر مقیاس ($a > 0$) و shearing ($S \in \mathbb{R}^2$) و شیفت ($t \in \mathbb{R}^2$) که در رابطه (۳-۱۰) معرفی می‌گردد

$$\psi_{a,s,t}(x) = a^{-3/4} \psi(D_{a,s}^{-1}(x-t)), D_{a,s} = [a, -a^{1/2}s; 0, a^{1/2}] \quad (۳-۱۱)$$

تابع شیرلت مادر ψ به صورت تانسور تولیدشده توسط رابطه (۱۱-۳) معرفی می شود

$$\psi(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = \psi_1(\varepsilon_1)\psi_2(\varepsilon_2 / \varepsilon_1) \quad (۱۲-۳)$$

جایی که ψ_1 یک موجک و ψ_2 تابع برآمدگی (bump) می باشد.

تبدیل شیرلت پیوسته مطابق رابطه زیر تعریف می گردد که در آن a پارامتر مقیاس، s پارامتر

shear و t پارامتر شیفت می باشد و طبق رابطه (۱۳-۳) تعریف می گردد

$$SH_f(a, s, t) = \langle f, \psi_{a,s,t} \rangle \quad (۱۳-۳)$$

این تبدیل را همچنین می توان به عنوان ماتریس ضرایب واحد نیز نشان داد

$$(\sigma(a, s, t)\psi)(x) = \psi_{a,s,t}(x) = a^{-3/4}\psi(D_{a,s}^{-1}(x - t)) \quad (۱۴-۳)$$

رابطه بالا حاصل گروه شیرلت $s = R^+ * R * R^2$ ضرب داده شده زیر است

$$(a, s, t).(a', s', t') = (aa', s + s'a^{1/2}, t + D_{a,s}t') \quad (۱۵-۳)$$

تبدیل شیرلت پیوسته به صورت دقیق مجموعه جبهه های موج را دربر می گیرد، از آنجایی که

پارامتر مکانی t ، مکان مؤلفه را پیدا می کند، در مقایسه، پارامتر shear جهت را به صورت عمود بر

مؤلفه ها نشان می دهد.

۳-۶-۲- تئوری گسسته

به وسیله نمونه برداری شیرلت پیوسته توسط دسته پارامترهای گسسته مقیاس، shear، شیفت

دقیق، توانایی دستیابی به یک فریم یا حتی فریم پارسوال ($L^2(R)$) امکان پذیر است.

برای دستیابی به شیرلت گسسته، ما سه پارامتر را به طریقه زیر نمونه برداری می کنیم

$$a_j = 2^j \quad (j \in Z) \quad (۱۶-۳)$$

$$s_{j,k} = ka^{1/2}_j = k 2^{j/2} \quad (k \in Z) \quad (۱۷-۳)$$

$$t_{j,k,m} = D_{aj,sj,k} \quad (m \in Z^2) \quad (۱۸-۳)$$

تابع مادر همچون حالت پیوسته انتخاب می‌گردد. ψ_1 تحت عنوان موجک گسسته و ψ_2 تابع برآمدگی با مشخصات اصلی ضعیف اضافه گردیده است.

۳-۶-۳- کاربردهای تبدیل شیرلت

۱. آنالیز و تشخیص لبه‌ها و برآمدگی‌ها

۲. بازسازی تصاویر

۳. تفکیک تصاویر

۴. تضعیف نوفه تصاویر

۵. درون‌یابی تصاویر

۶. نمونه‌برداری تعمیم‌یافته

۷. Scattering معکوس

۸. Watermarking دیجیتال

در بسیاری از کارها یافتن شاخصه‌هایی از جمله لبه‌ها و برآمدگی‌های عکس‌ها بسیار پراهمیت است. به‌علاوه خصوصیات هندسی این مؤلفه‌ها مثل جهت‌یابی مماس محلی و یا انحنای محلی یک لبه نیز در همین رابطه است. این واقعیت که مؤلفه‌های مبتنی بر شیرلت به‌طور خاص جهت عکس‌برداری از بناهای ناهمسان طراحی شده‌اند این تبدیل را به مورد مناسبی جهت بررسی و آنالیز لبه‌ها و

برآمدگی‌ها تبدیل می‌کند.

تضعیف نوفه از پرکاربردترین و قدیمی‌ترین اعمال در پردازش تصاویر است. راه‌کارهای مختلفی جهت انجام آن ارائه گردیده است که زمینه‌های مختلفی از ریاضیات را مثل استاتیک و یا آنالیزهای هارمونی در برمی‌گیرد. روش اعمال آنالیز هارمونیک این حقیقت را آشکار می‌سازد که ضرایب نوفه در سیستم‌هایی نظیر تبدیل موجک، کمانک و یا شیرلت کاملاً به طور مساوی توزیع می‌شوند در حالی که ویژگی‌های تصویر واقعی در چند ضریب قابل توجه حفظ شده است. با یک آستانه‌گذاری ساده ضرایب سیگنال در حوزه تبدیلی و سپس اعمال معکوس تبدیل سیگنال می‌توان به نتیجه نوفه تضعیف شده دست پیدا کرد. با این حال، این روش تمایل به ایجاد اشکال مصنوعی در محدوده ناپیوستگی‌ها را دارد. برای غلبه به این ضعف، شیرلت از الگوریتم‌های پیچیده‌تری نسبت به سایر تبدیل‌ها استفاده می‌کند که برای مثال می‌توان به total variation و diffusion methods اشاره کرد.

با استفاده از ضرایب تبدیل شیرلت به دست آمده $SH(f)(a, s, t)$ سیگنال اصلی $f(x)$ را می‌توان با

استفاده از رابطه تبدیل معکوس (۳-۱۹) ساخت

$$f(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} R^2 \int_0^{+\infty} SH(f)(a, s, t) \psi_{a,s,t}(x) \frac{da}{a^3} ds dt \quad (۳-۱۹)$$

در واقع، ضرایب تبدیل شیرلت $SH(f)(a, s, t)$ با استفاده از دسته متناهی مقیاس a ، شییر s ، و

شیفت t محاسبه می‌گردند. با داشتن آرایه‌ای به طول $M \times N$ ، مقیاس، شییر، و شیفت به صورت

روابط زیر معرفی می‌گردند

$$a = 2^{-2j}, j = 0, \dots, j_0 - 1 \quad (۳-۲۰)$$

$$s = k \times 2^{-j}, -2 \leq k \leq 2 \quad (۳-۲۱)$$

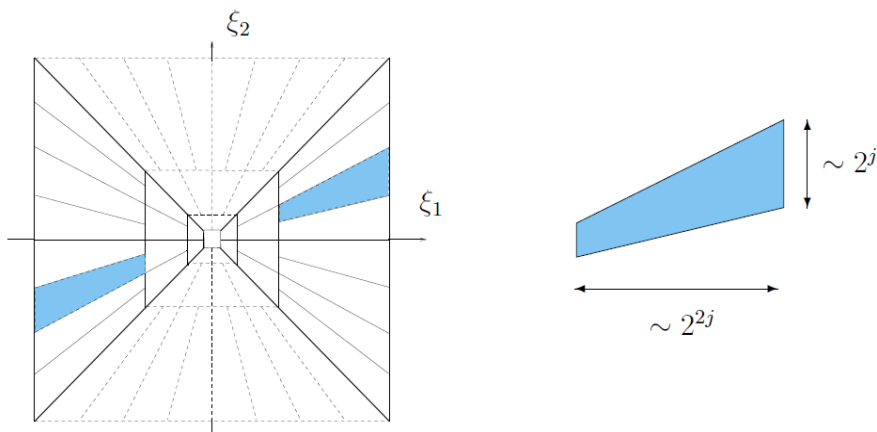
$$t = \left(\frac{m}{M}, \frac{n}{N} \right), m = 0, \dots, M - 1; n = 0, \dots, N - 1 \quad (۳-۲۲)$$

جایی که $j_0 := \left\lceil \frac{1}{2} \log_2(\max\{M, N\}) \right\rceil$ حداکثر میزان مقیاس را نشان می‌دهد. در این رابطه،

پارامترهای شیرلت جهت پردازش با استفاده از اندازه داده معرفی شده‌اند. این از نکات مثبت این تبدیل می‌باشد که کاربر نیازی به تعیین دستی این نوع از پارامترها ندارد. در جدول ۳-۱ زیر مقدار مقیاس را با توجه به اندازه داده مشاهده می‌شود

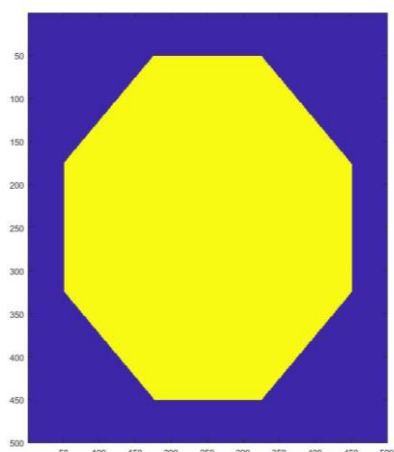
جدول ۳-۱ مقداردهی مقیاس با توجه به ابعاد داده

$\text{Max}\{M, N\}$	۴،...،۱۵	۱۶،...،۶۳	۶۴،...،۲۵۵	۲۵۶،...،۱۰۲۳	۱۰۲۴
j_0	۱	۲	۳	۴	۵

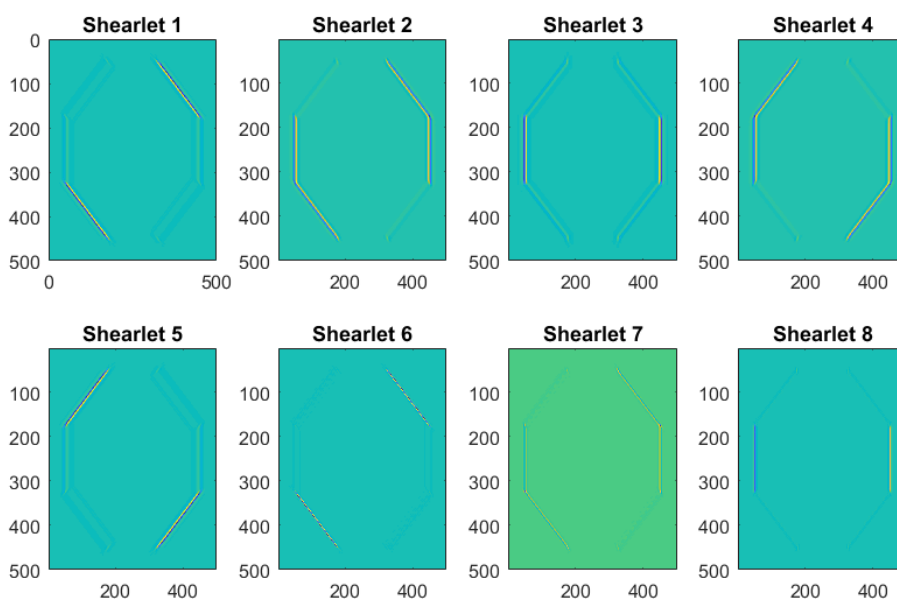


شکل ۳-۱۹ نمایش تبدیل شیرلت در حوزه فرکانس و ابعاد شیرلت

با استفاده از برنامه MATLAB یک شکل ۸ ضلعی منتظم را ایجاد شده است. به کمک این شکل سعی در توضیح شیرلت‌های مختلف در یک مقیاس خاص می‌باشد. چگونگی چرخش شیرلت‌ها به خوبی قابل مشاهده است و می‌توان تاثیر هر یک از شیرلت‌ها را به روی ضلع خاصی از اضلاع این هشت ضلعی به خوبی تشخیص داد.



شکل ۳-۲۰: نمایش ضرایب شیرلت بر روی ۸ ضلعی منتظم

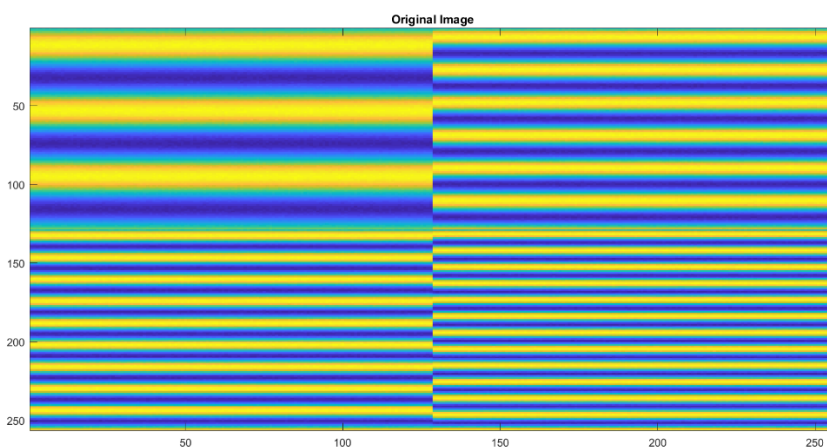


شکل ۳-۲۱: شیرلت‌های مختلف و نمایش جابجایی آن‌ها با توجه به اضلاع ۸ ضلعی

همان‌طور که در شکل‌های بالا مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار شیرلت شاهد جابجایی تاثیر شیرلت در جهت عقربه‌های ساعت می‌گردد. ضمن اینکه مقیاس را در تمامی این اشکال به صورت ثابت ۳ در نظر گرفته شده‌است. میزان شیرلت نیز از ۱ تا ۸ تغییر کرده‌است. از جمله نتایجی که از این تصاویر حاصل می‌شود می‌توان به مقدار شیرلت اشاره نمود که با تغییر آن زوایای مختلف یک

تصویر مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مثال در داده‌های لرزه‌ای رویدادهایی که از لحاظ مکانی و قرارگیری همانند شیرلت ۳ می‌باشند به خوبی مورد بررسی قرار می‌گیرند از طرفی جواب دقیق‌تر برای رویدادهای دیگر با توجه به موقعیت آن‌ها و دیگر مقادیر شیرلت‌ها قابل محاسبه است.

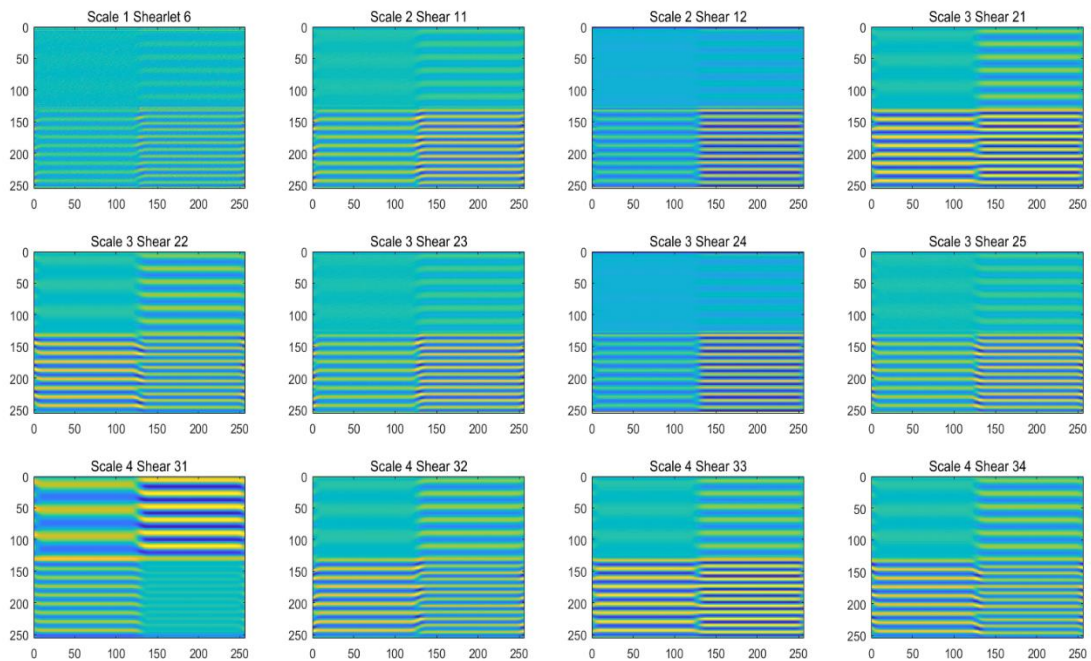
بعد از بررسی این هشت ضلعی، به بررسی ضرایب شیرلت بر روی مقیاس‌های مختلف و فرکانس‌های مختلف پرداخته می‌شود. هدف اصلی از تولید این شکل مشاهده تاثیر مقیاس بر روی فرکانس‌های مختلف یک تصویر می‌باشد.



شکل ۳-۲۲: فرکانس‌های مختلف جهت بررسی تاثیر مقیاس روی آن‌ها

همانطور که در این شکل قابل مشاهده است، از فرکانس‌های بالا به فرکانس‌های پایین دسته‌بندی

شده اند. حال تاثیر مقیاس‌های مختلف را بر روی این فرکانس‌ها در شکل ۴-۲۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲۳: تاثیر مقیاس‌های مختلف بر روی شکل ۳-۲۲

همان‌طور که در شکل ۳-۲۳ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار مقیاس توانایی شیرلت در در نظر گرفتن فرکانس‌ها افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر بازه فرکانسی تبدیل با افزایش مقیاس گسترش پیدا می‌کند. نتیجه‌ای که از این شکل‌ها حاصل می‌شود این است که فرکانس با مقیاس رابطه عکس دارد، این بدان معنی است با افزایش مقیاس فرکانس‌های پایین‌تر بهتر نمایش داده می‌شوند و بلعکس.

این مثال‌های ساده به خوبی تاثیر پارامترهای ابتدایی را در شیرلت نمایان کرد. در فصل بعد با مشاهده نتایج داده‌های مصنوعی و واقعی سعی در تضعیف نوفه داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از تبدیل شیرلت می‌گردد.

۴- فصل چهارم:

اعمال الگوریتم‌های تبدیل شیرلت روی داده

۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به بررسی نتایج تضعیف نوفه داده‌های مصنوعی و سپس واقعی با استفاده از تبدیل شیرلت خواهیم پرداخت. در ابتدای امر دو نوع داده مصنوعی ساده و پیچیده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲- تضعیف نوفه با استفاده از تبدیل شیرلت

رکورد چشمه مشترک به علت گسترش نامطلوب در محیط به وسیله تعداد زیادی از نوفه‌های همدوس و غیر همدوستحت تأثیر قرار می‌گیرد. از جمله این نوفه‌ها همان نوفه تصادفی است که به طور کامل در مورد آن توضیحاتی ارائه گردیده است. تضعیف نوفه تصادفی یک گام ضروری در اغلب عملیات لرزه‌ای می‌باشد. تضعیف نوفه تأثیر بسزایی در نتایج حاصل از پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای ایفا می‌کند و کیفیت داده‌ها را به طرز مطلوبی بهبود می‌بخشد. این بهبود کیفیت به‌نوبه خود اعمال پردازشی و تفسیری بعدی را دقیق‌تر و قابل اتکاتر جلوه می‌دهد. تمامی آنچه در بالا گفته شد به سبب افزایش نسبت سیگنال به نوفه در رکورد لرزه‌ای چشمه مشترک خام می‌باشد. در این بخش به توضیح مختصری از الگوریتم تضعیف نوفه تصادفی با استفاده از تبدیل شیرلت و نیز فرآیند آستانه‌گذاری مربوطه پرداخته می‌شود.

رکورد چشمه مشترک به‌طور معمول حاوی ساختاری منحنی گونه است که به‌خوبی به کمک شکل توابع پایه‌ای شیرلت توصیف می‌گردد. این توصیف راه به نمایشی تنک و معنی‌دار در حوزه تبدیلی می‌رساند. روند معمول در تضعیف نوفه‌هایی که بر پایه تبدیل‌ها انجام می‌شوند شامل سه مرحله زیر می‌باشد.

(۱) محاسبه ضرایب تبدیل با استفاده از رابطه (۳-۱۴)

(۲) انتخاب مقداری برای آستانه‌گذاری تحت عنوان T و صفر در نظر گرفتن ضرایب در صورت

کمتر بودن از مقدار آستانه

(۳) بازسازی سیگنال تمیز با استفاده از ضرایب تبدیل آستانه‌گذاری شده

مقدار آستانه‌گذاری معمولاً جهت نشان دادن اندازه نوفه در داده‌ها استفاده می‌گردد [Easley, 2008]. با این حال، تخمین میزان نوفه در اعمال واقعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. دیگر ملاحظات کاربردی شامل تأثیر لبه‌ها حاصل اعمال یک آستانه‌گذاری سخت بر روی ضرایب تبدیل و بازسازی سیگنال‌های اصلی با استفاده از تبدیل فوریه معکوس صورت می‌گیرد. به علاوه، ابعاد داده ورودی $N_t \times N_x$ نیازمند قرارگیری در ملاحظات به‌منظور عملکردی سریع و دقیق است.

برای روشن شدن این موضوع، در این پایان‌نامه انجام تبدیل شیرلت بر روی داده‌ها را با استفاده از پنجره‌هایی لغزنده و نیز حاوی همپوشانی باهم را بر روی داده ورودی ارائه شده است. ابعاد این پنجره‌ها به وسیله کاربر و با توجه به ابعاد داده اصلی تعیین می‌گردد. در بحث پنجره دو پارامتر وجود دارد. یکی طول و عرض پنجره‌ها و دیگری میزان همپوشانی این پنجره‌ها با یکدیگر. ما به این منظور پنجره‌ها را در نظر می‌گیریم تا بتوانیم دقیق‌تر به تضعیف نوفه داده‌ها بپردازیم. علت در نظر گرفتن همپوشانی جهت پیوستگی داده‌ها و نتایج است تا در نقاط مختلف شکل دچار رویدادهای اضافی یا غیر واقعی نباشیم. بعد از اینکه تضعیف نوفه تصادفی اعمال شد، داده‌های حاصل از هر پنجره به دست می‌آید و هر کدام از این داده‌ها به مرکز هر پنجره نسبت داده می‌شوند. برای نسبت دادن این نتایج به مراکز پنجره‌ها بایستی از درون‌یابی خطی استفاده نمود. درون‌یابی خطی به‌طور محسوسی تأثیر لبه‌ها و مرزها را در داده‌های ورودی به الگوریتم را کاهش می‌دهد. همچنین، تضعیف نوفه پنجره‌های کوچک‌تر توانایی انتخاب آستانه‌گذاری انطباقی را میسر می‌سازد.

تعیین پارامتر آستانه‌گذاری T یا همان میزان نوفه امری ضروری است. میزان نوفه معمولاً می‌تواند به‌وسیله مقدار تغییرات نمونه‌های نوفه (انحراف معیار) توصیف گردد. از آنجایی که نوفه با سیگنال درهم‌تنیده هستند جدا کردن مؤلفه‌های نوفه به‌منظور تخمین میزان نوفه کاری دشوار است. بنابراین،

استفاده از درصد تغییرات در سیگنال‌های ورودی به‌عنوان تخمینی از آستانه‌گذاری هر پنجره T_w پیشنهاد می‌گردد. تغییرات سیگنال‌های ورودی در هر پنجره با کمک تخمین جذر میانگین مربعات اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن ابعاد پنجره $n_t \times n_x$ ، سهم هر پنجره $f_w(t, x)$ در یک سیگنال ورودی $f(t, x)$ ، پارامتر آستانه‌گذاری پنجره تحت رابطه (۴-۱) تعریف می‌شود

$$T_w = \text{percentage} \times \frac{1}{n_x \times n_t} \sqrt{\sum_{x=0}^{n_x-1} \sum_{t=0}^{n_t-1} f_w^2(t, x)} \quad (4-1)$$

که درصد در رابطه بالا را خود کاربر تعریف کرده و بستگی به کیفیت داده‌های ورودی دارد.

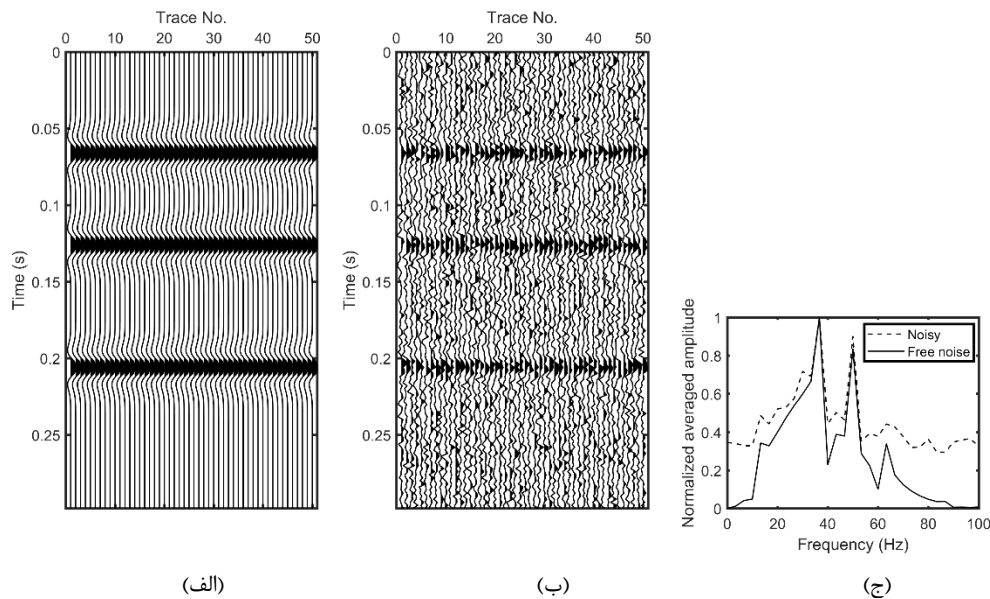
۴-۳- پارامترهای مؤثر در تضعیف نوفه با استفاده از تبدیل شیرلت

تبدیل شیرلت شامل پارامترهای مختلفی است. از جمله مقیاس، شییر، و نیز شیفت. از طرفی در این پایان‌نامه دو پارامتر دیگر نیز به این پارامترها اضافه گردیده است. طول و عرض پنجره‌ها که در قالب یک تابع به‌کاربرده می‌شوند و حدود ضرایب شیرلت را به دست می‌آورد؛ و نیز میزان همپوشانی پنجره‌ها با یکدیگر. پارامتر آستانه‌گذاری نیز یکی دیگر از عوامل مؤثر در نتایج حاصله می‌باشد. با در نظر گرفتن مقیاس موردنظر و نیز آگاهی از الگوریتم این تبدیل پارامترهای شییر و شیفت خود به‌وسیله پارامتر مقیاس تعریف می‌شوند. بدین ترتیب پارامترهایی که در نتایج ما مؤثر می‌باشند شامل مقیاس، در ابتدا به نشان دادن شکل‌هایی پرداخته می‌شود که تغییرات را نسبت به شیفت، مقیاس و شییر نمایان می‌کنند. تمامی داده‌های مصنوعی به‌وسیله نرم‌افزار MATLAB ایجاد گردیده است. این داده‌ها به دو صورت داده‌های مصنوعی ساده و نیز داده‌های مصنوعی پیچیده در نظر گرفته شده است. در داده‌های ساده رویدادها با یکدیگر برخوردی ندارند اما در داده‌های پیچیده رویدادها شیب‌دار و نیز متقاطع در نظر گرفته شده‌اند.

۴-۴- نتایج داده‌های مصنوعی

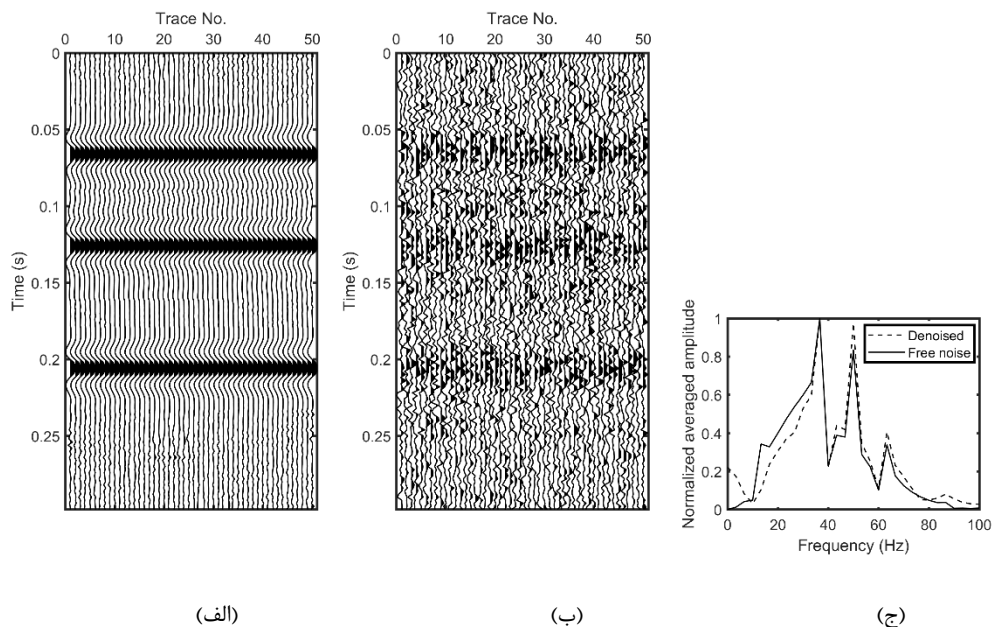
الگوریتم بر روی داده‌های مصنوعی تست شد. این داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB تولید شد.

مشخصات این داده به صورت روبروست. داده حاوی ۵۰ عدد تریس می‌باشد و از ۱۵۰ نمونه زمانی برخوردار است. فرکانس غالب آن ۳۰ هرتز است، گام نمونه‌برداری ۰/۰۰۲ و از نسبت سیگنال به نوفه ۴/۱۳۷۲- و ۴/۰۰۲ دسی‌بل برخوردار بود. دو نوع داده مصنوعی ساده و نیز پیچیده برای بررسی بهتر مورد آزمایش قرار گرفت. داده‌هایی پیچیده حاوی سه رویداد است که رویداد اول به صورت شیب‌دار و خطی و رویداد دیگر به صورت منحنی و رویداد سوم به صورت خطی است، و داده مصنوعی ساده حاصل دو رویداد خطی غیر متقاطع است. ابتدا به بررسی نتایج حاصل از داده مصنوعی ساده پرداخته می‌شود و بعد از آن داده مصنوعی پیچیده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

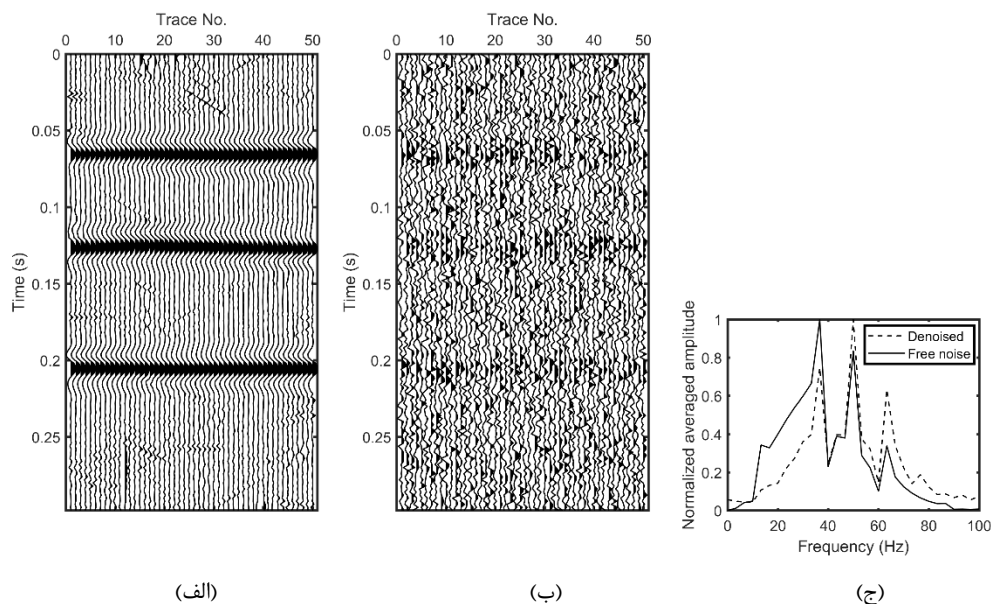


شکل ۴-۱: داده مصنوعی ساده. الف) داده بدون نوفه. ب) داده حاوی نوفه. ج) طیف دامنه

بعد از اعمال الگوریتم تبدیل شیرلت بر روی داده حاوی نوفه نتایج به صورت زیر میشوند.



شکل ۴-۲: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۴. الف) داده تضعیف نوفه شده. ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. ج) طیف دامنه

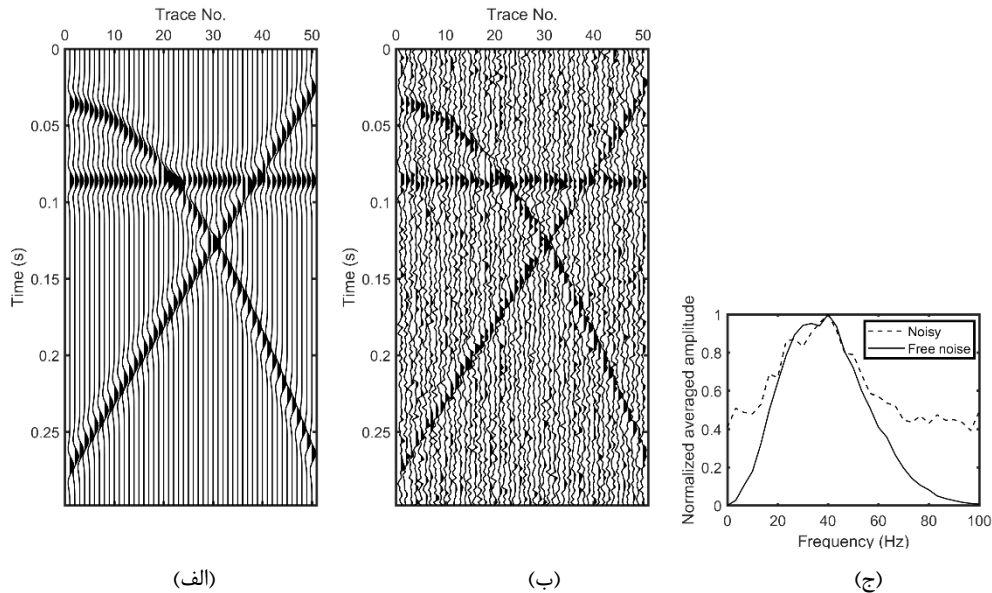


شکل ۴-۳: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه -۴. الف) داده تضعیف نوفه شده. ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. ج) طیف دامنه

همان طور که در نتایج بالا قابل مشاهده است، الگوریتم مورد نظر در برخورد با انواع داده‌ها با نوفه‌های متفاوت به خوبی عمل می‌کند. از طرفی بایستی توجه داشت که با داشتن مقادیر مختلف از ابعاد پنجره و نیز حد آستانه‌گذاری، به خوبی می‌توان جواب بهینه را به دست آورد. البته بایستی به

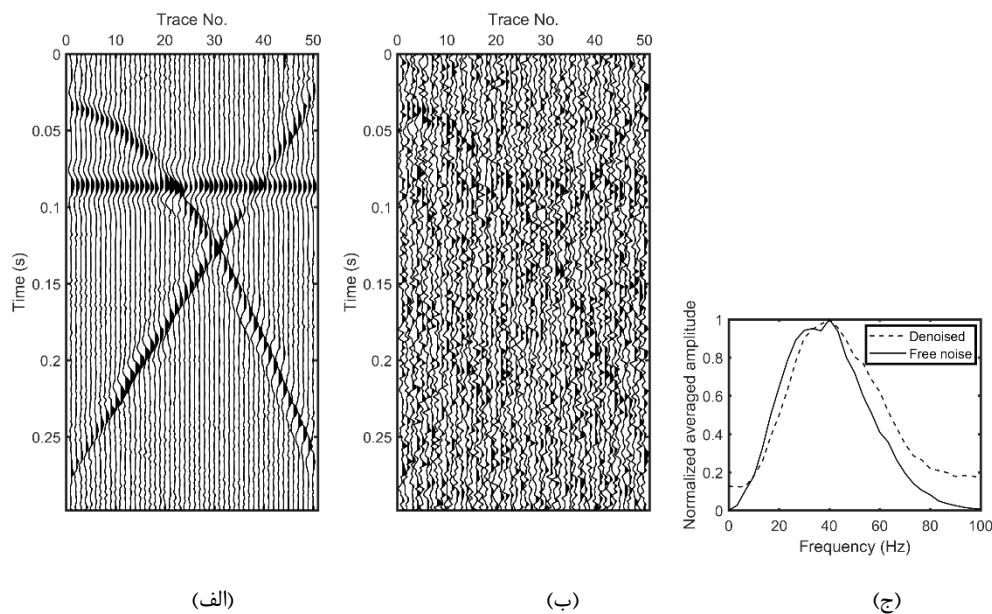
این نکته توجه داشت که با افزایش بیش از حد ابعاد پنجره و یا همپوشانی علاوه بر اضافه شدن به حجم محاسبات زمان بیشتری نیز برای اتمام الگوریتم مورد نیاز است. از طرفی با افزایش بسیار زیاد حد آستانه گذاری عملاً شاهد تضعیف سیگنال‌های مفید خواهیم بود.

حال داده‌های مصنوعی پیچیده مورد بررسی قرار خواهند گرفت.



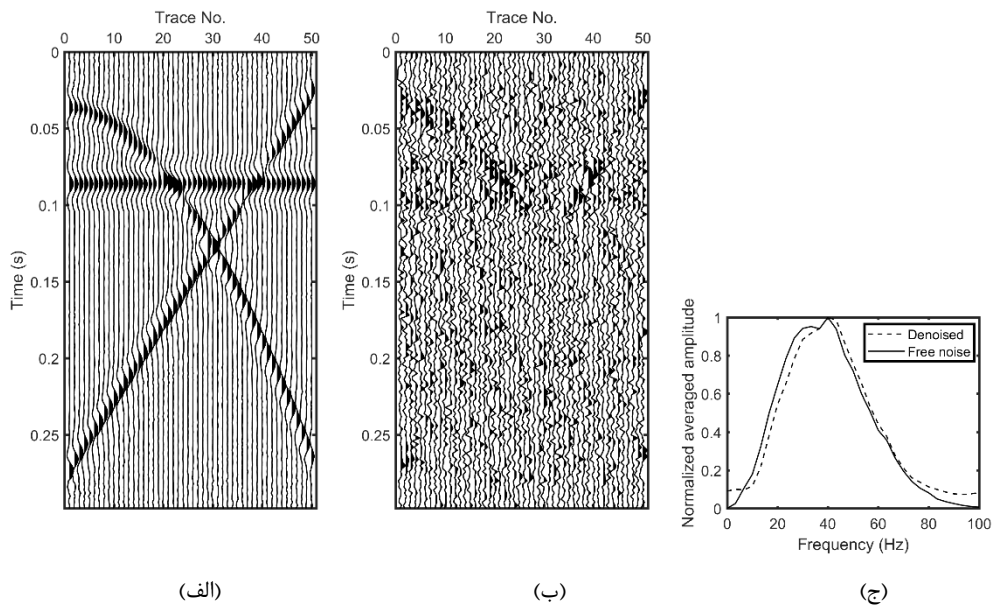
شکل ۴-۴: داده مصنوعی پیچیده با نوفه ۴-الف) داده اصلی. ب) داده حاوی نوفه. ج) طیف دامنه

با اعمال الگوریتم به روی این داده‌ها نیز نتایج به صورت زیر خواهند بود.



شکل ۴-۵: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۴-الف) داده تضعیف نوفه شده. ب) تفریق

داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. (ج) طیف دامنه

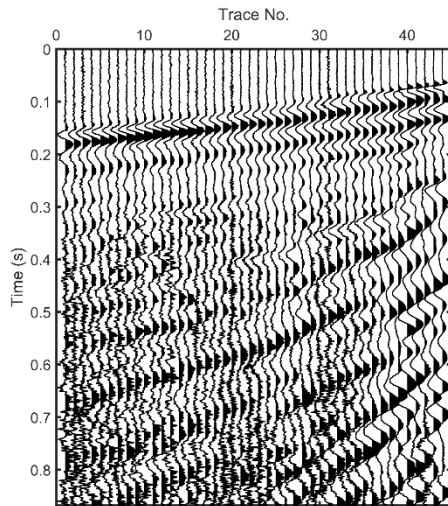


شکل ۴-۶: نتایج حاصل از اعمال الگوریتم شیرلت با نسبت سیگنال به نوفه ۰.۴ (الف) داده تضعیف نوفه شده. (ب) تفریق داده نوفه دار از تضعیف نوفه شده. (ج) طیف دامنه

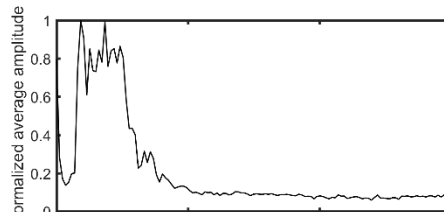
نتایج حاصل از داده‌های مصنوعی پیچیده با اعمال الگوریتم شیرلت در شکل‌های بالا مشهود اند. کارایی تبدیل شیرلت در داده‌های پیچیده با انواع مقادیر نوفه به خوبی مشخص است. و از این تبدیل می‌توان به منظور تضعیف نوفه داده‌ها استفاده نمود. این الگوریتم علاوه بر سرعت عمل بالا، دقت و کارایی لازم جهت حصول نتایج بهینه را دارا می‌باشد. از دیگر نکات موثر این الگوریتم می‌توان به سادگی آن اشاره نمود.

۴-۵- نتایج داده‌های واقعی

در شکل‌های زیر نتایج داده‌های واقعی حاصل شده از تضعیف نوفه با استفاده از تبدیل شیرلت قرار داده شده است. طول این داده‌ها برابر با ۸۴۹ و عرض آن برابر با ۵۰ می‌باشد. با استفاده از طول پنجره‌های متفاوت و همپوشانی‌های مختلف، و نیز با تغییر مقدار حد آستانه‌گذاری سعی در ارائه بهترین نتایج حاصل از اعمال الگوریتم بر روی داده‌های واقعی گردید. نتایج به صورت زیر قابل مشاهده است.

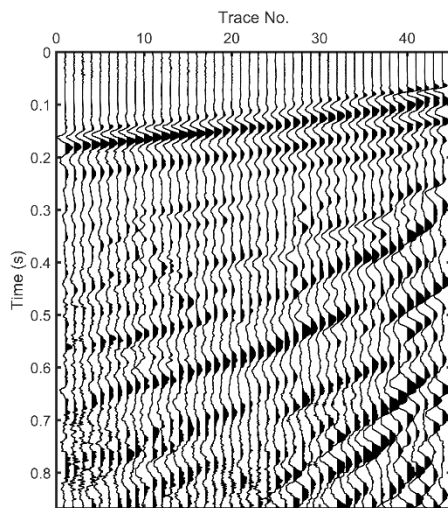


(الف)

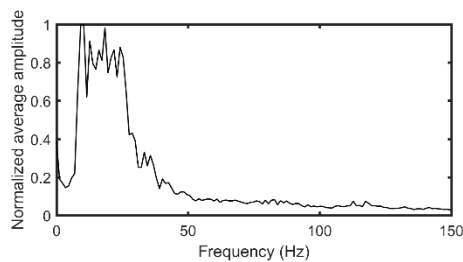


(ب)

شکل ۴-۷: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۲۰ و عرض ۲۰، همپوشانی طولی ۸ و عرضی ۸ و حد آستانه‌گذاری ۱۰. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه.

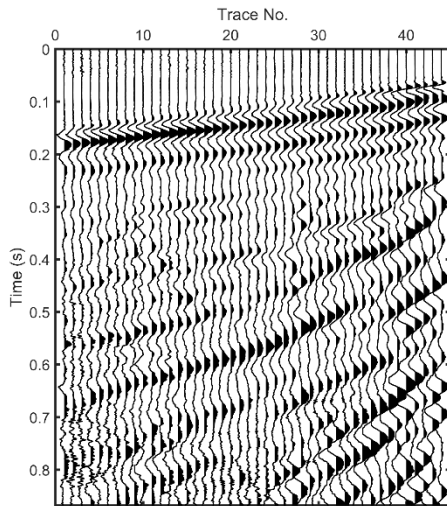


(الف)

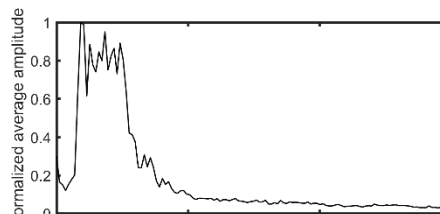


(ب)

شکل ۴-۸: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۵۰ و عرض ۳۰، همپوشانی طولی ۲۰ و عرضی ۱۰ و حد آستانه‌گذاری ۲۰. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه.

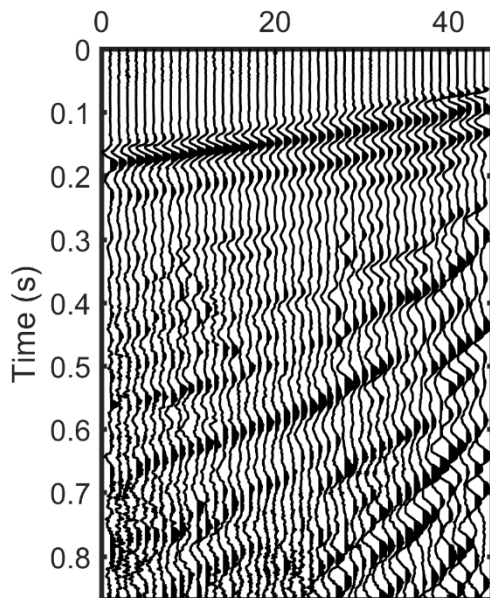


(الف)

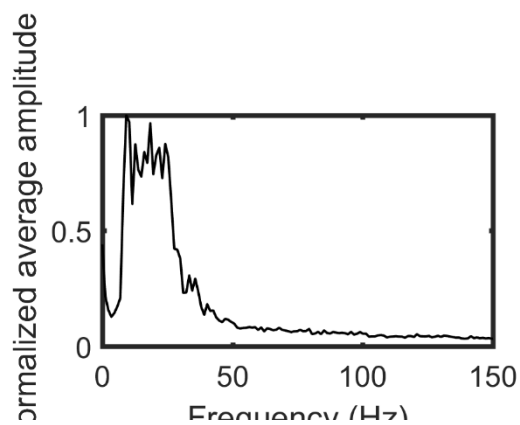


(ب)

شکل ۴-۹: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۱۵۰ و عرض ۳۵، همپوشانی طولی ۷۰ و عرضی ۱۲ و حد آستانه‌گذاری ۲۵. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه.



(الف)



(ب)

(ج)

شکل ۴-۱۰: نتایج حاصل از تضعیف نوفه داده واقعی با طول پنجره ۲۰۰ و عرض ۳۵، همپوشانی طولی ۸۰ و عرضی ۱۳ و حد آستانه‌گذاری ۲۰. الف) تصویر تضعیف نوفه شده. ب) طیف دامنه.

همان‌طور که مشاهده شد با افزایش طول پنجره‌ها نتایج حاصل بهتر و کمتر آلوده به نوفه شد. از

طرفی بایستی دقت داشت که میزان حد آستانه‌گذاری از مقداری بیشتر نشود تا باعث از بین رفتن

سیگنال‌های مفید نگردد و درعین‌حال کمتر از مقداری نیز نباشد تا نوفه به خوبی از تصویر زدوده شود.

با دقت در مجموعه تصاویر مشاهده شد که از جمله مهم‌ترین عوامل در حصول بهترین تضعیف، می‌توان به ابعاد پنجره، پس از آن به حد آستانه‌گذاری، سپس میزان همپوشانی و در انتها مقدار مقیاس اشاره نمود. درمجموع تمام عوامل به کمک هم تأثیر بسزایی در ایجاد نتیجه قابل قبول را دارند، اما از تأثیر طول پنجره‌ها و همپوشانی آن‌ها نایبستی غافل شد.

از طرف دیگر با افزایش ابعاد پنجره‌ها و یا میزان همپوشانی آن‌ها سرعت پردازش‌ها به علت افزایش حجم محاسبات کاهش می‌یابد. حد آستانه‌گذاری نیز از همین روبه پیروی می‌کند. اما این افزایش زمان محاسبات منجر به داده‌هایی با نسبت سیگنال به نوفه بسیار مناسب می‌گردد.

افزایش مقدار مقیاس نیز اندکی سرعت را کاهش می‌دهد اما در مقایسه با دیگر عوامل کاهش سرعت چشمگیر نیست.

۵- فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه ابتدا به معرفی روش های مختلف تضعیف نوفه پرداخته شد. با پرداختن به نکات قوت و ضعف هر یک از این روش ها به تبدیل مورد بحث در پایان نامه پرداخته شد. تبدیل شیرلت به عنوان عضوی از خانواده تبدیل های بازچینی شده که معکوس پذیر نیز می باشند و قادر به تضعیف نوفه در حد قابل قبولی را دارد. از جمله نتایجی که از این پایان نامه حاصل شد میتوان به موارد زیر اشاره کرد.

تبدیل شیرلت در تضعیف نوفه تصادفی حتی با SNR پایین نتایج خوبی دارد.

اثرات حاشیه ای این روش بسیار کم است.

تاثیر پارامترهای مختلف در این تبدیل بسیار زیاد است. از جمله حد آستانه گذاری، که با افزایش آن تا حدی می توان به نتایج مطلوبی دست پیدا کرد. اما با افزایش آن از حدی علاوه بر نوفه سیگنال مورد نیاز نیز حذف می شود. طول و عرض پنجره به عنوان یکی دیگر از عوامل موثر در این تبدیل مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش طول و عرض پنجره شاهد افزایش حجم محاسبات و نیز افزایش زمان مورد نیاز الگوریتم خواهیم بود. با کاهش این ابعاد روند کار تسریع می شود از طرفی تضعیف نیز کمتر صورت می پذیرد. بحث همپوشانی نیز همانند ابعاد پنجره تاثیرگذار است. پارامتر مقیاس نیز مورد بررسی قرار گرفت و همان طور که مشاهده شد، با افزایش میزان مقیاس طول موج های بیشتری مورد بررسی قرار گرفت و دقت کار نیز افزایش یافت.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به مطالعات انجام شده می توان پیشنهادات زیر را ارائه داد

- ۱- همچنین به منظور کاهش تعداد ردلرزه های لازم برای جلوگیری از دگرنامی و در نتیجه کاهش میزان درون یابی می توان از پنجره های بزرگتر استفاده کرد.

۲- می‌توان از روش‌های دیگر به منظور کاهش اثر حاشیه‌ای استفاده نمود تا تاثیر این اثر را تا حد زیادی کاهش داد.

۳- ارائه راه‌کاری جهت حل مشکل پدیده کاذب در محل ناپیوستگی‌ها به علت پارامتر همپوشانی امری ضروری جلوه می‌کند.

-منابع و مأخذ

باقری، م.، (۱۳۸۶)، تضعیف امواج سطحی در حوزه ردلرزه شعاعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Abdul-Jauwad S. and Khène M. (2000) “Two-dimensional wavelet-based ground roll filtering” Technical Program Expanded Abstracts, SEG, pp. 2107-2110.

Addison P. S. (2002) “The illustrated wavelet transform handbook”, IOP Publishing Ltd, Napier University, Edinburgh, UK.

Aidi W. and Xiuling Zh. (2010) “Seismic signal denoising method based on curvelet transform” 6th International Conference on Natural Computation, IEEE, pp. 3624-3627.

Almeida L. J., Manenti R. R. and Porsani M. J. (2015) “Coherent noise attenuation using the wavelet transform on radial basis” Technical Program Expanded Abstracts, SEG, pp. 4720-4724.

Bekara and Van der Baan, “Random and coherent noise attenuation by empirical mode decomposition,” *Geophysics*, vol. 74, pp. V89-V98, 2009.

Boashash B. (2003), “Time frequency signal analysis”, A comprehensive reference, Elsevier, Oxford, UK.

Canales L. L. (1984) “Random noise reduction” Technical Program Expanded Abstracts, SEG, pp. 525-527.

Candes E. J. and Donoho D. L. (1999b) “Curvelets: a surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges” Technical Report, Statist of depart, Stanford University.

Candes E. J. and Donoho D. L. (2000) “Recovering edges in ill-posed inverse problems: optimality of curvelet frame” *Ann. Statist.*, 30, pp. 784-842.

Candes E. J. and Donoho D. L. (1999a) “Ridgelets: The key to high dimensional intermittency?” *Statist of depart, Stanford University*, 357, pp. 2495-2509.

Candes E. J. and Guo F. (2002) “New multiscale transform, minimum total variation synthesis: application to edge-preserving image reconstruction” *Sig. Process., Special Issue on Image and Video Coding Beyond Standards*, 82, pp. 1519-1543.

Candes E. J., Demanet L., Donoho D. L., and Ying L., (2005) “Fast discrete curvelet transform” *SIAM Multiscale Modeling and Simulation*, 5, pp. 861-899.

Candes E. J. (1999) “Monoscale ridgelets for the representation of images with edges” Technical Report, Statist of depart, Stanford University.

Candes E. J., (1998), Phd. thesis, “Ridgelets: theory and application”, *Statist. depart. Stanford University*.

Candes E. J. (2003) “What is a curvelet?” *Notices of the AMS*, 50, pp. 1402-1403.

- Cheng Y., Jiao S., Ma J., Chen H., Zhou Y., and Gan S., (2015) “Ground-roll noise attenuation using a simple and effective approach based on local band-limited orthogonalization” *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 12, 11, pp. 2316-2320.
- Claerbout J. F. (1983) “Ground roll and radial traces” *Stanford Exploration Project Report, SEP*, 35, pp. 43-53.
- Claerbout J. F. (1975) “Slant-stack and radial traces” *Stanford Exploration Project Report, SEP*, 5, pp. 1-12.
- Daubechies I. (1998) “Orthonormal bases of compactly supported wavelets” *Commun. Pure Appl. Math.*, 41, pp. 909-996.
- Do M. N. and Vetterli M. (2003) “The finite ridgelet transform for image representation” *Transactions on Image Processing, IEEE*, 12, pp. 16-28.
- Dobrin M. B. and Savit C. H. (1998), “Introduction to geophysical prospecting”, McGraw Hill Book Company, pp. 867.
- Easley, G. R., D. Labate, and F. Colonna, 2009, Shearlet-based total variation diffusion for denoising: *IEEE Transactions on Image Processing*, 18, 260–268.
- Easley, G., D. Labate, and W.-Q. Lim, 2008, Sparse directional image representations using the discrete shearlet transform: *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 25, no. 1, 25– 46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acha.2007.09.003>.
- Elboth T., Vik Presterud I., and Hermansen D. (2010) “Time-frequency seismic data de-noising” *Geophysical Prospecting*, 58, 3, pp. 441-453.
- Fadili M. J. and Starck J. L. (2007) “Curvelets and ridgelets” *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 14, pp. 1718-1738.
- Fugal L. D. (2009), “Conceptual wavelets in digital signal processing”, Space & Signals Technologies LLC.
- Gabor D. (1946) “Theory of communication” Part 1: The analysis of information, *Journal of the Institution of Electrical Engineers-Part III: Radio and Communication Engineering*, 93, pp. 429-441.
- Górszczyk, A., A. Adamczyk, and M. Malinowski, 2014, Application of curvelet denoising to 2D and 3D seismic data a practical considerations: *Journal of Applied Geophysics*, 105, 78–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.03.009>.
- Gulunay N., Magesan M., Baldock S. (2001) “Spatial prediction filters for attenuation of seismic interference noise” *CGG. Americas Inc.*

Guo, K., and D. Labate, 2007, Optimally sparse multidimensional representation using shearlets: *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 39, no. 1, 298–318.
<http://dx.doi.org/10.1137/060649781>.

Hassanpour, H., Mesbah, M. and Boashash, B. (2004) Time-Frequency Based Newborn EEG Seizure Detection Using Low and High Frequency Signatures. *Physiological Measurement*, 25, 935-944.
<http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/25/4/012>

Hauser, S., 2012, Fast finite shearlet transform: arXiv preprint arXiv: 1202.1773.

Hauser, S., and J. Ma, 2012, Seismic data reconstruction via shearlet-regularized directional inpainting.

Jiuying, G., Z. Xingyun, and Y. Huizhu, 1995, Attenuation of random noise in (f- x, y) domain: *Oil Geophysical Prospecting*, 2, 006.

Kutyniok, G., 2012, *Shearlets: Multiscale analysis for multivariate data*: Springer Science & Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-8176-8316-0>.

Liu, G., X. Chen, J. Du, and K. Wu, 2012, Random noise attenuation using f-x regularized nonstationary autoregression: *Geophysics*, 77, no. 2, V61–V69.
<http://dx.doi.org/10.1190/geo2011-0117.1>.

Necati Güllünay (2000). "Noncausal spatial prediction filtering for random noise reduction on 3-D poststack data." *GEOPHYSICS*, 65(5), 1641-1653.
<https://doi.org/10.1190/1.1444852>

Neelamani, R., A. I. Baumstein, D. G. Gillard, M. T. Hadidi, and W. L. Soroka, 2008, Coherent and random noise attenuation using the curvelet transform: *The Leading Edge*, 27, 240–248. <http://dx.doi.org/10.1190/1.2840373>.

Oropeza, V. E., and M. D. Sacchi, 2010, A randomized SVD for multichannel singular spectrum analysis (MSSA) noise attenuation: *JSEG Annual Meeting*, 3539–3544.

Yi, S., D. Labate, G. R. Easley, and H. Krim, 2009, A shearlet approach to edge analysis and detection: *IEEE Transactions on Image Processing*, 18, 929–941.

Goudarzi A. R. and Riahi M. A. (2012) "Adaptive seismic ground roll attenuation using the double density dual tree discrete wavelet transform (dwt) method" *Journal of Earth Sciences Research*, 16, 2, pp. 113-120.

Gulunay N., Magesan M., Baldock S. (2001) “Spatial prediction filters for attenuation of seismic interference noise” CGG. Americas Inc.

Haykin and Van Veen, “Signals and Systems,” John Willy & Sons, 2007.

Liu Y. and Fomel S. (2013) “Seismic data analysis using local time-frequency decomposition” *Geophysical Prospecting*, 61, 3, pp. 516-525.

Louis P. M. A. K and Rieder A. (1997), “Wavelets theory and applications”, John Wiley and Sons.

Mallat S. (1989) “A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation” *Pattern Anal. and Machine Intell*, IEEE, 11, 7, pp. 674-693.

Mallat S. (1999), “A wavelet tour of signal processing”, 2nd edition, Elsevier, USA.

Mallat S. (2009), “A wavelet tour of signal processing”, 3th edition, Elsevier, USA.

Morlet J., Arens G., Fourceau E., and Giard D. (1982) “Wave propagation and sampling theory” *Geophysics*, 47, pp. 203-236.

Monteiller and Chevrot, “How to make robust splitting measurements for single-station analysis and three-dimension imaging of seismic anisotropy,” *Geophysical journal International*, vol. 182, pp.311-328, 2010.

Morlet J., Arens G., Fourceau E., and Giard D. (1982a) “Wave propagation and sampling theory” Part I: Complex signal land scattering in multilayer media, *J. of. Geophys.*, 47, pp. 203-221.

Neelamani R., Baumstein A. I., Gillard D. G., Hadidi M. T., and Soroka W. L. (2008) “Coherent and random noise attenuation using the curvelet transform” *The Leading Edge*, pp. 240-248.

Oppenheim A. V., Willsky A. S., and Nawab S. (1997), “Signal and system”, Prentice Hall.

Oropeza V. E., (2010), MSc. thesis, “The singular spectrum analysis method and its application to seismic data denoising and reconstruction”, Alberta University.

Polikar R. “The wavelet tutorial” <http://users.rowan.edu/polikar/WAVELETS/WTtutorial.html>.

Proakis J. G. and Manolakis D. G. (1996), “Digital signal processing: principles, algorithm, and application”, Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Proakis J. G. and Manolakis D. G. (2007) “Digital signal processing, principles, algorithms, and application”, Pearson Prentice Hall.

Radon J. (1917) “Über die bestimmung von funktionen durch ihre integralwerte langsgewisser manningfaltigkeiten (on the determination of functions from their

integrals along certain manifolds)'' Berichte Saechsische Akademie der Wissenschaften, 29, pp. 262-277.

Ray Abma and Jon Claerbout (1995). "Lateral prediction for noise attenuation by $t-x$ and $f-x$ techniques." GEOPHYSICS, 60(6), 1887-1896.
<https://doi.org/10.1190/1.1443920>

Russell B., Hampson D., and Chun J. (1990) "Noise elimination and the radon transform" The Leading Edge, 9, 10, pp. 18-23.

Sacchi M. D., (2002), "Statistical and transform methods in geophysical signal processing" Phys. depart. Alberta University.

Sheriff R. E. and Geldart L. P. (1995), "Exploration seismology", Cambridge University Press.

Starck J. L., Candes E. J., and Donoho D. L. (2000) "The curvelet transform for image denoising" Transactions on Image Processing, IEEE, 11, pp. 131-141.

Telford W. M., Geldart L. P., and Sheriff R. E. (1990), "Applied geophysics" Vol. 1, Cambridge University Press.

Trad D., Sacchi M. D., and Ulrych T. J. (2001) "A hybrid linear-hyperbolic radon transform" Journal of Seismic Exploration, 9, pp. 303-318.

Xiaogui Miao and Scott Cheadle (1998) Noise attenuation with wavelet transforms. SEG Technical Program Expanded Abstracts 1998: pp. 1072-1075.
<https://doi.org/10.1190/1.1820071>

Yilmaz Ö. (2001), "Seismic data analysis", Vol. 1, Society of Exploration Geophysics Tulsa, Ok.

Zhang Zh. Y., Zhang X. D., Yu H. Y., and Pan X. Y. (2010) "Noise suppression based on a fast discrete curvelet transform" Journal of Geophysics and Engineering, 7, pp. 105-11

Abstract

Random noise attenuation plays an important role in the seismic signal processing. Noise in seismic data can be divided into two categories of coherent and incoherent or random noise. Incoherent noise is usually characterized by random oscillation in seismic data over the entire time and frequency. Many algorithms have been developed to address the random noise attenuation problem in seismic records. Different methods are based on different assumptions about the signal. Random noise attenuation in seismic shot gathers is an important processing step which enables other processes that rely on the input data to work more effectively such as deconvolution and pre-stack imaging. This work aims to describe a method which adaptively performs random noise attenuation in the shearlet domain of sliding 2-dimensional windows. We conducted different denoising experiments on real and synthetic shot gathers with different signal-to-noise ratio. The results show that the proposed method is capable of suppressing the random noise while preserving the signal on the pre-stack gathers.

Similar to the curvelet transform, the shearlet transform is a multi-dimensional transform that has been developed for multi-scale directional analysis. The shearlet transform has been successfully applied to low-level image processing tasks such as image denoising and image deconvolution as well as high-level processing tasks such as edge detection and feature extraction. The shearlet transform has also shown promising results when applied in seismic data interpolation problems. We propose to apply the shearlet transform for denoising of seismic shot gathers. In particular, we use the transform formulation for fast and efficient computation of the transform coefficient. We present an adaptive strategy for threshold estimation and selection. Finally, we address the problem of edge effects and alleviate reconstruction artifacts by applying the method on sliding 2-dimensional windows of the data.

Keywords: coherent and incoherent noise, Random noise, shearlet transform, denoising, 2-dimensional transform.



Shahrood University of Technology

MSc Thesis in Seismology

**Application of Shearlet transform for random noise
suppression in reflection seismic data**

Seyyed Saeed Pishva

Supervisor

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Ali Nejati Kalate

Advisor

Dr. Mohammad Raddad

September 2018