

الله
بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته

نگارش:

فرهاد ملائی

اساتید راهنما:

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر بهزاد تخم‌چی

استاد مشاور:

دکتر علیرضا گودرزی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف

شهریور ۹۲

تقدیم به

پدر و مادر و خانواده عزیزم

که همواره یار و پشتیبانم بوده‌اند

چکیده

روش‌های لرزه‌ای بازتابی یکی از روش‌های مطالعه ساختارهای زیرسطحی به منظور اکتشاف هیدروکربن است. پردازش داده‌های لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین مراحل استخراج اطلاعات مورد نیاز در اکتشاف منابع هیدروکربوری است.

تاکنون روش‌های مختلفی برای افزایش و بهبود قدرت تفکیک زمانی داده‌های لرزه‌ای ارائه شده‌اند. روش‌های وارون‌سازی که از طریق نگاشت داده‌های لرزه‌ای به اسپایک، قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را افزایش می‌دهند. روش دیگر روش چرخش طیفی^۱، برای افزایش قدرت تفکیک و گسترش پهنای باند فرکانسی داده‌های لرزه‌ای معرفی شده است. یکی دیگر از مراحل افزایش قدرت تفکیک که بصورت متداول در داده‌های لرزه‌ای انجام می‌شود، واهمامیخت پاسخ ضربه واحد^۲ می‌باشد. در عمل، موجک چشمه لرزه‌ای به دلیل اثر لایه‌های زیر سطحی و میرایی موجک چشمه لرزه‌ای به صورت تابعی از زمان هم در راستای قائم و هم در جهت جانبی تغییر می‌کند. همچنین تخمین موجک با فرض سفید بودن طیف سری بازتاب زمین، ابهاماتی را در زمینه تخمین مشخصات مخزن ایجاد می‌کند. بنابراین ایجاد روشی که بتواند با در نظر گرفتن ناپایا بودن موجک چشمه و تخمین لحظه‌ای آن و اثرات زیر سطحی، پهنای باند فرکانسی داده‌های لرزه‌ای را افزایش داده و قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را بالا ببرد، اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد.

روشی که در این پایان نامه استفاده می‌شود، استفاده از تبدیل موجک و براساس برونمایی بر پایه تبدیل هیلبرت است، بدین گونه که پوش هیلبرت ردلرزه ورودی محاسبه می‌شود و این پوش با یک پنجره هموار کننده^۳ همامیخت می‌شود. ردلرزه ورودی به پوش های هموار شده تقسیم می‌شود و نهایتاً با یک نرمالایز می‌گردند. از روی این پوش مقادیر جایگزینی که صفر هستند

¹ Spectral Rotation

² Spiking Deconvolution

³ triangular smoother

تخمین زده شده و در مکان مد نظر، قرار می‌گیرد. و در نهایت همه این ضرایب با وارون تبدیل موجک گسسته، باز گردانده می‌شوند. این الگوریتم باعث افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای می‌گردد.

تقدیر و تشکر

پویندگان راه علم همواره نورمشعل پیشکسوتانی هستند که ظلمات جهل و نداشتن را تبدیل به نورانیتی می‌نمایند که به طلوع آفتاب در دل شب می‌ماند.

اکنون که به لطف خداوند موفق به دفاع از پایان‌نامه خویش شده‌ام، بر خود لازم می‌دانم تا بدین‌وسیله از اساتید محترم جناب آقای دکتر امین روشندل کاهو و جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی که زحمت راهنمایی و جناب آقای دکتر علیرضا گودرزی زحمت مشاوره اینجانب در پایان‌نامه را برعهده داشتند و نکات ارزنده بسیاری را در طول دوره تحصیلی از این اساتید بزرگوار آموختم تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از خانواده‌ام و همه دوستان عزیزی که در تمام دوران تحصیل، همواره همراه و کمک بنده بوده‌اند، کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

۱	فصل اول:مقدمه
۲	۱-۱ تعریف مساله
۳	۲-۱ مروری بر روش‌های انجام شده جهت افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای
۵	۳-۱ بیان روش تحقیق
۶	۴-۱ معرفی فصل‌های پایان نامه
۷	فصل دوم:روش تحقیق
۸	۱-۲ سیگنال و پردازش آن
۹	۱-۱-۲ زمان-فرکانس
۱۵	۲-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه
۲۳	۳-۲ تبدیل موجک
۲۴	۱-۳-۲ تعریف موجک
۲۶	۲-۳-۲ مقیاس و فرکانس
۲۸	۳-۳-۲ موجک حقیقی
۳۰	۴-۳-۲ موجک تحلیلی
۳۳	۵-۳-۲ تبدیل موجک پیوسته
۳۶	۶-۳-۲ تبدیل موجک گسسته
۴۰	۷-۳-۲ تبدیل موجک پایا
۴۲	۴-۲ تبدیل هیلبرت

۴۳	۱-۴-۲ نظریه تبدیل هیلبرت
۴۵	فصل سوم: داده‌های تحقیق
۴۶	۱-۳ مقدمه
۴۶	۲-۳ داده مصنوعی
۴۷	۳-۳ زمین‌شناسی میدان منصوری
۴۷	۱-۳-۳ سازند پابده
۴۷	۲-۳-۳ سازند گورپی
۴۸	۳-۳-۳ سازند ایلام
۴۸	۴-۳-۳ سازند سروک
۵۰	۵-۳-۳ سازند آسماری
۵۱	۱-۵-۳-۳ بخش اهواز
۵۲	۲-۵-۳-۳ بخش کلهر
۵۲	۶-۳-۳ سازند گچساران
۵۴	۷-۳-۳ میدان نفتی عظیم منصوری
۵۶	فصل چهارم: نتایج تحقیق
۵۷	۱-۴ مقدمه
۵۸	۲-۴ روش تحقیق
۶۱	۳-۴ اعمال روش روی داده مصنوعی
۷۶	۴-۴ اعمال روش روی داده واقعی
۸۸	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۹	۱-۵ نتیجه‌گیری

۹۰

۹۱

۲-۵ پیشنهادات

منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲، جعبه هایزنبرگ (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹) ۱۲
- شکل ۲-۲، نمایش سیگنال g_1 در حوزه (الف) زمان، (ب) فرکانس و (ج) زمان - فرکانس ۱۴
- شکل ۳-۲، تبدیل فوریه زمان کوتاه ۱۵
- شکل ۴-۲، جعبه هایزنبرگ برای تبدیل فوریه زمان کوتاه ۱۷
- شکل ۵-۲، گسترش انرژی g که با پهنای باند $\Delta\omega$ و بیشینه دامنه A لب‌های کناری در فرکانس $\omega = \pm\omega_0$ اندازه گیری می‌شود ۱۹
- شکل ۶-۲، شکل توابع پنجره (الف) گوسی، (ب) همینگ، (ج) بلکمن و (د) هنینگ مطابق روابط جدول ۱-۲ ۲۱
- شکل ۷-۲، نمایش تبدیل موجک ۲۲
- شکل ۸-۲، مقایسه بین حوزه‌های و تبدیل‌های مختلف سیگنال ۲۲
- شکل ۹-۲، سمت چپ نمای یک سینوسی و سمت راست نمای یک موجک است ۲۴
- شکل ۱۰-۲، جعبه هایزنبرگ برای تبدیل موجک ۳۲
- شکل ۱۱-۲، تجزیه سیگنال به مؤلفه‌های سینوسی سازنده آن ۳۳
- شکل ۱۲-۲، تجزیه سیگنال به موجک‌های سازنده آن ۳۴
- شکل ۱۳-۲، تحلیل داده با شیفت دادن موجک در مقیاس‌های مختلف روی تمام سیگنال ۳۶
- شکل ۱۴-۲، تبدیل موجک گسسته استاندارد روی شبکه مقیاس-زمان دو دویی ۳۷
- شکل ۱۵-۲، فرآیند فیلتر نمون در ابتدایی‌ترین سطح ۳۸

- شکل ۲-۱۶، تحلیل فیلتر بانکی دو کاناله تا سطح سوم برای تبدیل موجک گسسته ۳۹
- شکل ۲-۱۷، طرح کلی از روند محاسبات در تبدیل موجک گسسته ۴۱
- شکل ۳-۱، شماتیکی از میدان نفتی منصوری ۵۵
- شکل ۴-۱، نمایش الگوریتم افزایش قدرت تفکیک پذیری با استفاده از تبدیل موجک گسسته ۵۸
- شکل ۴-۲، الف) موجک. ب) سری بازتاب. ج) ردلرزه ۶۲
- شکل ۴-۳، مشاهده هفت مرحله تجزیه ردلرزه ورودی با تبدیل موجک گسسته پایا از چپ به راست: الف) ردلرزه ورودی. ب) مرحله اول تجزیه ردلرزه ورودی. ج) مرحله دوم تجزیه ردلرزه ورودی. د) مرحله سوم تجزیه ردلرزه ورودی. ر) مرحله چهارم تجزیه ردلرزه ورودی. س) مرحله پنجم تجزیه ردلرزه ورودی. م) مرحله ششم تجزیه ردلرزه ورودی. ه) مرحله هفتم تجزیه ردلرزه ورودی ۶۳
- شکل ۴-۴، تداخل سه بازتابنده با یکدیگر (ردلرزه ورودی سیاه رنگ و ردلرزه خروجی قرمز رنگ) ۶۵
- شکل ۴-۵، طیف دامنه که در این طیف ارتقای فرکانسی را نشان می دهد (طیف دامنه ورودی قرمز رنگ و طیف دامنه خروجی قرمز رنگ) ۶۵
- شکل ۴-۶، مشاهده هفت مرحله تجزیه ردلرزه ورودی شکل ۴-۲، بعد از اعمال الگوریتم از چپ به راست: الف) ردلرزه ورودی. ب) مرحله اول تجزیه ردلرزه ورودی. ج) مرحله دوم تجزیه ردلرزه ورودی. د) مرحله سوم تجزیه ردلرزه ورودی. ر) مرحله چهارم تجزیه ردلرزه ورودی. س) مرحله پنجم تجزیه ردلرزه ورودی. م) مرحله ششم تجزیه ردلرزه ورودی. ه) مرحله هفتم تجزیه ردلرزه ورودی ۶۶
- شکل ۴-۷، تبدیل فوریه ردلرزه: الف) ردلرزه ورودی. ب) ردلرزه خروجی. ج) مقایسه بین ردلرزه ورودی و خروجی ۶۷
- شکل ۴-۸، مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۶۸
- شکل ۴-۹، بزرگ نمایی ردلرزه شکل ۴-۸: الف) بزرگ نمایی مقطع ورودی. ب) بزرگ نمایی مقطع خروجی ۶۹

- شکل ۴-۱۰، مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۷۲
- شکل ۴-۱۱، مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۷۳
- شکل ۴-۱۲، بزرگ‌نمایی مقطع لرزه‌ای مصنوعی شکل ۴-۱۱: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۷۴
- شکل ۴-۱۳، طیف دامنه مقطع داده مصنوعی در مدل گوه‌ای: الف) طیف دامنه ورودی. ب) طیف دامنه خروجی. ج) مقایسه بین طیف دامنه ورودی و خروجی ۷۵
- شکل ۴-۱۴، افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۷۷
- شکل ۴-۱۵، مقطع رنگی افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۷۸
- شکل ۴-۱۶، مقطع لرزه‌ای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۷۹
- شکل ۴-۱۷، بزرگ‌نمایی مقطع لرزه‌ای شکل ۴-۱۴: الف) مقطع ورودی. ب) مقطع خروجی ۸۰
- شکل ۴-۱۸، طیف دامنه داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) طیف دامنه ورودی. ب) طیف دامنه خروجی. ج) مقایسه طیف دامنه ورودی و خروجی. رنگ سیاه طیف دامنه داده‌های ورودی و رنگ قرمز طیف دامنه خروجی ۸۱
- شکل ۴-۱۹، افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۸۳
- شکل ۴-۲۰، مقطع رنگی افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی ۸۴

شکل ۴-۲۱، مقطع لرزه‌ای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب)

۸۵

مقطع لرزه‌ای خروجی

شکل ۴-۲۲، بزرگ‌نمایی ردلرزه‌ها در مقطع لرزه‌ای در شکل ۴-۲۱: الف) مقطع ورودی. ب) مقطع

۸۶

خروجی

فهرست جداول

- جدول ۱-۲، نام، رابطه و مشخصات توابع پنجره متدوال ۲۰
- جدول ۱-۴، نمونه و مقدارهای سری بازتاب جهت ساخت ردلرزه ۶۱

علائم اختصاری

STFT(Short Time Fourier Transform)	تبدیل فوریه زمان کوتاه
TRF	تبدیل زمان-فرکانس
WFT(Window Fourier Transform)	تبدیل فوریه پنجره‌دار
CWT(Continues Wavelet Transform)	تبدیل موجک پیوسته
DWT(Discrete Wavelet Transform)	تبدیل موجک گسسته
SWT(Stationary Wavelet Transform)	تبدیل موجک پایا
ISWT(Inverse Stationary Wavelet Transform)	معکوس تبدیل موجک پایا

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تعریف مساله

ایده نمایش یک تابع برحسب مجموعه‌ی کاملی از توابع، اولین بار توسط ژوزف فوریه^۱ (۱۸۲۲)، ریاضیدان و فیزیکدان فرانسوی طی رساله‌ای در آکادمی علوم راجع به انتشار حرارت، برای نمایش توابع بکار گرفته شد. در واقع برای آنکه یک تابع $f(x)$ به شیوه‌ای ساده و فشرده نمایش داده شود، فوریه اساساً ثابت کرد که می‌توان از محورهای استفاده کرد که به کمک مجموعه‌ای نامتناهی از توابع سینوسی ساخته می‌شوند. به عبارت دیگر فوریه نشان داد که یک تابع $f(x)$ را می‌توان بوسیله حاصل جمع بی‌نهایت تابع سینوسی و کسینوسی نمایش داد. پایه‌های فوریه به صورت ابزارهایی اساسی، با کاربردهای فوق‌العاده متواتر در علوم، در آمده‌اند، زیرا برای نمایش انواع متعددی از توابع و در نتیجه کمین‌های فیزیکی فراوان به کار می‌روند. با گذشت زمان ضعف پایه‌های فوریه نمایان شد مثلاً دانشمندان پی بردند پایه‌های فوریه و نمایش توابع سینوس‌وار در مورد سیگنال‌های پیچیده نظری تصاویر، نه تنها ایده‌آل نیستند بلکه از شرایط مطلوب دورند، به عنوان مثال به شکل کارآمدی قادر به نمایش ساختارهای گذرا نظیر مرزهای موجود در تصاویر نیستند. همچنین آنها متوجه شدند تبدیل فوریه فقط برای توابع پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای توابع غیر پایه کار آمد نیست. (البته در سال ۱۹۴۶ با استفاده از توابع پنجره‌ای (گابور)^۲، که منجر به تبدیل فوریه پنجره‌ای شد این مشکل حل شد).

در سال ۱۹۰۹ هار^۳ اولین کسی بود که به موجک‌ها اشاره کرد. در سال‌های ۱۹۳۰ ریاضیدانان به قصد تحلیل ساختارهای تکین موضوعی به فکر اصلاح پایه‌های فوریه افتادند. و بعد از آن در سال ۱۹۷۰ یک ژئوفیزیکدان فرانسوی به نام ژان مورله^۴ متوجه شد که پایه‌های فوریه بهترین ابزار ممکن

¹ Joseph fourier

² Gabor

³ Haar

⁴ Morle

در اکتشافات زیر زمین نیستند، این موضوع در آزمایشگاهی متعلق به الف آکیلن^۱ منجر به یکی از اکتشافات تبدیل به موجک ها گردید.

در سال ۱۹۸۰ میر ریاضیدان فرانسوی، نخستین پایه‌های موجکی متعامد را کشف کرد (تعامد نوعی از ویژگی‌ها را بیان می‌کند که موجب تسهیلات فراوانی در استدلال و محاسبه می‌شود، پایه‌های فوریه نیز متعامدند). در همین سال‌ها مورله مفهوم موجک و تبدیل موجک را به‌عنوان یک ابزار برای آنالیز سیگنال زمین لرزه وارد کرد و گراسمن فیزیکدان نظری فرانسه نیز فرمول وارونی را برای تبدیل موجک بدست آورد.

در سال ۱۹۸۷ میر و مالات^۲ از پایه‌های موجک متعامد توانستند آنالیز چند تفکیکی را بسازند و مالات تجزیه موجک‌ها و الگوریتم‌های بازسازی را با به‌کار بردن آنالیز چند تفکیکی بوجود آورد. در سال ۱۹۹۰ مورنزی همراه با آنتوان موجک‌ها را به دو بعد و سپس به فضاهایی با ابعاد دیگر گسترش دادند و بدین ترتیب بود که آنالیز موجکی پایه‌گذاری گردید.

۱-۲ مروری بر روش‌های انجام شده جهت افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای

امروزه بکارگیری داده‌های لرزه‌ای بازتابی با قدرت تفکیک زمانی بالا در مطالعه و تفسیر ساختارهای چینه‌شناسی کوچک مقیاس نظیر گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها و تغییرات مرز و لبه‌های کانال‌ها، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به راحتی می‌توان نشان داد که مشخصات مخزن هیدروکربوری را با دقت بالا و ابهامات کمتری می‌توان از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای با قدرت تفکیک بالا بدست آورد (دوی^۳ و شوآب^۴، ۲۰۰۹).

^۱Alph Alkin

^۲ Mallat & Mayer

^۳ Devi

^۴ Schwab

تاکنون روش‌های مختلفی برای افزایش و بهبود قدرت تفکیک زمانی داده‌های لرزه‌ای ارائه شده‌اند. روش‌های وارون‌سازی (پورتیناگوین^۱ و کستگنا^۲، ۲۰۰۴) که از طریق نگاشت داده‌های لرزه‌ای به اسپایک، قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را افزایش می‌دهند، نیاز به اطلاعاتی در مورد موجک چشمه لرزه‌ای دارند. این اطلاعات یا از طریق نگارهای چاه بدست می‌آیند که در اینصورت فرض می‌شود موجک پایا است و در صورت عدم دسترسی به نگارهای چاه، از واهمامیخت داده‌های لرزه‌ای محاسبه می‌شوند، که در این حالت سری بازتاب، یک سری اتفاقی یا طیف سفید فرض می‌شود. در روش چرخش طیفی^۳ (کوانتیس^۴، ۲۰۰۲)، که برای افزایش قدرت تفکیک و گسترش پهنای باند فرکانسی داده‌های لرزه‌ای معرفی شده است، فرضیاتی همانند روش قبل مطرح می‌شود. یکی دیگر از مراحل افزایش قدرت تفکیک که بصورت متداول در داده‌های لرزه‌ای انجام می‌شود، واهمامیخت پاسخ ضربه واحد^۵ می‌باشد. اما کارایی این روش به عوامل زیادی از جمله میزان نوفه داده، نوع موجک چشمه لرزه‌ای از نظر تاخیر فاز و غیره می‌باشد و در اکثر موارد نتیجه مطلوبی را ایجاد نمی‌نماید (ایلماز^۶، ۲۰۰۱). یکی از روش‌های موجود در این زمینه استفاده از تبدیل فوریه است (ژو^۷، ۲۰۰۴). این روش نه تنها قادر به شناسایی سیگنال ناپایا نیست بلکه، هنگامی که پهنای باند سیگنال افزایش می‌یابد نوفه چندان کاهش پیدا نمی‌کند. یکی از روش‌های دیگری که روی داده‌های لرزه‌ای برای به دست آوردن داده‌های با کیفیت بهتر و افزایش قدرت تفکیک آنها انجام می‌گیرد و خاصیت ناپایا بودن داده‌ها را در نظر می‌گیرد، تبدیل موجک است (مالات، ۲۰۰۹).

در عمل، موجک چشمه لرزه‌ای به دلیل اثر لایه‌های زیر سطحی و میرایی (کارلوت^۸، ۲۰۰۵) به صورت تابعی از زمان هم در راستای قائم و هم در جهت جانبی تغییر می‌کند. همچنین تخمین موجک با فرض سفید بودن طیف سری بازتاب زمین، ابهاماتی را در زمینه تخمین مشخصات مخزن

¹Portynagovin

²Kostenga

³ Spectral Rotation

⁴Koantis

⁵Spiking Deconvolution

⁶Yilmaz

⁷Zhou

⁸Karlot

ایجاد می‌کند. بنابراین ایجاد روش‌هایی که بتوانند با در نظر گرفتن ناپایا بودن موجک چشمه و تخمین لحظه‌ای آن و اثرات زیر سطحی، پهنای باند فرکانسی داده‌های لرزه‌ای را افزایش داده و قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را بالا ببرد، اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد.

امروزه تبدیل‌های زمان - فرکانس و زمان - مقیاس به ابزاری بسیار قدرتمند و کارآمد برای مطالعه و آنالیز سیگنال‌های ناپایا تبدیل شده‌اند و در پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند (ماتوس^۱ و همکاران، ۲۰۰۵؛ کستگنا و همکاران؛ ۲۰۰۳؛ سینها^۲ و همکاران؛ ۲۰۰۵؛ لیته^۳ و همکاران، ۲۰۰۸).

۱-۳ بیان روش تحقیق

یکی از روش‌هایی که روی داده‌های لرزه‌ای برای به دست آوردن داده‌های با کیفیت بهتر و افزایش قدرت تفکیک آنها انجام می‌گیرد و خاصیت ناپایا بودن داده‌ها را در نظر می‌گیرد، تبدیل موجک است (مالات، ۲۰۰۹). در این پایان‌نامه هدف ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا براساس برونمایی برپایه تبدیل هیلبرت است. در این روش فقط از داده‌های لرزه‌ای با قدرت تفکیک پایین استفاده شده است.

¹Mateuos

²Sinha

³Liteh

۴-۱ معرفی فصل‌های پایان نامه

فصل اول شامل مقدمه، فصل دوم به بررسی روش تحقیق شده است، در این فصل به سیگنال و پردازش آن، تبدیلات زمان فرکانس، تبدیل موجک شامل موجک حقیقی و تحلیلی، تبدیل موجک پیوسته، تبدیل موجک گسسته، تبدیل موجک پایا و تبدیل هیلبرت اشاره شده است. فصل سوم شامل داده‌های تحقیق است. در این فصل به داده‌های مصنوعی و داده‌های واقعی پرداخته شده است. در داده‌های واقعی به سازندهای سنگ منشا، سنگ مخزن، پوش سنگ و مشخصات میدان منصوری به طور خلاصه اشاره شده است. فصل چهارم شامل نتایج تحقیق است. در این فصل اعمال روش روی داده مصنوعی و همچنین روی مدل گوه‌ای صورت گرفته است. در این فصل همچنین الگوریتم روی دو مقطع لرزه‌ای واقعی اعمال شده است. در فصل پنجم، ابتدا به نتیجه‌گیری و در نهایت به پیشنهادات اشاره شده است.

فصل دوم

روش تحقیق

۱-۲ سیگنال و پردازش آن

امروزه پردازش سیگنال به عنوان یکی از مباحث پیچیده ریاضی و در عین حال یکی از پرکاربردترین علوم در زمینه‌های مختلف مطرح است. در این میان نمایش سیگنال‌ها و استخراج اطلاعاتی که همراه سیگنال‌ها می‌باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. دو شیوه متداول در نمایش یک سیگنال، استفاده از حوزه زمان (مکان) و فرکانس (عدد موج) می‌باشند. در این دو نوع نمایش، دو متغیر زمان (t) و فرکانس (f) به صورت غیرقابل جمع با یکدیگر می‌باشند. پس سیگنال فقط به صورت تابعی از یکی از این دو متغیر نشان داده می‌شود (بوآشاش^۱، ۲۰۰۳).

شروع تحلیل موجک از اواسط دهه ۸۰ بود و از همان ابتدا براساس نیازهای کاربردی به وجود آمد. تمایل به تحلیل حساس‌تر سیگنال‌های ارتعاشی نسبت به تحلیل با تکنیک‌های فوریه، منجر به پیدایش اولیه فرمول تبدیل ویولت پیوسته گردید. همزمان دریافتند که تکنیک جدید می‌تواند به طور موفقیت آمیز در برخی مسائل فیزیک نظریه و نیز ریاضیات محض به کار برده شود.

طولی نکشید در یافتند که تحلیل موجک می‌تواند با موفقیت برای انواع زیادی از مسائل پردازش سیگنال به کار برده شود. در تحلیل سیگنال، آشکارسازی ناپیوستگی‌ها یا بی‌قاعدگی‌ها با استفاده از موجک‌ها انجام می‌شد. تحلیل سیگنال‌های پزشکی مانند الکتروکاردیوگرام‌های قلب، یکی از اولین نمونه‌های گزارش شده آشکارسازی ناپیوستگی است. فشرده‌سازی سیگنال، نمونه دیگری از کاربردهای موجک است.

در این فصل به معرفی مختصری از خصوصیات اصلی تبدیل فوریه، تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل‌های موجک، مقایسه آن با تبدیل فوریه و ابزار استاندارد تحلیل سیگنال پرداخته خواهد شد. بدین منظور باید وجوه مشترک موجک و تبدیل فوریه مشخص شود و تفاوت‌های اصلی آن توضیح داده شوند.

¹ Boashash

۲-۱-۱- زمان-فرکانس

بطور معمول سیگنال‌ها در حوزه زمان ثبت می‌شوند و می‌توان آنها را به صورت تابعی از متغیر زمان $x(t)$ نشان داد (به عنوان مثال $x(t)$). از این نمایش، توان لحظه‌ای را می‌توان به کمک $|x(t)|^2$ بدست آورد که نحوه توزیع انرژی برحسب زمان را نشان می‌دهد (بوآشاش، ۲۰۰۳).

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \quad (1-2)$$

برای انتقال یک سیگنال نظیر $x(t)$ از حوزه زمان به حوزه فرکانس می‌توان از تبدیل فوریه^۱ استفاده نمود. این تبدیل به صورت رابطه (۲-۲) تعریف می‌شود (کرزیگ^۲، ۲۰۰۶).

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

برای برگشت از حوزه زمان از رابطه (۲-۳) به عنوان عکس تبدیل فوریه استفاده می‌شود (کرزیگ، ۲۰۰۶).

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(f)e^{2\pi ift} df \quad (3-2)$$

بطور کلی یک سیگنال حقیقی در حوزه زمان، بصورت سیگنالی مختلط در حوزه فرکانس دیده می‌شود. از نمایش حوزه فرکانس سیگنال می‌توان اطلاعاتی نظیر طیف دامنه، طیف فاز و طیف انرژی (رابطه (۲-۴)) را بدست آورد که توزیع انرژی را حول محور فرکانس نشان می‌دهد (بوآشاش، ۲۰۰۳).

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(f)|^2 df \quad (4-2)$$

همانطور که مشاهده می‌شود، این دو شیوه نمایش یعنی حوزه زمان و فرکانس بطور همزمان غیر متمرکز می‌باشند، به عبارت دیگر نمایش سیگنال در حوزه فرکانس در واقع میانگینی از کل زمان‌ها در نمایش حوزه زمان سیگنال می‌باشد و بالعکس.

در مقابل دو شیوه نمایش متداول و در عین حال به نسبت قدیمی مذکور، شیوه دیگری برای نمایش سیگنال‌ها معرفی شده است که نسبت به دو نمایش قبلی جدیدتر می‌باشد. گابور^۳ (۱۹۴۶) با معرفی

¹ Fourier transform

² Kreyszig

³ Gabor

تبدیل فوریه پنجره‌ای، یا به عبارت دیگر تبدیل فوریه زمان کوتاه، ایده جدیدی برای مطالعه سیگنال‌ها در حوزه مشترک زمان-فرکانس مطرح نمود. در این شیوه، نمایش دو متغیر زمان (t) و فرکانس (f) دیگر ناسازگار نمی‌باشند و همزمان در نمایش سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمایش را با توجه به رفتار آن نسبت به سیگنال به سه دسته نمایش‌های زمان-فرکانس خطی^۱، درجه دوم^۲ و غیر خطی^۳ تقسیم‌بندی می‌کنند (هلاواتچ^۴ و بودراکس - بارتلس^۵، ۱۹۹۲). در نمایش‌های زمان-فرکانس خطی، اصل برهم نهی خطی^۶ برقرار است. عبارت دیگر مطابق رابطه (۲-۵) چنانچه سیگنالی ترکیب خطی از چند سیگنال باشد، نمایش زمان-فرکانس آن نیز ترکیب خطی مشابهی از نمایش زمان-فرکانس آن چند سیگنال می‌باشد (هلاواتچ و بودراکس-بارتلس، ۱۹۹۲).

$$x(t) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \rightarrow TFR_x(t, f) = a_1 TFR_{x_1}(t, f) + a_2 TFR_{x_2}(t, f) \quad (5-2)$$

تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک و تبدیل S از جمله نمایش‌های زمان-فرکانس خطی می‌باشند. از جمله نمایش‌های زمان-فرکانسی درجه دو نظیر توزیع ویگنر-وایل اصل برهم نهی درجه دو^۷ برقرار است که در رابطه (۲-۶) نشان داده شده است (هلاواتچ و بودراکس-بارتلس، ۱۹۹۲).

$$x(t) = a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \rightarrow TFR_x(t, f) = |a_1|^2 TFR_{x_1}(t, f) + |a_2|^2 TFR_{x_2}(t, f) + a_1 a_2 TFR_{x_1 x_2}(t, f) + a_2 a_1 TFR_{x_2 x_1}(t, f) \quad (6-2)$$

چنانچه هیچکدام از دو اصل برهم نهی خطی و درجه دو برقرار نباشد، آن نمایش زمان-فرکانس را غیرخطی می‌نامند.

شیوه نمایش زمان-فرکانس خطی را که در راستای محور زمان و فرکانس متمرکز می‌باشد، با

نام تبدیل یا توزیع زمان-فرکانس خطی شناخته می‌شود و از همبستگی^۸ سیگنال با یک شکل موج^۹

¹ Linear

² quadratic

³ nonlinear

⁴ Hlaqatsch

⁵ Boudreaux-Bartels

⁶ linear superposition principle

⁷ Quadratic superposition principle

⁸ correlation

موج^۱ که به خوبی در زمان و فرکانس متمرکز شده است، بدست می‌آید. این شکل موج‌ها را اتم‌های زمان-فرکانس^۲ می‌نامند.

اگر یک خانواده از اتم‌های زمان-فرکانس به صورت $\{\phi_\gamma\}$ فرض شود که γ ممکن است یک پارامتر چند اندیسی باشد و $\|\phi_\gamma\|=1$ ، آنگاه تبدیل خطی زمان-فرکانس یک سیگنال مانند $x(t)$ را می‌توان به صورت رابطه (۷-۲) نوشت (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹):

$$\text{TFR}_x(\gamma) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \phi_\gamma^*(t) dt = \langle x, \phi_\gamma \rangle \quad (7-2)$$

که در آن، * نشان دهنده مزدوج مختلط و $\langle \cdot \rangle$ بیانگر ضرب داخلی می‌باشد.

اطلاعاتی که بواسطه ضرب داخلی $\langle x, \phi_\gamma \rangle$ بدست می‌آید، در صفحه‌ی زمان-فرکانس در ناحیه‌ای نشان داده می‌شود که جعبه هایزنبرگ^۳ نامیده می‌شود (شکل ۱-۲). موقعیت و ابعاد این

جعبه توسط گسترش زمان-فرکانس ϕ_γ تعیین می‌شود. از آنجایی که $\|\phi_\gamma\|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |\phi_\gamma(t)|^2 dt = 1$ می‌توان $|\phi_\gamma(t)|^2$ را به عنوان تابع توزیع احتمالی با مرکزیت u_γ با رابطه (۸-۲) تعریف نمود.

$$u_\gamma = \int_{-\infty}^{+\infty} t |\phi_\gamma(t)|^2 dt \quad (8-2)$$

گسترش حول این مرکز را می‌توان از طریق واریانس به صورت رابطه (۹-۲) بدست آورد.

$$\sigma_t^2(\gamma) = \int_{-\infty}^{+\infty} (t - u_\gamma)^2 |\phi_\gamma(t)|^2 dt \quad (9-2)$$

طبق قضیه پارسوال^۱، می‌توان فرکانس مرکزی تبدیل فوریه اتم زمان-فرکانس را به صورت رابطه (۲-۱۰) و گسترش آن حول فرکانس مرکزی در راستای محور فرکانس را به صورت رابطه (۲-۱۱) بدست آورد.

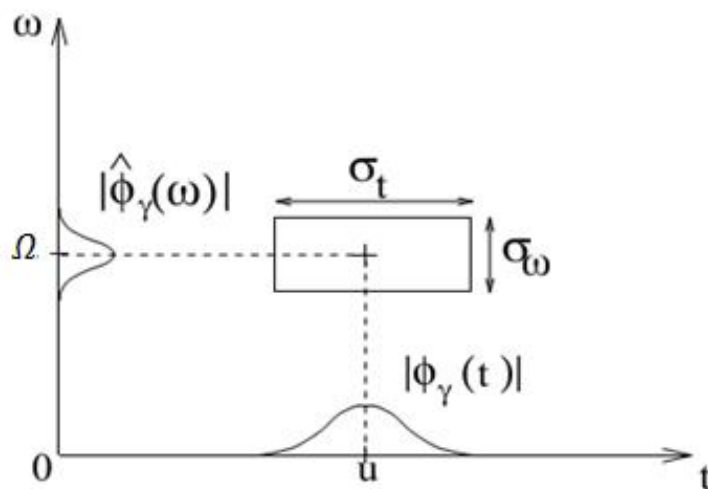
$$\Omega_\gamma = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} |\hat{\phi}_\gamma(\omega)|^2 d\omega \quad (10-2)$$

$$\sigma_\omega^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} (\omega - \Omega_\gamma)^2 |\hat{\phi}_\gamma(\omega)|^2 d\omega \quad (11-2)$$

¹ waveform

² Time-frequency atoms

³ Heisenberg box



شکل ۱-۲، جعبه هایزنبرگ (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

در واقع ابعاد جعبه هایزنبرگ قدرت تفکیک در صفحه زمان- فرکانس را کنترل می کند. زیرا طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ^۱ مساحت جعبه هایزنبرگ حداقل برابر 0.5 می باشد (رابطه (۱۲-۲)).

$$\sigma_t \sigma_\omega \geq \frac{1}{2} \quad (12-2)$$

لذا قدرت تفکیک در حوزه زمان و فرکانس به یکدیگر وابسته می شود و عکس یکدیگر عمل می کنند. به عبارت دیگر با افزایش قدرت تفکیک در یک راستا قدرت تفکیک در راستای دیگر کاهش می یابد. در ادامه بررسی می شود که چرا نیاز به تبدیل های زمان- فرکانس می باشد.

شاید بتوان اهمیت نمایش سیگنال در صفحه زمان- فرکانس را در نمایش سیگنال هایی که محتویات فرکانسی آنها با زمان تغییر می کند یا به عبارت دیگر ناپایا^۲ می باشند مانند سیگنال های لرزه ای، سیگنال های موسیقی و سیگنال های رادیویی نشان داد. نمایش این گونه سیگنال ها در یک حوزه، زمان یا فرکانس نمی تواند اطلاعات مناسب و کاملی از سیگنال تولید کند. در مثال زیر می توان دلیل اهمیت استفاده از تبدیل های زمان- فرکانس را مشاهده کرد.

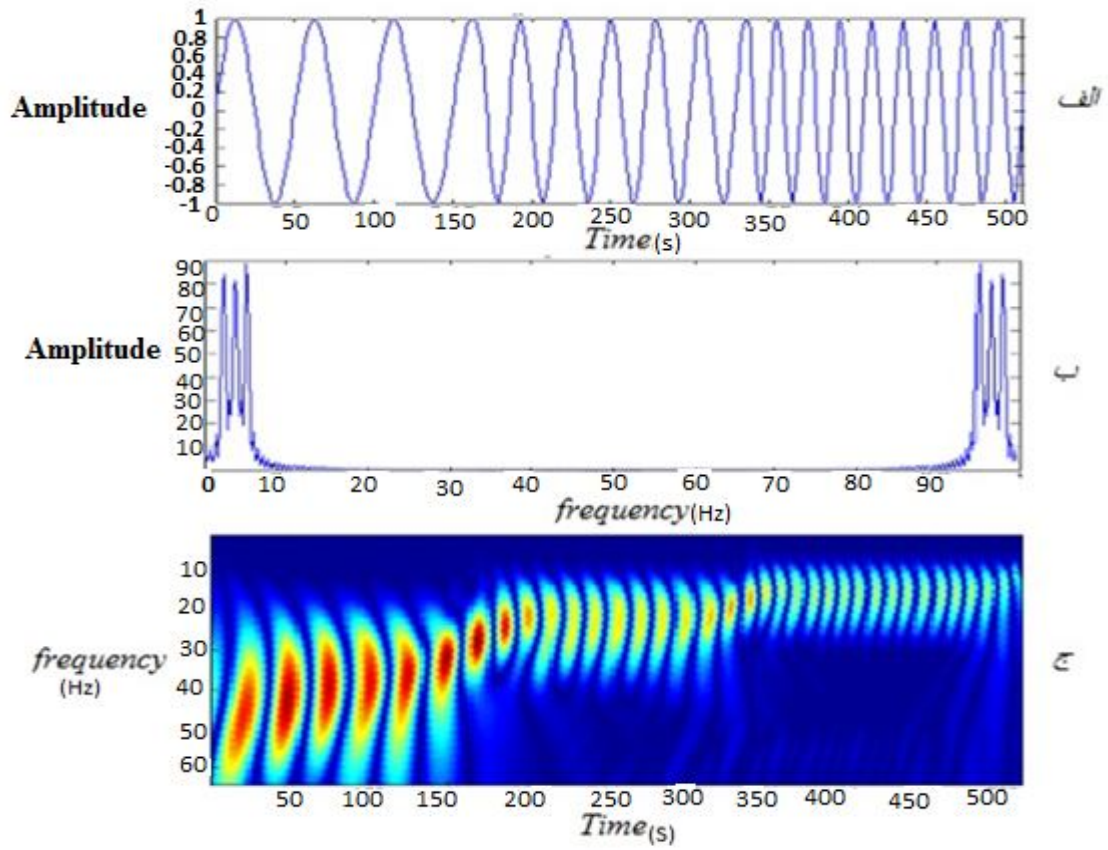
¹Heisenberg uncertainty theorem

² Non-stationary

سیگنال g_1 که از ترکیب سه سیگنال سینوسی با فرکانس‌های $f_1=10$ و $f_2=35$ و $f_3=50$ هرترز به صورت $g_1 = [\sin(2\pi f_1 t), \sin(2\pi f_2 t), \sin(2\pi f_3 t)]$ تولید شده‌اند، دارای یک نمایش در حوزه فرکانس می‌باشند و در حوزه زمان نیز اطلاعاتی از محتوای فرکانسی آن‌ها در دسترس نمی‌باشد. اما نمایش زمان-فرکانس آن‌ها به خوبی محتوای فرکانسی را نشان می‌دهد.

در شکل (۲-۲ الف)) سه سیگنال در حوزه زمان نشان داده شده است. در این حالت اطلاعاتی از محتویات فرکانسی وجود ندارد. همانطور که مشاهده می‌شود در نمایش حوزه فرکانس، طیف دامنه سه سیگنال شکل (۲-۲ ب)) تنها محتوای فرکانسی آن‌ها را نشان می‌دهد و نحوه توزیع آن‌ها در این نمایش مشاهده نمی‌شود. به عبارت دیگر، در شیوه نمایش زمانی و فرکانسی این سیگنال‌ها قادر به ارائه اطلاعات کافی از سیگنال و محتویات فرکانسی و نحوه تغییرات فرکانس با زمان نمی‌باشند. در شیوه نمایش زمان-فرکانس سیگنال‌ها شکل (۲-۲ ج)) علاوه بر اینکه اطلاعات فرکانسی نشان داده می‌شود، نحوه توزیع آن‌ها در زمان نیز نشان داده می‌شود و اطلاعات زمانی و فرکانسی به‌طور همزمان و متمرکز وجود دارد. در این شکل رنگ‌های نشان داده شده، به معنی دامنه هستند، که به علت عدم امکان نشان دادن سه بعدی تصاویر، دامنه را با رنگ مشخص کرده‌اند. هر رنگ نشان دهنده دامنه خاصی است. همان‌طوری که در مثال مشاهده می‌شود، شیوه نمایش زمان-فرکانس در مقایسه با سایر روش‌های نمایش برای سیگنال‌های ناپایا، ابزاری بسیار مناسب می‌باشد و می‌تواند اطلاعات کاملی از سیگنال در اختیار قرار دهد.

تاکنون انواع مختلفی از تبدیل‌های زمان-فرکانس مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه (گابور، ۱۹۴۶)، توزیع ویگنر-وایل (ویگنر، ۱۹۳۲؛ وایل، ۱۹۴۸)، تبدیل موجک (مالات، ۱۹۹۹) و تبدیل S (استاک ول و همکاران، ۱۹۹۶) معرفی شده‌اند. هر کدام از این تبدیل‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند که بر روی کارکرد آن‌ها تاثیر بسزایی دارند.



شکل ۲-۲، نمایش سیگنال g_1 در حوزه (الف) زمان، (ب) فرکانس و (ج) زمان - فرکانس (پانچامکومار، ۲۰۰۳).

۲-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه^۱

این تبدیل گاهی "تبدیل فوریه پنجره‌دار"^۲ (WFT) نیز نامیده می‌شود. گابور (۱۹۴۶) با معرفی تبدیل فوریه پنجره‌ای، اولین قدم در راه استفاده از روش‌های زمان-فرکانس را پیمود. وی از این ابزار قدرتمند به منظور اندازه‌گیری تغییرات فرکانسی صداها استفاده نمود. در روش تبدیل فوریه پنجره‌ای، از یک پنجره حقیقی و متقارن $g(t)=g(-t)$ استفاده می‌شود که طبق رابطه (۲-۱۴) بر حسب تاخیر u در راستای زمان جابجا می‌شود و بر حسب فرکانس Ω مدوله می‌شود.

$$g_{u,\Omega}(t) = e^{i\Omega t} g(t-u) \quad (2-14)$$



شکل ۲-۳، تبدیل فوریه زمان کوتاه (پانچامکومار، ۲۰۰۳).

این پنجره که در واقع اتم زمان-فرکانس این تبدیل می‌باشد، به مقدار یک نرمال می‌شود $\|g(t)\| = 1$ و بنابراین برای تمام مقادیر $(u, \Omega) \in \mathbb{R}^2$ نیز $\|g_{u,\Omega}(t)\| = 1$ می‌باشد. با توجه به رابطه (۲-۷)، رابطه (۲-۱۵) را می‌توان برای این تبدیل بیان نمود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$\text{STFT}_x(u, \Omega) = \langle x, g_{u,\Omega} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) g(t-u) e^{-i\Omega t} dt \quad (2-15)$$

برای بازگشت از حوزه زمان-فرکانس از رابطه (۲-۱۶) استفاده می‌شود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{STFT}_x(u, \Omega) g(t-u) e^{i\Omega t} d\Omega du \quad (2-16)$$

¹ Short time fourier transform

² Window fourier transform

با استفاده از رابطه (۱۶-۲) می‌توان ثابت کرد که انرژی در رفت و برگشت بین دو حوزه‌ی زمان و زمان-فرکانس حفظ می‌شود.

با توجه به زوج بودن تابع پنجره یا اتم زمان فرکانس می‌توان نوشت:

$$\sigma_t^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (t-u)^2 |g_{u,\Omega}(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} t^2 |g(t)|^2 dt \quad (17-2)$$

$$\sigma_\omega^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} (\omega - \Omega)^2 |\hat{g}_{u,\Omega}(\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^2 |\hat{g}(\omega)|^2 d\omega$$

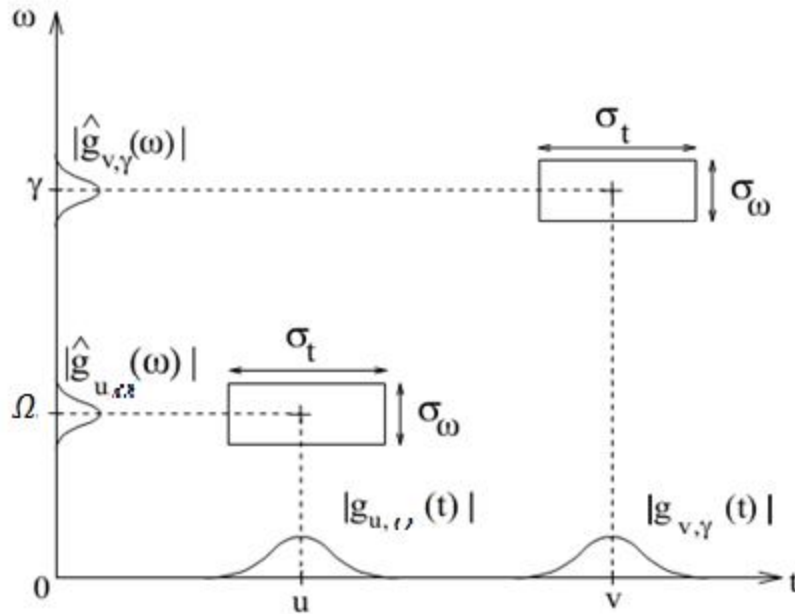
رابطه (۱۷-۲) نشان می‌دهد که ابعاد جعبه هاینبرگ در تبدیل فوریه زمان کوتاه به مقادیر (u, Ω) ارتباطی ندارد. به عبارت دیگر در تبدیل فوریه زمان کوتاه، قدرت تفکیک در تمام صفحه‌ی زمان-فرکانس یکسان می‌باشد (شکل ۲-۳). به عبارت دیگر فرکانس‌های بالا (تغییرات سریع و ناگهانی در زمان) و فرکانس‌های پایین (تغییرات نرم و ملایم در زمان) با یک پنجره بررسی می‌شوند و این یکی از معایب تبدیل فوریه زمان کوتاه می‌باشند. در مقابل، ثابت بودن طول پنجره یا اتم زمان-فرکانس در این تبدیل، در بعضی از کاربردهای این تبدیل مانند واهمامیخت گابور (مارگریو^۱ و لامورکس^۲، ۲۰۰۱) از مزایای این تبدیل محسوب می‌شود.

قدرت تفکیک در تبدیل فوریه زمان کوتاه در راستای محورهای زمان و فرکانس به گسترش تابع پنجره در راستای محورهای بستگی دارد. گسترش تابع پنجره $g(t)$ در زمان و تبدیل فوریه آن $g(f)$ در فرکانس توسط میرایی تابع گنگی^۳ محاسبه می‌شود. این تابع در حوزه زمان با رابطه (۱۸-۲) بیان می‌شود و با استفاده از قضیه پارسوال رابطه آن در حوزه فرکانس به صورت رابطه (۱۹-۲) می‌باشد.

¹ Margarive

² Lamourkes

³ Ambiguity function



شکل ۲-۴، جعبه هایزنبرگ برای تبدیل فوریه زمان کوتاه (مالات ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$Ag(\tau, k) = \int_{-\infty}^{+\infty} g\left(t - \frac{\tau}{2}\right) g\left(t + \frac{\tau}{2}\right) e^{-ikt} dt \quad (18-2)$$

$$Ag(\tau, k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{g}\left(\omega - \frac{k}{2}\right) \hat{g}\left(\omega + \frac{k}{2}\right) e^{-i\tau\omega} d\omega \quad (19-2)$$

با استفاده از مقیاس کردن پنجره می‌توان قدرت تفکیک در حوزه زمان-فرکانس را تغییر داد. چنانچه

تابع پنجره با پارامتر s مقیاس شود، $g_s(t) = s^{-\frac{1}{2}} g(t/s)$ ، با تغییر متغیر در رابطه (۲-۱۷) ابعاد

جعبه هایزنبرگ بصورت $\sigma_\omega/s, s\sigma_t$ بدست می‌آید.

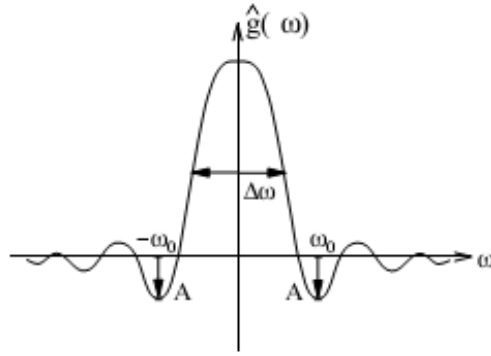
همانطور که مشاهده می‌شود مساحت جعبه هایزبرگ تغییر نمی‌کند اما در راستای محور زمان به اندازه S اتساع^۱ پیدا می‌کند و در راستای محور فرکانس به اندازه $1/S$ فشرده^۲ می‌شود. به طور مشابه این تغییرات در تابع گنگی نیز به صورت رابطه (۲-۲۰) ایجاد می‌شود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$Ag_s(\tau, k) = Ag\left(\frac{\tau}{S}, sk\right) \quad (20-2)$$

لذا انتخاب مقدار مناسب و بهینه پارامتر مقیاس S ، یک مساله سبک و سنگین کردن^۳ میان قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی می‌باشد.

از عوامل دیگری که قدرت تفکیک در حوزه‌ی زمان-فرکانس در تبدیل فوریه‌ی زمان کوتاه را کنترل می‌کند، تابع $g(t)$ می‌باشد. در محاسبات عددی، $g(t)$ در زمان بایستی محدود باشد و همین موضوع سبب می‌شود تابع $g(\omega)$ در حوزه فرکانس به صورت متقارن حول فرکانس صفر به صورت نوسانی تا دامنه صفر تداوم داشته باشد که در شکل ۲-۵، نشان داده شده است. در انتخاب $g(t)$ سه پارامتر مهم می‌تواند در کنترل قدرت تفکیک در راستای محور فرکانسی موثر باشد. این سه پارامتر عبارتند از (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹):

¹ dilation
² compression
³ Trade-off



شکل ۵-۲، گسترش انرژی g که با پهنای باند $\Delta\omega$ و بیشینه دامنه A لب‌های کناری^۱ در فرکانس $\omega = \pm\omega_0$ اندازه گیری می‌شود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

- پهنای باند مجذور میانگین مربعات^۲ $(\Delta\omega)$ که بصورت رابطه (۲۱-۲) تعریف می‌شود کوچک بودن این پهنای باند، باعث افزایش قدرت تفکیک فرکانسی می‌شود.

$$\frac{|\hat{g}(\Delta\omega)/2|^2}{|\hat{g}(0)|^2} = \frac{1}{2} \quad (21-2)$$

- بیشینه دامنه (A) مربوط به اولین لب‌های کناری در فرکانس $\omega = \pm\omega_0$ قرار گرفته است (شکل ۵-۳). این مقدار بصورت دسی بل با رابطه (۲۲-۲) تعریف می‌شود. این دامنه سبب ایجاد سایه‌هایی در محدوده $[-\omega_0, \omega_0]$ حول مرکز $g(t)$ می‌شود.

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{|\hat{g}(\omega_0)|^2}{|\hat{g}(0)|^2} \right) \quad (22-2)$$

- توان نمایی p ، که باعث افت جانبی طیف دامنه تابع $\hat{g}(\omega)$ در فرکانس‌های بالا می‌شود، این پارامتر با رابطه (۲۳-۲) تعریف می‌شود. مقدار مناسب p از تداخل انرژی فرکانس‌های مختلف جلوگیری می‌کنند.

$$|\hat{g}(\omega)| = O(\omega^{-p-1}) \quad (23-2)$$

¹ Side-lobes

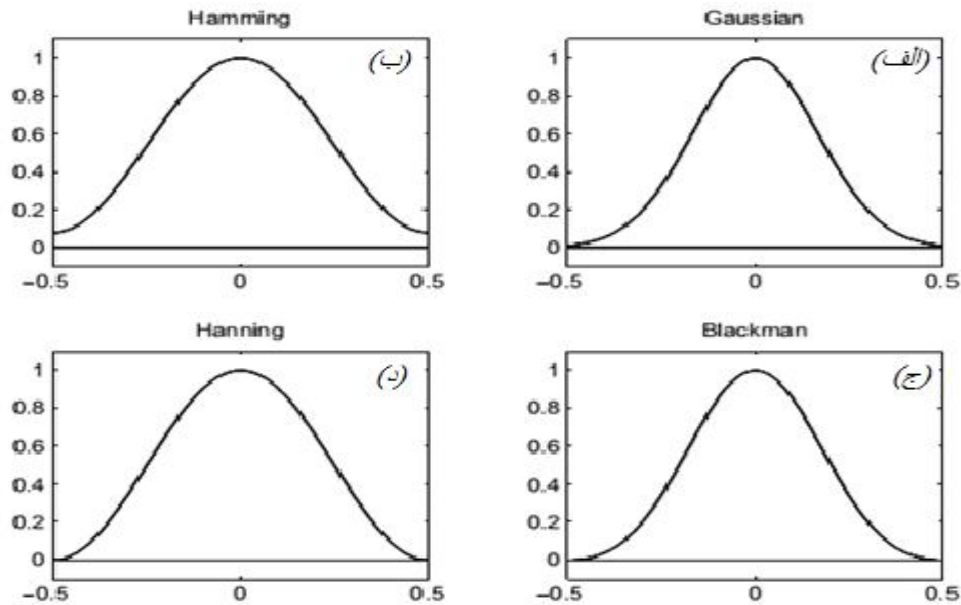
² Mean-square bandwidth

که در آن، تابع $f(t)=o(g(t))$ به این معناست که می‌توان مقداری برای K پیدا کرد که $f(t) \leq Kg(t)$ باشد.

در جدول ۱-۲، رابطه و مشخصات تعدادی از توابع $g(t)$ که کاربرد بیشتری دارند آورده شده است. شکل این توابع نیز در شکل ۲-۶، در محدوده $[-1/2, 1/2]$ نشان داده شده است.

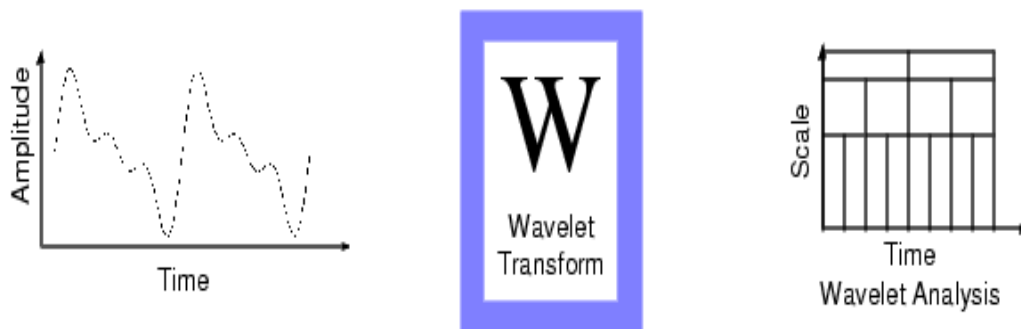
جدول ۱-۲، نام، رابطه و مشخصات توابع پنجره متداول (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹)

Name	$g(t)$	$\Delta\omega$	A	P
Rectangle	L	0.89	-13dB	0
Hamming	$0.54+0.46\cos(2\pi t)$	1.36	-43dB	0
Gaussian		1.55	-55dB	0
Hanning	$\cos^2(\pi t)$	1.44	-32db	2
Blackman	$0.42+0.5\cos(2\pi t)+0.08\cos(4\pi t)$	1.68	-58dB	2



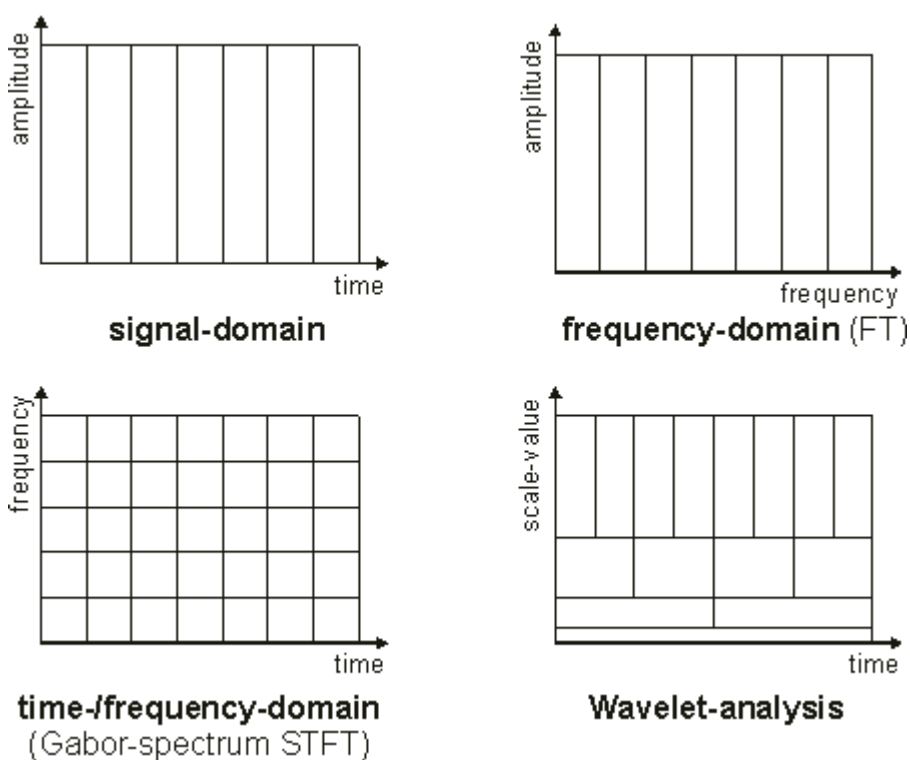
شکل ۲-۶، شکل توابع پنجره (الف) گوسی، (ب) همینگ، (ج) بلکمن و (د) هنینگ مطابق روابط جدول ۲-۱، (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

تبدیل فوریه‌ی زمان کوتاه، گونه‌ای سازش بین زمان و فرکانس برای نمایش سیگنال ارائه می‌کند. این روش اطلاعاتی درباره‌ی اینکه یک پدیده سیگنال در چه زمان و با چه فرکانسی رخ می‌دهد، فراهم می‌کند. اما این اطلاعات با درستی محدودی به دست می‌آید و این درستی، بستگی به اندازه پنجره دارد. انتخاب اندازه یکسان پنجره برای تمام فرکانس‌ها به عنوان نقطه کاستی این روش است (شکل ۲-۳). اما برای تشخیص درست‌تر زمان و فرکانس نیاز به روشی است که این اندازه قابل تغییر باشد. تحلیل موجک، گام منطقی بعدی را ارائه می‌کند که یک روش پنجره نمودن با اندازه پنجره‌های متغیر است. تحلیل موجک اجازه استفاده از بازه‌های زمانی بلند، جایی که نیاز به اطلاعات درستی از فرکانس پایین است و بازه‌های زمانی کوتاه، جایی که نیاز به اطلاعات فرکانس بالا است، را فراهم می‌کند (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷، نمایش تبدیل موجک (پانچامکومار، ۲۰۰۳).

شکل (۲-۸)، مقایسه‌ای بین سیگنال بر پایه زمان، بر پایه فرکانس، تبدیل فوریه زمانی کوتاه و تبدیل موجک را نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، تحلیل موجک، حیطة زمان-فرکانس را استفاده نمی‌کند بلکه حیطة زمان-مقیاس را بکار می‌برد.



شکل ۲-۸، مقایسه بین حوزه‌های و تبدیل‌های مختلف سیگنال (پانچامکومار، ۲۰۰۳).

توانایی بزرگ موجک‌ها در انجام تحلیل‌های محلی^۱ است و می‌تواند جنبه‌ای از داده‌ها را به دست آورد که دیگر روش‌های تحلیل سیگنال، آنها را از دست می‌دهند. جنبه‌هایی مانند روند، نقاط شکست، ناپیوستگی در مشتقات بالاتر و خود همانندی^۲. همچنین چون موجک، داده را از دید مقیاس‌های مختلف مورد توجه قرار می‌دهد، می‌تواند فشردگی و حذف نوفه را بدون پست‌شدگی انجام دهد.

۳-۲ تبدیل موجک

از اواسط دهه ۱۹۸۰ ابزار دیگری تحت عنوان تبدیل موجک برای نمایش زمان-فرکانس سیگنال‌ها معرفی شد البته این تبدیل بطور مستقیم نمایش زمان-فرکانس تولید نمی‌کند، بلکه نمایش سیگنال در حوزه زمان-مقیاس را تولید می‌کند که مقیاس و فرکانس ارتباطی معکوس با یکدیگر دارند. همانطور که در بخش ۲-۲، بیان شد، در تبدیل فوریه زمان کوتاه ابعاد جعبه‌های بزرگ مستقل از زمان و فرکانس می‌باشد بعبارت دیگر طول اتم زمان-فرکانس ثابت است و یا به بیانی دیگر قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی در صفحه زمان-فرکانس ثابت است. چنانچه لازم باشد که ساختارهای سیگنال‌هایی با ابعاد بسیار متفاوت مورد بررسی و آنالیز قرار بگیرد، لازم است که اتم‌های زمان-فرکانسی را استفاده نمود که دارای محدوده‌های زمانی متفاوت باشند یا به عبارتی پایه زمانی^۳ باشند. تبدیل موجک، سیگنال را به ازای مقادیر مختلف اتساع و انتقال موجک تجزیه می‌کنند.

¹ Local

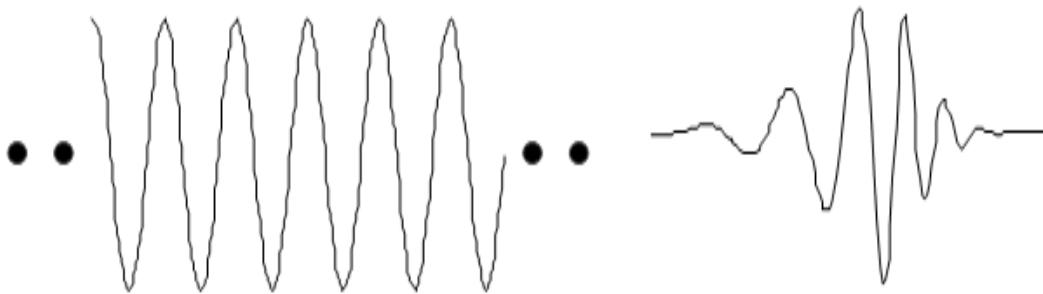
² Self Similarity

³ Time support

۱-۳-۲ تعریف موجک

یک موجک مانند $\Psi(t)$ تابعی با انرژی محدود $\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(t)|^2 dt < +\infty$ و $\Psi(t) \in L^2(R)$ و میانگین صفر $\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0$ است که به مقدار یک نرمال شده است ($\|\Psi(t)\|=1$) و مرکز آن در همسایگی $t=0$ قرار دارد.

امواج سینوسی که پایه تحلیل فوریه هستند از منهای بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت گسترش دارند و دارای انرژی نامحدود هستند. موجک‌ها در مقایسه با امواج سینوسی دارای انرژی محدود و نوسان آن متمرکز در اطراف یک نقطه می‌باشند در حالی که سینوسی‌ها هموار و قابل پیش‌بینی هستند، موجک‌ها غیر منظم و غیر متقارن هستند (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹، سمت چپ نمای یک سینوسی و سمت راست نمای یک موجک است (فوگال، ۲۰۰۹).

تحلیل فوریه، شامل تجزیه سیگنال به امواج سینوسی با فرکانس‌های مختلف است. به طور مشابه، تحلیل موجک، شامل تجزیه سیگنال به موجک‌های اصلی (یا مادر) مختلف، مقیاس‌دار و شیفت‌دار، است (پانجامکومار^۱، ۲۰۰۳). تحلیل موجک، یک روش مستقل از مقیاس است. در این تبدیل، تابع پنجره، $\Psi(t)$ به نام موجک مادر یا موجک پایه خوانده می‌شود و معرف یک مقیاس در تحلیل است که عبارت از پهنای آن است. از آنجا که مطلوب است؛ الزامی به مقیاسی ویژه نباشد، بنابراین نه تنها از $\Psi(t)$ استفاده می‌شود بلکه از تمام مقیاس شده‌های ممکن $\Psi(t)$ نیز استفاده می‌شود.

¹ Sukla Panchamkumar

یک خانواده از شکل موجها را می توان با مقیاس کردن موجک مادر توسط S و انتقال آن توسط u به صورت رابطه (۲-۲۴) بدست آورد (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$\Psi_{u,s}(t) = S^p \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (2-24)$$

این اتمها نیز نرمال به یک می باشند. S عامل مقیاس است که بسته به این که بزرگ تر از یک یا بین صفر و یک باشد به ترتیب در راستای افق کشیده یا فشرده می شود. S می تواند مقادیرهای منفی را هم بگیرد که نسخه بازتابی کشیده یا فشرده شده تابع $\Psi(t)$ را می سازد. u ، عامل جابجایی است. جابجایی موجک به معنی تاخیر یا تعجیل در شروع آن است. از دید ریاضی، تاخیر یک تابع $f(t)$ به اندازه k با $f(t-k)$ بیان می شود. p عاملی است که اگر مثبت باشد تابع $\Psi(t)$ در راستای قائم فشرده می شود. هنگامی که p منفی باشد، تابع همزمان در دو سو فشرده یا کشیده می شود. در تحلیل موجک، مقیاس به طور معکوس با فرکانس در ارتباط است (گراالد^۱، ۱۹۹۴). از مهمترین ویژگی های موجک آن است که به صورت معین و یا غیر معین برای ساخت و تحلیل بیشتر سیگنالها برای مطالعه زمان-فرکانس آنها می تواند بکار رود (پانچامکومار، ۲۰۰۳). با نگاه به شکل ظاهری موجک و موج سینوسی، می توان دریافت که سیگنالها با تغییرات سریع را ممکن است با یک موجک غیر منظم، بهتر تحلیل کرد تا با یک سینوسی هموار.

¹ Kaiser Gerald

۲-۳-۲ مقیاس و فرکانس

عبارت مرتبط با مقیاس، قدرت تفکیک هست. قدرت تفکیک یک سیگنال محدود به محتوای فرکانسی آن است. در مقیاس‌های بالاتر موجک‌ها کشیده‌تر می‌شوند. هر چه موجک کشیده‌تر باشد قسمت بیشتری از سیگنال توسط موجک مقایسه می‌شود و بنابراین ترکیبات درشت‌تر سیگنال با این ضرایب موجک اندازه‌گیری می‌شود و دید کلی‌تری از سیگنال را می‌دهد. بنابراین ارتباطی بین مقیاس‌های موجک و فرکانس وجود دارد. به طوری که می‌توان بیان نمود که در مقیاس‌های کوچکتر، موجک فشرده‌تر، تغییر جزئیات با سرعت و فرکانس ω بیشتری است. در مقابل در مقیاس‌های بزرگ‌تر، موجک کشیده‌تر، تغییرات آهسته و ترکیبات درشت و فرکانس ω پایین‌تر است.

باید دانست که تحلیل موجک منجر به دیدی از زمان-فرکانس سیگنال نمی‌شود و این یک ضعف نیست، بلکه نقطه قوت این روش است. نه تنها زمان-مقیاس روشی متفاوت برای نمایش داده است، بلکه روش طبیعی نمایش داده است که از تعداد زیادی از پدیده‌های طبیعی حاصل می‌شود. البته امکان ریاضی تبدیل این دو به یکدیگر وجود دارد (مالات^۱، ۱۹۹۹).

با توجه به رابطه (۷-۲) رابطه تبدیل موجک سیگنال $x(t)$ را می‌توان به صورت رابطه (۲۵-۲) نوشت (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹):

$$W_x(u,s) = \langle x, \Psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi_{u,s}^*(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (25-2)$$

که در آن، * مزدوج مختلط را نشان می‌دهد.

با تعریف $\bar{\Psi}_s(t) = (1/\sqrt{s})\Psi^*(-t/s)$ می‌توان رابطه (۲۵-۲) را به صورت هم‌میخت^۲ سیگنال $x(t)$ و $\bar{\Psi}_s(u)$ به صورت رابطه (۲۶-۲) نوشت.

¹ Mallat Sephan
² convolution

$$W_x(u,s) = x * \bar{\Psi}_s(u)$$

(۲۶-۲)

که در آن، * علامت هم‌میخت می‌باشد. اگر $\hat{\Psi}(\omega)$ تبدیل فوریه موجک باشد، از آنجایی که

$\hat{\Psi}(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0$ می‌باشد، به نظر می‌رسد که $\hat{\Psi}(\omega)$ به صورت تابع انتقال^۱ یک فیلتر میان‌گذر^۲ رفتار می‌کند (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

موجکی که در محاسبات ضرایب تبدیل موجک استفاده می‌شود می‌تواند حقیقی^۳ یا تحلیلی^۴ باشد. موجک حقیقی اغلب برای یافتن تغییرات استفاده می‌شود. اما اگر تغییرات فرکانس با زمان مورد نظر باشد، بایستی از موجک‌های تحلیلی استفاده نمود تا بتوان هم دامنه و هم فاز مولفه‌های فرکانسی را از یکدیگر جدا نمود.

¹ Transfer function

² Band-pass filter

³ real

⁴ analytic

۳-۳-۲ موجک حقیقی

اگر موجک $\Psi(t)$ حقیقی باشد، از آنجایی که میانگین آن برابر صفر است، بنابراین می‌توان گفت که انتگرال تبدیل موجک (رابطه (۲-۲۵))، تغییرات سیگنال $X(t)$ حول u به همسایگی S را اندازه‌گیری می‌کند. می‌توان نشان داد هنگامی که مقدار مقیاس به سمت صفر میل می‌کند، تضعیف ضرایب تبدیل موجک بیانگر نظم و ترتیب سیگنال در همسایگی u است (مالات، ۱۹۹۹). این خاصیت سبب بکارگیری تبدیل موجک با استفاده از موجک حقیقی برای شناسایی تغییرات ناگهانی و بررسی فرکتال‌ها^۱ می‌باشد.

تبدیل موجک، یک تبدیل کامل می‌باشد و انرژی را تا زمانی که موجک در شرط قابلیت قبول^۲ صدق کند، حفظ می‌کند. این شرط به صورت رابطه (۲-۲۷) بیان می‌شود.

$$c_{\Psi} = \int_0^{+\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < +\infty \quad (2-27)$$

که در آن، $\hat{\Psi}(\omega)$ تبدیل فوریه موجک $\Psi(t)$ و ω فرکانس زاویه‌ای می‌باشد. برای برقراری رابطه (۲-۲۷)، فقط کافیست $\hat{\Psi}(0) = 0$ باشد، که خود توجیهی برای صفر بودن میانگین موجک است، و $\hat{\Psi}(\omega)$ به صورت پیوسته مشتق‌پذیر باشد. می‌توان نشان داد که در چنین حالتی رابطه (۲-۲۸) برقرار می‌باشد.

$$x(t) = \frac{1}{c_{\Psi}} \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_s(u, s) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right) du \frac{ds}{s^2} \quad (2-28)$$

رابطه (۲-۲۸) در واقع رابطه برگشت تبدیل موجک با موجک حقیقی است. چنانچه ضرایب $W_s(u, s)$ مربوط به $S > S_0$ باشد. این اطلاعات از طریق تابع مقیاس^۳، $\theta(t)$ ، قابل بازیابی می‌باشد. قدر مطلق تبدیل فوریه این تابع به صورت رابطه (۲-۲۹) بیان می‌شود.

¹ fractals

² admissibility condition

³ Scaling function

$$|\hat{\theta}(\omega)|^2 = \int_0^{+\infty} |\hat{\Psi}(s\omega)|^2 \frac{ds}{s} = \int_0^{+\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\xi)|^2}{\xi} d\xi \quad (29-2)$$

فاز $\hat{\theta}(\omega)$ نیز به صورت دلخواه انتخاب می‌شود. می‌توان نشان داد که $\|\theta\| = 1$ می‌باشد و با استفاده از شرط قابلیت قبول اثبات کرد که $\lim_{\omega \rightarrow 0} |\hat{\theta}(\omega)|^2 = c_\psi$ لذا می‌توان تابع مقیاس را به صورت تابع انتقال یک فیلتر پایین‌گذر^۱ در نظر گرفت. با توجه به این مطالب می‌توان تقریب فرکانس پایین سیگنال را به صورت رابطه (۳۰-۲) نوشت.

$$L_x(u,s) = \langle x(t), \frac{1}{\sqrt{s}} \theta\left(\frac{t-u}{s}\right) \rangle = x * \bar{\theta}_s(u) \quad (30-2)$$

که در آن، * علامت هم‌میخت می‌باشد و $\bar{\theta}_s(t) = \theta_s^*(-t)$ و * مزدوج مختلط می‌باشد. با تغییر کوچکی در رابطه (۲۸-۲) می‌توان رابطه بازسازی سیگنال از تبدیل موجک را به صورت رابطه (۳۱-۲) نوشت (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$x(t) = \frac{1}{c_\psi} \int_0^\infty W_x(\bullet, s) * \Psi_s(t) \frac{ds}{s^2} + \frac{1}{c_\psi s_0} L_x(\bullet, s_0) * \theta_{s_0}(t) \quad (31-2)$$

که در آن، * علامت هم‌میخت می‌باشد.

¹ Low-pass filter

۴-۳-۲ موجک تحلیلی

به منظور بررسی نحوه تغییرات فرکانس با زمان، نیاز است که از موجک تحلیلی استفاده شود تا بتوان دامنه و فاز مولفه‌های مختلف فرکانسی سیگنال را از یکدیگر جدا نمود. از نظر ریاضی سیگنالی مانند $y_a(t)$ را تحلیلی می‌نامند که تبدیل فوریه آن برای فرکانس‌های منفی صفر باشد (رابطه (۲-۳۲)).

$$\hat{y}_a(\omega) = 0 \quad \text{if } \omega < 0 \quad (۲-۳۲)$$

یک سیگنال تحلیلی، مختلط می‌باشد ولی اغلب به وسیله قسمت حقیقی، $y(t) = \text{real}[y_a(t)]$ توصیف می‌شود. تبدیل فوریه بخش حقیقی به صورت رابطه (۲-۳۳) نوشته می‌شود.

$$\hat{y}(\omega) = \frac{\hat{y}_a(\omega) + \hat{y}_a^*(\omega)}{2} \quad (۲-۳۳)$$

که در آن، * مزدوج مختلط می‌باشد. با استفاده از رابطه (۲-۳۳) می‌توان نوشت:

$$\hat{y}_a(\omega) = \begin{cases} -2\hat{y}(\omega) & \omega \geq 0 \\ 0 & \omega < 0 \end{cases} \quad (۲-۳۴)$$

که در واقع رابطه (۲-۳۴) رابطه محاسبه سیگنال تحلیلی برای حالت پیوسته می‌باشد. برای سیگنال گسسته‌ای نظیر $y_a(n)$ به طول N نمونه، بخش حقیقی $y(n) = \text{real}[y_a(n)]$ و با تبدیل فوریه‌ای به صورت $\hat{y}_a(k)$ رابطه محاسبه سیگنال تحلیلی به صورت رابطه (۲-۳۵) تعریف می‌شود:

$$\hat{y}_a(k) = \begin{cases} \hat{y}(k) & k = 0, N/2 \\ 2\hat{y}(k) & 0 < k < N/2 \\ 0 & N/2 < k < N \end{cases} \quad (۲-۳۵)$$

تبدیل موجک تحلیلی یک سیگنال مانند $x(t)$ با استفاده از یک موجک تحلیلی مانند $\Psi(t)$ به صورت رابطه (۲-۳۶) محاسبه می‌شود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

$$W_x(u,s) = \langle x, \Psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (۲-۳۶)$$

قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی در این تبدیل به گسترش زمان-فرکانس ام‌های موجک $\Psi_{u,s}$ ارتباط دارد. چنانچه فرض شود که مرکزیت Ψ حول صفر است، آنگاه مرکزیت $\Psi_{u,s}$ حول $t=u$ است. با تغییر متغیر به صورت $v = (t - u)/s$ می‌توان نوشت (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹):

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (t - u)^2 |\Psi_{u,s}(t)|^2 dt = s^2 \sigma_t^2 \quad (37-2)$$

$$\sigma_t^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} t^2 |\Psi(t)|^2 dt, \text{ که در آن,}$$

از آنجایی که $\hat{\Psi}(\omega)$ در فرکانس‌های منفی صفر می‌باشد بنابراین فرکانس مرکزی Ω موجک $\hat{\Psi}$ به صورت رابطه (۳۸-۲) محاسبه می‌شود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹):

$$\Omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega |\hat{\Psi}(\omega)|^2 d\omega \quad (38-2)$$

تبدیل فوریه $\Psi_{u,s}$ اتساع یافته $\hat{\Psi}(\omega)$ با $1/s$ به صورت رابطه (۳۹-۲) می‌باشد:

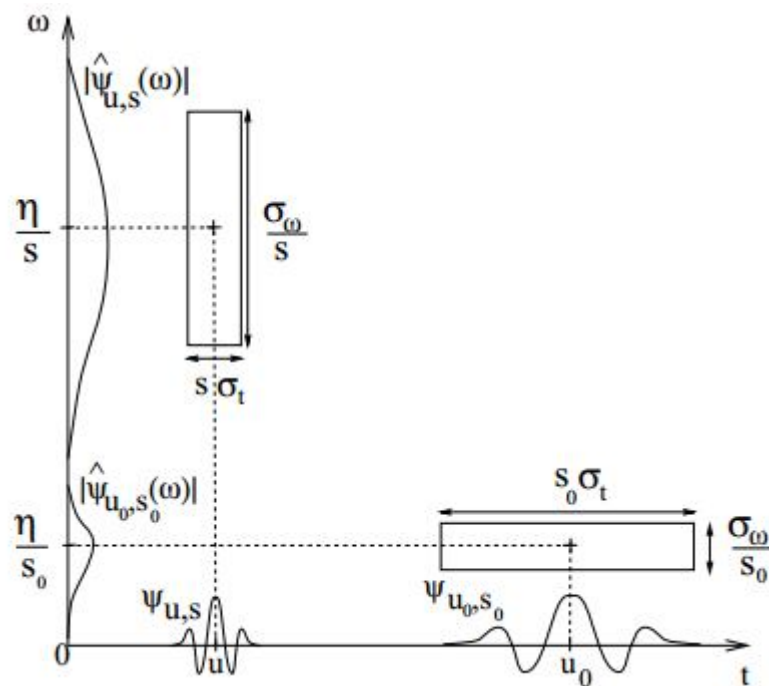
$$\hat{\Psi}_{u,s}(\omega) = \sqrt{s} \hat{\Psi}(s\omega) e^{-i\omega s} \quad (39-2)$$

بنابراین فرکانس مرکزی آن به صورت Ω/s می‌باشد. گسترش انرژی $\hat{\Psi}_{u,s}$ حول Ω/s به صورت رابطه (۴۰-۲) محاسبه می‌شود (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹):

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} \left(\omega - \frac{\Omega}{s}\right)^2 |\hat{\Psi}_{u,s}(\omega)|^2 d\omega = \frac{\sigma_\omega^2}{s^2} \quad (40-2)$$

$$\sigma_\omega^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} (\omega - \Omega)^2 |\Psi(\omega)|^2 d\omega, \text{ که در آن,}$$

بنابراین گسترش انرژی اتم‌های زمان-فرکانس موجک $\Psi_{u,s}$ به جعبه هایزنبرگ به مرکزیت $(u, \Omega/S)$ و ابعاد $s\sigma_t$ در راستای زمان و σ_ω/S در راستای فرکانس محدود می‌باشد. مساحت مستطیل در تمام مقیاس‌ها همان مقدار $\sigma_t\sigma_\omega$ باقی می‌ماند ولی قدرت تفکیک در زمان و فرکانس به S وابسته است که در شکل ۲-۱۰، بطور واضح نشان داده شده است (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).



شکل ۲-۱۰، جعبه هایزنبرگ برای تبدیل موجک (مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹).

می‌توان نشان داد که تبدیل موجک تحلیلی یک سیگنال مانند $x(t)$ فقط به تبدیل موجک تحلیلی سیگنال تحلیلی وابسته می‌باشد.

$$W_x(u, s) = \frac{1}{2} W_{x_0}(u, s) \quad (۴۱-۲)$$

چنانچه شرط قابلیت قبول در مورد موجک برقرار باشد و سیگنال $x(t)$ حقیقی باشد، آنگاه رابطه معکوس تبدیل موجک تحلیلی به صورت رابطه (۴۲-۲) نوشته می‌شود:

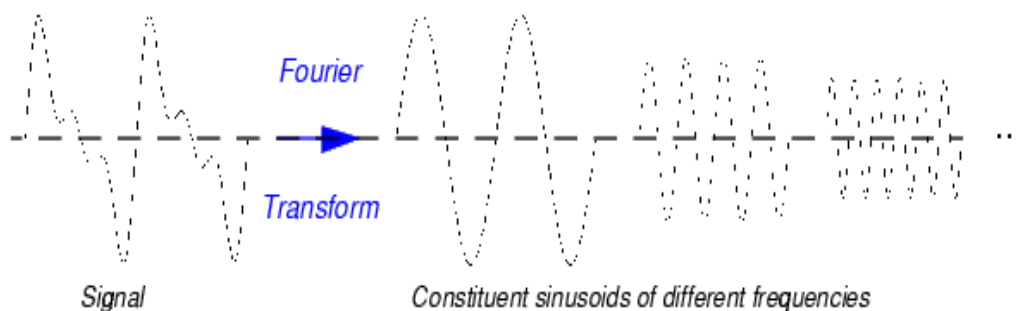
$$x(t) = \frac{2}{c_\psi} \operatorname{Re} \left[\int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_x(u, s) \Psi_s(t - u) du \frac{ds}{s^2} \right] \quad (42-2)$$

۵-۳-۲ تبدیل موجک پیوسته

از نظر ریاضی فرآیند تحلیل فوریه با تبدیل فوریه قابل بیان است:

$$x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (43-2)$$

که بیانگر جمع روی کل زمان سیگنال $f(x)$ که در نمای مختلط ضرب شده است (مالات، ۱۹۹۹). این نمای مختلط می‌تواند با مؤلفه‌های سینوسی حقیقی و مجازی نشان داده شوند. نتیجه این تبدیل ضرایب فوریه $f(\omega)$ است که وقتی با سینوسی‌ها با فرکانس ω ضرب می‌شوند مؤلفه‌های سینوسی سازنده سیگنال اصلی را ایجاد می‌نماید (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱، تجزیه سیگنال به مؤلفه‌های سینوسی سازنده آن (فوگال، ۲۰۰۹).

بطور مشابه، تبدیل موجک پیوسته (CWT) جمع روی کل زمان سیگنال است که در نمونه‌های تابع موجک پیوسته مقیاس شده و شیفت داده شده، Ψ ، ضرب شده است:

$$C(\text{scale}, \text{position}) = - \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) \Psi(\text{scale}, \text{position}, t) dt \quad (44-2)$$

موجک مادر باید شرایط زیر را برآورده سازد

$$C_{\Psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (45-2)$$

که $\Psi(\omega)$ تبدیل فوریه $\Psi(t)$ است.

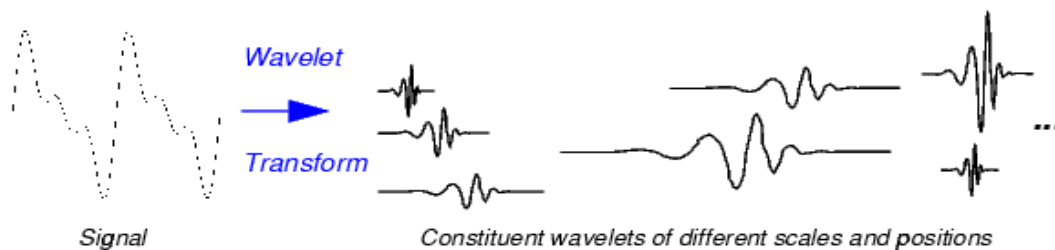
در عمل، $\Psi(\omega)$ دارای زوال است.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = \Psi(0) = 0 \quad (46-2)$$

بنابراین موجک دارای رفتار باند گذر خواهد بود.

تبدیل موجک پیوسته از یک تابع $f(t) \in R$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CWT_f(s, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{\Psi}_{s,t}(x) f(x) dx = \langle \Psi_{s,t}, f \rangle = \Psi_{s,t}^* f \quad (47-2)$$

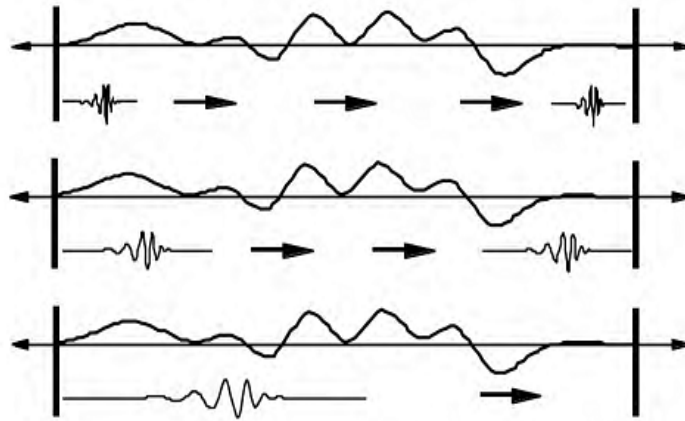


شکل ۲-۱۲، تجزیه سیگنال به موجک‌های سازنده آن (فوگال، ۲۰۰۹).

نتیجه تبدیل موجک تعداد زیادی ضریب‌های موجک، C ، است، که تابعی از مقیاس و موقعیت هستند. ضرب کردن هر یک از این ضرایب در موجک مقیاس شده و شیفت داده شده، موجک‌های سازنده سیگنال اصلی را می‌سازد (شکل ۲-۱۲). این ضریب‌ها مشخص می‌کنند که چقدر سیگنال به یک تابع پایه شبیه است، از آنجا که تبدیل پیوسته مانند تجزیه پایه ارتونرمالی است، انرژی را نگه می‌دارد. بنابراین تابع $f(t)$ می‌تواند از تبدیل خودش دوباره بازسازی شود (مالات، ۱۹۹۹)، رابطه ساخت دوباره آن، عبارت است از:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} ds. s^{2p-3} \int_{-\infty}^{+\infty} CWT_f(s, t) \Psi_{s,t}(u) dt \quad (۴۸-۲)$$

پردازش سیگنال در کامپیوتر در دنیای سیگنال گسسته صورت می‌گیرد. بدین معنی که سیگنال در زمان به صورت گسسته اندازه‌گیری شده است. پس در تبدیل موجک پیوسته چه چیزی پیوسته است؟ آنچه که از پیوستگی درباره تبدیل موجک پیوسته گفته می‌شود و آنچه که از تبدیل موجک گسسته برمی‌آید مربوط به یک سری از مقیاس‌ها و موقعیت‌هایی است که در آن عمل می‌کند. برخلاف تبدیل موجک گسسته، تبدیل موجک پیوسته در تمام مقیاس‌ها می‌تواند عمل کند، از مقیاس سیگنال اصلی تا بیشینه مقیاسی که برای تحلیل داده‌ها تعیین شده است. همچنین در تبدیل موجک پیوسته در هنگام شیفت دادن، موجک به نرمی روی تمام حوزه تابع تحلیل شده شیفت داده می‌شود (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳، تحلیل داده با شیفت دادن موجک در مقیاس‌های مختلف روی تمام سیگنال (فوگال، ۲۰۰۹).

۲-۳-۶ تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک پیوسته، خانواده‌ای از تابع‌ها را استفاده می‌کند که به طور پیوسته با مقیاس S تغییر می‌کند و با پارامتر u جابجا می‌شود. محاسبه ضریب‌های موجک در مقدارهای پیوسته (S, u) منجر به حجم کاری زیادی است و حجم داده‌های بهت‌آوری را تولید می‌کند. تبدیل موجک پیوسته دارای بخش‌های زیاد^۱ و ناکاربردی است که نقطه ضعف آن به شمار می‌آید (پانچامکومار، ۲۰۰۳).

چگونه می‌توان فقط زیر مجموعه‌ای از مقیاس‌ها و موقعیت‌ها را در جایی که می‌خواهیم محاسبات را انجام دهیم انتخاب کنیم؟ باید گفت که اگر عامل‌های مقیاس و شیفت بر پایه شبکه گسسته زمان - مقیاس ارزیابی شود، منجر به یک سری گسسته از تابع‌های پایه پیوسته می‌شود. این گسسته‌سازی بدین روش انجام می‌شود.

$$s = s_0^j, u = ks_0^k u_0 \quad , \quad j, k \in Z \quad (۲-۴۹)$$

^۱ Redundancy

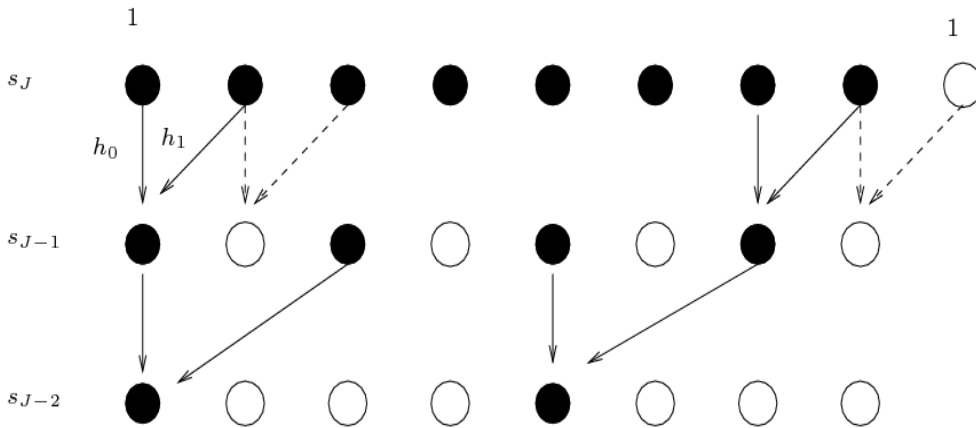
که $s > 1$ فراخ شدن و $u_0 \neq 0$ گام حرکت انتقالی است. بنابراین خانواده موجک‌ها به شکل زیر می‌شوند:

$$\Psi_{j,k}(t) = s_0^{-j/2} \Psi(s_0^{-j} t - ku) \quad (50-2)$$

و تجزیه موجک تابع $f(t)$ خواهد شد:

$$f(t) = \sum_j \cdot \sum_k D_f(j, k) \Psi_{j,k}(t) \quad (51-2)$$

که سری ضریب‌های دو بعدی از $D_f(j, k)$ به نام تبدیل موجک گسسته تابع $f(t)$ داده شده است. چنین گسسته سازی با $s_0 = 2$ و $h_0 = 1$ روی یک شبکه دودویی از زمان-مقیاس در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است.



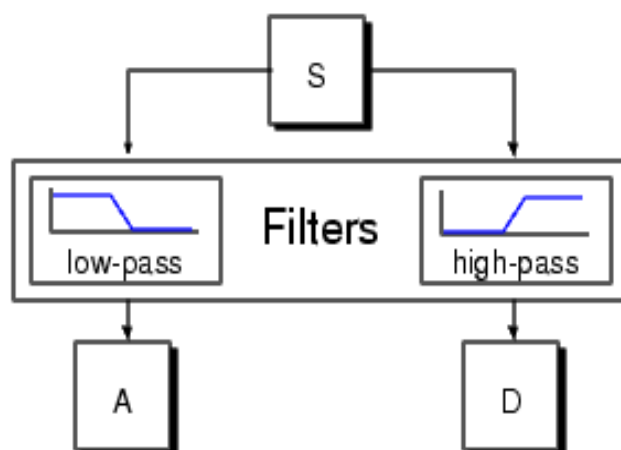
شکل ۲-۱۴، تبدیل موجک گسسته استاندارد روی شبکه مقیاس-زمان دودویی (دلوثلی، ۲۰۰۹).

انتخاب $\Psi(t)$ به گونه‌ای است که سری تابع پایه $\{\Psi_{j,k}\}$ در بردارنده یک پایه ارتونرمال از $L^2(\mathbb{R})$ باشد. بنابراین

$$D_f(j, k) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi_{j,k}^*(t) f(t) dt = \langle \Psi_{j,k}(t), f(t) \rangle \quad (52-2)$$

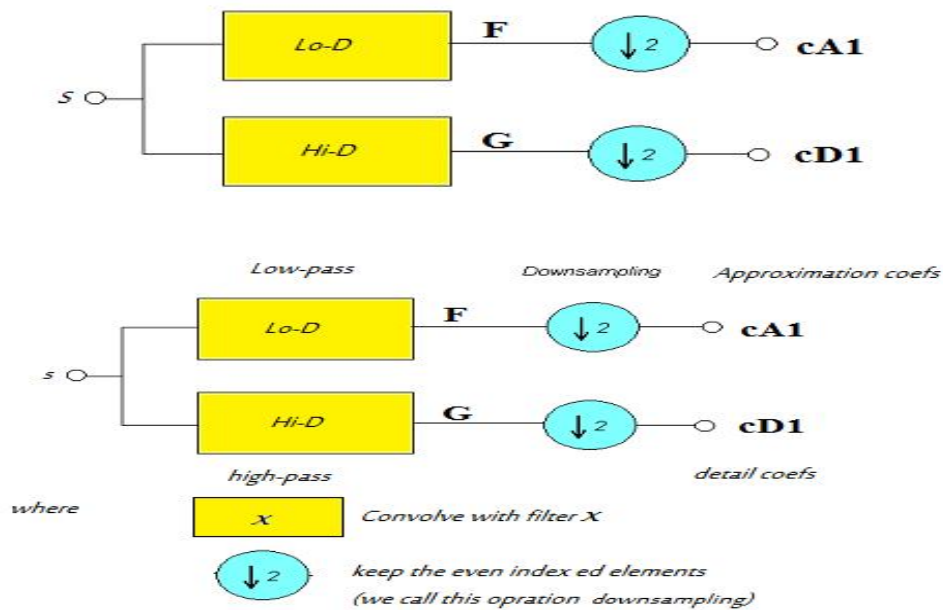
چنین موجکی، تابع $f(t)$ را با استفاده از جمع پایه‌های محدود روی شاخص‌های j و k با ضریب‌های تبدیل موجک گسسته محدود، تقریباً بدون خطا ارزیابی می‌کند. تمام این موجک‌ها با قدرت تفکیک دلخواه و با ضریب‌های تبدیل موجک گسسته محدود می‌توانند به دست آیند.

یک راه موثر برای بکارگیری تبدیل موجک گسسته با استفاده از فیلترها توسط مالات توسعه داده شد. در حقیقت الگوریتم مالات نمای کلاسیک شناخته شده و در پردازش سیگنال است که به نام کد کننده زیرباندهای دو کاناله خوانده می‌شود. این الگوریتم فیلتر نمودن که در بر دارنده دو فیلتر است یکی تبدیل موجک سریع را ارائه می‌کند، که عبارت از یک فیلتر نیمه باند پایین گذر و دیگری نیمه باند بالاگذر است (مالات، ۱۹۹۸).



شکل ۲-۱۵، فرآیند فیلتر نمودن در ابتدایی‌ترین سطح (مالات، ۱۹۹۸).

سیگنال اصلی S ، از بین دو فیلتر می‌گذرد و به صورت دو سیگنال نمایان می‌شود (شکل ۲-۱۵). اما اگر این عمل را انجام دهیم درخواهیم یافت که تعداد کل داده‌ها دو برابر تعداد داده‌های شروع است. در این محاسبات می‌توان از هر دو نمونه یک نمونه را نگه داشت که اطلاعات کامل را در بر دارد. این عمل به نام کاهش نمونه^۱ خوانده می‌شود. این فرآیند تجزیه می‌تواند در تکرارهای بالا انجام شود (شکل ۲-۱۶). سپس خروجی شاخه فرکانس پایین دوباره با استفاده از همان فیلتر بانک تحلیلی فیلتر می‌شود. این فرآیند برای تعداد سطوح دلخواه از تجزیه ادامه می‌یابد. شکل ۲-۱۶، را درخت تجزیه موجک گویند (پانچامکومار، ۲۰۰۳). از آنجا که فرآیند تحلیل به مراتب صورت می‌گیرد می‌تواند تا بی‌نهایت ادامه یابد. اما در واقعیت این تجزیه می‌تواند تا جزییات ویژه‌ای که در بر دارنده یک نمونه سیگنال یا عنصر تصویری است پیش رود.



شکل ۲-۱۶، تحلیل فیلتر بانکی دو کاناله تا سطح سوم برای تبدیل موجک گسسته (پانچامکومار، ۲۰۰۳).

¹ Decimation

در تحلیل موجک گسسته اغلب صحبت از تخمین‌ها و جزییات می‌شود. تخمین‌ها شامل مؤلفه‌های مقیاس بالا و فرکانس پایین سیگنال است و جزییات شامل مؤلفه‌های مقیاس پایین و فرکانس بالا که به ترتیب از فیلترهای نیمه باند پایین‌گذر و بالاگذر به دست می‌آیند. در برخی از سیگنال‌ها، محتوی فرکانس پایین، مهمترین قسمت می‌باشد. این چیزی است که سیگنال هویت خود را در بردارد. از طرفی دیگر محتوای فرکانس بالا بیانگر نکات ریز و تفاوت‌های ظریف است.

۲-۳-۷ تبدیل موجک پایا

با توجه به توان دو و عملیات‌های کاهش نمونه، تبدیل موجک گسسته که در هر گام از تجزیه، طول سیگنال نصف گام قبلی، این تجزیه نسبت به جابجایی در زمان متغیر نمی‌باشد. در حالی که برای فشرده‌سازی داده و برخی عملیات‌های فیلتر این ویژگی تبدیل موجک ناپیوسته مفید است، برای شناسایی و تعیین جنبه‌های ویژه یک نقطه ضعف محسوب می‌شود و قابل کاربرد نیست. یک راه برای دستیابی به تبدیل موجک ناپیوسته که نسبت به جابجایی غیر متغیر است حذف عمل کاهش نمونه از فیلتر بانک‌ها است. الگوریتم تبدیل موجک گسسته بدون کاهش تعداد نمونه، موجک اتروس^۱ نامیده می‌شود (مالات و هاوانگ^۲، ۱۹۹۲). این تبدیل موجک عبارت است از هم‌امیخت سیگنال با ضریب‌های فیلتر بانک با تعداد $(2^j - 1)$ صفر وارد شده بین نمونه‌ها. این عمل موجب نامیده شدن آن به موجک اتروس است که در زبان فرانسوی به معنی موجک سوراخ‌دار یا صفردار می‌باشد (شنسا^۳، ۱۹۹۲). از محدودیت‌هایی که این روش ایجاد می‌کند آن است که طول سیگنال باید بر $2j$ بخش‌پذیر باشد که j بیشینه سطح تجزیه است. در این روش ابتدا مانند تبدیل موجک گسسته سیگنال به دو قسمت یعنی بخش تخمین و بخش جزئی تجزیه می‌شود و سپس نتیجه حاصل در فیلتری هم‌امیخت می‌شود. این

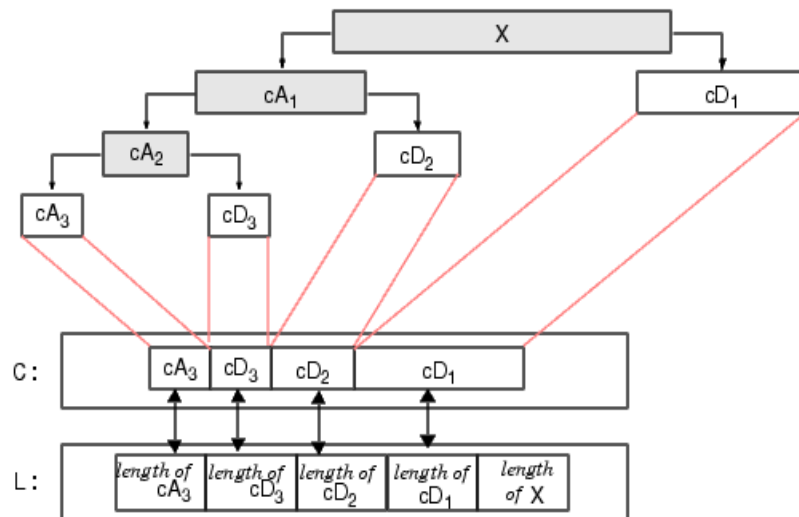
¹atrous

² Mallat & Hwang

³ shensa

فیلتر عمل افزایش نمونه را انجام می‌دهد تا سیگنال حاصل تعداد نمونه‌های، برابر سیگنال اصلی را دارا باشد. همانطور که در بالا اشاره شد تبدیل موجک بدون کاهش نمونه خاصیت پایا دارد.

مالات با معرفی الگوریتم تبدیل موجک سریع، روشی بر مبنای فیلترها برای محاسبه ضرایب تبدیل موجک گسسته معرفی کرد. این فیلترها به صورت جفت فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر در هر مرحله از تجزیه بر روی سیگنال اعمال و پس از آن تعداد نمونه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج حاصل شامل یک سیگنال تقریب کلی (cA) و یک سیگنال جزئیات (cD) است. در مرحله بعد می‌توان دوباره سیگنال تقریب کلی را تجزیه و عمل تا هر مرحله از تجزیه ادامه داد. تبدیل موجک گسسته را می‌توان به صورت یک سری بانک فیلتر در نظر گرفت که روی سیگنال اعمال می‌شوند. (فوگال، ۲۰۰۹؛ موندیم و همکاران، ۲۰۰۶). شکل ۲-۱۷، مراحل تجزیه تبدیل موجک به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۷، طرح کلی از روند محاسبات در تبدیل موجک پایا (موندیم و همکاران، ۲۰۰۶).

۴-۲ تبدیل هیلبرت

تبدیل هیلبرت اگرچه در رشته‌های مهندسی الکترونیک و آنالیز و پردازش سیگنال از زمان‌های دور مورد استفاده قرار داشته، اما کاربرد آن در ژئوفیزیک از ۱۹۷۰ شروع شده است (براسول، ۱۹۸۵). روش تبدیل هیلبرت یک روش حل مستقیم است. هدف استفاده از تبدیل هیلبرت در تحقیقات ژئوفیزیک، ایجاد معادلات بیشتر برای تعیین پارامترهای ساختارهای مدفون با کاربرد گرادیان کامل داده‌های قابل دسترس است (اکگان، ۲۰۰۰). برای تعیین پارامترهای ساختارهای مدفون از ریشه‌ها و نقاط تقاطع پتانسیل بی‌هنجاری و گرادیان کامل پتانسیل بی‌هنجاری استفاده می‌شود. بنابراین، مناسب‌ترین فاصله نمونه‌برداری باید انتخاب شود. خطای ± 1 درصد در انتخاب فاصله نمونه‌برداری قابل قبول است (حافظ، ۲۰۰۹).

تبدیل هیلبرت را می‌توان از راه‌های گوناگون همچون روش تبدیل فوریه و هم‌میخت عملی ساخت. در استفاده از تبدیل هیلبرت، پارامتر حل معادلات برای هر ساختار متفاوت است. بنابراین، مدل‌های در نظر گرفته شده برای بی‌هنجاری، قبل از استفاده از تبدیل هیلبرت باید مشخص شوند. در مواردی که تبدیل هیلبرت به واسطه تبدیل فوریه به دست آمده است، ممکن است نوعی ناپیوستگی در تعیین ریشه‌ها و نقاط انتقال ایجاد شود. این ناپیوستگی را باید قبل از کاربرد تبدیل هیلبرت حذف کرد. همچنین در مواردی که از روش هم‌میخت استفاده می‌شود، یک جابجایی در ریشه‌ها و نقاط انتقال می‌افتد که این جابجایی بستگی به عملگر هم‌میخت دارد. بنابراین انتخاب طول هم‌میخت باید با دقت کافی صورت گیرد (اکگان، ۲۰۰۰). تبدیل هیلبرت اولین بار در تفسیر داده‌های مغناطیسی بی‌هنجاری دوبعدی مورد استفاده قرار گرفت (رائو و همکاران، ۱۹۸۲). در تحقیقات لرزه‌شناسی هم برای تبدیل هیلبرت یک ردلرزه گرفته شده از یک ردلرزه مرکب کاربرد دارد (تانر و همکاران، ۱۹۷۹). در روش گرانی نیز از تبدیل هیلبرت برای تعیین پارامترهای گسل استفاده شده است (پینار، ۱۹۸۵).

۱-۴-۲ نظریه تبدیل هیلبرت

تبدیل هیلبرت یک تابع، تبدیل ریاضی است، که فاز سیگنال را 90° درجه بدون تغییر در دامنه سیگنال جابجا می‌کند. در واقع در تبدیل هیلبرت، فاز بسامدهای مثبت، $\frac{\pi}{2}$ اضافه و فاز بسامدهای منفی، $\frac{\pi}{2}$ کم می‌شوند. تبدیل هیلبرت یک تابع زوج، یک تابع فرد و تبدیل هیلبرت یک تابع فرد، یک تابع زوج خواهد بود. برای تبدیل هیلبرت کافی است تبدیل فوریه تابع به دست آید و سپس در تابع $j \cdot \text{sgn}(f)$ در حیطه فوریه ضرب شود. پس از آن تبدیل فوریه معکوس گرفته می‌شود، نتیجه تبدیل هیلبرت، تابع حاصل می‌شود. $j \cdot \text{sgn}(f)$ تابع انتقال در تبدیل هیلبرت است (رابطه ۲-۵۳).

$$H(jw) = -j \cdot \text{sgn}(w) \quad (۲-۵۳)$$

$$\text{sgn}(w) = \begin{cases} 1 & w > 0 \\ 0 & w = 0 \\ -1 & w < 0 \end{cases} \quad (۲-۵۴)$$

تبدیل هیلبرت یک دستگاه خطی، که شامل یک سیگنال ورودی $f(r)$ و سیگنال خروجی $f_1(r)$ است. اگر طیف بسامدی سیگنال ورودی و خروجی به ترتیب $f(w)$ و $f_1(w)$ باشد. رابطه بین طیف بسامدی سیگنال ورودی و خروجی به صورت زیر است:

$$\begin{cases} F_1(w) = H(jw) \cdot F(w) \\ F_1(w) = -jF(w) \text{ for } w \geq 0, \\ F_1(w) = jF(w) \text{ for } w < 0, \end{cases} \quad (۲-۵۵)$$

در حوضه مکان، رابطه بین سیگنال ورودی و خروجی به صورت یک تابع مرکب، $g(r)$ بیان می‌شود. $g(r)$ یک تابع تحلیلی است. تابع تحلیلی تابعی است که قسمت موهومی آن برابر تبدیل هیلبرت قسمت حقیقی‌اش باشد.

$$g(r) = f(r) + jf_1(r), \quad r = x + jz \quad (۲-۵۶)$$

از رابطه (۵۲-۲) تبدیل هیلبرت بین سیگنال ورودی و خروجی در حوضه مکان به صورت هم‌میخت تابع $h(x)$ (پاسخ تابع ضربه $h(t)$ به تابع $(j \cdot \text{sgn}(w))$ در سیگنال ورودی تعریف می‌شود (گرین و استندلی، ۱۹۷۵).

$$h(x) = F^{-1}(-j \cdot \text{sgn}(w)), \quad (۵۷-۲)$$

$$h(x) = \frac{1}{\pi x}, \quad (۵۸-۲)$$

$$f_1(r) = h(x) * f(r), \quad (۵۹-۲)$$

$$f_1(r) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\theta)}{x-\theta} dv, \quad (۶۰-۲)$$

فصل سوم

داده‌های تحقیق

برای بررسی نتایج یک روش آن را بر روی داده مصنوعی اعمال می‌کنند و جهت حاصل شدن اطمینان از درست بودن نتایج، آن را روی داده واقعی بررسی می‌کنند.

در این فصل ابتدا به‌طور مختصر به تولید داده مصنوعی لرزه‌ای که به چه ویژگی‌ها و پارامترهایی بستگی دارد، اشاره می‌شود، در ادامه به بررسی داده واقعی که مربوط به میدان نفتی منصوره واقع در جنوب ایران می‌باشد پرداخته می‌شود. در ادامه به بررسی زمین شناسی میدان نفتی منصوره شامل سازندهای سنگ منشا، سنگ مخزن، سنگ پوشش و مشخصات مخزن منصوره پرداخته می‌شود.

۲-۳ داده مصنوعی

هنگامی که یک مدل فیزیکی با لایه‌های مجزا تعریف می‌شود، پارامترهای دیگری نیز در ساختن یک ردلرزه مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرعت و چگالی هر لایه به‌طور خودکار کنترل می‌شود و تعیین می‌کند که چه مقدار انرژی می‌تواند از طریق آن انتقال یابد. این پارامترها در زمان رسیدن هر اشعه در هر افق خاصی دارای ویژگی خاصی هستند و نهایتاً به گیرنده می‌رسند.

تفاوت در خواص مواد بین یک لایه با لایه دیگر می‌تواند از طریق محاسبه امپدانس بدست آید که تحت تاثیر پارامترهای دیگر مثل قدرت بازتاب، زاویه انکسار و انرژی انتقال است.

برای ساخت یک ردلرزه مصنوعی باید خواص پارامترهای به‌کار رفته و امپدانس صوتی نیز مشخص باشد. و در ادامه پارامترهای دیگری چون زمان انتقال و قدرت بازتاب تعیین می‌شود. سری بازتابی را باید مشخص کرد که در اینجا سری بازتابی زمین فرض می‌شود که یک سری اتفاقی است. نهایتاً مدلی که داده‌های مصنوعی با آن ساخته خواهد شد مشخص می‌شود.

۳-۳ زمین‌شناسی میدان منصوری

در ادامه به سازندهایی که در میدان نفتی منصوری به‌گونه فرعی و اصلی نقش سنگ منشا، سنگ مخزن و پوش سنگی را دارا هستند به‌طور مختصر اشاره شده است.

۳-۳-۱ سازند پابده

جنس این سازند عمدتاً از جلبک‌های دریایی، جنس این سازند عمدتاً از جلبک‌های دریایی تشکیل شده است. تشکیل شده است. این سازند در لرستان و خوزستان به پختگی لازم برای تشکیل نفت گاز نرسیده است و تنها قسمت‌های شمال شرقی فروافتادگی دزفول (یک فروافتادگی است که در قسمت شمال غرب گسل قطر- کازرون قرار دارد) به تولید نفت رسیده است. سن سازند پالتوسن تا الیگوسن می‌باشد. عمدتاً سنگ منشا میدان منصوری است.

۳-۳-۲ سازند گورپی

محل الگوی این سازند در لرستان است و جنس آن مارل و آهک شیلی است. این سازند در لرستان شامل ۲ بخش از جنس کربناته شامل سنگ آهک امام حسن (که دارای خواص سنگ مخزن است) و سنگ آهک لوف (آهک‌هایی قهوه‌ای با سنگواره‌های فراوان) است. این سازند تنها در شمال فارس و شمال شرقی فروافتادگی دزفول، مشارکت مختصری در تشکیل نفت دارد. سن سازند کرتاسه بالایی است. عمدتاً سنگ منشا میدان منصوری است.

۳-۳-۳ سازند ایلام

مقطع نمونه در تنگ گرآب قرار دارد. در این محل سازند ایلام از ۱۹۰ متر آهک خاکستری دانه‌ریز آرژیک با لایه بندی ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری تشکیل شده که با ورقه‌های نازک شیل سیاه رنگ از هم جدا شده‌اند. مرز زیرین بر روی یک نبود رسوبی قرار دارد و مرز فوقانی با سازند گورپی هم شیب است. در مقطع نمونه سن سازند ایلام سانتونین-کامپانین^۱ (کرتاسه بالایی) است. در سطوح فرسایشی رنگ سفید مایل به خاکستری است. تخلخل مهم این سازند از نوع شکستگی است. این سازند دارای ذخایر فرعی و کوچک نفتی در میدین آب تیمور، اهواز، امام حسن، منصوری و دارخوین و همچنین دارای ذخایر گاز در میدان هالوش است.

۴-۳-۳ سازند سروک

محل مقطع نمونه در تنگ سروک در کوه بنگستان در شمال غرب شهر بهبهان است. در این محل ۸۲۱ متر ضخامت دارد به شرح زیر:

۲۵۵ متر زیرین از سنگ آهک‌های خاکستری دانه‌ریز رسی با لایه‌بندی گرهی^۲ و لایه‌های نازک مارن خاکستری تیره میان لایه‌ای تشکیل شده و دارای آمونیت‌های کوچک است. ۵۲۴ متر میانی آهک توده‌ای، خشن به رنگ قهوه‌ای روشن همراه با قطعاتی از رودیست‌ها می‌باشد که در لایه‌های زیرین دارای گره‌های سیلیسی^۳ قهوه‌ای تا قرمز رنگ است. ۴۳ متر فوقانی از آهک‌های ضخیم لایه با سطوح هوازده نامنظم دارای اکسید آهن تشکیل شده است که نمایان‌گر یک سطح فرسایشی است. مرز فوقانی سازند سروک در نقاط مختلف با سازندهای متفاوتی در تماس است. در محل مقطع نمونه با سازند گورپی در لرستان با سازند سورگه ولی در بیشتر نقاط با سازند ایلام و یا گورپی هم‌ارز است. در خوزستان سازند سروک و سازند ایلام یک واحد سنگی را تشکیل می‌دهند و تنها به کمک شناخت سنگواره‌ها این دو سازند را می‌توان تفکیک کرد. در نواحی بینک

^۱ Neocomian-Coniacian

^۲ Nodular bedding

^۳ Chert nodule

و دارخوین این دو سازند با یک واحد سنگی شیلی از هم جدا می‌شوند که لافان نامیده می‌شود. این واحد سنگی در فارس ساحلی نیز گسترش دارد.

در فارس ساحلی سازند سروک به دو بخش احمدی و مدود قابل تفکیک است. بخش احمدی شامل ۳۰-۶۰ متر شیل همراه با آهک‌های جزیی نازک لایه است. حد فوقانی آن سطحی فرسایشی است که بر روی آن سازند ایلام قرار دارد. با آهک مدود که در زیر آن قرار دارد، هم‌شیب است. سن شیل احمدی سنومانین است.

سنگ آهک مدود از ۶۰-۱۲۰ متر سنگ آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای به رنگ قهوه‌ای تشکیل شده است. در آن سنگواره اوربیتولینا فرآوران دیده می‌شود. با سازند کژدمی در زیر هم‌شیب است.

سطح فرسایشی بعد از سنومانین در سطح سروک در فروافتادگی دزفول و سطح فرسایشی بعد از تورنین در تمام خوزستان و فارس مشخص است. سازند سروک پس از سنگ آهک آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه زاگرس است.

تخلخل این سازند بیشتر از نوع شکستگی است. میدان مهم گازی این مخزن شامل میدین بی‌بی حکیمه، دال پری و کوه موند است و میدان‌های مهم نفتی این مخزن شامل میدین :اهواز، بی‌بی حکیمه، کیلورکریم، سروستان و سیاه مکان است و در میدان نفتی منصوره دارای ذخیره فرعی نفت است. سن این سازند کرتاسه میانی است.

۳-۳-۵ سازند آسماری

نام سازند از کوه آسماری در جنوب شرق مسجدسلیمان گرفته شده است که محل برش نمونه نیز می‌باشد. در گذشته دور به نام‌های سنگ آهک کلهر، آهک خمیر، آهک جریب و آهک فرات نیز نامیده شده است. در محل مقطع نمونه در تنگ گل ترش در دامنه جنوب غربی کوه آسماری از ۳۱۴ متر آهک مقاوم سیمان‌ساز کرم تا قهوه‌ای دارای درز و شکاف‌های فراوان در سطوح فرسایشی تشکیل شده که در بین لایه‌های آهک لایه‌های شیلی نازک وجود دارد. در این مقطع سن سازند میوسن است و بخش‌های زیرین آن به سازند پابده تغییر رخساره داده است.

مرزهای زیرین و زبرین با سازندهای پابده و گچساران هم‌شیب است. سنگ آهک آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه رسوبی زاگرس در ایران است و چون برای اولین بار در خاورمیانه در آن نفت کشف شده است، معروفیت جهانی دارد.

بهره‌دهی یک چاه متوسط در یک میدان نفتی نسبتاً خوب در حدود ۲۵۰۰۰ بشکه در روز بوده است. سنگ آهک آسماری در تمام ناحیه زاگرس گسترش دارد. در حوالی بندرعباس بخش‌های زیرین سازند آسماری به رخساره پابده تبدیل می‌گردد و در شرق جزیره قشم در چاه هلور وجود نداشته است. در حالی که در مرکز جزیره در تاقدیس گورزین سازند آسماری وجود دارد.

سازند آسماری غنی‌ترین مخزن نفتی ایران و خاورمیانه و یکی از غنی‌ترین مخازن کربناته جهان است. این سنگ مخزن ذخایر نفتی و گازی ۶۲ میدان نفتی را تامین می‌کند که از میان آنها ۱۴ ابرمیدان و ۱۲ میدان عظیم در رده‌بندی جهانی طبقه‌بندی شده‌اند. این سازند به سمت جنوب غربی و به طرف دهانه خلیج فارس، کمی ماسه‌ای می‌شود که به آن ماسه‌های اهواز گویند؛ به طوری که در میادینی مانند پازنان، اهواز، مارون، منصوری و ... بخش ماسه‌ای اهواز حدود یک سوم تا یک چهارم ضخامت کل سازند را در بر می‌گیرد. بخش ماسه سنگی اهواز در مخازن آسماری موجب افزایش کیفیت مخزن و ضریب بازیافت می‌شود. این مخزن در شمال غرب لرستان از بخش

رسوبات تبخیری کلهر تشکیل شده است. بخش اعظم تخلخل و تراوایی این سازند مربوط به تخلخل حاصل از شکستگی است.

سازند آسماری از نظر سنی بر پایه سنگواره‌ها به سه بخش زیرین، میانی و زیرین تقسیم می‌شود. سن آسماری زیرین الیگوسن و سن آسماری میانی و فوقانی میوسن زیرین است. سن سازند به‌طور کلی الیگوسن تا میوسن پیشین است. سازند آسماری دارای دو بخش اهواز و کلهر است.

۳-۳-۵-۱ بخش اهواز

در میدان‌های نفتی اهواز، منصوری، مارون و به سوی جنوب و جنوب غرب اهواز بخش زیرین سازند آسماری تبدیل ماسه سنگ آهکی و سنگ آهک ماسه‌ای و لایه‌های جزئی شیل می‌گردد. این بخش در ایران رخنمون ندارد. زبانهای از ماسه سنگ غار است که در کشورهای عراق و کویت گسترش دارد. جنس آن بیشتر کوارتز وک^۱ است و در برخی از لایه‌ها به‌سوی ماسه سنگ کوارتزی^۲ که دانه‌ها بیشتر از ۸۵ درصد کوارتز است، میل می‌کند. این بخش در چاه شماره ۶ اهواز که محل مقطع نمونه آن است ۲۱۳ متر ضخامت دارد. سن ماسه سنگ اهواز الیگوسن تا میوسن پیشین است.

^۱Quartz Wake

^۲Quartzose sandstone

۳-۳-۵-۲ بخش کلهر

بخش کلهر سازند آسماری در گذشته به نام انیدریت کلهر و یا ژپیس کلهر نامیده شده و در حد یک واحد سنگی و یا سازند در نظر گرفته می‌شد. مقطع نمونه در دامنه جنوبی کوه اناران در محلی که جاده رودخانه چنگوله را قطع می‌کند، اندازه‌گیری شده است. در این محل بخش کلهر شامل سه واحد است. ۴/۵ متر سنگ گچ در زیر که بر روی آن ۲۰ متر مارن و لایه‌های نازک آهک مارنی خاکستری رنگ قرار دارد. بر روی واحد مارنی ۹۴/۵ متر سنگ گچ توده‌ای قرار دارد. بنابراین ضخامت بخش کلهر در مقطع نمونه ۱۱۹ متر است. در تاقدیس چنگوله بخش کلهر در چاه حفر شده شامل در حدود ۱۸۵ متر نمک است ولی در چاه‌های تقدیس نفت‌شهر نمک دیده نشده است. در چاه چنگوله ضخامت بخش کلهر ۲۷۶ متر می‌باشد. سن بخش کلهر میوسن زیرین است.

۳-۳-۶ سازند گچساران

مهم‌ترین اهمیت این سازند پوش سنگ بودن این سازند برای سنگ مخزن آسماری است به علت شکل‌پذیری خوب و تراوایی کم یک پوش سنگ بسیار خوب را به وجود آورده است. سن سازند میوسن می‌باشد. این سازند به‌عنوان مهم‌ترین سنگ منشا عمل می‌کند.

این سازند در مناطق نفتخیز جنوب دارای ۷ بخش است و به‌طور عمده از جنس مارن خاکستری-انیدریت-نمک-سنگ‌های آهکی نازک لایه و مارن قرمز تشکیل شده‌اند. این سازند در نواحی فارس شامل سه بخش چهل، چمپه و مول می‌باشد. بخش چهل که بخش زیرین سازند به شمار می‌رود از لایه‌های انیدریت تشکیل شده است. بخش چمپه از آهک‌های ژپیس‌دار و بخش مول از مارن قرمز و خاکستری همراه با لایه‌های انیدریت تشکیل شده است و در قسمت فوقانی قرار دارد.

در سازند گچساران منطقه خوزستان ۷ بخش شناسایی شده است. بخش ۷ در بالای سازند بوده و بخش ۱ که به نام سنگ پوش در قسمت‌های زیرین سازند قرار دارد به عنوان سنگ پوش مخزن نفتی آسماری مطرح می‌باشد.

لیتولوژی بخش‌های این سازند به شرح زیر است.

بخش ۷: این بخش از انیدریت-مارن خاکستری و سنگ‌های آهکی تشکیل شده است و ضخامت آن در مناطق نفتخیز متفاوت است. به طور مثال در میادین نفتی اهواز در حدود ۹۵ متر و در میدان بی بی حکیمه در حدود ۱۳۰ متر است.

این بخش دارای ۵ زون است و زون ۱ در بالاترین قسمت قرار دارد و زون ۵ در قسمت تحتانی این بخش قرار دارد.

بخش ۶: این بخش دارای لایه‌های مارن قرمز-انیدریت-مارن خاکستری و چندین لایه نازک از سنگ آهک می‌باشد و ضخامت آن متفاوت است و در بعضی میادین دارای لایه‌هایی از نمک است. بخش ۵: از لایه‌های ضخیم مارن خاکستری-انیدریت و سنگ آهک تشکیل شده است. در برخی از میادین نفتی لایه‌های نمک در این بخش وجود دارد. ضخامت این بخش در مناطق نفتخیز متفاوت گزارش شده است.

بخش ۴: به طور عمده دارای لایه‌های ضخیم نمکی است اما لایه‌های انیدریت و مارن خاکستری نیز در آن یافت می‌شود. تغییر ضخامت این بخش بسیار زیاد است.

بخش ۳: در این لایه‌های متناوب از مارن خاکستری و نمک است و گاهی لایه‌های نازک از سنگ آهک دیده می‌شود.

بخش ۲: این بخش به طور عمده تناوبی از انیدریت و مارن خاکستری همراه با لایه‌های نمک است و در تحتانی‌ترین قسمت این واحد یک لایه ضخیم از جنس نمک اصلی وجود دارد که مستقیماً به پوش سنگ متصل است. ضخامت این بخش در مناطق نفتخیز متفاوت گزارش شده است.

بخش ۱: این بخش به نام سنگ پوشش اولین مخزن نفتی آسماری در مناطق نفتخیز است. به طور عمده از انیدریت و مارن خاکستری تشکیل شده است و ضخامت آن لایه‌های نازکی از جنس سنگ آهک و شیل بیتومینه در این توالی رسوبی یافت می‌شود. این بخش در نواحی مختلف نفتخیز دارای ضخامت‌های متفاوت می‌باشد، به طوری که در این بخش در میدان اهواز در حدود ۴۰ متر و در میدان بی بی حکیمه در حدود ۲۲ متر است و در میدان گچساران در حدود ۶۰ متر است.

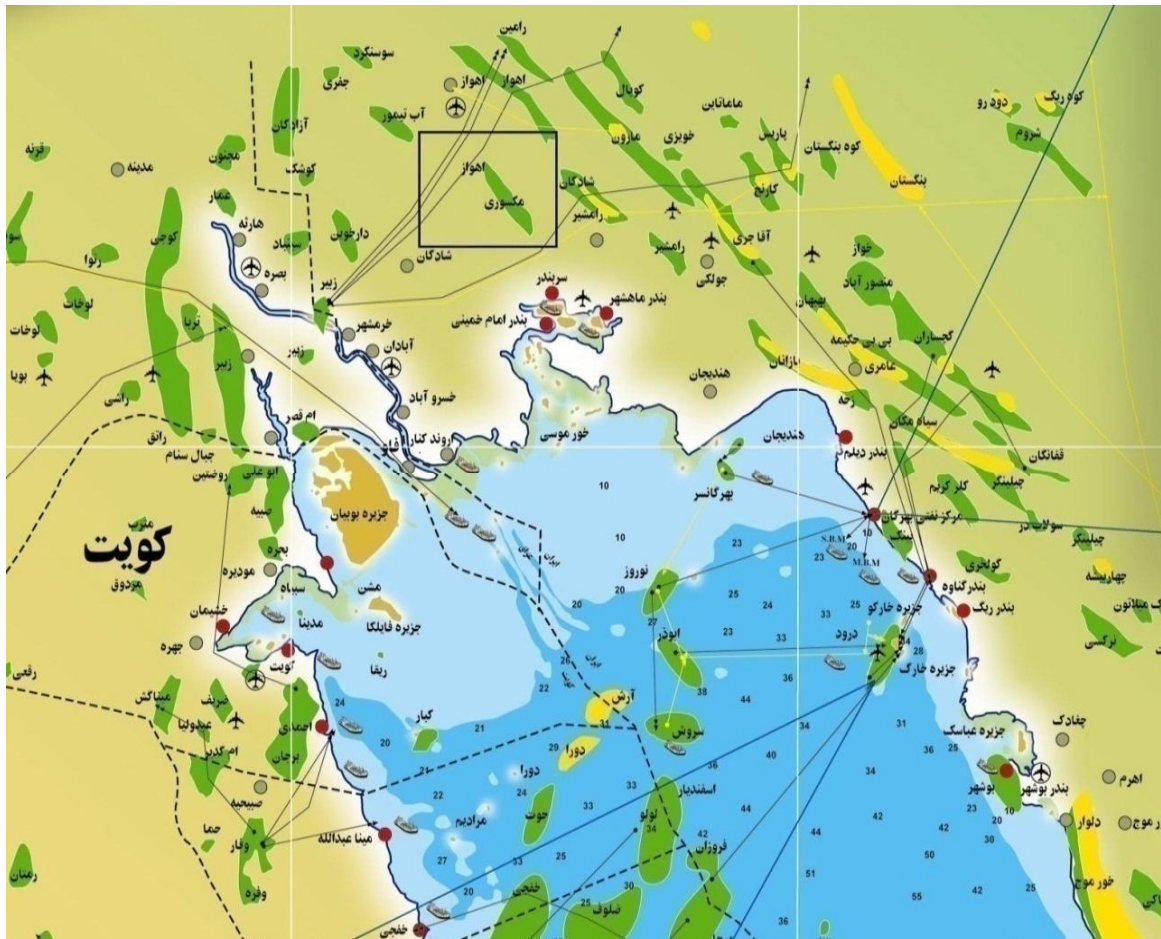
۳-۳-۷ میدان نفتی عظیم منصوری

این میدان نفتی در دشت خوزستان قرار دارد و با برداشت لرزه‌نگاری شناخته و با حفاری در سال ۱۳۴۲ کشف شده است. این میدان به طول ۲۱ و عرض ۵ کیلومتر است. سنگ مخزن این میدان سازند آسماری با رخساره ماسه سنگی است. درجه API آن ۳۰ و مقدار گوگرد آن ۲ درصد است. سازند ایلام دارای نفتی با درجه API، ۲۰ و گوگرد ۴ درصد وزنی است. سازند سروک دارای نفتی با درجه API، ۲۹ و گوگرد ۲/۲ درصد وزنی است. از سال ۱۳۵۳ استخراج نفت از آن آغاز شده است. در سال ۱۳۵۷ میزان استخراج از آن ۸۰۰۰ بشکه در روز بوده است و تا همان سال ۱۶ میلیون بشکه نفت از آن استخراج شده است. مقدار نفت قابل استحصال آن ۱/۱۶۲ میلیارد بشکه توسط وزارت نفت اعلام شده است. ذخیره گاز آن را بیدون^۱، ۰/۶ تریلیون پای مکعب^۲ اعلام کرده است.

^۱Bidon

^۲TCF

در شکل ۳-۱، شماتیکی از میدان نفتی منصوره نشان داده شده است.



شکل ۳-۱، شماتیکی از میدان نفتی منصوره (منابع وزارت نفت).

فصل چہارم

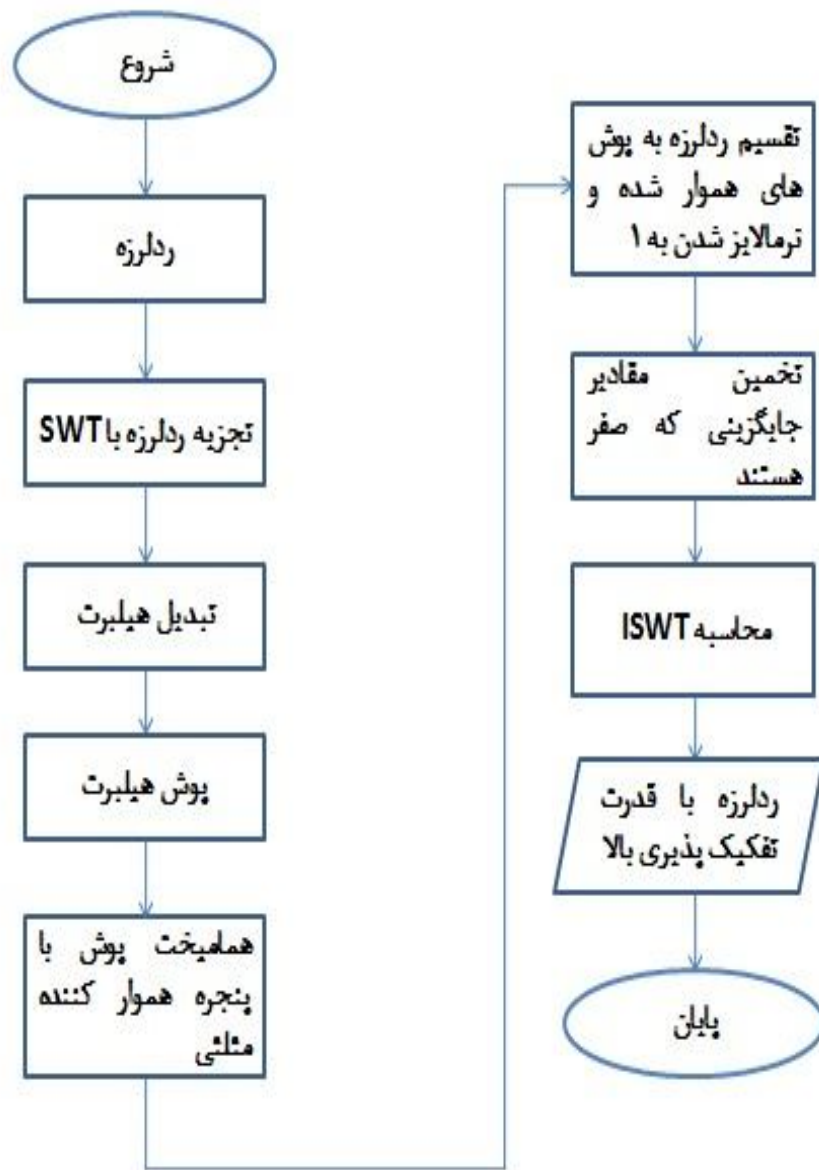
نتائج تحقیق

پهنای باند داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در لرزه‌نگاری انعکاسی پس از عبور از زمین به شدت تضعیف می‌شود؛ به عبارتی دیگر پاسخ چشمه موج لرزه‌ای دارای پهنای زمانی محدود می‌باشد، پس ردلرزه بدست آمده در مرحله عملیات دارای قدرت تفکیک مطلوبی نمی‌باشد. از آنجا که انتشار موج لرزه‌ای در درون زمین یک فیلتر پایین‌گذر است، مدام باعث میرایی فرکانس‌های بالا و افت پهنای باند فرکانسی داده‌ها می‌گردد که این کاهش پهنای باند فرکانسی مشکلات تفسیر را افزایش می‌دهد. بازگرداندن فرکانس‌های بالا از سیگنال‌های لرزه‌ای باند محدود یک مشکل بزرگ در اکتشافات ژئوفیزیکی است.

در این فصل به چگونگی افزایش پهنای باند فرکانسی و در نتیجه آن افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته پرداخته شده است.

۲-۴ روش تحقیق

در این قسمت چگونگی روش تحقیق و بیان الگوریتم اعمال شده پرداخته می‌شود.



شکل ۴-۱، نمایش الگوریتم افزایش قدرت تفکیک پذیری با استفاده از تبدیل موجک گسسته.

ابتدا باید اشاره کرد که هدف از انجام روش افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته، بالا بردن رزولوشن داده‌های لرزه‌ای جهت تشخیص لایه‌های نازک و لایه‌هایی که با هم تداخل کرده‌اند، می‌باشد. تشخیص هر چه بهتر لایه نازک باعث دقت و اطمینان بیشتری جهت تعیین تله‌های ساختمانی است.

در این روش همان‌گونه که در شکل ۴-۱، نشان داده شده است، ابتدا ردلرزه‌ای ساخته شده است، که این ردلرزه حاصل هم‌امیخت موجک و سری بازتاب است. موجک در اینجا دارای فرکانس ۱۵ هرتز است. در ادامه با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا ردلرزه ساخته شده به حیطة موجک برده می‌شود. برای تجزیه ردلرزه به مقیاس‌های متفاوت از موجک دوبیچیز^۱ استفاده شده است.

در مرحله بعد پس از تجزیه ردلرزه عملیات زیر را بر روی ردلرزه ورودی انجام می‌دهیم:

- ابتدا هیلبرت ردلرزه ورودی گرفته شده است، باید توجه داشت که طول سیگنال ورودی باید توانی از ۲ باشد، به همین دلیل در این الگوریتم اولین عددی که به توان ۲ نزدیک‌تر انتخاب می‌کند. برای روشن‌تر شدن روش به عنوان مثال طول سیگنال مورد نظر ۱۰۰ باشد، بعد از ۱۰۰ اولین عددی که برحسب توانی از ۲ است، ۱۲۸ می‌باشد که ۲ به توان ۷ می‌شود و آنگاه ۲ را به توان آن مقدار در اینجا ۷ است رسانده می‌شود. به توان ۲ رساندن نیز برای فوریه گرفتن است که همیشه برحسب توان ۲ به کار می‌رود. طول سیگنال بدست آمده با طول ردلرزه باید برابر باشد. در مرحله بعد از سیگنال مورد نظر فوریه گرفته می‌شود. اگر بیش از ۱ ستون ماتریسی ردلرزه داشته باشیم، آن را درون ماتریسی ستونی با مقادیر ۱ و ۲ برابر ستون ماتریس با مقادیر ۱ و به اندازه تعداد ستون‌ها منهای تعداد ستون‌ها تقسیم بر ۲ منهای ۱ مقادیر صفر قرار می‌گیرد. این محاسبات به صورت ماتریسی که در زیر نشان داده شده، محاسبه می‌شود:

^۱db2

[1; 2*ones(m/2,1); zeros(m-m/2-1,1)]

(۱-۴)

در بالا m برابر تعداد ستون‌ها است.

در ادامه این مقدار بدست آمده در سیگنالی که از آن تبدیل فوریه گرفته شده است ضرب می‌گردد و در انتها از آن معکوس فوریه گرفته می‌شود.

- در مرحله بعد پوش هیلبرت ردلرزه ورودی محاسبه می‌شود.

- این پوش با یک پنجره هموار کننده مثلثی^۱ که نیمی از طول فیلتر مد نظر است (در این جا

طول این فیلتر $\frac{1}{8}$ طول ردلرزه، مد نظر گرفته می‌شود.) هم‌میخت می‌شود. این ساختار مثلثی

با استفاده از دستور `triang` در نرم افزار متلب ساخته می‌شود که ماکزیمم آن ۱ است.

- ردلرزه ورودی به پوش های هموار شده تقسیم می‌شود و نهایتاً با یک نرمالایز می‌گردند. به این

صورت که ردلرزه خروجی بر تعداد کل ردلرزه‌ها تقسیم شده است. از روی این پوش مقادیر

جایگزینی که صفر هستند تخمین زده شده و در مکان مد نظر، قرار می‌گیرد. به این صورت که ابتدا

مقادیری وجود دارند که تعریف نشده‌اند، برای مشخص کردن شماره این تعریف نشده‌ها از ردلرزه

خروجی با استفاده دستور `isnan` مشخص شده است، به این ترتیب که تعریف شده‌ها را صفر و

تعریف نشده‌ها ۱ قرار گرفته است و در ادامه شماره تعریف نشده‌ها مشخص و به جای تعریف

نشده‌ها صفر قرار گرفته است. در ادامه از این روش در صفحه موجک، طول ردلرزه را نمونه‌های

نظیر ضرایب موجک از مقیاس‌های مختلف در نظر می‌گیرد؛ و در نهایت همه این ضرایب که باز

گردانده شده‌اند، با وارون تبدیل موجک گسسته پایا، تبدیل موجک فشرده شده را ارائه می‌دهد. این

موجک فشرده شده عاملی جهت افزایش قدرت تفکیک است.

¹ triangular smoother

۳-۴ اعمال روش روی داده مصنوعی^۱

شکل (۲-۴-ج)، نشان دهنده یک ردلرزه مصنوعی است. ردلرزه از همامیخت یک سری بازتاب شکل (۲-۴-ب)، که مقادیر آن در جدول ۲-۴، نشان داده شده است، با موجک با فرکانس ۱۵ هرتز بدست آمده است شکل (۲-۴-الف). در اینجا از ۲۵۶ نمونه در بازه زمانی $[-0.12, 0.12]$ با فاصله زمانی ۴ میلی ثانیه استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای ساخت موجک از رابطه (۲-۴)، استفاده شده است.

$$w = \frac{1}{2} \times ((1 - 2\pi^2) \times f^2 \times t^2) \times \exp(-(\pi \times f \times t)^2) \quad (۲-۴)$$

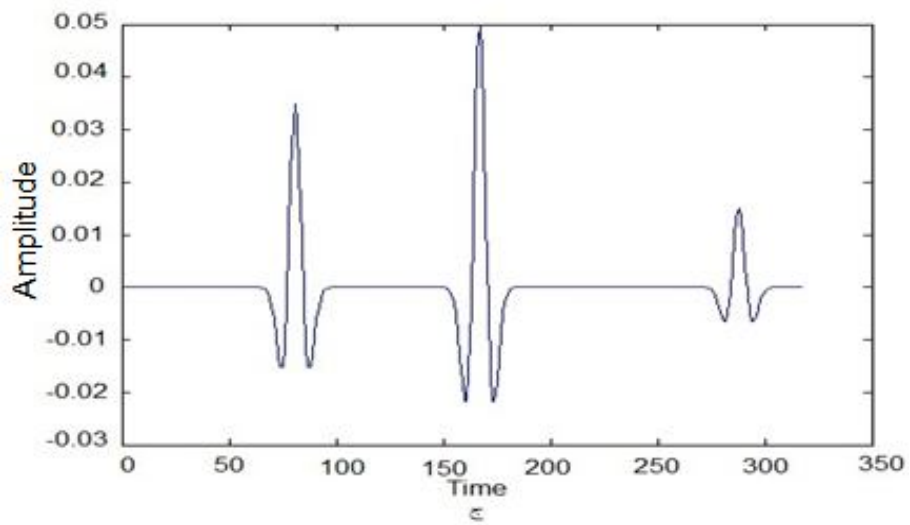
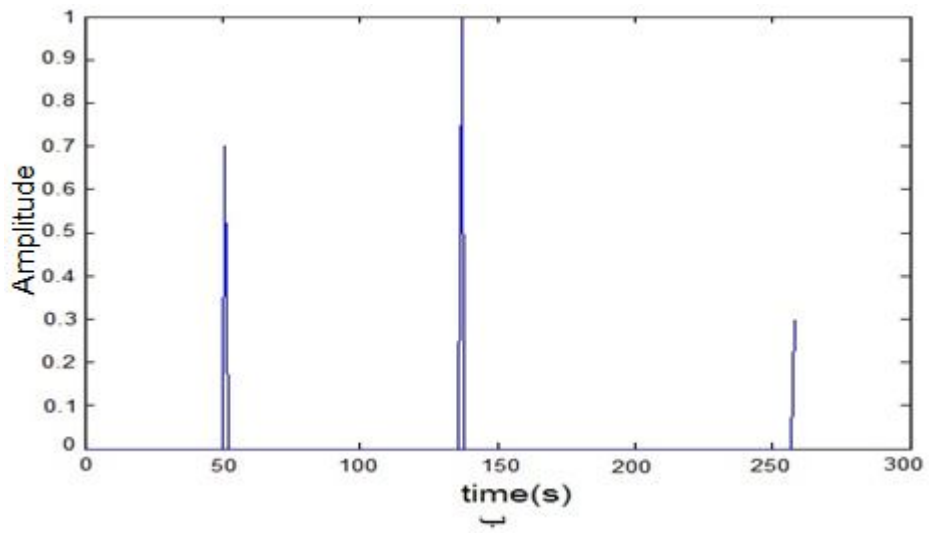
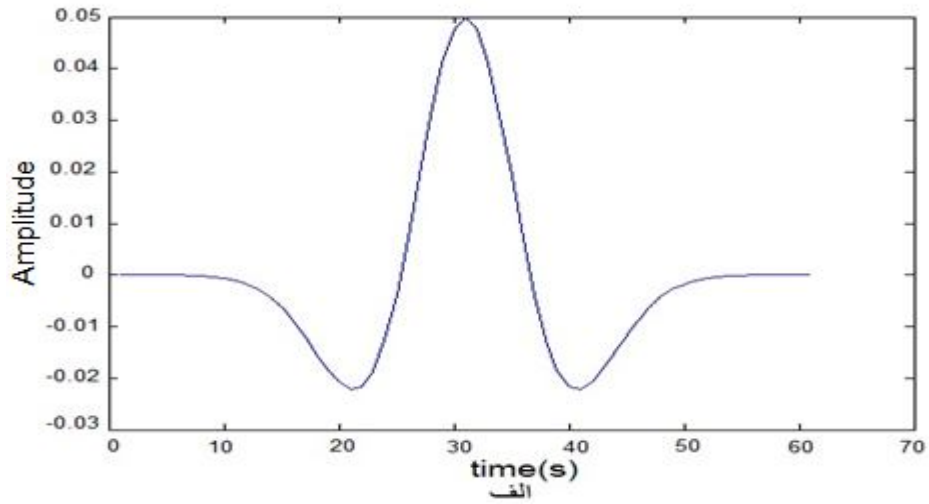
که در این رابطه w موجک مورد نظر، f فرکانس غالب و t زمان نمونه برداری است.

جدول ۱-۴: نمونه و مقدارهای سری بازتاب جهت ساخت ردلرزه.

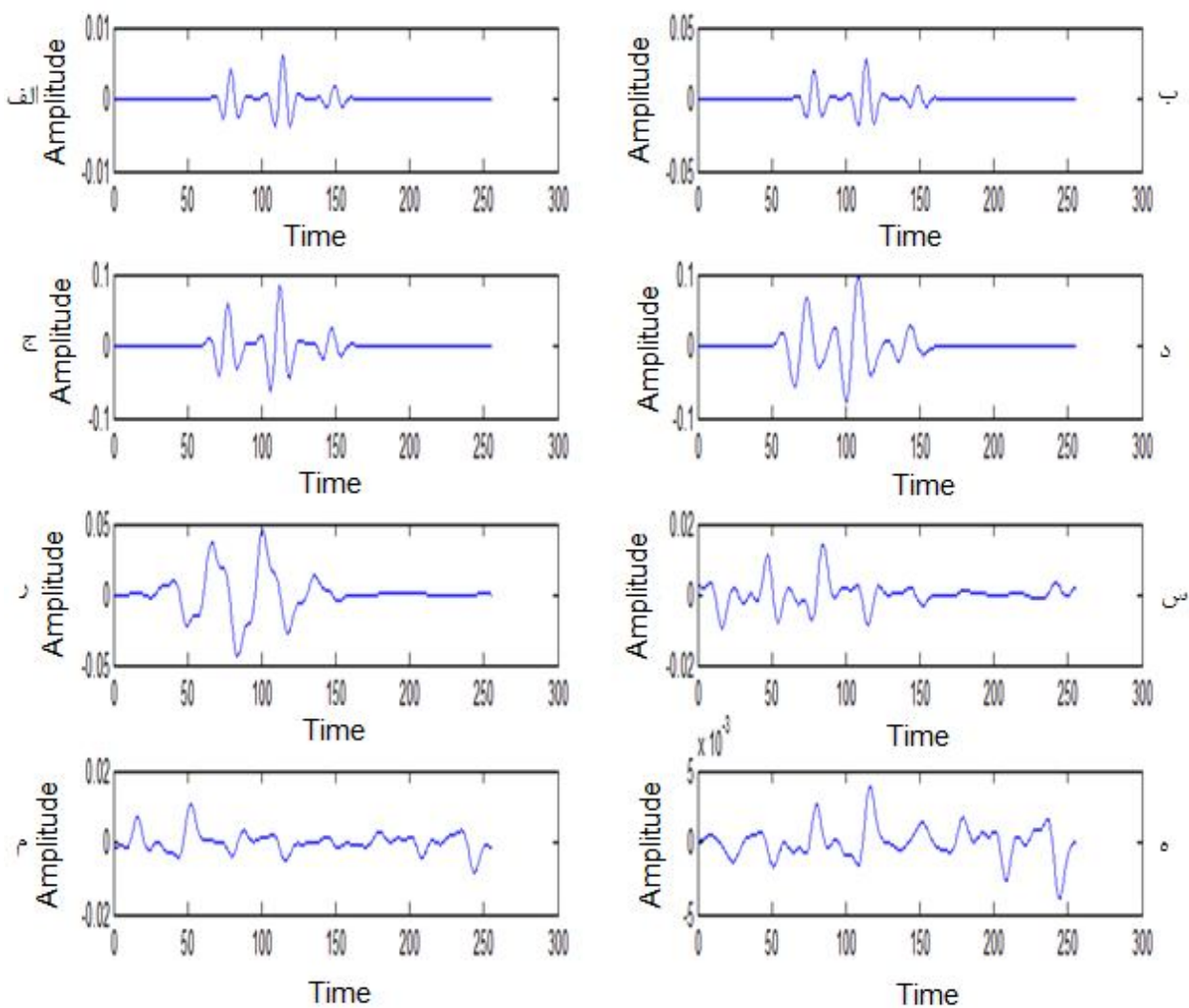
مقدار اختصاص یافته	نمونه زمانی
0.7	50
1	80
0.3	120

در مرحله بعد، ردلرزه بدست آمده را به حیطة موجک برده و از آن تبدیل موجک گرفته می شود. در اینجا برای اینکه ردلرزه مورد نظر به حیطة موجک برده شود و در مقیاس های مختلف تجزیه شده است. شکل ۳-۴، نتایج هفت مرحله تجزیه ردلرزه با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا را از چپ به راست نشان می دهد. این روش برای بازسازی مقادیری که از دست رفته است انجام می شود.

¹ synthetic



شکل ۴-۲، الف) موجک. ب) سری بازتاب. ج) رد لرزه.



شکل ۳-۴. مشاهده هفت مرحله تجزیه ردلرزه ورودی با تبدیل موجک گسسته پایا از چپ به راست: الف) ردلرزه ورودی. ب) مرحله اول تجزیه ردلرزه ورودی. ج) مرحله دوم تجزیه ردلرزه ورودی. د) مرحله سوم تجزیه ردلرزه ورودی. ر) مرحله چهارم تجزیه ردلرزه ورودی. س) مرحله پنجم تجزیه ردلرزه ورودی. م) مرحله ششم تجزیه ردلرزه ورودی. ه) مرحله هفتم تجزیه ردلرزه ورودی.

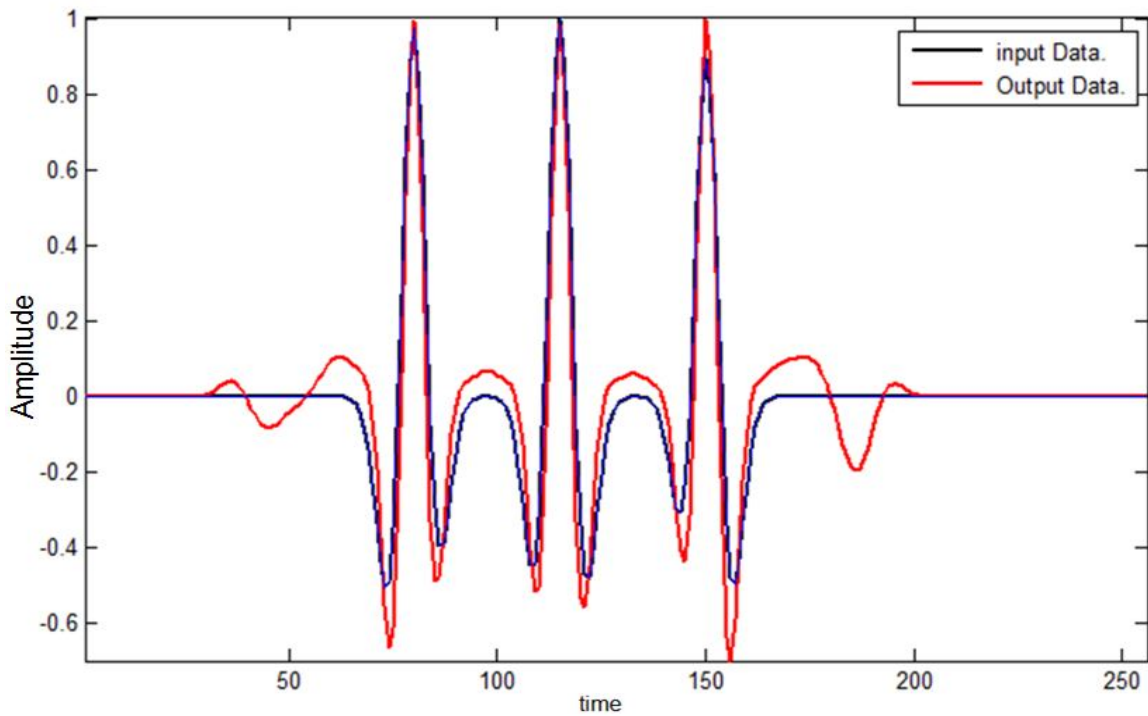
همان‌طور که در شکل ۴-۴، نشان داده شده است، با استفاده از الگوریتم گفته شده، سه بازتابنده را نشان می‌دهد که با یکدیگر تداخل کرده‌اند. در این شکل ردلرزه ورودی سیاه رنگ و ردلرزه خروجی قرمز رنگ است. این روش به خوبی توانسته است که مرزهای تداخل را مشخص کند و موجک فشردگی قابل قبولی را داراست. با مشاهده شکل ۴-۴، موجک مورد نظر حداقل ۱۰ درصد فشردگی را داراست. این فشردگی عاملی برای افزایش باند فرکانسی و همچنین قدرت تفکیک است، که از این ویژگی در روش انجام شده در این پایان‌نامه استفاده شده است. در شکل ۴-۴، طیف دامنه را مشاهده می‌کنید که در این طیف ارتقای فرکانسی و افزایش دامنه فرکانس‌های بالا را کاملاً نشان می‌دهد. طیف دامنه ورودی سیاه رنگ و طیف دامنه خروجی قرمز رنگ است.

در اینجا لازم به ذکر است اشاره شود که دیگر روش‌های انجام شده جهت افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای مبتنی بر مدلی پهنای باند فرکانسی را افزایش داده شده و در نتیجه افزایش قدرت تفکیک افزایش پیدا کرده است، یکی از این روش‌ها که می‌توان اشاره کرد، روش (راوات^۱، ۲۰۱۰)، با استفاده از تابع کوهرنت^۲ پهنای باند فرکانسی را نیز افزایش داده است، و از این روش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای را افزایش داده است. اما روشی که در این پایان‌نامه انجام شده است، روشی وابسته به داده است. این روش در واقع مبتنی بر تغییرات روی داده مورد نظر و در نتیجه افزایش پهنای باند و همچنین افزایش دامنه فرکانس‌های بالا که قبل از اعمال الگوریتم دارای دامنه‌های بسیار ضعیفی بوده‌اند باعث افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای گردیده است. از این نظر این روش با روش‌هایی که قبلاً صورت گرفته است، تفاوت دارد. اگرچه دامنه فرکانس‌های پایین اندکی کاهش یافته است، چون هدف افزایش قدرت تفکیک و در نتیجه آن تشخیص لایه‌های نازک موجود در مقطع لرزه‌ای می‌باشد، لذا کاهش دامنه فرکانس‌های پایین اهمیت کمتری برای ما جهت افزایش قدرت تفکیک و تشخیص لایه‌های

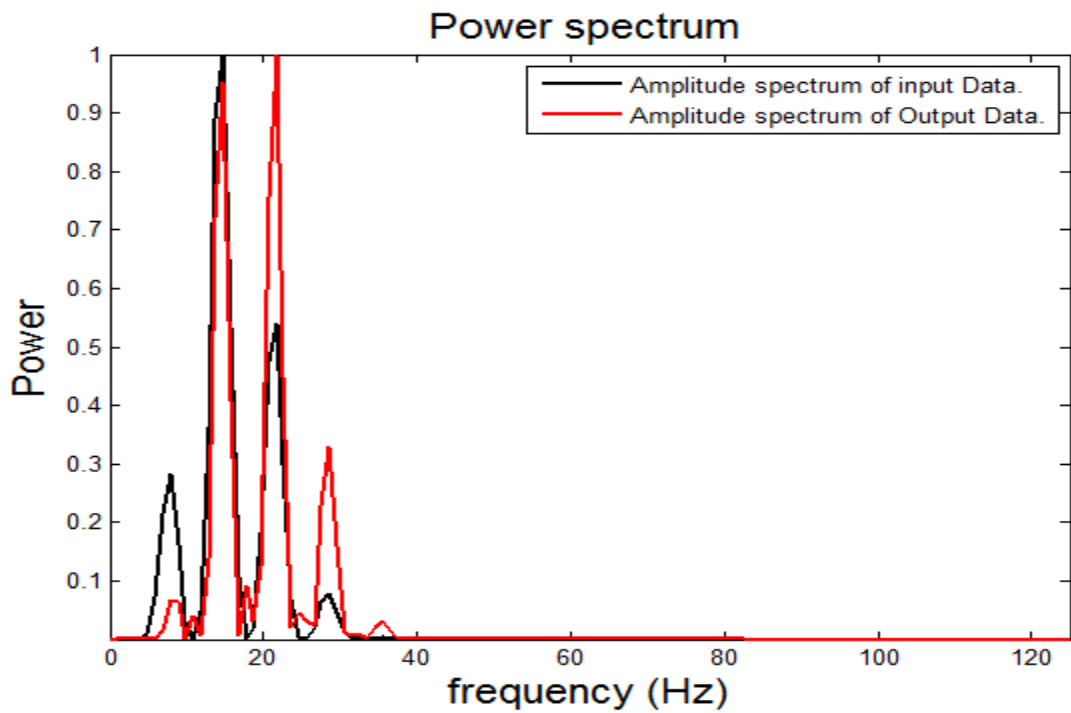
¹Rawat

²Coherent manner

نازک را دارد. برای مشاهده این نتایج می توان به شکل های ۴-۱۳ تا ۴-۱۹، که روی مقطع لرزه ای واقعی اعمال شده است مشاهده کرد.

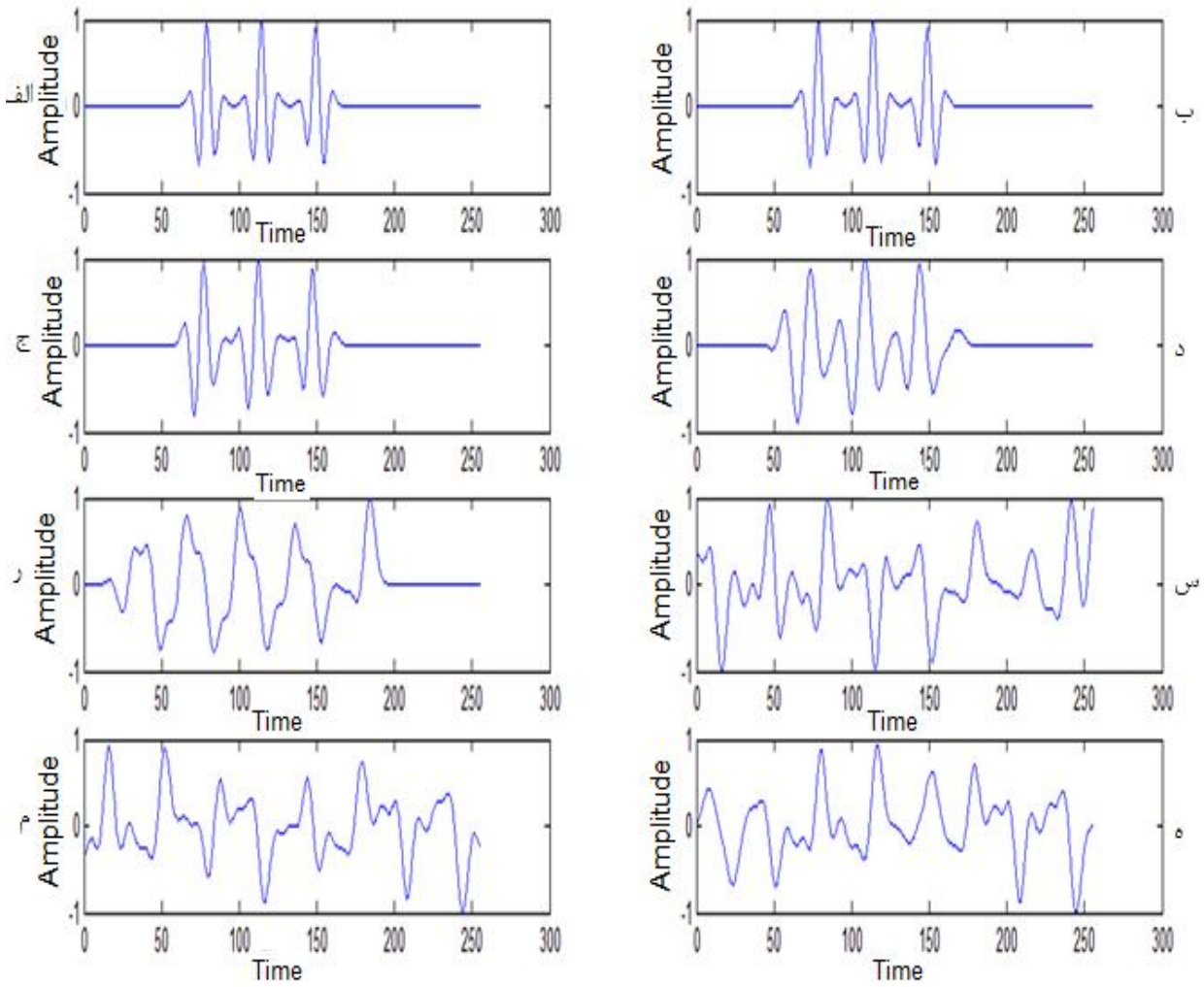


شکل ۴-۴، تداخل سه بازتابنده با یکدیگر (رولرزه ورودی سیاه رنگ و رولرزه خروجی قرمز رنگ).



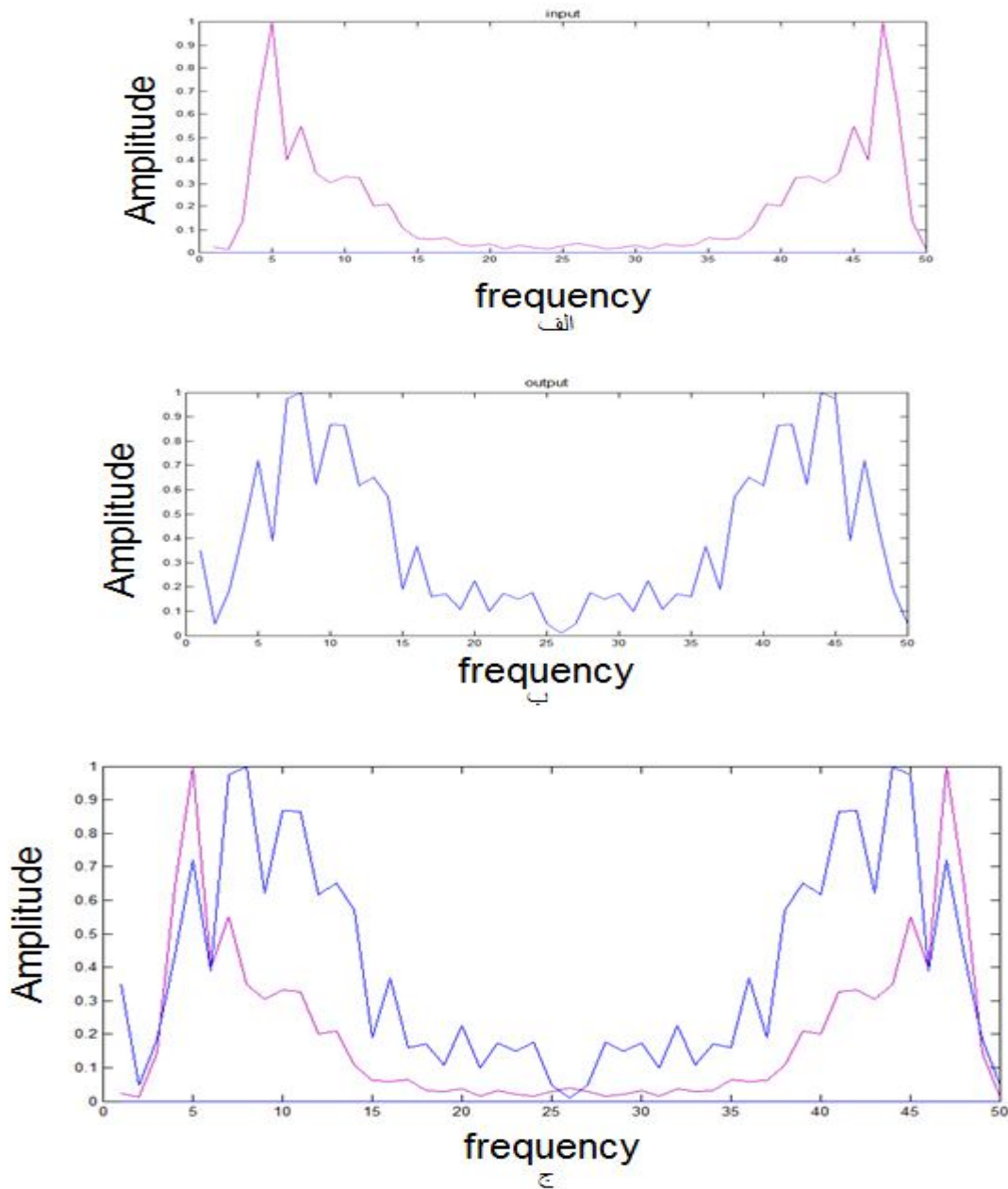
شکل ۴-۵، طیف دامنه که در این طیف ارتقای فرکانسی را نشان می دهد (طیف دامنه ورودی سیاه رنگ و طیف دامنه خروجی قرمز رنگ).

شکل ۴-۶، هفت مرحله تجزیه ردلرزه شکل ۴-۳، بعد از اعمال الگوریتم می‌باشد. با مقایسه این دو شکل می‌توان به افزایش دامنه در فرکانس‌های بالا ردلرزه نشان داده شده در شکل ۴-۶، پی برد. این افزایش دامنه باعث تشدید فرکانس‌های بالا و در نتیجه آن افزایش قدرت تفکیک می‌گردد.



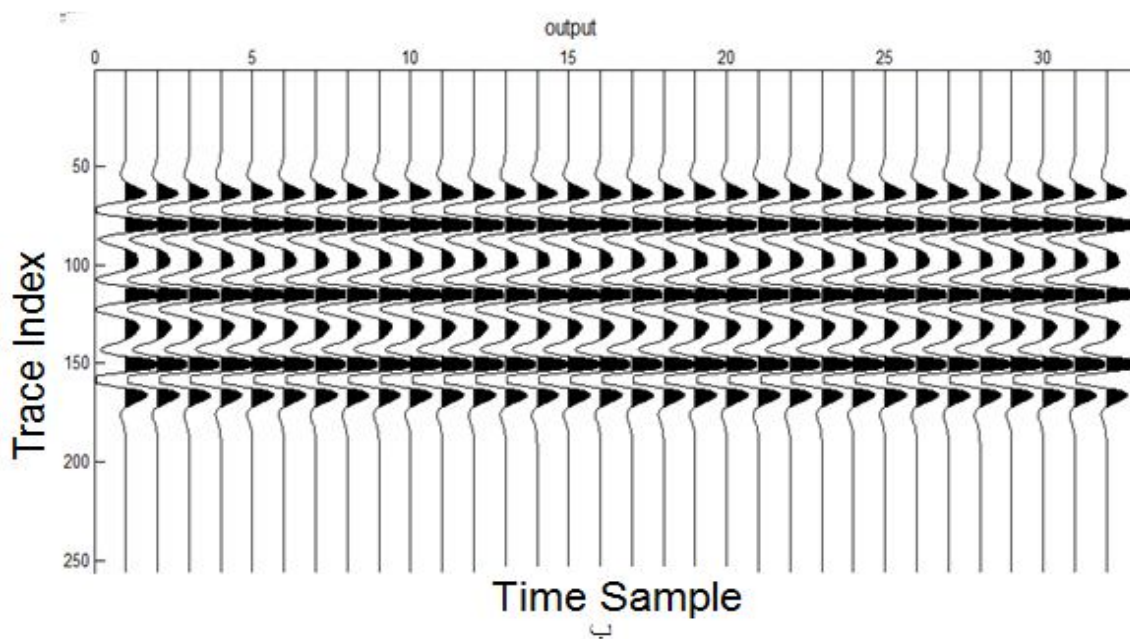
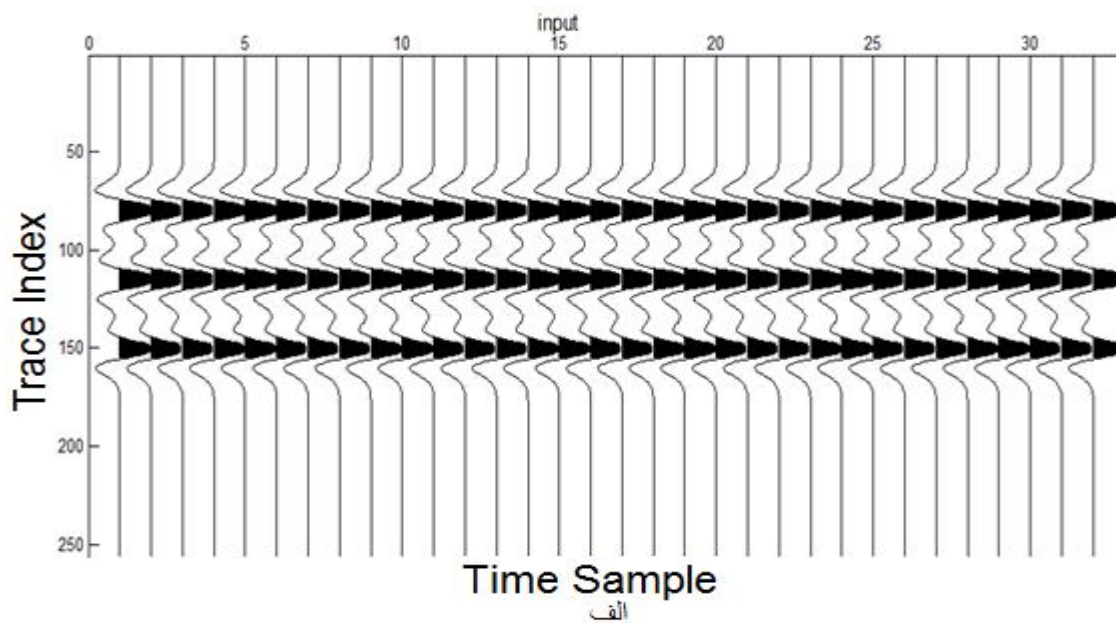
شکل ۴-۶، مشاهده هفت مرحله تجزیه ردلرزه ورودی شکل ۴-۳، بعد از اعمال الگوریتم از چپ به راست: الف) ردلرزه ورودی. ب) مرحله اول تجزیه ردلرزه ورودی. ج) مرحله دوم تجزیه ردلرزه ورودی. د) مرحله سوم تجزیه ردلرزه ورودی. ر) مرحله چهارم تجزیه ردلرزه ورودی. س) مرحله پنجم تجزیه ردلرزه ورودی. م) مرحله ششم تجزیه ردلرزه ورودی. ه) مرحله هفتم تجزیه ردلرزه ورودی.

در ادامه تبدیل فوریه ردلرزه مورد نظر گرفته می‌شود، ردلرزه ورودی و ردلرزه خروجی در شکل زیر نشان داده شده است. شکل (الف-۷-۴)، ردلرزه ورودی و شکل (ب-۷-۴)، ردلرزه خروجی و شکل (ج-۷-۴) مقایسه بین ردلرزه ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. این شکل نیز نشان دهنده افزایش دامنه ردلرزه مورد نظر نیز می‌باشد که ردلرزه خروجی نسبت به ردلرزه ورودی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. ردلرزه ورودی قرمز رنگ و ردلرزه خروجی آبی رنگ است.



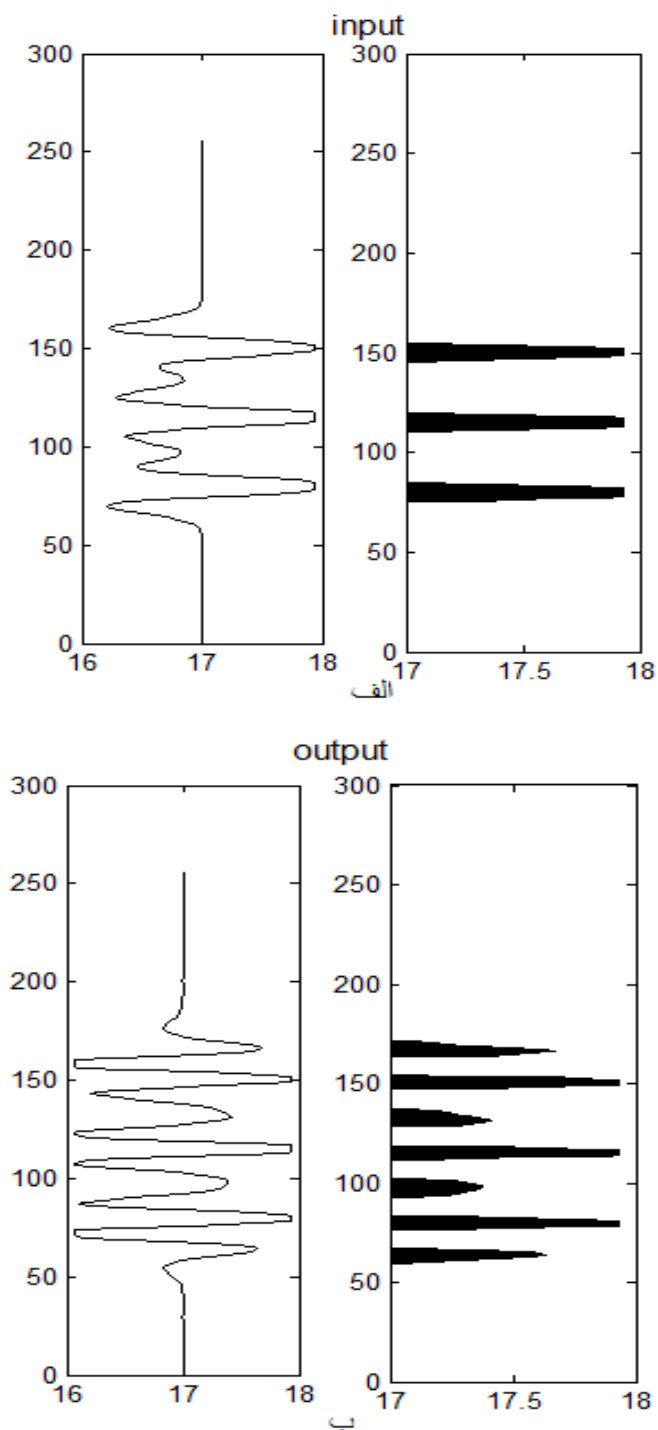
شکل ۷-۴، تبدیل فوریه ردلرزه: الف) ردلرزه ورودی، ب) ردلرزه خروجی، ج) مقایسه بین ردلرزه ورودی و خروجی.

شکل ۴-۸، مقطع داده مصنوعی را نشان می‌دهد. در این شکل به خوبی می‌توان دید که لایه‌هایی که در مقطع داده مصنوعی ورودی مشخص نبود، در مقطع داده مصنوعی خروجی نمایان شده‌اند. شکل (۴-۸-الف)، مقطع ورودی و شکل (۴-۸-ب) مقطع خروجی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸، مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.

در شکل ۴-۹، بزرگ‌نمایی ردلرزه‌ها از مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی شکل ۴-۸، را نشان داده است. شکل (۴-۹-الف)، بزرگ‌نمایی مقطع ورودی و شکل (۴-۹-ب)، بزرگ‌نمایی مقطع خروجی را نشان می‌دهد. پیک‌های سیاه رنگ، پیک‌های مثبت ردلرزه در نمونه‌های مشخص شده می‌باشند.



شکل ۴-۹، بزرگ‌نمایی ردلرزه شکل ۴-۸: الف) بزرگ‌نمایی مقطع ورودی. ب) بزرگ‌نمایی مقطع خروجی.

در این قسمت الگوریتم را روی مدل دیگری از داده مصنوعی، به نام مدل گوه‌ای^۱، اعمال، و نتایج را بررسی می‌کنیم.

مدل گوه‌ای که یکی از مدل‌های مناسب جهت نمایش دادن لایه نازک است. این مدل گوه‌ای ساخته شده دارای مشخصات زیر است:

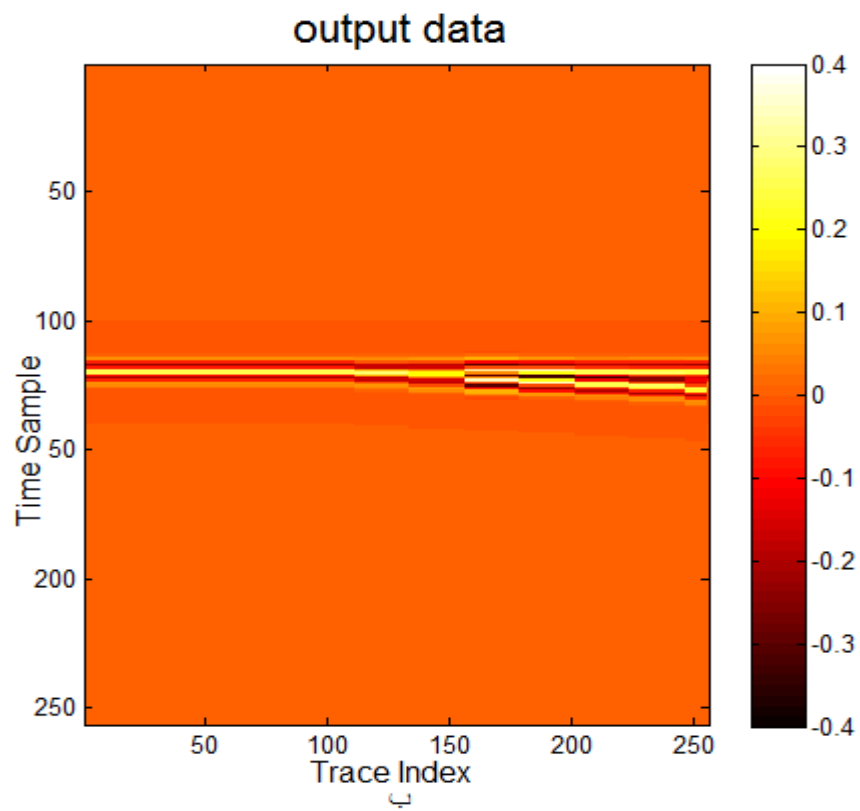
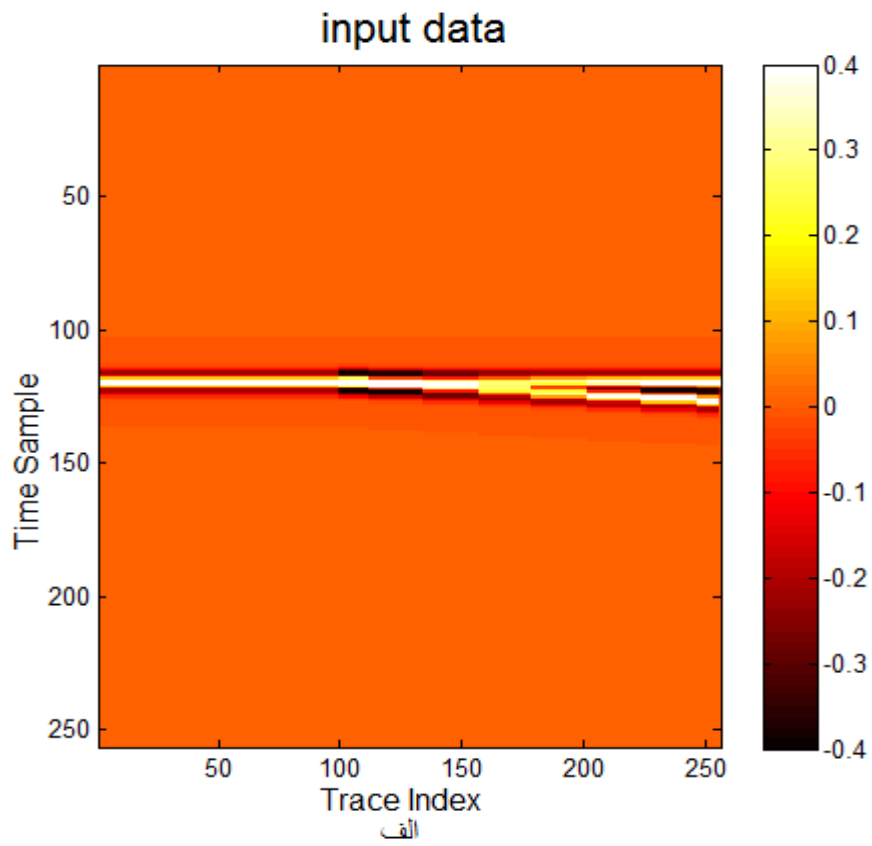
زاویه مورد نظر را جهت مشخص کردن زاویه بین دو لایه زاویه $0/35$ گرفته شده است. برای ساخت این مدل همچنین باید تعداد ردلرزه‌ها و تعداد نمونه‌های زمانی را تعیین کرد که تعداد ردلرزه‌های مدنظر 256 و تعداد نمونه‌ها همچنین نیز 256 می‌باشد. در مرحله بعد زمانی نمونه‌ها و فاصله ردلرزه‌ها تعیین می‌شود که به ترتیب $0/002$ و 40 می‌باشد. در ادامه موقعیت لایه افقی و لایه شیب‌دار را مشخص می‌کنیم که به ترتیب 100 و 120 انتخاب شدند. در انتها سرعت لایه مشخص شد، که برابر 5500 گرفته شد.

شکل‌های $10-4$ و $11-4$ ، مقطع لرزه‌نگاشت مصنوعی را نشان می‌دهد. در شکل $11-4$ ، در مقطع ورودی (شکل $11-4$ -الف)، در قسمتی که با مستطیل مشخص شده است دو لایه کاملاً با هم تداخل کرده‌اند و به صورت یک لایه مشاهده می‌شوند، اما در مقطع خروجی (شکل $11-4$ -ب)، این دو لایه تفکیک شده و به صورت دو لایه جدا از هم قابل تشخیص می‌باشند. شکل $(10-4)$ -الف)، مقطع ورودی و شکل $(10-4)$ -ب)، مقطع خروجی است.

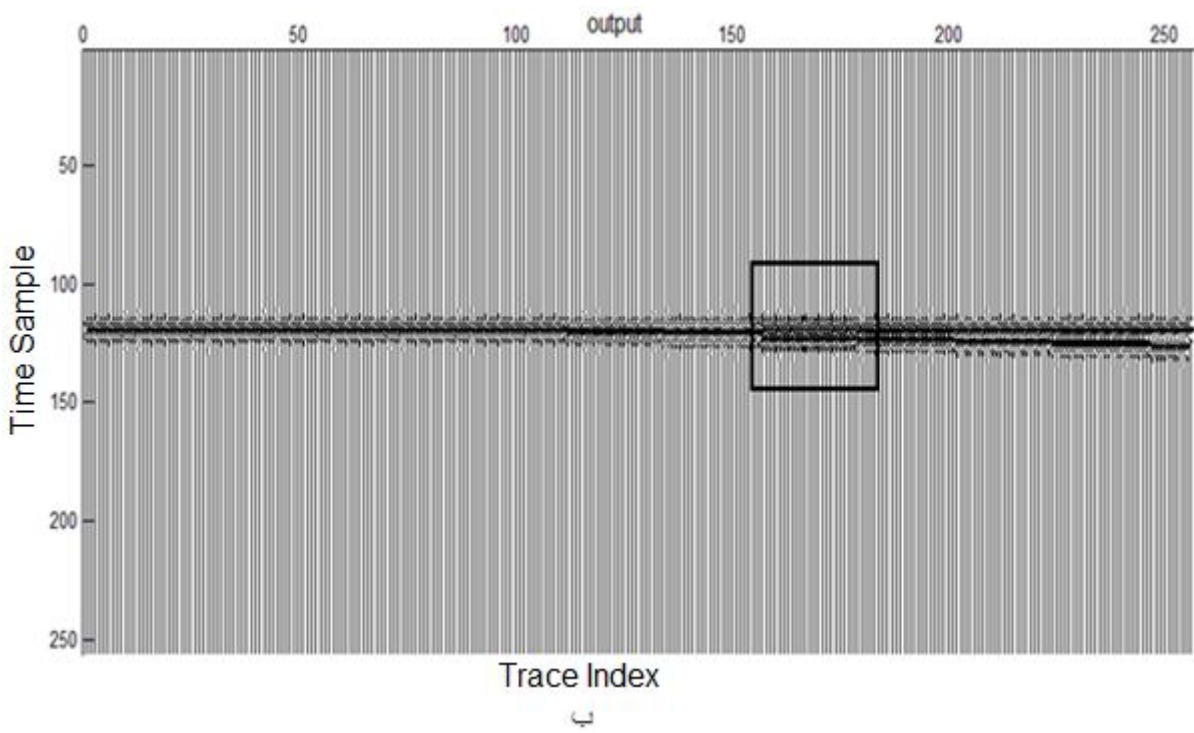
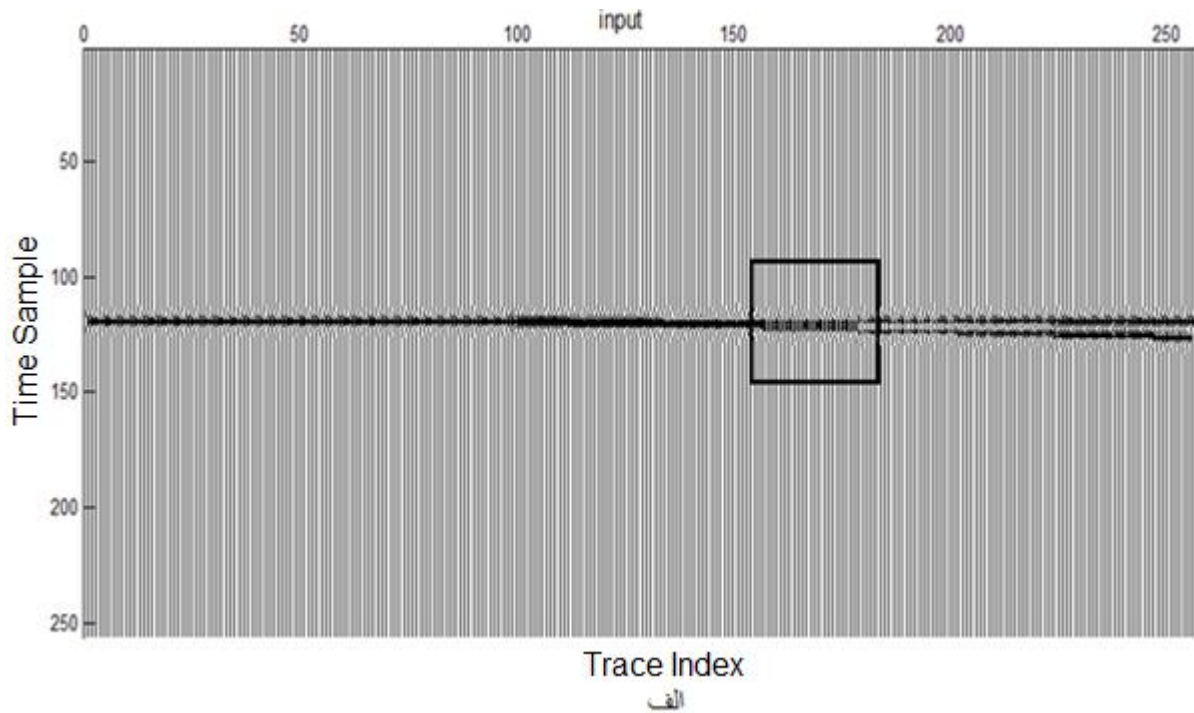
در شکل $12-4$ ، بزرگ‌نمایی از نمونه‌های 155 تا 180 ، مقطع شکل $11-4$ ، را نشان می‌دهد. شکل $(12-4)$ -الف)، مقطع ورودی را نشان می‌دهد. در این شکل دو لایه کاملاً برهم منطبق هستند و به صورت یک لایه نشان داده شده‌اند. شکل $(12-4)$ -ب)، مقطع خروجی را نشان می‌دهد. در این شکل به خوبی می‌توان دو لایه تفکیک شده را مشاهده کرد.

¹ Wedge model

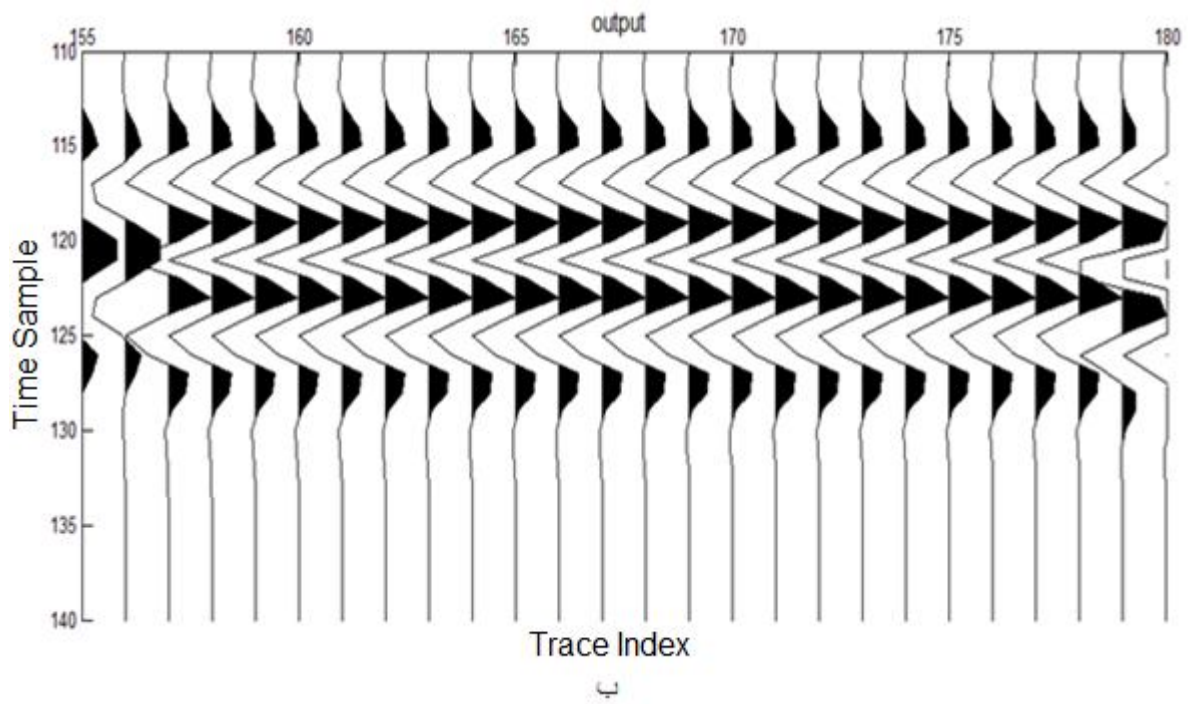
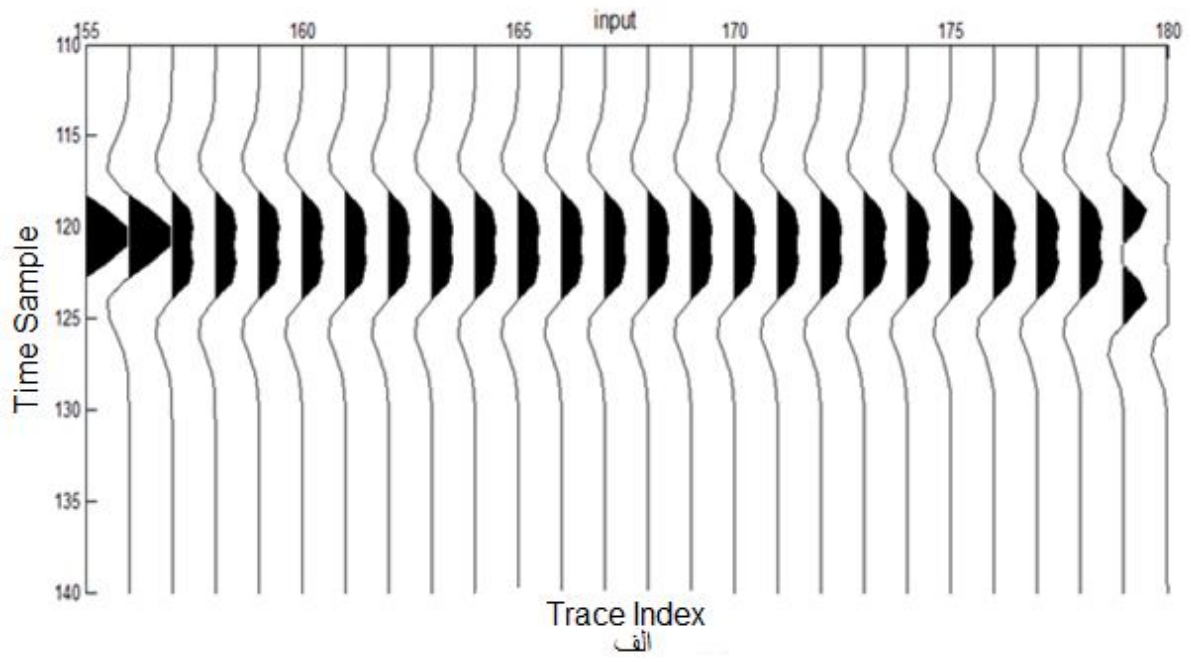
در ادامه طیف دامنه مقطع لرزه‌ای مصنوعی رسم شده است. شکل (۴-۱۳-الف)، طیف دامنه ورودی و شکل (۴-۱۳-ب)، طیف دامنه خروجی را نشان می‌دهد. شکل (۴-۱۳-ج)، مقایسه بین طیف دامنه ورودی و طیف دامنه خروجی را نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان افزایش پهنای باند فرکانسی را مشاهده کرد که این ویژگی باعث افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای و در نتیجه آن تشخیص لایه نازک و لایه‌هایی مانند شکل ۴-۱۳، که با هم تداخل کرده‌اند، می‌شود. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، این روش علاوه بر افزایش پهنای باند فرکانسی، فرکانس‌های بالا که دامنه ضعیفی را دارند، دامنه آنها را تقویت می‌کند از این جنبه با روش‌های دیگر تفاوت دارد. اگرچه ممکن است بخشی از فرکانس‌های پایین دامنه آنها کاهش یابد که این عامل به‌علت کم اهمیت بودن در تشخیص لایه نازک قابل صرف‌نظر است، چون برای تشخیص لایه‌های نازک نیاز به فرکانس‌های بالاتر می‌باشد.



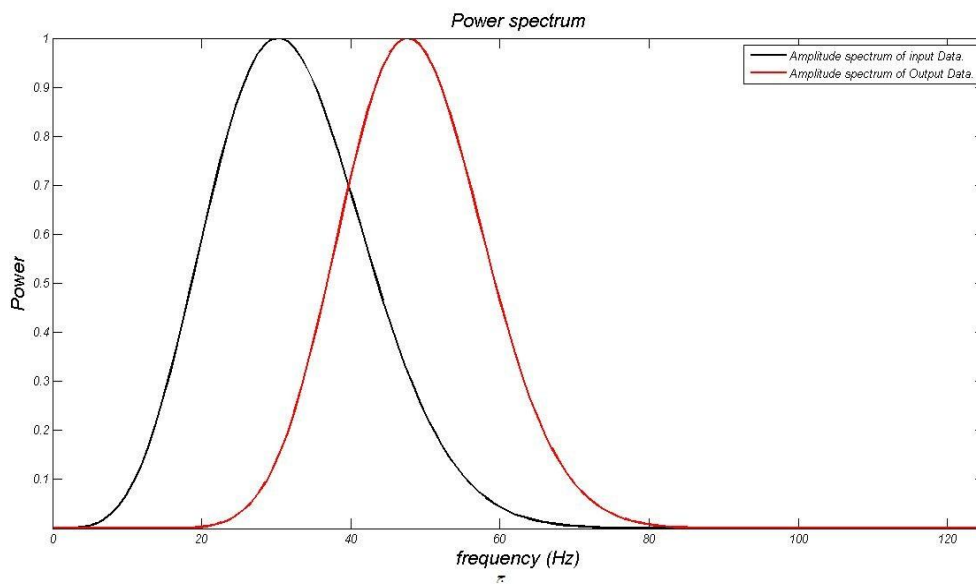
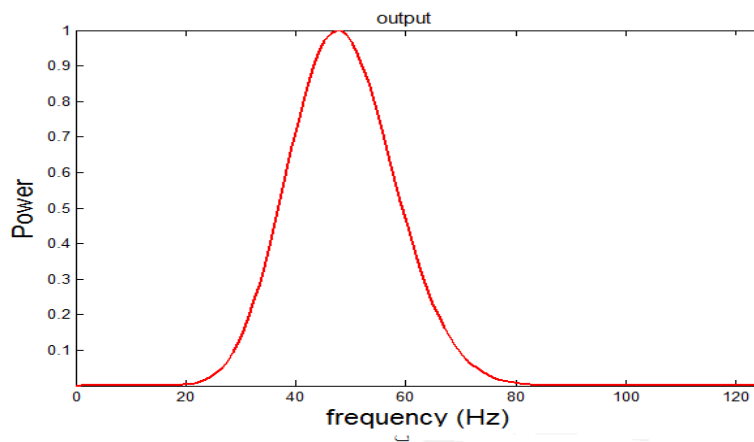
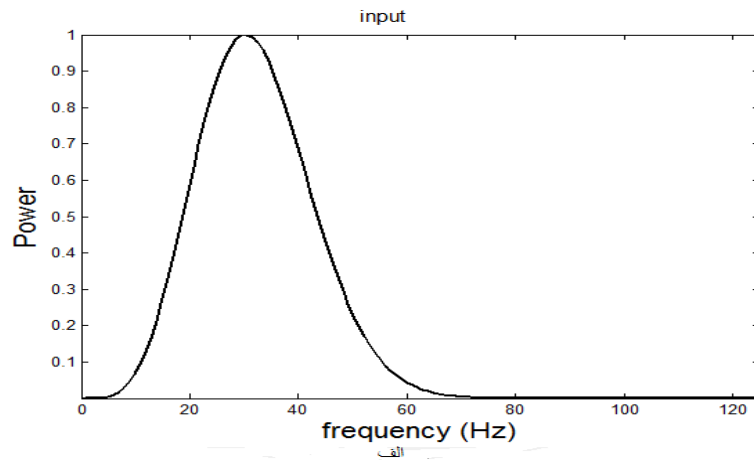
شکل ۴-۱، مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۱۱، مقطع لرزه‌ای داده مصنوعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۱۲، بزرگنمایی مقطع لرزه‌ای مصنوعی شکل ۴-۱۱: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۱۳، طیف دامنه مقطع داده مصنوعی در مدل گوه‌ای: الف) طیف دامنه ورودی. ب) طیف دامنه خروجی. ج) مقایسه بین طیف دامنه ورودی و خروجی.

۴-۴ اعمال روش روی داده واقعی^۱

برای تایید الگوریتم ارائه شده جهت افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای، این الگوریتم روی داده‌های واقعی میدان منصوری اعمال شده است. در ادامه به بررسی نتایج آن پرداخته شده است. مقطع لرزه‌ای واقعی استفاده شده دارای ۶۴ نمونه، ۲۵۶ ردلرزه و فاصله نمونه‌برداری ۴ میلی ثانیه می‌باشد. شکل ۴-۱۴، مقطع ورودی و خروجی افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی را نشان می‌دهد. شکل ۴-۱۵، مقطع رنگی داده واقعی را نشان می‌دهد که قسمت‌هایی که قدرت تفکیک افزایش یافته مشخص شده است. به عنوان مثال در نمونه‌های زمانی محدوده ۱۰ تا ۲۰ یا ۳۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۵۰، به خوبی قدرت تفکیک بالا رفته و لایه‌هایی که در مقطع ورودی مشخص نبوده‌اند در مقطع خروجی کاملاً مشخص و واضح هستند.

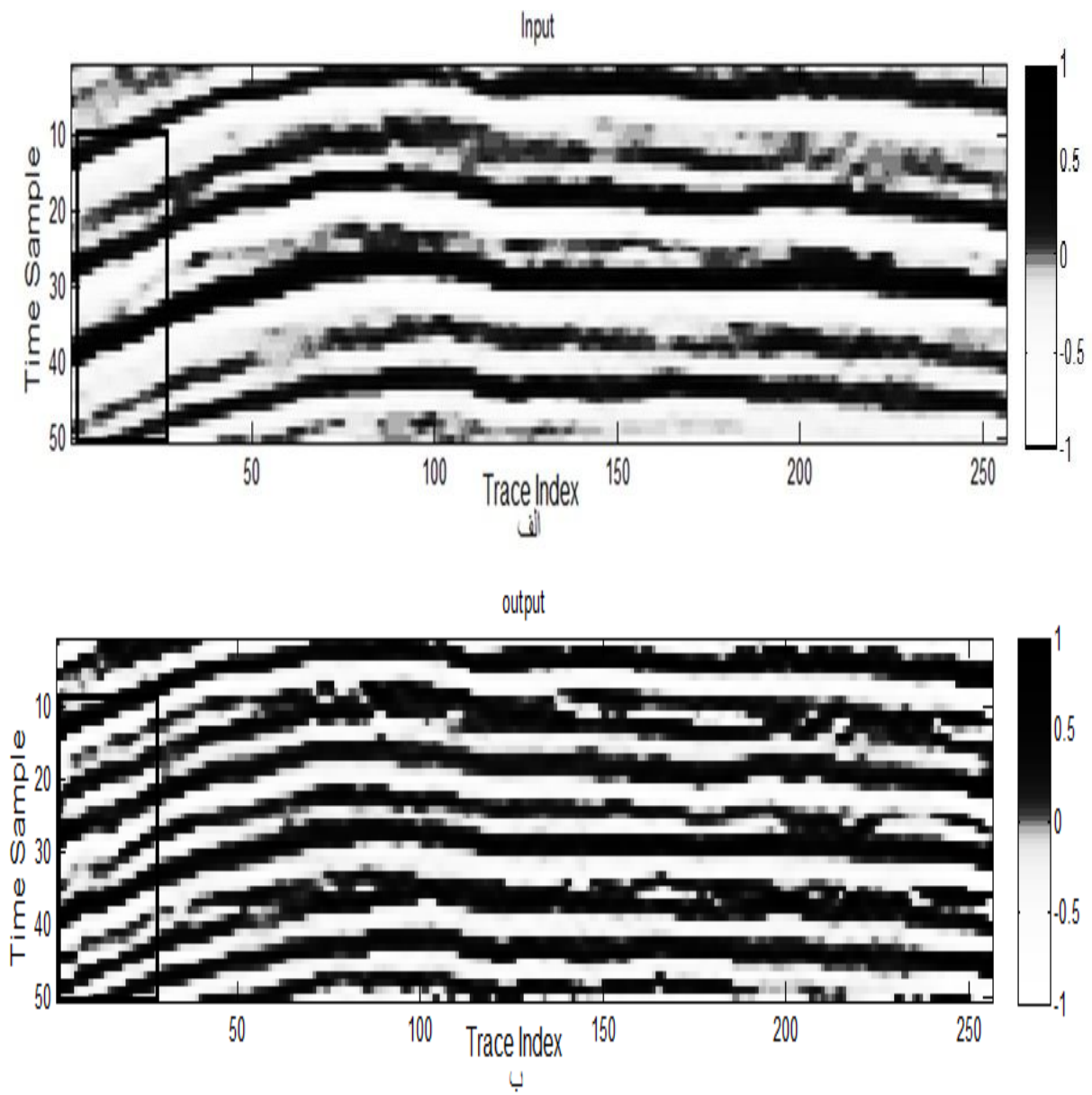
در شکل ۴-۱۶، مقطع^۲ برانبارش^۳ از داده‌های لرزه‌ای نشان داده شده است. این مقطع نمونه‌های ۱۰ تا ۵۰ و ردلرزه‌های تا ۲۵ را نشان داده است. شکل (۴-۱۶-الف)، مقطع لرزه‌ای ورودی را نشان می‌دهد. با اعمال الگوریتم روی این مقطع می‌توان افزایش قدرت تفکیک و در نتیجه آن لایه‌های نازک که در مقطع لرزه‌ای ورودی ناشناخته بودند، مشاهده کرد. نتایج این بررسی در شکل (۴-۱۶-ب)، مقطع لرزه‌ای خروجی نشان داده شده است. در این شکل در نمونه‌های ۱۰ تا ۲۰ و ۳۵ و ۴۵، همان‌گونه که مشخص شده‌اند و مشاهده می‌کنید، در مقطع ورودی لایه‌ای در این قسمت‌ها مشخص نبوده و شناسایی نشده است، اما در در مقطع خروجی به خوبی در این سه قسمت لایه‌ها بازسازی شده‌اند.

شکل ۴-۱۷، بزرگ‌نمایی ردلرزه در محدوده ۱۸ تا ۲۰ را نشان می‌دهد. مقطع ورودی (شکل ۴-۱۷-الف)، و مقطع خروجی (شکل ۴-۱۷-ب)، نمایان شده‌اند و به راحتی قابل رویت می‌باشند. لازم به ذکر است که پیک‌های مشکی پیک‌های مثبت در ردلرزه‌ها هستند.

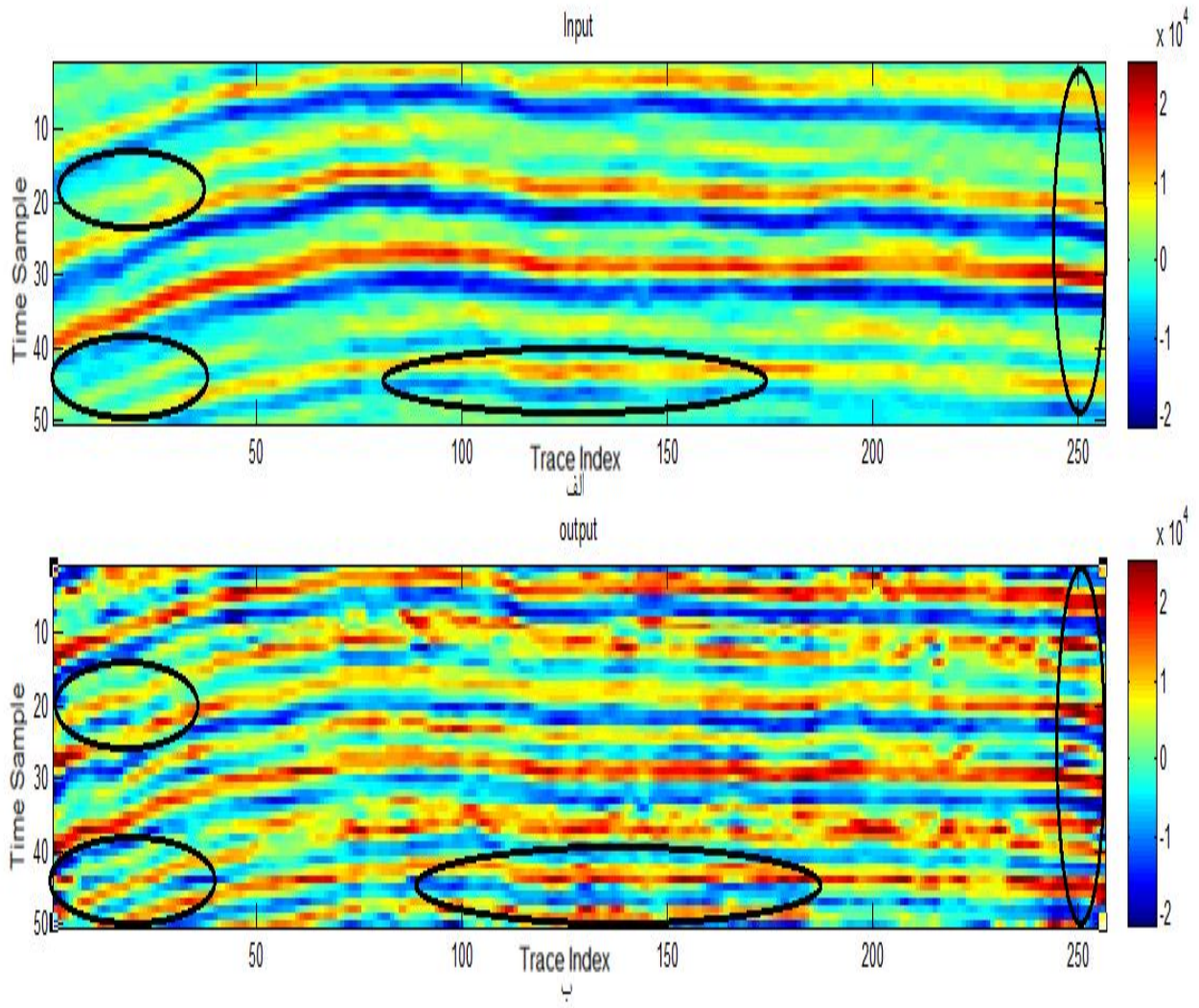
¹ Real

² Section

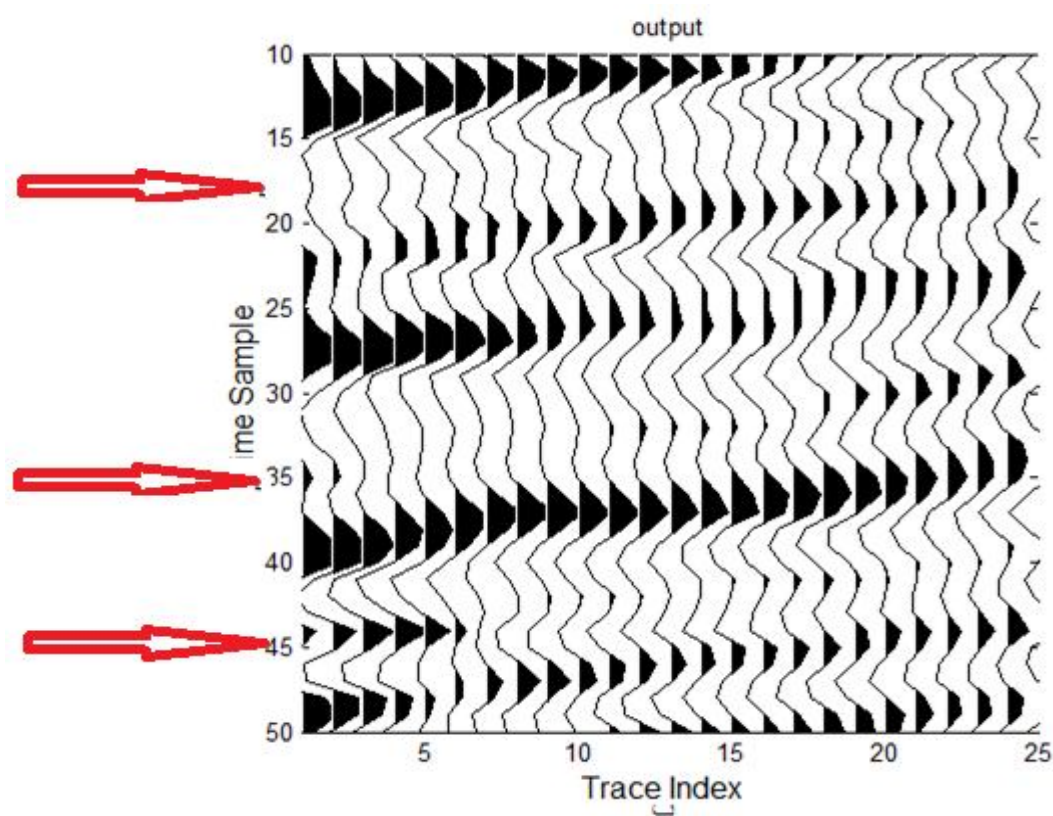
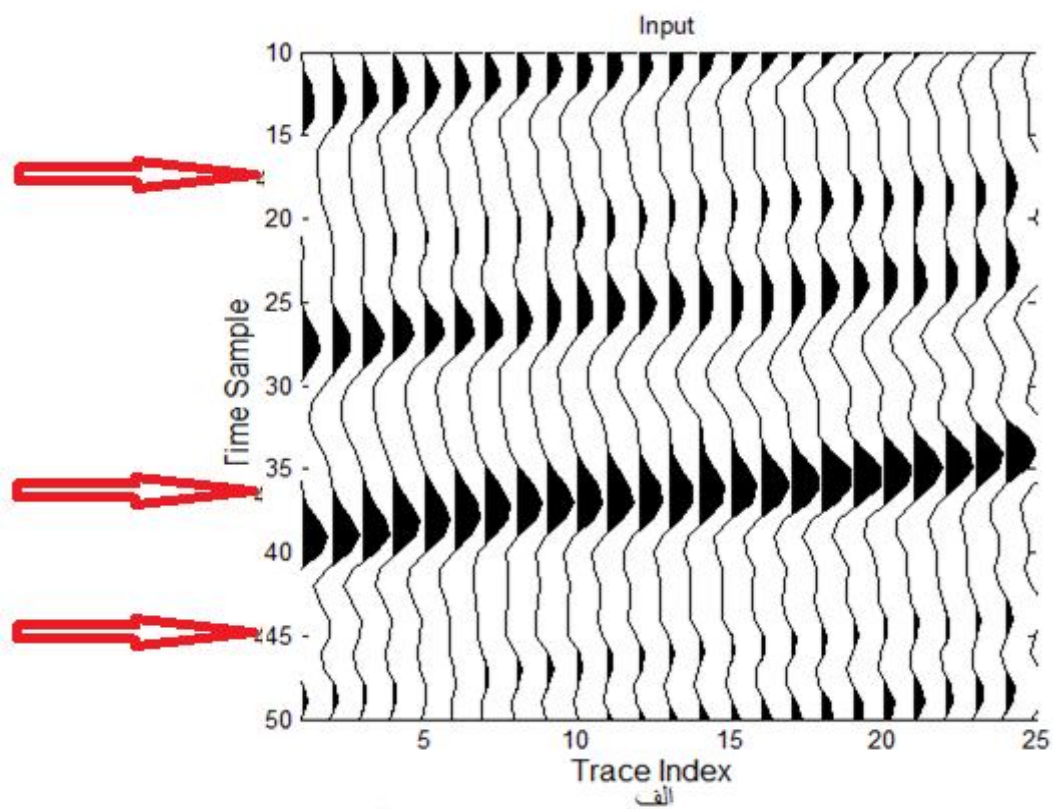
³ Stack



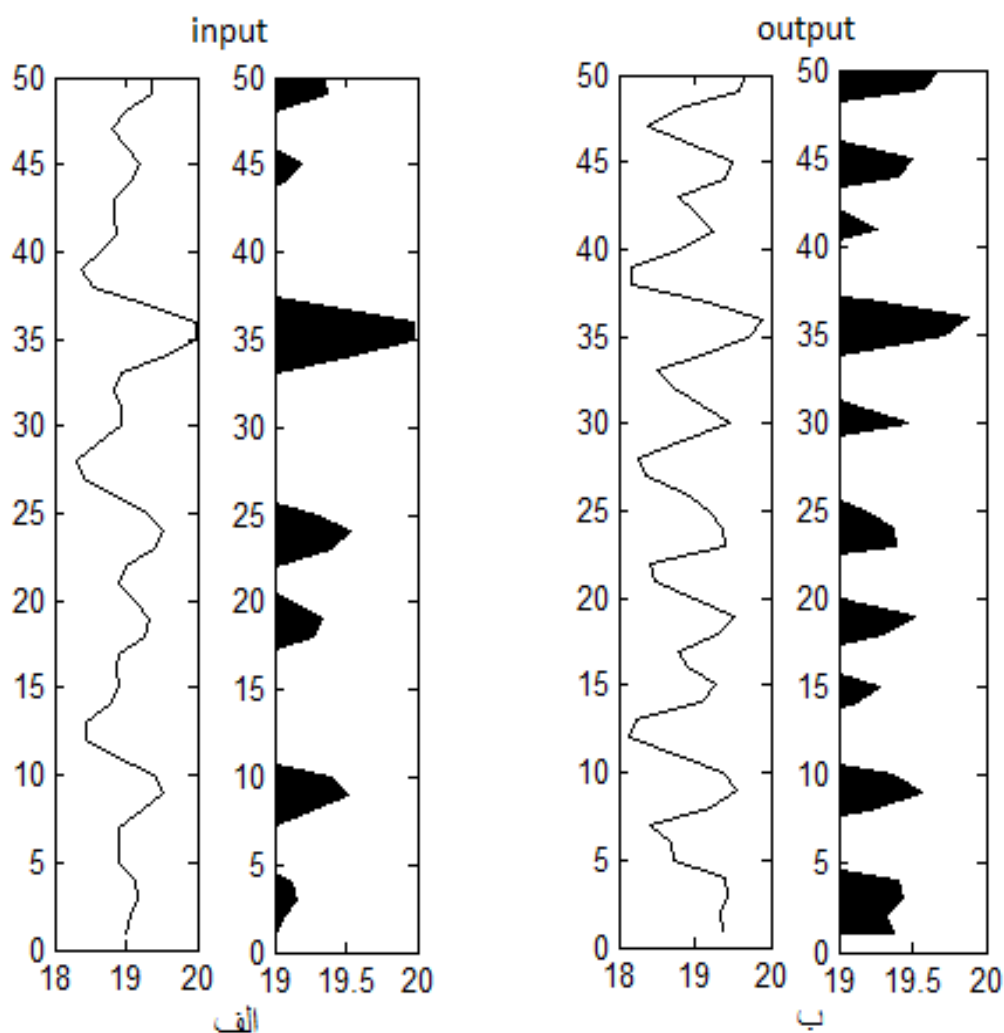
شکل ۴-۱۴، افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۱۵، مقطع رنگی افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.

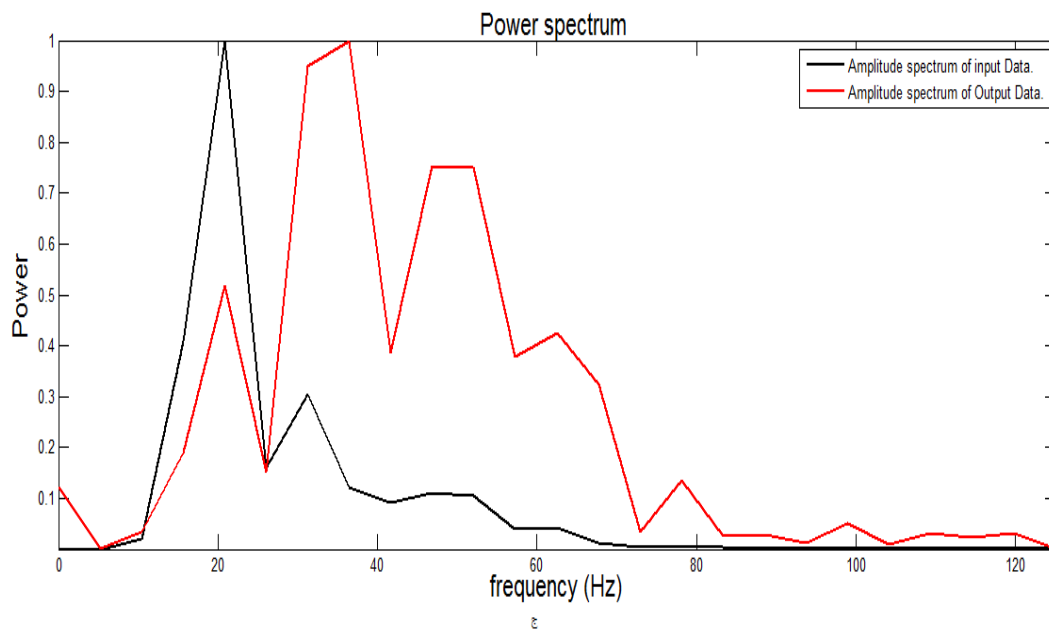
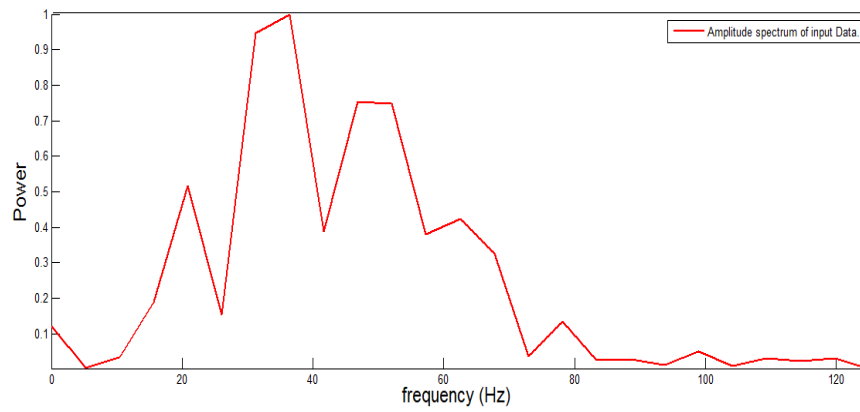
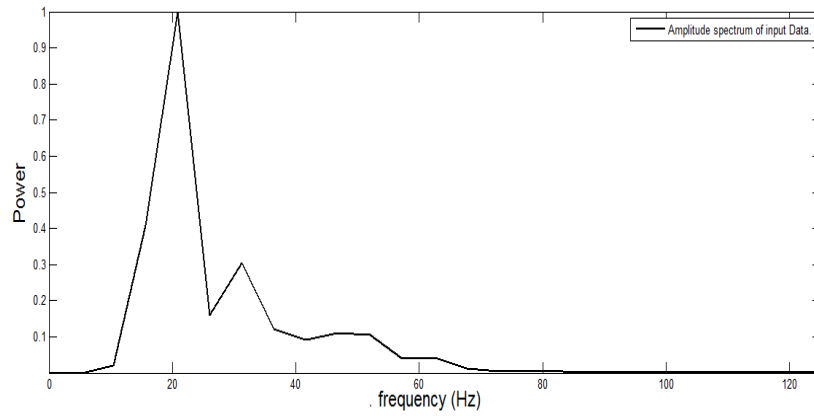


شکل ۴-۱۶، مقطع لرزه‌ای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۱۷، بزرگ‌نمایی مقطع لرزه‌ای شکل ۴-۱۶: الف) مقطع ورودی. ب) مقطع خروجی.

شکل (۴-۱۸-الف)، بیانگر طیف دامنه ورودی داده لرزه‌ای واقعی است، شکل (۴-۱۸-ب)، طیف دامنه خروجی داده لرزه‌ای واقعی را نشان می‌دهد، شکل (۴-۱۸-ج)، مقایسه بین طیف دامنه ورودی و طیف دامنه خروجی داده‌های واقعی را نشان می‌دهد که این افزایش پهنای باند فرکانسی و افزایش دامنه فرکانس‌های بالا را می‌توان به خوبی مشاهده کرد. این افزایش باند فرکانسی باعث افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای می‌گردد. طیف دامنه داده‌های ورودی با رنگ سیاه و طیف دامنه خروجی با رنگ قرمز نشان داده شده است.



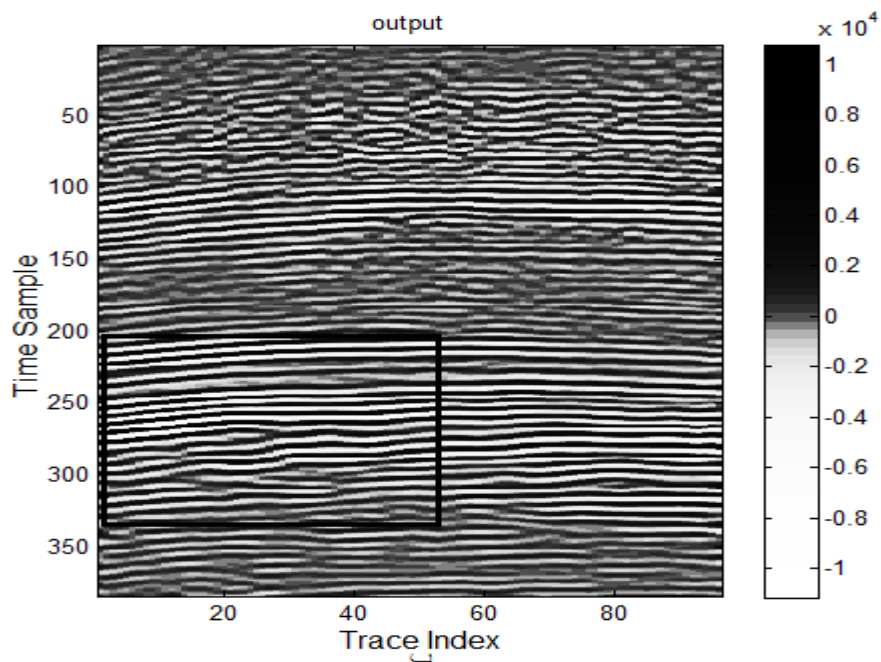
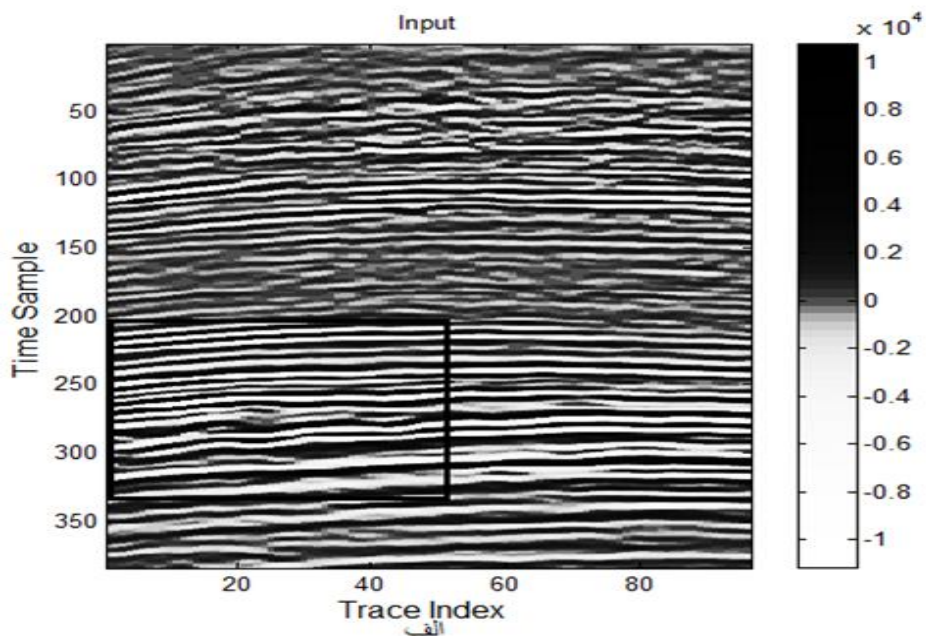
شکل ۴-۱۸، طیف دامنه داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) طیف دامنه ورودی، ب) طیف دامنه خروجی، ج) مقایسه طیف دامنه ورودی و خروجی. رنگ سیاه طیف دامنه داده‌های ورودی و رنگ قرمز طیف دامنه خروجی.

در ادامه الگوریتم را روی یک مقطع لرزه‌ای دیگر پیاده‌سازی کردیم که نتایج حاصل تایید کننده این روش جهت افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای است.

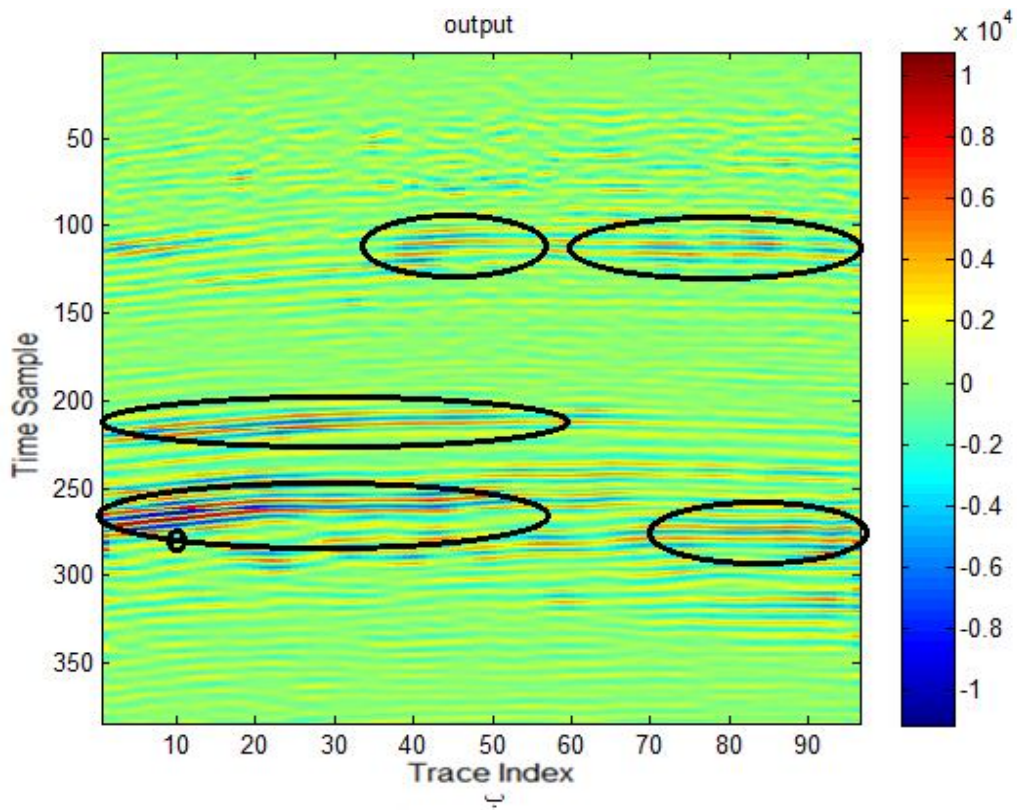
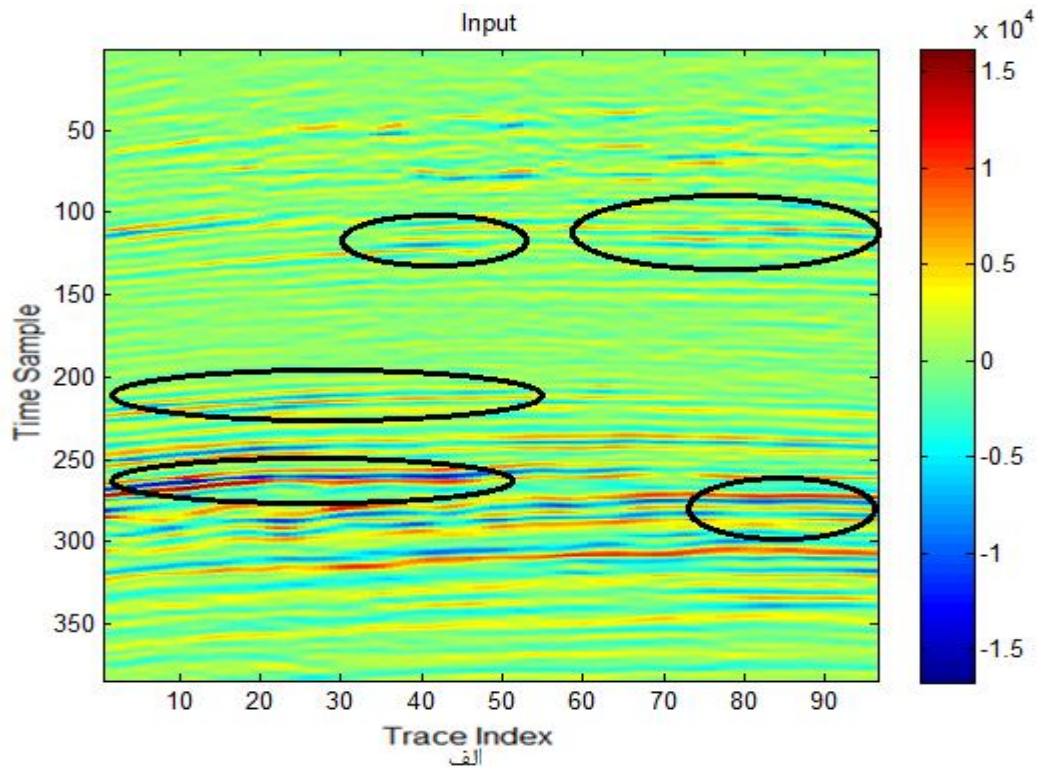
مقطع مورد نظر از داده‌های میدان منصوری با ۴۳۱ نمونه و ۱۰۰ ردلرزه، با فاصله زمانی ۴ میلی ثانیه می‌باشد. شکل ۴-۱۹، مقطع لرزه‌ای داده واقعی را نشان می‌دهد. شکل (۴-۱۹-الف)، مقطع لرزه‌ای ورودی و شکل (۴-۱۹-ب)، مقطع لرزه‌ای خروجی را نشان می‌دهد. در این مقطع اگرچه ممکن است در فرکانس‌های پایین تغییراتی در مقطع داده شده که حاوی اطلاعاتی بوده است، می‌توان این گونه بیان کرد که، چون وقتی فرکانس‌های بالا افزایش می‌یابد به تبع آن نوفه نیز افزایش پیدا می‌کند، و چون در فرکانس‌های پایین و نمونه‌های زمانی پایین، تغییرات اندکی داده می‌شود، لذا تاثیرات نوفه بر نمونه‌های زمانی در فرکانس‌های پایین باعث تغییراتی در این قسمت‌ها می‌شود. لازم به ذکر است چون هدف تشخیص لایه‌های نازک است، لذا برای تشخیص لایه‌های نازک فرکانس‌های بالا مورد نیاز هستند و فرکانس‌های پایین برای ما اهمیت کمتری دارند. شکل ۴-۲۰، مقطع رنگی داده واقعی را نشان می‌دهد. در این شکل قسمت‌هایی نشان داده شده‌اند که به خوبی افزایش قدرت تفکیک را نشان داده است. در این شکل با بررسی نمونه‌های زمانی محدوده ۱۰۰ تا ۱۵۰ و ۲۰۰ تا ۳۰۰، تفکیک لایه‌ها و تشخیص آنها از یکدیگر نسبت در مقطع خروجی نسبت به مقطع ورودی را می‌توان به سهولت مشاهده کرد.

برای مشخص شدن بهتر افزایش قدرت تفکیک روی داده واقعی مدل دیگری از مقطع در شکل ۴-۲۱، آورده شده است که به خوبی می‌توان افزایش قدرت تفکیک در مقطع مشاهده کرد. در این مقطع نمونه‌ها از ۲۰۰ تا ۳۲۰ و ردلرزه‌ها تا ۵۰ در نظر گرفته شده است. که محدوده مورد نظر با مستطیل در شکل ۴-۱۹، مشخص شده است. شکل (۴-۲۱-الف)، مقطع ورودی و شکل (۴-۲۱-ب) مقطع خروجی را نشان می‌دهد. در این شکل با مشاهده نمونه‌های زمانی در ۲۰۵، ۲۶۰، ۲۸۵ و ۳۱۵ در خروجی می‌توان بازسازی لایه‌ها را مشاهده نمود که در مقطع ورودی این لایه‌ها وجود نداشته‌اند.

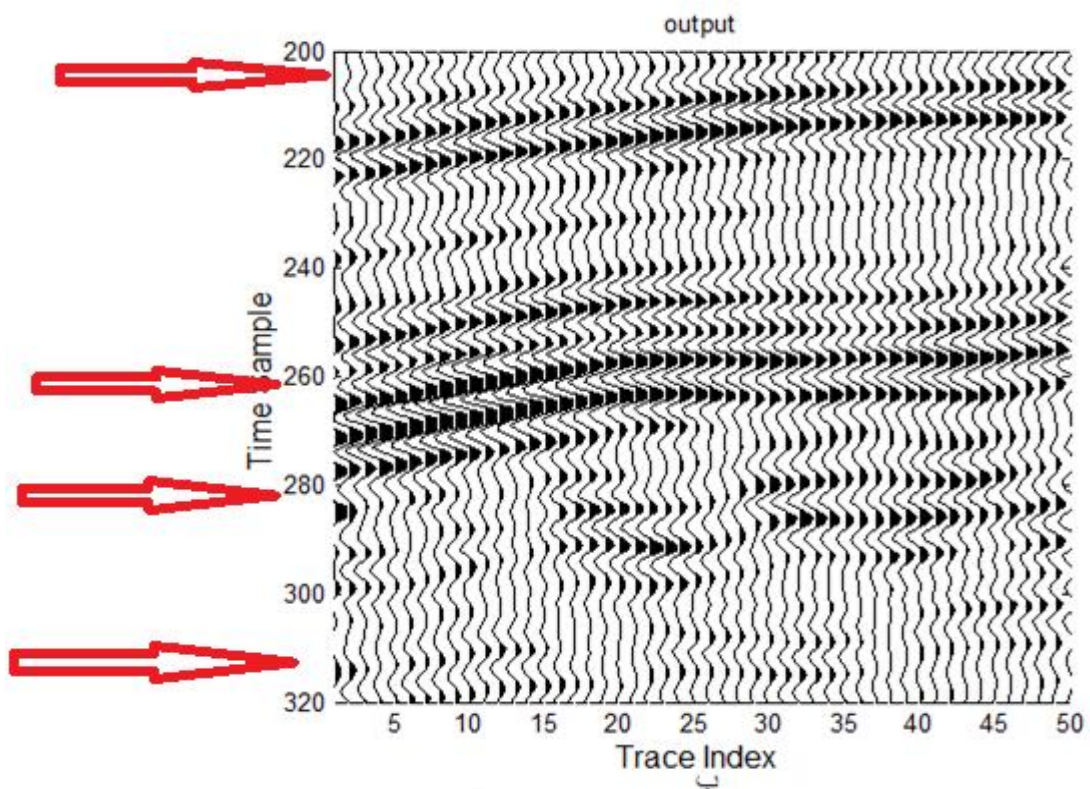
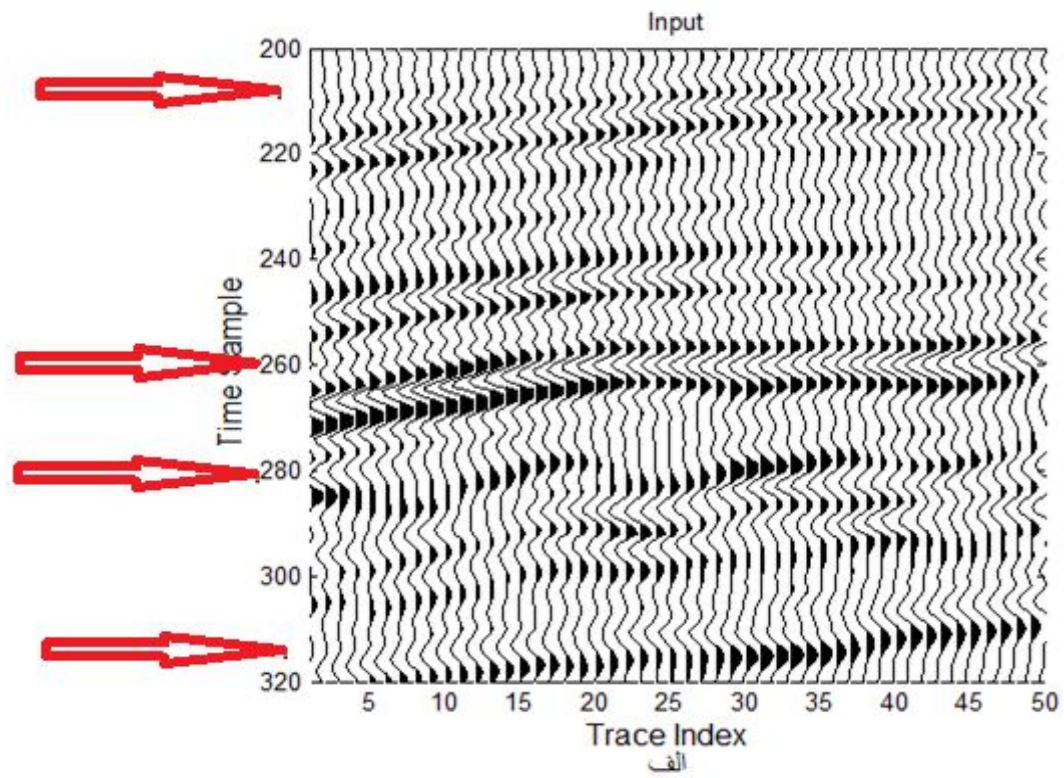
شکل ۴-۲۲، بزرگ‌نمایی مقطع لرزه‌ای در شکل ۴-۲۱، نشان داده است، که ردلرزه‌های ۳۶ تا ۳۶ و ۴۰ تا ۴۴ را بیان می‌کند. شکل (۴-۲۲-الف)، مقطع ورودی و شکل (۴-۲۲-ب)، مقطع خروجی را نشان می‌دهد.



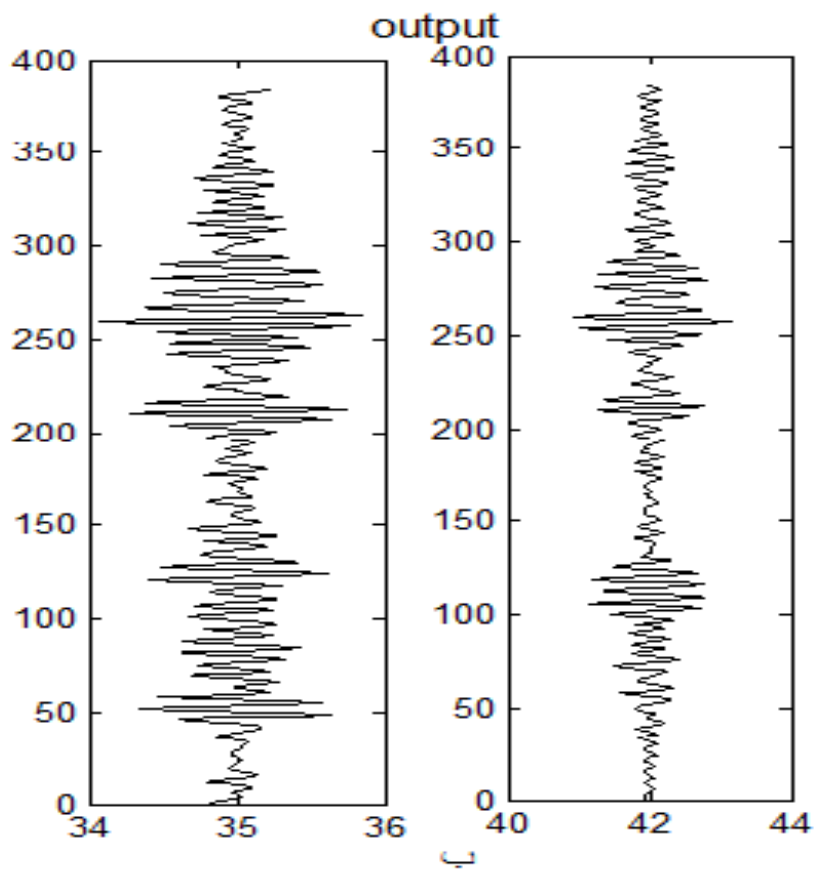
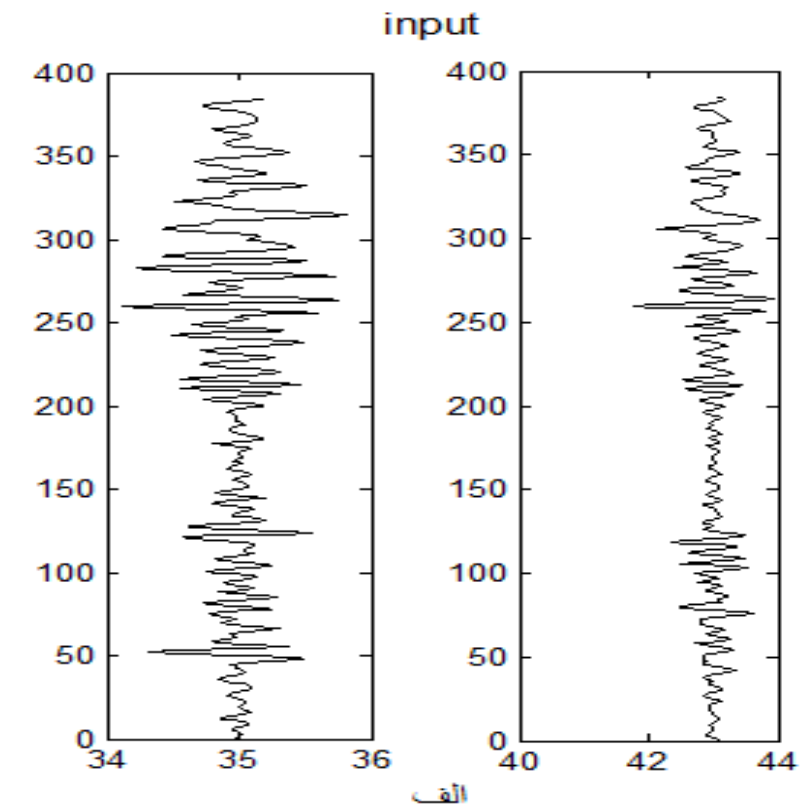
شکل ۴-۱۹، افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی. ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۲۰، مقطع رنگی افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای روی داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی، ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۲۱، مقطع لرزه‌ای از افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای واقعی: الف) مقطع لرزه‌ای ورودی، ب) مقطع لرزه‌ای خروجی.



شکل ۴-۲۲، بزرگ‌نمایی ردلرزه‌ها در مقطع لرزه‌ای در شکل ۴-۲۱: الف) مقطع ورودی، ب) مقطع خروجی.

هدف از انجام این پایان‌نامه افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای جهت تشخیص لایه‌های نازک که برای شناخت تله‌های نفتی مهم هستند می‌باشد. همان‌گونه که در مقطع لرزه‌ای داده واقعی که در شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴-۲۲، نمایش داده شده است، به خوبی می‌توان لایه نازک را در مقطع لرزه‌ای خروجی (مقطع با قدرت تفکیک بالا) نسبت مقطع لرزه‌ای ورودی (مقطع با قدرت تفکیک پایین) مشاهده نمود.

پس با توجه به الگوریتم بیان شده و اعمال آن که بر روی داده مصنوعی و واقعی نشان داده شد، نتایج نشان دهنده این است که با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا و براساس برونمایی برپایه تبدیل هیلبرت می‌توان به عنوان روشی نوین برای ارتقاء قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای به کار برد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

- همان‌گونه که اشاره شد، افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین مراحل پردازش ژئوفیزیکی می‌باشد در این روش علاوه بر افزایش فرکانس از تضعیف دامنه جلوگیری شده است. روش با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا و براساس برونیابی برپایه تبدیل هیلبرت به عنوان روشی جدید که پوش هیلبرت محاسبه شده با یک پنجره هموار کننده مثلثی هم‌میخت می‌شود، انجام شده است.

- این الگوریتم روشی است که وابسته به داده است و با اعمال تغییرات روی داده باعث افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای شده است ولی در روش‌های دیگر مانند روش (راوات، ۲۰۱۰)، با استفاده از مدل و یا تابعی باعث افزایش قدرت تفکیک می‌شود. از این حیث این روش نسبت به روش‌های دیگر متمایز شده و به‌عنوان روشی جدید مطرح می‌شود.

- هدف اصلی در این پایان‌نامه شناسایی لایه‌های نازک و تله‌های ساختمانی است. لایه نازک هر چه دقیق‌تر شناسایی گردد تخمین پتانسیل هیدروکربوری محدوده مورد نظر دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود.

- به‌طور کلی این روش، زمانی که نسبت سیگنال به نوفه کاهش می‌یابد کمتر قابل اعتماد است.

۲-۵ پیشنهادات

- در این پایان نامه برای به حیطة موجک بردن ردلرزه از موجک دوبیچیز استفاده شده است، اگر این الگوریتم با موجک‌های دیگر مانند موجک هار، مورلت و غیره بررسی شود ممکن است به نتایج مطلوبی دست یافت.
- با تلفیق این الگوریتم با داده‌های چاه ممکن است به نتایج مناسبی دست یافت، یا بتوان از این الگوریتم در تخمین و بهبود داده‌های چاه‌نگاری استفاده کرد.

- Akgun, M., 2000, Estimation of some bodies parameters from the self potential method using Hilbert transform: Journal of the Balkan geophysical society, 4(2), 29-44.
 - Badley, 1985, " practical seismic interpretation" a division of simon & schuster Englewood cliffs, NJ.
 - Bani, W. (2002) Wavelets, eine Einführung für Ingenieure. Oldenbourg, München.
 - Boashash, B., 2003, Time frequency signal analysis: A comprehensive reference, Elsevier, Oxford, UK.
 - Boashash, B., and Meshah, M., 2004, Signal enhancement by time-frequency peak filtering: IEEE Trans. On Signal Processing, 52, 929-937.
 - Bracewell, R. M., 1985, The Fourier Transform and its Applications: Mac Graw-Hill, New York, 268 p.
 - Chen, w., and, J., 2007, "characteristics of seismic attenuation extraction using MBMSW wavelets": 67th annual international meeting, SEG, expanded abstract, 1417-1420.
- Dallas, G., Houston, G., 2010, "High Resolution Enhancement and Interpretation using Wavelet Transform and Harmonics".
- Fugal, D.L., 2009 Space & Signals Technologies LLC, All Rights Reserved. ; "Conceptual Wavelets in digital signal processing" www.ConceptualWavelets.com.
 - Gabor, D., 1946, Theory of communication: J. IEEE (London), 93(III), 429-457.
 - Georg stark, H., 2005, wavelet and signal processing, an application-based introduction, FH Aschaffenburg-University of Applied Sciences, FB Ingenieurwissenschaften.
 - Gerald, K., 1994, A Friendly guide to wavelets: Birkhauser.
 - Green, R., and Stanley, J. M., 1975, Application of a Hilbert transform method to the interpretation of surface - vehicle magnetic data: Geophysical Prospecting, 23, 18-27.
 - Hafez, M. A., 2009, A new approach to interpret self-potential anomaly over a two dimensional inclined sheet using complex gradient analysis: J Geophys Eng, 2, 97-102.
 - Kreyszig, E., 2006, Advanced engineering mathematics, JOHN WILEY & SONS. Singapore.
 - Li, H., Zhao, W., Cao, H., Ya, F., and SHo, L., 2006, measures of scale based on the wavelet scalogram with application to seismic attenuation: Geophysics, 71, V111-V118.

- Lite, F. E. A., Montagne, R., Corso, G., Vasconcelos, G. L., and Lucena, L. S., 2008, optimal wavelet filter for suppression of coherent noise with an application to seismic data: *Physica A*, 387. 1439-1445.
- Maaß, P., Stark, H.-G. (1994) *Wavelets and Digital Image Processing. Surveys on Mathematics for Industry*4: 195–235.
- Mallat, S., and Hwang, W. L., 1992, Singularity detection and processing with wavelets: *IEEE Trans. Info. Theory*, 38(2):617-643.
- Mallat, S., 1988, "Dyadic wavelets energy zero-crossings," *Tech Ren MS-CIS-88-30*, U, Peen.
- Mallat, S., 1999 "A Wavelet Tour of Signal Processing" 2th.
- Mallat, S., 2009 "A Wavelet Tour of Signal Processing" 3th.
- Mundim, E. C., Schots, H. A., and Araujo, J. M., 2006, WTdecon, a colored deconvolution implemented by wavelet transform, *the Leading Edge*, April, 398-401.
- Panchamkumar, S., 2003, *Complex wavelet transform and their application: Department of Electronic and Electrical engineering, University of Strathclyde.*
- Pinar, R., 1985, Karmaşık gradient yönteminin düşük sureksizliklere uygulanması ve bilgisayarlarla gerçekleştirimi: *E. Ü. Bilgisayar Arastirma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, Cilt: 8, Sayi:1. (In Turkish with English Abstract).
- Rao, A. D., Babu, R. H. V., and Sivakumar, S. G. D., 1982, A Fourier transform method for the interpretation of self-potential anomalies due to two-dimensional inclined sheet of finite depth extent: *Pure Appl. Geophys*, 120, 365–74.
- Rawat, A., Dyal, S., (2010) "Resolution enhancement of seismic data using stationary wavelet transform" *bienninal international conference & Exposition petroleum geophysics inverse DWT.*
- Shannon, C.E. (1948), *A Mathematical Theory of Communication*. *Bell System Technical Journal* 27
- Sherif, R.E., and Geldart, L.P., 1995, "Exploration seismology", 2nd edition, *CAMBRIDGE university press cambridge, united kingdom.*
- Sinha, S., Routh, P.S., Anno, P.D., and Castagna, J.P., 2005, "Spectral decomposition of seismic data with continuous – wavelet transform": *Geophysics*, 70, p19-p25.
- Sandhya Devi, K. R., *SEG/New Orleans 2006 Annual Meeting "High Resolution Seismic from Band Limited Data Using the Scaling Laws of the Wavelet Transforms"*.

- Stockwell, R. G., Mansinha, L., and Lowe, R. P., 1996, Localization of a Complex spectrum: The S transform: IEEE Trans. Signal Process.
- Strutz, T. (2000) Bilddatenkompression, Grundlagen, Codierung, MPEG, JPEG. Vieweg, Braunschweig
- Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, Complex seismic trace analysis: Geophysics, 44, 1041-1063.
- Wallace, G.K. (1991)The JPEG Still Picture Compression Standard, Comm. Of the ACM34: 31-44.
- Walker, J. S., (1999) A Primer on Wavelets and Their Scientific Applications. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton London New York Washington D.C.
- Wigner, E. P., 1932, On the quantum correlation for thermodynamic equilibrium: Phys. Rev., 40,749-759.
- www.szogpc.com.
- Yilmaz , O., 1987,"Seismic data processing ", SEG.
- Yilmaz , O., 2001,"Seismic data processing ", SEG.
- Zhou, Y., Dellinger J., Gutowski P., and Garossino P., 10-15 october2004 ." seismic resolutionenhancement in the wavelet transform domain" AIT , BP America. SEG int Exposition and 74th annual meeting * Denver, Colorado*.



**university of
shahrood**

Resolution enhancements of seismic data using discrete wavelet transform

Farhad Mollaei

Supervisors:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Behzad Tokhmechi

Advisor:

Dr. Alireza Goudarzi

Sep2013

Abstract

Reflection seismic method is one of the subsurface structures methods for hydrocarbon exploration. Seismic data processing is one of the key steps to extract the required information in the exploration of hydrocarbon resources. Now day using the several methods for enhancement and improve resolution seismic data. Seismic data inversion method through the spiking increases and enhancement seismic data. Spectral Rotation methods to enhancement the resolution and frequency bandwidth of seismic data is presented. Other common methods for enhancement the resolution of the seismic data is performed, a spiking deconvolution. Seismic source wavelet is function of time, then, that changes in the vertical and lateral. Also, estimated wavelet by assuming ground spectrum reflection series creating ambiguous in the estimation of reservoir properties. Therefore, the method can be with spot unstable source wavelet and estimation and subsurface effects, Increased frequency bandwidth seismic data and seismic data enhance resolution, it is very important. The method used in this thesis is using wavelet transform based on extrapolated Hilbert transform. At first calculated Hilbert envelope of the input trace and this envelope be convolution with triangular smoother. Input trace divides to smooth envelopes and be normalizing to 1. With using this envelope estimate amounts and they stand on the locations considered. At end all these coefficients returned by inverse wavelet transform. This algorithm gives enhancement resolution seismic data.