

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد لرزه شناسی

# تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از فیلتر انتشار چند مقیاسی نوفه مبنا

نگارنده

مرتضی مظهری

اساتید راهنما

دکتر امین روشن‌دل کاهو

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

استاد مشاور

دکتر محمد رداد

بهمن ۱۳۹۹

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

## تقدیم اثر

اگر در آن مترقی باشد؛ تقدیم می شود به روح ملکوتی سیدالشهدای مدافعان

میهنم، سردار سپید پاسدار شهید حاج قاسم سلیمانی

## تشکر و قدردانی:

سپاس پروردگار پاک را که هر چه دارم از رحمت او و هر چه ندارم از حکمت اوست.  
بر خود لازم می دانم که از زحمات همه معلمان و اساتید دوران تحصیل به خصوص اساتید فرهیخته و

### فرزانه آقایان

دکتر اسین روشندل کا هو، دکتر مهرداد سلیمانی منفرد و دکتر محمدرداد

که بار همنوهای ارزنده خود در همه حال یاری رسان من بوده اند؛ سپاس گزاری کنم.

همچنین سپاس گزاری از همسر عزیزم که با صبر و بردباری خود، راه آموختن را

برای من هموار ساخت و تشکر و امتنان از پدر نیک اندیش و مادر مهربانم که معنای

واقعی حیات را یاد آوری کردند و نگرش واقعی به هستی را به من هدیه نمودند.

# تعمدنامه

اینجانب مرتضی مظهری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک-لرزه‌شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از فیلتر انتشار چند مقیاسی نوفه‌مبنا تحت راهنمایی دکتر امین روشندل کاهو و مهرداد سلیمانی منفرد 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 مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

امضای دانشجو

تاریخ

## مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

حضور نوفه در داده‌های لرزه‌ای بازتابی موجب تخریب داده و در نتیجه موجب عدم دقت در مدل‌سازی زیر سطحی می‌شود. دسته مهمی از عوامل ناخواسته و مخرب در داده‌های لرزه‌ای، نوفه‌های تصادفی هستند. نوفه‌های تصادفی در هر زمان و فرکانسی ظاهر شده و هیچگونه نظمی ندارند. با توجه به نقش مخرب نوفه‌های تصادفی، اثرات مخرب آن‌ها با کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا از روی داده پاک‌سازی شد.

فیلترهای ناهمسانگرد با بهره‌گیری از تانسور انتشار می‌توانند هموارسازی را در جهت حفظ ساختارها انجام دهند. فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا با بهره‌گیری از یک فیلتر گاوسی در الگوریتم خود، با ایجاد پنجره‌هایی با ابعاد مشخص، کیفیت داده و میزان نوفه آغشته به آن را بررسی می‌کند و با توجه به شرایط داده، بهترین تابع انتشار را جهت انجام نوفه‌زدایی مشخص می‌کند که فرآیند انتشار و نوفه زدایی با کمک این تابع صورت می‌پذیرد. با تخمین تابع انتشار، پارامترهای دیگر به صورت خودکار توسط فیلتر انتخاب می‌شود. در این پایان نامه به جهت درک بهتر و میزان تاثیر هر یک از پارامترها بر نتایج، طیف مختلفی از اعداد برای این پارامترها مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت و میزان نوفه زدایی با مقادیر مختلفی از این پارامترها با یکدیگر مقایسه شد. به جهت رسیدن به نتایج مطلوب، با اعمال الگوریتم تبدیل موجک، می‌توان فیلتر انتشار ناهمسانگرد اشاره شده را چندمقیاسی کرد. فیلتر انتشار چندمقیاسی نوفه‌مبنا ابتدا با کمک تبدیل موجک، داده را به مولفه‌های مختلف در مقیاس‌های گوناگون تجزیه می‌کند و سپس با اعمال فیلتر انتشار نوفه‌مبنا بر روی هر یک از این مقیاس‌ها، اقدام به تضعیف نوفه‌های تصادفی می‌کند.

در این پایان نامه ابتدا فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا بر داده مصنوعی و واقعی اعمال شد و بر خلاف پیش‌بینی‌ها، نتایج مطلوبی به ثبت نرسید و این فیلتر در بهبود نتایج، در مقایسه با سایر فیلترهای انتشار ناموفق بود. در ادامه و به جهت رسیدن به نتایج بهتر، فیلتری با رویکرد چندمقیاسی بر روی داده مصنوعی و طبیعی اعمال شد. استفاده از این فیلتر، در مقایسه با دیگر روش‌های تضعیف نوفه به کمک فیلتر انتشار، موجب افزایش چشمگیر نسبت سیگنال به نوفه و حفظ لبه‌ها و مرز ساختارها شد.

**کلمات کلیدی:** نوفه تصادفی، پردازش داده لرزه بازتابی، تابع انتشار، فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا

# فهرست مطالب

## فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲.....

۲-۱ هدف از پژوهش ۵.....

۳-۱ سوابق پژوهش ۵.....

۴-۱ ساختار پایان نامه ۱۰.....

## فصل ۲: تئوری، مفاهیم و کلیات ۱۱

۱-۲ سیگنال ۱۲.....

۲-۲ نوفه ۱۲.....

۱-۲-۲ نوفه همدوس ۱۳.....

۲-۲-۲ نوفه تصادفی (ناهمدوس) ۱۵.....

۳-۲ نسبت سیگنال به نوفه ۱۶.....

۴-۲ مفهوم انتشار ۱۷.....

۵-۲ انواع فیلترهای انتشار ۲۰.....

۱-۵-۲ فیلترهای انتشار همسانگرد (دارای تابع انتشار اسکالر) ۲۱.....

۲-۵-۲ فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی (دارای تابع انتشار تانسوری) ۲۳.....

۶-۲ تبدیل موجک ۲۵.....

۱-۶-۲ تبدیل موجک پیوسته یک بعدی ۲۵.....

۲-۶-۲ تبدیل موجک گسسته یک بعدی ۲۶.....

۳-۶-۲ تبدیل موجک گسسته دو بعدی ۲۷.....



۲۹.....۷-۲ فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا

### فصل ۳: نتایج مدل مصنوعی و واقعی ۳۹

۴۰.....۱-۳ مقدمه

۴۰.....۲-۳ نتایج مدل مصنوعی

۴۶.....۳-۳ نتایج مدل واقعی

### فصل ۴: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۵۳

۵۴.....۱-۴ نتیجه‌گیری

۵۵.....۲-۴ پیشنهادها

۵۶.....مراجع

## فهرست جداول

جدول ۱: مقایسه کلی نتایج تضعیف نوفه به کمک سه فیلتر معرفی شده با SNR اولیه ۳- دسی بل.... ۴۵

# فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: رکورد لرزه‌ای از یک نقطه میانی مشترک ..... ۳
- شکل ۱-۲: رکورد چشمه مشترک واقعی و حضور نوفه‌های خطوط انتقال برق فشار قوی و زمین‌غلت ..... ۴۶
- شکل ۲-۲: مقطع لرزه‌ای (الف) بدون نوفه. (ب) آغشته به نوفه تصادفی [۱۳] ..... ۱۶
- شکل ۳-۲: نمای شماتیک از فرآیند انتشار ..... ۱۸
- شکل ۴-۲: نمای شماتیک از حالات مختلف فرآیند انتشار. (الف) انتشار خطی همسانگرد. (ب) انتشار خطی ناهمسانگرد. (ج) انتشار غیرخطی همسانگرد. (د) انتشار غیرخطی ناهمسانگرد [۴۹] ..... ۱۹
- شکل ۵-۲: روند تجزیه سیگنال یا تصاویر ورودی به کمک تبدیل موجک دو بعدی [۶۳] ..... ۲۸
- شکل ۶-۲: نمودار  $\phi_1(x)$ ,  $\phi_2(x)$  و  $\phi_3(x)$  بر حسب  $x$  [۶۴] ..... ۳۳
- شکل ۱-۳: داده مصنوعی ایجاد شده. (الف) بدون نوفه. (ب) همراه با نوفه ..... ۴۱
- شکل ۲-۳: (الف) داده حاصل پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد. (ب) تفاضل داده آغشته به نوفه و داده‌ای که که نوفه آن تضعیف شده ..... ۴۲
- شکل ۳-۳: (الف) داده حاصل پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا. (ب) تفاضل داده آغشته به نوفه و داده‌ای که که نوفه آن تضعیف شده ..... ۴۳
- شکل ۴-۳: (الف) داده حاصل پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا. (ب) تفاضل داده آغشته به نوفه و داده‌ای که که نوفه آن تضعیف شده ..... ۴۴
- شکل ۵-۳: نمودار طیف دامنه-فرکانس داده مصنوعی در حالات مختلف. ..... ۴۵
- شکل ۶-۳: مقایسه نسبت سیگنال به نوفه؛ قبل و بعد از اعمال فیلترهای سه گانه انتشار مورد پژوهش. ..... ۴۶
- شکل ۷-۳: داده واقعی استفاده شده در این پایان نامه. ..... ۴۷
- شکل ۸-۳: (الف) داده واقعی بازبازی شده پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد. (ب) تفاضل داده واقعی و داده تضعیف نوفه شده ..... ۴۸
- شکل ۹-۳: (الف) داده واقعی بازبازی شده پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا. (ب) تفاضل داده واقعی و داده تضعیف نوفه شده ..... ۴۹
- شکل ۱۰-۳: (الف) داده واقعی بازبازی شده پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا. (ب) تفاضل داده واقعی و داده تضعیف نوفه شده ..... ۵۰
- شکل ۱۱-۳: نمودار طیف دامنه-فرکانس داده واقعی قبل و بعد از تضعیف نوفه. ..... ۵۱

# فصل ۱ : مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

روش لرزه‌نگاری بازتابی یکی از روش‌های متداول برای مطالعه‌ی ساختارهای زیرسطحی و اکتشاف منابع هیدروکربنی می‌باشد که با استفاده از داده‌های برداشت شده به صورت غیر مستقیم، به مدل‌سازی ساختارهای زیر سطحی می‌پردازد [۱]. این روش در چهار مرحله اصلی طراحی عملیات، برداشت، پردازش و تفسیر داده‌ها انجام می‌شود. بر این اساس یک موج الاستیک ایجاد شده توسط یک چشمه موج مصنوعی (مانند چکش، ویبراتور، دینامیت و...) یا طبیعی (زلزله‌های خفیف) به زمین ارسال می‌گردد و با توجه به اختلاف ویژگی‌های الاستیکی لایه‌های مختلف زمین، درصدی از این موج به سطح زمین بازتاب و درصدی از لایه مذکور عبور می‌کند. با دریافت موج‌های بازتاب شده از لایه‌های مختلف زمین و تجزیه و تحلیل آن‌ها مدل زیر سطحی منطقه بر اساس خواص الاستیک که ممکن است با لایه بندی زمین شناسی تفاوت داشته باشد؛ به صورت قابل قبولی ارائه خواهد شد. کیفیت مدل به دست آمده از ساختارهای زیر سطحی به کیفیت داده‌های برداشت شده مرتبط است [۱].

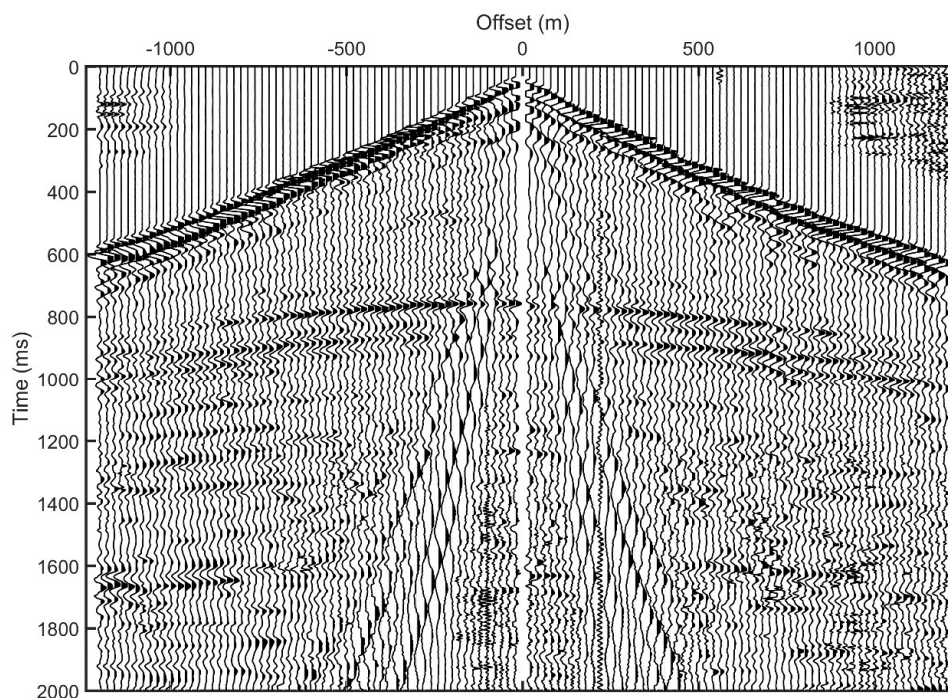
حضور نوفه‌ها<sup>۱</sup> در داده‌های لرزه‌ای اجتناب ناپذیر است و یکی از مراحل مهم پردازش داده‌های لرزه‌ای، تضعیف نوفه است که کمک بسزایی در مدل‌سازی دقیق‌تر ساختارهای زیرسطحی می‌کند. شکل ۱-۱ یک رکورد لرزه‌ای از یک نقطه میانی مشترک را نشان می‌دهد که امواج مستقیم، بازتابی، شکست مرزی، زمین‌غلت<sup>۲</sup> و نوفه تصادفی<sup>۳</sup> را شامل می‌شود. شکل ۱-۲ نمونه یک داده پس از پردازش است که شباهت زیادی به لایه بندی زمین دارد به گونه‌ای که یک برش دید از روبرو از لایه‌های مختلف زمین را نشان می‌دهد.

---

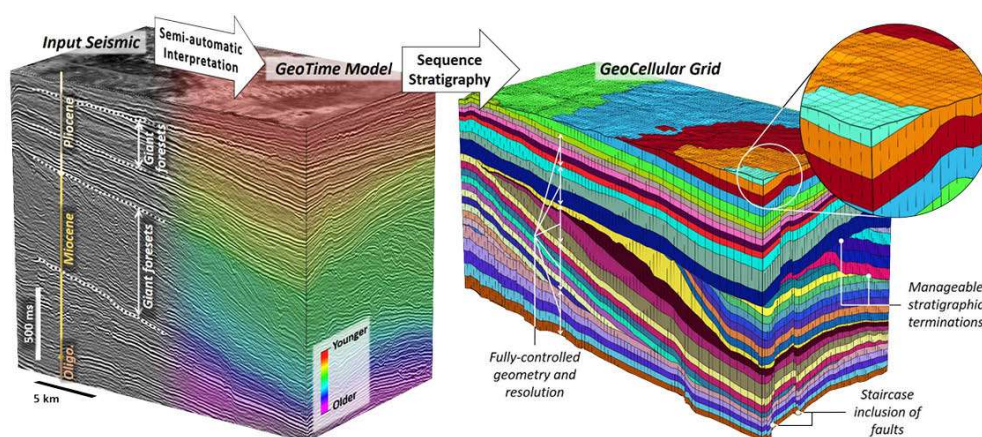
<sup>۱</sup> Noises

<sup>۲</sup> Ground Roll

<sup>۳</sup> Random noise



شکل ۱-۱: رکورد لرزه‌ای از یک نقطه میانی مشترک



شکل ۲-۱: نمونه یک داده پس از پردازش [۲]

نوفه در داده‌های لرزه‌ای به دو دسته نوفه تصادفی و همدوس<sup>۱</sup> تقسیم‌بندی می‌شود [۱ و ۳]. نوفه‌های همدوس بر خلاف نوفه‌های تصادفی دارای همبستگی است و از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر قابل

<sup>۱</sup> Coherent noise

رهگیری است. از جمله این نوفه‌ها می‌توان نوفه زمین‌گلت، چندگانه‌ها<sup>۱</sup> و نوفه ناشی از کابل‌های فشار قوی و... را نام برد [۴].

برخلاف نوفه‌های همدوس، نوفه‌های تصادفی دارای همبستگی نیستند و معمولاً در هر زمان و فرکانسی مشاهده می‌شوند. نوفه‌هایی مانند نوفه‌های محیطی، نوفه ناشی از آب و هوا<sup>۲</sup>، نوفه ناشی از قرارگیری نادرست ژئوفون در زمین و... در این دسته تقسیم بندی می‌شوند [۴].

باقی ماندن نوفه در داده لرزه‌ای باعث می‌شود مراحل بعدی پردازش داده‌های لرزه‌ای تحت تاثیر قرار بگیرد و مدل به دست آمده از ساختارهای زیرسطحی قابلیت اطمینان کمتری داشته باشد. بنابراین تضعیف نوفه امری مهم و بسیار ضروری در پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی جهت تضعیف نوفه‌ها ارائه شده‌اند و این روش‌ها هر روز در حال پیشرفت و افزایش‌اند. به دلیل وجود ضعف‌هایی در روش‌های معمول و مورد استفاده، ارائه روش‌های جدید به سرعت در حال افزایش است اگرچه که تمام روش‌ها دارای نقاط ضعف و نقاط قوتی هستند و بسته به هدف، نیاز مورد نظر و اهمیت بخش‌های مختلف داده، می‌توان از هر یک از این روش‌ها استفاده کرد.

تضعیف نوفه می‌تواند از همان مرحله طراحی عملیات آغاز شود به صورتی که با طراحی دقیق و ارائه آرایه‌های مناسب و مهندسی شده، می‌توان تا حد زیادی از آلوده شدن داده‌ها به نوفه جلوگیری کرد [۵]. در مرحله برداشت داده هم با رعایت مواردی از جمله کار گذاری دقیق گیرنده‌ها (به صورتی که کاملاً در زمین محکم شده باشند)، عدم پیاده‌روی و حرکت در نزدیکی گیرنده‌ها، اطمینان از اتصال کامل تمام کابل‌ها، عدم برداشت داده در شرایط نا مساعد جوی و... می‌توان تا حد زیادی در بهبود نسبت سیگنال<sup>۳</sup> به نوفه کمک کرد اما باید توجه داشت که مهم‌ترین و اصلی‌ترین بخش تضعیف

---

<sup>۱</sup> Multiples

<sup>۲</sup> Air waves

<sup>۳</sup> Signal

نوفه‌ها در مرحله پردازش داده می‌باشد که این تضعیف ممکن است در مرحله قبل یا بعد از برانبارش<sup>۱</sup> داده‌ها صورت پذیرد [۶ و ۷]. ارکان این پژوهش بر تضعیف نوفه‌ها در مرحله پردازش استوار است.

## ۱-۲ هدف از پژوهش

با توجه به نقش مخرب نوفه‌ها در داده‌های لرزه‌ای و ضرورت تضعیف آن‌ها، تلاش شده تا در این پژوهش با کمک فیلتر انتشار چند مقیاسی نوفه‌مبنا<sup>۲</sup>، نوفه‌های تصادفی ایجاد شده بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی تضعیف شوند. هدف از این پژوهش افزایش نسبت سیگنال به نوفه و بهبود لبه‌ها و مرز ساختارها در مقایسه با دیگر روش‌های مبتنی بر فیلتر انتشار<sup>۳</sup> است و نتایج آن با نتایج آخرین پژوهش در حوزه فیلتر انتشار مقایسه شده است.

## ۱-۳ سوابق پژوهش

تاکنون روش‌های زیادی برای تضعیف نوفه‌های تصادفی پیشنهاد شده که هر یک دارای معایب و مزایایی می‌باشند. یکی از متداول‌ترین روش‌هایی تضعیف نوفه‌های تصادفی روش برانبارش نقطه مشترک میانی<sup>۴</sup> است که در سال ۱۹۶۲ توسط مین<sup>۵</sup> برای تضعیف نوفه‌های تصادفی با میانگین‌گیری از ردلرزه‌ها معرفی شد [۸]. از قدیمی‌ترین روش‌های تضعیف نوفه‌های تصادفی، محدود کردن باند فرکانسی با استفاده از فیلترهای فرکانسی است [۹]؛ اما چون سیگنال اصلی و نوفه اضافه شده در این حوزه دارای همپوشانی هستند، بنابراین نمی‌توان نوفه را به خوبی تضعیف کرد و در نتیجه با فیلتر کردن، بخشی از سیگنال اصلی نیز از بین خواهد رفت [۱۰]. بیشتر این فیلترها در حوزه فرکانس طراحی می‌شوند، زیرا ویژگی‌های مورد نظر در این حوزه به سهولت قابل طراحی هستند. پس از

---

<sup>۱</sup> Stack

<sup>۲</sup> adaptive-noise multi-scale diffusion filter

<sup>۳</sup> diffusion filter

<sup>۴</sup> Common midpoint stack

<sup>۵</sup> Mayne



طراحی فیلتر در حوزه فرکانس، یا سیگنال به حوزه فرکانس منتقل شده و در فیلتر ضرب می‌شود و یا فیلتر به حوزه زمان منتقل شده و با سیگنال هم‌امیخت<sup>۱</sup> می‌شود و در پایان سیگنال عاری از نوفه حاصل می‌شود [۱۰ و ۱۱].

به دلیل عملکرد نامناسب فیلترهای فرکانسی، روش‌های مختلفی برای تضعیف نوفه تصادفی به کار رفته است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها روش‌هایی بر پایه تبدیلات است. فیلترهای  $f-k$  یا همان فیلتر سرعت [۱۲]، فیلتر کادزو<sup>۲</sup> [۱۳]، تبدیل موجک<sup>۳</sup> [۱۴ و ۱۵] و تبدیل کمانک<sup>۴</sup> [۱۶] نمونه‌هایی از این روش‌ها هستند. قابل پیش‌بینی بودن داده‌های لرزه‌ای و در مقابل؛ عدم قابلیت پیش‌بینی نوفه‌های ناهمدوس باعث شد تا روش‌هایی بر این اساس شکل بگیرند. فیلتر پیشگو<sup>۵</sup> که بر اساس قابل پیش-بینی بودن سیگنال بیان شده، می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای فیلتر فرکانسی باشد که هم در حوزه زمان-فضا و هم در حوزه فرکانس-فضا قابل پیاده‌سازی است [۱۷].

اگر سیگنال از یک ردلرزه به ردلرزه‌ی دیگر قابل پیش‌بینی و در عین حال نوفه در همین ردلرزه‌ها تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی باشد، بهترین گزینه برای تضعیف آن، فیلتر پیشگو خواهد بود. بر این اساس الگوریتمی مورد نیاز است که بتواند انرژی همدوس را از ردلرزه‌ای به ردلرزه دیگر در بعد مکان رهگیری و پیش‌بینی کند. طبق آنچه گفته شد فیلتری در سال ۱۹۸۴ توسط کانالز<sup>۶</sup> معرفی شد که امروزه به فیلتر پیشگوی واهمامیخت  $f-x$  معروف است [۱۸].

باید توجه داشت که هر انرژی غیرقابل پیش‌بینی توسط این فیلتر، به عنوان نوفه شناخته شده و فیلتر در جهت تضعیف آن پیش خواهد رفت و ممکن است بخشی از داده به همراه نوفه تضعیف یا

---

<sup>۱</sup> Convolution

<sup>۲</sup> Cadzow

<sup>۳</sup> Wavelet transform

<sup>۴</sup> Curvelet transform

<sup>۵</sup> Predictive Filter

<sup>۶</sup> Canales

حذف شود. بنابراین سیگنال باید در راستای مکان همدوس باشد تا فیلتر بتواند آن را پیش بینی کند. به همین دلیل این فیلتر در مواجهه با رویدادهای شیبدار دچار مشکل شده و آن‌ها را تضعیف می‌کند. برای حل این مشکل، داده را به پنجره‌های کوچکتر تقسیم می‌کنند تا رویدادهای شیبدار در داخل پنجره قابل پیش بینی باشند تا از تضعیف آن‌ها جلوگیری شود. توسعه این روش منجر به معرفی الگوریتم فیلتر وینر مختلط<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۶ توسط گولونی<sup>۲</sup> شد [۱۹].

از دیگر روش‌های ابتدایی تضعیف نوفه، استفاده از فیلترهای هموارساز است و به‌طور کلی به دو دسته خطی و غیر خطی تقسیم می‌شوند. ساده‌ترین نوع آن‌ها فیلتر میانگین‌گیر است که در دسته فیلترهای هموارساز خطی تقسیم بندی می‌شود [۲۰ و ۲۱]. اساس کار فیلتر میانگین‌گیر خطی جایگزین کردن مقدار میانگین پیکسل‌های همسایه یک پیکسل، با مقدار آن پیکسل است [۲۰ و ۲۱]؛ اما باید توجه داشت که این جایگزینی ممکن است علاوه بر نوفه، مقداری از سیگنال را هم از بین ببرد. بنا به دلایل فوق و همچنین عدم توانایی فیلترهای خطی در حفظ جزئیات لبه و تار شدن تصاویر، استفاده از نوع غیر خطی آن مرسوم‌تر شد [۲۰]. در همین راستا و در جهت حفظ جزئیات، فیلترهای میانه [۲۰] و میانگین‌گیر غیر محلی [۲۲ و ۲۳] معرفی شدند که به جای استفاده از مقدار میانگین به ترتیب از مقدار میانه و میانگین وزنی بهره می‌برند [۲۳].

همان‌طور که ذکر شد فیلترهای خطی در حفظ لبه موفق عمل نمی‌کنند؛ به همین دلیل به مرور زمان فیلترهای نگهدارنده لبه<sup>۳</sup>، جهت رفع این مشکل معرفی شده و به سرعت توسعه یافتند [۲۴] و [۲۵]. اساس کار این فیلترها مقایسه تصاویر و داده‌های ورودی با چندین پنجره است و هر پنجره‌ای که بیشترین شباهت (همپوشانی) و یا کمترین انحراف معیار<sup>۴</sup> را با داده ورودی داشته باشد به عنوان معیار انتخاب می‌شود و مقدار میانگین داده‌های آن پنجره جایگزین مقدار داده ورودی خواهد شد [۲۶]. این

---

<sup>۱</sup> Complex wiener

<sup>۲</sup> Gulunay

<sup>۳</sup> Edge Preserving Smoothing

<sup>۴</sup> Standard deviation

کار اگرچه شکل موج را به صورت جزئی تغییر می‌دهد اما از دقت بالایی جهت تضعیف نوفه‌ها برخوردار است [۲۷].

روش‌های دیگری وجود دارند که بر مبنای کاهش رتبه‌ی ماتریس داده عمل می‌کنند. اساس کار این روش‌ها به این صورت است که اگر داده لرزه‌ای عاری از هرگونه نوفه‌ای باشد، ماتریس داده ذاتا دارای رتبه‌ی پایین است و طیف مقادیر تکین این ماتریس تنک می‌باشد. اما زمانی که نوفه بر روی داده قرار می‌گیرد، رتبه ماتریس داده افزایش یافته و خود را به صورت مقادیر تکین بسیار کوچک در طیف مقادیر تکین نمایش می‌دهد [۲۸]. روش‌هایی نظیر: تجزیه‌ی تصویر ویژه<sup>۱</sup> [۲۸ و ۲۹]، تبدیل کارهونن-لوو<sup>۲</sup> [۳۰ و ۳۱]، تحلیل مولفه‌های اصلی<sup>۳</sup> [۳۲]، تجزیه‌ی مقادیر تکین<sup>۴</sup> [۳۳] و روش شبکه عصبی [۳۴] به منظور کاهش رتبه ماتریس داده، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تکنیک تجزیه تصویر ویژه، یکی از روش‌های اولیه برای کاهش رتبه ماتریس داده در حوزه زمان-فرکانس است؛ که اولین بار توسط فریر<sup>۵</sup> و اولریش<sup>۶</sup> در سال ۱۹۸۸ مورد استفاده قرار گرفته است [۲۹]. این روش از مزیت همبستگی خطی بین ردلرزه‌ها بهره می‌برد و به همین دلیل توانایی خوبی برای بازیابی رویدادهای افقی دارد [۲۹]. در این روش با استفاده از مقادیر ویژه ماتریس داده و به ازای هر مقدار ویژه، یک ماتریس رتبه یک را در نظر گرفته و سیگنال اصلی از جمع هر کدام از این ماتریس‌های رتبه یک و متناظر با مقادیر تکین بزرگ بازسازی می‌شود [۲۹ و ۳۵].

در ادامه سیر تکاملی و پیشرفت فیلترها جهت دستیابی به نتایج بهتر، در سال ۱۹۸۴ فیلتری توسط ویتکین<sup>۷</sup> معرفی گردید [۳۶]؛ که امروزه با عنوان انتشار خطی شناخته می‌شود. این روش

---

<sup>۱</sup> Eigen Image Decomposition

<sup>۲</sup> Karhunen Loeve Transform

<sup>۳</sup> Principal Component Analysis

<sup>۴</sup> Singular value decomposition

<sup>۵</sup> Freire

<sup>۶</sup> Ulrych

<sup>۷</sup> Witkin

اگرچه نوفه‌ها را به خوبی تضعیف می‌کند اما در تمام جهات و نقاط تضعیف صورت گرفته یکسان است که این امر سبب از بین رفتن اطلاعات مهمی از سیگنال می‌شود. این ضعف بزرگ فیلتر انتشار خطی باعث شد تا در سال ۱۹۸۷ فیلتر جدیدی تحت عنوان فیلتر انتشار غیرخطی توسط پرونا<sup>۱</sup> و مالیک<sup>۲</sup> ارائه گردد [۳۷] که در ابتدا فقط در بهبود کیفیت تصاویر پزشکی و ترمیم عکس‌ها [۳۸ و ۳۹] مورد استفاده قرار گرفت و به مرور زمان در تضعیف نوفه‌های لرزه‌ای به کار رفت و نتایج قابل قبولی از آن به ثبت رسید.

با گذشت زمان فیلترهایی با عنوان فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی معرفی شدند که نمونه‌هایی از این فیلترها توسط ایمهوف<sup>۳</sup> [۴۰]، بداری<sup>۴</sup> و همکاران [۴۱] و هانپنگ<sup>۵</sup> و همکاران [۲۷] مورد استفاده قرار گرفتند. در این نوع از فیلترها، دامنه داده‌های لرزه‌ای به عنوان شدت روشنایی هر پیکسل در نظر گرفته می‌شود و تضعیف نوفه‌ها به کمک تخمین پارامترها توسط تانسور گرادیان<sup>۶</sup> صورت می‌پذیرد [۴۲]. در سال ۱۳۹۴ پژوهشی جهت تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی به کمک فیلتر انتشار توسط محمد شکفته زوارم [۴۲] صورت گرفته و نتایج آن در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود ثبت شده است.

در این پایان نامه، سعی شده تا با استفاده از فیلتر انتشار ناهمسانگرد چندمقیاسی نوفه‌مبنا، نوفه تصادفی موجود در داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی تضعیف شود. فیلترهای انتشار ناهمسانگرد؛ جهت تضعیف نوفه‌های تصادفی، بجای تابع انتشار اسکالر از تابع انتشار تانسوری بهره می‌برند که این

---

<sup>۱</sup> Perona

<sup>۲</sup> Malik

<sup>۳</sup> Imhof

<sup>۴</sup> Baddari

<sup>۵</sup> Hanppeng

<sup>۶</sup> Gradient tensor

امر موجب بهبود بسیار زیاد نتیجه و همچنین عدم هموارسازی<sup>۱</sup> یکسان در تمام جهات خواهد شد. از دیگر مزایای فیلتر مورد استفاده، قابلیت چندمقیاسی آن است که موجب تجزیه داده به مولفه‌های مختلف می‌شود. در این شرایط فیلتر به صورت مجزا، به هر یک از این مولفه‌ها اعمال شده و مولفه‌های هر مولفه به صورت مستقل از یکدیگر تضعیف می‌شوند. به دلیل نوفه‌مبنا بودن فیلتر فوق، ابتدا کلیات داده مورد بررسی قرار می‌گیرد و با توجه به شکل کلی داده و میزان و چگونگی توزیع نوفه بر روی آن، پارامترهای انتشار تعیین شده و فرآیند تضعیف نوفه توسط این فیلتر آغاز می‌شود. در فصل سوم به تفصیل در مورد انواع فیلترهای انتشار بحث شده است.

## ۱-۴ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در چهار فصل به رشته تحریر درآمده است. در فصل اول کلیات پژوهش، سوابق و ضرورت انجام پژوهش بیان شد. در فصل دوم کلیات، مفاهیم اولیه و تئوری فیلترهای مورد استفاده بیان شده است.

فیلتر مورد استفاده در این پژوهش جهت تضعیف نوفه‌های تصادفی، بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی اعمال شده و تمام جزئیات به همراه نمودارهای مقایسه و تصاویر در فصل سوم مورد بحث واقع شده و نتایج حاصل از این پژوهش و ارائه پیشنهادها در جهت تضعیف هر چه بهتر نوفه‌های تصادفی در قالب فصل چهارم در این پایان‌نامه قرار گرفته است.

---

<sup>1</sup> Smoothing

## فصل ۲ : تئوری، مفاهیم و کلیات

## ۱-۲ سیگنال

ارائه تعریف مشخصی از مفهوم و واژه سیگنال کار سختی به نظر می‌رسد؛ اما در حالت کلی جهت بیان و توصیف انواع پدیده‌های فیزیکی به کار می‌رود [۴۳]. سیگنال تابعی است که اطلاعات مربوط به یک پدیده یا رخداد را بیان می‌کند و متناسب با مدل مفهومی مدنظر است. سیگنال‌ها را می‌توان به روش‌ها مختلفی طبقه بندی کرد. سیگنال‌های مکانیکی، صوتی، لرزه‌ای، تصویری، الکتریکی، مغناطیسی و... نمونه‌ای از انواع سیگنال‌ها هستند [۱].

در لرزه شناسی جهت شناسایی ساختارها، سیگنال‌های مکانیکی ایجاد شده توسط منابع مختلف انرژی، به زمین ارسال می‌شود و بازتاب سیگنال‌های لرزه‌ای در سطح زمین دریافت می‌شود و منظور از سیگنال لرزه‌ای در مبحث پردازش سیگنال، هر سیگنال بازتابی اولیه است که مجموعه‌ای اطلاعاتی از لایه‌ها و رخداد‌های زمین می‌باشد و در شناسایی ساختارها موثر است و فقط پردازش این دسته از سیگنال‌ها حائز اهمیت است [۱].

## ۲-۲ نوفه

به انواع انرژی‌های ناخواسته و مزاحم که ممکن است در مراحل مختلفی نظیر: ثبت، ذخیره‌سازی، انتقال و... به سیگنال اضافه شده باشد؛ نوفه می‌گویند. به عبارت ساده‌تر هر عاملی به جز سیگنال مورد نظر، نوفه تلقی می‌شود. در مبحث پردازش سیگنال به تمامی عوامل مزاحم و اختلالات موجود در داده‌های لرزه‌ای نوفه گفته می‌شود [۱].

نوفه‌ها بر پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای تأثیر می‌گذارند. کاهش نوفه معمولاً منجر به بهبود تفسیر داده‌های لرزه‌ای و باعث افزایش نسبت سیگنال به نوفه می‌شود؛ به همین جهت تلاش برای

کاهش و حذف نوفه اولویت اول در پردازش داده‌های لرزه‌ای است. نوفه‌ها در حالت کلی به دو دسته تصادفی و همدوس تقسیم می‌شوند [۱].

## ۲-۲-۱ نوفه همدوس

بهترین و ساده‌ترین تعریف از نوفه همدوس در واژه نامه شلومبرژه<sup>۱</sup> به شرح زیر بیان شده است [۴۴]:

نوفه‌ای که از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر قابل رهگیری و دارای همبستگی است را نوفه همدوس می‌نامند.

همبستگی یعنی بین نوفه موجود در یک ردلرزه با نوفه‌های موجود در ردلرزه‌های اطراف آن رابطه‌ای منطقی ولو جزئی وجود داشته باشد. این دسته از نوفه‌ها عمدتاً توسط چشمه‌های لرزه‌ای در طول عملیات ژئوفیزیکی به وجود می‌آیند؛ اما با تمام این شرایط جزئی از اطلاعات ناخواسته و نامطلوب تلقی می‌شوند [۴۵]. همدوسی و همبستگی در این نوفه‌ها می‌تواند در جهت مکان یا زمان باشد. بر همین اساس نوفه‌های همدوس به دو دسته نوفه‌های همدوس مکانی<sup>۲</sup> و نوفه‌های همدوس زمانی<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند [۲]. نوفه‌های همدوس مکانی خود به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند. نوفه‌های همدوس مکانی خطی در رکوردهای چشمه مشترک به صورت خطی مشاهده می‌شوند و به همین دلیل در معرفی آن‌ها از واژه خطی استفاده می‌شود. امواج زمین‌غلت و امواج هوا نمونه‌ای از نوفه‌های همدوس مکانی خطی و امواج شبج<sup>۴</sup> و چندگانه‌ها، نمونه‌ای از نوفه‌های همدوس مکانی غیرخطی هستند [۲].

---

<sup>۱</sup> Schlumberger Oilfield Glossary

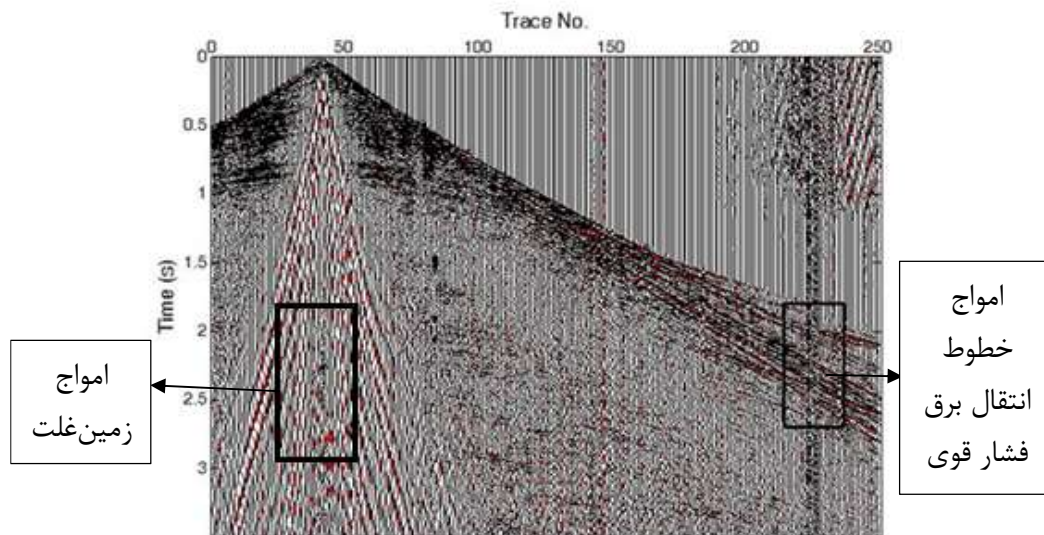
<sup>۲</sup> Spatially coherent noise

<sup>۳</sup> Temporally coherent noise

<sup>۴</sup> Ghost waves



در یک رکورد لرزه‌ای؛ نوفه‌های همدوس زمانی، در راستای محور زمان منتشر شده و قابل رویت هستند. این نوفه‌ها توسط چشمه‌های لرزه‌ای تولید نمی‌شوند که نوفه‌های ناشی از کابل‌های فشار قوی در این دسته قرار می‌گیرند [۲]. شکل ۱-۲ نمونه‌هایی از نوفه‌های همدوس را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: رکورد چشمه مشترک واقعی و حضور نوفه‌های خطوط انتقال برق فشار قوی و زمین‌گلت [۴۶]

به دلیل همبستگی و دارا بودن ویژگی‌های خاص نوفه‌های همدوس، حذف این نوفه‌ها از روی داده کار مشکلی نیست و به روش‌های مختلفی می‌توان آن‌ها را تضعیف نمود. برای تضعیف بهتر و جلوگیری از آسیب به سیگنال باید وجه تمایز سیگنال و نوفه (به عنوان مثال فرکانس) شناسایی شود. در بیش‌تر روش‌های تضعیف نوفه به جهت افزایش این تمایزها لازم است؛ که داده به کمک تبدیل‌های موجود، از حوزه‌ای به حوزه تبدیلی منتقل شود تا پس از افزایش تمایز مورد نظر، که معمولاً با تفکیک داده به دو بخش مجزا صورت می‌گیرد؛ می‌توان بخش مربوط به نوفه را از داده حذف کرد و سپس داده را به حوزه اول بازگرداند. باید دقت کرد که در این صورت ممکن است بخشی از سیگنال هم به دلیل شباهت با نوفه تضعیف شود.

بنابراین دانستن اطلاعاتی پیرامون نوفه، سیگنال و تمایز بین آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. به عنوان مثال نوفه‌های همدوس زمین‌غلت دارای پهنای فرکانسی کمتر و شیب بیشتر نسبت به سیگنال‌های بازتابی است؛ به این ترتیب با انتقال داده به حوزه فرکانس-عدد موج، جدایشی بین نوفه و سیگنال پدید می‌آید. با علم بر کم‌تر بودن فرکانس نوفه نسبت به سیگنال و شیب بیشتر آن، پهنای باند فرکانسی پایین و در عدد موج‌های بالاتر از روی طیف فرکانس-عدد موج حذف می‌شود و سپس داده‌ی حاصل به حوزه اول باز گردانده می‌شود.

در این فرایند اگرچه ممکن است مقداری از سیگنال به دلیل تشابه با نوفه از بین برود و یا تضعیف شود اما از اثرات نوفه بر روی سیگنال در حد قابل توجهی کاسته خواهد شد و طبیعتاً نسبت سیگنال به نوفه افزایش چشمگیری خواهد داشت.

## ۲-۲-۲ نوفه تصادفی (ناهمدوس)

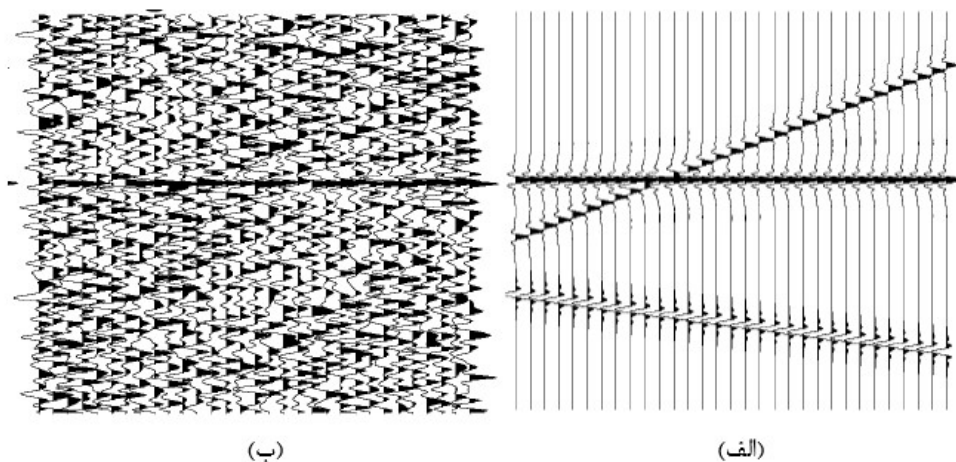
این نوفه‌ها دارای همبستگی نیستند و از یک ردلرزه به ردلرزه دیگر قابل رهگیری نمی‌باشند و معمولاً در هر زمان و فرکانسی دیده می‌شوند. این نوفه‌ها طیف دامنه سیگنال را دستخوش تغییرات می‌کنند و بر روی تمام فرکانس‌ها تاثیر می‌گذارند و کیفیت تصاویر (در سیگنال‌های دو بعدی) را کاهش می‌دهند [۱۰]. حاصل خود همبستگی<sup>۱</sup> این نوفه‌ها برای یک سری زمانی کاملاً تصادفی در تاخیر<sup>۲</sup> صفر، مقدار بیشینه و برای تاخیرهای غیر صفر، مقداری برابر صفر می‌باشد [۴۷]. انجام عملیات برداشت داده در شرایط نامساعد جوی نظیر باد و باران، فعالیت و تردد انسانی و حیوانی و نوفه‌های حاصل از تجهیزات برداشت مانند کابل‌ها و گیرنده‌ها، از عمده‌ترین و شایع‌ترین منابع تولید این نوفه‌ها هستند [۱ و ۴۲].

---

<sup>۱</sup> Autocorrelation

<sup>۲</sup> lag

تصویر الف شکل ۲-۲ یک مقطع لرزه‌ای بدون نوفه را نشان می‌دهد و جهت تفهیم هر چه بهتر اثرات مخرب نوفه‌های تصادفی بر داده‌های لرزه‌ای بازتابی، همان مقطع لرزه‌ای به نوفه تصادفی آغشته شده و در تصویر ب قابل مشاهده است.



شکل ۲-۲: مقطع لرزه‌ای (الف) بدون نوفه. (ب) آغشته به نوفه تصادفی [۱۳].

## ۲-۳ نسبت سیگنال به نوفه

نسبت سیگنال به نوفه معیاری است که سطح سیگنال را با میزان نوفه مقایسه می‌کند و می‌توان گفت که پارامتر اندازه‌گیری و مقایسه قدرت سیگنال در مقابل نوفه و یک معیار مهم از کیفیت داده‌های لرزه‌ای است. مقدار عددی نسبت سیگنال به نوفه از رابطه (۲-۱) محاسبه می‌شود که واحد آن دسی بل (db) است و در این رابطه  $P$  قدرت متوسط می‌باشد [۱۱].

$$SNR = 10 \log \left( \frac{P_{Signal}}{P_{Noise}} \right) \quad (۲-۱)$$

## ۲-۴ مفهوم انتشار

مفهوم عمومی انتشار، حرکت خالص هر چیزی از ناحیه‌ای با غلظت بیشتر به ناحیه‌ای با غلظت کمتر است. پدیده‌ی انتشار باعث از بین رفتن تمرکز هر چیزی در یک نقطه یا ناحیه می‌شود و باعث ایجاد تعادل وزنی در آن ناحیه خواهد شد. قانون پایستگی جرم در مورد پدیده انتشار ثابت است. بدان معنی که در انتشار، جرم یا ماده‌ای از بین نخواهد رفت بلکه به جهت ایجاد یک تعادل منطقی از ناحیه‌ای به ناحیه‌ی دیگر منتقل می‌شود. [۴۱ و ۴۸].

برای کنترل فرآیند انتشار؛ مفهومی با عنوان ضریب انتشار<sup>۱</sup>، توسط آدلف فیک<sup>۲</sup> در قالب دو قانون بیان شد که به قوانین انتشار فیک<sup>۳</sup> معروف‌اند و فرآیند انتشار از این دو قانون پیروی می‌کند. وظیفه اصلی ضریب انتشار، کنترل سرعت و مقدار فرآیند انتشار است [۴۸]. بر اساس قانون فیک، آنچه که باعث ایجاد انتشار می‌شود، میزان تمرکز و پراکندگی یک کمیت فیزیکی است که این کمیت می‌تواند جرم، دما، غلظت و حتی شدت روشنایی پیکسل‌ها باشد و بر این اساس معادله انتشار مطابق رابطه (۲-۲) تعریف می‌شود [۴۱ و ۴۸]:

$$j = w \times \nabla u \quad (2-2)$$

در رابطه فوق،  $j$  شار کمیت فیزیکی<sup>۴</sup>،  $\nabla u$  اختلاف پراکندگی<sup>۵</sup> و تمرکز<sup>۶</sup> کمیت فیزیکی و عامل اصلی پدیده انتشار و  $w$  ضریب انتشار است. اگر ضریب انتشار مقداری ثابت باشد به آن ثابت انتشار<sup>۷</sup> و اگر به

---

<sup>۱</sup> Diffusion coefficient

<sup>۲</sup> Adolf Fick

<sup>۳</sup> Fick's laws of diffusion

<sup>۴</sup> Physical quantity flux

<sup>۵</sup> Dispersion

<sup>۶</sup> Concentration

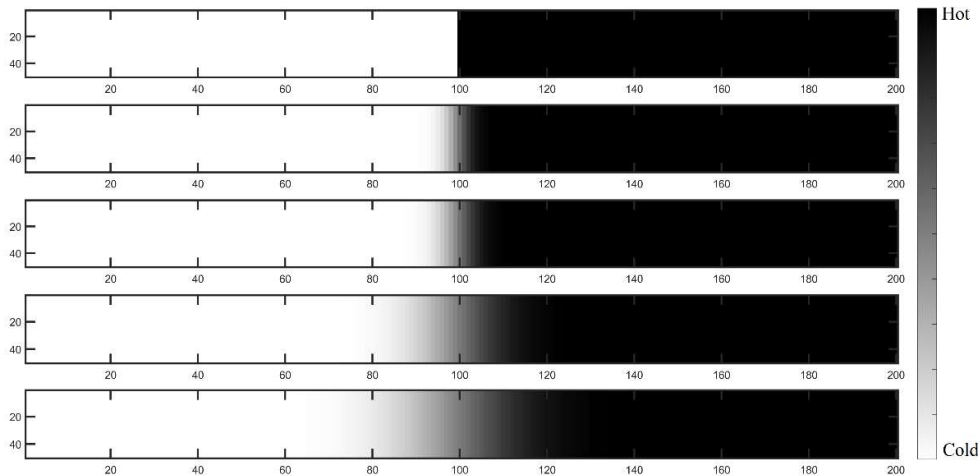
<sup>۷</sup> Diffusion constant

صورت تابع تعریف شود به آن تابع انتشار<sup>۱</sup> می‌گویند. در حالت کلی معادله انتشار به صورت زیر تعریف می‌شود [۴۱]:

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

$$u(x, y, t)_{t=0} = u_0(x, y) \quad (۴-۲)$$

در رابطه فوق  $t$  مدت زمان انتشار،  $w$  ضریب انتشار،  $\nabla$  نشان دهنده اعمال عملگر دیورژانس بر روی داده‌ها،  $u_0$  میزان توزیع کمیت فیزیکی مورد نظر در زمان صفر و  $u$  میزان توزیع در زمان  $t$  بعد از آغاز فرایند انتشار است. شکل ۳-۲ که در دستگاه مختصاتی  $y$ - $x$  رسم شده، درک بهتری از مفهوم انتشار ارائه می‌دهد که در آن، گرما در مجاورت با محیطی سرد به ترتیب در مدت زمان ۲، ۴، ۸ و ۱۲ ثانیه تحت اعمال فیلتر انتشار قرار گرفته است.



شکل ۳-۲: نمای شماتیک از فرآیند انتشار

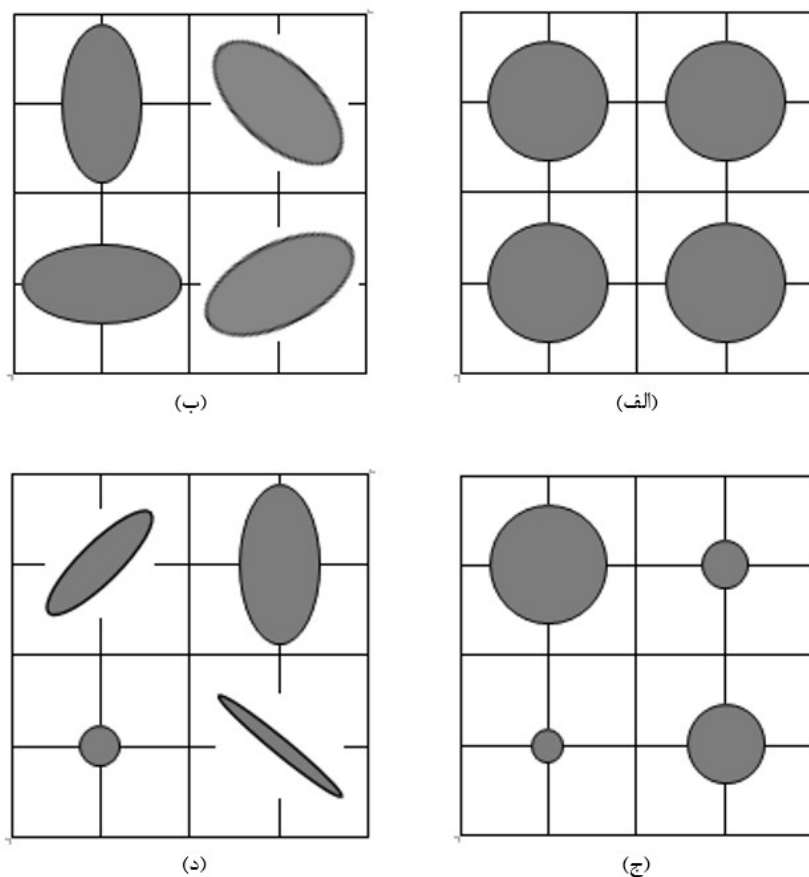
با توجه به حالات مختلف  $\nabla u$  و بسته به مقادیر متعدد ضریب انتشار، می‌توان فرآیند انتشار را به دو صورت کلی و کاملاً مجزا تقسیم بندی کرد که این تقسیم بندی به صورت زیر است [۴۹]:

<sup>۱</sup> Diffusivity Function

۱- تقسیم بندی بر اساس شار و اختلاف تمرکز کمیت فیزیکی: اگر  $z$  و  $\nabla u$  با هم موازی باشند آنگاه فرایند انتشار، همسانگرد است و در غیر این صورت این انتشار یک فرایند ناهمسانگرد شناخته می شود.

۲- تقسیم بندی بر اساس مقادیر مختلف ضریب انتشار: اگر مقدار  $w$  ثابت باشد، فرایند خطی و اگر تابعی از پارامترهای ورودی باشد، آن فرایند غیرخطی خواهد بود.

شکل ۲-۴ با الهام از تصاویر مقاله لی<sup>۱</sup> [۴۹] رسم شده و مفهوم بهتری از حالات مختلف فرآیند انتشار را نشان می دهد.



شکل ۲-۴: نمای شماتیک از حالات مختلف فرآیند انتشار. (الف) انتشار خطی همسانگرد. (ب) انتشار خطی ناهمسانگرد. (ج) انتشار غیرخطی همسانگرد. (د) انتشار غیرخطی ناهمسانگرد [۴۹].

<sup>۱</sup> Li

## ۲-۵ انواع فیلترهای انتشار

جهت پردازش رکوردهای لرزه‌ای با کمک فیلتر انتشار کافیسیت پارامترهای داده لرزه‌ای، منطبق بر پارامترهای فرآیند انتشار گردد. بدین منظور در فیلترهای انتشار که جهت پردازش رکوردهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، شدت روشنایی در هر پیکسل به عنوان کمیت فیزیکی، مقطع لرزه‌ای ورودی به عنوان  $u_0$  (تصویر ورودی اولیه) و  $u$  (تصویر خروجی) همان مقطع لرزه‌ای خروجی بعد از زمان انتشار  $t$  فرض می‌شود [۵۰].

نوفه‌های تصادفی به دلیل اینکه نوسان‌های ناگهانی فرض می‌شوند، باعث تغییر در شدت روشنایی هر پیکسل شده و رکورد لرزه‌ای را تخریب می‌کنند. با طراحی الگوریتمی به کمک فیلتر انتشار و هموارسازی تغییرات ایجاد شده در رکورد لرزه‌ای، می‌توان تا حد زیادی تاثیرات مخرب نوفه تصادفی را از سیگنال حذف کرد. نقاطی که دارای دامنه زیاد و عاری از همبستگی با پیکسل‌های همسایگی خودش باشد، به عنوان نوفه تصادفی توسط فیلتر انتشار هموار و تضعیف خواهد شد [۵۰].

بسته به نوع ضریب انتشار، فیلترهای انتشار به دو دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند [۵۱ و ۵۲]:

۱- همسانگرد: اگر تابع انتشار، کمیتی اسکالر باشد، در این صورت فیلتر مورد نظر همسانگرد خواهد بود. اگر هموارسازی رکورد لرزه‌ای در تمام نقاط یکسان باشد، فیلتر از نوع خطی و اگر هموارسازی در تمام نقاط یکسان نباشد، فیلتر طراحی شده غیرخطی است که در این صورت هموارسازی تابعی از گرادیان تصویر ورودی خواهد بود. به عنوان مثال، فیلتر انتشار پرونا و مالیک [۳۷ و ۵۳] با رویکرد بهبود هم‌دوسی و هموارسازی، یک فیلتر انتشار همسانگرد غیرخطی است.

۲- ناهمسانگرد: اگر تابع انتشار، کمیتی تانسوری باشد، فیلتر طراحی شده ناهمسانگرد است. در فیلترهای انتشار ناهمسانگرد، به دلیل اینکه تانسور انتشار با استفاده از تانسور ساختاری

گرایان ایجاد می‌شود، فیلتر طراحی شده قطعا غیرخطی خواهد بود و ما قطعا فیلتر انتشار ناهمسانگرد خطی نخواهیم داشت. به عنوان مثال، فیلتر ویکرد<sup>۱</sup> [۵۱] با رویکرد بهبود لبه‌ها و مرز ساختارها<sup>۲</sup> و بهبود دهنده همدوسی<sup>۳</sup> یک فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی است.

## ۲-۵-۱ فیلترهای انتشار همسانگرد (دارای تابع انتشار اسکالر)

در این بخش فیلترهای همسانگرد خطی و غیرخطی به صورت مجزا مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

### ۲-۵-۱-۱ فیلتر انتشار همسانگرد خطی

همان‌طور که اشاره شد اگر تابع انتشار، کمیتی اسکالر باشد و هموارسازی در تمام جهات یکسان باشد، آنگاه فیلتر طراحی شده همسانگرد خطی خواهد بود. معادله انتشار خطی، ساده‌ترین نوع معادله انتشار است که همان معادله گرما است [۵۴].

فیلترهای خطی به دلیل هموارسازی یکسان در تمام جهات، قادر به پردازش ردلرزه‌هایی با نوفه زیاد و پیچیده نیستند و تصویر خروجی را تار می‌کنند. این هموارسازی یکسان باعث می‌شود که در برخی نقاط سیگنال حذف شود و در برخی نقاط، نوفه به خوبی تضعیف نشود [۵۴ و ۵۵]. معادله انتشار خطی به صورت معادله (۲-۵) تعریف می‌شود [۵۴]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\nabla u) = \nabla^2 u \quad (۲-۵)$$

<sup>۱</sup> Weickert

<sup>۲</sup> Edge Enhance Diffusion (EED)

<sup>۳</sup> Coherence Enhance Diffusion (CED)



در رابطه فوق  $u$  شدت روشنایی تصویر که تابعی از مکان پیکسل‌ها می‌باشد و  $t$  مدت زمان انتشار است. با این توضیح رابطه (۵-۲) به صورت زیر بازنویسی می‌شود [۵۴].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (۶-۲)$$

در فرایند انتشار خطی، تعداد تکرار الگوریتم، بستگی به مدت زمان انتشار دارد و همچنین خروجی مرحله قبل به عنوان ورودی مرحله بعد اعمال می‌شود. طبق رابطه (۶-۲) واضح است که هموارسازی به جهت و موقعیت پیکسل‌ها حساسیت ندارد و هموارسازی در تمام جهات یکسان است که این امر موجب تارشدگی تصاویر می‌شود و نسبت سیگنال به نوفه تغییر محسوسی نخواهد داشت. طبق رابطه انتشار خطی هر چه مدت زمان انتشار افزایش یابد، مقدار هموارسازی افزایش خواهد یافت [۵۵].

## ۲-۵-۱-۲ فیلتر انتشار همسانگرد غیرخطی

در فیلترهای انتشار غیرخطی، ضریب انتشار وابسته به پارامترهای ورودی خواهد بود که در لرزه‌شناسی این پارامترها، تصاویر و داده‌های لرزه‌ای خواهد بود. با توجه به ضعف‌های بزرگ و مهم فیلترهای خطی، پژوهشگران در تلاش برای رفع این کاستی‌ها، الگوریتم فیلترهای انتشار غیرخطی را ارائه کردند [۵۵].

از جمله ضعف‌های فیلترهای خطی می‌توان به هموارسازی یکسان در تمام جهات، از دست دادن سیگنال در برخی نقاط، باقی ماندن نوفه در برخی نقاط دیگر، عدم یکدستی در کاهش نوفه و در نهایت مات و تار شدن تصاویر و نتایج خروجی اشاره کرد. فیلترهای انتشار غیرخطی در حفظ لبه‌ها و مرز ساختارها نیز قوی‌تر از فیلتر خطی عمل می‌کنند [۴۰ و ۵۵].

دلیل از بین رفتن لبه‌ها در فیلترهای خطی، صعودی بودن تابع انتشار است. وقتی تابع انتشار کاملاً صعودی باشد، شار حاصل از آن نیز کاملاً صعودی خواهد بود و در نتیجه هموارسازی کنترل نخواهد شد و لبه‌ها از بین خواهد رفت. اما در توابع انتشار غیرخطی، شار حاصل از تابع انتشار در محل لبه‌ها و مرز ساختارها کاهشی خواهد بود و این امر در حفظ لبه کمک خواهد کرد [۵۱ و ۵۳].

## ۲-۵-۲ فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی (دارای تابع انتشار تانسوری)

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، تفاوت فیلترهای همسانگرد و ناهمسانگرد در توافقی یا عدم توافقی شار (j) و ضریب تمرکز ( $\nabla u$ ) می‌باشد. بر این اساس اگر شار و ضریب تمرکز با هم موازی باشند فیلتر طراحی شده همسانگرد است که در این حالت فرآیند انتشار از تابع انتشار پیروی خواهد کرد. در حالت دوم اگر شار و ضریب تمرکز با هم موازی نباشند فیلتر طراحی شده ناهمسانگرد خواهد بود و در این حالت فرآیند انتشار از تانسور انتشار پیروی خواهد کرد. تفاوت تانسور انتشار و تابع انتشار در هدایت شار ایجاد شده است [۵۱ و ۵۶]. بدین صورت که تابع انتشار توانایی هدایت شار به سمت و سوی دلخواه را ندارد و شار همواره موازی با ضریب تمرکز است اما تانسور انتشار این امکان را فراهم می‌کند که شار ایجاد شده را در هر جهت دلخواهی هدایت کند که این امر یکی از مهمترین احتیاج‌های شرکت‌های صنعتی، در برخی موارد خاص است. اولین بار ویکرد از تانسور انتشار به جای تابع انتشار استفاده کرد و در پردازش تصاویر پزشکی از آن بهره برد [۵۱].

تانسور انتشار قادر است ساختارها را شناسایی کند و این امکان را فراهم می‌کند که هموارسازی را در جهت ساختارها انجام دهد و بدین ترتیب درصد بیشتری از نوفه‌ها را تضعیف می‌کند و تصاویر واضح و شفاف ارائه می‌دهد و همچنین ساختارها را بهتر حفظ می‌کند [۵۰ و ۵۳]. در الگوریتم این فیلترها معیاری برای توقف در نظر گرفته می‌شود که بسته به هدف مورد نظر متفاوت است. این هدف

می‌تواند شناسایی گسل و مرز ساختارها و یا شناسایی لایه‌بندی زمین و... باشد که طبیعتاً معیار توقف برای هر یک از آن‌ها متفاوت خواهد بود. معادله انتشار را که در رابطه (۳-۲) ذکر آن رفت، در حالت تانسوری به صورت زیر بازنویسی می‌شود [۵۰ و ۵۶]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (D \times \nabla u) \quad (۷-۲)$$

در رابطه فوق  $u$  شدت روشنایی در هر موقعیت مکانی و زمانی،  $\nabla$  نمایان‌گر عمل‌گر دیورژانس،  $t$  مدت زمان انتشار و  $D$  تانسور انتشار است.

با هر تغییر در درایه‌های ماتریس تانسور انتشار، فیلتری جدید با کاربردی خاص طراحی خواهد شد و این نشان دهنده اهمیت این تانسور در استفاده از فیلتر انتشار و همچنین تعداد بی‌شمار این دست از فیلترها است [۵۱ و ۵۶]. با توجه به ماهیت خطی داده‌های لرزه‌ای، استفاده از فیلترهای انتشار ناهمسانگرد می‌تواند موجب افزایش تفکیک پذیری عمقی و جانبی گردد که این امر باعث محبوبیت آن‌ها در لرزه‌شناسی شده است و امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵۱ و ۵۶]. امروزه دامنه‌ی گسترش فیلترهای ناهمسانگرد بسیار زیاد است. به دلیل جذابیت و احتیاج علوم و صنایع مختلف، این فیلترها هر روز در حال افزایش و پیشرفت هستند. هر یک از این فیلترها برای هدف خاصی طراحی می‌شوند و به دلیل قدرت بالای آن‌ها در کاهش نوفه‌ها، استفاده از آن‌ها توسط پردازشگران و پژوهشگران در حوزه‌های مختلف علوم مورد استقبال قرار گرفته است [۵۷].

از مهم‌ترین و معروف‌ترین فیلترهای ناهمسانگرد می‌توان به فیلترهای EED و CED اشاره کرد که فیلتر EED یک فیلتر انتشار ناهمسانگرد غیرخطی با رویکرد بهبود لبه و مرز [۵۱، ۵۶ و ۵۷] و در مقابل فیلتر CED با رویکرد بهبود همدوسی ساختارها طراحی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵۸].

## ۲-۶ تبدیل موجک

تبدیل موجک، تجزیه یک تابع بر مبنای توابع موجک و یکی از تبدیلات مهم ریاضی است و در حوزه‌های مختلف علوم کاربرد دارد. این تبدیل در اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی جهت غلبه بر ضعف‌ها و محدودیت‌های موجود در تبدیل فوریه در حوزه زمان-فرکانس معرفی شد [۵۹ و ۶۰] که در این تبدیل به جای استفاده از توابع سینوسی و کسینوسی، از توابع موجک استفاده می‌شود [۶۱]. این تبدیل، نمایش زمان-مقیاس را به صورت مستقیم نمایش می‌دهد و با توجه به رابطه عکس مقیاس و فرکانس روند کلی زمان-فرکانس قابل درک خواهد بود و بر این اساس این تبدیل، به صورت مستقیم تغییرات زمان-فرکانس را نمایش نمی‌دهد [۶۰ و ۶۲]. این تبدیل را بر خلاف تبدیل فوریه، می‌توان در مورد سیگنال‌های غیر ایستا نیز مورد استفاده قرار داد. ایستا بودن طیف فرکانسی به این معنی است که فرکانس‌های ظاهر شده در یک سیگنال، وابسته به زمان نباشند.

تبدیل موجک به دو دسته کلی گسسته و پیوسته تقسیم می‌شوند که این تقسیم بندی بر اساس گسستگی یا پیوستگی پارامتر مقیاس است و ربطی به پیوستگی یا گسستگی سیگنال ورودی ندارد به عبارت دیگر تبدیل موجک پیوسته می‌تواند برای سیگنال گسسته هم تعریف شود و بالعکس. هر یک از این تبدیلات می‌توانند در یک یا دو بعد تعریف شوند. تبدیل موجک دو بعدی (گسسته یا پیوسته) بر روی سیگنال‌های دو بعدی و تبدیل موجک یک بعدی بر روی سیگنال‌های یک بعدی اعمال می‌شوند [۶۰].

## ۲-۶-۱ تبدیل موجک پیوسته یک بعدی

اتم زمان-فرکانس در تبدیل موجک، موجک مادر نامیده می‌شود. هر تابعی با انرژی محدود و میانگین صفر می‌تواند به عنوان اتم زمان-فرکانس یا همان موجک مادر تعریف شود. این دو شرط برای تابعی مانند  $\gamma(t)$  در روابط ۲-۸ و ۲-۹ به زبان ریاضی بیان شده است [۶۰]:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\gamma(t)|^2 dt < +\infty \quad (۸-۲)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \gamma(t) dt = 0 \quad (۹-۲)$$

موجک مادر مطابق رابطه  $\|\gamma(t)\| = 1$  به مقدار یک نرمال شده است و مرکز آن در همسایگی صفر قرار دارد. با مقیاس کردن موجک مادر به کمک پارامتر  $s$  و جابجایی آن به کمک پارامتر  $u$ ، رابطه‌ی (۱۰-۲) با معرفی  $\gamma_{u,s}(t)$  به عنوان موجک دختر، به شرح زیر معرفی می‌شود [۶۰]:

$$\gamma_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \gamma\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (۱۰-۲)$$

مقدار ضرایب تبدیل موجک پیوسته در هر مقیاس، معادل ضرایب همبستگی سیگنال با موجک دختر در همان مقیاس است. اگر تابع  $x(t)$  سیگنالی با انرژی محدود باشد، تبدیل موجک آن از رابطه (۲-۱۱) حاصل می‌شود [۶۰]:

$$W_x(u, s) = x(t) * \overline{\gamma_s}(u) \quad (۱۱-۲)$$

که در این رابطه  $*$  عملگر هم‌امیخت است. از آنجایی که موجک مادر دارای میانگینی معادل صفر است؛ تبدیل فوریه آن به صورت تابع انتقال یک فیلتر بالاگذر عمل می‌کند و بنابراین رابطه (۲-۱۱)، ضرایب تبدیل موجک را از طریق اعمال فیلترهای بالاگذر تولید می‌کند [۶۰].

## ۲-۶-۲ تبدیل موجک گسسته یک بعدی

اساسی‌ترین تفاوت میان تبدیل موجک پیوسته و گسسته، نوع گسسته‌سازی مقیاس است به این صورت که در تبدیل موجک پیوسته، گسسته‌سازی مقیاس با گام بسیار کوچک‌تر نسبت به تبدیل موجک گسسته صورت می‌گیرد. در تبدیل موجک، یک مقیاس پایه ثابت، به صورت توانی از عدد ۲ در

نظر گرفته می‌شود. برای تبدیل موجک پیوسته این توان برابر  $\frac{1}{v}$  است؛ که در آن  $v$  معادل تعداد صدا در هر اکتاو و همواره بزرگ‌تر از یک است و مقیاس‌ها با افزایش عدد ۱ در صورت کسر، تغییر می‌کنند و این در حالی است که در تبدیل موجک گسسته، تعداد صدا در هر اکتاو ( $v$ ) همواره برابر ۱ است و بنابراین توان عدد ۲، اعداد صحیح از ۱ تا بی‌نهایت است و پارامتر جابجایی متناسب با پارامتر مقیاس تغییر می‌کند [۶۰].

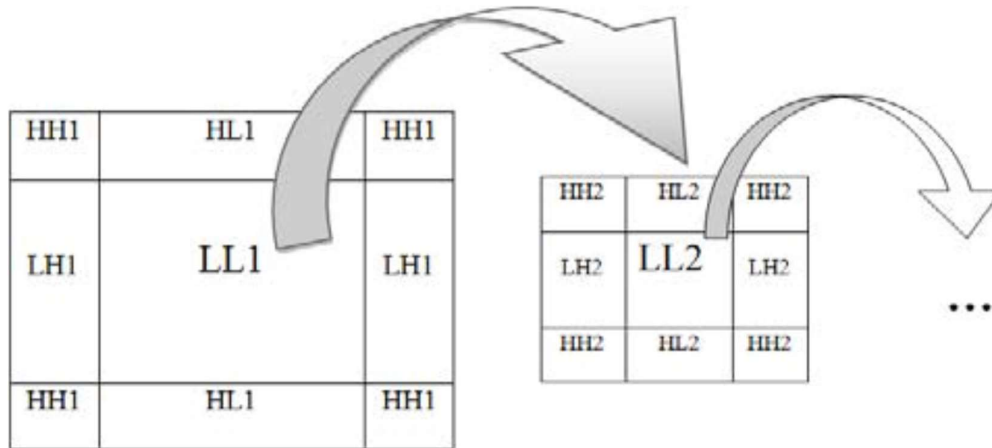
تبدیل موجک نشان دهنده اطلاعات مربوط به فرکانس بالا است و اطلاعات مربوط به فرکانس‌های پایین با استفاده از تابع مقیاس تخمین زده می‌شود. بنابراین اولین گام در تبدیل موجک گسسته روند گسسته‌سازی موجک و تابع مقیاس است [۶۰].

## ۲-۶-۳ تبدیل موجک گسسته دو بعدی

تبدیل موجک گسسته دو بعدی، از بانک‌های فیلتر، شامل فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر به منظور تجزیه یک سیگنال دو بعدی استفاده می‌کند و تعمیمی ساده از تبدیل موجک گسسته یک بعدی است. فرآیند تجزیه، همامیخت بانک فیلتر و سیگنال دوبعدی مورد نظر را شامل می‌شود. به این منظور ابتدا با کمک تبدیل موجک گسسته یک بعدی و اعمال آن بر روی سطرهای سیگنال دو بعدی، مرحله اول تجزیه انجام خواهد شد. سپس یک مرحله تجزیه دیگر با استفاده از تبدیل موجک گسسته یک بعدی بر روی ستون‌های سیگنال دوبعدی خروجی مرحله قبل، انجام می‌شود. در نتیجه‌ی اجرای این دو مرحله، سیگنال به چهار زیرفضای مجزا تقسیم می‌شود که باعث رویت هر چه بهتر جزئیات سیگنال یا تصویر ورودی مورد نظر می‌شود [۶۰].

این زیر فضاها با نام‌های  $LL$ ،  $LH$ ،  $HL$  و  $HH$  شناخته می‌شوند.  $LL$ ، بخش اصلی تصویر انتقال یافته،  $LH$ ، مولفه افقی جزئیات،  $HL$ ، مولفه قائم جزئیات و  $HH$ ، مولفه قطری جزئیات است. هر یک از این زیر فضاها شامل دامنه‌ای از اطلاعات تصویر اصلی است که در هر مرحله از روی آن محو شده و

باعث نرم‌تر شدن و ارائه بیشتری از جزئیات تصویر می‌شود. شکل ۲-۵ نمایشی از روند تجزیه تصاویر یا سیگنال‌های ورودی را به کمک تبدیل موجک گسسته دو بعدی نشان می‌دهد [۶۰ و ۶۳].



شکل ۲-۵: روند تجزیه سیگنال یا تصاویر ورودی به کمک تبدیل موجک دو بعدی [۶۳].

در این پژوهش جهت تجزیه داده به مقیاس‌های مختلف، از تبدیل موجک گسسته دو بعدی استفاده شده است. داده‌های مصنوعی و طبیعی مورد استفاده در این پژوهش، به صورت تصاویری دو بعدی به الگوریتم پردازشی وارد شده و با تجزیه به مقیاس‌های کوچک‌تر، علاوه بر نمایش هر چه بهتر جزئیات، باعث اعمال فیلتر بر روی هر یک از مقیاس‌ها به صورت جداگانه می‌شود که این امر از تضعیف سیگنال و از دست دادن اطلاعات پیرامون آن جلوگیری می‌کند.

انتخاب نوع تابع موجک در بازسازی سیگنال ورودی و جهت حصول نتایج بهتر و دقیق‌تر، بسیار حائز اهمیت است. هر چه شکل تابع موجک، انطباق بیشتری با تصویر یا سیگنال اصلی پیدا کند؛ اطلاعات دقیق‌تری بازسازی خواهد شد و سیگنال بازسازی شده شباهت بیشتری به سیگنال اصلی خواهد داشت [۶۳]. انتخاب تابع موجک با توجه به نوع و کیفیت تصویر و همچنین میزان نوفه‌ی آن، بر عهده پردازش‌گر است و تغییر آن تا رسیدن به نتایج بهتر، ادامه خواهد یافت. در بانک اطلاعاتی نرم افزار MATLAB تعداد قابل توجهی از این توابع موجود است که در این پژوهش تعداد بسیاری از این توابع موجک، مورد آزمون قرار گرفته است و با توجه به این که نوع تصاویر ورودی در داده مصنوعی و

طبیعی و همچنین میزان توزیع نوفه، بر روی انتخاب تابع موجک موثر است؛ بخشی از نوفه مبنا بودن پژوهش فوق مورد تایید قرار می گیرد.

## ۷-۲ فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه مبنا

فیلترهای انتشار ناهمسانگرد در الگوریتم خود از تانسور انتشار بهره می برند و به عبارتی دیگر، شار کمیت فیزیکی با اختلاف تمرکز کمیت فیزیکی (در این پژوهش کمیت فیزیکی میزان شدت روشنایی هر پیکسل است) موازی نیست. تانسور انتشار امکان هدایت شار ایجاد شده در جهت دلخواه را فراهم می کند و همچنین با شناسایی ساختارهای موجود در تصاویر، هموارسازی را در جهت ساختارها انجام دهد. با این توضیح و با توجه به ساختار همدوس داده های لرزه ای، استفاده از تانسور انتشار موجب افزایش تفکیک پذیری جانبی و عمقی خواهد شد [۵۰ و ۵۶]. معادله انتشار ناهمسانگرد در حالت کلی به صورت معادله (۱۲-۲) تعریف می شود [۶۴]:

$$\frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \text{div} \left[ g(\|\nabla I(x, y, t)\|) \nabla I(x, y, t) \right] \quad (12-2)$$

در این معادله  $t$  مدت زمان انتشار،  $I(x, y, 0)$  تصویر ورودی،  $\nabla I(x, y, t)$  گرادیان تصویر ورودی در لحظه  $t$ ،  $g(t)$  تابع انتشار و  $g(0)$  عملگر هدایت انتشار است. حداکثر و حداقل مقدار عملگر انتشار به ترتیب برابر یک و صفر است. به عبارت دیگر  $g(0)$  همواره کوچک تر و مساوی یک و بزرگتر و مساوی صفر خواهد بود  $(0 \leq g \leq 1)$  [۶۴].

با توجه به اینکه فیلتر انتشار ناهمسانگرد امکان هدایت انتشار در جهات مختلف و دلخواه را فراهم می کند؛ باید تانسور انتشار به گونه ای تعریف شود که علاوه بر امکان کنترل فرآیند انتشار توسط پردازشگر، کمترین آسیب را به قسمت های مختلف سیگنال وارد کند. به همین منظور دو رویکرد در حین استفاده از این فیلتر مورد بررسی قرار می گیرد؛ اول هموارسازی در جهت حفظ ساختارها و دوم



حفظ حداکثری لبه‌ها. بر این اساس روابط (۲-۱۳) و (۲-۱۴) شرایط کلی تابع انتشار را نشان می‌دهند [۶۴]:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} g(x) = 0 \quad (۲-۱۳)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} g(x) = 1 \quad (۲-۱۴)$$

رابطه (۲-۱۳) بیان کننده توقف فرآیند انتشار و هموارسازی در مجاورت مرز ساختار است که موجب حفظ و همچنین افزایش کیفیت لبه‌ها می‌شود و در نتیجه، به بهتر دیده شدن آن‌ها کمک می‌کند. در مقابل طبق رابطه (۲-۱۴)، میزان انتشار در جهت ساختارها در بیشترین مقدار ممکن است. این به این معناست که فرآیند انتشار با بیشترین توان میزان نوفه سیگنال ورودی را کاهش می‌دهد و به محض تشخیص لبه، سریعاً متوقف شده و از هموارسازی لبه جلوگیری می‌کند [۶۴]. پرونا و مالیک [۵۳] بر اساس روابط فوق، معادله‌های (۲-۱۵) و (۲-۱۶) را برای تابع انتشار ارائه دادند.

$$g_1(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x}{k} \right)^2 \right] \quad (۲-۱۵)$$

$$g_2(x) = \frac{1}{1 + \left( \frac{x}{k} \right)^2} \quad (۲-۱۶)$$

بلک<sup>۱</sup> و همکاران [۶۵] رابطه‌ای متفاوت برای  $g$  ارائه کردند که به «تابع دو وزنی توکی<sup>۲</sup>» معروف است [۶۴] و در رابطه (۲-۱۷) قابل مشاهده است.

<sup>۱</sup> Black

<sup>۲</sup> Tukey's biweight function

$$g_3(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[ 1 - \left( \frac{x}{s} \right)^2 \right]^2 & x \leq s \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (17-2)$$

در این روابط  $k$  عملگر کنترل شدت انتشار<sup>۱</sup> است و میزان سرعت و شدت انتشار را کنترل می‌کند. در رابطه (۱۷-۲)،  $S$  پارامتر آستانه گرادیان<sup>۲</sup> و معمولاً برابر با  $k\sqrt{2}$  فرض می‌شود. مقدار این پارامتر، میزان حفظ یا از دست رفتن مرز ساختارها را تعیین می‌کند و این نشان دهنده اهمیت انتخاب این پارامتر در فرآیند انتشار است و به عبارتی، کل فرآیند انتشار و تجزیه نوفه در گرو انتخاب مقداری مناسب برای  $S$  است. مقدار  $S$  باید به گونه‌ای انتخاب شود که از انتشار بیش از حد و از دست رفتن سیگنال جلوگیری شود و در عین حال مرز ساختارها به خوبی دیده شوند. تعیین محل واقعی مرز ساختارها و اینکه الگوریتم تا چه گرادیانی را نوفه در نظر بگیرد و با هموارسازی اثرات مخرب آن‌ها را کاهش دهد؛ بر عهده پارامتر آستانه گرادیان است و به عبارت دیگر انتشار در نقطه  $S$  به صفر رسیده و کاملاً متوقف می‌شود [۶۴ و ۶۵]. مجموع انتشار صورت گرفته با  $\phi$  نمایش داده می‌شود که همان مجموع شار حاصل از فرآیند انتشار است و معادله آن مطابق با رابطه (۱۸-۲) می‌باشد [۶۴]:

$$\phi(x) \equiv g(x) x \quad (18-2)$$

روابط  $g_1$ ،  $g_2$  و  $g_3$  به عنوان روابط پایه و اساسی شناخته می‌شوند و از این جهت بررسی آن‌ها حائز اهمیت است و امروزه توابع متعددی معرفی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. وجود معادلات مختلف برای تابع انتشار موجب شده تا هر یک از آن‌ها در شرایطی مورد استفاده قرار گیرند. معادله  $g_1$  بیشتر برای مرزهایی با تضاد<sup>۳</sup> بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که در مواجهه با مرزهای تیز<sup>۴</sup> بهترین گزینه

<sup>۱</sup> Gradient magnitude threshold parameter

<sup>۲</sup> Gradient threshold parameter

<sup>۳</sup> Contrast

<sup>۴</sup> Sharp

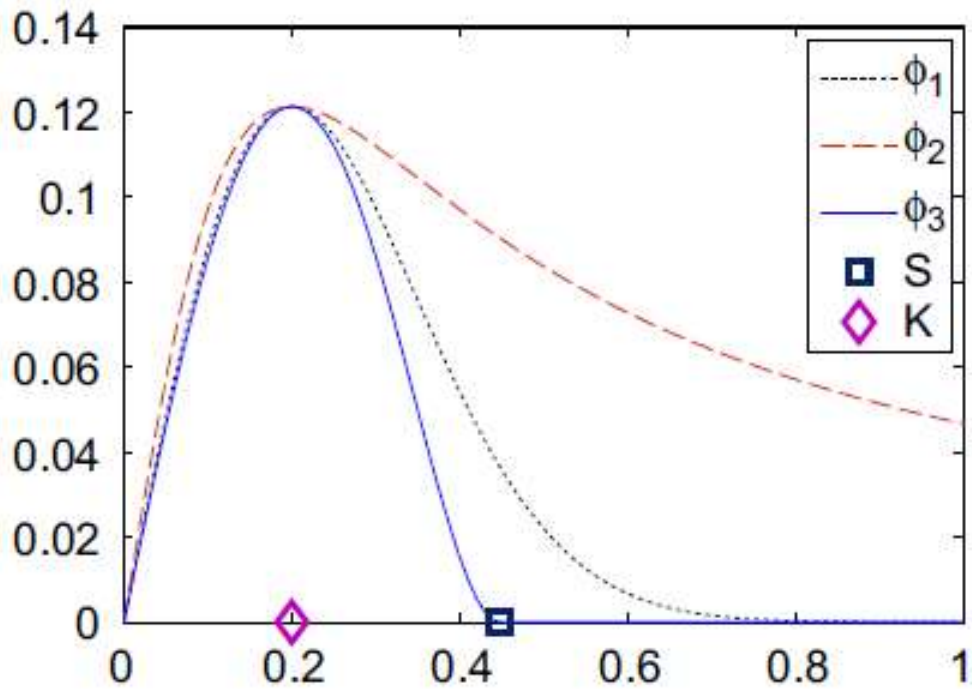
استفاده از معادله  $g_3$  است. معادله  $g_2$  در پردازش تصاویری مورد استفاده قرار می‌گیرد که تغییرات شدیدی در شدت روشنایی وجود ندارد و تصویری یک‌دست‌تر با کم‌ترین میزان مرز در اختیار پردازشگر است [۶۴]. این موارد به صورت تجربی و توسط محققان مورد ارزیابی قرار گرفته و موارد استفاده از هر معادله، در قالب پیشنهاد به پردازشگران توصیه شده است.

جهت حصول نتایج دقیق لازم است که تابع انتشار پیش از آغاز فرآیند به صورت دقیق تعیین گردد. برای این منظور پیش از آغاز فرآیند انتشار، با اعمال فیلتر گاوسی<sup>۱</sup>  $G_\sigma$  در مقیاس  $\sigma$ ، تصویر ورودی مورد ارزیابی کلی قرار می‌گیرد. فیلتر گاوسی با تشکیل پنجره‌هایی با ابعاد  $25 \times 25$  تا  $64 \times 64$  بر روی تصویر ورودی، به صورت دقیق و با جزئیات بیشتر، آن را از نظر کیفیت و میزان نوفه موجود بررسی می‌کند و با معیار قرار دادن مقدار انحراف معیار هر پنجره، یکنواخت‌ترین و یک‌دست‌ترین پنجره به عنوان مقیاسی برای  $\sigma$  انتخاب می‌شود. بر این اساس هر چه مقدار نوفه در پنجره بالاتر باشد؛ مقدار انتخابی  $\sigma$  بیشتر خواهد بود و بالعکس [۶۴]. با تخمین مقیاس فیلتر گاوسی و اعمال این فیلتر بر روی تصویر ورودی، تابع انتشار در یک فرآیند معکوس حاصل می‌شود و فرآیند انتشار و تضعیف نوفه با این تابع انجام خواهد شد. این فرآیند به صورت خودکار توسط الگوریتم فیلتر انجام می‌شود و این موضوع همان نوفه‌مبنایی فیلتر مورد استفاده در این پژوهش است.

طبق رابطه (۲-۱۸) رسم نمودار  $\phi(x)$  بر حسب  $x$  می‌تواند نشان دهنده اطلاعات مهمی پیرامون فرآیند انتشار باشد. این نمودار میزان شدت انتشار و هموارسازی تصویر ورودی، کمترین و بیشترین مقدار انتشار، روند کاهشی و افزایشی فرآیند انتشار و محل توقف این فرآیند را به خوبی نمایش می‌دهد. این نمودار در شکل ۲-۶ قابل مشاهده است.

---

<sup>۱</sup> Gaussian filter



شکل ۲-۶: نمودار  $\phi_1(x)$ ،  $\phi_2(x)$  و  $\phi_3(x)$  بر حسب  $x$  [۶۴].

بر اساس شکل فوق نمودار  $\phi_2(x)$ ، به دلیل تشخیص مرز در فواصلی دورتر از محل دقیق آن، هموارسازی را ادامه می‌دهد و این امر موجب از دست رفتن اطلاعات مهمی پیرامون مرز ساختارها خواهد شد و بنابراین برای عملیات پردازشی که صرفاً هدف آن شناسایی و بررسی مرز ساختارها باشد؛ به هیچ عنوان توصیه نمی‌گردد. واضح است که بیشترین میزان انتشار در نقطه  $x=0.2$  صورت گرفته که این نقطه همان عملگر کنترل شدت انتشار ( $K$ ) است و بدیهی است که، مقدار بیشینه انتشار همواره در شرایطی اتفاق می‌افتد که  $|\nabla I| = K$  باشد. با توجه به اینکه فرآیند انتشار باید در مرز ساختار متوقف شود؛ تعیین مقدار عددی  $S$  در حفظ جزئیات لبه و مرز ساختارها بسیار مهم است. بر این اساس مشاهده می‌شود که نمودار  $\phi_3(x)$  هموارسازی را در مقایسه با نمودار  $\phi_1(x)$  زودتر متوقف کرده است. این امر می‌تواند موجب عدم تضعیف نوفه در نزدیکی مرزها یا هموارسازی بیش از حد آن‌ها شود [۶۴].

برای جلوگیری از عوارض مخرب اشاره شده لازم است؛ مقدار پارامتر آستانه گرادیان (S) با دقت قابل قبولی تخمین زده شود و به عنوان ورودی برای الگوریتم انتشار تعریف شود. برای این منظور چهار روش برای تخمین مقدار حد آستانه معرفی شده است [۶۴]:

۱- پرونا و مالیک در پژوهش خود از الگوریتمی استفاده کردند [۵۳] که در سال ۱۹۸۶ توسط کنی<sup>۱</sup> [۶۶] معرفی شد و به روش «تخمین زننده نوفه<sup>۲</sup>» معروف است [۶۴]. در این روش نمودار فراوانی کل گرادیان تصویر ورودی رسم می‌شود و مقدار S برابر با ۹۰ درصد از کل فراوانی تجمعی<sup>۳</sup>، در هر بار تکرار است به این معنی که پدیده انتشار بر روی مقادیر کمتر از ۹۰ درصد فراوانی تجمعی، اعمال می‌شود و مقادیر بیشتر از ۹۰ درصد را لبه تشخیص داده و بنابراین فرآیند انتشار را متوقف می‌کند [۶۴].

۲- بلک و همکارانش [۶۵] تعریف متفاوتی از مقدار حد آستانه ارائه کردند که در رابطه (۲-۱۹) قابل مشاهده است [۶۴]:

$$s = \sigma_e \sqrt{5} = 1.4826 MAD(\nabla I) \quad (۱۹-۲)$$

در این رابطه MAD متغیر میانه نام دارد و مقدار آن از رابطه (۲-۲۰) قابل محاسبه است [۶۴ و ۶۵]:

$$MAD = median(\|\nabla I - median(\|\nabla I\|)\|) \quad (۲۰-۲)$$

۳- ووسی<sup>۴</sup> و همکارانش [۶۷] برای محاسبه مقدار S از نرم p تصویر ورودی استفاده کردند. بر اساس تعریف آن‌ها مقدار پارامتر آستانه گرادیان از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۶۴]:

<sup>۱</sup> Canny

<sup>۲</sup> Noise estimator

<sup>۳</sup> Histogram

<sup>۴</sup> Voci

$$S = \frac{\sigma \|I\|_p}{rc} \quad (21-2)$$

در این رابطه  $\sigma$  مقداری ثابت و متناسب با شدت متوسط تصویر ورودی،  $r$  و  $c$  به ترتیب تعداد سطر و ستون تصویر ورودی و  $\|I\|_p$  همان نرم  $p$  تصویر ورودی است. مقدار نرم  $p$  از رابطه زیر محاسبه می شود [۶۴ و ۶۷]:

$$\|I\|_p = \left( \sum_{i,j \in I} |I|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (22-2)$$

۴- ووسی و همکارانش [۶۷] روش دیگری برای محاسبه مقدار حد استانه، براساس ریخت شناسی<sup>۱</sup> تصویر ورودی ارائه کردند و بر اساس آن مقدار  $S$  را از رابطه زیر محاسبه کردند [۶۴]:

$$S = \sum_{i,j \in I} \frac{I \circ st}{rc} - \sum_{i,j \in I} \frac{I \bullet st}{rc} \quad (23-2)$$

در این رابطه  $st$  ماتریس ساختاری (معمولا  $3*3$  یا  $5*5$ )،  $r$  و  $c$  تعداد سطر و ستون تصویر ورودی و نمادهای  $\circ$  و  $\bullet$  نشان دهنده عملگرهای ریخت شناسی باز<sup>۲</sup> و ریخت شناسی بسته<sup>۳</sup> هستند. پرونا و مالیک فیلتر انتشار ناهمسانگرد خود را مطابق رابطه (۲۴-۲) تعریف کردند که گسسته شده رابطه پیوسته انتشار ناهمسانگرد است [۵۳ و ۶۴].

$$I_{t+1}(s) = I_t(s) + \frac{\lambda}{|\eta_s|} \sum_{p \in \eta_s} g_k(|\nabla I_{s,p}|) \nabla I_{s,p} \quad (24-2)$$

<sup>۱</sup> Morphology

<sup>۲</sup> Opening Morphology

<sup>۳</sup> Closing Morphology

در این رابطه  $I$  یک تصویر نمونه برداری شده،  $S$  نشان دهنده موقعیت پیکسل در شبکه گسسته دو بعدی،  $t$  نشان دهنده مرحله تکرار و  $g$  تابع انتشار است.  $\lambda \in (0,1]$  عددی ثابت و  $\eta_s$  نشان دهنده چهار پیکسل در همسایگی پیکسل  $S$  و به سمت شمال، جنوب، شرق و غرب است و بنابراین مقدار  $|\eta_s|$  به جز در لبه‌ها برابر ۴ است. نماد  $\nabla$  که در روابط پیوسته نشان دهنده گرادیان است؛ در فرآیند گسسته سازی و در معادلات گسسته نشان دهنده یک اسکالر است که تفاضل بین شدت روشنایی یک پیکسل (مانند  $s$ ) با پیکسل‌های همسایگی‌اش را نشان می‌دهد. در رابطه (۲-۲۵) این مطلب به زبان ریاضی بیان شده است [۶۴]:

$$\nabla I_{s,p} = I_t(p) - I_t(s) \quad , p \in \eta_s = \{N, S, E, W\} \quad (2-25)$$

بنابر ادعای پرونا و مالیک [۵۳] رابطه (۲-۲۵)، هر چند که به دلیل عدم پیچیدگی محاسباتی و همچنین حفظ خواص فرم پیوسته تابع، مورد علاقه پژوهشگران است؛ اما نشان دهنده روند صحیح گسسته سازی یک معادله پیوسته نیست و روش‌های عددی دیگری در منابع متعدد معرفی شده‌اند [۶۴].

با توجه به رابطه (۲-۲۵) و اهمیت چهار پیکسل همسایگی پیکسل  $S$  و تاثیر آن‌ها بر نتیجه نهایی، می‌توان نتیجه گرفت که معادله گسسته انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا به ازای هر پیکسل  $S$  دارای چهار مقدار متفاوت است این در حالی است که در معادله پیوسته فقط یک مقدار برای آن وجود دارد. این تفاوت مقادیر و وجود چهار مقدار متفاوت، به دلیل تفاوت بین مقدار روشنایی پیکسل  $S$  با مقدار روشنایی هر کدام از چهار همسایگی آن در چهار جهت اصلی است. این به آن معناست که باید از چهار مقدار متفاوت برای پارامتر حد آستانه استفاده کرد که هر کدام از آن‌ها بر اساس رابطه تفاضلی  $\nabla$  حاصل می‌شوند. با تقریب بسیار بالا و با کمک آزمون داده‌های ورودی متفاوت، می‌توان ادعا کرد که قدر مطلق مقادیر شمالی و جنوبی با یکدیگر و قدر مطلق مقادیر شرقی و غربی نیز با هم

برابر هستند و بنابراین محاسبه دو مقدار برای حد آستانه کافی به نظر می‌رسد. پارامتر SNS در جهت عمودی و SEW در جهت افقی نشان دهنده دو مقدار تعیین شده برای پارامتر حد آستانه است. با این توضیحات، معادله گسسته انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا به صورت زیر تعریف می‌شود [۶۴]:

$$I_{t+1}(s) = I_t(s) + \frac{\lambda}{|\eta_s|} \left[ \sum_{p \in N, S} \overbrace{g(|\nabla I_{s,p}|)}^{s_{NS}} \nabla I_{s,p} + \sum_{p \in E, W} \overbrace{g(|\nabla I_{s,p}|)}^{s_{EW}} \nabla I_{s,p} \right] \quad (26-2)$$

تخمین دو مقدار متفاوت برای پارامتر حد آستانه باعث دقیق‌تر شدن معادله گسسته انتشار نسبت به شکل پیوسته آن می‌شود چرا که معادله پیوسته فقط از یک بردار گرادیان بهره می‌برد. با توجه به اینکه قدرت انتشار در دو جهت افقی و عمودی با یکدیگر متفاوت است؛ انتظار می‌رود که کیفیت نتایج حاصل از اعمال معادله گسسته انتشار به مراتب بهتر از نوع پیوسته آن باشد. این تفاوت قدرت، در تصاویری که لبه‌ها بیشتر به سمت یکی از دو جهت افقی یا عمودی معطوف می‌شوند؛ بسیار فاحش است و در اینگونه تصاویر دو مقدار افقی و عمودی حد آستانه اختلاف قابل توجهی خواهند داشت [۶۴].





## فصل ۳ : نتایج مدل مصنوعی و واقعی

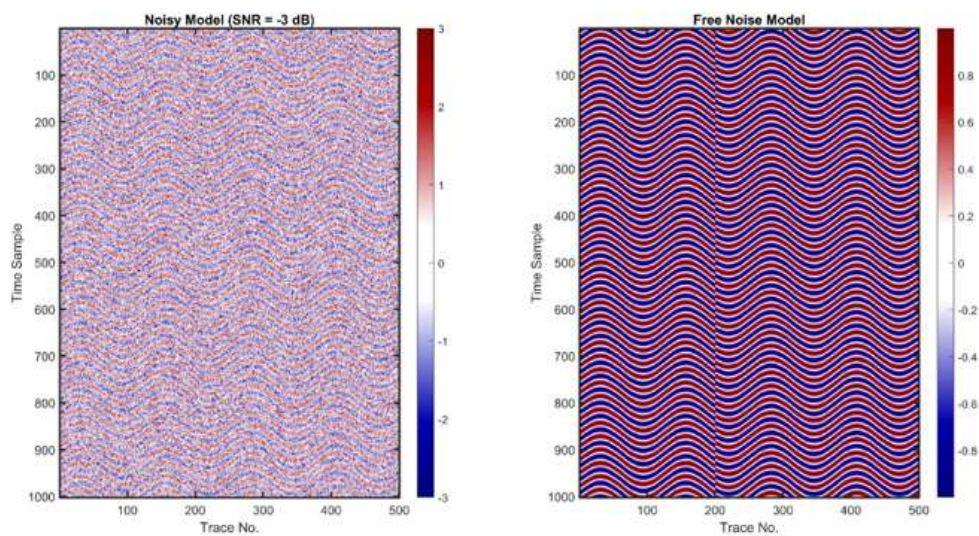
### ۳-۱ مقدمه

در این پژوهش ابتدا فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا بر روی داده مصنوعی و واقعی، در محیط نرم‌افزار MATLAB اعمال شد. این فیلتر با رویکرد نوفه‌مبنای خود با توجه شکل کلی داده و همچنین میزان و چگونگی توزیع نوفه‌های تصادفی، اقدام به تضعیف آن‌ها می‌نماید.

با توجه به عدم ثبت نتایج قابل قبول از اعمال فیلتر فوق بر داده‌های مصنوعی و طبیعی، در مرحله بعد الگوریتم مربوط به فیلتر انتشار چند مقیاسی نوفه‌مبنا بر روی هر دو داده مصنوعی و واقعی اعمال شد. فیلتر فوق، علاوه بر رویکرد نوفه‌مبنایی، با چند مقیاسی کردن رکورد تصاویر و تجزیه‌ی آن‌ها در سه جهت مختلف، اقدام به حذف نوفه از روی هر یک از این عناصر تجزیه شده می‌نماید و در نهایت همه این واحدها را جمع نموده و بر روی یک تصویر نمایش می‌دهد.

### ۳-۲ نتایج مدل مصنوعی

جهت بررسی عملکرد فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی، یک مقطع مصنوعی سینوسی دو بعدی با کمک نرم‌افزار MATLAB ایجاد شده است. فرکانس غالب این موج سینوسی برابر ۳۵ هرتز و در مدت زمان ۰,۵ ثانیه انتشار یافته و دارای ۵۰۰ ردلرزه و یک ناپیوستگی (گسل مصنوعی) در ردلرزه ۲۰۰ ام خود می‌باشد. مقطع مصنوعی ایجاد شده به نوفه تصادفی آغشته شده است. نسبت سیگنال به نوفه پس از اضافه شدن نوفه برابر با ۳- است. شکل ۳-۱ داده مصنوعی عاری از نوفه و همراه با نوفه را نشان می‌دهد و مقیاس رنگی در تمامی تصاویر مربوط به داده مصنوعی، نشان دهنده تغییرات دامنه است.

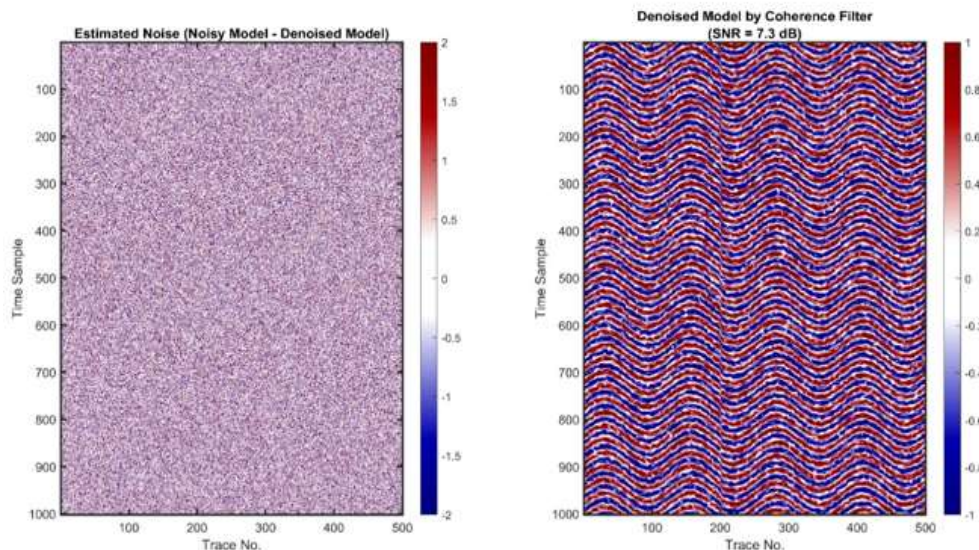


(ب)

(الف)

شکل ۳-۱: داده مصنوعی ایجاد شده. الف) بدون نوفه. ب) همراه با نوفه

در ادامه فیلترهای انتشار ناهمسانگرد (که توسط آقای محمد شکفته استفاده شده است)، ناهمسانگرد نوفه‌مبنا و ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا، جهت تضعیف و حذف نوفه تصادفی، بر روی داده مصنوعی آلوده به نوفه اعمال شده و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شود. شکل ۳-۲ نتیجه اعمال فیلتر انتشار ناهمسانگرد، شکل ۳-۳ نتیجه اعمال فیلتر نوفه‌مبنا و شکل ۳-۴ نتیجه اعمال فیلتر چند مقیاسی نوفه‌مبنا بر داده مصنوعی آلوده به نوفه تصادفی است.

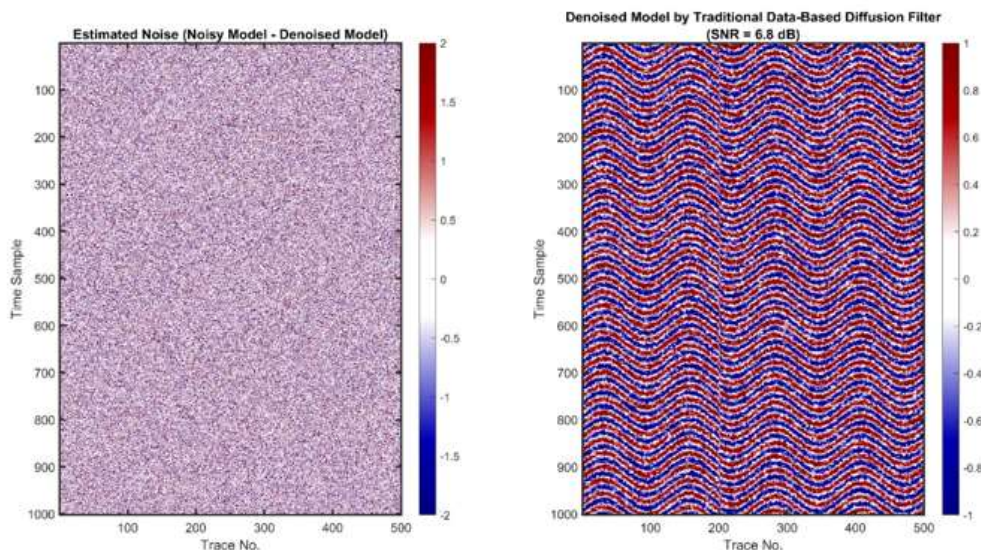


(ب)

(الف)

شکل ۳-۲: الف) داده حاصل پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد. ب) تفاضل داده آغشته به نوفه و داده‌ای که که نوفه آن تضعیف شده

همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود، فیلتر انتشار ناهمسانگرد علیرغم بهبود نسبت سیگنال به نوفه و رساندن این مقدار از ۳- دسی بل به ۷/۳ دسی بل، نتوانسته به طور کامل و مورد قبول نوفه را از روی داده پاک سازی نماید و شکل حاصل پس از اعمال فیلتر مطلوب ما نیست. باید توجه داشت که صرفاً افزایش مقدار سیگنال به نوفه در پردازش داده‌های لرزه‌ای کافی نیست و فیلتر اعمال شده باید تمام پارامترهای منظور را در حد قابل قبولی به نمایش بگذارد. به نظر می‌رسد که هموارسازی فیلتر فوق در مرز شکستگی بسیار زیاد است که این موضوع باعث شده که شکستگی به خوبی دیده نشود و قطعاً این فیلتر در نمایش شکستگی‌ها و گسل‌های کوچک عاجز خواهد بود که این بزرگ‌ترین ضعف این فیلتر است.



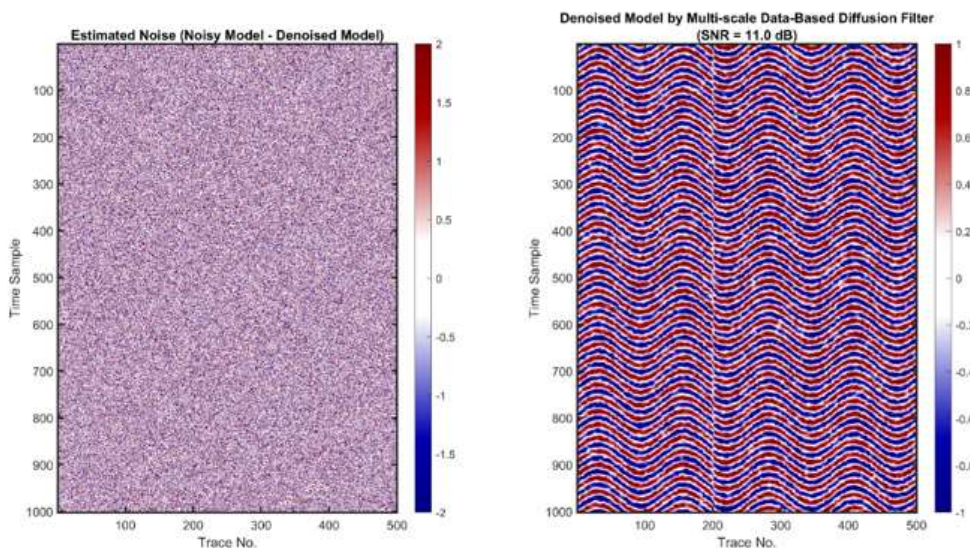
(ب)

(الف)

شکل ۳-۳: الف) داده حاصل پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا. ب) تفاضل داده آغشته به نوفه و داده‌ای که که نوفه آن تضعیف شده

بر خلاف انتظار با اعمال فیلتر ناهمسانگرد نوفه‌مبنا، نسبت سیگنال به نوفه در مقایسه با الگوریتم اول کاهش پیدا کرده و مقدار آن به عدد  $6/8$  دسی بل رسیده است و این امر نشان می‌دهد که مقدار نوفه باقی‌مانده در تصویر حاصل بیشتر از مرحله قبل است. اگرچه فیلتر مورد نظر لبه‌های شکستگی را به خوبی حفظ کرده اما باید توجه داشت که فیلتر فوق کمکی به بهبود نتایج مرحله قبل نکرده و نمی‌تواند اهداف این پژوهش را توجیه نماید. از آنجایی که در پردازش داده‌های لرزه‌ای؛ حذف نوفه در بالاترین حد ممکن، نمایش انواع گسل‌های بزرگ و کوچک، حفظ مرزهای آن و عدم تضعیف داده تا حد امکان، از مهمترین فاکتورهای یک پردازش خوب و مورد قبول است؛ در این پایان نامه تلاش شده تا ضعف‌های فیلتر ناهمسانگرد نوفه‌مبنا برطرف شود و تصاویری با کیفیت بهتر و همچنین نسبت سیگنال به نوفه بالاتر ارائه شود. در همین راستا با تغییراتی در الگوریتم فیلتر فوق و ایجاد فاکتور چند مقیاسی به آن، داده مصنوعی مجدداً مورد آزمون قرار گرفت.





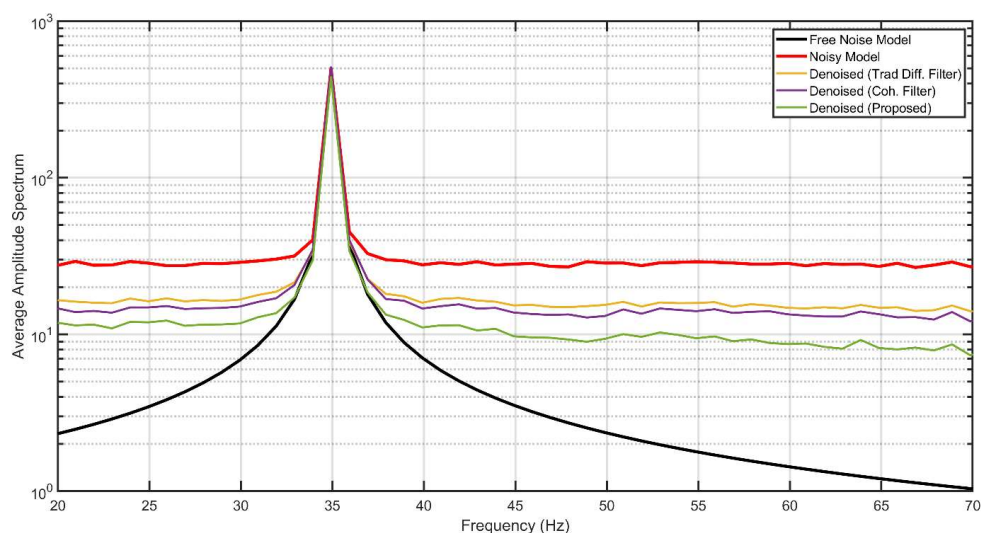
(ب)

(الف)

شکل ۳-۴: الف) داده حاصل پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا. ب) تفاضل داده آغشته به نوفه و داده‌ای که که نوفه آن تضعیف شده

با اعمال فیلتر چند مقیاسی نوفه‌مبنا مقدار نسبت سیگنال به نوفه به ۱۱ دسی بل رسیده و در نتیجه تضعیف نوفه نسبت به مراحل قبل، به بالاترین حد خود رسیده که این موضوع از مقدار نسبت سیگنال به نوفه و همچنین از تصویر حاصل، قابل استناد است. با توجه به تصویر نهایی حاصل، فیلتر فوق علاوه بر تضعیف بسیار خوب نوفه‌ها، مرز شکستگی را به خوبی نمایان ساخته است.

با رسم نمودار طیف دامنه-فرکانس در حالات مختلف، علاوه بر مشاهده‌ی طیف دامنه و فرکانسی داده مصنوعی مورد نظر در حضور نوفه و پس از تضعیف آن‌ها، می‌توان میزان موفقیت هر یک از این فیلترها را با یکدیگر مقایسه کرد. با توجه به اینکه دامنه داده پس از آغشتگی آن به نوفه به شدت افزایش می‌یابد؛ مشاهده می‌شود که فیلتر چند مقیاسی نوفه‌مبنا عملکرد بهتری در کاهش دامنه‌ها و پاک سازی داده از نوفه داشته است و دامنه سیگنال پاک سازی شده توسط این فیلتر بیشترین تشابه را به دامنه سیگنال اصلی دارد. شکل ۳-۵ طیف دامنه-فرکانس این داده را در حالات مختلف نشان داده و آنچه گفته شده را تایید می‌نماید.



شکل ۳-۵: نمودار طیف دامنه-فرکانس داده مصنوعی در حالات مختلف.

نتایج حاصل از مقایسه کلی هر سه فیلتر در جدول ۳-۱ قابل مشاهده است.

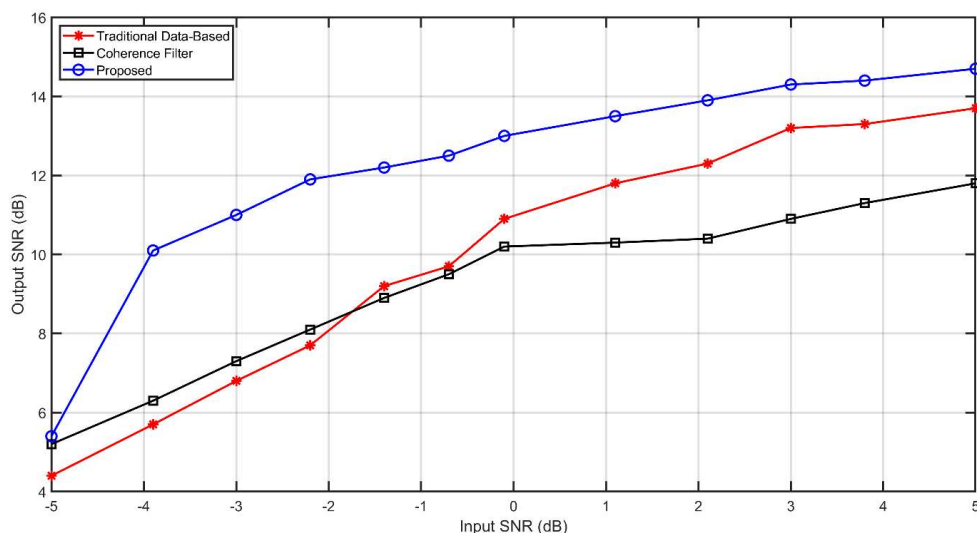
جدول ۱: مقایسه کلی نتایج تضعیف نوفه به کمک سه فیلتر معرفی شده با SNR اولیه ۳-دسی بل

| نام فیلتر            | نسبت سیگنال به نوفه (db) | مقدار بهبود نسبت سیگنال به نوفه (db) | عملکرد در نمایش گسل مصنوعی |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| ناهمسانگرد           | ۷/۳                      | +۱۰/۳                                | ضعیف                       |
| نوفه‌مبنا            | ۶/۸                      | +۹/۸                                 | ضعیف                       |
| چند مقیاسی نوفه‌مبنا | ۱۱                       | +۱۴                                  | عالی                       |

روند تضعیف نوفه در چند مرحله و با تغییر میزان نوفه اضافه شده به داده مصنوعی و مقادیر مختلف سیگنال به نوفه اولیه ادامه یافت. این بررسی از مقادیر ۵- دسی بل تا ۵+ دسی بل برای نسبت سیگنال به نوفه اولیه به صورت جداگانه صورت گرفت و این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار سیگنال به نوفه پس از تضعیف در فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا بالاتر از دو فیلتر دیگر است



و این برتری در مقادیر مختلف نوفه اضافه شده، حفظ شده است. شکل ۳-۶ نتایج این بررسی را با مقایسه نسبت سیگنال به نوفه در قبل و بعد از اعمال فیلترها، به تصویر کشیده است.



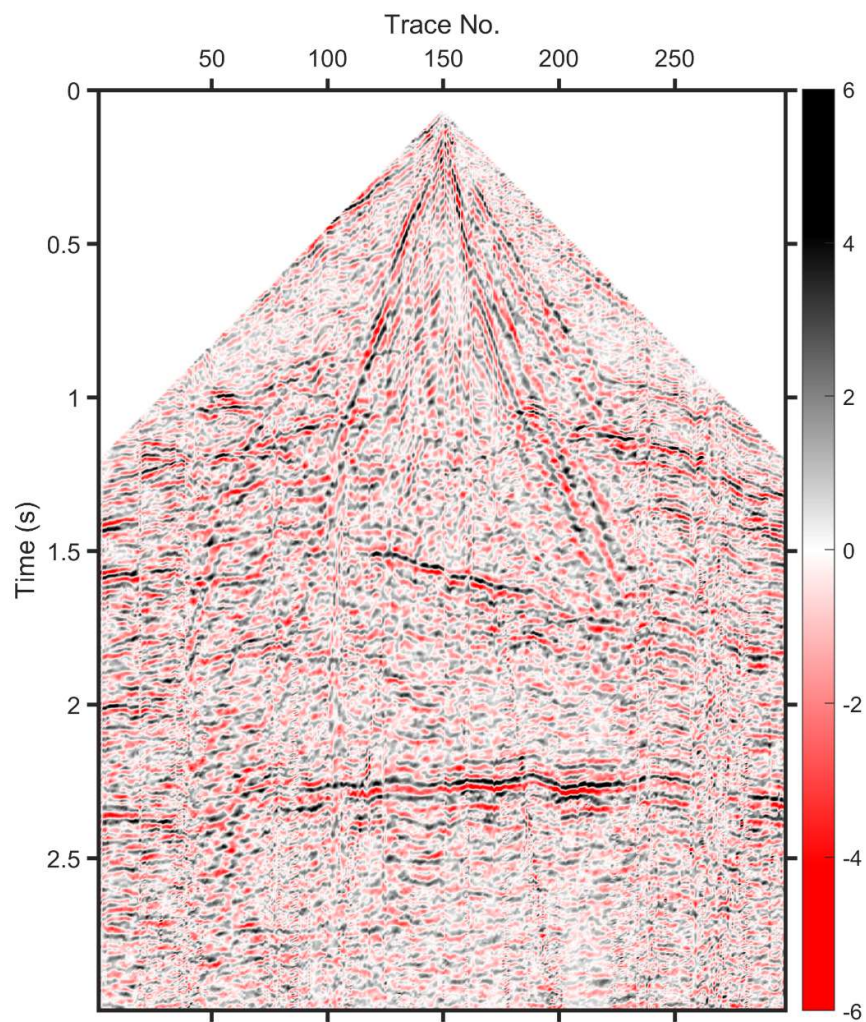
شکل ۳-۶: مقایسه نسبت سیگنال به نوفه؛ قبل و بعد از اعمال فیلترهای سه گانه انتشار مورد پژوهش.

با توجه به نمودارهای رسم شده کاملاً مشخص است که عملکرد فیلتر انتشار نوفه‌مبنا در آلودگی شدید داده به نوفه، ضعیف‌تر از سایر فیلترهاست. با کاهش میزان نوفه ابتدایی، روند صعودی نمودار برای این فیلتر با شیب بیشتری صورت می‌پذیرد و در ادامه در تضعیف نوفه و بهبود نسبت سیگنال به نوفه از فیلتر انتشار ناهمسانگرد پیشی می‌گیرد. بر طبق نمودار و آنچه قبلاً ذکر آن رفت فیلتر انتشار چند مقیاسی نوفه‌مبنا با توجه به رویکرد بررسی کلی داده و میزان آغشتگی آن به نوفه تصادفی و همچنین عملکرد چند مقیاسی خود، در بهبود مقدار نسبت سیگنال به نوفه بسیار توانمند است.

### ۳-۳ نتایج مدل واقعی

پس از اعمال فیلترهای سه گانه انتشار بر روی داده مصنوعی و برتری فیلتر ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا نسبت به دو فیلتر دیگر، لازم است کارایی آن‌ها بر روی داده‌ی واقعی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور داده‌ای واقعی با ۳۰۰ ردلرزه انتخاب شده و در ادامه با اعمال فیلترهای انتشار اشاره

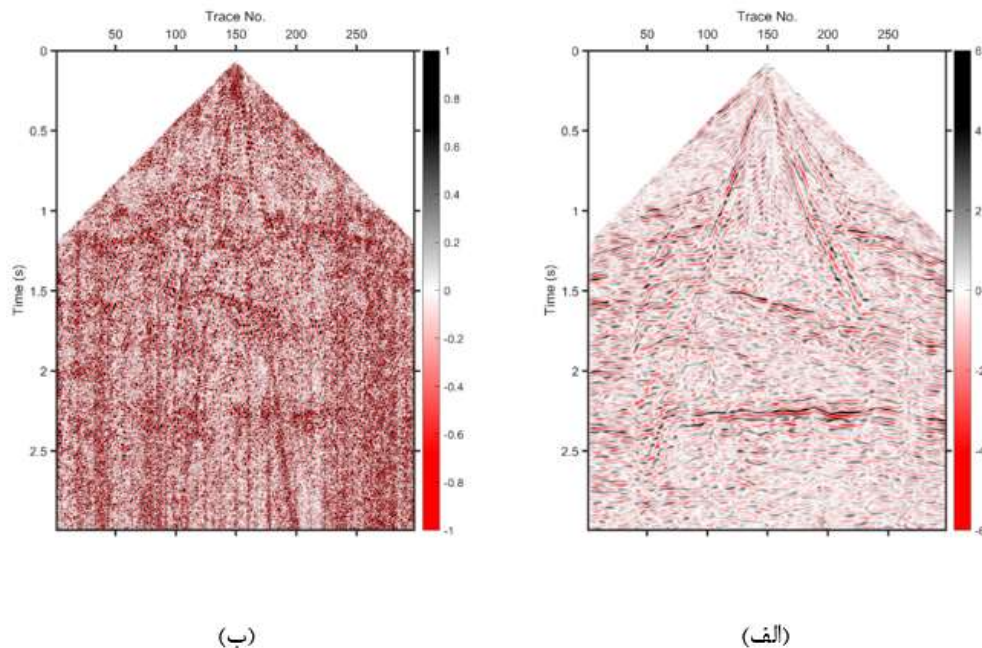
شده در این پایان نامه، داده واقعی مورد نظر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که مقیاس رنگی در تمامی تصاویر مربوط به داده طبیعی، نشان دهنده تغییرات دامنه است.



شکل ۳-۷: داده واقعی استفاده شده در این پایان نامه.

داده واقعی فوق به گونه‌ای انتخاب شده که شامل لایه‌بندی و بازتابنده‌های قوی و ضعیف و انواع امواج منتشر شده از جمله امواج شکست مرزی و امواج زمین‌غلت می‌باشد. این انتخاب موجب شده تا عملکرد هر یک از این فیلترها برای بخش‌های مختلف داده مورد بررسی قرار گیرد.

بر روی داده واقعی فوق، ابتدا فیلتر انتشار همسانگرد اعمال می‌شود و نتایج حاصل از آن در ادامه بیان خواهد شد. شکل ۳-۸ تصویری از داده واقعی پس از اعمال فیلتر همسانگرد و همچنین تفاضل آن با داده واقعی آغشته به نوفه را نشان می‌دهد.

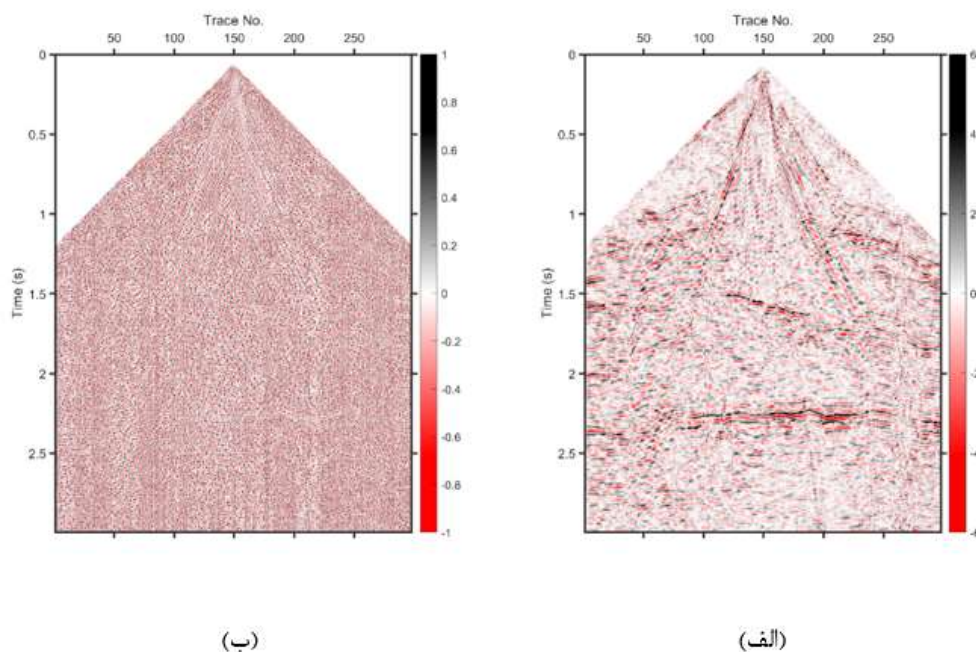


شکل ۳-۸: الف) داده واقعی بازیابی شده پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد. ب) تفاضل داده واقعی و داده تضعیف نوفه شده

تصاویر فوق نشان می‌دهد که اگرچه فیلتر ناهمسانگرد نوفه بیشتری را تضعیف کرده اما با بررسی دقیق تصویر ۳-۸ ب) روند کلی بازتابنده‌ها قابل رهگیری است و این بدان معناست که فیلتر فوق علاوه بر تضعیف نوفه‌ها، بخش قابل توجهی از سیگنال را تضعیف کرده و نشت سیگنال به وضوح قابل تشخیص است. این اطلاعات حذف شده دقیقاً یکی از اهداف پردازشی و استفاده از فیلترهاست که مطلوب نیست.

این روند باعث حذف کامل بازتابنده‌های تضعیف‌تر شده و همچنین بازتابنده‌های قوی را نیز تحت تاثیر قرار داده است. حذف سیگنال‌ها و از دست دادن اطلاعات مهم بازتابنده‌ها و هموارسازی بیش از حد، قطعاً نامطلوب‌ترین عارضه‌ی استفاده از این فیلتر است.

در جهت بهبود ضعف‌های موجود و افزایش مقدار سیگنال به نوفه، فیلتر نوفه‌مبنا بر روی داده واقعی فوق اعمال شده و نتایج آن بررسی خواهد شد. شکل ۳-۹ تصویری از داده واقعی بعد از تضعیف نوفه و تفاضل آن با داده آغشته به نوفه را نشان می‌دهد.



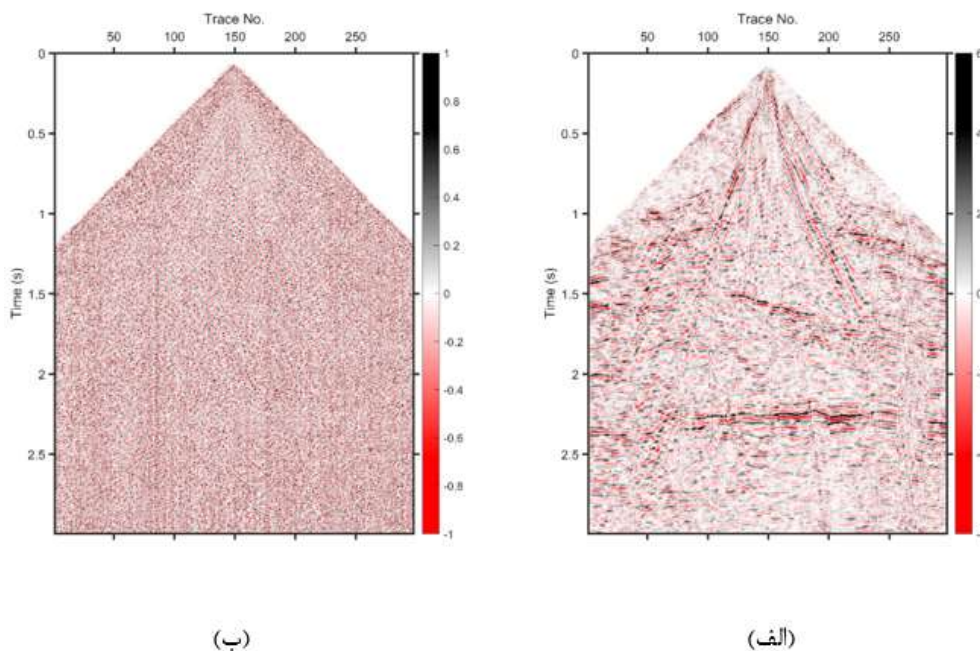
شکل ۳-۹: (الف) داده واقعی بازیابی شده پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا. (ب) تفاضل داده واقعی و داده تضعیف نوفه شده

با توجه به تصویر فوق در نتیجه اعمال فیلتر انتشار همسانگرد نوفه‌ها به اندازه قابل قبولی از روی داده پاک‌سازی شده‌اند و تصویر نهایی ارتباط خوبی در مقایسه با تصویر عاری از نوفه دارد. با بررسی دقیق‌تر تصویر ۳-۹ (ب)، اثراتی از دو بازتابنده قوی داده فوق، قابل رهگیری است و نشت سیگنال اگرچه اندک اما قابل مشاهده است.

ماهیت نوفه‌مبنایی این فیلتر، اگر چه باعث موفقیت نسبی آن در تضعیف نوفه‌ها شده؛ اما اعمال آن موجب از دست رفتن بخشی از بازتابنده‌های قوی شده است. با بررسی نتایج بدست آمده، معرفی و استفاده از یک فیلتر بهتر کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. فیلتر مورد نظر باید نقاط قوت این فیلتر را



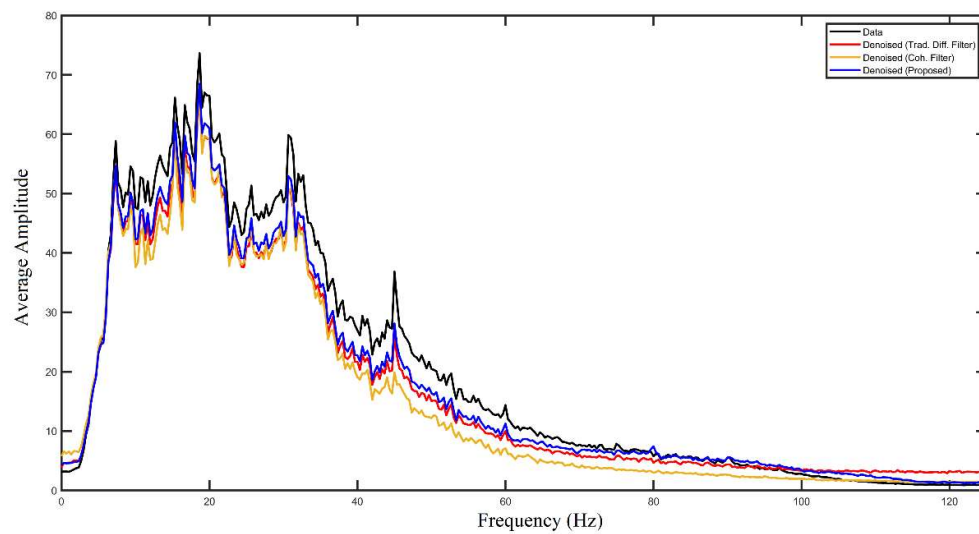
حفظ کند و در جهت رفع کاستی‌های آن پیش رود. بنابر آنچه گفته شد، فیلتر چند مقیاسی نوفه‌مبنا بر داده اعمال خواهد شد. این فیلتر با توجه به ماهیت نوفه‌مبنا بودن آن با بررسی داده و میزان آلودگی آن به نوفه، داده را به سه مولفه تجزیه می‌کند. این امر از تضعیف چندباره داده جلوگیری می‌کند و همچنین هموارسازی را به صورت کلی نسبت به سایر فیلترهای مورد استفاده در این پایان نامه، کاهش می‌دهد. شکل ۳-۱۰ تصویری از داده پس از تضعیف نوفه به کمک فیلتر انتشار چند مقیاسی نوفه‌مبنا و تفاضل آن با داده آغشته به نوفه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰: الف) داده واقعی بازیابی شده پس از تضعیف نوفه تصادفی به کمک فیلتر انتشار ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا. ب) تفاضل داده واقعی و داده تضعیف نوفه شده

بر اساس تصاویر فوق، میزان نوفه کاهش یافته در این روش بسیار بیشتر و بهتر و همچنین داده بعد از تضعیف نوفه به این روش، از کیفیت بالاتری نسبت به دو روش دیگر برخوردار است. بر اساس تصویر ۳-۱۰ ب)، هیچ گونه اثری از رخداد‌های داده، قابل رهگیری و مشاهده نیست و این بدان معناست که این فیلتر در حفظ ساختارها و بازتابنده‌های سطحی و عمیق بسیار خوب عمل کرده و بازتابنده‌ها با بهترین کیفیت و بسیار واضح قابل مشاهده هستند. در این فرآیند، نوفه در حد انتظار از داده حذف

شده و امواج دریافتی حاصل از شکست مرزی به خوبی حفظ شده‌اند. در ادامه نمودار طیف دامنه-فرکانس داده واقعی قبل از تضعیف نوفه به همراه نمودار طیف دامنه-فرکانس بعد از تضعیف نوفه به هر سه روش بر روی یک محور در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۳: نمودار طیف دامنه-فرکانس داده واقعی قبل و بعد از تضعیف نوفه.

بر اساس این نمودار، دامنه متناظر با هر فرکانس در هر یک از فیلترها به صورت جداگانه قابل مشاهده است.



## فصل ۴ : نتیجه گیری و پیشنهادها



## ۴-۱ نتیجه گیری

در این پایان نامه پس از مرور تعدادی از مهم‌ترین و معمول‌ترین روش‌های تضعیف نوفه تصادفی، مفهوم انتشار و پارامترهای موثر بر فرآیند انتشار معرفی و از نظر فیزیکی و ریاضی مورد بحث قرار گرفت. در ادامه فیلترهایی بر مبنای انتشار معرفی گردیدند و انواع این فیلترها مورد بررسی قرار گرفته و مثال‌هایی از چگونگی به کارگیری آن‌ها توسط پژوهشگران ذکر شد.

در این پایان نامه، دو فیلتر انتشار ناهمسانگرد جدید با رویکردهای نوفه‌مبنا و چند مقیاسی نوفه مبنا معرفی شده و مورد پژوهش قرار گرفتند. فیلترهای انتشار ناهمسانگرد با استفاده از تانسور انتشار به جای تابع عددی انتشار، در بهبود نتایج و حذف نوفه‌ی بیشتر، بسیار توانمندتر عمل می‌کنند و به همین جهت و با هدف کسب نتایج بهتر، هر دو فیلتر معرفی شده در این پایان نامه ناهمسانگرد هستند. همچنین فیلترهای خطی با توجه به هموارسازی یکسان در تمام جهات، قادر به حذف و تضعیف حداکثری نوفه‌ها نیستند و از این رو فیلتر طراحی شده باید غیر خطی باشد. همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، با توجه به حضور تانسور انتشار در فیلترهای ناهمسانگرد، قطعاً فیلترهای فوق غیرخطی خواهند بود.

فیلتر انتشار ناهمسانگرد نوفه‌مبنا، علاوه بر تضعیف نوفه‌ها، باعث تضعیف قسمت‌هایی از داده شده و نتایج قابل انتظاری از این روش به ثبت نرسید و این امر موجب شد تا تغییراتی در الگوریتم آن اعمال شود.

در مرحله بعد فیلتر ناهمسانگرد چند مقیاسی نوفه‌مبنا با هدف بهبود نتایج مرحله قبل مورد استفاده قرار گرفت. این فیلتر با بررسی کلی ساختار داده و چگونگی توزیع نوفه بر روی آن، مناسب‌ترین تابع انتشار را انتخاب می‌کند و با کمک الگوریتم هوشمند خود، اقدام به تجزیه داده به سه مولفه مختلف می‌کند و سپس با شناسایی نوفه‌ها در هر یک از این جهات، اقدام به تضعیف و

پاک‌سازی آن‌ها از روی داده نموده و در نهایت با جمع تمام اطلاعات، داده اصلی را مجدداً بازیابی می‌کند و به این ترتیب اثرات مخرب مرحله قبل را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. با استفاده از این روش نه تنها نسبت سیگنال به نوفه افزایش پیدا کرده، بلکه تصاویر از جنبه‌های مختلفی بهبود یافته است. بهبود نمایش انواع بازتابنده‌ها و ساختارها و همچنین عدم نشت سیگنال از ویژگی‌های مثبت و بارز این فیلتر در تضعیف نوفه‌هاست.

در هر مرحله نتایج حاصل از استفاده این فیلتر در تضعیف نوفه‌ها، با نتایج حاصل از بکارگیری فیلترهای ناهمسانگرد و نوفه‌مبنا مقایسه شده و برتری آن به اثبات رسید و تمام نتایج با کمک نمودارها و تصاویر مختلف در فصل قبل به نمایش درآمد و ضمن موفقیت این روش در تضعیف نوفه‌های تصادفی، نتایج قبلی نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته و هدف اصلی این پژوهش به خوبی به اثبات رسیده است.

## ۴-۲ پیشنهادها

جهت بهبود نتایج حاصل از این پژوهش راهکارهای زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- لزوم مطالعه و پژوهش پیرامون توابع انتشار و ارائه توابعی جدید به جهت تضعیف هر چه بهتر

نوفه

۲- ارائه الگوریتم‌های خودکار پیشرفته‌تر جهت تعیین پارامترهای تجزیه داده در جهات مختلف و

همچنین ارائه راه کارهای بهتر برای انتخاب تابع انتشار، به نحوی که فاکتور نوفه‌مبنایی فیلتر،

تاثیر مثبت و بیشتری در بازیابی اطلاعات داده داشته باشد.

۳- ارائه راه کارهایی جهت توسعه الگوریتم برای استفاده در داده‌های سه بعدی.

## مراجع

- [1] Sheriff R. E and Geldart L. P (1995) "Exploration seismology", Cambridge University Press.
- [2] [www.geoexplor.com](http://www.geoexplor.com)
- [3] Chen K (2013) "Robust matrix rank reduction methods for seismic data processing", University of Alberta.
- [4] Oropeza V. E (2010) "The singular spectrum analysis method and its application to seismic data denoising and reconstruction", University of Alberta.
- [5] Cordsen A, Galbraith M, Peirce J and Hardage B. A (2003) "Planning land 3-D seismic surveys", Society of exploration geophysicistsTulsa.
- [6] Naess O and Bruland L (1985) "Stacking methods other than simple summation", Developments in geophysical exploration methods, vol. 6, pp. 189-223.
- [7] Neelamani R, Dickens T. A and Deffenbaugh M (2006) "Stack-and-denoise: A new method to stack seismic datasets", in proc. 76<sup>th</sup> SEG Annual International Meeting, 2006, pp. 2827-2831.
- [8] Mayne W. H (1962) "Common reflection point horizontal data stacking techniques", Geophysics, 1962, vol. 27, pp. 927-938.
- [9] Buttkus B (2000) "Spectral analysis and filter theory in applied geophysics", Federal Institute for Geosciences and Natural Resources.
- [10] Yilmaz Ö (2001) "Seismic data analysis", SEG.

- [11] Proakis J. G and Manolakis D. G (2007) "Digital signal processing, principles, algorithms and applications", Pearson Prentice Hall.
- [12] Hornbostel S, Bishop G (1990) "Background restoration of dip-filtered data", Geophysics, vol. 55, pp. 249-253.
- [13] Trickett S (2008) "F-xy Cadzow noise suppression", in 2008 SEG Annual Meeting.
- [14] Gendron P. G (2007) "Scale adaptive filtering", Ed: Google Patents.
- [15] Li C. F and Liner C (2007) "Wavelet-based detection of singularities in acoustic impedances from surface seismic reflection data", Geophysics, vol. 73, pp. V 1-V 9.
- [16] Neelamani R, Baumstein A. I, Gillard D. G, Hadidi M. T and Soroka W. L (2008) "Coherent and random noise attenuation using the curvelet transform", The Leading Edge, vol. 27, pp. 240-248.
- [17] Abma R and Claerbout J (1995) "Lateral prediction for noise attenuation by tx and fx techniques", Geophysics, vol. 60, pp. 1887-1896.
- [18] Canales L (1984) "Random noise reduction", 54th SEG Annual International Meeting, Expanded Abstracts, pp. 525-527.
- [19] Gulunay N (1986) "f-x decon and complex wiener prediction filter", 56th SEG Annual International Meeting, Expanded Abstracts, pp. 279-281.
- [20] Dangeti S (2003) "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 Collage of Engineering.
- [21] Umbaugh S. E (1998) "Computer vision and image processing a practical approach using CVIP tools", Ed: prentice Hall.

- [22] Shang S, Han L. G, Lv Q. T and Tan C. Q (2013) "Seismic random noise suppression using an adaptive nonlocal means algorithm", *Applied Geophysics*, vol. 10, pp. 33-40.
- [23] Buades A, Coll B and Morel J. M (2005) "A review of image denoising algorithms, with a new one", *Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 4, pp. 490-530.
- [24] Al-Bin-Hassan N. M, Luo Y and Al-Faraj M. N (2006) "3D edge-preserving smoothing and applications", *Geophysics*, vol. 71, pp. P 5-P 11.
- [25] Liu Y, Fomel S and Liu G (2010) "Nonlinear structure enhancing filtering using plane-wave predictional", *Geophysical prospecting*, vol. 58, pp. 415-427.
- [26] Luo Y, Marhoon M, Al-Dossary S and Al-Faraj M, "Edge-preserving smoothing and applications", *The leading edge*, vol. 21, pp. 136-158.
- [27] Hanpeng C, Zhenhue H, Yalin L, Wen Z and Guangming H (2013) "Improving the Quality of Seismic Data Using Multi-Scale Dip Orientation Adaptive Filtering", in 2013 SEG Annual Meeting.
- [28] Ulrych T. J, Sacchi M. D and Freire S. L (1999) "Eigenimage processing of seismic sections", *Covariance analysis for seismic signal processing*, pp. 241-274.
- [29] Freire S. L and Ulrych T. J (1988) "Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling", *Geophysics*, vol. 53, pp. 778-785.
- [30] Al-Yahya K. M (1991) "Application of the partial Karhunen-Loeve transform to suppress random noise in seismic sections", *Geophysical prospecting*, vol. 39, pp. 77-93.
- [31] Jones I and Levy S (1987) "Signal-to-noise ratio enhancement in multichannel seismic data via the Karhunen-Loeve transform", *Geophysical prospecting*, vol. 35, pp. 12-32.
- [32] Hagen D. C (1982) "The application of principal components analysis to seismic data sets", *Geoexploration*, vol. 20, pp. 93-111.

- [33] Ursin B and Zheng Y (1985) "Identification of seismic reflections using singular value decomposition", *Geophysical prospecting*, vol. 33, pp. 773-799.
- [34] Djarfour N, Ferahtia J, Babaia F, Baddari K, Said E. A and Farfour M (2014) "Seismic noise filtering based on Generalized Regression Neural Networks", *Computers & Geosciences*, vol. 69, pp. 1-9.
- [35] Chiu S. K and Howell J. E (2008) "Attenuation of coherent noise using localized-adaptive eigenimage filter", in 2008 SEG Annual Meeting.
- [36] Witkin A. P (1984) "Scale-space filtering: A new approach to multi-scale description", in *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP'84*, pp. 150-153.
- [37] Perona P and Malik J (1987) "Scale space and edge detection for visual scene analysis", in *proc. IEEE Computer Soc. Workshop on Computer Vision*, pp. 16-22.
- [38] Kroon D and Slump C (2009) "Coherence filtering to enhance the mandibular canal in conebeam CT data".
- [39] Kroon D. J (2011) "Segmentation of the mandibular canal in cone-beam CT data", Citeseer.
- [40] Imhof M. G (2003) "Enhancing seismic images using anisotropic nonlinear diffusion", in 2003 SEG Annual Meeting.
- [41] Baddari K, Ferahtia J, Aifa T and Djarfour N (2011) "Seismic noise attenuation by means of an anisotropic nonlinear diffusion filter", *Computers & Geosciences*, vol. 37, pp. 456-463.

[۴۲] شکفته زوارم م (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "به کارگیری فیلتر انتشار جهت تضعیف نوفه تصادفی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[43] Oppenheim A. V, Willsky A. S and Nawab S (1997) "Signal and systems", Prentice Hall.

[44] Schlumberger Oilfield Glossary, glossary.oilfield.slb.com, 2009.

[45] Kearey P, Brooks M and Hill I (2002) "An introduction to geophysical exploration ", John Wiley & Sons.

[46] Roshandel A (2012) "Application of minimum variance filters in power-line noise attenuation", Iranian jornal of geophysics, vol. 7, pp. 79-88.

[۴۷] کریمی ف (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای با استفاده از ترکیب تبدیل زمان-فرکانس و تجزیه مد تجربی"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[48] Bokstein B. S, Srolovitz D. J and Mendelev M. I (2005) "Thermodynamics and kinetics in materials science", Oxford University Press, UK.

[49] Li X (2005) "The anatomy of anisotropic diffusion filters", CSEG Rec, vol. 30, pp. 54-60.

[50] Enli W and Gaohan Y (2013) "Diffusion Filtering for Seismic Data Enhancement", in 2013 SEG Annual Meeting.

[51] Weickert J (1998) "Anisotropic diffusion in image processing", Teubner Stuttgart, vol. 1.

[52] Wielgus M (2014) "Perona-Malik equation and its numerical properties", arxiv.org.

[53] Perona P and Malik J (1990) "Scale space and edge detection using anisotropic diffusion", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 12, pp. 629-639.

[54] Erdem E (2012) "Linear Diffusion", Hacettepe University, February 24th.

- [55] Erdem E (2012) "Nonlinear Diffusion Pdes", Hacettepe University.
- [56] Weickert J (1997) "A review of nonlinear diffusion filtering", in Scale-Space theory in computer vision, Ed: Springer, pp. 1-28.
- [57] Weickert J (1999) "Coerence-enhancing diffusion filtering", International Journal of computer vision, vol. 31, pp. 111-127.
- [58] Cottet G. H and Germain L (1993) "Image processing through reaction combined with nonlinear diffusion", Mathematics of Computation, pp. 659-673.
- [59] Morlet J, Arens G, Fourgeau E and Giard D (1982) "Wave propagation and sampling theory", Geophysics, vol. 47, pp. 203-236.
- [۶۰] روشندل کاهو ا، خیر ک و باغزدانی ح. ر (۱۳۹۹) "تحلیل سیگنال‌های ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [61] Peng Z. K and Chu F. L (2004) "Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography." Mechanical systems and signal processing, Vol.18, no. 2, pp.199-221.
- [۶۲] روشندل کاهو ا (۱۳۸۸) رساله دکتری: "بهبود تبدیل‌های زمان-فرکانس در مطالعه داده‌های لرزه‌ای"، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- [۶۳] احمدی م. ع، ابراهیم‌زاده اردستانی و و بنی عامریان ج (۱۳۹۰) "کاربرد تبدیل موجک گسسته دو بعدی در برآورد مرز چشمه‌های گرانی"، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۵، شماره ۳، صص ۵۵-۶۶.
- [64] Tsotsios C and Petrou M (2013) "On the choice of the parameters for anisotropic diffusion in image processing", Pattern Recognition, vol. 46, pp. 1369-1381.
- [65] Black M. J, Sapiro G, Marimont D and Heeger D (1998) "Robust anisotropic diffusion", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 7, pp. 421-432.



[66] Canny J (1986) "A computational approach to edge detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, pp. 679-698.

[67] Voci F, Eiho S, Sugimoto N and Sekiguchi H (2004) " Estimating the gradient threshold in the Perona–Malik equation", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 21, pp. 39-46.

## **Abstract**

The presence of noise in the reflected seismic data causes data degradation and as a result causes inaccuracy in subsurface modeling. An important group of unwanted and destructive factors in seismic data are random noises. Random noises appear at any time and frequency and have no order. Due to the destructive role of random noises, their destructive effects were cleared from the data with the help of adaptive-noise multi-scale diffusion filter.

Anisotropic filters using diffusion tensor can be smoothed to maintain structures. An anisotropic adaptive-noise diffusion filter uses a Gaussian filter in its algorithm to create windows with specific dimensions, examines the data quality and the amount of noise impregnated with it, and according to the data conditions, determines the best diffusion function to perform defogging. Diffusion and noise cancellation are done with the help of this function. By estimating the diffusion function, other parameters are automatically selected by the filter. In this dissertation, in order to better understand and the effect of each parameter on the results, a different range of numbers for these parameters were tested and evaluated and the amount of noise reduction with different values of these parameters were compared with each other. In order to achieve the desired results, by applying the wavelet transform algorithm, the mentioned anisotropic diffusion filter can be multidimensional. The adaptive-noise multi-scale diffusion filter first breaks down the data into different components at different scales by means of a wavelet transform, and then attenuates random noises by applying a adaptive-noise diffusion filter to each of these scales.

In this dissertation, at first, the adaptive-noise anisotropic emission filter was applied to artificial and real data, and contrary to predictions, the desired results were not recorded, and this filter failed to improve the results compared to other emission filters. Then, in order to achieve better results, a filter with a multi-scale approach was applied to artificial and natural data. The use of this filter, in comparison with other methods of attenuation of noise with the help of diffusion filter, caused a significant increase in the signal-to-noise ratio and preserved the edges and borders of structures.

**Keywords:** Random Noise, Reflective Seismic Data Processing, Diffusion Function, Multi-Scale Noise-Adaptive Anisotropic Diffusion Filter



Shahrood University of  
Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc Thesis in Seismic Exploration

**Reflection seismic random noise attenuation using adaptive-noise multi-scale diffusion filter**

By:

**Morteza Mazhari**

Supervisor:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Mehrdad Soleymani Monfared

Advisor:

Dr. Mohammad Redad

February 2021