

رسالة محمد



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه ژئوفیزیک

بهبود کیفیت داده‌های لرزه‌ای دو بعدی با استفاده از روش فیلتر نقطه بیشینه
زمان - فرکانس ردلرزه شعاعی

رضا جیریایی شراهی

اساتید راهنما :

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر حمیدرضا سیاه‌کوهی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۹۲

تقدیم بہ:

یگانہ بانوی عالم، صدیقہ طاہرہ، بہانہ، مستی

حضرت فاطمہ زہرا علیہا الاف التحیۃ والسلام

و فرزند موعودشان، قائم آل محمد صلی اللہ علیہ وآلہ وسلم

عجل اللہ تعالیٰ فرجہ الشریف.

تشکر و قدردانی

اکنون که به لطف پروردگار موفق به دفاع از رساله خویش شده‌ام، بر خود لازم می‌دانم تا بدین وسیله از آقای دکتر این روشندل کا هو که زحمت راهنمایی اینجانب را در انجام این پایان‌نامه بر عهده داشتند و نکات ارزنده بسیاری را در طول دوره تحصیلی از ایشان آموختم، تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از آقای دکتر حمیدرضا سیاه‌کوهی به پاس نظرات و پیشنهادهای سازنده ایشان که باعث اعتلای بیشتر این رساله گردیدند، تقدیر و تشکر می‌کردم. همچنین از تمام دوستان عزیز می‌گویم که در تمام دوران تحصیل، همواره همراه و کمک‌کننده بوده‌اند، تشکر می‌نمایم.

چکیده

وجود نوفه در داده‌های لرزه‌ای، پیوستگی رویدادهای بازتابی را کاهش داده و در کارآمدی مراحل مختلف پردازش داده مانند واهمامیخت، آنالیز سرعت و مهاجرت تاثیر نامناسب دارد. نوفه‌های مختلفی در داده‌های لرزه‌ای وجود دارند. نوفه‌های تصادفی به عنوان یک از مهمترین انواع نوفه در تمامی زمان‌ها و فرکانس‌ها، داده لرزه‌ای را آلوده می‌کنند. بنابراین تضعیف این نوع نوفه با روش‌های معمول همواره با مشکلاتی همراه است. بعلاوه ویژگی ناپایا بودن سیگنال‌های لرزه‌ای نیز تضعیف نوفه تصادفی را مشکل‌تر می‌سازد. تا کنون روش‌های مختلفی برای تضعیف نوفه تصادفی معرفی شده‌اند که در این میان فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس به خاطر در نظر گرفتن ویژگی ناپایایی سیگنال‌های لرزه‌ای دارای مزیت‌های زیادی می‌باشد. در این روش ابتدا سیگنال حاوی نوفه به یک سیگنال تحلیلی کدگذاری می‌شود و توزیع زمان- فرکانس این سیگنال تحلیلی محاسبه می‌گردد. سپس سیگنال نوفه‌زدا شده با تخمین فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده از طریق انتخاب بیشینه فرکانسی توزیع زمان- فرکانس، حاصل می‌گردد. اولین گزینه برای محاسبه نمایش زمان- فرکانس، توزیع ویگنر- وایل می‌باشد. اما مشکلی در استفاده از این توزیع زمان- فرکانس وجود دارد؛ تا زمانی که فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده خطی باشد، یک تابع ضربه واحد در موقعیت فرکانس لحظه‌ای توزیع زمان- فرکانس قرار می‌گیرد بنابراین فرکانس لحظه‌ای تخمین زده شده بسیار نزدیک به فرکانس لحظه‌ای واقعی می‌باشد. اما در صورتی که فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده از درجه‌های بالاتر باشد، انواع دیگری از توابع با شکل دلخواه در موقعیت فرکانس لحظه‌ای توزیع زمان- فرکانس قرار می‌گیرد و در نتیجه فرکانس لحظه‌ای تخمین زده شده با فرکانس لحظه‌ای واقعی فاصله زیادی خواهد داشت. در این پایان‌نامه از توزیع شبه ویگنر- وایل که یک توزیع پنجره‌ای است، برای محاسبه نمایش زمان- فرکانس استفاده گردید. با استفاده از این توزیع می‌توان طول پنجره را به گونه‌ای انتخاب کرد که فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده در طول پنجره تا حد امکان خطی باشد. طول پنجره در این حالت نقش کلیدی در کارآیی روش دارد. به این صورت که اگر یک پنجره با

طول کوتاه انتخاب گردد، میزان نوفه تصادفی تضعیف شده پایین خواهد بود؛ برای تضعیف میزان بیشتری نوفه تصادفی، بایستی طول پنجره را افزایش داد. اما افزایش طول پنجره هرچند میزان تضعیف نوفه را افزایش می‌دهد اما قسمتی از رویدادهای اصلی را نیز تضعیف می‌کند. برای تضعیف نوفه بیشتر و حفظ رویدادهای اصلی به طور همزمان، بایستی سیگنال حاوی نوفه تا حد امکان در طول پنجره خطی باشد. آشکار است که اگر به نحوی فرکانس رویدادهای اصلی کاهش یابد این هدف برآورده خواهد شد. البته فرکانس نوفه تصادفی نباید در این فرآیند کاهش یابد.

اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی روی داده لرزه‌ای، فرکانس رویدادهای اصلی را کاهش می‌دهد اما تعداد زیادی ردلرزه شعاعی لازم است تا از دگرنامی جلوگیری شود و یک سری بد شکلی‌هایی نیز به دلیل درونیایی صورت گرفته در انجام تبدیل، ایجاد می‌گردد. در این پایان‌نامه، یک حالت اصلاح شده از تبدیل شیب ردلرزه شعاعی معرفی گردید. روش اصلاح شده نسبت به روش معمول سرعت بالاتری دارد و همچنین درونیایی بسیار کمتری هنگام اعمال آن لازم است. در روش اصلاح شده در این پایان‌نامه، ابتدا تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده روی داده لرزه‌ای ورودی اعمال می‌گردد. سپس داده نوفه‌زدا شده، با اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی روی داده انتقال یافته به حوزه جدید، حاصل می‌گردد. در این روش می‌توان با استفاده از یک پنجره بلند، همزمان میزان زیادی نوفه را تضعیف نموده و رویدادهای اصلی را نیز حفظ نمود. روش معمولی و اصلاح شده روی داده مصنوعی و واقعی اعمال گردید که مقایسه نتایج حاصل، موارد ذکر شده را تایید می‌کند. همچنین اعمال روش اصلاح شده روی داده لرزه‌ای حاوی نوفه زمین‌گلت نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن پارامترهای مناسب این روش کارآیی خوبی نیز در تضعیف نوفه زمین‌گلت دارد.

کلمات کلیدی: تبدیل ردلرزه شعاعی، سیگنال ناپایا، فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس، داده لرزه‌ای.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

"تضعیف نوفه همدوس زمین‌غلت با استفاده از ترکیب ردلرزه شعاعی محلی و فیلتر میانگین" پذیرفته شده جهت چاپ در مجله ژئوفیزیک ایران.

"تضعیف نوفه خطی در داده‌های لرزه‌ای چشمه مشترک با استفاده از ترکیب تبدیل شیب و فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس" ارائه شده در اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت. اردیبهشت ۹۲ تهران.

"نوفه زدایی داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس اصلاح شده" ارائه شده در کنفرانس ملی مهندسی برق. اسفند ۹۱ سروستان.

"تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی به وسیله فیلتر بیشینه ضریب زمان-فرکانس اصلاح شده" ارائه شده جهت چاپ در مجله ژئوفیزیک ایران.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه	۱
فصل دوم ابزار تحقیق	۸
۱-۲. تبدیل ردلرزه شعاعی	۹
۱-۱-۲. دگرنامی	۱۰
۲-۱-۲. درونیابی	۱۱
۲-۲. تبدیل شیب ردلرزه شعاعی	۱۳
۳-۲. تبدیل‌های زمان-فرکانس	۱۶
۱-۳-۲. توزیع ویگنر-وایل	۲۴
۲-۳-۲. توزیع شبه ویگنر-وایل	۲۶
۳-۳-۲. توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده	۲۸
فصل سوم فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس	۳۳
۱-۳. اصول فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس	۳۴
۲-۳. ویژگی‌ها	۳۹
فصل چهارم فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس در حوزه ردلرزه شعاعی	۴۲
۱-۴. مقدمه	۴۳
۲-۴. تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده	۴۴
۳-۴. روش کار در تضعیف نوفه تصادفی	۴۹
۴-۴. روش کار در تضعیف نوفه زمین‌غلت	۵۱
فصل پنجم اعمال بر روی داده مصنوعی و واقعی	۵۴
۱-۵. اعمال روش بر داده مصنوعی در تضعیف نوفه تصادفی	۵۵
۲-۵. اعمال روش بر داده واقعی در تضعیف نوفه تصادفی	۶۴
۲-۵. اعمال روش بر روی داده واقعی در تضعیف نوفه زمین‌غلت	۷۱
فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۷۷
۱-۶. نتیجه‌گیری	۷۸
۲-۶. پیشنهادات	۷۹

٨١ منابع و مأخذ

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱. نمایش شماتیک تبدیل ردلرزه شعاعی برای حالتی که مبدا مختصات تبدیل بر مبدا مختصات داده‌های لرزه‌ای (الف) منطبق باشد و (ب) منطبق نباشد [وو و همکاران، ۲۰۱۱]. ۱۰
- شکل ۲-۲. نمایش شماتیک ایجاد ناپیوستگی در تبدیل ردلرزه شعاعی برای حالتی که از روش درونیایی نزدیکترین همسایه استفاده شده است. ۱۲
- شکل ۲-۳. نمایش شماتیک عدم ایجاد ناپیوستگی در تبدیل ردلرزه شعاعی برای حالتی که از درونیایی خطی استفاده شده است. ۱۳
- شکل ۲-۴. نمایش چگونگی کاهش فرکانس برای ردلرزه‌های شعاعی که موازی با رویدادهای لرزه‌ای قرار می‌گیرند. (الف) مسیر ردلرزه‌های شعاعی در حوزه زمان-مکان و (ب) ردلرزه‌های شعاعی در حوزه زمان-سرعت ظاهری [هنلی، ۲۰۰۰]. ۱۵
- شکل ۲-۵. نمایش جعبه‌هایزنبورگ و نمایش چگونگی تغییر آن در محور فرکانس و زمان [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹]. ۱۹
- شکل ۲-۶. (الف) نمایش حوزه زمان سیگنال S_1 و (ب) نمایش حوزه زمان سیگنال S_2 ۲۱
- شکل ۲-۷. (الف) نمایش حوزه فرکانس سیگنال S_1 و (ب) نمایش حوزه فرکانس سیگنال S_2 ۲۲
- شکل ۲-۸. (الف) نمایش حوزه زمان-فرکانس سیگنال S_1 و (ب) نمایش حوزه زمان-فرکانس سیگنال S_2 ۲۳
- شکل ۲-۹. فلوچارت توزیع شبه ویگنر-وایل [روشندل، ۱۳۸۸]. ۲۷
- شکل ۲-۱۰. فلوچارت توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده [روشندل، ۱۳۸۸]. ۲۹
- شکل ۲-۱۱. دو سیگنال شانون با فرکانس‌های مرکزی (الف) ۱۵ و (ب) ۳۰ هرتز که در دو زمان متفاوت تکرار شده‌اند و (پ) مجموع آنها. ۳۱
- شکل ۲-۱۲. (الف) توزیع ویگنر-وایل، (ب) توزیع شبه ویگنر-وایل و (پ) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده برای سیگنال نشان داده شده در شکل ۲-۱۱ (پ). ۳۲
- شکل ۳-۱. نمایش چگونگی عملکرد فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس، (الف) سیگنال تولید شده با موجک ریکر آلوده به نوفه تصادفی (ب) سیگنال پس از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس و (پ) نمایش زمان-فرکانس سیگنال کدگذاری شده. ۳۸
- شکل ۳-۲. فلوچارت فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس. ۳۹
- شکل ۴-۱. نمایش چگونگی انطباق مسیر ردلرزه‌های با سرعت ظاهری ثابت بر داده لرزه‌ای در تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده. خطوط آبی رنگ نشان دهنده مسیر ردلرزه‌ها هنگام اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده و نقاط قرمز رنگ نیز نمایانگر موقعیت داده‌های لرزه‌ای می‌باشند که همانطور که مشاهده می‌گردد بر هم منطبق هستند. ۴۵
- شکل ۴-۲. نمایش یک ردلرزه (الف) در حوزه زمان-مکان و (ب) در حوزه ردلرزه شعاعی. ۴۷

شکل ۴-۳. نمایش چگونگی کاهش فرکانس برای ردلرزه های مختلف در حوزه ردلرزه شعاعی. (الف)
 طیف دامنه ردلرزه شکل ۴-۲ (الف) در حوزه زمان- مکان و طیف دامنه در حوزه ردلرزه شعاعی
 اصلاح شده برای حالتی که (ب) مسیر ردلرزه شعاعی نسبت به رویدادهای لرزه ای دارای زاویه نسبتا
 زیاد، (پ) دارای زاویه کم و (ت) تا حد زیادی موازی می باشد. ۴۸
 شکل ۴-۴. فلوچارت فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی. ۵۰
 شکل ۴-۵. (الف) نمایش یک رکورد ردلرزه ای چشمه مشترک همراه با نوفه زمین غلت در حوزه
 زمان- مکان و (ب) همان رکورد لرزه ای بعد از اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده. ۵۲
 شکضل ۴-۶. (الف) نمایش یک ردلرزه همراه با نوفه زمین غلت با فرکانس پایین (بخش قرمز رنگ)
 که از رکورد شکل ۴-۵ (الف) بیرون کشیده شده است و (ب) یک ردلرزه دیگر که از رکورد شکل ۴-۵
 (ب) بیرون کشیده شده است و فرکانس نوفه زمین غلت آن (بخش قرمز رنگ) به شدت افزایش یافته
 است. ۵۳

شکل ۵-۱. رکورد لرزه ای مصنوعی (راست) بدون نوفه و (چپ) همراه با نوفه با نسبت سیگنال به نوفه
 ۱۲- دسی بل. ۵۷
 شکل ۵-۲. (راست) رکورد لرزه ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با
 طول پنجره ۳ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه ای قبل و بعد از اعمال فیلتر. ۵۸
 شکل ۵-۳. (راست) رکورد لرزه ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با
 طول پنجره ۹ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه ای قبل و بعد از اعمال فیلتر. ۵۹
 شکل ۵-۴. (راست) رکورد لرزه ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با
 طول پنجره ۱۱ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه ای قبل و بعد از اعمال فیلتر. ۶۰
 شکل ۵-۵. (راست) رکورد لرزه ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه
 شعاعی با طول پنجره ۹ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه ای قبل و بعد از اعمال فیلتر. ۶۱
 شکل ۵-۶. (راست) رکورد لرزه ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه
 شعاعی با طول پنجره ۱۱ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه ای قبل و بعد از اعمال فیلتر. ۶۲
 شکل ۵-۷. نمایش چگونگی عملکرد فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس معمولی و اصلاح شده در
 قسمتی از یک ردلرزه مصنوعی انتخاب شده از داده مصنوعی معرفی شده در بالا. ۶۳
 شکل ۵-۸. رکورد لرزه ای واقعی (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به
 صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می شود). ۶۶
 شکل ۵-۹. رکورد لرزه ای واقعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس معمولی با طول
 پنجره ۳ (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در
 کنار تصویر دیده می شود). ۶۷

شکل ۵- ۱۰. رکورد لرزه‌ای واقعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس معمولی با طول پنجره ۹ (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می‌شود). ۶۸

شکل ۵- ۱۱. رکورد لرزه‌ای واقعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس اصلاح شده با طول پنجره ۹ (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می‌شود). ۶۹

شکل ۵- ۱۲. اختلاف بین رکورد لرزه‌ای واقعی قبل و بعد از اعمال فیلتر (الف) روش فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس معمولی با طول پنجره ۳ (ب) روش فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس معمولی با طول پنجره ۹ و (ج) روش فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس اصلاح شده با طول پنجره ۹. ۷۰

شکل ۵- ۱۳. داده لرزه‌ای واقعی حاوی نوفه زمین‌غلت. ۷۲

شکل ۵- ۱۴. طیف $f-k$ داده لرزه‌ای واقعی که موقعیت نوفه زمین‌غلت در آن مشخص شده است. ۷۲

شکل ۵- ۱۵. مقایسه عملکرد روش معرفی شده و فیلتر سرعتی $f-k$ در تضعیف نوفه زمین‌غلت (الف) نتیجه حاصل از روش معرفی شده و (ب) نتیجه حاصل فیلتر سرعتی $f-k$ ۷۳

شکل ۵- ۱۶. (الف) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال روش معرفی شده و (ب) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ ۷۴

شکل ۵- ۱۷. طیف دامنه ردلرزه شماره ۵ از داده شکل ۵- ۱۱ (الف) قبل از اعمال هر گونه روشی (ب) پس از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ و (پ) پس از اعمال روش معرفی شده. ۷۵

شکل ۵- ۱۸. طیف دامنه ردلرزه شماره ۴۵ از داده شکل ۵- ۱۱ (الف) قبل از اعمال هر گونه روشی (ب) پس از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ و (پ) پس از اعمال روش معرفی شده. ۷۶

فهرست جداول

جدول ۵- ۱. مقایسه نسبت سیگنال به نوفه در روش معمولی و اصلاح شده ۶۴

کوتاه‌نوشت

توضیحات	لاتین	اختصار لاتین
فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس	<i>Time-Frequency Peak Filtering</i>	<i>TFPF</i>
فرکانس لحظه‌ای	<i>Instantaneous Frequency</i>	<i>IF</i>
نمایش زمان - فرکانس	<i>Time- frequency Representation</i>	<i>TFR</i>
توزیع ویگنر - وایل	<i>Wigner- Ville Distribution</i>	<i>WVD</i>
توزیع شبه ویگنر - وایل	<i>Pseudo Wigner- Ville Distribution</i>	<i>PWVD</i>
فرکانس تلفیق	<i>Frequency Modulated</i>	<i>FM</i>
توزیع شبه ویگنر - وایل هموار شده	<i>Smoothed Pseudo Wigner- Ville Distribution</i>	<i>SPVWD</i>
تبدیل فوریه زمان کوتاه	<i>Short Time Fourier Transform</i>	<i>STFT</i>

فصل اول

مقدمه

مقاطع لرزه‌ای آلوده به نوفه امکان تفسیر مناسب و تبدیل این مقاطع را به مدل‌های زمین‌شناسی با مشکل مواجه می‌کند و ممکن است به تفسیر اشتباه و مدل زمین‌شناسی نادرست بیانجامد. تفسیر نادرست می‌تواند سبب هدر رفتن زمان و هزینه‌های زیادی گردد. بنابراین ضرورت گسترش روش‌هایی که بتواند بصورت بهینه انواع مختلف نوفه را در داده‌های لرزه‌ای کاهش دهد، بر کسی پوشیده نیست.

نوفه به‌عنوان هر انرژی ناخواسته در داده‌های لرزه‌ای تعریف می‌شود. نوفه‌های گوناگونی در داده‌های لرزه‌ای دیده می‌شود که دسته مهمی از آن‌ها، نوفه‌های تصادفی می‌باشند که به صورت نوسان‌های اتفاقی در تمام زمان‌ها و فرکانس‌ها مشاهده می‌شوند. تا کنون روش‌های زیادی برای تضعیف نوفه‌های تصادفی معرفی شده‌اند. فیلتر وینر^۱ [گلونای^۲، ۱۹۸۶] در تضعیف نوفه‌های ناهمدوس^۳ و تصادفی ابزار مناسبی است. این روش را می‌توان در دو حوزه زمان - مکان ($x-t$) و فرکانس - مکان ($f-x$) استفاده نمود [گالبرایت^۴، ۱۹۹۱؛ هریس^۵ و وایت^۶، ۱۹۹۷؛ ابما^۷ و کلربات^۸، ۱۹۹۵ و ارجمند پور و سیاه‌کوهی، ۱۳۸۴]. تعدادی از روش‌های تضعیف نوفه‌های تصادفی بر مبنای تجزیه ماتریس داده‌های لرزه‌ای استوار می‌باشند. اولریچ^۹ و همکاران [۱۹۹۹] با استفاده از تجزیه مقادیر تکین به تضعیف نوفه‌های تصادفی پرداختند. همچنین تبدیل کارهونن - لاو^{۱۰} بعنوان یک روش مبتنی بر تجزیه ماتریس‌ها برای تضعیف نوفه‌های تصادفی بسیار کاربرد دارد [همون^{۱۱} و میس^{۱۲}، ۱۹۷۸؛ جونز^{۱۳} و لوی^{۱۴}، ۱۹۸۷ و الیحی^{۱۵}، ۱۹۹۱]. اکثر روش‌های متداول تضعیف نوفه‌های

¹. Wiener filter

². Gulunay

³. Incoherent

⁴. Galbraith

⁵. Haris

⁶. White

⁷. Abma

⁸. Claerbout

⁹. Ulrych

¹⁰. Karhunen-Loeve transform

¹¹. Hemon

¹². Mace

¹³. Jones

¹⁴. Levy

¹⁵. Al-Yahya

تصادفی در داده‌های لرزه‌ای دارای معایبی می‌باشند که در بعضی مواقع کاربرد آن‌ها را تحت الشعاع قرار داده است.

برای رفع مشکلات روش‌های متداول، روش‌های دیگری بر مبنای تئوری‌هایی مانند تبدیل‌های زمان – فرکانس^۱ [مالات،^۲ ۲۰۰۹] و تجزیه مُد تجربی^۳ [هوانگ^۴ و همکاران، ۱۹۹۸] معرفی شده‌اند که تا حدود زیادی معایب روش‌های متداول را برطرف نموده‌اند. یکی از بزرگترین معایب روش‌های متداول نادیده گرفتن ناپایا^۵ بودن داده‌های لرزه‌ای بود. لذا روش‌هایی معرفی گردیدند که از تبدیل‌های زمان – فرکانس در تضعیف نوفه تصادفی بهره می‌گرفتند.

امروزه تبدیل‌های زمان – فرکانس به بخش جدانشدنی پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای تبدیل شده‌اند و کاربردهای زیادی در لرزه‌شناسی دارند [ماتوس^۶ و همکاران، ۲۰۰۵؛ کستگنا^۷ و همکاران، ۲۰۰۳؛ سینها^۸ و همکاران، ۲۰۰۵؛ لیته^۹ و همکاران، ۲۰۰۸؛ عسکری^{۱۰} و سیاه‌کوهی^{۱۱}، ۲۰۰۸]. با گذشت زمان انواع مختلفی از تبدیل‌های زمان – فرکانس مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه^{۱۲} [گابور^{۱۳}، ۱۹۴۶]، تبدیل موجک^{۱۴} [مالات، ۲۰۰۹]، تبدیل S ^{۱۵} [استاکول^{۱۶} و همکاران، ۱۹۹۶]، توزیع ویگنر – وایل^{۱۷} [ویگنر^{۱۸}، ۱۹۳۲؛ وایل^{۱۹}، ۱۹۴۸]، و انواع بهبود یافته آن مانند توزیع شبه ویگنر – وایل^{۲۰}

¹ . Time-Frequency transforms

² . Mallat

³ . Empirical Mode Decomposition

⁴ . Huang

⁵ . Nonstationary

⁶ . Matos

⁷ . Castagna

⁸ . Sinha

⁹ . Leite

¹⁰ . Askari

¹¹ . Siahkoohi

¹² . Short Time-Fourier Transform

¹³ . Gabor

¹⁴ . Wavelet transform

¹⁵ . S transform

¹⁶ . Stockwell

¹⁷ . Wigner-Ville Distribution

¹⁸ . Wigner

¹⁹ . Ville

²⁰ . Pseudo Wigner-Ville Distribution

[آوگر^۱ و همکاران، ۱۹۹۶] و توزیع شبه ویگنر – وایل هموار شده^۲ [آوگر و همکاران، ۱۹۹۶] معرفی شده‌اند.

یکی از روش‌های تضعیف نوفه تصادفی که بر اساس فیلتر کردن در حوزه زمان-فرکانس عمل می‌کند، فیلتر نقطه بیشینه زمان – فرکانس^۳ می‌باشد [بواشاش^۴، ۲۰۰۳]. در این روش ابتدا سیگنال حاوی نوفه به یک سیگنال تحلیلی^۵ کدگذاری^۶ می‌شود و در مرحله بعد با برآورد فرکانس لحظه‌ای^۷ آن از طریق انتخاب فرکانس بیشینه مقدار تبدیل زمان-فرکانس سیگنال تحلیلی با استفاده از توزیع شبه ویگنر – وایل، داده لرزه‌ای که نوفه آن کاهش یافته است، حاصل می‌گردد [بواشاش، ۲۰۰۳]. دلیل استفاده از توزیع شبه ویگنر – وایل، استفاده از حالت پنجره‌ای آن برای فرض خطی بودن سیگنال در طول پنجره می‌باشد. با انجام الگوریتم این روش به صورت تکراری نسبت سیگنال به نوفه مرحله به مرحله افزایش می‌یابد. تضعیف نوفه با استفاده از این روش وابسته به انتخاب مناسب طول پنجره تبدیل زمان-فرکانس می‌باشد، به گونه‌ای که خاصیت خطی بودن و پایین بودن فرکانس لحظه‌ای سیگنال را در طول پنجره تامین کند. طول پنجره بر روی باند فرکانسی تضعیف نوفه تاثیر مستقیمی دارد. بعبارت دیگر طول پنجره مورد استفاده در این روش تضعیف نوفه، باعث گرایست^۸ نتایج می‌گردد. برای رفع این مشکل می‌توان طول پنجره را بصورت متغیر در نظر گرفت [لین^۹، ۲۰۰۸]. این روش نیز به علت ایجاد بدشکلی (اغتشاش) در خروجی فیلتر و طرح ناکارآمد چندان کارساز نمی‌باشد [وو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۱]. برای رفع این مشکل در این پایان‌نامه قرار است تا با

¹ . Auger

² . Smoothed pseudo Wigner-Ville Distribution

³ . Time-Frequency Peak Filtering (TFPF)

⁴ . Boashash

⁵ . Analytic

⁶ . Encoding

⁷ . Instantaneous Frequency

⁸ . Bias

⁹ . Lin

¹⁰ . Wu

استفاده از تبدیل ردلرزه شعاعی^۱، به جای استفاده از رکوردهای حوزه $x-t$ به عنوان داده‌های ورودی، از داده‌های حوزه $r-t$ استفاده شود [وو و همکاران، ۲۰۱۱].

یکی دیگر از انواع مهم نوفه در داده‌های لرزه‌ای زمینی نوفه زمین‌غلت^۲ می‌باشد. نوفه زمین‌غلت با فرکانس پایین و دامنه بالا بصورت خطی در داده‌های لرزه‌ای مشاهده می‌شود. این نوفه‌ها در واقع موج‌های ریلی پاششی^۳ هستند که در سطح منتشر می‌شوند [ایلماز^۴، ۲۰۰۱]. روش‌های مختلفی برای تضعیف امواج زمین‌غلت معرفی شده‌اند. دیقان^۵ و وات^۶ [۱۹۹۷] با استفاده از تبدیل موجک، لیو^۷ [۱۹۹۹]، مونتگن^۸ و واسکنسلوس^۹ [۲۰۰۶] و سیاه‌کوهی [۱۳۷۹] با استفاده از تبدیل کارهونن-لاو، کارسلی^{۱۰} و بایراک^{۱۱} [۲۰۰۸] با استفاده از فیلتر وینر و تبدیل زمان - فرکانس، پورسانی^{۱۲} و همکاران [۲۰۰۹] با استفاده از تئوری تجزیه مقادیر تکین^{۱۳}، ملو^{۱۴} و همکاران [۲۰۰۹] با استفاده از فیلترهای دو بعدی، یارهام^{۱۵} و همکاران [۲۰۰۶]، نقی‌زاه^{۱۶} و ساشی^{۱۷} [۲۰۱۱] و بوستانی [۱۳۹۰] نیز با کمک تبدیل کمانک^{۱۸} نوفه زمین‌غلت را از داده‌های لرزه‌ای تضعیف نمودند.

نوفه زمین‌غلت به عنوان نوفه خطی همدوس معمولاً با سرعت ظاهری و فرکانس پایین‌تر از رویدادهای بازتابی در رکوردهای چشمه مشترک^{۱۹} ظاهر می‌گردند [اولهویچ^{۲۰}، ۱۹۶۴]. عبارت دیگر می‌توان اینگونه بیان کرد که این نوفه‌ها دارای برونراند متفاوتی نسبت به حادثه‌های اصلی می‌باشند.

-
- 1 . Radial Trace Transform
 - 2 . Ground roll
 - 3 . Dispersive Rayleigh waves
 - 4 . Yilmaz
 - 5 . Deighan
 - 6 . Watts
 - 7 . Liu
 - 8 . Montagne
 - 9 . Vasconcelos
 - 10 . Karsli
 - 11 . Bayrak
 - 12 . Porsani
 - 13 . Singular Value Decomposition
 - 14 . Melo
 - 15 . Yarham
 - 16 . Naghizadeh
 - 17 . Sacchi
 - 18 . Curvelet Transform
 - 19 . Shot Gather
 - 20 . Olhovich

این ویژگی راهی مناسب برای تضعیف اینگونه نوفه‌ها پیش روی محققان گشوده است. یکی از این روش‌ها، تبدیل ردلرزه شعاعی می‌باشد. در این پایان‌نامه همچنین با استفاده از ترکیب تبدیل شیب ردلرزه شعاعی^۱ اصلاح شده، معرفی شده در این پایان‌نامه، و فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس روشی برای تضعیف این نوع نوفه ارائه شده است و نتایج با روش معمول فیلتر سرعتی $f-k$ مقایسه گردیده است.

تبدیل ردلرزه شعاعی ابتدا توسط پروژه اکتشافی استنفورد^۲ برای استفاده در کوچ^۳ و کاربردهای تصویر سازی معرفی شد [کلر بات^۴، ۱۹۸۳؛ اتولینی^۵، ۱۹۷۹]. امروزه یکی از مهمترین کاربردهای آن در تضعیف نوفه همدوس^۶ می‌باشد [باقری و ریاحی، ۱۳۸۷]. این روش یک انتقال داده‌های لرزه‌ای از حوزه $x-t$ به حوزه سرعت ظاهری و زمان سیر $(r-t)$ می‌باشد. انتخاب تعداد ردلرزه‌های شعاعی (بگونه‌ای که از دگرنامی^۷ جلوگیری شود و از طرف دیگر تمامی نمونه‌های حوزه زمان-مکان حداقل به یک نمونه در حوزه دیگر تصویر شوند) همراه با نوع درونیابی با کمترین میزان خطا و بدشکلی از پارامترهای موثر و کلیدی در این تبدیل می‌باشند که با توجه به هدف مورد نظر از انجام تبدیل، می‌توانند متفاوت انتخاب گردند. با توجه به وضعیت قرارگیری مبدا داده و مبدا انجام تبدیل دو نوع تبدیل ردلرزه شعاعی وجود دارد. در حالت اول، دو مبدا عنوان شده منطبق بر هم می‌باشند که در این حالت به آن همان تبدیل ردلرزه شعاعی گفته می‌شود اما در حالت دوم، مبدا تبدیل در یک فاصله دور نسبت به مبدا داده قرار می‌گیرد که در این حالت به آن تبدیل شیب ردلرزه شعاعی می‌گویند. این تبدیل سبب کاهش فرکانس سیگنال‌های لرزه‌ای شده در صورتیکه نوفه‌های تصادفی موجود دچار تغییرات فرکانسی چندان نمی‌شوند. با این کار می‌توان با توجه به ویژگی‌های تبدیل ردلرزه شعاعی

¹ . Dip Radial Trace Transform

² . Stanford

³ . Migration

⁴ . Claerbout

⁵ . Ottolini

⁶ . Coherent

⁷ . Aliasing

بدون تغییر پارامتر طول پنجره به هدف مورد نظر که خطی بودن و فرکانس لحظه‌ای پایین سیگنال در طول پنجره می‌باشد، دست یافت و در نتیجه یک حالت بهبود یافته از روش تضعیف نوفه تصادفی نقطه بیشینه زمان-فرکانس ($TFPF$) بدست خواهد آمد. در واقع استفاده همزمان از تبدیل شیب ردلرزه شعاعی و فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس وابستگی به طول پنجره را کاهش می‌دهد. با توجه به مطالب بیان شده مراحل انجام کار برای تضعیف نوفه تصادفی را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود.

۱- انتقال داده‌های لرزه‌ای حاوی نوفه از حوزه $X-t$ به حوزه $r-t$.

۲- اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس بر روی ردلرزه‌های شعاعی حوزه $r-t$.

۳- برگرداندن داده‌های لرزه‌ای نوفه‌زدا شده از حوزه $r-t$ به حوزه $X-t$.

۴- مقایسه نتایج حاصل از مراحل قبل با روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس در حوزه $X-t$.

جهت تضعیف نوفه زمین‌غلت نیز این روش همانند آنچه برای تضعیف نوفه تصادفی عنوان شد و با مراحل تقریباً یکسان اما با پارامترهای متفاوت به کار می‌رود که در متن پایان‌نامه به آن پرداخته خواهد شد.

در این پایان‌نامه در فصل دوم کلیات موضوعات و روش‌های استفاده شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در فصل سوم اصول فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی که پایه این کار می‌باشد، توضیح داده می‌شود. سپس در فصل چهارم توضیحات مربوط به فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس در حوزه ردلرزه شعاعی که موضوع این پایان‌نامه می‌باشد، بررسی شده و در فصل پنجم نتایج اعمال روش بر روی داده مصنوعی و واقعی در تضعیف نوفه تصادفی و زمین‌غلت ارائه می‌گردد و نتایج روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی و فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی مقایسه می‌شود. در نهایت در فصل پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

فصل دوم

ابزار تحقیق

۲-۱. تبدیل ردلرزه شعاعی

تبدیل ردلرزه شعاعی در واقع انتقال رکوردهای لرزه‌ای از مختصات زمان-دورافت $(x-t)$ به مختصات زمان-سرعت ظاهری $(r-t)$ می‌باشد. در این تبدیل محور زمان بدون تغییر باقی می‌ماند در حالی که پارامتر دورافت داده‌ها به سرعت ظاهری مربوط به هر یک از ردلرزه‌های شعاعی تغییر می‌یابد. تبدیل ردلرزه شعاعی و معکوس آن را می‌توان با یک نگاشت خطی به صورت روابط زیر نشان داد [هنلی^۱، ۱۹۹۹].

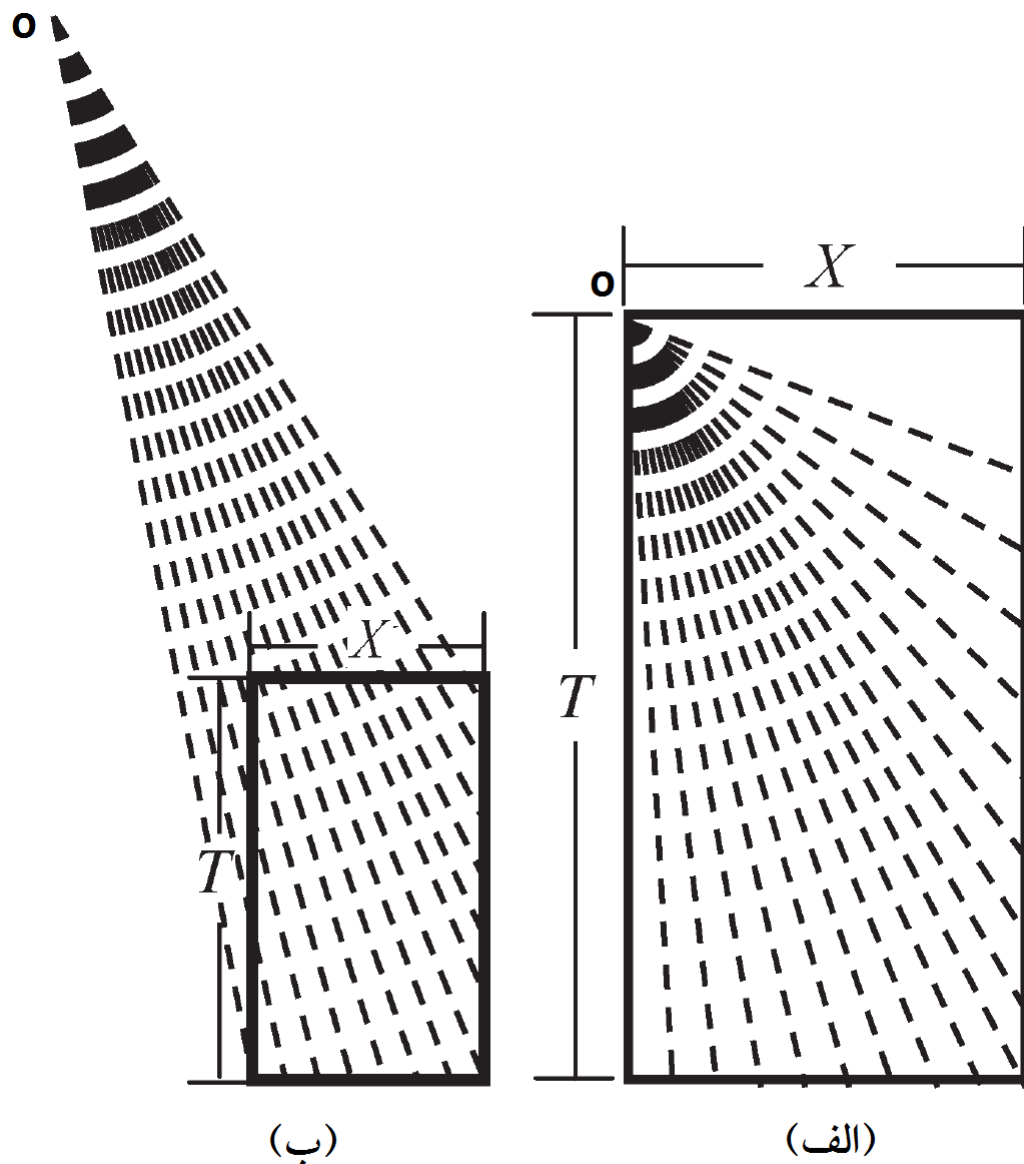
$$R\{S(x, t)\} = S'(v, t') \quad (۱-۲)$$

$$R^{-1}\{S'(v, t')\} = S(x, t) \quad (۲-۲)$$

$$t' = t - t_0; v = \frac{x-x_0}{t-t_0} \quad (۳-۲)$$

که $S(x, t)$ رکورد لرزه‌ای در حوزه $x-t$ و $S'(v, t')$ رکورد لرزه‌ای در حوزه $r-t$ می‌باشند. همچنین x_0 و t_0 مبدا مختصات مربوط به تبدیل ردلرزه شعاعی می‌باشد. در شکل ۱-۲ توصیف این تبدیل برای دو حالت مختلف موقعیت مبدا مختصات تبدیل و مبدا مختصات داده‌های لرزه‌ای نشان داده شده است. در شکل ۱-۲ (الف) این دو مبدا بر یکدیگر منطبق هستند، ولی در شکل ۱-۲ (ب) بر یکدیگر منطبق نیستند که در این حالت به آن تبدیل شیب ردلرزه شعاعی گفته می‌شود [هنلی، ۱۹۹۹].

^۱ . Henley



شکل ۲-۱. نمایش شماتیک تبدیل ردلرزه شعاعی برای حالتی که مبدا مختصات تبدیل بر مبدا مختصات داده‌های لرزه‌ای (الف) منطبق باشد و (ب) منطبق نباشد [وو و همکاران، ۲۰۱۱].

۲-۱-۱. دگرنامی

در تبدیل ردلرزه شعاعی به دلیل ماهیت شعاعی آن واضح است که با دور شدن از مبدا تبدیل فاصله ردلرزه‌های شعاعی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در زمان‌ها و دورافت‌های ابتدایی نمونه‌های حوزه زمان-مکان بصورت تکراری توسط ردلرزه‌های شعاعی (به حوزه $r-t$) تصویر می‌شوند، اما در زمان‌ها و دورافت‌های بالا به علت افزایش فاصله ردلرزه‌های شعاعی ممکن است بعضی از نمونه‌های داده در

حوزه زمان-مکان به هیچ نمونه‌ای در حوزه ردلرزه‌های شعاعی تصویر نشوند. بنابراین تعداد ردلرزه‌های شعاعی حداقل بایستی به گونه‌ای باشد که فاصله آنها در لبه‌های انتهایی داده برابر با فاصله نمونه‌های داده در حوزه زمان-مکان باشد، یعنی برابر با مجموع تعداد نمونه‌ها در طول یک ردلرزه و تعداد کل ردلرزه‌ها در حوزه زمان-مکان. با این تعداد می‌توان اطمینان پیدا کرد که تمامی نمونه‌های داده در حوزه زمان-مکان حداقل به یک نمونه در حوزه جدید تصویر می‌شوند [هنلی، ۱۹۹۹].

۲-۱-۲. درونیابی^۱

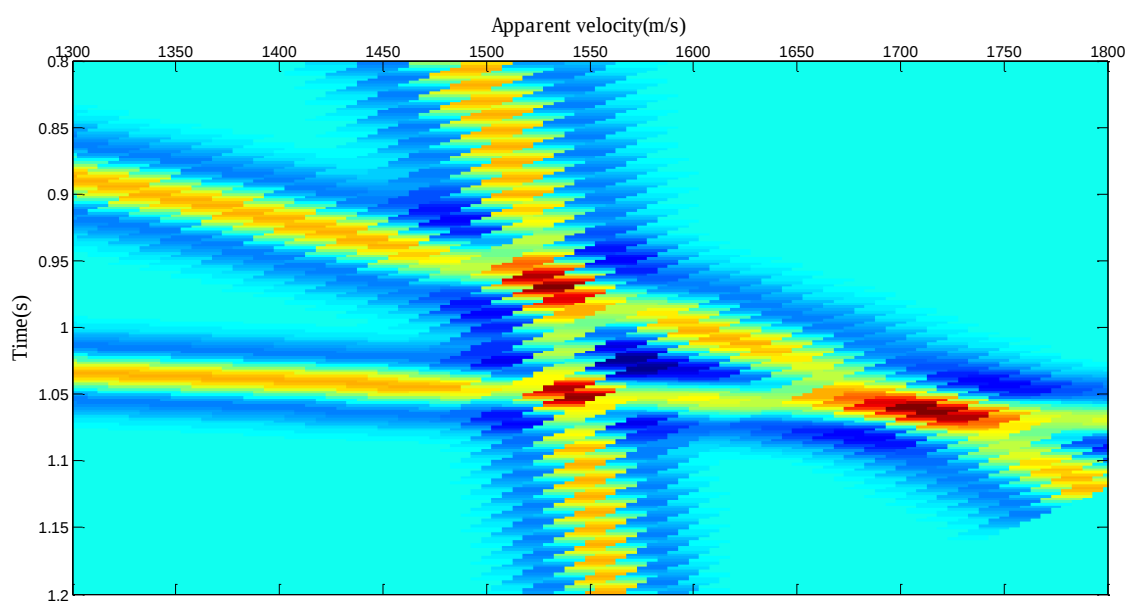
داده لرزه‌ای را چه در حوزه $r-t$ و چه در حوزه $X-t$ می‌توان به صورت یک ماتریس در نظر گرفت که در حوزه $r-t$ دارای ستون‌های با مقادیر ثابت V و در حوزه $X-t$ دارای ستون‌های با مقادیر ثابت X می‌باشند و در هر دو حوزه شامل سطرهایی با مقادیر ثابت t هستند [هنلی، ۱۹۹۹]. بنابراین هنگام انجام تبدیل مستقیم، بایستی برای هر مقدار V با استفاده از رابطه (۲-۳) مقدار X را برای مقادیر ثابت t محاسبه نموده و سپس دامنه متناظر را به مختصات جدید نسبت داد. در این حالت، در صورتی که مقدار X محاسبه شده در بین مقادیر دورافت موجود در داده مورد نظر قرار گیرد، به عبارت دیگر مقدار X در بین موقعیت ردلرزه‌های حوزه $X-t$ محاسبه شود، بایستی مقدار دامنه را با توجه به مقادیر دامنه مربوط به ردلرزه‌های اطراف با استفاده از درونیابی محاسبه نمود.

برای انجام درونیابی هنلی [۱۹۹۹] سه روش را پیشنهاد می‌دهد:

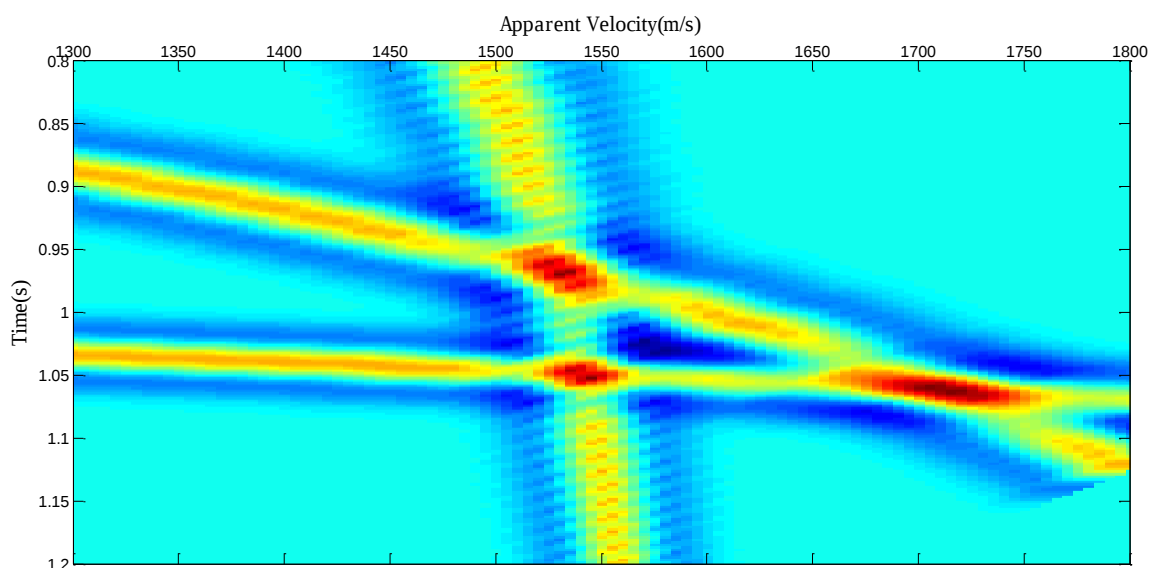
۱. درونیابی خطی با استفاده از دامنه دو نمونه کناری.
۲. درونیابی نزدیکترین همسایه که مقدار دامنه نمونه نزدیک‌تر را انتخاب می‌کند.
۳. درونیابی وزن‌دار با استفاده از دو نمونه کناری که با توجه به فاصله نسبت به نقطه مورد نظر با یک توان نمایی وزن‌دهی می‌شوند.

^۱ . Interpolation

درونیایی به روش نزدیکترین همسایه باعث ایجاد یک سری ناپیوستگی‌ها می‌شود و در واقع نوعی نوفه با فرکانس بالا ایجاد می‌کند که کارآمدی تبدیل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اما درونیایی به روش خطی این مشکل را بسیار کمتر ایجاد می‌کند [هنلی، ۱۹۹۹]. این موضوع در شکل ۲-۲ به خوبی قابل مشاهده است. در شکل ۲-۲ قسمتی از یک داده لرزه‌ای مصنوعی در حوزه ردلرزه شعاعی مشاهده می‌گردد که در آن از درونیایی با روش نزدیکترین همسایه برای اعمال تبدیل استفاده شده است و در شکل ۲-۳ همان داده مشاهده می‌گردد، با این تفاوت که این بار از درونیایی خطی استفاده شده است. دقت در این شکل‌ها به خوبی تفاوت دو روش درونیایی را نمایان می‌کند. درونیایی به روش وزندهی نمایی با توجه به توان نمایی به کار رفته می‌تواند به یکی از دو روش گفته شده نزدیک شود.



شکل ۲-۲. نمایش شماتیک ایجاد ناپیوستگی در تبدیل ردلرزه شعاعی برای حالتی که از روش درونیایی نزدیکترین همسایه استفاده شده است.

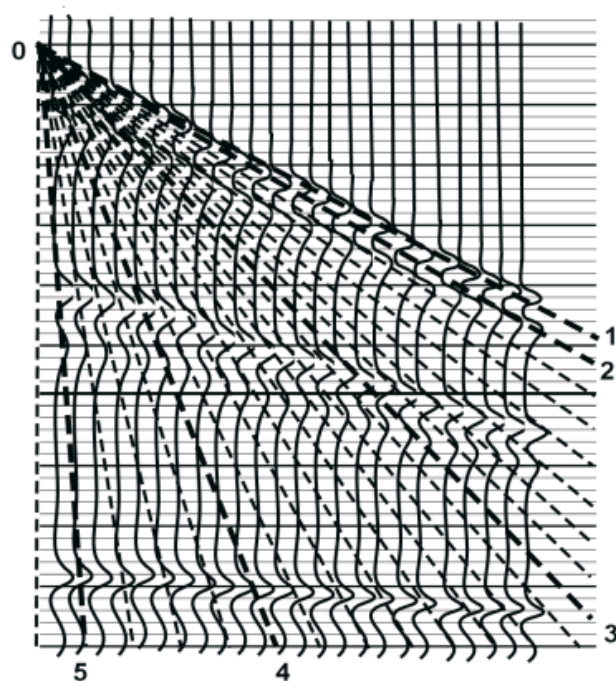


شکل ۲-۳. نمایش شماتیک عدم ایجاد ناپیوستگی در تبدیل ردلرزه شعاعی برای حالتی که از درونیایی خطی استفاده شده است.

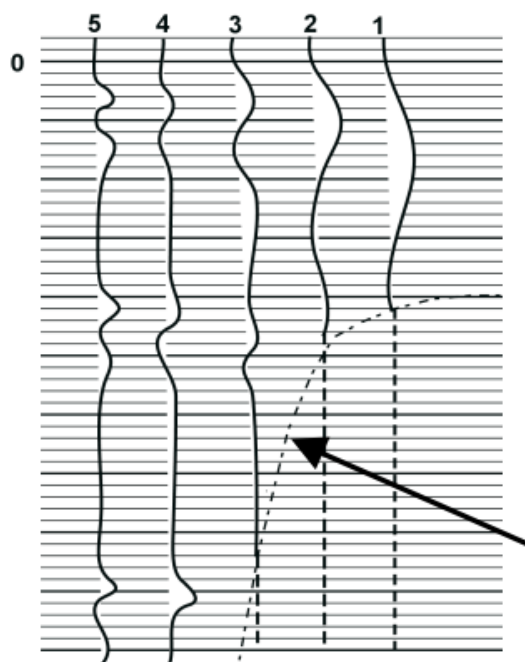
۲-۲. تبدیل شیب ردلرزه شعاعی

همانطور که در شکل ۲-۱ (ب) مشاهده می‌شود، در حالتی که مختصات اعمال تبدیل ردلرزه شعاعی و مختصات داده لرزه‌ای بر یکدیگر منطبق نباشند، اصطلاحاً به آن تبدیل شیب ردلرزه شعاعی گفته می‌شود. در این حالت معمولاً مختصات اعمال تبدیل را در یک فاصله دور نسبت به مختصات داده در نظر می‌گیرند به گونه‌ای که تمامی ردلرزه‌های شعاعی که داده را پوشش می‌دهند، تقریباً دارای یک سرعت (شیب) نزدیک به هم می‌باشند. در هنگام استفاده از تبدیل شیب ردلرزه شعاعی این سرعت (شیب) تقریباً ثابت، اهمیت زیادی دارد و در واقع کاربرد این تبدیل ناشی از انتخاب مناسب آن می‌باشد. برای توضیح بیشتر همانطور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است، ردلرزه‌های شعاعی که با رویدادهای اصلی موازی بوده و یا زاویه کمی دارند باعث کاهش فرکانس رویداد در حوزه جدید می‌گردند در حالی که ردلرزه‌هایی که بر رویدادهای اصلی عمود هستند و یا با زاویه بزرگی آنها را قطع می‌کنند، تأثیر چندانی در کاهش فرکانس رویداد ندارند [هنلی، ۲۰۰۳]. این ویژگی کاهش فرکانس

در مورد رویدادهایی که تقریباً موازی با ردلرزه‌های شعاعی قرار می‌گیرند، اساس روش تضعیف نوفه خطی با استفاده از این تبدیل و ترکیب آن با فیلتر پایین گذر می‌باشد که توسط هنلی [۱۹۹۹] معرفی شده و باقری و ریاحی [۱۳۷۸] نیز به آن پرداخته‌اند. در این پایان‌نامه نیز همین ویژگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و با تدابیری اشکالات آن نیز رفع می‌گردد. آنچه که باعث بهبود کارآمدی فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس می‌گردد، کاهش فرکانس سیگنال ورودی می‌باشد. بنابراین همان‌طور که در شکل ۱-۲(ب) مشاهده می‌شود با انتخاب مبدأ تبدیل ردلرزه شعاعی در یک فاصله دور نسبت به مبدأ رکورد لرزه‌ای، تمامی ردلرزه‌های شعاعی که رکورد لرزه‌ای را پوشش می‌دهند، دارای یک محدوده باریک سرعت ظاهری با سرعت ظاهری متوسط V می‌باشند که این نوع تبدیل ردلرزه شعاعی، تبدیل شیب ردلرزه شعاعی نامیده می‌شود. با انتخاب سرعت ظاهری متوسط V به گونه‌ای که با رویدادهای لرزه‌ای (خصوصاً رویدادهای لرزه‌ای فرکانس بالا که معمولاً در زمان‌های اولیه رکورد قرار می‌گیرند) موازی بوده و یا زاویه نسبتاً کمی داشته باشند، کاهش فرکانس رویدادها در حوزه ردلرزه شعاعی حاصل خواهد شد. با این وجود تعداد زیاد ردلرزه‌های شعاعی لازم برای جلوگیری از دگرنامی، سرعت عملیات را کاهش می‌دهد و همچنین درونیایی انجام گرفته هنگام رفت و برگشت به حوزه ردلرزه شعاعی بدشکلی‌هایی را ایجاد می‌کند.



الف



ب

شکل ۲-۴. نمایش چگونگی کاهش فرکانس برای ردلرزه‌های شعاعی که موازی با رویدادهای لرزه‌ای قرار می‌گیرند.
(الف) مسیر ردلرزه‌های شعاعی در حوزه زمان-مکان و (ب) ردلرزه‌های شعاعی در حوزه زمان-سرعت ظاهری [هنلی، ۲۰۰۰].

۲-۳. تبدیل‌های زمان-فرکانس

در لرزه‌شناسی و در علوم مختلف، پردازش سیگنال به گونه‌ای که برای هدف مورد نظر مفید و قابل استفاده باشد، مورد نظر می‌باشد. یکی از مهمترین جنبه‌های پردازش سیگنال، نمایش سیگنال در حوزه‌های مختلف می‌باشد که با استفاده از تبدیل‌های مربوطه صورت می‌گیرد. به عنوان مثال با استفاده از تبدیل فوریه^۱ می‌توان یک سیگنال مانند $x(t)$ را از حوزه زمان به حوزه فرکانس انتقال داد که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [کرزیگ، ۲۰۰۶].

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-2\pi j f t} dt \quad (۴-۲)$$

برای برگشت از حوزه فرکانس به حوزه زمان از عکس تبدیل فوریه به صورت زیر استفاده می‌گردد [کرزیگ، ۲۰۰۶].

$$X(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) e^{2\pi j f t} df \quad (۵-۲)$$

از روابط فوق می‌توان دریافت که یک سیگنال حقیقی در حوزه زمان به یک سیگنال مختلط در حوزه فرکانس تبدیل می‌شود. نمایش حوزه فرکانس یک سیگنال، اطلاعات مفید بسیاری را آشکار می‌کند که از آن جمله می‌توان طیف دامنه، طیف فاز و طیف انرژی را که توزیع انرژی را حول محور فرکانس نشان می‌دهد، نام برد. رابطه انرژی به صورت زیر تعریف می‌گردد [بوآشاش، ۲۰۰۳].

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df \quad (۶-۲)$$

همانطور که مشاهده می‌گردد نمایش سیگنال در این دو حوزه، یعنی حوزه زمان و حوزه فرکانس، بطور همزمان غیر متمرکز می‌باشد. به عبارت دیگر محتوای فرکانسی و زمانی سیگنال به صورت

^۱ . Fourier Transform

^۲ . Kreyszig

همزمان در دسترس نیست. این موضوع را می‌توان اینگونه نیز بیان کرد که نمایش سیگنال در حوزه فرکانس در واقع میانگینی از کل زمان‌ها در نمایش حوزه زمان سیگنال می‌باشد و بالعکس [روشندل، ۱۳۸۸].

برای داشتن اطلاعات محتوای فرکانس و زمان سیگنال به طور همزمان، گروهی از تبدیل‌های نسبتاً جدید با عنوان تبدیل‌های زمان-فرکانس معرفی شده‌اند. نمایش سیگنال به این شیوه را با توجه به رفتار آن نسبت به سیگنال، به سه دسته نمایش‌های زمان-فرکانس خطی^۱، درجه دوم^۲ و غیر خطی^۳ تقسیم‌بندی می‌کنند [هلاواتچ^۴ و بودراکس-بارتلس^۵، ۱۹۹۲]. در نمایش‌های زمان-فرکانس خطی اصل بر هم نهی خطی برقرار است. به عبارت دیگر مطابق رابطه‌ی زیر چنانچه سیگنالی، ترکیب خطی از چند سیگنال باشد، نمایش زمان-فرکانس آن نیز ترکیب خطی مشابهی از نمایش زمان-فرکانس آن چند سیگنال می‌باشد [هلاواتچ و بودراکس-بارتلس، ۱۹۹۲]:

(۷-۲)

$$x(t) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \Rightarrow TFR_x(t, f) = a_1 TFR_{x_1}(t, f) + a_2 TFR_{x_2}(t, f).$$

که TFR نشان‌دهنده نمایش زمان-فرکانس می‌باشد.

تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک و تبدیل S از جمله نمایش‌های زمان-فرکانس خطی می‌باشند. در نمایش‌های زمان-فرکانس درجه دو، اصل بر هم نهی درجه دو برقرار است، مانند توزیع ویگنر-وایل که در رابطه زیر نشان داده شده است [هلاواتچ و بودراکس-بارتلس، ۱۹۹۲].

$$x(t) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \quad (۸-۲)$$

$$\Rightarrow TFR_x(t, f) = |a_1|^2 TFR_{x_1}(t, f) + |a_2|^2 TFR_{x_2}(t, f) + a_1 a_2^* TFR_{x_1, x_2}(t, f) + a_2 a_1^* TFR_{x_2, x_1}(t, f)$$

^۱. Linear

^۲. Quadratic

^۳. Nonlinear

^۴. Hlawatsch

^۵. Boudreaux-Bartels

که * نشان دهنده مزدوج مختلط می باشد و دو جمله آخر بیانگر جملات متقاطع هستند که در بخش بعدی توضیح داده خواهند شد. در صورتی که هیچ یک از دو اصل بر هم نهی خطی و درجه دو برقرار نباشد، آن نمایش زمان-فرکانس را غیر خطی می نامند.

نمایش های زمان-فرکانس خطی از همبستگی^۱ سیگنال با یک شکل موج^۲ که به خوبی در زمان و فرکانس متمرکز شده است، بدست می آیند. این شکل موج ها را معمولاً اتم های زمان - فرکانس^۳ می نامند. اگر یک خانواده از اتم های زمان-فرکانس به صورت $\{\phi_\gamma\}$ فرض شود که γ ممکن است یک پارامتر چند اندیسی باشد و $\|\phi_\gamma\| = 1$ ، آنگاه تبدیل خطی زمان-فرکانس یک سیگنال مانند $x(t)$ را می توان به صورت رابطه زیر نوشت [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹].

$$TFR_x(\gamma) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\phi_\gamma^*(t)dt = \langle x, \phi_\gamma \rangle \quad (9-2)$$

که * نشان دهنده مزدوج مختلط و $\langle \rangle$ نشان دهنده ضرب داخلی می باشد. اطلاعاتی که به واسطه ضرب داخلی $\langle x, \phi_\gamma \rangle$ بدست می آید، در صفحه زمان-فرکانس در ناحیه ای نشان داده می شود که جعبه هایزنبرگ^۴ نامیده می شود (شکل ۲-۵).

در واقع ابعاد جعبه هایزنبرگ قدرت تفکیک در صفحه زمان-فرکانس را تعیین می کند، زیرا طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ^۵ مساحت جعبه هایزنبرگ حداقل برابر با 0.5 می باشد [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹].

$$\sigma_t \sigma_\omega \geq \frac{1}{2}$$

بنابراین قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی به یکدیگر وابسته می شود و عکس یکدیگر عمل می کنند. به عبارت دیگر با افزایش قدرت تفکیک در یک راستا، قدرت تفکیک در راستای دیگر کاهش می یابد.

¹. Correlation

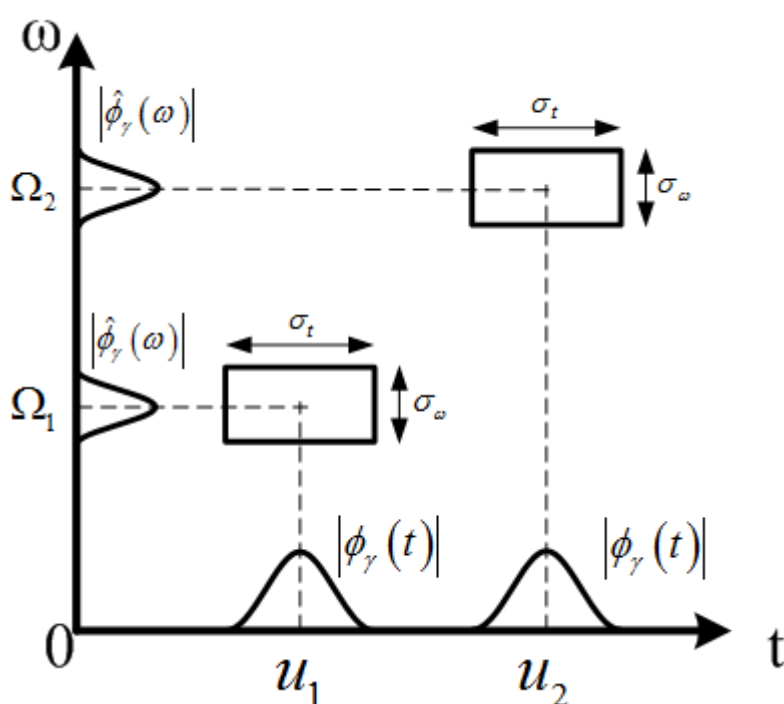
². Waveform

³. Time-Frequency Atoms

⁴. Heisenberg box

⁵. Heisenberg uncertainty principle

گابور [۱۹۴۶] با معرفی تبدیل فوریه پنجره‌ای یا به عبارت دیگر تبدیل فوریه زمان کوتاه اولین گام را برای نمایش سیگنال در حوزه مشترک زمان و فرکانس برداشت. این شیوه نمایش در راستای محور زمان و فرکانس متمرکز می‌باشد. این نوع نمایش زمان-فرکانس ابتدا برای اندازه‌گیری تغییرات فرکانسی امواج صدا مورد استفاده قرار گرفت. در این تبدیل اتم زمان-فرکانس به صورت پنجره‌ای حقیقی و متقارن که توسط یک فرکانس مدوله^۱ می‌شود، تعریف می‌شود [گابور، ۱۹۴۶].



شکل ۲-۵. نمایش جعبه هایزنبرگ و نمایش چگونگی تغییر آن در محور فرکانس و زمان [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹].

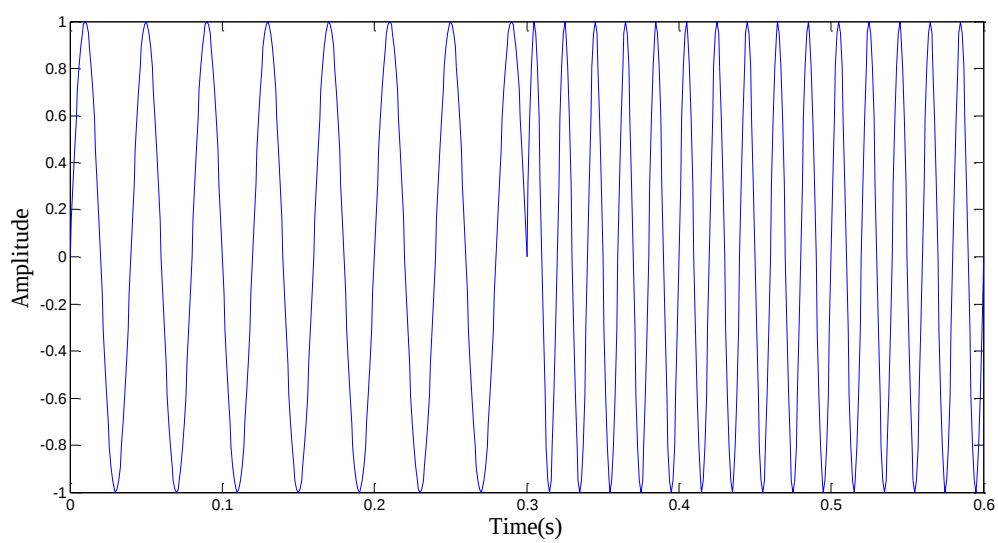
در تبدیل فوریه زمان کوتاه ابعاد جعبه هایزنبرگ مستقل از زمان و فرکانس می‌باشد، بعبارت دیگر طول اتم زمان - فرکانس ثابت است و یا به بیانی دیگر قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی در صفحه زمان - فرکانس ثابت است [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹]. چنانچه لازم باشد که ساختارهای سیگنال‌هایی

^۱ . Modulated

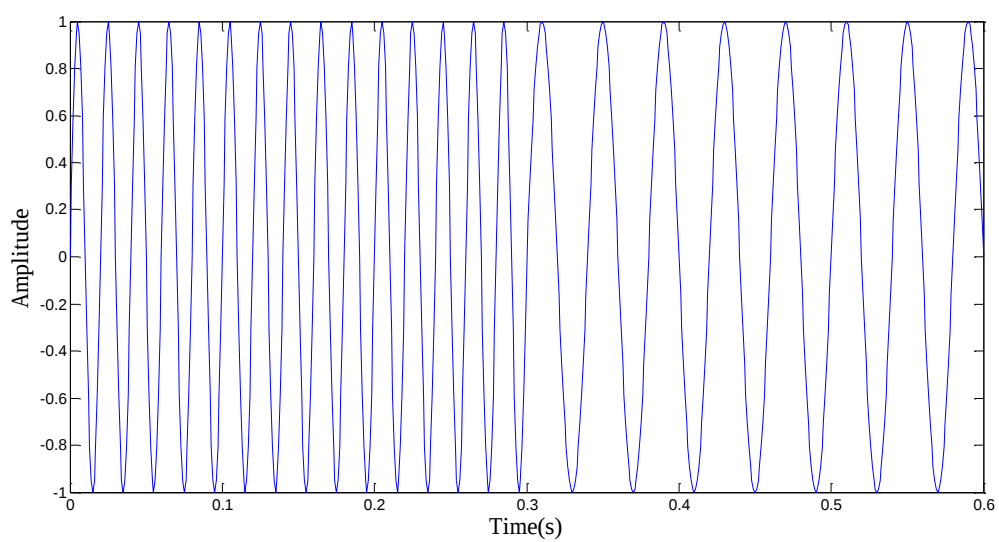
با ابعاد بسیار متفاوت مورد بررسی و آنالیز قرار بگیرد، لازم است اتم‌های زمان – فرکانسی را استفاده شود که دارای محدوده‌های زمانی متفاوت باشند. تبدیل‌های زمان فرکانس دیگری مانند تبدیل موجک [مالات، ۲۰۰۹] و تبدیل S [استاکول و همکاران، ۱۹۹۶] این مشکل را رفع نموده‌اند که توضیح آنها خارج از موضوع این پایان‌نامه می‌باشد.

اهمیت نمایش سیگنال در صفحه زمان-فرکانس برای سیگنال‌هایی که مانند سیگنال‌های لرزه‌ای، سیگنال‌های موسیقی و سیگنال‌های رادیویی محتوای فرکانسی آنها با زمان تغییر می‌کند، مشخص می‌گردد. اینگونه سیگنال‌ها به عنوان سیگنال‌های ناپایا نامیده می‌شوند. آشکار است که در مورد چنین سیگنال‌هایی نمایش آنها تنها در یک حوزه زمان یا فرکانس اطلاعات کاملی از سیگنال به ما نمی‌دهد. برای مشخص شدن مساله در ادامه مثالی ارائه می‌گردد.

دو سیگنال s_1 و s_2 که هر دو از ترکیب دو سیگنال سینوسی با فرکانس‌های ۲۵ و ۵۰ هرتز به دو شکل متفاوت $s_1 = [\sin 2\pi 25t, \sin 2\pi 50t]$ و $s_2 = [\sin 2\pi 50t, \sin 2\pi 25t]$ تولید شده‌اند (شکل ۲-۶)، دارای نمایش یکسانی در حوزه فرکانس می‌باشند (شکل ۲-۷) و در حوزه زمان نیز اطلاعاتی از محتوای فرکانسی آنها در دسترس نمی‌باشد. اما نمایش زمان-فرکانس آنها به خوبی تفاوت این دو سیگنال را نشان می‌دهد. در این نحوه نمایش (شکل ۲-۸) علاوه بر اینکه اطلاعات فرکانسی نشان داده شده است، نحوه توزیع آنها در زمان نیز تفکیک گردیده است و به عبارت دیگر اطلاعات زمانی و فرکانسی به طور همزمان و متمرکز وجود دارد. همانطور که این مثال نشان می‌دهد، نمایش زمان-فرکانس در مقایسه با دیگر روش‌های نمایش سیگنال، اطلاعات کاملی در مورد سیگنال‌های ناپایا در اختیار قرار می‌دهد.

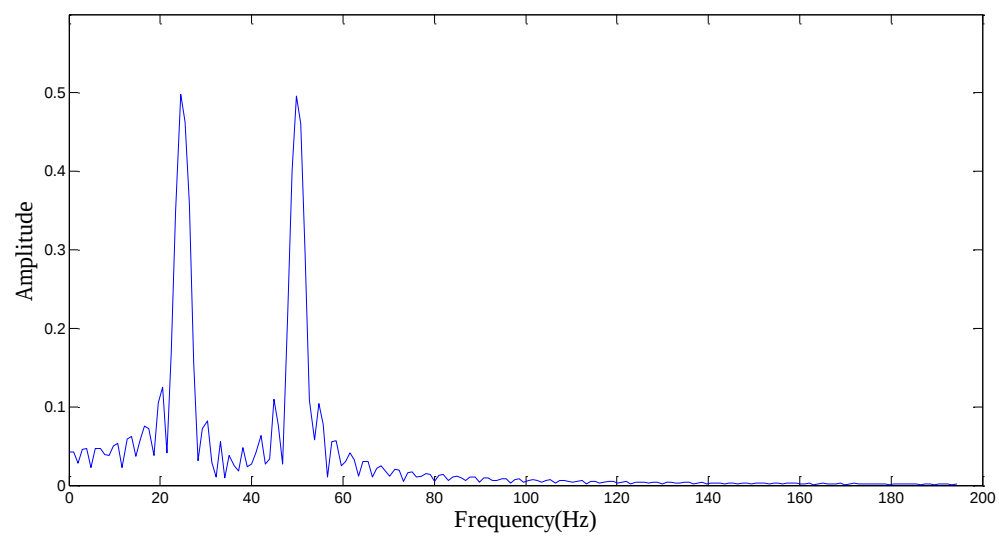


الف

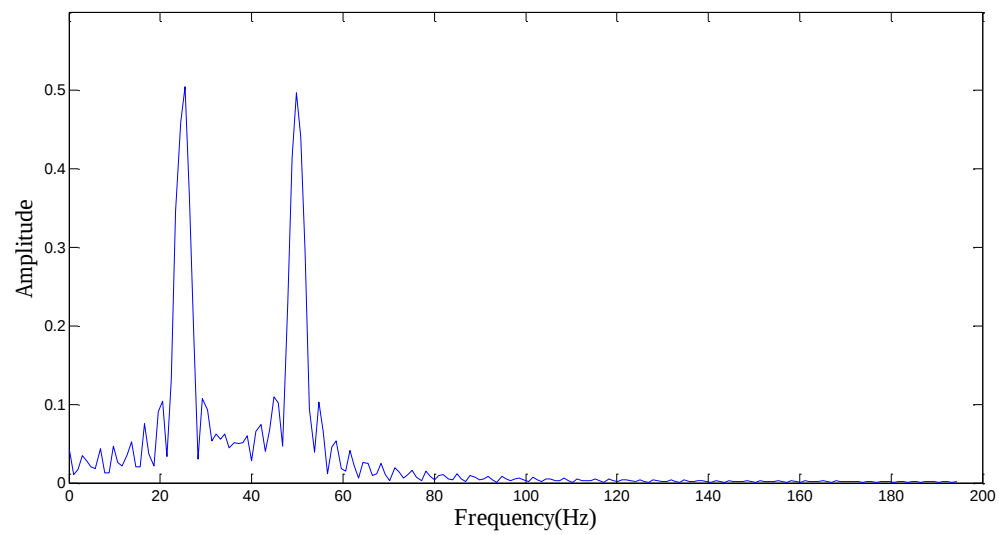


ب

شکل ۲-۶. (الف) نمایش حوزه زمان سیگنال s_1 و (ب) نمایش حوزه زمان سیگنال s_2 .

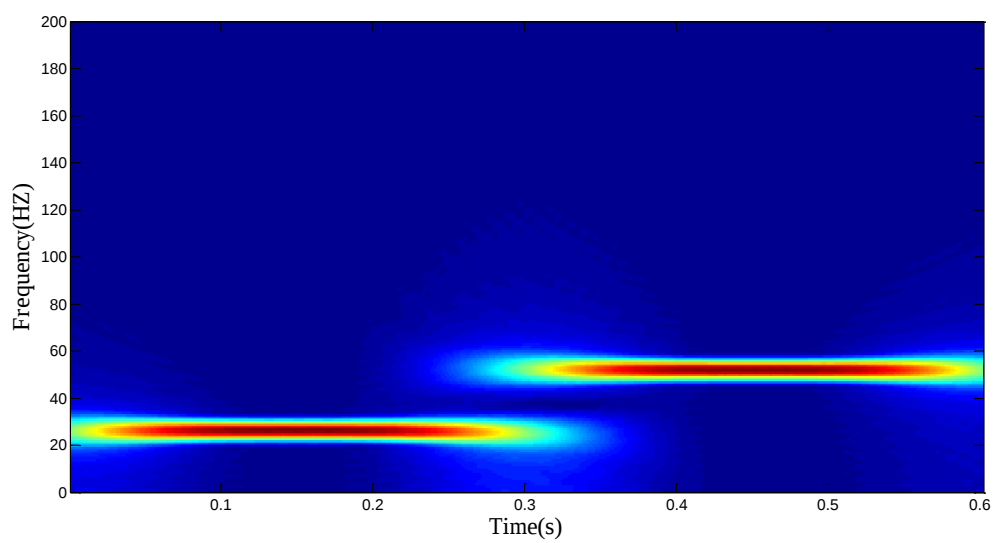


الف

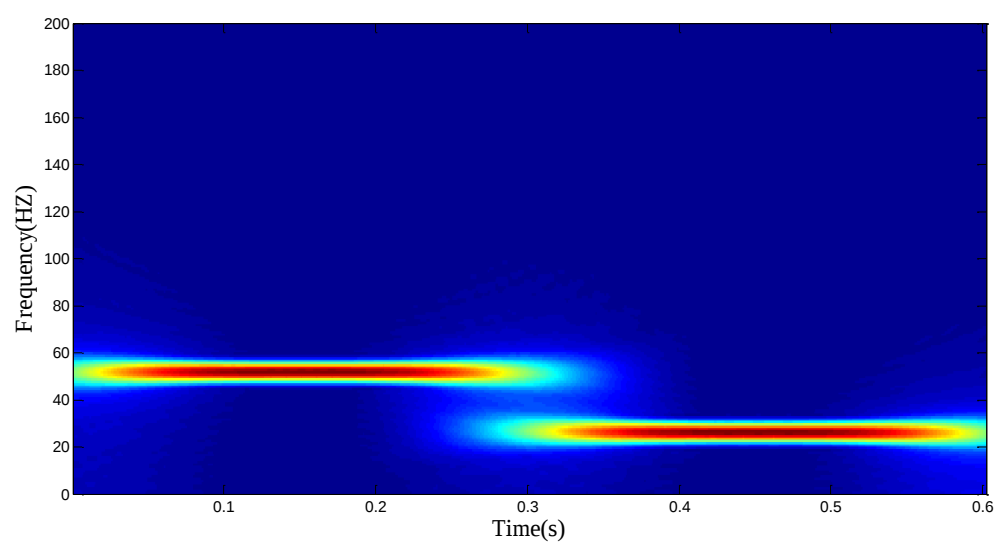


ب

شکل ۲-۷. (الف) نمایش حوزه فرکانس سیگنال S_1 و (ب) نمایش حوزه فرکانس سیگنال S_2 .



الف



ب

شکل ۲-۸. (الف) نمایش حوزه زمان-فرکانس سیگنال S_1 و (ب) نمایش حوزه زمان-فرکانس سیگنال S_2 .

تا کنون انواع مختلفی از تبدیل‌های زمان-فرکانس مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه [گابور، ۱۹۴۶]، توزیع ویگنر-وایل [ویگنر، ۱۹۳۲؛ وایل، ۱۹۴۸]، تبدیل موجک [مالات، ۱۹۹۹] و تبدیل S [استاکول و همکاران، ۱۹۹۶] معرفی شده‌اند. در ادامه با توجه به استفاده از توزیع ویگنر-وایل در این پایان‌نامه این نمایش زمان-فرکانس مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۳-۱. توزیع ویگنر-وایل

تبدیل موجک، تبدیل فوریه زمان-کوتاه و تبدیل S از همبستگی سیگنال با خانواده‌ای از اتم‌های زمان-فرکانس بدست می‌آیند. بنابراین قدرت تفکیک در راستای زمان و فرکانس در این تبدیل‌ها توسط این اتم‌های زمان-فرکانس محدود می‌شود. یکی از مزایای توزیع ویگنر - وایل نسبت به سه تبدیل مذکور، بدست آوردن توزیع چگالی انرژی در صفحه زمان-فرکانس بدون از دست دادن قدرت تفکیک در راستای زمان و فرکانس می‌باشد.

مطالعات ویگنر [۱۹۳۲] و وایل [۱۹۴۸]، توزیع چگالی انرژی را در صفحه زمان-فرکانسی معرفی نمود که امروزه آن را به عنوان توزیع ویگنر - وایل می‌شناسند. در توزیع ویگنر - وایل، توزیع چگالی انرژی در صفحه زمان - فرکانس از همبستگی سیگنال $x(t)$ با نسخه انتقالی زمانی و فرکانسی خود سیگنال بدست می‌آید. با وجود ویژگی‌های برجسته این توزیع، کاربرد آن به دلیل وجود یکسری جملات اضافی تحت عنوان جملات متقاطع^۱ محدود شده است. البته با استفاده از میانگین‌گیری کردن می‌توان این جملات را کاهش داد ولی در مقابل قدرت تفکیک کاهش می‌یابد [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹]. توزیع ویگنر - وایل به صورت رابطه (۱۰-۲) بیان می‌شود [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹].

$$WVD_x(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (10-2)$$

^۱. Cross terms

حاصل این توزیع، به صورت اعداد حقیقی می‌باشد، زیرا این توزیع از تبدیل فوریه رابطه $x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right)$ بدست می‌آید که در زمان متقارن هرمیتی^۱ می‌باشد. توزیع ویگنر-وایل را می‌توان با استفاده از قضیه پارسوال به صورت رابطه (۱۱-۲) نوشت.

$$WVD_x(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(\omega + \frac{\Omega}{2}\right)x^*\left(\omega - \frac{\Omega}{2}\right)e^{-j\Omega t}d\Omega \quad (11-2)$$

توزیع ویگنر - وایل دارای دو خاصیت عمده می‌باشد:

۱. قدرت تفکیک بالای زمانی و فرکانسی.

۲. خاصیت حاشیه‌ای: برای هر تابعی مانند $x(t)$ می‌توان نوشت:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} WVD_x(t, \omega)dt = |f(\omega)|^2 \quad (12-2)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} WVD_x(t, \omega)d\omega = |f(t)|^2$$

رابطه (۱۲-۲) نشان می‌دهد که این توزیع را می‌توان به صورت توزیع مشترک زمان-فرکانس چگالی انرژی تفسیر نمود.

همانطور که گفته شد، وجود جملات متقاطع یکی از عواملی است که سبب شده است کاربرد توزیع ویگنر- وایل تا حدودی تحت تأثیر قرار گرفته و کمتر از آن استفاده شود. سیگنال‌های $x_1(t)$ با توزیع ویگنر- وایل $WVD_{x_1}(t, \omega)$ و $x_2(t)$ با توزیع ویگنر- وایل $WVD_{x_2}(t, \omega)$ مفروض است، در این صورت توزیع ویگنر-وایل سیگنال $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$ به صورت رابطه (۱۳-۲) خواهد بود [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹].

(۱۳-۲)

$$WVD_x(t, \omega) = WVD_{x_1}(t, \omega) + WVD_{x_2}(t, \omega) + WVD_{x_1, x_2}(t, \omega) + WVD_{x_2, x_1}(t, \omega)$$

^۱. Hermitian symmetric

که دو جمله آخر رابطه بالا جملات متقاطع نامیده می‌شوند. منشا این جملات متقاطع را می‌توان اصل برهم‌نهی درجه دو دانست. جملات متقاطع دارای مشخصات زیر می‌باشند [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

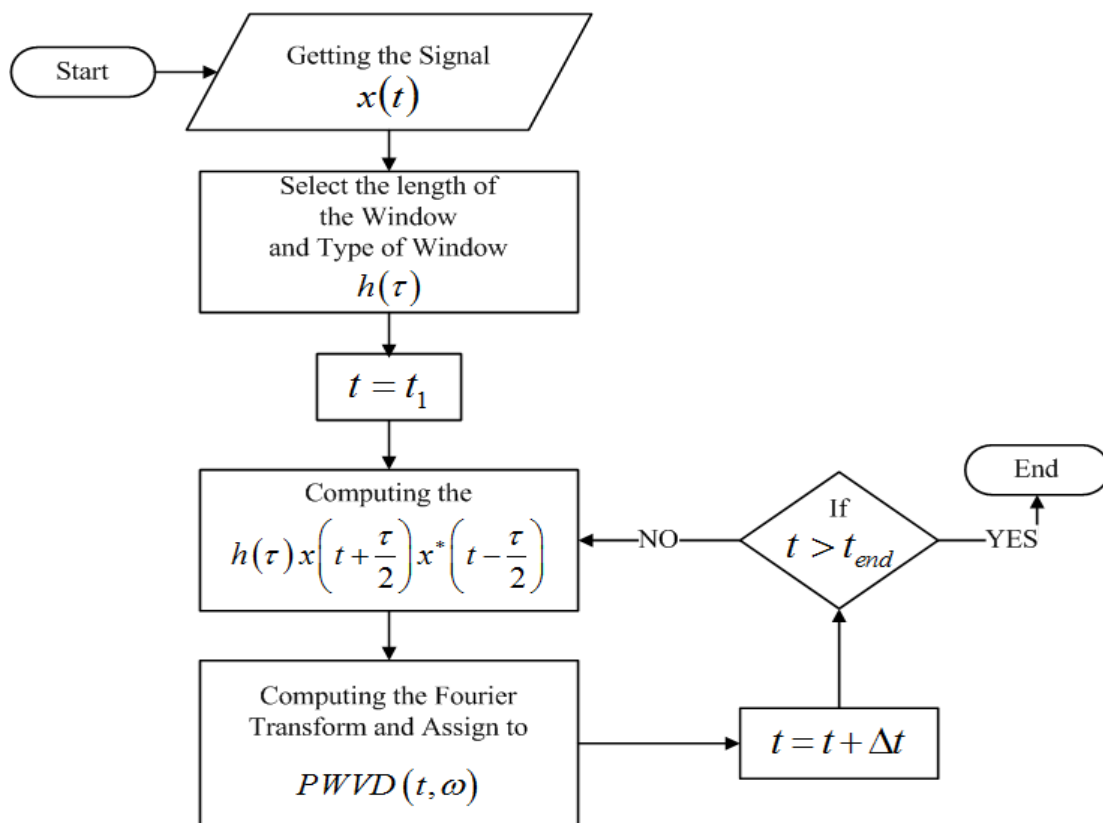
- جملات متقاطع میان دو مولفه اصلی قرار می‌گیرند.
- جملات متقاطع دارای خاصیت نوسانی متناسب با فاصله میان مولفه‌های اصلی می‌باشند.
- راستای نوسانات عمود بر خط متصل کننده مولفه‌های اصلی می‌باشد.

۲-۳-۲. توزیع شبه ویگنر-وایل

همانطور که در بالا اشاره گردید، یکی از معایب توزیع ویگنر-وایل وجود جملات متقاطع می‌باشد که استفاده از این تبدیل را تحت تاثیر قرار داده است. اما از جهات دیگر به دلیل اینکه این تبدیل توزیع انرژی را در صفحه نمایش زمان-فرکانس تولید می‌کند، در زمینه‌های متفاوت و مهمی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بوآشاش [۲۰۰۳] دلیل این جملات متقاطع را اصل برهم‌نهی درجه دو معرفی نمود. با توجه به خواص جملات متقاطع و مشخصه‌های نوسانی آنها می‌توان انتظار داشت که استفاده از یک پنجره هموار کننده بتواند در کاهش این جملات متقاطع مفید واقع شود [روشندل، ۱۳۸۸]. در این زمینه، شکل پنجره‌ای توزیع ویگنر-وایل [بوآشاش، ۲۰۰۳] توانسته است قسمتی از مشکلات جملات متقاطع را کاهش دهد. این توزیع را تحت عنوان توزیع ویگنر-وایل پنجره‌ای یا توزیع شبه ویگنر-وایل می‌نامند. هرچند که این تبدیل باعث کاهش نسبی جملات متقاطع می‌گردد، ولی از طرف دیگر جملات اصلی و تمرکزهای واقعی انرژی را نیز گسترش می‌دهد و سبب کاهش قدرت تفکیک نمایش زمان-فرکانس می‌شود. رابطه (۲-۱۴) رابطه توزیع شبه ویگنر-وایل [بوآشاش، ۲۰۰۳] را نشان می‌دهد.

$$PWVD_x(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (۱۴-۲)$$

که در آن $h(\tau)$ تابع هموار کننده می باشد. در این توزیع هموار شدگی فقط در راستای فرکانس انجام می شود. بنابراین با توجه به راستای هموار شدگی فقط جملات متقاطعی که راستای نوسان آنها، هم راستای محور فرکانس می باشد، تضعیف می شوند و باقی جملات متقاطع باقی می مانند. در شکل ۹-۲ فلوجارت توزیع شبه ویگنر-وایل نشان داده شده است.



شکل ۹-۲. فلوجارت توزیع شبه ویگنر-وایل [روشندل، ۱۳۸۸].

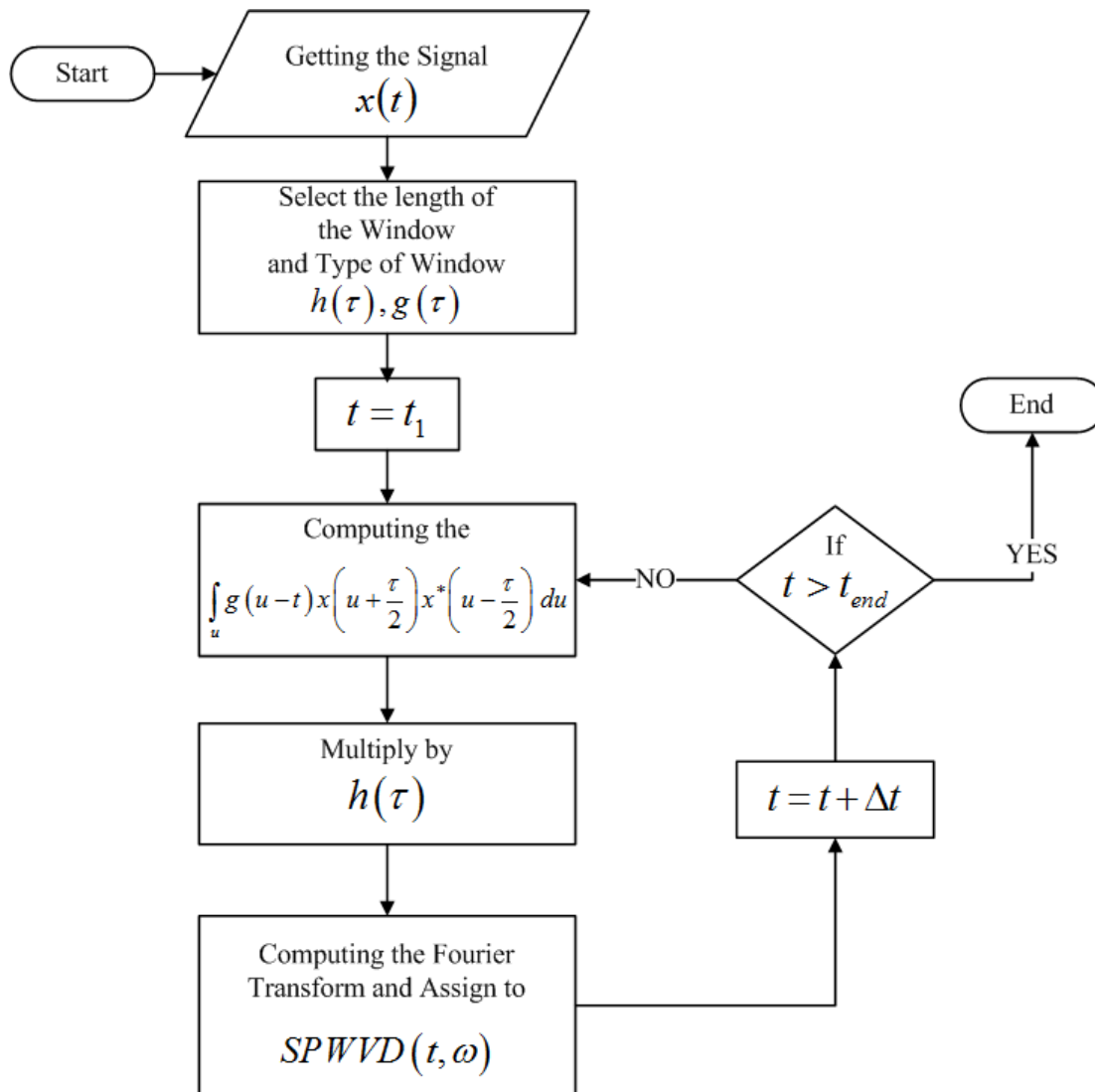
۲-۳-۳. توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده

همانطور که در بخش ۲-۳-۲ بیان شد هموار شدگی در راستای فرکانس فقط قسمتی از جملات متقاطع را که نوسان آنها در راستای محور فرکانس می‌باشد، تضعیف می‌کند. توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده [آوگر و همکاران، ۱۹۹۶] هموار شدگی را در هر دو راستای محور فرکانس و محور زمان انجام می‌دهد و بنابراین جملات متقاطعی را که نوسان آنها در راستای محور زمان می‌باشد، نیز تضعیف می‌کند اما در مقابل تمرکزهای اصلی انرژی نسبت به توزیع شبه ویگنر-وایل بیشتر گسترش می‌یابند. رابطه (۲-۱۵) رابطه توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده می‌باشد [آوگر و همکاران، ۱۹۹۶].

(۲-۱۵)

$$SPWVD_x(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) \int_{-\infty}^{+\infty} g(u-t) x\left(u + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(u - \frac{\tau}{2}\right) du e^{-j\omega\tau} d\tau$$

که در آن $h(\tau)$ و $g(u)$ توابع هموار کننده می‌باشند که هموارشدگی را به ترتیب در راستای فرکانس و زمان انجام می‌دهند. در شکل ۲-۱۰ فلوچارت توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده نشان داده شده است.

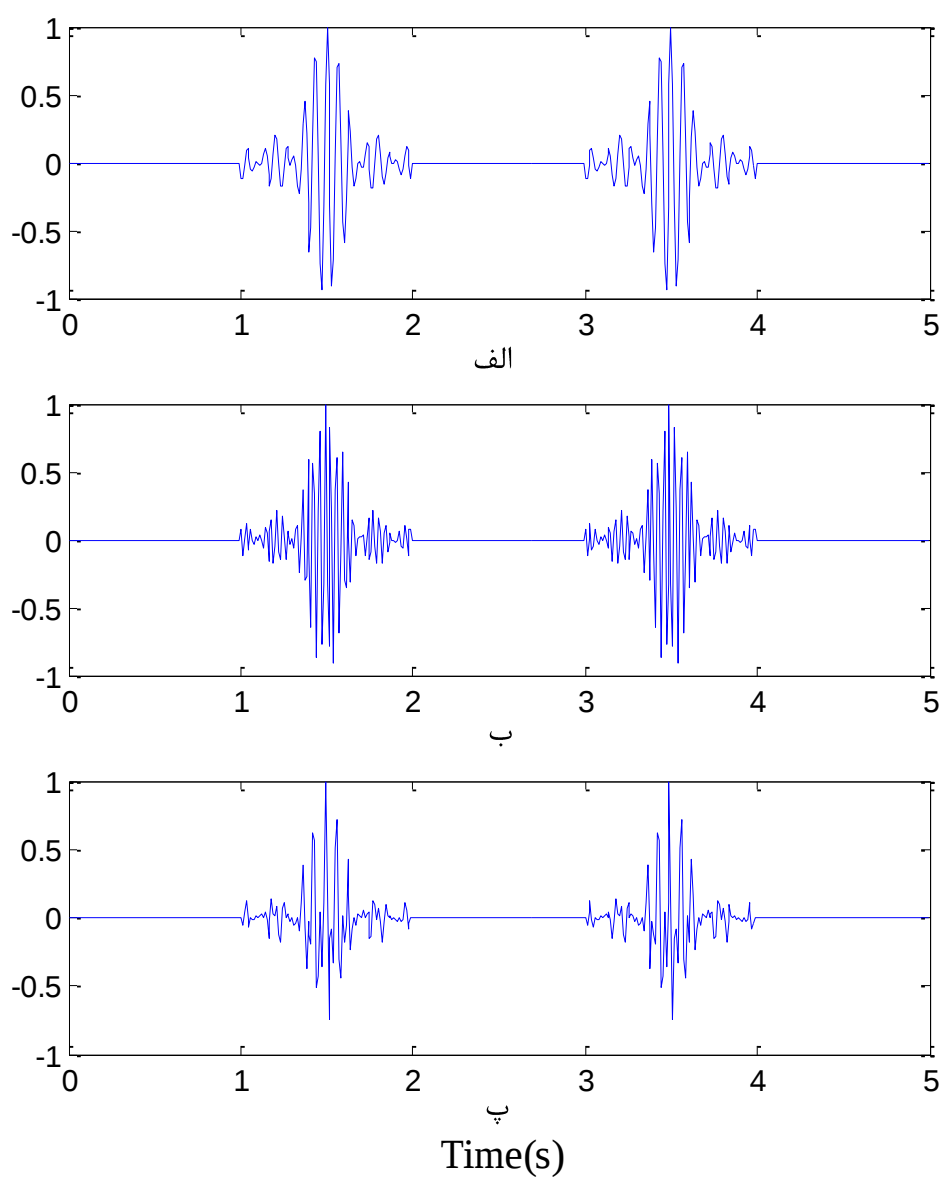


شکل ۲-۱۰. فلوچارت توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده [اروشندل، ۱۳۸۸].

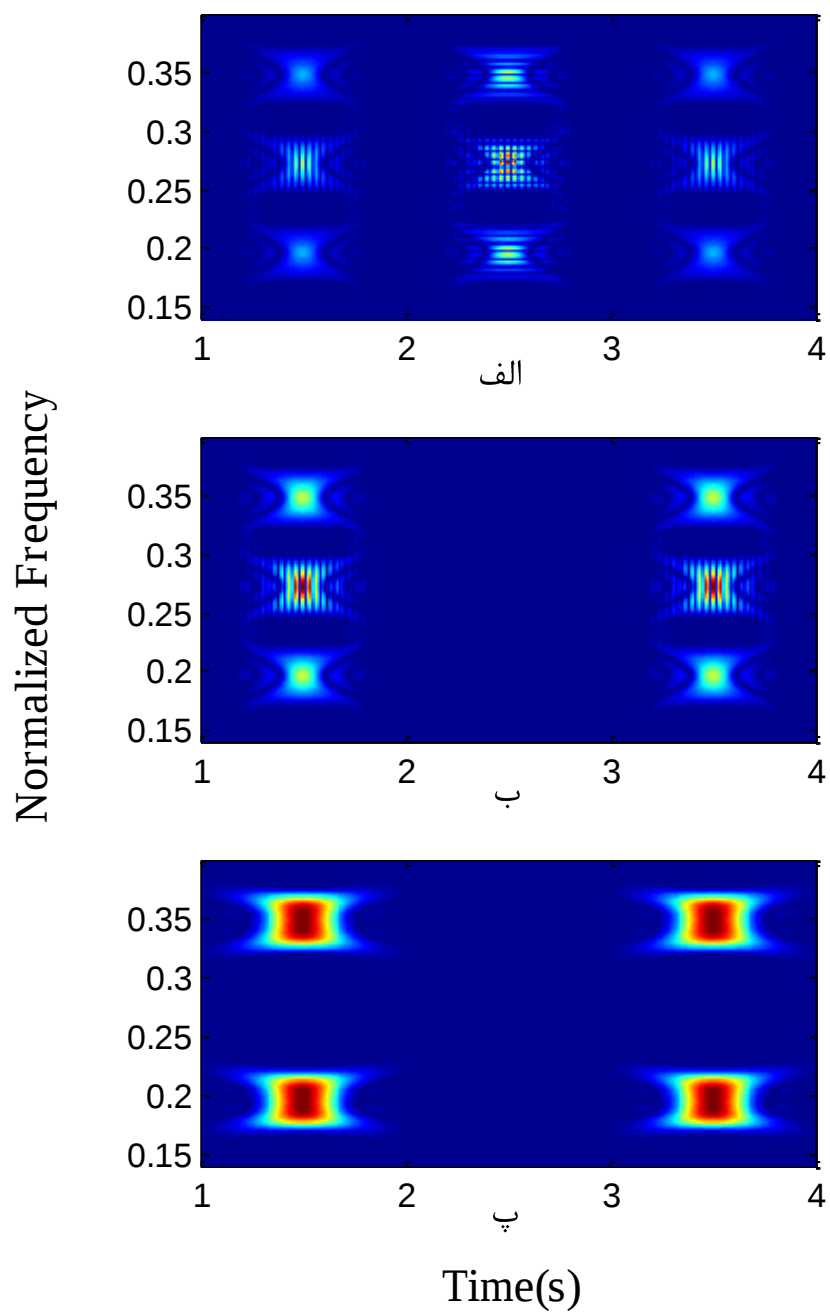
در ادامه برای نمایش چگونگی عملکرد توزیع ویگنر-وایل و انواع بهبود یافته آن و تاثیر آنها بر جملات متقاطع، مثالی ارائه می‌گردد. در شکل ۲-۱۱ دو سیگنال ایجاد شده با استفاده از موجک شانون^۱ با فرکانس‌های مرکزی ۱۵ و ۳۰ هرتز که در دو زمان متفاوت تکرار شده‌اند و مجموع آنها ترسیم شده است. در شکل ۲-۱۲ توزیع ویگنر-وایل، شبه ویگنر-وایل و شبه ویگنر-وایل هموار

^۱. Shannon Wavelet

شده برای مجموع این دو سیگنال نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در نتیجه حاصل از توزیع ویگنر- وایل علاوه بر تمرکزهای اصلی انرژی تمرکزهای انرژی دیگری که حالت نوسانی دارند نیز وجود دارند که همان جملات متقاطع می‌باشند. در نتیجه حاصل از توزیع شبه ویگنر- وایل جملات متقاطع در راستای محور زمان که نوسانات آن‌ها در راستای محور فرکانس می‌باشد، تضعیف شده ولی جملات متقاطع در راستای محور فرکانس که نوسانات آن‌ها در راستای محور زمان می‌باشد، باقی مانده است. همچنین تمرکز اصلی انرژی نیز نسبت به توزیع ویگنر- وایل معمولی گسترش یافته است و بالاخره در نتیجه حاصل از توزیع شبه ویگنر- وایل هموار شده جملات متقاطع در هر دو راستای زمان و فرکانس تضعیف شده ولی تمرکزهای اصلی انرژی نیز گسترش نسبتاً زیادی یافته است.



شکل ۲-۱۱. دو سیگنال شانون با فرکانس‌های مرکزی (الف) ۱۵ و (ب) ۳۰ هرتز که در دو زمان متفاوت تکرار شده‌اند و (پ) مجموع آنها.



شکل ۲-۱۲. (الف) توزیع ویگنر- وایل، (ب) توزیع شبه ویگنر- وایل و (پ) توزیع شبه ویگنر- وایل هموار شده برای سیگنال نشان داده شده در شکل ۲-۱۱(پ).

فصل سوم

فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس

۳-۱. اصول فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس

روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس بر پایه کدگذاری سیگنال حاوی نوفه به عنوان فرکانس لحظه-ای^۱ (IF) یک سیگنال تحلیلی مدوله شده فرکانسی^۲ (FM) با دامنه واحد استوار می‌باشد. سیگنال حاوی نوفه در اینجا از یکسری از مؤلفه‌های معین تشکیل شده است که هر کدام دارای پهنای باند محدود می‌باشند و نوفه تصادفی به آنها اضافه شده است [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

$$S(t) = x(t) + n(t) = \sum_{k=1}^p x_k(t) + n(t) \quad (۱-۳)$$

که $S(t)$ سیگنال حاوی نوفه، $x(t)$ سیگنال بدون نوفه، $n(t)$ نوفه اضافه شده و $x_k(t)$ مؤلفه‌های معین سیگنال می‌باشند.

در این روش ابتدا سیگنال حاوی نوفه مطابق رابطه (۳-۲) به یک سیگنال تحلیلی $z_s(t)$ کدگذاری می‌شود [بوآشاش، ۲۰۰۳] که در این حالت، سیگنال حاوی نوفه $S(t)$ به عنوان فرکانس لحظه‌ای آن می‌باشد:

$$z_s(t) = e^{j2\pi\mu \int_0^t s(\tau) d\tau} \quad (۲-۳)$$

که μ پارامتر مقیاس کردن می‌باشد و مشابه شاخص فرکانس تلفیق^۳ می‌باشد و در انتها نیز مطابق رابطه (۳-۴) از خروجی نهایی خارج می‌گردد.

سپس نمایش زمان-فرکانس سیگنال کدگذاری شده از طریق توزیع ویگنر-وایل محاسبه می‌گردد:

$$WVD_{z_s}(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} z_s(t + \frac{\tau}{2}) z_s^*(t - \frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (۳-۳)$$

در مرحله بعد برای بازیابی سیگنال بدون نوفه $x(t)$ فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده از طریق انتخاب نقطه بیشینه نمایش زمان-فرکانس محاسبه شده ($WVD_{z_s}(t, f)$) تخمین زده می‌شود [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

^۱ . Instantaneous Frequency

^۲ . Frequency modulated

^۳ . Frequency modulation index

$$x(t) = \frac{\arg \max [WVD_{Z_S}(t, f)]}{\mu} \quad (4-3)$$

این فرآیند به صورت تکراری تا زمانی که نسبت سیگنال به نوفه به حد مطلوبی برسد ادامه می‌یابد. در تخمین فرکانس لحظه‌ای $Z_S(t)$ در صورتی که فرکانس لحظه‌ای ثابت و یا تابعی خطی از زمان باشد (یعنی $S(t)$ که همان فرکانس لحظه‌ای $Z_S(t)$ می‌باشد، ثابت یا تابعی خطی از زمان باشد) یک تابع ضربه واحد (δ) در موقعیت فرکانس لحظه‌ای نمایش زمان-فرکانس $Z_S(t)$ قرار می‌گیرد و لذا می‌توان تخمین خوبی از فرکانس لحظه‌ای به دست آورد. اما در صورتی که فرکانس لحظه‌ای از درجه بالا باشد، به جای تابع دلتا توابع دیگری با شکل دلخواه که شکل آنها به قوانین فرکانس لحظه‌ای ارتباط دارد، جایگزین می‌شوند که بیشینه آن از فرکانس لحظه‌ای واقعی دور می‌شود. برای رفع این مشکل بوآشاش [۲۰۰۳] استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل (رابطه (۳-۵)) را به جای توزیع ویگنر-وایل معمولی پیشنهاد داد:

$$PWVD_{Z_S}(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) z_S(t + \frac{\tau}{2}) z_S^*(t - \frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (5-3)$$

که $h(\tau)$ یک پنجره زمانی می‌باشد.

در این توزیع که یک نوع پنجره‌ای از توزیع ویگنر-وایل می‌باشد، می‌توان طول پنجره را طوری در نظر گرفت که فرکانس لحظه‌ای در آن تا حد امکان ثابت و یا تابعی خطی از زمان باشد. طول پنجره مناسب به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود [لین و همکاران، ۲۰۰۸]:

$$WL \leq \frac{0.384 f_s}{f_d} \quad (6-3)$$

که f_s فرکانس نمونه‌برداری، f_d فرکانس غالب سیگنال و WL نشان دهنده طول پنجره می‌باشد. در یک رکورد لرزه‌ای f_s در سراسر زمان برداشت ثابت می‌باشد، اما f_d برای مؤلفه‌های مختلف سیگنال ناپایا متفاوت می‌باشد. بنابراین طول پنجره بهینه متفاوتی برای هریک از مؤلفه‌ها به دست می‌آید. برای رفع این مشکل و کاهش وابستگی فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس به طول پنجره انتخابی در

این تحقیق به جای استفاده از داده‌های حوزه زمان-مکان از داده‌های انتقال یافته به حوزه ردلرزه شعاعی به عنوان داده ورودی استفاده می‌شود که در فصل بعدی توضیح داده خواهد شد.

باتوجه به مطالب بیان شده، مراحل تضعیف نوفه با استفاده از فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس شامل دو مرحله زیر می‌باشد که به صورت ردلرزه به ردلرزه بر داده اعمال می‌گردد [بوآشاش، ۲۰۰۳]:
در مرحله اول، ردلرزه $S(t)$ توسط رابطه (۳-۲) به یک سیگنال تحلیلی کدگذاری می‌شود که در آن $Z(t)$ سیگنال تحلیلی و μ پارامتر مقیاس کردن می‌باشد (مشابه شاخص فرکانس تلفیق) [کارلسون^۱ و همکاران، ۲۰۰۲]. با انجام این مرحله مساله تضعیف نوفه از داده لرزه‌ای به مساله تخمین فرکانس لحظه‌ای از سیگنال کدگذاری شده تغییر می‌کند.

در مرحله دوم، فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده با روش انتخاب نقطه بیشینه فرکانس نمایش زمان-فرکانس تخمین زده می‌شود (رابطه ۳-۴). البته قبل از اینکه سیگنال وارد این فرایند دو مرحله‌ای شود بایستی مقیاس گردد و در انتها عامل مقیاس باید از خروجی حذف شود. رابطه (۳-۷) برای مقیاس کردن و رابطه (۳-۸) برای خروج از مقیاس به کار می‌روند.

$$s_{sc}(t) = (a - b) \frac{s(t) - \min(s(t))}{\max(s(t)) - \min(s(t))} + b \quad (۷-۳)$$

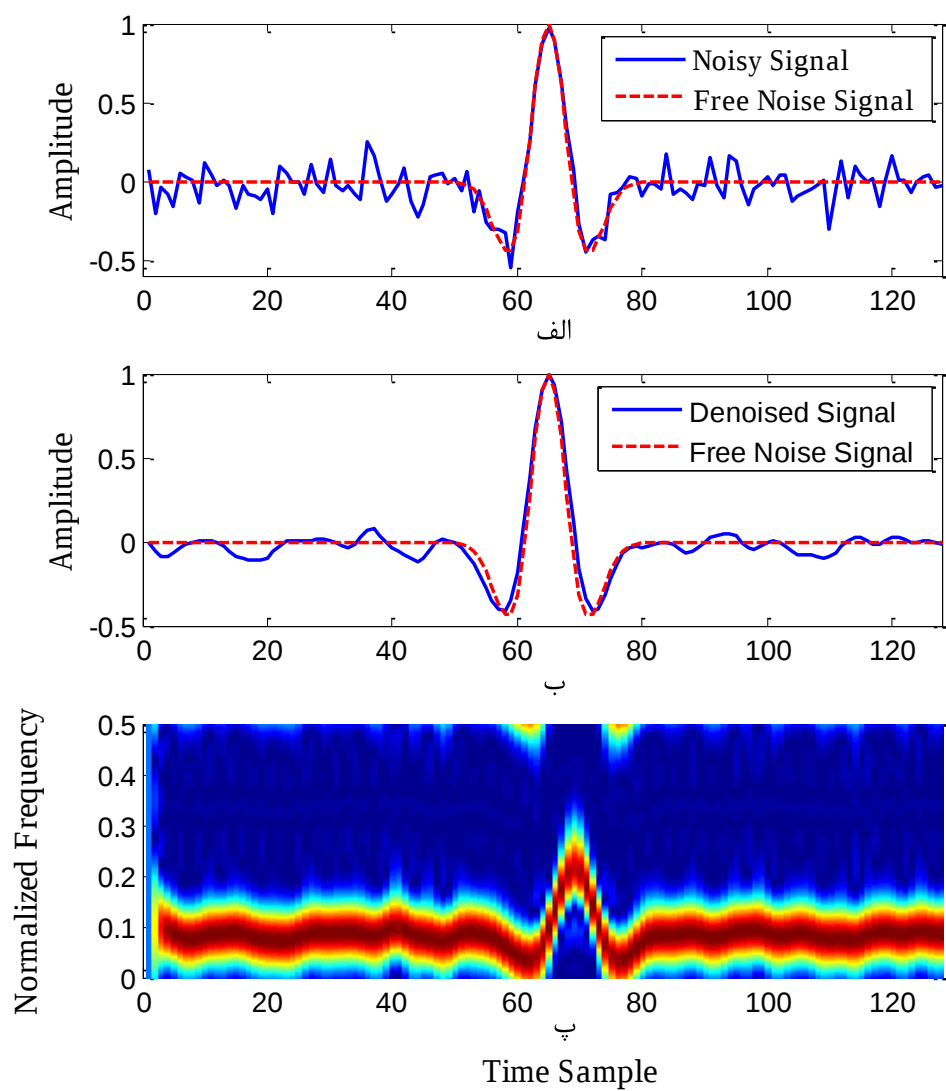
$$x_{usc}(t) = \frac{(x_{sc}(t) - b)[\max(s(t)) - \min(s(t))]}{(a - b)} + \min(s(t)) \quad (۸-۳)$$

که $s_{sc}(t)$ سیگنال مقیاس شده ورودی، $x_{sc}(t)$ خروجی قبل از حذف مقیاس و $x_{usc}(t)$ خروجی بعد از حذف مقیاس و a و b به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$0 \leq b = \min(s(t)) < a = \max(s(t)) \leq 0.5$$

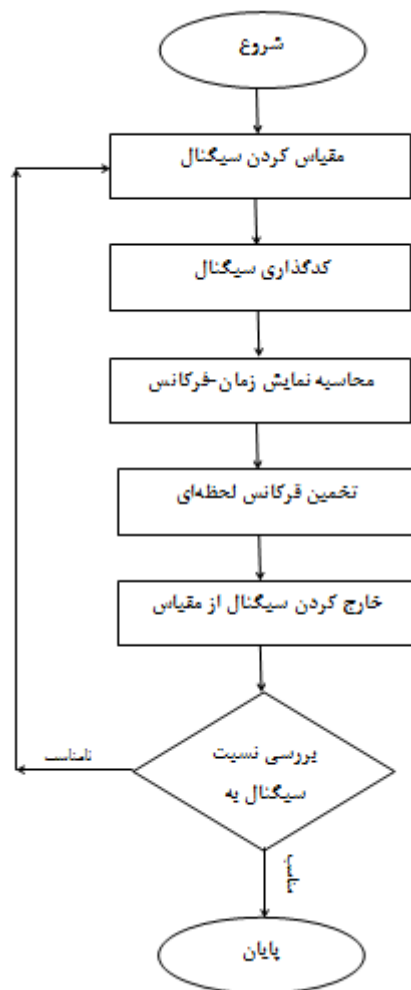
¹. Carlson

برای روشن شدن چگونگی عملکرد فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس، سیگنالی با استفاده از موجک ریکر تولید و به نوفه تصادفی آغشته شد. سپس فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس روی آن اعمال گردید. در شکل ۳-۱(الف) سیگنال آلوده به نوفه و در شکل ۳-۱(ب) سیگنال پس از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس نمایش داده شده است. در شکل ۳-۱(پ) نیز نمایش زمان- فرکانس سیگنال کدگذاری شده که با استفاده از توزیع شبه ویگنر- وایل محاسبه شده است، مشاهده می‌گردد. دقت در این شکل نشان می‌دهد که تخمین فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده به روش انتخاب بیشینه فرکانسی نمایش زمان- فرکانس، باعث می‌شود که نوفه تصادفی تا حد زیادی از سیگنال آلوده به نوفه خارج گردد زیرا محتوای فرکانسی نوفه تصادفی در تمامی فرکانس‌ها پخش شده است و انرژی آن در هر زمانی، در بیشینه فرکانس تمرکز ندارد درحالی‌که سیگنال اصلی محتوای فرکانسی آن محدودتر است و انرژی آن در زمان‌های مختلف، در بیشینه فرکانس مربوط به آن زمان تمرکز دارد.



شکل ۳-۱. نمایش چگونگی عملکرد فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس، (الف) سیگنال تولید شده با موجک ریکر آلوده به نوفه تصادفی (ب) سیگنال پس از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس و (پ) نمایش زمان-فرکانس سیگنال کدگذاری شده.

در شکل ۲-۳ نیز فلوچارت فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس نشان داده شده است.



شکل ۲-۳. فلوچارت فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس.

۲-۳. ویژگی‌ها

در این بخش ویژگی‌های مراحل کدگذاری و تخمین فرکانس لحظه‌ای در روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس برای حالتی که از توزیع ویگنر-وایل در محاسبه نمایش زمان-فرکانس استفاده شود، بیان می‌گردد. در صورتی که از دیگر روش‌های محاسبه نمایش زمان-فرکانس استفاده گردد این ویژگی‌ها کمی متفاوت خواهند بود [بوآشاش و مصباح^۱، ۲۰۰۳].

^۱. Mesbah

ویژگی اول: با انجام مرحله کدگذاری نوفه افزوده شده (جمع شده) به سیگنال، به نوفه‌ای که در

سیگنال ضرب می‌گردد، تبدیل می‌شود که بصورت زیر بیان می‌گردد [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

$$z(t) = e^{j2\pi\mu \int_0^t s(\lambda)d\lambda} = z_x(t)z_n(t) \quad (9-3)$$

که نوفه کدگذاری شده و مولفه‌های معین سیگنال به سادگی با توجه به قوانین توابع نمایی به صورت

زیر استنباط می‌شوند [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

$$z_n(t) = e^{j2\pi\mu \int_0^t n(\lambda)d\lambda} \quad (10-3)$$

$$z_x(t) = e^{j2\pi\mu \int_0^t x(\lambda)d\lambda} \quad (11-3)$$

ویژگی دوم: طیف دامنه ویگنر-وایل سیگنال $z_s(t)$ با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید

[بوآشاش، ۲۰۰۳]:

$$WVS_{z_s}(t, f) = E[WVD_{z_s}(t, f)] = WVS_{z_n}(t, f) * WVS_{z_x}(t, f) \quad (12-3)$$

که $E[.]$ عملگر امید ریاضی، WVS نشان‌دهنده طیف دامنه توزیع ویگنر-وایل، $*$ نشان‌دهنده

همامیخت در حوزه فرکانس و $WVS_{z_n}(t, f) = E[W_{z_n}(t, f)]$.

اثبات: این ویژگی از ویژگی اول و نیز محاسبه امید ریاضی توزیع ویگنر-وایل سیگنال کدگذاری شده

$z_n(t)$ بدست می‌آید. امید ریاضی توزیع ویگنر-وایل سیگنال $z_s(t)$ برابر است با [بوآشاش،

۲۰۰۳]:

$$E[WVD_{z_s}(t, f)] = \int_{-\infty}^{\infty} R_{z_n}(t, \tau) K_{z_x}(t, \tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (13-3)$$

که تابع همبستگی وابسته به زمان سیگنال $z_n(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شود [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

$$R_{z_n}(t, \tau) = E \left[z_n \left(t + \frac{\tau}{2} \right) z_n^* \left(t - \frac{\tau}{2} \right) \right] = E \left[e^{j2\pi\mu \int_{t-\frac{\tau}{2}}^{t+\frac{\tau}{2}} n(\lambda) d\lambda} \right] \quad (۱۴-۳)$$

و تابع حاصلضرب دو خطی وابسته به زمان $z_x(t)$ به صورت زیر تعریف می‌گردد [بوآشاش، ۲۰۰۳]:

$$K_{z_x}(t, \tau) = z_x \left(t + \frac{\tau}{2} \right) z_x^* \left(t - \frac{\tau}{2} \right) = e^{j2\pi\mu \int_{t-\frac{\tau}{2}}^{t+\frac{\tau}{2}} x(\lambda) d\lambda} \quad (۱۵-۳)$$

اکنون رابطه (۱۲-۳) را می‌توان با توجه به این خاصیت که تبدیل فوریه حاصلضرب دو سیگنال در حوزه زمان معادل با هم‌میخت آنها در حوزه فرکانس می‌باشد، بدست آورد.

معادله (۱۲-۳) نشان می‌دهد که نوفه جمع شده با سیگنال، توزیع ویگنر-وایل سیگنال کدگذاری شده را از طریق هم‌میخت آلوده می‌کند. بنابراین ویژگی پیش‌قدر در فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس به سیگنال کدگذاری شده $z_x(t)$ و نیز به شکل طیف نوفه کدگذاری شده، $WVS_{z_n}(t, f)$ بستگی دارد. با محدود کردن شکل طیف نوفه کدگذاری شده، می‌توان نوعی از نوفه را تعریف کرد که در تخمین فرکانس لحظه‌ای پیش‌قدر ایجاد نمی‌کند. برای نمونه از این نوع نوفه می‌توان نوفه گوسی سفید را نام برد [بوآشاش، ۲۰۰۳].

ویژگی سوم: تابع هم‌بستگی وابسته به زمان نوفه کدگذاری شده، $R_{z_n}(t, \tau, \mu)$ با تابع مشخصه

$$q(t, \tau) = 2\pi \int_{t-\tau/2}^{t+\tau/2} n(\lambda) d\lambda \quad \text{برابر است [بوآشاش، ۲۰۰۳]:}$$

$$R_{z_n}(t, \tau, \mu) = E \left[e^{j2\pi q(t, \tau)} \right] = \Phi_q(t, \tau, \mu) \quad (۱۶-۳)$$

که $\Phi_q(t, \tau, \mu)$ تابع مشخصه $q(t, \tau)$ می‌باشد و با رابطه زیر تعریف می‌گردد [پاپولیس^۱، ۱۹۸۳]:

$$\Phi_q(t, \tau, \mu) = E \left[e^{j2\pi q(t, \tau)} \right] = \exp \left(\sum_{i=1}^{\infty} \frac{k_{qi}(t, \tau) (j\mu)^i}{i!} \right) \quad (۱۷-۳)$$

و $k_{qi}(t, \tau)$ مجموع i ام $q(t, \tau)$ می‌باشد.

^۱ . Papoulise

فصل چهارم

فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس در حوزه

ردلرزه شعاعی

۴-۱. مقدمه

همانطور که در فصل قبل بیان گردید فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس به طول پنجره استفاده شده در توزیع شبه ویگنر-وایل سیگنال کد گذاری شده وابسته می‌باشد و در واقع نوعی پیشقدر و به عبارت دیگر نوعی حالت شرطی در نتایج پیش می‌آید که در فصل قبل طول پنجره بهینه برای جلوگیری از پیشقدر در نتایج مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که بیان گردید، طول پنجره بهینه به فرکانس غالب سیگنال بستگی دارد و هر چقدر این فرکانس غالب پایین‌تر باشد، طول پنجره بهینه بیشتر خواهد شد و در این صورت با یک طول پنجره بزرگ می‌توان علاوه بر تضعیف میزان بیشتری نوفه، سیگنال اصلی را نیز به خوبی حفظ نمود. لازم به ذکر است که در این روش هنگام تضعیف نوفه از سیگنال اصلی همیشه مقداری از سیگنال که دارای فرکانس بالایی است، به علت تخمین نامناسب فرکانس لحظه‌ای سیگنال کد گذاری شده حذف می‌شود و نیز مقداری از نوفه که دارای فرکانس پایینی است تضعیف نشده و باقی می‌ماند. برای رفع این مشکل بایستی به گونه‌ای فرکانس سیگنال اصلی را پایین آورد که فرکانس نوفه موجود در آن تغییر نکند. همانطور که در بخش ۲-۱ بیان گردید، تبدیل شیب ردلرزه شعاعی هنگامی که مسیر ردلرزه‌های شعاعی با رویدادهای لرزه‌ای موجود در رکورد لرزه‌ای موازی بوده یا زاویه کمی داشته باشد، به خوبی این کار را انجام می‌دهد و فرکانس ردلرزه‌ها را پایین می‌آورد؛ در حالی که تاثیری بر فرکانس نوفه موجود در داده لرزه‌ای ندارد. در واقع همانطور که در فصل دوم بیان گردید، با انتخاب مبدأ تبدیل ردلرزه شعاعی در یک فاصله دور نسبت به مبدأ رکورد لرزه‌ای، تمامی ردلرزه‌های شعاعی که رکورد لرزه‌ای را پوشش می‌دهند، دارای یک محدوده باریک سرعت ظاهری متوسط v می‌باشند. بنابراین با انتخاب سرعت ظاهری متوسط v به گونه‌ای که با رویدادهای لرزه‌ای (خصوصاً رویدادهای لرزه‌ای فرکانس بالا که معمولاً در زمان‌های اولیه رکورد قرار می‌گیرند) موازی بوده و یا زاویه نسبتاً کمی داشته باشند، کاهش فرکانس رویدادها در حوزه ردلرزه شعاعی حاصل خواهد شد. با این وجود تعداد زیاد ردلرزه‌های شعاعی لازم برای جلوگیری از دگرنامی، سرعت عملیات را کاهش می‌دهد و همچنین درونیابی انجام گرفته هنگام رفت و برگشت

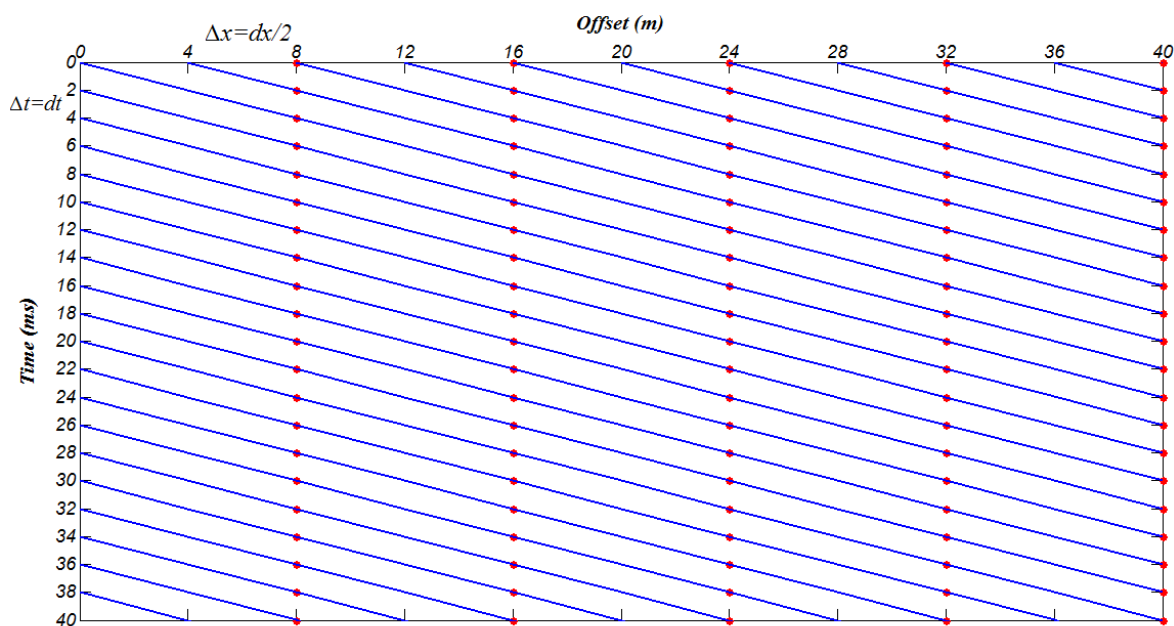
به حوزه ردلرزه شعاعی بدشکلی‌هایی را ایجاد می‌کند. برای رفع مشکلات بیان شده، در این تحقیق فرم اصلاح شده‌ای از تبدیل شیب ردلرزه شعاعی معرفی می‌گردد.

۲-۴. تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده

تفاوت این تبدیل اصلاح شده با تبدیل شیب ردلرزه شعاعی این است که به جای سرعت‌های ظاهری متفاوت برای ردلرزه‌های شعاعی، یک سرعت ظاهری ثابت برای تمامی ردلرزه‌های شعاعی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر رکورد لرزه‌ای به حوزه دیگری منتقل می‌شود که پارامتر زمان در آن بدون تغییر باقی می‌ماند و دورافت‌ها به تعدادی ردلرزه با سرعت ظاهری ثابت - به گونه‌ای که دگرنامی رخ ندهد- تبدیل می‌شوند. با این کار تعداد ردلرزه‌های لازم برای جلوگیری از دگرنامی کاهش می‌یابد و همچنین با توجه به ثابت بودن سرعت ظاهری ردلرزه‌های شعاعی، فاصله بین ردلرزه‌ها در محور افقی (Δx) را به گونه‌ای می‌توان انتخاب کرد که Δt برابر dt (فاصله نمونه برداری زمانی) گردد. با انجام این کار میزان درونیابی لازم هنگام رفت و برگشت به حوزه جدید تا حد زیادی کاهش می‌یابد و در حالتی که با توجه به سرعت مورد نظر برای ردلرزه‌ها بتوان Δx را کسر صحیحی از فاصله نمونه‌برداری مکانی انتخاب کرد، نیاز به درونیابی وجود نخواهد داشت. زیرا در این حالت مسیر ردلرزه‌های شعاعی منطبق بر داده‌های لرزه‌ای می‌گردد. برای نمایش این حالت در شکل ۴-۱ فرض شده است که فاصله نمونه‌برداری مکانی ۸ متر و نرخ نمونه‌برداری زمانی ۲ میلی ثانیه باشد. در صورتی که سرعت مورد نظر برای اعمال تبدیل ردلرزه شعاعی اصلاح شده ۲۰۰۰ متر بر ثانیه انتخاب شود، با انتخاب Δx برابر ۴ متر Δt برابر با ۲ میلی ثانیه خواهد شد که برابر با نرخ نمونه‌برداری زمانی (dt) می‌باشد. با توجه به اینکه Δx کسر صحیحی از فاصله نمونه‌برداری مکانی (dx) در نظر گرفته شده است، همانطور که در شکل ۴-۱ مشاهده می‌گردد، مسیر ردلرزه‌های شعاعی منطبق بر داده‌های لرزه‌ای شده است. در شکل خطوط آبی رنگ مسیر ردلرزه‌های شعاعی با سرعت ثابت و نقاط قرمز رنگ نمایانگر موقعیت داده لرزه‌ای می‌باشند.

$$\Delta t = dt \rightarrow \Delta x = v\Delta t = vdt \quad (1-4)$$

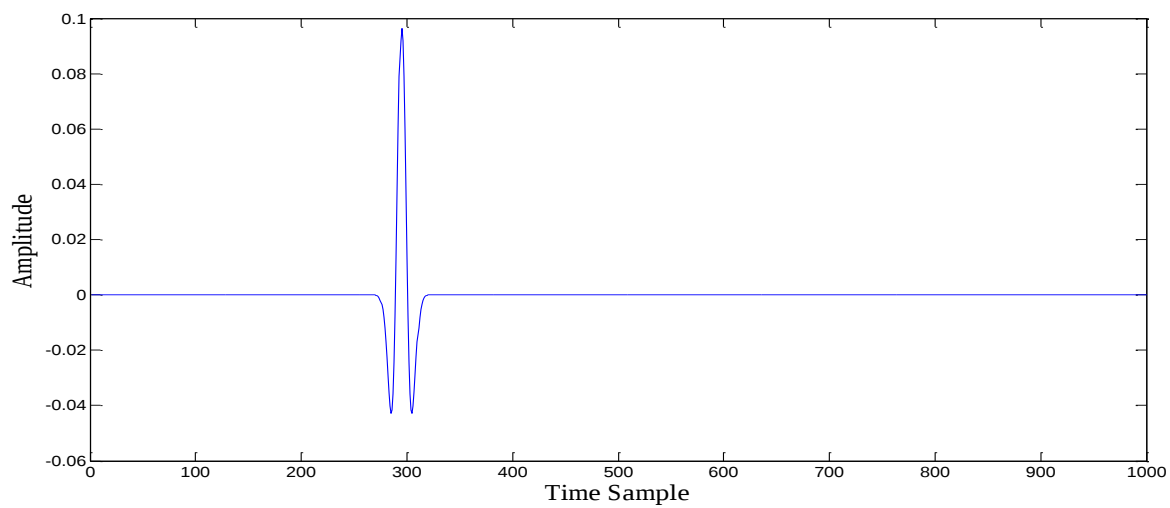
که v سرعت ظاهری ردلرزه‌ها، Δx فاصله ردلرزه‌ها روی محور افقی، Δt فاصله ردلرزه‌ها روی محور عمودی و dt فاصله نمونه‌برداری زمانی می‌باشد.



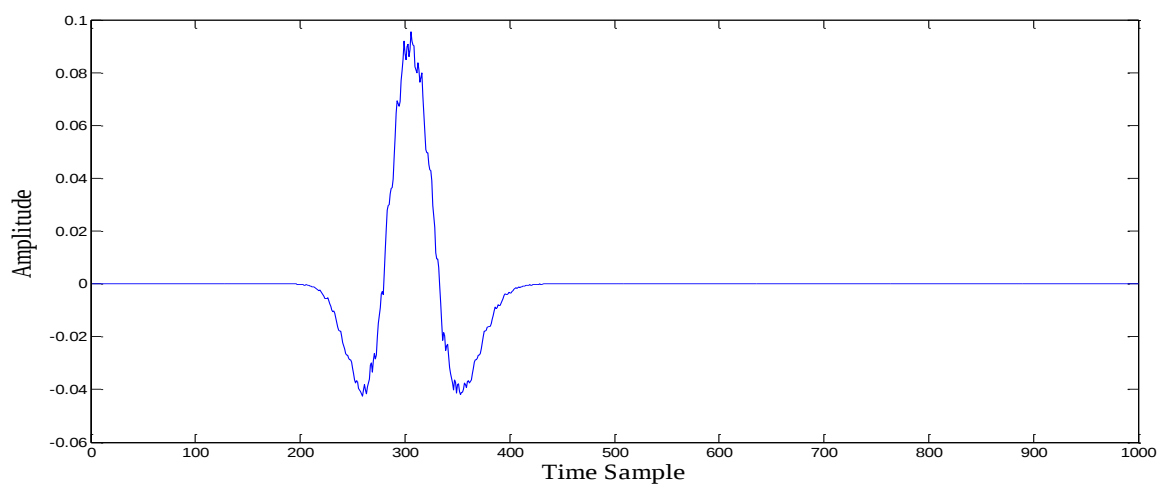
شکل ۴-۱. نمایش چگونگی انطباق مسیر ردلرزه‌های با سرعت ظاهری ثابت بر داده لرزه‌ای در تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده. خطوط آبی رنگ نشان دهنده مسیر ردلرزه‌ها هنگام اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده و نقاط قرمز رنگ نیز نمایانگر موقعیت داده‌های لرزه‌ای می‌باشند که همانطور که مشاهده می‌گردد بر هم منطبق هستند.

اکنون برای نمایش چگونگی کاهش فرکانس با استفاده از این تبدیل، یک داده لرزه‌ای مصنوعی را که با استفاده از موجک ریکر^۲ با فرکانس غالب ۴۰ هرتز تولید شده است، با اعمال این تبدیل اصلاح شده به حوزه جدید منتقل کرده و نحوه تغییر فرکانس آن بررسی می‌گردد در شکل ۴-۲ (الف) یک ردلرزه از این داده در حوزه زمان-مکان و در شکل ۴-۲ (ب) یک ردلرزه برای حالتی که مسیر ردلرزه‌های شعاعی تا حد زیادی موازی رویدادهای لرزه‌ای می‌باشد، در حوزه جدید مشاهده می‌گردد. به خوبی مشخص است که طول موجک ردلرزه افزایش زیادی یافته است که نشان دهنده کاهش

فرکانس می‌باشد. برای روشن‌تر شدن موضوع در شکل ۳-۴ (الف) طیف دامنه ردلرزه شکل ۲-۴ (الف) در حوزه زمان-مکان و در قسمت ب، پ و ت طیف دامنه سه ردلرزه در حوزه جدید به ترتیب برای حالتی که مسیر ردلرزه شعاعی نسبت به رویدادهای لرزه‌ای دارای زاویه نسبتاً زیاد، دارای زاویه کم و تا حد زیادی موازی می‌باشد، مشاهده می‌گردد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، فرکانس غالب برای حالت اول کمی کاهش یافته است و از ۴۰ هرتز به حدود ۳۶ هرتز رسیده است؛ اما برای حالت دوم فرکانس غالب به حدود ۲۰ هرتز کاهش یافته و در حالت سوم فرکانس غالب بسیار کاهش یافته و از ۴۰ هرتز به حدود ۸ هرتز رسیده است. البته همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، هنگام رفت و برگشت داده به حوزه ردلرزه شعاعی اصلاح شده مقدار بسیار کمی محتوای فرکانسی بالا تولید شده است که تاثیر چندانی در نتایج ایجاد نخواهد کرد.

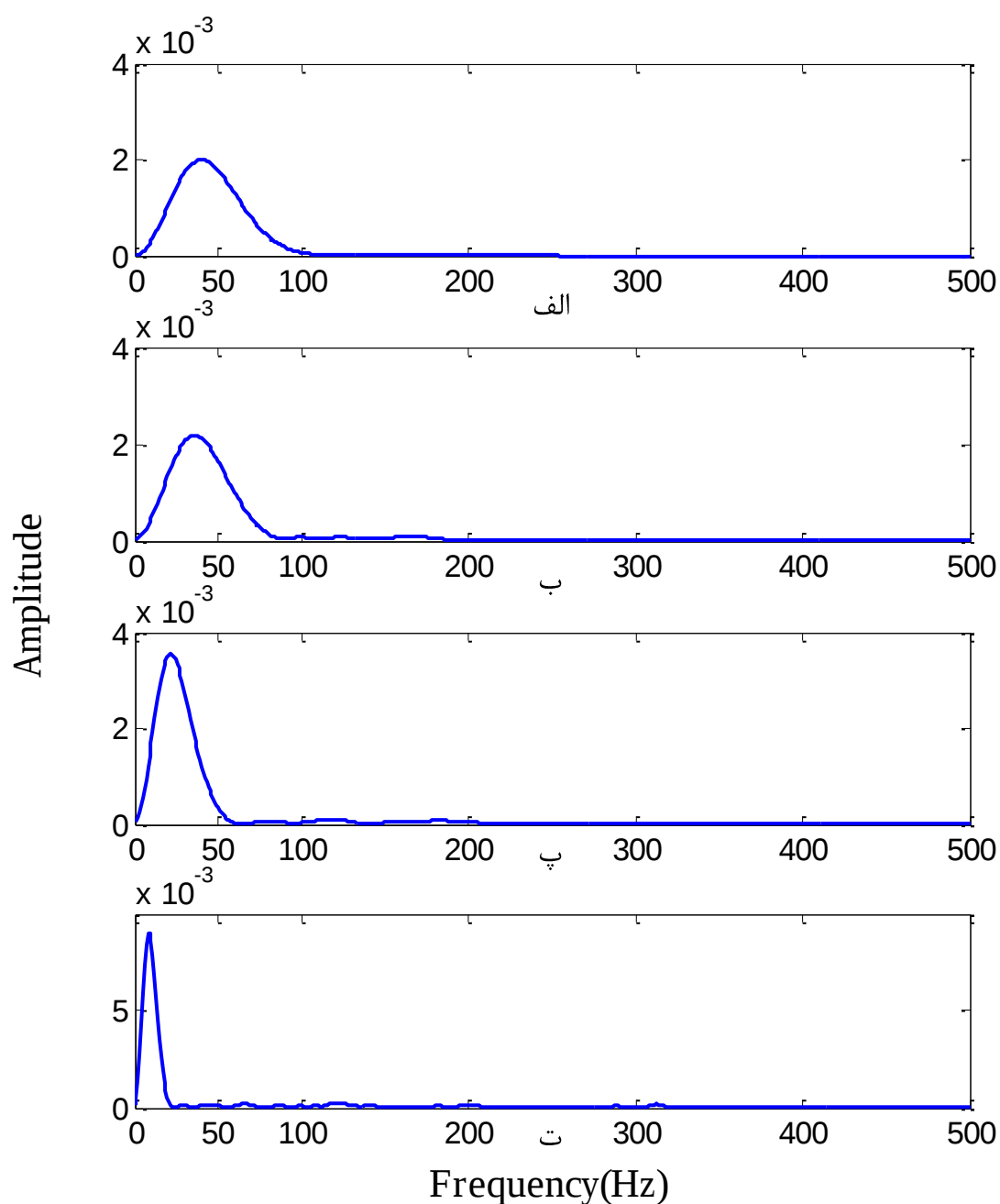


الف



ب

شکل ۴-۲. نمایش یک ردلرزه (الف) در حوزه زمان-مکان و (ب) در حوزه ردلرزه شعاعی.



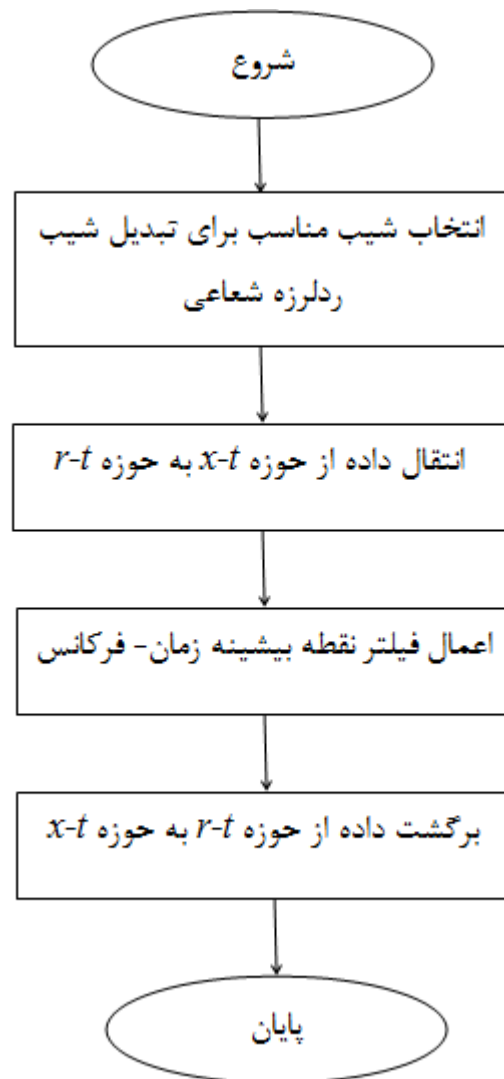
شکل ۳-۴. نمایش چگونگی کاهش فرکانس برای ردلرزه های مختلف در حوزه ردلرزه شعاعی. (الف) طیف دامنه ردلرزه شکل ۲-۴ (الف) در حوزه زمان- مکان و طیف دامنه در حوزه ردلرزه شعاعی اصلاح شده برای حالتی که (ب) مسیر ردلرزه شعاعی نسبت به رویدادهای لرزه ای دارای زاویه نسبتا زیاد، (پ) دارای زاویه کم و (ت) تا حد زیادی موازی می باشد.

۳-۴. روش کار در تضعیف نوفه تصادفی

با توجه به مطالب بیان شده در صورتی که بجای استفاده از داده‌های حوزه زمان-مکان، به عنوان ورودی الگوریتم فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس، ابتدا داده‌ها به حوزه ردلرزه شعاعی اصلاح شده انتقال داده شود و سپس مراحل تضعیف نوفه بر روی داده‌های حوزه جدید انجام گردد، می‌توان امیدوار بود که وابستگی به طول پنجره در این روش تا حد زیادی کاهش یابد و در یک طول پنجره ثابت تضعیف نوفه بیشتری رخ دهد؛ در حالی که سیگنال اصلی نیز به خوبی حفظ گردد. مراحل انجام کار بنابراین به صورت زیر خواهد بود.

- انتخاب یک شیب مناسب برای تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده به گونه‌ای که با رویدادهای لرزه‌ای موجود در داده لرزه‌ای زاویه کمی داشته باشد. در انجام این مرحله رویدادهای ابتدایی-مربوط به زمان‌های ابتدایی رکورد لرزه‌ای- که معمولاً فرکانس بالاتری دارند اهمیت بیشتری دارند.
- انتقال داده لرزه‌ای از حوزه زمان-مکان ($x-t$) به حوزه ردلرزه شعاعی اصلاح شده با کمک تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده با استفاده از شیب انتخاب شده در مرحله اول.
- اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس بر داده لرزه‌ای مرحله قبل.
- اعمال عکس تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده بر خروجی مرحله قبل با همان شیب انتخاب شده در مرحله اول که داده لرزه‌ای را به حوزه زمان-مکان برمی‌گرداند.

در شکل ۴-۴ فلوچارت این روش مشاهده می‌گردد.

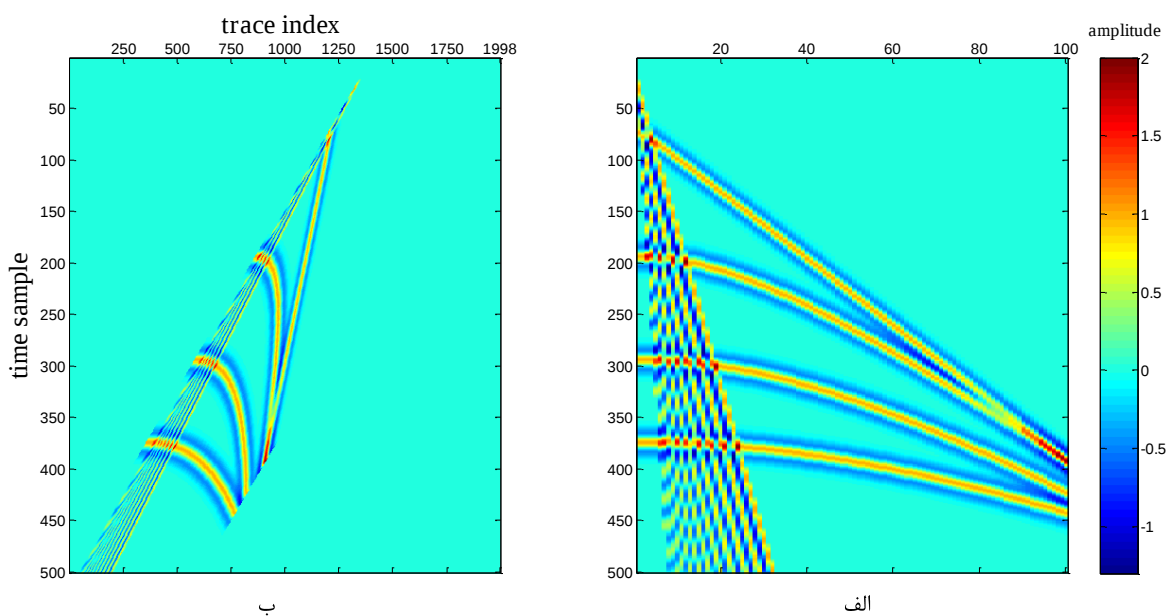


شکل ۴-۴. فلوچارت فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی.

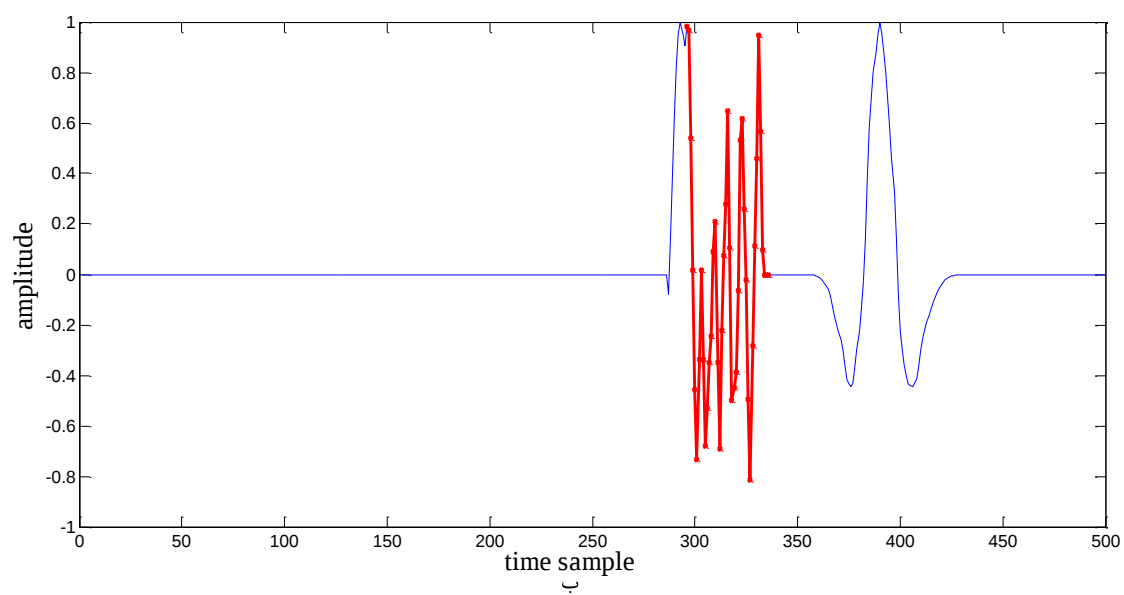
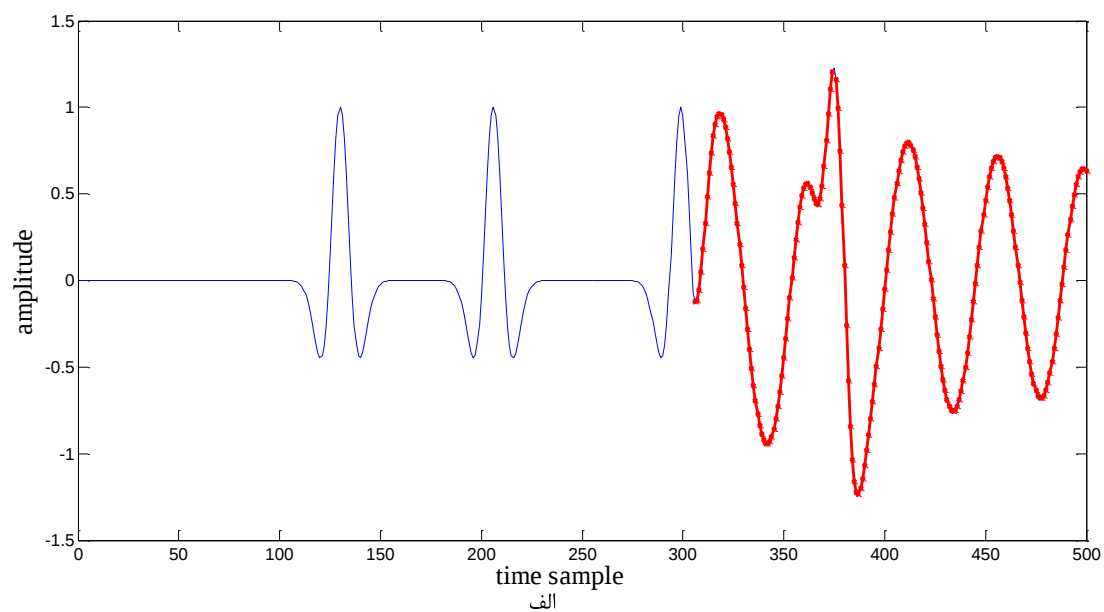
۴-۴. روش کار در تضعیف نوفه زمین غلت

مراحل بیان شده در بخش قبل برای تضعیف نوفه تصادفی از داده لرزه‌ای به ترتیب انجام می‌گردد. برای تضعیف نوفه زمین غلت نیز می‌توان همین مراحل را اعمال نمود و تنها انتخاب پارامترهای لازم با توجه به اینکه هدف از کار تضعیف کدام نوع نوفه تصادفی یا زمین غلت باشد تا اندازه‌ای متفاوت خواهد بود. جهت تضعیف نوفه زمین غلت، با توجه به تفاوت بسیار زیاد بین سرعت ظاهری این نوفه و رویدادهای اصلی در داده‌های لرزه‌ای چشمه مشترک (سرعت رویدادهای اصلی در داده‌های چشمه مشترک معمولاً چندین برابر سرعت نوفه زمین غلت می‌باشد)، با انتخاب شیب مورد نظر برای اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده، نزدیک به شیب (سرعت ظاهری) رویدادهای اصلی، این سرعت بسیار بالاتر از سرعت نوفه زمین غلت خواهد بود. بنابر این همانطور که در فصل دوم بیان گردید در این حالت مسیر ردلرزه‌های شعاعی، هنگام اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده زاویه زیادی (نزدیک به حالت عمود) با مسیر نوفه زمین غلت خواهند داشت در نتیجه پس از اعمال تبدیل، فرکانس نوفه زمین غلت به شدت افزایش می‌یابد درحالی که فرکانس رویدادهای اصلی کاهش می‌یابد. برای نمایش این موضوع در شکل ۴-۵ (الف) یک رکورد ردلرزه‌ای چشمه مشترک همراه با نوفه زمین غلت در حوزه زمان- مکان نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، نوفه زمین غلت با فرکانس پایین در رکورد لرزه‌ای حضور دارد. در شکل ۴-۵ (ب) همان رکورد لرزه‌ای بعد از اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده با سرعت ظاهری ۴۰۰۰ متر بر ثانیه، در حوزه جدید نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد فرکانس نوفه زمین غلت در حوزه جدید تا حد زیادی افزایش یافته است. در شکل ۴-۶ (الف) یک ردلرزه همراه با نوفه زمین غلت که از رکورد شکل ۴-۵ (الف) بیرون کشیده شده، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد زمین غلت با فرکانس پایین (بخش قرمز رنگ) در ردلرزه حضور دارد و در بعضی زمان‌ها رویداد اصلی را پوشانده است. در شکل ۴-۶ (ب) یک ردلرزه دیگر که از رکورد شکل ۴-۵ (ب) بیرون کشیده شده، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، فرکانس نوفه زمین غلت در حوزه جدید تا حد زیادی افزایش

یافته است (بخش قرمز رنگ). در ادامه با انجام مرحله بعد و اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس بر داده انتقال یافته به حوزه جدید نوفه زمین‌گلت به دلیل تفاوت زیاد با رویدادهای اصلی از نظر محتوای فرکانسی به خوبی از داده لرزه‌ای تضعیف می‌گردد و در نهایت با اعمال عکس تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده، داده لرزه‌ای که نوفه زمین‌گلت آن تضعیف شده است حاصل می‌شود که در فصل بعد نتایج آن خواهد آمد.



شکل ۴-۵. (الف) نمایش یک رکورد ردلرزه‌ای چشمه مشترک همراه با نوفه زمین‌گلت در حوزه زمان-مکان و (ب) همان رکورد لرزه‌ای بعد از اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده.



شکل ۴-۶. (الف) نمایش یک ردلرزه همراه با نوفه زمین‌گلت با فرکانس پایین (بخش قرمز رنگ) که از رکورد شکل ۴-۵ (الف) بیرون کشیده شده است و (ب) یک ردلرزه دیگر که از رکورد شکل ۴-۵ (ب) بیرون کشیده شده است و فرکانس نوفه زمین‌گلت آن (بخش قرمز رنگ) به شدت افزایش یافته است.

فصل پنجم

اعمال بر روی داده مصنوعی و واقعی

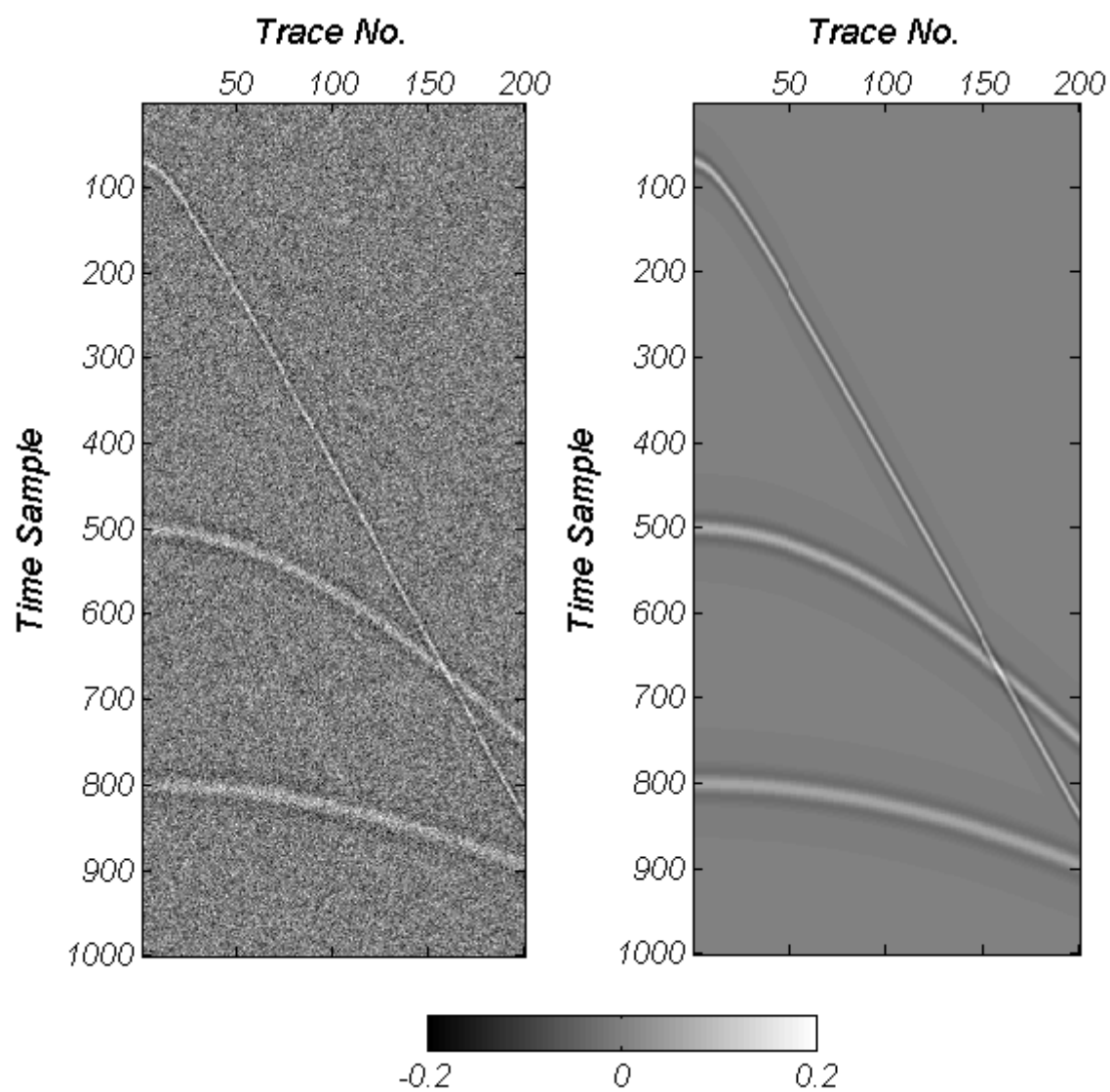
در این فصل فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی و اصلاح شده بر روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی اعمال می‌گردد و نتایج حاصل از اعمال دو روش با یکدیگر مقایسه می‌شوند. همانطور که در ادامه خواهد آمد، نتایج بدست آمده از اعمال روش اصلاح شده، معرفی شده در این پایان‌نامه، بر داده‌های مصنوعی و واقعی نشان می‌دهد که این روش وابستگی روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی به طول پنجره به کار رفته در محاسبه نمایش زمان-فرکانس را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. در بخش انتهایی نیز قابلیت روش معرفی شده در تضعیف نوفه زمین‌گلت با اعمال روش بر یک داده واقعی حاوی این نوع نوفه نمایش داده می‌شود که همانطور که در فصل چهارم توضیح داده شد با انتخاب پارامترهای مناسب هنگام اعمال روش می‌توان به تضعیف این نوع نوفه‌ها در داده لرزه‌ای اقدام نمود.

۵-۱. اعمال روش بر داده مصنوعی در تضعیف نوفه تصادفی

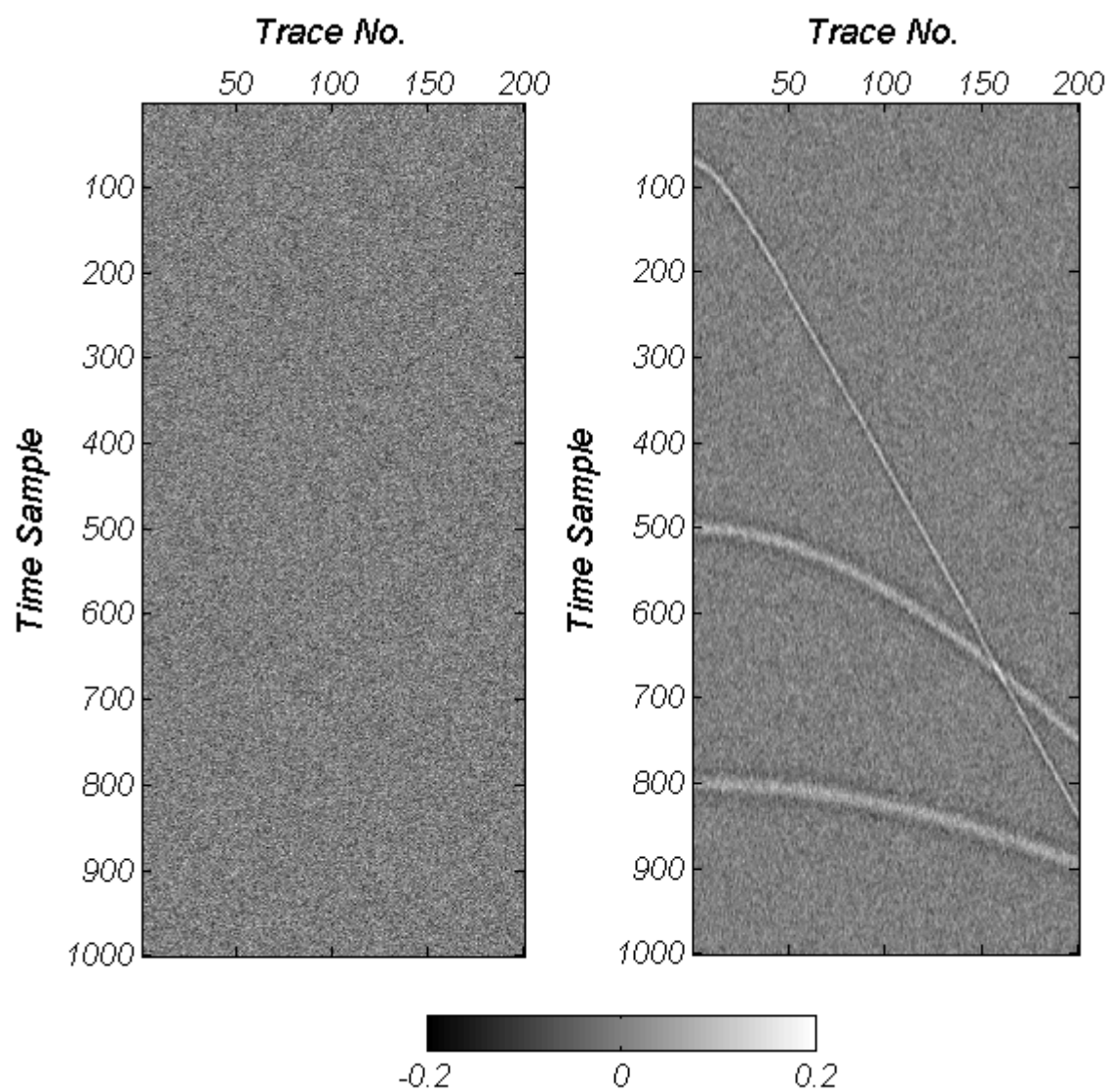
برای این کار ابتدا یک رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک دارای ۲۰۰ ردلرزه و ۱۰۰۰ نمونه زمانی با نرخ نمونه‌برداری یک میلی‌ثانیه با استفاده از موجک ریکر ایجاد گردید که از سطح به عمق دارای سه بازتابنده به ترتیب با سرعت‌های ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۵۰۰ متر بر ثانیه و فرکانس‌های غالب ۴۰، ۳۰ و ۲۵ هرتز می‌باشد. سپس نوفه تصادفی سفید گوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۱۲- دسی‌بل به آن افزوده شد (شکل ۵-۱ راست و چپ). برای نشان دادن میزان کارایی روش‌های معمولی و اصلاح شده در رکورد لرزه‌ای مصنوعی از نسبت سیگنال به نوفه مطابق رابطه (۵-۱) استفاده شده است. در این رابطه، منظور از سیگنال، همان مقطع لرزه‌ای بدون نوفه می‌باشد و نوفه موجود در مخرج رابطه از تفاضل میان خروجی روش با رکورد مصنوعی بدون نوفه به دست می‌آید.

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Energy of Signal}}{\text{Energy of Noise}} \right) \quad (5-1)$$

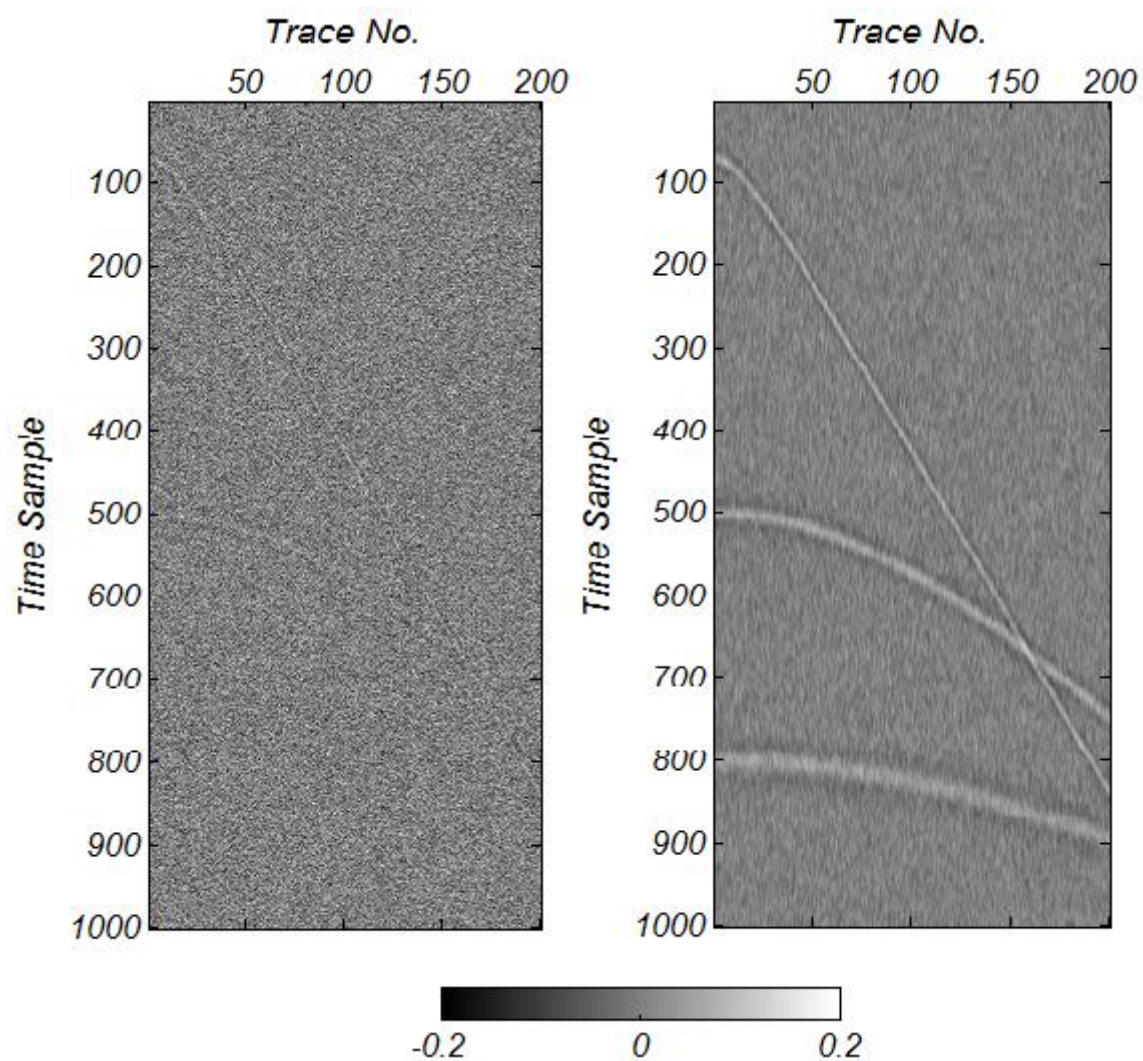
در شکل ۵-۲ در قسمت راست رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۳ و در قسمت چپ نتیجه حاصل از اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میزان نوفه تضعیف شده چندان قابل قبول نمی‌باشد و نسبت سیگنال به نوفه در نتیجه حاصل برابر $4/9$ -دسی‌بل شده است. برای تضعیف بیشتر نوفه، لازم است طول پنجره افزایش یابد. در شکل‌های ۵-۳ و ۵-۴ در قسمت راست رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره به ترتیب برابر ۹ و ۱۱ و در قسمت چپ نتیجه حاصل از اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با اعمال طول پنجره بزرگتر، میزان نوفه بیرون کشیده شده افزایش یافته است و نسبت سیگنال به نوفه در نتیجه حاصل برابر $0/9$ -دسی‌بل شده است، اما مقدار قابل توجهی از رویدادهای بازتابی در نوفه تضعیف شده مشاهده می‌شود. برای رفع این مشکل از روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی استفاده گردید. در شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶ در قسمت راست رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی با طول پنجره به ترتیب برابر ۹ و ۱۱ و در قسمت چپ نتیجه حاصل از اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود علاوه بر کاهش بیشتر نوفه (نسبت سیگنال به نوفه برابر $1/1$ دسی‌بل برای طول پنجره ۱۱)، بازتابنده‌ها نیز به خوبی حفظ شده‌اند.



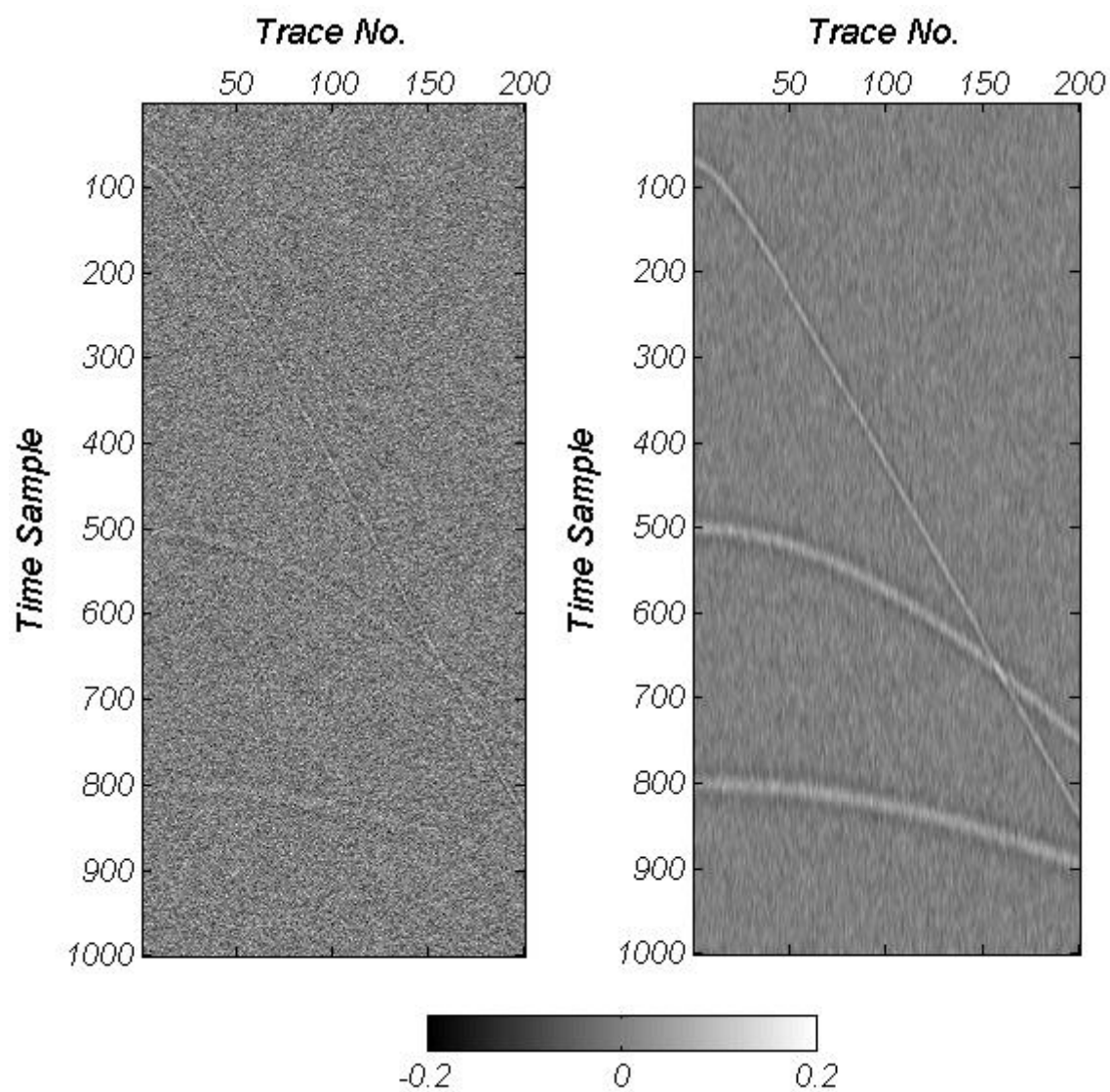
شکل ۵-۱. رکورد لرزه‌ای مصنوعی (راست) بدون نوفه و (چپ) همراه با نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱۲-دسی‌بل.



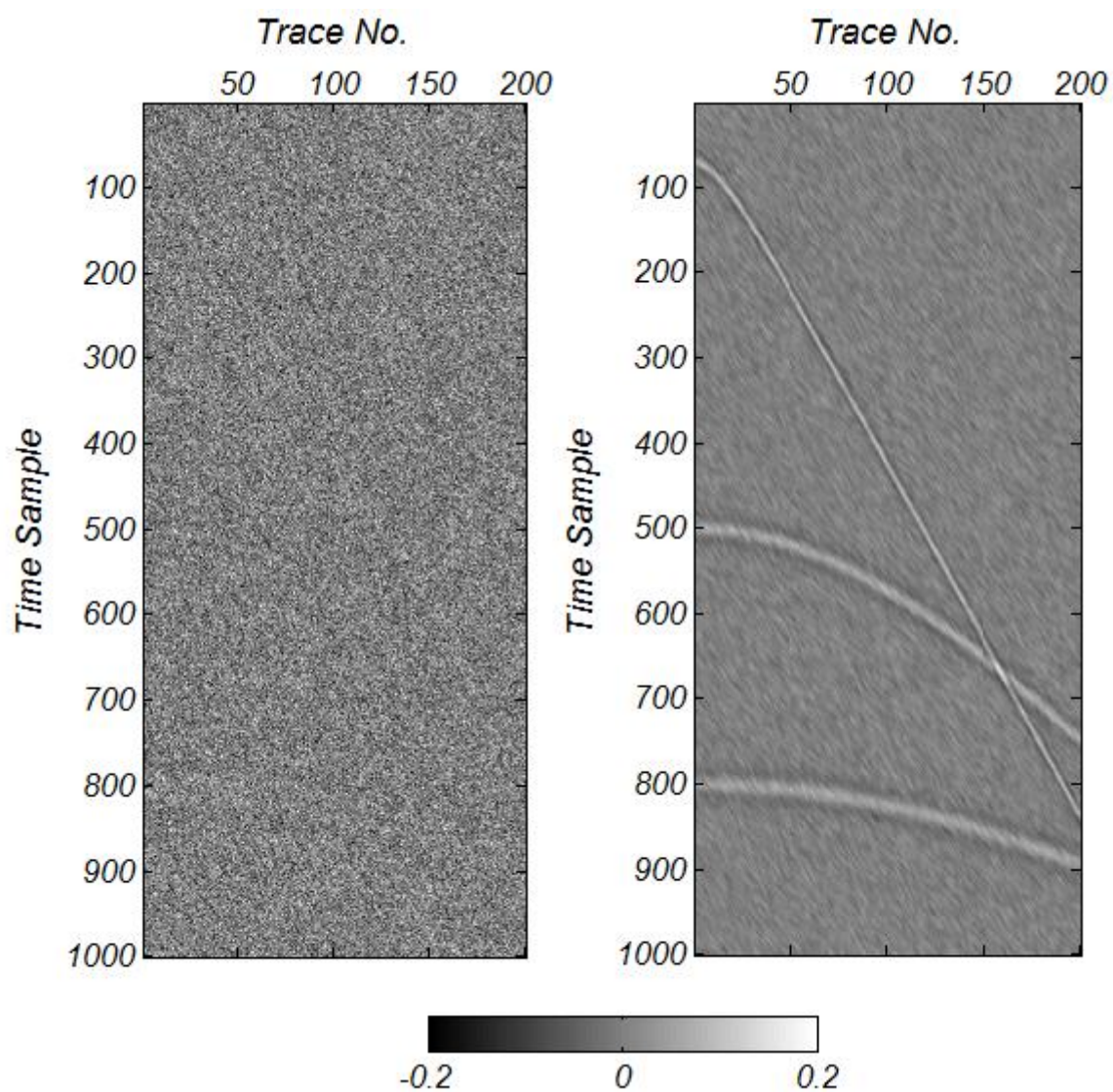
شکل ۵-۲. (راست) رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۳ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر.



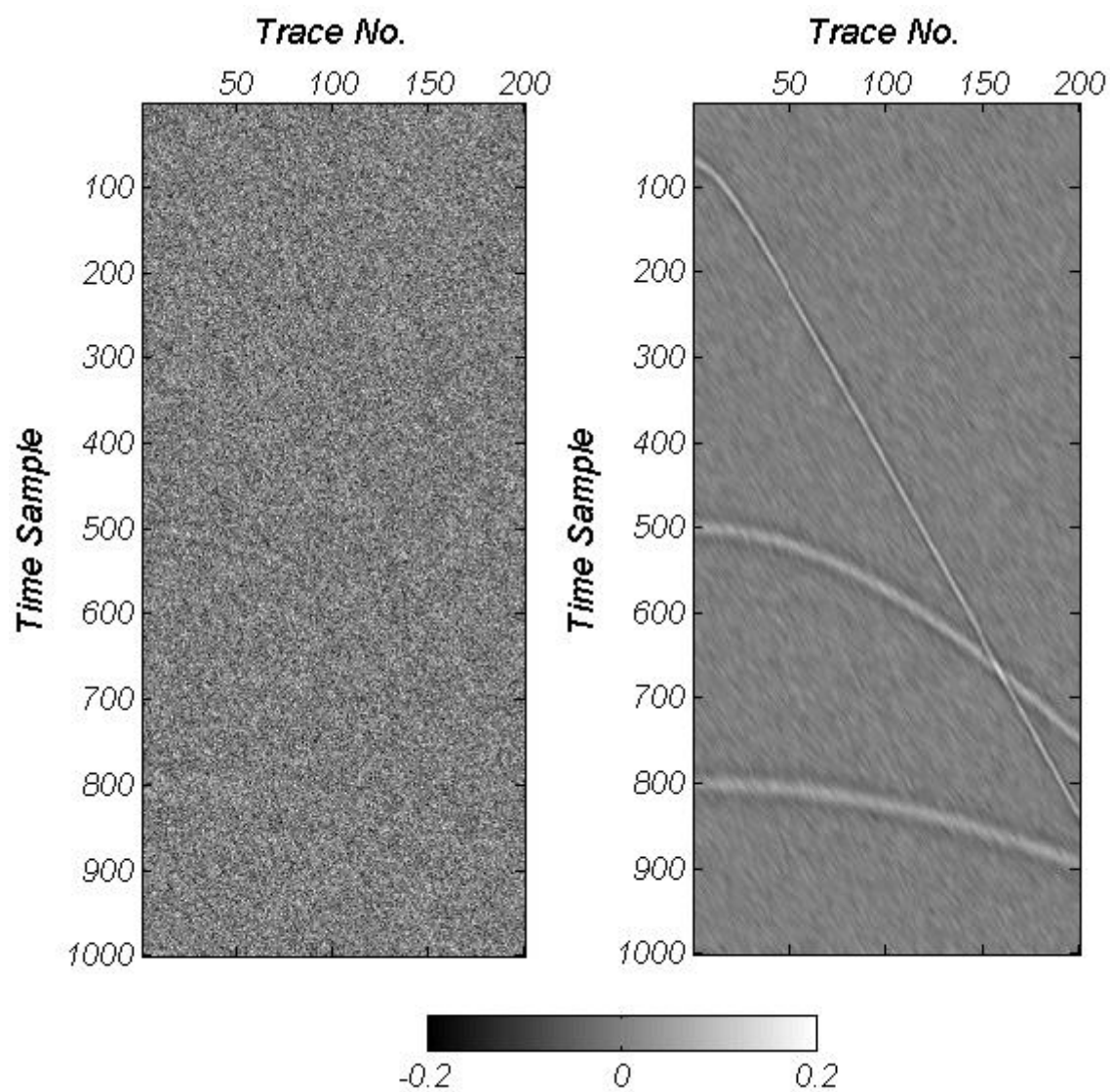
شکل ۵-۳. (راست) رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۹ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر.



شکل ۵-۴. (راست) رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۱۱ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر.

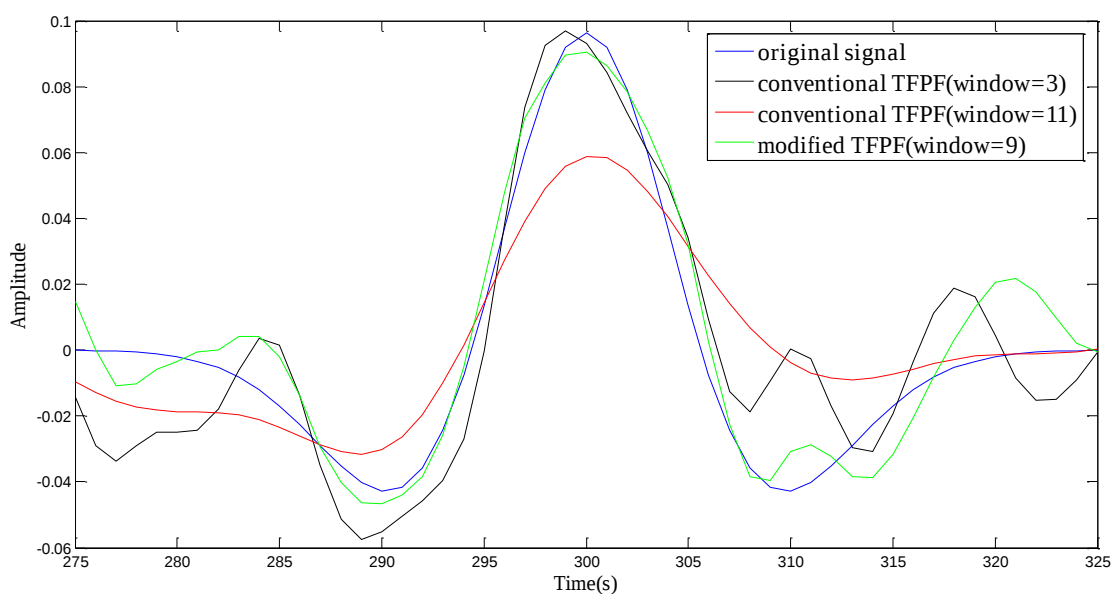


شکل ۵-۵. (راست) رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی با طول پنجره ۹ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر.



شکل ۵-۶. (راست) رکورد لرزه‌ای مصنوعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس ردلرزه شعاعی با طول پنجره ۱۱ و (چپ) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر.

در ادامه برای نمایش بهتر عملکرد روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس اصلاح شده و مقایسه آن با روش معمولی در شکل ۵-۷ برای قسمتی از یک ردلرزه که از داده مصنوعی استفاده شده در بالا انتخاب شده است، سیگنال اولیه بدون نوفه، سیگنال بعد از اعمال روش معمولی با طول پنجره ۳، سیگنال بعد از اعمال روش معمولی با طول پنجره ۱۱ و سیگنال بعد از اعمال روش اصلاح شده با طول پنجره ۹ به ترتیب با رنگ‌های آبی، سیاه، قرمز و سبز نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد روش معمولی با طول پنجره ۳ هرچند سیگنال اصلی را تقریباً حفظ کرده است اما تضعیف نوفه در آن پایین است. افزایش طول پنجره در محاسبه نمایش زمان-فرکانس هرچند با دقت در شکل ۵-۷ و شکل‌های بالا به تضعیف بیشتر نوفه کمک می‌کند اما در شکل ۵-۷ به خوبی مشخص است که سیگنال اصلی در این حالت به شدت آسیب دیده و نوعی هموار شدگی در آن روی داده است. اما با اعمال روش اصلاح شده مشاهده می‌گردد که علاوه بر تضعیف نوفه بیشتر، سیگنال اصلی نیز به خوبی و حتی بهتر از روش معمولی با طول پنجره ۳ حفظ شده است.



شکل ۵-۷. نمایش چگونگی عملکرد فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی و اصلاح شده در قسمتی از یک ردلرزه مصنوعی انتخاب شده از داده مصنوعی معرفی شده در بالا.

در جدول زیر نسبت سیگنال به نوفه در روش معمولی و اصلاح شده با طول پنجره‌های بیان شده برای داده مصنوعی معرفی شده در بالا نمایش داده شده است.

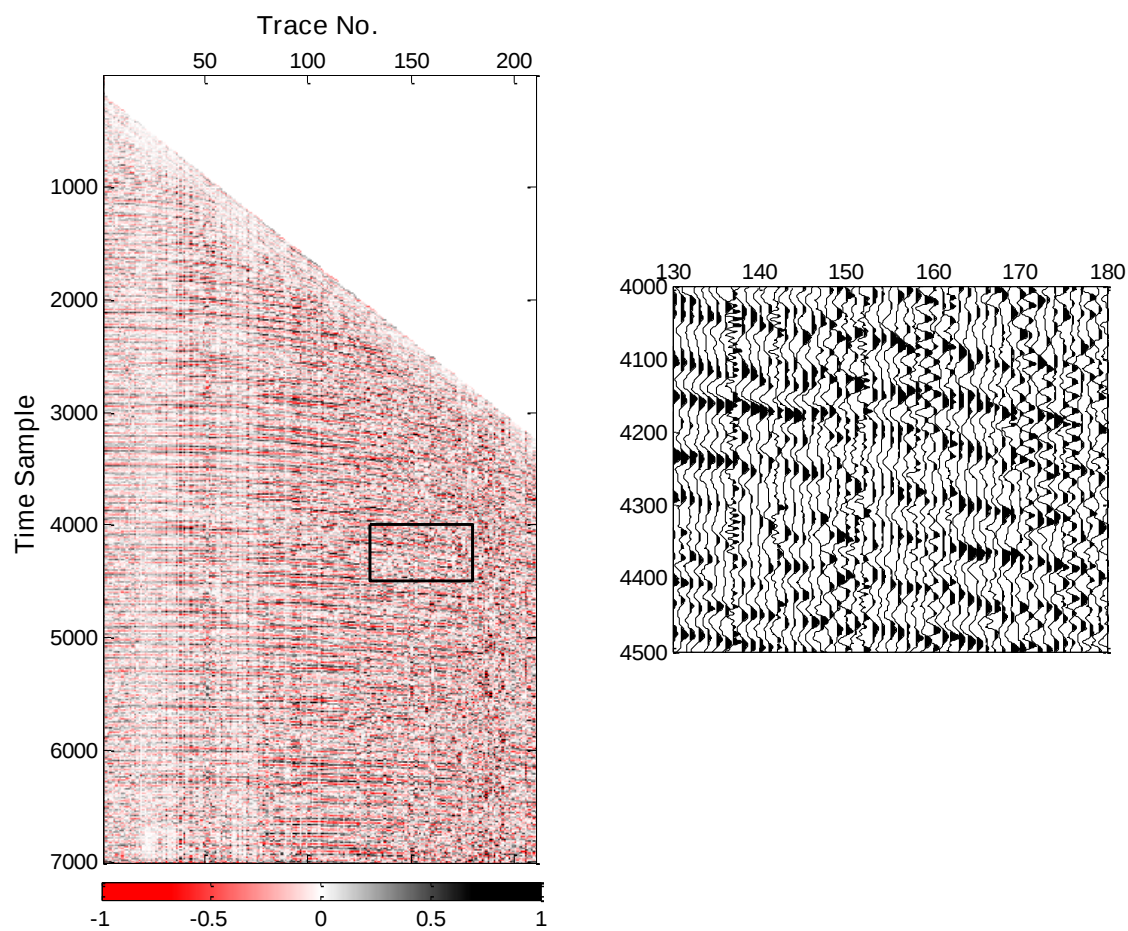
جدول ۵-۱. مقایسه نسبت سیگنال به نوفه در روش معمولی و اصلاح شده.

روش	نسبت سیگنال به نوفه (SNR) بر حسب دسی‌بل
داده مصنوعی حاوی نوفه	-۱۲
معمولی با طول پنجره ۳	-۴/۹
معمولی با طول پنجره ۹	-۱/۵
معمولی با طول پنجره ۱۱	-۰/۹
اصلاح شده با طول پنجره ۹	۰/۳۶
اصلاح شده با طول پنجره ۱۱	۱/۱۱

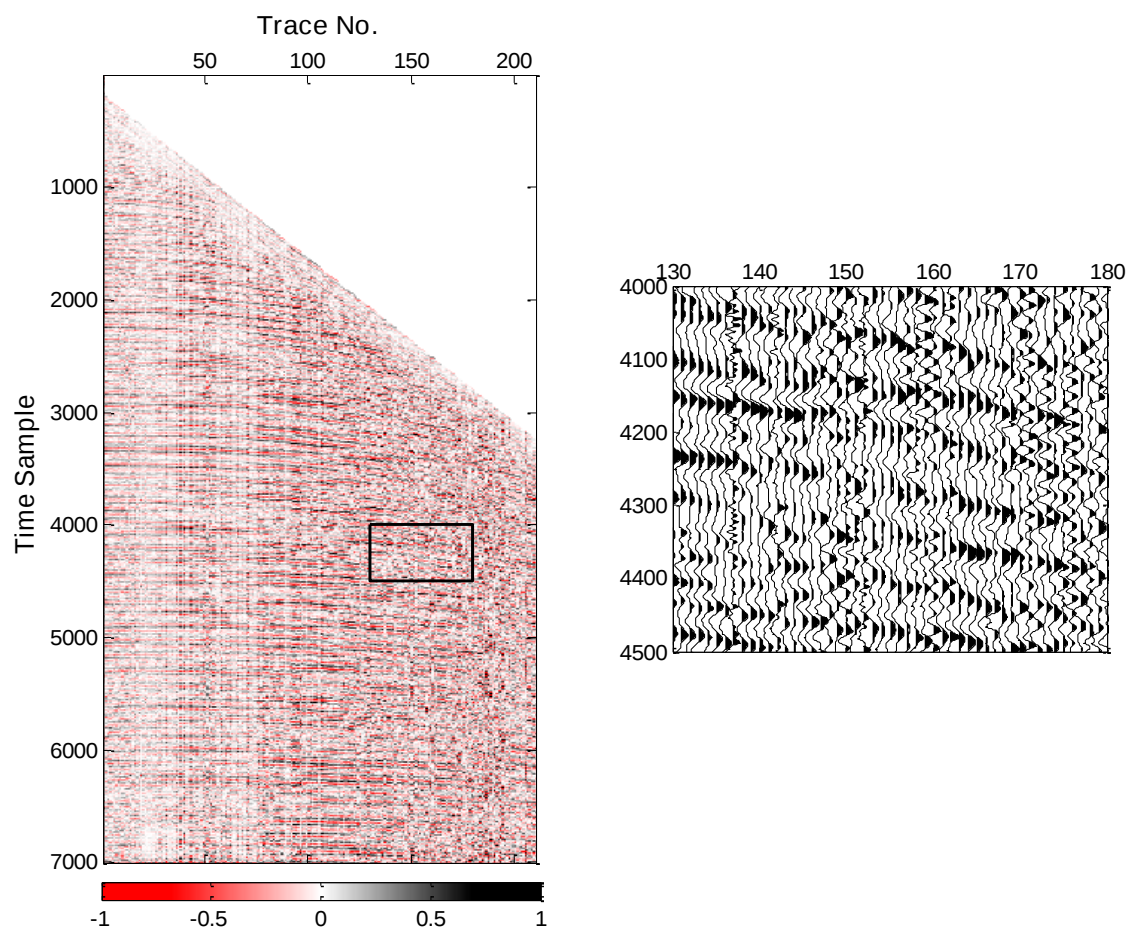
۵-۲. اعمال روش بر داده واقعی در تضعیف نوفه تصادفی

در شکل ۵-۸ یک رکورد لرزه‌ای واقعی مربوط به یکی از میادین نفتی نشان داده شده است. نتیجه اعمال روش نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۳ و ۹ بر روی داده واقعی به ترتیب در شکل‌های ۵-۹ و ۵-۱۰ آورده شده است. برای وضوح بیشتر و مشاهده بهتر عملکرد روش ارائه شده در تمامی شکل‌ها قسمتی از داده که با مستطیل سیاه رنگ مشخص شده است با بزرگنمایی بیشتر ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در مورد داده واقعی نیز با انتخاب طول پنجره بزرگتر میزان بیشتری از نوفه تضعیف می‌گردد، اما در مقابل رویدادهای اصلی نیز کمتر حفظ می‌شوند، که

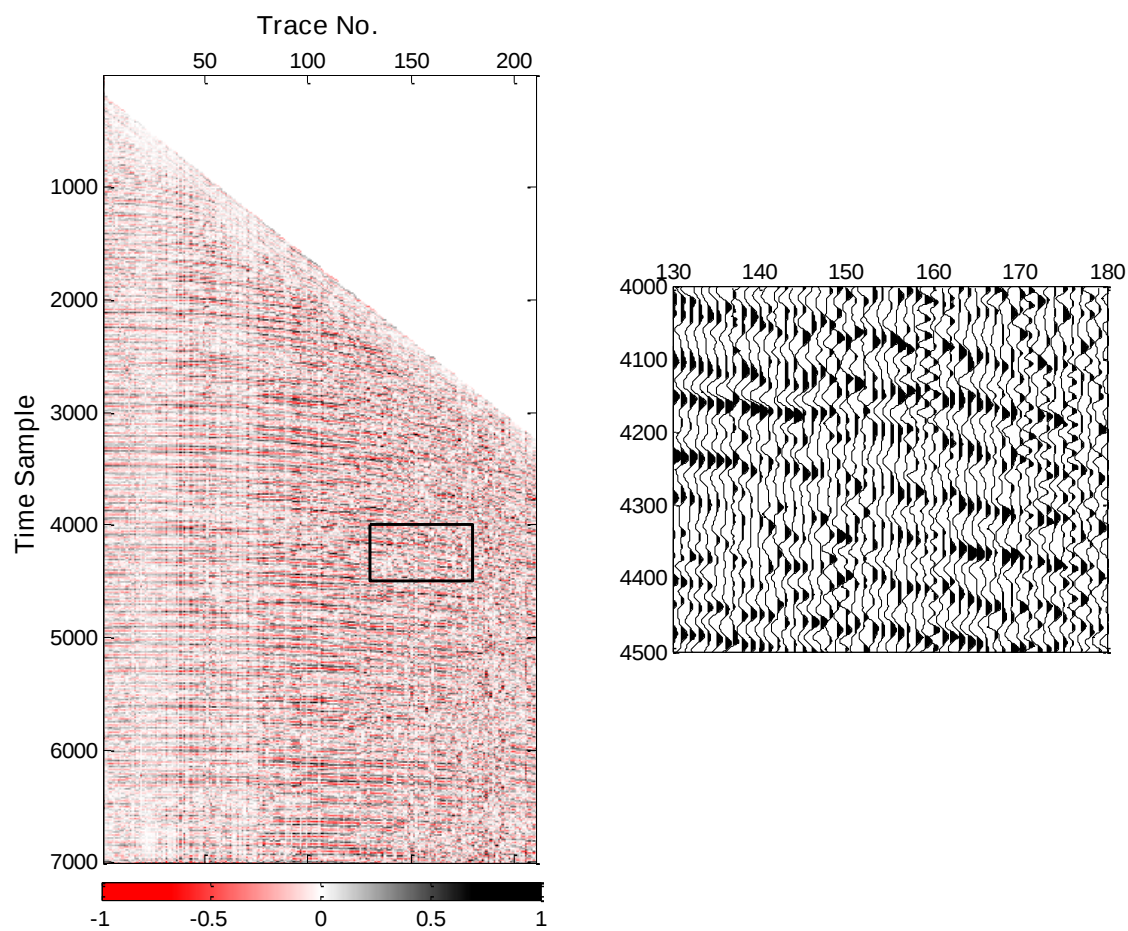
این موضوع در شکل ۵-۱۲ قابل مشاهده است. در شکل ۵-۱۱ نتیجه اعمال روش نقطه بیشینه زمان-فرکانس اصلاح شده با طول پنجره ۹ بر روی داده واقعی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، این روش نتایج بهتری را نسبت به روش نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی نشان می‌دهد. در شکل ۵-۱۲ اختلاف نتایج قبل و بعد از اعمال روش تضعیف نوفه به ترتیب برای روش معمولی با طول پنجره ۳ و ۹ و روش اصلاح شده با طول پنجره ۹ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در مورد روش معمولی با طول پنجره ۹ رویدادهای اصلی حفظ نشده‌اند و روند رویدادهای اصلی در رکورد حاصل از اختلاف قبل و بعد از اعمال روش کاملاً مشخص است. اما در مورد روش اصلاح شده علاوه بر تضعیف مقدار بیشتری نوفه تصادفی رویدادهای اصلی نیز بسیار بهتر نسبت به روش نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی حفظ شده‌اند.



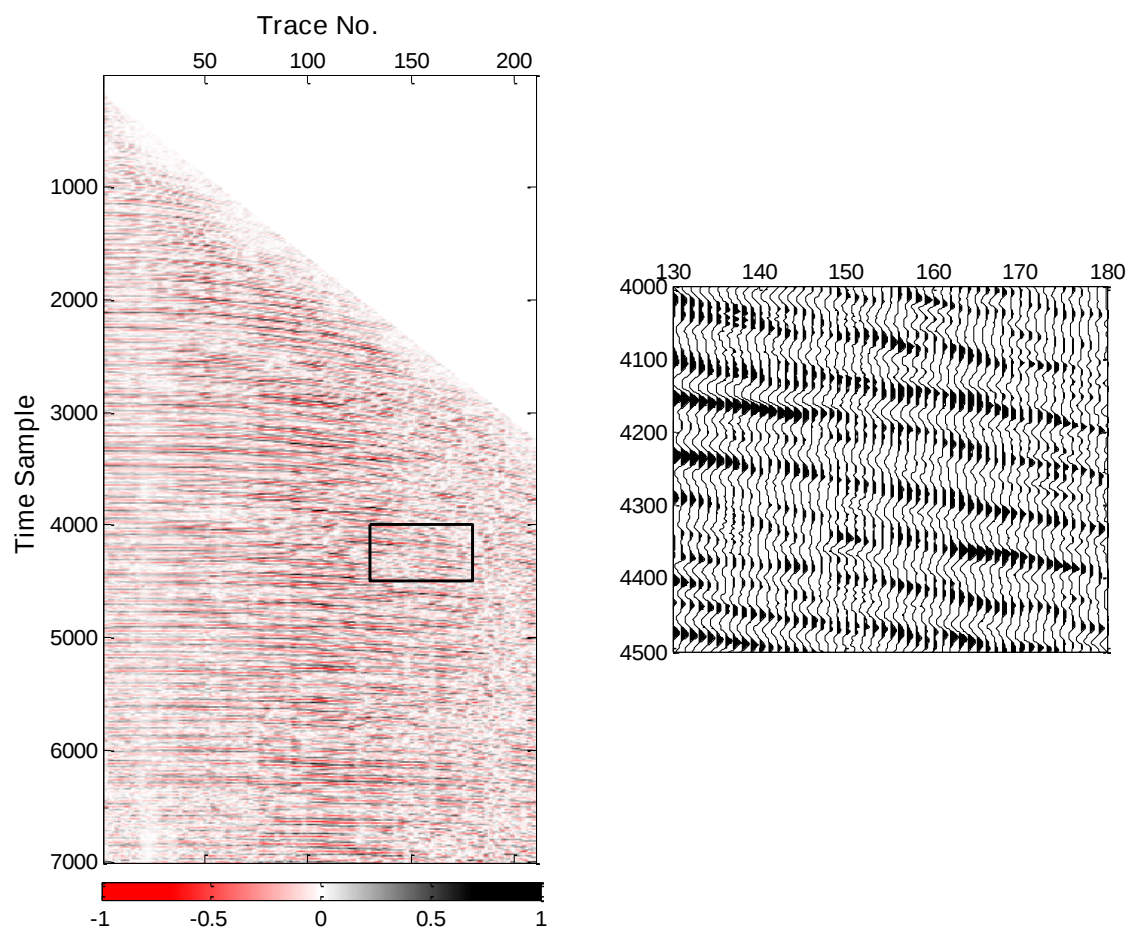
شکل ۵-۸. رکورد لرزه‌ای واقعی (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می‌شود).



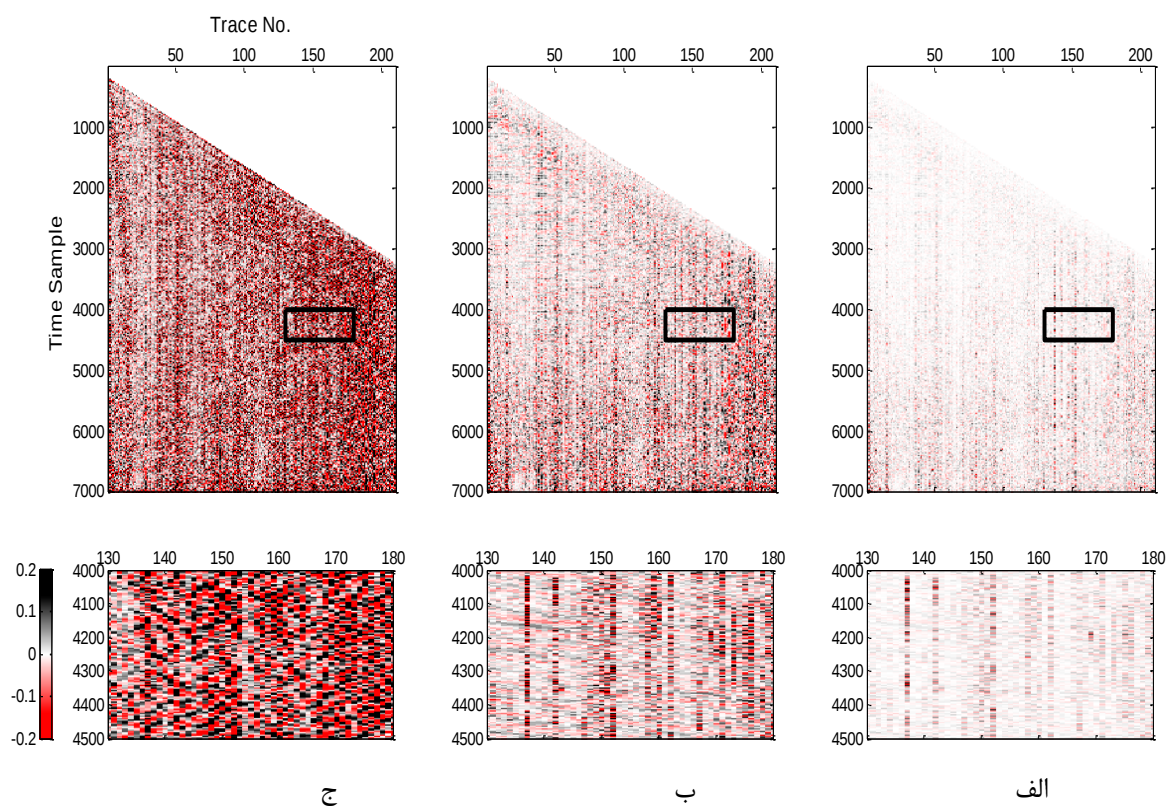
شکل ۵-۹. رکورد لرزه‌ای واقعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۳ (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می‌شود).



شکل ۵-۱۰. رکورد لرزه‌ای واقعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۹ (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می‌شود).



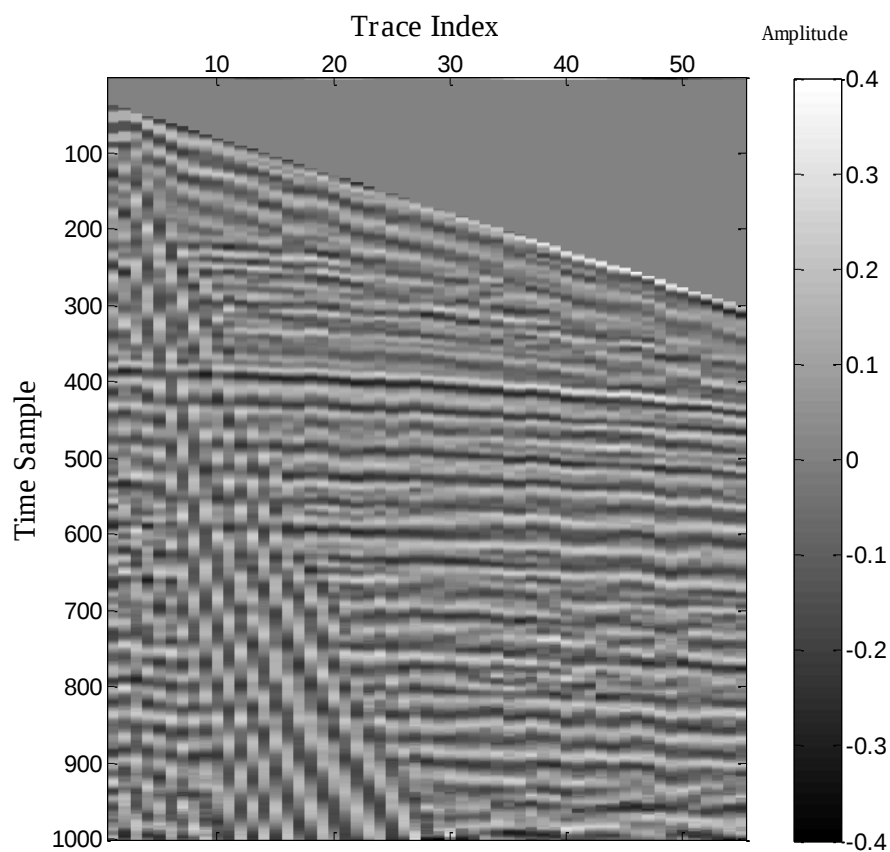
شکل ۵-۱۱. رکورد لرزه‌ای واقعی بعد از اعمال فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس اصلاح شده با طول پنجره ۹ (بخشی از داده شامل مستطیل سیاه رنگ جهت وضوح بهتر به صورت بزرگنمایی شده در کنار تصویر دیده می‌شود).



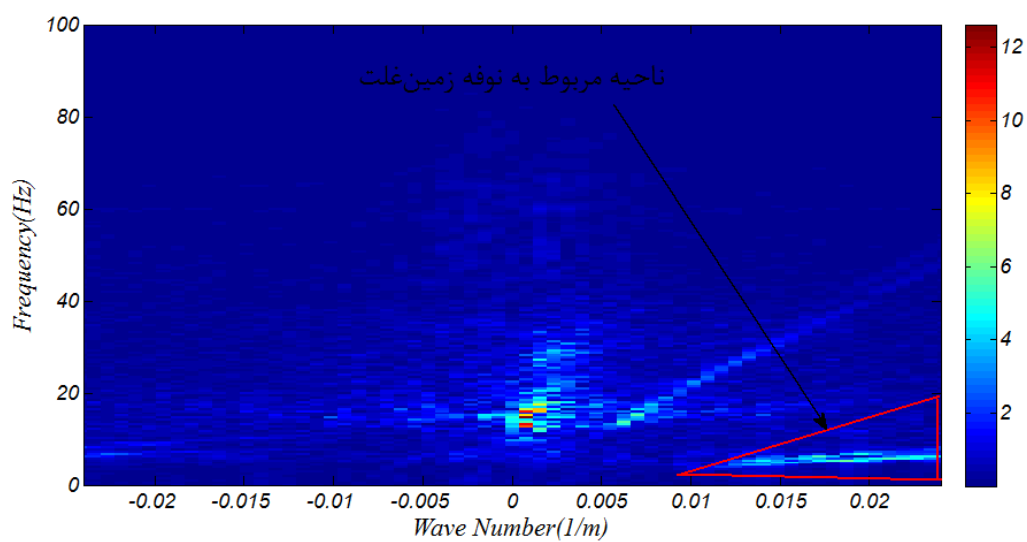
شکل ۵-۱۲. اختلاف بین رکورد لرزه‌ای واقعی قبل و بعد از اعمال فیلتر (الف) روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۳ (ب) روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره ۹ و (ج) روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس اصلاح شده با طول پنجره ۹.

۵-۲. اعمال روش بر روی داده واقعی در تضعیف نوفه زمین غلت

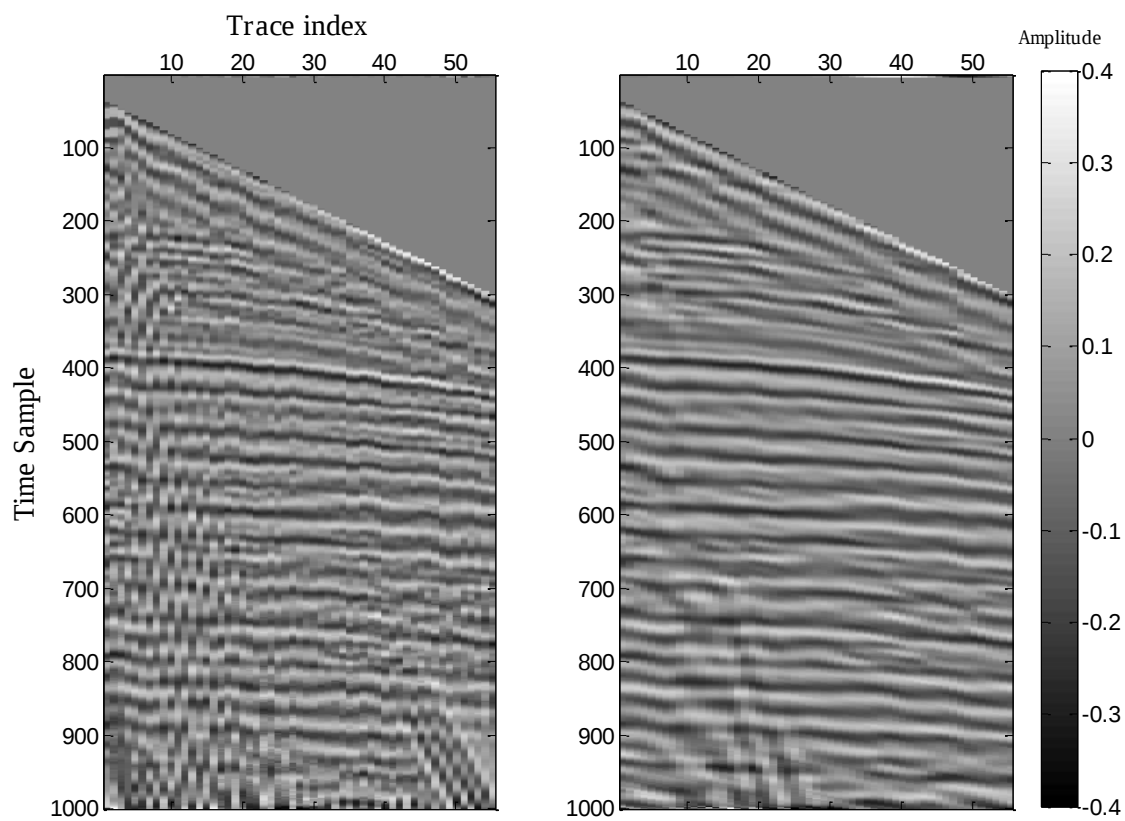
برای بررسی عملکرد روش معرفی شده در تضعیف نوفه زمین غلت، یک داده واقعی با تعداد ۵۵ ردلرزه با فاصله نمونه برداری مکانی ۲۰ متر و فاصله نمونه برداری زمانی ۲ میلی ثانیه که حاوی نوفه زمین غلت می باشد، انتخاب گردید. در شکل ۵-۱۳ این داده مصنوعی و در شکل ۵-۱۴ طیف $f-k$ آن که موقعیت نوفه زمین غلت در آن مشخص شده است، ترسیم شده است. سپس روش فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس اصلاح شده روی آن اعمال گردید به علاوه برای مقایسه نتیجه فیلتر سرعتی $f-k$ در تضعیف نوفه زمین غلت نیز بر داده مذکور اعمال گردید. در شکل ۵-۱۵ (الف) نتیجه حاصل از اعمال روش معرفی شده و در شکل ۵-۱۵ (ب) نتیجه حاصل از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد، نتیجه حاصل از روش معرفی شده در این پایان نامه در مقایسه با فیلتر سرعتی $f-k$ میزان بیشتری از نوفه زمین غلت را تضعیف نموده است و همچنین پدیده های کاذبی که در نتیجه حاصل از فیلتر سرعتی $f-k$ وجود دارد، در این روش مشاهده نمی گردد. لازم به ذکر است که همانطور که مشاهده می گردد، مقداری نوفه تصادفی که در داده مشهود است نیز در نتیجه حاصل از روش معرفی شده تضعیف گردیده است. به عبارت دیگر روش معرفی شده همزمان نوفه زمین غلت و تصادفی را (با یک بار اعمال روی داده با پارامترهای مناسب) تضعیف نموده است. در شکل ۵-۱۶ (الف) و (ب)، اختلاف بین رکورد لرزه ای قبل و بعد از اعمال روش تضعیف نوفه زمین غلت به ترتیب برای فیلتر سرعتی $f-k$ و روش معرفی شده در این پایان نامه نشان داده شده است. با دقت در این نتایج به خوبی برتری روش فیلتر نقطه بیشینه زمان- فرکانس اصلاح شده و بر روش $f-k$ در تضعیف نوفه زمین غلت نمایان می گردد.



شکل ۵-۱۳. داده لرزه‌ای واقعی حاوی نوفه زمین‌غلت.



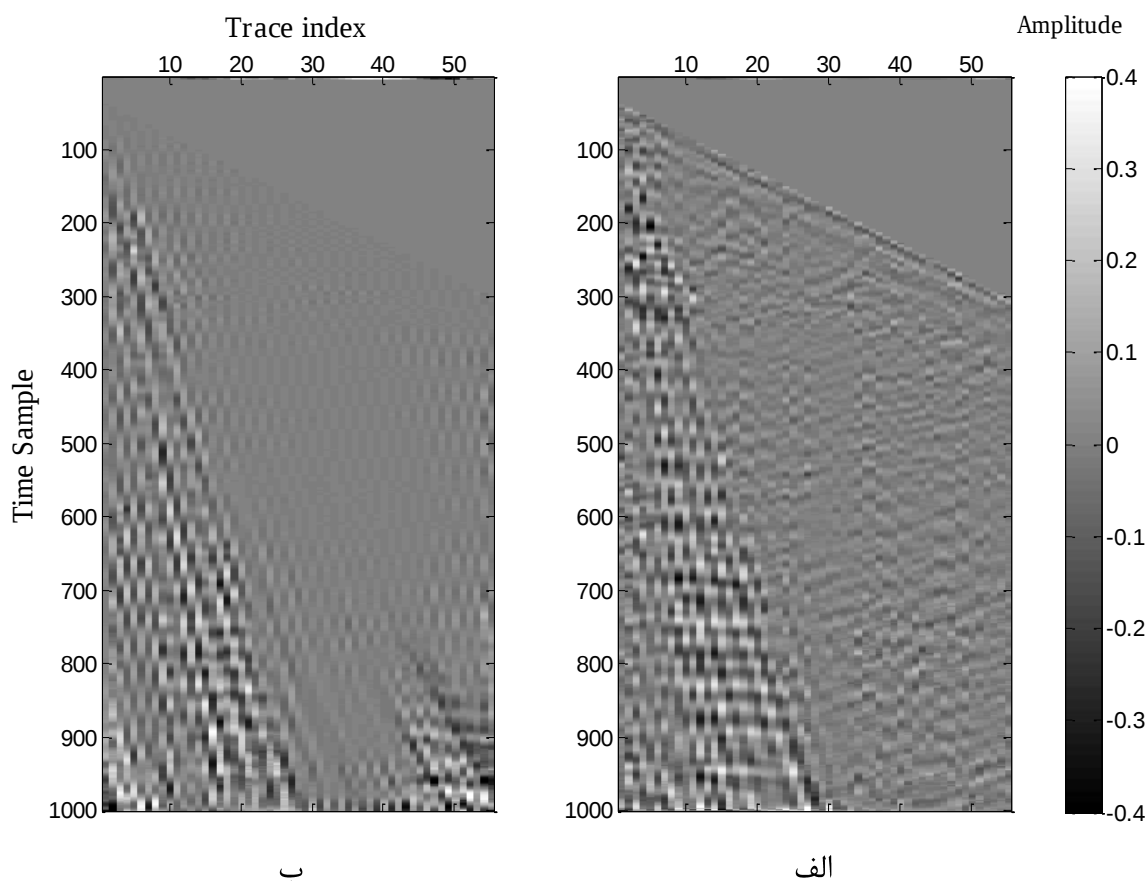
شکل ۵-۱۴. طیف $f-k$ داده لرزه‌ای واقعی که موقعیت نوفه زمین‌غلت در آن مشخص شده است.



ب

الف

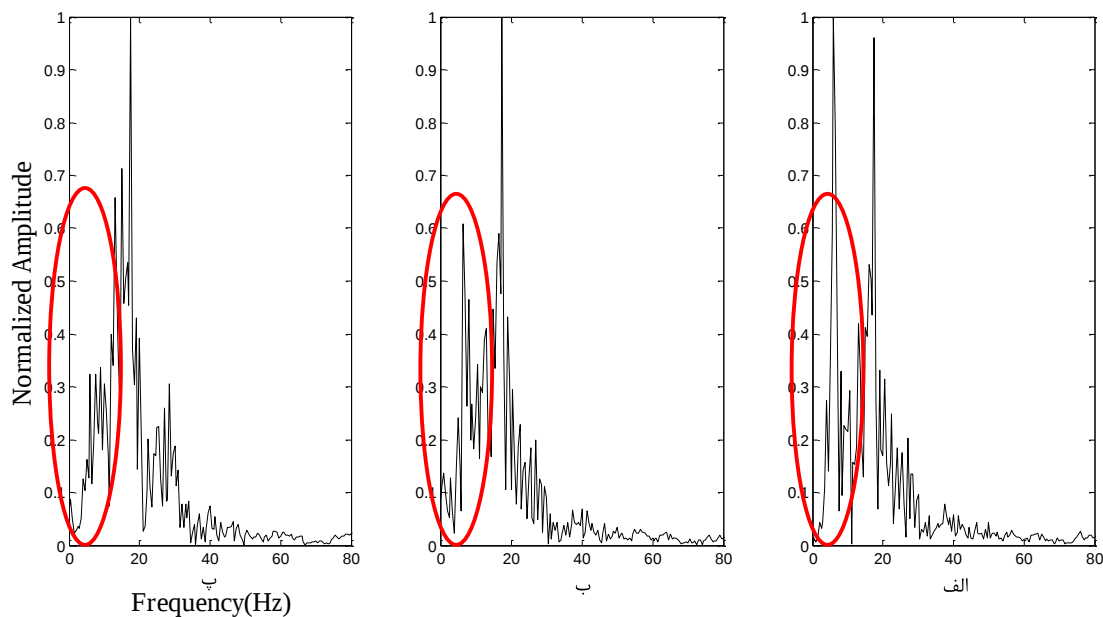
شکل ۵-۱۵. مقایسه عملکرد روش معرفی شده و فیلتر سرعتی $f-k$ در تضعیف نوفه زمین‌گلت (الف) نتیجه حاصل از روش معرفی شده و (ب) نتیجه حاصل فیلتر سرعتی $f-k$.



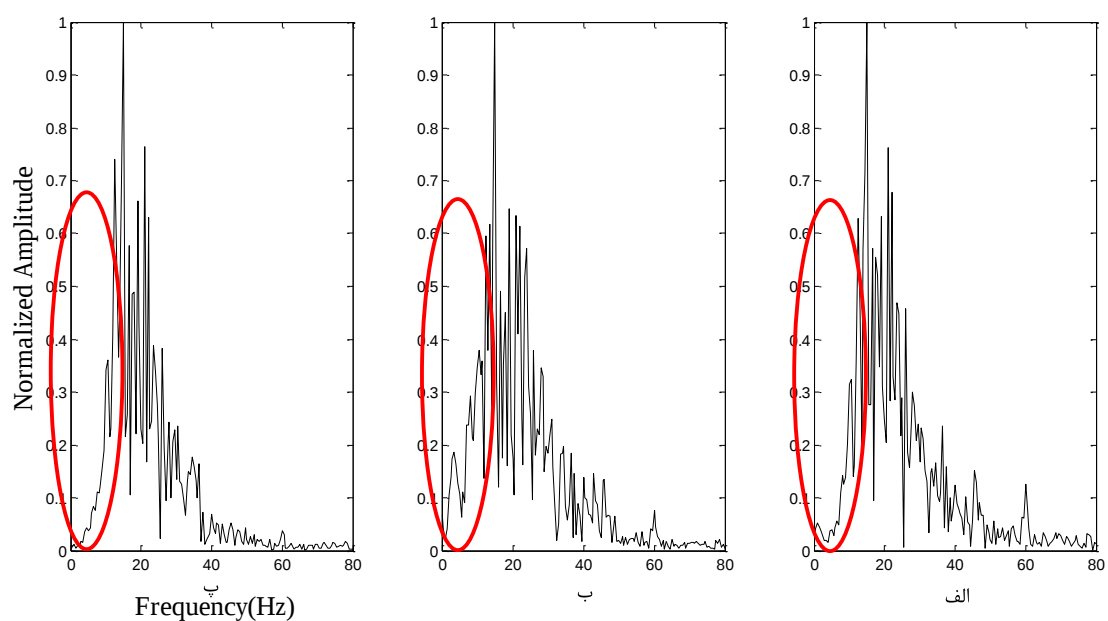
شکل ۵-۱۶. (الف) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال روش معرفی شده و (ب) اختلاف بین رکورد لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$.

اکنون برای بررسی بیشتر عملکرد روش معرفی شده در تضعیف نوفه زمین‌غلت دو ردلرزه مختلف را از داده لرزه‌ای چشمه مشترک واقعی انتخاب و طیف دامنه آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در شکل ۵-۱۷ (الف) طیف دامنه ردلرزه شماره ۵ قبل از اعمال هر گونه روشی مشاهده می‌گردد. دامنه بالا در فرکانس‌های پایین نشان دهنده وجود نوفه زمین‌غلت می‌باشد. در شکل ۵-۱۷ (ب) طیف دامنه همان ردلرزه پس از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ و در شکل ۵-۱۷ (پ) طیف دامنه ردلرزه پس از اعمال روش معرفی شده، نمایش داده شده است. همان طور که در بیضی قرمز رنگ مشخص شده، دیده می‌شود در فرکانس‌های پایین مربوط به نوفه زمین‌غلت روش معرفی شده تضعیف نوفه بیشتری را ایجاد نموده است. در شکل ۵-۱۸ طیف دامنه ردلرزه شماره ۴۵ که از محدوده خارج از نوفه زمین‌غلت

انتخاب شده است، همانند شکل ۵-۱۷ در حالت‌های مختلف ترسیم شده است. در مورد این ردلرزه دیده می‌شود که در فرکانس‌های پایین، نتیجه حاصل از فیلتر سرعتی $f-k$ تغییراتی ایجاد گردیده است. اما در طیف دامنه نتیجه حاصل از روش معرفی شده چنین تغییراتی وجود ندارد. این تغییرات در نتیجه حاصل از فیلتر سرعتی $f-k$ احتمالاً مربوط به پدیده‌های کاذب ایجاد شده توسط این روش می‌باشد که با دقت در شکل ۵-۱۵ نیز می‌توان این پدیده‌های کاذب را در موقعیت ردلرزه شماره ۴۵ به وضوح دید. در پایان لازم به ذکر است که تفاوت جزئی بین طیف دامنه این دو ردلرزه، قبل و بعد از اعمال روش معرفی شده به خاطر تضعیف نوفه تصادفی موجود در داده می‌باشد که بخصوص در فرکانس‌های بالا روی داده است.



شکل ۵-۱۷. طیف دامنه ردلرزه شماره ۵ از داده شکل ۵-۱۱ (الف) قبل از اعمال هر گونه روشی (ب) پس از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ و (پ) پس از اعمال روش معرفی شده.



شکل ۵-۱۸. طیف دامنه ردلرزه شماره ۴۵ از داده شکل ۵-۱۱ (الف) قبل از اعمال هر گونه روشی (ب) پس از اعمال فیلتر سرعتی $f-k$ و (پ) پس از اعمال روش معرفی شده.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱. نتیجه گیری

در این پایان نامه از الگوریتمی بر پایه فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس ($TFPF$) به منظور تضعیف نوفه های تصادفی در داده های لرزه ای استفاده گردید. در روش فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس معمولی، وابستگی نتایج به طول پنجره باعث شرطی شدن نتایج می گردد. به عبارت دیگر طول پنجره کوچک، نوفه کمی را تضعیف می کند و طول پنجره بزرگ ضمن تضعیف بیشتر نوفه، به رویداد لرزه ای آسیب می رساند. برای کاهش وابستگی نتایج به طول پنجره در این پایان نامه از ایده جدیدی استفاده گردید. تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده، معرفی شد و روش فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس با تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده ترکیب گردید. نشان داده شد، این روش با کاهش فرکانس رویداد بازتابی در حوزه تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده، بدون اینکه فرکانس نوفه تصادفی کاهش یابد، باعث بهبود نتایج تضعیف نوفه تصادفی در داده های لرزه ای چشمه مشترک می گردد. در واقع عملکرد روش روی داده های مصنوعی و واقعی نشان داد با استفاده از این روش اصلاح شده می توان علاوه بر تضعیف نوفه بیشتر، آسیب بسیار کمتری به سیگنال لرزه ای وارد آورد.

در ادامه با توجه به ویژگی تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده، یعنی کاهش فرکانس رویدادهایی که با مسیر شیب انتخاب شده برای تبدیل نسبتا موازی بوده و زاویه کمی دارند و نیز افزایش فرکانس برای رویدادهای خطی که زاویه زیادی با مسیر شیب انتخاب شده برای تبدیل دارند (مانند نوفه زمین غلت در داده های لرزه ای چشمه مشترک)، ایده استفاده از روش اصلاح شده برای تضعیف نوفه زمین غلت به ذهن رسید. اعمال روش روی داده لرزه ای واقعی حاوی نوفه زمین غلت، کارآیی روش را در تضعیف این نوع نوفه نیز نشان داد. مقایسه عملکرد روش فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس اصلاح شده در تضعیف نوفه زمین غلت با فیلتر سرعتی $f-k$ نشان داد که روش ارائه شده در این پایان نامه علاوه بر تضعیف میزان بیشتری نوفه زمین غلت نسبت به فیلتر سرعتی $f-k$ ، پدیده های کاذبی را که در نتیجه حاصل از فیلتر سرعتی $f-k$ حضور دارند، تولید نمی کند و نیز به طور همزمان نوفه های تصادفی موجود در داده نیز به همراه نوفه زمین غلت تضعیف می گردد.

با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتایج را بصورت زیر خلاصه نمود.

روش معرفی شده در تضعیف نوفه تصادفی:

- میزان تضعیف نوفه را افزایش می‌دهد.
- رویدادهای اصلی را برخلاف روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی با طول پنجره بلند حفظ می‌کند.
- وابستگی به طول پنجره را نسبت به روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس معمولی تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

و در تضعیف نوفه زمین‌غلت:

- میزان نوفه بیشتری نسبت به روش رایج فیلتر سرعتی $f-k$ تضعیف می‌کند.
- پدیده‌های کاذبی مانند روش فیلتر سرعتی $f-k$ تولید نمی‌کند.
- نوفه تصادفی موجود در داده را نیز همزمان با نوفه زمین‌غلت تضعیف می‌کند.

۲-۶. پیشنهادات

با توجه به اینکه در این پایان‌نامه ترکیبی از روش‌ها، مراحل و اجزاء مختلف مانند تبدیل ردلرزه شعاعی اصلاح شده جهت کاهش فرکانس رویدادهای اصلی در داده لرزه‌ای، تخمین فرکانس لحظه‌ای و تبدیل‌های زمان-فرکانس برای رسیدن به روشی مناسب جهت تضعیف نوفه در داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است، برای بهبود نتایج بدست آمده و کارایی بیشتر پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد.

- تقسیم داده لرزه‌ای چشمه مشترک به چند قسمت در جهت محور زمان و اعمال تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده روی هر قسمت با شیب مناسب برای آن قسمت که با توجه به سرعت غالب رویدادهای اصلی در هر قسمت انتخاب می‌گردد.

- ایجاد تغییراتی در تبدیل شیب ردلرزه شعاعی اصلاح شده به گونه‌ای که به جای استفاده از یک شیب ثابت، از یک شیب متغیر هنگام اعمال تبدیل استفاده گردد به گونه‌ای که شیب با زمان تغییر کند.
- استفاده از دیگر روش‌های تخمین فرکانس لحظه‌ای به جای روش انتخاب بیشینه فرکانسی نمایش زمان-فرکانس.
- استفاده از روش‌های مناسب دیگری برای محاسبه نمایش زمان-فرکانس که تمرکز انرژی بهتری را در محور زمان و فرکانس ایجاد کنند مانند توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده.

منابع و مأخذ

ارجمندپور، ن. و سیاه‌کوهی، ح.، (۱۳۸۴) "فیلتر پیشگوی مختلط در حوزه فرکانس - مکان"، *مجله علوم دانشگاه تهران*، ۳۱، ۳۱۵-۳۲۷.

باقری، م. و رباحی، م. ع.، (۱۳۸۷) "تضعیف نوفه‌های زمین غلت در حوزه ردلرزه شعاعی"، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۴، ۳۳-۴۷.

بوستانی، ب.، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه ارشد "تضعیف نوفه‌های تصادفی و زمین‌غلت در داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل *CURVELET*"، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

روشندل کاهو، ا.، (۱۳۸۸)، رساله دکتری "بهبود تبدیل‌های زمان - فرکانس در مطالعه داده‌های لرزه‌ای" موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

سیاه‌کوهی، ح.، (۱۳۷۹) "استفاده از تبدیل *KARHUNEN-LOEVE* در پردازش داده‌های لرزه‌ای سه بعدی" *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۲۶، ۹۷-۱۰۶.

- Abma, R., and J. Claerbout, (1995) Lateral prediction for noise attenuation by t-x and F-X techniques: **Geophysics**, 60, 1887-1896.
- Al-Yahya, K.M., (1991), Application of the partial Karhunen-Loève transform to suppress random noise in seismic sections: **Geophysical Prospecting**, 39, 77-93.
- Askari, R., and Siahkoohi, H. R., (2008), Ground roll attenuation using the S and x-f-k transforms: **Geophysical Prospecting**, 56, 105-114.
- Auger, F., Flandrin, P., Goncalves, P., and Lemoine, O., (1996), Time-frequency toolbox for use with MATLAB., CNRS, France.
- Boashash, B., (2003), **Time frequency signal analysis and processing**, a comprehensive reference: Elsevier.
- Carlson, A. B., Crilly, P. B., and Rutledge, J. C., (2002), Communication systems, an introduction to signal and noise in electrical communication, 4th edn., McGraw-Hill Inc, UK.
- Castagna, J. P., Sun, S. and Siegfried, R. W., (2003), Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons. **The Leading Edge**, 22, 120-127.
- Claerbout, J. F., (1983), Ground roll and radial traces, Stanford Exploration Project Report, SEP-35, 43-53.
- Deighan, A. J., and Watts, D. R., (1997), Ground-roll suppression using the wavelet transform: **Geophysics**, 62, 1896-1903.
- Gabor, D., (1946), Theory of communication: **J. IEEE** (London), 93(III), 429-457.
- Galbraith, M., (1991), Random noise attenuation by f-x prediction: A tutorial: 61st Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts., 1428-1431.
- Gulunay, N., (1986), Fxdecon and complex wiener prediction filter: 56th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 279-281.
- Haris, P. E., and White, R. E., (1997), Improving the performance f-x prediction filtering at low signal-to-noise ratio: **Geophysical Prospecting**, 45, 269-302.

- Hemon, M., and Mace, D., (1978), The use of Karhunen-Loeve transform in seismic data prospecting: **Geophysical Prospecting**, 26, 600–626.
- Henley, D. C., (1999), The radial trace transform: an effective domain for coherent noise attenuation and wavefield separation: 69th SEG meeting, Houston, Expanded Abstracts, 1204-1207.
- Hlawatsch, F., and Boudreaux-Bartels, G. F., (1992), Linear and quadratic time-frequency signal representations: **IEEE Signal Processing Mag.**, 9, 21-67.
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. L., Shih, H. H., Zheng, Q. , Yen, N. C., Tung C. C. and Liu, H. H., (1998), The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis: *Proc. Roy. Soc. London A*, 454, 903–995.
- Jones, I. F., and Levy, S., (1987), Signal-to-noise ratio enhancement in multichannel seismic data via the Karhunen-Loeve transform: **Geophysical Prospecting**, 35, 12-32.
- Karsli, H., and Bayrak, Y., (2008), Ground-roll attenuation based on Wiener filtering and benefits of time-frequency imaging: **The Leading Edge**, 27, 206–209.
- Kreyszig, E., (2006), *Advanced engineering mathematics*, JOHN WILEY & SONS, Singapore.
- Leite, F. E. A., Montagne, R., Corso, G., Vasconcelos, G. L., and Lucena, L. S., (2008), Optimal wavelet filter for suppression of coherent noise with an application to seismic data: **Physica A**, 387, 1439-1445.
- Lin, H. B., Li, Y., and Yang, B. J., (2008), Varying-window-length time-frequency peak filtering and its application to seismic data: in *Proc. Int. Conf. Comput. Intell. Security*, 2, 429–432.
- Lin, H., Li, Y., and Yang, B., (2007), Recovery of seismic events by time-frequency peak filtering: *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 2007*, Expanded Abstract, WA-P6.4.
- Liu, X., (1999), Ground roll suppression using the Karhunen-Loeve transform: **Geophysics**, 64, 564–566.
- Mallat. S., (2009)., **a wavelet tour of signal processing**, 3th edition, Elsevier, USA.
- Matos, M. C., P.Osorio, E. C. Mundim, and M. Moraces, (2005), Characterization of thin beds through joint time-frequency analysis applied to a turbidite reservoir in Campos Basin, Brazil: 75th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1429–1432.
- Melo, P. E. M., Porsani, M. J., and Silva, M. G., (2009), Ground roll attenuation using a 2D time derivative filter: **Geophysical Prospecting**, 57, 343–353.
- Montagne, R., and Vasconcelos, G. L., (2006), Optimized suppression of coherent noise from seismic data using the Karhunen-Loève transform: **Physical Review E**, 74, 1–9.
- Naghizadeh, M., and Sacchi, M., (2011), Ground roll elimination by scale and direction guided curvelet transform: 73rd EAGE meeting, Vienna, 23-26 May.

- Olhovich, V. A., (1964), *The causes of noise in seismic reflection and refraction work: **Geophysics***, 29, 1015- 1030.
- Ottolini, R., (1979), *Migration of radial trace sections: Stanford Exploration Project Report, SEP-20*, 97-115.
- Papoulis, A., (1983), *Random modulation: A review: IEEE Trans. Acoustics, Speech, & Signal Processing*, 31, 96-105.
- Porsani, M. J., Silva, M. G., and Melo, P. E. M., (2009), *Ground-roll attenuation based on SVD filtering: 79th SEG meeting, Houston*, 3381-3385.
- Sinha, S., Routh, P. S., Anno, P. D., and Castagna, J. P., (2005), *Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform: **Geophysics***, 70, P19-P25.
- Stockwell, R. G., Mansinha, L., and Lowe, R. P., (1996), *Localization of the complex spectrum: The S transform: IEEETrans. Signal Process*, 44, 998–1001.
- Ulrych, T.J., Sacchi, M.D., and Graul, M., (1999), *Signal and noise separation: art and science, **Geophysics***, 64, 1648-1656.
- Ville, J., (1948), *Theorie et applications de la notion de signal analytique: Cables et Transm*, 2A(1), 61-74.
- Wigner, E. P., (1932), *On the quantum correlation for thermodynamic equilibrium: **Phys. Rev.***, 40, 749-759.
- Wu, N., Li, Y., and Yang, B., (2011), *Noise attenuation for 2-D seismic data by radial–trace time-frequency peak filtering: **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters***, 8, 874-878.
- Yarham, C., Boeniger, U., and Herrmann, F., (2006), *Curvelet-based ground roll removal: 76th SEG meeting, New Orleans, Expanded Abstracts*, 2777–2780.
- Yilmaz Oz. (2001), ***Seismic data analysis: inversion and interpretation of seismic data***, vol. 1, society of exploration geophysicists, Tulsa, OK 74170-2740, USA, pp. 838.

Abstract

Seismic noise can degrade the continuity of the events on seismic sections and affect the performance of processing steps such as deconvolution, velocity analysis and migration. Among various types of noise in seismic data, random noise is the most important one which covers the main events in a wide range of frequency and time. Therefore, it is difficult to attenuate them by conventional methods. Nonstationary properties of seismic signals make the random noise attenuation more challenging. So far many methods have been introduced for filtering of random noise. Time-frequency peak filtering (TFPF) method has some good benefits because of taking into account the nonstationarity of seismic signals. In this method first the noisy signal is encoded to an analytic signal, and then denoised signal is achieved by estimating instantaneous frequency (IF) of the encoded signal by taking the peak frequency of the time-frequency distribution of the encoded signal. In this method the first choice for computing time-frequency distribution is Wigner-Ville distribution, but there is a problem. As long as IF of the encoded signal is linear, a unit impulse function (δ) is located at the place of IF on time-frequency distribution. Therefore estimated IF is almost close to the real IF. However, if the IF is of higher orders, some other functions with arbitrary shapes are generated at the location of the IF on time-frequency distribution. Therefore estimated IF is far from the real one. In this study, Pseudo Wigner-Ville Distribution (PWVD) was used to compute the time-frequency distribution. Using PWVD makes it possible to select the window length such that IF to be linear within the window. The window length of the PWVD plays a key role in efficiency of the method. When a short length window is chosen, the TFPF method dose not attenuates much noise from seismic data. To attenuate more amount of noise, a longer window length must be chosen. In other words, the longer the window length, the more noise attenuation is possible. Although choosing long window length attenuates more random noise from data but causes some parts of the main events to be attenuated too.

More noise attenuation and preserving main events simultaneously needs to make the noisy signal as linear as possible within the window. This goal obviously is met if the frequency of the main events decreases in some ways. Needless to say that frequency of random additive noise must be kept untouched or is increased as frequency of the main events are decreased.

Applying dip radial trace transform on seismic data decreases the frequency of main events. Large number of radial traces is needed to prevent aliasing and some distortions are produced because of interpolation. In this study, a modified form of dip radial trace transform was introduced to overcome these problems. The modified method is carried out faster than conventional one and also needs much less interpolation. Firstly, the modified dip radial trace transform is applied on noisy input seismic data. Then the denoised data is obtained by applying the TFPF method on transformed data. A long length window can be used in this method to attenuate much more noise and preserve main events simultaneously. The modified and conventional methods were applied on both synthetic and real data. Comparison of the obtained results shows the modified method is more efficient than conventional one. Moreover applying the method on seismic data with ground roll showed that the method has a good performance in attenuation of coherent seismic noise.

Keywords: Radial traces transform, nonstationary signal, time-frequency peak filtering, random noise, seismic data



Shahrood University of Technology
School of Mining, Petroleum and Geophysics engineering

***2D seismic data enhancement using radial trace time – frequency peak
filtering method***

Reza Jiryaee Sharahi

Supervisors:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Hamid Reza Siahkoohi

September 2013