



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

به کارگیری فیلتر انتشار جهت تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی

محمد شکفته زوارم

اساتید راهنما:

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر هادی گرایلو

آذر ماه ۱۳۹۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مَعْلَم



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه نفت و ژئوفیزیک

به کارگیری فیلتر انتشار جهت تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی

محمد شکفته زوارم

اساتید راهنما:

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر هادی گرایلو

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

آذر ماه ۱۳۹۴



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد شکفته زوارم

تحت عنوان: به کارگیری فیلتر انتشار جهت تضعیف نوفه تصادفی در داده های لرزه بازتابی

در تاریخ ۹۴/۹/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد

پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :	امین روشندل کاهو	نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :	هادی گرایلو	نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به پدر و مادر عزیزم ...

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس حافظه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

پاسکزاری...

به مصداق «من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق» بسی شایسته است از اساتید فریخته و فرزانه جناب آقای دکتر امین

روشندل کا هو و دکتر هادی کرایلو که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با

راهبانی های کار ساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از دیگر اساتید که افتخار که در طی این دو سال تحصیلی

از محضر ایشان بهره مند شدم، و دوستان و عزیزانی که بنده را در این مسیر همراهی نموده اند کمال تشکر و قدردانی دارم.

تعهدنامه

اینجانب محمد شکفته زوارم دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه‌شناسی از دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: به‌کارگیری فیلتر انتشار جهت تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی تحت راهنمایی آقایان دکتر امین روشندل کاهو و دکتر هادی گرایلو متعهد می‌شوم:

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) مربوط به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

یک تصویرسازی لرزه‌ای مناسب منوط به داشتن داده‌های با کیفیت بالا است. حضور نوفه‌ها در لرزه‌نگاری امری اجتناب ناپذیر است. لذا نشان دادن تصویری صحیح و نزدیک به واقعیت جهت تفسیر ساختاری و چینه‌ای نیازمند تضعیف این نوفه‌ها می‌باشد. نوفه‌های موجود در داده‌های لرزه‌نگاری انواع مختلفی دارد که به دو دسته کلی همدوس و ناهمدوس تقسیم می‌شوند. نوفه تصادفی یکی از رایج‌ترین نوع نوفه در داده‌های لرزه‌نگاری می‌باشد که در طول تمام زمان‌ها و فرکانس‌ها بر سیگنال لرزه‌ای تاثیر می‌گذارد. هدف اصلی در این پایان‌نامه تضعیف این دسته از نوفه‌های داده‌های لرزه‌ای می‌باشد.

در این پایان‌نامه از روش جدیدی در حوزه روش‌های پردازش تصویر برای تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. این روش بر مبنای هموارسازی با استفاده از معادلات مشتقات جزئی انتشار است. اصول کار این روش به این صورت است که شدت روشنایی در هر پیکسل تصویر را معادل تمرکز جرم یا گرما در معادله انتشار در نظر می‌گیرد و با شبیه‌سازی فرآیند انتشار نوفه تصادفی که به صورت نوسانات تصادفی در تصویر ظهور می‌یابند، طی فرآیند انتشار هموارسازی می‌شود. در نوع خطی فیلتر انتشار قابلیت حفظ لبه وجود ندارد، اما در نوع غیرخطی و ناهمسانگرد آن با استفاده از ویژگی تانسورهای گرادیان فیلتر جهت‌یافته‌ای طراحی می‌شود که با انجام هموارسازی در جهت ساختارهای موجود در تصویر از آسیب دیدن به جزئیات و محوشدگی تصویر جلوگیری می‌کند. این روش به با توجه به بافت تصاویر لرزه‌ای انتظار می‌رود در بهبود کیفیت داده‌های لرزه‌ای موفق عمل کند.

روش مذکور بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی لرزه‌ای اعمال گردید و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد نسبت به فیلتر

خطی انتشار و غیرخطی همسانگرد مدل اسکالری پرونا و مالیک عملکرد مناسب تری در بهبود کیفیت داده‌های لرزه‌ای دارد. به منظور بررسی بیشتر، نتایج فیلتر انتشار، با نتایج دو فیلتر واهمامیخت فرکانس - مکان و میانه مقایسه گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که روش فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی عملکرد مناسب تری در بهبود نسبت سیگنال به نوفه و در عین حال حفظ جزئیات و سیگنال در داده‌های لرزه‌ای دارد.

کلیدواژه: نوفه تصادفی، پردازش تصویر، فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی، معادلات مشتقات

جزئی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ سوابق تحقیق	۴
۳-۱ هدف انجام پایان نامه	۷
۴-۱ ساختار پایان نامه	۷
فصل دوم: مفاهیم کاربردی و روش های تضعیف نوفه تصادفی	۹
۱-۲ سیگنال و نوفه	۱۰
۱-۱-۲ سیگنال	۱۰
۲-۱-۲ نوفه	۱۱
۱-۲-۱-۲ نوفه همدوس	۱۱
۲-۲-۱-۲ نوفه ناهمدوس	۱۴
۲-۲ روش های تضعیف نوفه	۱۷
فصل سوم: فیلتر های انتشار	۲۹
۱-۳ مقدمه	۳۰
۱-۱-۳ طبقه بندی فیلترهای انتشار	۳۳
۲-۳ فیلترهای انتشار با تابع انتشار اسکالر	۳۴
۱-۲-۳ فیلتر انتشار خطی	۳۴

۳۹	..... ۲-۲-۳ فیلترهای غیرخطی
۴۳	..... ۳-۲-۳ مدل پرونا و مالیک
۵۰	..... ۳-۳ فیلترهای انتشار با تابع انتشار تانسوری (مدل تانسوری)
۵۰	..... ۱-۳-۳ فیلتر انتشار غیر خطی ناهمسانگرد
۵۱	..... ۱-۱-۳-۳ فیلتر انتشار ناهمسانگرد بهبود دهنده لبه (EED)
۵۳	..... ۲-۱-۳-۳ انتشار ناهمسانگرد بهبود دهنده همدوسی (CED)
۵۹	..... فصل چهارم اعمال الگوریتم ها روی داده مصنوعی و واقعی
۶۰	..... ۱-۴ مقدمه
۶۰	..... ۲-۴ اعمال روش بر روی داده مصنوعی
۶۱	..... ۱-۲-۴ نتایج فیلتر غیرخطی پرونا مالیک
۶۶	..... ۱-۱-۲-۴ بحث پیرامون انتخاب پارامترها
۶۸	..... ۲-۲-۴ نتایج فیلتر انتشار غیر خطی ناهمسانگرد
۷۱	..... ۱-۲-۲-۴ بحث پیرامون انتخاب پارامترها
۷۲	..... ۳-۴ مقایسه نتایج با روش متداول واهمامیخت $f-x$ و فیلتر میانه
۷۵	..... ۴-۴ بررسی عملکرد روش بر روی داده واقعی
۸۷	..... نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۸	..... ۱-۵ نتیجه گیری
۸۹	..... ۲-۵ پیشنهادات
۹۰	..... منابع

فهرست امثال

- شکل ۱-۱: نمونه یک رکورد لرزه‌ای. ۳
- شکل ۲-۱: نمونه داده واقعی نهایی پس از مهاجرت که تا حد زیادی شبیه به یک مقطع زمین شناسی می‌باشد. ۳
- شکل ۱-۲: رکورد چشمه مشترک واقعی و قسمت مشخص شده نوفه خطوط قدرت ۱۲
- شکل ۲-۲: رکورد چشمه مشترک واقعی، ناحیه داخل مثلث آبی ناحیه پوشانده شده توسط نوفه همدوس زمین غلت را نشان می‌دهد. ۱۲
- شکل ۳-۲: (الف) ردلرزه شماره ۵ آغشته به نوفه زمین غلت از رکورد شکل ۲-۲، (ب) طیف دامنه مربوط به ردلرزه شماره ۵، (ج) ردلرزه شماره ۳۵ عاری از نوفه زمین غلت از رکورد شکل ۲-۲ و (د) طیف دامنه مربوط به ردلرزه شماره ۳۵. ۱۳
- شکل ۴-۲: طیف $f-k$ برای شکل ۲-۲. ۱۴
- شکل ۵-۲: (الف) سری زمانی تصادفی (ب) طیف دامنه سری تصادفی (ج) خودهمبستگی سری تصادفی. ۱۵
- شکل ۶-۲: (الف) ضرایب بازتاب (ب) موجک ریکر با فرکانس غالب ۱۵ هرتز. ۱۶
- شکل ۷-۲: (الف) سیگنال بدون نوفه (ب) سیگنال آلوده به نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی‌بل (ج) طیف دامنه سیگنال بدون نوفه (د) طیف دامنه سیگنال آلوده به نوفه. ۱۷
- شکل ۸-۲: نتایج فیلتر پایین گذر باترورث (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف بین داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده. ۱۹
- شکل ۹-۲: مفهوم روش کار فیلتر میانه. ۲۰
- شکل ۱۰-۲: نتایج فیلتر میانه (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف بین داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده. ۲۰

شکل ۲-۱۱: فیلتر میانگین گیر غیرمحملی (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده. ۲۲

شکل ۲-۱۲: نتایج فیلتر پیشگوی فرکانس- مکان اصلاح شده (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده. ۲۴

شکل ۳-۱: نمای شماتیک انتشار گرما در یک صفحه، سمت چپ قبل از انجام فرایند انتشار و سمت راست پس از فرآیند انتشار. ۳۱

شکل ۳-۲: شمای کلی از حالات فرآیند انتشار (الف) انتشار خطی همسانگرد (ب) انتشار خطی ناهمسانگرد (ج) انتشار غیرخطی همسانگرد (د) انتشار غیرخطی ناهمسانگرد. ۳۲

شکل ۳-۳: نمایش مکان - مقیاس، محور قائم محور مقیاس می باشد. ۳۵

شکل ۳-۴: رابطه زمان انتشار با مقدار هموارسازی هسته گاوسی. ۳۶

شکل ۳-۵: رابطه زمان انتشار با مقدار هموارسازی هسته گاوسی در حالت دو بعدی (الف) در زمان انتشار $t=1$ (ب) زمان انتشار $t=2$ (ج) در زمان انتشار $t=3$ ۳۷

شکل ۳-۶: (الف) تصویر دو بعدی بدون نوفه (ب) تصویر آغشته به نوفه با $SNR=10\text{ db}$ ۳۸

شکل ۳-۷: نتایج فیلتر انتشار خطی بر روی داده مصنوعی (الف) داده تضعیف نوفه شده با $SNR=10\text{ db}$ (ب) اختلاف تصویر آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده. ۳۹

شکل ۳-۸: (الف) سیگنال اصلی (ب) سیگنال تخریب شده با نوفه گاوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۱۳ دسی بل (ج) سیگنال بازیابی شده به روش خطی (د) سیگنال بازیابی شده به روش غیرخطی. ۴۱

شکل ۳-۹: (الف) منحنی خط صاف سیگنال اصلی، منحنی خط چین سیگنال بازیابی شده توسط فیلتر انتشار غیرخطی و منحنی نقطه چین سیگنال بازیابی شده توسط فیلتر انتشار خطی (ب) منحنی خط صاف خطای بازیابی روش غیرخطی و منحنی نقطه چین خطای بازیابی روش خطی. ۴۲

شکل ۳-۱۰: (الف) تصویر تضعیف نوفه شده با $SNR=22\text{ db}$ (ب) اختلاف داده تضعیف نوفه شده و داده آغشته به نوفه. ۴۲

شکل ۱۱-۳: تابع انتشار مربوط به (الف) تابع انتشار، منحنی مشکی رابطه (۱۲-۳)، منحنی خط چین رابطه (۱۳-۳) (ب) تابع شار، منحنی مشکی رابطه (۱۲-۳)، منحنی خط چین رابطه (۱۳-۳) می باشد. ۴۴.....

شکل ۱۲-۳: نمای دو بعدی (الف) توابع انتشار و (ب) شار حاصل از آن‌ها در شکل ۱۱-۳، رویه بالایی مربوط به رابطه (۱۰-۳) و رویه زیرین مربوط به رابطه (۱۱-۳). ۴۴.....

شکل ۱۳-۳: هشت همسایگی هر پیکسل که در محاسبه گرادیان های محلی مورد استفاده قرار می گیرند. ۴۶.....

شکل ۱۴-۳: (الف) قبیل از بروزسانی (ب) پس از بروزسانی. ۴۷.....

شکل ۱۵-۳: فلوجارت فیلتر انتشار غیرخطی مدل پرونا و مالیک (بر حسب تابع انتشار اسکالر). ۴۹.....

شکل ۱۶-۳: شکل مقدار ویژه تانسور انتشار و شار حاصل از آن برای فیلتر انتشار بهبود دهنده لبه. ۵۲.....

شکل ۱۷-۳: نمایش رابطه (۲۶-۳) بر اساس مقدار همدوسی. ۵۴.....

شکل ۱۸-۳: فلوجارت روش فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد (بر حسب تانسور انتشار). ۵۷.....

شکل ۱-۴: (الف) داده بدون نوفه (ب) داده آلوده شده با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل. ۶۱.....

شکل ۲-۴: (الف) پس از اعمال فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۱۳-۳) (ب) رابطه (۱۲-۳). ۶۲.....

شکل ۳-۴: اختلاف داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده با رابطه (۱۳-۳) (ب) رابطه (۱۲-۳). ۶۳.....

شکل ۴-۴: بزرگنمایی بخش مستطیل قرمز در (الف) قسمت شکل ۳-۴ الف (ب) قسمت شکل ۳-۴ ب. ۶۴.....

شکل ۵-۴: طیف دامنه میانگین (الف) داده بدون نوفه (ب) داده آلوده به نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل (ج) داده تضعیف نوفه شده با فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۱۳-۳) (د) داده تضعیف نوفه شده با فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۱۲-۳). ۶۶.....

شکل ۶-۴: نمودار نسبت سیگنال به نوفه بر حسب تعداد تکرار و مقدار پارامتر آستانه گرادیان مختلف

- برای رابطه (۳-۱۳)..... ۶۸
- شکل ۴-۷: نمودار نسبت سیگنال به نوفه بر حسب تعداد تکرار و مقدار پارامتر آستانه گرادیان مختلف
- برای رابطه (۳-۱۲)..... ۶۸
- شکل ۴-۸: نتایج خروجی اعمال فیلتر انتشار (الف) مدل بهبود دهنده همدوسی CED (ب) مدل بهبود دهنده لبه EED..... ۶۹
- شکل ۴-۹: اختلاف داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده (الف) در حالت CED (ب) در حالت EED..... ۶۹
- شکل ۴-۱۰: طیف دامنه میانگین داده تضعیف نوفه شده با روش فیلتر انتشار مدل (الف) CED (ب) EED (..... ۷۰
- شکل ۴-۱۱: (الف) نتیجه حاصل از اعمال روش واهمامیخت در حوزه $f-x$ (ب) اختلاف میان داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده..... ۷۳
- شکل ۴-۱۲: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده توسط روش واهمامیخت در حوزه $f-x$ ۷۳
- شکل ۴-۱۳: (الف) نتایج حاصل از اعمال فیلتر میانه (ب) تفاضل بین داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده..... ۷۴
- شکل ۴-۱۴: طیف دامنه مربوط به داده تضعیف نوفه شده توسط روش فیلتر میانه..... ۷۴
- شکل ۴-۱۵: بخشی از داده لرزه‌ای واقعی..... ۷۶
- شکل ۴-۱۶: طیف دامنه میانگین داده واقعی..... ۷۶
- شکل ۴-۱۷: (الف) نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک (۳-۱۲) (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده..... ۷۷
- شکل ۴-۱۸: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک رابطه (۳-۱۲)..... ۷۸

شکل ۴-۱۹: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک رابطه (۳-۱۳) (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده. ۷۸.....

شکل ۴-۲۰: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک رابطه (۳-۱۳). ۷۸.....

شکل ۴-۲۱: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل تانسوری CED (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده. ۷۹.....

شکل ۴-۲۲: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل تانسوری CED. ۸۰.....

شکل ۴-۲۳: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل تانسوری بهبود دهنده لبه EED (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده. ۸۰.....

شکل ۴-۲۴: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل تانسوری EED. ۸۰.....

شکل ۴-۲۵: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر واهمامیخت $f-x$ (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده. ۸۲.....

شکل ۴-۲۶: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر واهمامیخت $f-x$. ۸۲.....

شکل ۴-۲۷: بزرگنمایی قسمتی های داخل مستطیل مشکی (الف) داده همراه نوفه (ب) خروجی فیلتر واهمامیخت فرکانس-مکان (ج) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی CED (د) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی EED. ۸۳.....

شکل ۴-۲۸: بزرگنمایی قسمتی داخل مستطیل آبی رنگ (الف) داده همراه نوفه (ب) خروجی فیلتر واهمامیخت فرکانس-مکان (ج) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی CED (د) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی EED. ۸۴.....

شکل ۴-۲۹: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر میانه (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده.

۸۵

شکل ۴-۳۰: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر میانه. ۸۵

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: مثال عددی برای نحوه بروزرسانی تصویر در فیلتر انتشار. ۴۷
- جدول ۱-۴: مقایسه روش‌های فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک برای نسبت سیگنال به نوفه‌های متفاوت. ۶۳
- جدول ۲-۴: مقایسه فیلتر انتشار غیرخطی مدل تانسوری برای نسبت سیگنال به نوفه‌های مختلف.. ۷۰
- جدول ۳-۴: مقایسه بهبود نسبت سیگنال به نوفه روش‌های مختلف برای نسبت سیگنال به نوفه‌های مختلف. ۷۵

فهرست نمودارها

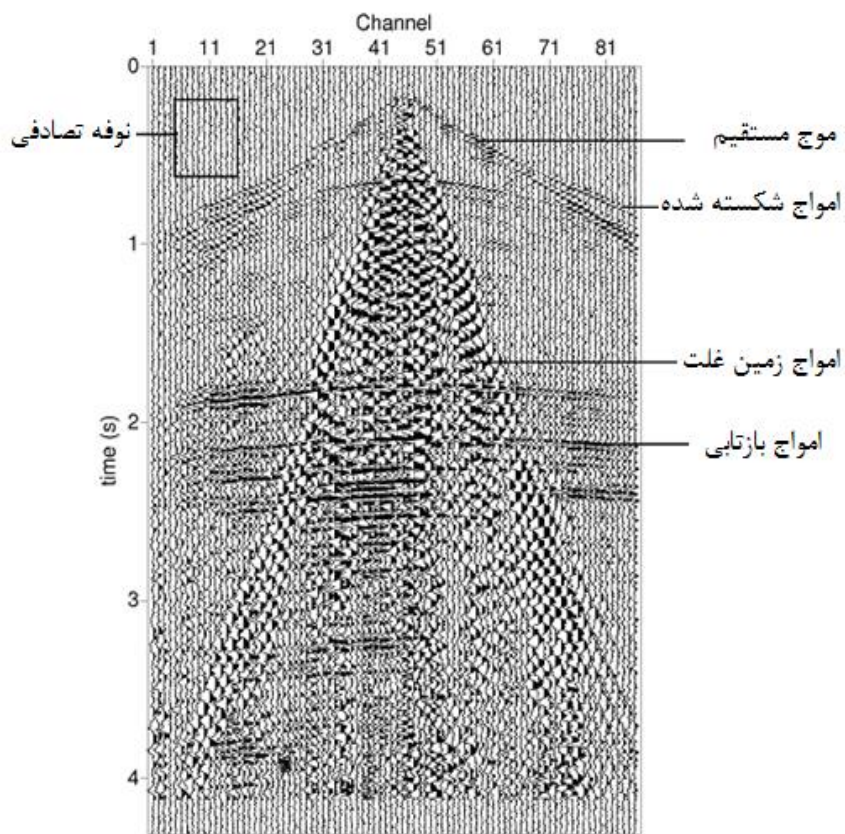
نمودار ۱-۴: نمودار مقایسه بهبود نسبت سیگنال به نوفه در روش‌های مختلف..... ۷۵

فصل اول: مقدمه و کلیات

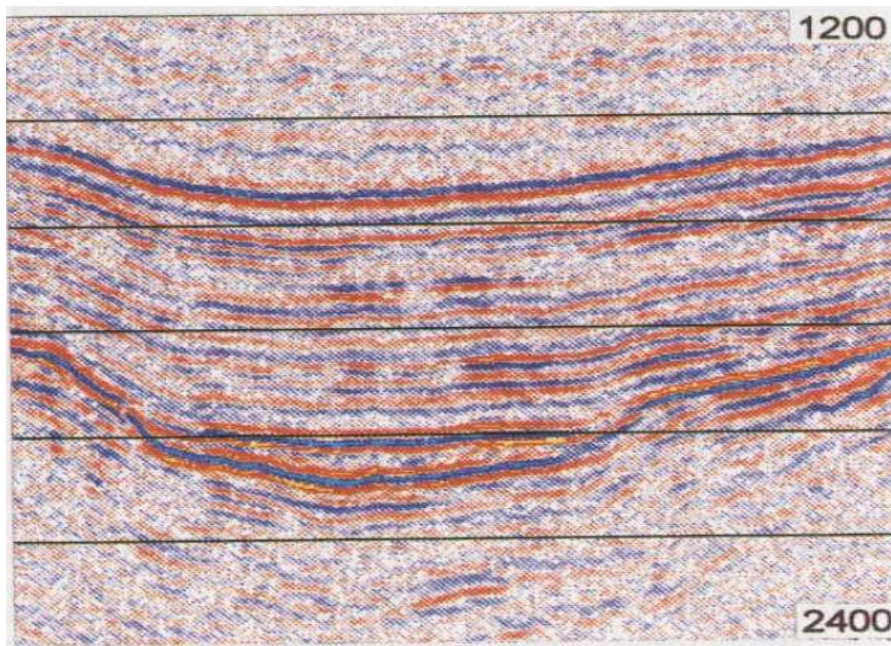
۱-۱ مقدمه

اساس روش‌های لرزه‌نگاری بازتابی بر این حقیقت استوار است که امواج الاستیک ناشی از تحریک زمین با چشمه‌های مصنوعی کنترل شده، در لایه‌های مختلف زمین با سرعت‌های مختلف منتشر می‌شوند. قسمتی از انرژی امواج الاستیک در برخورد با مرزهای زمین‌شناسی به دلیل اختلاف خواص الاستیکی در طرفین مرزها، بازتاب شده و به سمت سطح زمین باز می‌گردد. مقدار انرژی بازتاب شده از هر مرز به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که یکی از آن‌ها ضریب بازتاب می‌باشد [۱]. مهم‌ترین مزیت روش‌های لرزه‌نگاری نسبت به سایر روش‌های ژئوفیزیکی این است که با به‌کارگیری مناسب این روش، تصویر دقیق‌تر و با وضوح بیشتری از ساختار زیر سطح تا عمق بیشتری حاصل می‌شود.

هر مطالعه ژئوفیزیکی شامل سه مرحله اساسی است [۲]: برداشت، پردازش و تفسیر. هدف از مرحله پردازش، تبدیل داده‌های برداشت شده به یک شبه مدل زمین‌شناسی می‌باشد [۲]. در شکل ۱-۱ نمونه یک رکورد لرزه‌ای نقطه میانی مشترک نشان داده شده است که شامل امواج بازتابی، شکست مرزی، مستقیم، نوفه زمین‌غلت و نوفه تصادفی می‌باشد. برای رسیدن به یک مقطع لرزه‌ای که شبه مقطع زمین‌شناسی باشد و بتوان از آن در تفسیر ساختمانی و چینه‌ای استفاده نمود (مانند شکل ۲-۱)، یکی از فرایندهای پردازشی تضعیف نوفه تصادفی می‌باشد.



شکل ۱-۱: نمونه یک رکورد لرزه‌ای [۳].



شکل ۲-۱: نمونه داده واقعی نهایی پس از مهاجرت که تا حد زیادی شبیه به یک مقطع زمین‌شناسی می‌باشد [۴].

حضور عوامل ناخواسته همواره در طی یک برداشت لرزه‌ای غیرقابل اجتناب است. به همین منظور سیگنال‌های دریافتی آلوده به نوفه خواهند بود. نوفه‌های همراه داده‌های لرزه‌ای به دو دسته تصادفی و همدوس تقسیم می‌شوند [۵]. نوفه همدوس مانند نوفه زمین‌گلت و هوا برخلاف نوفه تصادفی از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر قابل ردیابی بوده و دارای همبستگی می‌باشد. نوفه تصادفی اختلالات موجود در داده لرزه‌ای هستند که همبستگی بین آن‌ها در داده لرزه‌ای وجود ندارد. این نوع نوفه منابع فروانی می‌تواند داشته باشد. نوفه تصادفی که در داده‌های لرزه‌ای رایج است، در تمام فرکانس‌ها و زمان‌ها قابل مشاهده است [۳]. نسبت سیگنال به نوفه پایین داده‌ها تأثیر مخربی در تفسیر داده‌ها خواهد داشت، از این رو نیاز به مراحل پردازشی مختلف جهت تضعیف نوفه در داده‌ها احساس می‌شود. روش‌های متعددی برای این منظور به کار گرفته شده‌اند که هر کدام دارای معایب و مزایایی هستند.

در زمان برداشت داده‌های لرزه‌ای تا حدودی می‌توان با طراحی عملیات مناسب (آرایه چشمه و گیرنده) مقدار نوفه (تصادفی و همدوس) را کاهش داد و یا توسط فیلترهای الکترونیکی تضعیف نمود، اما به دلیل اینکه این کار ممکن است موجب از دست رفتن محتوای سیگنال اصلی می‌شود، انجام آن به مرحله پردازشی موکول می‌شود. در این پایان‌نامه، تأکید بر تضعیف نوفه تصادفی در مرحله پردازش می‌باشد.

۲-۱ سوابق تحقیق

روش‌های تضعیف نوفه به دو دسته قبل و بعد از برانبارش قابل تقسیم می‌باشند. البته بخشی از نوفه‌های تصادفی به دلیل عدم همبستگی در ردلرزه‌ها در مرحله برانبارش تضعیف می‌گردد [۶، ۷]. با این وجود میزان قابل توجهی از نوفه تصادفی در داده لرزه‌ای پس از برانبارش باقی می‌ماند که تضعیف آن‌ها نیازمند روش‌های پیشرفته‌تر می‌باشد.

از ابتدایی‌ترین روش‌های تضعیف نوفه تصادفی، محدود کردن باند فرکانسی توسط فیلترهای میان‌گذر و پایین‌گذر است. اما به دلیل عملکرد نامناسب آن‌ها، تاکنون روش‌های مختلفی برای تضعیف نوفه تصادفی به کار گرفته شده‌اند. به عنوان مثال می‌توان به روش‌هایی که بر پایه تبدیلات هستند، اشاره نمود. این روش‌ها با استفاده از انتقال داده از حوزه زمان-مکان به حوزه دیگری که قابلیت بیشتری در تفکیک سیگنال و نوفه دارد، فرآیند تضعیف نوفه را انجام می‌دهند. به عنوان نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌توان به فیلتر $f-k$ که به فیلتر سرعت نیز معروف است، [۸، ۹]، فیلتر کادزو^۱ در حوزه $f-xy$ [۱۰]، تبدیل‌های زمان - فرکانس و تبدیل موجک [۱۱، ۱۲]، تبدیل کمانک^۲ [۱۳]، فیلتر پیشگو^۳ [۱۴] و امثال آن اشاره کرد.

دسته‌ای دیگر از این روش‌ها بر اساس کاهش رتبه ماتریس داده با فرض این‌که سیگنال، دارای رتبه پایین می‌باشد، به بازیابی آن می‌پردازند مانند روش‌های تجزیه تصویر ویژه^۴ [۱۵]، تبدیل کارهونن-لوو^۵ [۱۶، ۱۷]، تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۶ [۱۸] و تجزیه مقادیر تکین [۱۹]. اخیراً روش‌هایی از قبیل شبکه‌های عصبی [۲۰] نیز برای این منظور بکار گرفته شده‌اند.

اما یکی از روش‌های قدیمی و کارآمد تضعیف نوفه که پیشرفت‌های بسیار خوبی در خصوص آن صورت گرفته است، فیلترهای هموارساز هستند [۲۱]. این دسته روش‌ها به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند. ساده‌ترین نوع فیلترهای هموارساز خطی، فیلتر میانگین‌گیر است که با جایگزین کردن مقدار میانگین پیکسل‌های یک همسایگی با پیکسل مرکزی نوفه تصادفی را کاهش می‌دهد [۲۱، ۲۲]. همیشه تضعیف نوفه توأم با حفظ سیگنال‌ها مسئله مهمی در حوزه کاربرد این روش‌ها بوده است. فیلترهای خطی توانایی حفظ جزئیات را نداشته و موجب تار شدن تصاویر

^۱ Cadzow

^۲ Curvelet Transform

^۳ Predictive Filter

^۴ Eigen Image Decomposition

^۵ Karhunen Loeve Transform

^۶ Principal Component Analysis

می‌شوند، به همین خاطر روش‌ها به سمت نوع غیرخطی آن‌ها که توانایی بیشتری در حفظ جزئیات دارند، پیش رفته‌اند. از جمله آن‌ها فیلتر میانه [۲۱] و میانگین‌گیر غیرمحل [۲۳] را می‌توان نام برد که به جای میانگین از مقدار میانه و میانگین وزنی پیکسل‌های یک همسایگی استفاده می‌کنند. در راستای همین هدف، الگوریتم‌هایی تحت عنوان فیلترهای نگه‌دارنده لبه^۱ معرفی شده‌اند [۲۴-۲۷]. در این روش‌ها برای هر نمونه از تصویر ورودی چند پنجره را بررسی می‌کنند و پنجره‌ای که بیشترین همگنی یا کمترین انحراف معیار را دارا باشد، انتخاب می‌کنند و میانگین مقادیر درون پنجره را به عنوان مقدار نمونه مورد بررسی، در نظرمی‌گیرند [۲۵]. این روش‌ها شکل موج را نیز تغییر می‌دهند، لذا بحث روش‌های هموارسازی جهت‌یافته مطرح شد [۲۸].

در رابطه با فیلترهای انتشار نیز سیر تکاملی از خطی تا جهت‌یافته وجود دارد. فیلتر انتشار خطی در سال ۱۹۸۳ توسط ویتکین^۲ [۲۹] معرفی شد. اما علی‌رغم هموارسازی مؤثری که داشت به دلیل هموارسازی یکسان در تمام نقاط و جهات موجب از دست رفتن اطلاعات مفید در تصویر و تار شدن آن می‌شد. این مشکل باعث شد، برای اولین بار پرونا^۳ و مالیک^۴ [۳۰] در سال ۱۹۸۷ بحث فیلترهای انتشار غیرخطی را مطرح کنند که این فیلتر ابتدا برای بهبود تصاویر پزشکی و برخی زمینه‌های دیگری چون بخش‌بندی بافت تصاویر و بازیابی تصاویر محبوبیت یافت [۳۱, ۳۲]. بعدها این روش در پردازش داده‌های لرزه‌ای به‌منظور تضعیف نوفه و بهبود ساختارها و همدوسی جایگاه مناسبی یافت. به‌عنوان مثال، ایمهوف^۵ [۳۳] در سال ۲۰۰۳، بداری و همکاران^۶ [۳۴] در سال ۲۰۱۱ و هانپنگ و همکاران^۷ [۲۸] در سال ۲۰۱۳ از فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد، برای تضعیف نوفه تصادفی و بهبود کیفیت تصاویر لرزه‌ای استفاده کردند [۳۵, ۳۶].

^۱ Edge Preserving Smoothing

^۲ Witkin

^۳ Perona

^۴ Malik

^۵ Imhof

^۶ Baddari et al

^۷ Hanpeng

۱-۳ هدف انجام پایان نامه

حضور مخرب نوفه تصادفی که به صورت نوسانات ناگهانی در طول تمام زمان‌ها و فرکانس‌ها تعریف می‌شود، به همراه سیگنال لرزه‌ای و لزوم تضعیف آن‌ها یک چالش اساسی در پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌باشد.

از این رو در این پایان‌نامه، سعی شده است با استفاده از فیلتر انتشار غیر خطی ناهمسانگرد، نوفه تصادفی موجود در داده‌های لرزه‌ای تضعیف شود. از آنجا که نتیجه حاصل از مراحل پردازشی مرسوم، تصویری از ساختارهای زیرسطحی است که در غالب مقاطع لرزه‌ای عمقی یا زمانی نمایش داده می‌شود؛ این فیلتر، داده‌های لرزه‌ای را به‌عنوان یک تصویر در نظر می‌گیرد که دامنه داده‌های لرزه‌ای به‌عنوان شدت روشنایی هر پیکسل می‌باشد و با جمع‌آوری و ترکیب اطلاعاتی از قبیل موقعیت و جهت ساختارها که توسط تانسورهای گرادیان تخمین زده می‌شوند، یک فرآیند هموارسازی کنترل شده در جهت ساختارها انجام می‌دهد که علاوه بر تضعیف نوفه‌های تصادفی، از تارشدهگی تصاویر لرزه‌ای جلوگیری می‌کند. نتایج حاصل از اعمال این روش بر داده‌های مصنوعی و واقعی، بهبود در نسبت سیگنال به نوفه به همراه افزایش هم‌دوسی در رویدادهای بازتابی را نشان می‌دهد.

۱-۴ ساختار پایان نامه

این پایان‌نامه دارای پنج فصل است. پس از بیان مقدمه، تاریخچه، هدف و ضرورت انجام پایان‌نامه، در فصل دوم برخی مفاهیم کاربردی و تعاریف مرتبط با نوفه به همراه مروری مختصر بر روش‌های متداول در زمینه تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بیان می‌شود. در فصل سوم به توضیح مبانی و روش کار فیلترهای انتشار خطی و غیرخطی پرداخته شده است و در فصل چهارم فیلتر انتشار معرفی شده بر روی داده مصنوعی و واقعی اعمال می‌شود و نتایج آن‌ها با نتایج یک روش متداول مقایسه می‌شود. در پایان نتایج حاصل از انجام پایان‌نامه و پیشنهادات به دست آمده از این تحقیق بیان می‌شود.

فصل دوم: مفاهیم کاربردی و روش های تضعیف نوفه تصادفی

۲-۱ سیگنال و نوفه

در پردازش سیگنال برای تضعیف نوفه از اختلاف بین سیگنال و نوفه استفاده می‌شود. در دسته مهمی از این روش‌ها، داده‌ها به حوزه‌ای که نمایش بهتری از مرز تفکیک سیگنال و نوفه را ارائه دهند، با استفاده از تبدیل‌های مربوط انتقال داده می‌شوند و با شناسایی نوفه و صفر کردن ضرایب آن‌ها و برگردان داده اصلاح شده به حوزه اول، سیگنال بدون نوفه را بازیابی می‌کنند. لذا برای جداسازی سیگنال از نوفه نیازمند درک درستی از سیگنال و نوفه و اختلاف بین آن‌هاست.

۲-۱-۱ سیگنال

سیگنال تابعی از متغیرهای مستقل نظیر زمان، فضا و ... است که حاوی اطلاعاتی از حالات یک سیستم است. مفهوم سیگنال را می‌توان برای توصیف انواع پدیده‌های فیزیکی به کار گرفت [۳۷]. بسته به این که ماهیت ویژگی مورد مطالعه چگونه باشد، می‌توان بیان‌های متفاوتی از سیگنال داشت. به عنوان نمونه سیگنال تصویری، سیگنال صوتی، سیگنال مکانیکی، سیگنال الکتریکی و همین‌طور سیگنال لرزه‌ای از دسته مهم سیگنال‌ها می‌باشد.

ارائه دادن یک تعریف دقیق از سیگنال لرزه‌ای مشکل است، به این دلیل که مرز بین سیگنال و نوفه به شدت به تحلیل پردازشگر از مسئله بستگی دارد. به عنوان یک قاعده سیگنال لرزه‌ای به تمام رویدادهای ثبت شده که امید می‌رود برای استخراج اطلاعات مفید از ساختارهای زیرسطحی و زمین‌شناسی مناسب باشند، اطلاق می‌شود. سیگنال لرزه‌ای می‌تواند شامل بازتاب از مرزهای دو لایه با خواص الاستیکی متفاوت، امواج مخروطی^۱ شکل در مطالعات لرزه‌نگاری شکست‌مرزی و حتی برخی پراش‌های خاص که می‌توانند برای تشخیص موقعیت برخی رخساره‌های زیرسطحی کمک کند، باشد. سایر انرژی‌هایی که سیگنال در نظر گرفته نمی‌شوند را نوفه می‌نامند [۳۸].

^۱ Conical Waves

۲-۱-۲ نوفه

نوفه بنا بر تعریفی که در واژه‌نامه شلومبرژر^۱ بیان شده است، هر انرژی به جز سیگنال دلخواه، نوفه نامیده می‌شود. به عبارت دیگر نوفه شامل تمامی اختلالات موجود در داده‌های لرزه‌ای ناشی از انرژی‌های ناخواسته لرزه‌ای می‌شود. نوفه را از لحاظ رفتاری می‌توان در دو دسته کلی همدوس و ناهمدوس (تصادفی) طبقه‌بندی می‌کنند.

۲-۱-۲-۱ نوفه همدوس

قسمتی از سیگنال ناخواسته که دارای همبستگی بالایی در ردلرزه‌های مجاور می‌باشد را نوفه همدوس می‌نامند. منظور از همبستگی این است که بین فاز نوفه و نمونه‌های اطراف آن رابطه‌ای جزئی وجود دارد. به دلیل اینکه این نوع نوفه همبسته است و این همبستگی می‌تواند در جهت مکان و زمان باشد و یا تنها در جهت زمان باشد [۵]، دو دسته نوفه همدوس مکانی^۲ و نوفه همدوس زمانی^۳ را برای آن در نظر می‌گیرند که دسته اول، نوفه همدوس مکانی همانند امواج زمین‌غلت^۴، چندگانه‌ها^۵، امواج هوا^۶، پراکنش‌های کناری^۷ و امواج راهنما^۸ هستند که هم در راستای زمان و هم در راستای مکان همبسته است که به آن نوفه چشمه هم گفته می‌شود. نوفه همدوس مکانی خود به دو دسته تقسیم می‌شود. دسته اول نوفه همدوس مکانی خطی که به دلیل اینکه در رکوردهای چشمه مشترک به صورت خطی قابل مشاهده هستند، به این صورت نام‌گذاری شده‌اند به عنوان مثال به امواج زمین‌غلت، امواج هوا، پراکنش‌های کناری و امواج راهنما به عنوان نوفه همدوس مکانی خطی می‌توان اشاره کرد. دسته دوم نوفه همدوس مکانی غیرخطی نام‌گذاری شده‌اند. چندگانه‌ها و امواج شبح^۹ نمونه‌هایی از

^۱ Schlumbergers Oilfield Glossary

^۲ Spatially coherent noise

^۳ Temporally coherent noise

^۴ Ground roll

^۵ Multiples

^۶ Air waves

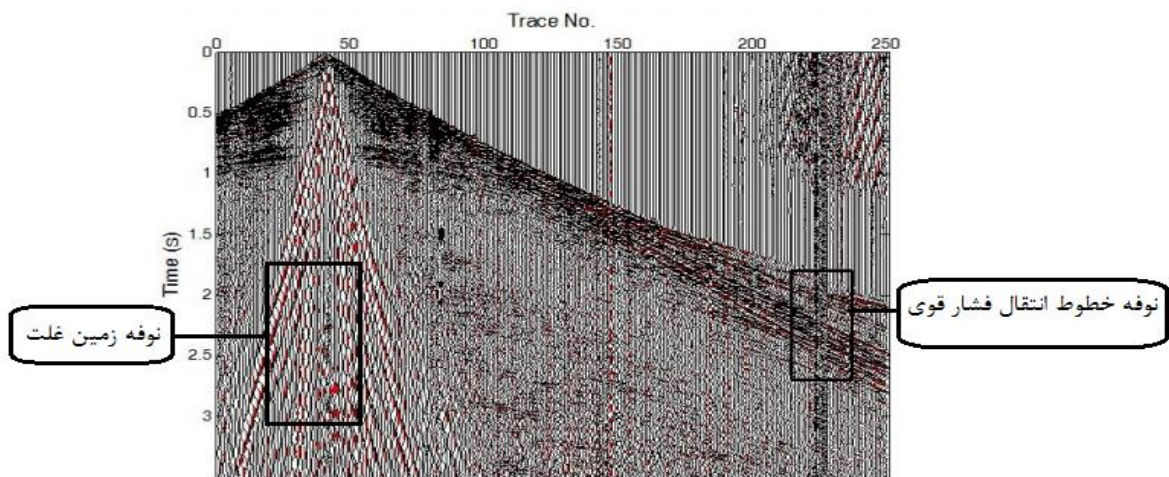
^۷ Side-scattered noise

^۸ Guided waves

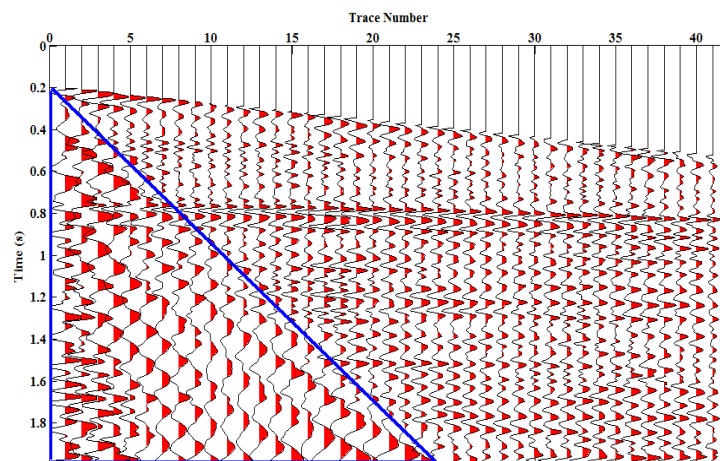
^۹ Ghost Waves

این دسته هستند [۵].

در مورد دسته دوم، نوفه همدوس زمانی باید خاطر نشان کرد که این نوع نوفه توسط چشمه‌های لرزه‌ای تولید نمی‌شود و فقط در راستای زمان همبسته هستند. نمونه بارز آن ردلرزه‌هایی هستند که تمام یا بخش بزرگی از آن‌ها با نوفه دامنه بالا آلوده و تخریب می‌شوند؛ مانند ردلرزه‌ای که بر اثر نوفه‌های ترافیکی و خطوط انتقال برق فشار قوی آلوده شده‌اند [۳]. شکل ۱-۲ نمونه‌ای از نوفه همدوس زمانی را نشان می‌دهد.

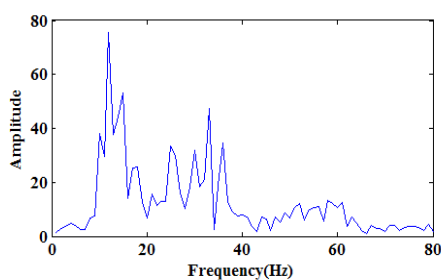


شکل ۱-۲: رکورد چشمه مشترک واقعی و قسمت مشخص شده نوفه خطوط قدرت [۳۹].

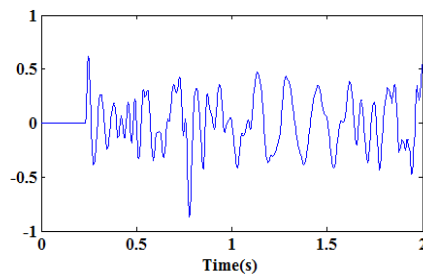


شکل ۲-۲: رکورد چشمه مشترک واقعی، ناحیه داخل مثلث آبی ناحیه پوشانده شده توسط نوفه همدوس زمین غلت را نشان می‌دهد.

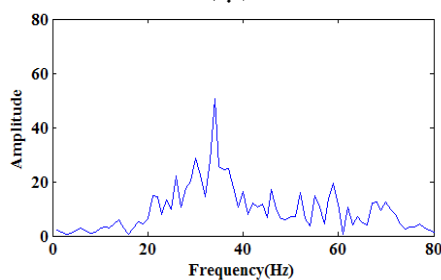
شکل ۲-۲ یک رکورد چشمه مشترک واقعی از مجموعه داده آموزشی نرم افزار ویستا^۱ را نمایش می دهد. نوفه زمین غلت با دامنه بالا و فرکانس پایین، بخشی از داده که با مثلث آبی رنگ نشان داده شده است، را پوشانده است. در شکل ۳-۲ دو ردلرزه که از رکورد چشمه مشترک شکل ۲-۲ انتخاب شده اند را نشان می دهد. ردلرزه شکل ۳-۲ الف، ردلرزه شماره ۵ رکورد شکل ۲-۲ می باشد که حاوی نوفه زمین غلت می باشد. در شکل ۳-۲ ب، طیف دامنه ردلرزه مورد نظر رسم شده است که وجود یک دامنه قوی در فرکانس های پایین، تاثیر نوفه زمین غلت را نشان می دهد. شکل ۳-۲ ج، ردلرزه ۳۵ از رکورد شکل ۲-۲ را نشان می دهد که در آن نوفه زمین غلت وجود ندارد و می توان این موضوع را در طیف دامنه آن مشاهده نمود.



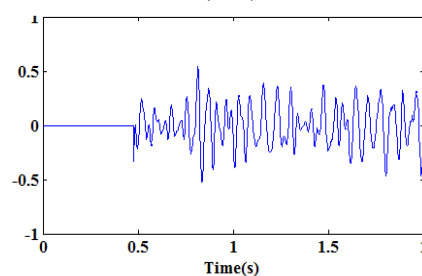
(ب)



(الف)



(د)



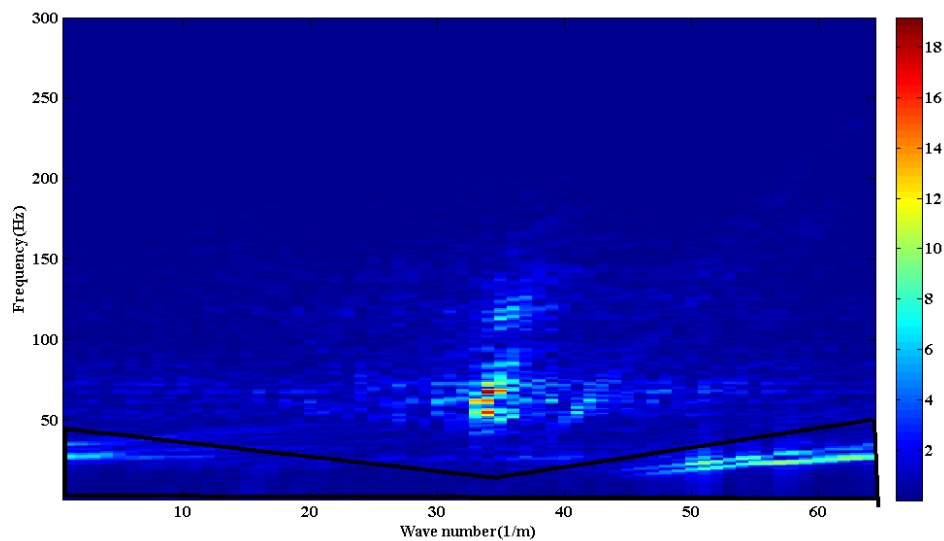
(ج)

شکل ۳-۲: (الف) ردلرزه شماره ۵ آغشته به نوفه زمین غلت از رکورد شکل ۲-۲، (ب) طیف دامنه مربوط به ردلرزه شماره ۵، (ج) ردلرزه شماره ۳۵ عاری از نوفه زمین غلت از رکورد شکل ۲-۲ و (د) طیف دامنه مربوط به ردلرزه شماره ۳۵.

همچنین در شکل ۴-۲ رکورد چشمه مشترک واقعی شکل ۲-۲ پس از حذف امواج مستقیم، در حوزه فرکانس - عدد موج نمایش داده شده است. در این شکل محدوده مشخص شده به رنگ مشکی

^۱ Vista

مربوط به نوفه زمین‌غلت است. مقیاس رنگی شدت دامنه در هر فرکانس و عدد موج را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴: طیف $f-k$ برای شکل ۲-۲.

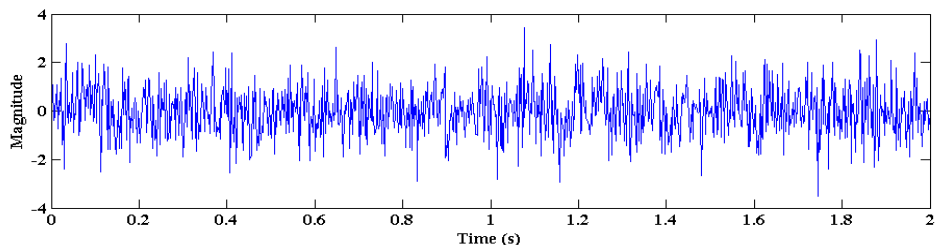
۲-۲-۱-۲ نوفه ناهمدوس

همان‌گونه از نام‌گذاری آن برمی‌آید، همبستگی خاصی بین نوفه موجود روی یک ردلرزه با ردلرزه‌های کناری آن وجود ندارد یا به عبارتی می‌توان گفت فاز نوفه در ردلرزه‌های مجاور مستقل از یکدیگر است. عوامل مختلف همچون اثر باد، باران، نوفه‌ها دستگاهی و فعالیت انسانی و موجودات دیگر را می‌توان به‌عنوان منشا تولید این انرژی‌های ناخواسته دانست [۲].

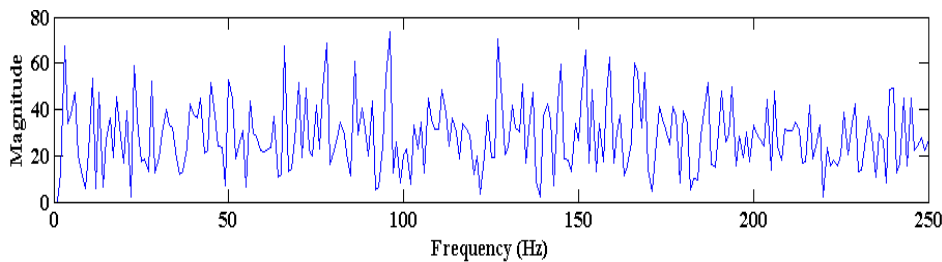
برای بررسی خصوصیات نوفه تصادفی در شکل ۲-۵ الف یک سری زمانی تصادفی با نرخ نمونه برداری ۲ میلی‌ثانیه و میانگین صفر تولید شده است. دامنه‌ها در این شکل نرمال به ۱ شده‌اند. این سری زمانی می‌تواند معرف یک نوفه تصادفی باشد.

در بخش شکل ۲-۵ ب طیف دامنه این سری زمانی محاسبه شده است. نکته حائز اهمیت در این شکل این است که در تمام فرکانس‌ها مقدار دامنه موجود و تقریباً یکسان است. به عبارت دیگر فرکانس‌ها برتری خاصی نسبت به یکدیگر ندارند. با توجه به تعریف تصادفی بودن سری زمانی تولید

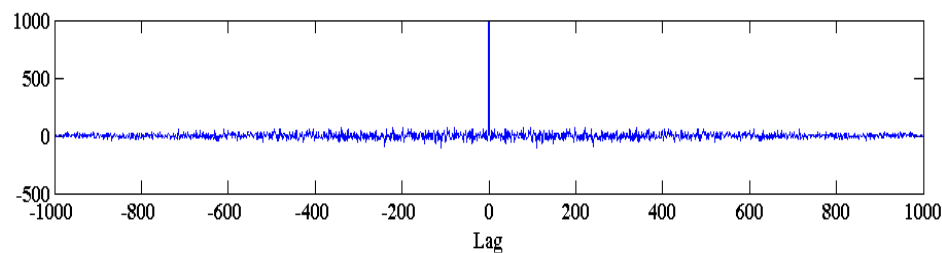
شده، انتظار می‌رود که خودهمبستگی^۱ این سری زمانی در تاخیر صفر مقدار بیشینه و در دیگر تاخیرها مقدار صفر داشته باشد. خودهمبستگی سری زمانی تصادفی تولید شده در شکل ۲-۵ ج نشان شده است. همانطور مشاهده می‌شود، در تاخیرهای غیر صفر این مقدار صفر نیست. دلیل این امر این است که نمی‌توان سری کاملاً تصادفی با استفاده از سیستم‌های رایانه‌ای ایجاد کرد. به عبارتی دیگر سیستم‌های رایانه‌ای نیز با یک الگوریتم این سری تصادفی را ایجاد می‌کنند و این امر موجب می‌شود، سری زمانی حاصل تصادفی مطلق نباشد.



(الف)



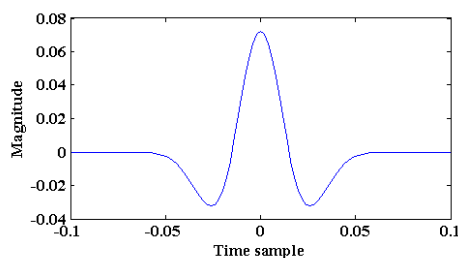
(ب)



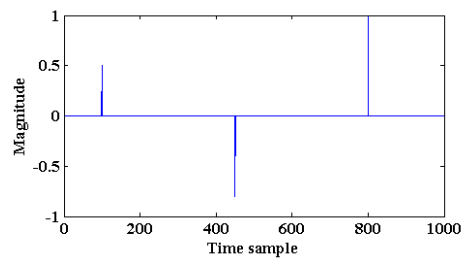
(ج)

شکل ۲-۵: (الف) سری زمانی تصادفی (ب) طیف دامنه سری تصادفی (ج) خودهمبستگی سری تصادفی.

^۱ Autocorrelation



(ب)



(الف)

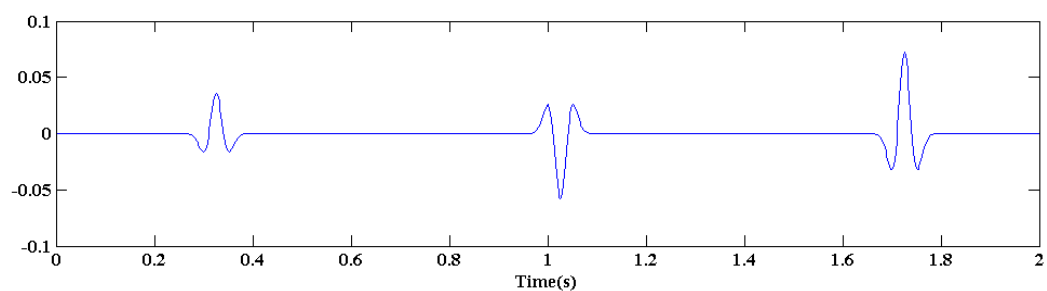
شکل ۶-۲: (الف) ضرایب بازتاب (ب) موجک ریکر با فرکانس غالب ۱۵ هرتز.

برای بررسی بیشتر تاثیر نوفه تصادفی در سیگنال‌های لرزه‌ای، یک سیگنال لرزه‌ای به طول ۲ ثانیه و فاصله نمونه برداری ۲ میلی ثانیه، از هم‌میخت سری بازتاب شکل ۶-۲ با موجک ریکر^۱ شکل ۶-۲ ب، با فرکانس غالب ۱۵ هرتز تولید گردیده است که در شکل ۷-۲ الف نشان داده شده است.

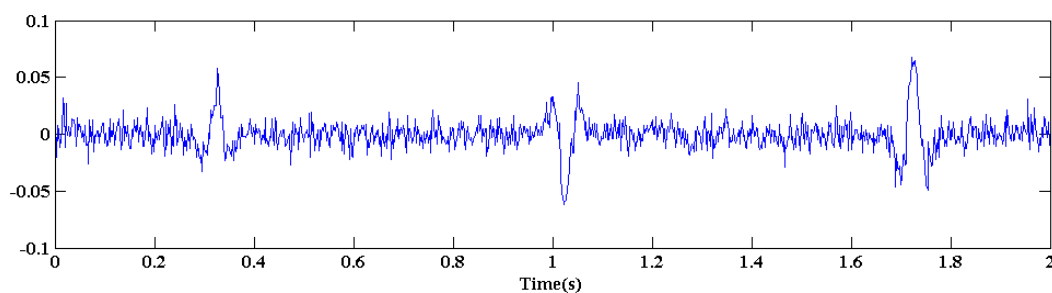
در شکل ۷-۲ ب سیگنال لرزه‌ای آغشته به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی‌بل نشان داده شده است. در شکل ۷-۲ ج و د به ترتیب طیف دامنه ردلرزه مصنوعی بدون نوفه و حاوی نوفه نشان داده شده است. نوفه تصادفی طیف فرکانسی سیگنال را تحت تاثیر قرار می‌دهد که از مقایسه شکل ۷-۲ ج و ۷-۲ د قابل درک است. در طیف دامنه سیگنال پاک، فرکانس‌های بالای ۸۰ هرتز دامنه‌ای ندارند، اما در طیف دامنه سیگنال آلوده، تمام فرکانس‌ها دارای دامنه غیرصفر می‌باشد.

با توجه به اینکه در این پایان‌نامه، هدف تضعیف نوفه تصادفی می‌باشد، چند نمونه از روش‌های متداول تضعیف نوفه تصادفی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طور مختصر معرفی می‌شوند.

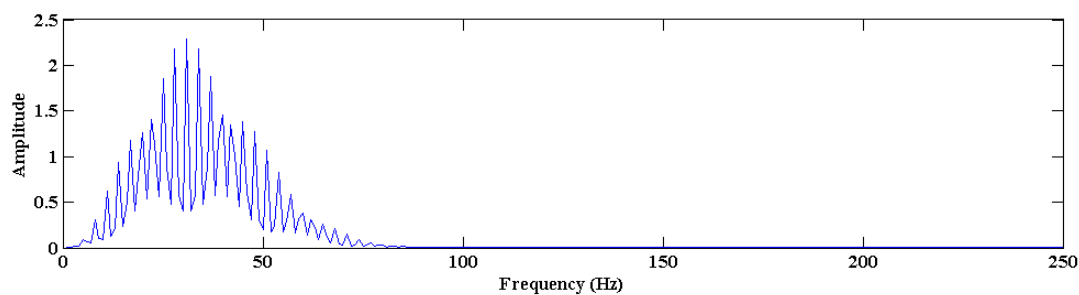
^۱ Ricker



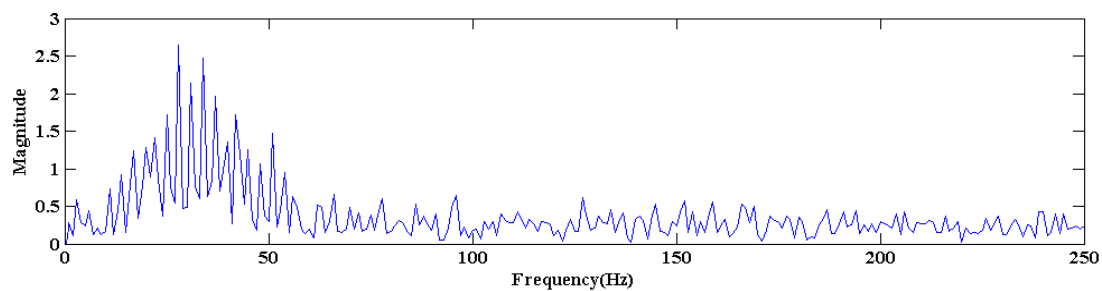
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۲-۷: (الف) سیگنال بدون نوفه (ب) سیگنال آلوده به نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل (ج) طیف دامنه سیگنال بدون نوفه (د) طیف دامنه سیگنال آلوده به نوفه.

۲-۲ روش‌های تضعیف نوفه

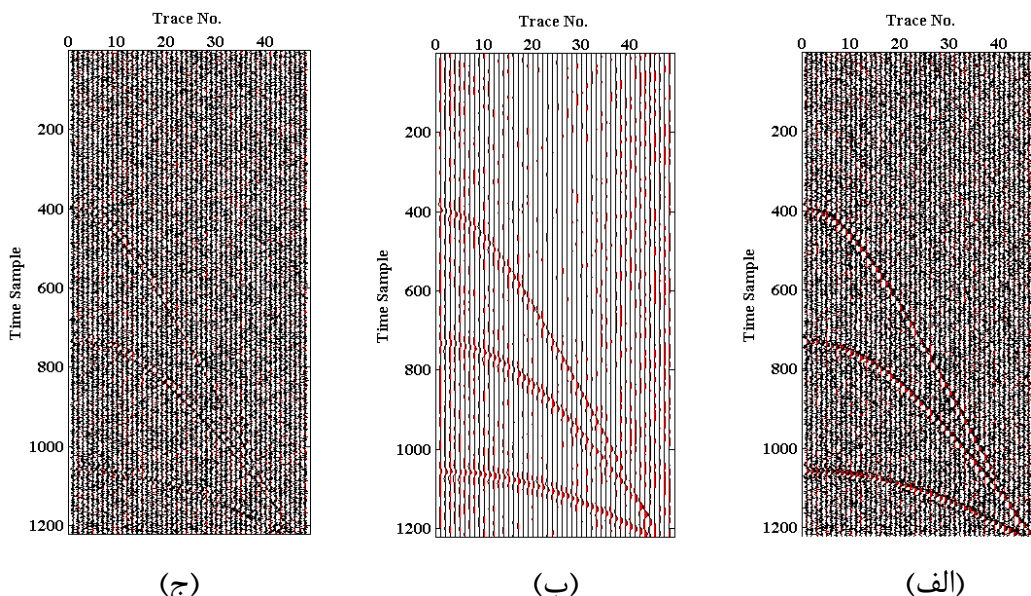
پس از شناخت سیگنال و نوفه در داده‌های لرزه‌ای در این بخش توضیح مختصری در مورد برخی

روش‌های تضعیف نوفه بیان می‌شود. همانطور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، روش‌های تضعیف نوفه را هم قبل از مرحله برانبارش و هم پس از مرحله برانبارش می‌توان اعمال کرد. مناسب‌ترین حالت این است که قبل از برانبارش داده‌ها کاملاً پاکسازی شده باشند تا برای مراحل پردازشی بعد از برانبارش مشکلی ایجاد نشود، اما بخشی از نوفه تصادفی تا مراحل بعد از برانبارش نیز همراه داده‌ها باقی می‌ماند. هرچند که بخشی از آن‌ها در مرحله برانبارش با میانگین‌گیری از ردلرزه‌ها در یک رکورد نقطه میانی مشترک تضعیف می‌شود [۶، ۷] که توسط مین^۱ در سال ۱۹۶۲ معرفی شد و یک روش متداول در پردازش داده‌ها است [۴۰].

یکی از ساده‌ترین راه‌های تضعیف نوفه تصادفی استفاده از فیلترهای فرکانس است. با انتقال داده به حوزه فرکانسی، باند فرکانسی مربوط به نوفه انتخاب و ضرایب مرتبط با آن را صفر می‌کنند. عیب این روش در این است که نوفه تصادفی طبق آنچه در بخش قبل اشاره شد در تمام فرکانس‌ها دارای دامنه می‌باشد، لذا با بخشی از داده‌ها همپوشانی دارد که با حذف آن محدوده مشترک بخشی از داده‌ها از بین خواهند رفت [۲].

در شکل ۲-۸ نتایج اعمال یک فیلتر پایین‌گذر آورده شده است. با اعمال این روش مقدار نسبت سیگنال به نوفه از مقدار ۷- به مقدار ۳ رسیده است. اما به رویدادها آسیب زیادی وارد کرده است و بخش زیادی از داده نیز به عنوان نوفه تضعیف شده است.

^۱ Mayne



شکل ۲-۸: نتایج فیلتر پایین گذر باترورث^۱ (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف بین داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده.

از دیگر روش‌های ساده برای تضعیف نوفه فرکانس بالا، فیلترهای هموارساز هستند که فیلتر میانه نمونه‌ای از این دسته است. در این روش مقادیر درایه‌های درون پنجره متحرک با ابعاد فرد، به صورت صعودی مرتب شده و عنصر میانه اعداد مرتب‌شده انتخاب و جایگزین مقدار پیکسل مرکزی می‌شود (شکل ۲-۹). این کار، موجب کاهش نوفه‌های فرکانس بالا خواهد شد. این روش ممکن است، جزئیات کوچک‌تر از طول پنجره متحرک را تحت تأثیر قرار دهد [۲۱]. ولی نوع توسعه یافته آن به نام فیلتر میانه چند مرحله‌ای^۲ می‌تواند از آسیب رسیدن به جزئیات داخل پنجره به شیوه بهتری محافظت کند [۴۱].

شکل ۲-۱۰ نتایج اعمال یک فیلتر میانه را بر داده مصنوعی نشان می‌دهد. نسبت سیگنال به نوفه اولیه ۷-دسی بل بوده که پس از اعمال فیلتر به ۴-دسی بل رسیده است. در خروجی فیلتر سعی شده تا بیشترین نسبت سیگنال به نوفه حاصل شود و در عین حال اثری از رویدادها در تفاضل دو داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده مشاهده نگردد.

^۱ Butterworth

^۲ Multistage

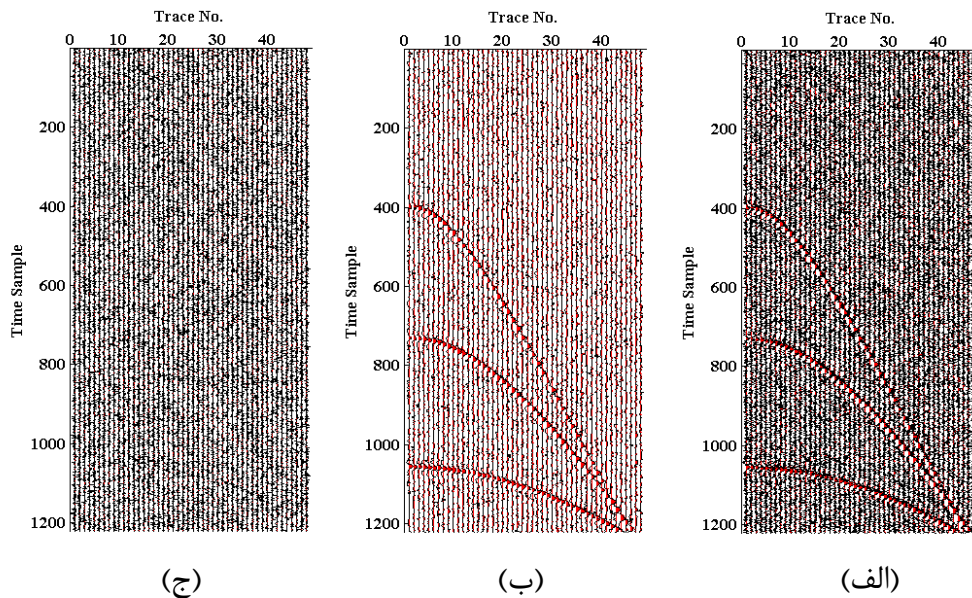
123	125	126	130	140
122	124	126	127	135
118	120	150	125	134
119	115	119	123	133
111	116	110	120	130

مرتب سازی صعودی مقادیر همسایگی ها:

۱۱۵، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۵۰

مقدار میانه : ۱۲۴

شکل ۲-۹: مفهوم روش کار فیلتر میانه [۲۱].



شکل ۲-۱۰: نتایج فیلتر میانه (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف بین داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده.

نمونه دیگری از فیلترهای هموارساز فیلتر میانگین‌گیر غیر محلی است. این الگوریتم توسط بودس^۱ و همکاران [۴۲] معرفی شد. در این روش به جای جایگزین کردن مقدار میانگین یا میانه مقادیر پیکسل‌های یک همسایگی با مقدار پیکسل مرکزی، میانگین وزنی تمام پیکسل‌های درون یک پنجره را جایگزین پیکسل مرکزی می‌کند (رابطه (۲-۱)).

^۱ Buades

(۱-۲)

$$\tilde{x}(i) = \sum_{j \in \alpha} w(i, j)x(j)$$

که در آن \tilde{x} تصویر تضعیف نوفه شده، x تصویر ورودی و w ضرایب وزنی میانگین برای پیکسل‌های موجود در یک همسایگی هستند. این ضرایب وزنی میانگین بر اساس میزان شباهت بین دو پیکسل مرکزی و پیکسل‌های درون همسایگی، توسط یک تابع کاهشی برحسب فاصله وزنی اقلیدسی مطابق رابطه (۲-۲) به دست می‌آید.

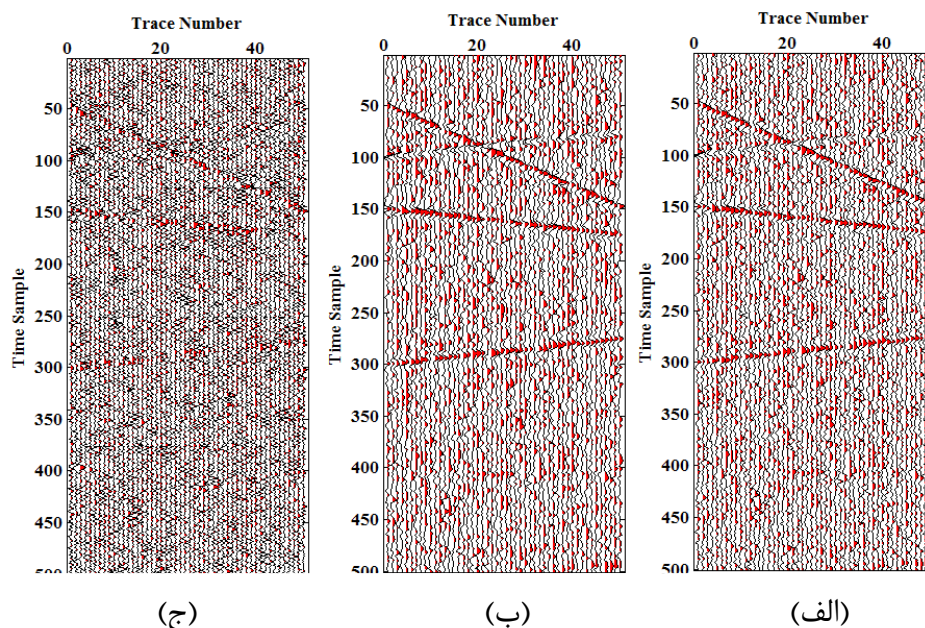
$$w(i, j) = \frac{\exp\left[\frac{-D^2(i, j)}{h^2}\right]}{\sum_j \exp\left[\frac{-D^2(i, j)}{h^2}\right]} \quad (۲-۲)$$

که در آن w ضرایب وزنی برای همسایگی‌های درون یک پنجره و h یک ثابت است که افت نمایی را برحسب فاصله اقلیدسی کنترل می‌کند. $D^2(i, j)$ از رابطه (۳-۲) محاسبه می‌شود [۴۳].

$$D^2(i, j) = \|x(N_i) - x(N_j)\|_{2, \sigma}^2 = \sum_{l \in nl} \{G_\sigma(l) [x(N_i(l)) - x(N_j(l))]\} \quad (۳-۲)$$

در این رابطه G_σ هسته گاوسی با انحراف معیار σ و N_k یک پنجره مربعی شکل با ابعاد ثابت حول پیکسل k ام می‌باشد.

شکل ۱۱-۲ الف داده همراه نوفه، شکل ۱۱-۲ ب خروجی فیلتر میانگین‌گیر غیرمحملی و شکل ۱۱-۲ ج، اختلاف داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده را نشان می‌دهد. این روش نیز همانند سایر روش‌ها به سیگنال اصلی آسیب می‌زند و سیگنال و نوفه را به یک نسبت تقویت می‌کند.



شکل ۱۱-۲: فیلتر میانگین‌گیر غیرمحلی (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده.

گروهی دیگر از روش‌های تضعیف نوفه تصادفی، تحت عنوان روش‌های پیشگو، بر اساس ویژگی قابل پیش‌بینی بودن سیگنال در راستای مکان از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر کار می‌کنند. مثال بارزی از این روش‌ها فیلتر واهمامیخت فرکانس - مکان^۱ است که برای اولین بار توسط کانالز [۴۴] در سال ۱۹۸۴ معرفی شد و بخاطر راحتی اجرا و نتایج مناسب آن در صنعت مورد استقبال قرار گرفت. همچنین فیلتر پیشگوی وینر مختلط^۲ نیز با استفاده از ایده کانالز توسط گولونی^۳ در سال ۱۹۸۶ معرفی گردید [۴۵]. مدل‌های بهبود یافته نیز مثل مدل ARMA^۴ توسط ساچی^۵ و کوهل^۶ [۴۶] و فیلترهای خطای پیشگو^۷ در حوزه $t-x$ توسط ابما^۸ و کلیربات^۹ [۱۴] با استفاده از روش گرادیان

^۱ F-X deconvolution

^۲ Complex wiener

^۳ Gulunay

^۴ Autoregressive moving average

^۵ Sacchi

^۶ Kuehl

^۷ Prediction Error Filter (PEF)

^۸ Abma

^۹ Clearbout

مزدوج^۱ معرفی شدند. فیلتر پیشگوی واهمامیخت فرکانس - مکان، ابزاری مناسب برای تضعیف نوفه تصادفی از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. در این روش با توجه به این که سیگنال در مقایسه با نوفه تصادفی به صورت تابعی از مکان قابل پیش‌بینی است، لذا می‌توان بر پایه تئوری وینر، فیلترهای پیشگوی مختلط طراحی کرد که خروجی آن‌ها بخش قابل پیش‌بینی سیگنال است. بخش غیرقابل پیش‌بینی که به نوعی نوفه تصادفی است را می‌توان با طراحی فیلتری تحت عنوان فیلتر خطای پیش‌گویی، از ضرایب فیلتر پیشگو به دست آورد [۴۴, ۴۷].

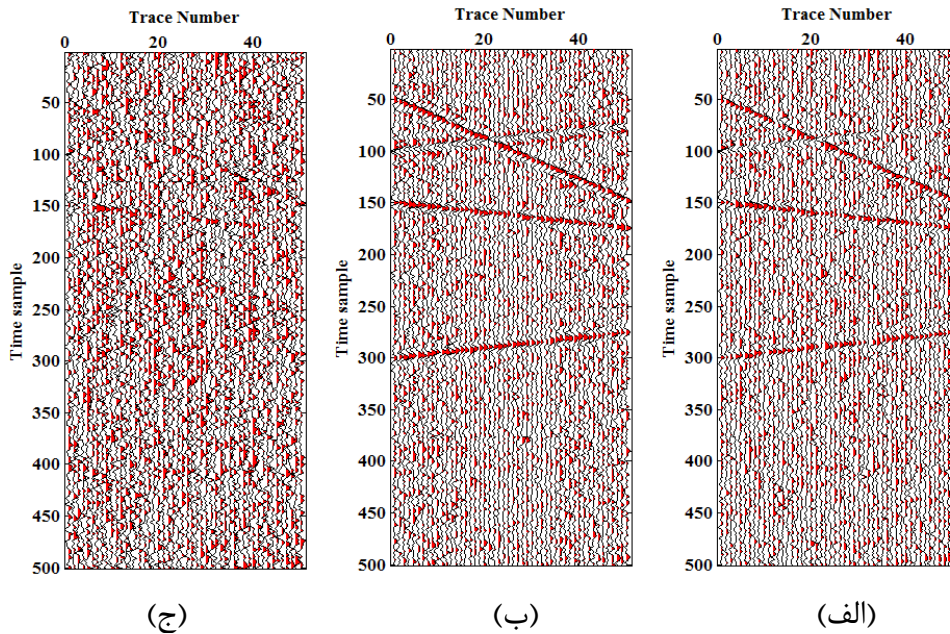
تضعیف نوفه حداکثری و ایجاد کمترین اعوجاج در سیگنال بازیابی شده از مهم‌ترین اهداف در روش‌های تضعیف نوفه است. این روش‌ها در شرایط نوفه کم و متوسط خوب عمل می‌کنند، اما اگر سطح نوفه بالا باشد، اعوجاجاتی در سیگنال بازیابی شده ایجاد خواهد شد و نسبت سیگنال به نوفه بهبود چشم‌گیری نخواهد داشت.

در شکل ۲-۱۲ نتایج اعمال فیلتر پیشگو $f-x$ بهبود یافته با طول ۲۴ آورده شده است. در این روش نکته‌ای که اهمیت دارد این است که سیگنال بایستی در راستای مکان همدوس باشد تا فیلتر بتواند آن را پیش‌بینی کند. هر رویدادی را که این فیلتر پیش‌بینی نکند، به عنوان نوفه در نظر گرفته و تضعیف می‌کند. به دلیل این که این روش بر اساس خاصیت پیش‌بینی در راستای مکان عمل می‌کند، در رویدادهای شیب‌دار دچار مشکل شود. برای غلبه بر این مشکل، داده را به پنجره‌های کوچکتر تقسیم می‌کنند تا رویدادهای شیب‌دار به صورت تقریبی در پنجره قابل پیش‌بینی باشند. سپس برای هر پنجره مراحل زیر انجام می‌شود.

- الف- انتقال داده از حوزه $t-x$ به حوزه $f-x$ با استفاده از تبدیل فوریه.
- ب- اعمال یک فیلتر پیشگوی مختلط در دو جهت مستقیم و معکوس و میانگین‌گیری برای هر فرکانس.
- ج- بازگرداندن داده به حوزه $t-x$ و بدست آوردن داده تضعیف نوفه شده.

^۱ Conjugate Gradient

ایده پنجره‌ای کردن فیلتر واهمامیخت، بهبود قابل توجهی در این روش بخصوص در بازیابی رویدادهای شیب‌دار ایجاد نموده است، اما این روش باز هم در مقابل روش‌های دیگر بهبود کمی در سیگنال بازیابی شده ایجاد می‌کند.



شکل ۲-۱۲: نتایج فیلتر پیشگوی فرکانس- مکان اصلاح شده (الف) داده همراه نوفه (ب) داده تضعیف نوفه شده (ج) اختلاف داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده.

دسته دیگری از روش‌های تضعیف نوفه بر اساس کاهش مرتبه ماتریس داده‌ها کار می‌کنند. این روش‌ها در واقع داده‌ها را به رویدادهای همدوس و ناهمدوس موجود در آن‌ها تجزیه می‌کنند [۱۵]. نمونه‌هایی از این دسته به وفور در پردازش سیگنال در مطالعات ژئوفیزیکی مشاهده می‌شوند.

فریر^۱ و اولریچ^۲ در سال ۱۹۸۸ کاهش مرتبه ماتریس درحوزه زمان - مکان را پیشنهاد دادند که به روش تجزیه ویژه تصویر معروف شد. این روش برای رویدادهای افقی مناسب می‌باشند، اما رویدادهای شیب‌دار را نمی‌تواند بازیابی کند [۴۸]. چيو^۳ و هول^۴ [۴۹] در سال ۲۰۰۸ و کری^۵ و زانگ^۶ [۵۰] در

^۱ Freire

^۲ Ulrych

^۳ Chiu

^۴ Howell

^۵ Zhang

^۶ Cary

سال ۲۰۰۹ از این روش برای تضعیف نوفه زمین‌غلت استفاده کردند. در این روش رویدادهای شیب‌دار با استفاده از تصحیح برون‌راند خطی^۱، به صورت رویدادهای خطی تبدیل می‌شوند و با توجه به این که این روش رویدادهای خطی را به خوبی پیش بینی می‌کند، امواج زمین‌غلت را تخمین زدند و از داده اصلی کم کردند که داده بدون نوفه زمین‌غلت حاصل شد [۴۹].

روش‌های ویژه تصویر و تحلیل مولفه‌های اصلی و تبدیل کارهونن- لوو مرتبط با هم هستند که از روش تجزیه مقادیر تکین برای اجرای آن‌ها استفاده می‌شود. تبدیل کارهونن- لوو که ابتدا توسط میس^۲ و همن^۳ [۵۱] معرفی شد، جونز^۴ و لوی^۵ [۱۷] آن را برای نوفه ناهمدوس و رویدادهای شیب‌دار گسترش دادند. فرض آن‌ها بر این بود که رویدادهای شیب‌دار کم عمق که همبستگی در راستای مکان (از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر) دارند، مقدار ویژه بزرگ‌تری در طیف مقادیر ویژه ماتریس کواریانس داده خواهند داشت و رویدادهای با شیب تند و نوفه تصادفی که از همدوسی برخوردارند و مقدار ویژه کمتری نیز دارند. با این فرض، آن‌ها از تبدیل کارهونن- لوو با تاخیر صفر برای تضعیف نوفه استفاده کردند. همچنین آن‌ها تبدیل کارهونن - لوو شیب‌دار^۶ را معرفی کردند [۱۷] که قادر است ماتریس کواریانس را با تاخیر زمانی که توسط شیب رویدادها تعیین می‌شود، بهبود بخشد و کنترل بیشتری روی رویدادهای شیب‌دار داشته باشد. این کار معادل این است که رویدادها را با تصحیح برون‌راند خطی روی خط مرتب کنند و از تبدیل کارهونن- لوو با تاخیر صفر استفاده کنند. مارچیزو^۷ و همکاران [۵۲] و الیحیی^۸ [۱۶] نیز از این روش، جهت بهبود نسبت سیگنال به نوفه بهره‌گرفته‌اند.

^۱ Linear moveout

^۲ Mace

^۳ Hemon

^۴ Jones

^۵ Levy

^۶ Slant - KL Transform

^۷ Marchisio

^۸ Al-Yahya

در روش تبدیل کارهونن- لوو، اگر تعداد n سیگنال ورودی با $x_i(t)$ نمایش داده شود، $\psi_j(t)$ دستگاه داده تبدیل یافته سیگنال باشد و A ماتریس انتقال (تبدیل) در نظر گرفته شود می توان سیگنال ورودی را به صورت ترکیب خطی از مولفه های اساسی آن نوشت. شکل تبدیل به صورت رابطه (۴-۲) است [۱۷].

$$\psi_j(t) = \sum_{i=1}^n a_{i,j} x_i(t) \quad (4-2)$$

$a_{i,j}$ درایه های ماتریس A هستند. سمت چپ رابطه (۴-۲) مولفه های اساسی متعامد سیگنال ورودی هستند. پس وارون تبدیل بالا را می توان به شکل رابطه (۵-۲) نوشت:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n b_{i,j} \psi_j(t) \quad (5-2)$$

که در آن $b_{i,j}$ درایه های وارون ماتریس انتقال، B (تبدیل وارون) هستند. با به کارگیری تعداد معینی از مولفه های اساسی بدست آمده در رابطه (۴-۲) می توان به طور تقریبی سیگنال اولیه را توسط رابطه (۵-۲) به گونه ای با استفاده از مولفه های اساسی سیگنال بازیابی کرد که رویدادهای تصادفی در ساخت سیگنال اصلی کمترین دخالت را داشته باشند.

$$\tilde{x}_i(t) = \sum_{j=1}^m b_{i,j} \psi_j(t) \quad (6-2)$$

m تعداد مولفه های اساسی مورد استفاده است و $\tilde{x}_i(t)$ سیگنال تضعیف نوفه شده است.

تریکت^۱ در سال ۲۰۰۳ فیلتر تصویرویژه را در حوزه f-xy پیشنهاد داد که نتایجی با کیفیت نسبتاً پایینی داشت. همچنین الگوریتم کادزو را برای تضعیف داده های تصادفی در یک مقطع ۲ بعدی معرفی کرد [۵۳، ۱۰].

تبدیلات زمان- فرکانس از دیگر ابزار ریاضی محبوبی هستند که جایگاه ویژه ای در تحلیل و

^۱ Trickett

بررسی سیگنال‌ها بخصوص سیگنال‌های ناپایا یافته‌اند. در مرور زمان انواع مختلفی از آن‌ها همانند تبدیل فوریه زمان کوتاه [۵۴]، توزیع ویگنروایل [۵۵]، تبدیل S [۵۶] و تبدیل موجک [۵۷] معرفی شده‌اند. این ابزار امکان مشاهده هم‌زمان اطلاعات زمانی و فرکانسی را در غالب نمایش زمان - فرکانس فراهم می‌کنند. به دلیل ماهیت ناپایا بودن سیگنال لرزه‌ای، تبدیل‌های زمان - فرکانس در لرزه‌شناسی نیز کاربرد فراوانی دارند. یکی از کاربردهای این تبدیلات در زمینه تضعیف نوفه در داده‌های لرزه‌ای است. فیلتر نقطه بیشینه زمان - فرکانس نمونه‌ای موفق از کاربردهای این تبدیل‌ها است که توسط بوآشاش^۱ و مصباح [۵۸] معرفی شد. بر اساس این روش، بررسی یک سیگنال با دامنه ثابت و فرکانس لحظه‌ای چند جمله‌ای با توزیع ویگنر - وایل یک نمایش زمان - فرکانسی را تولید می‌کند که تمرکز اصلی انرژی حول فرکانس لحظه‌ای سیگنال است [۵۸]، بنابراین یک ردلرزه که مجموع ردلرزه بدون نوفه و نوفه است، در طی چند مرحله که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود، سیگنال بدون نوفه بازسازی می‌شود. مرحله اول سیگنال توسط رابطه (۷-۲) مقیاس می‌شود.

$$s_{sc}(t) = (a-b) \frac{s(t) - \min(s(t))}{[\max(s(t)) - \min(s(t))]} + b \quad (7-2)$$

که $s_{sc}(t)$ سیگنال مقیاس‌شده ورودی الگوریتم و $0 \leq \min(s(t)) = b < \max(s(t)) = a \leq 0.5$ است. مرحله دوم ردلرزه طبق رابطه (۸-۲) به یک سیگنال تحلیلی کدگذاری می‌شود.

$$z(t) = e^{i 2\pi \mu \int_0^t s(\lambda) d\lambda} \quad (8-2)$$

در این جا $z(t)$ سیگنال تحلیلی و μ پارامتر مقیاس است [۵۹]. در مرحله سوم نوبت به تخمین فرکانس لحظه‌ای سیگنال کدگذاری شده با روش انتخاب نقطه بیشینه در نمایش زمان - فرکانس و محاسبه سیگنال بازیابی شده از رابطه (۹-۲) می‌رسد.

$$\bar{x}(t) = \frac{\arg_f \max [TFR_z(t, f)]}{\mu} \quad (9-2)$$

که در آن $\bar{x}(t)$ سیگنال بازیابی شده است. در مرحله چهارم نیز مقیاسی که برای سیگنال در ورودی

^۱ Buashash

الگوریتم در نظر گرفته شده، حذف می‌گردد.

$$\bar{x}_{usc}(t) = \frac{(\bar{x}_{sc}(t))[\max(s(t)) - \min(s(t))]}{a-b} + \min(s(t)) \quad (10-2)$$

\bar{x}_{sc} خروجی الگوریتم قبل از حذف مقیاس، \bar{x}_{usc} خروجی پس از حذف مقیاس می‌باشد. این الگوریتم را می‌توان تا زمانی که نسبت سیگنال به نوفه به مقدار دلخواه حاصل شود، تکرار کرد [۶۰]. در روش فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس اگر تغییرات فرکانس لحظه‌ای تابعی خطی از زمان یا ثابت باشد، این روش بخوبی قادر به بازیابی سیگنال می‌باشد اما اگر تغییرات فرکانس لحظه‌ای غیرخطی باشد در تخمین نقاط بیشینه فرکانس لحظه‌ای دچار مشکل می‌شود. برای رفع این مشکل استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل که نوع پنجره‌ای شده توزیع ویگنر-وایل است، پیشنهاد شد. در این روش طول پنجره به گونه‌ای انتخاب می‌شود که فرکانس لحظه‌ای در پنجره ثابت یا خطی بماند. لین و همکاران [۶۱] طول پنجره را از رابطه (۱۱-۲) محاسبه کردند.

$$window\ length \leq \frac{0.348f_s}{f_d} \quad (11-2)$$

که در آن f_s فرکانس نمونه برداری f_d فرکانس غالب می‌باشد.

فصل سوم: فیلترهای انتشار

۱-۳ مقدمه

انتشار، یک پدیده فیزیکی است که در پی آن تمرکز یک کمیت فیزیکی مانند انرژی یا جرم در یک محیط به تعادل می‌رسد بدون آن که آن کمیت تولید شود یا از بین برود که در واقع بر پایه قانون پایستگی انرژی یا جرم بنا شده است. قانون فیک^۱ پدیده انتشار را از نقطه نظر آماری در محیط‌های پیوسته، با تعریف کمیتی به نام ضریب انتشار^۲ بررسی می‌کند [۶۲]. ضریب انتشار می‌تواند عددی ثابت باشد که در این حالت تحت عنوان ثابت انتشار^۳ و یا به صورت تابع تعریف شود که از آن به عنوان تابع انتشار^۴ یاد می‌شود [۳۴].

$$j = w \nabla u \quad (۱-۳)$$

که در آن j شار کمیت فیزیکی^۵، w ضریب انتشار و ∇u اختلاف تمرکز کمیت فیزیکی است. طبق این قانون، اختلاف تمرکز کمیت فیزیکی است که می‌تواند جرم، دما و یا حتی مقدار شدت روشنایی در هر پیکسل در تصاویر باشد؛ باعث به وجود آمدن جریانی می‌شود تا این اختلاف جبران شود و سرعت و مقدار این فرآیند با متغیری به نام ضریب انتشار تعیین می‌شود. در حالت کلی معادله انتشار به صورت زیر نوشته می‌شود [۳۴]:

$$\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial t} = \nabla \cdot (w(x, y, t)) \nabla u(x, y, t) \quad (۲-۳)$$

$$u(x, y, t)_{t=0} = u_0(x, y)$$

که در آن t زمان انتشار، ∇ نمایانگر عملگر دیورژانس و w تابع یا ثابت انتشار است. u_0 توزیع کمیت فیزیکی در زمان صفر و u توزیع کمیت فیزیکی بعد از گذشت زمان انتشار t است. در این پایان‌نامه، کمیت فیزیکی، شدت روشنایی در هر پیکسل و u_0 تصویر ورودی اولیه یا مقطع لرزه‌ای ورودی و u

^۱ Fick

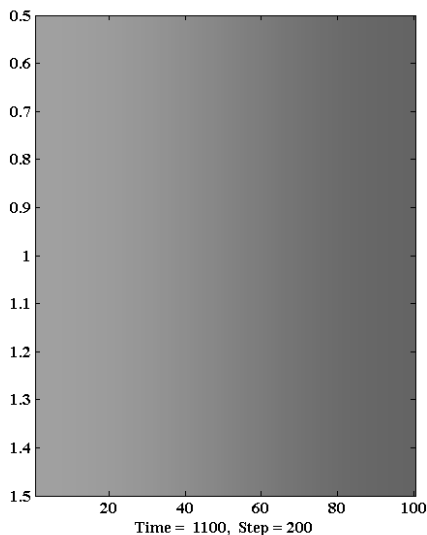
^۲ Diffusion coefficient

^۳ Diffusion Constant

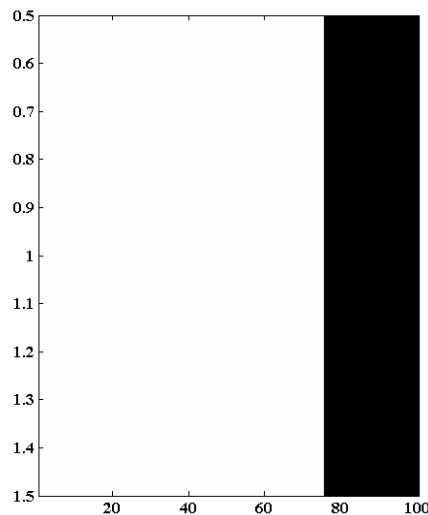
^۴ Diffusivity Function

^۵ Flux

تصویر خروجی یا مقطع لرزه‌ای خروجی بعد از زمان انتشار t می‌باشد. اگر در رابطه (۲-۳) مقدار w برابر ثابت ۱ در نظر گرفته شود، رابطه (۲-۳) به شکل شناخته شده‌ای تحت عنوان معادله گرما تبدیل خواهد شد که ایده اصلی بوجود آمدن فیلترهای خطی انتشار است. شکل ۱-۳ نمای شماتیک حالت ساده‌ای فرآیند انتشار گرما را در یک صفحه نشان می‌دهد. شکل ۱-۳ الف، قبل از برقراری تعادل و شکل ۱-۳ ب، بعد از برقراری تعادل توسط فرآیند انتشار است. بخش تیره در شکل ۱-۳ الف، نماد نقاط با دمای بالا و بخش روشن نماد نقاط با دمای پایین است. اختلاف دما باعث بوجود آمدن فرآیند انتشار برای برقراری تعادل خواهد شد.



(ب)

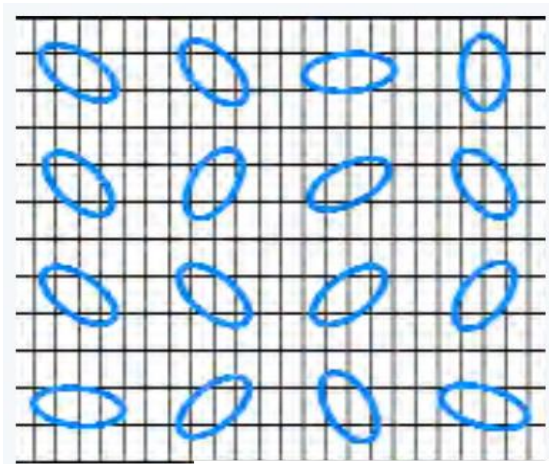


(الف)

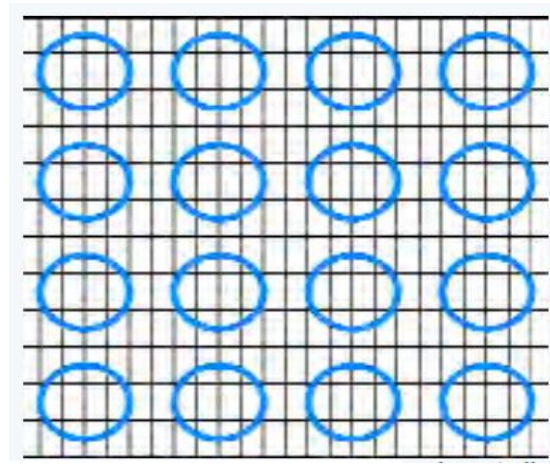
شکل ۱-۳: نمای شماتیک انتشار گرما در یک صفحه، سمت چپ قبل از انجام فرآیند انتشار و سمت راست پس از فرآیند انتشار.

بسته به مقدار ضریب انتشار، حالات مختلفی برای فرآیند انتشار تعیین می‌شود که متناسب با آن فرآیند انتشار به دو دسته مجزا و کلی همسانگرد/ ناهمسانگرد و خطی/ غیرخطی تقسیم‌بندی می‌شود [۶۳]. حالت اول اینکه اگر j با ∇u موازی باشد، فرآیند را همسانگرد و در غیر اینصورت ناهمسانگرد می‌خوانند. در حالت دوم اگر مقدار w ثابت باشد فرآیند خطی و اگر تابعی از ورودی باشد، فرآیند غیر خطی خواهد بود. برای درک شهودی بهتر، به صورت شماتیک انواع حالت‌های ممکن این فرآیند

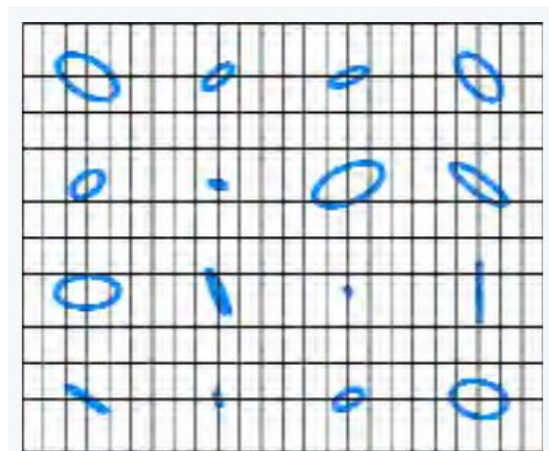
در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. در این شکل تغییر اندازه دایره‌ها نشان دهنده میزان فرآیند انتشار در هر موقعیت مکانی است به این معنی که مقدار انتشار در هر نقطه متغیر خواهد بود و هر مقدار دایره‌ها کشیده‌تر باشند، به این معنی است که جهت انتشار در راستای کشیدگی ارجحیت بیشتری دارد.



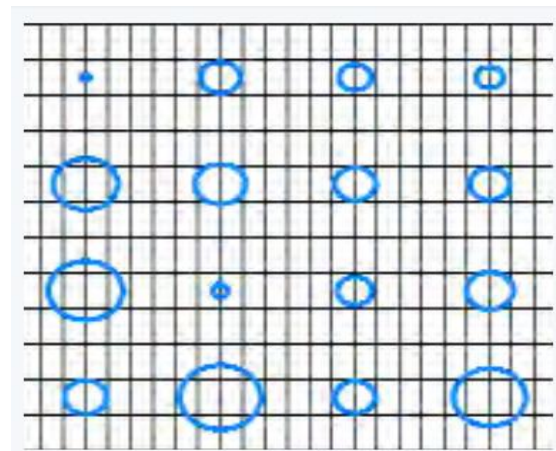
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲-۳: شمای کلی از حالات فرآیند انتشار (الف) انتشار خطی همسانگرد (ب) انتشار خطی ناهمسانگرد (ج) انتشار غیرخطی همسانگرد (د) انتشار غیرخطی ناهمسانگرد [۶۳].

این روابط و مفاهیم در اکثر منابع فیزیک شارها یافت می‌شود [۶۲]. حال باید دید از این مفاهیم فیزیکی چگونه می‌توان در زمینه مورد نظر یعنی تضعیف نوفه تصادفی از داده‌های لرزه‌ای که در حوزه تکنیک‌های پردازش تصویر قرار می‌گیرد، استفاده کرد؟ به عبارت دیگر چگونه می‌توان با استفاده از

خصوصیت این رویداد فیزیکی، فیلتری مناسب برای این منظور طراحی کرد؟

در مرحله اول کافی است جای کمیت تمرکز ماده یا گرما در معادله انتشار، با مقدار شدت روشنایی در هر پیکسل تصویر یا دامنه ردلرزه در هر موقعیت مکانی و زمانی عوض شود. یعنی اینکه به جای گرادیان دما یا جرم، گرادیان شدت در هر موقعیت مکانی در تصویر در نظر گرفته شود. با توجه به این که نوفه تصادفی را می توان نوسانات ناگهانی در نظر گرفت که باعث ایجاد اختلاف شدت روشنایی در هر موقعیت می شوند، با بهره گیری از این فرآیند فیزیکی می توان الگوریتمی طراحی کرد که با هموارسازی این تغییرات به بهبود تصویر و تضعیف نوفه تصادفی کمک کند. همانطور که مشخص است، نتیجه یک برداشت لرزه نگاری اکتشافی در نهایت تصویری از ساختارهای زیر سطحی محل مورد مطالعه خواهد بود. داده های لرزه ای دو بعدی را می توان به عنوان یک تصویر دوبعدی با بافت خطی (لایه لایه) در نظر گرفت. به این صورت که در مناطقی که شدت دامنه بسیار بالاست و همبستگی خاصی با نمونه های اطراف خود ندارد، به عنوان نوفه در نظر گرفته شده و این اختلاف شدت توسط فیلتر انتشار طراحی شده هموارسازی می شود [۳۶].

۳-۱-۱ طبقه بندی فیلترهای انتشار

همان گونه که اشاره شد بر اساس تابع انتشار در رابطه (۳-۲) فیلترهای انتشار دسته بندی می شوند؛ که این کمیت می تواند به شکل اسکالر و یا تانسور باشد. در حالتی که تابع انتشار کمیتی اسکالر باشد، فیلتر طراحی شده همسانگرد است که خود شامل دو گروه خطی و غیرخطی می شود. در حالت خطی هموارسازی در تمام نقاط یکسان است. اما در حالت غیرخطی، مقدار هموارسازی در تمام نقاط یکسان نیست و تابعی از گرادیان تصویر ورودی است. اگر تابع انتشار، کمیتی تانسوری باشد، فیلتر طراحی شده ناهمسانگرد خواهد بود. که در این حالت به دلیل این که تانسور انتشار با استفاده از تانسور ساختاری گرادیان تولید می شود، فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد خواهد شد؛ که در این پایان نامه از فیلتر انتشار مدل اسکالر پرونا و مالیک و مدل تانسوری ویکرت با دو رویکرد بهبود دهنده لبه و بهبود

دهنده همدوسی برای تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌شود [۶۴, ۶۵].

۳-۲ فیلترهای انتشار با تابع انتشار اسکالر

۳-۲-۱ فیلتر انتشار خطی

معادله انتشار خطی که همان معادله گرما است، یکی از قدیمی‌ترین و بهترین زمینه‌های مطالعاتی در حوزه پردازش تصویر با استفاده از معادلات دیفرانسیلی جزئی است. فیلتر کردن معمولا جزو اولین مراحل پردازش تصویر است. یکی از کاربردهای فیلترها، خارج کردن نوفه از تصویر ورودی است. در اکثر مواقع در مسایل ساده (نوفه کم، فلفل نمکی) فیلترهای خطی قادر هستند، نیاز پردازشگر را برآورده کنند، اما در شرایط پیچیده‌تر نیاز به روش‌های قدرتمندتری است [۶۶]. در این روش چون مقدار یکسان در تمام جهات و نقاط برای هموارسازی در نظر می‌گیرد، تصویر خروجی تار خواهد بود. معادله خطی انتشار در حالت خطی را می‌توان به صورت رابطه (۳-۳) نوشت [۶۷]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\nabla u) = \nabla^2 u \quad (3-3)$$

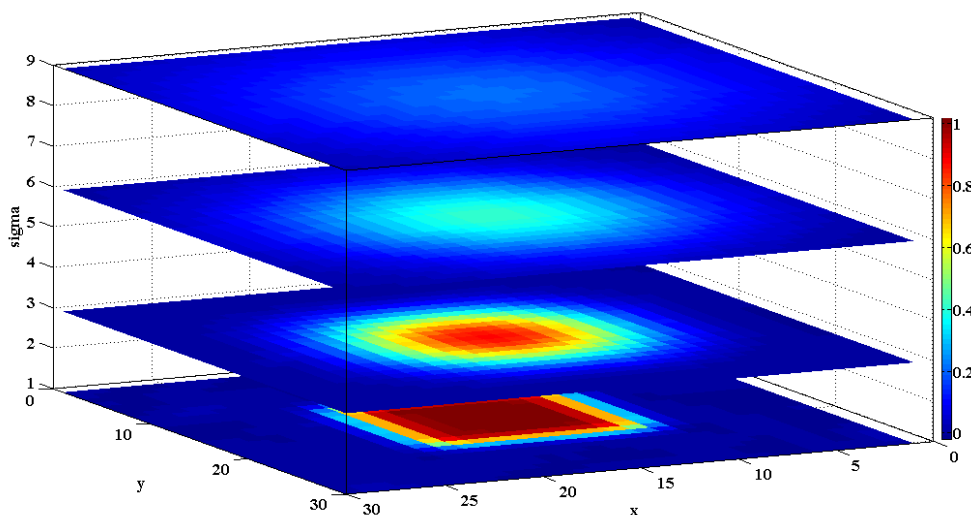
که در آن t زمان انتشار، ∇ عملگر دیورژانس و u شدت روشنایی تصویر است که تابعی از مکان پیکسل‌ها می‌باشد. بنابراین می‌توان رابطه (۳-۳) را به شکل رابطه (۴-۳) باز نویسی کرد [۶۶]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (4-3)$$

فرآیند انتشار رابطه (۴-۳) یک فرآیند چرخشی می‌باشد؛ به عبارت دیگر در هر مرحله، خروجی مرحله قبل به عنوان ورودی به الگوریتم وارد می‌شود. مدت زمان یا تعداد تکرار این فرآیند با پارامتری به نام زمان انتشار تعیین می‌شود. در این فرآیند همان گونه که انتظار می‌رود، هموارسازی به جهت و موقعیت پیکسل‌ها حساسیت ندارد، به این معنی که هموارسازی در تمام نقاط و جهات به یک نسبت اعمال خواهد شد.

اگر $u_0(x)$ بعنوان ورودی فیلتر وارد شود، در طی یک فرایند هموارسازی خروجی $u(x)$ حاصل خواهد شد که نمایش مکان-مقیاس^۱ از تصویر ورودی نیز خوانده می‌شود.

برای توضیح مفهوم نمایش مکان-مقیاس، یک تصویر مفروض است که با یک فیلتر پایین‌گذر گاوسی با انحراف معیارهای σ متفاوت هموار شده است. نمایش مکان-مقیاس یک نمایش در فضای سه بعدی است که علاوه بر ابعاد تصویر، یک بعد دیگر که همان σ است اضافه می‌شود [۶۸]. هر مقدار از مقیاس درشت^۲ به سمت مقیاس ریز^۳ پیش رود ساختارها از بین خواهند رفت. منظور حرکت از مقیاس درشت به مقیاس ریز، در این جا روند هموارسازی است؛ یعنی هر مقدار تصویر بیشتر هموارسازی شود مقیاس نرم‌تر خواهد داشت.



شکل ۳-۳: نمایش مکان - مقیاس، محور قائم محور مقیاس می‌باشد.

به جای حل معادله انتشار، می‌توان تصویر را در یک هسته^۴ گاوسی با انحراف از معیار σ همامیخت کرد. به عبارت دیگر حل معادله انتشار هم ارز با همامیخت تصویر ورودی با یک هسته گاوسی با انحراف معیار σ است [۶۹]. هسته گاوسی در حالت یک بعدی در رابطه (۳-۵) و (۳-۶)

^۱ Space - Scale

^۲ Coarse

^۳ Fine

^۴ Kernel

و شکل دو بعدی آن در رابطه (۷-۳) و (۸-۳) نشان داده شده است.

$$K_{\sigma} = 1 / 2\pi\sigma^2 * \exp\left(-(|x|^2) / 2\sigma^2\right) \quad (۵-۳)$$

$$\sigma = \sqrt{2t}$$

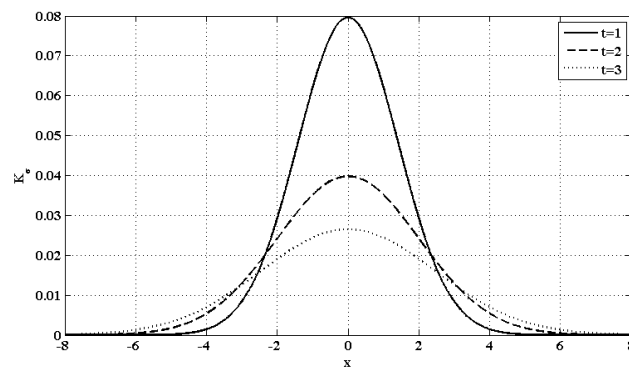
$$u(x, t) = k \sqrt{2t}(x) * f(x) \quad (۶-۳)$$

$$K_{\sigma} = 1 / 2\pi\sigma^2 * \exp\left(-(|x|^2 + |y|^2) / 2\sigma^2\right) \quad (۷-۳)$$

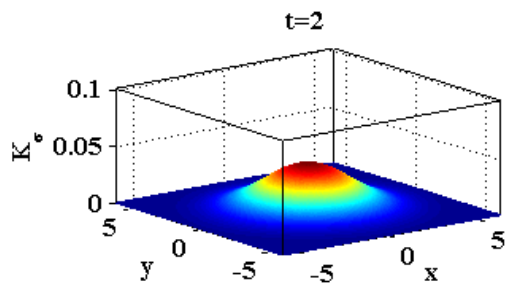
$$\sigma = \sqrt{2t}$$

$$u(x, y, t) = k \sqrt{2t}(x, y) * f(x, y) \quad (۸-۳)$$

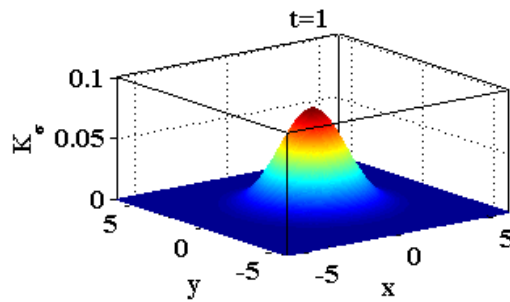
براین اساس فیلتر خطی را می‌توان نوعی فیلتر پایین گذر دانست، ارتباط بین انحراف معیار هسته گاوسی با زمان انتشار، نشان دهنده این است که هرچه زمان انتشار، افزایش یابد مقدار انحراف معیار افزایش خواهد یافت و در نتیجه هموارسازی بیشتری روی تصویر اعمال خواهد شد این موضوع در شکل ۳-۴ برای حالت هسته یک بعدی و شکل ۳-۵ برای حالت هسته دو بعدی قابل مشاهده می‌باشد.



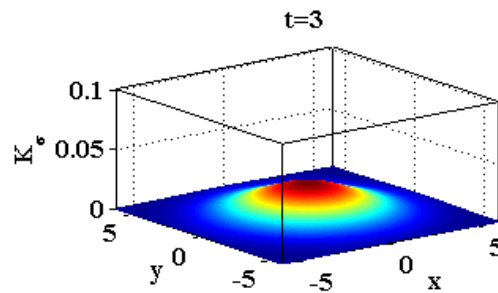
شکل ۳-۴: رابطه زمان انتشار با مقدار هموارسازی هسته گاوسی.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۳-۵: رابطه زمان انتشار با مقدار هموارسازی هسته گاوسی در حالت دو بعدی (الف) در زمان انتشار $t=1$ (ب) زمان انتشار $t=2$ (ج) در زمان انتشار $t=3$.

اما برای حل معادله انتشار خطی، به دلیل اینکه حل تحلیلی معادلات دیفرانسیل جزئی در سیستم‌های رایانه‌ای قابل انجام نیست، لذا باید برای حل معادلات، آن‌ها را به شیوه‌ی تفاضل محدود گسسته سازی کرد که روش تفاضل مرکزی^۱ معمول است [۶۶].

$$\frac{\partial^2 u_{(i,j)}}{\partial x^2} \approx \frac{u_{(i+h_x,j)} - 2u_{(i,j)} + u_{(i-h_x,j)}}{h_x^2} \quad (9-3)$$

$$\frac{\partial^2 u_{(i,j)}}{\partial y^2} \approx \frac{u_{(i,h_y)} - 2u_{(i,j)} + u_{(i-h_y,j)}}{h_y^2}$$

که در آن مقادیر h_x و h_y گام گسسته سازی هستند و معمولاً ۱ در نظر گرفته می‌شوند تا گسسته‌سازی روی یک شبکه منظم انجام شود. در نتیجه رابطه (۳-۴) به صورت رابطه (۳-۱۰) تبدیل خواهد شد [۶۶].

^۱ Central Differences

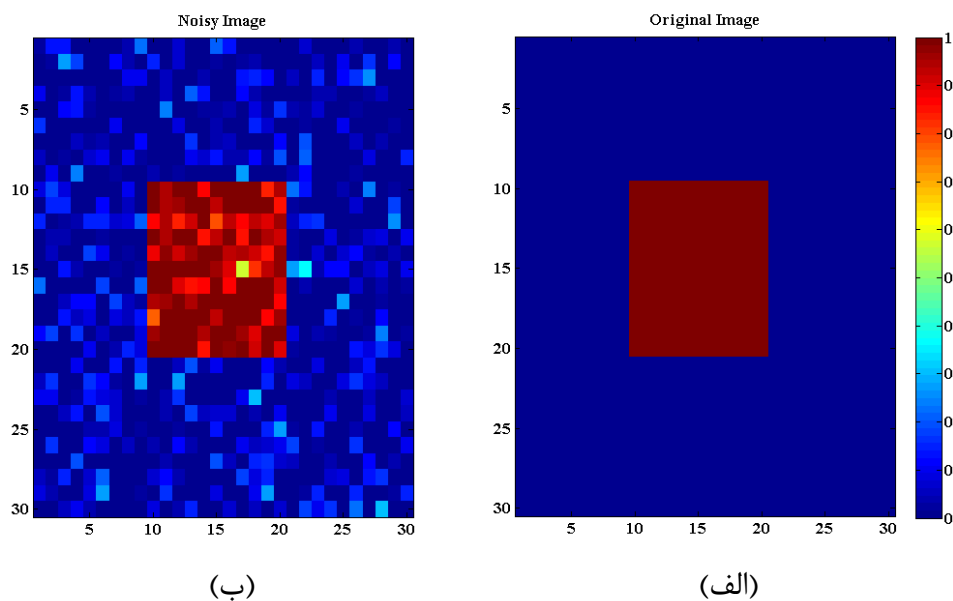
$$\frac{du_{i,j}}{dt} = u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1} - 4u_{i,j} \quad (10-3)$$

برای حل معادله بالا با بهره‌گیری از گسسته‌سازی صریح زمان می‌توان نوشت [۶۶].

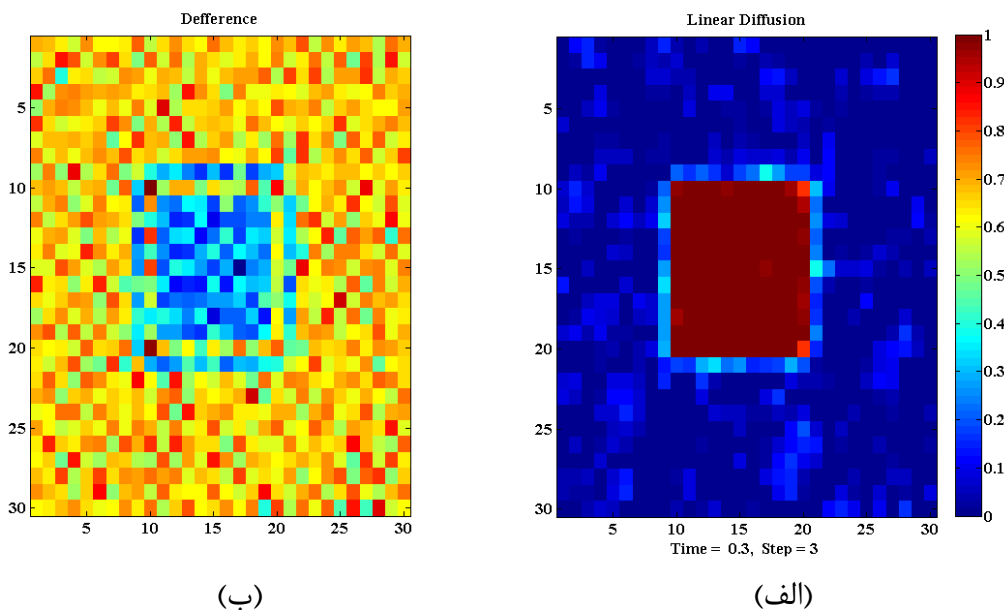
$$\frac{u_{i,j}^{k+1} - u_{i,j}^k}{\Delta t} = u_{i+1,j}^k + u_{i-1,j}^k + u_{i,j+1}^k + u_{i,j-1}^k - 4u_{i,j}^k \quad (11-3)$$

که در آن Δt گام زمانی و $u_{i,j}^{k+1}$ تصویر بازیابی شده بعد از چندین مرتبه تکرار است. برای پایداری بیشتر مسئله باید گام زمانی کمتر یا مساوی 0.25 باشد [۶۶].

برای بررسی بیشتر، این روش بر روی تصویر شکل ۳-۶ با گام زمانی 0.1 و تعداد تکرار ۳ مرحله اجرا شد. همانطور که از شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود، این روش هموارسازی مناسبی انجام می‌دهد، اما به دلیل اینکه هموارسازی در تمام جهات به مقدار یکسانی رخ می‌دهد، جزئیات تصویر همانند لبه‌ها حفظ نمی‌گردند و تصویری تار و مات به دست می‌آید. همچنین بهبود زیادی در نسبت سیگنال به نوفه حاصل نمی‌شود به همین خاطر این روش برای تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای مورد استقبال قرار نگرفت و مطالعات و تحقیقات به سمت فیلترهای غیرخطی معطوف گردید.



شکل ۳-۶: (الف) تصویر دو بعدی بدون نوفه (ب) تصویر آغشته به نوفه با $SNR=10$ db.



شکل ۳-۷: نتایج فیلتر انتشار خطی بر روی داده مصنوعی (الف) داده تضعیف نوفه شده با $SNR=10\text{ db}$ (ب) اختلاف تصویر آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده.

۲-۲-۳ فیلترهای غیرخطی

همان گونه که در بخش اول این فصل بیان شد، مفهوم خطی و غیرخطی بودن فیلتر مورد بحث وابسته به ثابت انتشار است. اگر ضریب انتشار عدد ثابت باشد، به دلیل اینکه فرایند مستقل از تصویر ورودی است، فیلتر طراحی شده فیلتر خطی خواهد بود. اگر ثابت انتشار یک کمیت وابسته به تصویر ورودی در نظر گرفته شود، فیلتر طراحی شده فیلتر غیرخطی خواهد بود.

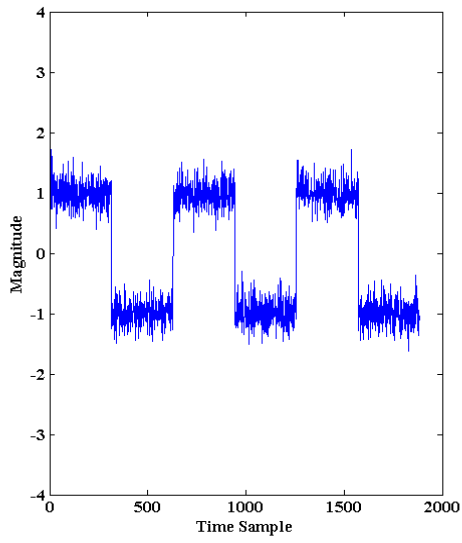
مشکل نوع فیلتر خطی در تار و مات شدن تصویر و از دست رفتن جزئیات به دلیل هموارسازی یکسان در تمام مناطق است که ایده اصلی طراحی فیلترهای غیرخطی، غلبه بر این مشکل و حفظ بیشتر لبه‌ها و جزئیات بود. برای درک بهتر عملکرد فیلترهای خطی و غیرخطی، مثال یک بعدی از اجرای این الگوریتم‌ها بررسی می‌شود.

برای این منظور یک موج مربعی در نرم افزار MATLAB ایجاد شد که در شکل ۳-۸ الف نشان داده شده است. شکل ۳-۸ ب سیگنال آلوده شده به نوفه سفید گاوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۱۳ دسی‌بل می‌باشد. شکل ۳-۸ ج و د به ترتیب سیگنال بازیابی شده توسط روش خطی و غیرخطی را

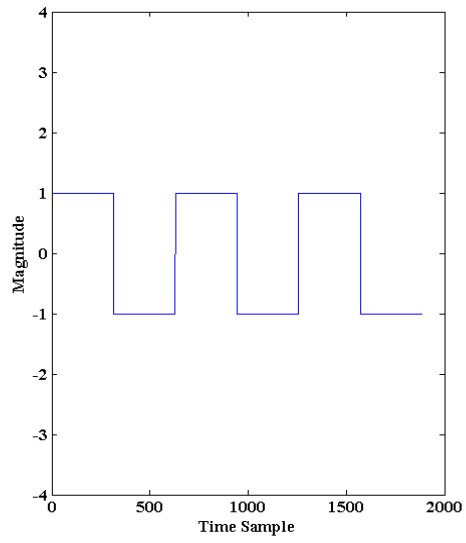
نشان می‌دهد. شکل ۹-۳ الف سیگنال اصلی بدون نوفه و دو سیگنال بازیابی شده به روش خطی و غیرخطی را روی یک شکل برای نمایش و مقایسه بهتر نشان می‌دهد و در شکل ۹-۳ قسمت ب خطای بازیابی به دو روش خطی و غیرخطی رسم شده‌اند. در روش خطی لبه‌ها از بین رفته‌اند، اما در روش غیرخطی لبه‌ها با کیفیت بسیار خوبی حفظ شده‌اند. همان طور که در شکل ۹-۳ الف و ب قابل مشاهده است، فیلتر غیرخطی قابلیت بسیار خوبی برای حفظ لبه‌ها و بازیابی سیگنال پاک دارد.

برای اجرای الگوریتم خطی مقدار گام زمانی برابر ۱ و تعداد تکرار ۳۵۰ و برای الگوریتم غیرخطی مقدار پارامتر آستانه گرادیان برابر با ۰/۱۹ و تعداد تکرار ۱۰۰ مرتبه و تابع غیرخطی پرونا و مالیک رابطه (۱۲-۳) استفاده شده است.

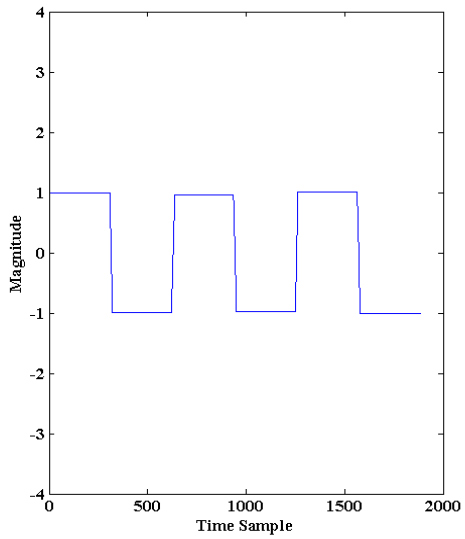
شکل ۱۰-۳ نتیجه اجرای فیلتر غیرخطی انتشار را بر روی تصویر نمونه شکل ۶-۳ نشان می‌دهد. در این روش نسبت سیگنال به نوفه از مقدار ۱۰ به ۲۲ افزایش یافته است و لبه‌ها کاملاً حفظ شده‌اند. قدرت افزایش نسبت سیگنال به نوفه و حفظ لبه، در نوع غیرخطی فیلتر انتشار در مقایسه با نوع خطی آن بسیار قابل تامل است، که به نظر می‌آید برای تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای مناسب باشد.



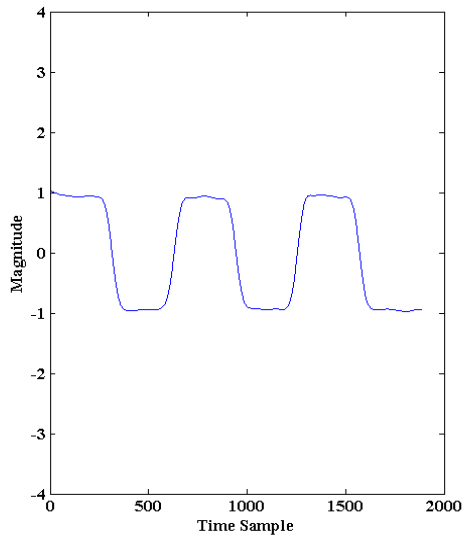
(ب)



(الف)

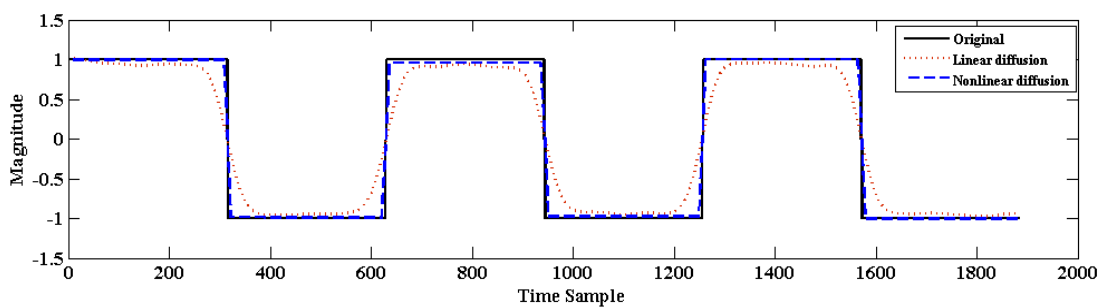


(د)

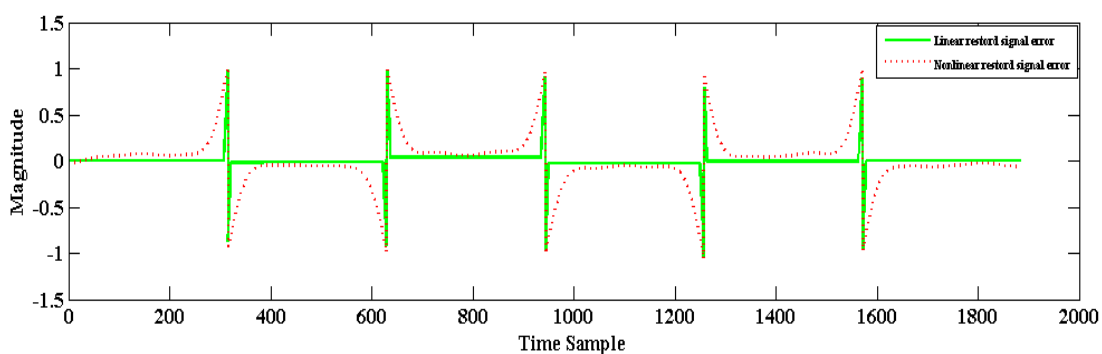


(ج)

شکل ۳-۸: (الف) سیگنال اصلی (ب) سیگنال تخریب شده با نوفه گاوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۱۳ دسی بل (ج) سیگنال بازیابی شده به روش خطی (د) سیگنال بازیابی شده به روش غیرخطی.

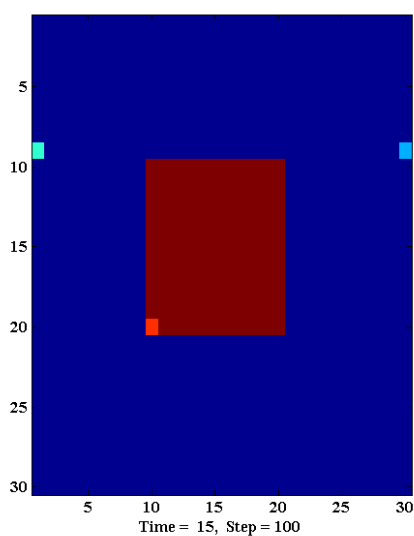
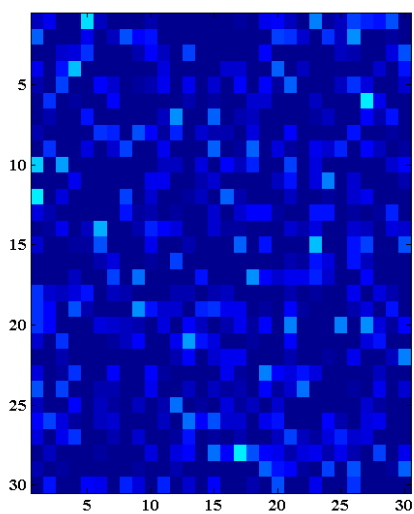


(الف)



(ب)

شکل ۳-۹: (الف) منحنی خط صاف سیگنال اصلی، منحنی خط چین سیگنال بازیابی شده توسط فیلتر انتشار غیرخطی و منحنی نقطه چین سیگنال بازیابی شده توسط فیلتر انتشار خطی (ب) منحنی خط صاف خطای بازیابی روش غیرخطی و منحنی نقطه چین خطای بازیابی روش خطی.



شکل ۳-۱۰: (الف) تصویر تضعیف نوفه شده با $SNR = 22\text{db}$ (ب) اختلاف داده تضعیف نوفه شده و داده آغشته به نوفه.

۳-۲-۳ مدل پرونا و مالیک

برای اولین بار در زمینه فیلترهای غیرخطی انتشار، پرونا و مالیک در سال ۱۹۸۷ دو تابع افزایشی رابطه (۱۲-۳) و (۱۳-۳) که تابعی از گرادیان‌های تصویر است را معرفی کردند [۶۴].

$$w_1(x, y, t) = e^{-(\nabla u / \eta)^2} \quad (12-3)$$

$$w_2(x, y, t) = 1 / (1 + (\nabla u / \eta)^2) \quad (13-3)$$

که در آن η ثابت انتشار است که وظیفه کنترل مقدار هموارسازی را برعهده دارد [۷۰].

علاوه بر این دو تابع، توابع دیگری نیز برای تابع انتشار از قبیل تابع توکی^۱ معرفی شده‌اند که در

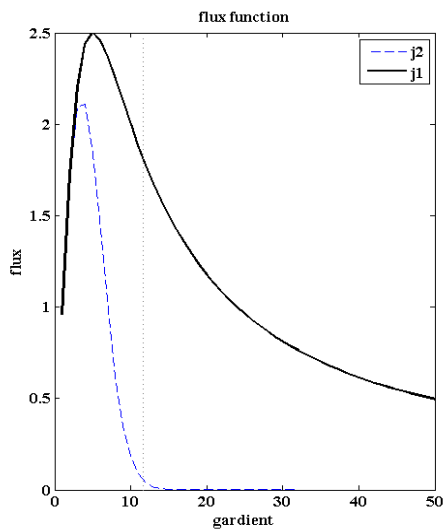
رابطه (۱۴-۳) آمده است [۳۴].

$$w_3(x, y, t) = \begin{cases} 1/2 * [1 - (\nabla u / \eta)^2] & \nabla u \leq \eta \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (14-3)$$

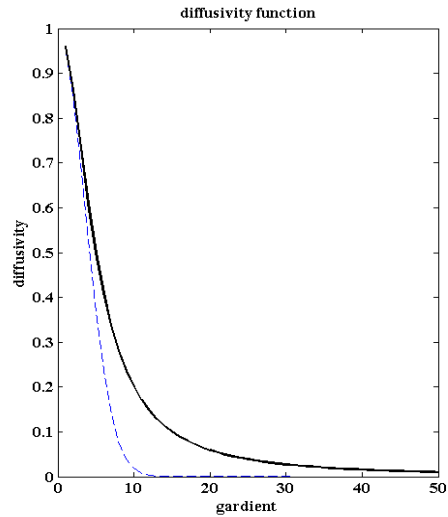
که در آن η پارامتر آستانه است. در این روش مقدار هموارسازی بر اساس مقدار گرادیان‌های محلی اعمال می‌شود که یک تابع غیر خطی است [۳۴].

در حالت خطی، تابع انتشار به صورت کاملاً صعودی است و شار حاصل از آن نیز به تبع آن صعودی خواهد بود و در نتیجه هموارسازی غیرقابل کنترل می‌باشد و لبه‌ها از بین می‌روند، اما در نوع غیرخطی در محل لبه‌ها، شار ایجاد شده تابعی کاهشی خواهد بود و به حفظ لبه‌ها و کیفیت تصویر می‌انجامد. در شکل ۳-۱۱ و شکل ۳-۱۲ این موضوع مشاهده می‌شود.

^۱ Tukey's Biweigh

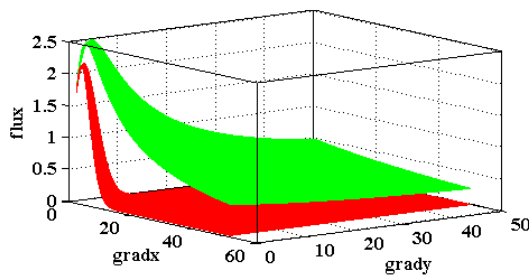


(ب)

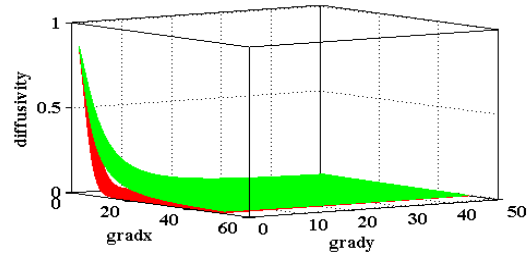


(الف)

شکل ۱۱-۳: تابع انتشار مربوط به (الف) تابع انتشار، منحنی مشکی رابطه (۱۲-۳)، منحنی خط چین رابطه (۱۳-۳) (ب) تابع شار، منحنی مشکی رابطه (۱۲-۳)، منحنی خط چین رابطه (۱۳-۳) می باشد.



(ب)



(الف)

شکل ۱۲-۳: نمای دو بعدی (الف) توابع انتشار و (ب) شار حاصل از آن‌ها در شکل ۱۱-۳، رویه بالایی مربوط به رابطه (۱۰-۳) و رویه زیرین مربوط به رابطه (۱۱-۳).

در شکل ۱۱-۳ الف و ب، توابع انتشار و شار حاصل از آن برای حالت یک بعدی و در شکل ۱۲-۳ برای حالت دوبعدی در فیلتر غیرخطی انتشار رسم شده‌اند. منحنی مشکی مربوط به رابطه (۱۲-۳) و خط چین رنگ مربوط به رابطه (۱۳-۳) است. مقدار پارامتر آستانه η برای رسم این توابع مقدار ۵ انتخاب شده است. دو رابطه پرونا و مالیک رفتاری بسیار شبیه به هم دارند. در شکل ۱۱-۳ الف با افزایش گرادیان از میزان مقدار تابع انتشار کاسته می‌شود. این اتفاق به این معناست که در گرادیان‌های بالا که می‌تواند معیاری برای تعیین لبه در نظر گرفته شود، میزان هموارسازی توسط تابع انتشار کم می‌شود. همانطور که از شکل ۱۱-۳ الف قابل مشاهده است، هر دو تابع، نزولی و دارای

مقداری همواره مثبت هستند. ولی تابع شار آن‌ها در شکل ۳-۱۱ ب که طبق رابطه (۳-۱) حاصل ضرب تابع انتشار در گرادیان شدت است، ابتدا صعودی و بعد در نزدیکی مقدار تعیین شده برای پارامتر آستانه، سیر نزولی با شیب‌های متفاوت دارد. این امر در دو تابع پرونا و مالیک، ناشی از دو رفتار متفاوت فرایند انتشار است. هنگامی که مقدار گرادیان کمتر از پارامتر آستانه گرادیان است، مقدار تمرکز شدت کم می‌شود یا به اصطلاح انتشار مستقیم صورت می‌گیرد و در جایی که مقدار گرادیان بیشتر باشد، فرآیند وارون انتشار رخ می‌دهد که به جبران مقدار شدت می‌انجامد [۶۴]. در نتیجه مرز بین این دو رفتار متفاوت به این پارامتر وابسته است که باعث می‌شود پارامتر آستانه نقش کلیدی داشته باشد، لذا رفتار انتشار وارون هم می‌تواند باعث بهبود لبه‌ها و جزئیات شود و هم باعث تقویت بیش از حد دامنه‌ها و به اصطلاح ناپایداری گردد.

به دلیل این که تصاویر (داده‌های لرزه‌ای) مورد استفاده رقومی هستند، برای اجرای عددی این روش بایستی رابطه (۳-۲) گسسته‌سازی شود و به یکی از روش‌های موجود حل گردد که روش‌های تفاضل محدود در این زمینه محبوب هستند. شکل گسسته معادله انتشار را می‌توان به صورت رابطه (۳-۱۵) نوشت [۶۴].

$$u_q^{t+1} = u_q^t + \sum_{l \in \mathcal{N}_q} w_{q,l}^t \nabla u_{q,l}^t \quad (۳-۱۵)$$

روابط (۳-۱۶) و (۳-۱۷) مقادیر گرادیان شدت و مقدار تابع انتشار در هر پیکسل را از روی پیکسل‌های همسایگی پیکسل مرکزی محاسبه می‌نمایند [۳۴].

$$\begin{aligned}
\nabla u_{q,N}^t &= u_N^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,S}^t &= u_S^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,E}^t &= u_E^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,W}^t &= u_W^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,NE}^t &= u_{NE}^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,NS}^t &= u_{NS}^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,SE}^t &= u_{SE}^t - u_q^t \\
\nabla u_{q,SW}^t &= u_{SW}^t - u_q^t
\end{aligned}
\tag{۱۶-۳}$$

$$\begin{aligned}
w_{q,N}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,N}^t \right| \right) \\
w_{q,E}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,E}^t \right| \right) \\
w_{q,S}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,S}^t \right| \right) \\
w_{q,W}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,W}^t \right| \right) \\
w_{q,NE}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,NE}^t \right| \right) \\
w_{q,NS}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,NS}^t \right| \right) \\
w_{q,SE}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,SE}^t \right| \right) \\
w_{q,SW}^t &= g_i \left(\left| \nabla u_{q,SW}^t \right| \right)
\end{aligned}
\tag{۱۷-۳}$$

که در آن n_q پیکسل‌های در همسایگی پیکسل q در هشت جهت شمال، شمال شرقی، شمال غربی، جنوب، جنوب شرقی، جنوب غربی، غرب، شرق هستند که در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده‌اند [۳۴].

NW	N	NE
W		E
SW	S	SE

شکل ۳-۱۳: هشت همسایگی هر پیکسل که در محاسبه گرادیان‌های محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای بررسی نحوه بروزرسانی تصویر با استفاده از هشت همسایگی هر پیکسل توسط رابطه (۳-۱۵) یک مثال عددی برای یک نمونه پیکسل در ادامه بیان می‌شود. برای این منظور یک پیکسل با هشت همسایگی آن، همانند شکل ۳-۱۴ در نظر گرفته می‌شود و مقادیر تقریبی گرادیان شدت، تابع انتشار و

تابع شار با استفاده از هرکدام از روابط (۱۲-۳) و (۱۳-۳) محاسبه می‌شود (جدول ۱-۳) که در اینجا از رابطه (۱۲-۳) با مقدار پارامتر آستانه برابر ۱ استفاده شده است. حاصل جمع، مجموع مقادیر شار ایجادشده در هشت همسایگی با مقدار پیکسل مرکزی مورد نظر، مقدار جدید پیکسل مرکزی را در تصویر بروزرسانی شده تعیین می‌کند که در این مثال مجموع مقادیر شار برابر $0/2080$ - به مقدار پیکسل مرکزی اضافه شده است و مقدار جدید بروزرسانی شده برای پیکسل مرکزی برابر $0/4154$ خواهد بود.

$$\begin{bmatrix} 0.8147 & 0.9134 & 0.2785 \\ 0.9085 & 0.4154 & 0.5469 \\ 0.1270 & 0.0975 & 0.9575 \end{bmatrix}$$

(ب)

$$\begin{bmatrix} 0.8147 & 0.9134 & 0.2785 \\ 0.9085 & 0.6324 & 0.5469 \\ 0.1270 & 0.0975 & 0.9575 \end{bmatrix}$$

(الف)

شکل ۱۴-۳: (الف) قبل از بروزرسانی (ب) پس از بروزرسانی.

جدول ۱-۳: مثال عددی برای نحوه بروزرسانی تصویر در فیلتر انتشار.

جهت همسایگی	شمال	جنوب	غرب	شرق	شمال شرق	شمال غرب	جنوب شرق	جنوب غرب
گرادین	0/2810	-0/5348	0/2734	-0/0855	-0/3539	0/1824	0/3251	-0/5054
تابع انتشار	0/9241	0/7512	0/9280	0/9927	0/8823	0/9673	0/8997	0/7746
تابع شار	0/2597	-0/4018	0/2537	-0/0849	-0/3122	0/1746	0/2925	-0/3915
جمع = $0/2080$								

در ادامه مراحل الگوریتم موردنظر برای طراحی فیلتر انتشار غیرخطی پرونا و مالیک بیان و نکات

مربوط به آن که بایستی رعایت شود پرداخته می‌شود.

الگوریتم فیلتر انتشار غیرخطی پرونا و مالیک

ورودی‌ها: تصویر دو بعدی یا داده لرزه‌ای آلوده به نوفه تصادفی

خروجی‌ها: تصویر یا داده لرزه‌ای تضعیف نوفه شده

پارامترهای اولیه: نوع تابع انتشار، مقدار آستانه گرادیان، گام زمانی و تعداد تکرارها

تا زمانی که: تعداد تکرارها به مقدار تعیین شده برسد، **انجام بده**

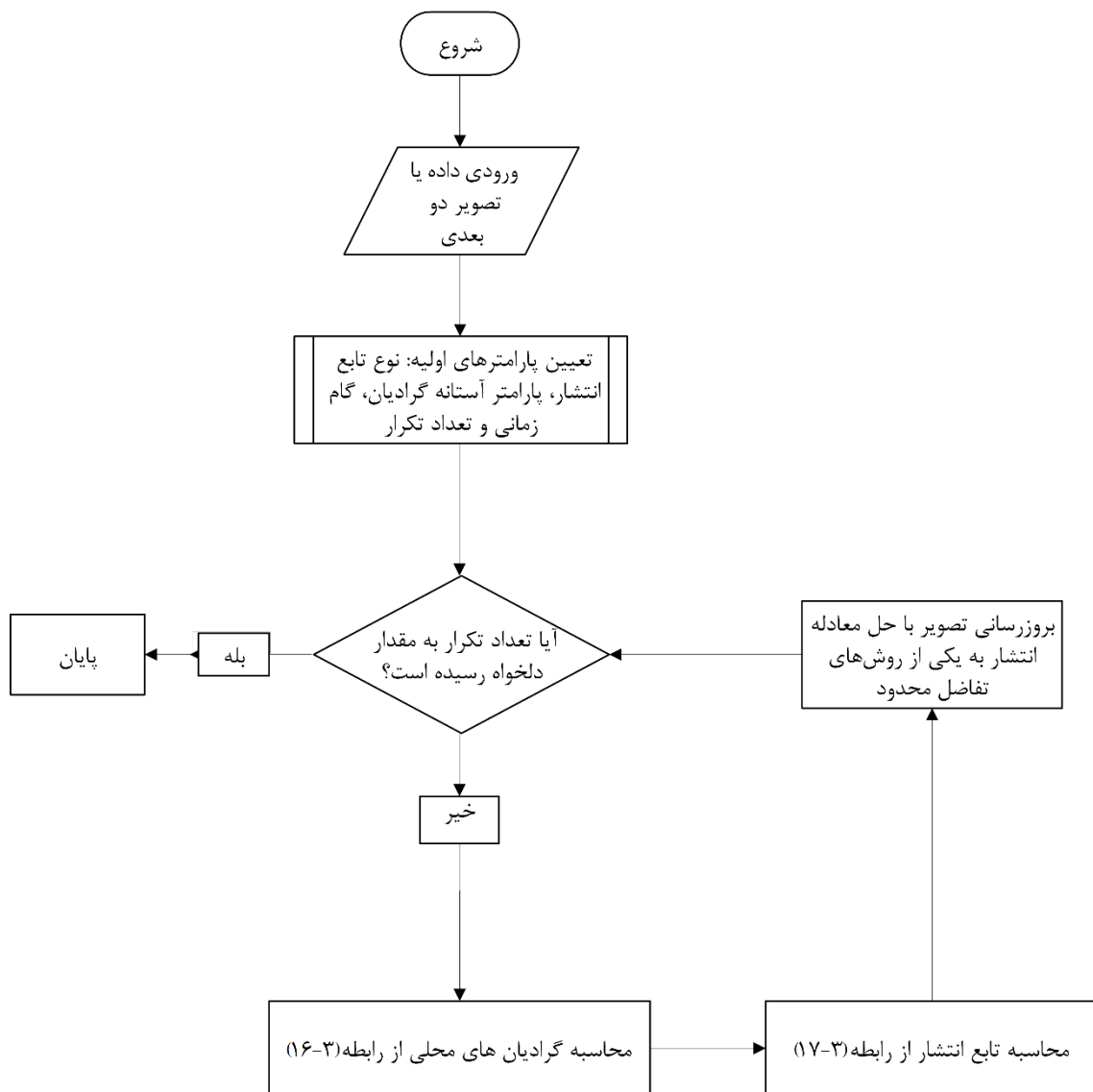
(۱) محاسبه مقدار بزرگی گرادیان‌های محلی در هشت جهت برای هر پیکسل از روابط

(۲) محاسبه مقدار تابع انتشار در هر پیکسل از روابط

(۳) بروزرسانی تصویر از رابطه معادله انتشار گسسته شده

پایان الگوریتم

برای تعیین پارامترهای مورد نیاز (نوع تابع انتشار، پارامتر آستانه گرادیان، گام زمانی و تعداد تکرار)، در این مرحله باید نوع تابع انتشار (رابطه (۳-۱۲)، (۳-۱۳) و یا (۳-۱۴)) با توجه به نظر و هدف پردازشگر انتخاب شود. مقدار پارامتر آستانه به تصویر ورودی به شدت وابسته است. در واقع باید آستانه تغییراتی را که در روش به‌عنوان لبه (رویداد) تلقی می‌شود را به الگوریتم معرفی کرد تا از آن مقدار به بعد (در لبه‌ها) اثر هموارسازی کم‌تر شود که بصورت تطبیقی می‌تواند، تعریف گردد. مقدار گام زمانی به دلیل خطر ناپایداری سیستم حل معادلات بهتر است، کمتر از $0/25$ در نظر گرفته شود [۳۰]. اما تعداد تکرارها، بایستی با توجه به هدف پردازشگر تعیین گردد. در پردازش داده‌های لرزه‌ای، هدف از انجام پردازش تصویر تضعیف نوفه حداکثری و کمترین آسیب به رویدادها می‌باشد که می‌تواند به عنوان معیاری برای تعیین این متغیر استفاده شود. در شکل ۳-۱۵ فلوجارت الگوریتم فیلتر انتشار غیرخطی پرونا و مالیک رسم شده است.



شکل ۳-۱۵: فلوچارت فیلتر انتشار غیرخطی مدل پرونا و مالیک (بر حسب تابع انتشار اسکالر).

۳-۳ فیلترهای انتشار با تابع انتشار تانسوری (مدل تانسوری)

۱-۳-۳ فیلتر انتشار غیر خطی ناهمسانگرد

در واقع فیلترهایی که تاکنون به آن‌ها اشاره شد چه خطی و چه غیر خطی، از یک تابع انتشار اسکالر^۱ (عددی) بهره‌مند بودند که در گروه فیلترهای همسانگرد قرار دارند. به عبارت دیگر، شار z موازی ∇u است. در برخی کاربردهای خاص نیاز هست تا شار ایجاد شده را در جهت دلخواه خاصی هدایت کرد. این امر با تابع عددی میسر نمی‌شود. یک تانسور انتشار می‌تواند، امکان طراحی یک فیلتر انتشار ناهمسانگرد را برای این منظور ایجاد کند. ویکرت^۲ [۶۴] به جای تابع انتشار، از تانسور انتشار برای تضعیف نوفه تصاویر پزشکی استفاده کرد. برتری تانسور انتشار نسبت به تابع انتشار در این است که قادر است ساختارهای موجود در تصویر را شناسایی کند و هموارسازی را در جهت ساختارها انجام دهد. این روش با توجه به بافت خطی داده‌های لرزه‌ای می‌تواند موجب بهبود در تفکیک پذیری عمقی و جانبی گردد. شکل تانسوری معادله انتشار رابطه (۲-۳) را می‌توان به شکل رابطه (۱۸-۳) بازنویسی کرد [۷۱، ۳۶].

$$\partial u / \partial t = \nabla \cdot (D \nabla u) \quad (18-3)$$

که در آن D تانسور انتشار، u شدت روشنایی در هر موقعیت مکانی و زمانی، t زمان انتشار، ∇ نمایانگر عملگر دیورژانس است. در این نوع از فیلترهای انتشار نیز، نقش تانسور انتشار بسیار کلیدی است. با تنظیم مقادیر ویژه تانسور انتشار متناسب با هدف، می‌توان کاربردهای با ویژگی‌های متفاوتی برای فیلتر طراحی شده، ایجاد کرد که در ادامه بیان شده‌اند. برای پیاده‌سازی فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد بایستی رابطه (۱۸-۳) گسسته‌سازی شده و به صورت عددی حل شود. شکل گسسته‌سازی شده رابطه (۱۸-۳) به صورت رابطه (۱۹-۳) می‌باشد که در واقع دامنه پیکسل i و j که با $u_{i,j}$ نشان داده می‌شود را در زمان انتشار $t+1$ محاسبه می‌کند.

^۱ Scaler

^۲ Wickert

$$u_{i,j}^{k+1} = (I + dt A_{i,j}^k) * u_{i,j}^k \quad (19-3)$$

dt گام زمانی و $A_{i,j}^k$ عملگر گسسته‌سازی می‌باشد که به صورت رابطه (۲۰-۳) تعریف می‌شود [۷۲].

$$A_{i,j}^k = \begin{bmatrix} \frac{|b_{i-1,j+1}| - b_{i-1,j+1} + |b_{i,j}| - b_{i,j}}{4} & \frac{c_{i,j+1} + c_{i,j}}{2} - \frac{|b_{i,j+1}| - b_{i,j}}{2} & \frac{|b_{i+1,j+1}| + b_{i+1,j+1} + |b_{i,j}| - b_{i,j}}{4} \\ & -\frac{a_{i-1,j} + 2a_{i,j} + a_{i+1,j}}{2} & \\ \frac{a_{i-1,j} + a_{i,j}}{2} - \frac{|b_{i-1,j}| + b_{i,j}}{2} + \frac{|b_{i-1,j+1}| - b_{i-1,j+1} + |b_{i+1,j+1}| + b_{i+1,j+1} - |b_{i-1,j-1}| + b_{i-1,j-1} + |b_{i+1,j-1}| - b_{i+1,j-1}}{4} & \frac{|b_{i-1,j}| + |b_{i+1,j}| + |b_{i,j-1}| + |b_{i,j+1}| + 2|b_{i,j}|}{2} + & \frac{a_{i+1,j} + a_{i,j}}{2} + \frac{|b_{i+1,j}| + b_{i,j}}{2} \\ & \frac{c_{i,j-1} + 2c_{i,j} + c_{i,j+1}}{2} & \\ \frac{|b_{i-1,j-1}| + b_{i-1,j-1} + |b_{i,j}| - b_{i,j}}{4} & \frac{c_{i,j-1} + c_{i,j}}{2} - \frac{|b_{i,j-1}| + |b_{i,j}|}{2} & \frac{|b_{i+1,j-1}| + b_{i+1,j-1} + |b_{i,j}| - b_{i,j}}{4} \end{bmatrix} \quad (20-3)$$

که در آن a ، b و c طبق رابطه (۲۱-۳) درایه‌های تانسور انتشار هستند.

$$D = \begin{bmatrix} a & b \\ b & c \end{bmatrix} \quad (21-3)$$

۳-۳-۱-۱ فیلتر انتشار ناهمسانگرد بهبود دهنده لبه^۱ (EED)

هر معادله انتشار غیرخطی در واقع شبیه به یک فیلتر انتشارخطی عمل می‌کند، با این تفاوت که در لبه‌ها اجازه هموارسازی را نمی‌دهد. بنابراین نوفه در لبه‌ها نمی‌تواند به خوبی تضعیف گردد. برای غلبه بر این مشکل باید روشی اتخاذ شود که انتشار در راستای ساختارها بر راستای عمود بر آن‌ها ترجیح داده شود. این امر با ایجاد یک سیستم متعامد^۲ برای ساخت تانسور انتشار قابل حصول است. با این شرط که از بردارهای ویژه تانسور انتشار یکی موازی با جهت گرادیان شدت و دیگری عمود بر جهت گرادیان شدت باشد [۶۴، ۷۱].

$$v_1 \parallel \nabla u_\sigma \ \& \ v_2 \perp \nabla u_\sigma \quad (22-3)$$

که σ انحراف معیار فیلتر گاوسی اعمال شده بر تصویر است که به اصطلاح تصویر مقیاس شده است.

^۱ Edge Enhance Diffusion

^۲ Orthonormal

فیلتر گاوسی بخاطر کاهش اثر نوفه بر گرادیان اعمال می‌گردد. حال اگر مقادیر ویژه تانسور به شکل رابطه (۲۳-۳) تعریف گردد، فیلتر انتشار رفتاری کاملاً ناهمسانگرد خواهد داشت. زیرا ∇u معمولاً با یکی از مقادیر ویژه تانسور انتشار موازی نمی‌باشد.

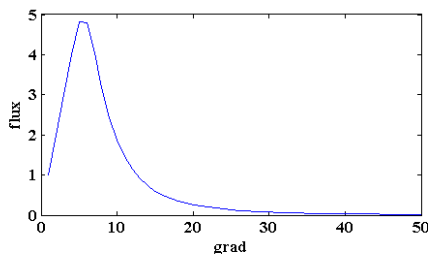
$$\lambda_1 = g(\|\nabla u_\sigma\|^2) \& \lambda_2 = 1 \quad (23-3)$$

با هدایت انتشار در جهت ساختارها و نیز با تضعیف نوفه در مکان لبه‌ها، موجب بهبود لبه‌ها می‌شود. ویکرت مقادیر ویژه رابطه (۲۴-۳) را جهت محاسبه تانسور انتشار بهبود دهنده لبه پیشنهاد داد [۶۴].

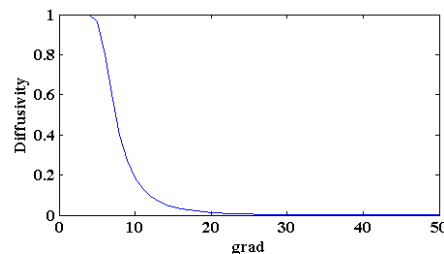
$$\lambda_2 = 1$$

$$\lambda_1 = 1 - \exp(-c_m \cdot (\nabla u_\sigma / \lambda_e)^m) \quad (24-3)$$

که در آن λ_e پارامتر آستانه و مقدار 0.2 به عنوان پیش فرض در نظر گرفته شده است. c_m عددی ثابت است که باید به گونه‌ای انتخاب شود که تابع شار برای مقادیر کمتر از λ_e افزایشی و برای مقادیر بیشتر از λ_e کاهشی باشد و مقدار $3/31488$ برای مقدار m برابر ۴ انتخاب شده است [۶۴].



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۶: شکل مقدار ویژه تانسور انتشار و شار حاصل از آن برای فیلتر انتشار بهبود دهنده لبه.

در شکل ۳-۱۶ الف، مقدار ویژه λ_1 به ازای مقدار آستانه برابر ۵ و در شکل ۳-۱۶ ب شار ایجاد شده از آن رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که در قسمتی که توسط پارامتر آستانه به‌عنوان لبه تعیین می‌شود، مقدار هموارسازی مطابق شکل ۳-۱۶ الف کاهشی خواهد بود و در دیگر قسمت‌ها مطابق مقدار ویژه λ_1 برابر ۱ است. این روش را می‌توان به عنوان روش بهبود یافته مدل پرونا و مالیک محسوب کرد [۶۴، ۷۱].

۳-۱-۲ انتشار ناهمسانگرد بهبود دهنده همدوسی^۱ (CED)

نوع دیگری از فیلترهای انتشار ناهمسانگرد، که ایده آن از بهبود اشکال یک بعدی خط مانند گرفته شده است، فیلتر انتشار ناهمسانگرد بهبود دهنده همدوسی هستند [۷۳]. برای این منظور به ابزاری قوی‌تر از مقدار گرادیان ∇u_σ برای توصیف مناطق لبه‌دار نیاز هست. منظور از مناطق لبه‌دار در داده‌های لرزه‌ای ناپیوستگی‌ها و مرز ساختارهای موجود در آن است. تانسور ساختاری برای این منظور یک ابزار مفید به شمار می‌رود که می‌تواند موقعیت مکانی و جهت و شیب ساختارها را با دقت خوبی تعیین کند [۶۴, ۷۱, ۷۴].

$$J(\nabla u_\sigma) = \nabla u_\sigma \nabla u_\sigma^T \quad (25-3)$$

چون تانسور ساختاری گرادیان J ماتریسی متقارن، مثبت و نیمه معین است، لذا یک دستگاه متعامد با بردار ویژه‌های v_1 و v_2 و مقادیر ویژه متناظر $\mu_1 \geq \mu_2 \geq 0$ خواهد بود. مقادیر ویژه، میانگین تباین^۲ شدت روشنایی را در جهت بردارهای ویژه محاسبه می‌کنند. بنابراین v_1 جهت بزرگترین نوسانات شدت روشنایی در پیکسل‌ها و v_2 جهت همدوسی (جهت ساختارهای همدوس) را نشان می‌دهد. عبارت $(\mu_1 - \mu_2)^2$ مقدار همدوسی محلی را تعیین می‌کند. به این صورت که اگر در محلی همدوسی پایین باشد، یعنی اختلاف $(\mu_1 - \mu_2)^2$ مقداری بزرگ خواهد شد و مقدار هموارسازی در آن منطقه بیشتر می‌شود و نوفه بیشتری تضعیف می‌گردد. این موضوع در شکل ۳-۱۷ برای محدوده‌ای از تغییرات همدوسی قابل مشاهده است. بنابراین اگر هدف بهبود همدوسی ساختارها باشد، می‌بایست هموارسازی در جهت بردار ویژه v_2 انجام شود. این امر با ساختن تانسور انتشار با استفاده از بردار ویژه‌های تانسور ساختاری J_p و مقادیر ویژه رابطه (۳-۲۶) ممکن خواهد بود.

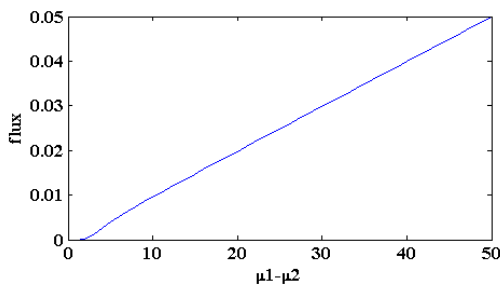
^۱ Coherence Enhance Diffusion

^۲ Contrast

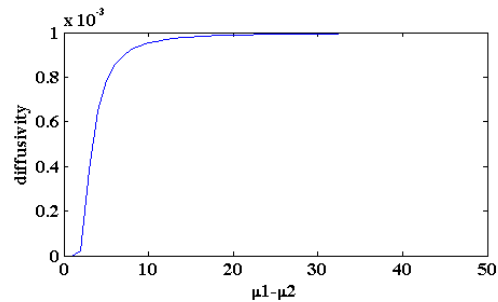
$$\lambda_1 := \begin{cases} \alpha & \mu_1 = \mu_2 \\ \alpha + (1-\alpha) \exp\left(\frac{-c}{(\mu_1 - \mu_2)^{2m}}\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26-3)$$

$$\lambda_2 := \alpha$$

که μ مقادیر ویژه تانسور ساختاری گرادیان، $c > 0$ ، $m \in N$ و $\alpha \in (0,1)$ یک مقدار کوچک می باشد که باعث می شود تانسور انتشار معین و مثبت باشد [۶۴, ۷۱, ۷۴].



(ب)



(الف)

شکل ۱۷-۳: نمایش رابطه (۲۶-۳) بر اساس مقدار همدوسی.

شکل ۱۷-۳ الف، مقدار ویژه تانسور انتشار با رویکرد بهبود دهنده همدوسی و شکل ۱۷-۳ ب، شار ایجاد شده از آن را بر اساس مقدار همدوسی نشان می دهد. هر چه مقدار اختلاف مقادیر ویژه تانسور بیشتر باشد، به معنای کاهش همدوسی است. طبق شکل ۱۷-۳ در مکان هایی که مقدار همدوسی پایین باشد، هموارسازی بیشتری نسبت به مکان هایی با مقدار همدوسی بالا انجام می شود.

ورودی: تصویر دو بعدی یا داده لرزه‌ای آلوده به نوفه تصادفی

خروجی: تصویر یا داده تضعیف نوفه شده

پارامترهای اولیه: نوع فیلتر انتشار (CED یا EED)، انحراف معیار فیلتر گاوسی ρ و σ ، گام زمانی، ماتریس هم‌دوسی و تعداد تکرار یا زمان انتشار

تا زمانی که: تعداد تکرارها به مقدار تعیین شده برسد، انجام بده

(۱) اعمال یک فیلتر گاوسی با انحراف معیار σ روی تصویر ورودی

(۲) محاسبه تانسور ساختاری گرادیان

(۳) اعمال یک فیلتر گاوسی با انحراف معیار ρ روی تانسور ساختاری گرادیان

(۴) محاسبه مقادیر ویژه و بردارهای ویژه تانسور ساختاری گرادیان

(۵) محاسبه تانسور انتشار

(۶) بروزرسانی تصویر از رابطه انتشار گسسته سازی شده

پایان الگوریتم

چند نکته در الگوریتم معرفی شده برای فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی، حائز اهمیت هستند. اولین

نکته دلیل اعمال یک فیلتر گاوسی روی تصویر ورودی است که به جهت کاهش اثرات نوفه بر

مشتقات انجام می‌شود [۳۶].

$$K_{\sigma} = 1 / 2\pi\sigma^2 * \exp\left(-(|x|^2 + |y|^2 / 2\sigma^2)\right) \quad (۲۷-۳)$$

که σ انحراف معیار فیلتر گاوسی است. دومین نکته محاسبه تانسور ساختاری است که از رابطه

(۲۸-۳) حاصل می‌شود [۷۱].

$$J_{\rho}(\nabla u_{\sigma}) := K_{\rho} * (\nabla u_{\sigma} \nabla u_{\sigma}^T) \quad (۲۸-۳)$$

که علامت T نشان‌دهنده ترانپوز ماتریس گرادیان تصویر است. نکته سوم در محاسبه تانسور انتشار

است که با استفاده از بردارهای ویژه تانسور ساختاری ایجاد می‌شود. بردارهای ویژه تانسور ساختاری

گرادیان، حاوی اطلاعاتی از جهت و شیب ساختارهای تصویر هستند. برای ساخت تانسور انتشار از

بردارهای ویژه تانسور ساختاری استفاده می‌شود تا هموارسازی در جهت ساختارها انجام شود و از تار

شدن تصویر و ازدست رفتن لبه‌ها جلوگیری شود. [۳۱, ۳۲].

$$D = (v_1, v_2) \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} (v_1, v_2)^T \quad (۲۹-۳)$$

که D تانسور انتشار، v_1 و v_2 بردارهای ویژه تانسور انتشار و λ_1 و λ_2 ویژه مقادیر تانسور انتشار هستند. ساخت تانسور انتشار علاوه بر بردار ویژه به مقادیر ویژه آن نیز نیازمند است. مقادیر ویژه تانسور انتشار مقدار هموارسازی را در هر نقطه تعیین می‌کند که با توجه به نوع مدل فیلتر (EED یا CED) تعیین می‌شوند.

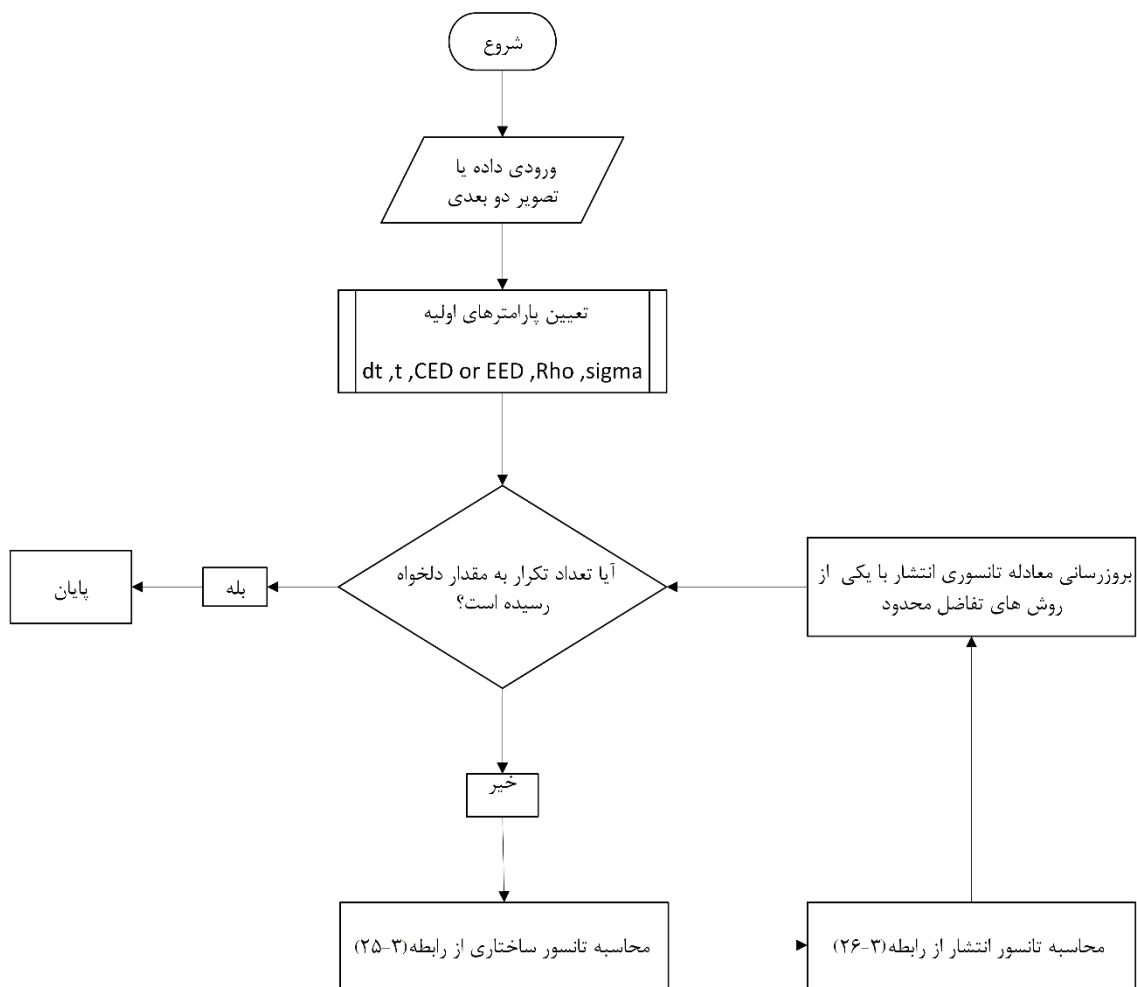
در انتها نکته باقی مانده در رابطه با نحوه محاسبه پارامتر همدوسی است. همدوسی معیاری برای محاسبه شباهت میان ردلرزه‌ها است. تغییر در میزان شباهت در اثر تغییر در مشخصه‌های ردلرزه‌ها بوجود می‌آید که متناسب با تغییر در امپدانس صوتی لایه‌ها است. از نظر زمین‌شناسی رویداد بازتابی با میزان شباهت بالا نشان‌دهنده ساختار پیوسته زمین‌شناسی است که می‌توان با استفاده از این ویژگی مقدار هموارسازی در موقعیت‌هایی که رویداد بازتابی وجود دارد، کنترل کرد.

برای محاسبه همدوسی، معیارهای متفاوتی وجود دارد، مانند معیار همبستگی عرضی^۱ [۷۵]، معیار شباهت^۲ [۷۶]، معیار ساختار ویژه^۳ که در این پایان‌نامه از معیار شباهت استفاده شده است. از پارامتر همدوسی در این الگوریتم برای کنترل بهتر مقدار هموارسازی در محل رویدادهای با همدوسی بالا و در محل ناپیوستگی‌ها استفاده شده است. فلوجارت پیاده‌سازی الگوریتم فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است.

^۱ Cross Correlation

^۲ Semblance

^۳ Eigenstructure



شکل ۳-۱۸: فلوجارت روش فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد (برحسب تانسور انتشار).

فصل چهارم اعمال الگوریتم بر روی داده مصنوعی و واقعی

۱-۴ مقدمه

در این فصل به اجرای روش‌های فیلتر انتشار بر روی داده مصنوعی و واقعی لرزه‌ای و مقایسه نتایج آنها با دو روش‌های متداول پرداخته می‌شود.

به منظور سنجش کیفیت و مقایسه نتایج به صورت کمی از معیار نسبت سیگنال به نوفه^۱ در داده‌های مصنوعی استفاده شده است. برای محاسبه نسبت سیگنال به نوفه از رابطه (۱-۴) استفاده می‌شود.

$$SNR = 10 \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) \quad (1-4)$$

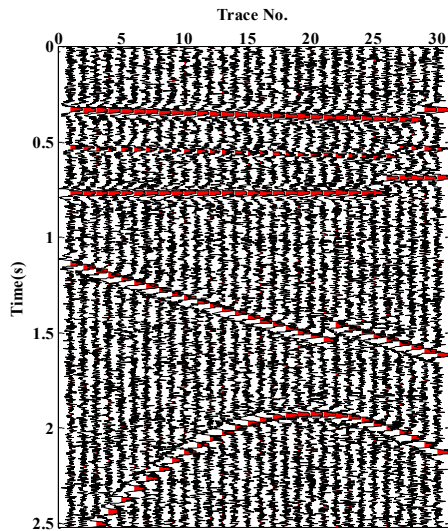
که P_{signal} انرژی سیگنال بدون نوفه و P_{noise} انرژی نوفه می‌باشد.

همچنین از معیار کیفی اختلاف بین داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده کمک گرفته شده است. طبق معیار کیفی هر چه آثار سیگنال اصلی در اختلاف بین داده آلوده و بازیابی شده آن کمتر باشد و به طور هم‌زمان مقدار نوفه بیشتری خارج شده باشد، عملکرد بهتری از روش را نشان می‌دهد.

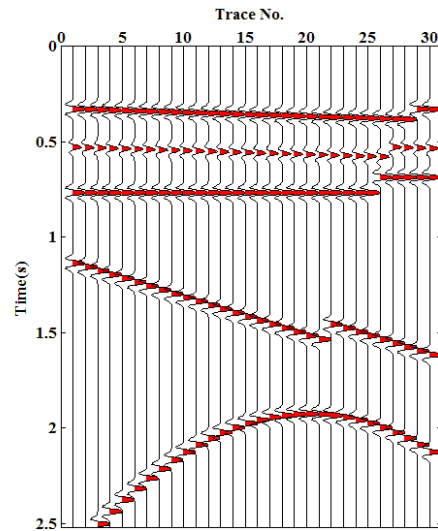
۲-۴ اعمال روش بر روی داده مصنوعی

برای بررسی عملکرد روش فیلتر انتشار، یک مقطع مصنوعی دو بعدی از هم‌امیخت موجک ریکر با فرکانس غالب ۱۵ هرتز، متشکل از ۳۰ ردلرزه با فاصله نمونه برداری زمانی ۲ میلی ثانیه در مدت زمان ۲/۵ ثانیه در نظر گرفته شده است. این داده شامل سه رویداد با شیب کم و دامنه متفاوت، یک رویداد با شیب زیاد و یک رویداد منحنی است که با یک ناپیوستگی همراه شده‌اند (شکل ۱-۴ الف). سپس مقطع دوبعدی به نوفه تصادفی گوسی با میانگین صفر با نسبت سیگنال به نوفه‌های متفاوت آغشته شده است که در شکل ۱-۴ ب، مقطع دوبعدی آغشته به نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل نشان داده شده است.

^۱ Signal-to Noise Ratio (SNR)



(ب)



(الف)

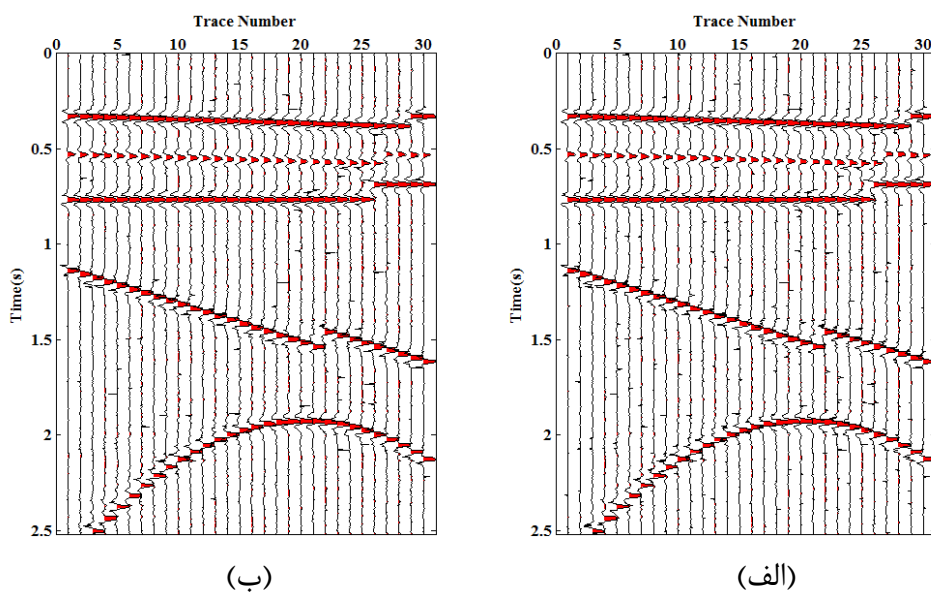
شکل ۴-۱: (الف) داده بدون نوفه (ب) داده آلوده شده با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل.

در ادامه متن از دو اصطلاح مدل تانسوری (ویکرت) و اسکالر (پرونا و مالیک) استفاده می‌شود. مدل پرونا و مالیک همان گونه در فصل قبل به آن اشاره شد، به دلیل اینکه تابع انتشار یک مقدار عددی است، به‌عنوان مدل اسکالر و مدل ویکرت به دلیل داشتن تابع انتشار تانسوری (تانسور انتشار) مدل تانسوری از آن‌ها یاد می‌شود. بسته به نوع مقادیر ویژه بکار رفته در ایجاد تانسور انتشار به دو دسته با رویکرد بهبود لبه و بهبود همدوسی تقسیم می‌شوند.

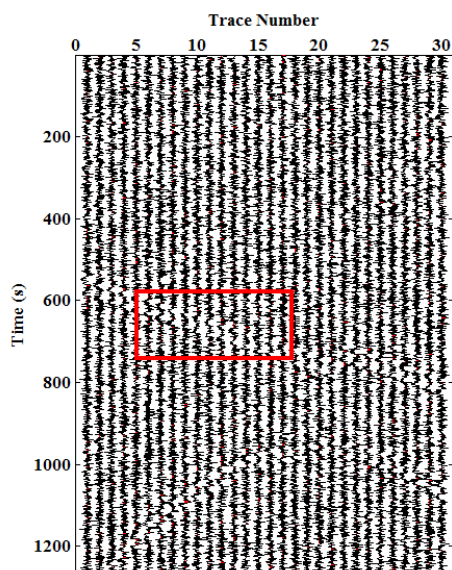
۴-۲-۱ نتایج فیلتر غیرخطی پرونا مالیک

در این بخش نتایج مربوط به اعمال فیلتر انتشار غیرخطی مدل پرونا و مالیک در شکل ۴-۲ الف و ب نشان داده شده است. برای شکل ۴-۲ الف از رابطه (۳-۱۳) و برای شکل ۴-۲ ب از رابطه (۳-۱۲) استفاده شده است. همانطور که از شکل ۳-۱۱ مشهود است رابطه (۳-۱۳) به مراتب از رابطه (۳-۱۲) شیب تندتری دارد و این باعث می‌شود تا در مکان لبه‌ها مقدار هموارسازی سریعتر به صفر نزدیک شود و در نتیجه لبه‌ها بهتر حفظ شوند اما در مقابل قدرت تضعیف نوفه کمتری داشته باشد. از این رو این رابطه برای مناطق لبه‌دار مناسب خواهد بود، رابطه (۳-۱۲) اندکی رفتار متفاوت‌تر دارد، به این

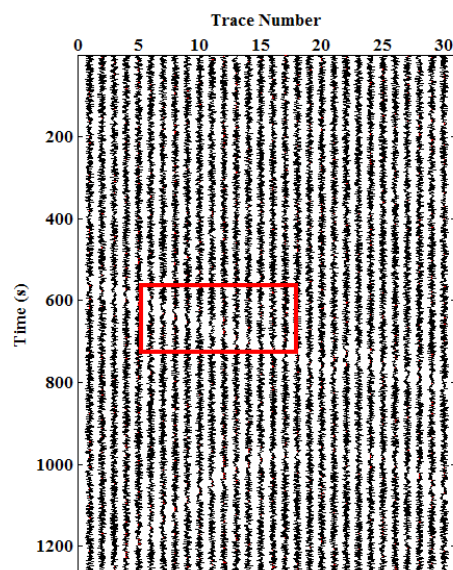
صورت که با شیب کمتری در مناطق لبه‌دار به سمت صفر نزدیک می‌شود که باعث می‌شود قدرت تضعیف نوفه بیشتر شود ولی در مقابل مقدار هموارسازی در لبه‌ها بیشتر باشد. از جدول ۴-۱ مشهود است که رابطه (۳-۱۳) با اختلاف ناچیزی از رابطه (۳-۱۲) در زمینه بهبود نسبت سیگنال به نوفه موفق‌تر عمل کرده است. همچنین در خروجی هر دو روش نوفه‌های اسپایکی ایجاد شده‌است که کارایی روش را تا حدودی تحت تاثیر قرار می‌دهد.



شکل ۴-۲: (الف) پس از اعمال فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۳-۱۳) (ب) رابطه (۳-۱۲).



(ب)



(الف)

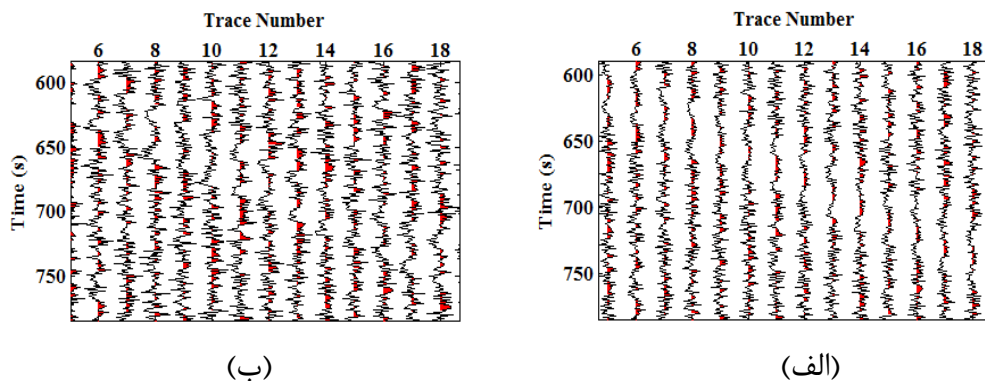
شکل ۳-۴: اختلاف داده همراه نوفه و تضعیف نوفه شده با رابطه (۳-۱۳) (ب) رابطه (۳-۱۲).

جدول ۴-۱: مقایسه روش‌های فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک برای نسبت سیگنال به نوفه‌های متفاوت.

SNR / Methods	-۴	-۲	۱	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۵
PERONA-MALIK Equation (3-12)	۳/۶	۶	۹/۹	۱۱/۵	۱۳/۳	۱۵	۱۶/۸	۱۸/۳	۲۰/۱	۲۱/۹
PERONA-MALIK Equation (3-13)	۳	۶/۷	۱۰	۱۱/۸	۱۳/۵	۱۵/۳	۱۷/۱	۱۸/۷	۲۰/۸	۲۲

اختلاف داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با استفاده از رابطه (۳-۱۳) در شکل ۳-۴ الف و (۳-۱۲) در شکل ۳-۴ ب نشان داده شده است. شکل ۳-۴ نشان می‌دهد که در رویدادهای باشیب زیاد و منحنی شکل، آثاری ایجاد می‌شود. برای بررسی پدیده باقی ماندن آثاری از سیگنال در رویدادهای با شیب زیاد، بزرگنمایی قسمت‌های درون مستطیل سبز رنگ در شکل ۴-۴ نشان داده شده است که با توجه به آن می‌توان رفتار دو تابع مذکور را در محل لبه‌ها بخصوص در رویدادهای شیب‌دار مشاهده نمود. در محل لبه‌های رویدادها به دلیل اینکه تغییر ناگهانی شدت روشنایی در تمام جهات در هر پیکسل وجود دارد و چون سیستم تشخیص لبه

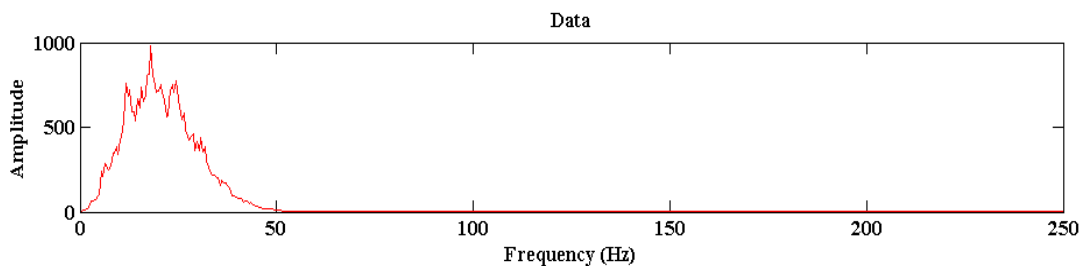
در فیلتر انتشار پرونا و مالیک، گرادیان شدت روشنایی می‌باشد، لذا در محل لبه‌ها از مقدار هموارسازی به سرعت کاسته شده که اثر آن در اختلاف داده تضعیف نوفه شده و داده آغشته به نوفه قابل مشاهده است؛ اما در روی رویداد به دلیل اینکه تغییر ناگهانی شدت وجود ندارد، مقدار هموارسازی بیشتر خواهد بود که منجر به کاهش مقدار اندکی از دامنه سیگنال می‌شود. همچنین رفتار این دو تابع در شکل ۴-۴ به خوبی قابل مشاهده است. از نظر ظاهری دو تابع پرونا و مالیک مشابه هستند اما از نظر سرعت میل به صفر در لبه‌ها اندکی متفاوتند. این رفتار در رویدادهای افقی و با شیب کم نیز وجود دارد اما به دلیل اینکه این تغییر ناگهانی در یک جهت قابل ملاحظه است و در جهت دیگر محسوس نیست در نقاط لبه‌های رویداد نیز کمی هموارسازی انجام می‌شود و این آثار در اختلاف داده آغشته به نوفه و تضعیف نوفه شده کمتر به چشم می‌خورد.



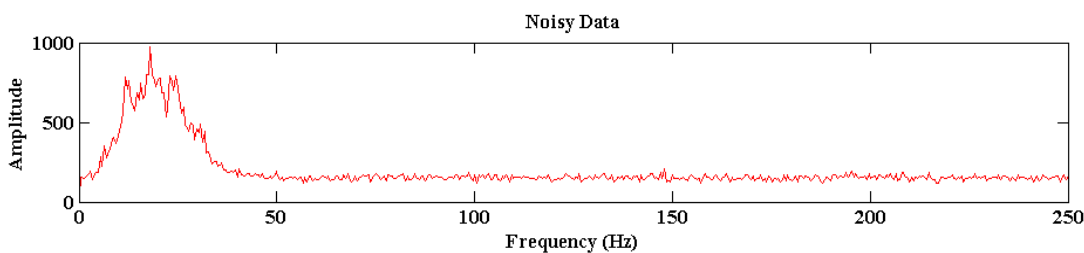
شکل ۴-۴: بزرگنمایی بخش مستطیل قرمز در (الف) قسمت شکل ۴-۳ الف (ب) قسمت شکل ۴-۳ ب.

طیف دامنه میانگین مربوط به داده مصنوعی بدون نوفه در شکل ۴-۵ الف رسم شده است که نشان می‌دهد در فرکانس‌های بالای ۵۰ هرتز دامنه وجود ندارد. در شکل ۴-۵ ب طیف دامنه میانگین داده آغشته به نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل رسم شده است که در تمام فرکانس‌ها دامنه وجود دارد که به دلیل حضور نوفه تصادفی است. در شکل ۴-۵ ج طیف دامنه میانگین نتیجه حاصل از اعمال فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با استفاده از رابطه (۳-۱۳) نشان داده شده است که به گونه‌ای محسوس از دامنه فرکانس‌های بالای ۵۰ هرتز کاسته شده است که نشان دهنده عملکرد

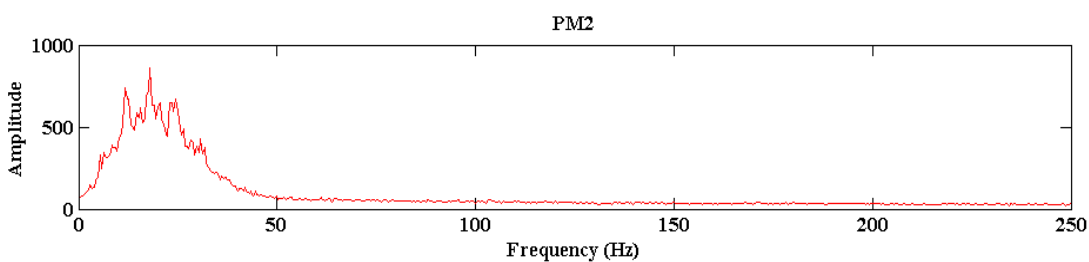
موفق این روش در محدوده نوفه تصادفی فرکانس بالا است، اما نکته‌ای که قابل توجه، این است که در محدوده فرکانس پایین که محدوده سیگنال می‌باشد، هموارسازی انجام شده است که همراه کاهش دامنه نوفه، دامنه سیگنال نیز به مقدار اندکی کاهش یافته است. در شکل ۴-۵ د نیز طیف دامنه میانگین مربوط به نتیجه حاصل از اعمال فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با استفاده از رابطه (۳-۱۲) رسم شده است که تفاوت چندانی با شکل ۴-۵ ج در آن دیده نمی‌شود.



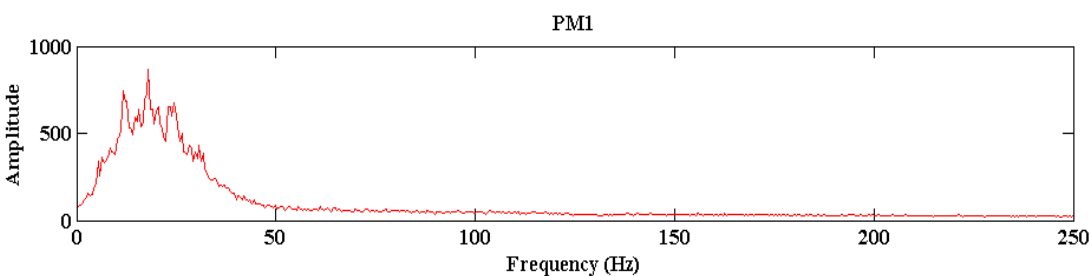
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

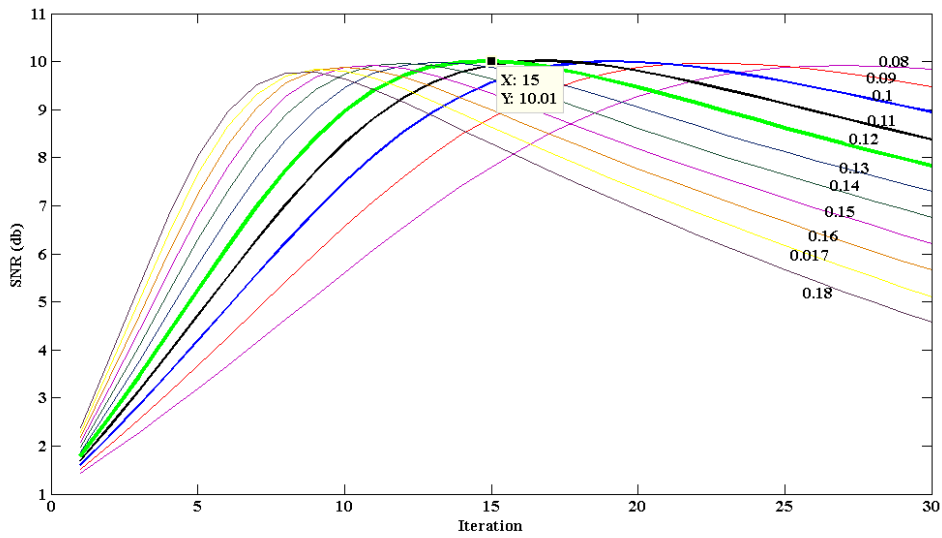
شکل ۴-۵: طیف دامنه میانگین (الف) داده بدون نوفه (ب) داده آلوده به نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل (ج) داده تضعیف نوفه شده با فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۳-۱۳) (د) داده تضعیف نوفه شده با فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۳-۱۲).

۴-۲-۱-۱ بحث پیرامون انتخاب پارامترها

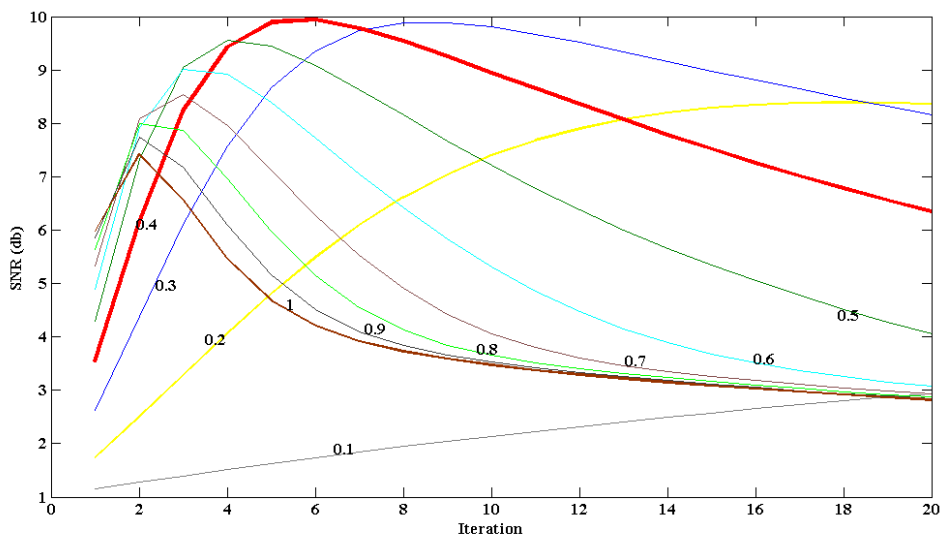
پارامترهای اساسی در این روش تعیین گام زمانی، مقدار آستانه گرادیان و تعداد تکرارها یا زمان توقف

الگوریتم است که در فصل سوم توضیح داده شدند. در این آزمایش گام زمانی جهت جلوگیری از ناپایداری مسئله کمتر از $0/25$ یعنی مقدار $0/1$ در نظر گرفته شده است. جهت بررسی تاثیر مقدار پارامترهای آستانه گرادیان و مرتبه تکرار، الگوریتم فیلتر انتشار غیرخطی پرونا و مالیک به ازای مقادیر مختلف آستانه گرادیان و مرتبه تکرار بر روی داده مصنوعی اعمال گردید و مقدار نسبت سیگنال به نوفه در هر کدام محاسبه گردید. در شکل ۴-۶ و شکل ۴-۷ تغییرات نسبت سیگنال به نوفه در مقابل پارامترهای آستانه گرادیان و مرتبه تکرار به ترتیب برای فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک با رابطه (۳-۱۳) و (۳-۱۲) رسم شده است. با توجه به نتایج به دست آمده برای نسبت سیگنال به نوفه اولیه ۱ دسی بل در روش پرونا و مالیک با استفاده از رابطه (۳-۱۳)، مقدار $0/12$ برای پارامتر آستانه گرادیان و مقدار ۱۵ برای تعداد تکرار بهترین پاسخ را تولید نمود و نسبت سیگنال به نوفه ۱ دسی بل را به ۱۰ دسی بل افزایش داد. به همین ترتیب برای روش دیگر با تابع انتشار رابطه (۳-۱۲) مقدار $0/4$ برای پارامتر آستانه گرادیان و مقدار ۶ برای تعداد تکرار بهترین پاسخ را تولید کرد که بهبود نسبت سیگنال به نوفه از ۱ دسی بل به $9/9$ دسی بل حاصل شد.

نکته قابل توجه در این بخش، این است که برای هر مقدار پارامتر آستانه، در یک تعداد تکرار مشخص مقدار نسبت سیگنال به نوفه بیشینه می شود و هرچه مقدار پارامتر آستانه بیشتر باشد -البته تا حد معینی- مقدار بیشینه نسبت سیگنال به نوفه در تعداد تکرار کمتری اتفاق می افتد که از نظر زمان اجرای برنامه کوتاه تر خواهد شد. در این مثال برای رابطه (۳-۱۳)، مطابق شکل ۴-۶ سه منحنی سبز، مشکی و آبی به مقدار بیشینه نسبت سیگنال به نوفه را به دست می دهد که برای کوتاه تر شدن زمان اجرا پارامترها بر اساس منحنی سبز رنگ تنظیم شده اند. همچنین در شکل ۴-۷ پارامترهای منحنی قرمز رنگ مناسب تر از دیگر منحنی ها می باشد.



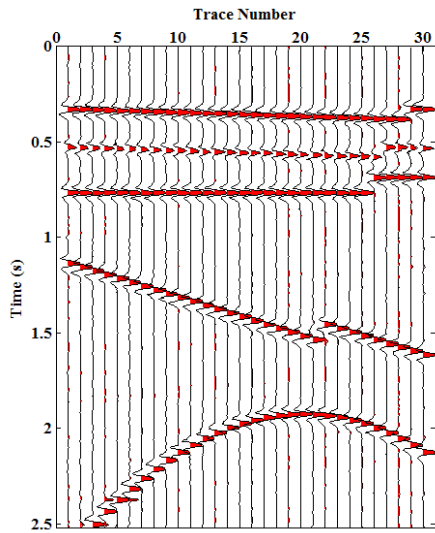
شکل ۴-۶: نمودار نسبت سیگنال به نوفه بر حسب تعداد تکرار و مقدار پارامتر آستانه گرادیان مختلف برای رابطه (۳-۱۳).



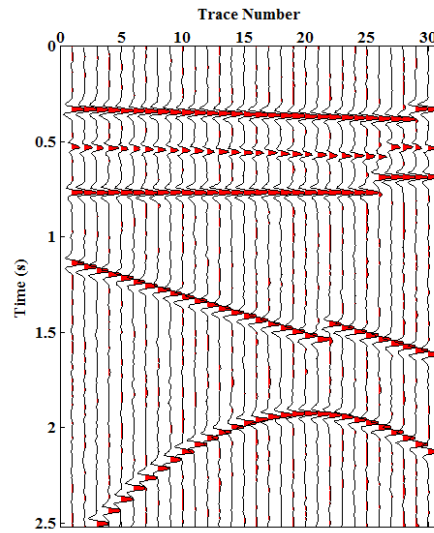
شکل ۴-۷: نمودار نسبت سیگنال به نوفه بر حسب تعداد تکرار و مقدار پارامتر آستانه گرادیان مختلف برای رابطه (۳-۱۲).

۴-۲-۲ نتایج فیلتر انتشار غیر خطی ناهمسانگرد

در این بخش از تحقیق عملکرد مدل تانسوری فیلتر انتشار با دو رویکرد بهبود دهنده همدوسی و بهبود دهنده لبه در مدل مصنوعی تولید شده بررسی می‌شود.

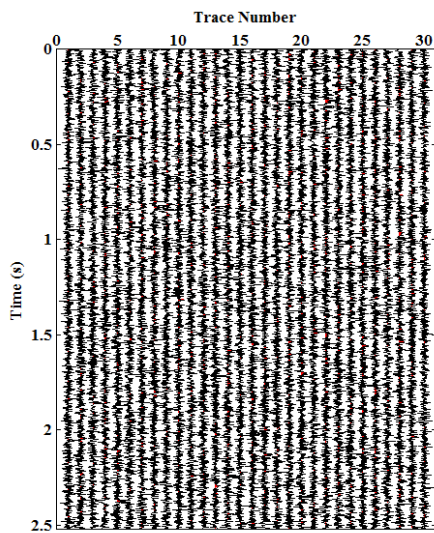


(ب)

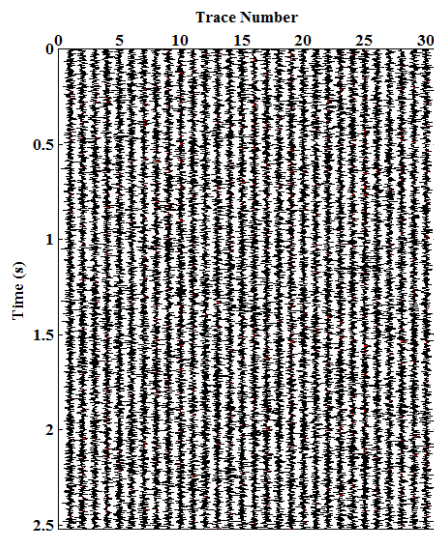


(الف)

شکل ۴-۸: نتایج خروجی اعمال فیلتر انتشار (الف) مدل بهبود دهنده همدوسی CED (ب) مدل بهبود دهنده لبه EED.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۹: اختلاف داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده (الف) در حالت CED (ب) در حالت EED.

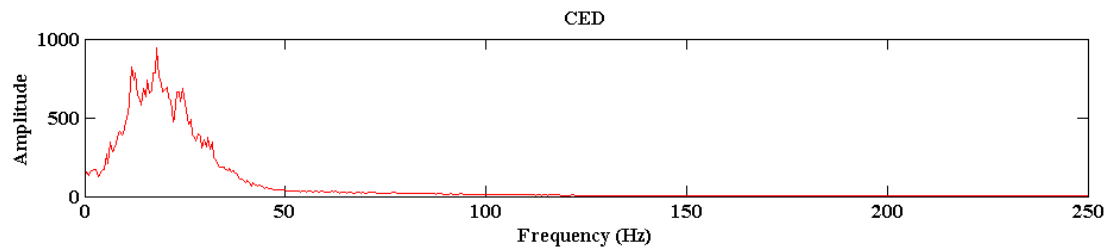
شکل ۴-۸ الف نتیجه اعمال فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد مدل ویکرت با رویکرد بهبود دهنده همدوسی را نمایش می‌دهد و در شکل ۴-۸ ب نتیجه اعمال فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی با رویکرد بهبود دهنده لبه رسم شده است. از مقایسه این دو شکل می‌توان دید که روش بهبود دهنده لبه قابلیت بهتری جهت تضعیف نوفه نسبت به روش بهبود دهنده همدوسی دارد. با نگاهی اجمالی به

جدول ۲-۴ می‌توان دریافت که نسبت سیگنال به نوفه نیز در روش بهبود دهنده لبه افزایش بیشتری دارد. همچنین در مقایسه با روش اسکالر پرونا و مالیک در شکل ۲-۴، اعوجاجات اسپایکی شکل نیز وجود ندارد.

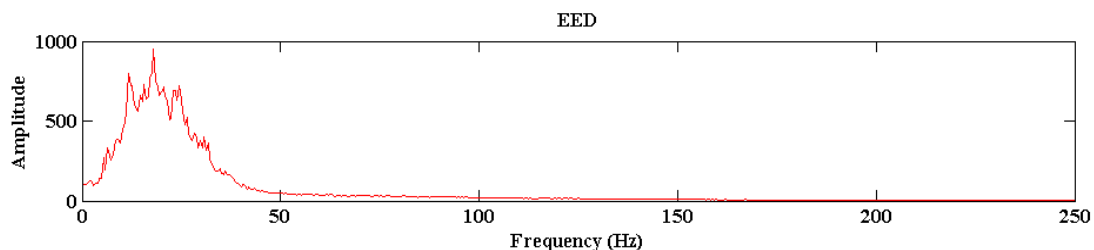
جدول ۲-۴: مقایسه فیلتر انتشار غیرخطی مدل تانسوری برای نسبت سیگنال به نوفه‌های مختلف.

SNR / Method	-۴	-۲	۱	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۵
EED	۹/۱	۱۱/۴	۱۴	۱۴/۷	۱۶	۱۷/۵	۱۹	۲۰	۲۱/۵	۲۲/۵
CED	۸/۵	۱۰	۱۲/۴	۱۳/۹	۱۵/۱	۱۶/۷	۱۸/۳	۱۹/۶	۲۱/۳	۲۲/۱

در شکل ۹-۴ الف و ب به ترتیب تفاضل بین داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده مدل بهبود دهنده همدوسی و مدل بهبود دهنده لبه در نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار نوفه تضعیف شده در روش مدل بهبود دهنده لبه بیشتر از مدل بهبود دهنده همدوسی می‌باشد. همچنین در هر دو روش اثری از سیگنال در نوفه تضعیف شده دیده نمی‌شود و می‌توان گفت که دو روش مذکور به مراتب از مدل اسکالر تاثیر مخرب کمتری روی سیگنال می‌گذارند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰-۴: طیف دامنه میانگین داده تضعیف نوفه شده با روش فیلتر انتشار مدل (الف) CED (ب) EED.

در شکل ۴-۱۰ الف و ب به ترتیب طیف دامنه داده تضعیف شده به روش فیلتر انتشار مدل تانسوری بهبود دهنده همدوسی و مدل بهبود دهنده لبه رسم شده‌اند که چندان با یکدیگر اختلاف ندارند. اما، در مقایسه با نتایج مدل اسکالر پرونا و مالیک مقدار کمتری از دامنه سیگنال کاسته شده است و به عبارت دیگر در حفظ سیگنال دو مدل تانسوری مذکور موفق‌تر عمل کرده‌اند. لذا می‌توان از مقایسه نتایج مدل تانسوری انتشار با مدل اسکالر پرونا و مالیک و همچنین از جدول ۴-۱ و جدول ۴-۲ نتیجه گرفت که مدل تانسوری توانایی بیشتری نسبت به مدل اسکالر در راستای بهبود نسبت سیگنال به نوفه و تضعیف نوفه تصادفی دارد.

۴-۲-۱ بحث پیرامون انتخاب پارامترها

همانگونه که در فصل قبل اشاره شد برای اجرای این روش به تعدادی پارامتر جهت کنترل فرآیند نیاز می‌باشد که باید توسط کاربر بسته به نوع هدف تعیین گردد. اولین پارامتر، تعیین نوع مدل فیلتر (EED یا CED) است که برای ساخت تانسور انتشار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مورد مدل بهبود دهنده همدوسی با توجه به رابطه (۳-۲۵) مقدار α برابر 0.001 و مقدار m برابر ۲ در نظر گرفته شده است و در مدل بهبود دهنده لبه با توجه به رابطه (۳-۲۴) مقدار m برابر ۴ و مقدار c_m برابر $3/31488$ در نظر گرفته شده است. پارامتر دوم مقدار گام زمانی است که با توجه به آنچه در فصل قبل اشاره شد، برای پایداری بیشتر بایستی حداکثر 0.25 در نظر گرفته می‌شود که در این آزمایش مقدار 0.15 تعیین شد. این مقادیر در طول مثال برای هر تصویر ثابت نگه داشته شده‌اند. پارامتر سوم مقادیر σ و ρ است که انحراف معیارهای دو فیلتر گاوسی می‌باشند و برای کاهش اثر نوفه بر مشتقات (گرادیان‌گیری) به ترتیب بر روی تصویر ورودی و بر روی تانسور ساختاری گرادیان قبل از محاسبه مقادیر ویژه آن اعمال می‌گردند. در این مثال مقدار σ برابر 0.1 و مقدار ρ برابر 300 در نظر گرفته شده است. این پارامترها، بصورت تطبیقی برای هر تصویر ورودی تعیین و در طول انجام مثال ثابت هستند. این نکته را باید در نظر داشت که این دو پارامتر به نوع تصویر ورودی وابسته است و این

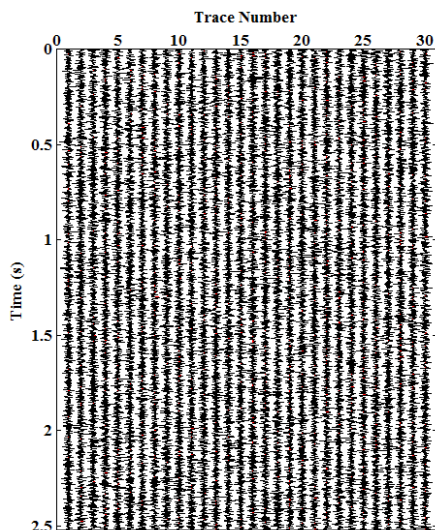
مقادیر برای تمامی تصاویر ورودی یکسان نخواهند بود. در نهایت پارامتر کلیدی و مهم تعداد تکرار و یا مدت زمان انتشار است که باید توسط کاربر متناسب با شرایط از قبیل سطح نوفه انتخاب گردد. در این آزمایش مدت زمان انتشار برای مدل بهبود دهنده همدوسی مقدار ۹/۹ و برای مدل بهبود دهنده لبه مقدار ۱۴/۸ انتخاب شد. معیار این انتخاب همان گونه که در بخش ابتدایی فصل بیان شد، در داده مصنوعی نسبت سیگنال به نوفه به همراه اختلاف داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده است اما در داده واقعی ناگزیر صرفاً به اختلاف ورودی و خروجی و مقدار تغییرات طیف دامنه بسنده شده است.

۳-۴ مقایسه نتایج با روش متداول واهمامیخت $f-x$ و فیلتر میانه

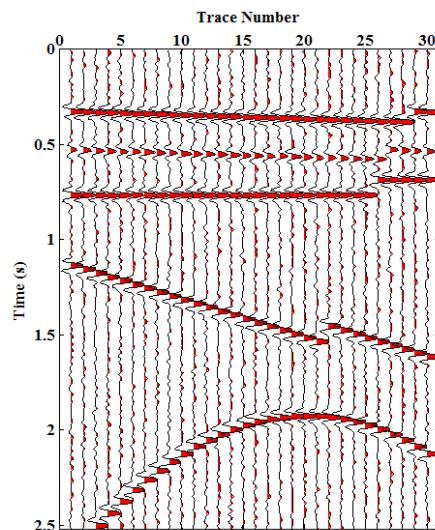
در این بخش به منظور بررسی کارایی روش، نتایج روش فیلتر انتشار با نتایج دو روش متداول واهمامیخت $f-x$ و فیلتر میانه مقایسه می‌شود. روش واهمامیخت در حوزه فرکانس-مکان به عنوان یک روش محبوب و پرکاربرد در صنعت محسوب می‌شود و فیلتر میانه یک فیلتر هموارساز می‌باشد که یکی از روش‌های پرکاربرد در تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای از خانواده روش‌های هموارساز می‌باشد.

شکل ۱۱-۴ الف نتیجه اعمال روش واهمامیخت در حوزه فرکانس-مکان و شکل ۱۱-۴ ب، اختلاف میان داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده را نشان می‌دهد. برای اجرای این روش از طول فیلتر ۱۵ و گام نمونه برداری ۰/۰۶ و کمینه فرکانس ۱ هرتز و بیشینه فرکانس ۸۰ هرتز استفاده شده است. در شکل ۱۲-۴ طیف دامنه میانگین داده تضعیف نوفه شده با روش واهمامیخت $f-x$ رسم شده است که عملکرد مناسب این روش را در شناسایی نوفه فرکانس بالا و تضعیف آن را نشان می‌دهد. هر دو روش فیلتر واهمامیخت $f-x$ و فیلتر انتشار کارایی بسیار مناسبی دارند، اما از مقایسه دقیق بین خروجی این روش با روش فیلتر انتشار مدل تانسوری و با در نظر داشتن جدول ۳-۴ می‌توان گفت که فیلتر انتشار ابزار قدرتمندتری در تضعیف نوفه تصادفی داده‌های لرزه‌ای می‌باشد.

همچنین روش واهمامیخت $f-x$ در شرایطی که سطح نوفه بالا باشد، در تشخیص و شناسایی مرز بین سیگنال و نوفه دچار مشکل خواهد شد، اما در روش فیلتر انتشار در شرایط با سطح نوفه بالا عملکرد بهتری در افزایش نسبت سیگنال به نوفه و تضعیف نوفه تصادفی دارد. به عنوان مثال روش فیلتر انتشار در نسبت سیگنال به نوفه اولیه ۴- دسی بل افزایش چشمگیر به مقدار ۹ دسی بل را ایجاد می کند. در صورتی که روش واهمامیخت $f-x$ فقط افزایش تا نسبت سیگنال به ۵ دسی بل را ایجاد می کند. این برتری در نمودار نسبت سیگنال به نوفه ورودی در مقابل سیگنال به نوفه خروجی در روش های مختلف که در نمودار ۴-۱ رسم شده است، بهتر نمایان می شود.

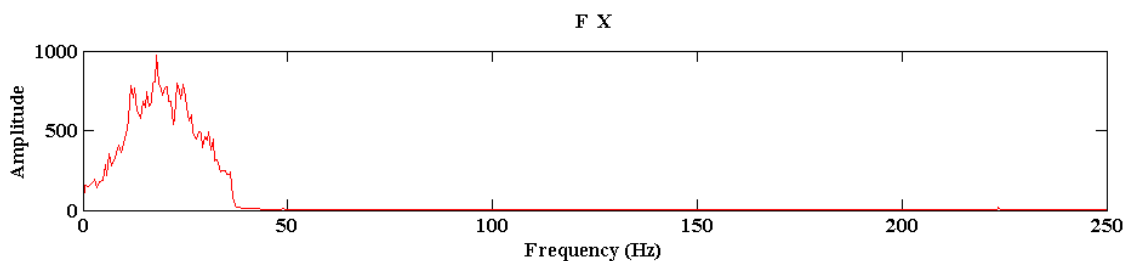


(ب)



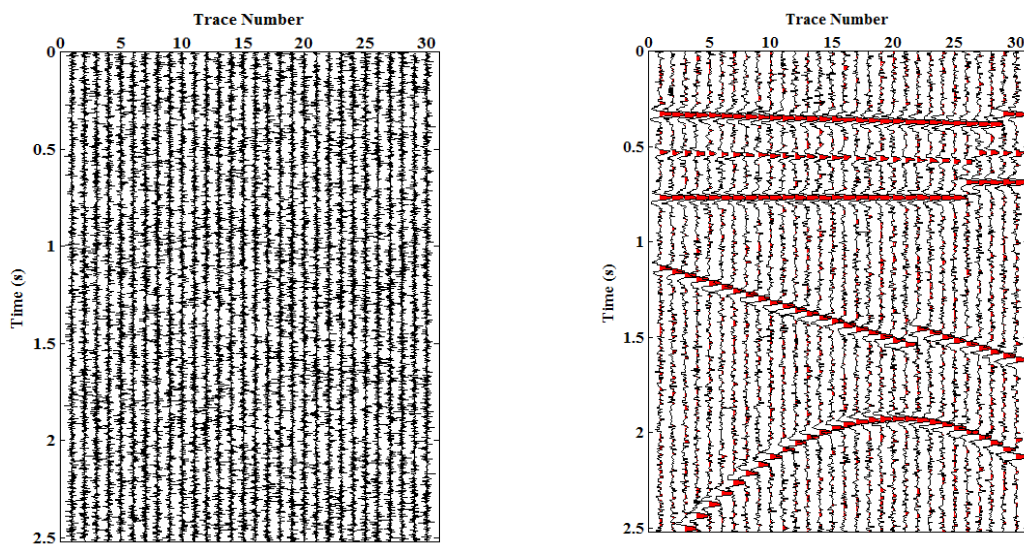
(الف)

شکل ۴-۱۱: (الف) نتیجه حاصل از اعمال روش واهمامیخت در حوزه $f-x$ (ب) اختلاف میان داده همراه نوفه و داده تضعیف نوفه شده.



شکل ۴-۱۲: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده توسط روش واهمامیخت در حوزه $f-x$.

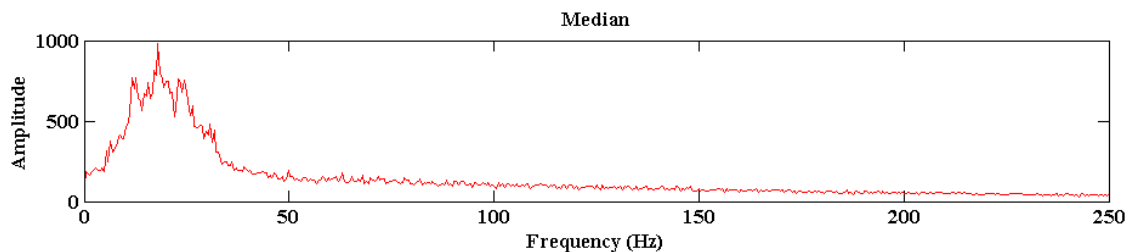
شکل ۴-۱۳ الف نتیجه اعمال روش فیلتر میانه را بر روی داده مصنوعی تولید شده و شکل ۴-۱۳ ب، تفاضل داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده را نشان می دهد. ابعاد پنجره برای این آزمایش ۱*۳ انتخاب شده اند تا بیشینه نسبت سیگنال به نوفه، بدون از دست دادن سیگنال حاصل شود. آنچه که از شکل ۴-۱۳ مشهود است، این است که فیلتر میانه حتی به اندازه روش فیلتر انتشار مدل اسکالر در تضعیف نوفه و بهبود نسبت سیگنال به نوفه موفق نیست. شکل ۴-۱۴ نیز طیف دامنه داده تضعیف نوفه شده با روش فیلتر میانه را نشان می دهد که در فرکانس های بالای ۵۰ هرتز دامنه های قابل توجهی مشاهده می شود که مربوط به طیف فرکانسی نوفه تصادفی باقی مانده در داده است.



(ب)

(الف)

شکل ۴-۱۳: (الف) نتایج حاصل از اعمال فیلتر میانه (ب) تفاضل بین داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده.

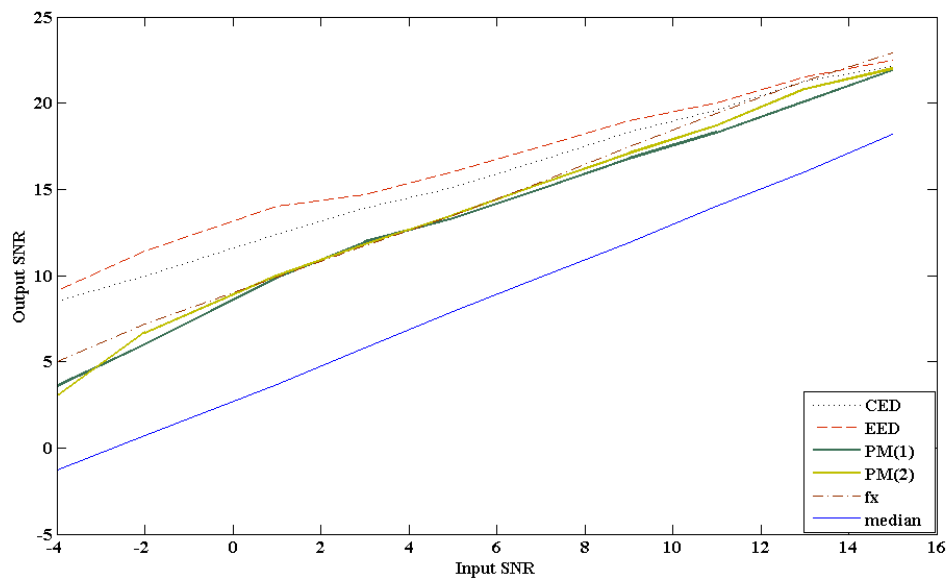


شکل ۴-۱۴: طیف دامنه مربوط به داده تضعیف نوفه شده توسط روش فیلتر میانه.

جدول ۳-۴: مقایسه بهبود نسبت سیگنال به نوفه روش‌های مختلف برای نسبت سیگنال به نوفه‌های مختلف.

SNR \ Methods	-۴	-۲	۱	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۵
PERONA-MALIK equation (3-12)	۳/۶	۶	۹/۹	۱۱/۵	۱۳/۳	۱۵	۱۶/۸	۱۸/۳	۲۰/۱	۲۱/۹
PERONA-MALIK equation (3-13)	۳	۶/۷	۱۰	۱۱/۸	۱۳/۵	۱۵/۳	۱۷/۱	۱۸/۷	۲۰/۸	۲۲
EED	۹/۱	۱۱/۴	۱۴	۱۴/۷	۱۶	۱۷/۵	۱۹	۲۰	۲۱/۵	۲۲/۵
CED	۸/۵	۱۰	۱۲/۴	۱۳/۹	۱۵/۱	۱۶/۷	۱۸/۳	۱۹/۶	۲۱/۳	۲۲/۱
F-X Deconvolution	۵	۷/۲	۹/۹	۱۱/۷	۱۳/۵	۱۵/۴	۱۷/۵	۱۹/۴	۲۱/۳	۲۲/۹
Median filter	-۱/۳	۰/۷	۳/۷	۵/۸	۷/۹	۹/۹	۱۱/۹	۱۴	۱۶	۱۸/۲

نمودار ۴-۱: نمودار مقایسه بهبود نسبت سیگنال به نوفه در روش‌های مختلف.

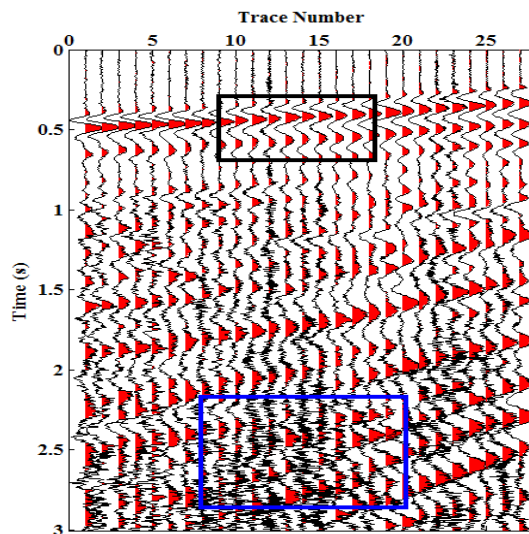


۴-۴ بررسی عملکرد روش بر روی داده واقعی

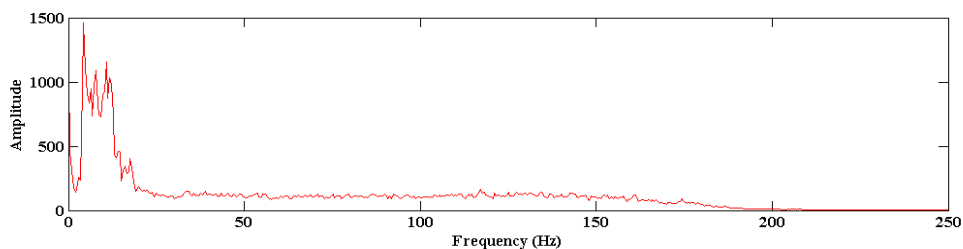
در این بخش به بررسی فیلترهای انتشار بر روی داده واقعی و همچنین مقایسه آن با روش

واهمامیخت $f-x$ و فیلتر میانه پرداخته می شود.

در شکل ۴-۱۵ تصویر قسمتی از یک داده لرزه‌ای واقعی نشان داده شده است که با نوفه تصادفی پوشانده شده است که در قسمت بالایی داده شدت کمتر و در قسمت پایین داده تقریباً تمام دامنه سیگنال را پوشش داده است. در شکل ۴-۱۶ طیف دامنه میانگین مربوط به داده واقعی محاسبه و رسم شده است.



شکل ۴-۱۵: بخشی از داده لرزه‌ای واقعی.

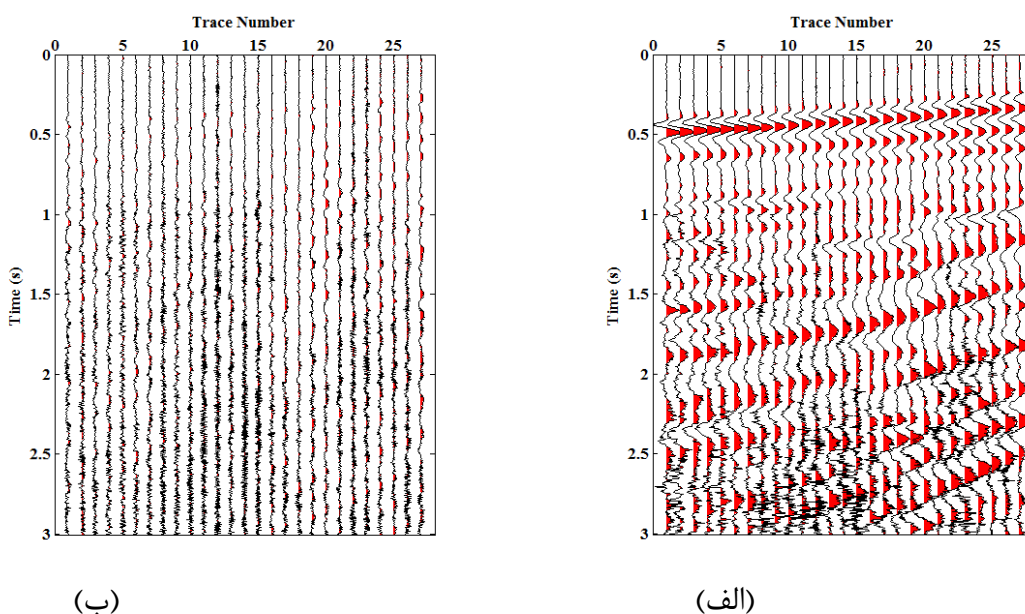


شکل ۴-۱۶: طیف دامنه میانگین داده واقعی.

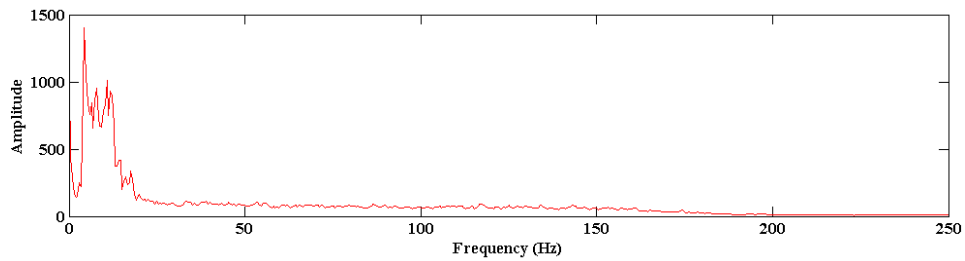
نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل اسکالر با استفاده از رابطه (۳-۱۲) در شکل ۴-۱۷ الف و با استفاده از رابطه (۳-۱۳) در شکل ۴-۱۹ الف نشان داده شده است. با دقت در این شکل‌ها مشاهده می شود که این روش در تضعیف نوفه در بخش پایینی داده موفق نبوده است. این امر به نظر می آید بخاطر ضعف معیار تخمین لبه در سطح نوفه بالا و غیریکنواخت باشد. در واقع اگر هدف، حذف

تمامی نوفه باشد، در بخش بالای داده که نوفه کمتری پوشانده شده است، هموارسازی بیشتر و در نتیجه آسیب به سیگنال اصلی وارد می‌شود. با توجه به این که معیار عملکرد در داده واقعی حذف حداکثری نوفه همزمان با آسیب حداقلی به سیگنال است، لذا پارامترهای فیلتر به گونه‌ای تعریف شده‌اند که کمترین اثر از سیگنال در تفاضل داده تضعیف نوفه شده با داده اصلی ظاهر شود. مقدار پارامتر آستانه گرادیان برای شکل ۴-۱۷ مقدار ۰/۴، گام زمانی ۰/۰۱ و تعداد تکرار ۲۶ و برای شکل ۴-۱۹ مقدار ۰/۰۷ برای پارامتر آستانه گرادیان، گام زمانی ۰/۱ و تعداد تکرار ۱۵ انتخاب شده است.

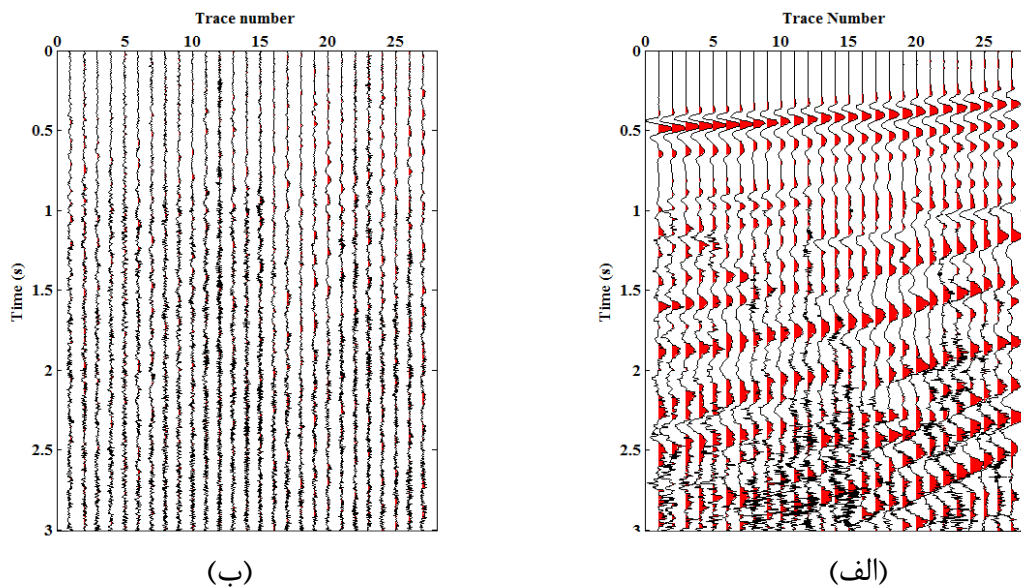
در شکل ۴-۱۸ و شکل ۴-۲۰ به ترتیب طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل اسکالر پرونا مالیک برای رابطه (۳-۱۲) و (۳-۱۳) رسم شده‌اند. در مقایسه با شکل ۴-۱۶ اندکی کاهش دامنه در محدوده سیگنال مشاهده می‌شود. علاوه بر این آثاری از حضور دامنه نوفه فرکانس بالا قابل مشاهده است.



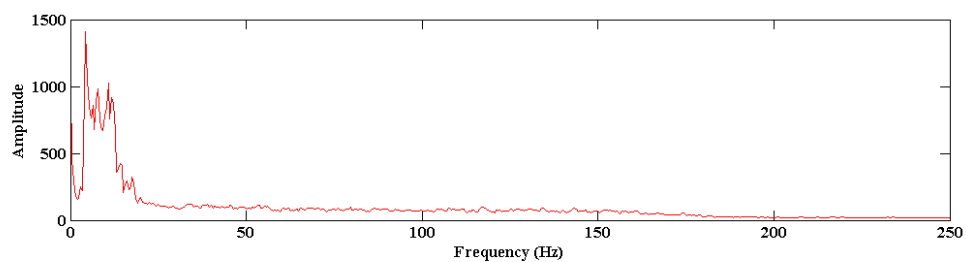
شکل ۴-۱۷: (الف) نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک (۳-۱۲) (ب) تفاضل داده اصلی و داده. تضعیف نوفه شده.



شکل ۴-۱۸: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک رابطه (۳-۱۲).



شکل ۴-۱۹: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک رابطه (۳-۱۳) (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده.

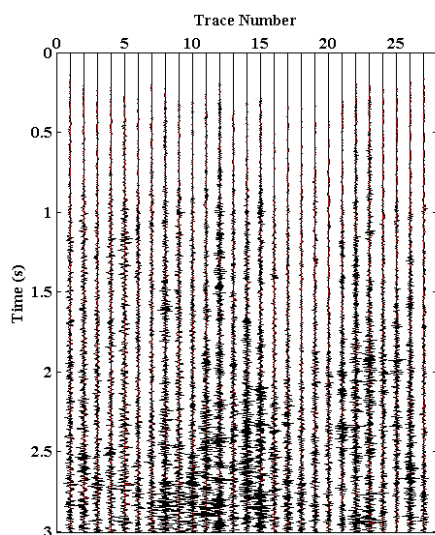


شکل ۴-۲۰: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل پرونا و مالیک رابطه (۳-۱۳).

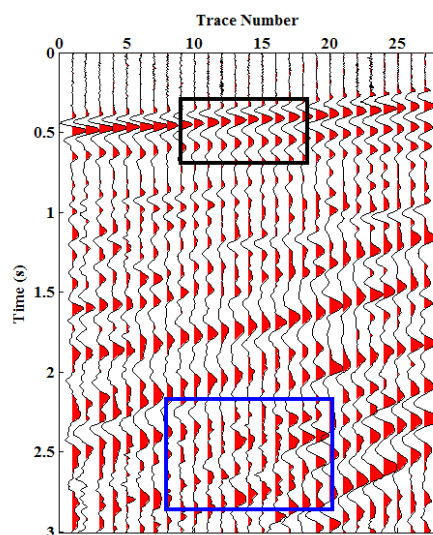
در شکل ۴-۲۱ الف نتیجه اعمال روش فیلتر انتشار مدل تانسوری با رویکرد بهبود دهنده همدوسی و در شکل ۴-۲۱ ب تفاضل بین داده آغشته به نوفه و داده تضعیف نوفه شده رسم شده

است و بخوبی نشان می‌دهد که در طی فرآیند تضعیف نوفه، ضمن کاهش مناسب نوفه فرکانس بالا، آثاری از سیگنال در تفاضل داده تضعیف نوفه شده و داده آغشته به نوفه مشاهده نمی‌شود. همچنین شکل ۲۲-۴ مربوط به طیف دامنه میانگین داده تضعیف نوفه شده در شکل ۴-۲۱ است که تقریباً در فرکانس‌های بالای ۸۰ هرتز دامنه‌ها کاهش شدید و در محدوده سیگنال تغییرات شدید دامنه و آسیب به سیگنال مشاهده نمی‌شود.

در شکل ۴-۲۳ الف نتیجه اعمال روش فیلتر انتشار مدل تانسوری با رویکرد بهبود دهنده لبه نمایش داده شده و در شکل ۴-۲۳ ب، اختلاف داده آلوده و تضعیف نوفه شده قرار داده شده است که نشان می‌دهد اثری از سیگنال در آن حضور ندارد. در این شکل نیز قدرت تضعیف نوفه بالا و حفظ سیگنال در مدل تانسوری بهبود دهنده لبه قابل مشاهده است. شکل ۴-۲۴ طیف دامنه میانگین داده تضعیف نوفه شده مربوط به شکل ۴-۲۳ را نشان می‌دهد که دامنه محدوده فرکانسی بالای ۸۰ هرتز که محدوده نوفه فرکانس بالا است، شدیداً تضعیف شده‌اند و در محدوده سیگنال زیر ۵۰ هرتز به خوبی حفظ شده است.

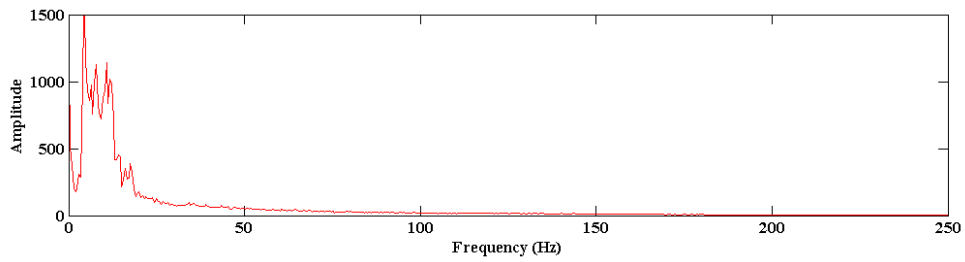


(ب)

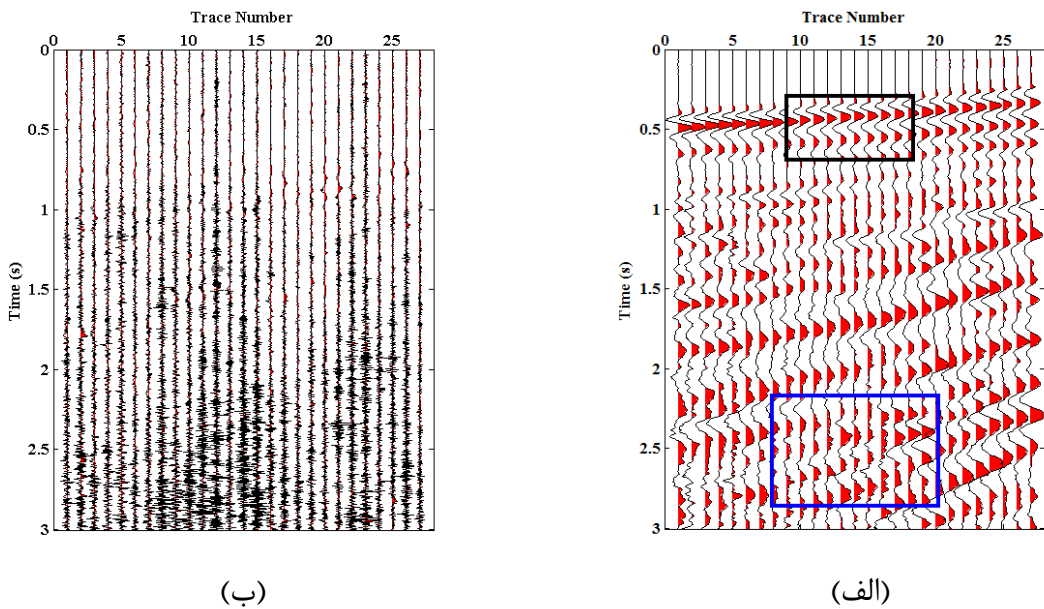


(الف)

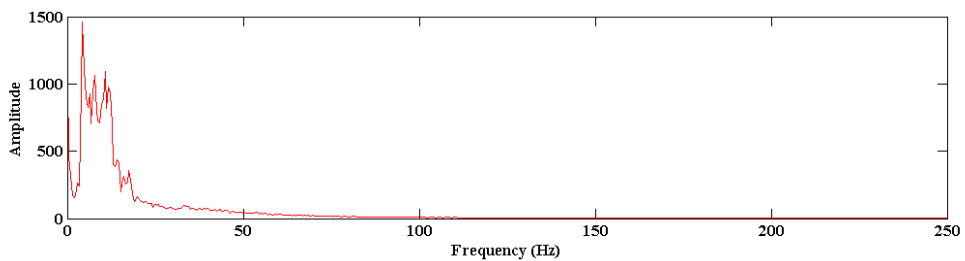
شکل ۴-۲۱: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل تانسوری CED (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده.



شکل ۴-۲۲: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل تانسوری CED.

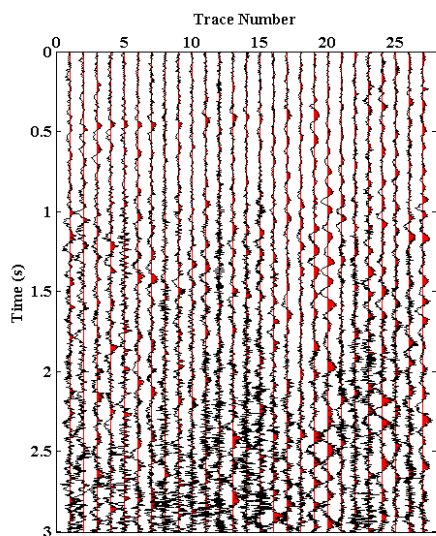


شکل ۴-۲۳: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر انتشار مدل تانسوری بهبود دهنده لبه EED (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده.

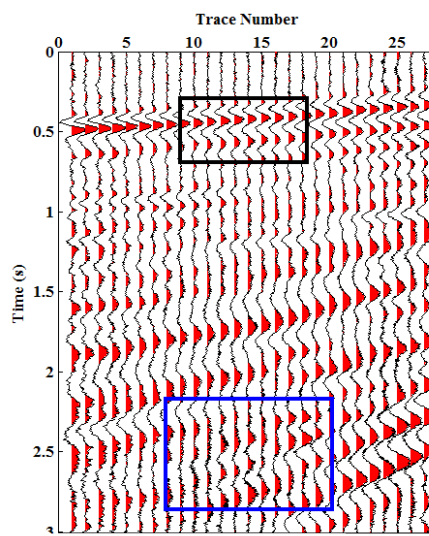


شکل ۴-۲۴: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر انتشار مدل تانسوری EED.

شکل ۲۵-۴ الف داده تضعیف نوفه شده و در شکل ۲۵-۴ ب اختلاف داده آلوده به نوفه و داده تضعیف نوفه شده را در روش فیلتر واهمامیخت $f-x$ نشان می‌دهند. طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده نیز در شکل ۲۶-۴ رسم شده است. از مقایسه طیف دامنه مربوط به فیلتر واهمامیخت $f-x$ با فیلترهای انتشار مدل تانسوری در شکل ۲۲-۴ و شکل ۲۴-۴، کاهش بیشتری در دامنه در محدوده سیگنال، یعنی در محدوده زیر ۵۰ هرتز مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر کمی از دامنه سیگنال تضعیف شده است. این موضوع با مشاهده شکل ۲۵-۴ ب نیز قابل مشاهده است که به دلیل تضعیف بخشی از سیگنال، در شکل ۲۵-۴ ب، آثاری از سیگنال در نوفه تضعیف شده مشاهده می‌شود. همچنین شکل ۲۷-۴ بزرگنمایی قسمت‌های مشخص شده با مستطیل مشکی رنگ (مستطیل کوچک) را برای مقایسه بیشتر نتایج روش‌های فیلتر انتشار و فیلتر واهمامیخت $f-x$ را نشان می‌دهد. شکل ۲۷-۴ الف مربوط به ناحیه معادل اشاره شده در مستطیل آبی (مستطیل بزرگ) در داده همراه نوفه، شکل ۲۷-۴ ب مربوط به فیلتر واهمامیخت $f-x$ ، شکل ۲۷-۴ ج مربوط به فیلتر انتشار مدل تانسوری بهبود دهنده همدوسی و شکل ۲۷-۴ د مربوط به مدل تانسوری بهبود دهنده لبه می‌باشد. مطابق این شکل سیگنال بازیابی شده توسط روش‌های فیلتر انتشار بسیار هموارتر و همراه با کم‌ترین اعوجاج هستند، در حالی که در روش واهمامیخت $f-x$ علاوه بر تضعیف دامنه، اعوجاج‌هایی کوچک باقی مانده‌اند. همچنین در شکل ۲۸-۴ بزرگنمایی مستطیل آبی رنگ مشخص شده در تصاویر نشان داده شده است. شکل ۲۸-۴ الف، مربوط به داده همراه نوفه، شکل ۲۸-۴ ب مربوط به خروجی فیلتر واهمامیخت فرکانس - مکان، شکل ۲۸-۴ ج مربوط به خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوع بهبود دهنده همدوسی و شکل ۲۸-۴ د، نیز مربوط به خروجی فیلتر انتشار نوع بهبود دهنده لبه می‌باشد که نشان می‌دهد فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه تصادفی فرکانس بالای بیشتری را تضعیف کرده و اعوجاجات ریز در شکل مشاهده نمی‌شود. همچنین دامنه سیگنال را بخوبی در شرایط سطح نوفه بالا نیز حفظ نموده است.

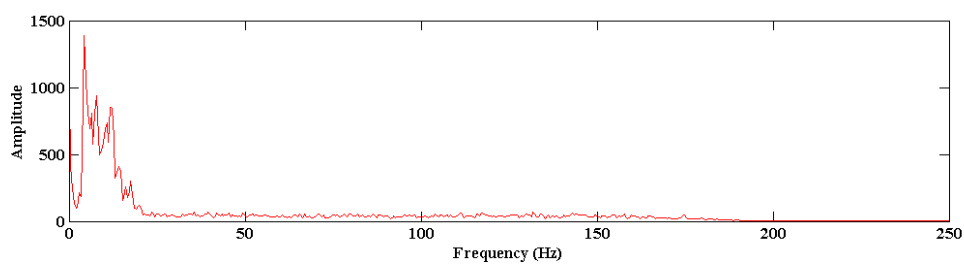


(ب)

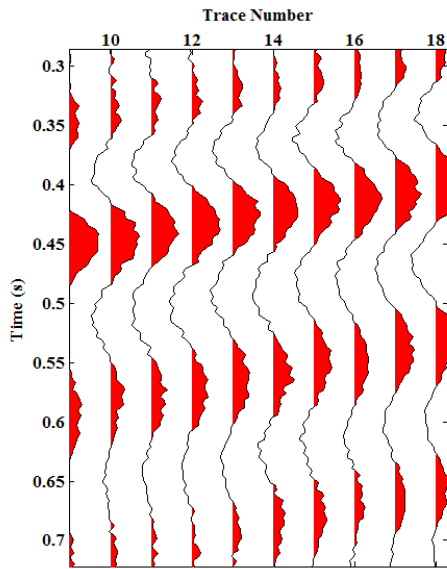


(الف)

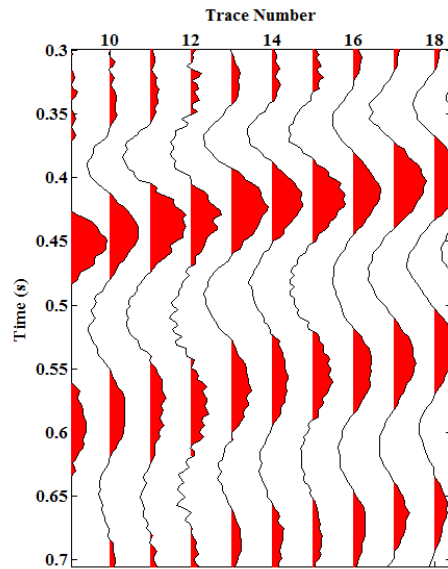
شکل ۴-۲۵: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر واهمامیخت $f-x$ (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده.



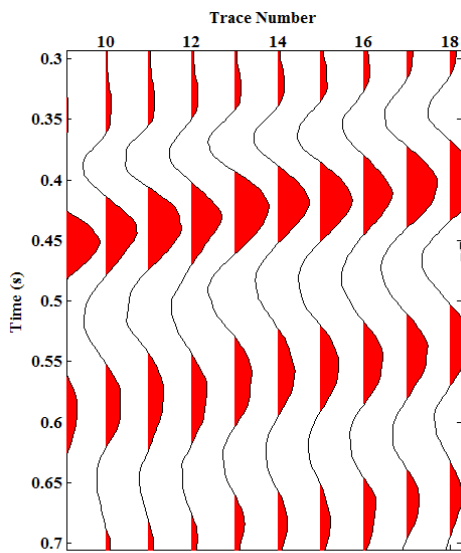
شکل ۴-۲۶: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر واهمامیخت $f-x$.



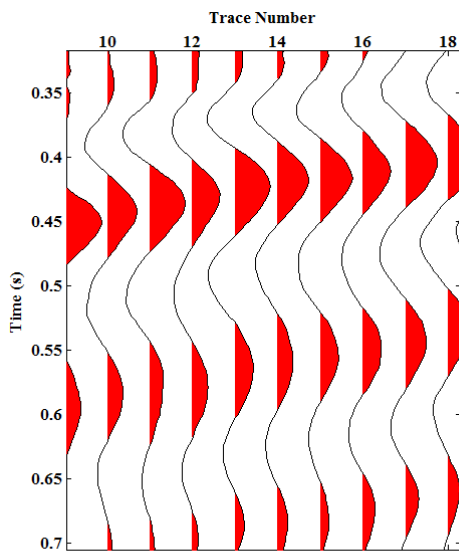
(ب)



(الف)



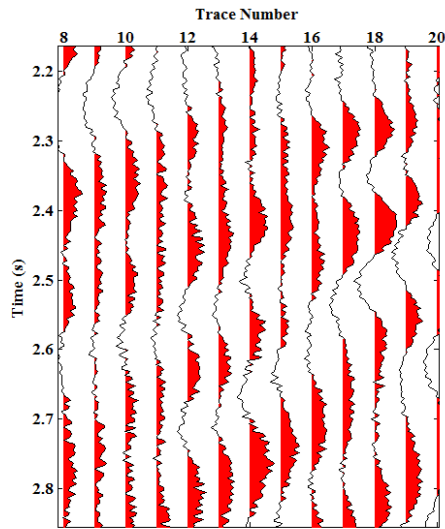
(د)



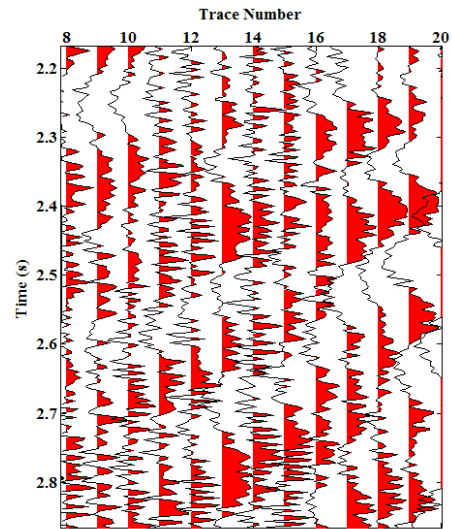
(ج)

شکل ۴-۲۷: بزرگنمایی قسمت‌های داخل مستطیل مشکی (الف) داده همراه نوفه (ب) خروجی فیلتر واهمامیخت فرکانس-مکان (ج) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی CED (د) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی

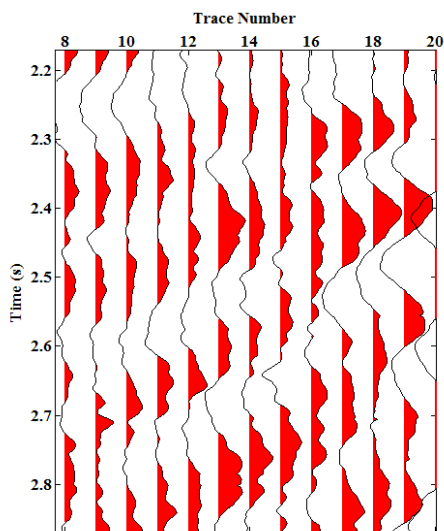
EED



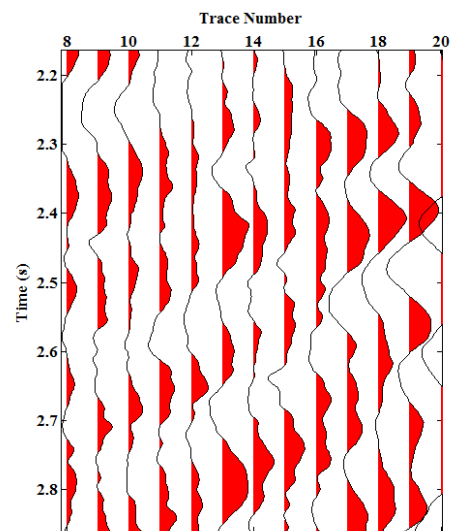
(ب)



(الف)



(د)



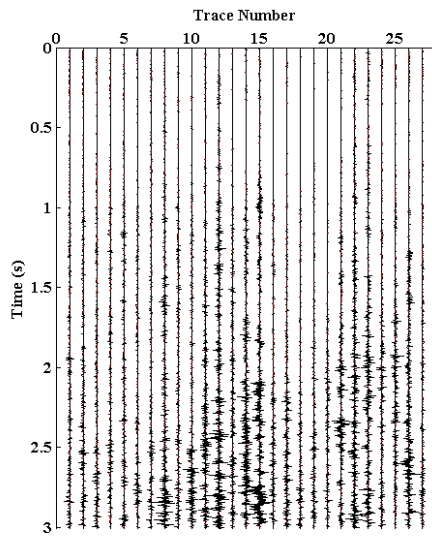
(ج)

شکل ۴-۲۸: بزرگنمایی قسمت داخل مستطیل آبی رنگ (الف) داده همراه نوفه (ب) خروجی فیلتر واهمامیخت فرکانس-مکان (ج) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی CED (د) خروجی فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی

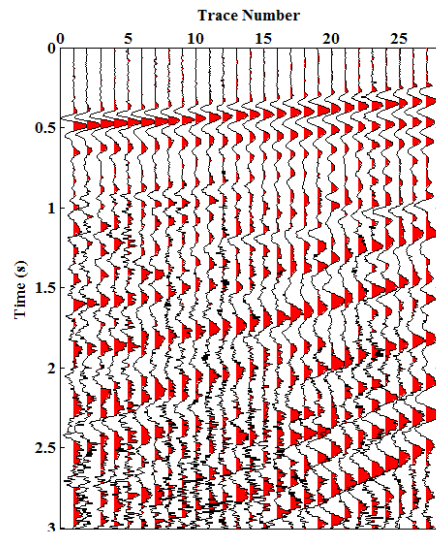
EED

همچنین برای بررسی بیشتر نتیجه اعمال روش فیلتر میانه که یکی از فیلترهای هموارساز غیرخطی مناسب است، در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است. برای این روش ابعاد پنجره 1×3 در نظر گرفته شده است تا بهترین نتیجه به دست آید. در این روش علی رغم نوفه زدایی مناسب، بخشی از نوفه در داده باقی مانده است که شکل ۴-۳۰ طیف دامنه مربوط به داده تضعیف نوفه شده، باقی

ماندن بخشی از نوفه را در داده فیلترشده نشان می‌دهد.

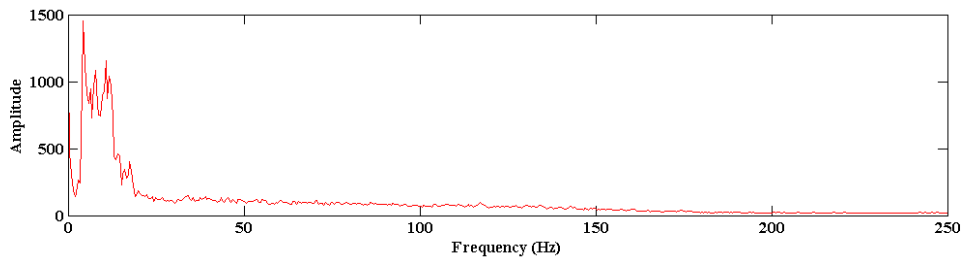


(ب)



(الف)

شکل ۴-۲۹: نتیجه حاصل از اعمال روش فیلتر میانه (ب) تفاضل داده اصلی و داده تضعیف نوفه شده.



شکل ۴-۳۰: طیف دامنه میانگین مربوط به داده تضعیف نوفه شده به روش فیلتر میانه.

نتیجہ گیری و پیشہدات

۵-۱ نتیجه گیری

در این پایان نامه از روشی با عنوان فیلترهای انتشار بر پایه معادلات دیفرانسیل جزئی انتشار برای تضعیف نوفه تصادفی و در عین حال حفظ رویدادها استفاده شد و انواع مختلف این روش مورد بررسی قرار گرفت. در نوع خطی فیلترهای انتشار به دلیل این که مقدار هموارسازی در تمام نقاط و جهات یکسان است، در نتیجه یک فرآیند هموارسازی غیرکنترل شده ایجاد می شود که این موضوع باعث می شود تا این نوع فیلترها عملکرد مناسبی نداشته باشند و در پردازش داده های لرزه ای مورد استقبال قرار نگیرند. در نوع غیرخطی این فیلترها این مشکل با ارائه یک تابع انتشار کاهشی متناسب با تصویر ورودی مرتفع شد که با استفاده از تغییرات شدت روشنایی در هر پیکسل به شناسایی لبه ها می پردازد و در مکان لبه ها با کاهش مقدار هموارسازی از تارشدگی و آسیب به سیگنال جلوگیری می کند. نوع دیگری از این فیلترها که فیلترهای ناهمسانگرد نام دارد، نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این مورد با ایده هموارسازی در جهت ساختارها بهبود بیشتری در نسبت سیگنال به نوفه نسبت به مدل های قبلی آن صورت گرفت. ایده هموارسازی جهت یافته در راستای ساختارها توسط مفهوم تانسور به خوبی عملی گردید. مدل فیلتر انتشار غیرخطی ناهمسانگرد با در نظر گرفتن تانسور انتشار به عنوان جایگزینی برای تابع عددی انتشار گام مثبتی در فیلترهای انتشار و روش های هموارسازی غیرخطی محسوب می شود. با اعمال این روش بر روی داده های مصنوعی و واقعی مشاهده می شود که روش فیلتر انتشار غیر خطی ناهمسانگرد انتشار بهبود قابل توجهی در داده های لرزه ای در مقایسه با روش های متداولی همچون واهمایخت فرکانس - مکان به عنوان روش پرکاربرد و فیلتر میانه به عنوان روش هموارساز غیرخطی، ایجاد می کند.

البته این روش ها نیز مانند سایر روش ها مزایا و محدودیت هایی متناسب با تئوری روش دارند که به مهم ترین آن ها می توان اشاره نمود:

مزایا:

- ۱ - قابلیت بسیار خوب هموارسازی و تضعیف نوفه تصادفی را دارا می‌باشد.
- ۲ - حساسیت کم‌تر به سطح نوفه، در سطح نوفه بالا برخلاف روش‌های پیشگو که تشخیص مرز سیگنال و نوفه دشوار می‌شود، پاسخ‌های بهتری ارائه می‌دهد.
- ۳ - از قابلیت حفظ لبه و سیگنال (ساختارهای موجود در تصویر) بسیار مناسبی برخوردار است.
- ۴ - زمان انجام فرآیند نسبتاً مناسب است.

محدودیت‌ها:

- ۱ - تعیین پارامترها به صورت تطبیقی است و به دلیل این که وابستگی شدیدی به تصویر ورودی دارند، فرآیندی وقت‌گیر است.
- ۲ - فیلتر انتشار مدل پرونا مالیک در تصاویری که گرادیان شدت نوفه از لبه‌ها بیشتر باشد مناسب عمل نمی‌کند البته در این حالت‌ها اکثر روش‌های موجود عکس‌العمل خوبی نشان نمی‌دهند؛ و اصولاً تشخیص مرز بین سیگنال و نوفه بسیار مشکل می‌شود.

۵-۲ پیشنهادات

- با توجه به مطالعه صورت گرفته می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه داد
- ۱ - ارائه الگوریتم خودکار جهت تعیین پارامترهای بهینه برای تصویر ورودی.
 - ۲ - بررسی اثر انواع روش‌های گسسته‌سازی معادله انتشار بر روی عملکرد روش.

منابع

- [١] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, Applied geophysics vol. 1: Cambridge university press, 1990.
- [٢] Ö. Yilmaz, Seismic data analysis vol. 1: Society of exploration geophysicists Tulsa, OK, 2001.
- [٣] V. E. Oropeza, "The singular spectrum analysis method and its application to seismic data denoising and reconstruction," University of Alberta, 2010.
- [٤] A. R. Brown, Interpretation of three-dimensional seismic data, fifth ed.: American Association of Petroleum Geologists Tulsa, 1999.
- [٥] K. Chen, "Robust matrix rank reduction methods for seismic data processing," University of Alberta, 2013.
- [٦] O. Naess and L. Bruland, "Stacking methods other than simple summation," Developments in geophysical exploration methods, vol. 6, pp. 189-223, 1985.
- [٧] R. Neelamani, T. A. Dickens, and M. Deffenbaugh, "Stack-and-denoise: A new method to stack seismic datasets," in Proc. 76th SEG Annual International Meeting, 2006, pp. 2827-2831.
- [٨] S. Hornbostel and G. Bishop, "Background restoration of dip-filtered data," Geophysics, vol. 55, pp. 249-253, 1990.
- [٩] P. Embree, J. P. Burg, and M. M. Backus, "Wide-band velocity filtering-the pie-slice process," Geophysics, vol. 28, pp. 948-974, 1963.
- [١٠] S. Trickett, "F-xy Cadzow noise suppression," in 2008 SEG Annual Meeting, 2008.
- [١١] P. J. Gendron, "Scale adaptive filtering," ed: Google Patents, 2007.
- [١٢] C.-F. Li and C. Liner, "Wavelet-based detection of singularities in acoustic impedances from surface seismic reflection data," Geophysics, vol. 73, pp. V1-V9, 2007.
- [١٣] R. Neelamani, A. I. Baumstein, D. G. Gillard, M. T. Hadidi, and W. L. Soroka, "Coherent and random noise attenuation using the curvelet transform," The Leading Edge, vol. 27, pp. 240-248, 2008.
- [١٤] R. Abma and J. Claerbout, "Lateral prediction for noise attenuation by tx and fx techniques," Geophysics, vol. 60, pp. 1887-1896, 1995.
- [١٥] T. J. Ulrych, M. D. Sacchi, and S. L. Freire, "Eigenimage processing of seismic sections," Covariance analysis for seismic signal processing, pp. 241-274, 1999.
- [١٦] K. M. Al-Yahya, "Application of the partial Karhunen-Loeve transform to suppress random noise in seismic sections," Geophysical prospecting, vol. 39, pp. 77-93, 1991.
- [١٧] I. Jones and S. Levy, "signal-to-noise ratio enhancement in multichannel seismic data via the Karhunen-loeve transform*," Geophysical prospecting, vol. 35, pp. 12-32, 1987.
- [١٨] D. C. Hagen, "The application of principal components analysis to seismic data sets," Geoexploration, vol. 20, pp. 93-111, 1982.

- [١٩] B. Ursin and Y. Zheng, "Identification of seismic reflections using singular value decomposition," *Geophysical prospecting*, vol. 33, pp. 773-799, 1985.
- [٢٠] N. Djarfour, J. Ferahtia, F. Babaia, K. Baddari, E.-a. Said, and M. Farfour, "Seismic noise filtering based on Generalized Regression Neural Networks," *Computers & Geosciences*, vol. 69, pp. 1-9, 2014.
- [٢١] S. Dangeti, "Denoising techniques-a comparison," Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering in The Department of Electrical and Computer Engineering by Sarita Dangeti BE, Andhra University College of Engineering, 2003.
- [٢٢] S. E. Umbaugh, "Computer vision and image processing a practical approach using C++ tools, 1998," ed: Prentice Hall.
- [٢٣] S. Shang, L.-G. Han, Q.-T. Lv, and C.-Q. Tan, "Seismic random noise suppression using an adaptive nonlocal means algorithm," *Applied Geophysics*, vol. 10, pp. 33-40, 2013.
- [٢٤] N. M. AlBinHassan, Y. Luo, and M. N. Al-Faraj, "3D edge-preserving smoothing and applications," *Geophysics*, vol. 71, pp. P5-P11, 2006.
- [٢٥] Y. Luo, M. Marhoon, S. Al Dossary, and M. Alfaraj, "Edge-preserving smoothing and applications," *The leading edge*, vol. 21, pp. 136-158, 2002.
- [٢٦] S. Al-Dossary and K. J. Marfurt, "Fracture-preserving smoothing," in 2003 SEG Annual Meeting, 2003.
- [٢٧] Y. Liu, S. Fomel, and G. Liu, "Nonlinear structure-enhancing filtering using plane-wave prediction*," *Geophysical Prospecting*, vol. 58, pp. 415-427, 2010.
- [٢٨] C. Hanpeng, H. Zhenhua, L. Yalin, Z. Wen, and H. Guangming, "Improving the Quality of Seismic Data Using Multi-Scale Dip Orientation Adaptive Filtering," in 2013 SEG Annual Meeting, 2013.
- [٢٩] A. P. Witkin, "Scale-space filtering: A new approach to multi-scale description," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP'84.*, 1984, pp. 150-153.
- [٣٠] P. Perona and J. Malik, "Scale space and edge detection for visual scene analysis," in *Proc. IEEE Computer Soc. Workshop on Computer Vision*, 1987, pp. 16-22.
- [٣١] D. Kroon and C. Slump, "Coherence filtering to enhance the mandibular canal in cone-beam CT data," 2009.
- [٣٢] D.-J. Kroon, *Segmentation of the mandibular canal in cone-beam CT data* :Citeseer, 2011.
- [٣٣] M. G. Imhof, "Enhancing seismic images using anisotropic nonlinear diffusion," in 2003 SEG Annual Meeting, 2003.
- [٣٤] K. Baddari, J. Ferahtia, T. Aifa, and N. Djarfour, "Seismic noise attenuation by means of an anisotropic non-linear diffusion filter," *Computers & Geosciences*, vol. 37, pp. 456-463, 2011.
- [٣٥] G. C. Fehmers and C. F. Höcker, "Fast structural interpretation with structure-oriented filtering," *Geophysics*, vol. 68, pp. 1286-1293, 2003.
- [٣٦] W. Enli and Y. Gaohan, "Diffusion Filtering for Seismic Data Enhancement," in 2013 SEG Annual Meeting, 2013.

- [۳۷] A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, and S. Nawab, "Signals and systems. 1997," ed: Prentice Hall, 1997.
- [۳۸] M. Lavergne, Seismic methods: Editions OPHRYS, 1989.
- [۳۹] A. Roshandel., "Application of minimum variance filters in power-line noise attenuation," *iranian journal of geophysics*, vol. 7, pp. 79-88, 2012.
- [۴۰] W. H. Mayne, "Common reflection point horizontal data stacking techniques," *Geophysics*, vol. 27, pp. 927-938, 1962.
- [۴۱] C. Liu, Y. Liu, B. Yang, D. Wang, and J. Sun, "A 2D multistage median filter to reduce random seismic noise," *Geophysics*, vol. 71, pp. V105-V110, 2006.
- [۴۲] A. Buades, Coll, B., and Morel, J. M., "A review of image denoising algorithms, with a new one," *Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 4, pp. 490–530, 2005.
- [۴۳] A. Buades, Coll, B., and Morel, J. M., "Image denoising methods. A new nonlocal principle," *SIAM Review*, vol. 52, pp. 113-147, 2010.
- [۴۴] L. L. Canales, "Random noise reduction," in 1984 SEG Annual Meeting, 1984.
- [۴۵] N. Gulunay, "FXDECON and complex Wiener prediction filter," in 1986 SEG Annual Meeting, 1986.
- [۴۶] M. D. Sacchi and H. Kuehl, "ARMA formulation of FX prediction error filters and projection filters," *Journal of Seismic Exploration*, vol. 9, pp. 185-198, 2001.
- [۴۷] G. Liu, X. Chen, J. Du, and K. Wu, "Random noise attenuation using f-x regularized nonstationary autoregression," *Geophysics*, vol. 77, pp. V61-V69, 2012.
- [۴۸] S. L. Freire and T. J. Ulrych, "Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling," *Geophysics*, vol. 53, pp. 778-785, 1988.
- [۴۹] S. K. Chiu and J. E. Howell, "Attenuation of coherent noise using localized-adaptive eigenimage filter," in 2008 SEG Annual Meeting, 2008.
- [۵۰] P. W. Cary and C. Zhang, "Ground roll attenuation with adaptive eigenimage filtering," in 2009 SEG Annual Meeting, 2009.
- [۵۱] C. Hemon and D. Mace, "Essai d'une application de la transformation de Karhunen-Loève au traitement sismique," *Geophysical Prospecting*, vol. 26, pp. 600-626, 1978.
- [۵۲] G. B. Marchisio, J. V. Pendrel, and B. W. Mattocks, "Applications of full and partial Karhunen-Loeve transformation to geophysical image enhancement," in 1988 SEG Annual Meeting, 1988.
- [۵۳] S. R. Trickett, "Fx eigenimage noise suppression," in 2002 SEG Annual Meeting, 2002.
- [۵۴] D. Gabor, "Theory of communication. Part 1: The analysis of information," *Journal of the Institution of Electrical Engineers-Part III: Radio and Communication Engineering*, vol. 93, pp. 429-441, 1946.
- [۵۵] E. Wigner, "On the quantum correction for thermodynamic equilibrium," *Physical Review*, vol. 40, p. 749, 1932.
- [۵۶] R. G. Stockwell, L. Mansinha, and R. Lowe, "Localization of the complex spectrum: the S transform," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 44, pp. 998-1001, 1996.
- [۵۷] S. Mallat, *A wavelet tour of signal processing*: Academic press, 1999.
- [۵۸] B. Boashash and M. Mesbah, "Signal enhancement by time-frequency peak filtering," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 929-937, 2004.

- [۵۹] A. B. Carlson, P. B. Crilly, and J. C. Rutledge, "Communication systems: an introduction to signals and noise in electrical communication," Guía Académica, p. 129, 1986.
- [۶۰] A. Roshandel, "Improvement of Time-Frequency Transform in the study of Seismic Data," PHD thesis, Institute of Geophysics University of Tehran, 2010.
- [۶۱] H. Lin, Y. Li, and B. Yang, "Recovery of seismic events by time-frequency peak filtering," in Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on , 2007 ,pp. V-441-V-444.
- [۶۲] B. S. Bokstein, D. J. Srolovitz, and M. I. Mendeleev, Thermodynamics and kinetics in materials science: Oxford Univ. Press, UK, 2005.
- [۶۳] X. Li, "The anatomy of anisotropic diffusion filters," CSEG Rec, vol. 30, pp. 54-60, 2005.
- [۶۴] J. Weickert, Anisotropic diffusion in image processing vol. 1: Teubner Stuttgart, 1998.
- [۶۵] M. Wielgus, "Perona-Malik equation and its numerical properties," arXiv preprint arXiv:1412.6291, 2014.
- [۶۶] E. Erdem, "Linear Diffusion," Hacettepe University, February 24th, 2012.
- [۶۷] E. Erdem, "NONLINEAR DIFFUSION PDES," 2012.
- [۶۸] M. Petrou and C. Petrou, Image processing: the fundamentals: John Wiley & Sons, 2010.
- [۶۹] S. K. Weeratunga and C. Kamath, "Comparison of PDE-based non-linear anisotropic diffusion techniques for image denoising," in Electronic Imaging 2003, 2003, pp. 201-212.
- [۷۰] P. Perona and J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 12, pp. 629-639 ,1990.
- [۷۱] J. Weickert, "A review of nonlinear diffusion filtering," in Scale-space theory in computer vision, ed: Springer, 1997, pp. 1-28.
- [۷۲] J. Weickert and H. Scharr, "A scheme for coherence-enhancing diffusion filtering with optimized rotation invariance," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 13, pp. 103-118, 2002.
- [۷۳] G.-H. Cottet and L. Germain, "Image processing through reaction combined with nonlinear diffusion," Mathematics of Computation, pp. 659-673, 1993.
- [۷۴] J. Weickert, "Coherence-enhancing diffusion filtering," International Journal of Computer Vision, vol. 31, pp. 111-127, 1999.
- [۷۵] M. Bahorich and S. Farmer, "3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: The coherence cube," The leading edge, vol. 14, pp. 1053-1058, 1995.
- [۷۶] K. J. Marfurt, R. L. Kirlin, S. L. Farmer, and M. S. Bahorich, "3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm," Geophysics, vol. 63, pp. 1150-1165, 1998.
- [۷۷] J. G. Proakis, "Digital signal processing: principles, algorithms, and application-3/E," 1996.

Abstrac:

Seismic reflection methods are one of the ways to explore the subsurface structures and exploit hydrocarbon reserves. There are always unwanted events in seismic acquisition results. The reliability of seismic mapping is strongly dependent upon the quality of the records. Seismic records are usually affected by various types of noise such as ground rolls, multiples, random noise, reflection and reflected refraction from near surface structures. Random noise resulted from random oscillation during acquiring data is one of the most important and harmful noises that exist in seismic data over entire time and frequency. Random noise attenuation is an important step in seismic data processing affecting the data interpretation. Low signal to noise ratio of the data will have a devastating impact on the interpretation of data, hence necessities to as denoising methods to enhance the seismic data quality. Different methods with different algorithms have been used for this purpose, each of which have own advantages and disadvantages. Methods developed in the field of image processing can be very useful for this purpose. One of those methods that is effective for reducing random noise, smoothing, although often leads to blurring and loss of fine details.

In this thesis, using image processing techniques and filtering based on nonlinear anisotropic diffusion, random noises in seismic data is reduced. These filters are designed based on partial differential equations (PDE). This method with simulation of diffusion process (transport of temperature or mass concentration) attenuates random noise in pictures (seismic section). The diffusion process describes a physical process that balancing concentration changes without creating or destroying mass. Nonlinear diffusion filters regard the (seismic) image as the initial state of a diffusion process which adapts to the evolving image. If we consider the concentration as the intensity of the image then we can use the PDE for designing the diffusion filter types.

The results of applying this method on synthetic and real data as well as comparing it with conventional methods such as median filter and F-x deconvolution filter, show that proposed method outperformed the other approaches from the aspects of SNR improvement and increasing the coherency of seismic events.

Key words: Random noise, image processing, nonlinear anisotropic diffusion filter, partial differential equations (PDE).



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

(Petroleum & Geophysics Group)

**Application of the diffusion filter for attenuation of random noise in seismic
reflection data**

Mohammad Shekofteh Zoeram

Supervisors:

Dr.Amin Roshandel Kahoo

Dr. Hadi Grailu

December 2015