

صلى الله عليه وسلم



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه‌شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوری به منظور شناسایی مخازن لایه نازک

نگارنده: نیلوفر علایی

اساتید راهنما

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

آذر ۱۳۹۵

تشکر و قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی کران، آدمی را زیور عقل آراست.

نگارنده بر خود لازم می داند که مراتب سپاس و قدردانی را نسبت به زحمات بی دریغ و راهنمایی های

ارزشمند استادان گرامی جناب آقای دکتر امین روشندل کاهو و جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار

روحانی در راستای انجام این پایان نامه ابراز نماید.

تقدیم اثر

این پایان نامه را ضمن سپاس بی کران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم که همواره مشوق و پشتیبانم بوده اند.

چکیده

بهبود قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای در مباحث اکتشاف منابع هیدروکربنی، به خصوص در ساختارهای زمین‌شناسی کوچک مقیاس نظیر لایه‌های نازک که محل عبور و تجمع هیدروکربن‌ها هستند، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از آنجایی که این ساختارها زیر حد تفکیک‌پذیری عمودی لرزه‌ای (ضخامت تیونینگ) هستند، لذا به منظور تشخیص این نوع مخازن به داده‌های لرزه‌ای با قدرت تفکیک‌پذیری بالا نیاز است. تاکنون روش‌های زیادی به منظور افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای معرفی شده‌اند. روش‌های مختلف واهمامیخت از جمله روش‌های متداول افزایش قدرت تفکیک قائم می‌باشند. در این روش‌ها بر اساس مدل همامیختی زمین، ردلرزه‌ی ثبت شده حاصل همامیخت سری بازتاب و موجک لرزه‌ای است. موجک لرزه‌ای، اغلب پهنای باند فرکانسی محدود دارد در حالیکه سری بازتاب دارای پهنای باند فرکانسی نامحدود است. از طریق فرایند واهمامیخت، موجک لرزه‌ای در حوزه زمان فشرده شده و بهبود قدرت تفکیک لرزه‌ای حاصل می‌شود. از آنجایی که در این روش‌ها، فرضیاتی مبتنی بر مدل همامیختی داده‌های لرزه‌ای بازتابی در نظر گرفته شده است که غالباً با واقعیت تطابق کمی دارند، لذا محققان زیادی برای افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌ها با استفاده از روش‌های نوین دیگری تلاش نمودند. از جمله روش‌های نوین افزایش قدرت تفکیک قائم می‌توان به روش‌های مبتنی بر تبدیل موجک پیوسته و گسسته اشاره نمود. در این پایان‌نامه از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه برای افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است به این صورت که بر اساس تبدیل فوریه موجک چشمه لرزه‌ای و نسخه فشرده شده آن فیلتری طراحی می‌شود که با اعمال آن بر روی داده لرزه‌ای، محتوای فرکانسی آن را افزایش داده و در نتیجه قدرت تفکیک قائم افزایش می‌یابد. الگوریتم روش بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی اعمال شده و نتایج آن با نتایج حاصل از روش واهمامیخت فرکانسی، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که روش معرفی شده عملکرد بهتری نسبت به روش متداول واهمامیخت فرکانسی دارد. از آنجایی که داده‌های لرزه‌ای بازتابی دارای

محتوای فرکانسی متغیر با زمان هستند لذا، در ادامه، با طراحی فیلتر مقیاس، در حوزه زمان-فرکانس بر اساس مدل همامیخت ناپایا به بهبود این روش به منظور استفاده از آن برای افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای ناپایا پرداخته شده است. به این صورت که داده لرزه‌ای مورد نظر با استفاده از یکی از تبدیل‌های زمان-فرکانس تحت عنوان تبدیل گابور، به حوزه دوبعدی زمان-فرکانس بسط داده شده و از خاصیت مقیاس کردن زمانی در این حوزه برای افزایش محتوای فرکانسی داده و در نتیجه بهبود قدرت تفکیک لرزه‌ای استفاده می‌گردد. همچنین نتایج روش مورد استفاده با نتایج حاصل از اعمال واهمامیخت گابور، بر روی داده مقایسه شد، بررسی‌ها نشان داد که روش جدید نسبت به روش واهمامیخت گابور کارایی بهتری دارد.

کلمات کلیدی: قدرت تفکیک قائم، تبدیل فوریه، فرکانس، تبدیل گابور، زمان-فرکانس، مقیاس کردن زمانی، ضخامت تیونینگ.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

علایی، نیلوفر؛ روشندل کاهو، امین و کامکار روحانی، ابوالقاسم، "بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه"، مجله پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، شماره ۱، دوره ۲، صفحات ۵۷-۶۶، ۱۳۹۵.

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
۱-۱ تعریف مسئله.....	۲
۲-۱ ضرورت انجام تحقیق.....	۵
۳-۱ مروری بر روش‌های انجام شده جهت افزایش قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای.....	۵
۴-۱ معرفی فصل‌های پایان‌نامه.....	۷
فصل دوم.....	۹
۱-۲ تبدیل فوریه.....	۱۰
۱-۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۱-۲ تبدیل فوریه سیگنال پیوسته.....	۱۱
۳-۱-۲ تبدیل فوریه سیگنال گسسته.....	۱۳
۴-۱-۲ خواص تبدیل فوریه.....	۱۶
۱-۴-۱-۲ خاصیت هم‌میخت تبدیل فوریه.....	۱۸
۲-۴-۱-۲ خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه.....	۲۰
۲-۲ تبدیل زمان-فرکانس.....	۲۴
۱-۲-۲ مقدمه.....	۲۴
۲-۲-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه.....	۲۷
۱-۲-۲-۲ خواص تبدیل فوریه زمان کوتاه.....	۳۰
فصل سوم.....	۳۳
۱-۳ طراحی فیلتر افزایش قدرت تفکیک زمانی در حوزه فوریه.....	۳۴
۲-۳ روش تحقیق در حوزه زمان-فرکانس (تبدیل گابور).....	۴۱
۱-۲-۳ مدل هم‌میخت سیگنال لرزه‌ای ناپایا.....	۴۱

۴۴	۲-۲-۳ تبدیل گابور داده لرزه‌ای ناپایا
۴۴	۳-۲-۳ طراحی فیلتر افزایش قدرت تفکیک زمانی در حوزه گابور
۴۹	فصل چهارم
۵۰	۱-۴ مقدمه
۵۰	۲-۴ بررسی عملکرد فیلتر طراحی شده در حوزه فرکانس
۵۰	۱-۲-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی بر روی ردلرزه مصنوعی
۵۳	۲-۲-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی بر روی مقطع لرزه‌ای مصنوعی
۶۱	۳-۲-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی بر روی مقطع لرزه‌ای واقعی
۶۹	۳-۴ بررسی عملکرد فیلتر طراحی شده در حوزه گابور
۶۹	۱-۳-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه مصنوعی
۷۹	۲-۳-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی مقطع لرزه‌ای مصنوعی
۸۹	۳-۳-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی مقطع لرزه‌ای واقعی
۹۳	فصل پنجم
۹۴	۱-۴ نتیجه‌گیری
۹۵	۲-۴ پیشنهادات
۹۷	پیوست‌ها
۹۸	الف- تخمین موجک چشمه لرزه‌ای
۱۰۰	الف-۱ تخمین طیف دامنه موجک با استفاده از روش برازش منحنی بر طیف دامنه ردلرزه
۱۰۱	الف-۲ تخمین طیف فاز موجک با استفاده از روش فاکتوریزیشن ولد-کولموگروف
۱۰۳	ب- روش واهمامیخت فرکانسی
۱۰۷	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲، (الف) سیگنال $x_1(t)$ حاصل جمع دو سیگنال سینوسی با فرکانس‌های ۲۵ و ۵۰ هرتز، (ب) سیگنال $x_2(t)$ یک موجک ریکر با فرکانس مرکزی ۳۰ هرتز ۱۲
- شکل ۲-۲، طیف دامنه نرمال شده (الف) سیگنال $x_1(t)$ و (ب) سیگنال $x_2(t)$ نشان داده شده در شکل ۱-۲ ۱۳
- شکل ۳-۲، (الف) سیگنال $x_1(n)$ گسسته شده سیگنال $x_1(t)$ (شکل ۱-۲ الف) و (ب) سیگنال $x_2(n)$ گسسته شده سیگنال $x_2(t)$ (شکل ۱-۲ ب) با گام نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه ۱۵
- شکل ۴-۲، (الف) طیف دامنه سیگنال $x_1(n)$ و (ب) طیف دامنه سیگنال $x_2(n)$ نشان داده شده در شکل ۳-۲ ۱۵
- شکل ۵-۲، (الف) سیگنال گسسته زمانی غیرتناوبی $x_1(n)$ ، (ب) سیگنال گسسته زمانی غیرتناوبی $x_2(n)$ ، (ج) حاصل همامیخت دو سیگنال (الف) و (ب)، (د) طیف دامنه سیگنال $x_1(n)$ ، (ه) طیف دامنه سیگنال $x_2(n)$ ، (و) طیف دامنه حاصل همامیخت دو سیگنال گسسته زمانی (خط مشکی) و حاصل ضرب طیف دامنه دو سیگنال گسسته زمانی (نقطه‌چین) ۲۰
- شکل ۶-۲، (الف) سیگنال پیوسته زمانی $x(t)$ ، (ب) مقیاس شده سیگنال (الف) به ازای پارامتر مقیاس $a=2$ ، (ج) مقیاس شده سیگنال (الف) به ازای پارامتر مقیاس $a = \frac{1}{2}$ ۲۱
- شکل ۷-۲، (الف) سیگنال گسسته زمانی $x(n)$ ، (ب) مقیاس شده زمانی سیگنال (الف) به ازای پارامتر مقیاس $a=2$ ۲۲
- شکل ۸-۲، سیگنال گسسته زمانی $x(n)$ که در شکل ۷-۲ (الف) نیز نشان داده شده است (الف)، سیگنال مقیاس شده $x(n)$ به ازای پارامتر مقیاس $a = \frac{1}{2}$ با استفاده از (ب) روش اول و (ج) روش دوم ۲۳
- شکل ۹-۲، (الف) سیگنال $x_1(t)$ مربوط به رابطه (۱۷-۲)، (ب) سیگنال $x_2(t)$ مربوط به رابطه (۱۸-۲) ۲۵
- شکل ۱۰-۲، (الف) طیف دامنه سیگنال $x_1(t)$ ، (ب) طیف دامنه سیگنال $x_2(t)$ ۲۶
- شکل ۱۱-۲، شکل توابع پنجره (الف) گاوسی، (ب) بلکمن، (ج) هنینگ و (د) همینگ طبق روابط جدول ۳-۲ ۲۹
- شکل ۱۲-۲، طیف نگاشت سیگنال (الف) $x_1(t)$ ، (ب) $x_2(t)$ معرفی شده در شکل ۹-۲ ۳۱

شکل ۳-۱، شکل زمانی (الف) و طیف فرکانسی (ب) موجک ریکر با فرکانس غالب ۳۰ هرتز، (ج) و (د) موجک ریکر ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه زمان با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (هـ) و (و) موجک ریکر ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه فرکانس با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (ز) و (ح) شکل زمانی و طیف دامنه فرکانسی موجک ریکر با فرکانس غالب ۶۰ هرتز..... ۳۵

شکل ۳-۲، شکل زمانی (الف) و طیف فرکانسی (ب) موجک با فاز کمینه و فرکانس غالب ۳۰ هرتز، (ج) و (د) موجک کمینه فاز ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه زمان با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (هـ) و (و) موجک کمینه فاز ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه فرکانس با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (ز) و (ح) شکل زمانی و طیف دامنه فرکانسی موجک با فاز کمینه و فرکانس غالب ۶۰ هرتز. ۳۶

شکل ۳-۳، فلوچارت روش افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه. ۳۹

شکل ۳-۴، تصویری از معادله ماتریسی هم‌میخت ناپایا (مارگریو، ۱۹۹۸)..... ۴۳

شکل ۳-۵، فلوچارت استفاده از روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور. ۴۷

شکل ۴-۱، (الف) سری بازتاب مصنوعی زمین که شامل لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۱۴ میلی‌ثانیه می‌باشد، ردلرزه حاصل هم‌میخت موجک ریکر ۳۵ هرتز با سری بازتاب (ب) و ردلرزه حاصل هم‌میخت موجک ریکر ۷۰ هرتز با سری بازتاب (ج)، ردلرزه حاصل از اعمال روش پیشنهادی بر روی ردلرزه (ب)، با فرض موجک معلوم (د) و ردلرزه حاصل از اعمال روش پیشنهادی بر روی ردلرزه (ب)، با فرض موجک نامعلوم (هـ)، ردلرزه حاصل از اعمال روش معمول واهم‌میخت فرکانسی بر روی ردلرزه (ب) با فرض موجک معلوم (و) و (ز) ردلرزه حاصل از اعمال روش معمول واهم‌میخت فرکانسی بر روی ردلرزه (ب) با فرض موجک نامعلوم (ز)..... ۵۲

شکل ۴-۲، طیف دامنه نرمال شده ردلرزه با موجک ریکر ۳۵ هرتز (سیاه)، طیف دامنه نرمال شده ردلرزه با موجک ریکر ۷۰ هرتز (آبی)، طیف دامنه نرمال شده خروجی روش تبدیل مقیاس (قرمز) و طیف دامنه نرمال شده خروجی روش واهم‌میخت فرکانسی (سبز)..... ۵۳

شکل ۴-۳، (الف) مدل زمین‌شناسی و (ب) مقطع لرزه‌ای مدل گوه مصنوعی. ۵۴

شکل ۴-۴، (الف) داده لرزه‌ای مصنوعی مربوط به مدل گوه‌ای شکل ۳-۴ (ب)، (ب) نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ج) نتیجه اعمال روش واهمامیخت فرکانسی. در هر مورد، پیکان آبی رنگ محل تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه را نشان می‌دهد. ۵۶

شکل ۴-۵، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه (آبی)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (قرمز) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش واهمامیخت فرکانسی (سیاه). ۵۷

شکل ۴-۶، (الف) داده لرزه‌ای مصنوعی آغشته به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی‌بل، (ب) نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (ج) نتیجه اعمال روش واهمامیخت فرکانسی. در هر مورد، پیکان آبی رنگ محل تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه را نشان می‌دهد. ۵۹

شکل ۴-۷، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه آغشته به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی‌بل (آبی)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (قرمز) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش واهمامیخت فرکانسی (سیاه). ۶۰

شکل ۴-۸، (الف) مقطع لرزه‌ای اولیه، (ب) مقطع لرزه‌ای بعد از تبدیل مقیاس و (ج) مقطع لرزه‌ای بعد از واهمامیخت فرکانسی. مستطیل‌های رنگی، بخش‌های انتخاب شده برای بزرگنمایی می‌باشند. ۶۲

شکل ۴-۹، (الف) مستطیل آبی در شکل ۴-۸ (الف) و نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی با استفاده از روش (ب) تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ج) واهمامیخت فرکانسی. (د) مستطیل سیاه در شکل ۴-۸ (الف) و نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی با استفاده از روش (ه) تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (و) واهمامیخت فرکانسی. (ز) مستطیل سبز در شکل ۴-۸ (الف) و نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی با استفاده از روش (ح) تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ط) واهمامیخت فرکانسی. ۶۴

شکل ۴-۱۰، طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای واقعی اولیه (آبی)، طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای بعد از تبدیل مقیاس (قرمز) و طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای بعد از واهمامیخت فرکانسی (خط چین سیاه). ۶۵

شکل ۴-۱۱، (الف) مقطع لرزه‌ای اولیه، نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی به روش (ب) تبدیل مقیاس و (ج) واهمامیخت
فرکانسی. ۶۶

شکل ۴-۱۲، (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب داده لرزه‌ای اولیه، پس از اعمال واهمامیخت فرکانسی و تبدیل مقیاس در پنجره
اول. (د)، (ه) و (و) به ترتیب داده لرزه‌ای اولیه، پس از اعمال واهمامیخت فرکانسی و تبدیل مقیاس در پنجره اول، (ز)، (ح)
و (ط) به ترتیب داده لرزه‌ای اولیه، پس از اعمال واهمامیخت فرکانسی و تبدیل مقیاس در پنجره اول. ۶۷

شکل ۴-۱۳، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای واقعی اولیه (آبی)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای
بعد از تبدیل مقیاس (قرمز) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از واهمامیخت فرکانسی (سیاه). ۶۸

شکل ۴-۱۴، (الف) سری بازتاب مصنوعی زمین که شامل لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۴ میلی ثانیه می‌باشد،
ردلرزه‌های حاصل همایخت موجک ریکر ناپایا (ب) ۳۵ هرتز، (ج) ۷۰ هرتز، (د) ۱۰۵ هرتز و (ه) ۱۴۰ هرتز با سری بازتاب
(الف)، ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور با استفاده از پارامتر مقیاس (و) $a = 2$ ، (ز) $a = 3$ و (ح)
 $a = 4$ ، (ط) ردلرزه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه (ب)، (در این حالت فاکتور کیفیت مورد استفاده
در ساخت ردلرزه‌های (ب) تا (ه)، $Q = 100$ می‌باشد). ۷۲

شکل ۴-۱۵، (الف) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل
مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (خطچین قرمز)، (ب) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و
طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ (خطچین قرمز)، (ج) طیف دامنه
ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر
مقیاس $a = 4$ (خطچین قرمز)، (د) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه حاصل از اعمال
روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز). ۷۴

شکل ۴-۱۶، (الف) سری بازتاب مصنوعی زمین که شامل لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۴ میلی ثانیه می‌باشد،
ردلرزه‌های حاصل همایخت موجک ریکر ناپایا (ب) ۳۵ هرتز، (ج) ۷۰ هرتز، (د) ۱۰۵ هرتز و (ه) ۱۴۰ هرتز با سری بازتاب
(الف)، ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور با استفاده از پارامتر مقیاس (و) $a = 2$ ، (ز) $a = 3$ و (ح)
 $a = 4$ ، (ط) ردلرزه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه (ب)، (در این حالت فاکتور کیفیت مورد استفاده
در ساخت ردلرزه‌های (ب) تا (ه)، $Q = 50$ می‌باشد). ۷۶

شکل ۴-۱۷، (الف) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (خطچین قرمز)، (ب) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ (خطچین قرمز)، (ج) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 4$ (خطچین قرمز)، (د) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز)..... ۷۸

شکل ۴-۱۸، (الف) مدل زمین‌شناسی و (ب) مقطع لرزه‌ای مدل گوه‌ای مصنوعی..... ۸۰

شکل ۴-۱۹، (الف) مقطع لرزه‌ای مصنوعی (با فاکتور کیفیت $Q = 50$) برای مدل گوه مصنوعی شکل ۴-۱۸، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی تبدیل مقیاس شده با پارامتر مقیاس $a = 4$ ، (ج) مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاصل از اعمال واهمامیخت گابور..... ۸۱

شکل ۴-۲۰، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خطچین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز)..... ۸۲

شکل ۴-۲۱، (الف) مقطع لرزه‌ای مصنوعی (با فاکتور کیفیت $Q = 20$) برای مدل گوه مصنوعی شکل ۴-۱۸، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی تبدیل مقیاس شده با پارامتر مقیاس $a = 4$ ، (ج) مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاصل از اعمال واهمامیخت گابور..... ۸۴

شکل ۴-۲۲، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خطچین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز)..... ۸۵

شکل ۴-۲۳، (الف) مقطع لرزه‌ای مصنوعی آغشته به نوفه تصادفی، (ب) مقطع لرزه‌ای تبدیل مقیاس شده با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ج) مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال واهمامیخت گابور..... ۸۸

شکل ۴-۲۴، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی آغشته به نوفه تصادفی (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خطچین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز)..... ۸۹

شکل ۴-۲۵، (الف) مقطع لرزه‌ای واقعی اولیه، (ب) نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس، (ج) نتیجه اعمال واهمامیخت گابور، (د) مستطیل آبی در قسمت (الف)، (هـ) مستطیل آبی در قسمت (ب)، (و) مستطیل آبی در قسمت (ج)، (ز) مستطیل سبز در قسمت (الف)، (ح) مستطیل سبز در قسمت (ب) و (ط) مستطیل سبز در قسمت (ج). مستطیل‌های رنگی، بخش‌های انتخاب شده برای بزرگنمایی می‌باشند. محل آشکار شدن لایه‌های نازک که در مقطع اولیه قابل آشکارسازی نبودند با پیکان مشخص شده است. ۹۱

شکل ۴-۲۶، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای واقعی (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خطچین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز)..... ۹۲

فهرست جداول

جدول ۱-۲، خواص مهم تبدیل فوریه. ۱۷

جدول ۲-۲، نام و رابطه توابع پنجره متداول (مالات، ۱۹۹۹). ۲۹

جدول ۲-۳، خواص مهم تبدیل فوریه زمان کوتاه..... ۳۰

فهرست علائم و اختصارات

نماد	کمیت
F	فرکانس خطی سیگنال پیوسته زمانی
f	فرکانس خطی سیگنال گسسته زمانی
Ω	فرکانس زاویه‌ای سیگنال پیوسته زمانی

ω	فرکانس زاویه‌ای سیگنال گسسته زمانی
$X(\Omega), X(F)$	تبدیل فوری سیگنال پیوسته زمانی
$X(\omega), X(f)$	تبدیل فوری سیگنال گسسته زمانی
$ X(\Omega) , X(F) , X(\omega) , X(f) $	طیف دامنه
$\angle X(\Omega), \angle X(F), \angle X(\omega), \angle X(f)$	طیف فاز
$X_w(\tau, f)$	تبدیل فوری زمان کوتاه
τ	زمان مرکزی پنجره زمانی
$s(t), x(t)$	ردلرزه
$w(t)$	موجک لرزه‌ای
$r(t), e(t)$	سری بازتاب زمین
$S(F), X(\omega)$	تبدیل فوری ردلرزه
$W(F), W(\omega)$	تبدیل فوری موجک لرزه‌ای
$R(F), E(\omega)$	تبدیل فوری سری بازتاب زمین
$A_x(\omega)$	طیف دامنه ردلرزه
$A_w(\omega)$	طیف دامنه موجک لرزه‌ای
$A_e(\omega)$	طیف دامنه سری بازتاب زمین
$\varphi_x(\omega)$	طیف فاز ردلرزه
$\varphi_w(\omega)$	طیف فاز موجک لرزه‌ای
$\varphi_e(\omega)$	طیف فاز سری بازتاب زمین
$r_x(\tau)$	خودهمبستگی ردلرزه
$r_w(\tau)$	خودهمبستگی موجک لرزه‌ای
$r_e(\tau)$	خودهمبستگی سری بازتاب زمین
$\hat{w}(t)$	موجک لرزه‌ای مقیاس شده در حوزه زمان

$\hat{W}(F)$	موجک لرزه‌ای مقیاس شده در حوزه فرکانس
$\hat{S}(t)$	ردلرزه مقیاس شده در حوزه زمان
$\hat{S}(F)$	ردلرزه مقیاس شده در حوزه فرکانس
$h(t)$	فیلتر مقیاسی در حوزه زمان
$H(F)$	فیلتر مقیاسی در حوزه فرکانس
$G(\tau, F)$	فیلتر مقیاسی در حوزه گابور
$F(\omega)$	فیلتر واهمامیخت فرکانسی
$A_f(\omega)$	طیف دامنه فیلتر واهمامیخت فرکانسی
$\varphi_f(\omega)$	طیف فاز فیلتر واهمامیخت فرکانسی
$s_Q(t)$	ردلرزه ناپایا
$\alpha_Q(\tau, F)$	تابع تضعیف
Q	فاکتور کیفیت
H	تبدیل هیلبرت
$S_g(\tau, F)$	تبدیل گابور ردلرزه
$R_g(\tau, F)$	تبدیل گابور سری بازتاب زمین
S_Q	بردار مربوط به ردلرزه با در نظر گرفتن تابع تضعیف با فاکتور کیفیت
W	ماتریس مربوط به موجک لرزه‌ای
W_Q	ماتریس مربوط به موجک لرزه‌ای با در نظر گرفتن تابع تضعیف با فاکتور کیفیت
R	بردار مربوط به ضرایب سری بازتاب زمین

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تعریف مسئله

در مطالعات لرزه‌ای بازتابی هدف از اعمال مراحل مختلف پردازش بر روی مقاطع لرزه‌ای و بررسی و تفسیر آن‌ها، به دست آوردن تصویری با قدرت تفکیک‌پذیری بالا از مقاطع زیرسطحی می‌باشد. قدرت تفکیک به معنای توانایی تشخیص دو رخداد بر روی مقطع لرزه‌ای می‌باشد که این دو رخداد در زیر سطح زمین با فاصله خیلی کمی از هم قرار گرفته‌اند. در داده‌های لرزه‌ای بازتابی بر حسب جهت بررسی تفکیک-پذیری اهداف، دو نوع قدرت تفکیک معرفی شده است: قدرت تفکیک افقی و قدرت تفکیک قائم (شریف و جلدارت^۱، ۱۹۹۵).

قدرت تفکیک افقی در تشخیص و تفکیک اهداف مورد نظر در راستای عمود بر جهت انتشار موج لرزه‌ای و با مفهوم ناحیه فرنل^۲ (بدلی^۳، ۱۹۸۵) بیان می‌شود. قدرت تفکیک افقی با فاصله گیرنده‌ها از یکدیگر و از چشمه کنترل می‌شود به صورتی که برای یک بازتابنده مسطح افقی، دقت افقی با نصف فاصله گیرنده‌های مجاور تعیین می‌شود. بنابراین در مناطقی که ساختارهای زیر سطحی پیچیده وجود دارد، فاصله گیرنده‌ها باید بسیار کوچک انتخاب شوند (کری^۴ و همکاران، ۲۰۰۲). هر کدام از نقاط بازتابی از سطح بازتابنده مورد نظر، انرژی بازتابی را به گیرنده‌ها منتقل می‌کند. بنابراین سیگنال بازتابی حاصل از تجمیع تعداد زیادی پرتوهای بازتابی است. انرژی که در فاصله یک چهارم طول موج به گیرنده‌ها می‌رسد، باعث تداوم سیگنال اصلی می‌گردد. این قسمت از سطح بازتابنده که بیشترین مقدار انرژی را بازتاب می‌کند، ناحیه فرنل اول^۵ نامیده می‌شود (بدلی، ۱۹۸۵). در اطراف ناحیه فرنل اول یک سری از امواج پراکنده وجود دارند که با تداخل، امواج بازتابی را تضعیف و گاهی به کلی مستهلک می‌کنند در نتیجه قسمتی از سطح بازتابنده افقی

¹ Sheriff & Geldart

² Fresnel zone

³ Badley

⁴ kearey

⁵ First Fresnel zone

که بزرگتر از ناحیه فرنل اول است، غیر قابل تشخیص می‌باشد. بنابراین، پهنای ناحیه فرنل اول حدود دقت افقی را مشخص می‌کند. پهنای ناحیه فرنل با شعاع ناحیه فرنل بیان می‌شود. شعاع ناحیه فرنل اول (r) برای امواج مسطح طبق رابطه (۱-۱) با طول موج بازتابی امواج (λ) و فاصله لایه بازتابنده (Z) ارتباط دارد (بدلی، ۱۹۸۵):

$$r = \left(\frac{1}{2} Z \lambda\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} V \left(\frac{t}{f}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1-1)$$

که t زمان رفت و برگشت موج تا عمق مورد نظر Z می‌باشد. f فرکانس غالب داده و V سرعت بازه‌ای در لایه هدف می‌باشد. انرژی بازتابی از اعماق زیاد دارای باند فرکانسی پایین‌تری هستند، لذا شعاع ناحیه فرنل اول با افزایش عمق بازتابنده افزایش می‌یابد. قدرت تفکیک افقی با افزایش عمق لایه‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین، به منظور افزایش قدرت تفکیک افقی، چشمه لرزه‌ای باید امواج با پهنای باند فرکانسی بالاتری تولید کند (کری و همکاران، ۲۰۰۲).

قدرت تفکیک قائم در تشخیص اهداف مورد بررسی در امتداد جهت انتشار موج لرزه‌ای استفاده می‌شود. از آنجایی که جهت انتشار موج لرزه‌ای را با تقریب خوبی می‌توان عمود بر لایه‌بندی در نظر گرفت، لذا این نوع قدرت تفکیک با عنوان قدرت تفکیک قائم تعریف می‌شود (بدلی، ۱۹۸۵). قدرت تفکیک قائم با استفاده از مفهوم ضخامت تیونینگ^۱ (هرون^۲، ۲۰۱۱) بیان می‌شود. ضخامت تیونینگ حداقل ضخامت لایه است که در آن می‌توان بازتاب‌ها از بالا و پایین لایه را از یکدیگر تفکیک نمود. در این صورت اگر ضخامت لایه هدف از ضخامت تیونینگ کمتر باشد، امواج بازتابی از بالا و پایین این لایه با هم تداخل کرده و این لایه به صورت یک رویداد بازتابی نشان داده می‌شود (بدلی، ۱۹۸۵). ضخامت تیونینگ معادل یک چهارم طول موج در

¹ Tuning thickness

² Herron

محل لایه هدف تعریف می‌شود و بسته به فرکانس غالب موج لرزه‌ای عبوری و سرعت بازه‌ای لایه هدف طبق رابطه (۲-۱) تغییر می‌کند (هرون، ۲۰۱۱).

$$Z = \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{4} \frac{v_{int}}{f_{dom}} \quad (۲-۱)$$

که Z ضخامت تیونینگ، λ طول موج، f_{dom} فرکانس غالب داده و V_{int} سرعت بازه‌ای در لایه هدف می‌باشد. از رابطه (۲-۱) نتیجه می‌شود که هر چه طول موج داده لرزه‌ای بزرگتر باشد، لایه مورد نظر بایستی ضخامت بیشتری داشته باشد تا تداخل امواج بازتابی رخ ندهد (شریف و جلدارت، ۱۹۹۵). بنابراین کاهش طول موج و یا افزایش فرکانس غالب داده‌های لرزه‌ای می‌تواند به کاهش تداخل امواج بازتابی و همچنین افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌ها کمک کند (ایلماز^۱، ۲۰۰۱). در نتیجه افزایش پهنای باند فرکانسی داده لرزه‌ای، هم در افزایش قدرت تفکیک افقی و هم افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌ها نقش به سزایی دارد.

در عمل تفکیک‌پذیری کم داده‌های لرزه‌ای تحت تأثیر عواملی نظیر عملکرد ناصحیح الگوریتم‌های پردازش و تصویرسازی، موانع تولید امواج با باند فرکانسی بالا و اثر میرایی زمین می‌باشد. این عوامل تا حدودی قابل کنترل می‌باشند به گونه‌ای که اثر عامل اول با تصحیح الگوریتم‌های موجود کاهش داده می‌شود. همچنین به منظور کاهش و حذف آثار موانع موجود در تولید امواج با پهنای باند فرکانسی بالا، اقدام به بهبود روش‌های برداشت داده‌های لرزه‌ای شده است. با این وجود چشمه‌های لرزه‌ای موجود، موجب لرزه‌ای با باند فرکانسی محدود تولید می‌کنند، به همین دلیل امکان تولید داده‌های با پهنای باند فرکانسی بسیار بالا یا بسیار پایین وجود ندارد، لذا محققان اغلب به دنبال طراحی روش‌هایی با هدف افزایش پهنای باند فرکانسی داده‌ها به منظور افزایش و بهبود قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای می‌باشند.

¹ Yilmaz

۲-۱ ضرورت انجام تحقیق

مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی پیچیده و کوچک مقیاس نظیر لایه‌های نازک در لرزه‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این‌گونه ساختارها محل عبور و تجمع هیدروکربن بوده و به لحاظ شکل ساختاری ویژه‌ای که دارند، تله‌های نفتی خوبی ایجاد می‌کنند، ولی به علت ضخامت کم در زیر حد تفکیک‌پذیری قائم لرزه‌ای (ضخامت تیونینگ) می‌باشند، از طرفی با توجه به این‌که طول موج عبوری داده‌های لرزه‌ای تحت تأثیر ماهیت روش‌های برداشت و اثر میرایی زمین می‌باشد به گونه‌ای که در لایه‌های کم ضخامت امکان ایجاد تداخل امواج بازتابی وجود دارد، لذا این‌گونه ساختارها در رکوردهای لرزه‌ای قابل شناسایی نیستند و برای تشخیص و آشکارسازی دقیق این نوع مخازن از روی مقاطع لرزه‌ای به داده‌های با قدرت تفکیک‌پذیری بالا نیاز است (گائو^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، بایستی با روش‌های مختلف اقدام به بهبود قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای نمود. بدین منظور تاکنون روش‌های زیادی معرفی شده‌اند. بنابراین، در این پایان‌نامه نیز به منظور بهبود وضوح و قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای بازتابی، یک تئوری ساده و در عین حال کارآمد که توسط چن^۲ و همکاران (۲۰۱۴) معرفی شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۱ مروری بر روش‌های انجام شده جهت افزایش قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای

روش‌های مختلفی برای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای معرفی شده‌اند که از جمله متداول‌ترین روش‌ها در این راستا، استفاده از الگوریتم‌های مختلف واهمامیخت^۳ (رایینسون و تریتل^۴، ۱۹۸۰)، فیلتر

¹ Gao

² Chen

³ deconvolution

⁴ Robinson & Treitel

معکوس Q (چن و وانگ^۱، ۲۰۰۸)، فیلتر وینر^۲ (والدن^۳، ۱۹۸۸) و واهمامیخت کور^۴ (وان در بام و فام^۵، ۲۰۰۸) می‌باشد. در این روش‌ها بر اساس مدل همامیختی زمین، داده لرزه‌ای حاصل همامیخت سری بازتاب زمین و موجک چشمه لرزه‌ای می‌باشد. از آنجایی که موجک لرزه‌ای پهنای باند فرکانسی محدود دارد، با وجود نامحدود بودن پهنای باند فرکانسی سری بازتاب، داده لرزه‌ای دارای قدرت تفکیک‌پذیری پایینی می‌باشد، لذا، با استفاده از عملگر واهمامیخت، موجک لرزه‌ای در حوزه زمان فشرده شده و قدرت تفکیک داده لرزه‌ای ارتقاء می‌یابد. با توجه به اینکه در روش‌های واهمامیخت، فرضیاتی مبتنی بر مدل همامیختی زمین در نظر گرفته می‌شود و اغلب این فرضیات با واقعیت تطابق کمی دارند، لذا در اکثر موارد نتیجه مطلوبی به دست نمی‌دهند (ایلماز، ۲۰۰۱). بدین ترتیب، محققان برای افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از روش‌های نوین دیگری تلاش نمودند. ژو^۶ و همکاران (۲۰۰۴) و اسمیت^۷ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تبدیل موجک پیوسته پهنای باند فرکانسی داده‌های لرزه‌ای را افزایش دادند. گائو و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تبدیل گابور و تغییر مدل موجک یک ردلرزه، دوی و شوآب^۸ (۲۰۰۹) با استفاده از قانون مقیاس در حوزه تبدیل موجک پیوسته و راوات و دیال^۹ (۲۰۱۰) با استفاده از تبدیل موجک گسسته پایا و تخمین مولفه‌های مقیاس پایین ردلرزه، قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای سطحی را افزایش دادند. هر کدام از روش‌های انجام شده دارای مزایا و معایب ناشی از فرضیات موجود در حل مسئله می‌باشند. چن و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه، قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای را افزایش دادند که در این پایان‌نامه روش ارائه شده به منظور شناسایی مخازن لایه نازک به کار گرفته شده

¹ Chen & Wang

² Wiener filtering

³ Walden

⁴ Blind deconvolution

⁵ Van der Baan & Pham

⁶ Zhou

⁷ Smith

⁸ Devi & Schwab

⁹ Rawat & Dyal

است. البته از آنجایی که محتوای فرکانسی موجک چشمه لرزه‌ای در زمان‌های مختلف با انتشار در زمین کاهش می‌یابد و در این صورت داده‌های لرزه‌ای بازتابی دارای محتوای فرکانسی متغیر با زمان و یا به عبارتی دیگر دارای خاصیت ناپایا می‌باشند، لذا روش پیشنهادی چن و همکاران (۲۰۱۴)، ناپایا بودن داده لرزه‌ای را در نظر نمی‌گیرد. در این پایان‌نامه، ایده مطرح شده توسط چن و همکاران (۲۰۱۴)، به حوزه زمان-فرکانس بسط داده می‌شود و فیلتر مورد نظر بجای طراحی در حوزه فوریه در حوزه زمان-فرکانس طراحی می‌شود.

۴-۱ معرفی فصل‌های پایان‌نامه

در این فصل به بیان و تعریف مسئله مربوط به قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای و بهبود آن در مطالعه منابع هیدروکربوری کوچک مقیاس پرداخته شد. همچنین اشاره‌ای کوتاه به ضرورت انجام تحقیق و روش‌های پیشین انجام شده در این راستا گردید. در فصل دوم، تعاریف و مفاهیم مربوط به تبدیل فوریه و تبدیل زمان-فرکانس و خواص مربوط به آن‌ها بیان می‌شود. در فصل سوم، با توجه به خاصیت مقیاس کردن زمانی در حوزه فوریه و حوزه زمان-فرکانس، روش افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای مطرح و معرفی می‌گردد. فصل چهارم مربوط به اعمال روش مورد نظر بر روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی و مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج اعمال روش واهمامیخت فرکانسی (به عنوان یک روش متداول) بر روی همان داده‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از اعمال فیلتر طراحی شده در حوزه زمان-فرکانس بر روی داده‌های لرزه‌ای دارای خاصیت ناپایا نیز در ادامه فصل چهارم آورده می‌شود. در نهایت در فصل پنجم به طور خلاصه، نتیجه‌گیری کلی از انجام پایان‌نامه و پیشنهادات مربوط به کارهای آتی قابل اجرا به منظور بهتر شدن نتایج حاصل آورده می‌شود.

فصل دوم

تبدیل فوریه و تبدیل زمان-فرکانس

۲-۱ تبدیل فوریه^۱

۲-۱-۱ مقدمه

آنالیز فوریه در ریاضیات، مطالعه چگونگی نمایش سیگنال‌ها به وسیله مجموعی از سیگنال‌های مثلثاتی (سینوسی، کسینوسی) و سیگنال‌های نمایی مختلط است که این تحلیل از مطالعات مربوط به سری فوریه^۲ توسط ریاضیدان فرانسوی، ژوزف فوریه^۳ در قرن نوزدهم میلادی آغاز گردید. سری فوریه بسطی است که سیگنال‌های متناوب را به صورت حاصل جمع تعدادی از سیگنال‌های مثلثاتی بیان می‌کند. با بسط سیگنال متناوب به صورت سری فوریه، مؤلفه‌های فرکانسی آن سیگنال به دست می‌آیند. تحلیل فوریه به منظور تجزیه هر سیگنال دلخواه که شرط تناوبی را هم نداشته باشد بسط یافت که به آن تبدیل فوریه می‌گویند. اساس کار عملگر تبدیل فوریه بسط یک سیگنال بر حسب مؤلفه‌های فرکانسی به صورت سیگنال‌های نمایی مختلط است. سیگنال‌ها معمولاً در حوزه زمان ثبت می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به صورت تابعی از متغیر زمان بیان کرد. متغیر زمان می‌تواند مقادیر پیوسته یا گسسته اتخاذ کند و بدین ترتیب سیگنال‌های پیوسته زمانی و سیگنال‌های گسسته زمانی تعریف می‌شوند (اپنهایم^۴ و همکاران، ۱۹۹۸). سیگنال پیوسته زمانی به صورت $x(t)$ و سیگنال گسسته زمانی به صورت $x(n)$ نمایش داده می‌شود. در ابتدا تبدیل فوریه برای سیگنال‌های زمانی پیوسته ارائه گردید و بعدها با توجه به کاربرد وسیع سیگنال‌های زمانی گسسته، نوع دیگری از این تبدیل که مناسب برای استفاده در حالت زمان گسسته است، معرفی شد (اپنهایم و

¹ Fourier transform

² Fourier series

³ Joseph Fourier

⁴ oppenheim

همکاران، ۱۹۹۸). لذا، در این فصل ابتدا به بررسی تبدیل فوریه زمان پیوسته و تعاریف و خواص مربوط به آن پرداخته می‌شود و سپس خواص و تعاریف متناظر برای حالت زمان گسسته مطرح خواهد شد.

۲-۱-۲ تبدیل فوریه سیگنال پیوسته

تبدیل فوریه یک سیگنال پیوسته مانند $x(t)$ به صورت رابطه (۱-۲) تعریف می‌شود (بریقام^۱، ۱۹۸۸).

$$X(\Omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\Omega t} dt \quad (1-2)$$

که Ω فرکانس زاویه‌ای، $j = \sqrt{-1}$ و $X(\Omega)$ تبدیل فوریه سیگنال پیوسته زمانی $x(t)$ می‌باشد.

رابطه (۱-۲) بر حسب فرکانس زاویه‌ای تعریف شده است. با توجه به رابطه میان فرکانس زاویه‌ای Ω و فرکانس خطی F که به صورت $\Omega = 2\pi F$ تعریف می‌شود، رابطه (۱-۲) بر حسب فرکانس به صورت رابطه (۲-۲) تعریف می‌شود.

$$X(F) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi Ft} dt \quad (2-2)$$

تبدیل فوریه سیگنال $x(t)$ ، یا به عبارت دیگر $X(\Omega)$ یا $X(F)$ در حالت کلی به صورت اعداد مختلط می‌باشند. هر عدد مختلط با یک بزرگی و یک زاویه یا فاز قابل بیان می‌باشد. بنابراین، $X(\Omega)$ یا $X(F)$ را می‌توان به صورت رابطه (۳-۲) نمایش داد (پروآکیس^۲ و مانولاکیس^۳، ۲۰۰۷).

¹ Barigham

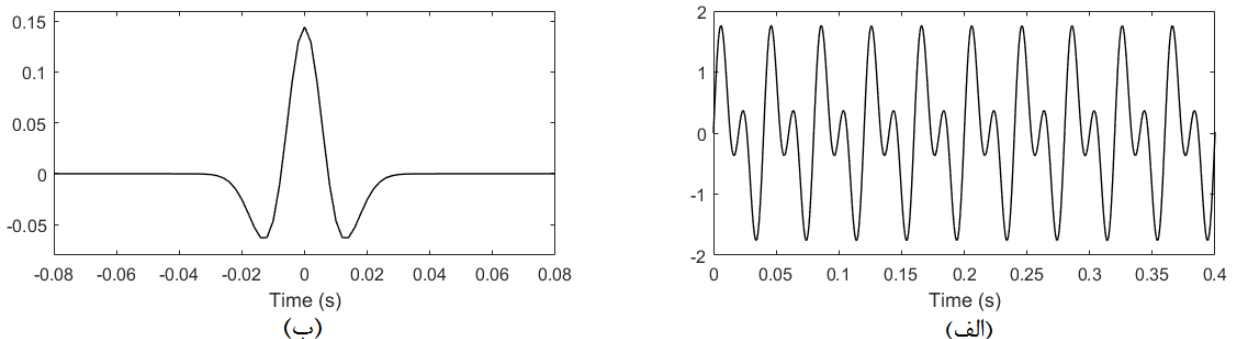
² Proakis

³ Manolakis

$$X(F) = |X(F)|e^{j\angle X(F)} \quad (3-2)$$

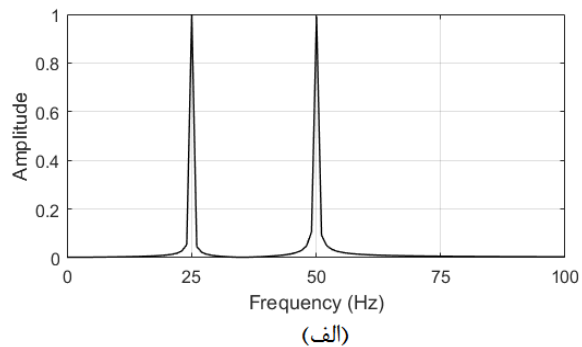
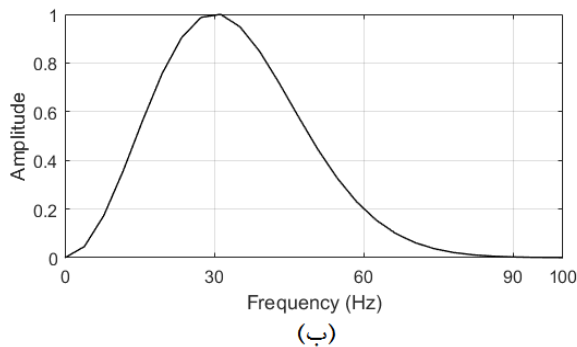
$$X(\Omega) = |X(\Omega)|e^{j\angle X(\Omega)}$$

که $|X(F)|$ یا $|X(\Omega)|$ بزرگی یا دامنه و $\angle X(F)$ یا $\angle X(\Omega)$ زاویه یا فاز تبدیل فوریه می‌باشد که در اصطلاح به ترتیب به آن‌ها طیف دامنه و طیف فاز می‌گویند. در شکل‌های ۱-۲ (الف) و (ب)، دو سیگنال $x_1(t)$ و $x_2(t)$ نشان داده شده است که سیگنال حاصل جمع دو سیگنال سینوسی با فرکانس‌های ۲۵ و ۵۰ هرتز می‌باشد و سیگنال $x_2(t)$ یک موجک ریکر^۱ با فرکانس مرکزی ۳۰ هرتز می‌باشد. در شکل ۲-۲ طیف‌های دامنه دو سیگنال مذکور نشان داده شده است که هر کدام حاوی اطلاعاتی از محتوای فرکانسی هر کدام از سیگنال‌های $x_1(t)$ و $x_2(t)$ می‌باشد. همانطور که در طیف دامنه سیگنال $x_1(t)$ مشاهده می‌شود، در دو فرکانس ۲۵ و ۵۰ هرتز دو قله مشاهده می‌شود. همچنین در طیف دامنه سیگنال $x_2(t)$ ، قله طیف دامنه در ۳۰ هرتز مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۲، (الف) سیگنال $x_1(t)$ حاصل جمع دو سیگنال سینوسی با فرکانس‌های ۲۵ و ۵۰ هرتز، (ب) سیگنال $x_2(t)$ یک موجک ریکر با فرکانس مرکزی ۳۰ هرتز

¹ Ricker



شکل ۲-۲، طیف دامنه نرمال شده (الف) سیگنال $x_1(t)$ و (ب) سیگنال $x_2(t)$ نشان داده شده در شکل ۲-۱.

همواره یک تبدیل مفید و کارآمد در عرصه پردازش سیگنال‌ها بایستی قابلیت معکوس شدن و بازیابی سیگنال در حوزه زمان از آن امکان‌پذیر باشد. تبدیل فوریه یک سیگنال پیوسته معکوس‌پذیر است و طبق رابطه (۲-۴) معکوس آن به دست می‌آید (پروآکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷).

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\Omega) e^{j\Omega t} d\Omega \quad (۲-۴)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(F) e^{j2\pi Ft} dF$$

۲-۱-۳ تبدیل فوریه سیگنال گسسته

از آنجایی که اغلب سیگنال‌های مورد استفاده در علوم مهندسی به خصوص ژئوفیزیک، به صورت سیگنال‌های گسسته زمانی می‌باشند، لذا بایستی تبدیل فوریه برای یک سیگنال گسسته تعمیم داده شود. اگر سیگنال $x(n)$ یک سیگنال گسسته باشد، تبدیل فوریه آن بر حسب فرکانس زاویه‌ای ω و فرکانس f به صورت روابط (۲-۵) و (۲-۶) تعریف می‌شود (اپنهایم و همکاران، ۱۹۹۸).

$$X(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(n) e^{-j\omega n} \quad (۲-۵)$$

$$X(f) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(n) e^{-j2\pi fn} \quad (۶-۲)$$

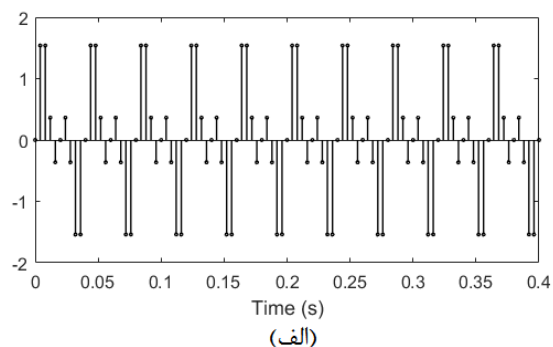
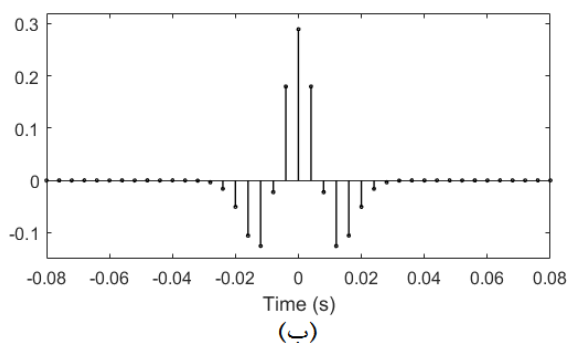
که $X(\omega)$ و $X(f)$ به ترتیب تبدیل فوریه $x(n)$ بر حسب فرکانس زاویه‌ای و فرکانس می‌باشند.

همانند حالت پیوسته، در حالت گسسته نیز، حاصل تبدیل فوریه یک مقدار مختلط می‌باشد. لذا، می‌توان آن را در این حالت نیز به صورت نمایی مختلط نمایش داد و بر اساس آن، طیف دامنه و طیف فاز را تعریف نمود.

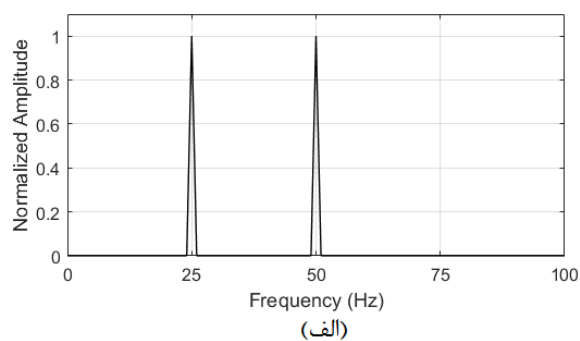
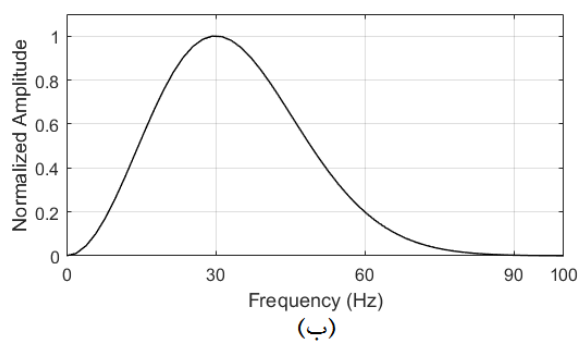
$$X(f) = |X(f)| e^{j\angle X(f)} \quad (۷-۲)$$

$$X(\omega) = |X(\omega)| e^{j\angle X(\omega)}$$

که $|X(f)|$ و $|X(\omega)|$ به ترتیب طیف دامنه بر حسب فرکانس زاویه‌ای و فرکانس و $\angle X(f)$ و $\angle X(\omega)$ به ترتیب طیف فاز بر حسب فرکانس زاویه‌ای و فرکانس می‌باشند. در شکل ۲-۳ (الف) و (ب)، دو سیگنال $x_1(n)$ و $x_2(n)$ که گسسته شده سیگنال‌های $x_1(t)$ و $x_2(t)$ ، نشان داده شده در شکل ۲-۱ می‌باشند، با گام نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه نشان داده شده است. در شکل ۲-۴ طیف دامنه دو سیگنال رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در این حالت نیز می‌توان مشخصات فرکانسی دو سیگنال مذکور را به راحتی مشاهده نمود.



شکل ۲-۳، (الف) سیگنال $x_1(n)$ گسسته شده سیگنال $x_1(t)$ (شکل ۱-۲ الف) و (ب) سیگنال $x_2(n)$ گسسته شده سیگنال $x_2(t)$ (شکل ۱-۲ ب) با گام نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه.



شکل ۲-۴، (الف) طیف دامنه سیگنال $x_1(n)$ و (ب) طیف دامنه سیگنال $x_2(n)$ نشان داده شده در شکل ۲-۳.

تبدیل فوری یک سیگنال گسسته زمانی مطابق روابط (۲-۸) و (۲-۹) معکوس‌پذیر می‌باشد (پروآکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷).

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(\omega) e^{j\omega n} d\omega \quad (2-8)$$

$$x(n) = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} X(f) e^{j2\pi f n} df \quad (2-9)$$

۲-۱-۴ خواص تبدیل فوریه

تبدیل فوریه یک سیگنال (پیوسته یا گسسته) دارای خواصی می‌باشد که باعث افزایش کارایی تحلیل فرکانسی سیگنال در کاربردهای عملیاتی می‌شود. اگر $x_i(t)$ سیگنال پیوسته با تبدیل فوریه $X_i(\Omega)$ و $x_i(n)$ سیگنال گسسته با تبدیل فوریه $X_i(\omega)$ باشند، خواص مهم تبدیل فوریه را می‌توان به صورت جدول ۱-۲ بیان نمود (اپنهایم و همکاران، ۱۹۹۸؛ پروآکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷؛ هایکین^۱، ۲۰۰۲).

¹ Haykin

جدول ۱-۲، خواص مهم تبدیل فوریه.

خاصیت	نوع سیگنال	حوزه زمانی	حوزه فرکانسی
خطی بودن	پیوسته	$\sum_i a_i x_i(t)$	$\sum_i a_i X_i(\Omega)$
	گسسته	$\sum_i a_i x_i(n)$	$\sum_i a_i X_i(\omega)$
شیفت زمانی	پیوسته	$x_1(t - \tau)$	$e^{-j\Omega\tau} X_1(\Omega)$
	گسسته	$x_1(n - k)$	$e^{-j\omega k} X_1(\omega)$
شیفت فرکانسی	پیوسته	$e^{j\Omega_0 t} x_1(t)$	$X_1(\Omega - \Omega_0)$
	گسسته	$e^{j\omega_0 n} x_1(n)$	$X_1(\omega - \omega_0)$
قرینه سازی زمانی	پیوسته	$x_1(-t)$	$X_1(-\Omega)$
	گسسته	$x_1(-n)$	$X_1(-\omega)$
همامیخت	پیوسته	$x_1(t) * x_2(t)$	$X_1(\Omega) \times X_2(\Omega)$
	گسسته	$x_1(n) * x_2(n)$	$X_1(\omega) \times X_2(\omega)$
مشتق گیری در حوزه زمان	پیوسته	$\frac{d}{dt} x_1(t)$	$j\Omega X_1(\Omega)$
	گسسته	$x_1(n) - x_1(n-1)$	$(1 - e^{-j\omega}) X_1(\omega)$
مشتق گیری در حوزه فرکانس	پیوسته	$tx_1(t)$	$j \frac{d}{d\Omega} X_1(\Omega)$
	گسسته	$nx_1(n)$	$j \frac{d}{d\omega} X_1(\omega)$
مقیاس کردن زمانی	پیوسته	$x_1(at)$	$\frac{1}{a} X_1(\frac{\Omega}{a})$
	گسسته	$x_1(an)$	$\frac{1}{a} X_1(\frac{\omega}{a})$

با توجه به این که الگوریتم مورد استفاده در این پایان نامه جهت افزایش قدرت تفکیک داده لرزه‌ای از دو خاصیت هم‌میخت^۱ و مقیاس کردن تبدیل فوریه بهره می‌برد، لذا، در ادامه این دو خاصیت با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱-۴-۱ خاصیت هم‌میخت تبدیل فوریه

اگر سیگنال‌های $x_1(t)$ و $x_2(t)$ دو سیگنال پیوسته غیرتناوبی باشند، هم‌میخت آن‌ها به صورت رابطه (۲-۱۰) بیان می‌شود (پروآکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷؛ بوتکاس^۲، ۲۰۰۰).

$$x_1(t) * x_2(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(\tau) x_2(t - \tau) d\tau \quad (2-10)$$

حال اگر از طرفین رابطه (۲-۱۰) تبدیل فوریه گرفته شود، می‌توان نوشت:

$$F\{x_1(t) * x_2(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} [x_1(t) * x_2(t)] e^{-j\Omega t} dt \quad (2-11)$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} x_1(\tau) x_2(t - \tau) d\tau \right] e^{-j\Omega t} dt$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(\tau) \left[\int_{-\infty}^{+\infty} x_2(t - \tau) e^{-j\Omega t} dt \right] d\tau$$

¹ Convolution

² Buttkus

در رابطه (۱۱-۲) عبارت $\int_{-\infty}^{+\infty} x_2(t-\tau)e^{-j\Omega t} dt$ با توجه به خاصیت شیفت زمانی برابر با $X_2(\Omega)e^{-j\Omega\tau}$

می‌باشد، لذا، می‌توان رابطه (۱۱-۲) را به صورت رابطه (۱۲-۲) بازنویسی نمود:

$$F\{x_1(t) * x_2(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(\tau)X_2(\Omega)e^{-j\Omega\tau} d\tau \quad (12-2)$$

$$= X_2(\Omega) \int_{-\infty}^{+\infty} x_1(\tau)e^{-j\Omega\tau} d\tau$$

$$= X_2(\Omega)X_1(\Omega) = X_1(\Omega)X_2(\Omega)$$

که $X_1(\Omega)$ و $X_2(\Omega)$ به ترتیب تبدیل فوریه $x_1(t)$ و $x_2(t)$ می‌باشند. لذا هم‌میخت دو سیگنال پیوسته در حوزه زمان به صورت ضرب تبدیل فوریه آن‌ها در حوزه فرکانس بیان می‌شود یا به عبارت دیگر:

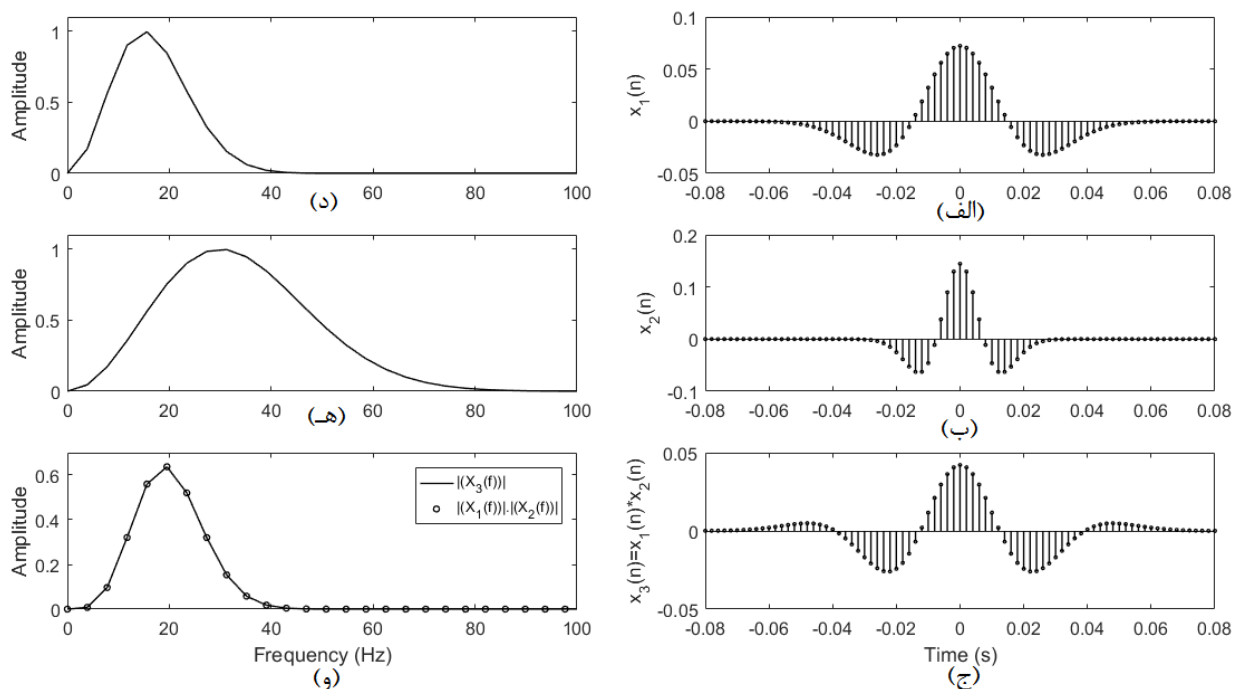
$$F\{x_1(t) * x_2(t)\} = X_1(\Omega)X_2(\Omega) \quad (13-2)$$

این خاصیت در مورد سیگنال‌های گسسته نیز قابل تعمیم است. به عبارت دیگر، اگر $x_1(n)$ و $x_2(n)$ دو سیگنال گسسته زمانی غیر تناوبی و $X_1(\omega)$ و $X_2(\omega)$ به ترتیب تبدیل فوریه آن‌ها باشند، طبق خاصیت هم‌میخت می‌توان نوشت (پروآکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷):

$$F\{x_1(n) * x_2(n)\} = X_1(\omega)X_2(\omega) \quad (14-2)$$

در شکل ۵-۲ (الف) تا (ج)، دو سیگنال گسسته زمانی غیر تناوبی $x_1(n)$ و $x_2(n)$ و حاصل هم‌میخت آن‌ها نشان داده شده است. در شکل‌های ۵-۲ (د) و ۵-۲ (هـ) تبدیل فوریه هر یک از دو سیگنال گسسته زمانی مذکور نشان داده شده است. در شکل ۵-۲ (و) تبدیل فوریه حاصل هم‌میخت دو سیگنال گسسته

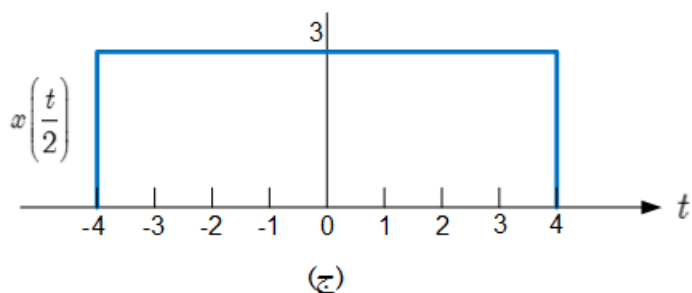
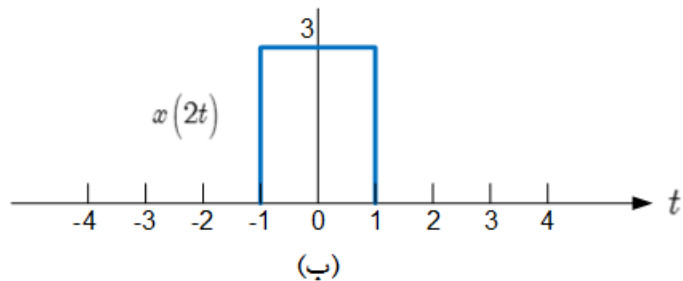
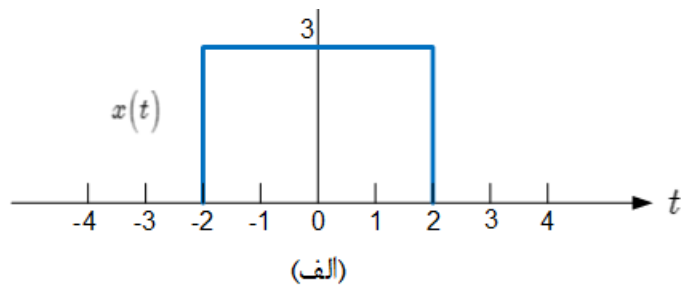
زمانی به همراه حاصل ضرب تبدیل فوریه آن‌ها با یکدیگر نمایش داده شده است که تطابق این دو سیگنال صحت خاصیت مطرح شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵، (الف) سیگنال گسسته زمانی غیرتناوبی $x_1(n)$ ، (ب) سیگنال گسسته زمانی غیرتناوبی $x_2(n)$ ، (ج) حاصل همایخت دو سیگنال (الف) و (ب)، (د) طیف دامنه سیگنال $x_1(n)$ ، (ه) طیف دامنه سیگنال $x_2(n)$ ، (و) طیف دامنه حاصل همایخت دو سیگنال گسسته زمانی (خط مشکی) و حاصل ضرب طیف دامنه دو سیگنال گسسته زمانی (نقطه‌چین).

۲-۴-۱-۲ خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه

اگر سیگنال $x(t)$ یک سیگنال پیوسته غیرتناوبی باشد، مقیاس شده زمانی آن به صورت $x(at)$ نمایش داده می‌شود. اگر فرض شود که $a > 0$ باشد، به ازای $a < 1$ ، سیگنال در راستای محور زمان گسترده‌تر می‌شود و به ازای $a > 1$ ، سیگنال در راستای محور زمان فشرده‌تر می‌شود (پروآکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷). در شکل ۲-۶ نمونه‌ای از مقیاس کردن زمانی یک سیگنال پیوسته به ازای دو مقدار $a = \frac{1}{2}$ و $a = 2$ نشان داده شده است.

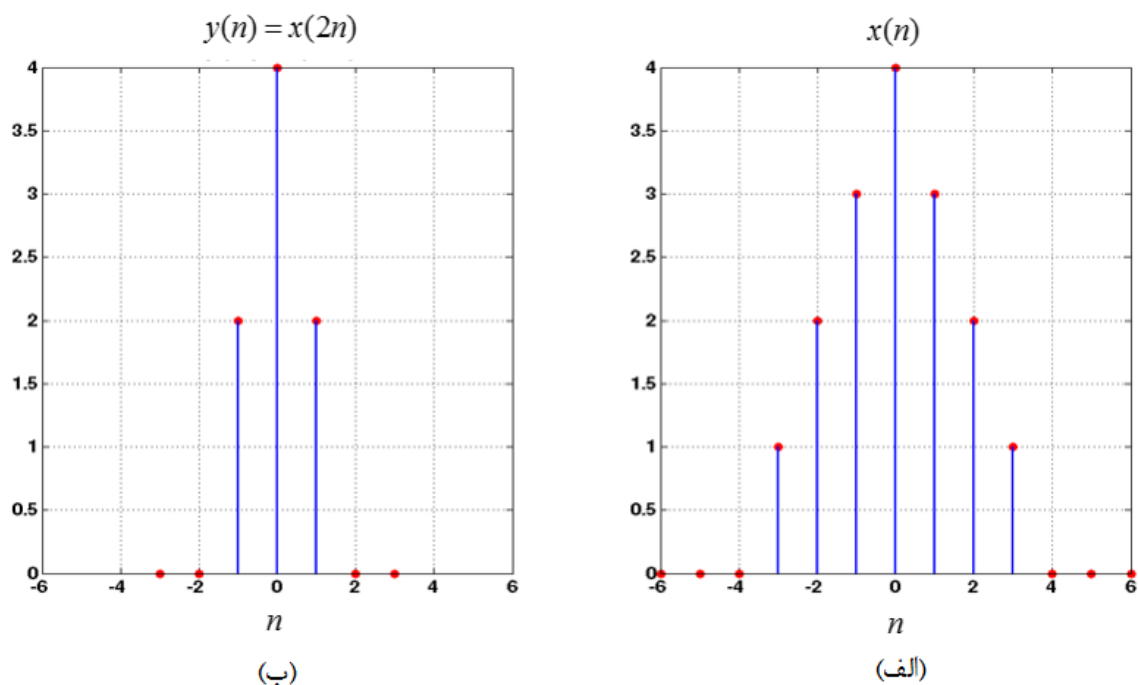


شکل ۲-۶، (الف) سیگنال پیوسته زمانی $x(t)$ ، (ب) مقیاس شده سیگنال (الف) به ازای پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (ج) مقیاس

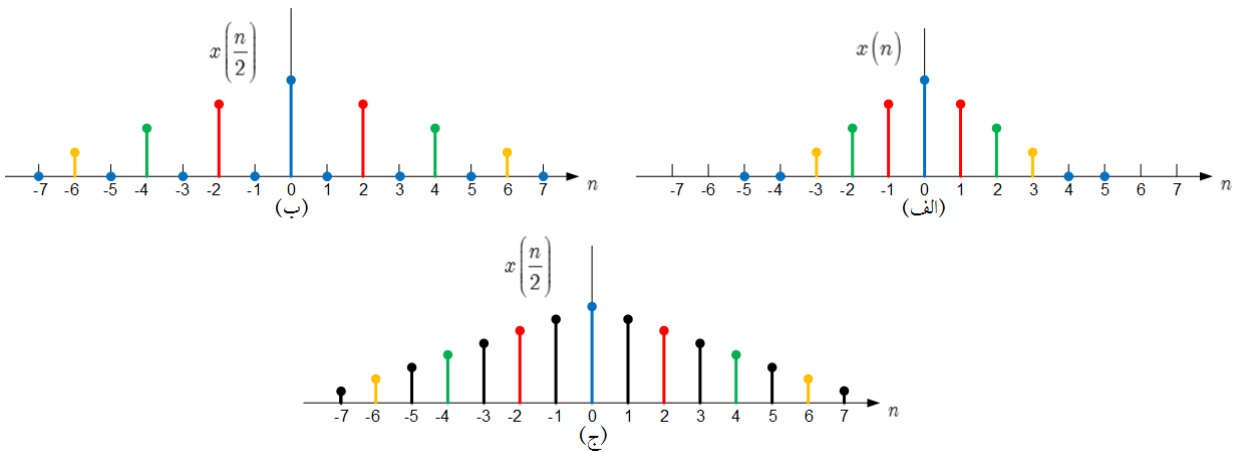
شده سیگنال (الف) به ازای پارامتر مقیاس $a = \frac{1}{2}$.

در سیگنال گسسته زمانی $x(n)$ ، مقیاس کردن زمانی کمی متفاوت از مقیاس کردن زمانی یک سیگنال پیوسته می باشد. در این حالت نیز با فرض $a > 0$ ، به ازای $a < 1$ ، سیگنال $x(an)$ در راستای محور زمان گسترده تر می شود و به ازای $a > 1$ ، سیگنال $x(an)$ در راستای محور زمان فشرده تر می شود. در شکل ۲-۷ یک سیگنال گسسته و مقیاس شده زمانی آن به ازای $a = 2$ نشان داده شده است. در شکل ۲-۸ مقیاس شده زمانی سیگنال $x(n)$ به ازای $a = \frac{1}{2}$ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، برای حالتی که پارامتر مقیاس زمانی به صورت $a < 1$ انتخاب شود، تعدادی از نمونه های سیگنال مقیاس شده در سیگنال

اولیه وجود ندارد. به عنوان مثال درمورد سیگنال $x(\frac{n}{2})$ ، به ازای $n = 1, 3, \dots$ در سیگنال $x(n)$ مقداری وجود ندارد و لذا در سیگنال مقیاس شده زمانی بایستی مقدار آن به گونه‌ای تعیین شود. برای تعیین مقدار سیگنال مقیاس شده در آن نمونه‌ها دو روش وجود دارد. در روش اول، مقادیر آن‌ها برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲-۸ (ب)) و در روش دوم، مقادیر آن‌ها از درونیایی مقادیر نمونه‌های اطراف آن نمونه محاسبه می‌شود (شکل ۲-۸ (ج)) که این حالت مشابه پیوسته در نظر گرفتن سیگنال است (هایکین، ۲۰۰۲).



شکل ۲-۷، (الف) سیگنال گسسته زمانی $x(n)$ ، (ب) مقیاس شده زمانی سیگنال (الف) به ازای پارامتر مقیاس $a = 2$.



شکل ۲-۸، سیگنال گسسته زمانی $x(n)$ که در شکل ۲-۷ (الف) نیز نشان داده شده است (الف)، سیگنال مقیاس شده

$x(n)$ به ازای پارامتر مقیاس $a = \frac{1}{2}$ با استفاده از (ب) روش اول و (ج) روش دوم.

برای بررسی خاصیت مقیاس کردن زمانی در تبدیل فوری، حالت سیگنال پیوسته در نظر گرفته می شود و سپس برای حالت گسسته تعمیم داده می شود. تبدیل فوری سیگنال پیوسته غیرتناوبی که به اندازه a مقیاس زمانی شده است به صورت رابطه (۲-۱۵) محاسبه می شود (اپنهایم و همکاران، ۱۹۹۸).

$$F\{x(at)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(at) e^{-j\Omega t} dt \quad (۲-۱۵)$$

با در نظر گرفتن تغییر متغیر $\tau = at$ ، می توان رابطه (۲-۱۵) را به صورت رابطه (۲-۱۶) بازنویسی نمود.

$$F\{x(at)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) e^{-j\frac{\Omega}{a}\tau} \frac{1}{a} d\tau \quad (۲-۱۶)$$

$$= \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) e^{-j\frac{\Omega}{a}\tau} d\tau$$

$$= \frac{1}{a} X\left(\frac{\Omega}{a}\right)$$

به عبارت دیگر، چنانچه سیگنال در حوزه زمان گسترده تر شود، تبدیل فوریه آن در حوزه فرکانس فشرده تر می شود و بالعکس. این خاصیت را می توان به سیگنال های گسسته نیز تعمیم داد که رابطه آن در جدول ۲-۱ آورده شده است.

۲-۲ تبدیل زمان-فرکانس

۲-۲-۱ مقدمه

در مباحث پردازش سیگنال ها، سیگنال ها به دو دسته پایا^۱ و ناپایا^۲ تقسیم می شوند (بوآشاش^۳، ۲۰۱۵). سیگنال پایا سیگنالی است که محتوای فرکانسی آن با زمان تغییر نکند و در مقابل سیگنال ناپایا، سیگنالی است که محتوای فرکانسی آن با زمان دستخوش تغییر می شود. در شکل ۲-۹ دو سیگنال $x_1(t)$ و $x_2(t)$ نشان داده شده است که روابط آن ها به ترتیب به صورت روابط (۲-۱۷) و (۲-۱۸) می باشد.

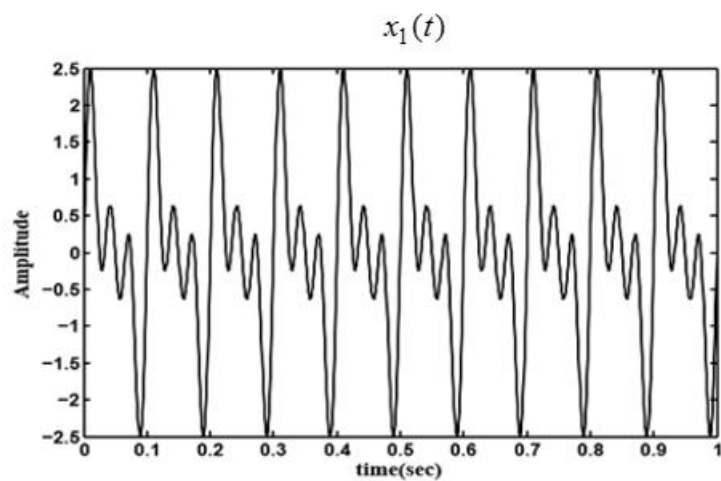
$$x_1(t) = \sin(2\pi 10t) + \sin(2\pi 20t) + \sin(2\pi 30t) \quad (2-17)$$

$$x_2(t) = \begin{cases} \sin(2\pi 10t) & t < 0.4 \\ \sin(2\pi 20t) & 0.4 < t < 0.7 \\ \sin(2\pi 30t) & t > 0.7 \end{cases} \quad (2-18)$$

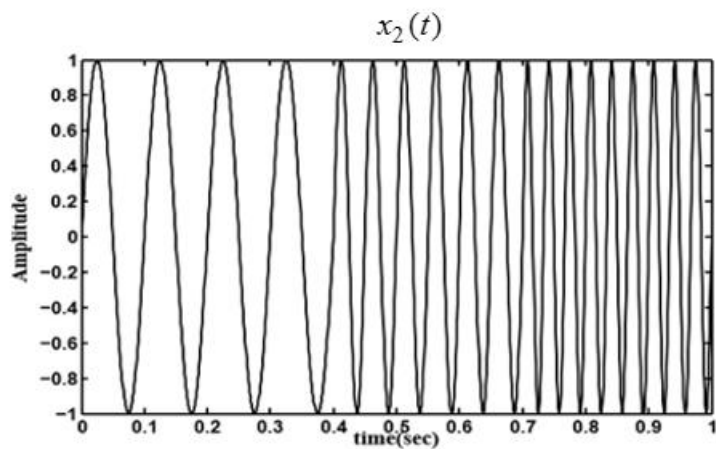
¹ Stationary

² Nonstationary

³ Boashash



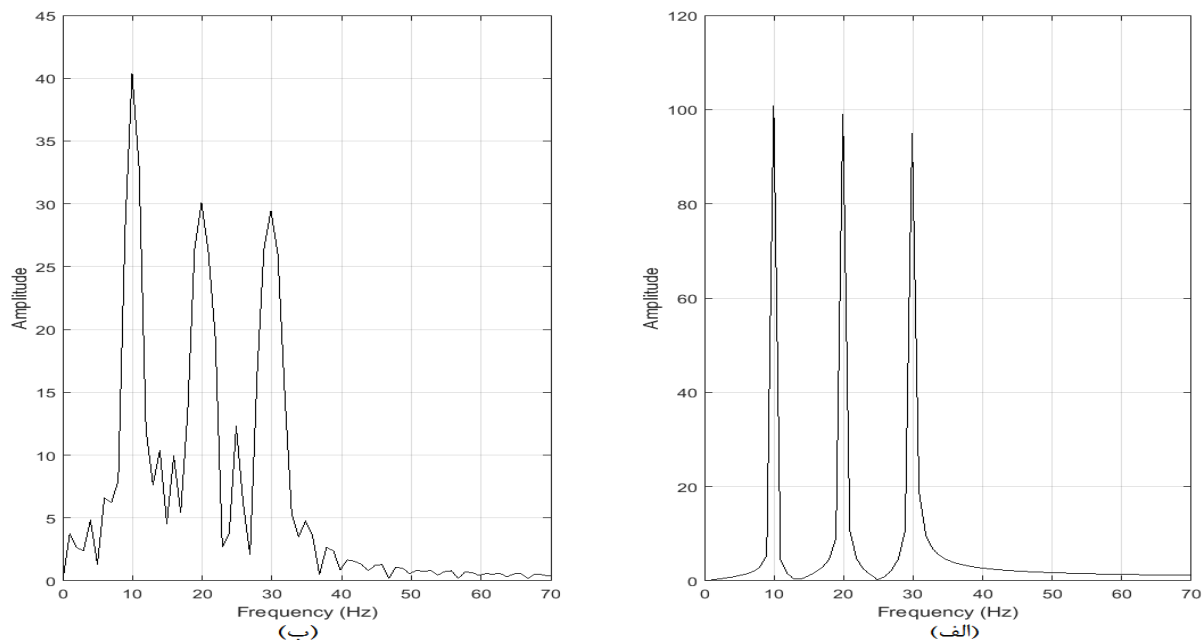
(الف)



(ب)

شکل ۹-۲، (الف) سیگنال $x_1(t)$ مربوط به رابطه (۲-۱۷)، (ب) سیگنال $x_2(t)$ مربوط به رابطه (۲-۱۸).

با توجه به روابط (۲-۱۷) و (۲-۱۸) و شکل‌های ۹-۲ (الف) و ۹-۲ (ب) می‌توان مشاهده نمود که مؤلفه‌های فرکانسی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ هرتز در سیگنال $x_1(t)$ در تمام زمان‌ها حضور دارند و با گذشت زمان محتوای فرکانسی سیگنال ثابت است. در صورتی که در سیگنال $x_2(t)$ هر کدام از سه مؤلفه فرکانسی مذکور در بازه‌های زمانی مشخص قرار دارند و محتوای فرکانسی سیگنال با زمان تغییر می‌کند. در شکل ۲-۱۰ طیف دامنه دو سیگنال $x_1(t)$ و $x_2(t)$ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰، (الف) طیف دامنه سیگنال $x_1(t)$ ، (ب) طیف دامنه سیگنال $x_2(t)$.

همانطور که مشاهده می‌شود، تبدیل فوریه، اطلاعات زمانی سیگنال‌های مورد بررسی را در حوزه فرکانس به همراه ندارد، بدین معنا که با استفاده از تبدیل فوریه، مشخص می‌شود که چه مؤلفه‌های فرکانسی در سیگنال مورد نظر وجود دارد، اما در مورد این که فرکانس مورد نظر در چه بازه زمانی سیگنال واقع شده است، اطلاعاتی به دست نمی‌دهد. بنابراین، اطلاعات به دست آمده از تبدیل فوریه سیگنال‌های پایا و ناپایا مشابه بوده و این تبدیل قادر به تفکیک این دو نوع سیگنال از یکدیگر نمی‌باشد. در صورتی که هدف مورد نظر تحلیل سیگنال‌های پایا باشد، استفاده از تبدیل فوریه کافی است، زیرا مؤلفه‌های فرکانسی سیگنال با استفاده از تبدیل فوریه قابل آشکارسازی می‌باشد و از آنجایی که این مؤلفه‌های فرکانسی در تمام نمونه‌های زمانی سیگنال رخ می‌دهد، لازم به آشکارسازی اطلاعات زمانی نیست. اما در مورد سیگنال‌های ناپایا به دلیل اینکه محتوای فرکانسی سیگنال متناسب با زمان تغییر می‌کند، استفاده از روش‌های مبتنی بر تبدیل فوریه برای تحلیل این نوع سیگنال‌ها مناسب نمی‌باشد و بایستی از روش‌هایی استفاده نمود که اطلاعات زمانی و

فرکانسی را همزمان بررسی کند. لذا راه حل مناسب برای این منظور استفاده از روش‌های مبتنی بر تبدیل-های زمان-فرکانس می‌باشد (بوآشاش، ۲۰۱۵). امروزه تبدیل‌های مختلف زمان-فرکانس معرفی شده‌اند که هر کدام دارای معایب و مزایای مخصوص به خود هستند. یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین تبدیل‌های زمان-فرکانس تبدیل فوریه زمان کوتاه^۱ می‌باشد که در ادامه به معرفی آن پرداخته می‌شود.

۲-۲-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه

گابور^۲ (۱۹۴۶) در مقاله تئوری ارتباطات، با معرفی تبدیل فوریه پنجره‌ای، ایده مطالعه و تحلیل سیگنال-ها را در حوزه مشترک زمان-فرکانس ارائه داد. در این مطالعه، تبدیل فوریه بر روی سیگنال به صورت محلی بررسی می‌شود، به این صورت که با اعمال یک تابع پنجره با طول محدود و زمان مرکزی مشخص بر روی سیگنال در حوزه زمان، بخشی از سیگنال مورد نظر انتخاب می‌شود. طول پنجره مورد نظر باید به گونه‌ای در نظر گرفته شود که بتوان قسمت کوچک انتخاب شده از سیگنال را به صورت پایا فرض نمود. سپس با اعمال تبدیل فوریه بر روی سیگنال پنجره‌ای شده، یک طیف فوریه محلی از سیگنال حاصل می‌گردد که به زمان مرکزی آن نسبت داده می‌شود. با تکرار این مراحل برای پنجره‌ها با زمان مرکزی مختلف، سیگنال مورد نظر که تابعی از زمان بود تحت فرایند مذکور به تابعی از زمان-فرکانس تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر توزیع فرکانسی بر حسب زمان به دست می‌آید (آلن^۳، ۲۰۰۴). نقشه زمان-فرکانس حاصل، طیف نگاشت نامیده می‌شود (ریول و فلاندرین^۴، ۱۹۹۲). تبدیل فوریه زمان کوتاه سیگنال $x(t)$ به صورت رابطه (۲-۱۹) تعریف می‌شود (آلن، ۲۰۰۴).

¹ Short Time Fourier Transform

² Gabor

³ Allen

⁴ Rioul & Flandrin

$$X_w(\tau, F) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)w(t-\tau)e^{-2\pi i F t} dt \quad (۱۹-۲)$$

که $w(t)$ بیانگر پنجره زمانی و τ زمان مرکزی آن می‌باشد. گابور در معرفی تبدیل فوری پنجره‌ای، پنجره را از نوع گاوسی^۱ در نظر گرفت که به تبدیل گابور مشهور گردید. در حالت کلی از توابع پنجره‌ای دیگر نیز برای تحلیل سیگنال در حوزه زمان-فرکانس می‌توان استفاده نمود. متداول‌ترین تابع مورد استفاده به منظور پنجره کردن سیگنال، تابع مربعی می‌باشد، این تابع قسمتی از سیگنال را که در همسایگی زمان مرکزی پنجره قرار دارد، بدون ایجاد تغییری در آن جدا کرده و سیگنال را در بقیه زمان‌ها صفر می‌کند که این عمل باعث به وجود آمدن پدیده گیبس^۲ در طیف فرکانسی سیگنال می‌شود (کوهن^۳، ۱۹۹۵). پدیده گیبس، در واقع در اثر نوسانی شدن طیف فرکانسی سیگنال در قسمت بریده شده آن می‌باشد. شدت نوسانی شدن طیف سیگنال وابسته به نوع پنجره مورد استفاده برای بریدن آن، تغییر می‌کند. استفاده از پنجره‌هایی نظیر گاوسی، همینگ^۴، هنینگ^۵ و بلکمن^۶ که در کناره‌ها دارای دامنه کمتری می‌باشند، میزان اثر پدیده گیبس را کاهش می‌دهد (مالات^۷، ۱۹۹۹). در جدول ۲-۳ نام و رابطه توابع پنجره مورد استفاده در محاسبه طیف زمان-فرکانس سیگنال، آورده شده است. شکل توابع پنجره مذکور در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است.

¹ gaussian

² Gibss

³ Cohen

⁴ Hamming

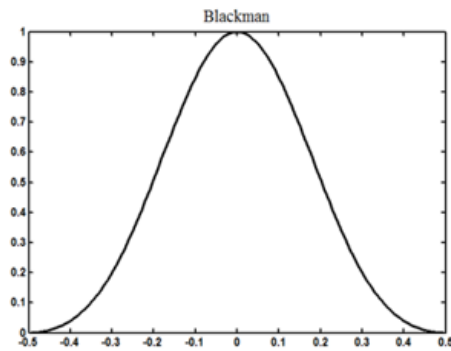
⁵ Hanning

⁶ Blackman

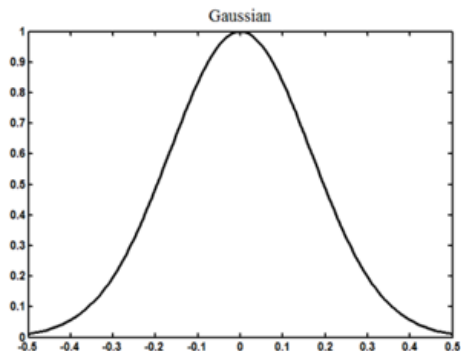
⁷ Mallat

جدول ۲-۲، نام و رابطه توابع پنجره متداول (مالات، ۱۹۹۹).

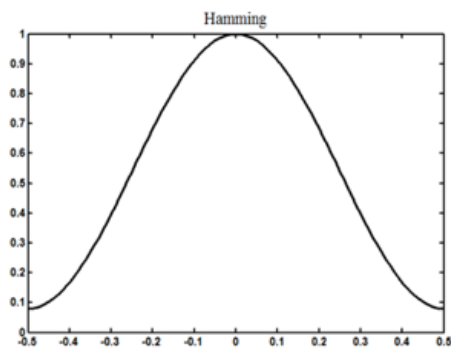
Name	$W(t)$
Rectangular	1
Gaussian	$e^{(-18t^2)}$
Blackman	$0.42 + 0.5 \cos(2\pi t) + 0.08 \cos(4\pi t)$
Hanning	$\cos^2(\pi t)$
Hamming	$0.54 + 0.46 \cos(2\pi t)$



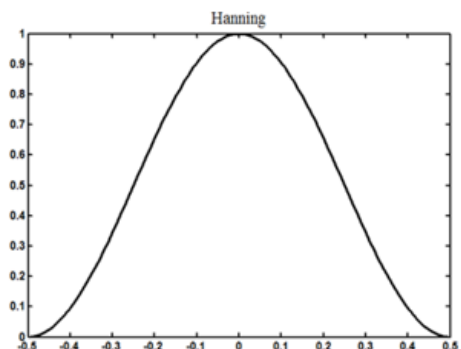
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲-۱۱، شکل توابع پنجره (الف) گاوسی، (ب) بلکمن، (ج) هنینگ و (د) همینگ طبق روابط جدول ۲-۳.

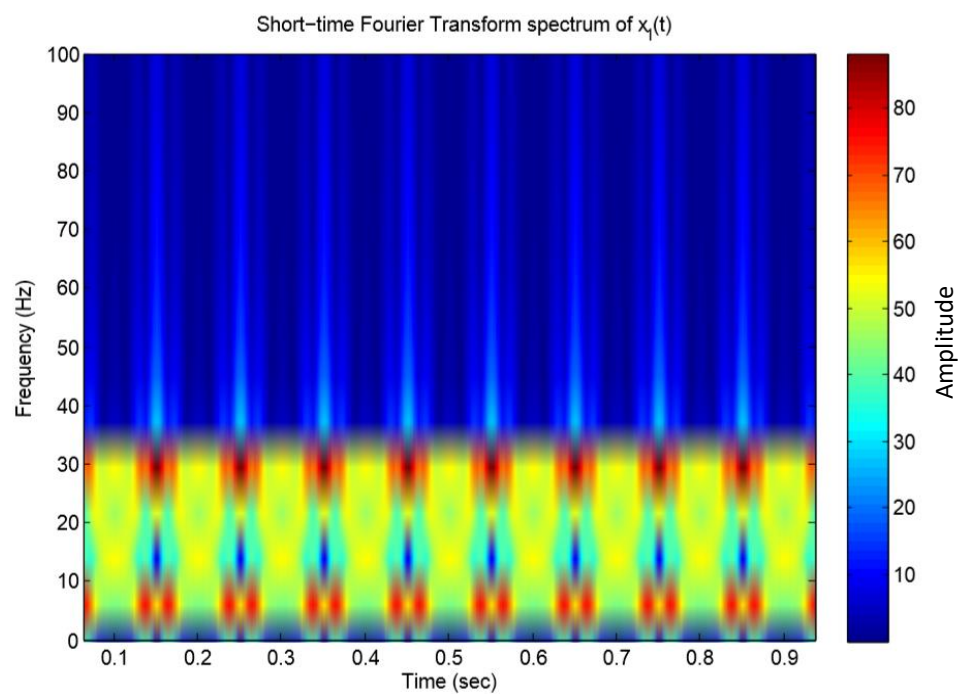
۲-۲-۱-۲ خواص تبدیل فوریه زمان کوتاه

همانند تبدیل فوریه، تبدیل فوریه زمان کوتاه نیز دارای خواصی می‌باشد که در جدول ۲-۳ آورده شده است (آلن، ۲۰۰۴).

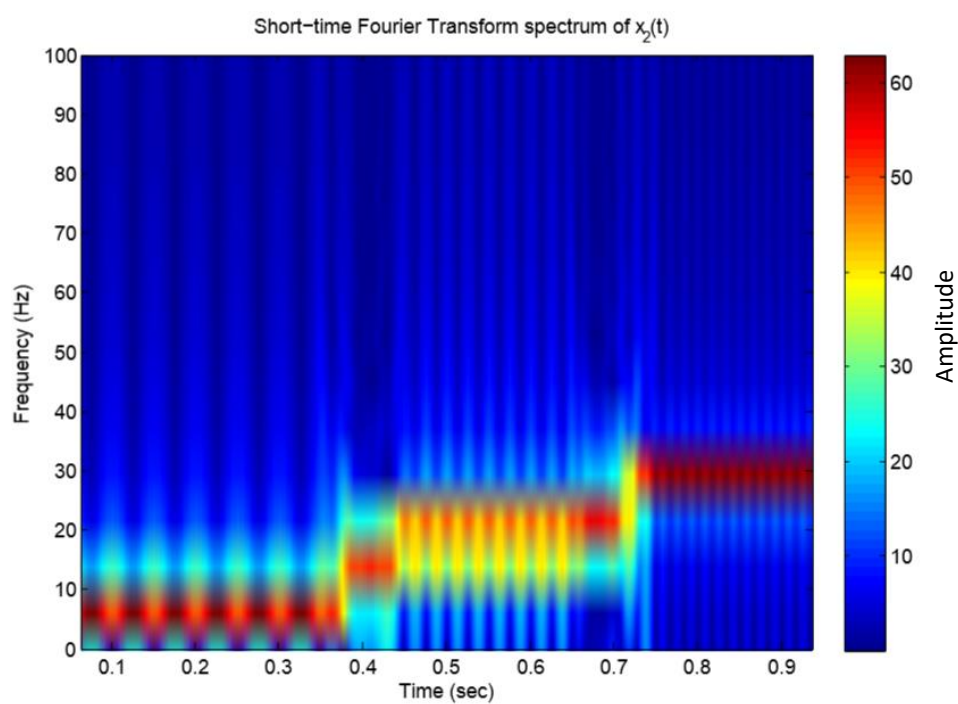
جدول ۲-۳، خواص مهم تبدیل فوریه زمان کوتاه.

خاصیت	حوزه زمانی	حوزه زمان-فرکانس
خطی بودن	$ax(t) + by(t)$	$aX_w(\tau, F) + bY_w(\tau, F)$
شیفت زمانی	$x(t - a)$	$e^{-jaF} X_w(\tau - a, F)$
شیفت فرکانسی	$x(t)e^{jat}$	$X_w(\tau, F - a)$
همامیخت	$x(t) * y(t)$	$X_w(\tau, F)Y_w(\tau, F)$
مقیاس کردن زمانی	$x(at), a > 0$	$\frac{1}{a} X_w(a\tau, \frac{F}{a})$

در شکل ۲-۱۲ طیف نگاشت حاصل برای دو سیگنال $x_1(t)$ و $x_2(t)$ معرفی شده در شکل ۲-۹ رسم شده است که کارایی تبدیل زمان-فرکانس سیگنال‌های ناپایا را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۲-۱۲، طیف نگاشت سیگنال (الف) $x_1(t)$ ، (ب) $x_2(t)$ معرفی شده در شکل ۲-۹.

فصل سوم

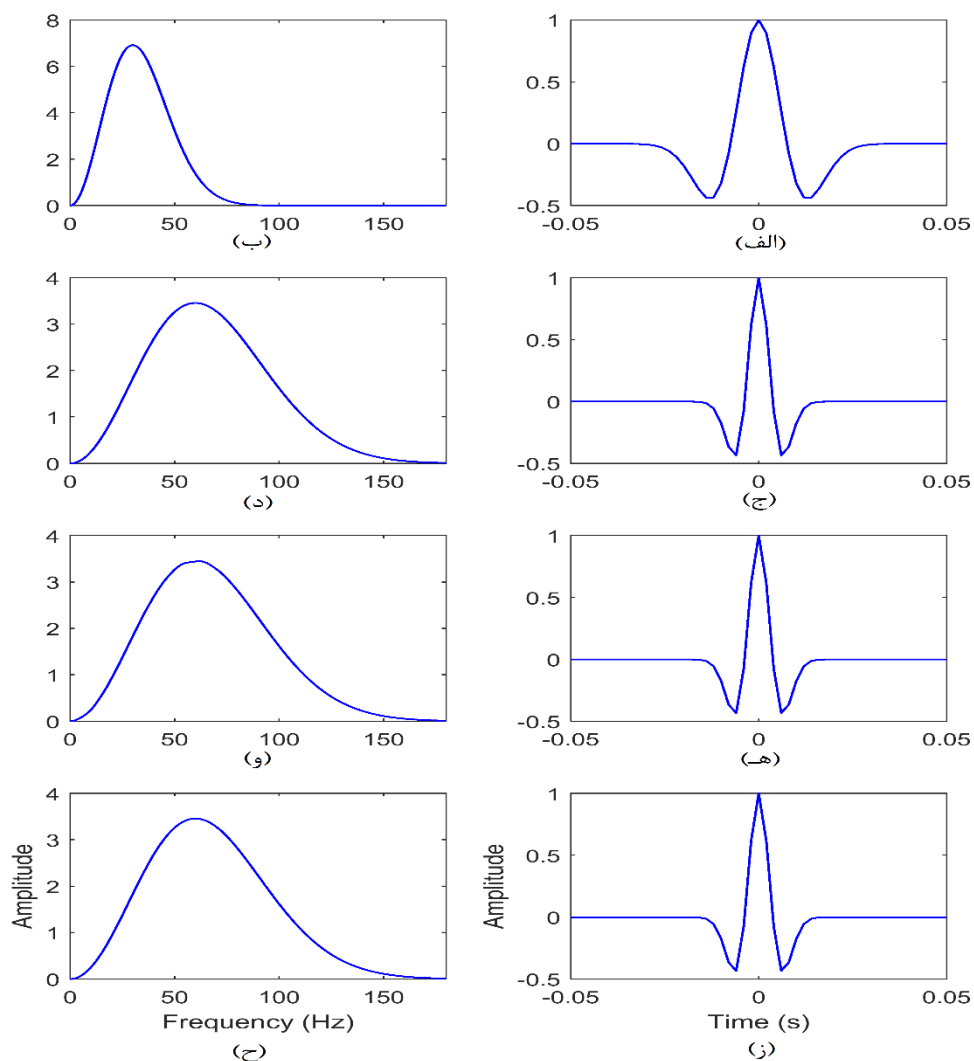
روش تحقیق

۳-۱ طراحی فیلتر افزایش قدرت تفکیک زمانی در حوزه فوریه

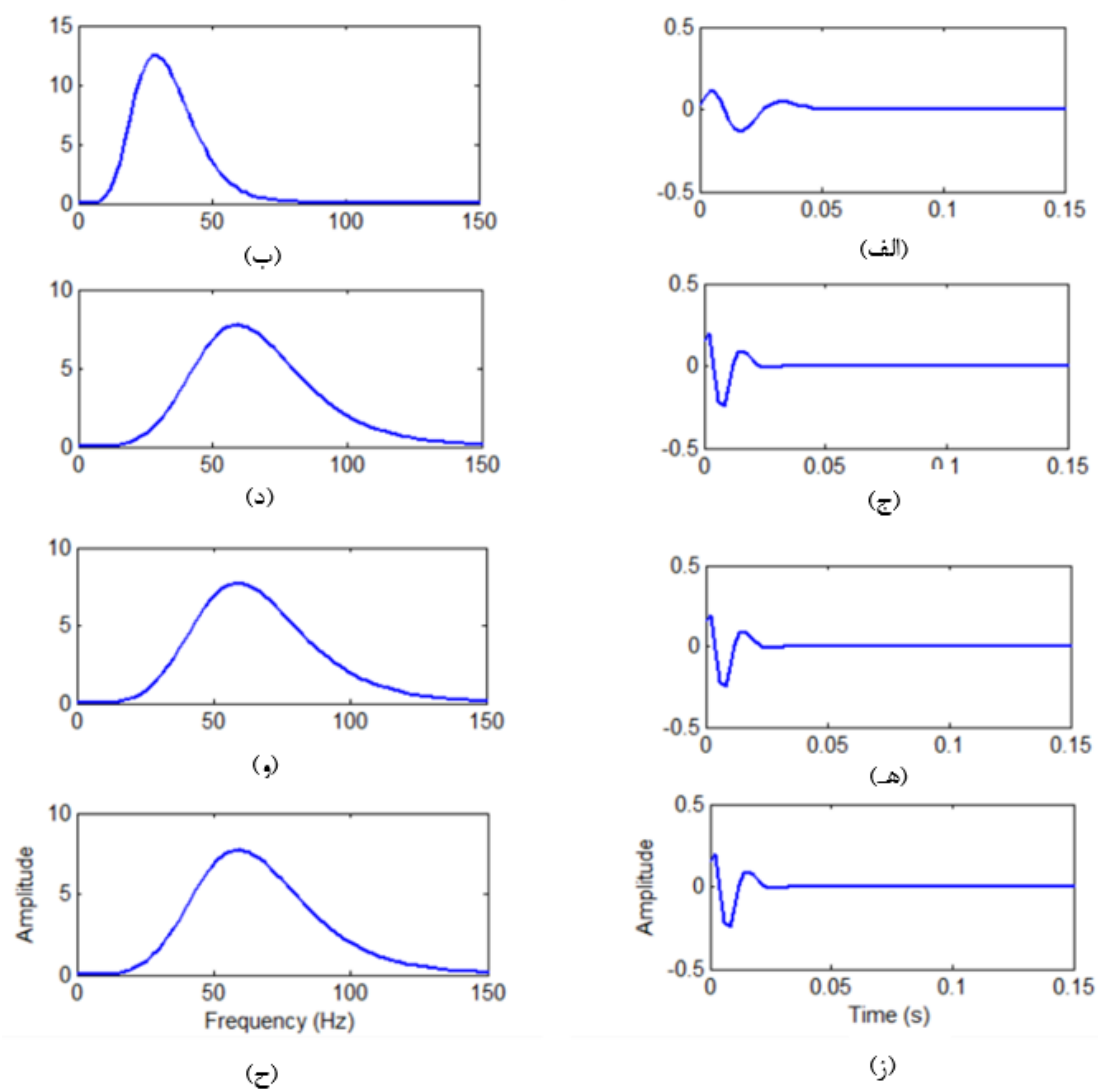
به منظور درک ایده اصلی روش، ابتدا یک موجک ریکر با فرکانس غالب ۳۰ هرتز مفروض است. در شکل ۳-۱ (الف) و (ب)، موجک مذکور به همراه طیف دامنه آن نشان داده شده است. با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ ، موجک ریکر ۳۰ هرتز مقیاس می‌شود. در شکل ۳-۱ (ج) و (د)، موجک مقیاس زمانی شده و طیف دامنه آن رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، موجک مقیاس شده در حوزه زمان نسبت به موجک اولیه، فشرده‌تر شده است. مقایسه طیف دامنه دو موجک قبل و بعد از مقیاس کردن زمانی نشان می‌دهد که در اثر مقیاس کردن علاوه بر افزایش پهنای باند فرکانسی، فرکانس غالب به سمت فرکانس‌های بالا شیف‌ت پیدا کرده است. در مرحله بعد، تبدیل فوریه موجک ریکر ۳۰ هرتز با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، مقیاس می‌شود. سپس با استفاده از تبدیل فوریه معکوس، تبدیل فوریه مقیاس شده به حوزه زمان بازگردانده می‌شود. در شکل ۳-۱ (ه) و (و) به ترتیب موجک بازیابی شده از تبدیل فوریه مقیاس شده و طیف دامنه آن رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، شکل زمانی موجک‌های مقیاس شده زمانی و فرکانسی و همچنین طیف دامنه آن‌ها کاملاً با یکدیگر یکسان است. در شکل ۳-۱ (ز) و (ح) به ترتیب موجک ریکر ۶۰ هرتز به همراه طیف دامنه آن‌ها رسم شده است. مشاهده می‌شود که موجک‌های مقیاس شده زمانی یا فرکانسی با پارامتر مقیاس $a = 2$ هم از نظر زمانی و هم از نظر فرکانسی به موجک ریکر ۶۰ هرتز بسیار نزدیک می‌باشند.

موجک ریکر یک موجک با فاز صفر می‌باشد. به راحتی می‌توان موارد فوق را برای یک موجک با فاز کمینه نیز نشان داد. در شکل ۳-۲ (الف) و (ب) یک موجک با فاز کمینه و فرکانس غالب ۳۰ هرتز نشان داده شده است. در شکل‌های ۳-۲ (ج) و (ه) به ترتیب موجک‌های مقیاس شده زمانی و فرکانسی با پارامتر مقیاس $a = 2$ و طیف دامنه آن‌ها در شکل‌های ۳-۲ (د) و (و) نشان داده شده است. در شکل ۳-۲ (ز) و (ح) نیز موجک با فاز کمینه و فرکانس غالب ۶۰ هرتز به همراه طیف دامنه آن نشان داده شده است. به

راحتی می‌توان مشاهده نمود که هر دو موجک مقیاس شده با موجک با فاز کمینه ۶۰ هرتز چه در حوزه زمان و چه در حوزه فرکانس بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشند. لذا می‌توان از خاصیت مقیاس کردن زمانی و معادل آن در حوزه فرکانس برای افزایش قدرت تفکیک زمانی یا افزایش فرکانس غالب داده‌های لرزه‌ای استفاده کرد.



شکل ۱-۳، شکل زمانی (الف) و طیف فرکانسی (ب) موجک ریکر با فرکانس غالب ۳۰ هرتز، (ج) و (د) موجک ریکر ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه زمان با پارامتر مقیاس $a=2$ ، (ه) و (و) موجک ریکر ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه فرکانس با پارامتر مقیاس $a=2$ ، (ز) و (ح) شکل زمانی و طیف دامنه فرکانسی موجک ریکر با فرکانس غالب ۶۰ هرتز.



شکل ۳-۲، شکل زمانی (الف) و طیف فرکانسی (ب) موجک با فاز کمینه و فرکانس غالب ۳۰ هرتز، (ج) و (د) موجک کمینه فاز ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه زمان با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (هـ) و (و) موجک کمینه فاز ۳۰ هرتز مقیاس شده در حوزه فرکانس با پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (ز) و (ح) شکل زمانی و طیف دامنه فرکانسی موجک با فاز کمینه و فرکانس غالب ۶۰ هرتز.

بر اساس مدل همامیخت (ایلماز، ۲۰۰۱)، ردلرزه، $s(t)$ ، حاصل همامیخت موجک چشمه لرزه‌ای، $w(t)$ و سری بازتاب زمین، $r(t)$ ، است. این مدل همامیختی در صورت عدم وجود نوفه به صورت رابطه (۱-۳) بیان می‌شود (ایلماز، ۲۰۰۱).

$$s(t) = w(t) * r(t) \quad (1-3)$$

در این رابطه * عملگر همامیخت می‌باشد که طبق خاصیت همامیخت تبدیل فوری، به عملگر ضرب در حوزه فرکانس تبدیل می‌شود.

$$S(F) = W(F)R(F) \quad (2-3)$$

$S(F)$ ، $W(F)$ و $R(F)$ به ترتیب تبدیل فوری ردلرزه، موجک چشمه لرزه‌ای و سری بازتاب زمین می‌باشند. چنانچه موجک مقیاس شده در حوزه زمان و فرکانس به ترتیب با $\hat{w}(t)$ و $\hat{W}(F)$ نشان داده شود، می‌توان بر اساس مدل همامیختی، روابط (۱-۳) و (۲-۳) را به صورت روابط (۳-۳) و (۴-۳) بازنویسی نمود.

$$\hat{s}(t) = \hat{w}(t) * r(t) \quad (3-3)$$

$$\hat{S}(F) = \hat{W}(F)R(F) \quad (4-3)$$

با توجه به رابطه (۲-۳) و (۴-۳)، ارتباط میان $S(F)$ و $\hat{S}(F)$ به صورت رابطه (۵-۳) تعریف می‌شود:

$$\hat{S}(F) = \frac{\hat{W}(F)}{W(F)} S(F) = H(F) S(F) \quad (5-3)$$

طبق خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوری، اگر فاکتور مقیاس به صورت $|a| > 1$ انتخاب شود، موجک مقیاس شده در حوزه فرکانس نسبت به موجک اولیه گسترده‌تر می‌شود و فرکانس غالب داده به فرکانس بالاتر انتقال می‌یابد و فرکانس‌های بالا تقویت می‌شوند.

در واقع $H(F)$ ، تبدیل فوریه فیلتر $h(t)$ می‌باشد که با اعمال آن بر روی ردلرزه مطابق رابطه (۳-۶)، ردلرزه‌ای به دست می‌آید که فرکانس غالب آن افزایش یافته و قدرت تفکیک قائم (زمانی) آن بهبود یافته است.

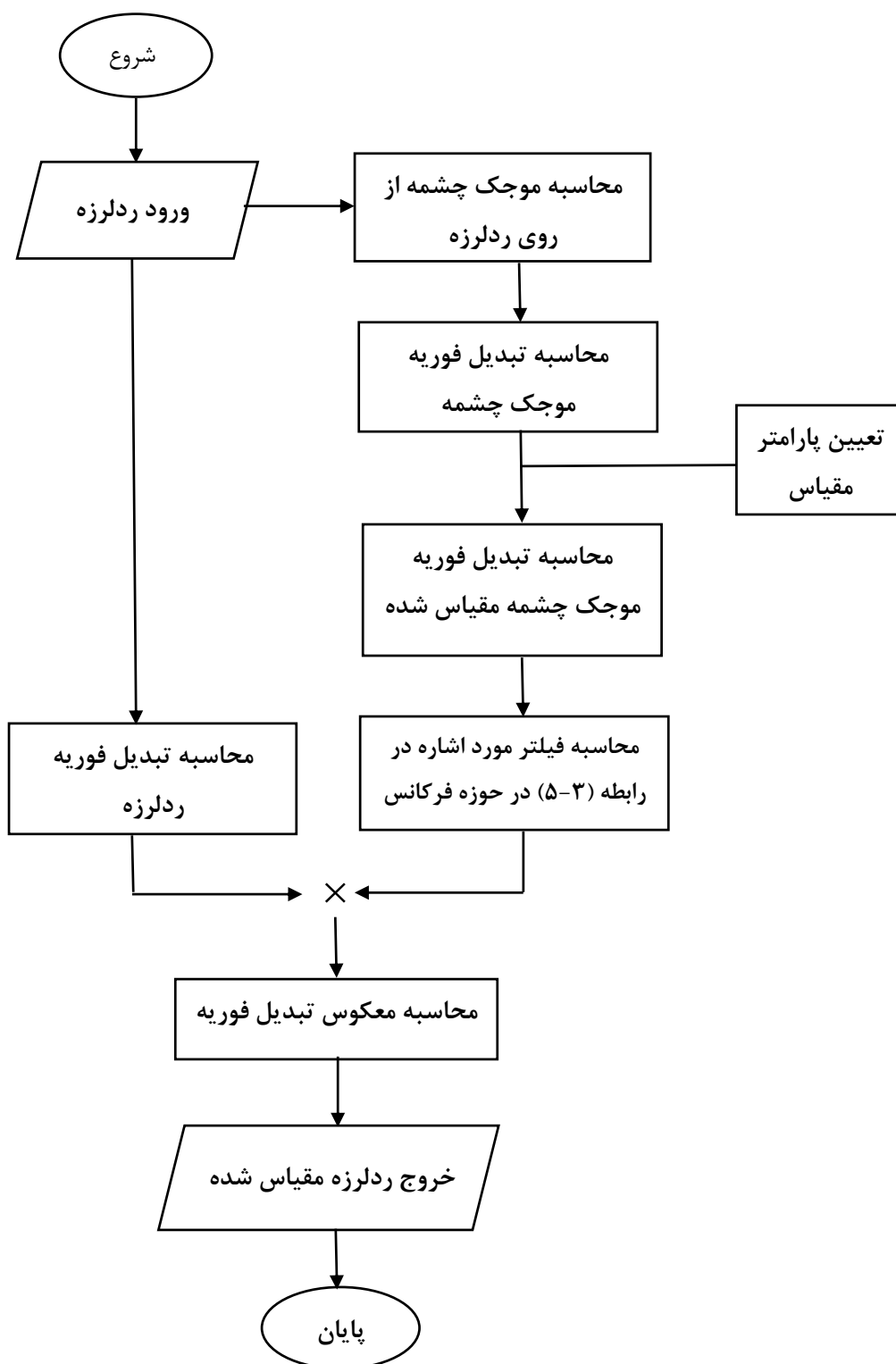
$$\hat{s}(t) = h(t) * s(t) \quad (۳-۶)$$

طراحی این فیلتر با توجه به رابطه (۳-۵) به صورت رابطه (۳-۷) می‌باشد.

$$H(F) = \frac{\hat{W}(F)}{W(F)} \quad (۳-۷)$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(F) e^{j2\pi Ft} dF \quad (۳-۸)$$

در شکل ۳-۳ فلوجارت الگوریتم افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه نشان داده شده است.



شکل ۳-۳، فلوچارت روش افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه.

بایستی توجه نمود که با اعمال فیلتر مذکور که باعث تقویت فرکانس‌های بالا در داده لرزه‌ای می‌شود، در صورت حضور نوفه تصادفی در داده لرزه‌ای باعث تقویت مؤلفه‌های فرکانس بالای نوفه تصادفی می‌شود و سبب تقویت نوفه‌های با فرکانس بالا می‌شود. میزان افزایش قدرت تفکیک و به تبع آن تقویت فرکانس‌های بالا برای مقادیر پارامتر مقیاس بزرگتر، بیشتر است. بنابراین با افزایش مقدار پارامتر مقیاس، تقویت نوفه فرکانس بالا بیشتر می‌شود. لذا تعیین مقدار پارامتر مقیاس یک مسئله trade-off می‌باشد و مقدار آن به گونه‌ای باید انتخاب شود تا علاوه بر افزایش فرکانس غالب، نوفه‌های تصادفی فرکانس بالا تقویت بیش از حد نشوند. البته می‌توان با اعمال یک قید بر روی فیلتر طراحی شده که تقویت فرکانس‌های بالاتر از یک فرکانس آستانه را محدود یا حتی صفر نماید تا تقویت نوفه کنترل شود و بتوان مقادیر بالاتری برای پارامتر مقیاس انتخاب نمود.

با توجه به الگوریتم روش مورد نظر، موجک چشمه لرزه‌ای باید معلوم باشد. از آنجایی که در اغلب موارد موجک چشمه نامعلوم است لذا باید از روی ردلرزه موجود، تخمین زده شود. موجک چشمه لرزه‌ای را به روش‌های مختلفی می‌توان تخمین زد. یکی از روش‌های مورد استفاده به منظور تخمین موجک چشمه به این صورت است که طیف دامنه موجک از طریق برازش منحنی بر طیف دامنه ردلرزه تخمین زده می‌شود، سپس می‌توان طیف فاز را از طریق صفر قرار دادن برای موجک با فاز صفر و یا از روش کولموگروف (دی و لاینز^۱، ۱۹۹۸) برای موجک با فاز کمینه به دست آورد (به پیوست مراجعه شود). در نهایت با معکوس تبدیل فوریه موجک چشمه لرزه‌ای تخمین زده می‌شود.

^۱ Dey & Lines^۲

۲-۳ روش تحقیق در حوزه زمان-فرکانس (تبدیل گابور)

روش معرفی شده در بخش قبل بر مبنای خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه تعریف شده است. این روش در مورد سیگنال‌های با محتوای فرکانسی نامتغیر با زمان (سیگنال‌های پایا) کاربرد دارد، زیرا در حالت کلی برای استفاده از تبدیل فوریه باید شرط پایا بودن سیگنال برقرار باشد. اما چنانچه سیگنال مورد نظر، ناپایا باشد، در این صورت روش مبتنی بر تبدیل فوریه قادر به تولید نتایج مناسبی نمی‌باشد. در این حالت مدل هم‌میختی رابطه (۱-۳) دیگر برقرار نمی‌باشد و به گونه‌ای دیگر تعریف می‌شود.

۲-۲-۱ مدل هم‌میخت سیگنال لرزه‌ای ناپایا

از آنجایی که موجک چشمه لرزه‌ای در هنگام انتشار در زمین به دلیل وجود عواملی نظیر جذب ذاتی^۱ دچار افت دامنه و به دنبال آن تغییر محتوای فرکانسی می‌شود، بنابراین یک موجک لرزه‌ای در اصطلاح یک موجک ناپایا نامیده می‌شود و در نتیجه یک سیگنال لرزه‌ای که حاصل هم‌میخت موجک لرزه‌ای و سری بازتاب زمین می‌باشد نیز به صورت یک سیگنال ناپایا است و با مدل هم‌میخت ناپایا تعریف می‌شود. مدل هم‌میخت ناپایا برای یک ردلرزه حاصل از چشمه تابع ضربه واحد^۲، $S_Q(t)$ ، که توسط مارگریو^۳ (۱۹۹۸) برای فاکتور کیفیت ثابت معرفی شد به صورت رابطه (۳-۹) تعریف می‌شود.

$$S_Q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha(\tau, F) r(\tau) e^{2\pi i F(t-\tau)} dF d\tau \quad (۳-۹)$$

که $r(\tau)$ سری ضرایب بازتاب و $\alpha(\tau, F)$ تابع تضعیف می‌باشد که این تابع به فاکتور کیفیت^۴ (Q) وابسته است و به صورت رابطه (۳-۱۰) تعریف می‌شود.

^۱ Absorption

^۲ Unit impulse function

^۳ Margrave

^۴ Quality factor

$$\alpha_Q(\tau, F) = e^{\frac{-\pi F \tau}{Q} + iH(\frac{\pi F \tau}{Q})} \quad (۱۰-۳)$$

که H نشان‌دهنده تبدیل هیلبرت است.

فاکتور کیفیت در مطالعه مخازن هیدروکربنی کاربرد مؤثری دارد. مقادیر پایین آن نشان‌دهنده تضعیف انرژی لرزه‌ای در محیط انتشار بوده که می‌تواند ناشی از وجود یک محیط متخلخل و یا حضور گاز باشد.

در رابطه (۹-۳) می‌توان انتگرال بر روی فرکانس F را با استفاده از معکوس تبدیل فوریه به صورت رابطه (۱۱-۳) بازنویسی کرد.

$$a(\tau, t - \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha(\tau, F) e^{2\pi i F(t - \tau)} dF \quad (۱۱-۳)$$

حال می‌توان با در نظر گرفتن رابطه (۱۱-۳)، رابطه (۹-۳) را به صورت رابطه (۱۲-۳) بازنویسی کرد.

$$S_Q(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(\tau, t - \tau) r(\tau) d\tau \quad (۱۲-۳)$$

مدل هم‌امیختی ناپایا را می‌توان بر اساس رابطه (۱۲-۳) به صورت رابطه (۱۳-۳) نوشت.

$$S_Q = AR \quad (۱۳-۳)$$

که A یک ماتریس غیر توپلیتز^۱ مربوط به $a(\tau, t - \tau)$ و R یک بردار متشکل از ضرایب سری بازتاب زمین می‌باشد.

حال اگر به جای تابع ضربه واحد از یک تابع متداول، $w(t)$ ، به عنوان چشمه انرژی استفاده گردد، شکل ماتریسی مدل هم‌امیختی ناپایا در رابطه (۱۳-۳) به صورت رابطه (۱۴-۳) تبدیل می‌شود.

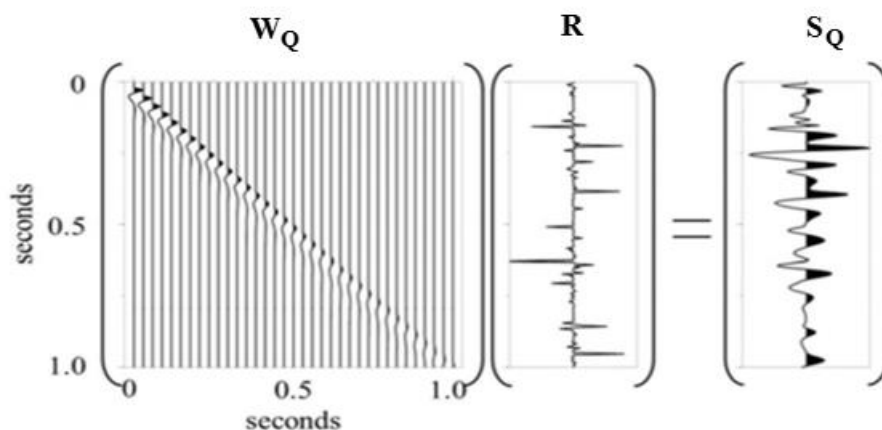
¹ Toeplitz

$$S_Q = W A R \quad (۱۴-۳)$$

W یک ماتریس توپلیتس متشکل از $w(t)$ و S_Q بردار مربوط به نمونه‌های زمانی ردلرزه می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۳). اگر $W_Q = W A$ تعریف شود، یک ردلرزه ناپایا از حاصل ضرب ماتریس ناپایا (W_Q) و بردار ضرایب سری بازتاب زمین به صورت رابطه (۱۵-۳) به دست می‌آید.

$$S_Q = W_Q R \quad (۱۵-۳)$$

در شکل ۴-۳ رابطه (۱۵-۳) به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۴-۳، تصویری از معادله ماتریسی هم‌میخت ناپایا (مارگریو، ۱۹۹۸).

در گذشته، در فرایند پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای مصنوعی فرض ناپایا بودن داده لحاظ نمی‌شد و از آنجایی که ماهیت داده‌های واقعی، ناپایا می‌باشد، نتایج حاصل از پردازش و تفسیر آن‌ها با مقدار اندکی خطا همراه خواهد بود. امروزه با معرفی تبدیل‌های زمان-فرکانس امکان پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای با فرض ناپایا بودن امکان‌پذیر شده است. به منظور کاهش خطای موجود در مسئله بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای نیز برای داده‌های لرزه‌ای واقعی، بایستی فرض ناپایا بودن این‌گونه داده‌ها در طراحی عملگر روش مورد استفاده در نظر گرفته شود. لذا ایده استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه را می‌توان به استفاده از خاصیت مقیاس کردن در حوزه زمان-فرکانس بسط داد و فرایند طراحی فیلتر را در

حوزه زمان-فرکانس انجام داد. در این پایان نامه از تبدیل فوریه زمان کوتاه با تابع پنجره گاوسی و یا به عبارتی دیگر از تبدیل گابور به منظور طراحی فیلتر مذکور در حوزه زمان-فرکانس استفاده شده است.

۳-۲-۲ تبدیل گابور داده لرزه‌ای ناپایا

با اعمال تبدیل گابور بر روی یک ردلرزه ناپایا که طبق مدل هم‌میختی (۳-۱۴) تعریف می‌شود، مطابق خاصیت هم‌میختی تبدیل گابور، عملگر هم‌میخت به عملگر ضرب تبدیل شده و رابطه (۳-۱۶) به دست می‌آید (مارگریو و همکاران، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴).

$$S_g(\tau, F) = W(F)\alpha_Q(\tau, F)R_g(\tau, F) = W_Q(\tau, F)R_g(\tau, F) \quad (۳-۱۶)$$

که $S_g(\tau, F)$ تبدیل گابور ردلرزه، $W(F)$ تبدیل فوریه موجک لرزه‌ای، $\alpha_Q(\tau, F)$ تابع تبدیل فاکتور کیفیت و $R_g(\tau, F)$ تبدیل گابور سری ضرایب بازتاب می‌باشد.

۳-۲-۳ طراحی فیلتر افزایش قدرت تفکیک زمانی در حوزه گابور

اگر در رابطه (۳-۱۴)، نسخه مقیاس شده موجک لرزه‌ای جایگزین موجک لرزه‌ای اولیه شود، رابطه (۳-۱۷) به دست می‌آید.

$$\hat{S}_Q = \hat{W}AR \quad (۳-۱۷)$$

که $\hat{S}_Q$ ردلرزه با موجک مقیاس شده $\hat{w}(t)$ می‌باشد و $\hat{W}$ ماتریس مربوط به $\hat{w}(t)$ می‌باشد. با اعمال تبدیل گابور بر روی رابطه (۳-۱۷)، رابطه (۳-۱۸) به دست می‌آید.

$$\hat{S}_g(\tau, F) = \hat{W}(F)\alpha_Q(\tau, F)R_g(\tau, F) = \hat{W}_Q(\tau, F)R_g(\tau, F) \quad (۳-۱۸)$$

که $\hat{S}_g(\tau, F)$ تبدیل گابور ردلرزه $\hat{S}(t)$ و $\hat{W}(F)$ تبدیل فوریه موجک مقیاس شده $\hat{W}(t)$ می‌باشد. با توجه به روابط (۱۶-۳) و (۱۸-۳) ارتباط بین تبدیل گابور ردلرزه ناپایا و نسخه مقیاس شده آن به صورت رابطه (۱۹-۳) به دست می‌آید.

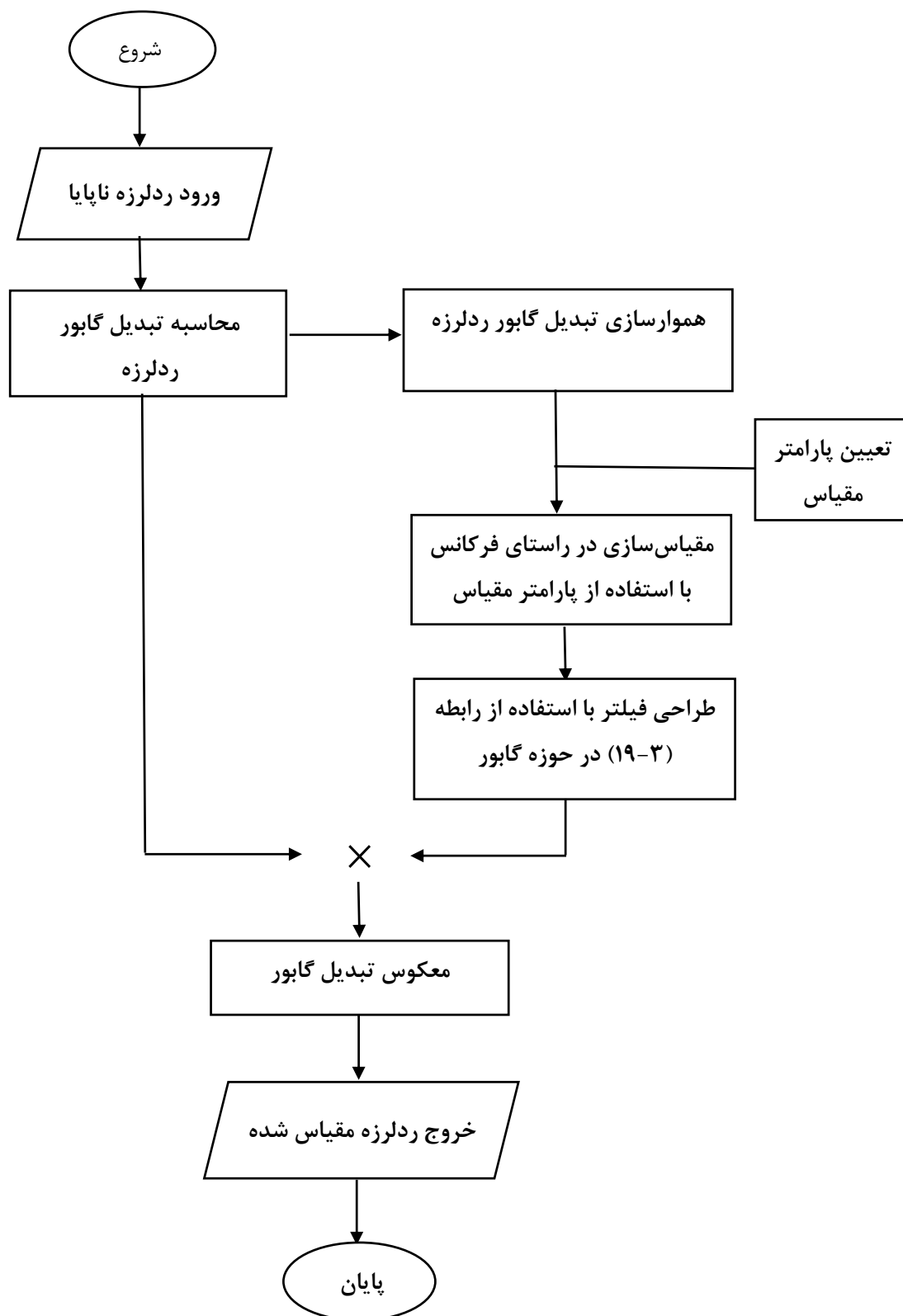
$$\hat{S}_g(\tau, F) = \frac{\hat{W}_Q(\tau, F)}{W_Q(\tau, F)} S_g(\tau, F) = G(\tau, F) S_g(\tau, F) \quad (۱۹-۳)$$

که $G(\tau, F)$ تابع تبدیل زمان-فرکانس مورد نظر می‌باشد. چنانچه موجک چشمه لرزه‌ای شناخته شده باشد، یا به عبارت دیگر $W(F)$ و $\hat{W}(F)$ مشخص باشد، آنگاه فیلتر $G(\tau, F)$ را می‌توان به صورت رابطه (۲۰-۳) به فیلتر $H(F)$ که در بخش ردلرزه پایا توضیح داده شد تبدیل نمود.

$$G(\tau, F) = \frac{\hat{W}_Q(\tau, F)}{W_Q(\tau, F)} = \frac{\hat{W}(F)\alpha_Q(\tau, F)}{W(F)\alpha_Q(\tau, F)} = \frac{\hat{W}(F)}{W(F)} = H(F) \quad (۲۰-۳)$$

از آنجایی که در اغلب موارد، $W(F)$ و $\hat{W}(F)$ ناشناخته می‌باشند و تفکیک مؤلفه‌های $\hat{W}_Q(\tau, F)$ و $W_Q(\tau, F)$ به $\hat{W}(F)$ و $W(F)$ امکان‌پذیر نیست، لذا ناگزیر بایستی فیلتر $G(\tau, F)$ را مورد استفاده قرار داد. برای طراحی فیلتر $G(\tau, F)$ بایستی مؤلفه‌های آن یعنی $\hat{W}_Q(\tau, F)$ و $W_Q(\tau, F)$ را به دست آورد. مقدار $W_Q(\tau, F)$ به راحتی از طریق هموارسازی دوبعدی $S_g(\tau, F)$ به دست می‌آید. این فرایند در انجام واهمامیخت گابور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (مارگریو و لوماروکس، ۲۰۰۱؛ مارگریو و همکاران، ۲۰۰۲؛ مارگریو و همکاران، ۲۰۰۳؛ مارگریو و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به رابطه $\hat{W}_Q(\tau, F) = \hat{W}(F)\alpha_Q(\tau, F)$ می‌توان دید که مقیاس کردن موجک چشمه لرزه‌ای فقط باعث مقیاس شدن مؤلفه $\hat{W}(F)$ طبق خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه می‌شود. لذا می‌توان با استفاده از خاصیت مقیاس کردن زمانی تبدیل فوریه، هر ستون ماتریس $W_Q(\tau, F)$ که در مرحله قبل به دست آمده است را مقیاس نمود. با داشتن $\hat{W}_Q(\tau, F)$ و $W_Q(\tau, F)$ می‌توان فیلتر $G(\tau, F)$ را به دست آورد که با اعمال آن بر تبدیل گابور ردلرزه،

$S_g(\tau, F)$ ، تبدیل گابور ردلرزه مقیاس شده، $\hat{S}_g(\tau, F)$ و با معکوس سازی زمانی آن، ردلرزه مقیاس شده، $\hat{S}(t)$ ، به دست می آیند. در شکل ۳-۵ فلوچارت روش افزایش قدرت تفکیک با استفاده از تبدیل گابور نشان داده شده است. لازم به ذکر است که طراحی فیلتر در حوزه گابور برای اولین بار در این پایان نامه معرفی می شود.



شکل ۳-۵، فلوچارت استفاده از روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور.

فصل چهارم

اعمال روش پیشنهادی بر روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و صحرایی

۴-۱ مقدمه

با توجه به اینکه در این پایان‌نامه فیلتر افزایش قدرت تفکیک در دو حوزه فرکانس (تبدیل فوریه) و زمان-فرکانس (تبدیل گابور) طراحی می‌شود، لذا این فصل به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود. در بخش اول کارآیی روش طراحی فیلتر در حوزه فرکانس بر روی داده لرزه‌ای مصنوعی و واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در بخش دوم کارآیی روش طراحی فیلتر در حوزه زمان-فرکانس بر روی داده لرزه‌ای مصنوعی و واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

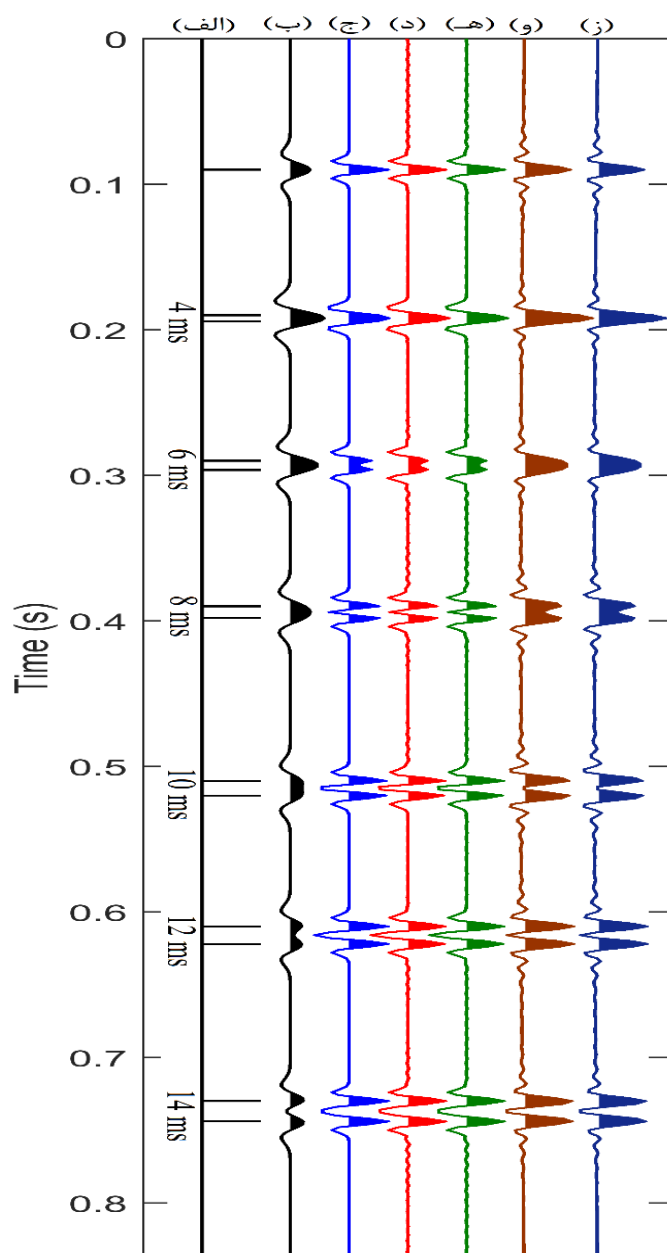
۴-۲ بررسی عملکرد فیلتر طراحی شده در حوزه فرکانس

۴-۲-۱ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی بر روی ردلرزه مصنوعی

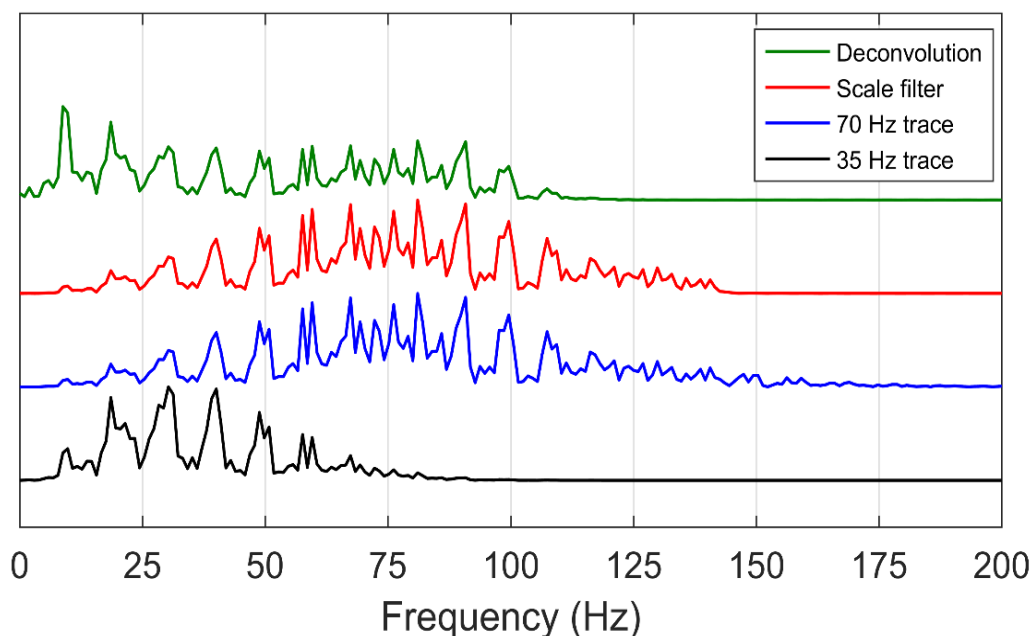
داده لرزه‌ای مصنوعی با در نظر گرفتن یک سری بازتاب مصنوعی و همامیخت آن با موجک لرزه‌ای، ایجاد می‌شود. بدین منظور سری بازتاب مصنوعی (الف) نشان‌داده شده در شکل ۴-۱، که شامل یک تک بازتابنده و بازتاب‌ها از بالا و پایین ۶ لایه نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۱۴ میلی‌ثانیه می‌باشد، در نظر گرفته شده است. ردلرزه (ب) حاصل همامیخت سری بازتاب مصنوعی مورد نظر با موجک ریکر ۳۵ هرتز می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، در این ردلرزه، لایه‌های نازک با ضخامت کمتر از ۱۲ میلی‌ثانیه قابل تشخیص نمی‌باشند. ردلرزه (ج) حاصل همامیخت موجک ریکر ۷۰ هرتز با سری بازتاب مصنوعی را نشان می‌دهد که در آن لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی بیشتر از ۴ میلی‌ثانیه به خوبی قابل تفکیک می‌باشند. ابتدا با فرض معلوم بودن موجک تشکیل دهنده ردلرزه، دو روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی به عنوان یک روش متداول (به پیوست مراجعه شود) برای افزایش قدرت تفکیک زمانی بر روی ردلرزه (ب) اعمال گردید که نتایج به ترتیب به صورت ردلرزه (د) و (و) نشان داده شده است. از مقایسه نتایج حاصل، کارآیی بهتر روش تبدیل مقیاس در مقابل روش واهمامیخت فرکانسی مشخص می‌شود. زیرا روش تبدیل

مقیاس قادر به تفکیک بازتاب از بالا و پایین لایه نازک با ضخامت زمانی ۶ میلی ثانیه و بالاتر می باشد ولی در روش واهمامیخت فرکانسی تفکیک لایه نازک با ضخامت زمانی ۸ میلی ثانیه و بالاتر صورت گرفته است. همچنین با توجه به شباهت نتیجه حاصل از روش تبدیل مقیاس با ردلرزه (ج)، مشاهده می شود که روش مذکور ردلرزه با موجک ۳۵ هرتز را با دقت بالا به ردلرزه با موجک ۷۰ هرتز تبدیل نموده است. در واقع محتوای فرکانسی داده افزایش یافته است که این به معنای بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای می باشد.

با در نظر گرفتن فرض نامعلوم بودن موجک چشمه لرزه‌ای و استفاده از موجک تخمینی در محاسبات، ردلرزه (ه) و (ز)، به ترتیب از اعمال روش تبدیل مقیاس و روش واهمامیخت فرکانسی بر روی ردلرزه (ب)، به دست آمده‌اند. در این حالت نیز با توجه به نتایج به دست آمده، روش تبدیل مقیاس در افزایش قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای داده، کارآیی بهتری در مقایسه با روش واهمامیخت فرکانسی داشته است. لذا، می توان گفت که روش تبدیل مقیاس در مقایسه با واهمامیخت فرکانسی در افزایش قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای عملکرد بهتری دارد. درستی این موضوع در شکل ۴-۲ که مربوط به طیف دامنه ردلرزه‌های شکل ۴-۱ می باشد، نیز نشان داده شده است. طیف فرکانسی ردلرزه مربوط به موجک ریکر ۳۵ هرتز، بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس، ضمن افزایش پهنای باند فرکانسی، قله آن به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا شده است. اما طیف فرکانسی ردلرزه مربوط به موجک ریکر ۳۵ هرتز، پس از اعمال روش واهمامیخت فرکانسی، هر چند نسبت به ردلرزه اولیه دارای پهنای باند فرکانسی بیشتری است، اما قله آن به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا نشده است. به راحتی می توان میزان شباهت طیف دامنه ردلرزه با موجک ۷۰ هرتز را با طیف دامنه خروجی هر دو روش مشاهده نمود.



شکل ۴-۱، (الف) سری بازتاب مصنوعی زمین که شامل لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۱۴ میلی‌ثانیه می‌باشد، ردلرزه حاصل هم‌امپخت موجک ریکر ۳۵ هرتز با سری بازتاب (ب) و ردلرزه حاصل هم‌امپخت موجک ریکر ۷۰ هرتز با سری بازتاب (ج)، ردلرزه حاصل از اعمال روش پیشنهادی بر روی ردلرزه (ب)، با فرض موجک معلوم (د) و ردلرزه حاصل از اعمال روش پیشنهادی بر روی ردلرزه (ب)، با فرض موجک نامعلوم (هـ)، ردلرزه حاصل از اعمال روش معمول واهمامپخت فرکانسی بر روی ردلرزه (ب) با فرض موجک معلوم (و) و (ز) ردلرزه حاصل از اعمال روش معمول واهمامپخت فرکانسی بر روی ردلرزه (ب) با فرض موجک نامعلوم (ز).



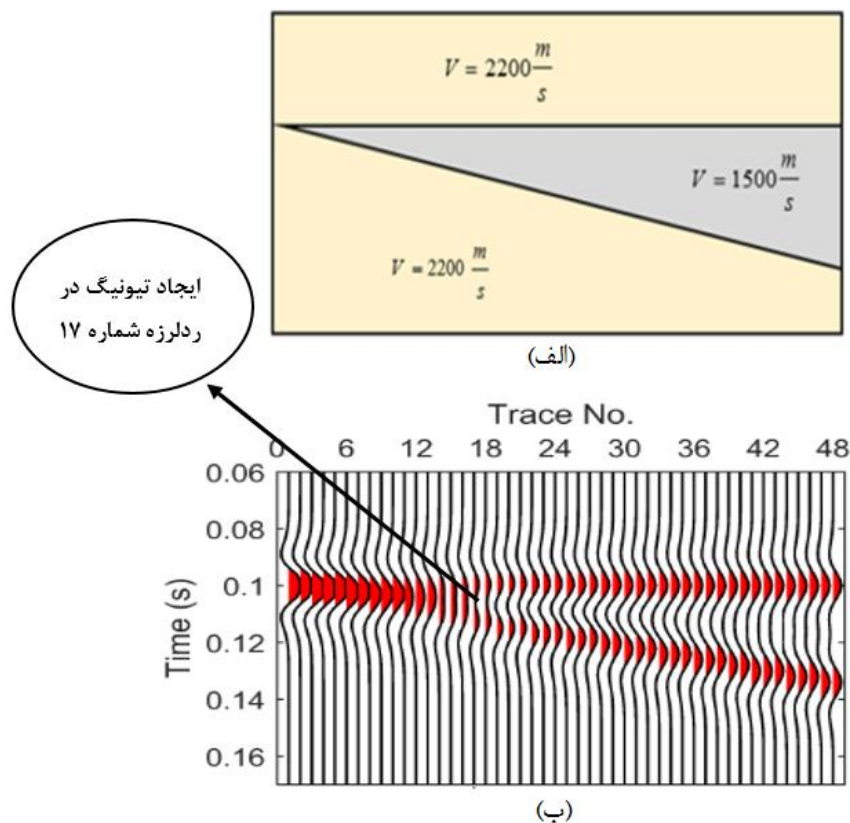
شکل ۴-۲، طیف دامنه نرمال شده ردلرزه با موجک ریکر ۳۵ هرتز (سیاه)، طیف دامنه نرمال شده ردلرزه با موجک ریکر ۷۰ هرتز (آبی)، طیف دامنه نرمال شده خروجی روش تبدیل مقیاس (قرمز) و طیف دامنه نرمال شده خروجی روش واهمامیخت فرکانسی (سبز).

۴-۲-۲ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی بر روی مقطع لرزه‌ای

مصنوعی

در این بخش به منظور بررسی کارایی روش بر روی یک مقطع لرزه‌ای، یک مقطع لرزه‌ای مصنوعی مربوط به یک مدل گوه‌ای شکل در نظر گرفته شده است که مدل زمین‌شناسی آن در شکل ۴-۳ (الف) نشان داده شده است. در این مدل، ضخامت گوه متغیر است و یک مدل جذاب برای بررسی روش‌های افزایش قدرت تفکیک قائم می‌باشند. مقطع لرزه‌ای مدل گوه مصنوعی مذکور، در شکل ۴-۳ (ب) آورده شده است. این مقطع لرزه‌ای شامل ۴۸ ردلرزه با فواصل جدایش ۲۵ متر از یکدیگر می‌باشد که به منظور تولید آن، موجک ریکر با فرکانس غالب ۳۵ هرتز و گام نمونه‌برداری ۲ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است.

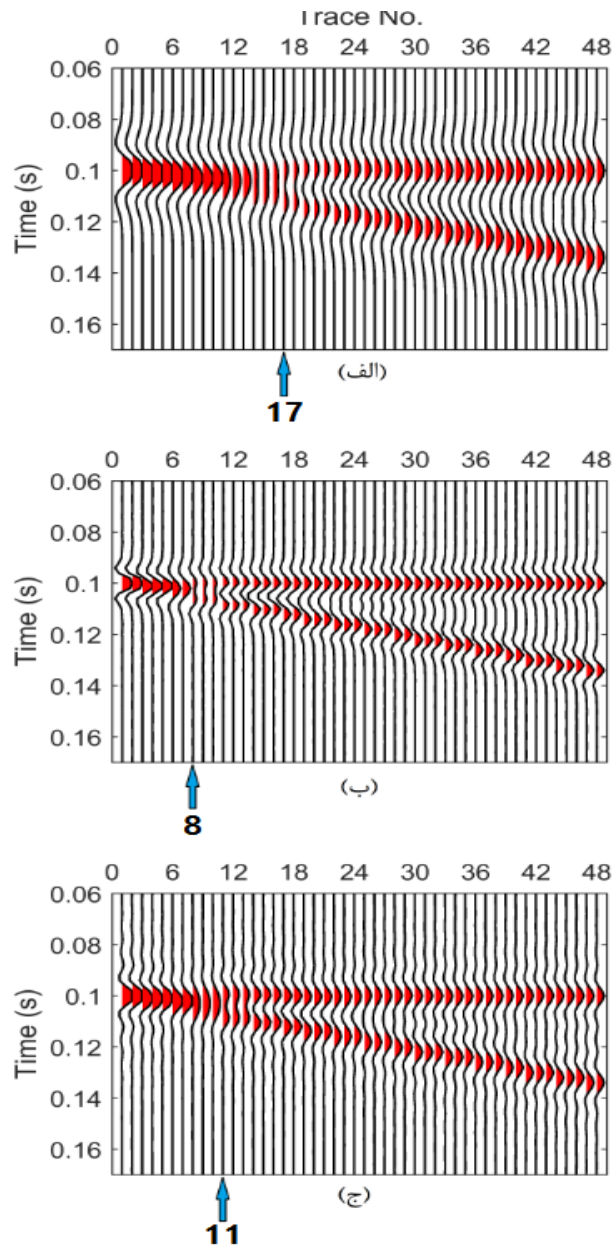
با توجه به سرعت لایه مورد نظر و فرکانس غالب موجک، ضخامت تیونینگ برابر با ۱۰/۷۱ متر می‌باشد که در مکان ردلرزه شماره ۱۷ قرار دارد.



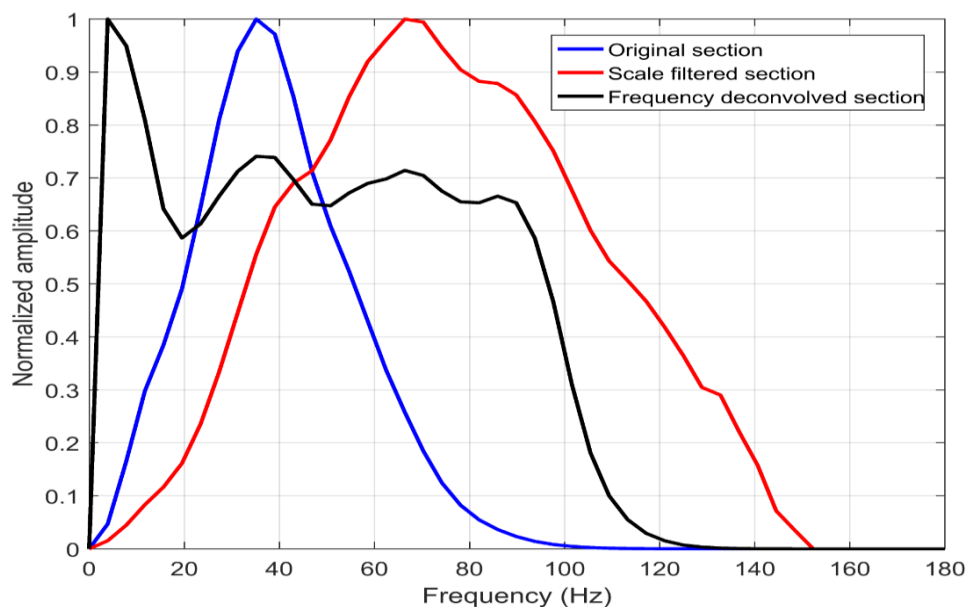
شکل ۳-۴، (الف) مدل زمین‌شناسی و (ب) مقطع لرزه‌ای مدل گوه مصنوعی.

دو روش تبدیل مقیاس (با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$) و واهمامیخت فرکانسی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ۳-۴ (ب)، اعمال گردید که نتایج آن‌ها به ترتیب در شکل‌های ۴-۴ (ب) و ۴-۴ (ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس مرز تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه در ردلرزه شماره ۸ و در مورد روش واهمامیخت فرکانسی در ردلرزه شماره ۱۱ اتفاق افتاده است.

این واقعیت نشان می‌دهد که هر دو روش توانسته‌اند قدرت تفکیک زمانی داده‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهند و این افزایش قدرت تفکیک در روش تبدیل مقیاس بسیار بیشتر از روش واهمامیخت فرکانسی است. با مقایسه طیف دامنه میانگین مقاطع مورد نظر که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، می‌توان دریافت که فرکانس قله طیف دامنه میانگین مربوط به مقطع حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس به نسبت دو مقطع دیگر در فرکانس‌های بزرگتر قرار گرفته است و پهنای باند فرکانسی بیشتری نسبت به دو مقطع دیگر دارد، این موضوع بیانگر عملکرد بهتر این روش در افزایش قدرت تفکیک قائم داده لرزه‌ای است.



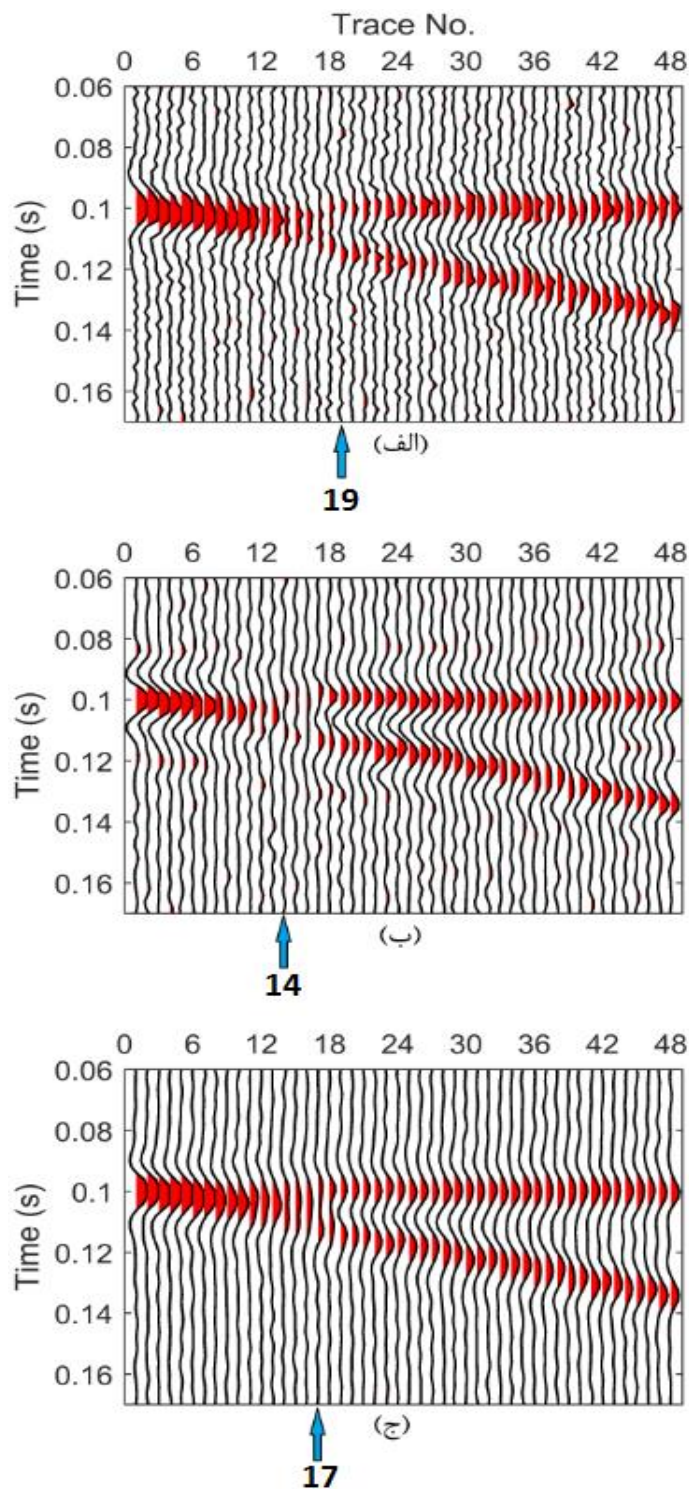
شکل ۴-۴، (الف) داده لرزه‌ای مصنوعی مربوط به مدل گوه‌ای شکل ۴-۳ (ب)، (ب) نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ج) نتیجه اعمال روش واهمامیخت فرکانسی. در هر مورد، پیکان آبی رنگ محل تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه (آبی)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (قرمز) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش واهمامیخت فرکانسی (سیاه).

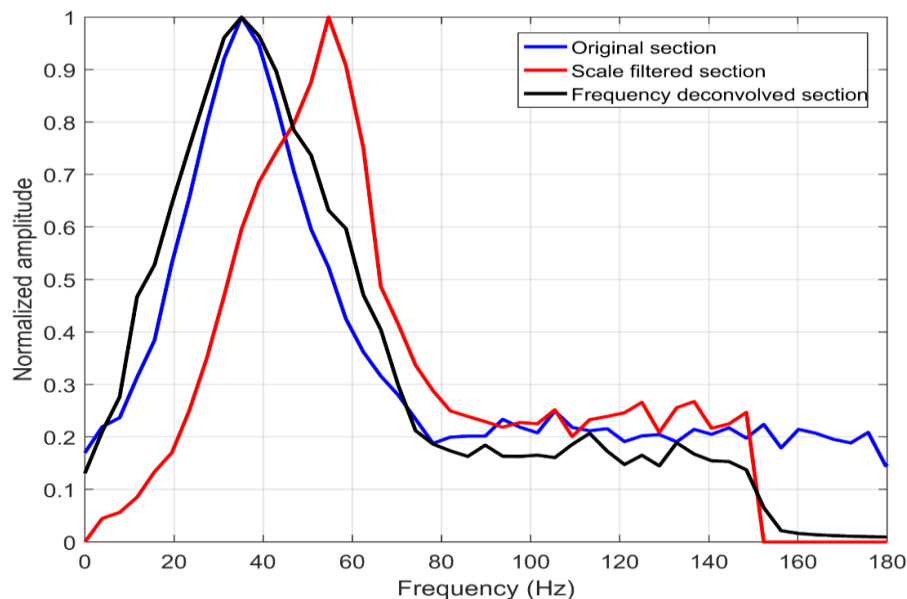
به منظور بررسی پایداری روش‌های تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی در مقابل نوفه، مقطع لرزه‌ای شکل ۴-۳ (ب) به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی‌بل آغشته گردید که نتیجه حاصل در شکل ۴-۶ (الف) نشان داده شده است. نتایج حاصل از اعمال دو روش تبدیل مقیاس (با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$) و واهمامیخت در حوزه فرکانس بر روی مقطع آغشته به نوفه نیز به ترتیب در شکل‌های ۴-۶ (ب) و ۴-۶ (ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، حضور نوفه تصادفی و اثر مخرب آن بر داده، در عملکرد روش‌های مورد نظر نیز تأثیرگذار می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که میزان تأثیر نوفه در عملکرد روش واهمامیخت فرکانسی بیشتر بوده و این روش همچنان در حضور نوفه نیز کارایی کمتری نسبت به روش تبدیل مقیاس دارد. در روش تبدیل مقیاس شماره ردلرزه‌ای که در آن بازتاب از بالا و پایین گوه قابل تفکیک باشد، از شماره ۱۹ در مقطع اولیه به شماره ۱۴ کاهش یافته است. در صورتی که شماره

ردلرزه مذکور برای نتیجه واهمامیخت فرکانسی برابر ۱۷ می باشد. این موضوع نشان دهنده عملکرد بهتر
روش تبدیل مقیاس در مقایسه با روش واهمامیخت فرکانسی است.



شکل ۴-۶، (الف) داده لرزه‌ای مصنوعی آغشته به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی‌بل، (ب) نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ ، (ج) نتیجه اعمال روش واهمامیخت فرکانسی. در هر مورد، پیکان آبی رنگ محل تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی میزان تأثیرپذیری دو روش مورد نظر از نوفه تصادفی، به تحلیل طیف دامنه میانگین مربوط به مقاطع لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال آن روش‌ها، پرداخته شده است که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. روش تبدیل مقیاس، قله طیف دامنه میانگین را به سمت فرکانس‌های بالا انتقال داده است و یا به عبارتی دیگر فرکانس غالب داده را افزایش داده است. اما روش واهمامیخت فرکانسی تغییری در قله فرکانسی طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای ایجاد نمی‌کند که این به معنای عملکرد بهتر روش تبدیل مقیاس در افزایش محتوای فرکانسی داده لرزه‌ای و همچنین بهبود قدرت تفکیک آن می‌باشد. لازم به ذکر است که معمولاً فرایند افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای در مرحله پس از برانبارش^۱ و مهاجرت^۲ انجام می‌شود که داده ورودی این مرحله به نوفه تصادفی چندانی آغشته نمی‌باشد، زیرا مقدار زیادی از نوفه‌های تصادفی در مراحل پردازش قبل از برانبارش^۳ و فرایند برانبارش تضعیف شده‌اند.



شکل ۴-۷، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه آغشته به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه ۵ دسی‌بل (آبی)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (قرمز) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال روش واهمامیخت فرکانسی (سیاه).

¹ Post stack

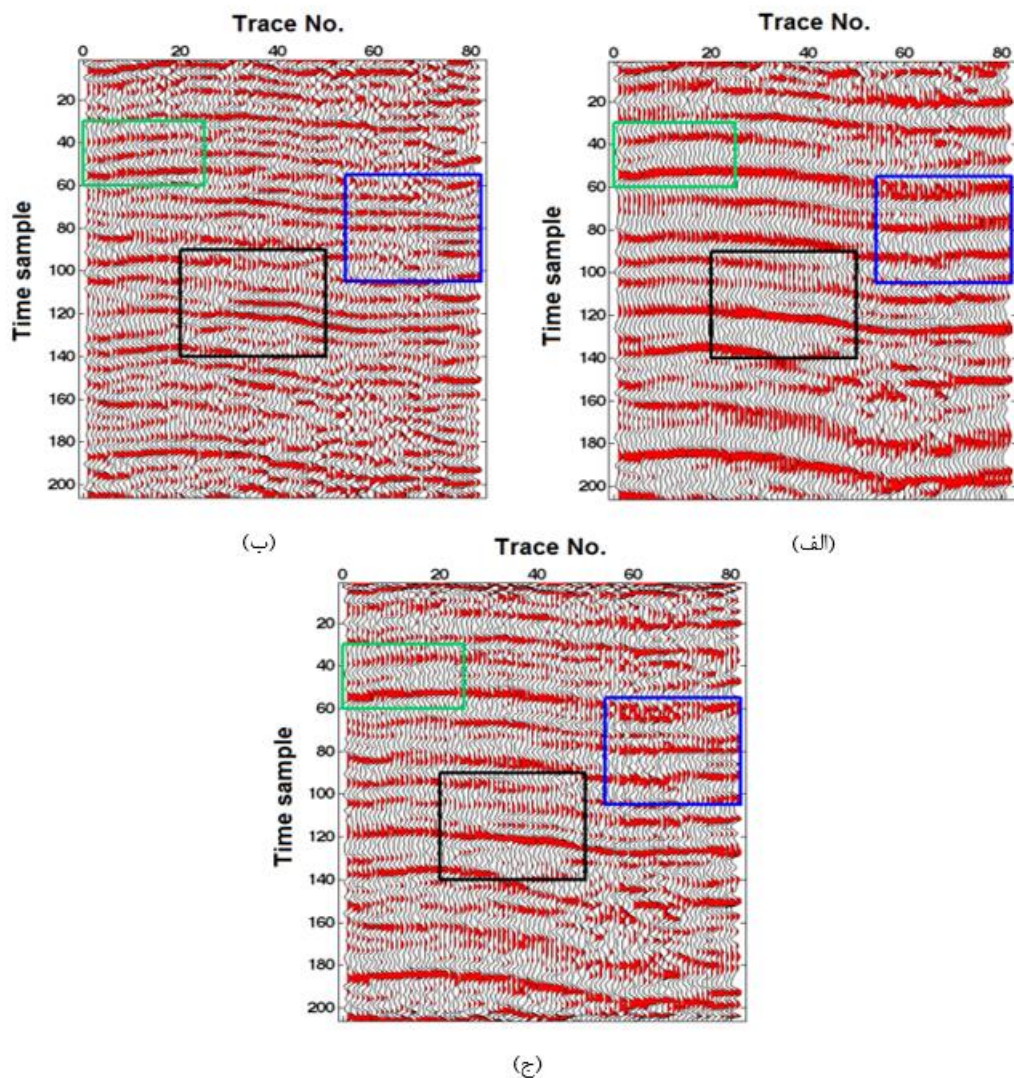
² Migration

³ Pre stack

۴-۲-۳ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی بر روی مقطع لرزه‌ای

واقعی

در ادامه کارآیی روش‌های تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی در افزایش قدرت تفکیک زمانی داده های لرزه‌ای بازتابی واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. داده واقعی مورد استفاده، تعداد ۸۱ ردلرزه از یک خطگیرنده از داده ۳ بعدی از یکی از میادین نفتی ایران می‌باشد که با گام ۲ میلی‌ثانیه نمونه‌برداری شده است. تعداد ۲۰۵ نمونه زمانی از داده مورد نظر برای انجام بررسی‌های لازم انتخاب شده است. شکل ۴-۸ (الف) مقطع لرزه‌ای واقعی را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۸ (ب) و ۴-۸ (ج) به ترتیب نتایج اعمال الگوریتم تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و واهمامیخت فرکانسی نشان داده شده است.



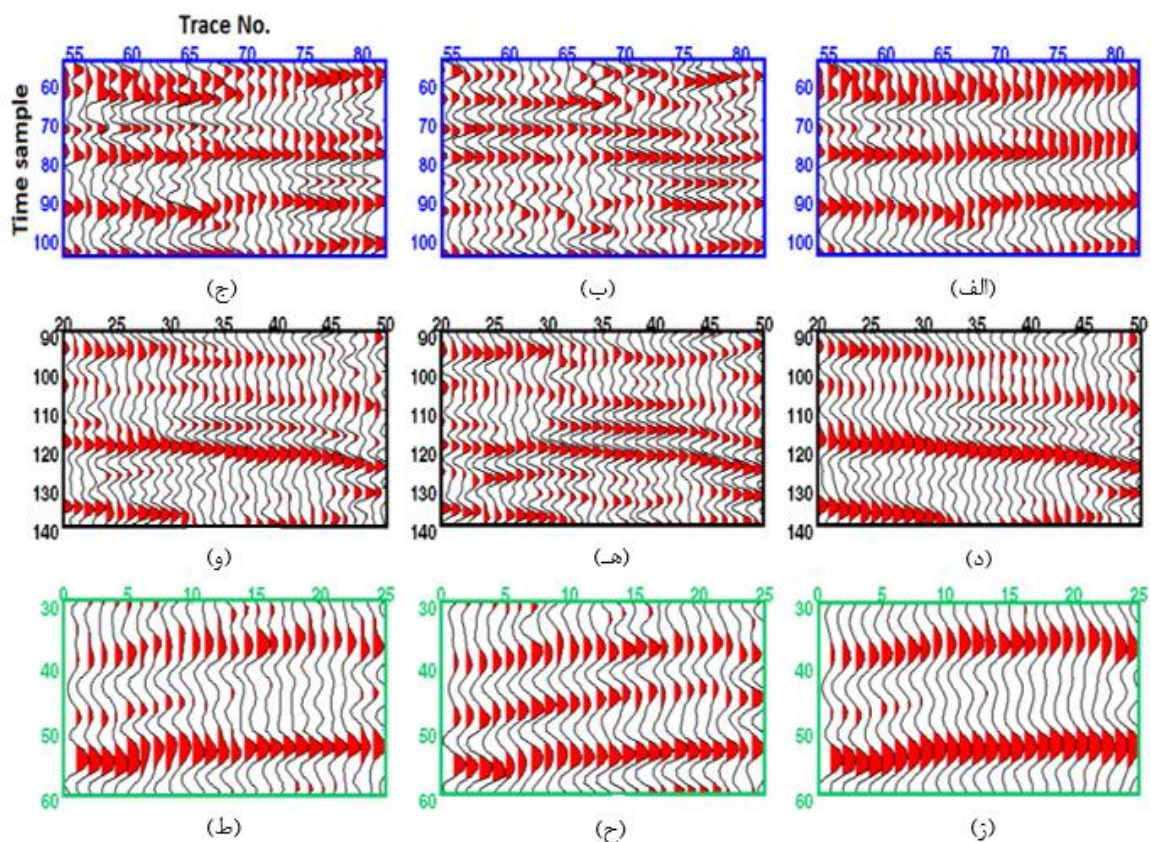
شکل ۴-۸، (الف) مقطع لرزه‌ای اولیه، (ب) مقطع لرزه‌ای بعد از تبدیل مقیاس و (ج) مقطع لرزه‌ای بعد از واهمامیخت

فرکانسی. مستطیل‌های رنگی، بخش‌های انتخاب شده برای بزرگنمایی می‌باشند.

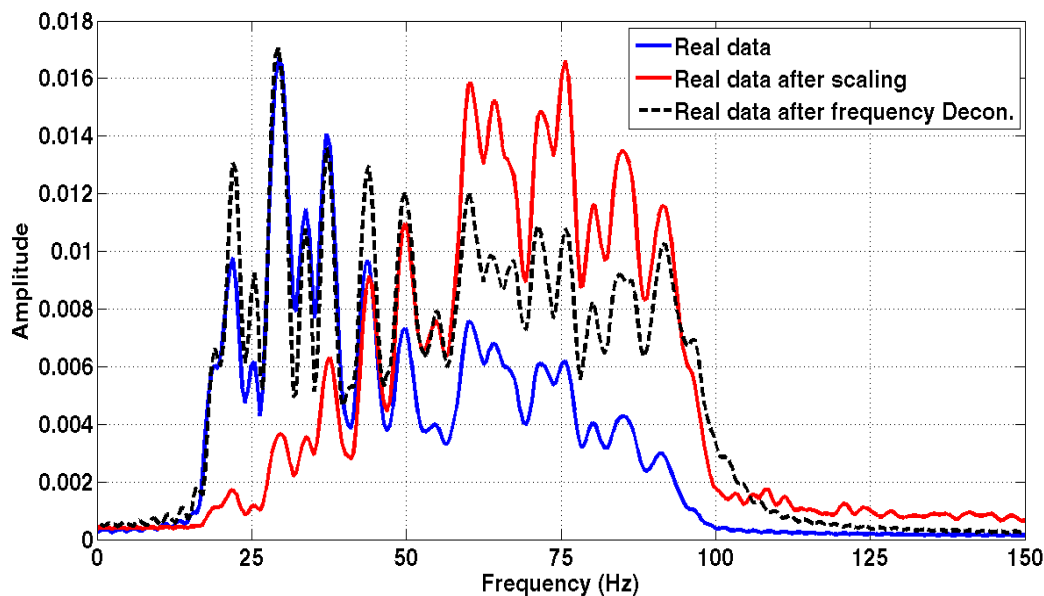
نتیجه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس بر روی مقطع لرزه‌ای اولیه، نشان می‌دهد که روش مورد نظر قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای را به میزان قابل توجهی افزایش داده و در مواردی، لایه‌های نازکی که در مقطع لرزه‌ای اولیه قابل تشخیص نبودند را با وضوح بالایی شناسایی نموده است. در مورد استفاده از روش واهمامیخت فرکانسی مشاهده می‌شود که این روش نیز قابلیت بهبود قدرت تفکیک داده لرزه‌ای واقعی را دارد با این تفاوت که کارایی آن در مقایسه با روش تبدیل مقیاس کمتر می‌باشد. به منظور مقایسه بهتر

نتایج، برای نمونه سه بخش مختلف مربوط به آشکار شدن لایه‌های نازک از داده انتخاب شده و در شکل ۹-۴ با بزرگنمایی نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقایسه نمونه‌های نشان داده شده در شکل ۹-۴ حاکی از آن است که روش تبدیل مقیاس عملکرد بهتری در بهبود قدرت تفکیک قائم داده لرزه‌ای مورد نظر داشته است.

در شکل ۱۰-۴ که مربوط به طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای مورد نظر و همچنین مقاطع حاصل از اعمال روش‌های تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی است نیز مشاهده می‌شود که هر دو روش، پهنای باند فرکانسی داده مورد نظر را افزایش داده‌اند، بنابراین قابلیت افزایش قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای را دارند. با توجه به اینکه روش تبدیل مقیاس فرکانس غالب داده را نیز افزایش داده است، بنابراین از کارایی بهتری نسبت به روش واهمامیخت فرکانسی برخوردار می‌باشد.

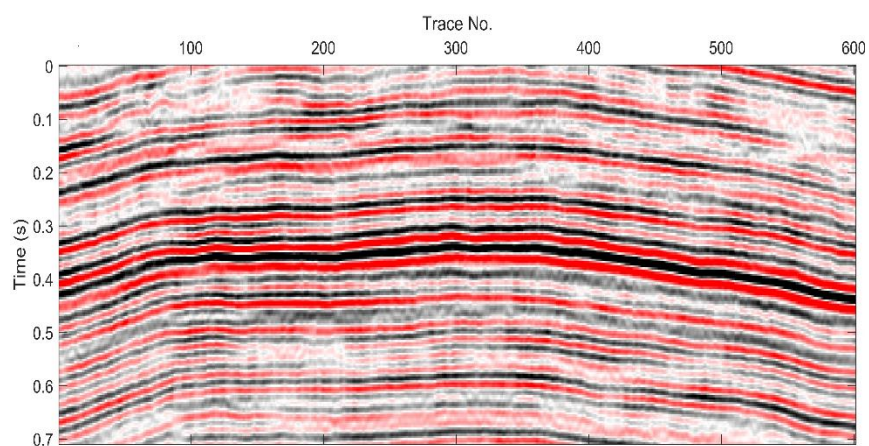


شکل ۴-۹، (الف) مستطیل آبی در شکل ۴-۸ (الف) و نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی با استفاده از روش (ب) تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ج) واهمامیخت فرکانسی. (د) مستطیل سیاه در شکل ۴-۸ (الف) و نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی با استفاده از روش (هـ) تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (و) واهمامیخت فرکانسی. (ز) مستطیل سبز در شکل ۴-۸ (الف) و نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی با استفاده از روش (ح) تبدیل مقیاس با پارامتر مقیاس $a = 2$ و (ط) واهمامیخت فرکانسی.

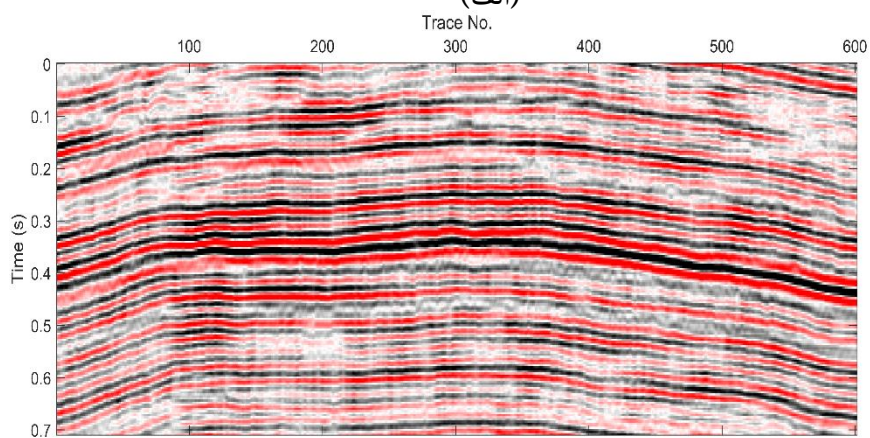


شکل ۴-۱۰، طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای واقعی اولیه (آبی)، طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای بعد از تبدیل مقیاس (قرمز) و طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای بعد از واهمامیخت فرکانسی (خط چین سیاه).

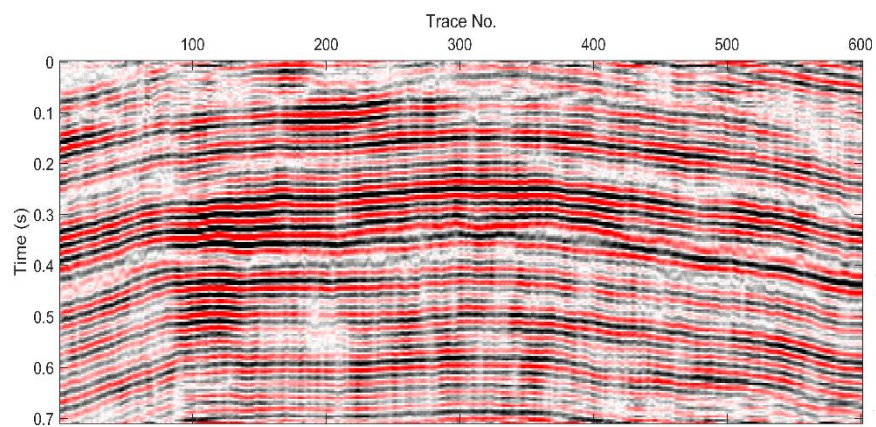
برای بررسی بیشتر، یک داده واقعی دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته است. داده مورد نظر، یک مقطع عمودی در راستای خط گیرنده از یک داده سه بعدی با ۴۰۰ خط چشمه و ۶۰۰ خط گیرنده می‌باشد که مربوط به یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران است و با گام ۴ میلی‌ثانیه نمونه‌برداری شده است. این داده در شکل ۴-۱۱ (الف) نشان داده شده است. نتایج حاصل از اعمال دو روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی، به ترتیب در شکل‌های ۴-۱۱ (ب) و ۴-۱۱ (ج) آورده شده است که مقایسه آن‌ها برتری روش تبدیل مقیاس در مقابل روش واهمامیخت فرکانسی، در افزایش قدرت تفکیک زمانی و تشخیص لایه‌های نازک موجود در مقطع را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

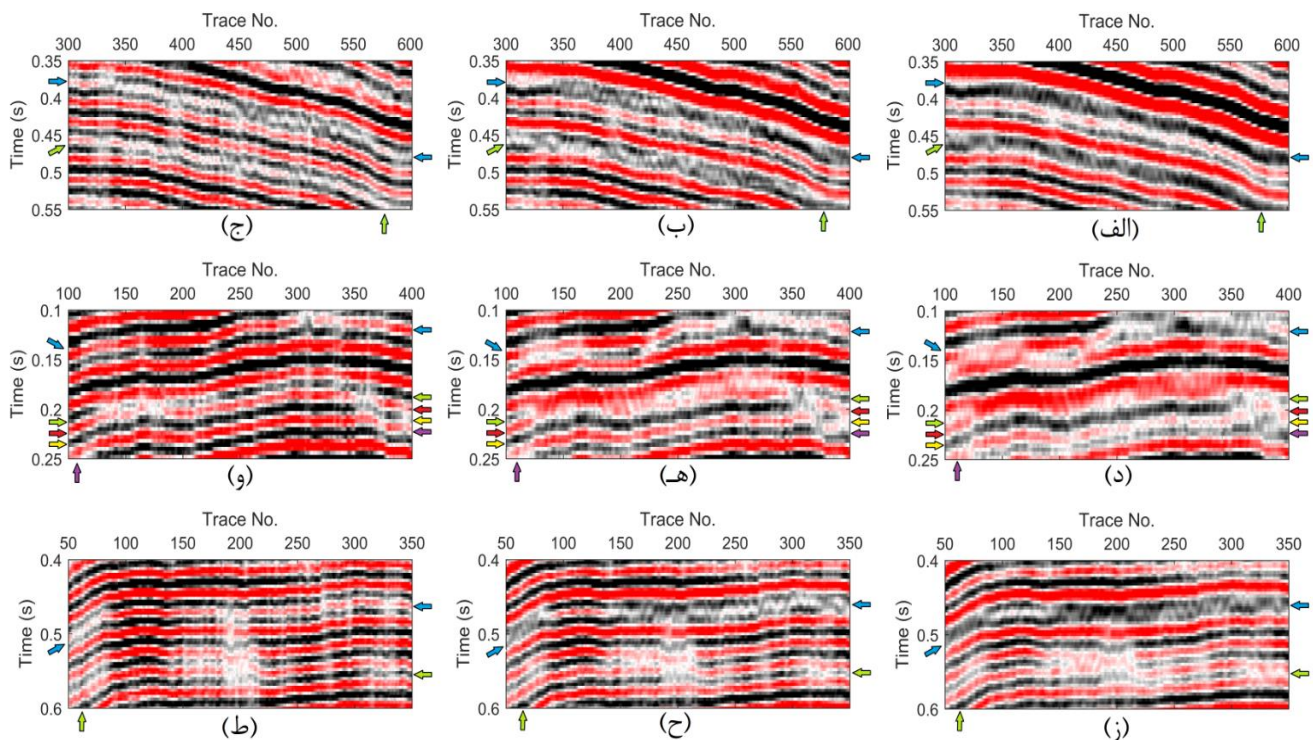


(ج)

شکل ۴-۱۱، (الف) مقطع لرزه‌ای اولیه، نتیجه افزایش قدرت تفکیک زمانی به روش (ب) تبدیل مقیاس و (ج) واهمامیخت

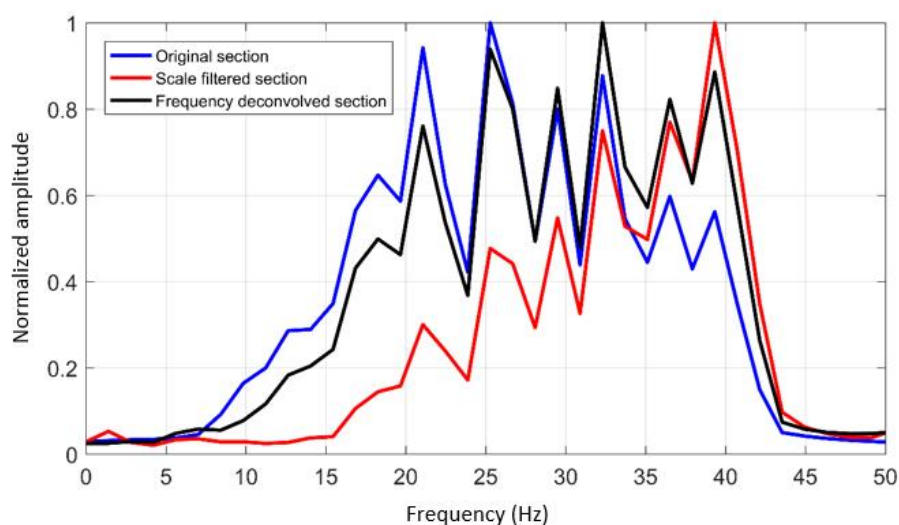
فرکانسی.

به منظور مطالعه بهتر و دقیق‌تر نتایج، در شکل ۴-۱۲، سه بخش بزرگنمایی شده قبل و بعد از اعمال دو روش مذکور نشان داده شده است. در این شکل بازتاب‌های شاخصی که قبل از اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی، پنهان بوده و پس از اعمال آن‌ها آشکارسازی شده‌اند با پیکان‌های مختلفی نشان داده شده‌اند. نتایج به دست آمده کارآیی بهتر روش تبدیل مقیاس را در مقایسه با روش واهمامیخت فرکانسی به منظور بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای در شناسایی مخازن لایه نازک نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲، (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب داده لرزه‌ای اولیه، پس از اعمال واهمامیخت فرکانسی و تبدیل مقیاس در پنجره اول. (د)، (ه) و (و) به ترتیب داده لرزه‌ای اولیه، پس از اعمال واهمامیخت فرکانسی و تبدیل مقیاس در پنجره اول، (ز)، (ح) و (ط) به ترتیب داده لرزه‌ای اولیه، پس از اعمال واهمامیخت فرکانسی و تبدیل مقیاس در پنجره اول.

در شکل ۴-۱۳ طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای اولیه و بعد از افزایش قدرت تفکیک زمانی به دو روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت فرکانسی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هر دو روش پهنای باند فرکانسی داده را افزایش داده‌اند. در داده لرزه‌ای اولیه، فرکانس غالب در محدوده فرکانس ۲۵ هرتز قرار دارد که بعد از اعمال روش واهمامیخت فرکانسی به حدود ۳۲ هرتز و در نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس به ۴۰ هرتز رسیده است. این موضوع نشان‌دهنده افزایش بیشتر قدرت تفکیک زمانی داده لرزه‌ای درمورد استفاده از روش تبدیل مقیاس می‌باشد.



شکل ۴-۱۳، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای واقعی اولیه (آبی)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از تبدیل مقیاس (قرمز) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از واهمامیخت فرکانسی (سیاه).

۳-۴ بررسی عملکرد فیلتر طراحی شده در حوزه گابور

۱-۳-۴ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه مصنوعی

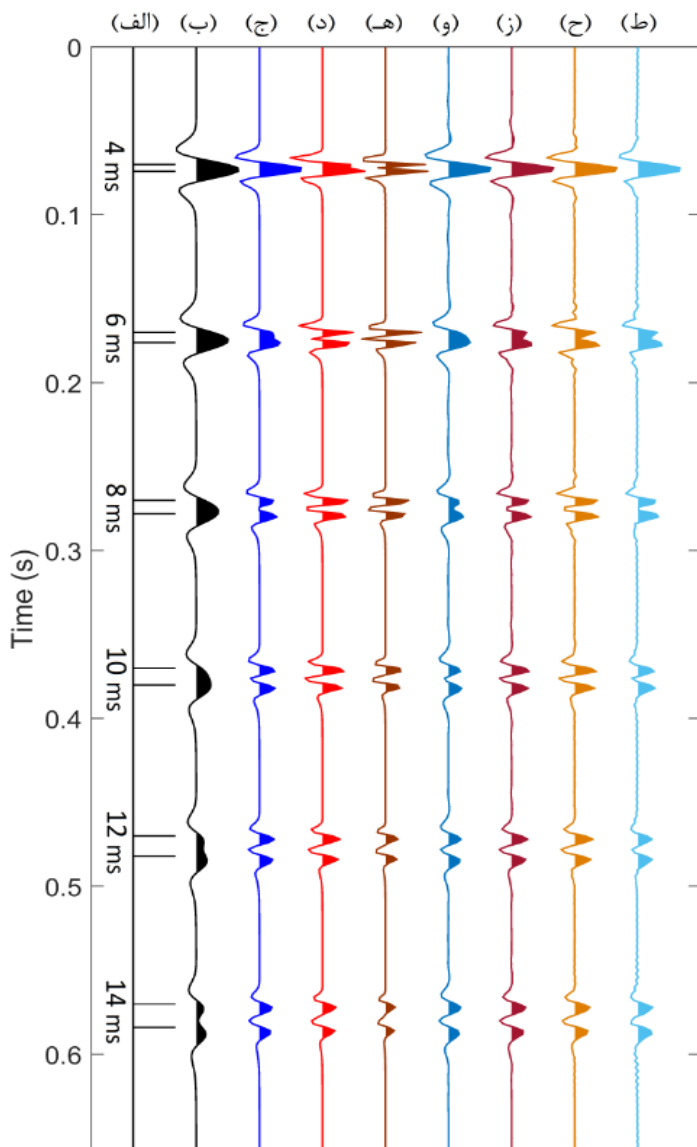
عملکرد روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور به منظور افزایش قدرت تفکیک لایه‌های نازک، باید بر روی داده لرزه‌ای ناپایا بررسی شود، لذا در این قسمت، فیلتر طراحی شده در حوزه گابور، بر روی یک ردلرزه مصنوعی ناپایا، طبق رابطه (۳-۱۹) اعمال می‌شود. برای تولید ردلرزه مورد نظر، از همامیخت ناپایای موجک ریکر ۳۵ هرتز (که فرکانس غالب آن با زمان تغییر می‌کند)، با یک سری بازتاب مصنوعی که لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۱۴ میلی‌ثانیه را شامل می‌شود، استفاده شده است. به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی، دو ردلرزه مصنوعی، یکی با فاکتور کیفیت $Q = 100$ و دیگری با فاکتور کیفیت $Q = 50$ تولید گردید. سری بازتاب مصنوعی در شکل ۴-۱۴ (الف) و ردلرزه حاصل از همامیخت موجک ناپایا با سری بازتاب مذکور با فاکتور کیفیت $Q = 100$ در شکل ۴-۱۴ (ب) نشان داده شده است. در این ردلرزه، لایه‌های نازک با ضخامت کمتر از ۱۲ میلی‌ثانیه قابل تشخیص نمی‌باشند. ردلرزه (ج) در شکل ۴-۱۴، حاصل همامیخت موجک ناپایا با فرکانس غالب ۷۰ هرتز با سری بازتاب (الف) می‌باشد که در آن لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی بیشتر از ۴ میلی‌ثانیه قابل تفکیک می‌باشند. ردلرزه (د) از همامیخت موجک ناپایا با فرکانس غالب ۱۰۵ هرتز با سری بازتاب (الف) به دست آمده است، همانطور که مشاهده می‌شود، در این ردلرزه، لایه نازک با ضخامت زمانی ۴ میلی‌ثانیه تا حدودی تفکیک شده است، ولی لایه‌های با ضخامت‌های بیشتر از آن به راحتی قابل تفکیک می‌باشند. در ردلرزه (ه) که حاصل همامیخت موجک ناپایا با فرکانس غالب ۱۴۰ هرتز با سری بازتاب (الف) می‌باشد، تفکیک لایه با ضخامت زمانی ۴ میلی‌ثانیه نیز به خوبی صورت گرفته است.

بخش زیادی از روش پیشنهادی با روش واهمامیخت گابور مشترک می‌باشد و به همین منظور جهت مقایسه نتایج با یک روش متداول، از واهمامیخت گابور استفاده شده است. به منظور استانداردسازی مقایسه، تمام پارامترهای مشترک در روش پیشنهادی و واهمامیخت گابور دقیقاً یکسان در نظر گرفته شد. در شکل‌های ۴-۱۴ (و)، (ز) و (ح) به ترتیب نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور به ازای پارامترهای مقیاس $a=2$ ، $a=3$ و $a=4$ نشان داده شده است. شکل ۴-۱۴ (ط) نتیجه اعمال واهمامیخت گابور را نشان می‌دهد. در هر دو روش طول پنجره برابر با 0.3 ثانیه با جابجایی 2 میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است. همچنین برای هموارسازی از تابع جعبه با ابعاد 1×1 استفاده شده است. لازم به ذکر است که نوع و ابعاد تابع مورد استفاده برای هموارسازی به صورت تجربی باید به گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر نرم کردن تبدیل گابور ردلرزه، باعث نرم شدن بیش از حد آن نشود. همانطور که مشاهده می‌شود، نتیجه حاصل از اعمال روش مورد نظر بر روی ردلرزه (ب) با استفاده از پارامتر مقیاس $a=2$ ، مشابه با ردلرزه (ج) می‌باشد که این موضوع بیانگر این است که روش مذکور، فرکانس غالب ردلرزه را از 35 هرتز به حدود 70 هرتز منتقل نموده است که در این صورت قدرت تفکیک قائم آن افزایش یافته است.

نتیجه حاصل از اعمال روش بر روی ردلرزه (ب) با استفاده از پارامتر مقیاس $a=3$ ، نیز مشابه با ردلرزه (د) و همچنین نتیجه حاصل از اعمال روش بر روی ردلرزه 35 هرتز، با استفاده از پارامتر مقیاس $a=4$ ، مشابه با ردلرزه (ه) می‌باشند، در این صورت نتیجه می‌شود که استفاده از پارامترهای مقیاس بزرگتر، محتوای فرکانسی ردلرزه مورد نظر را به نسبت افزایش پارامتر مقیاس، افزایش می‌دهد. در حالت کلی استفاده از روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور برای داده‌های لرزه‌ای ناپایا، محتوای فرکانسی داده و در نتیجه قدرت تفکیک قائم آن‌ها را افزایش می‌دهد. همانطور که گفته شد، به منظور بررسی کارایی روش ارائه شده در حوزه گابور نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از اعمال واهمامیخت گابور که این روش نیز یک روش مورد استفاده به منظور افزایش قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای ناپایا می‌باشد، مقایسه گردید. بدین منظور

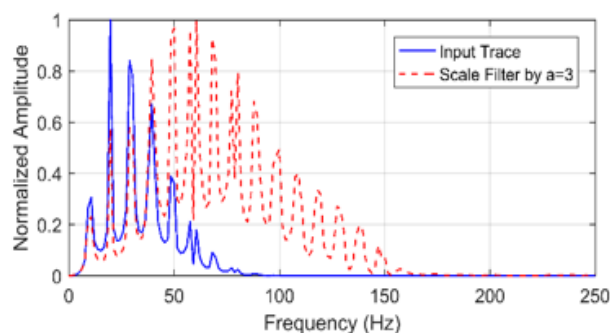
روش واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه (ب) اعمال شد که نتیجه حاصل از آن که به صورت ردلرزه (ط) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتیجه حاصل از روش واهمامیخت گابور مشابه با نتیجه حاصل از روش تبدیل مقیاس در صورت استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ (ردلرزه (ز)) می‌باشد، در واقع با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ برای اعمال روش تبدیل مقیاس بر روی ردلرزه (ب)، نتیجه‌ای مشابه با ردلرزه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور بر روی همان ردلرزه به دست خواهد آمد. همانطور که

مشاهده می‌شود، در خروجی روش واهمامیخت گابور، در زمان‌های انتهایی ردلرزه نوفه ایجاد شده به نسبت روش فیلتر مقیاس بیشتر است.

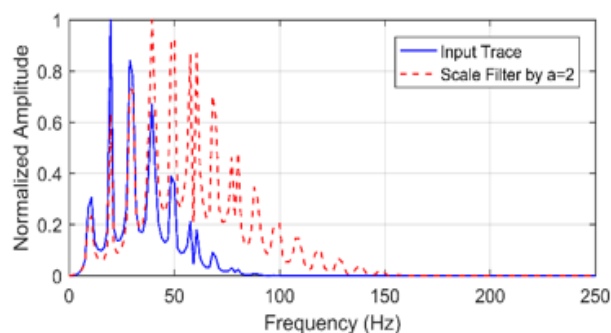


شکل ۴-۱۴، (الف) سری بازتاب مصنوعی زمین که شامل لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۴ میلی‌ثانیه می‌باشد، ردلرزه‌های حاصل هم‌امیخت موجک ریکر ناپایا (ب) ۳۵ هرتز، (ج) ۷۰ هرتز، (د) ۱۰۵ هرتز و (هـ) ۱۴۰ هرتز با سری بازتاب (الف)، ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور با استفاده از پارامتر مقیاس (و) $a = 2$ ، (ز) $a = 3$ و (ح) $a = 4$ ، (ط) ردلرزه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه (ب)، (در این حالت فاکتور کیفیت مورد استفاده در ساخت ردلرزه‌های (ب) تا (هـ)، $Q = 100$ می‌باشد).

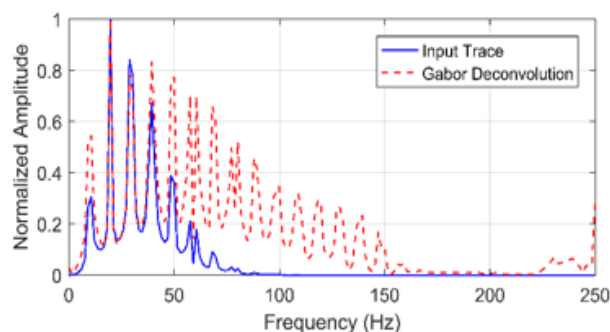
به منظور بررسی محتوای فرکانسی داده‌ها قبل و بعد از اعمال دو روش مذکور و همچنین تشخیص میزان کارایی روش‌ها در افزایش محتوای فرکانسی و قدرت تفکیک داده‌ها، به تحلیل طیف دامنه آن‌ها قبل و بعد از اعمال دو روش مورد نظر پرداخته شد که در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هر دو روش پهنای باند فرکانسی داده را افزایش داده‌اند، علاوه بر آن در روش تبدیل مقیاس ضمن افزایش پهنای باند فرکانسی، فرکانس غالب به سمت فرکانس‌های بالا جابجا شده است. میزان افزایش پهنای باند فرکانسی داده در نتیجه اعمال روش واهمامیخت گابور مشابه با میزان افزایش باند فرکانسی داده در صورت اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ می‌باشد، با این تفاوت که در نتیجه استفاده از روش تبدیل مقیاس، قله طیف دامنه به سمت فرکانس‌های بالا انتقال داده شده است. این موضوع بیانگر کارایی بهتر روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور نسبت به روش واهمامیخت گابور به منظور افزایش محتوای فرکانسی داده و در نتیجه افزایش قدرت تفکیک قائم آن می‌باشد.



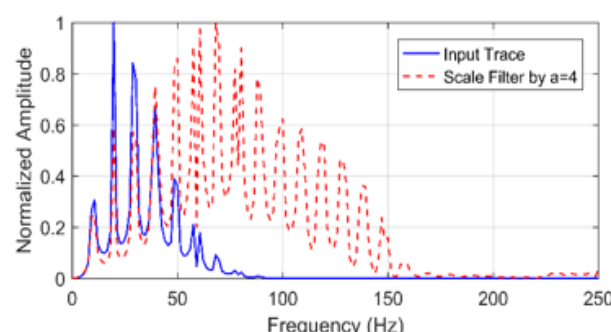
(ب)



(الف)



(د)

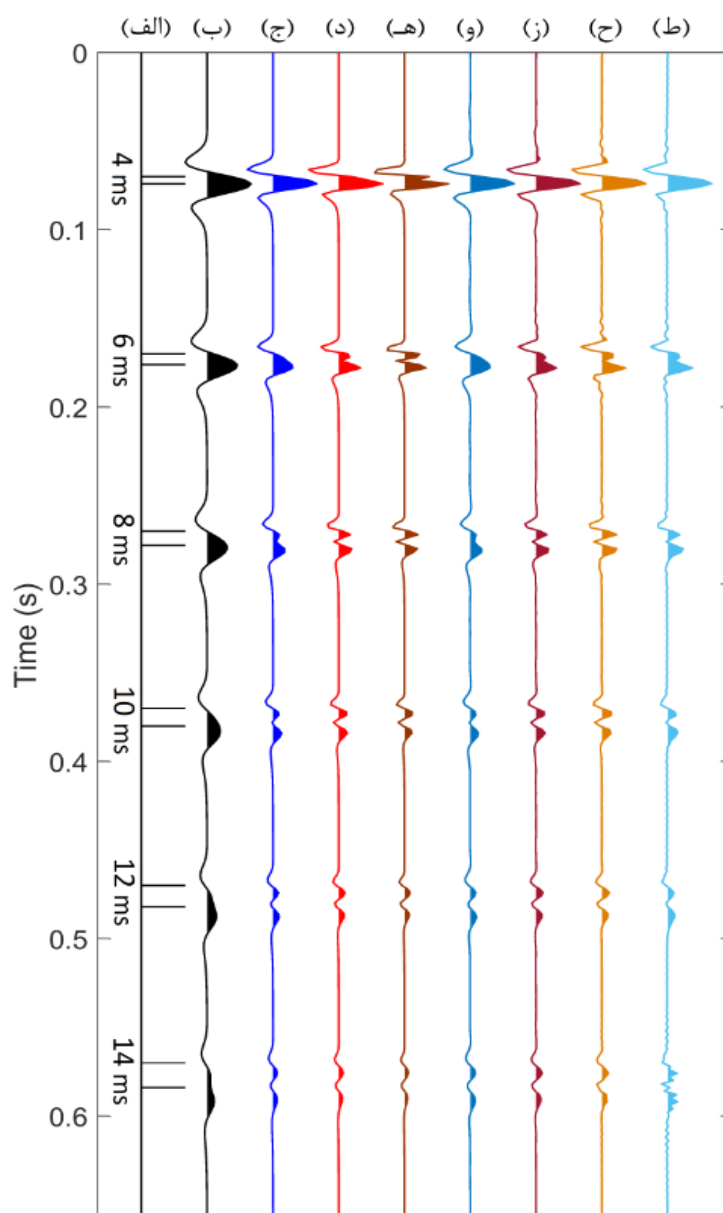


(ج)

شکل ۴-۱۵، (الف) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (خطچین قرمز)، (ب) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ (خطچین قرمز)، (ج) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 4$ (خطچین قرمز)، (د) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز).

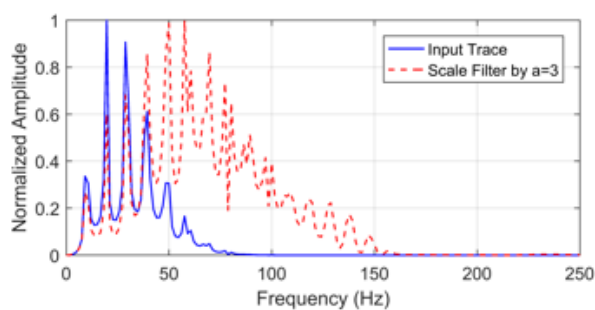
در شکل ۱۶-۴ (ب) ردلرزه مصنوعی برای سری بازتاب مورد نظر در شکل ۱۴-۴ (الف) با فاکتور کیفیت $Q = 50$ نشان داده شده است. مجدداً مشابه شکل ۱۴-۴ ردلرزه‌های ناپایا با موجک ریکر ۷۰، ۱۰۵ و ۱۴۰ هرتز برای مقایسه با خروجی روش مورد نظر محاسبه و به ترتیب به صورت ردلرزه‌های (ج)، (د) و (هـ) ترسیم گردیده است.

شکل‌های ۱۶-۴ (و)، (ز) و (ح) به ترتیب خروجی روش تبدیل مقیاس به ازای پارامترهای مقیاس $a = 2$ ، $a = 3$ و $a = 4$ رسم شده و در نهایت با خروجی واهمامیخت گابور که در شکل ۱۶-۴ (ط) رسم شده است، مقایسه شده‌اند. مشابه حالت $Q = 100$ ، در این حالت نیز نتایج حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور کاملاً مشابه با قسمت قبل به دست می‌آید. به عبارتی دیگر در صورت اعمال روش تبدیل مقیاس بر روی داده با استفاده از پارامترهای مقیاس بزرگتر، محتوای فرکانسی داده مورد نظر افزایش بیشتری خواهد داشت و نتیجه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور مشابه با نتیجه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس در صورت استفاده از یک پارامتر مقیاس $a = 3$ می‌باشد. در واقع با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ برای اعمال روش تبدیل مقیاس بر روی ردلرزه (ب)، نتیجه‌ای مشابه با ردلرزه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور بر روی همان ردلرزه به دست خواهد آمد. همچنین در خروجی روش واهمامیخت گابور، در زمان‌های انتهایی ردلرزه نوفه ایجاد شده به نسبت روش تبدیل مقیاس بیشتر می‌باشد.

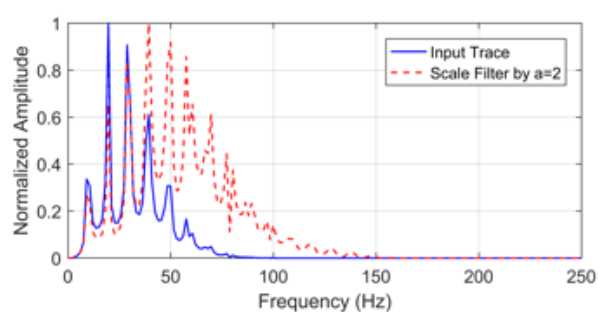


شکل ۴-۱۶، (الف) سری بازتاب مصنوعی زمین که شامل لایه‌های نازک با ضخامت‌های زمانی ۴ الی ۴ میلی‌ثانیه می‌باشد، ردلرزه‌های حاصل هم‌امیخت موجک ریکر ناپایا (ب) ۳۵ هرتز، (ج) ۷۰ هرتز، (د) ۱۰۵ هرتز و (هـ) ۱۴۰ هرتز با سری بازتاب (الف)، ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور با استفاده از پارامتر مقیاس (و) $a = 2$ ، (ز) $a = 3$ و (ح) $a = 4$ ، (ط) ردلرزه حاصل از اعمال روش واهم‌امیخت گابور بر روی ردلرزه (ب)، (در این حالت فاکتور کیفیت مورد استفاده در ساخت ردلرزه‌های (ب) تا (هـ)، $Q = 50$ می‌باشد).

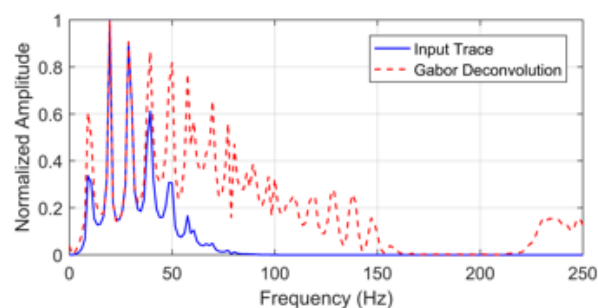
طیف دامنه ردلرزه مصنوعی شکل ۴-۱۶ (ب) و همچنین طیف دامنه نتیجه حاصل از اعمال روش‌های تبدیل مقیاس با استفاده از پارامترهای مقیاس $a = 2$ ، $a = 3$ و $a = 4$ و طیف دامنه نتیجه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور بر روی ردلرزه مذکور به ترتیب در شکل‌های ۴-۱۷ (الف) تا (د) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور در صورت استفاده از فاکتور کیفیت پایین‌تر نیز پهنای باند فرکانسی داده‌ها و همچنین فرکانس غالب آن‌ها را افزایش داده است در حالیکه روش واهمامیخت گابور تنها پهنای باند فرکانسی داده را افزایش داده است. در واقع میزان افزایش پهنای باند فرکانسی داده در نتیجه اعمال روش واهمامیخت گابور مشابه با میزان افزایش باند فرکانسی داده در صورت اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ می‌باشد با این تفاوت که در نتیجه استفاده از روش واهمامیخت گابور تغییری در فرکانس غالب داده ایجاد نشده است.



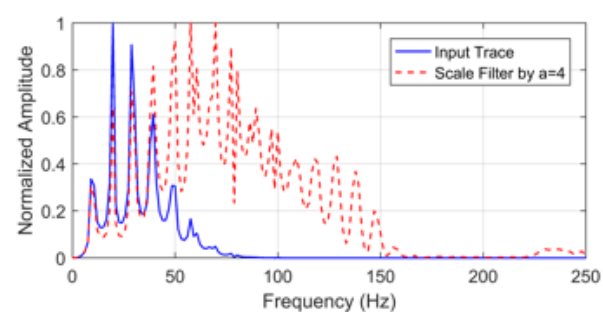
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴-۱۷، (الف) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 2$ (خطچین قرمز)، (ب) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 3$ (خطچین قرمز)، (ج) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه ردلرزه حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 4$ (خطچین قرمز)، (د) طیف دامنه ردلرزه ناپایا با موجک ریکر ۳۵ هرتز (آبی) و طیف دامنه حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز).

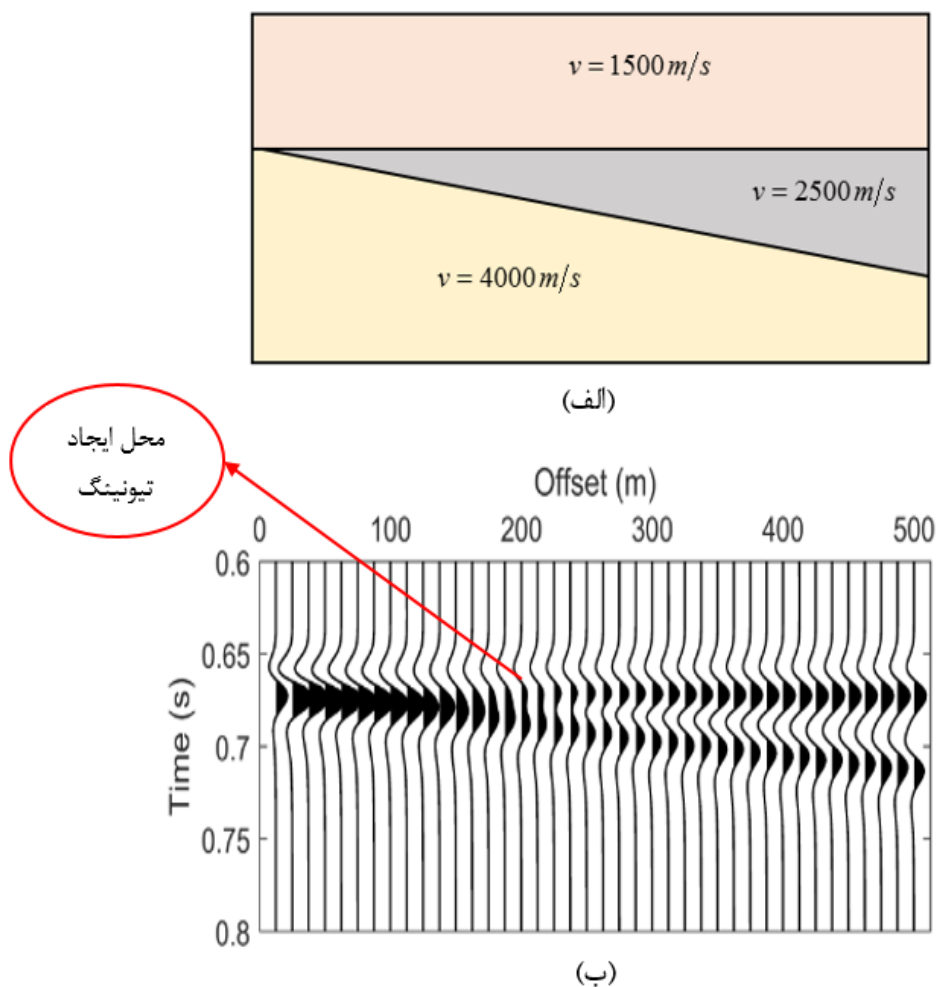
۴-۳-۲ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی مقطع لرزه‌ای

مصنوعی

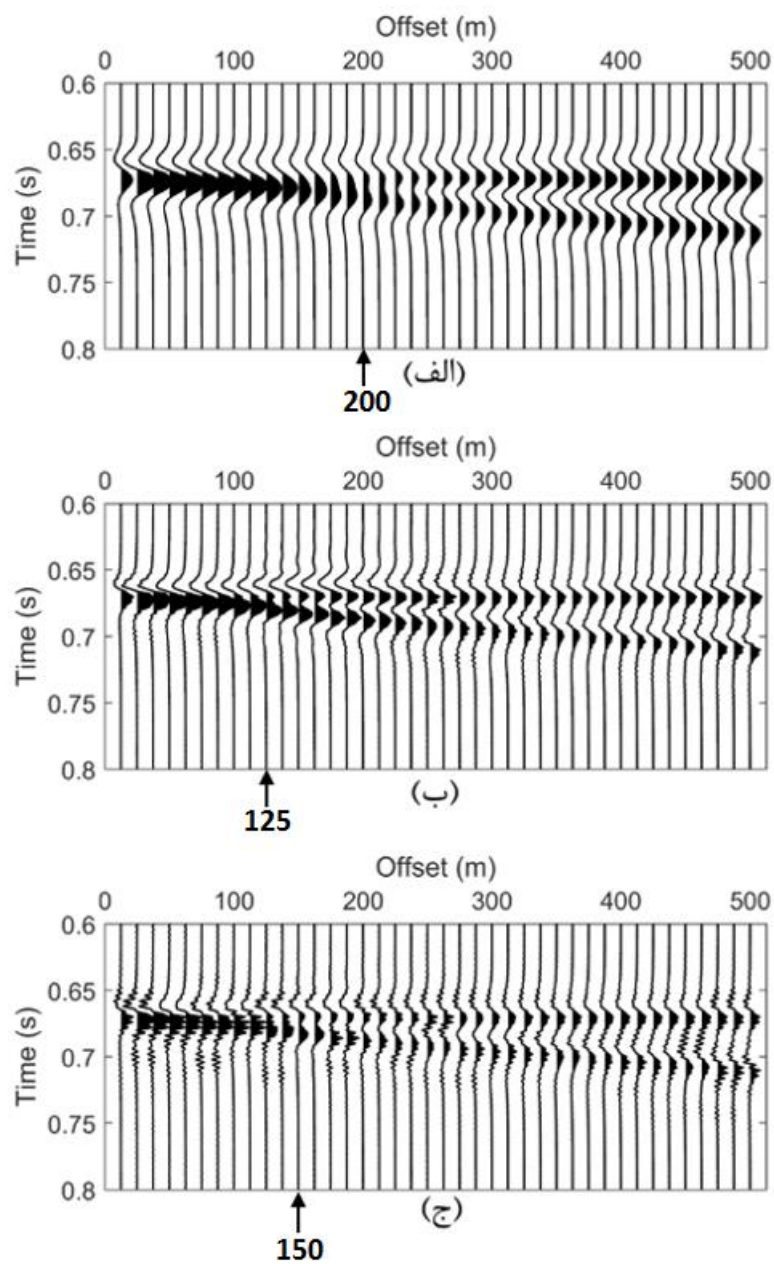
به منظور بررسی کارایی روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور برای یک مقطع لرزه‌ای، روش مورد نظر بر روی یک مقطع لرزه‌ای مصنوعی مربوط به یک مدل گوه‌ای شکل اعمال گردید. مدل زمین‌شناسی گوه در نظر گرفته شده و مقطع لرزه‌ای مربوط به آن به ترتیب در شکل ۴-۱۸ (الف) و (ب) نشان داده شده است. به منظور تولید مقطع لرزه‌ای مورد نظر که شامل ۴۰ ردلرزه با فواصل جدایش ۱۲/۵ متر از یکدیگر می‌باشد، از موجک ریکر ناپایا با فرکانس غالب ۳۰ هرتز، فاکتور کیفیت $Q = 50$ و گام نمونه‌برداری ۲ میلی‌ثانیه استفاده شده است. با توجه به سرعت لایه و فرکانس غالب موجک در نظر گرفته شده، ضخامت تیونینگ برابر با ۲۰/۸ متر می‌باشد که در دورافت ۲۰۰ متر مشاهده می‌شود.

شکل ۴-۱۹ (ب)، نتیجه حاصل از اعمال الگوریتم روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 4$ بر روی مقطع لرزه‌ای مربوط به شکل ۴-۱۸ (ب) می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، امکان تفکیک از بالا و پایین گوه در این مقطع در دورافت ۱۲۵ متر قرار دارد. به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با روش واهمامیخت گابور برای مقطع لرزه‌ای مصنوعی، روش واهمامیخت گابور نیز بر روی مقطع لرزه‌ای مصنوعی مورد نظر (شکل ۴-۱۸ (ب)) اعمال گردید که نتیجه حاصل از آن در شکل ۴-۱۹ (ج) نشان داده شده است. در این حالت تشخیص بازتاب از بالا و پایین گوه در دورافت ۱۵۰ متر مشاهده می‌شود. بنابراین، نتیجه می‌شود که روش تبدیل مقیاس در حوزه گابور ضخامت تیونینگ را نسبت به روش واهمامیخت گابور بیشتر کاهش داده است که به معنای افزایش بیشتر قدرت تفکیک قائم در نتیجه استفاده از این روش می‌باشد. از آنجایی که در هر روش افزایش قدرت تفکیک، مقداری نوفه در داده‌ها ایجاد می‌شود که نتیجه تقویت بیش از حد فرکانس‌های بالای داده می‌باشد، لذا، در نتیجه اعمال هر دو روش بر روی مقطع لرزه‌ای مصنوعی مورد بررسی نیز، مقداری نوفه در داده ایجاد شده است. نوفه ایجاد

شده در مقطع لرزه‌ای حاصل از روش واهمامیخت گابور به مراتب بیشتر از نوفه ایجاد شده در مقطع حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس می‌باشد که این موضوع نیز برتری روش تبدیل مقیاس را برای استفاده در افزایش قدرت تفکیک قائم مقطع لرزه‌ای در مقابل روش واهمامیخت گابور نشان می‌دهد.

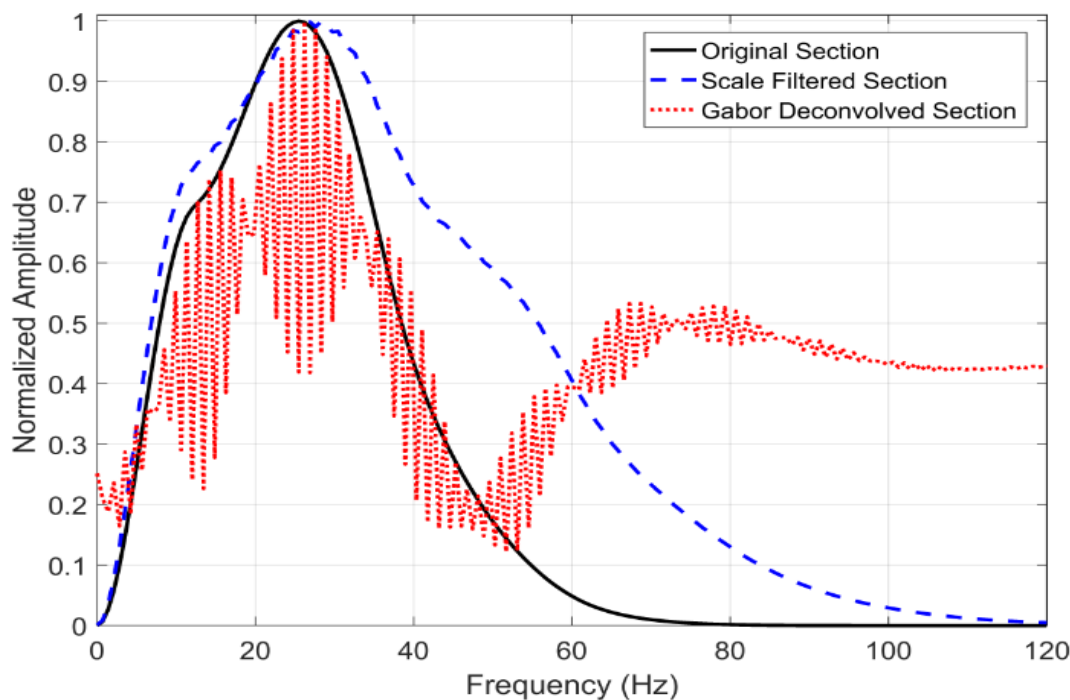


شکل ۴-۱۸، (الف) مدل زمین‌شناسی و (ب) مقطع لرزه‌ای مدل گوه‌ای مصنوعی.



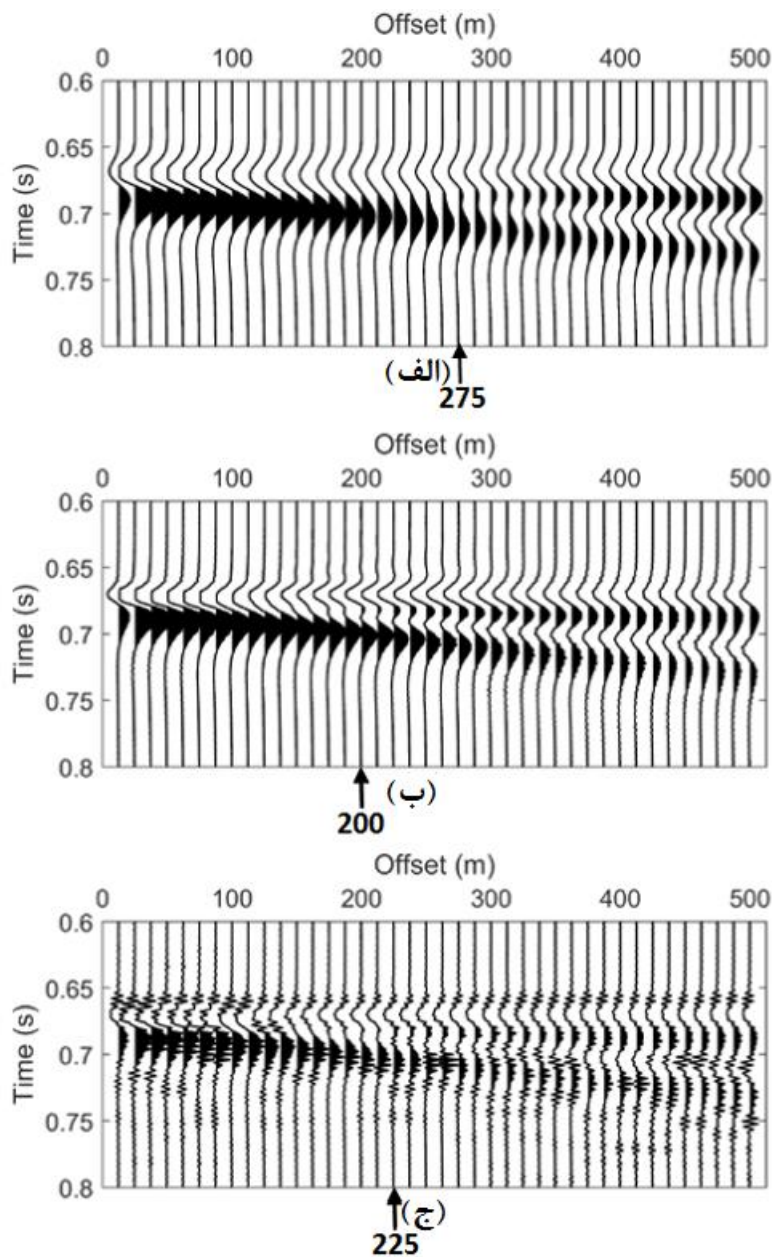
شکل ۴-۱۹، (الف) مقطع لرزه‌ای مصنوعی (با فاکتور کیفیت $Q = 50$) برای مدل گوه مصنوعی شکل ۴-۱۸، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی تبدیل مقیاس شده با پارامتر مقیاس $a = 4$ ، (ج) مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاصل از اعمال واهمامیخت گابور.

با بررسی طیف دامنه میانگین مقاطع مورد نظر که در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است، می‌توان دریافت که روش تبدیل مقیاس پهنای باند فرکانسی داده را افزایش داده است و همچنین تا حدودی فرکانس غالب داده را به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا نموده است. در مقابل، در روش واهمامیخت گابور تقویت بیش از حد در فرکانس‌های بالا رخ داده است که مربوط به نوفه ایجاد شده در اثر اعمال روش مورد نظر بر روی داده می‌باشد. همچنین روش واهمامیخت گابور فرکانس غالب داده را افزایش نداده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش تبدیل مقیاس از کارآیی بهتری در مقایسه با روش واهمامیخت گابور در افزایش پهنای باند فرکانسی و قدرت تفکیک قائم داده برخوردار است.



شکل ۴-۲۰، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خط چین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خط چین قرمز).

مقطع لرزه‌ای مصنوعی برای مدل گوه‌ای شکل ۴-۱۸ (الف) با استفاده از فاکتور کیفیت $Q = 20$ نیز به دست آمد که در شکل ۴-۲۱ (الف) نشان داده شده است. دو روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی مقطع لرزه‌ای به دست آمده اعمال گردیدند که نتایج حاصل از آن‌ها به ترتیب در شکل‌های ۴-۲۱ (ب) و (ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، محل ایجاد پدیده تیونینگ و یا به عبارتی دیگر تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه در مقطع لرزه‌ای مربوط به آن در دورافت ۲۷۵ متر قرار دارد. در نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس، مرز تفکیک بالا و پایین گوه در مکان دورافت ۲۰۰ متر و در نتیجه اعمال روش واهمامیخت گابور در مکان دورافت ۲۲۵ متر واقع شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در این حالت نیز میزان نوفه ایجاد شده در داده حاصل از اعمال روش واهمامیخت گابور به مراتب بیشتر از نوفه ایجاد شده در نتیجه استفاده از روش تبدیل مقیاس می‌باشد، به گونه‌ای که داده حاصل از اعمال واهمامیخت گابور به شدت تحت تأثیر این نوفه ایجاد شده قرار گرفته و در برخی موارد شکل موج تغییر یافته است. این موضوع بیانگر این است که روش تبدیل مقیاس، در صورت استفاده از فاکتورهای کیفیت پایین نیز کارایی بهتری در مقابل روش واهمامیخت گابور در افزایش قدرت تفکیک قائم مقطع لرزه‌ای دارد.

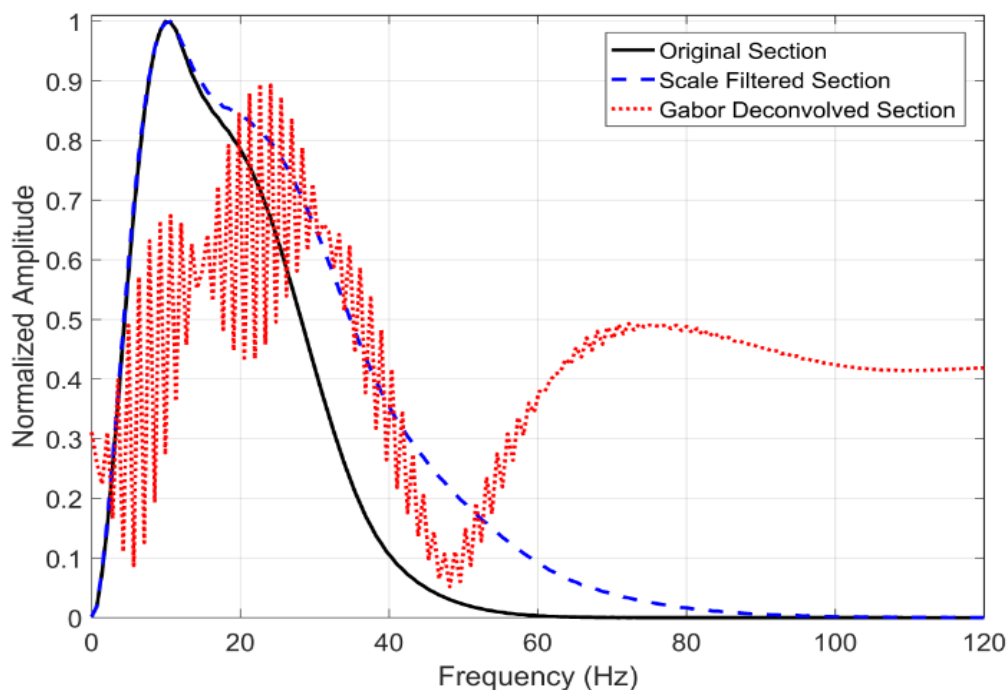


شکل ۴-۲۱، (الف) مقطع لرزه‌ای مصنوعی (با فاکتور کیفیت $Q = 20$) برای مدل گوه مصنوعی شکل ۴-۱۸، (ب) مقطع

لرزه‌ای مصنوعی تبدیل مقیاس شده با پارامتر مقیاس $a = 4$ ، (ج) مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاصل از اعمال واهمامیخت

گابور.

در شکل ۴-۲۲ طیف دامنه میانگین مربوط به مقاطع لرزه‌ای شکل ۴-۲۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هر دو روش قادر به افزایش پهنای باند فرکانسی داده لرزه‌ای شده‌اند که منجر به افزایش قدرت تفکیک قائم داده می‌شود. با توجه به اینکه در روش واهمامیخت گابور میزان نوفه ایجاد شده در اثر اعمال این روش بر روی داده خیلی بیشتر از میزان نوفه ایجاد شده در نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس می‌باشد (این موضوع در شکل ۴-۲۱ نیز نشان داده شد)، در طیف دامنه مربوط به مقطع لرزه‌ای به دست آمده از اعمال روش واهمامیخت گابور تقویت بیش از حد در محدوده فرکانس‌های بالا به صورت چشمگیری مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان به این نتیجه دست یافت که روش تبدیل مقیاس به منظور بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای در داده‌های به دست آمده با فاکتور کیفیت پایین‌تر نیز از کارایی بیشتری در مقابل روش واهمامیخت گابور برخوردار می‌باشد.

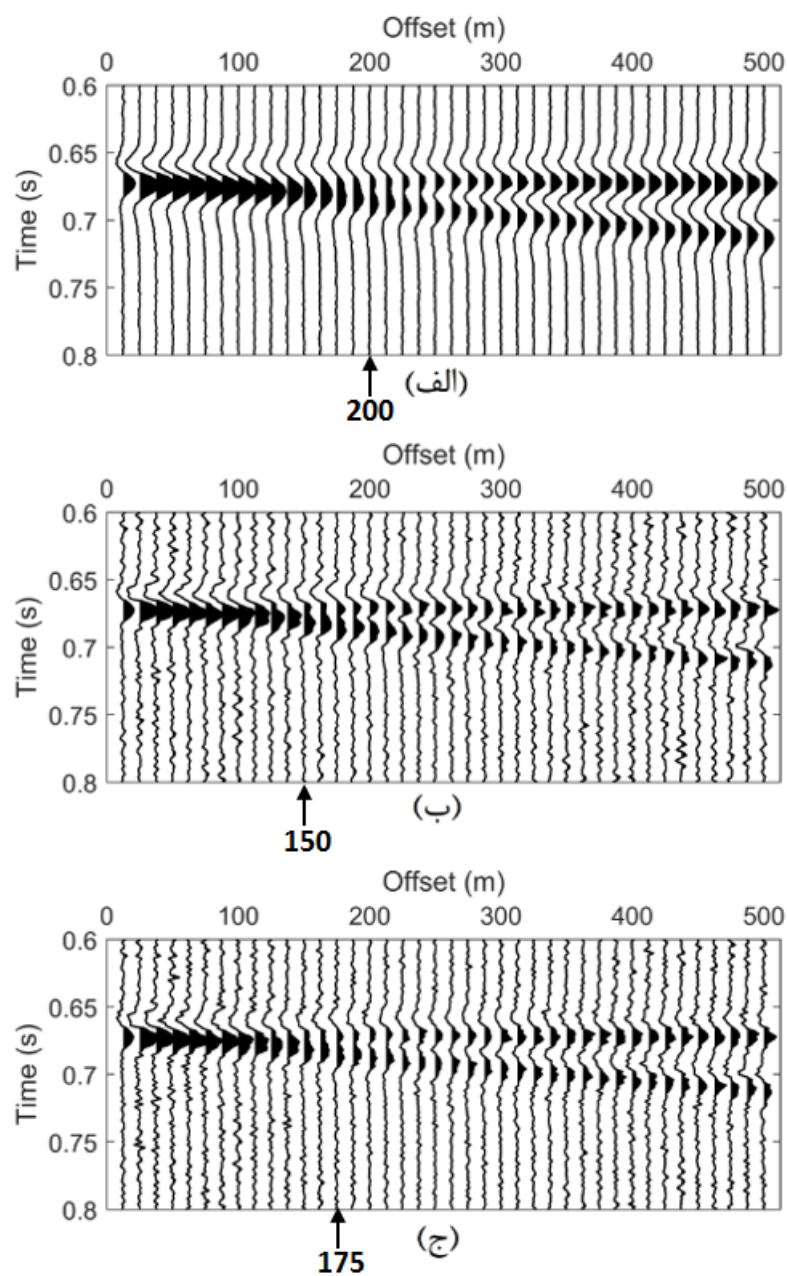


شکل ۴-۲۲، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی اولیه (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خط چین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خط چین قرمز).

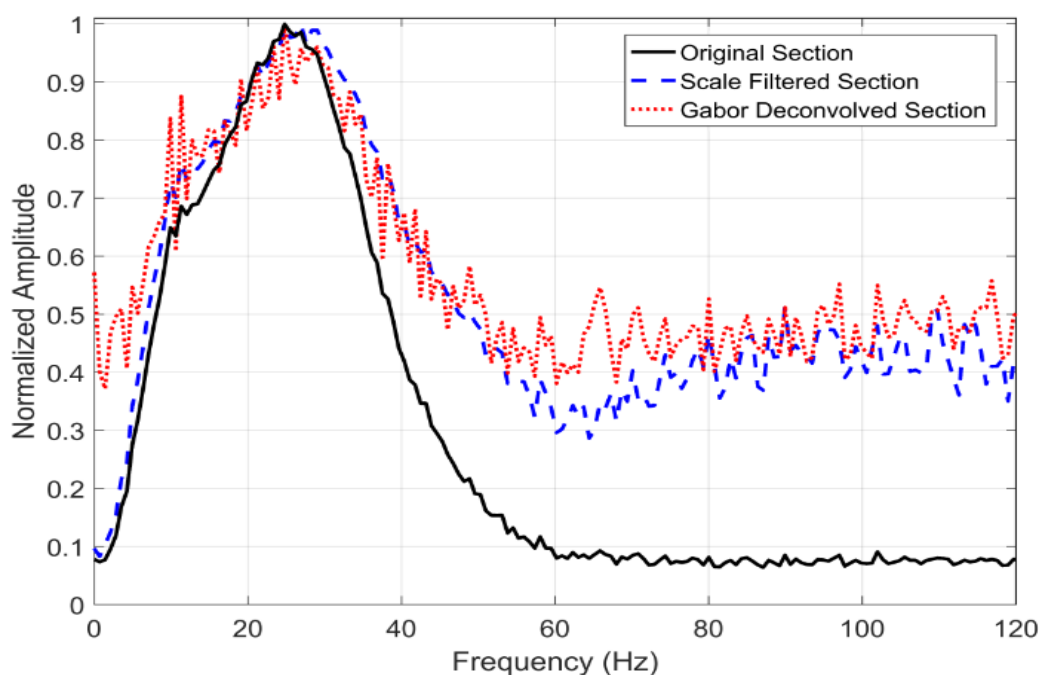
به منظور بررسی میزان پایداری روش‌های تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور در مقابل نوفه، مقطع لرزه‌ای شکل ۴-۱۸ (ب) به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه کمی آغشته گردید که نتیجه آن در شکل ۴-۲۳ (الف) نشان داده شده است. دلیل اینکه نوفه کمی مورد استفاده قرار گرفته است، این است که غالباً روش افزایش قدرت تفکیک در داده‌های پس از برانبارش و حتی پس از مهاجرت اعمال می‌شود که در این مراحل بر اساس مراحل پردازشی مختلف از جمله برانبارش و اعمال فیلترهای مختلف، میزان نوفه تا حد زیادی کاهش یافته است. شکل‌های ۴-۲۳ (ب) و ۴-۲۳ (ج)، به ترتیب نتایج حاصل از اعمال روش تبدیل مقیاس (با استفاده از پارامتر مقیاس $a = 4$) و واهمامیخت گابور را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود، مرز تفکیک بازتاب از بالا و پایین گوه در مقطع لرزه‌ای آغشته به نوفه در مکان دورافت ۲۰۰ متر قرار دارد که در نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس به مکان دورافت ۱۵۰ متر و در نتیجه اعمال روش واهمامیخت گابور به دورافت ۱۷۵ متر انتقال داده شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش تبدیل مقیاس در مقایسه با روش واهمامیخت گابور در حضور نوفه نیز، از کارایی بهتری برخوردار است. در واقع میزان تأثیر نوفه در عملکرد روش واهمامیخت گابور بیشتر می‌باشد.

به منظور بررسی میزان تأثیرپذیری روش‌های مذکور از نوفه تصادفی، تحلیل طیف دامنه میانگین مربوط به مقاطع لرزه‌ای قبل و بعد از اعمال روش‌ها انجام شد. نتیجه حاصل در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که هر دو روش پهنای باند فرکانسی را در داده افزایش داده‌اند. علاوه بر آن، در روش تبدیل مقیاس، فرکانس غالب داده مقدار کمی افزایش یافته است، این میزان افزایش در روش واهمامیخت گابور مشاهده نمی‌شود. با توجه به این که در هر دو روش تقویت بیش از حد فرکانس‌های بالا صورت گرفته است و از آنجایی که این فرکانس‌های بالا مربوط به نوفه ایجاد شده در اثر عملکرد روش مورد نظر و یا مربوط به فرکانس‌های بالای نوفه تصادفی موجود در داده اولیه می‌باشند، لذا، نتیجه می‌شود که هر دو روش تحت اثر

مخرب نوفه قرار می گیرند. اما همانطور که مشاهده می شود، تقویت بیش از حد فرکانس های بالا در نتیجه اعمال روش واهمامیخت گابور بیشتر از نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس می باشد و این به معنای تأثیرپذیری بیشتر روش واهمامیخت گابور از اثر مخرب نوفه تصادفی می باشد. بنابراین در یک نتیجه گیری کلی می توان گفت که روش تبدیل مقیاس نسبت به روش واهمامیخت گابور در مورد استفاده از داده های حاوی نوفه نیز عملکرد بهتری دارد. البته بایستی ذکر نمود که امروزه با اعمال فیلترهای مختلف تا حدودی ضعف روش واهمامیخت گابور در مقابل نوفه را برطرف نموده اند که این فیلترها قابلیت اعمال بر روی روش مقیاس کردن را نیز دارند. در این پایان نامه سعی شده است که شرایط در هر دو روش تا حد امکان یکسان در نظر گرفته شود تا قابلیت دو روش را بتوان به درستی مورد ارزیابی قرار داد.



شکل ۴-۲۳، (الف) مقطع لرزه‌ای مصنوعی آغشته به نوفه تصادفی، (ب) مقطع لرزه‌ای تبدیل مقیاس شده با پارامتر مقیاس
 $a = 2$ و (ج) مقطع لرزه‌ای حاصل از اعمال واهمامیخت گابور.



شکل ۴-۲۴، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای مصنوعی آغشته به نوفه تصادفی (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خط چین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خط چین قرمز).

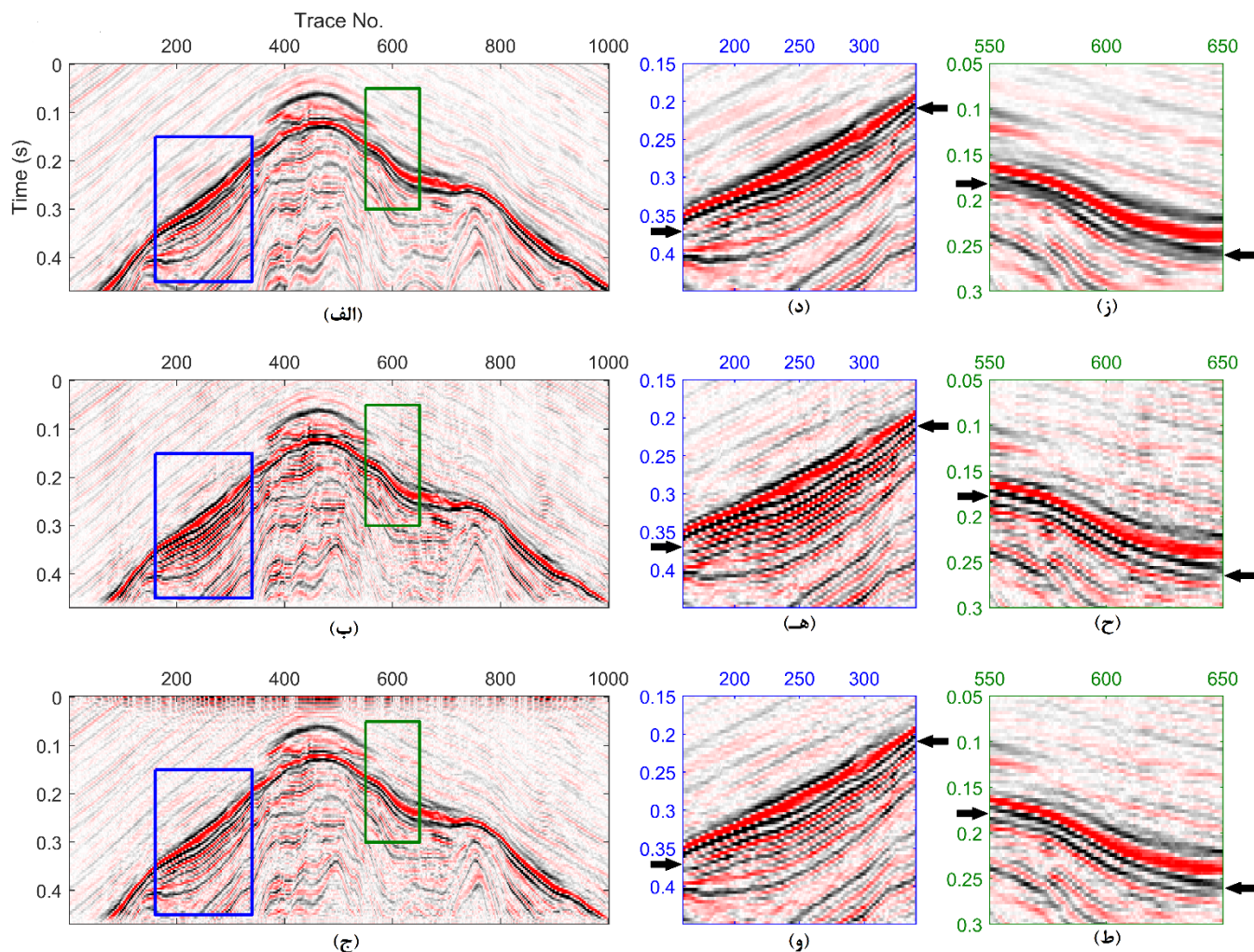
۴-۳-۳ اعمال روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور بر روی مقطع لرزه‌ای واقعی

در این قسمت به منظور بررسی کارایی روش‌های تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور در افزایش قدرت تفکیک زمانی داده‌های لرزه‌ای بازتابی واقعی، از یک داده واقعی با تعداد ۱۰۰۱ ردلرزه و ۲۰۱ نمونه زمانی که با گام ۴ میلی ثانیه نمونه‌برداری شده است، استفاده گردید. شکل ۴-۲۵ (الف) مقطع لرزه‌ای واقعی مورد نظر را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۲۵ (ب) و ۴-۲۵ (ج) به ترتیب نتایج حاصل از اعمال الگوریتم روش تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور نشان داده شده است.

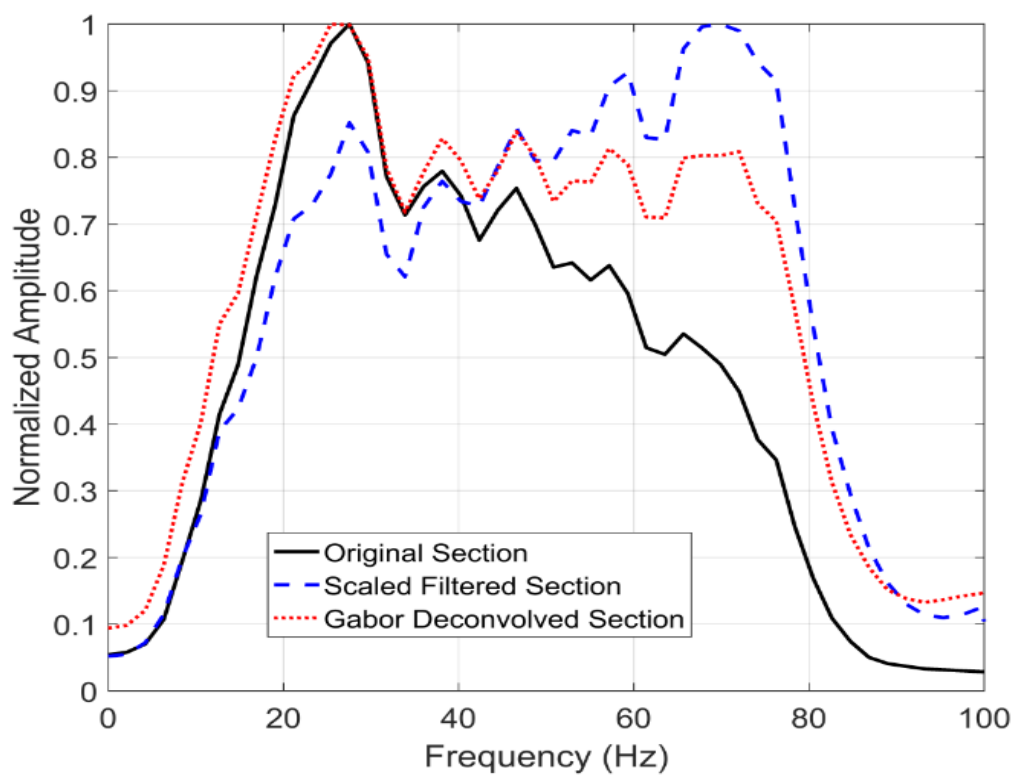
نتایج حاصل نشان می‌دهند که هر دو روش قابلیت بهبود قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای را دارا می‌باشند، با این تفاوت که کارایی روش تبدیل مقیاس نسبت به روش واهمامیخت گابور در تشخیص لایه‌های نازکی که در

مقطع لرزه‌ای اولیه قابل آشکارسازی نبودند، بیشتر می‌باشد. به منظور بررسی بهتر نتایج، برای نمونه دو بخش مربوط به آشکار شدن لایه‌های نازک در داده حاصل از اعمال روش‌های مذکور که در مقطع لرزه‌ای اولیه قابل تشخیص نبودند، انتخاب شده است که در شکل‌های ۴-۲۵ (د) تا (ط) نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقایسه نمونه‌های انتخاب شده نشان می‌دهد که روش تبدیل مقیاس عملکرد بهتری در بهبود قدرت تفکیک قائم داده لرزه‌ای مورد نظر و آشکارسازی لایه‌های نازک داشته است.

در شکل ۴-۲۶ طیف دامنه میانگین مقطع لرزه‌ای مورد نظر و همچنین مقاطع حاصل از اعمال روش‌های تبدیل مقیاس و واهمامیخت گابور نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هر دو روش پهنای باند فرکانسی داده مورد نظر را افزایش داده‌اند، بنابراین قابلیت افزایش قدرت تفکیک قائم لرزه‌ای را دارند. البته لازم به ذکر است که افزایش پهنای باند فرکانسی داده در روش تبدیل مقیاس به میزان بیشتری صورت گرفته است. همچنین با توجه به اینکه روش تبدیل مقیاس فرکانس غالب داده را نیز افزایش داده است، بنابراین می‌توان به کارایی بهتر این روش در مقابل روش واهمامیخت گابور پی برد.



شکل ۴-۲۵، (الف) مقطع لرزه‌ای واقعی اولیه، (ب) نتیجه اعمال روش تبدیل مقیاس، (ج) نتیجه اعمال واهمامیخت گابور، (د) مستطیل آبی در قسمت (الف)، (هـ) مستطیل آبی در قسمت (ب)، (و) مستطیل آبی در قسمت (ج)، (ز) مستطیل سبز در قسمت (الف)، (ح) مستطیل سبز در قسمت (ب) و (ط) مستطیل سبز در قسمت (ج). مستطیل‌های رنگی، بخش‌های انتخاب شده برای بزرگنمایی می‌باشند. محل آشکار شدن لایه‌های نازک که در مقطع اولیه قابل آشکارسازی نبودند با پیکان مشخص شده است.



شکل ۴-۲۶، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای واقعی (سیاه)، طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش تبدیل مقیاس (خطچین آبی) و طیف دامنه میانگین نرمال شده مقطع لرزه‌ای بعد از اعمال روش واهمامیخت گابور (خطچین قرمز).

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه، ابتدا از خاصیت مقیاس کردن زمانی در حوزه فوریه استفاده گردید و با استفاده از یک فیلتر طراحی شده در حوزه فوریه، قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای در راستای زمانی یا قائم بهبود داده شد. در مرحله بعد، ایده مطرح شده در حوزه فرکانس به حوزه زمان-فرکانس تعمیم داده شد و فیلتر مورد نظر در حوزه زمان-فرکانس طراحی گردید. با توجه به نتایج حاصل از ردلرزه و مقاطع لرزه‌ای مصنوعی و واقعی می‌توان به موارد ذیل به عنوان اهم نتایج به دست آمده اشاره نمود:

- روش تبدیل مقیاس در حوزه فرکانس در مقایسه با روش متداول واهمامیخت فرکانسی از کارایی بیشتری در بهبود قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای برخوردار است.
- تعمیم ایده مطرح شده در حوزه فرکانسی می‌تواند جهت بهبود قدرت تفکیک قائم داده‌های لرزه‌ای ناپایا در حوزه زمان-فرکانس به کار برده شود.
- از آنجایی که در نتیجه عملکرد هر گونه روش مورد استفاده به منظور بهبود قدرت تفکیک قائم، مقداری نوفه در داده ایجاد می‌شود و همچنین نوفه‌های تصادفی موجود در داده نیز تقویت می‌شوند، لذا در روش تبدیل مقیاس در حوزه فرکانس و زمان-فرکانس نیز این موضوع صادق بوده و بایستی یک رابطه توازن بین افزایش قدرت تفکیک داده و نسبت سیگنال به نوفه برقرار باشد.
- میزان تقویت نوفه در روش تبدیل مقیاس در حوزه فرکانس با روش واهمامیخت فرکانسی تقریباً برابر است، اما در روش فیلتر مقیاس در حوزه زمان-فرکانس میزان تقویت نوفه به مراتب کمتر از روش واهمامیخت گابور می‌باشد.

۲-۴ پیشنهادات

- به کارگیری روش‌های بهبود یافته واهمامیخت گابور بجای استفاده از واهمامیخت گابور متداول.
- به کارگیری تبدیل‌های زمان-فرکانس جدیدتر بجای تبدیل گابور.
- به کارگیری خاصیت مقیاس کردن زمانی در سایر حوزه‌های دیگر مانند حوزه تبدیل Z بجای استفاده از حوزه فرکانس و زمان-فرکانس.
- به کارگیری فیلترهایی در درون الگوریتم جهت کنترل تقویت نوفه حاصل از افزایش قدرت تفکیک زمانی.

پیوست‌ها

الف - تخمین موجک چشمه لرزه‌ای

موجک لرزه‌ای به صورت یک بسته انرژی از چشمه لرزه‌ای آزاد شده، در زمین منتشر می‌شود و طی هم‌امیخت با توالی بازتاب‌پذیری زمین در نهایت به صورت یک سری زمانی با مقادیر انرژی متفاوت در زمان‌های مختلف به گیرنده می‌رسد. یک موجک لرزه‌ای با دو مشخصه مهم شکل و محتوای فرکانسی (طیف فاز و طیف دامنه) تعریف می‌شود. با در نظر گرفتن یک طیف دامنه مشخص برای موجک، شکل آن بسته به طیف فاز تغییر می‌کند، به عبارتی دیگر بر اساس طیف فاز، انواع مختلف موجک لرزه‌ای با شکل‌های مختلف به دست می‌آید. در یک تقسیم‌بندی کلی بر اساس طیف فاز، موجک‌های لرزه‌ای در سه دسته موجک با فاز صفر، موجک کمینه فاز^۱ و موجک غیر مینیمم فاز (موجک ماکزیمم فاز^۲ و موجک با فاز مختلط) جای می‌گیرند.

موجک با فاز صفر در حوزه زمان متقارن است و در حوزه فرکانس، در تمامی فرکانس‌ها دارای فاز صفر است. موجک مینیمم فاز، در حوزه زمان نامتقارن است و بیشترین انرژی موجک در نمونه‌های زمانی ابتدایی آن متمرکز شده است، همچنین انرژی موجک در نمونه‌های زمانی منفی، صفر می‌باشد (به عبارتی دیگر موجک مینیمم فاز، کزال^۳ می‌باشد).

موجک ماکزیمم فاز نیز مانند موجک مینیمم فاز در حوزه زمان نامتقارن است با این تفاوت که بیشترین انرژی آن در نمونه‌های زمانی انتهایی موجک متمرکز شده است. در صورتی که بیشترین انرژی موجک در نمونه‌های زمانی مرکزی متمرکز باشد، موجک مورد نظر مختلط فاز^۴ نامیده می‌شود.

^۱ Minimum phase wavelet

^۲ Maximum phase wavelet

^۳ causal

^۴ mixed phase wavelet

به منظور تعیین مدل لایه‌های زیرسطحی و اهداف مورد نظر در یک عملیات لرزه‌نگاری، عمل وارون لرزه‌ای بر روی داده‌های ثبت شده توسط گیرنده صورت می‌گیرد. طی این فرایند اثرات موجک چشمه لرزه‌ای و نوفه از روی داده حذف شده و سری بازتاب زمین تخمین زده می‌شود. بنابراین باید موجک لرزه‌ای و یا اطلاعاتی از آن معلوم باشد. بر این اساس روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری و یا تخمین موجک چشمه لرزه‌ای ارائه شده است که این روش‌ها را می‌توان در سه گروه عمده خلاصه کرد: اندازه‌گیری مستقیم موجک لرزه‌ای (روش قطعی)، تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای (روش‌های آماری) و تخمین موجک با استفاده از تلفیق داده‌های چاه‌نگاری و داده‌های لرزه‌ای.

در مورد استفاده از روش‌های آماری به منظور تخمین موجک لرزه‌ای، طیف دامنه و فاز موجک از روی طیف دامنه و فاز داده لرزه‌ای موجود برآورد می‌شود. تخمین طیف دامنه موجک با استفاده از دو روش معمول خودهمبستگی^۱ ردلرزه و برازش منحنی بر طیف دامنه ردلرزه انجام می‌شود. طیف فاز موجک را با صفر قرار دادن برای موجک با فاز صفر (در صورت استفاده از ویبراتورها موجک با فاز صفر تولید می‌شود) و یا استفاده از روش‌های میانگین‌گیری طیفی^۲، فاکتوریزیشن ولد-کولموگروف^۳ و روش معکوس وینرلوینسون^۴ برای موجک مینیمم فاز می‌توان به دست آورد. در ادامه روش به کار رفته برای تخمین موجک لرزه‌ای در این پایان‌نامه، شرح داده شده است.

¹ Autocorrelation

² Spectral averaging

³ Wold-Kolmogorov factorization

⁴ Wiener-Levinson

الف-۱ تخمین طیف دامنه موجک با استفاده از روش برازش منحنی بر طیف دامنه ردلرزه

ردلرزه ثبت شده که حاصل هم‌امیخت موجک لرزه‌ای و سری بازتاب زمین است طبق رابطه زیر تعریف شده است (ایلماز، ۲۰۰۱):

$$x(t) = w(t) * e(t) \quad (\text{الف-۱})$$

$s(t)$ به عنوان ردلرزه، $w(t)$ موجک لرزه‌ای و $e(t)$ سری بازتاب زمین تعریف می‌شوند. در ارائه رابطه فوق فرضیاتی در نظر گرفته می‌شود که این فرضیات به قرار زیر می‌باشند:

۱. زمین از لایه‌های افقی تشکیل شده است و سرعت در هر لایه نیز ثابت می‌باشد.

۲. نوفه صفر است.

۳. موجک لرزه‌ای در همه زمان‌ها در طول انتشار در زمین، ثابت است.

۴. سری بازتاب زمین یک سری تصادفی است.

مدل هم‌امیختی مورد نظر در حوزه فرکانس به صورت رابطه (الف-۲) نوشته می‌شود:

$$X(\omega) = W(\omega)E(\omega) \quad (\text{الف-۲})$$

$X(\omega)$ تبدیل فوریه ردلرزه، $W(\omega)$ تبدیل فوریه موجک لرزه‌ای و $E(\omega)$ تبدیل فوریه سری بازتاب زمین می‌باشند.

با توجه به اینکه هر تابع در حوزه فرکانس به صورت طیف دامنه و طیف فاز بیان می‌شود لذا نمایش رابطه (الف-۲) به صورت طیف دامنه و فاز پارامترهای آن به صورت زیر می‌باشد:

$$A_x(\omega)e^{j\varphi_x(\omega)} = A_w(\omega)e^{j\varphi_w(\omega)}A_e(\omega)e^{j\varphi_e(\omega)} \quad (\text{الف-۳})$$

در واقع طیف دامنه ردلرزه برابر با حاصل ضرب دامنه موجک لرزه‌ای در دامنه سری بازتاب می‌باشد. طیف فاز ردلرزه نیز از حاصل جمع طیف فاز موجک و سری بازتاب به دست می‌آید.

$$A_x(\omega) = A_w(\omega)A_e(\omega) \quad (\text{الف-۴})$$

$$\varphi_x(\omega) = \varphi_w(\omega) + \varphi_e(\omega) \quad (\text{الف-۵})$$

با توجه به اینکه سری بازتاب زمین یک سری تصادفی در نظر گرفته شده است و از آنجایی که طیف دامنه یک سری تصادفی در همه فرکانس‌ها یک مقدار ثابت دارد لذا طیف دامنه آن به صورت $A_e(\omega) = A_0$ تعریف می‌شود. در این صورت رابطه (الف-۴) به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$A_x(\omega) = A_0 A_w(\omega) \quad (\text{الف-۶})$$

در واقع دامنه ردلرزه نسخه مقیاس شده دامنه موجک لرزه‌ای است، بنابراین اگر یک پوش یا منحنی به طیف دامنه ردلرزه برازش داده شود طیف دامنه موجک تخمین زده می‌شود. به عبارتی دیگر طیف دامنه موجک لرزه‌ای طی یک فرایند هموارسازی^۱ طیف دامنه ردلرزه به دست می‌آید.

الف-۲ تخمین طیف فاز موجک با استفاده از روش فاکتوریزیشن ولد-کولموگروف

در این روش یک طیف مینیمم فاز از روی طیف دامنه به دست می‌آید.

اگر برای یک موجک لرزه‌ای با طول $n+1$ نمونه زمانی، یک طیف دامنه مشخص در نظر گرفته شود در این صورت می‌توان 2^n موجک با طیف فاز متفاوت به این موجک نسبت داد. از این میان تنها یک موجک از 2^n موجک دارای طیف فاز مینیمم فاز می‌باشد. با مقایسه لگاریتم طبیعی طیف دامنه موجک،

¹ Smoothing

با لگاریتم طبیعی تبدیل فوریه موجک، $\log_e(W(\omega))$ ، طیف مینیمم فاز می‌تواند از روی طیف دامنه موجک مورد نظر به دست آید.

رابطه بین طیف دامنه و فاز موجک به صورت زیر تعریف می‌شود (رابینسون، ۱۹۶۷):

$$\theta(\omega) = -\frac{2}{\pi} \sum_{t=1}^{\infty} \sin(\omega t) \int_0^{\pi} \cos(\omega t) \log_e(|W(\omega)|) d\omega \quad (\text{الف-۷})$$

معکوس تبدیل فوریه لگاریتم طبیعی طیف دامنه موجک و $\theta(\omega)$ طیف فاز موجک می‌باشد که برابر با تبدیل هیلبرت لگاریتم طبیعی طیف دامنه آن تعریف شده است.

یک موجک لرزه‌ای در حوزه فرکانس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W(\omega) = |W(\omega)| e^{j\phi(\omega)} \quad (\text{الف-۸})$$

$W(\omega)$ تبدیل فوریه موجک لرزه‌ای، $|W(\omega)|$ طیف دامنه موجک و $\phi(\omega)$ طیف فاز آن می‌باشد. با گرفتن لگاریتم طبیعی از تبدیل فوریه موجک رابطه (الف-۸) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\log_e(W(\omega)) = \log_e(|W(\omega)|) + j\phi(\omega) \quad (\text{الف-۹})$$

معکوس تبدیل فوریه $\log_e(W(\omega))$ ، که با $v(t)$ تعریف می‌شود به صورت مجموع یک تابع زوج و یک تابع فرد نوشته می‌شود:

$$v(t) = v_e(t) + v_o(t) \quad (\text{الف-۱۰})$$

که $v_e(t)$ معکوس تبدیل فوریه لگاریتم طبیعی طیف دامنه موجک و $v_o(t)$ معکوس تبدیل فوریه فاز موجک است.

یک موجک لرزه‌ای در صورتی مینیمم فاز است که کزال باشد، بنابراین باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$v_o(t) = v_e(t) \operatorname{sgn}(t) \quad (\text{الف-۱۱})$$

معکوس تبدیل فوری $\log_e(W(w))$ ، به منظور برگرداندن آن به حوزه زمان انجام می‌شود. سپس نمونه‌های زمانی منفی صفر می‌شوند و دامنه نمونه‌های زمانی مثبت دو برابر می‌شود که این عمل منجر به تولید $v_o(t)$ می‌شود.

تبدیل فوری $v_o(t)$ برابر است با:

$$v_o(t) \xrightarrow{F} -\frac{2}{\pi} \sum_{t=1}^{\infty} \sin(W(\omega)) v_e(t) = \operatorname{Im}[\log_e(W(\omega))] \quad (\text{الف-۱۲})$$

در واقع حاصل تبدیل فوری $v_o(t)$ ، برابر است با قسمت موهومی لگاریتم طبیعی تبدیل فوری موجک لرزه‌ای که همان طیف فاز موجک می‌باشد. به عبارتی دیگر طیف فاز موجک لرزه‌ای در حوزه فرکانس، از حاصل همامیخت $\log_e(W(\omega))$ و تبدیل فوری تابع علامت $\operatorname{sgn}(t)$ ، به دست می‌آید که مفهوم این همامیخت، همان تبدیل هیلبرت می‌باشد که در رابطه (الف-۷) نیز بیان شده است.

ب- روش واهمامیخت فرکانسی

واهمامیخت لرزه‌ای در مرحله پردازش داده‌های لرزه‌ای به منظور تخمین سری ضرایب بازتاب زمین و همچنین افزایش قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌ای انجام می‌شود. از روش‌های مختلفی به منظور طراحی عملگر واهمامیخت استفاده می‌شود که یکی از این روش‌ها طراحی عملگر واهمامیخت در حوزه فرکانس می‌باشد که با عنوان روش واهمامیخت فرکانسی شناخته می‌شود. این روش در دسته روش‌های واهمامیخت معین جای دارد زیرا برای طراحی عملگر واهمامیخت باید موجک لرزه‌ای معلوم باشد. از آنجایی که معمولاً موجک لرزه‌ای نامعلوم است لذا با استفاده از روش‌های مختلفی می‌توان آن را تخمین زد. در این روش برای

تخمین طیف دامنه موجک از روش خودهمبستگی موجک، و به منظور تخمین طیف فاز آن، در صورت کمینه فاز بودن موجک از روش کولموگروف (در قسمت الف-۲ شرح داده شده است) استفاده می‌شود.

در مورد استفاده از روش خودهمبستگی برای تخمین طیف دامنه موجک لرزه‌ای، خودهمبستگی موجک، $r_w(\tau)$ ، با استفاده از خودهمبستگی ردلرزه، $r_x(\tau)$ ، به دست می‌آید.

خودهمبستگی به معنای میزان شباهت بین رخداد‌های یک سری زمانی در نمونه‌های زمانی مختلف است. با توجه به اینکه در ارائه مدل هم‌امیختی زمین، سری بازتاب زمین به صورت یک سری تصادفی فرض می‌شود و از آنجایی که یک سری تصادفی ناهمبسته است، لذا خودهمبستگی سری بازتاب، $r_e(\tau)$ ، برابر با صفر می‌باشد. در حالت خاص برای یک سری تصادفی ایده‌آل خودهمبستگی دنباله مورد نظر، برابر با صفر در همه تأخیرهای زمانی به جز تأخیر صفر می‌باشد. در واقع مقدار در تأخیر صفر برابر با مقدار انرژی تجمعی در سری زمانی است. بنابراین برای یک سری بازتاب تصادفی ایده‌آل با N نمونه زمانی رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$r_e(0) = r_0, \quad r_0 = e_0^2 + e_1^2 + \dots + e_{N-1}^2 \quad (\text{ب-۱})$$

مدل هم‌امیختی زمین که در رابطه (ب-۲) معرفی شده است، در حوزه تبدیل z به صورت رابطه (ب-۳) نوشته می‌شود:

$$x(t) = w(t) * e(t) \quad (\text{ب-۲})$$

$$X(z) = W(z)E(z) \quad (\text{ب-۳})$$

رابطه (ب-۳) با قرار دادن $\frac{1}{z}$ بجای z و گرفتن مزدوج مختلط، به رابطه (ب-۴) تبدیل می‌شود:

$$\bar{X}\left(\frac{1}{z}\right) = \bar{W}\left(\frac{1}{z}\right)\bar{E}\left(\frac{1}{z}\right) \quad (\text{ب-۴})$$

با ترکیب دو رابطه (ب-۳) و (ب-۴)، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$X(z)\bar{X}\left(\frac{1}{z}\right) = [W(z)\bar{W}\left(\frac{1}{z}\right)][E(z)\bar{E}\left(\frac{1}{z}\right)] \quad (\text{ب-۵})$$

بنابراین نتیجه رابطه (ب-۵) به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$r_x(\tau) = r_w(\tau)r_e(\tau) \quad (\text{ب-۶})$$

با در نظر گرفتن فرض تصادفی بودن سری بازتاب زمین نتیجه زیر از رابطه (ب-۶) حاصل می‌شود:

$$r_x(\tau) = r_0 r_w \quad (\text{ب-۷})$$

با توجه به رابطه فوق می‌توان نتیجه گرفت که خودهمبستگی ردلرزه، نسخه مقیاس شده خودهمبستگی موجک می‌باشد. بنابراین می‌توان برای تخمین موجک لرزه‌ای از خودهمبستگی ردلرزه استفاده کرد.

با محاسبه خودهمبستگی موجک لرزه‌ای، طیف دامنه موجک و در نهایت طیف فاز موجک (با استفاده از روش کولموگروف) به دست می‌آیند. پس از تخمین موجک لرزه‌ای از آن به منظور طراحی عملگر واهمامیخت، تبدیل فوریه گرفته می‌شود، تبدیل فوریه موجک، $W(\omega)$ ، با استفاده از پارامترهای طیف دامنه، $A(\omega)$ ، و طیف فاز، $\varphi(\omega)$ ، به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$W(\omega) = A(\omega)\exp[j\varphi(\omega)] \quad (\text{ب-۸})$$

عملگر واهمامیخت باید به صورت یک فیلتر به گونه‌ای طراحی شود که با اعمال آن بر روی ردلرزه، سری بازتاب زمین به دست آید. این موضوع به صورت رابطه (ب-۹) بیان شده است:

$$e(t) = f(t) * x(t) \quad (\text{ب-۹})$$

از طرفی با توجه به اینکه داده لرزه‌ای با استفاده از مدل هم‌امپختی زمین طبق رابطه (ب-۲) به دست می‌آید، لذا با جایگذاری رابطه (ب-۹) در رابطه هم‌امپختی زمین، رابطه (ب-۱۰) حاصل می‌شود:

$$x(t) = w(t) * f(t) * x(t) \quad (\text{ب-۱۰})$$

در نتیجه باید:

$$w(t) * f(t) = \delta(t) \quad (\text{ب-۱۱})$$

با گرفتن تبدیل فوریه از رابطه فوق، رابطه (ب-۱۲) به دست می‌آید:

$$W(\omega)F(\omega) = 1 \quad (\text{ب-۱۲})$$

بنابراین عملگر واهمامیخت در حوزه فرکانس به صورت رابطه (ب-۱۳) تعریف می‌شود:

$$F(\omega) = \frac{1}{W(\omega)} \quad (\text{ب-۱۳})$$

با جایگذاری رابطه (ب-۷) در رابطه (ب-۱۳)، طیف دامنه و فاز فیلتر واهمامیخت به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$A_f(\omega) = \frac{1}{A_w(\omega)} \quad (\text{ب-۱۴})$$

$$\phi_f(\omega) = -\phi_w(\omega) \quad (\text{ب-۱۵})$$

با گرفتن معکوس تبدیل فوریه از رابطه (ب-۱۳)، عملگر واهمامیخت در حوزه زمان به دست می‌آید که با اعمال آن بر روی داده لرزه‌ای، اثر موجک از روی داده حذف شده و سری بازتاب زمین تخمین زده می‌شود.

- Allen, R.L., and Mills, D.W., (2004), Signal analysis: time, frequency, scale, and structure: Interscience [Hoboken], IEEE Press.
- Badley, M. E., (1985), Practical seismic interpretation: International Human Resource Development Corporation.
- Barigham, E. O., (1988), The fast Fourier transform and its applications: Prentice Hall.
- Boashash, B., (2015), Time-frequency signal analysis and processing: a comprehensive reference, Academic Press.
- Buttkus, B, (2000), Spectral analysis and filter theory in applied geophysics: Springer science and business media.
- Chen, S. Q. and Y. H. Wang, (2008). Inverse Q filtering in 3D P-P and P-SV seismic data a case study from Sichuan basin, China: 70th EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2008.
- Chen, S., X.-Y. Li, B. Di, and J. Wei, (2014), A novel method for enhancing resolution using scale transforms: 76th EAGE Conference and Exhibition 2014.
- Chen, Z., Wang, Y., Chen, X., and Li, J., (2013), High-resolution seismic processing by Gabor deconvolution, Geophysics and Engineering, **10**, No. 6, 1742-2132.
- Claerbout, J., (1976), Fundamentals of seismic data processing: McGraw–Hill, New York.
- Cohen L., (1995), Time-frequency analysis: Prentice-Hall.
- Devi, K., and H. Schwab, (2009), High-resolution seismic signals from band-limited data using scaling laws of wavelet transforms: Geophysics, **74**, No. 2, WA143-WA152.
- Dey, A. K., and L. R. Lines, (1998), Seismic source wavelet estimation and the random reflectivity assumption: CREWES Research Report, **10**, 21-28.
- Gabor, D., (1946), Theory of communication: J. IEEE (London), 93(III), 429-457.
- Gao, J. H., L. L. Wang, and W. Zhao, (2009), Enhancing resolution of seismic traces

based on the changing wavelet model of seismograms: Chinese Journal of Geophysics, **52**, No. 3, 625-640.

- Haykin, S., (2002), Signals and systems: 2nd Edition, wiley & Sons, Inc.
- Herron, D. A., and R. B. Latimer, 2011, First steps in seismic interpretation: Society of Exploration Geophysics.
- Kearey, Ph., Brooks, M., and Hill, I., (2002), An introduction to geophysical exploration: 3rd edition: John Wiley & Sons.
- Lines, L. R., and T. J. Ulrych, (1977), The old and the new in seismic deconvolution and wavelet estimation: Geophysical Prospecting, 25, 512–540.
- Mallat, S., (1999), A wavelet tour of signal processing: 2nd edition, Elsevier, USA.
- Margrave, G. F., and Lamoureux, M. P., (2001), Gabor deconvolution: CREWES Research Report, 13, 241- 276.
- Margrave, G. F., and Lamoureux, M. P., (2002), Gabor deconvolution: CSEG, Calgary, Canada, 203-206.
- Margrave, G. F., Gibson, P. C., Grossman, J. P., Henley, D. C., and Lamoureux, M., (2003), Gabor deconvolution: extending Wiener's method to nonstationary: CSEG RECORDER, 28, (December), 12-18.
- Margrave, G. F., Gibson, P. C., Grossman, J. P., Henley, D. C., and Lamoureux, M. P., (2004), Gabor deconvolution: theory and practice: EAGE 66th Conference and Exhibition-Paris, France, Z-99, 1-4.
- Oppenheim, Alan V, (1998), Signals & systems: Prentice-Hall ternational, Inc.
- Proakis, J. G., and Manolakis, D. G., (2007), Digital signal processing, principles, algorithms, and applications, Pearson Printice Hall, USA.
- Rawat, A., and S. S. Dyal, (2010), Resolution enhancement of seismic data using stationary wavelet transform: 8th Biennial International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics, Extended Abstracts, P-95.
- Rioul, O., and Flandrin, P., (1992), Time-scale energy distributions: A general class extending wavelet transforms: IEEE transactions on signal processing, 40, 1746-

1757.

Robinson, E. A., (1967), Predictive decomposition of time series with application to seismic exploration: *Geophysics*, 32, 418–484.

- Robinson, E. A., and S. Treitel, (1980), *Geophysical signal analysis*: Prentice-Hall New Jersey.
- Sheriff, R. E., and L. P. Geldart, (1995), *Exploration seismology*: Cambridge university press.
- Smith, M., G. Perry, J. Stein, A. Bertrand, and G. Yu, (2008), Extending seismic bandwidth using the continuous wavelet transform: *First Break*, **26**, No. 6, 97-102.
- Van der Baan M. and D. T. Pham, (2008). Robust wavelet estimation and blind deconvolution of noisy surface seismics: *Geophysics*, **73**:V37-V46.
- Walden, A. T., (1988). Robust deconvolution by modified Wiener filtering. *Geophysics*, **53**, 186- 191.
- White, R. E., and P. N. S. O'Brien, (1974), Estimation of the primary seismic pulse: *Geophysical Prospecting*, **22**, 627 – 651.
- Yilmaz, O., (2001), *Seismic data analysis*. Vol. 1: SEG.
- Zhou, Y., Dellinger, J., Gutowski, P. and Garossino, P., (2004), Seismic resolution enhancement in the wavelet transform domain: 74th SEG Annual International Meeting, Extended Abstracts, 1933-1936.

Abstract

The improvement of seismic data resolution is very important in hydrocarbon exploration, especially in small scale structures like thin layers that they are places of passing and accumulation of hydrocarbon. Because this structures are below of the seismic vertical resolution (tuning thickness), so to detect of this type reservoirs, high resolution seismic data are needed. Many methods have been introduced to increase the resolution of seismic data. Different deconvolution methods are common methods of vertical resolution enhancement. In this methods based on the convolution model, the seismic trace is a convolution of the reflectivity series with a seismic wavelet. The seismic wavelet has often frequency band-limited, whilst the frequency bandwidth of reflectivity series is unlimited. Through the convolution process, seismic wavelet is compressed in time domain and improves the seismic resolution. Since in this methods, is considered assumptions based on convolution model of reflection seismic data which have often little reality, therefore, many researchers tried to increase the vertical resolution data using other methods. Including new methods of increasing the vertical resolution can be mentioned to methods based on continuous and discrete wavelet transform. In this thesis, increase the vertical resolution of seismic data using time scaling property of Fourier transform, This means that a filter is designed based on Fourier transform of scaled and original source wavelet that by applying on seismic data, increases the frequency band and improves resolution. The algorithm is tested on synthetic and real seismic data and the results are compared with frequency deconvolution method. The results showed that the method presented's performance better than the conventional deconvolution in frequency domain. Since seismic reflection data has got time-varying frequency content, therefore in the following is designed the scale filter in time-frequency domain to improve the method, in order to enhance the resolution of nonstationary seismic data. In this case, the considered seismic data using a time-frequency transform as Gabor transform is extended to 2-D time-frequency domain and the effect of scale transform to increase the content of frequency and thus improving the resolution of seismic is used. The gained result of the applied method on synthetic and real data has proved that the proposed method improves resolution by expanding frequency bandwidth. The results the new method in compare with Gabor deconvolution is shown to be more efficient.

Keywords: temporal resolution, Fourier transform, frequency, Gabor transform, time-frequency, time scaling property, tuning thickness.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

MSc Thesis in Geophysics, seismic

**Improvement of Seismic Vertical Resolution Using Time Scaling Property
of Fourier Transform For detection Thin Layered Reservoirs**

By: Niloofar Alaei

Supervisors:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Abolghasem Kamkar Rouhani

November 2016