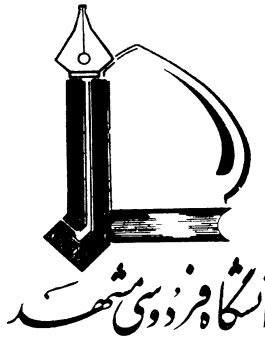

مرکز تحقیقات زمین لرزه شناسی

کاربرد تبدیل زمان – فرکانس موضعی در مطالعه مخازن هیدروکربنی

نگارش:

مهدی شهیدی

استاد راهنما:

دکتر سید کیوان حسینی

استاد مشاور:

دکتر حسین صادقی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد رشته ژئو فیزیک (زلزله‌شناسی)

خرداد ۱۳۹۱

تأییدیه هیات داوران

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ پیشگفتار و اهمیت ۲

۱-۲ تاریخچه ۳

۱-۳ هدف و فصل بندی ۵

فصل دوم: مروری بر روش‌های زمان فرکانس

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ تبدیل فوریه ۸

۲-۳ تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه ۱۵

۲-۳-۱ اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ۱۹

۲-٤ آنالیز موجک ۲۰

۲-٤-۱ موجک ۲۲

۲-٤-۱-۱ خصوصیت مهم موجک‌ها ۲۳

۲-٤-۲ تبدیل موجک پیوسته (CWT) ۲٤

۲-٤-۲-۱ تبدیل زمان- مقیاس به زمان- فرکانس ۲۷

۲-۵ تبدیل S ۳۲

۲-۵-۱ الگوریتمی برای تبدیل S ۳۳

۲-٦ توزیع ویگنر- ویل ۳۵

۲-٦-۱ عبارات تداخلی ۳۷

۲-۷ تجزیه ی تعقیب تطابق (MPD) ۳۹
۲-۷-۱ تئوری روش ٤۱
۲-۷-۲ آنالیز ردلرزه‌ی مختلط ٤٥
۲-۷-۲-۱ تئوری ٤٥
۲-۷-۳ نُرم ٤۸
۲-۷-٤ موجک مورلت ٤۹

فصل سوم: تبدیل زمان فرکانس موضعی

۳-۱ مقدمه ٥۲
۳-۲ تئوری تبدیل زمان- فرکانس موضعی ٥۳
۳-۲-۱ تبدیل زمان فرکانس موضعی (LTF) ٥۳
۳-۳ تنظیم شکل دهنده ٥٤
۳-٤ پیاده سازی روش برای توصیف زمان- فرکانس ٥۹

فصل چهارم: پیاده سازی روش زمان فرکانس موضعی برروی مقاطع لرزه ای حقیقی

٤-۱ مقدمه ٦۲
٤-۲ نشانگرهای بر پایه ی زمان - فرکانس ٦۳
٤-۳ نقشه‌های حاصل از آنالیز زمان- فرکانس ٦٤
٤-٤ آنالیز زمان - فرکانس و مخازن هیدروکربنی ٦٦
٤-٤-۱ آشکارسازی هیدروکربن ٦٦
٤-٤-۱-۱ مثال واقعی ٦٦
٤-٤-۲ نشاندهنده‌های هیدروکربن فرکانس پایین ٦۹
٤-٤-۲-۱ مثال واقعی ٦۹

٤-٥ اعمال روش بر داده‌های واقعی ٧٢

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

٥-١ نتایج ٩٢

٥-٢ پیشنهادها ٩٣

نام‌نامه ٩٤

نمایه‌کوتاه ٩٧

واژه‌نامه ٩٨

منابع ١٠١

Abstract

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. (الف) یک ردلرزه و (ب) طیف دامنه‌ی آن. ۱۱

شکل ۲-۲. (الف) یک سیگنال کسینوسی که در ثانیه‌ی اول دارای فرکانس ۱۵ هرتز، در ثانیه‌ی دوم دارای فرکانس ۳۰ هرتز و در ثانیه‌ی سوم دارای فرکانس ٤٥ هرتز می‌باشد و (ب) طیف دامنه‌ی سیگنال. ۱۲

شکل ۲-۳. (الف) یک سیگنال کسینوسی که از ترکیب سه مؤلفه‌ی فرکانسی ۱۵ هرتز، ۳۰ هرتز و ٤٥ هرتز تشکیل شده است و (ب) طیف دامنه‌ی آن. ۱۳

شکل ۲-٤. سیگنال مورد استفاده همان سیگنال شکل ۲-۲الف است. (الف) مؤلفه‌ی ۱۵ هرتزی مورد استفاده برای بازسازی سیگنال، (ب) سیگنال بازسازی شده از مؤلفه‌ی ۱۵ هرتزی، (ج) مؤلفه‌ی ۳۰ هرتزی مورد استفاده برای بازسازی سیگنال، (د) سیگنال بازسازی شده از مؤلفه‌ی ۳۰ هرتزی، (ه) مؤلفه‌ی ٤٥ هرتزی مورد استفاده برای بازسازی سیگنال و (و) سیگنال بازسازی شده از مؤلفه‌ی ٤٥ هرتزی. ۱٤

شکل ۲-۵. تقسیم یکسان فرکانس با پهنای باند ثابت در STFT (شوکلا، ۲۰۰۳). ۱۵

شکل ۲-٦. (الف) ردلرزه، (ب) نمایش زمان ـ فرکانس حاصل از STFT با پنجره‌ی کوتاه و (ج) نمایش زمان ـ فرکانس حاصل از STFT با پنجره‌ی بلند (اودگارد و همکاران، ۱۹۹۸). ۱۷

شکل ۲-۷. (الف) یک سیگنال چیرپ شامل دو سویپ فرکانسی با دامنه‌ی ثابت برای هر فرکانس و (ب) طیف نمای حاصل از روش STFT سیگنال چیرپ با استفاده از پنجره با طول ٤۰۰ میلی‌ثانیه (سینها و همکاران، ۲۰۰۵). ۱۸

شکل ۲-۸. نمایش حوزه‌ی زمان و فرکانس در (الف) زمان، (ب) فرکانس، (ج) زمان- فرکانس در روش STFT و (د) زمان- مقیاس در روش آنالیز موجک (پولیتیس، ۲۰۰۳). ۲۱

شکل ۲-۹. (الف) بخش حقیقی و (ب) بخش موهومی یک موجک (پولیتیس، ۲۰۰۳). ۲۲

شکل ۲-۱۰. (الف) یک موج و (ب) یک موجک. ۲۳

شکل ۲-۱۱. نمایش مقیاس‌دهی موجک جهت آنالیز سیگنال در روش CWT. ضریب متناظر با مقیاس در (الف) برابر ۰/۰۱۰۲ و در (ب) برابر ۰/۲۲٤۷ است (راهنمای نرم‌افزار MATLAB). ۲۵

شکل ۲-۱۲. نمایش انتقال موجک جهت آنالیز سیگنال در روش CWT (راهنمای نرم‌افزار MATLAB). ۲۵

شکل۲-۱۳. طیف CWT به‌دست آمده برای سیگنال چیرپ نشان داده شده در شکل ۲-۱۷الف. این طیف توسط رابطه‌ی (۲-۲۰) با استفاده از فرکانس‌های مرکز مقیاس‌ها از مقیاس‌نما به نمایش زمان- فرکانس تبدیل شده است (سینها و همکاران، ۲۰۰۵). ۲۸

شکل ۲-۱٤. طیف TFCWT که با استفاده از رابطه‌ی ۲-۲۷ و برای سیگنال چیرپ شکل ۲-۱۷الف به‌دست آمده است (سینها و همکاران، ۲۰۰۵). ۳۱

شکل۲-۱۵. تجزیه‌ی زمان- فرکانس تبدیل S با استفاده از الگوریتم لیو. (الف) ردلرزه‌ی ورودی، (ب) موجک های مورلت کسینوسی و سینوسی از ۱۰ تا ۹۰ هرتز (موجک مورلت کسینوسی با خط سیاه پر و موجک مورلت سینوسی با خط‌چین قرمز مشخص است) و (ج) طیف دامنه‌ی لحظه‌ای در زمان ۱ ثانیه (لیو، ۲۰۰٦). ۳٤

شکل۲-۱٦. ردلرزه (از شکل ۲-۱۵الف) وتوزیع زمان- فرکانس آن با استفاده از تبدیل S (لیو، ۲۰۰٦)..... ۳٤

شکل ۲-۱۷. (الف) یک سیگنال شامل دو موجک با فرکانس‌های غالب ۱۰ هرتز و ٤۰ هرتز. (ب) توزیع زمان- فرکانس سیگنال با روش WVD که عبارت تداخلی در میانه‌ی تصویر زمان- فرکانس دو موجک مشخص است. ۳۹

شکل۲-۱۸. الف) یک ردلرزه‌ی مصنوعی یک بعدی که از موجک‌های مورلت متفاوت ترکیب شده است و ب) توزیع زمان- فرکانس آن به روش MPD (لیو، ۲۰۰٦). ٤٤

شکل ۲-۱۹. الف) موجک مورلت با فاز صفر و ب) طیف دامنه‌ی آن (لیو، ۲۰۰۵) ٤۹

شکل ۳-۱. توابع گاوسی یک بعدی با شعاع‌های متفاوت که در بالای هرشکل نگاشته شده است. ۵۷

شکل ۳-۲. توابع گاوسی دو بعدی با شعاع‌های متفاوت (شعاع‌ها در دو راستا با هم برابرند) که در بالای هر شکل نگاشته شده است. ۵۸

شکل ۳-۳. یک سیگنال چیرپ شامل تغییرات فرکانسی متغیر با زمان به‌طور نمایی. ۵۹

شکل ۳-٤. توزیع زمان- فرکانس حاصل از تبدیل زمان- فرکانس موضعی با شعاع یکنواخت‌کننده برابر ۹... ۵۹

شکل ۳-۵. توزیع زمان- فرکانس حاصل از تبدیل زمان- فرکانس موضعی با شعاع یکنواخت‌کننده برابر ۱۵. ٦۰

شکل ٤-۱. الف) مقطع لرزه‌ای ب) فرکانس لحظه‌ای ردلرزه‌ی مختلط و ج) فرکانس لحظه‌ای حاصل از نمایش زمان –فرکانس WVD. برای هر ردلرزه‌ی مقطع لرزه‌ای نمایش زمان – فرکانس محاسبه می‌شود. سپس فرکانس

لحظه‌ای به‌عنوان فرکانس میانگین این نمایش زمان – فرکانس به‌عنوان تابعی از زمان استخراج می‌شود (اودگارد و همکاران، ۱۹۹۸). ٦٤

شکل ٤-۲. تشکیل یک حجم داده‌ی سه‌بعدی از یک مجموعه داده‌ی لرزه‌ای دوبعدی در نتیجه‌ی آنالیز زمان- فرکانس و حاصل شدن نقشه‌های زمان- فرکانس متفاوت. ٦٥

شکل ٤-۳. مقطع لرزه‌ای مخزن کربناته (سان و کاستاگنا، ۲۰۰۲). ٦٧

شکل ٤-٤. مقطع طیفی مخزن شکل ٤-۳ در فرکانس الف)٤٠هرتز و ب) ٦٠ هرتز و ج) تفاوت بین دو مقطع طیفی ٤٠ و ٦٠ هرتز (سان و گاستاگنا، ۲۰۰۲). ٦٨

شکل ٤-٥. مقطع لرزه‌ای باند- پهن مربوط به فلات قاره‌ی استرالیا. ماسه‌های گازی صورتی‌رنگ و ماسه‌های آب حاوی آب شور آبی‌رنگ می‌باشند (کاستاگنا و همکاران، ۲۰۰۳). ۷۰

شکل ٤-٦. الف) مقطع تک فرکانس ۱۰ هرتزی، ب) مقطع تک فرکانس ۲۰ هرتزی و ج) مقطع تک فرکانس ۳۰ هرتزی مربوط به مقطع لرزه‌ای باند- پهن در شکل ٤-٥ (کاستاگنا و همکاران، ۲۰۰۳). ۷۱

شکل ٤-۷. نقشه ۱/۳۰۰۰۰۰۰ مربوط به حوزه‌ی خلیج فارس که موقعیت میدان فردوسی در آن به بیضی سبزرنگ نشان داده شده است (گزارش منتشر نشده شرکت مهندسی و توسعه نفت). ۷٤

شکل ٤-۸. مقطع لرزه‌ای مربوط به مخزن هیدروکربنی در میدان فردوسی. مستطیل زردرنگ مقطع جدا شده برای آنالیز زمان – فرکانس را نشان می‌دهد که در شکل ٤-۱۰ آورده شده است. ۷٥

شکل ٤-۹. چینه‌شناسی و موقعیت نواحی مخزنی در میدان فردوسی. موقعیت مخزن نفتی در سازند فهلیان و مخزن گازی در سازندهای کنگان – دالان به همراه زمان آن در شکل مشخص است (گزارش منتشر نشده شرکت مهندسی و توسعه نفت). ۷٦

شکل ٤-۱۰. بخشی جدا شده از مقطع لرزه‌ای شکل ٤-۸ که شامل مخازن نفتی و نیز گازی می‌باشد و آنالیز زمان – فرکانس بر روی آن انجام شده است. ۷۷

شکل ٤-۱۱. مکعب زمان- مکان- فرکانس به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-۱۰. خطوط زرد محل برش‌هایی را نشان می‌دهد که وجوه مشخص شده را می‌سازند. وجه بالایی، مقطع مکان- فرکانس در محل زمان ۱/۲ ثانیه، وجه بزرگ مقطع زمان- مکان تک فرکانس ۱٥ هرتزی و وجه سمت چپ مقطع زمان – فرکانس مربوط به ردلرزه ۲۲٥۰ام را نشان می‌دهند. ۷۸

شکل ٤-١٢. مقطع تک فرکانس ٦٠ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨٠

شکل ٤-١٣. مقطع تک فرکانس ٥٥ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨١

شکل ٤-١٤. مقطع تک فرکانس ٥٠ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨١

شکل ٤-١٥. مقطع تک فرکانس ٤٥ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨٢

شکل ٤-١٦. مقطع تک فرکانس ٤٠ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨٢

شکل ٤-١٧. مقطع تک فرکانس ٣٥ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨٣

شکل ٤-١٨. مقطع تک فرکانس ٣٠ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. ..... ٨٣

شکل ٤-١٩. مقطع تک فرکانس ٢٥ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. مستطیل‌های زردرنگ نواحی حاوی نفت را نشان می‌دهند. ٨٤

شکل ٤-٢٠. مقطع تک فرکانس ٢٠ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-٢١. مستطیل‌های زردرنگ نواحی حاوی گاز را نشان می‌دهند. ٨٦

شکل ٤-٢١. مقطع تک فرکانس ١٥ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. بیضی‌های زردرنگ آنومالی‌های مربوط به افت فرکانسی ناشی از نواحی حاوی نفت، بیضی‌های سبزرنگ نواحی حاوی گاز و بیضی‌های قرمزرنگ آنومالی‌های مربوط به سایه‌های کم‌فرکانس زیر نواحی گازدار را نشان می‌دهند. ٨٧

شکل ٤-٢٢. مقطع تک فرکانس ١٠ هرتزی به‌دست آمده در نتیجه اعمال تبدیل زمان- فرکانس موضعی بر روی مقطع لرزه‌ای شکل ٤-١٠. بیضی‌های سبزرنگ ناحیه حاوی گاز و بیضی‌های قرمزرنگ سایه‌های کم فرکانس زیر ناحیه گازدار را نشان می‌دهند. ٨٨

شکل ٤-٢٣. ردلرزه‌های (الف) غیر مخزنی (CDP شماره‌ی ٢٠٠) و (ب) مخزنی (CDP شماره‌ی ٣٠٠٠) برگرفته از مقطع لرزه‌ای شکل ٤-٨ ..... ٩٠

شکل ٤-٢٤. مقایسه‌ی مقادیر دامنه‌ی ردلرزه‌های مخزنی (CDP شماره‌ی ٢٠٠) و غیر مخزنی (CDP شماره‌ی ٣٠٠٠) شکل ٤-٢٣ در فرکانس‌های منتخب برای آنالیز زمان – فرکانس شکل‌های ٤-١٢ تا ٤-٢٢..... ٩٠

فصل اول

مقدمه

۱-۱ پیشگفتار و اهمیت

در زمینه‌ی اکتشاف ذخائر هیدروکربنی، مطالعات لرزه‌نگاری مهم‌ترین بخش می‌باشد. در نتیجه‌ی مطالعات لرزه‌نگاری و پس از انجام عملیات داده‌برداری، داده‌های به‌دست آمده را که به‌صورت سری (سیگنال-)های زمانی هستند، پس از انجام فرایندهای متعدد پردازشی به مقاطع لرزه‌ای تبدیل می‌کنند که مفسرین با کمک ابزارهای متعدد به تفسیر آن‌ها پرداخته و به اطلاعات زیرسطحی لایه‌های زمین‌شناسی دست می‌یابند و به مطالعه جزئیات مخازن و نواحی حاوی هیدروکربن می‌پردازند.

نمایش یک سری زمانی در حوزه‌ی فرکانس غالباً ویژگی‌های زیادی را که در حوزه‌ی زمان قابل دیدن نیستند آشکار می‌سازد. این رفتار که درآن سری زمانی در حوزه‌ی فرکانس تصویر می‌شود مقداری از اطلاعات جدید را تعیین می‌کند. طیف دامنه و طیف فاز کل یک ردلرزه رفتار متوسط فرکانسی روی کل سری زمانی پایدار را نمایش می‌دهد. این پایه‌ی فوریه‌ی استاندارد (کلائربوت، ۱۹۷٦؛ بریسول، ۱۹۸٦؛ شریف و جلدارت، ۱۹۸۳) یک ابزار برای تفسیر (انستی، ۱۹۷۷) و پایه‌ای برای روش‌های پردازش داده‌های لرزه‌ای نظیر فیلترینگ فرکانسی (کلائربوت، ۱۹۷٦؛ ایلماز، ۱۹۸۷)، پیچش (لیک‌آف و لیبلنک، ۱۹۷۵؛ وبستر، ۱۹۷۸؛ آریا و آگاروال، ۱۹۸۲؛ رابینسون، ۱۹۸٤) و خصوصیات موجک (والدن، ۱۹۹۰؛ روسا و اولریش، ۱۹۹۱) می‌باشد. دیگر این‌که فرکانس لحظه‌ای و فاز لحظه‌ای نشانگرهایی هستند که از آنالیز ردلرزه‌ی مختلط به‌دست می‌آیند و برای تشریح تغییرات در رفتار طیفی در امتداد ردلرزه استفاده می‌شوند (تانر و همکاران، ۱۹۷۹؛ رابرتسون و نوگامی، ۱۹۸٤؛ بارنز، ۱۹۹۳)، اما این نشانگرها پارامترهای عددی هستند و طیف کامل را درهر نقطه‌ی زمانی تشریح نمی‌کنند.

لرزه‌نگاشت‌هایی که محتوای طیفی‌شان به‌طور قابل ملاحظه‌ای با زمان تغییر می‌کند نیازمند روش‌های تجزیه‌ی غیراستاندارد می‌باشند. فیلترینگ باند گذر متغیر با زمان یک بعدی براساس روش‌های تبدیل هیلبرت یا بازگشتی در نیکولیچ (۱۹۷۵)، استین و بارتلی (۱۹۸۳) و در شودر و اولدنبرگ (۱۹۸۸) تشریح شده‌اند. یک تشریح کامل‌تر محتوای فرکانسی متغیر با زمان نیازمند تجزیه در فضای دو بعدی زمان- فرکانس می‌باشد. در یک چنین تجزیه‌ای، پهنای باند طیفی کامل برای هر زمان تشریح می‌شود و می‌تواند برای تشخیص انواع متفاوت رویدادهای لرزه‌ای ترکیب شده، استفاده شود (چاکرابورتی و اوکایا، ۱۹۹۵).

نمایش‌های زمان فرکانس سیگنال‌ها را در حوزه‌ی زمان- فرکانس یا زمان- مقیاس تصویر می‌کند که مانند یک حوزه‌ی فوریه‌ی متغیر با زمان عمل می‌کند، بنابراین علاوه بر آنالیز داده‌های لرزه‌ای، کاربردهایی در پردازش داده‌ها نیز دارد. نمایش زمان- فرکانس سیگنال برحسب موجک‌های موضعی به‌جای امواج تخت با زمان دوام طولانی، پردازش تصویر و سیگنال ناپایدار را برای آشکارسازی، طبقه‌بندی، متراکم‌سازی، حذف نویز، پیچش و غیره توانمند می‌سازد. علاوه بر آن از تجزیه‌ی طیفی کل سیگنال‌ها در کنار هم و به‌طور کلی تجزیه‌ی طیفی مقاطع لرزه‌ای در مورد بسیاری از موضوعات تفسیری می‌توان بهره گرفت (اودگارد و همکاران، ۱۹۹۸).

۱-۲ تاریخچه

آنالیز سیگنال‌های غیر ایستا، که محتوای فرکانسی‌شان با زمان تغییر می‌کند به‌جای نمایش فرکانسی نیازمند یک ارائه‌ی زمان- فرکانسی می‌باشد. برای میسرکردن آنالیز سیگنال‌های غیرایستا اولین اصلاح در تبدیل فوریه به‌عنوان تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه (STFT) ارائه شد. ایده‌ی ورای تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه این بود که سیگنال را با استفاده از یک پنجره‌ی موضعی شده در زمان قطعه‌بندی کنند و آنالیز فوریه را روی هر قطعه اجرا کنند. چون تبدیل فوریه برای هر قطعه‌ی پنجره شده از سیگنال محاسبه می‌شود، تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه قادر است که یک نمایش زمان- فرکانسی واقعی ارائه دهد.

گابور که علاقه‌مند به نمایش یک سیگنال مخابراتی با استفاده از توابع پایه‌ی نوسانی در یک صفحه‌ی زمان- فرکانس بود، اولین کسی بود که در سال ۱۹٤٦ تبدیل فوریه را به تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه اصلاح کرد (ونگالا، ۲۰۰۵). مدت کوتاهی بعد، در سال ۱۹٤۷ ویل یک نمایش مشابه زمان- فرکانس را برای ارائه‌ی انرژی یک سیگنال در صفحه‌ی زمان- فرکانس پیشنهاد کرد (توزیع ویگنر- ویل). نمایش‌های زیاد دیگری بین سال-های ۱۹٤۰ و ۱۹۷۰ توسعه یافت که هر یک از آن‌ها تنها در انتخاب تابع پنجره‌زنی با دیگری تفاوت دارد (ونگالا، ۲۰۰۵).

اگر چه تمام این نمایش‌های زمان- فرکانسی از یک نقص اصلی رنج می‌برند. آن‌ها همگی پنجره‌ی ثابتی را برای آنالیز کل سیگنال استفاده می‌کنند. در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ مورلت با مسأله‌ی آنالیز سیگنال‌هایی که

محتوای فرکانسی بسیار بالا همراه با پوشش زمانی کوتاه و مولفه‌های فرکانسی پایین با پوشش‌های زمانی بلند دارند، روبرو شد (ونگالا، ۲۰۰۵). او با طرح ایده‌ی ساده‌ی یک تابع پنجره متفاوت برای آنالیز باندهای فرکانسی گوناگون، باعث ظهور موجک‌ها، به‌عنوان نمایش زمان- فرکانسی یک سیگنال گردید.

نظریه‌ی موجک از چندین منبع که پوشاننده‌ی یک‌دیگر هستند نشأت می‌گیرد. بر خلاف باورهای رایج، در مورد زمان پیدایش موجک، موجک‌ها یک تاریخچه‌ی بلند و جذاب در ریاضیات دارند. این عقیده‌ی غلط شاید ناشی از این حقیقت باشد که کلمه‌ی موجک تا دهه‌ی ۱۹۸۰، زمانی‌که کاربردهایی در پردازش سیگنال و تصویر شروع به بروز کرد، در نوشته‌ها ظاهر نشدند. درسال ۱۹۱۰ هار اولین کسی بود که یک مجموعه‌ی متعامد یکّه کامل برای فضای هیلبرت $L^2(R)$ تولید کرد (ونگالا، ۲۰۰۵). مجموعه‌ی متعامد یکّه، تا اندازه‌ای بناکننده‌ی نظریه‌ی موجک است. علاقه‌مندی به این شاخه در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ با کار مورلت و همکاران (۱۹۸۲) شروع و فعال شد. نتایج به‌دست آمده توسط او اگر چه دلگرم‌کننده بود اما مورد پذیرش ریاضی‌دانان قرار نگرفت. در سال ۱۹۸٤ گراسمن و مورلت پایه‌ی اساسی ریاضی برای نظریه‌ی موجک قرار دادند. کار آن‌ها علاوه بر اینکه تأیید ریاضی را کسب کرد تحقیق فعالانه‌ای در این زمان را به راه انداخت. اگر چه تا زمان تحقیق مالات و میر در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ وارد مسیر اصلی علمی نشد. مالات با ترکیب نظریه‌ی پردازش سیگنال فیلترهای آینه‌ای مربعی و پایه‌ی موجک متعامد یکه، با مفهوم آنالیز تفکیک چندگانه مطرح شد. بعد از کمک مالات یک کشف اصلی‌تر اتفاق افتاد. در ۱۹۹۲ دوبچیس موجک‌ها را با یک درجه‌ی یکنواختی از قبل تعیین شده که کار را آسان‌تر می‌کرد بنا نهاد. مالات اولین کسی بود که آنالیز تفکیک چندگانه به‌وسیله‌ی تبدیل موجک را پیشنهاد کرد (ونگالا، ۲۰۰۵).

در راستای تحقیقاتی که در زمینه‌ی گسترش روش‌های زمان- فرکانس صورت می‌گرفت، در سال ۱۹۹۳ مالات و ژانگ الگوریتمی موسوم به تعقیب‌تطابق را در مهندسی برق ارائه کردند که موفقیت بزرگی در زمینه‌ی ارائه‌ی قابل قبول تفکیک همزمان زمانی و فرکانسی کسب کرد. اما نزدیک به یک دهه طول کشید تا از این روش در تجزیه‌ی طیفی سیگنال‌های لرزه‌ای استفاده شود.

استاکول و همکاران (۱۹۹٦) تبدیل S را معرفی کردند که بسیار شبیه به روش مورلت و همکاران است (لیو، ۲۰۰٦). تانر و تریتل (۲۰۰۳) نشانگرهای هارمونیک را بر اساس نظریه‌ی موجک مورلت نشان دادند. تنها

تفاوت در تجزیه‌ی طیفی بین تبدیل S و روش مورلت و همکاران این است که تبدیل S خروجی را به اندازه‌ی فرکانس اصلی مقیاس می‌دهد. تبدیل S ابزار مفیدی برای آنالیز توزیع زمان- فرکانس موضعی با استفاده از یک پنجره‌ی وابسته به فرکانس می‌باشد. مزیت تبدیل S بر تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه این است که آنالیز فرکانس- پایین، یک پنجره‌ی زمانی بلندتر استفاده می‌کند؛ درحالی‌که آنالیز فرکانس بالا، یک پنجره‌ی زمانی کوتاه‌تر را به‌کار می‌گیرد. ماتوس و همکاران (۲۰۰۵) فرکانس‌های قله‌ی حداکثر را که به وسیله‌ی تبدیل S محاسبه شد برای توصیف خصوصیات مخزن امتحان کردند (لیو، ۲۰۰۶).

لیو و همکاران (۲۰۰۹) اخیراً یک روش جدید برای توصیف زمان- فرکانس سیگنال‌های ناپایای لرزه‌ای ارائه کردند که بر مبنای وارون‌سازی حداقل مربعات تنظیم‌یافته است. لیو و فومل (۲۰۱۰)، روش لیو و همکاران (۲۰۰۹) را با طراحی یک تبدیل زمان- فرکانس ناپایای وارون پذیر تحت عنوان تبدیل زمان- فرکانس موضعی یا LTF بسط دادند. ایده‌ی کلیدی این است که خطای بین سیگنال ورودی و تمام مؤلفه‌های فوریه‌اش به‌طور همزمان با استفاده از رگرسیون ناپایای تنظیم‌یافته (فومل، ۲۰۰۹) با کنترل روی تفکیک‌پذیری زمانی، حداقل شود. تبدیل LTF می‌تواند نمایش‌های زمان- فرکانس یا مکان- عدد موج موضعی را برای امور رایج پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای تدارک ببیند.

۱-۳ هدف و فصل‌بندی

در این پایان‌نامه در فصل دوم بعضی روش‌های زمان- فرکانس شامل تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه، توزیع ویگنر- ویل، تبدیل موجک پیوسته، تبدیل S و تجزیه‌ی تعقیب‌تطابق معرفی گردیده و ضمن ارائه‌ی روابط ریاضی عملکرد این روش‌ها بر روی سیگنال‌های مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم تئوری روش زمان- فرکانس موضعی به‌تفصیل آورده شده و کارایی این روش در توصیف خصوصیات زمان-فرکانسی یک سیگنال مصنوعی نشان داده شده است. اما هدف از این پایان‌نامه مطالعه‌ی یک مخزن هیدروکربنی به‌منظور آشکارسازی نواحی حاوی هیدروکربن است که قصد این است که عملکرد روش تبدیل زمان- فرکانس موضعی در این زمینه بررسی شود که در فصل چهارم به آن پرداخته شده است. در پایان در فصل پنجم نتیجه‌گیری آمده است.

فصل دوم

مروری بر روش‌های زمان- فرکانس

۲-۱ مقدمه

آنالیز فوریه براساس این نکته است که هر تابع تناوبی معین و هر تابع غیرتناوبی خاص با انتگرال متناهی می‌تواند به‌عنوان مجموعی از توابع مثلثاتی در یک چارچوب زمانی نامتناهی بیان شود (بوگس و نارکوویچ، ۲۰۰۱). تبدیل فوریه یک نمایش منحصر بفرد از سیگنال در حوزه‌ی فرکانس می‌دهد و اطلاعاتی در مورد فرکانس‌های موجود در سیگنال ارائه می‌کند، اما هیچ چیزی راجع به لحظات زمانی که آن فرکانس‌ها ظاهر می‌شوند نمی‌گوید. اطلاعات زمانی در طی تبدیل گم نمی‌شوند بلکه در فازها پنهان می‌شوند. بنابراین می‌توان یک بازسازی منحصر بفرد و کامل از سیگنال به‌دست آورد. آنالیز فوریه و نمایش طیف توان معین برای تمام انواع سیگنال‌ها مناسب نیستند. پدیده‌های طبیعی معمولاً غیرخطی هستند و بیش‌تر سیگنال‌ها محتوای فرکانسی متغیر با زمان دارند. به دلایل فوق‌الذکر روش‌های دیگر که تلفیق نمایش زمان- فرکانس را ارائه می‌دهند توسعه یافته‌اند. تجزیه‌ی طیفی، کلیه‌ی روش‌هایی را گویند که طیف فرکانسی را در پنجره‌ای به مرکز هر نمونه‌ی زمانی از ردلرزه می‌دهند. این طیف اعم از طیف دامنه، طیف فاز و طیف انرژی می‌باشد. بنابراین حاصل اعمال تجزیه‌ی طیفی روی یک ردلرزه، صفحه‌ی نمایش زمان- فرکانس مربوط به آن ردلرزه می‌باشد. از اولین روش‌ها در به‌دست آوردن طیف موضعی، تبدیل فوریه‌ی زمان- کوتاه است. در این روش پنجره‌ای مناسب با طول ثابت در نظر گرفته شده، در هر لحظه در ردلرزه ضرب می‌شود و تبدیل فوریه بر روی ردلرزه‌ی پنجره شده اعمال می‌گردد. امواج لرزه‌ای از جمله‌ی امواج غیرپایا هستند که محتوای فرکانسی متغیر با زمان دارند. از این‌رو باید از روش‌هایی بهره گرفت که طول پنجره در آنها متغیر با فرکانس باشد. تبدیل موجک پیوسته از جمله‌ی این روش‌هاست. در این روش قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی در صفحه‌ی زمان- فرکانس تغییر می‌کند تا یک آنالیز با قدرت تفکیک چندگانه به‌دست آید. در همین راستا روشی به نام تبدیل S نیز وجود دارد که پنجره‌ی مورد استفاده‌ی آن در هر لحظه به فرکانس مورد آنالیز تطبیق داده می‌شود. روش مرتبه‌ی دوم توزیع ویگنر- ویل تفکیک زمان- فرکانسی بالاتری نسبت به روش‌های مرتبه اول دارد، اما مشکلی به‌نام عبارات تداخلی دارد که تفسیر را مشکل می‌سازد. روش دیگری تحت عنوان تجزیه با تعقیب‌تطابق وجود دارد که از توزیع ویگنر- ویل در الگوریتم خود استفاده می‌کند، با این توضیح که مشکل عبارات تداخلی را ندارد. اخیراً یک روش جدید برای توصیف زمان- فرکانس سیگنال‌های ناپایای لرزه‌ای ارائه شده است که بر مبنای وارون‌سازی حداقل مربعات تنظیم‌یافته است. لیو و فومل (۲۰۱۰) این روش را با طراحی یک تبدیل زمان- فرکانس ناپایای

وارون پذیر تحت عنوان تبدیل زمان- فرکانس موضعی بسط دادند. ایده‌ی کلیدی این است که خطای بین سیگنال ورودی و تمام مؤلفه‌های فوریه‌اش به‌طور همزمان با استفاده از رگرسیون ناپایای تنظیم‌یافته (فومل، ۲۰۰۹) با کنترل روی تفکیک‌پذیری زمانی، حداقل شود. به‌غیر از روش تبدیل زمان- فرکانس موضعی که در فصل سوم به آن پرداخته می‌شود روش‌های مذکور دیگر در این فصل تشریح می‌شوند.

۲-۲ تبدیل فوریه

تبدیل فوریه یک ابزار ریاضی شناخته شده است که سیگنال را از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس منتقل می‌کند تا اطلاعات کافی را از آن استخراج کند و معکوس‌پذیر هم می‌باشد. هر تابع $f(t) \in L^2(R)$ را می‌توان به‌صورت جمع سری نامتناهی مجموعه توابع متعامد یکه $\{\varphi_n(t)\}_{n\in Z} \in L^2(R)$ نوشت (مالات، ۱۹۹۹؛رداد،۱۳۸۸):

$$f(t) = \sum_{n=-k}^{k} a_n \varphi_n(t) \qquad (۱-۲)$$

درفضای بردار ضرایب a_n را می‌توان به‌عنوان طول تصویر تابع $f(t)$ روی تابع پایه‌ی $\varphi_n(t)$ در نظر گرفت. ضرایب از طریق ضرب داخلی تابع با تابع پایه محاسبه می‌شوند

$$a_n = \langle f, \varphi_n \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\overline{\varphi_n}(t)dt \qquad (۲-۲)$$

با جای‌گذاری تابع پایه‌ی φ_n با مجموعه توابع $\{e^{jn\omega_0 t}\}_{n\in Z} \in L^2[t_0, t_o + T]$ به‌طوری‌که $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$، رابطه‌ی (۲-۳) حاصل می‌شود:

$$a_n = \frac{1}{T}\langle f, e^{jn\omega_0 t}\rangle = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} f(t)e^{-jn\omega_0 t}dt \qquad (۳-۲)$$

با جایگذاری رابطه‌ی (۲-۳) به‌جای a_n در رابطه‌ی (۲-۱) به‌دست می‌آید:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \omega_0 \left[\int_{-T/2}^{T/2} f(t') e^{-jn\omega_0 t} dt' \right] e^{jn\omega_0 t} \qquad (۲-۴)$$

اگر $T \to \infty$، $\omega_0 \to d\omega$ و $n\omega_0 \to \omega$ آن‌گاه:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(t') e^{-j\omega t'} dt' \right] e^{j\omega t} \, d\omega \qquad (۲-۵)$$

جمله‌ی داخل براکت با $F(\omega)$ نشان داده می‌شود، در نتیجه رابطه‌ی (۲-۵) به‌صورت زیر در می‌آید

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \qquad (۲-۶)$$

به‌طوری‌که

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \qquad (۲-۷)$$

$F(\omega)$ تبدیل فوریه‌ی $f(t)$ نام دارد. تبدیل فوریه‌ی تابع $f(t)$ را می‌توان به‌صورت ضرب داخلی تابع با تابع پایه‌ی $e^{j\omega t}$ درنظر گرفت

$$F(\omega) = \langle f(t), e^{j\omega t} \rangle \qquad (۲-۸)$$

$f(t)$ را می‌توان بر حسب مجموع سینوس‌ها و کسینوس‌ها نیز نوشت

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n cos\omega t + b_n sin\omega t), \quad (۹-۲)$$

که در آن $a_n, b_n \in R$ و $\omega = n\omega_0$ است. با بازنویسی رابطه‌ی (۲-۹) رابطه‌ی (۲-۱۰) به‌دست می‌آید:

$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(\omega t + \theta_n), \quad (۱۰-۲)$$

که در آن $C_n = \sqrt{{a_n}^2 + {b_n}^2}$ دامنه و $\theta_n = \tan^{-1}(-{b_n}/{a_n})$ فاز است.

در شکل ۲-۱ یک ردلرزه و طیف دامنه‌ی آن (با استفاده از تبدیل فوریه‌ی سریع نرم‌افزار مطلب) نشان داده شده است. همان‌طورکه می‌توان دید طیف دامنه نموداری است یک‌بعدی و اطلاعات نسبی دامنه-ی سیگنال در هر فرکانس را نمایش می‌دهد.