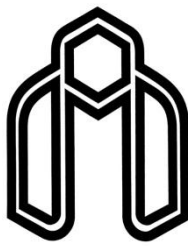


سلام افلا



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

کاربرد توزیع زمان - فرکانس با تداخل کاهش یافته در مطالعه داده های لرزه ای

نخارش

آزیتانیکو

اساتید راهنما

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر علی نجابتی کلاته

اساتید مشاور

دکتر حمید حسن پور

مهندس حامد سعادت نیا

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه شناسی

بهمن ۱۳۹۱

این پایان نامه با حمایت مدیریت اکتشاف انجام شده است.

تقدیم به مهربان فرشتگانی که

لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های

یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

حال به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایشار و از خود گذشتگی، به پاس عاطفه سرشار و کرمای امید بخش

و جودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است، به پاس قلب های بزرگشان که فریادس است و

به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند، این مجموعه را به پدر و مادر بزرگوارم و به پنهین خواهر عزیزتر از

جانم و دو فرشته کوچکش تقدیم می کنم.

تقدیر و تشکر

تشکر و سپاس ایندرا که بزرگترین امید و یاور در محطه محطه زندگیست.

الکون که به لطف و کرم پروردگار موفقی به دفاع از رساله خویش گشتم، بسی سایه است از استاد فرهیخته و فرزانه ام جناب آقای دکتر امین روشندل کاوه که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشید و گلشن سرای علم و دانش را با بارانهای مای کار ساز و سازنده خویش بارور ساختند. تقدیر و تشکر ویژه نمایم. از جناب آقای مهندس حامد سعادت نیا که در این راه از بهیچگونه گلی فروگذار نکردند و صمیمانه در این مسیر مایاری نمودند از صمیم قلب سپاسگذارم.

همچنین از آقایان دکتر علی نجابتی کلاته و دکتر حمید حسن پور که با قبول زحمت راهنمایی دوم و مشاوره در انجام هر چه بهترین پژوهش موثر بوده اند کمال تشکر را دارم. با تشکر از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران و خصوصاً اداره ژئوفزیک که در انجام این پروژه از حمایت های ایشان بهره مند بودم.

با تشکر از داوران محترم، آقایان دکتر مراد سلیمانی، مسترد و دکتر ایرج پیروز که نظرات و پیشنهاد های ارزنده شان باعث اعتلای بیشتر این رساله گردید.

و در پایان از دوستان عزیزم خانم ماموشی و کربایی و آقایان شیروانی، کربایی، وثوقی، فرح، مسودی، زارعی و صادقی و تمامی کسانی که از حمایت های معنوی آنها بهره مند بوده- ام صمیمانه تشکر می کنم و توفیق روزافزونشان را از درگاه احدیت آرزو می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب آریتا نیکو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک/گرایش لرزه‌شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "کاربرد توزیع زمان-فرکانس با تداخل کاهش یافته در مطالعه داده‌های لرزه‌ای" تحت راهنمایی آقایان دکتر امین روشندل کاهو و دکتر علی نجاتی کلاته متعهد می‌شوم:

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

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

تجزیه طیفی^۱ با استفاده از تبدیل فوریه یکی از مفیدترین ابزار در علم ژئوفیزیک است. این روش چندین دهه است که در لرزه‌شناسی بطور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عواملی همچون نوع سیال درون سازند و تغییرات ضخامت لایه بر محتوای فرکانسی اطلاعات لرزه‌ای تاثیر می‌گذارند. مطالعه محتوای فرکانسی این اطلاعات می‌تواند در تشخیص عوامل بوجود آورنده آن کمک شایانی نماید. روش تجزیه طیفی یا تجزیه اطلاعات لرزه‌ای به فرکانس‌های تشکیل دهنده آن، بررسی محتوای فرکانسی اطلاعات لرزه‌ای را امکانپذیر می‌سازد و پدیده‌هایی که در فرکانس‌های خاصی قابل تشخیص هستند را بهتر نمایش می‌دهد. تجزیه طیفی با استفاده از تبدیل فوریه قادر به نمایش همزمان مشخصات طیفی و اطلاعات زمانی نیست. این روش محدودیت‌هایی در برخورد با سیگنال‌های ناپایا و سیستم‌های غیرخطی دارد که محققان را بر آن داشت که به توسعه روش‌های دیگری بپردازند. در این راستا روش‌های زمان-فرکانس^۲ توسعه یافتند که نمایش زمانی مشخصات طیفی سیگنال را میسر می‌سازند. روش‌های زیادی برای نمایش همزمان اطلاعات زمانی و فرکانسی وجود دارد. از جمله آنها می‌توان تبدیل فوریه زمان کوتاه^۳، تبدیل موجک پیوسته^۴، تبدیل S^۵ و توزیع ویگنر-وایل^۶ را نام برد. هر کدام از این روش‌ها اگرچه دارای مزایایی هستند، اما به علت وجود برخی محدودیت‌ها و معایب، استفاده از آنها محدود شده است. لذا یافتن روش‌های زمان-فرکانس جدید که علاوه بر حفظ نقاط قوت روش‌های متداول، نقاط ضعف آنها را برطرف کند، ضروری می‌نماید. توزیع با تداخل کاهش یافته^۷ روشی است که علاوه بر رفع معایب توزیع ویگنر-وایل خصوصیات مطلوب آن را نیز حفظ می‌کند.

با توجه به اینکه زمین رفتاری مانند فیلتر پایین‌گذر دارد، به هنگام انتشار امواج لرزه‌ای درون زمین

¹ spectral decomposition

² time-frequency methods

² short time Fourier transform

³ continuous wavelet transform

⁵ S transform

⁶ Wigner-Ville distribution

⁷ reduced interference distribution

محتوای فرکانسی این امواج با زمان تغییر می‌کند و سیگنال‌های لرزه‌ای ناپایا می‌شوند. بنابراین در تجزیه و تحلیل این سیگنال‌ها، نمایش همزمان اطلاعات زمانی و فرکانسی کاربرد وسیعی دارند. ساختارهای زمین-شناسی مانند لایه‌های نازک^۱، کانال‌ها و تعدادی از مخازن هیدروکربنی که در حد ضخامت همکوکی^۲ هستند، به علت ضخامت کم آنها در مقاطع لرزه‌ای بازتابی قابل تشخیص نیستند. به تصویر کشیدن این ساختارها در صنعت بسیار مهم است.

در این پایان نامه با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته، که مزایای بسیاری دارد، به شناسایی دقیق‌تر مخازن هیدروکربنی با استفاده از نشانگرها^۳ و همچنین تشخیص لایه‌های نازک پرداخته شده است و نتایج حاصل از آن با روش‌های دیگری مانند ویگنر-وایل مقایسه شده است و در انتها می‌توان نشان داد که نتایج قابل قبولی با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته در مقایسه با سایر روش‌ها بدست آمده است.

کلیدواژه: تجزیه طیفی، سیگنال ناپایا، روش زمان-فرکانس، توزیع با تداخل کاهش یافته، ضخامت همکوکی، نشانگرها.

¹ thin-layer

² tuning thickness

³ attributes

لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

❖ شناسایی سایه‌های فرکانس پایین با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته،

پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

❖ حساسیت تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی و توزیع با تداخل کاهش یافته به

ضخامت لایه، پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

❖ **Buried Channel Detection Using Reduced Interference Distribution,**
INTERNATIONAL GEOPHYSICAL CONFERENCE AND OIL & GAS
EXHIBITION.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه	۱
۱-۱ اهمیت تبدیل‌های زمان-فرکانس	۲
۲-۱ تبدیل‌های زمان – فرکانس	۳
۳-۱ تاریخچه و کاربرد	۴
۴-۱ فصل‌بندی	۶
فصل دوم روش‌های زمان – فرکانس	۸
۱-۲ تبدیل فوریه	۹
۲-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه	۱۴
۲-۱-۲ قدرت تفکیک زمان-فرکانس در تبدیل فوریه زمان کوتاه	۱۵
۳-۲ تبدیل موجک	۲۰
۱-۳-۲ قدرت تفکیک زمان-مقیاس در تبدیل موجک پیوسته	۲۶
۴-۲ تبدیل استاکول یا تبدیل S	۲۸
۵-۲ توزیع ویگنر – وایل	۳۱
۱-۵-۲ عبارات متقاطع	۳۲
۲-۵-۲ کاهش عبارات متقاطع با تابع کرنل	۳۶
۱-۲-۵-۲ توزیع شبه ویگنر – وایل	۳۶
۲-۲-۵-۲ توزیع شبه ویگنر – وایل هموار شده	۳۸
فصل سوم توزیع با تداخل کاهش یافته	۴۰
۱-۳ توزیع‌های دسته کوهن	۴۱
۲-۳ تابع ابهام	۴۴
۳-۳ انتخاب کرنل برای RID	۴۷
فصل چهارم زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه	۵۲
۱-۴ منطقه مورد مطالعه لرستان	۵۳
۱-۱-۴ موقعیت جغرافیایی و وضعیت ساختمانی فروافتادگی دزفول	۵۳
۲-۱-۴ معرفی گروه بنگستان	۵۵

۵۵.....	کرتاسه میانی	۱-۲-۱-۴
۵۹.....	کرتاسه پسین	۲-۲-۱-۴
۶۰.....	زمین‌شناسی منطقه فارس	۲-۴
۶۰.....	گروه دهرم	۱-۲-۴
۶۲.....	گروه کازرون	۲-۲-۴
۶۳.....	گروه خامی	۱-۲-۲-۴
۶۴.....	گروه بنگستان	۳-۲-۴
۶۹.....	فصل پنجم کاربرد توزیع با تداخل کاهش یافته دو جمله‌ای اصلاح شده بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی	
۷۰.....	مقدمه	۱-۵
۷۱.....	لایه نازک	۲-۵
۷۳.....	تاثیر ضخامت لایه بر خصوصیات و زمان بازتاب‌ها	۱-۲-۵
۷۷.....	اثر ضخامت لایه بر دامنه بازتاب	۲-۲-۵
۷۸.....	قدرت تفکیک	۱-۲-۲-۵
۸۲.....	نشانگرهای لرزه‌ای	۳-۵
۸۹.....	اعمال روش بر روی داده لرزه‌ای واقعی	۱-۳-۵
۹۲.....	سایه‌های فرکانس پایین	۴-۵
۹۵.....	اعمال روش بر روی داده‌های واقعی	۱-۴-۵
۱۰۱.....	فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
۱۰۴.....	مراجع	
۱۱۵.....	پیوست	

فهرست جداول

جدول ۱-۲ نام و رابطه توابع پنجره متداول [مالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹]..... ۱۷

جدول ۱-۳ انواع توزیع‌های زمان-فرکانس و کرنل‌های منطبق بر آنها [حسن‌پور، ۲۰۰۴]..... ۴۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ تفسیر تبدیل فوریه [بريقام، ۱۹۸۸]. ۱۱
- شکل ۲-۲ (الف) سیگنال شامل مجموع دو موجک مورلت و (ب) تبدیل فوریه سیگنال (الف). ۱۲
- شکل ۳-۲ (الف) ردلرزه و (ب) طیف دامنه آن. ۱۲
- شکل ۴-۲ جعبه‌های زمان-فرکانس (مستطیل هایزنبرگ) نمایش توزیع انرژی دو اتم گابور [امالات، ۱۹۹۹]. ۱۶
- شکل ۵-۲ شکل توابع پنجره (الف) هنینگ، (ب) همینگ، (ج) بلکمن، (د) گوسی مطابق روابط جدول ۱-۲. ۱۸
- شکل ۶-۲ (الف) سیگنال سینوسی با فرکانس ۲۰ هرتز، (ب) سیگنال سینوسی با فرکانس ۴۰ هرتز. ۱۹
- شکل ۷-۲ (الف) مجموع دو سیگنال سینوسی شکل ۶-۲ (ب) دو سیگنال سینوسی شکل ۶-۲ که در دو زمان متفاوت قرار گرفته‌اند. ۱۹
- شکل ۸-۲ (الف) تبدیل فوریه مجموع دو سیگنال، (ب) تبدیل فوریه دو سیگنال در دو زمان مختلف، (ج) تبدیل فوریه زمان کوتاه مجموع دو سیگنال، (د) تبدیل فوریه زمان کوتاه دو سیگنال در دو زمان مختلف. ۲۰
- شکل ۹-۲ نمایش حوزه زمان و فرکانس در (الف) زمان، (ب) فرکانس، (ج) زمان-فرکانس در روش تبدیل فوریه زمان-کوتاه و (د) زمان-مقیاس در روش آنالیز موجک [پولیتیس، ۲۰۰۳]. ۲۲
- شکل ۱۰-۲ دامنه تبدیل موجک پیوسته با موجک مختلط (الف) تبدیل موجک مجموع دو سیگنال (ب) تبدیل موجک دو سیگنال در دو زمان مختلف. ۲۵
- شکل ۱۱-۲ تبدیل موجک پیوسته با موجک حقیقی (الف) سیگنال فرکتال و (ب) تبدیل موجک آن با استفاده از موجک کلاه مکزیکی. ۲۵
- شکل ۱۲-۲ (الف) سیگنال مربوط به رابطه ۱۹-۲ و (ب) تبدیل موجک سیگنال با استفاده از موجک مورلت مختلط. ۲۶
- شکل ۱۳-۲ جعبه‌های هایزنبرگ دو موجک در دو زمان و مقیاس مختلف [امالات، ۱۹۹۹]. ۲۸
- شکل ۱۴-۲ (الف) سیگنال چیرپ رابطه (۳۱-۲) و (ب) نمایش زمان-فرکانس آن با استفاده از تبدیل S . ۳۰
- شکل ۱۵-۲ تبدیل S مجموع دو سیگنال (ب) تبدیل S دو سیگنال در دو زمان متفاوت. ۳۱
- شکل ۱۶-۲ توزیع ویگنر-وایل $WVDx(t, f)$ دو سیگنال در شکل بالا. تداخل‌های نوسانی در وسط موقعیت زمان-فرکانس متمرکز شده‌اند [امالات، ۱۹۹۹]. ۳۴
- شکل ۱۷-۲ مجموع دو سیگنال چیرپ درجه دو و محدب. ۳۵
- شکل ۱۸-۲ (الف) $STFT2$ سیگنال شکل ۱۷-۲ (ب) توزیع ویگنر-وایل آن. ۳۵
- شکل ۱۹-۲ توزیع شبه ویگنر-وایل سیگنال شکل ۱۷-۲. ۳۸
- شکل ۲۰-۲ توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده سیگنال ۱۷-۲. ۳۹
- شکل ۱-۳ (الف) سیگنال خطی FM با دامنه گوسی، (ب) سیگنال خطی FM با دامنه گوسی، (ج) سیگنال متشکل از قسمت (الف) و (ب)، (د) تابع ابهام قسمت (الف)، (و) تابع ابهام قسمت (ب)، (ه) تابع ابهام قسمت

- (ج). ۴۶.....
- شکل ۳-۲ توزیع با تداخل کاهش یافته سیگنال شکل ۲-۱۷ با استفاده از کرنل توزیع دو جمله‌ای اصلاح شده. ۴۹.....
- شکل ۳-۳ (الف) قسمت حقیقی موجک شانون مختلط با فرکانس ۱۵ هرتز، (ب) قسمت موهومی موجک شانون مختلط با فرکانس ۱۵ هرتز، (ج) قسمت حقیقی موجک شانون مختلط با فرکانس ۳۰ هرتز، (د) قسمت موهومی موجک شانون مختلط با فرکانس ۳۰ هرتز (و) قسمت حقیقی مجموع دو موجک، (ه) قسمت موهومی مجموع دو موجک. ۵۰.....
- شکل ۳-۴ توزیع زمان-فرکانس سیگنال شکل ۳-۳ (الف) توزیع ویگنر-وایل، (ب) توزیع شبه ویگنر-وایل، (ج) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده، (د) توزیع با تداخل کاهش یافته دو جمله‌ای اصلاح شده. ۵۱.....
- شکل ۴-۱ موقعیت فروافتادگی دزفول [مطیعی، ۱۳۷۳]. ۵۳.....
- شکل ۴-۲ تطابق لیتواستراتیگرافی و کروئوستراتیگرافی رسوبات کرتاسه حوضه خلیج فارس [مصطفایی، ۱۳۸۶]. ۵۸.....
- شکل ۴-۳ بیرون‌زدگی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه. ۶۰.....
- شکل ۴-۴ مقطع عرضی زمین‌شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه و توالی سازندها. ۶۷.....
- شکل ۴-۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و بیرون‌زد سازندها. ۶۸.....
- شکل ۵-۱ اختلاف فاز و تغییر در خصوصیات، که از تفاوت موجک‌های یکسان که در زمان بطور جزئی جابجا شده‌اند، بدست آمده‌اند. (الف) موجکهای یکسان R_1 و R_2 که به‌اندازه ΔT اختلاف دارند. (ب) اختلاف بین R_1 و R_2 که برابر R_d است. (ج) بازتاب از یک لایه نازک که در آن $v_3=v_1$ [وایدس، ۱۹۷۳]. ۷۳.....
- شکل ۵-۲ تاثیر ضخامت لایه بر روی بازتاب. (الف) نمودار سرعتی (ب) نمودار پرتو بازتابی (ج) موج‌های بازتابی مجزا که با استفاده از تاخیر زمانی که از روی ضخامت لایه محاسبه شده است با هم ترکیب شده‌اند [وایدس، ۱۹۷۳]. ۷۵.....
- شکل ۵-۳ شکل و زمانبندی نسبی بازتابهای ترکیبی به‌عنوان تابعی از ضخامت لایه. X زمان قله‌ها را مشخص میکند. خط قرمز زمان‌های با دامنه صفر را مشخص میکند (مرکز بازتاب‌های ترکیبی). بازه‌های نمودار زمان 0.5τ میباشد. b ضخامت لایه است. τ پریود غالب موجک ورودی است. $\lambda/2$ طول موج در لایه است. دامنه‌های بازتاب‌های ترکیبی همگی نسبت به موجک ورودی R_i می‌باشند [وایدس، ۱۹۷۳]. ۷۶.....
- شکل ۵-۴ (الف) مدل زمین‌شناسی لایه نازک، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی. ۸۰.....
- شکل ۵-۵ برش تک فرکانس ۳۵ هرتز از (الف) تبدیل فوریه زمان کوتاه، (ب) توزیع ویگنر-وایل، (ج) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (د) توزیع با تداخل کاهش یافته. ۸۰.....
- شکل ۵-۶ (الف) مدل زمین‌شناسی لایه نازک، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاوی نوفه. ۸۱.....
- شکل ۵-۷ برش تک فرکانس ۳۰ هرتز از (الف) تبدیل فوریه زمان کوتاه، (ب) توزیع ویگنر-وایل، (ج) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (د) توزیع با تداخل کاهش یافته. ۸۲.....
- شکل ۵-۸ (الف) طیف دامنه بازتاب لایه نازک $r_1/r_2 = -0.5$ (آبی) و $r_1/r_2 = -1$ (قرمز)، (ب) مدل

لایه نازک، بالای لایه نازک در زمان t_1 با ضریب بازتاب r_1 است، پایین لایه نازک در زمان t_2 با ضریب بازتاب r_2 است [هان و همکاران، ۲۰۱۱]..... ۸۶

شکل ۵-۹ مقطع لرزه‌ای مصنوعی از داده کانال..... ۸۸

شکل ۵-۱۰ (الف) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (ب) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته (ج) بیشینه فرکانس در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته..... ۸۸

شکل ۵-۱۱ (الف) برش زمانی در نمونه ۸۰ (۰/۳۲ ثانیه)، (ب) مکعب داده لرزه‌ای..... ۸۹

شکل ۵-۱۲ برش‌های زمانی مختلف از بیشینه فرکانس با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته..... ۹۰

شکل ۵-۱۳ (الف) برش زمانی ۱/۸ ثانیه (ب) مکعب داده لرزه‌ای مربوط به یکی از میادین نفتی ایران..... ۹۱

شکل ۵-۱۴ (الف) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (ب) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته (ج) بیشینه فرکانس در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته..... ۹۱

شکل ۵-۱۵ (الف) مقطع لرزه‌ای، (ب) طیف دامنه میانگین..... ۹۶

شکل ۵-۱۶ مقاطع تک فرکانس از توزیع با تداخل کاهش یافته در فرکانس‌های (الف) ۵۵ هرتز و (ب) ۱۵ هرتز، (ب) مقاطع تک فرکانس از تبدیل فوریه زمان کوتاه در فرکانس‌های (ج) ۵۵ هرتز و (د) ۱۵ هرتز..... ۹۷

شکل ۵-۱۷ مقطع لرزه‌ای تفسیر شده، لایه حاوی گاز در زمان ۲۵۰۰ میلی ثانیه گزارش شده است..... ۹۹

شکل ۵-۱۸ طیف دامنه داده لرزه‌ای..... ۹۹

شکل ۵-۱۹ مقطع تک فرکانس ۳۰ هرتز از توزیع با تداخل کاهش یافته..... ۱۰۰

شکل ۵-۲۰ مقطع تک فرکانس ۴۵ هرتز از توزیع با تداخل کاهش یافته..... ۱۰۰

شکل ۱ برش‌های زمانی مختلف از بیشینه فرکانس با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته..... ۱۱۶

اختصارات

STFT: Short Time Fourier Transform	تبدیل فوریه زمان کوتاه
WVD: Wigner-Ville Distribution	توزیع ویگنر-وایل
WT: Wavelet Transform	تبدیل موجک
CWT: Continuous Wavelet Transform.....	تبدیل موجک پیوسته
ST: S Transform	تبدیل S
DSTFT: Deconvolutive Short Time Fourier Transform	تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی
RID: Reduced Interference Distribution.....	توزیع با تداخل کاهش یافته
TFT: Time-Frequency Transform.....	تبدیل زمان-فرکانس
TFD: Time-Frequency Distribution.....	توزیع زمان-فرکانس
PWVD: Pseudo Wigner-Ville Distribution.....	توزیع شبه ویگنر-وایل
SPWVD: Smooth Pseudo Wigner-Ville Distribution.....	توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده
AF: Ambiguity Function.....	تابع ابهام

فصل اول

مقدمه

۱-۱ اهمیت تبدیل‌های زمان-فرکانس

هر سیگنال در حوزه زمان را می‌توان در حوزه فرکانس بوسیله تبدیل فوریه نمایش داد. این تبدیل از حوزه زمان به حوزه فرکانس می‌تواند ویژگی‌های بسیاری را که در حوزه زمان قابل مشاهده نیستند، آشکار سازد. با استفاده از تبدیل فوریه می‌توان طیف دامنه^۱ و طیف فاز^۲ سیگنال را بدست آورد. بنابراین یک سیگنال یک بعدی به دو سیگنال یک بعدی دامنه و فاز قابل تجزیه است [ذبیحی و سیاه‌کوهی، ۱۳۸۴].

طیف دامنه و طیف فاز یک ردلرزه، رفتار متوسط فرکانسی آن ردلرزه را نمایش می‌دهد [ایلماز^۳، ۲۰۰۱]. تبدیل فوریه کاربردهای بسیاری در لرزه‌شناسی دارد که شامل کاربردهای پردازشی و تفسیری است که از آن جمله می‌توان به فیلترکردن فرکانسی^۴ [کلائربوت^۵، ۱۹۷۶؛ ایلماز، ۱۹۸۷]، واهمامیخت^۶ و خصوصیات موجک اشاره کرد [شریف^۷ و جلدارت^۸، ۱۹۸۳]. تبدیل فوریه نمی‌تواند ابزار کامل و مناسبی برای برای آنالیز سیگنال‌های لرزه‌ای باشد. سیگنال‌هایی که محتوای فرکانسی آنها بطور قابل ملاحظه‌ای با زمان تغییر می‌کند، نیازمند روش‌های دیگری می‌باشند که همزمان اطلاعات زمانی و فرکانسی را نشان دهند. سیگنال‌های لرزه‌ای ناپایا^۹ هستند؛ زیرا به علت عبور از داخل زمین که به صورت فیلتر پایین‌گذر عمل می‌کند، محتوای فرکانسی‌شان دائماً در حال تغییر است [ایلماز، ۲۰۰۱]. بنابراین، برای تشریح کامل‌تر این سیگنال‌ها به ابزاری که آنها را در هر دو حوزه زمان و فرکانس بصورت همزمان نمایش دهد، نیاز است. این ابزار، تبدیل زمان-فرکانس نامیده می‌شود. با استفاده از چنین ابزاری پهنای باند طیفی کامل برای هر زمان تشریح می‌شود و می‌تواند برای تشخیص انواع متفاوت رویدادهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گیرد [چاکرابورتی^{۱۰} و اوکایا^۱، ۱۹۹۵].

¹ amplitude spectrum

² phase spectrum

³ Yilmaz

⁴ frequency filtering

⁵ Claerbout

⁶ deconvolution

⁷ Sheriff

⁸ Geldart

⁹ nonstationary

¹⁰ Chakraborty

۲-۱ تبدیل‌های زمان - فرکانس

تا کنون انواع مختلفی از تبدیل‌های زمان-فرکانس مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه [گابور^۲، ۱۹۴۶]، توزیع ویگنر-وایل [ویگنر^۳، ۱۹۳۲؛ وایل^۴، ۱۹۴۸]، تبدیل موجک [مالات^۵، ۱۹۹۹] و تبدیل S [استاکول^۶ و همکاران، ۱۹۹۶] معرفی شده‌اند. هرکدام از این تبدیلات ویژگی‌های خاص خود را دارند. آنها دارای خصوصیات مطلوبی هستند؛ اما یک سری معایب دارند که باعث محدود شدن کاربرد آنها شده است. یکی از پرکاربردترین تبدیلات زمان-فرکانس، تبدیل فوریه زمان کوتاه است. در این روش، سیگنال در حوزه زمان پنجره‌ای می‌شود و سپس تبدیل فوریه روی بخش پنجره شده اعمال می‌گردد تا اطلاعات زمان-فرکانس محلی بدست آیند [ذبیحی و سیاه‌کوهی، ۱۳۸۴]. در اغلب کاربردهای تبدیل‌های زمان-فرکانس، قدرت تفکیک بالای همزمان زمانی و فرکانسی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اگر پنجره زمانی، کوتاه انتخاب شود، قدرت تفکیک زمانی بالا و قدرت تفکیک فرکانسی پایین خواهد بود. از طرف دیگر، اگر پنجره زمانی، بلند انتخاب شود، قدرت تفکیک فرکانسی بالا و قدرت تفکیک زمانی پایین می‌باشد [مالات، ۱۹۹۹]. در این روش، محدودیت اصل عدم قطعیت هایزنبرگ^۷ [مالات، ۱۹۹۹] بین انتخاب طول پنجره و قدرت تفکیک در صفحه زمان-فرکانس وجود دارد. نکته مهم دیگر این است که طول پنجره در این روش ثابت است و آنالیز فرکانس‌های بالا و پایین با یک طول پنجره، چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. در جهت رفع این مشکل، تبدیل موجک پیوسته بوجود آمد. در این روش صفحه نمایش زمان-مقیاس بدست می‌آید و مشکل پنجره‌ای کردن با طول ثابت در تبدیل فوریه زمان کوتاه وجود ندارد و می‌توان قدرت تفکیک متغیری بدست آورد. به عبارتی، فرکانس‌های بالا یا مقیاس‌های پایین با پنجره‌های زمانی کوتاه و فرکانس‌های پایین یا مقیاس‌های بالا با پنجره‌های زمانی بلند بررسی می‌شوند. این تبدیل بجای نمایش زمان-فرکانس، نمایش زمان-مقیاس تولید می‌کند. البته فرکانس و مقیاس با یکدیگر در ارتباط می‌باشند، ولی تبدیل مقیاس به

¹ Okaya

² Gabor

³ Wigner

⁴ Ville

⁵ Mallat

⁶ Stockwell

⁷ Heisenberg's uncertainty principle

فرکانس دقت بالایی ندارد. به همین منظور از ترکیب تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک، تبدیل S معرفی شد. این تبدیل، توزیع زمان-فرکانس با پنجره‌ای با طول زمانی متغیر با فرکانس را بدست می‌دهد.

یکی دیگر از پرکاربردترین تبدیل‌های زمان-فرکانس، توزیع ویگنر-وایل است که قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی بالاتری نسبت به روش‌های مذکور دارد؛ اما مشکلی به نام عبارات متقاطع^۱ دارد که تفسیر آن را مشکل می‌کند. لذا تحقیقات گسترده‌ای انجام شد تا علاوه بر حفظ قدرت تفکیک بالا، مشکل حضور عبارات متقاطع را نیز برطرف کنند. روش‌های مختلفی از جمله توزیع شبه ویگنر-وایل^۲ [بواشاش^۳، ۲۰۰۳] و شبه ویگنر-وایل هموار شده^۴ [بواشاش، ۲۰۰۳] معرفی شده‌اند که بطور کامل قادر به حل این مشکل نیستند. علاوه بر این دو روش، توزیع با تداخل کاهش یافته [چویی^۵ و ویلیامز^۶، ۱۹۸۹] و تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی^۷ [ون-کای^۸ و کیانگ^۹، ۲۰۱۰] روش‌هایی هستند که علاوه بر حل مشکل عبارات متقاطع قدرت تفکیک بالای زمان و فرکانس را نیز حفظ کرده‌اند. در این پایان‌نامه هدف استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته است.

۳-۱ تاریخچه و کاربرد

همانطور که گفته شد برای آنالیز سیگنال‌های ناپایا باید بتوان بطور همزمان اطلاعات زمانی و فرکانسی آنها را نمایش داد. برای دستیابی به این هدف تبدیل‌های زمان-فرکانس توسعه یافتند. گابور [۱۹۴۶] تبدیل فوریه زمان کوتاه را بعنوان اولین اصلاح در تبدیل فوریه ارائه داد. در این تبدیل، سیگنال با استفاده از یک پنجره ثابت، تقسیم‌بندی می‌شود و تبدیل فوریه روی هر پنجره اعمال می‌شود و یک نمایش زمان-فرکانس ارائه می‌دهد.

¹ cross terms

² pseudo Wigner-Ville distribution

³ Boashash

⁴ smoothed pseudo Wigner-Ville distribution

⁵ Choi

⁶ Williams

⁷ deconvolutive short time Fourier transform

⁸ Wen-Kai

⁹ Qiang

مدتی بعد از تحقیقات ویگنر [۱۹۳۲]، وایل [۱۹۴۸] توزیع ویگنر-وایل را ارائه کرد که توزیع انرژی در صفحه زمان-فرکانس را بدست می‌آورد. در اواخر دهه ۱۹۷۰، مورلت^۱ با مساله تحلیل سیگنال‌هایی که محتوای فرکانسی بسیار بالا همراه با پوشش زمانی کوتاه و مولفه‌های فرکانسی پایین با پوشش‌های زمانی بلند دارند، روبرو شد [ونگالا^۲، ۲۰۰۵]. وی با ایده ساده‌ای یک تابع پنجره متفاوت برای تحلیل محدوده‌های فرکانسی مختلف مطرح نمود که باعث ظهور موجک‌ها بعنوان نمایش زمان-فرکانسی یک سیگنال گردید. گراسمن^۳ و مورلت [۱۹۸۴] پایه‌ی اساسی برای نظریه موجک را قرار دادند. مالات و ژانگ^۴ [۱۹۹۳] الگوریتمی موسوم به تعقیب تطابق^۵ را در مهندسی برق ارائه کردند که موفقیت بزرگی در زمینه قدرت تفکیک همزمان زمانی و فرکانسی بالا کسب کرد. استاکول و همکاران [۱۹۹۶] تبدیلی با عنوان تبدیل S را معرفی کردند. تبدیل S ابزار مفیدی برای تحلیل توزیع زمان-فرکانس محلی با استفاده از یک پنجره با طول وابسته به فرکانس می‌باشد و به نوعی ترکیبی از تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک می‌باشد.

تلاش‌های بسیاری در جهت بهبود توزیع ویگنر-وایل انجام شد. نوع هموار شده توزیع ویگنر-وایل، از یک تابع وابسته به زمان و فرکانس به عنوان کرنل استفاده می‌کند [راچ-دیویس^۶ و رالستون^۷، ۲۰۰۵؛ رالستون، ۲۰۰۷؛ لی^۸ و ژنگ^۹، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸]. چویی و ویلیامز [۱۹۸۹] روشی تحت عنوان توزیع با تداخل کاهش یافته را پیشنهاد دادند که بخوبی توانست محدودیت‌های تبدیل‌های مرسوم را رفع کند و انواع مختلف آن توسط ژئونگ^{۱۰} و ویلیامز [۱۹۹۲] و ویلیامز [۱۹۹۶] ارائه شد که کارآمدتر از روش‌های قبل بودند [وو^{۱۱} و لیو^{۱۲}، ۲۰۰۹]. همانطور که گفته شد، تبدیل‌های زمان-فرکانس کاربرد گسترده‌ای در

¹ Morlet

² Vongala

³ Grossman

⁴ Zhang

⁵ matching pursuit

⁶ Rauch-Davies

⁷ Ralston

⁸ Li

⁹ Zheng

¹⁰ Jeong

¹¹ Wu

¹² Liu

ژئوفیزیک دارند. این کاربردها در لرزه‌شناسی شامل پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌شناسی می‌باشند. پارتیکا^۱ و همکاران [۱۹۹۹] با استفاده از تجزیه طیفی به بررسی ساختارهای چینه‌شناسی پرداختند. کاستاگنا^۲ و همکاران [۲۰۰۳]، سایه‌های فرکانس پایین^۳ در ارتباط با هیدروکربن‌ها را با استفاده از تجزیه طیفی آشکارسازی کردند. ماتوس^۴ و همکاران [۲۰۰۵] نیز به مطالعه خصوصیات لایه نازک در حوزه زمان-فرکانس پرداختند. سینها^۵ و همکاران [۲۰۰۵] سیگنال لرزه‌ای را با استفاده از تبدیل موجک تجزیه کردند. لین و همکاران [۲۰۰۷] نوفه تصادفی^۶ را از داده‌های لرزه‌ای با استفاده از فیلتر نقطه بیشینه زمان-فرکانس تضعیف کردند و همچنین رن و همکاران [۲۰۰۷] آنالیز AVO^۷ را در حوزه زمان-فرکانس برای مشاهده مخزن گاز بکار بردند. ماتوس و همکاران [۲۰۰۵] فرکانس‌های قله حداکثر را که بوسیله تبدیل S محاسبه شده بود، برای توصیف خصوصیات مخزن امتحان کردند. هان^۸ و همکاران [۲۰۱۱] نشانگر قله فرکانس را برای شناسایی کانال مدفون توسط تبدیل S محاسبه کردند. صادقی [۱۳۹۱] با استفاده از ترکیبات رنگی مقاطع تک فرکانس (RGB) به شناسایی کانال‌های مدفون پرداخت. زارعی [۱۳۹۱] با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه واهمامیختی کانال‌های مدفون و مخزن گاز را شناسایی کرد.

۴-۱ فصل‌بندی

در ادامه این پایان‌نامه، در فصل دوم، روش‌های زمان-فرکانس مرسوم شامل تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل موجک، تبدیل S، توزیع ویگنر-وایل و دو روش پیشنهادی توزیع شبه ویگنر-وایل و توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده برای رفع معایب توزیع ویگنر-وایل معرفی شده و روابط ریاضی آنها ارائه می‌گردد. همچنین مثال‌هایی از این تبدیل‌ها بر روی داده‌های مصنوعی مورد بررسی قرار می‌گیرد و معایب و محدودیت‌های آنها نشان داده می‌شود. در فصل سوم به معرفی توزیع با تداخل کاهش یافته پرداخته می‌شود و توانمندی و

¹ Partyka

² Castagna

³ low frequency shadow

⁴ Matos

⁵ Sinha

⁶ random noise

⁷ amplitude versus offset

⁸ Han

کارایی آن در کاربردهای تفسیری به نمایش گذاشته می‌شود. در فصل چهارم به معرفی زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه پرداخته می‌شود. در فصل پنجم از روش توزیع با تداخل کاهش یافته در تشخیص لایه‌های نازک و شناسایی و تعیین موقعیت کانال و تعیین موقعیت مخازن هیدروکربنی در مورد داده‌های مصنوعی و نیز داده‌های واقعی استفاده می‌شود. در فصل ششم نتیجه‌گیری حاصل از این تحقیق به همراه ارائه پیشنهادها گرد آمده است.

فصل دوم

روش‌های زمان – فرکانس

۱-۲ تبدیل فوریه

دو نمایش قدیمی از یک سیگنال، نمایش در حوزه زمان، $x(t)$ ، و نمایش در حوزه فرکانس، $\hat{x}(f)$ ، است. در هر دو شیوه، متغیرهای t و f بطور ناسازگار رفتار می‌کنند. به عبارت دیگر برای بدست آوردن یک نمایش یک متغیره، متغیر دیگر کاملاً حذف می‌شود. نمایش فرکانسی در مقادیر نمایش زمانی در تمام زمان‌ها میانگین‌گیری می‌شود و نمایش زمانی در مقادیر نمایش فرکانسی در تمام فرکانس‌ها میانگین‌گیری می‌شود [بواشاش، ۲۰۰۳].

توابع مورد استفاده در مهندسی و توابع نمایانگر سیگنال‌ها، معمولاً توابعی از زمان هستند یا به عبارت دیگر به صورت توابعی که در حوزه زمان تعریف شده‌اند، $x(t)$ ، نشان داده می‌شوند. با استفاده از این تعریف می‌توان لحظه‌ای را به صورت $|x(t)|^2$ بیان کرد که چگونگی توزیع انرژی سیگنال با زمان را نشان می‌دهد. انرژی نهایی سیگنال بصورت رابطه (۱-۲) بیان می‌شود [بواشاش، ۲۰۰۳].

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

برای حل بسیاری از مسائل بهتر است که تابع در حوزه فرکانس تعریف شده باشد، زیرا در این حوزه، سیگنال دارای ویژگی‌هایی است که به راحتی محاسبات می‌انجامد. در ریاضیات، سری فوریه^۱ ابزاری است که با استفاده از آن می‌توان هر تابع متناوب را به صورت مجموعی از توابع نوسانی ساده (سینوسی، کسینوسی و یا تابع نمایی مختلط) نوشت. تبدیل فوریه نیز یک ابزار ریاضی است که در مهندسی، پردازش سیگنال و ژئوفیزیک کاربردهای بسیاری دارد و برای سیگنال غیر متناوب استفاده می‌شود. بطور معمول این تبدیل یک تابع از زمان مانند $x(t)$ را به یک تابع جدید $\hat{x}(f)$ تبدیل می‌کند که آرگومان آن فرکانس است. تابع جدید، تبدیل فوریه یا طیف فرکانس تابع $x(t)$ نامیده می‌شود. تبدیل فوریه یک عمل برگشت-پذیر است. بنابراین می‌توان تابع اصلی $x(t)$ را از $\hat{x}(f)$ بدست آورد. $x(t)$ و $\hat{x}(f)$ به ترتیب نمایش‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس یک رویداد مشابه نامیده می‌شود [مالات، ۱۹۹۹].

¹ Fourier series

تبدیل فوریه، تفاوت فرکانس سینوس‌ها و دامنه‌های آنها را که برای تشکیل یک موج دلخواه ترکیب می‌شوند، تشخیص می‌دهد. برای تابع انتگرال‌پذیر $x(t)$ تبدیل فوریه بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود [یواشاش، ۲۰۰۳].

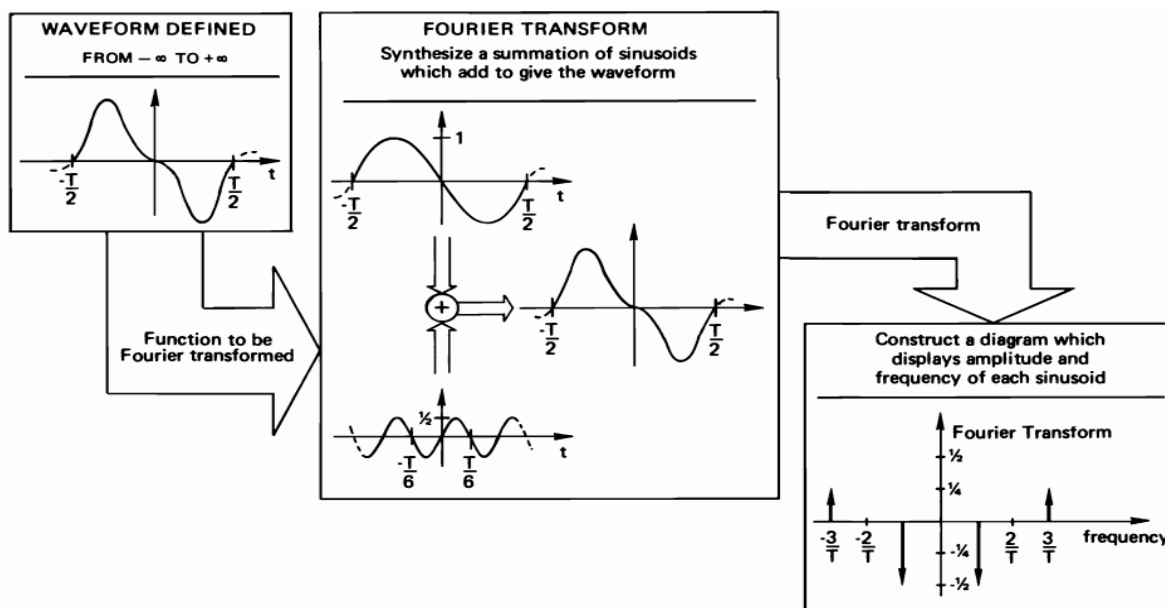
$$\hat{x}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2-2)$$

که $\hat{x}(f)$ تبدیل فوریه $x(t)$ و متغیر f نشان‌دهنده فرکانس است. اگرچه $\hat{x}(f)$ تنها تابعی از فرکانس است، با این وجود تبدیل فوریه یک نمایش کامل از سیگنال است؛ زیرا سیگنال می‌تواند با استفاده از تبدیل فوریه معکوس دوباره بدست آید. تحت شرایط مناسب، $x(t)$ بوسیله $\hat{x}(f)$ توسط تبدیل معکوس تعیین می‌شود [یواشاش، ۲۰۰۳].

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{x}(f) e^{j2\pi ft} df \quad (2-3)$$

یک تفسیر ساده از تبدیل فوریه در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ماهیت تبدیل فوریه یک شکل موج، جداسازی یا تجزیه موج به مجموعه‌ای از سینوس‌ها با فرکانس‌های مختلف است. نمایش تصویری تبدیل فوریه، بصورت نموداری است که دامنه بر حسب فرکانس برای هر سینوس تعیین شده را نمایش می‌دهد [بریق‌ام^۱، ۱۹۸۸]. در این شکل مثالی از تبدیل فوریه یک موج ساده نشان داده شده است. حاصل تبدیل فوریه، به صورت دو سینوس است که جمع می‌شوند تا موج اولیه را بدست دهند. همانطور که نشان داده شده است، نمودار تبدیل فوریه، دامنه و فرکانس هر موج سینوسی را نشان می‌دهد.

¹ Brigham



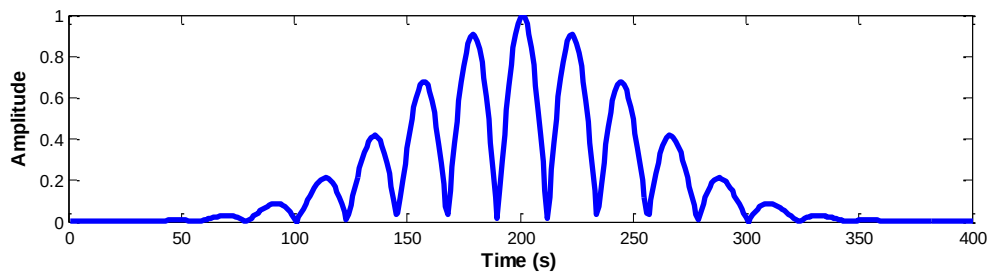
شکل ۱-۲ تفسیر تبدیل فوریه [بریقلم، ۱۹۸۸].

تبدیل فوریه عموماً مختلط است، بزرگی آن طیف دامنه و فاز آن طیف فاز نامیده می‌شود. مربع طیف دامنه، طیف انرژی است و نشان می‌دهد انرژی سیگنال چگونه در حوزه فرکانس توزیع می‌شود. انرژی نهایی سیگنال بصورت زیر است [بواشاش، ۲۰۰۳].

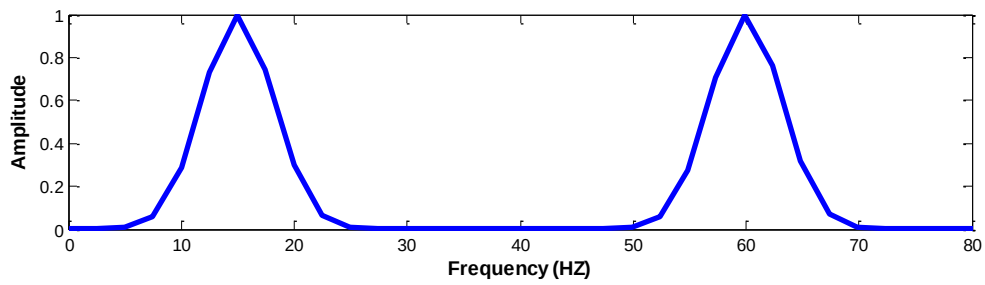
$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |\hat{x}(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{x}(f) \hat{x}^*(f) df \quad (۴-۲)$$

که * نشان‌دهنده مزدوج مختلط می‌باشد.

در شکل ۲-۲ (الف) دو موجک مورلت با فرکانس‌های غالب ۱۵ و ۶۰ هرتز که با هم جمع شده‌اند نشان داده شده‌اند. در قسمت (ب) طیف دامنه همان سیگنال رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، طیف دامنه در فرکانس‌های ۱۵ و ۶۰ هرتز دارای قله است. شکل ۳-۲ (الف) یک ردلرزه مصنوعی با موجک ریکر ۳۰ هرتز را نشان می‌دهد. در قسمت (ب) طیف دامنه آن رسم شده است که بیشینه دامنه آن در فرکانس ۳۰ هرتز است.

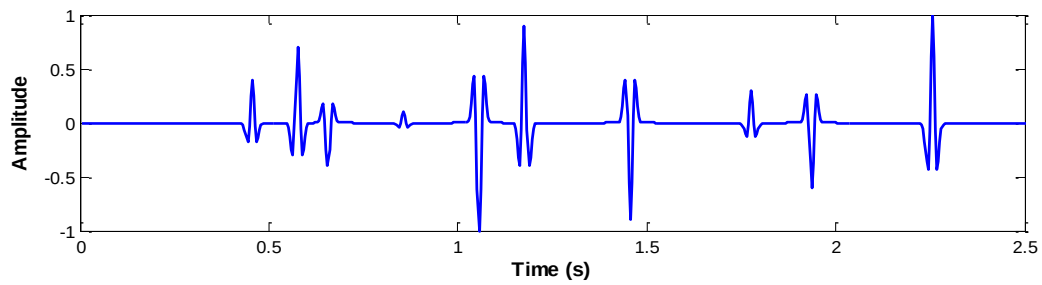


(الف)

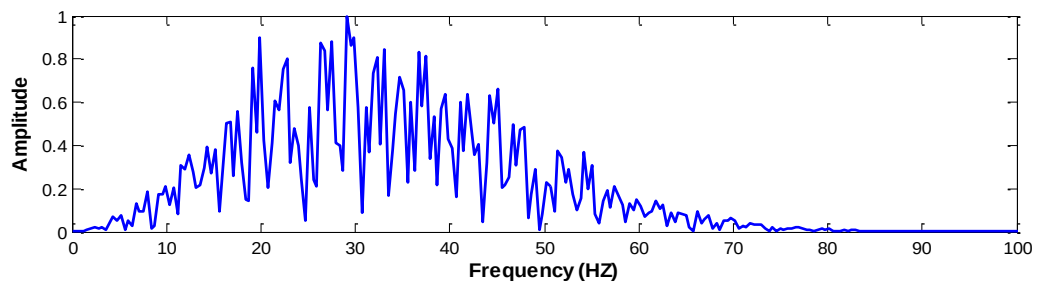


(ب)

شکل ۲-۲ (الف) سیگنال شامل مجموع دو موجک مورلت و (ب) تبدیل فوریه سیگنال (الف).



(الف)



(ب)

شکل ۳-۲ (الف) ردلرزه و (ب) طیف دامنه آن.

تا زمانی که نیاز ما فقط عملگرهای خطی تغییرناپذیر با زمان باشد، تبدیل فوریه پاسخ ساده‌ای برای اکثر مسائل است. توانایی این تبدیل، آنرا برای محدوده وسیعی از کاربردها مثل مخابره سیگنال یا پردازش سیگنال‌های پایا مناسب می‌سازد. تا کنون در مثال‌ها از سیگنال‌های پایا که محتوای فرکانسی آنها با زمان تغییرناپذیر است استفاده گردید. اما اگر سیگنال شامل پدیده‌های گذرا باشد، آنگاه تبدیل فوریه یک ابزار نامناسب است. در سیگنال‌های گذرا و ناپایا محتوای فرکانسی با زمان تغییر می‌کند و چون تبدیل فوریه تغییرات فرکانس بر حسب زمان را نشان نمی‌دهد، نمی‌تواند ابزار مناسبی برای آنالیز اینگونه سیگنال‌ها باشد.

از طرفی سیگنال‌های لرزه‌ای از نوع سیگنال‌های ناپایا هستند. یک موجک لرزه‌ای در هنگام حرکت در زمین دچار میرایی می‌شود. این امر ناشی از تغییر محتوای فرکانسی موجک با گذشت زمان است. به علت اینکه زمین مانند یک فیلتر پایین گذر عمل می‌کند، فرکانس‌های بالا را جذب می‌کند و فرکانس‌های پایین را عبور می‌دهد [ایلماز، ۲۰۰۱]. به همین دلیل محتوای فرکانسی سیگنال‌های لرزه‌ای با زمان تغییر می‌کند. بنابراین تبدیل فوریه نمی‌تواند ابزار مناسبی برای آنالیز سیگنال‌های لرزه‌ای باشد. از این رو ابزارهای دیگری برای آنالیز اینگونه سیگنال‌ها توسعه یافت که در ادامه به معرفی و بررسی آنها پرداخته می‌شود.

نمایش‌های مرسوم در حوزه زمان یا حوزه فرکانس در شرایطی که در بالا ذکر شد نامناسب هستند. یک راه حل بدیهی جستجوی نمایشی از سیگنال بعنوان یک تابع دو متغیره یا نمایشی است که حوزه آن فضای دوبعدی (t, f) است. چنین نمایشی، نمایش زمان-فرکانس یا توزیع زمان-فرکانس نامیده می‌شود. آنالیز زمان-فرکانس سیگنال، در ارتباط با آنالیز سیگنال‌هایی است که محتوای فرکانسی متغیر با زمان دارند. چنین سیگنال‌هایی بوسیله توزیع زمان-فرکانس، به بهترین شکل ممکن نشان داده می‌شوند. در توزیع زمان-فرکانس، متغیرهای t و f ناسازگار نیستند، بلکه همزمان با هم نمایش داده می‌شوند [بواشاش، ۲۰۰۳].

۲-۲ تبدیل فوریه زمان کوتاه

برای غلبه بر محدودیت‌های تبدیل فوریه استاندارد، گابور مفهوم اساسی تبدیل فوریه زمان کوتاه را معرفی کرد [شوکلا^۱، ۲۰۰۳]. در این روش، نمایش دوبعدی سیگنال یک‌بعدی، در فضای زمان و فرکانس را، با استفاده از تبدیل فوریه، روی پنجره‌های کوچکی از سیگنال به‌دست می‌آورند. به همین دلیل این روش تحت عنوان تبدیل فوریه زمان کوتاه شناخته می‌شود.

تبدیل فوریه پنجره‌ای تعریف شده بوسیله گابور، همبستگی سیگنال $x(t)$ را با هر اتم زمان-فرکانس^۲ $g_{u,\xi}(t)$ محاسبه می‌کند [مالات، ۱۹۹۹].

$$STFT_x(u, \xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) g_{u,\xi}^*(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) g(t-u) e^{-i\xi t} dt \quad (۵-۲)$$

در واقع معادله (۵-۲) یک انتگرال فوریه است که در همسایگی u بوسیله پنجره $g(t-u)$ متمرکز شده است. این انتگرال زمانی، همچنین می‌تواند بصورت یک انتگرال در حوزه فرکانس بوسیله اعمال فرمول پارسوال^۳ نوشته شود [مالات، ۱۹۹۹].

$$STFT_x(u, \xi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) \hat{g}_{u,\xi}^*(\omega) d\omega \quad (۶-۲)$$

$\hat{g}_{u,\xi}^*(\omega)$ تبدیل فوریه پنجره $g(t)$ ، و $*$ نشان‌دهنده مزدوج مختلط و ω فرکانس زاویه‌ای است. تبدیل فوریه زمان کوتاه یک رابطه برگشت‌پذیر است و برای برگشت از حوزه فرکانس-زمان از رابطه زیر به‌عنوان معکوس تبدیل فوریه استفاده می‌شود [مالات، ۱۹۹۹].

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} STFT_x(u, \xi) g(t-u) e^{i\xi t} d\xi du \quad (۷-۲)$$

^۱ Shukla

^۲ time-frequency atom

^۳ Parseval

۲-۱-۲ قدرت تفکیک زمان-فرکانس در تبدیل فوریه زمان کوتاه

گابور [۱۹۴۶] اتم‌های زمان-فرکانس را به صورت موجکی با گسترش کمینه در صفحه زمان-فرکانس معرفی نمود. این اتم‌ها، پایه اصلی نمایش زمان-فرکانس هستند. برای اندازه‌گیری محتوای اطلاعات زمان-فرکانس، گابور، تجزیه سیگنال‌ها به اتم‌های بنیادی را پیشنهاد کرد. یک خانواده کلی از اتم‌های زمان-فرکانس را به صورت $\{\phi_\gamma\}_{\gamma \in \Gamma}$ تعریف می‌کنیم که γ می‌تواند یک پارامتر چند اندیسی باشد و فرض می‌کنیم که $\phi_\gamma \in L^2(\mathbb{R})$ و $\|\phi_\gamma\| = 1$ است. تبدیل زمان-فرکانس خطی منطبق بر آن برای سیگنال $x(t) \in L^2(\mathbb{R})$ به صورت رابطه (۸-۲) نشان داده می‌شود [مالات، ۱۹۹۹].

$$TFR_x(\gamma) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \phi_\gamma^*(t) dt = \langle x, \phi_\gamma \rangle \quad (۸-۲)$$

اتم‌های گابور بوسیله انتقال یک پنجره زمانی $g(t)$ در زمان u و فرکانس ξ ساخته شده‌اند [مالات، ۱۹۹۹].

$$g_{u,\xi}(t) = g(t-u)e^{i\xi t} \quad (۹-۲)$$

$g(t)$ یک پنجره حقیقی و زوج است، به عبارت دیگر $g(t) = g(-t)$ و دارای شرط $\|g_{u,\xi}\| = 1$ می‌باشد. انرژی $g_{u,\xi}(t)$ در همسایگی u در یک بازه به اندازه σ_t متمرکز شده که بوسیله انحراف از معیار $|g(t)|^2$ اندازه‌گیری شده است. تبدیل فوریه اتم زمان-فرکانس به صورت رابطه (۱۰-۲) می‌باشد [مالات، ۱۹۹۹].

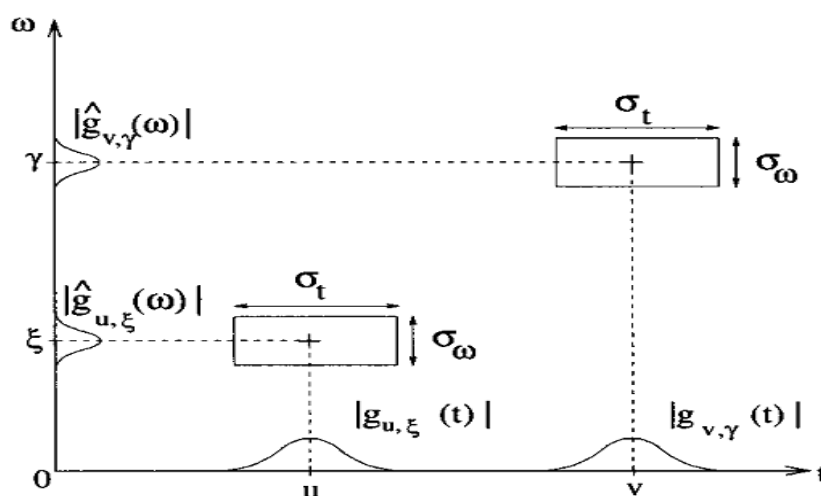
$$\hat{g}_{u,\xi}(\omega) = \hat{g}(\omega - \xi)e^{-iu(\omega - \xi)} \quad (۱۰-۲)$$

بنابراین انرژی $\hat{g}_{u,\xi}(\omega)$ در همسایگی فرکانس ξ در بازه‌ای به اندازه σ_ω متمرکز می‌شود که نشان دهنده بازه‌ای است که مقدار $\hat{g}(\omega)$ در آنجا قابل چشمپوشی نیست. در صفحه زمان-فرکانس (t, ω) توزیع انرژی اتم $g_{u,\xi}(t)$ بوسیله جعبه هایزنبرگ نشان داده می‌شود که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. این مستطیل در (u, ξ) متمرکز شده است و پهناهای زمانی σ_t و پهناهای فرکانسی σ_ω دارد. اصل عدم قطعیت بیان می‌کند که توزیع انرژی از یک تابع و تبدیل فوریه‌اش نمی‌توانند بطور همزمان به اندازه دلخواه کوچک شوند.

اصل عدم قطعیت ثابت می‌کند که مساحت جعبه هایزنبرگ را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [مالات، ۱۹۹۹].

$$\sigma_t \sigma_\omega = \text{constant} \geq \frac{1}{2}$$

هنگامیکه $g(t)$ یک تابع گوسی باشد، این مساحت کمینه است و اتم‌های $g_{u,\xi}(t)$ ، توابع گابور نامیده می‌شوند [مالات، ۱۹۹۹].



شکل ۲-۴ جعبه‌های زمان-فرکانس (مستطیل هایزنبرگ) نمایش توزیع انرژی دو اتم گابور [مالات، ۱۹۹۹].

چون $g(t)$ یک تابع زوج است، $g_{u,\xi}(t) = e^{i\xi t} g(t-u)$ نسبت به u متقارن است. گسترش زمانی در اطراف u مستقل از ξ است [مالات، ۱۹۹۹].

$$\sigma_t^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (t-u)^2 |g_{u,\xi}(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} t^2 |g(t)|^2 dt \quad (11-2)$$

همچنین چون $g(t)$ یک تابع حقیقی و زوج است، بنابراین، تبدیل فوری $\hat{g}(\omega)$ آن نیز طبق خاصیت تقارن تبدیل فوری، حقیقی و متقارن می‌باشد. به عبارت دیگر، $\hat{g}_{u,\xi}(\omega)$ نیز نسبت به $\omega = \xi$ متقارن است. گسترش فرکانسی در اطراف ξ به صورت زیر است [مالات، ۱۹۹۹].

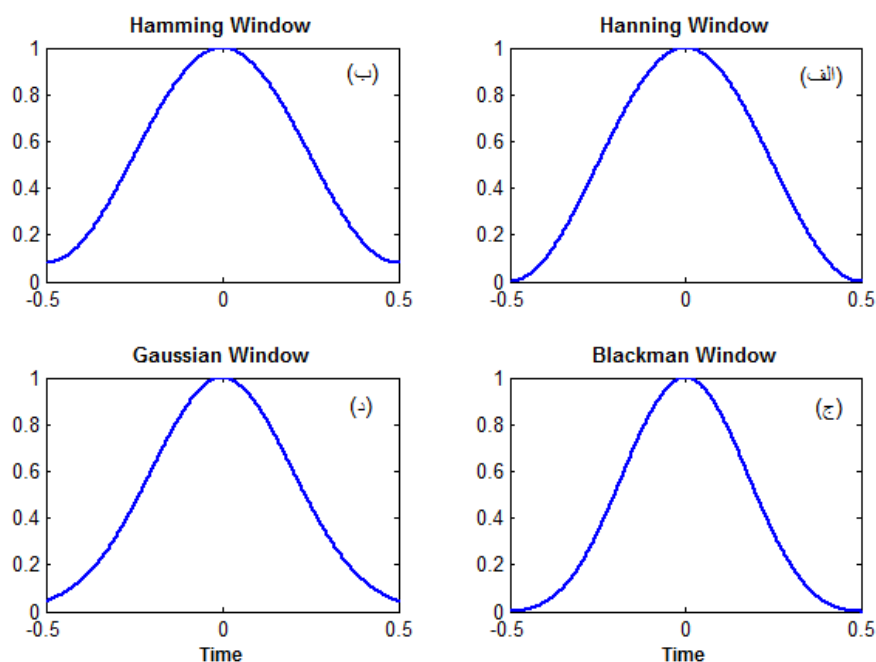
$$\sigma_{\omega}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} (\omega - \xi)^2 |\hat{g}_{u,\xi}(\omega)| d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^2 |\hat{g}(\omega)| d\omega \quad (12-2)$$

همانطور که از روابط (۱۱-۲) و (۱۲-۲) مشاهده می‌شود، مقادیر σ_t و σ_{ω} این رابطه مستقل از u و ξ می‌باشد. به عبارت دیگر ابعاد جعبه هایزنبرگ که با σ_t و σ_{ω} مشخص می‌شود، مستقل از u و ξ می‌باشد و در تمام صفحه زمان-فرکانس ثابت است. در واقع قدرت تفکیک در صفحه زمان-فرکانس در این تبدیل، ثابت است که در شکل ۴-۲ کاملاً نشان داده شده است.

در جدول ۱-۲ تعدادی از توابع $g(t)$ که کاربرد بیشتری دارند، آورده شده است و در شکل ۵-۲ توابع مختلف پنجره نشان داده شده است.

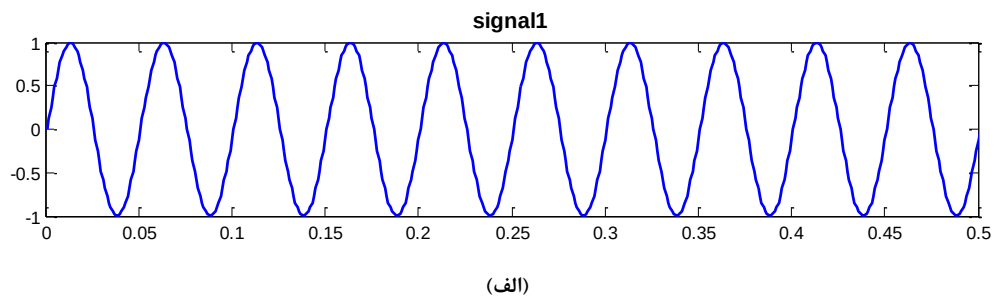
جدول ۱-۲ نام و رابطه توابع پنجره متداول [امالات، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹].

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

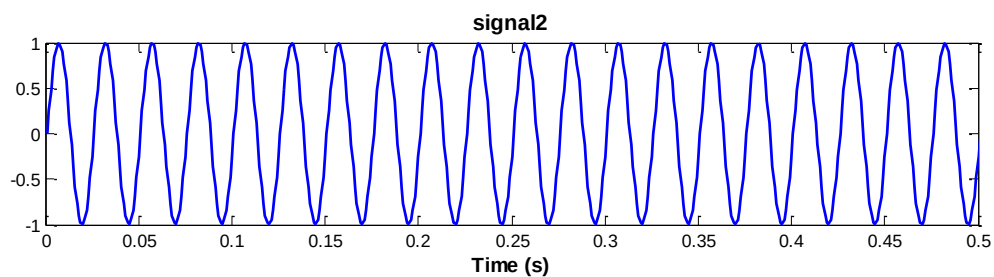


شکل ۵-۲ شکل توابع پنجره (الف) هنینگ، (ب) همینگ، (ج) بلکمن، (د) گوسی مطابق روابط جدول ۱-۲.

برای بررسی تفاوت نحوه عملکرد دو شیوه نمایش تبدیل فوریه و تبدیل فوریه زمان کوتاه مثالی آورده شده است. در شکل ۲-۶ دو موج سینوسی با فرکانس‌های ۲۰ و ۴۰ هرتز دیده می‌شود که در شکل ۲-۷ دو حالت ترکیب این دو سینوس با یکدیگر نشان داده شده است. یک بار دو سینوس با یکدیگر جمع شده‌اند و یک بار هم بدنبال یکدیگر آمده‌اند. برای هر دو حالت، تبدیل فوریه و تبدیل فوریه زمان کوتاه، اعمال گردید که در شکل ۲-۸ (الف)، (ب)، (ج) و (د) مشاهده می‌شوند. همانطور که در شکل ۲-۸ (الف) مشاهده می‌شود، تبدیل فوریه دو سیگنال مختلف که تغییرات محتوای فرکانسی با زمان متفاوت دارند، یکسان هستند، اما در قسمت‌های (ج) و (د) تبدیل فوریه زمان کوتاه توانایی نشان دادن تغییرات فرکانس با زمان در دو سیگنال مختلف را دارد. این مثال برتری تبدیل‌های زمان-فرکانس را نسبت به تبدیل فوریه نشان می‌دهد.

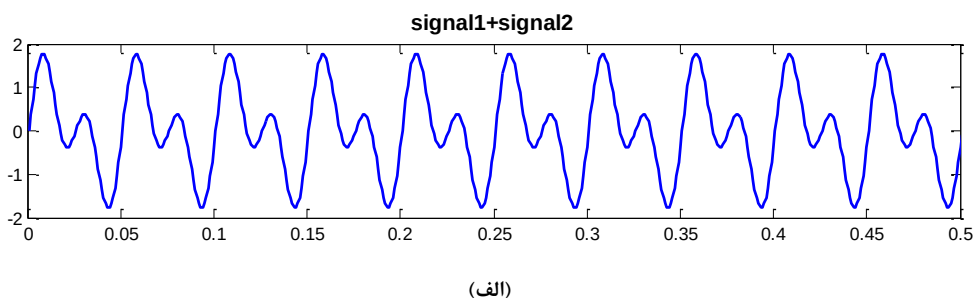


(الف)

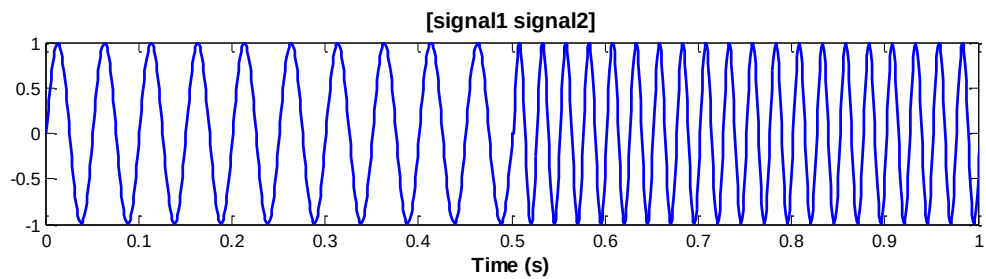


(ب)

شکل ۲-۶ (الف) سیگنال سینوسی با فرکانس ۲۰ هرتز، (ب) سیگنال سینوسی با فرکانس ۴۰ هرتز.

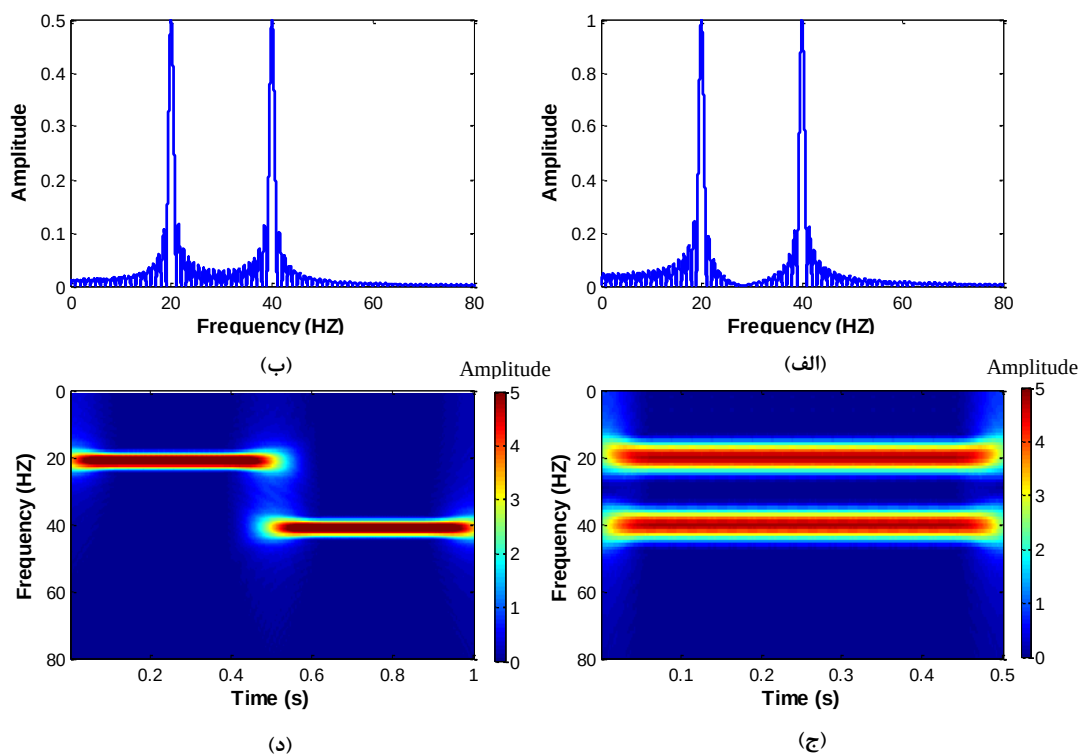


(الف)



(ب)

شکل ۲-۷ (الف) مجموع دو سیگنال سینوسی شکل ۲-۶، (ب) دو سیگنال سینوسی شکل ۲-۶ که در دو زمان متفاوت قرار گرفته‌اند.



شکل ۲-۸ (الف) تبدیل فوریه مجموع دو سیگنال، (ب) تبدیل فوریه دو سیگنال در دو زمان مختلف، (ج) تبدیل فوریه زمان کوتاه مجموع دو سیگنال، (د) تبدیل فوریه زمان کوتاه دو سیگنال در دو زمان مختلف.

۳-۲ تبدیل موجک

در روش تبدیل فوریه زمان کوتاه، قدرت تفکیک زمان-فرکانسی با انتخاب طول پنجره محدود می‌شود. مشکل پنجره کردن با طول ثابت در تحلیل زمان-فرکانس با استفاده از تبدیل موجک وجود ندارد. تبدیل موجک روش دیگری برای تجزیه یک سیگنال است که با استفاده از آن می‌توان توزیع فرکانسی سیگنال در زمان را تشخیص داد. این روش متفاوت از تبدیل فوریه زمان کوتاه است. در حالیکه تبدیل فوریه زمان کوتاه از یک پنجره زمانی با طول ثابت استفاده می‌کند، تبدیل موجک از یک پنجره با طول متغیر استفاده می‌کند. تبدیل موجک یک سیگنال، وابسته به دو متغیر مقیاس و زمان است. قدرت نمایش تبدیل موجک از توانایی-اش در جداسازی یک سیگنال به سطوح مقیاس مختلف ناشی می‌شود. نتیجه تجزیه موجک شامل ضرایبی

است که بوسیله رویدادهای محلی تحت تاثیر قرار می گیرند که می توانند بصورت بالقوه تشخیص داده شوند. آنالیز موجک به روش های مختلفی انجام می شود که تبدیل موجک پیوسته، تبدیل موجک گسسته [یانگ^۱، ۱۹۹۳؛ شنسا^۲، ۱۹۹۲] و تبدیل بسته موجک [کویفمن^۳ و ویکرهاوسر^۴، ۱۹۹۲] است. این تبدیل وارون پذیر است و بنابراین برای فیلتر کردن داده ها مناسب می باشند [چاکرابورتی و اوکایا، ۱۹۹۵].

تبدیل موجک توسط مورلت و همکاران [۱۹۸۲] برای ارزیابی داده های زلزله به کار رفت [ذبیحی و سیاه کوهی، ۱۳۸۴]. تعداد بسیار زیادی از کاربردها بوسیله محققان بسیاری در این سال ها بوجود آمدند بعنوان مثال، زمینه های آنالیز سیگنال های یک بعدی [گراسمن و همکاران، ۱۹۸۹]، نمایش زمان-مقیاس [فلاندرین^۵، ۱۹۸۹]، تئوری بانک فیلتر^۶ [وترلی^۷ و کورماک^۸، ۱۹۹۲]، مشاهده پردازش تصویر دیجیتال [مالات و ژونگ^۹، ۱۹۹۲؛ مالات و هوانگ^{۱۰}، ۱۹۹۲]، آنالیز عددی [کویفمن، ۱۹۸۹؛ پرس^{۱۱}، ۱۹۹۲] و آنالیز داده های لرزه ای [پایک^{۱۲}، ۱۹۹۴؛ سایتو^{۱۳}، ۱۹۹۴]؛ [چاکرابورتی و اوکایا، ۱۹۹۵].

موجک ها یک بسط طبیعی از آنالیز فوریه هستند [دابچیز^{۱۴}، ۱۹۹۲]. یک موجک، یک موج کوچک است که انرژی اش در زمان متمرکز شده است. برای مشاهده خصوصیات یک سیگنال، سیگنال با یک تابع پایه مقایسه می شود. هنگامیکه توابع پایه انتقال داده شده در زمان و مقیاس شده برای این هدف استفاده می شوند، نتیجه نمایش داده شده آنالیز موجک نامیده می شود و تابع پایه بعنوان موجک مادر^{۱۵} دانسته می شود. اگرچه آنالیز موجک، یک روش آنالیز زمان-مقیاس است، با این وجود با روش آنالیز زمان-فرکانس ارتباط دارد. مقیاس های کوچک، منطبق بر موجک های متراکم هستند که قابلیت مشخص کردن تغییرات

¹ Young

² Shensa

³ Coifman

⁴ Wickerhauser

⁵ Flandrin

⁶ filter bank

⁷ Vetterli

⁸ Cormac

⁹ Zhong

¹⁰ Hwang

¹¹ Press

¹² Pike

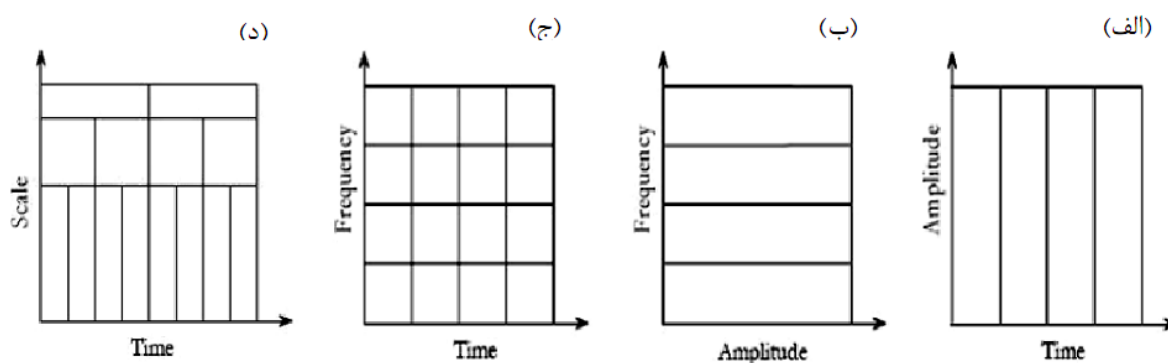
¹³ Saito

¹⁴ Daubechies

¹⁵ mother wavelet

سریع سیگنال در ارتباط با فرکانس‌های بالا را دارند. از طرف دیگر، مقیاس‌های بزرگ منطبق بر موجک‌های اتساع یافته هستند که قابلیت مشخص کردن تغییرات آهسته سیگنال در ارتباط با فرکانس‌های پایین را دارند. تعداد زیاد موجک‌ها باعث شده که این تبدیل برای بسیاری از مسائل در علوم و مهندسی که در ارتباط با پدیده‌های گذرا، متغیر با زمان و غیرپایا هستند، مناسب باشد. چگونگی انتخاب موجک بهینه برای آنالیز موجک، امروزه یکی از موضوعات تحقیقاتی مهم می‌باشد [پولیتیس^۱، ۲۰۰۳].

بیان شد که تفاوت تحلیل موجک، با تبدیل فوریه زمان کوتاه، در طول پنجره است. تحلیل موجک پنجره‌های با طول متغیر را در نظر می‌گیرد که استفاده از قطعات زمانی بلند برای محتوای فرکانسی پایین و قطعات زمانی باریک‌تر برای محتوای فرکانسی بالاتر را میسر می‌سازد، که در شکل ۲-۹ نشان داده شده است.



شکل ۲-۹ نمایش حوزه زمان و فرکانس در (الف) زمان، (ب) فرکانس، (ج) زمان-فرکانس در روش تبدیل فوریه زمان-کوتاه و (د) زمان-مقیاس در روش آنالیز موجک [پولیتیس، ۲۰۰۳].

تبدیل موجک، سیگنال‌ها را روی موجک‌های اتساع یافته^۲ و انتقال یافته^۳ تجزیه می‌کند. یک موجک، یک تابع $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ با میانگین صفر است [مالات، ۱۹۹۹].

¹ Politis

² dilated

³ translated

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (13-2)$$

این رابطه نرمال^۱ شده است، $\|\psi\| = 1$ و در همسایگی $t = 0$ متمرکز شده است. یک خانواده از اتم‌های زمان-مقیاس با مقیاس ψ بوسیله s و انتقال آن بوسیله u بدست می‌آیند [مالات، ۱۹۹۹].

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (14-2)$$

این اتم‌ها نرمال باقی می‌مانند، یعنی $\|\psi_{u,s}\| = 1$.

تبدیل موجک پیوسته بصورت ضرب داخلی یک خانواده از موجک مادر $\psi(t)$ با سیگنال $x(t)$ تعریف می‌شود [سینها و همکاران، ۲۰۰۴].

$$CWT_x(u, s) = \langle x, \psi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) dt \quad (15-2)$$

که s مقیاس و $\psi^*(t)$ مزدوج مختلط $\psi(t)$ است، u پارامتر انتقال و $CWT_x(u, s)$ نقشه زمان-مقیاس است.

تبدیل موجک یک تبدیل کامل می‌باشد و انرژی را تا زمانی که موجک در شرط قابلیت قبول^۲ صدق کند، حفظ می‌کند. این شرط به صورت رابطه (۱۶-۲) بیان می‌شود [مالات، ۲۰۰۹].

$$c_\psi = \int_0^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < +\infty \quad (16-2)$$

که در آن، $\hat{\psi}(\omega)$ تبدیل فوریه موجک $\psi(t)$ و ω فرکانس زاویه‌ای می‌باشد. برای برقراری رابطه فوق، فقط کفایت $\hat{\psi}(0) = 0$ باشد، که خود توجیهی برای صفر بودن میانگین موجک است و $\hat{\psi}(\omega)$ به صورت پیوسته مشتق‌پذیر باشد. چنانچه شرط قابلیت قبول در مورد موجک برقرار باشد و سیگنال $x(t)$ حقیقی باشد، آنگاه رابطه معکوس تبدیل موجک به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود [مالات، ۲۰۰۹].

¹ normale

² Admissibility condition

$$x(t) = \frac{2}{c_\psi} \operatorname{Re} \left[\int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} CWT_x(u, s) \psi_s(t-u) du \frac{ds}{s^2} \right] \quad (17-2)$$

برای تفسیر یک نقشه زمان-مقیاس بصورت نقشه زمان-فرکانس چندین روش وجود دارد. ساده‌ترین روش بسط دادن مقیاس به یک فرکانس معادل وابسته به نقشه فرکانس-مقیاس موجک است. اگرچه می‌توان از روش دیگری هم استفاده کرد که در آن بطور تحلیلی یک نقشه زمان-مقیاس به نقشه زمان-فرکانس تبدیل می‌شود. چنین نقشه زمان-فرکانسی از تبدیل موجک، TFCWT^۱ نامیده می‌شود. با گرفتن تبدیل فوریه از معکوس تبدیل موجک پیوسته می‌توان نقشه زمان-مقیاس را به زمان-فرکانس تبدیل نمود [سینها و همکاران، ۲۰۰۴]

$$TFCWT_x(\omega, u) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} CWT_x(u, s) e^{-i\omega u} \hat{\psi}(s\omega) \frac{ds}{s^{3/2}} \quad (18-2)$$

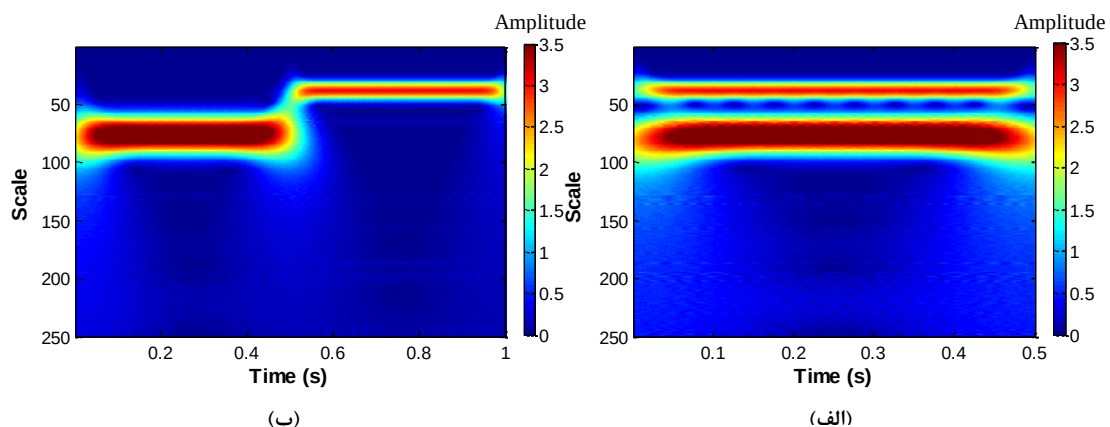
که ۸ نشاندهنده تبدیل فوریه تابع است و C_ψ یک مقدار ثابت وابسته به موجک است. بنابراین نقشه زمان-فرکانس تولید شده در معادله بالا TFCWT نامیده می‌شود.

تبدیل موجک، مانند تبدیل فوریه پنجره‌ای، می‌تواند تغییر شکل زمانی فرکانس‌های گذرا را اندازه‌گیری کند، که به این منظور از موجک تحلیلی مختلط^۲ استفاده می‌کنند که بتواند مولفه‌های دامنه و فاز را از هم جدا کند. بر خلاف آن موجک‌های حقیقی معمولاً برای شناسایی تغییرات ناگهانی استفاده می‌شوند [مالات، ۱۹۹۹].

در شکل ۲-۱۰ تبدیل موجک سیگنال‌های شکل ۲-۷ با استفاده از موجک مورلت مختلط نشان داده شده است.

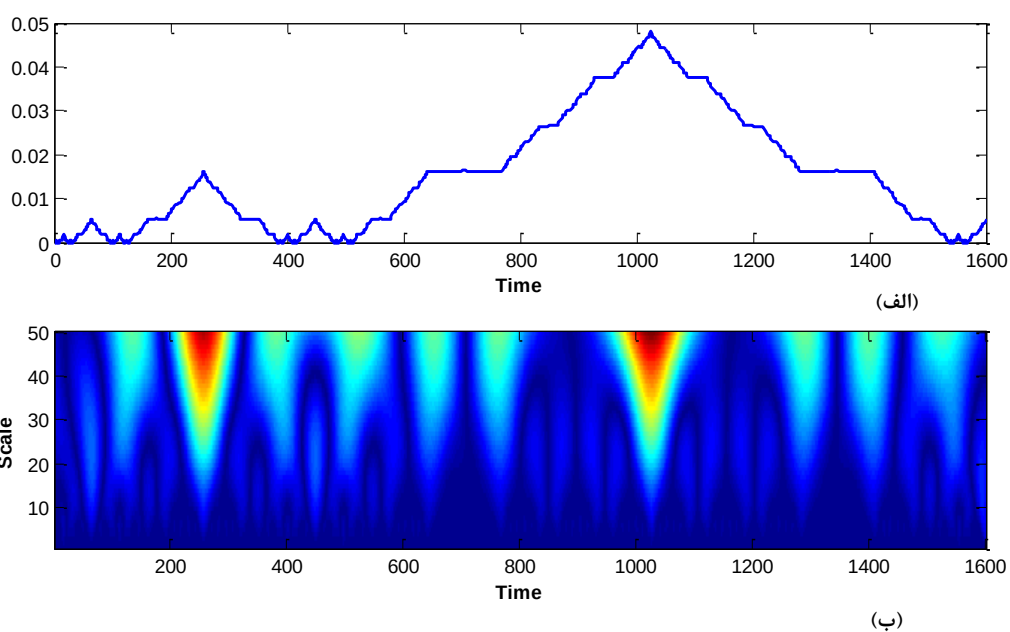
^۱ time-frequency continuous wavelet transform

^۲ complex analytic wavelet



شکل ۲-۱۰ دامنه تبدیل موجک پیوسته با موجک مختلط (الف) تبدیل موجک مجموع دو سیگنال (ب) تبدیل موجک دو سیگنال در دو زمان مختلف.

در شکل ۲-۱۱ (الف) یک موج فرکتال^۱ رسم شده است و در قسمت (ب) تبدیل موجک آن سیگنال با استفاده از موجک کلاه مکزیکی^۲ رسم شده است.



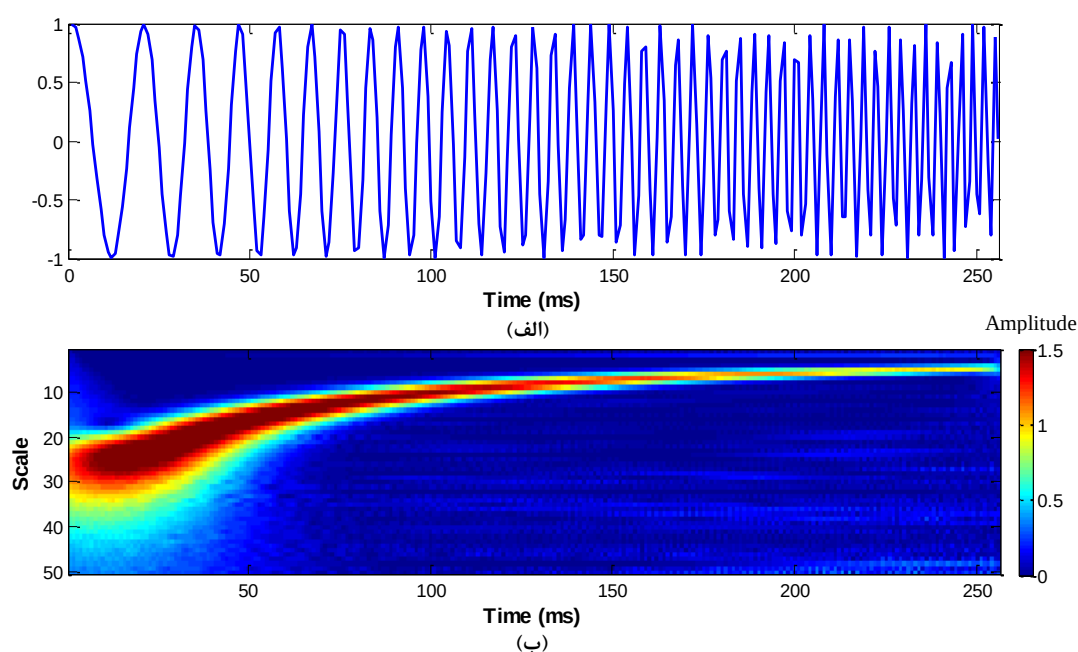
شکل ۲-۱۱ تبدیل موجک پیوسته با موجک حقیقی (الف) سیگنال فرکتال و (ب) تبدیل موجک آن با استفاده از موجک کلاه مکزیکی.

^۱ fractal

^۲ Mexican hat

بعنوان یک مثال دیگر، در شکل ۱۲-۲ (الف) سیگنال رابطه (۱۹-۲) رسم شده است و در قسمت (ب) تبدیل موجک آن سیگنال با استفاده از موجک مورلت مختلط نشان داده شده است. این سیگنال، یک سیگنال کسینوسی است که فرکانس آن با زمان در حال تغییر است.

$$x(t) = \cos\left(2\pi\left(10 + \frac{t}{7}\right) \times \frac{t}{128}\right) \quad (19-2)$$



شکل ۱۲-۲ (الف) سیگنال مربوط به رابطه ۱۹-۲ و (ب) تبدیل موجک سیگنال با استفاده از موجک مورلت مختلط.

۱-۳-۲ قدرت تفکیک زمان-مقیاس در تبدیل موجک پیوسته

قدرت تفکیک زمان-مقیاس تبدیل موجک، وابسته به گسترش زمان-مقیاس اتم‌های موجک $\psi_{u,s}(t)$ است. اگر $\psi(t)$ در صفر متمرکز شده باشد، آنگاه $\psi_{u,s}(t)$ در $t = u$ متمرکز می‌شود [مالات، ۱۹۹۹].

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (t-u)^2 |\psi_{u,s}|^2 dt = s^2 \sigma_t^2 \quad (20-2)$$

که $\sigma_t^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} t^2 |\psi(t)|^2 dt$ چون $\hat{\psi}(\omega)$ در فرکانس‌های منفی صفر است، فرکانس مرکزی η برابر است با [امالات، ۱۹۹۹].

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} \omega |\hat{\psi}(\omega)|^2 d\omega \quad (21-2)$$

تبدیل فوری $\psi_{u,s}(t)$ یک بسط از $\hat{\psi}(t)$ بوسیله $1/s$ است [امالات، ۱۹۹۹].

$$\hat{\psi}_{u,s}(\omega) = \sqrt{s} \hat{\psi}(s\omega) \exp(-i\omega u) \quad (22-2)$$

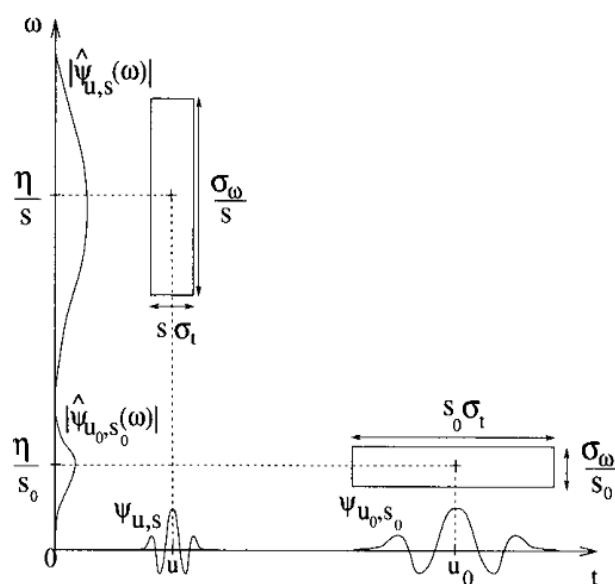
بنابراین فرکانس مرکزی آن برابر η/s است. گسترش انرژی $\psi_{u,s}$ در اطراف η/s برابر است با [امالات، ۱۹۹۹].

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} (\omega - \frac{\eta}{s})^2 |\hat{\psi}_{u,s}(\omega)|^2 d\omega = \frac{\sigma_\omega^2}{s^2} \quad (23-2)$$

که

$$\sigma_\omega^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{+\infty} (\omega - \eta)^2 |\hat{\psi}(\omega)|^2 d\omega \quad (24-2)$$

گسترش انرژی یک اتم زمان-فرکانس $\psi_{u,s}$ منطبق بر یک جعبه هایزنبرگ با اندازه $s\sigma_t$ در امتداد زمان و σ_ω/s در امتداد فرکانس است که در $(u, \eta/s)$ متمرکز شده است. مساحت مستطیل در همه مقیاس‌ها برابر $\sigma_t \sigma_\omega$ باقی می‌ماند، اما قدرت تفکیک در زمان و فرکانس وابسته به s است. این مطلب در شکل ۲-۱۳ شرح داده شده است.



شکل ۲-۱۳ جعبه‌های هایزنبرگ دو موجک در دو زمان و مقیاس مختلف [مالات، ۱۹۹۹].

۲-۴ تبدیل استاکول یا تبدیل S

تبدیل S یکی از تبدیلات زمان-فرکانس است که از جهاتی شبیه تبدیل فوریه زمان کوتاه و از جهاتی شبیه تبدیل موجک است. در این تبدیل مانند تبدیل موجک طول پنجره متغیر است و در عین حال مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه از اتم زمان-فرکانس سینوس‌وار فوریه مختلط استفاده شده است. این اتم برخلاف موجک-هایی است که در تبدیل موجک استفاده می‌شود و با انتقال، شکل قسمت حقیقی و موهومی آن تغییر می‌کند.

تبدیل S توسط استاکول و همکاران [۱۹۹۶] پیشنهاد شد. موجک پایه از ترکیب موج هارمونیک ساده و تابع گوسی ساخته شده است. موج هارمونیک ساده در موجک پایه فقط در محور زمان گسترش پیدا می‌کند؛ در حالیکه تابع گوسی کشیدگی و انتقال را انجام می‌دهد. در مقایسه با روش‌های آنالیز دیگر در حوزه زمان-فرکانس مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک پیوسته، تبدیل S مزایای خاصی دارد. قدرت تفکیک زمان-فرکانس تبدیل S وابسته به فرکانس است.

تبدیل S یک سیگنال مانند $x(t) \in L^2(\mathbb{R})$ به صورت زیر محاسبه می‌شود [لیو و سان^۱، ۲۰۱۰].

$$ST_x(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}} e^{-i2\pi ft} dt \quad (25-2)$$

در تبدیل S تابع موجک پایه بصورت زیر نشان داده می‌شود [لیو و سان، ۲۰۱۰].

$$g(t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-t^2 f^2}{2}} e^{-i2\pi ft} \quad (26-2)$$

یکی از شروطی که اتم زمان-فرکانس تبدیل S باید داشته باشد، به صورت زیر است [پینگر^۲ و مانسینها^۳، ۲۰۰۳].

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-f^2(\tau-t)^2}{2}\right)} = 1 \quad (27-2)$$

با توجه به این شرط برای اتم زمان-فرکانس می‌توان نوشت.

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} ST_x(\tau, t) d\tau &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-f^2(\tau-t)^2}{2}\right)} e^{-i2\pi ft} dt d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \times \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-f^2(\tau-t)^2}{2}\right)} d\tau \end{aligned} \quad (28-2)$$

که با توجه به رابطه (۲۷-۲) می‌توان نوشت.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} ST_x(\tau, t) d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt = \hat{x}(f) \quad (29-2)$$

که در آن، $\hat{x}(f)$ تبدیل فوریه سیگنال می‌باشد. رابطه بالا نشان می‌دهد که میانگین‌گیری بر روی تمام زمان‌ها از نمایش زمان-فرکانس حاصل از تبدیل S، تبدیل فوریه سیگنال را تولید می‌کند. از این خاصیت می‌توان برای بدست آوردن رابطه عکس تبدیل S استفاده کرد که به صورت رابطه (۳۰-۲) تعریف می‌شود.

¹ Sun

² Pinnegar

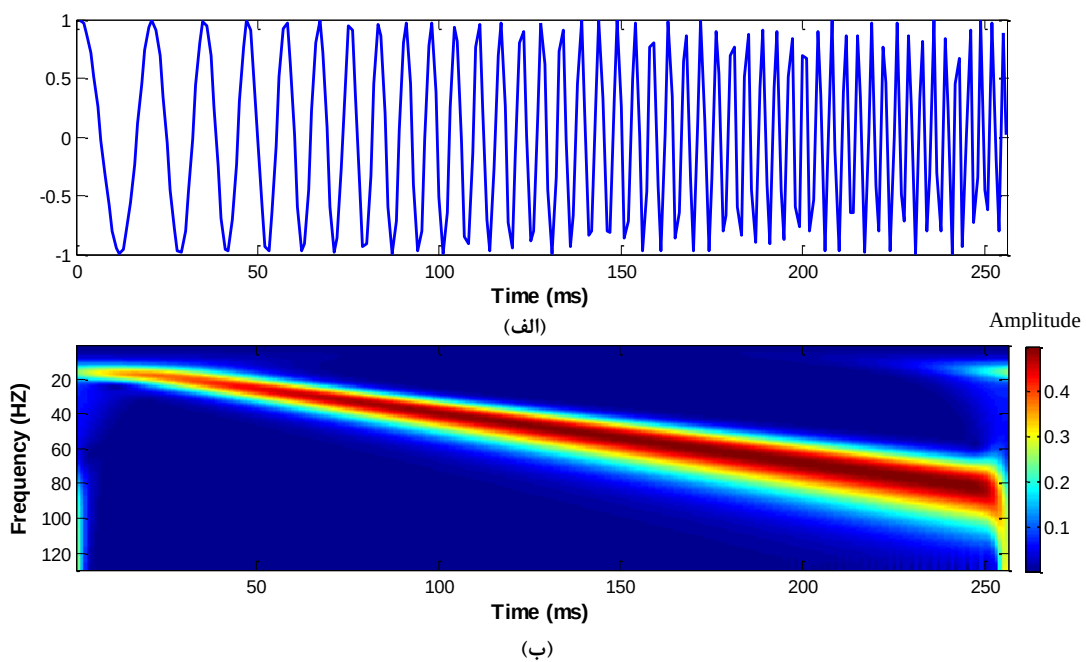
³ Mansinha

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\tau, f) d\tau e^{(i2\pi f t)} df \quad (30-2)$$

در زیر مثالی از تبدیل S آورده شده است. سیگنالی بصورت رابطه (2-31) در نظر می‌گیریم که در

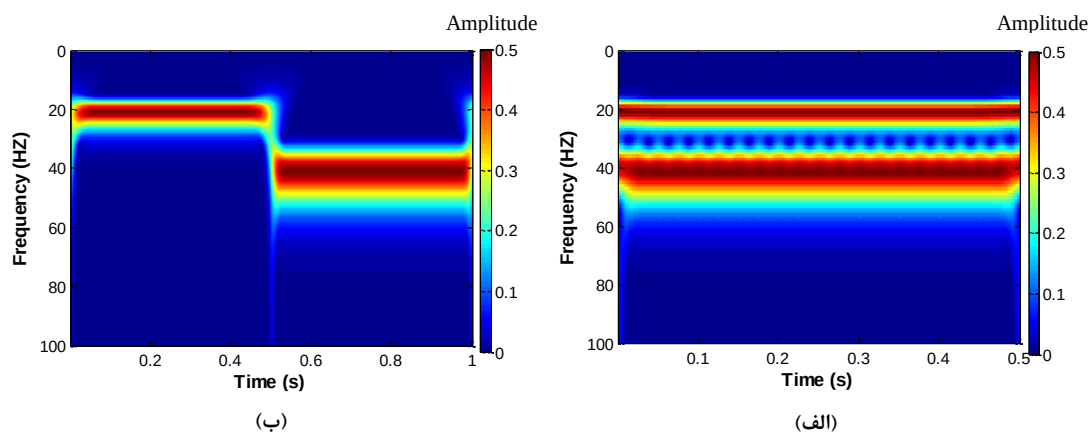
شکل 2-14 (الف) رسم شده است. در شکل 2-14 (ب) تبدیل S سیگنال مذکور نشان داده شده است.

$$x(t) = \cos\left(2\pi\left(10 + \frac{t}{7}\right) \times \frac{t}{128}\right) \quad (31-2)$$



شکل 2-14 (الف) سیگنال چیرپ رابطه (2-31) و (ب) نمایش زمان-فرکانس آن با استفاده از تبدیل S.

در شکل ۱۵-۲ تبدیل S برای دو سیگنال شکل ۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۲ (الف) تبدیل S مجموع دو سیگنال، (ب) تبدیل S دو سیگنال در دو زمان متفاوت.

۵-۲ توزیع ویگنر - وایل

تبدیل فوریه پنجره‌ای، تبدیل موجک و تبدیل S از همبستگی سیگنال با خانواده‌ای از اتم‌های زمان-فرکانس محاسبه می‌شوند. بنابراین قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی این تبدیل‌ها بوسیله قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی اتم‌های زمان-فرکانس محدود شده است. تعریف یک چگالی انرژی در یک صفحه زمان-فرکانس بدون از دست دادن قدرت تفکیک، ایده‌آل است. توزیع ویگنر-وایل یک ابزار زمان-فرکانس است که چگالی انرژی زمان-فرکانس را بوسیله همبستگی سیگنال با انتقال زمان-فرکانسی خودش محاسبه می‌کند. علیرغم خصوصیات و مزایای قابل توجهش، کاربرد توزیع ویگنر-وایل بوسیله عبارات متقاطع محدود شده است. این تداخل‌ها می‌توانند بوسیله میانگین‌گیری تضعیف شوند، اما به از دست دادن قدرت تفکیک منتهی می‌شود. در آنالیز ساختارهای زمان-فرکانس، وایل [۱۹۴۸] یک فرم درجه دو در پردازش سیگنال معرفی کرد که توسط ویگنر [۱۹۳۲] در یک مقاله مربوط به کوانتم ترمودینامیک مطالعه شده بود.

توزیع ویگنر-وایل شبیه تبدیل فوریه است با این تفاوت که بجای تبدیل سیگنال اصلی، کرنل ویگنر-وایل شامل نوعی عبارت خودهمبستگی است. توزیع ویگنر-وایل یک سیگنال $x(t)$ بوسیله $WVD_x(t, f)$

نشان داده می‌شود [بواشاش، ۲۰۰۳].

$$WVD_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t + \tau/2) x^*(t - \tau/2) e^{-i2\pi\tau f} d\tau \quad (۳۲-۲)$$

توزیع ویگنر-وایل حقیقی است، زیرا این توزیع معادل تبدیل فوریه $x(t + \tau/2) x^*(t - \tau/2)$ است که در τ متقارن هرمیتی است. این توزیع دارای خواص بسیار مفیدی می‌باشد. از جمله این خواص، خاصیت حاشیه‌ای^۱ و انرژی کل می‌باشد. این خواص مطابق روابط زیر بیان می‌شود [بواشاش، ۲۰۰۳].

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} WVD_x(t, f) df &= |x(t)|^2 \\ \int_{-\infty}^{+\infty} WVD_x(t, f) dt &= |\hat{x}(f)|^2 \\ \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} WVD_x(t, f) dt df &= E_x \end{aligned} \quad (۳۳-۲)$$

که $\hat{x}(f)$ تبدیل فوریه $x(t)$ است و E_x انرژی کل سیگنال $x(t)$ است. خاصیت حاشیه‌ای بیان می‌کند که:

I. انتگرال توزیع ویگنر-وایل روی فرکانس، توان لحظه‌ای $|x(t)|^2$ است.

II. انتگرال توزیع ویگنر-وایل روی زمان، طیف انرژی $|x(f)|^2$ است.

III. مساحت کلی توزیع ویگنر-وایل که انتگرال دوگانه در امتداد زمان و فرکانس است، انرژی کل در سیگنال اصلی را نشان می‌دهد.

۲-۵-۱ عبارات متقاطع

فرض کنید $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$ یک سیگنال مرکب باشد. چون توزیع ویگنر-وایل از نوع تبدیل‌های درجه دوم است، بنابراین می‌توان نوشت.

$$WVD_x(t, f) = WVD_{x_1}(t, f) + WVD_{x_2}(t, f) + WVD_{x_1x_2}(t, f) + WVD_{x_2x_1}(t, f) \quad (۳۴-۲)$$

¹ marginal property

که $WVD_{x_i x_j}(t, f)$ توزیع ویگنر-وایل متقاطع دو سیگنال است و به صورت زیر محاسبه می شود [امالات، ۱۹۹۹].

$$WVD_{x_i x_j}(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x_i\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x_j^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i2\pi f \tau} d\tau \quad (۳۵-۲)$$

عبارات تداخلی $I_{x_1 x_2}(t, f) = WVD_{x_1 x_2}(t, f) + WVD_{x_2 x_1}(t, f)$ ، یک تابع حقیقی است که مقادیر غیر صفر در مکان های ناخواسته از صفحه (t, f) تولید می کند.

دو سیگنال بصورت رابطه زیر مفروض است.

$$x_1(t) = a_1 e^{i\phi_1} g(t - u_1) e^{i2\pi \xi_1 t} \quad \text{و} \quad x_2(t) = a_2 e^{i\phi_2} g(t - u_2) e^{i2\pi \xi_2 t} \quad (۳۶-۲)$$

که g یک پنجره زمانی است که در $t = 0$ متمرکز شده است. توزیع ویگنر-وایل سیگنال به صورت زیر بدست می آید [امالات، ۱۹۹۹].

$$WVD_{x_1}(t, f) = a_1^2 WVD_g(t - u_1, f - \xi_1) , \quad WVD_{x_2}(t, f) = a_2^2 WVD_g(t - u_2, f - \xi_2) \quad (۳۷-۲)$$

چون انرژی $WVD_g(t, f)$ در $(0,0)$ متمرکز شده است، انرژی $WVD_{x_1}(t, f)$ و $WVD_{x_2}(t, f)$ در همسایگی (u_1, ξ_1) و (u_2, ξ_2) متمرکز شده است. مطابق آنچه گفته شد، عبارات متقاطع را در این حالت می توان به صورت زیر بدست آورد.

$$I_{x_1 x_2}(t, f) = 2a_1 a_2 WVD_g(t - u_0, f - \xi_0) \cos[(t - u_0)\Delta\xi - (f - \xi_0)\Delta u + \Delta\phi] \quad (۳۸-۲)$$

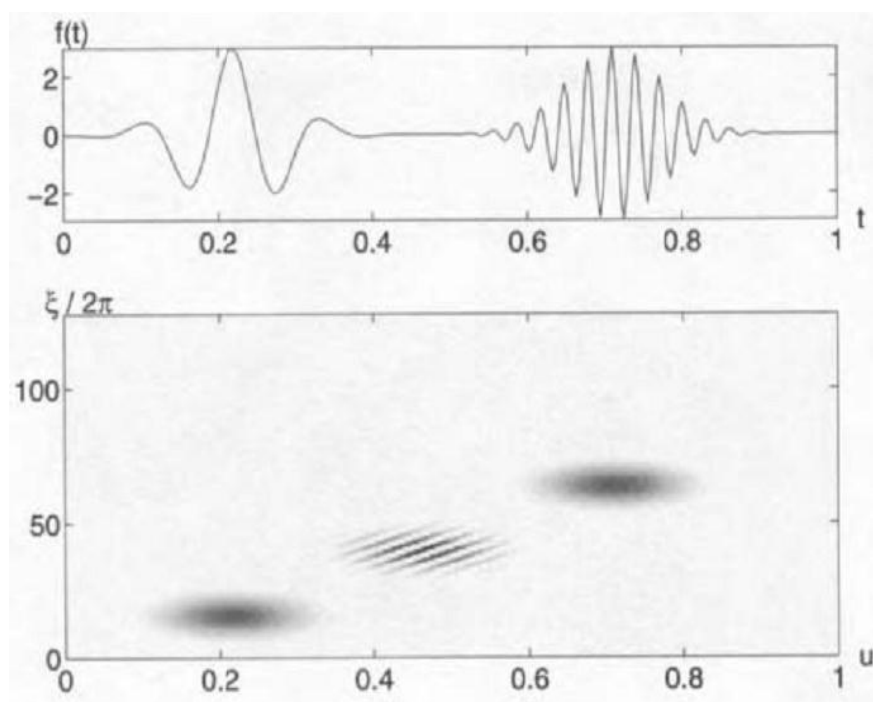
که

$$u_0 = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad \text{و} \quad \xi_0 = \frac{\xi_1 + \xi_2}{2}$$

$$\Delta u = u_1 - u_2 \quad \text{و} \quad \Delta\xi = \xi_1 - \xi_2$$

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 + u_0 \Delta\xi \quad (۳۹-۲)$$

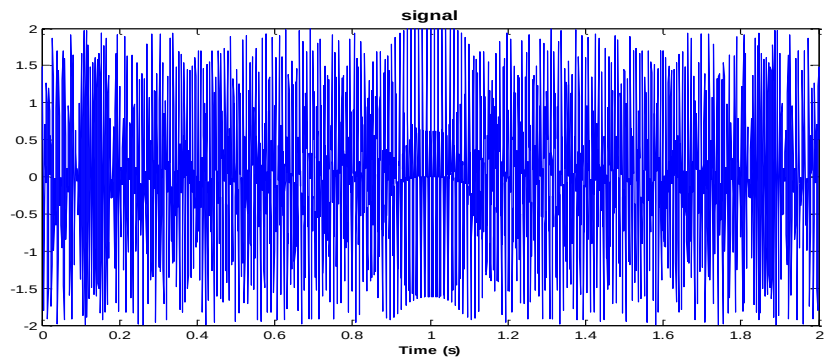
رابطه (۳۹-۲) نشان‌دهنده یک تابع نوسانی است که حول نقطه (u_0, ξ_0) متمرکز شده است. جهت این نوسان‌ها عمود بر خطی است که (u_1, ξ_1) و (u_2, ξ_2) را بهم وصل می‌کند. شکل ۲-۱۶ توزیع ویگنر-وایل یک سیگنال متشکل از دو سیگنال گوسی با فرکانس‌های متفاوت را نشان می‌دهد. تداخل نوسانی در وسط صفحه زمان-فرکانس ظاهر می‌شود. این مثال نشان می‌دهد که تداخل $I_{x_1 x_2}(t, f)$ مقداری انرژی در مناطقی که $|x(t)|^2 \approx 0$ و $|\hat{x}(f)|^2 \approx 0$ هستند، دارد.



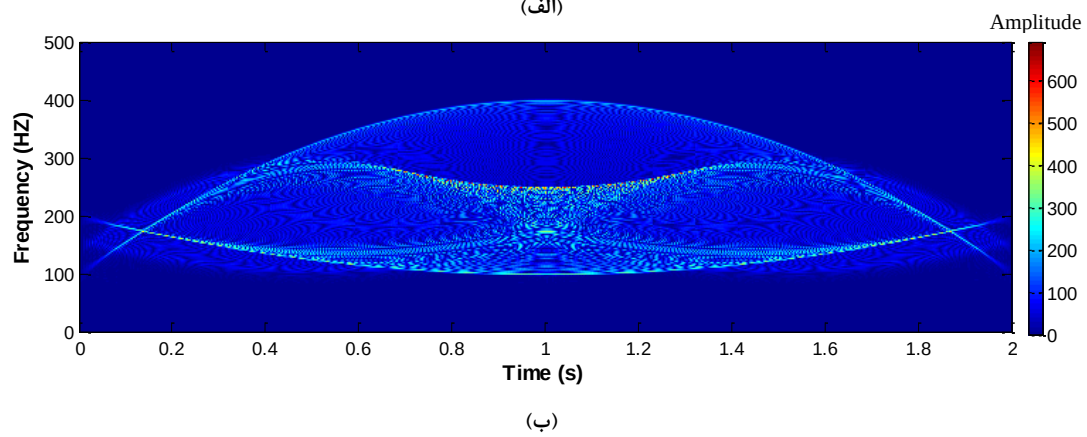
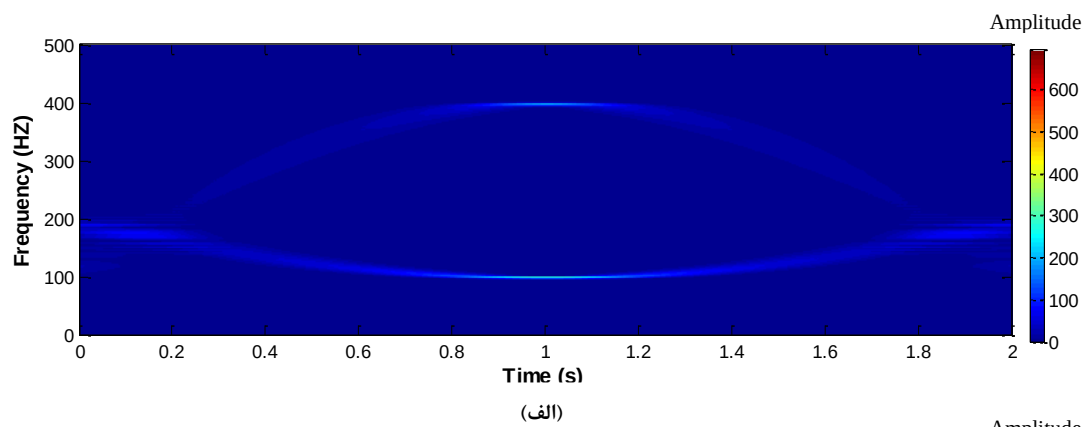
شکل ۲-۱۶ توزیع ویگنر-وایل $WVD_x(t, f)$ دو سیگنال در شکل بالا. تداخل‌های نوسانی در وسط موقعیت زمان-فرکانس متمرکز شده‌اند [مالات، ۱۹۹۹].

در شکل ۲-۱۷ مجموع یک سیگنال چیرپ درجه دو که از فرکانس ۲۰۰ هرتز شروع می‌شود تا فرکانس ۱۰۰ هرتز کاهش می‌یابد و دوباره به فرکانس ۲۰۰ هرتز بازمی‌گردد و یک سیگنال چیرپ محدب که از فرکانس ۱۰۰ هرتز شروع می‌شود تا فرکانس ۴۰۰ هرتز افزایش می‌یابد و مجدداً به فرکانس ۱۰۰ هرتز بازمی‌گردد، نشان داده شده است. در شکل ۲-۱۸ (الف) $|STFT|^2$ آن رسم شده است و در شکل ۲-۱۸ (ب) توزیع ویگنر-وایل این سیگنال رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود علاوه بر عبارات اصلی، عبارات

مقاطع در صفحه زمان-فرکانس وجود دارند.



شکل ۲-۱۷ مجموع دو سیگنال چیرپ درجه دو و محدب.



شکل ۲-۱۸ (الف) $|STFT|^2$ سیگنال شکل ۲-۱۷ (ب) توزیع ویگنر-وایل آن.

چون عبارات تداخلی شامل نوسانات مثبت و منفی هستند می‌توانند تا اندازه‌ای توسط هموار کردن^۱

^۱ smoothing

$WVD_x(t, f)$ توسط یک کرنل $\theta(t, f)$ حذف شوند [مالات، ۱۹۹۹].

$$WVD_x \theta(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} WVD_x(t', f') \theta(t, t', f, f') dt' df' \quad (۴۰-۲)$$

قدرت تفکیک زمان-فرکانس این توزیع وابسته به توزیع کرنل $\theta(t, f)$ در همسایگی t, f است. هنگام تضعیف عبارات متقاطع با یک کرنل هموارسازی، حفظ خواص مفید توزیع مهم است. کوهن^۱ [۱۹۶۶] یک دسته کلی از توزیع‌های زمان-فرکانس را معرفی کرد که خصوصیات تغییرناپذیری انتقال زمان و تلفیق^۲ فرکانسی را بصورت زیر ایفا می‌کند.

$$x(t) = g(t - u_0) \quad \Rightarrow \quad WVD_x(t, f) = WVD_g(t - u_0, f) \quad (۴۱-۲)$$

$$x(t) = \exp(i\xi_0 t) g(t) \quad \Rightarrow \quad WVD_x(t, f) = WVD_g(t, f - \xi_0) \quad (۴۲-۲)$$

اگر یک سیگنال در زمان یا فرکانس منتقل شود، توزیع انرژی آن نیز به همان میزان منتقل می‌شود. این شروع یک مطالعه مقارن از توزیع‌های زمان-فرکانس درجه دو بود که بعنوان یک میانگین وزن داده شده از توزیع ویگنر-وایل بدست آمد. نمایش‌های زمان-فرکانس درجه دو از دسته کوهن^۳ می‌تواند بعنوان انواع فیلتر شده از توزیع ویگنر-وایل تفسیر شوند [مالات، ۱۹۹۹].

۲-۵-۲ کاهش عبارات متقاطع با تابع کرنل

۲-۵-۲-۱ توزیع شبه ویگنر - وایل

همانطور که در بخش قبل بیان شد، توزیع ویگنر-وایل به دلیل حضور عبارات متقاطع در صفحه زمان-فرکانس دارای محدودیت کاربرد است، بطوریکه امروزه کمتر در کاربردهای تبدیل‌های زمان-فرکانس نامی از

¹ Cohen

² modulation

³ Cohen's class

این توزیع به میان می‌آید. از طرفی توزیع ویگنر-وایل، توزیع انرژی را در صفحه زمان-فرکانس تولید می‌کند، به همین دلیل می‌تواند در زمینه‌های مختلف کاربردهای فراوانی داشته باشد. چنانچه قبلاً بیان شد، عبارات متقاطع خاصیت نوسانی دارند؛ بنابراین هموارسازی می‌تواند یک راه مناسب برای کاهش عبارات متقاطع باشد. چندین روش برای کاهش عبارات متقاطع پیشنهاد شده است [کلاسن^۱ و مکین بروکر^۲، ۱۹۸۰؛ چویی و ویلیامز، ۱۹۸۹؛ ژئونگ و ویلیامز، ۱۹۹۲؛ کوهن، ۱۹۹۵؛ فلاندرین، ۱۹۹۹]. استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل یکی از روش‌هایی است که به کاهش این عبارات متقاطع کمک می‌کند. در این روش از یک پنجره هموارسازی استفاده می‌شود که تا حد زیادی عبارات متقاطع را کاهش می‌دهد. رابطه توزیع شبه ویگنر-وایل به صورت زیر می‌باشد [بواشاش، ۲۰۰۳].

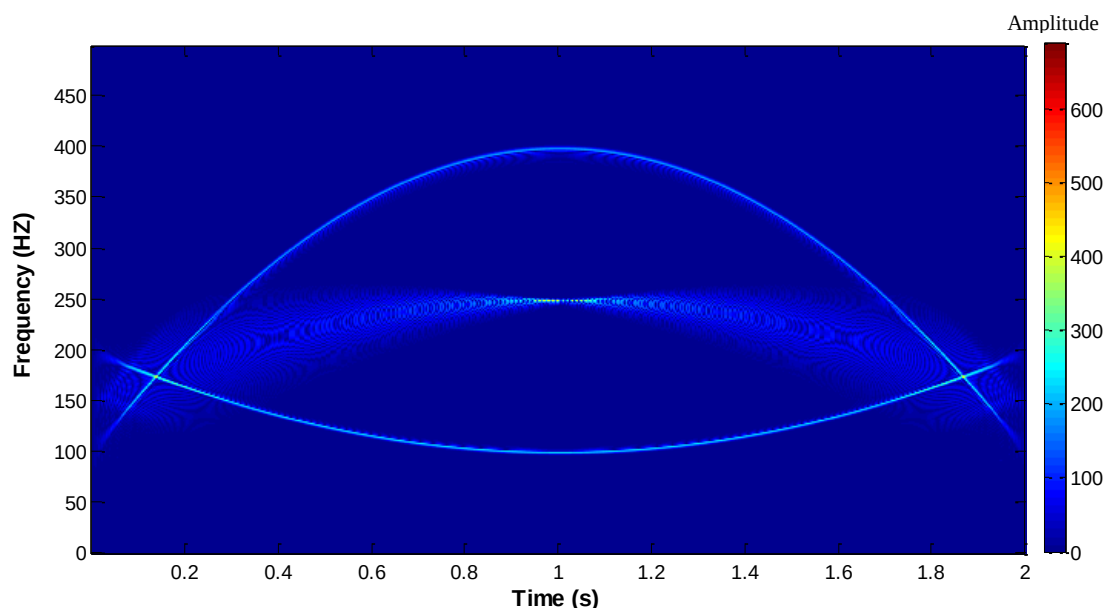
$$PWVD_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (2-43)$$

که در آن $h(\tau)$ تابع هموار کننده می‌باشد. در این توزیع هموارشدگی تنها در یک جهت و در راستای فرکانس انجام می‌گیرد در صورتی که عبارات متقاطع در هر دو جهت زمان و فرکانس ایجاد می‌شوند. بنابراین با استفاده از این روش با توجه به راستای هموارشدگی فقط آن دسته از عبارات متقاطع که راستای نوسان آنها هم‌راستای محور فرکانس است، تضعیف می‌شوند و عبارات متقاطع در جهت دیگر باقی می‌مانند. علاوه بر این هرچند استفاده از پنجره هموارسازی می‌تواند قسمتی از عبارات متقاطع را کاهش دهد، اما از طرفی باعث گسترش تمرکزهای اصلی انرژی می‌شود و قدرت تفکیک نمایش زمان-فرکانس کاهش می‌یابد که مطلوب نیست.

در شکل ۲-۱۹ توزیع شبه ویگنر-وایل سیگنال شکل ۲-۱۷ رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود توزیع شبه ویگنر-وایل قسمتی از عبارات متقاطع را حذف می‌کند و بقیه عبارات متقاطع در صفحه زمان-فرکانس حضور دارند.

¹ Claasen

² Mecklen-brouker



شکل ۲-۱۹ توزیع شبه ویگنر-وایل سیگنال شکل ۲-۱۷.

۲-۵-۲-۲ توزیع شبه ویگنر - وایل هموار شده

چنانچه در بخش قبل بیان شد، استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل تنها قسمتی از عبارات متقاطع را که راستای نوسان آنها هم‌راستای محور فرکانس است، تضعیف می‌کند و همچنان قسمتی از عبارات متقاطع باقی می‌مانند. به‌منظور بهبود بیشتر توزیع ویگنر-وایل از روش دیگری استفاده می‌شود که این عبارات متقاطع را در هر دو جهت زمان و فرکانس کاهش دهد. توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده [آوگر^۱ و همکاران، ۱۹۹۶] از دو پنجره هموارسازی زمانی و فرکانسی استفاده می‌کند و در نتیجه عبارات متقاطع را در هر دو جهت زمان و فرکانس تضعیف می‌کند. وقتی از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده استفاده می‌شود، عبارات متقاطعی که بصورت عمود بر محور فرکانس و زمان نوسان می‌کنند، تضعیف می‌شوند و در مقابل کاهش قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی اتفاق می‌افتد.

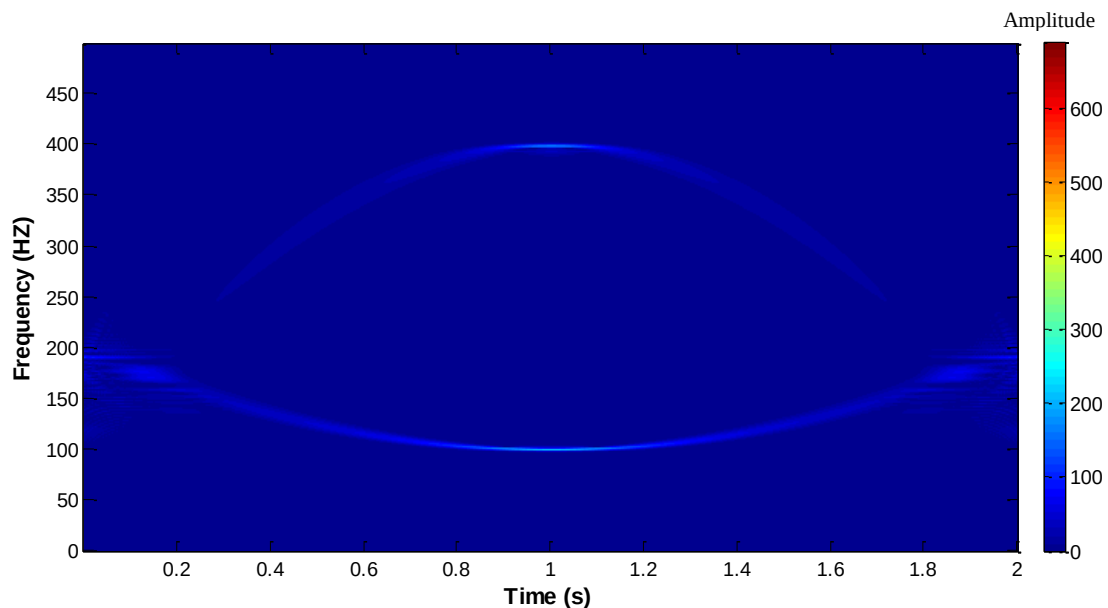
رابطه توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده به‌صورت زیر تعریف می‌شود [وو و لیو، ۲۰۰۹].

¹ Auger

$$SPWVD_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) g(v) h(\tau) e^{-j2\pi f \tau} dv d\tau \quad (2-44)$$

در اینجا τ تاخیر زمانی و v تاخیر فرکانسی است. $g(v)$ پنجره هموارسازی زمانی، $h(\tau)$ پنجره هموارسازی فرکانسی در شرایطی است که $g(v)$ و $h(\tau)$ هر دو توابع حقیقی قرینه هستند و $g(0) = h(0)$ [استازوسکی^۱ و همکاران، ۱۹۹۷؛ بایدر^۲ و بال^۳، ۲۰۰۱]. تحت این شرایط، تضعیف عبارات متقاطع با انتخاب نوع این دو پنجره بصورت مستقل امکانپذیر است.

برای شرح بهتر توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده در شکل ۲-۲۰ توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده سیگنال شکل ۲-۱۷ رسم شده است. در این شکل عبارات متقاطع بطور کامل حذف شده‌اند اما تمرکز توزیع انرژی کاهش یافته و باعث کاهش قدرت تفکیک زمان-فرکانس شده است.



شکل ۲-۲۰ توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده سیگنال شکل ۲-۱۷.

¹ Staszewski

² Baydar

³ Ball

فصل سوم

توزیع با تداخل کاهش یافته

۱-۳ توزیع‌های دسته کوهن

تبدیل‌های دسته کوهن یک شیوه از تبدیل‌های زمان-فرکانس است که با جایگذاری تعداد نامحدودی از توابع کرنل متفاوت در معادله اصلی می‌توان عضو از تبدیل‌های دسته کوهن را تولید کرد. مثال‌های مشخصی از تبدیل‌های دسته کوهن شامل اسپکتروگرام^۱، توزیع ویگنر-وایل و اخیراً توزیع با تداخل کاهش یافته است. تبدیل‌های زمان-فرکانس دسته کوهن عموماً به توزیع‌های زمان-فرکانسی ارجاع می‌شوند که توزیع در ارتباط با تابع چگالی انرژی و یا انرژی زمان-فرکانس باشد. توزیع‌های زمان-فرکانسی که عضو دسته کلی کوهن هستند، در پردازش سیگنال بسیار مورد توجه می‌باشند. با این حال برای سیگنال‌های مرکب، ساختارهای دوسویه^۲ ذاتی دسته کوهن محدودیت‌هایی دارند که مانع تفسیر مستقیم توزیع انرژی می‌شود.

همانطور که بیان شد، توزیع ویگنر-وایل یک روش قوی برای آنالیز سیگنال‌های غیرپایا است. این توزیع یک نمایش با قدرت تفکیک بالای زمانی و فرکانسی ایجاد می‌کند و خصوصیات مهمی دارد که در فصل قبل ذکر شد. با این حال توزیع انرژی ویگنر-وایل همیشه از وجود عبارات متقاطع رنج می‌برد. این توزیع گاهی مقادیری را در صفحه زمان-فرکانس ایجاد می‌کند که منطبق بر توزیع صحیح انرژی در صفحه زمان-فرکانس نیست. این حالت مخصوصاً برای سیگنال‌های مرکب رخ می‌دهد. همانطور که گفته شد، این مقادیر مصنوعی عبارات متقاطع نامیده می‌شوند، چون در جاییکه دو مولفه یا بیشتر وجود داشته باشد، رخ می‌دهند و باهم تداخل می‌کنند. این عبارات مانع تفسیر دقیق می‌شوند. یک راه حل اصلی برای این مشکل هنگامی بوجود آمد که شرایط مورد نیاز برای کرنلی که عبارات متقاطع را کمینه می‌کرد، شناخته شد و توسط چویی و ویلیامز [۱۹۸۹]، ژائو^۳ و همکاران [۱۹۹۰]، لوگلین^۴ و همکاران [۱۹۹۲]، ژئونگ و ویلیامز

^۱ spectrogram

^۲ bilinear

^۳ Zhao

^۴ Loughlin

(۱۹۹۲) و کانینگهام^۱ و ویلیامز (۱۹۹۳) تکمیل شد.

دسته کلی توزیع‌های کوهن می‌تواند بوسیله هموارسازی یا فیلتر کردن ویگنر-وایل در زمان و فرکانس بدست آید و برای یک سیگنال $x(t)$ می‌تواند بصورت زیر تعریف شود [حسن‌پور^۲، ۲۰۰۴].

$$TFR_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j2\pi v(t-u)} g(v, \tau) x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} dv du d\tau \quad (1-3)$$

که $g(v, \tau)$ یک کرنل دو بعدی است که خصوصیات توزیع را تعیین می‌کند. با قرار دادن $g(v, \tau) = 1$ ، $TFR_z(t, f)$ توزیع ویگنر-وایل را نمایش می‌دهد.

توزیع با تداخل کاهش یافته یا RID، یک گروه از توزیع‌های دسته کوهن است که می‌تواند با استفاده از یک سری از قیدها ایجاد شود. RID می‌تواند با استفاده از ترکیب خطی وزنی تبدیل فوریه زمان کوتاه، محاسبه شود. این روش باعث کاهش عبارات متقاطع می‌شود در حالیکه تعداد زیادی از خصوصیات مطلوب توزیع ویگنر-وایل را حفظ می‌کند [ویلیامز، ۲۰۰۱].

RID معیارهای زیر را برآورده می‌کند:

- (۱) حقیقی بودن توزیع
- (۲) خصوصیات حاشیه‌ای زمانی/فرکانسی
- (۳) فرکانس لحظه‌ای^۳
- (۴) قابل دسترس بودن تاخیر گروه^۴ و پشتیبانی زمانی/فرکانسی

توزیع‌های با تداخل کاهش یافته با استفاده از تبدیل‌های زمان-فرکانس درجه دو برای غلبه بر چندین

¹ Cunningham

² Hassanpour

³ instantaneous frequency

⁴ group delay

مشکل ویگنر-وایل طراحی شده‌اند. مثال‌هایی از کرنل‌های RID، شامل توزیع بورن-جوردن^۱ BJD، توزیع دوجمله‌ای اصلاح شده^۲ MBD، توزیع ژائو اطلس مارک^۳ ZAM، توزیع چویی-ویلیامز^۴ CWD و توزیع دوجمله‌ای^۵ BD می‌باشد. کرنل‌های مختلف تحت شرایط خاصی ارزشمند هستند، از این‌رو برای کاربردهای خاصی مناسب هستند. روابط کرنل‌های مختلف این توزیع‌ها در جدول ۱-۳ نشان داده شده است. پارامتر-های α و σ و a و β حقیقی و مثبت هستند.

جدول ۱-۳ انواع توزیع‌های زمان-فرکانس و کرنل‌های منطبق بر آنها [حسن‌پور، ۲۰۰۴].

Name	$g(v, \tau)$
Wigner-Ville (WVD)	1
Sinc or Born-Jordan (BJ)	$\text{sinc}(2av\tau)$
Exponential or Choi-Williams (CW)	$e^{-v^2\tau^2/\sigma}$
Windowed sinc or Zhao-Atlas_Marks (ZAM)	$\omega(\tau) \frac{a}{2 \tau } \text{sinc} \frac{2v\tau}{a}$
B-distribution (BD)	$ \tau ^\beta \cosh^{-2\beta} v$
Modified B-distribution (MBD)	$\frac{\cosh^{-2\beta} v}{\int_{-\infty}^{+\infty} \cosh^{-2\beta} \xi d\xi}$

¹ Born-Jordan

² modified B-distribution

³ Zhao-Atlas-Marks

⁴ Choi-Williams

⁵ B-distribution

۲-۳ تابع ابهام

برای درک کامل روابط بین t و f دانستن مفهوم تابع ابهام و حوزه ابهام ضروری است. اگر $\hat{x}(f)$ تبدیل فوریه سیگنال $x(t)$ باشد آنگاه می‌توان نوشت [بواشاش، ۲۰۰۳].

$$\hat{x}(f) = F[x(t)] = \int x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad x(t) = F^{-1}[\hat{x}(f)] = \int \hat{x}(f)e^{j2\pi ft} df \quad (۲-۳)$$

اگر $R_x(t, \tau)$ خودهمبستگی لحظه‌ای سیگنال $x(t)$ باشد، آنگاه می‌توان نوشت [بواشاش، ۲۰۰۳].

$$R_x(t, \tau) = x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \quad (۳-۳)$$

که x^* مزدوج مختلط x است؛ در این صورت توزیع ویگنر-وایل از سیگنال $x(t)$ ، تبدیل فوریه $R_x(t, \tau)$ بر حسب متغیر تاخیر τ است.

$$\begin{aligned} WVD_x(t, f) &= F_\tau \left[x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right] \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right)e^{-j2\pi f\tau} d\tau = F_\tau[R_x(t, \tau)] \end{aligned} \quad (۴-۳)$$

از طرفی تابع ابهام بصورت عکس تبدیل فوریه $R_x(t, \tau)$ بر حسب متغیر v است [بواشاش، ۲۰۰۳].

$$\begin{aligned} AF_x(v, \tau) &= F_{t \rightarrow v}^{-1} \left[x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right] \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right)e^{j2\pi vt} dv = F_{t \rightarrow v}^{-1}[R_x(t, \tau)] \end{aligned} \quad (۵-۳)$$

بنابراین $WVD_x(t, f)$ و $AF_x(v, \tau)$ بوسیله تبدیل فوریه دو بعدی به هم مربوط هستند. در واقع دو حوزه زمان-فرکانس (t, f) و حوزه ابهام (v, τ) با هم در ارتباط هستند.

$$WVD_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} AF_x(v, \tau) e^{-j2\pi(tv+ft)} dv d\tau \quad (۶-۳)$$

این رابطه با اعمال یک کرنل $g(v, \tau)$ تغییر می‌کند و رابطه زیر از آن بدست می‌آید.

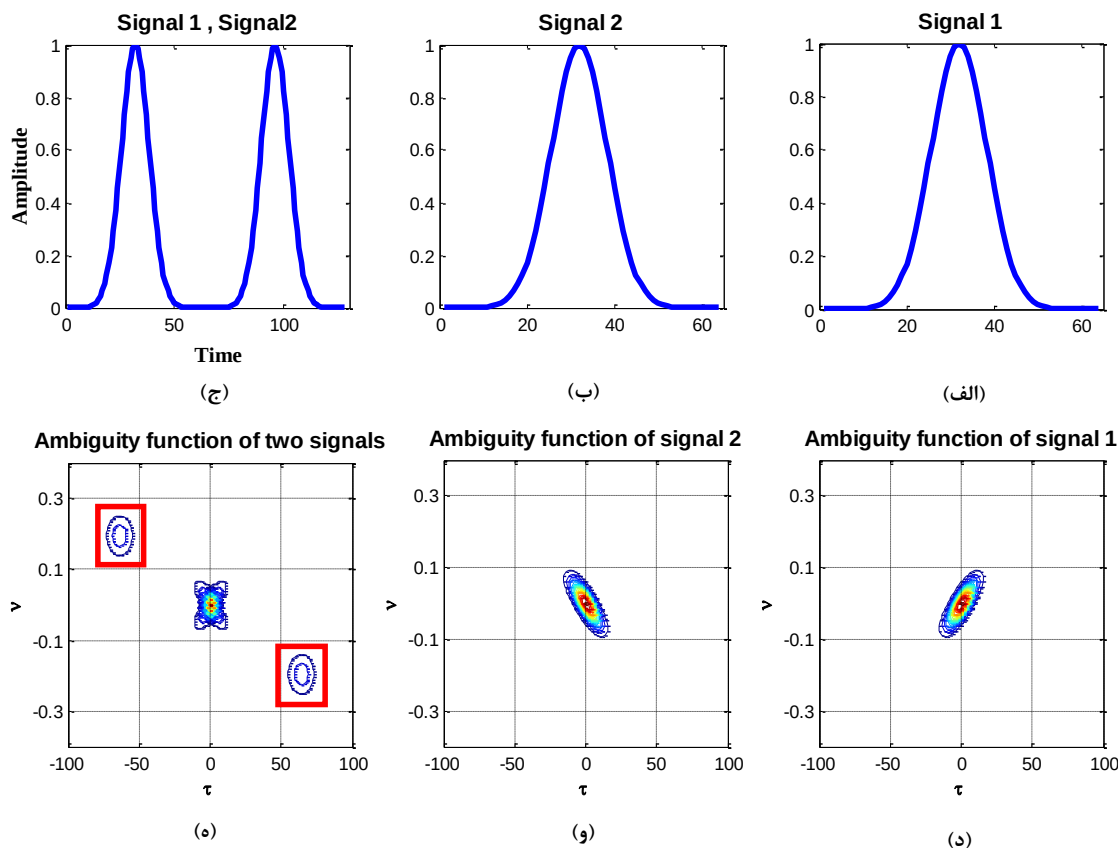
$$TFR_x(t, f, g) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} g(v, \tau) AF_x(v, \tau) e^{-j2\pi(tv+f\tau)} dv d\tau \quad (۷-۳)$$

رابطه (۷-۳) عبارتی از توزیع‌های درجه دوم دسته کوهن است. بنابراین هنگامیکه ویگنر-وایل می‌تواند بوسیله یک تبدیل فوریه دوگانه از تابع ابهام بدست بیاید، هر عضوی از دسته توزیع‌های درجه دوم می‌تواند ابتدا بوسیله ضرب کرنل $g(v, \tau)$ در تابع ابهام و سپس انجام تبدیل فوریه دوگانه بدست بیاید [بواشاش، ۲۰۰۳].

با توجه به رابطه (۵-۳) می‌توان تابع ابهام سیگنال مرکب $x(t) = \sum_{k=1}^k x_k(t)$ را به صورت زیر تعریف کرد [فلاندرین، ۱۹۸۴].

$$AF_x(v, \tau) = \sum_{k=1}^k AF_{x_k}(v, \tau) + \sum_{k \neq m} \sum_m AF_{x_k x_m}(v, \tau) \quad (۸-۳)$$

که عبارت آخر مستقیماً منطبق بر عبارات متقاطع ویگنر-وایل است. نکته قابل توجه در اینجا است که در رابطه (۸-۳) امکان جداسازی بین مولفه‌های حقیقی و برهم‌کنش بین آنها در صفحه (v, τ) که همان عبارات متقاطع هستند، وجود دارد. بایستی توجه داشت که مولفه‌های اصلی تابع ابهام اساساً در نزدیکی مبدا قرار دارند؛ در حالیکه مولفه‌های متقاطع تابع ابهام در فاصله‌ای دورتر از مبدا قرار دارند که این فاصله در ارتباط مستقیم با فاصله بین مولفه‌های اصلی در صفحه زمان-فرکانس است. بنابراین یک مقدار بزرگتر کرنل برای مقادیر تابع ابهام در نزدیکی مبدا حوزه ابهام ضروری می‌نماید. به بیان دیگر تابع کرنل باید بصورت یک فیلتر پایین‌گذر دو بعدی طراحی شود. بعد از فیلتر کردن عبارات متقاطع، تبدیل فوریه دوبعدی برای انتقال سیگنال از حوزه ابهام به حوزه زمان-فرکانس اعمال می‌شود [فلاندرین، ۱۹۸۴]. در شکل ۱-۳ تابع ابهام یک سیگنال مرکب که از دو سیگنال تشکیل شده، نشان داده شده است.



شکل ۱-۳ (الف) سیگنال خطی FM با دامنه گوسی از فرکانس 0.2 تا 0.5 ، (ب) سیگنال خطی FM با دامنه گوسی از فرکانس 0.3 تا صفر، (ج) سیگنال متشکل از قسمت (الف) و (ب)، (د) تابع ابهام قسمت (الف)، (و) تابع ابهام قسمت (ب)، (ه) تابع ابهام قسمت (ج).

همانطور که مشاهده می‌شود، در شکل ۱-۳ (د) و (و) تابع ابهام دو سیگنال مجزا در مبدا متمرکز شده است در حالیکه در شکل ۱-۳ (ه) دیده می‌شود که علاوه بر عبارات اصلی که در مبدا تابع ابهام متمرکز شده‌اند، در فاصله‌ای دور از مبدا نیز عباراتی وجود دارند که با مربع‌های قرمز مشخص شده‌اند و در واقع همان عبارات متقاطع می‌باشند. حال با اعمال یک فیلتر دو بعدی پایین گذر می‌توان عبارات متقاطع را حذف کرد. امکان جداسازی مولفه‌های اصلی و متقاطع در صفحه ابهام این امکان را فراهم می‌کند که بتوان عبارات اصلی را با تقریب خوبی حفظ کرد و علاوه بر آن عبارات متقاطع را کاهش داد. پس از اعمال فیلتر و حذف عبارات متقاطع، تبدیل فوریه دو گانه اعمال می‌شود و به این ترتیب توزیع با تداخل کاهش یافته

بدست می‌آید.

۳-۳ انتخاب کرنل برای RID

اکنون شرایطی برای کرنل در نظر گرفته می‌شود که عبارات متقاطع برای سیگنال‌های مرکب را کاهش می‌دهد. این کرنل‌ها توزیع با تداخل کاهش یافته را تولید می‌کنند. عبارت توزیع با تداخل کاهش یافته توسط ویلیامز بوجود آمد. ویلیامز، ژئونگ و کانینگهام مفهوم طراحی کرنل را معرفی کردند و روش کار کلی برای تولید توزیع‌های با تداخل کاهش یافته را فرمول‌بندی کردند [کوهن، ۱۹۹۵].

با توجه به رابطه (۱-۳) می‌توان نوشت.

$$TFR_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} M(v, \tau) e^{-j2\pi v\tau - j2\pi f\tau} d\tau dv \quad (9-3)$$

که

$$M(v, \tau) = g(v, \tau) \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{j2\pi v\tau} dt = g(v, \tau) AF(v, \tau) \quad (10-3)$$

با توجه به روابط فوق، توزیع زمان-فرکانس از تبدیل فوریه حاصل ضرب تابع کرنل در تابع ابهام بدست می‌آید. همانطور که گفته شد، مولفه‌های عبارات متقاطع در تابع ابهام، در فاصله‌ای دور از مبدا در صفحه ابهام (v, τ) و مولفه‌های اصلی، در نزدیکی مبدا این صفحه قرار گرفته‌اند. بنابراین اگر تابع کرنل به گونه‌ای انتخاب شود که در صفحه ابهام (v, τ) مقادیر نزدیک مبدا را بدون تغییر باقی بگذارد و مقادیر دور از مبدا را تضعیف کند، آنگاه بعد از تبدیل فوریه، توزیع زمان-فرکانس بدست آمده، علاوه بر حفظ نقاط قوت توزیع اولیه (توزیع ویگنر-وایل) جملات متقاطع آن را نیز تضعیف نموده است. به عبارت دیگر یک توزیع انرژی در صفحه زمان-فرکانس بدست می‌آید که دارای قدرت تفکیک بالای زمانی و فرکانسی می‌باشد و در عین حال جملات متقاطع آن تا حد ممکن تضعیف شده‌اند.

با توجه به مطالب گفته شده می‌توان به این نتیجه رسید که تابع کرنل بایستی شرط زیر را دارا باشد

[کوهن، ۱۹۹۵].

$$\begin{aligned} g(v, \tau) &\leq 1 & \text{for } v\tau &\gg 0 \\ g(v, \tau) &= 1 & \text{for } v\tau &\approx 0 \end{aligned} \quad (11-3)$$

مطابق مطالب بیان شده، کرنل در توزیع RID بایستی یک فیلتر دو بعدی پایین‌گذر باشد [ویلیمز، ۱۹۹۲].

یکی از مهم‌ترین کرنل‌هایی که در توزیع RID استفاده می‌شود و توزیع RID بدست آمده از این کرنل دارای قدرت تفکیک خوبی در صفحه زمان-فرکانس است، کرنل دو جمله‌ای است [بارکات^۱ و بواشاش، ۲۰۰۱]. این کرنل به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود [بواشاش، ۲۰۰۳].

$$g_B(v, \tau) = |\tau|^\beta \cosh^{-2\beta} v \quad (12-3)$$

که β یک پارامتر حقیقی و مثبت است و درجه هموارسازی را کنترل می‌کند. توزیع RID بدست آمده با این کرنل را توزیع دوجمله‌ای می‌نامند. بعدها تفسیری در کرنل توزیع دوجمله‌ای ایجاد گردید و آن را مستقل از مقدار τ بدست آوردند. کرنل جدید که دوجمله‌ای اصلاح شده نامیده می‌شود به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود [حسین^۲ و بواشاش، ۲۰۰۰ a ؛ حسین و بواشاش، ۲۰۰۰ b].

$$g_{MB}(v, \tau) = G_\beta(v) = \frac{\cosh^{-2\beta} v}{\int_{-\infty}^{+\infty} \cosh^{-2\beta} \xi d\xi} \quad (13-3)$$

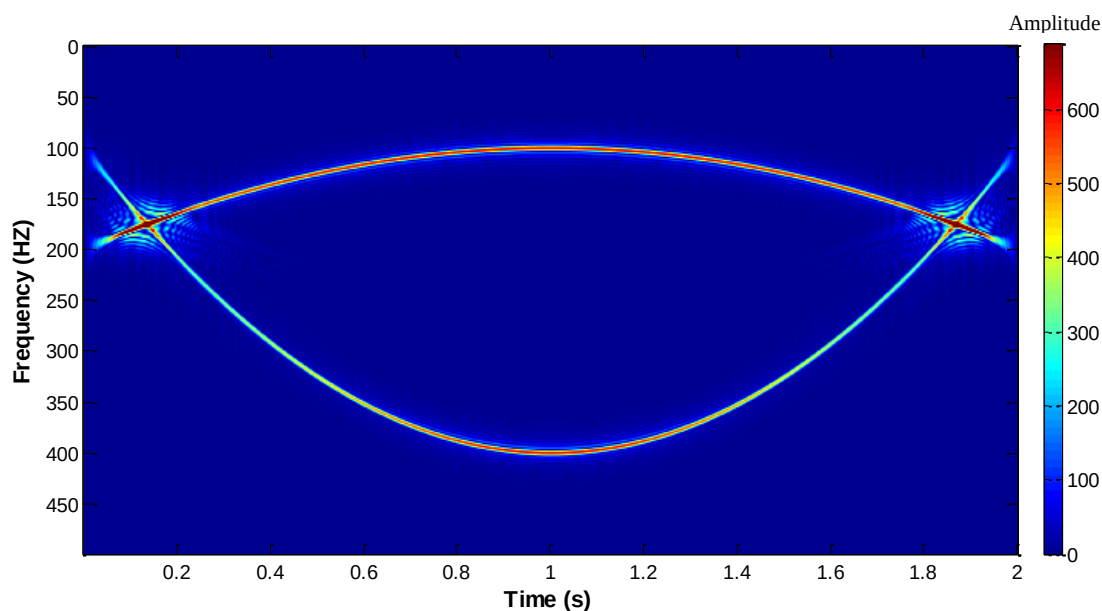
که در آن، β یک پارامتر حقیقی و مثبت است و مخرج نرمال‌سازی را انجام می‌دهد. توزیع RID با استفاده از این کرنل را توزیع دو جمله‌ای اصلاح شده می‌نامند.

در شکل ۲-۳ توزیع با تداخل کاهش یافته سیگنال شکل ۲-۱۷ با استفاده از توزیع دو جمله‌ای اصلاح شده، رسم شده است. همانطور که به وضوح مشاهده می‌شود در مقایسه با توزیع شبه ویگنر-وایل و توزیع

¹ Barkat

² Hussain

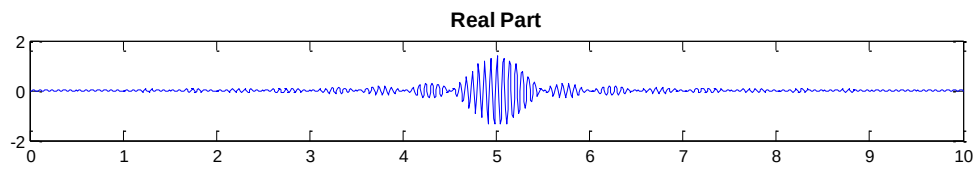
شبه ویگنر-وایل هموار شده، این توزیع از قدرت تفکیک بالاتری برخوردار است. علاوه بر آن عبارات متقاطع را در هر دو جهت زمان و فرکانس به خوبی کاهش داده است.



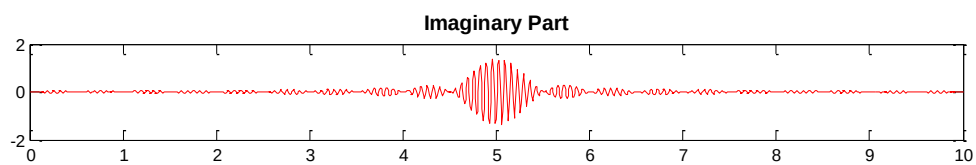
شکل ۲-۳ توزیع با تداخل کاهش یافته سیگنال شکل ۲-۱۷ با استفاده از کرنل توزیع دو جمله‌ای اصلاح شده.

در شکل ۳-۳ دو موجک شانون^۱ مختلط ۱۵ هرتز و ۳۰ هرتز رسم شده است که در دو زمان مختلف با هم جمع شده‌اند و یک سیگنال مرکب بدست آمده است. در شکل ۳-۴ نتیجه توزیع ویگنر-وایل، توزیع شبه ویگنر-وایل، توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و توزیع با تداخل کاهش یافته دو جمله‌ای اصلاح شده سیگنال رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، می‌توان به راحتی تشخیص داد که توزیع با تداخل کاهش یافته دو جمله‌ای اصلاح شده، دارای قدرت تفکیک بالا و در عین حال دارای کمترین میزان عبارات متقاطع می‌باشد.

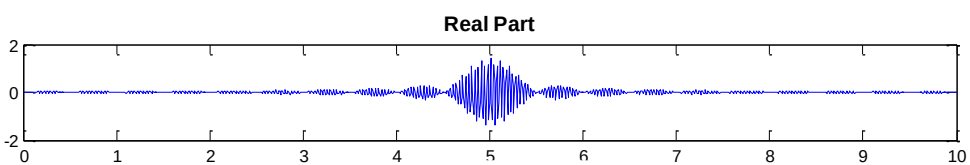
¹ Shannon



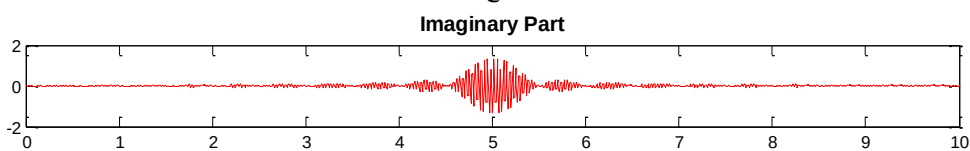
(الف)



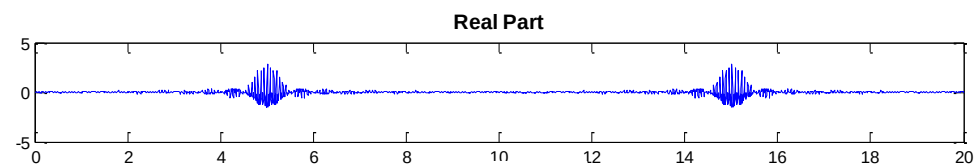
(ب)



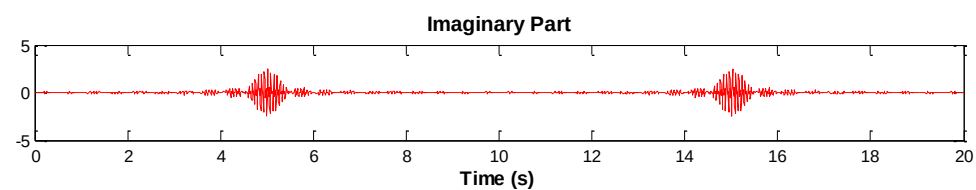
(ج)



(د)

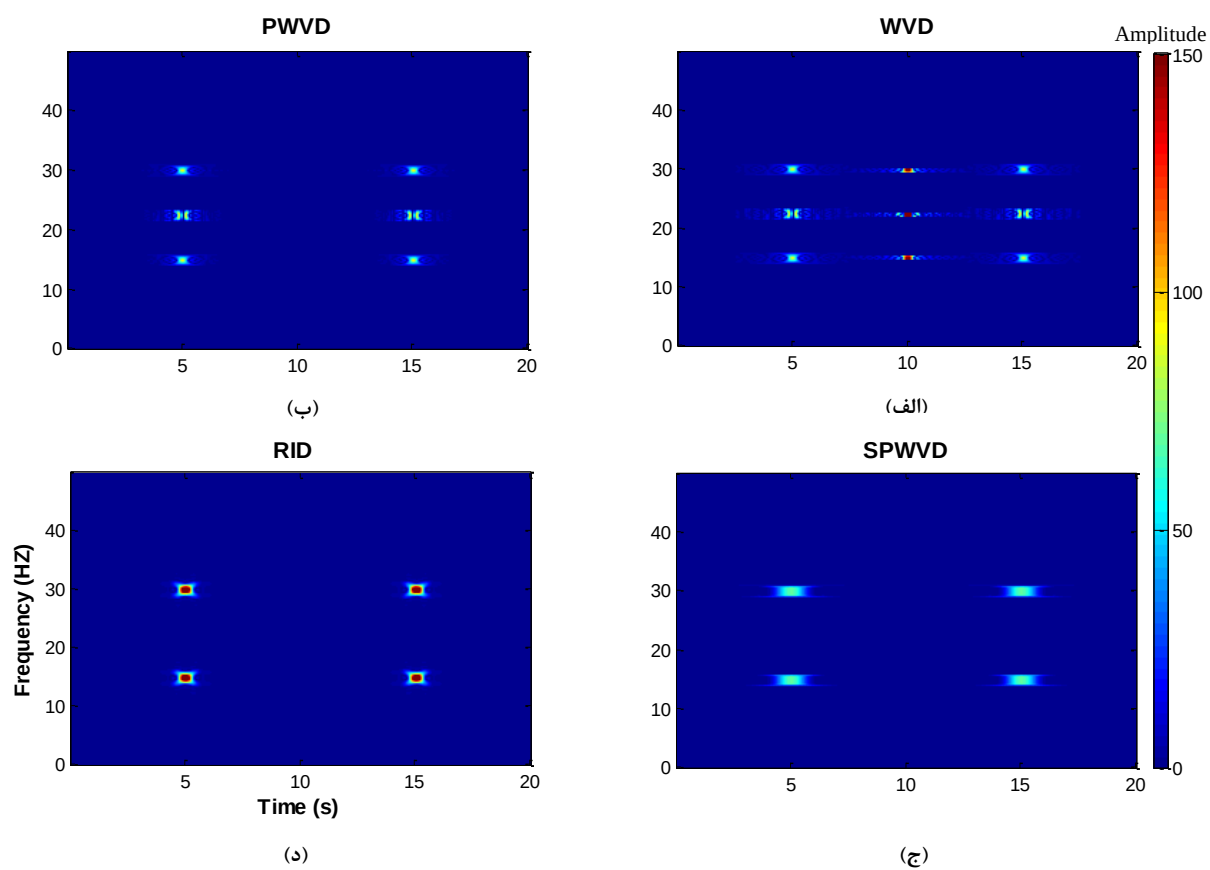


(و)



(ه)

شکل ۳-۳ (الف) قسمت حقیقی موجک شانون مختلط با فرکانس ۱۵ هرتز، (ب) قسمت موهومی موجک شانون مختلط با فرکانس ۱۵ هرتز، (ج) قسمت حقیقی موجک شانون مختلط با فرکانس ۳۰ هرتز، (د) قسمت موهومی موجک شانون مختلط با فرکانس ۳۰ هرتز، (و) قسمت حقیقی مجموع دو موجک، (ه) قسمت موهومی مجموع دو موجک.



شکل ۳-۴ توزیع زمان-فرکانس سیگنال شکل ۳-۳، (الف) توزیع ویگنر-وایل، (ب) توزیع شبه ویگنر-وایل، (ج) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده، (د) توزیع با تداخل کاهش یافته دو جمله‌ای اصلاح شده.

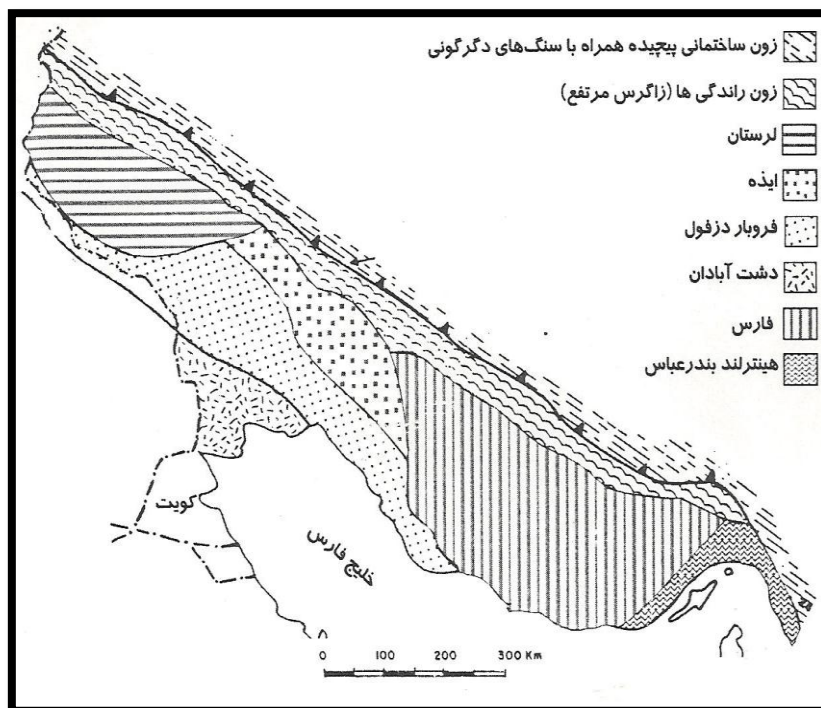
فصل چهارم

زمین شناسی مناطق مورد مطالعه

۱-۴ منطقه مورد مطالعه لرستان

۱-۱-۴ موقعیت جغرافیایی و وضعیت ساختمانی فروافتادگی دزفول

فروافتادگی دزفول در جنوب غربی راندگی اصلی زاگرس واقع شده است. به صورت کلی تر فروافتادگی دزفول به ناحیه‌ای از حوضه زاگرس اطلاق می‌شود که در آن سازند آسماری فاقد رخنمون است. فرو افتادگی دزفول به وسیله سه پدیده مهم ساختمانی احاطه شده از شمال به یک زون خمشی^۱ با جهتی شرقی-غربی به نام خمش بالارود، در حد شمال شرقی به زون گسلی دیگری به نام جبهه کوهستانی با راستای شمال غربی- جنوب شرقی و در حد شرقی-جنوب شرقی به این زون پیچیده گسلی با امتداد شمالی جنوبی به نام زون گسلی کازرون محدود می‌گردد. اکثر میدان‌های نفتی ایران در ناحیه فروافتادگی دزفول قرار گرفته‌اند [مطیعی، ۱۳۷۳].



شکل ۱-۴ موقعیت فروافتادگی دزفول [مطیعی، ۱۳۷۳].

¹ Flexure Zone

همانطور که گفته شد فرو افتادگی دزفول توسط پدیده مهم ساختمانی محصور شده است که به لحاظ ساختمانی، زمین شناسی، تکتونیکی از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

وضعیت گسل بالارود: زون گسلی شامل یک زون پیچیده ساختمانی است که فروافتادگی دزفول در دامنه جنوبی آن واقع شده و بصورت جانبی به دو زون دیگر غربی-شمال غربی و شرقی-جنوب شرقی تبدیل شده است. گفته می‌شود که مراحل ابتدایی کوهزایی زاگرس در لرستان مستقل از فروافتادگی دزفول بوده است و در نتیجه هر دو نیرو به صورت چپ‌گرد به رسوبات وارد شده‌اند و سبب شکل‌گیری تاقدیس‌ها و دیگر خمش‌های محلی شده‌اند. کلیه نیروهای وارد شده به صورت افقی نیستند و از جمله مشخصات اصلی خمش بالارود، افت ساختمانی در سمت جنوبی است.

وضعیت گسل جبهه کوهستانی: این گسل از نظر ساختمانی بسیار متغیر است به خصوص در منطقه بین کوه بنگستان و زون گسله کازرون، این خمش در قسمت‌های شمالی فروافتادگی دزفول به صورت پدیده‌ای راست‌گرد عمل کرده است. در حالیکه در نواحی جنوبی این خمش به وسیله دو فروافتادگی کوچکتر قطع شده است که به نام فروافتادگی دهدشت و فروافتادگی شهرنجان خوانده می‌شوند. هر یک از این فروافتادگی‌ها در حاشیه جنوب غربی خود بوسیله تاقدیس‌هایی با بیرون زدگی سازند آسماری محدود شده‌اند. امتداد گسل جبهه کوهستانی تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی است که ساختمان‌های واقع در بخش‌های غربی این پدیده دچار فروافتادگی شده‌اند و حد شمال شرقی فروافتادگی دزفول را تشکیل می‌دهند.

وضعیت زون گسلی کازرون: این زون گسلی سینوسی شکل است و امتداد آن تقریباً شمالی-جنوبی است که شامل کمربندی از گسل‌های امتدادی با طول تقریبی ۲۱۰ کیلومتر است. این کمربند گسلی به همراه ضامم اضافی دارای طول تقریبی ۵۰۰ کیلومتر است و مشابه بخشی از تراس زاگرس است. این زون گسلی از جنوب کوه دینار آغاز می‌شود و تا سواحل خلیج فارس (جنوب غرب بوشهر) ادامه دارد. این گسل تا بخش غربی قطر ادامه دارد و به همین سبب بنام گسل قطر-کازرون خوانده می‌شود.

۴-۱-۲ معرفی گروه بنگستان

آهک بنگستان به عنوان یک واحد چینه شناسی در سال ۱۹۵۹ به عنوان گروه بنگستان نام گذاری شده است، که شامل سازندهای کژدمی، سروک، سورگاه یا لافان و ایلام می‌باشد. پس از سازند آسماری، سازندهای گروه بنگستان دومین افق تولیدی جنوب غربی ایران محسوب می‌شوند. زمانی که سازندهای ایلام و سروک قابل تفکیک نباشند، مانند بخش میانی فروافتادگی دزفول، و یا قابل تفکیک باشند ولی دارای سطح سیال مشترکی باشند در این صورت مخازن ایلام و سروک تحت عنوان مخزن بنگستان خوانده می‌شوند. در غیر این صورت به صورت مخزن ایلام و مخزن سروک خوانده می‌شوند. ضخامت مخزن بنگستان به طور متوسط ۱۲۰۰ متر است که به وسیله سازندهای شیلی پابده و گورپی با ضخامت حدود ۵۰۰ متر، از مخزن بالایی خود سازند آسماری و به وسیله سازند شیلی کژدمی از سازند خامی تفکیک می‌گردد. به طور کلی تخلخل، تراوایی ماتریکسی، خواص سنگ و سیالات مخزن بنگستان به مراتب ضعیف‌تر از سازند آسماری است و گسترش شکستگی‌های طبیعی اثر غیر قابل انکاری در تولید ایفا می‌کنند. کمتر از یک سوم ذخایر نفت درجا کشف شده در جنوب غربی ایران در مخازن بنگستان انباشته شده است که در بیش از ۲۹ میدان کوچک و بزرگ پراکنده‌اند [مطیعی، ۱۳۷۳].

۴-۱-۲-۱ کرتاسه میانی

در زاگرس سازند کژدمی در بخش زیرین سکانس کرتاسه میانی بر روی ناپیوستگی هم‌شیب و یا به عبارت دیگر نبود رسوبگذاری نسبتاً کوتاه بر روی سازند داریان نهشته شده‌اند.

سازند سروک شامل بخشی از آهک‌های کرتاسه میانی است که در برش الگوی تنگه سروک و در یال جنوب غرب کوه بنگستان به ضخامت ۲۵۴/۵ متر اندازه‌گیری شده است. برش الگوی سازند سروک در تنگه سروک واقع در قسمت مرکزی دامنه جنوبی کوه بنگستان قرار گرفته و سن این سازند به سنومانین-تورونین نسبت داده شده است. بخش زیرین سازند سروک از ۲۵۰ متر آهک رسی دانه ریز خاکستری تیره با لایه بندی نودولار به همراه میان لایه مارن‌های آهکی خاکستری تیره آمونیت دار تشکیل یافته است و بخش

میانی شامل ۱۰۸ متر رسوبات کربناته گل سفید به صورت آهک توده‌ای حاوی نودول سیلیسی به رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای است. در ادامه این بخش ۴۰۸ متر آهک قهوه‌ای توده‌ای حاوی خرده‌های رودیست قرار گرفته و در بخش انتهایی ۴۲ متر آهک آهن دار قرار دارد [آقانباتی، ۱۳۸۳]. سازند سروک در زاگرس با دو رخساره کم عمق و عمیق ظاهر می‌شود. بخش کم عمق یا بخش مادود^۱ و بخش عمیق به نام بخش شیلی احمدی شناخته شده است.

- رخساره کم عمق شامل ۳۰۰ متر سنگ آهک رسی و سنگ آهک گل سفید است. لیتولوژی غالب این رخساره شامل سنگ آهک سفید رنگ توده‌ای حاوی چرت و رودیست است.

- در لرستان رخساره عمیق این سازند دیده می‌شود و شامل سنگ آهک مارنی ورسی تیره ونازک لایه است و اغلب حاوی مقادیر فراوان سنگواره‌های ریز پلانکتون است.

این سازند شامل ۶۱ تا ۱۲۲ متر آهک‌های ضخیم لایه به رنگ قهوه‌ای حاوی اوربیتولینا^۲ فراوان است. دو رخساره کم عمق و عمیق اغلب با هم حالت بین انگشتی دارند و وجود ناپیوستگی موازی سبب جدایش سروک پایینی (سنومانین) و سروک بالایی (تورونین) است [آقانباتی، ۱۳۸۳].

لیتولوژی این سازند عمدتاً از آهک‌های کرم، قهوه‌ای روشن، خاکستری اندکی رسی، گاهی آهک‌های گچی، آهک‌های چرتی و آهک‌های رسی خاکستری که در قاعده آن قرار می‌گیرد، تشکیل شده است. علاوه بر آن در قاعده سازند لایه‌هایی از شیل‌های تیره بیتومینه نیز دیده می‌شود. فوقانی‌ترین لایه‌های آهکی سازند سروک پیتیریتی شده‌اند، که ناشی از عملکرد سیالات آهن دار، به هنگام خروج رسوبات از آب در زمان تورنین هستند. همچنین حضور لایه‌هایی از آهک‌های پیتیریتی و گلوکنیتی در بخش میانی سازند می‌تواند حاکی از نبود موقتی رسوبگذاری باشد. طبق شواهد موجود مرز بین کژدمی و سروک در برخی از چاه‌ها تدریجی است. ضخامت متوسط سازند سروک در دزفول شمالی ۸۳۸ متر است [مطیعی، ۱۳۷۲].

سازند مادود (معادل سروک پایینی) در زمان سکون سطح دریا در سنومانین و سازند میشریف و سازند

^۱ Maudud mbr

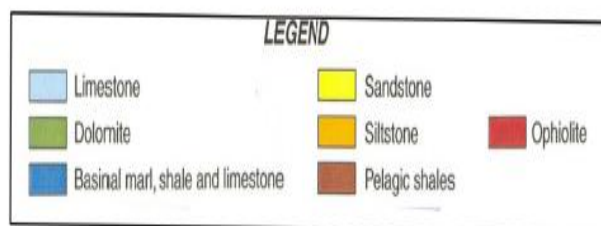
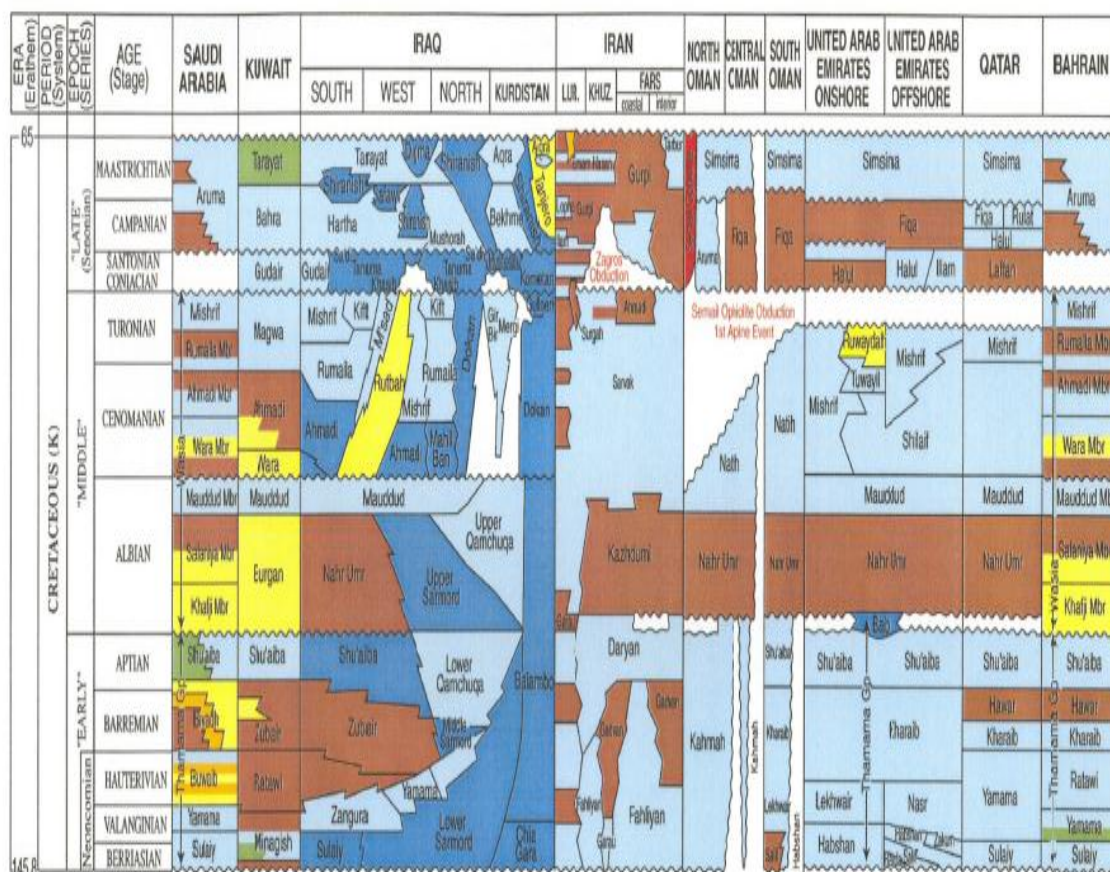
^۲ Orbitolina

شلیف در زمان پیشروی‌های کوچک در اواخر آلبین تا سنومانین نهشته شده است. سطح فرسایشی راس سازند میشریف از غرب به طرف شرق مشخص‌تر است که به احتمال زیاد حاصل گسل خوردگی در کوه‌های عمان به طرف مشرق است. بنابراین اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که بریده شدن سازند میشریف حاصل از تاثیر فاکتورهای تکتونیکی است و تغییرات سطح آب دریا نیز می‌تواند در بوجود آمدن این وضعیت سهم داشته باشد (شکل ۴-۲).

Chronostratigraphic chart

Cretaceous stratigraphy of the Persian Gulf Region

From: M. Al - Hussein (2000) preliminary chronostratigraphic chart of the Persian Gulf



AGE CHART 2000

شکل ۴-۲ تطابق لیتواستراتیگرافی و کروئوستراتیگرافی رسوبات کرتاسه حوضه خلیج فارس [مصطفایی، ۱۳۸۶].

۴-۱-۲-۲ کرتاسه پسین

کرتاسه بالایی در زاگرس شامل سازند سورگاه و معادل آن بخش بالایی لافان، سازند ایلام و سازند گورپی است. در کشورهای عربی هم‌جوار و شبه جزیره عربستان شامل گروه آروما^۱، بعد از دوره طولانی خروج از آب رسوبات در تورونین، کرتاسه بالایی در طی زمانی در حدود بیش از ۲۳ میلیون سال نهشته شده است.

نام سازند لافان از راس لافان در شمال شرق ساحل قطر گرفته شده است به لحاظ لیتولوژیکی این سازند شامل شیل‌های قهوه‌ای تا سبز حاوی فسیل است. سازند لافان در ابوظبی، عمان، خلیج فارس بر اثر فرسایش در کرتاسه میانی رسوبگذاری کرده است که متشکل از شیل‌های قهوه‌ای تا خاکستری و آهک‌های رسی است که تحت تاثیر آشفته‌گی‌های زیستی قرار گرفته و حاوی دولومیت و مارل است. در ناحیه فارس ساحلی یک واحد شیلی سازند سروک و ایلام را از یکدیگر جدا می‌کند که از نظر سنگ شناسی، سن و موقعیت چینه شناسی هم ارز سازند سورگاه در لرستان است. این بخش شیلی را معادل سازند شیلی لافان در قطر می‌دانند. هر دو حد بالایی و پایینی با سازند سروک و ایلام هم‌ساز می‌باشد، در قطر حد پایینی با سازند میشریف به صورت ناهم‌ساز و حد بالایی با بخش داساه^۲ از سازند هلول^۳ هم‌ساز می‌باشد [مصطفایی، ۱۳۸۶].

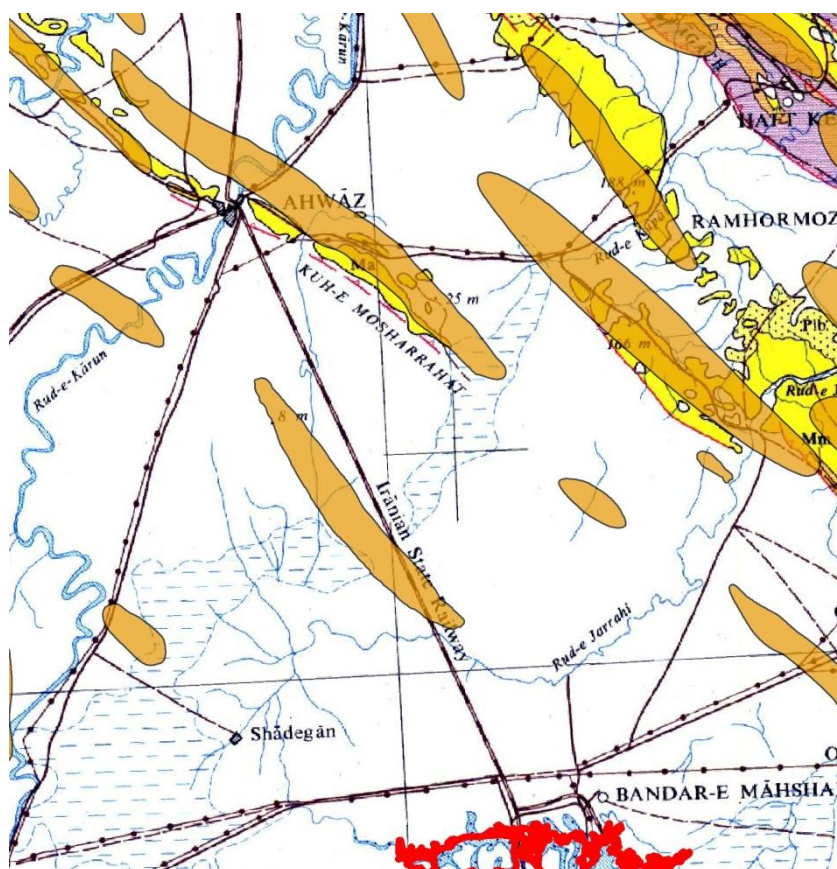
برش الگوی سازند ایلام در تنگه گراب یا شمال غرب کبیرکوه با ضخامت ۱۹۰ متر اندازه‌گیری شده است. این سازند به لحاظ ویژگی‌های لیتولوژیکی متشکل از سنگ‌های آهکی دانه ریز خاکستری با لایه‌بندی منظم است که در برخی از قسمت‌ها حالت بین لایه‌ای متورق به همراه شیل‌های نازک‌لایه دارد. در فارس و خوزستان به دلیل بروز یک ناپیوستگی بر روی سروک قرار می‌گیرد و توسط سازند گورپی پوشیده می‌شود [آقاناتی، ۱۳۸۳]. حد پایینی در محل برش نمونه به سازند سورگاه ناهم‌ساز است و حاوی مواد سیلتی و ماسه‌ای و ندول‌های هماتیت نیز می‌باشد. از لرستان به طرف نواحی جنوب شرقی، سورگاه از بین می‌رود و سازند ایلام به صورت ناهم‌ساز روی سازند سروک قرار می‌گیرد. ظاهراً حد بالایی با سازند گورپی هم‌ساز است

¹ Aruma

² Dassah

³ Halul

[ملکی، ۱۳۹۱]. در شکل ۳-۴ بیرون‌زدگی سازندهای منطقه نشان داده شده است.



شکل ۳-۴ بیرون‌زدگی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

۲-۴ زمین‌شناسی منطقه فارس

موقعیت جغرافیایی تاکدیس مورد مطالعه در منطقه فارس، تقریباً در ۱۷۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز قرار گرفته و دارای جهت شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. طول تاکدیس تقریباً ۷۰ کیلومتر و عرض آن در حدود ۱۵ کیلومتر می‌باشد. به نظر می‌رسد این تاکدیس از همه تاکدیس‌های اطراف خود جوانتر باشد. قدیمی‌ترین سازندی که مقدار کمی بیرون‌زدگی در این تاکدیس دارد سازند میشان می‌باشد.

۱-۲-۴ گروه دهرم

گروه دهرم خود به سه سازند فراقان، دالان و کنگان تقسیم شده است. پایین‌ترین قسمت سازند فراقان از

کنگلومرالهای کوارتزی درشت همراه با ریگ‌های نسبتاً گرد با قطری حدود ۵ سانتیمتر با زمینه‌ای نرم‌تر و سیمان سیلیسی تشکیل شده است، روی این کنگلومرا شن‌های دانه متوسط تا درشت، طبقات متقاطع شن کوارتزی با سیمانی سست و خرد شده و در اکثر محل‌ها با تخلخل خوب میان دانه‌ای قرار گرفته است. باقی مانده این سازند از پالمه سنگ‌های رنگارنگ و در میان آنها طبقات شن کوارتزی دانه ریز تا متوسط تشکیل شده است. سازند دالان روی سازند فراقان نشسته و متشکل از طبقات آهکی و تبخیری پرمین است. سازند دالان دارای دو لیتولوژی اصلی رسوبات کربناته و تبخیری است و بدین ترتیب به یک بخش رسمی و دو بخش غیر رسمی تقسیم شده است:

- کربناته زیرین (غیر رسمی)
- بخش نار (رسمی)
- کربنات‌های بالایی (غیر رسمی)

کربنات‌های زیرین اصولاً در قسمت پایینی از آهک‌ها و دولومیت‌های فسیل‌دار و در بالا از آهک‌های دان دان و شبه عدسی و قسمتی آهک‌های دولومیتی با چند لایه آهک کاملاً دولومیتی و تخمی تشکیل شده است. قسمت بالایی کربنات‌های زیرین حاوی آهک‌های دان دان و آهک‌های دولومیتی با پیشرفت کمی از تخلخل می‌باشد.

در بخش تبخیری نار رسوبات اصلی شامل طبقات ضخیم انیدریت، دولومیت‌های گچی (انیدریتیک) و دان دان است. کربنات‌های بالایی شامل آهک‌های دان دان در قسمت پایینی و طبقات آهک دانه ریز و دولومیت در قسمت بالا می‌باشد. کربنات‌های بالایی در منطقه مورد مطالعه شامل دولومیت خاکستری تا خاکستری تیره، آهک‌های دولومیتی سخت خاکستری تیره با مقداری انیدریت می‌باشد. در قسمت پایین‌تر دولومیت‌ها بیشتر انیدریتی شده و مارنی و ماسه‌ای می‌گردند.

سازند کنگان ممکن است دارای دو نوع سنگ به شرح زیر باشد:

- طبقات آهک خالص
- طبقات تحتانی رستی و پالمه سنگی

طبقات رستی و پالمه سنگی گستردگی ناحیه‌ای محدودی دارد. طبقات آهک خالص از سنگ‌های دانه دانه شبه عدسی که کلا یا بعضاً دولومیتی شده و گاهگاهی با رسوبات تبخیری همراه است تشکیل شده است.

۲-۲-۴ گروه کازرون

گروه کازرون از دو سازند نیریز (ژوراسیک) و دشتک (تریاسیک) تشکیل شده است. سازند دشتک قسمت غالباً تبخیری بالای تریاس را در بر می‌گیرد. این سازند به شش قسمت فرعی تقسیم می‌شود (۲ قسمت رسمی و ۴ قسمت غیر رسمی) که بشرح زیر است:

قسمت‌های زیرین شامل

- بخش پالمه سنگ آغار (رسمی)
- رسوبات تبخیری الف (غیر رسمی)
- رسوبات تبخیری ب (غیر رسمی)
- رسوبات تبخیری ج (غیر رسمی)

قسمت بالایی شامل

- بخش دولومیت سفیدار (رسمی)
- رسوبات تبخیری د (غیر رسمی)

قسمت تحتانی سازند نیریز شامل دولومیت‌های نازک لایه و شیل‌های مایل به سبز می‌باشد. قسمت میانی بیشتر دولومیت قهوه‌ای و سیلت‌های ماسه دار بوده در حالیکه قسمت بالایی آهک رسی نازک لایه می‌باشد.

۴-۲-۱ گروه خامی

شامل سازندهای سرمه، هیث، فهلپان، گدوان، داریان می‌باشد.

مقطع نمونه سازند سرمه در قسمت شمال غربی یال شمالی کوه سورمه اندازه‌گیری شده است. از ۶۶۰ متر آهک‌های دولومیتی عمدتاً ضخیم و برجسته تشکیل شده است. ۹۰ متر قسمت تحتانی این سازند آهک دولومیتی است. روی آن در حدود ۷۵ متر از طبقات آهک نسبتاً کم هوازده نازک تا نازک مارنی، سیلتی و دولومیت‌های خاکستری تا قهوه‌ای قرار دارد. بالاترین قسمت سازند از ۴۳۵ متر دولومیت، آهک‌های دولومیتی ضخیم و برجسته دولومیت و آهک دولومیتی متبلور دانه ریز تا دانه درشت سنگ چخماقی تشکیل شده است.

در ناحیه فارس ساحلی سازند انیدریت هیث در حدود ۴۵ متر ضخامت دارد و روی سازند سورمه و زیر سازند فهلپان قرار دارد.

مقطع نمونه سازند فهلپان نزدیک ده فهلپان در یال جنوبی کوه دول اندازه‌گیری شده است. این سازند شامل ۲۶۰ متر آهک خاکستری-قهوه‌ای عموماً برجسته، حبه‌ای با برش‌های خرده شده هم زمان در قاعده سازند، ترکیب یافته است. این سازند در سرتاسر استان فارس و شمال شرقی خوزستان و لرستان وجود دارد. به سمت جنوب غربی خوزستان و لرستان سازند فهلپان به پالمه سنگی و آهک‌های تیره سازند گرو تغییر فاز می‌دهد. در ناحیه فارس ساحلی سازند فهلپان بوسیله سازند هیث که انیدریت است جدا می‌شود در جاییکه سازند هیث وجود ندارد مرز در حد فاصل بین آهک‌های فهلپان و دولومیت‌های تیره رنگ سورمه گذاشته می‌شود.

مقطع نمونه سازند گدوان در منتهی‌الیه شرقی کوه گدوان ۴۵ کیلومتری شرق-شمال شرق شیراز واقع است. ۱۰۵ متر مارن و پالمه سنگ کم هوازده خاکستری تا سبز تا زرد مایل به قهوه‌ای و آهک‌های تیره از آن در معرض دید قرار دارد. حد زیرین آن با فهلپان و حد بالایی آن با داریان هردو تدریجی است. سازند گدوان در نواحی خوزستان و شمال غرب فارس از پالمه سنگ‌های تیره و آهک‌های رستی تشکیل شده

است. به سمت جنوب شرقی همانطوریکه در بعضی نواحی از خواص اکسیده سنگ‌ها و مجموعه جانوری فراوان بعضی از رسوبات آن معلوم گردیده به رخساره نسبتاً کم عمق دریایی تبدیل می‌شود.

مقطع نمونه سازند داریان در کوه گدوان اندازه‌گیری و نمونه برداری شده است. این نام به یک سکانس رسوبی از آهک و تعداد کمی شیل و مارن که روی سازند گدوان قرار می‌گیرد داده شده است. در بالای این سازند مقداری چرت لایه‌ای دیده می‌شود. ضخامت سازند داریان حدود ۱۰۷ متر است.

۳-۲-۴ گروه بنگستان

شامل سازندهای کژدمی، سروک و ایلام می‌باشد. نام سازند کژدمی به یک سکانس رسوبی از شیل و آهک که بین سازند داریان و سروک قرار دارد اطلاق می‌شود. مقطع نمونه آن در تنگ گورگودا اندازه‌گیری شده است و شامل حدود ۲۱۰ متر شیل‌های قیری همراه مقداری آهک رستی می‌باشد. سازند کژدمی مانند سازند گدوان ممکن است به دو رخساره افقی یا عرضی تقسیم شود (یک رخساره پالمه سنگ تیره آسفالتی با آهک و یک رخساره پالمه سنگی-آهکی با ترکیبات اکسیده و طبقات رسوبی دریای کم عمق مانند طبقات قرمز رنگ و لایه‌های لاتریت یا رسوبات اکسیده ماسه‌ای و سیلتی کژدمی حدود ۲۷۰ متر ضخامت دارد.

سابقاً سازند سروک قسمتی از آهک کرتاسه میانی، آهک رودیست‌دار، آهک هیپوریت‌دار، آهک لشتگان، یا آهک بنگستان بود. مقطع نمونه در تنگ سروک واقع در مرکز یال جنوبی کوه بنگستان اندازه‌گیری و نمونه‌برداری شده است. ۲۵۰ متر زیر این سازند از آهک دانه ریز خاکستری گره‌دار لایه لایه‌ای یا قسمت‌های مارنی به رنگ خاکستری تیره و نازک لایه تشکیل شده است. این لیتولوژی بطرف بالا تدریجاً به ۱۱۰ متر آهک ضخیم نخودی با گره‌های قهوه‌ای مایل به قرمز و سنگ چخماقی تبدیل می‌شود. روی آهک سنگ چخماقی ۴۱۰ متر آهک خیلی ضخیم به رنگ حنایی تا قهوه‌ای که محتوی خرده‌های فراوان رودیست قرار دارد که قسمت تحتانی آن به نسبت وسیعی لایه‌های متقاطع یافت می‌شود و ۴۲ متر بالای سازند از لایه‌های آهکی به ضخامت ۳۰ سانتیمتر تا ۹۰ سانتیمتر از خرده سنگ‌های کم هوازده با لکه‌های قرمز اکسید آهن و جابجا از برش‌های شسته شده تشکیل گردیده است. بالای سازند شدیداً اکسیده و ناهموار و

خرد شده است. سازند سروک از دو رخساره عمده تشکیل شده است، یکی برجسته و ضخیم با رخساره‌ای از آهک‌های دریایی کم عمق حاوی فسیل‌های رودیست، شکم پایان، دوکفه‌ای‌ها و میکروفونای (مجموعه جانوری) فراوان دیگری با رخساره دریای عمیق از لایه‌های نازک دانه ریز تیره رنگ رستی و آهک محتوی میکروفسیل‌های جانوری دریای عمیق. سازند سروک ممکن است بصورت رخساره اولی، دومی و یا مخلوطی از هر دو رخساره دیده شود.

در قدیم سازند ایلام جز واحدهای کرتاسه میانی، رودیست، هیپوریتیک، لشتگان یا بنگستان به‌شمار می‌آید. مقطع نمونه آن در تنگ گراب، انتهای شمال غربی کبیرکوه می‌باشد. این سازند از ۱۸۸ متر طبقات منظم آهک‌های پالمه سنگی خاکستری دانه ریز با طبقات نازکی از پالمه سنگ (شیل) تیره متورق تشکیل شده است. طبقه پایین این سازند سیلتی است با گره‌های بزرگ اکسید آهن که کمی هوازده است.

واحد سنگی سازند گورپی قبلا بنام مارن گلوبیژن داریامارن دزک خوانده می‌شد. در زمان حال به دو سازند گورپی و پابده تقسیم شده است. مبنای این تقسیم‌بندی یک دگرشیبی است با مختصات لیتولوژی که عموماً کرتاسه بالایی را از پالئوسن جدا می‌سازد. مقطع نمونه سازند گورپی در تنگ پابده در یال جنوب غربی در فرورفتگی شرقی کوه پابده در سمت شمال منطقه نفت‌خیز لالی ۲۲۰ متر از مارن‌های دریایی خاکستری مایل به آبی با آهک‌های مارنی تشکیل شده است. در اکثر قسمت‌های لرستان و خوزستان واحد آهکی هوازده سفید رنگی بنام آهک امام حسن دیده می‌شود که یک واحد سنگی مهم را در وسط سازند گورپی تشکیل می‌دهد.

سازند پابده قسمتی از واحد پالئوسن، ائوسن و الیگوسن است که سابقاً بنام گلوبیچرین-داریامارن دزک خوانده می‌شود. این سازند از آهک‌های نازک لایه رستی به رنگ خاکستری کم رنگ تا آجری رنگ همراه با لایه‌های آجری تا زرد مارن و شیل‌های آهکی تشکیل شده است. در قسمت تحتانی سازند ۱۵ سانتیمتر شیل ارغوانی ممکن است دیده شود.

سازند آسماری کاملاً شناخته شده شامل ۴۲۶ تا ۲۴۴ متر آهک خاکستری، کرم تا قهوه‌ای همراه

مقداری دولومیت و باقی مانده پوسته جانوران می‌باشد. محل برخورد آن با سازند پابده در زیر و با سازند گچساران در بالا هم‌شیب می‌باشد.

سازند گچساران در منطقه فارس به بخش‌های چهل، چمپه و مول تبدیل شده است.

- بخش چهل: یک واحد انیدریتی یا گچی است که لایه‌های نازکی از آهک و مارن در آن دیده می‌شود.

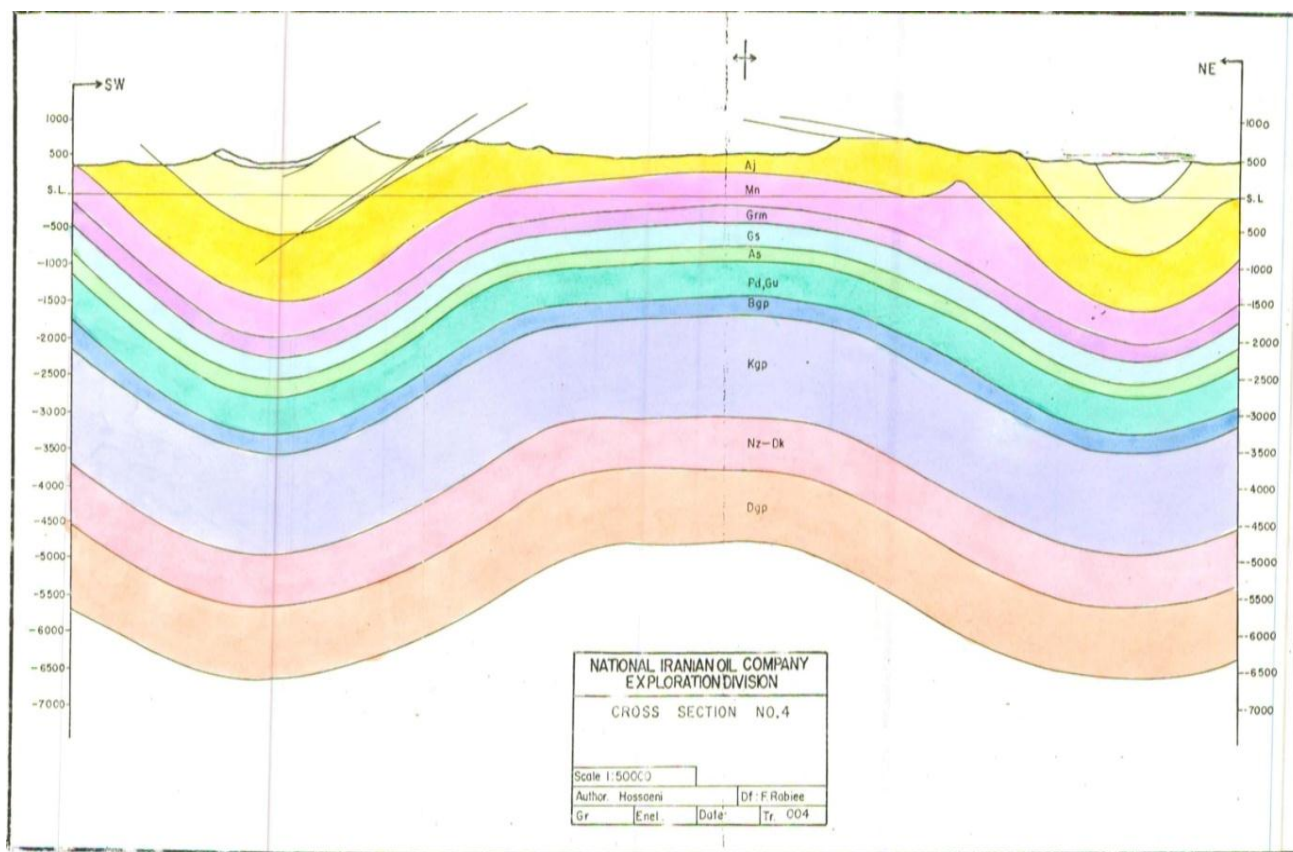
- بخش چمپه: از مارن‌های گچی، آهک‌ها یا دولومیت‌های گچی تشکیل شده است.

- بخش مول: این بخش در ناحیه فارس بعثت رنگ قرمز یک واحد مشخص کننده است که دارای مارن‌های قرمز تا خاکستری گچی و لایه‌های نازک آهکی گچی است.

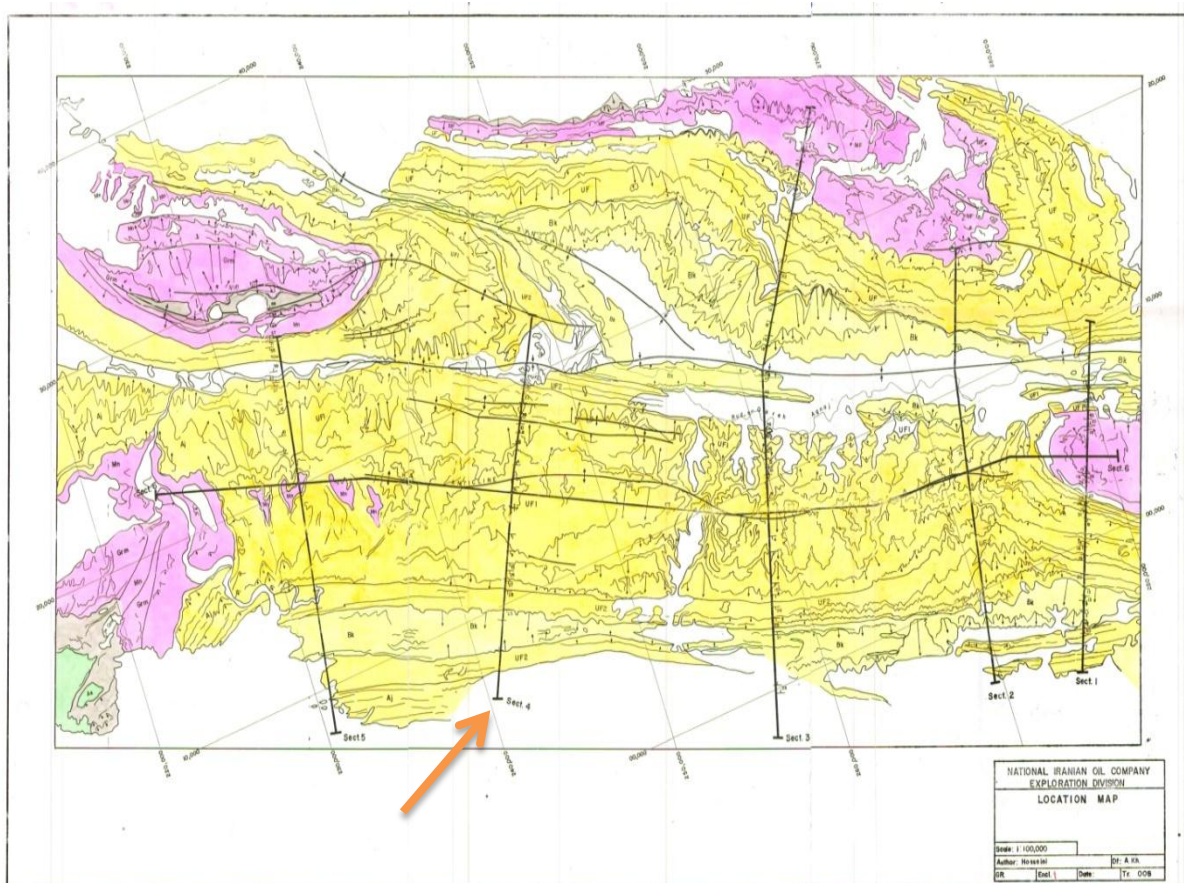
سازند میشان از مارن‌های خاکستری رنگ لایه‌های آهک تشکیل شده است. در قسمت تحتانی این سازند بخش آهکی گودی قرار دارد که شامل آهک‌های کرم تا زرد رنگ و آهک قهوه‌ای می‌باشد.

سازند آغاچاری شامل مارن‌های قرمز رنگ تا قهوه‌ای و ماسه سنگ‌های قهوه‌ای رنگ می‌باشد. در قسمت بالائی سازند آغاچاری بخش لهری قرار دارد که مقاومت کمتری در مقابل فرسایش دارد و بیشتر از مارن تشکیل یافته است [حسینی، ۱۳۷۸].

شکل ۴-۴ مقطع عرضی زمین شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه و توالی سازندها را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۵ موقعیت خط لرزه‌ای ۴ که بر روی تاق‌دیس مورد نظر قرار دارد در نقشه زمین‌شناسی نشان داده شده است.



شکل ۴-۴ مقطع عرضی زمین شناسی ساختمانی منطقه مورد مطالعه و توالی سازندها [حسینی، ۱۳۷۸].



شکل ۴-۵ نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و بیرونزد سازندها [حسینی، ۱۳۷۸].

فصل پنجم

کاربرد توزیع با تداخل کاهش یافته دو جمله‌ای اصلاح شده بر روی داده-

های مصنوعی و واقعی

۵-۱ مقدمه

تجزیه طیفی ابزار آنالیز مناسبی برای سیگنال‌های لرزه‌ای است که در چندین دهه گذشته در تفسیر و پردازش داده‌های لرزه‌ای به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. موارد چندی که با استفاده از آنالیز زمان-فرکانس مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل بررسی تغییرات جزئی زیر سطحی مانند لایه‌های نازک زیر حد همکوک (۱/۴ طول موج موجک ورودی)، کانال‌های مدفون و همچنین شناسایی مخازن هیدروکربنی توسط نشانگرهای مختلف لرزه‌ای است.

یکی از اساسی‌ترین خصوصیات مخازن، ضخامت آنها است. آنالیز همکوک لایه نازک در لرزه‌نگاری بازتابی توسط وایدس^۱ [۱۹۷۳] و نیدل^۲ و پوگیاگلیومی^۳ [۱۹۷۷] بررسی شد که در مورد محدودیت‌های قدرت تفکیک لرزه‌ای در شناسایی ساختارهای زیر سطحی با مقیاس کوچک بحث کردند. رابرتسون^۴ و نوگامی^۵ [۱۹۴۸] نشان دادند که نشانگرهای لحظه‌ای که توسط تانر و همکاران [۱۹۷۹] مورد استفاده قرار گرفت، می‌تواند در تصویر کردن لایه‌های نازک مورد استفاده قرار گیرد. چانگ^۶ و لاوتون^۷ [۱۹۹۵] چهار مدل گوه مختلف را بررسی کردند و نشان دادند که فرکانس غالب با افزایش ضخامت لایه، به آرامی کاهش می‌یابد. همچنین تجزیه طیفی برای مشخص کردن کانال‌هایی که ضخامت آنها کم است و تعریف لایه نازک برای آنها صادق است، مورد استفاده قرار می‌گیرد [پارتیکا و همکاران، ۱۹۹۹؛ پیتون^۸ و همکاران، ۱۹۹۸]. تانر و همکاران [۱۹۷۹] بعد از معرفی فرکانس لحظه‌ای، بیان کردند که مناطق با سایه‌های فرکانس پایین اغلب در ارتباط با مخازن گازی است.

¹ Widess

² Neidell

³ Poggiagliomi

⁴ Robertson

⁵ Nogami

⁶ Chaung

⁷ Lawton

⁸ Peyton

۵-۲ لایه نازک

قدرت تفکیک لرزه‌ای، کلیدی برای استخراج جزئیات چینه‌شناسی^۱ از داده‌های لرزه‌ای است. قدرت تفکیک لرزه‌ای در دو جهت عمودی و افقی مورد بررسی قرار می‌گیرد. قدرت تفکیک عمودی منطبق بر توانایی تشخیص دو رویداد لرزه‌ای نزدیک بهم منطبق بر مرزهای بازتابی مختلف است.

رابطه بین ضخامت لایه، طول موج سیگنال و قدرت تفکیک افق بالا و پایین لایه نازک ابتدا توسط ریکر^۲ [۱۹۵۳] مطالعه شد. مطالعات مدل‌سازی مایسنر^۳ و میکسنر^۴ [۱۹۶۹] نشان داد که لایه‌های نازک و مرزهای لایه‌بندی شده می‌تواند باعث تغییر شکل موجک لرزه‌ای شود که ناشی از تداخل بین بازتاب‌های اولیه و تکراری^۵ از دو یا چندین مرز است. مطالعات بیشتر در زمینه قدرت تفکیک لرزه‌ای و رفتار لایه نازک توسط وایدس [۱۹۷۳] انجام شد. شونبرگر^۶ [۱۹۷۴] تفاوت موجک با فاز صفر و فاز کمینه را در تاثیری که در قدرت تفکیک مقطع لرزه‌ای می‌گذارند، بررسی کرد. مکمل^۷ و نات^۸ [۱۹۷۷] با استفاده از مدل‌سازی، ساختارهای زمین‌شناسی را به نقشه در آوردند و همینطور تاثیرات تخلخل، ضخامت و موارد دیگر را بر روی پاسخ لرزه‌ای بررسی کردند. نیدل و پوگیاگلیومی [۱۹۷۷] با استفاده از روش‌های کمی در ارتباط با چینه‌شناسی به همراه تفسیر الگوهای بازتابی لرزه‌ای، ابزار مهمی برای تفسیر چینه‌شناسی پیشنهاد دادند. رابرتسون و نوگامی [۱۹۸۴] با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای، لایه‌های نازک در مقاطع لرزه‌ای را شناسایی کردند [لاورنس^۹، ۱۹۹۱].

در این قسمت به بررسی ماهیت لایه نازک و تاثیرات ضخامت آن بر خصوصیات بازتابی و دامنه بازتاب پرداخته می‌شود. بر اساس خصوصیات بازتابی، یک لایه نازک به‌عنوان لایه‌ای که ضخامت آن کمتر از حدود

¹ stratigraphy

² Ricker

³ Meissner

⁴ Meixner

⁵ multiple

⁶ Schoenberger

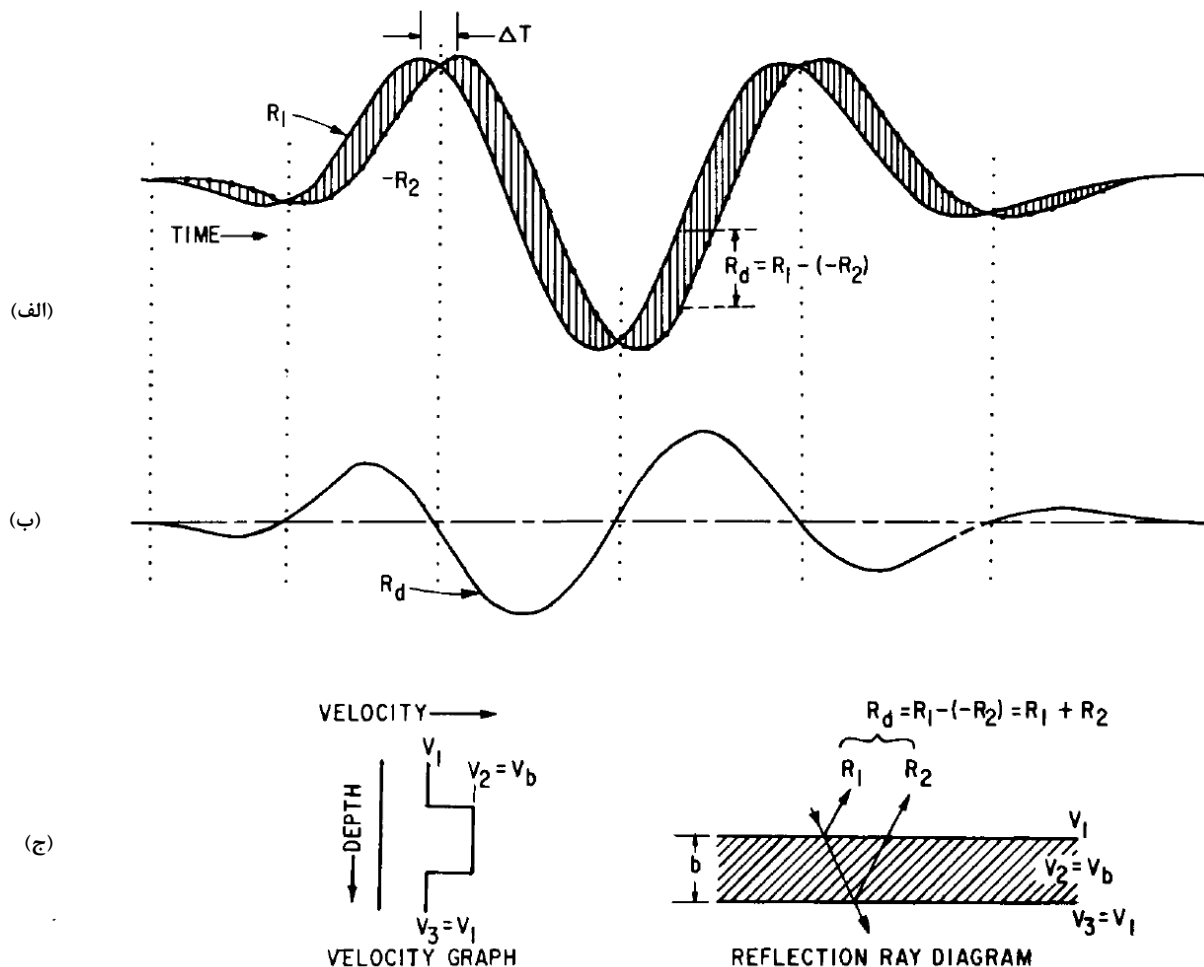
⁷ Meckel

⁸ Nath

⁹ Lawrence

$\frac{\lambda_b}{8}$ است، تعریف می‌شود که λ_b طول موج غالب موج لرزه‌ای است که با استفاده از سرعت لایه محاسبه می‌شود. ابتدا دو موجک یکسان که اختلاف زمانی کمی دارند در نظر گرفته می‌شوند. R_1 و R_2 - موجک‌های بازتابی از مرزهای بالا و پایین یک لایه نازک هستند که جز اختلاف زمانی Δt بین آنها در بقیه موارد یکسان هستند، چنانچه در شکل ۱-۵ (الف) نشان داده شده است. فاصله عمودی بین R_1 و R_2 - تفاوت دامنه دو موجک را در یک زمان خاص نشان می‌دهد و این تفاوت که با R_d نشان داده شده در شکل ۱-۵ (ب) رسم شده است. دامنه موجک R_d در هر نصف بازه زمانی میان دو دامنه بیشینه R_1 و R_2 - برابر صفر است که در شکل ۱-۵ (الف) و (ب) با نقطه چین مشخص شده‌اند. چون R_d یک نصف پریود بیشتر از R_1 دارد، بنابراین R_d محتوای فرکانسی بالاتری نسبت به R_1 دارد. موجک R_d را به روشنی می‌توان بازتاب از یک لایه نازک در نظر گرفت. در شکل ۱-۵ (ج) هنگامیکه امپدانس صوتی^۱ (ضرب سرعت و چگالی) در محیط بالای لایه با محیط زیر لایه یکسان است، R_1 بازتاب از فصل مشترک بالا و R_2 بازتاب از فصل مشترک پایین است. علامت منفی نسبت داده شده به R_2 در شکل ۱-۵ (الف) به علت تغییر فاز موجک R_2 در بازتاب از فصل مشترک پایین در این مثال است. جابجایی زمانی Δt برای موج تابشی عمودی برابر $\frac{2b}{V_b}$ است که b ضخامت لایه و V_b سرعت لایه است. چون R_d تفاوت بین دو موجک یکسان است که در زمان جابجا شده‌اند، آن را می‌توان به عنوان مشتق زمانی R_1 در مواردی که جابجایی زمانی کوچک است در نظر گرفت [اوایدس، ۱۹۷۳].

¹ acoustic impedance



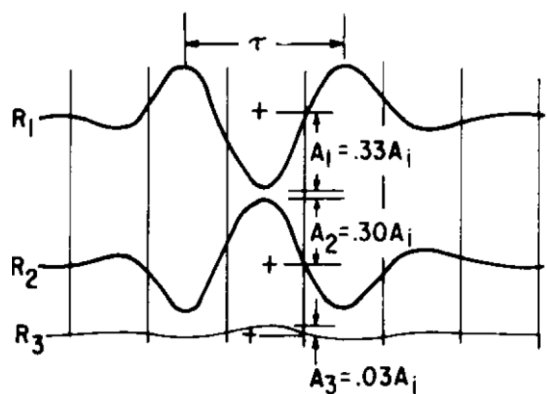
شکل ۵-۱ اختلاف فاز و تغییر در خصوصیات، که از تفاوت موجک‌های یکسان که در زمان بطور جزئی جابجا شده‌اند، بدست آمده‌اند. (الف) موجک‌های یکسان R_1 و $-R_2$ که به اندازه ΔT اختلاف دارند. (ب) اختلاف بین R_1 و $-R_2$ که برابر R_d است. (ج) بازتاب از یک لایه نازک که در آن $v_3 = v_1$ [اویدس، ۱۹۷۳].

۵-۲-۱ تاثیر ضخامت لایه بر خصوصیات و زمان بازتاب‌ها

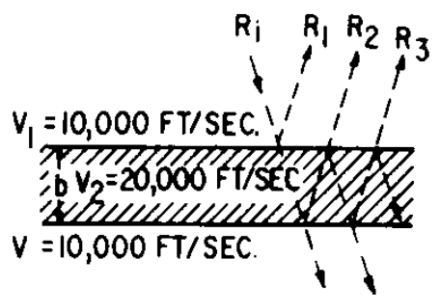
ردلرزه شکل ۵-۳ بازتاب از لایه‌ای که به تدریج در حال نازک شدن است را نشان می‌دهد. مانند حالت قبل سرعت بالای لایه با سرعت پایین آن یکی است و سرعت انتشار موج در لایه دو برابر محیط‌های بالا و پایین آن می‌باشد. موجک‌های R_1 و R_2 به ترتیب از فصل مشترک‌های بالا و پایین بازتاب می‌شوند و بازتاب تکراری مرتبه اول R_3 در شکل ۵-۲ (ج) بر اساس دامنه A_i موجک تابشی R_i نشان داده شده است. در اینجا روابط برای حالتی است که موجک تابشی بصورت عمودی با لایه برخورد می‌کند و تغییرات چگالی نیز

در نظر گرفته نشده است. بازتاب تکراری مرتبه اول خیلی ضعیف است که مانند بازتاب‌های تکراری مرتبه-های بالاتر برای هدف کنونی ما می‌تواند نادیده در نظر گرفته شود. ردلرزه‌های شکل ۵-۳ از ترکیب R_1 و R_2 و R_3 در یک رابطه زمانی که منطبق بر ضخامت لایه‌های مربوطه هستند، بدست می‌آیند. چنانچه مشاهده می‌شود در حالتی که ضخامت لایه $b = \frac{\lambda_b}{2}$ است بازتاب از مرزهای بالا و پایین لایه تداخل مخرب دارند و در حالتی که ضخامت برابر $b = \frac{\lambda_b}{4}$ است تداخل سازنده بین بازتاب از مرزهای بالا و پایین لایه بوجود می‌آید. هنگامیکه لایه خیلی نازک باشد، خصوصیت موجک بازتابی شبیه مشتق زمانی موجک تابشی است. اساساً همین خصوصیات برای لایه‌های نازکتر از $\frac{\lambda_b}{8}$ نیز وجود دارد و روی ردلرزه مربوط به آن لایه نازک شرح داده شده است. مشتق زمانی موجک ورودی بوسیله موجکی با خط‌چین نشان داده شده است و می‌توان دید که این خط‌چین‌ها تقریباً منطبق بر بازتاب در آن ردلرزه هستند. بنابراین تا زمانی که فقط ضخامت لایه در نظر گرفته شود، خصوصیت بازتاب‌ها برای لایه‌هایی که ضخامت‌شان کمتر از $\frac{\lambda_b}{8}$ است، غیرقابل تشخیص است. به همین دلیل یک لایه نازک بعنوان لایه‌ای تعریف شده که ضخامتش کمتر از $\frac{\lambda_b}{8}$ است. زمان سیر دوطرفه^۱ در یک لایه نازک کمتر از $\frac{\tau}{4}$ است که τ پریود غالب است. بنابراین یک لایه که برای یک فرکانس خاص نازک است ضرورتاً برای یک فرکانس بالاتر نازک نیست [اوایدس، ۱۹۷۳].

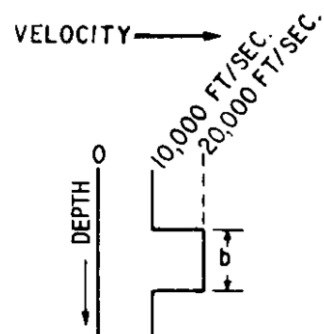
¹ two way travel-time



(ج)

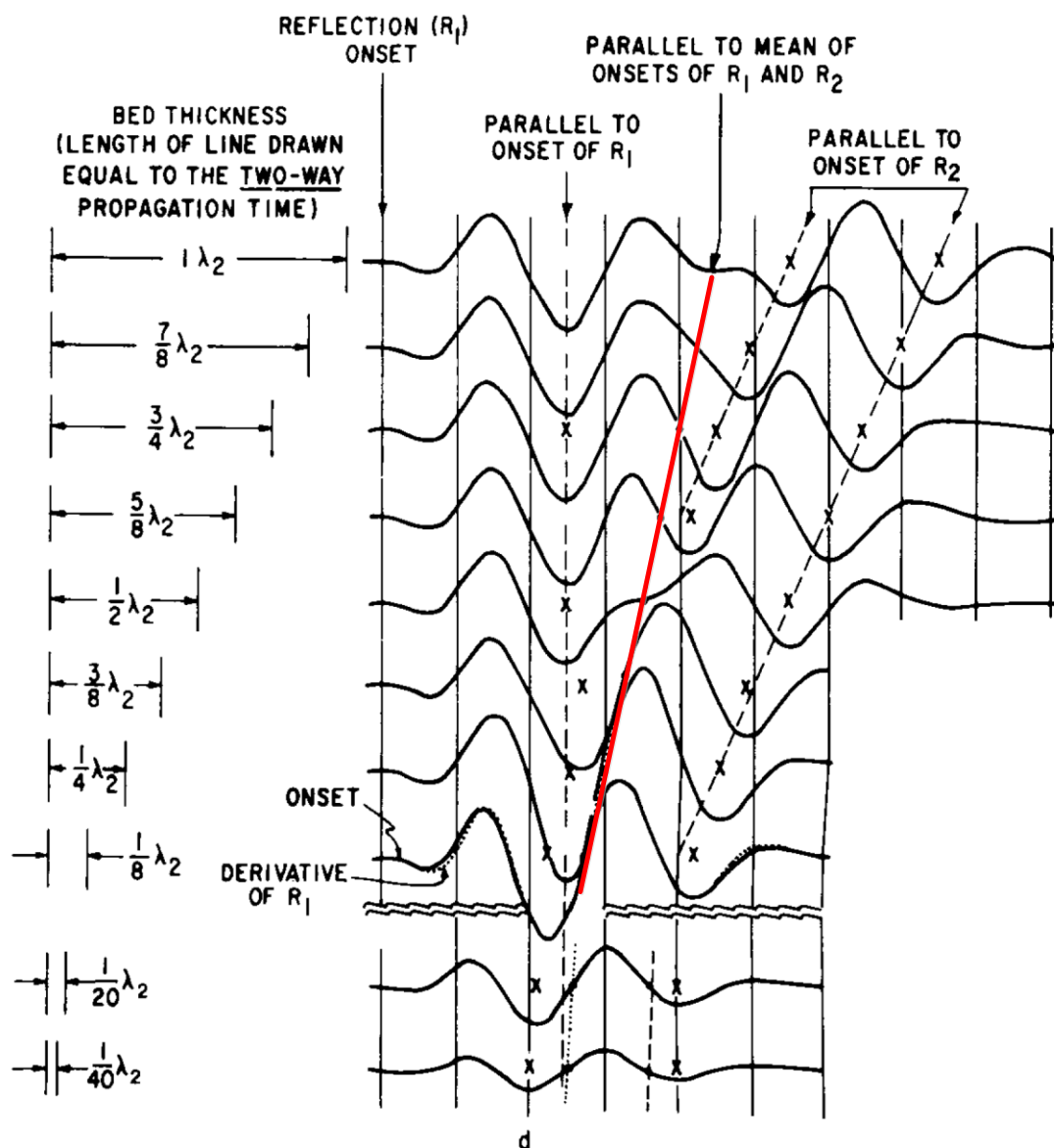


(ب)



(الف)

شکل ۵-۲ تاثیر ضخامت لایه بر روی بازتاب. (الف) نمودار سرعتی، (ب) نمودار پرتو بازتابی، (ج) موج‌های بازتابی مجزا که با استفاده از تاخیر زمانی که از روی ضخامت لایه محاسبه شده است با هم ترکیب شده‌اند [اویدس، ۱۹۷۳].



شکل ۳-۵ شکل و زمان بندی نسبی بازتاب های ترکیبی به عنوان تابعی از ضخامت لایه. $\times$ زمان دره ها را مشخص می کند. خط قرمز زمان های با دامنه صفر را مشخص می کند (مرکز بازتاب های ترکیبی). بازه های نمودار زمان 0.5τ می باشد. b ضخامت لایه است. τ پریود غالب موجک ورودی است. λ_2 طول موج در لایه است. دامنه های بازتاب های ترکیبی همگی نسبت به موجک ورودی R_i می باشند [اویس، ۱۹۷۳].

۵-۲-۲ اثر ضخامت لایه بر دامنه بازتاب

قسمت مرکزی موجک R_1 در شکل ۵-۱ می‌تواند بعنوان یک موج سینوسی رفتار کند که A دامنه بیشینه آن است و متوسط دامنه‌های غالب قله و دره R_1 است. این ساده‌سازی این امکان را برای ما فراهم می‌کند تا بتوانیم دامنه تقریبی R_d از یک لایه نازک را تخمین بزنیم. زمان صفر را به t_0 نسبت می‌دهیم که متوسط زمانی دره‌های عمیق R_1 و $-R_2$ است و معادلات برای بخش مرکزی R_1 و $-R_2$ به ترتیب بصورت زیر بدست می‌آید [وایدس، ۱۹۷۳].

$$R_1 \cong -A \cos \left(t + \frac{b}{V_b} \right) \frac{2\pi}{\tau} \quad , \quad -R_2 \cong -A \cos \left(t - \frac{b}{V_b} \right) \frac{2\pi}{\tau} \quad (۱-۵)$$

که t زمان بر حسب t_0 است و τ پریود غالب موجک است. با بسط دو معادله و کم کردن آنها از یکدیگر R_d بصورت زیر بدست می‌آید.

$$R_d = R_1 + R_2 \cong \left[2A \sin \frac{2\pi b}{\tau V_b} \right] \sin \frac{2\pi t}{\tau} \quad (۲-۵)$$

عبارت داخل کروشه تقریباً برابر بیشینه دامنه A_d موجک R_d است و می‌توان آن را بطور تقریبی بصورت زیر نوشت.

$$\sin \left(\frac{2\pi b}{\tau V_b} \right) \cong \frac{2\pi b}{\tau V_b} \Rightarrow A_d \cong \frac{4\pi A b}{\tau V_b} \quad (۳-۵)$$

چون $\lambda_b = \tau V_b$ بنابراین

$$A_d \cong \frac{4\pi A b}{\lambda_b} \quad (۴-۵)$$

بنابراین برای لایه‌های نازک، دامنه بازتاب تقریباً متناسب با ضخامت لایه و بطور معکوس متناسب با طول موج است. این نکته را بایستی در نظر گرفت که دامنه بازتاب‌های حاصل از لایه‌هایی که عموماً خیلی نازک در نظر گرفته می‌شوند، لزوماً به مقادیر کوچک محدود نمی‌شوند. برای مثال اگر $\frac{b}{\lambda_b} = \frac{1}{20}$ باشد که در این حالت فرکانس غالب برابر ۵۰ هرتز و سرعت لایه $\frac{ft}{s}$ ۱۰۰۰۰ است، بنابراین طول موج λ_b برابر $20 \cdot ft$ است و ضخامت لایه $10 \cdot ft$ است در این صورت $A_d \cong 0.6A$ است یعنی دامنه آن در حدود ۰/۶ دامنه‌ای خواهد

بود که اگر ضخامت لایه خیلی زیاد بود تولید می‌شد. اگر لایه تنها 5 ft ضخامت داشته باشد دامنه‌اش هنوز بزرگ است و حدوداً برابر 0.3 دامنه‌ای خواهد بود که اگر ضخامت لایه خیلی زیاد بود تولید می‌شد. شرایط بالا تنها برای لایه‌های نازکی کاربرد دارد که برای آنها دو محیط دربرگیرنده لایه، امپدانس صوتی یکسانی دارند. این روابط هنگامیکه دو محیط دربرگیرنده لایه، امپدانس صوتی متفاوتی دارند، کاربرد ندارند؛ چون در این حالت نه تنها یک لایه نازک مدنظر است بلکه تغییرات امپدانس در غیاب لایه نازک نیز مدنظر است. بازتاب از یک لایه، ترکیبی از دو بازتاب زیر است:

(۱) بازتاب در غیاب لایه نازک.

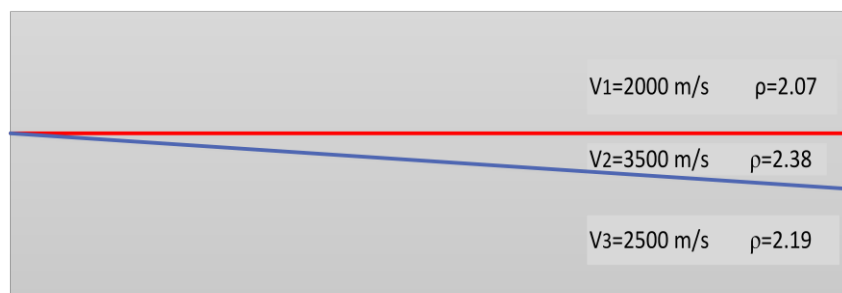
(۲) بازتاب در ارتباط با خود لایه نازک که برای آن امپدانس صوتی بالا و پایین لایه یکسان است و برابر با امپدانس صوتی محیطی است که لایه در آن جایگزین شده است.

۵-۲-۱-۲-۱ قدرت تفکیک

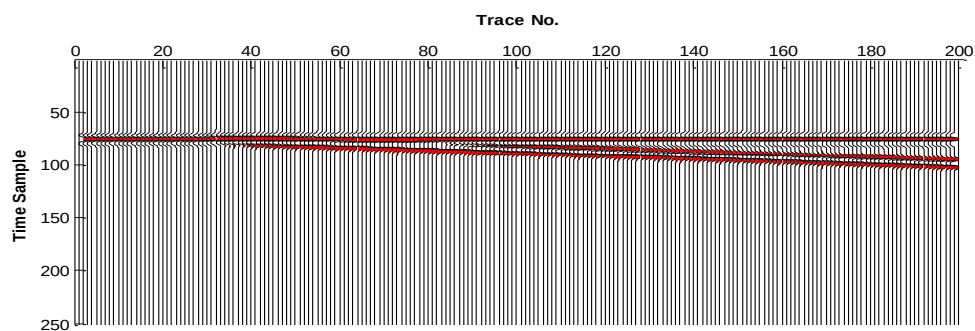
تعریف لایه نازک شامل مفهوم قدرت تفکیک است. قدرت تفکیک، توانایی تشخیص بین خصوصیات دو رویداد یا بیشتر می‌باشد. عباراتی که در اینجا در نظر گرفته شده است، بازتاب‌های حاصل از فصل مشترک-های یک لایه است. قدرت تفکیک در شکل ۵-۳ شرح داده شده است. هنگامیکه ضخامت لایه به اندازه کافی بزرگ باشد بطوریکه موجک‌های بازتابی از فصل مشترک‌های بالا و پایین لایه کاملاً در زمان از هم جدا شده باشند، لرزه‌نگاشت ثبت شده بیشترین اطلاعات ممکن را برای هر فصل مشترک بدست می‌دهد. همچنان که ضخامت لایه کاهش می‌یابد، انرژی بیشتری از دو بازتاب باهم ترکیب می‌شود، پس اطلاعات کمتری برای هر بازتاب بطور جداگانه وجود دارد، اما اطلاعات بیشتری برای ترکیب دو بازتاب وجود دارد. این روند ادامه پیدا می‌کند تا جاییکه ضخامت لایه حدود $\lambda_b/8$ شود. برای این حالت و حتی لایه‌های نازکتر دیگر اطلاعاتی مربوط به بازتاب‌های مجزا باقی نمی‌ماند و قدرت تفکیک از بین می‌رود. از نظر تئوری، این نقطه حد تفکیک‌پذیری خوانده می‌شود. عوامل دیگری نیز وجود دارند که حد تفکیک‌پذیری را تعیین می‌-

کنند. به عنوان مثال در حضور نوفه، وسعت موجک از $b = \lambda_b/8$ تا $b = \lambda_b/4$ در شکل ۵-۳ ممکن است، مبهم شود و بنابراین حد تفکیک پذیری به سمت لایه های ضخیم تر می رود. در نتیجه حد تفکیک پذیری نه تنها به فرکانس غالب موجک ورودی وابسته است، بلکه به نسبت سیگنال به نوفه نیز بستگی دارد. از مطالب عنوان شده می توان نتیجه گرفت که ضخامت لایه بر مواردی چون خصوصیات موجک های بازتاب شده از بالا و پایین لایه، دامنه بازتابی و قدرت تفکیک در مقطع لرزه ای تاثیر می گذارد. بنابراین هنگامیکه ضخامت لایه از حد خاصی کوچکتر می شود، قدرت تفکیک در مقطع لرزه ای کاهش می یابد و نمی توان فصل مشترک های بالا و پایین لایه را بصورت مجزا مشاهده کرد و تفسیر چنین رویدادهایی با مشکل مواجه می شود.

برای بهتر بیان نمودن مطالب گفته شده در فصل های قبل، در زیر دو مثال بیان شده است. مثال اول مربوط به یک مقطع لرزه ای مصنوعی لایه نازک با موجک ریکر ۳۰ هرتز است که در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. ابتدا تبدیل های زمان-فرکانس بر روی این مقطع اعمال می شود و هر رد لرزه یک بعدی به یک مقطع دو بعدی زمان-فرکانس تبدیل می شود. بنابراین بعد از اعمال تبدیل ها، مقطع لرزه ای دو بعدی به یک مکعب زمان-فرکانس تبدیل می شود که می توان مقاطع تک فرکانس مختلف را از این مکعب استخراج نمود. در شکل ۵-۵ مقاطع تک فرکانس ۳۰ هرتز با روش های مختلف زمان-فرکانس تبدیل فوریه زمان کوتاه، توزیع ویگنر-وایل، توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و توزیع با تداخل کاهش یافته نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، قدرت تفکیک توزیع با تداخل کاهش یافته در مقایسه با روش های دیگر بسیار بالاتر است و در قسمت هایی که بالا و پایین لایه نازک در مقطع لرزه ای باهم تداخل می کنند، در مقطع تک فرکانس بخوبی نشان داده شده است.

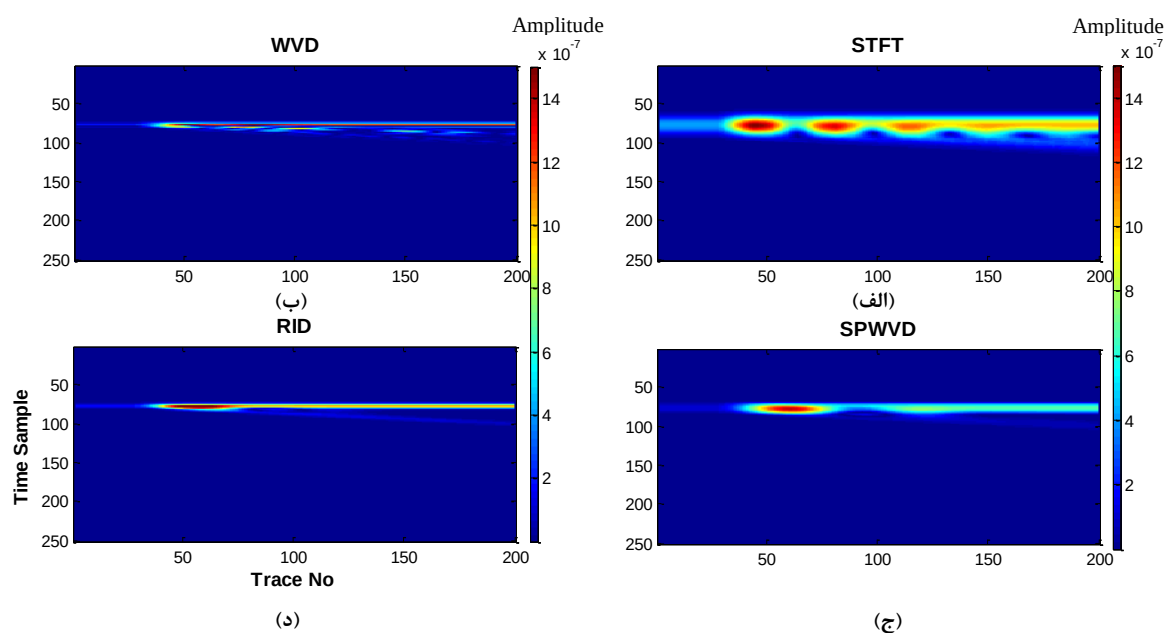


(الف)



(ب)

شکل ۴-۵ (الف) مدل زمین‌شناسی لایه نازک، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی.

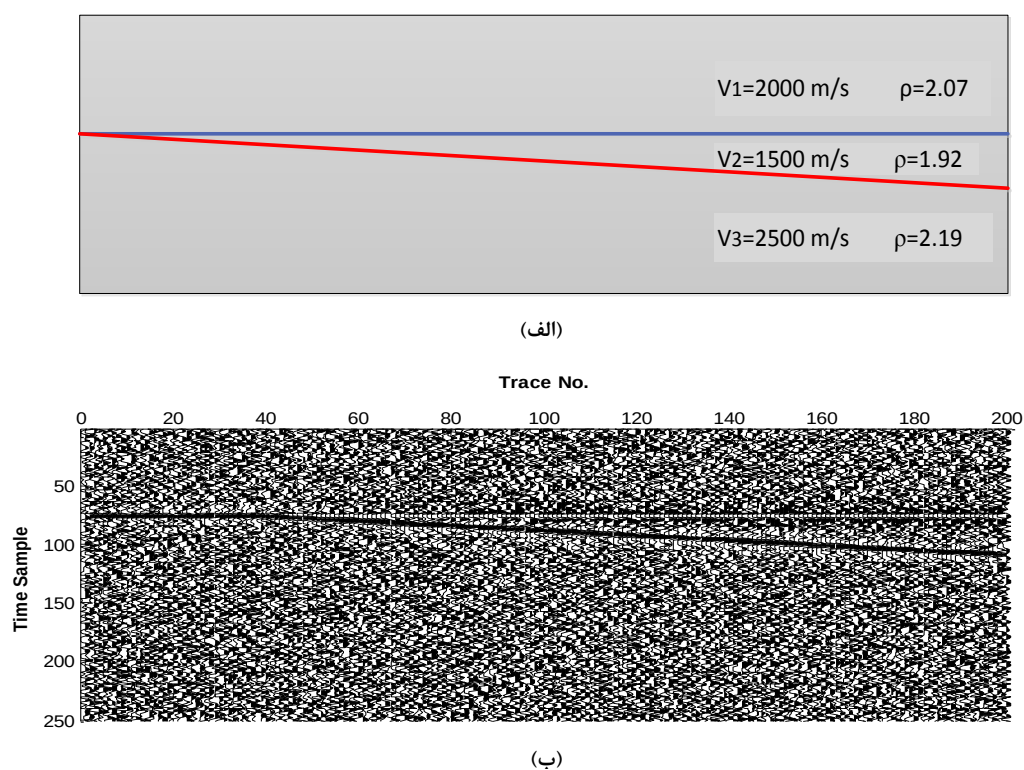


(د)

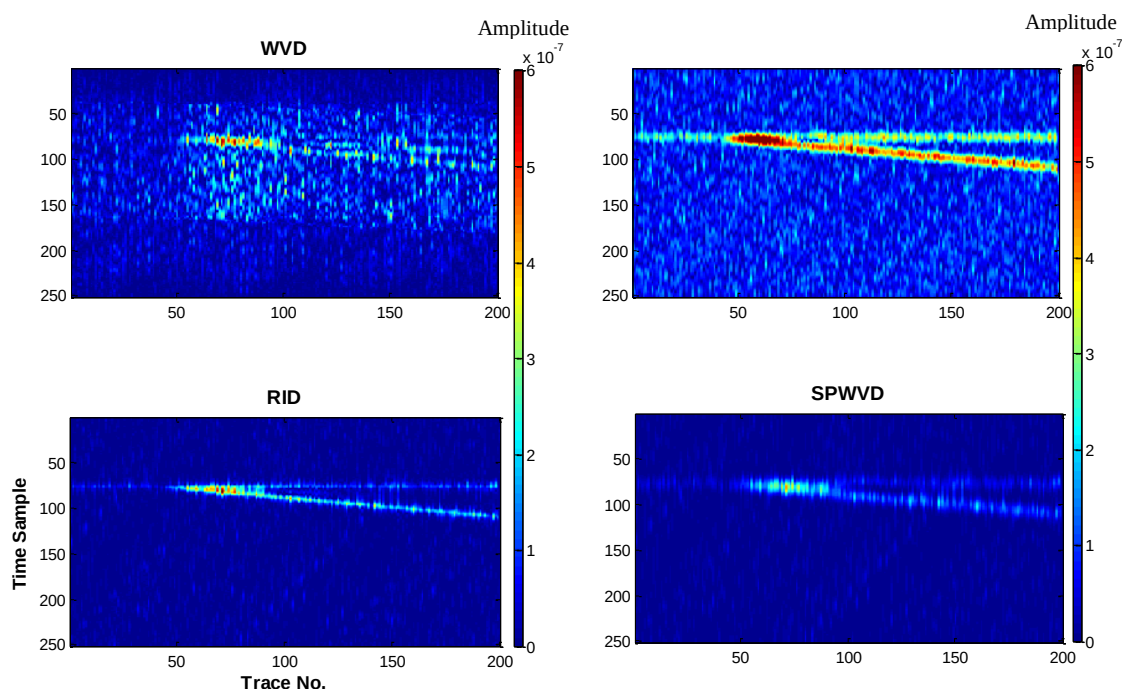
(ج)

شکل ۵-۵ برش تک فرکانس ۳۰ هرتز از (الف) تبدیل فوریه زمان کوتاه، (ب) توزیع ویگنر-وایل، (ج) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (د) توزیع با تداخل کاهش یافته.

در مثال دوم مقطع لرزه‌ای مصنوعی لایه نازک با موجک ریکر ۳۰ هرتز که حاوی نوفه ۳۰ دسی‌بل است تولید شده است. در شکل ۵-۷ مقاطع تک فرکانس ۳۰ هرتز مربوط به مقطع شکل ۵-۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در حضور نوفه نیز قدرت تفکیک بالا در توزیع با تداخل کاهش یافته نسبت به تبدیل‌های دیگر حفظ شده است. در این مثال می‌توان دید که در حضور نوفه نیز توزیع با تداخل کاهش یافته از کارایی بالایی برخوردار است.



شکل ۵-۶ (الف) مدل زمین‌شناسی لایه نازک، (ب) مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاوی نوفه.



شکل ۵-۷ برش تک فرکانس ۳۰ هرتز از (الف) تبدیل فوریه زمان کوتاه، (ب) توزیع ویگنر-وایل، (ج) توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (د) توزیع با تداخل کاهش یافته.

۳-۵ نشانگرهای لرزه‌ای

در صنعت لرزه‌ای، آنالیز نشانگرها نقش مهمی در بدست آوردن اطلاعات از زیر سطح بازی می‌کند [هارت^۱، ۱۹۹۹؛ تانر و شریف، ۱۹۷۷]. در طول دهه گذشته صنعت نشانگرهای لرزه‌ای، در بدست آوردن نشانگرهای جدید پیشرفت‌های بسیاری کرده است. در مطالعه لایه‌های نازک این پیشرفت شامل تجزیه طیفی [پیتون و همکاران، ۱۹۹۸؛ پارتیکا و همکاران، ۱۹۹۸] و نشانگرهای بدست آمده از آن [مارفورت^۲ و کرلین^۳، ۲۰۰۱؛ لیو، ۲۰۰۶] می‌باشد [ذبیحی و سیاه‌کوهی، ۲۰۰۶].

نشانگرهای فرکانس معمول، شامل فرکانس غالب^۴ و دامنه بیشینه^۵ [مارفورت و کرلین، ۲۰۰۱] هستند. مفهوم فرکانس غالب شامل فرکانس در بیشترین دامنه است و دامنه در آن فرکانس را دامنه بیشینه می‌-

¹ Hart

² Marfort

³ Kirlin

⁴ peak frequency

⁵ peak amplitude

گویند. فرکانس غالب قویا به ضخامت لایه‌هایی که کمتر از ضخامت همکوکی هستند وابسته است [پوریر^۱ و همکاران، ۲۰۰۸].

بر اساس روش پارتیکا و همکاران [۱۹۹۹]، یک پنجره به طول $2N + 1$ نمونه از داده لرزه‌ای $d_j(t + n\Delta t)$ که $(-N \leq n \leq +N)$ به مولفه‌های فوریه‌اش $w(t, f)$ تجزیه می‌شود [مارفورت و کرلین، ۲۰۰۱].

$$w(f, t) = u(f, t) + iv(f, t) \quad (۵-۵)$$

که

$$u(t, f) = \sum_{n=-N}^{+N} c(n\Delta t, f) d(t + n\Delta t) \quad (۶-۵)$$

$$v(t, f) = \sum_{n=-N}^{+N} s(n\Delta t, f) d(t + n\Delta t) \quad (۷-۵)$$

$$c(t, f) = m(t) \cos(2\pi ft) \quad (۸-۵)$$

$$s(t, f) = m(t) \sin(2\pi ft) \quad (۹-۵)$$

$m(t)$ پنجره‌ای با طول ثابت است که در هر دو انتها باریک شونده است. طیف $c(t, f)$ و $s(t, f)$ یک باند باریک که در اطراف فرکانس f متمرکز شده است و پهنای آن متناسب با اندازه پنجره $m(t)$ است را تشکیل می‌دهند. یکی از ساده‌ترین و مفیدترین نشانگرهای لرزه‌ای برای استخراج از مکعب بدست آمده از تجزیه طیفی، فرکانس غالب است که به عنوان فرکانسی تعریف می‌شود که در آن دامنه $a_j(t, f)$ که بصورت زیر تعریف شده است، بیشینه باشد [مارفورت و کرلین، ۲۰۰۱].

¹ Puryear

$$a_j(t, f) = [u_j^2(t, f) + v_j^2(t, f)]^{1/2} \quad (10-5)$$

فرکانس قله یا دره، در هر طیف دامنه $a_j(t, f)$ که برای آنالیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، بدست می‌آید. برای متمایز کردن فرکانس‌های قله یا دره منطبق بر مخازن، به استخراج دو نشانگر دامنه در فرکانس‌های قله و دره نیاز است.

$$a_j^{peak}(t) = a_j(t, f^{peak}) \quad \text{و} \quad a_j^{trough}(t) = a_j(t, f^{trough}) \quad (11-5)$$

f^{peak} و f^{trough} و a_j^{peak} و a_j^{trough} ، ماهیت طیف را بعنوان نتیجه‌ای از همکویی لایه نازک به ما می‌دهد.

حال پاسخ ضربه بازتاب از یک لایه نازک نشان داده شده در شکل ۵-۸ (ب) محاسبه می‌شود. ردلرزه بازتابی $r(t)$ از لایه نازک بوسیله رابطه زیر داده می‌شود [هان و همکاران، ۲۰۱۱].

$$r(t) = r_1 w(t) + t_1 r_2 w(t + \tau) \quad (12-5)$$

که $w(t)$ موج چشمه لرزه‌ای، r_1 ضریب بازتاب از بالای لایه نازک، r_2 ضریب بازتاب از پایین لایه نازک است، t_1 ضریب عبور از بالای لایه نازک و τ ضخامت زمانی لایه نازک است. طیف ردلرزه بازتابی لایه نازک با استفاده از تبدیل فوریه رابطه (۱۲-۵) بدست می‌آید.

$$R(j\omega) = (r_1 e^{-j\omega t} + t_1 r_2 e^{-j\omega(t+\tau)}) \hat{w}(\omega) \quad (13-5)$$

که $\hat{w}(\omega)$ طیف $w(t)$ است. در واقع لایه نازک مانند فیلتر عمل می‌کند و طیف موجک لرزه‌ای را تغییر می‌دهد. اگر $r_1 = -r_2 = 1$ باشد و مقدار ضریب عبور نزدیک یک باشد، خصوصیات فرکانسی سری بازتاب بصورت زیر خواهد بود.

$$k(\omega) = (1 - e^{-j\omega\tau}) e^{-j\omega t} \quad (14-5)$$

و طیف دامنه آن می‌تواند بصورت زیر بیان شود.

$$|k(\omega)| = [2 - 2 \cos(\omega\tau)]^{1/2} \quad (15-5)$$

این شرایط هنگامی رخ می‌دهد که سرعت لایه از لایه‌های بالایی و پایینی بیشتر باشد. در این حالت، در قسمت‌های نازکتر لایه تداخل ویرانگر رخ می‌دهد و انتظار می‌رود در آن قسمت‌ها دامنه کمینه باشد. در قسمت‌های نازکتر لایه به علت تداخل بازتاب‌های بالا و پایین لایه، فرکانس غالب افزایش می‌یابد اما در قسمت‌هایی که ضخامت لایه افزایش می‌یابد دوام زمانی موجک افزایش یافته و فرکانس غالب کاهش می‌یابد.

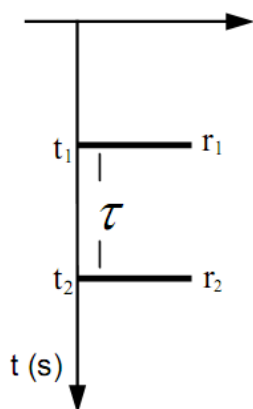
حال اگر سرعت لایه بیشتر از لایه بالایی و کمتر از لایه پایینی باشد، در این صورت $r_1 = r_2 = 1$ و روابط بالا بصورت زیر نوشته می‌شوند.

$$k(\omega) = (1 + e^{-j\omega\tau}) e^{-j\omega t} \quad (16-5)$$

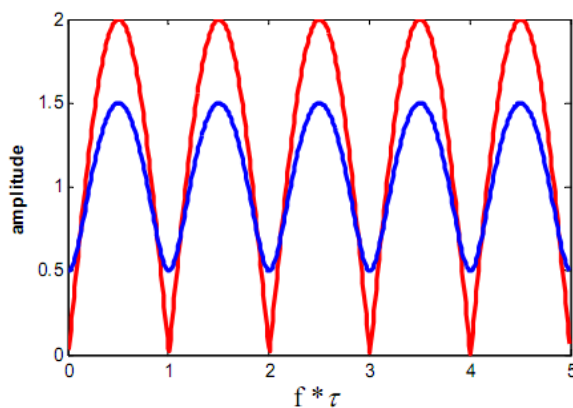
$$|k(\omega)| = [2 + 2 \cos(\omega\tau)]^{1/2} \quad (17-5)$$

در این حالت، در قسمت‌های نازکتر لایه تداخل سازنده رخ می‌دهد و در این قسمت‌ها انتظار حضور دامنه بیشینه می‌رود و هر چه ضخامت لایه افزایش یابد، دامنه بیشینه کاهش می‌یابد. اما در این حالت بازهم فرکانس غالب در قسمت‌های نازکتر لایه افزایش می‌یابد و هر چه ضخامت افزایش یابد، فرکانس غالب کاهش می‌یابد.

در شکل ۸-۵ (الف)، $|k(\omega)|$ رسم شده است و دامنه بیشینه در فرکانس‌های $\omega = 2\pi(n + \frac{1}{2})/\tau$ که فرکانس غالب نامیده می‌شوند، رخ می‌دهد. اولین فرکانس غالب در $f_{peak} = \frac{1}{2\tau}$ رخ می‌دهد. خوشبختانه اولین فرکانس غالب، می‌تواند ضخامت لایه نازک را تخمین بزند. اگر اولین فرکانس غالب در باند فرکانس لرزه‌ای باشد، می‌تواند ساختار لایه نازک را بررسی کند [هان و همکاران، ۲۰۱۱].



(ب)



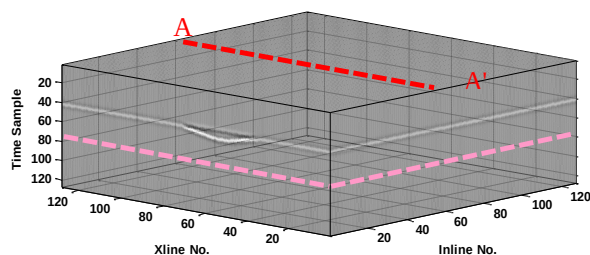
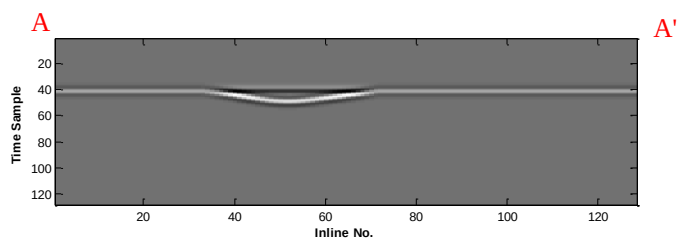
(الف)

شکل ۵-۸ (الف) طیف دامنه بازتاب لایه نازک $\frac{r_1}{r_2} = -0.5$ (آبی) و $\frac{r_1}{r_2} = -1$ (قرمز)، (ب) مدل لایه نازک، بالای لایه نازک در زمان t_1 با ضریب بازتاب r_1 است، پایین لایه نازک در زمان t_2 با ضریب بازتاب r_2 است [هان و همکاران، ۲۰۱۱].

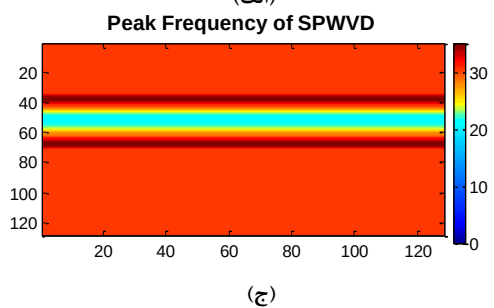
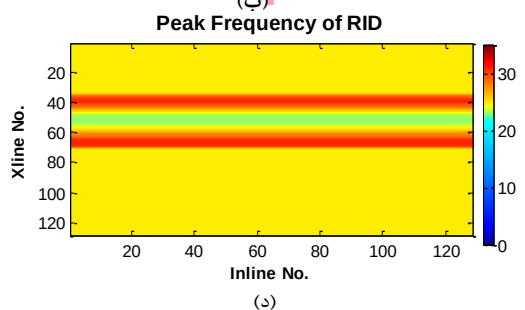
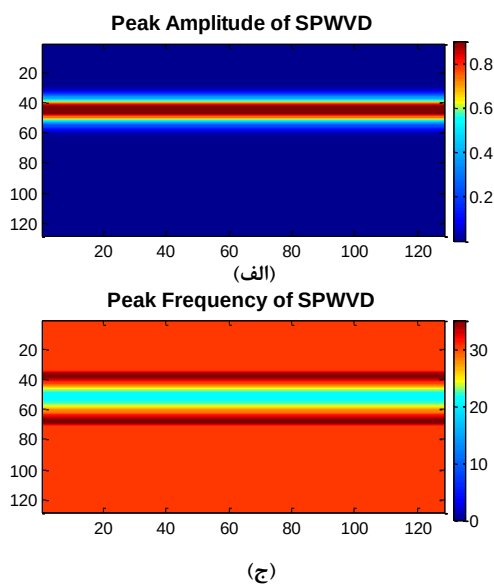
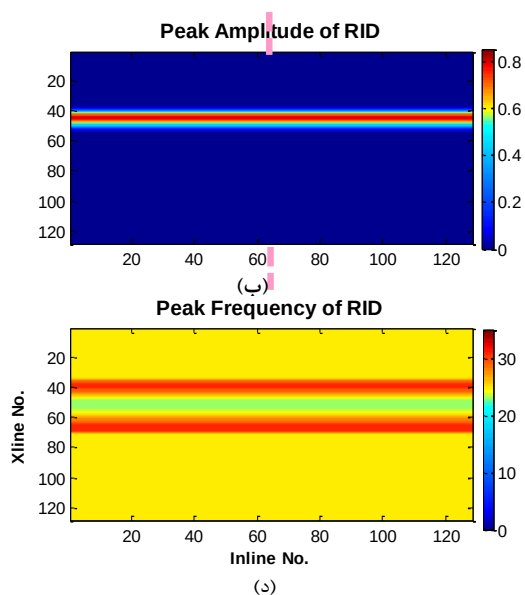
نشانه‌های فرکانس، رویدادهای لرزه‌ای را در هر ردلرزه بر اساس محتوای فرکانسی آنها جداسازی و دسته‌بندی می‌کند. مفهومی که در پس تجزیه طیفی نهفته است، این است که بازتاب از یک لایه نازک خصوصیتی در حوزه فرکانس دارد که شاخص ضخامت زمانی لایه است. نقطه آغاز تجزیه طیفی، تجزیه هر ردلرزه یک بعدی در حوزه زمان به نمایش دو بعدی منطبق بر آن در حوزه زمان-فرکانس بوسیله یکی از روش‌های توزیع زمان-فرکانس است. هنگامیکه هر ردلرزه به حوزه زمان-فرکانس منتقل می‌شود، یک فیلتر میان‌گذر برای مشاهده دامنه‌های داده لرزه‌ای در هر فرکانس یا بازه فرکانسی، می‌تواند اعمال شود. اصولاً هر فرکانس مجزا یا پهنای فرکانسی، می‌تواند بعنوان یک نشانگر در نظر گرفته شود. داده لرزه‌ای معمولاً در بازه‌های فرکانسی مختلف برای مشخص کردن الگوهای زمین‌شناسی که ممکن است در باندهای فرکانسی دیگر واضح نباشند، فیلتر می‌شود. یک رابطه معکوس بین ضخامت لایه و فرکانس غالب منطبق بر آن از بازتاب لرزه‌ای آن وجود دارد. لایه‌های نازک‌تر در فرکانس‌های بالاتر بیشتر آشکار می‌شوند و لایه‌های ضخیم‌تر در فرکانس‌های پایین‌تر به‌وضوح مشاهده می‌شوند.

برای بررسی کارایی این روش، یک مدل مصنوعی کانال ماسه‌ای که توسط شیل در بر گرفته شده

است، توسط نرم افزار GXII طراحی شده است. نسبت ضرایب بازتاب بالا و پایین کانال $\frac{r_1}{r_2} = -1$ است و فرکانس غالب موجک ۳۰ هرتز است. مکعب لرزه‌ای حاوی کانال و برش زمانی مربوط به کانال در شکل ۵-۹ (الف) و (ب) نشان داده شده است. محدوده کانال در نمونه زمانی ۳۵ تا ۵۵ قرار دارد. ابتدا توزیع با تداخل کاهش یافته و توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده را بر روی این مقطع اعمال می‌کنیم. بر روی هر ردلرزه توزیع با تداخل کاهش یافته و توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده اعمال می‌شود و یک مقطع زمان-فرکانس دو بعدی برای هر ردلرزه بدست می‌آید و به این ترتیب مکعب توزیع زمان-فرکانس را برای هر مقطع دو بعدی حاوی کانال از مکعب لرزه‌ای بدست می‌آوریم. سپس نشانگر فرکانس غالب و دامنه بیشینه منطبق بر آن را از مکعب زمان-فرکانس استخراج می‌کنیم. در شکل ۵-۱۰ (الف) تا (د) برش‌هایی از نشانگرهای بیشینه دامنه و فرکانس غالب در امتداد افقی که کانال در آن قرار دارد برای داده مصنوعی با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته و توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده رسم شده است. با مقایسه این شکل‌ها تفاوت در قدرت تفکیک در دو روش توزیع با تداخل کاهش یافته و توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده به خوبی آشکار است. قسمت‌هایی از کانال که ضخامت بیشتری دارد مانند مرکز کانال، منطبق بر بیشینه دامنه بالاتر و فرکانس غالب پایینتر نسبت به اطراف مرکز کانال است، اما هرچه ضخامت کانال رو به کاهش می‌گذارد، بیشینه دامنه کاهش می‌یابد و فرکانس غالب افزایش می‌یابد. چنانچه مشاهده می‌شود، این نشانگرها گسترش کانال را بصورت افقی و عمودی بخوبی نشان می‌دهند و در ارتباط مستقیم با ضخامت کانال هستند.



شکل ۵-۹ (الف) مکعب لرزه‌ای مصنوعی حاوی کانال، (ب) مقطع لرزه‌ای حاوی کانال.

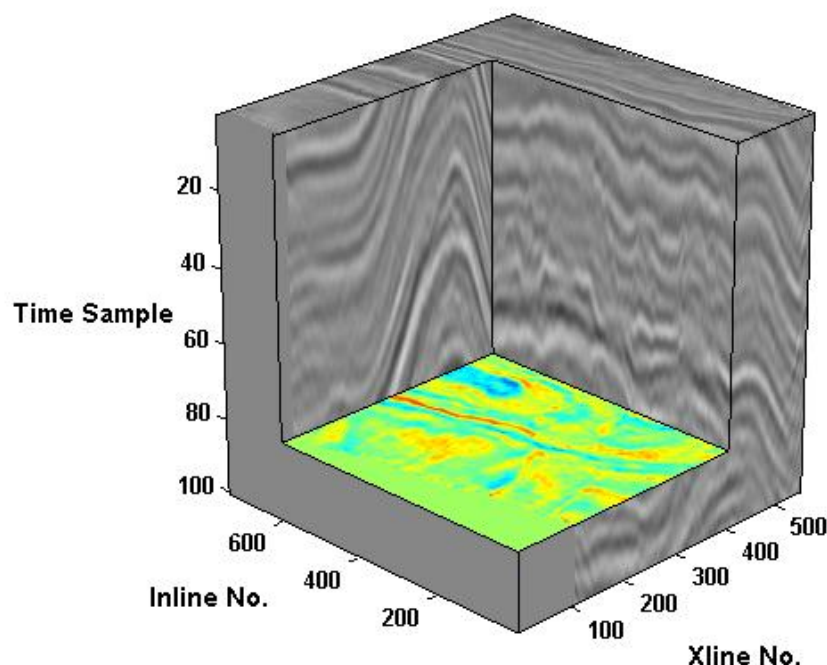


شکل ۵-۱۰ (الف) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (ب) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته (ج) فرکانس غالب در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (د) فرکانس غالب در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته.

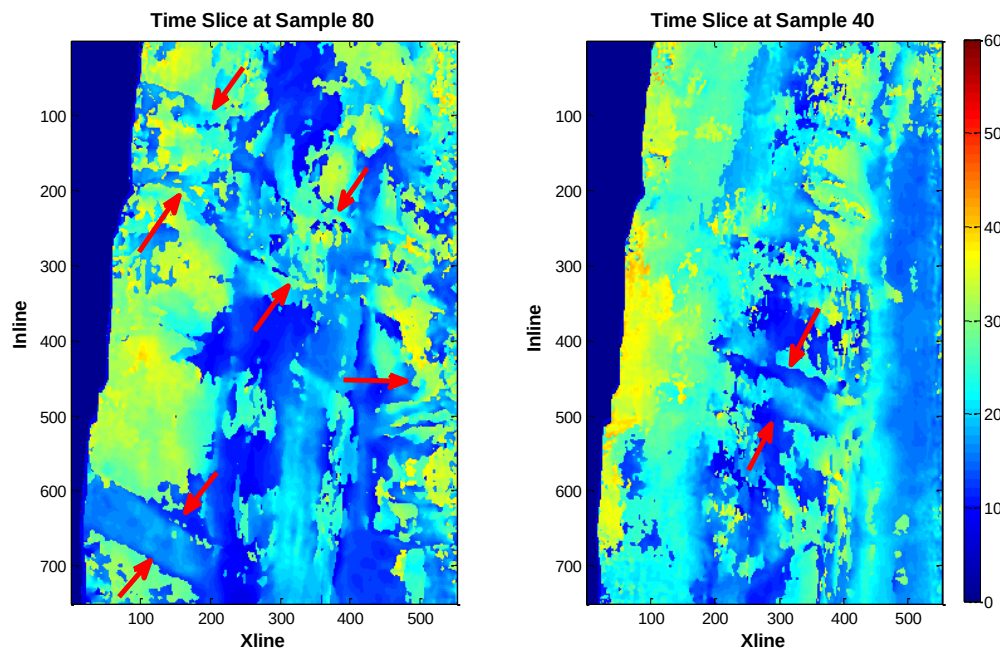
۵-۳-۱ اعمال روش بر روی داده لرزه‌ای واقعی

به منظور بررسی میزان کارایی توزیع زمان-فرکانس با تداخل کاهش یافته در شناسایی کانال‌های مدفون، روش مذکور را بر روی دو داده واقعی لرزه‌ای بازتابی اعمال کردیم. نتایج بدست آمده به شرح زیر است.

مثال اول مربوط به داده واقعی یک مکعب لرزه‌ای شامل ۷۵۰ خط گیرنده و ۵۵۲ خط چشمه است و فاصله زمانی نمونه برداری این داده‌ها ۴ میلی ثانیه است که در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. طبق گزارشات مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، در این منطقه در محدوده زمانی بین نمونه‌های ۶۰ تا ۸۰ یک کانال موجود می‌باشد. همانطور که در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌شود، در برش زمانی ۰/۳۲ ثانیه (نمونه زمانی ۸۰) در محدوده‌ای که کانال قرار دارد نمی‌توان کانال را مشاهده کرد. برای مشاهده کانال، ابتدا RID را بر روی این داده‌ها اعمال کرده و از مکعب زمان-فرکانس حاصل، نشانگر فرکانس غالب استخراج می‌شود. برش‌های زمانی مختلف از مکعب فرکانس غالب در شکل ۵-۱۲ رسم شده است. در برش زمانی در نمونه ۴۰ و ۸۰ می‌توان گسترش کانال را مشاهده کرد. فلش‌های قرمز در شکل محدوده کانال را مشخص می‌کنند.

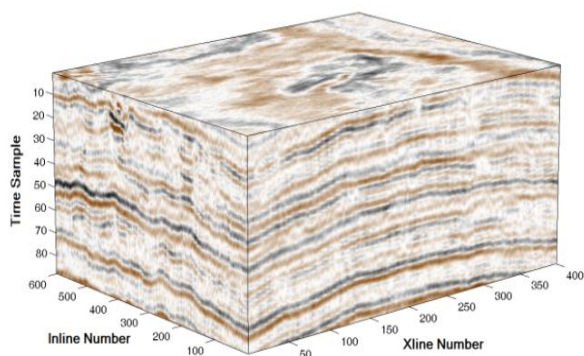


شکل ۵-۱۱ مکعب داده لرزه‌ای و برش زمانی در نمونه ۸۰ (۰/۳۲ ثانیه).

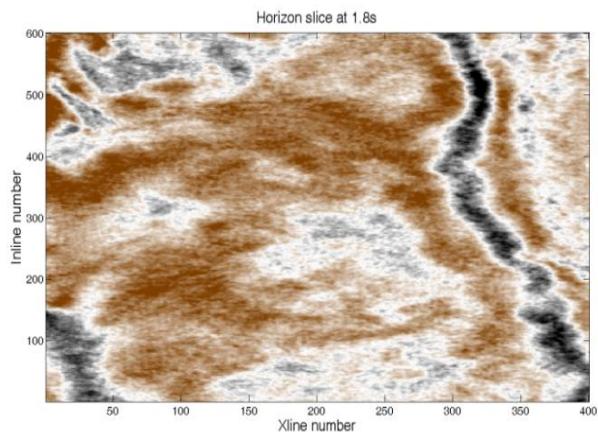


شکل ۵-۱۲ برشهای زمانی مختلف از فرکانس غالب با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته.

در مثال دوم داده واقعی یک مکعب لرزه‌ای بازتابی شامل ۴۰۰ خط چشمه و ۶۰۰ خط گیرنده می‌باشد که فاصله زمانی نمونه‌برداری این داده‌ها ۴ میلی‌ثانیه است. طبق گزارشات مربوط به این منطقه، یک کانال در حدود زمان ۱/۸ ثانیه (نمونه زمانی ۱۰) قرار دارد. در شکل ۵-۱۳ مکعب داده لرزه‌ای و برش زمانی ۱/۸ ثانیه از آن نشان داده شده است. نشانگرهای بیشینه دامنه و فرکانس غالب برای داده‌ها با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته و توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده محاسبه شده است و در شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است. بر اساس مطالب گفته شده در بخش قبل، در داخل کانال، که دارای خصوصیات لایه نازک است، به علت تداخل امواج لرزه‌ای بیشینه دامنه افزایش یافته که به این معنی است که ضرایب بازتاب بالا و پایین کانال علامت مخالف دارند و در لبه‌های کانال که ضخامت کمتر است، تداخل ویرانگر رخ می‌دهد. با حرکت به سمت داخل کانال همچنانکه ضخامت کانال افزایش می‌یابد، تداخل ویرانگر کاهش یافته و بیشینه دامنه افزایش می‌یابد. بطور عکس با حرکت به سمت داخل کانال به علت افزایش ضخامت کانال دوام زمانی موجک افزایش یافته و فرکانس غالب در داخل کانال کاهش می‌یابد.

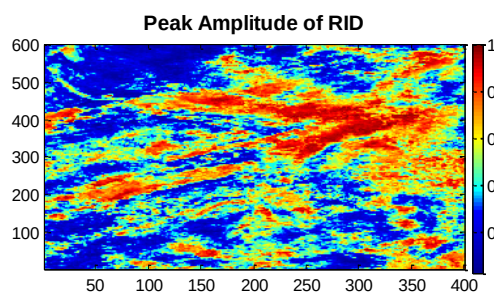


(ب)

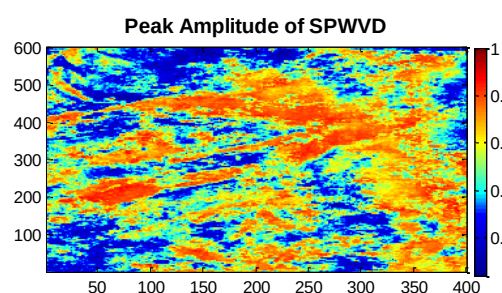


(الف)

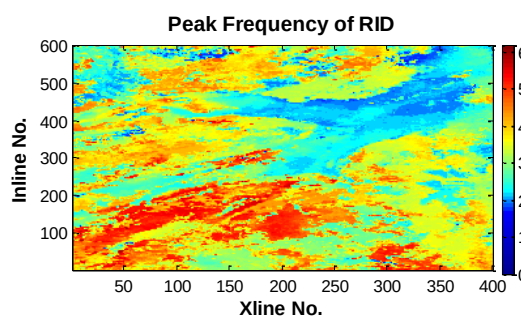
شکل ۵-۱۳ (الف) برش زمانی ۱/۸ ثانیه (ب) مکعب داده لرزه‌ای مربوط به یکی از میادین نفتی ایران.



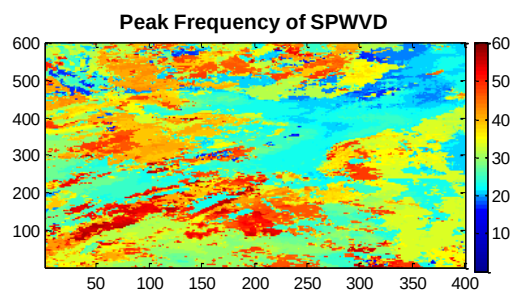
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵-۱۴ (الف) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (ب) بیشینه دامنه در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته (ج) فرکانس غالب در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع شبه ویگنر-وایل هموار شده و (د) فرکانس غالب در امتداد افق مورد نظر با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته.

۴-۵ سایه‌های فرکانس پایین

پاسخ‌های دامنه و فرکانس موج بازتابی لرزه‌ای تحت تاثیر عوامل متعددی است که شامل ساختارهای زمین-شناسی، ضخامت لایه، سنگ‌شناسی و خصوصیات سیالی که تخلخل سنگ را پر کرده، هستند. هنگامیکه موج لرزه‌ای به سطح زمین باز می‌گردد، اطلاعاتی مربوط به ساختارهای چینه‌شناسی، تغییرات خصوصیات سنگ و انباشت هیدروکربن را با خود می‌آورد. هر مخزن پاسخ فرکانسی لرزه‌ای مربوط به خود را دارد که به دلیل خصوصیات سیال و سنگ منحصر به فرد است که آن را از محیط دربرگیرنده‌اش مجزا می‌کند.

ناهنجاری‌های انرژی فرکانس پایین در ارتباط با مخازن، چندین سال است که مشاهده شده‌اند. تانر و همکاران [۱۹۷۹]، حضور فرکانس‌های پایین با دامنه بالا را زیر گاز و مخازن چگال بیان کردند. کاستاگنا و همکاران [۲۰۰۳]، نشان دادند که مخازن گازی می‌توانند بوسیله سایه‌های فرکانس پایین تشخیص داده شوند.

آنالیز طیفی لحظه‌ای، یک روش آنالیز زمان-فرکانس پیوسته است که یک طیف فرکانسی برای هر نمونه زمانی در یک ردلرزه را ایجاد می‌کند. سه راه مشخص که در آن آنالیز طیفی لحظه‌ای می‌تواند در آشکارسازی هیدروکربن‌ها کمک کند، بصورت زیر است [کاستاگنا و همکاران، ۲۰۰۳]:

- (۱) تضعیف بالای غیرعادی در مخازن گازی غیریکپارچه یا ضخیم.
- (۲) سایه‌های فرکانس پایین در مخازنی که ضخامت به اندازه‌ای نیست که تضعیف مشخصی را نتیجه دهد.
- (۳) وابستگی فرکانسی AVO.

محتوای فرکانس لرزه‌ای نهایی، نتیجه جامعی از عواملی مانند موجک منبع، خصوصیات سنگ‌شناسی لایه، فرایند پردازش داده لرزه‌ای و غیره است. دلایل زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد حضور ناهنجاری‌های طیفی فرکانس پایین با احتمال بسیار بالایی در ارتباط با موقعیت مخازن هیدروکربنی است. عوامل موثر بر فرکانس به دو دسته تقسیم می‌شوند. یک دسته عوامل کلی هستند که فرکانس کل مقطع لرزه‌ای را

تغییر می‌دهند و فرکانس زمینه مقطع لرزه‌ای را تعیین می‌کنند. به‌عنوان مثال، موجک منبع، فرایند پردازش داده لرزه‌ای و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه متعلق به این دسته هستند. دسته دیگر عوامل محلی هستند که تنها موجب تغییرات فرکانس محلی یا منطقه‌ای می‌شوند، مانند تغییر خصوصیات سنگ-شناسی محلی، تغییر ضخامت لایه و حضور فشار غیر عادی زمین. در مشاهده حضور هیدروکربن توجه ما اساساً به این عوامل محلی معطوف می‌شود. سایه‌های فرکانس پایین در محل مخزن هیدروکربن یا زیر آن پدیده آشنایی است. تضعیف امواج لرزه‌ای در یک مخزن، تابعی از خواص سنگ مخزن است. حضور خردشدگی‌ها و هیدروکربن می‌تواند تضعیف مولفه‌های فرکانس بالا را در مخزن یا زیر آن موجب شود. هنگامیکه امواج لرزه‌ای از مخزن هیدروکربنی عبور می‌کنند، در اثر میرایی ناشی از سیالات مخزنی دچار افت می‌شوند. اثر سایه‌های فرکانس پایین بصورت ناهنجاری‌های با دامنه بالا در فرکانس پایین مشاهده می‌شود که در فرکانس بالا وجود ندارند. تا کنون هیچ توضیح اثبات شده‌ای برای پدیده سایه‌های فرکانس پایین ارائه نشده است. تعدادی از محققان مفهوم جذب را برای توجیه سایه‌های فرکانس پایین پیشنهاد دادند، چون جذب مانند یک فیلتر پایین‌گذر عمل می‌کند که کاهش فرکانس‌های بالاتر بیشتر از فرکانس‌های پایین رخ می‌دهد. تانر و همکاران [۱۹۷۹] بیان کرد که سایه‌های فرکانس پایین می‌توانند ناشی از ناهنجاری‌های تضعیف باشند. ادبیتو^۱ و همکاران [۲۰۰۶] پیشنهاد کردند که ناهنجاری‌های فرکانس پایین در ارتباط با یک مخزن گازی می‌تواند ناشی از پراکندگی^۲ باشد [لیو، ۲۰۰۶]. توضیح سایه‌های مشاهده شده زیر مخزن نازک که مسیر عبور کافی برای امواج لرزه‌ای وجود ندارد که جذب در مخزن گاز روی دهد، برای توجیه تغییر مکان مشاهده شده انرژی طیفی از فرکانس‌های بالا به پایین مشکل است. اگر ناهنجاری فرکانس پایین تنها توسط پدیده جذب ایجاد شده باشد، می‌توان مولفه‌های فرکانس بالا را در آن ناحیه با اعمال یک فیلتر معکوس^۳ Q جبران کرد. اما یانگوا وانگ^۴ [۲۰۰۷] نشان داد که ناحیه فرکانس پایین حتی

¹ Odebeatu

² dispersion

³ reverse Q filter

⁴ Yanghua Wang

بعد از اعمال فیلتر بازهم وجود دارد [تای^۱ و همکاران، ۲۰۰۹].

تعداد ده مکانیزم برای دلیل حضور سایه‌های فرکانس پایین پیشنهاد شده که به دو دسته وابسته به برانبارش^۲ و مستقل از برانبارش تقسیم شده است. مکانیزم‌های وابسته به برانبارش می‌توانند فرکانس ظاهری را بعلت برانبارش غلط (که فرکانس‌های بالا را کاهش می‌دهد) یا بعلت تاکید بر دورافت‌های^۳ بزرگتر در برانبارش (که پدیده کشیدگی^۴ در دورافت‌های بزرگ در برونراند نرمال^۵ رخ می‌دهد)، کاهش دهند. مکانیزم‌های وابسته به برانبارش شامل موارد زیر است [ابرام^۶، ۲۰۰۴].

- (۱) برانبارش غلط ناشی از انتخاب کردن نامنظم سرعت.
 - (۲) برانبارش غلط ناشی از تبدیل محلی امواج برشی.
 - (۳) به‌علت اینکه تغییر فاز با دورافت، انتخاب صحیح سرعت را مشکل می‌کند باعث برانبارش غلط ناشی از دسته دوم آنومالی‌های AVO می‌شود.
 - (۴) برانبارش غلط ناشی از برونراند غیرهذلولی.
 - (۵) تاکید بر دورافت‌های بزرگ با دسته سوم آنومالی AVO چون دورافت‌های بزرگتر دامنه بیشتری دارند (اما کشیدگی بیشتری در برونراند نرمال دارند).
 - (۶) برانبارش نادرست ناشی از بازتاب‌های تکراری با دامنه بالا از بالا و پایین ناحیه مخزن.
- اثرات مستقل از دورافت حتی مقاطع با دورافت صفر را تحت تاثیر قرار می‌دهند و می‌توانند بعلت تضعیف ذاتی یا بازتاب‌های تکراری از بالا و پایین مخزن گاز یا به‌علت فرآیندهای پردازش سیگنال باشند. اثرات مستقل از برانبارش شامل موارد زیر است:

¹ Tai

² stack

³ offset

⁴ stretch

⁵ normal move out

⁶ Ebrom

(۱) Q خیلی پایین در مخزن.

(۲) Q تقریباً پایین در مخزن و در دودکش مخزن.

(۳) بازتاب‌های تکراری با دامنه بالا از بالا و پایین ناحیه مخزن.

(۴) فرآیند واهمامیخت یک دنباله فرکانس پایین به موجک اضافه می‌کند.

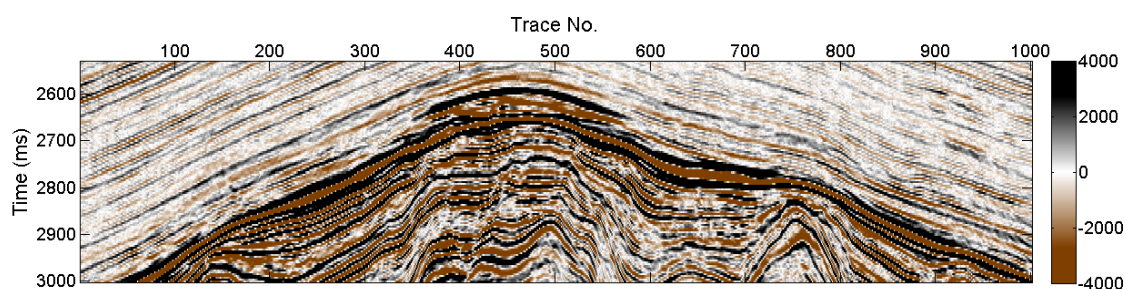
از مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس که با استفاده از روش‌های تحلیل زمان-فرکانس مقاطع لرزه‌ای تولید می‌شوند، می‌توان در حکم نشانگر لرزه‌ای برای آشکارسازی سایه‌های فرکانس پایین ناشی از مخازن هیدروکربن استفاده کرد. مقایسه مقاطع لرزه‌ای تک فرکانس متفاوت می‌تواند برای آشکارسازی این سایه‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. دو رویداد خیلی نزدیک بهم در صفحه زمان-فرکانس، اگر در فرکانس‌های پایین مجزا نباشند، در فرکانس‌های بالاتر مجزا می‌شوند. اصل برهم‌نهی می‌گوید که طیف فرکانس یک لرزه-نگاشت، جمع طیف فرکانس موجک‌هایی است که برای تولید لرزه‌نگاشت باهم جمع شده‌اند. سایه در فرکانس‌های پایین قویتر از بازتاب مخزن است که نشان می‌دهد سایه‌ها ضرورتاً یک پدیده تضعیف ساده نیستند. جذب به‌تنهایی باید فرکانس‌های بالاتر را تضعیف کند نه اینکه فرکانس‌های پایین‌تر را تقویت کند.

۵-۴-۱ اعمال روش بر روی داده‌های واقعی

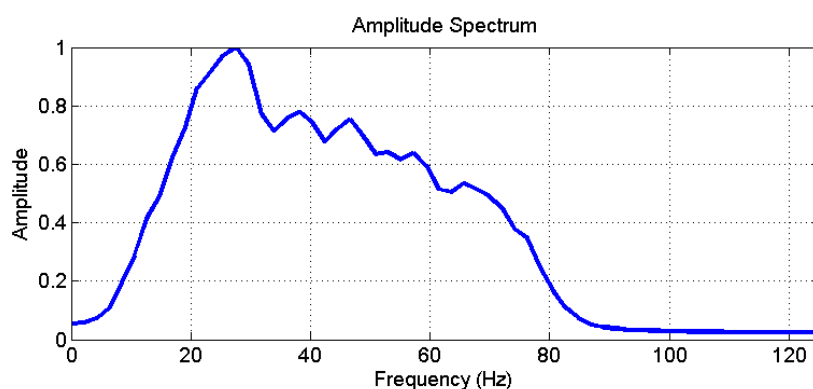
توزیع با تداخل کاهش یافته را بر روی دو داده واقعی اعمال کرده و نشانگر سایه فرکانس پایین را استخراج می‌کنیم سپس با تبدیل فوریه زمان کوتاه مقایسه می‌کنیم و تفاوت در قدرت تفکیک این دو روش را نشان می‌دهیم.

داده‌ای که در مثال اول مورد استفاده قرار می‌گیرد مربوط به خط گیرنده ۴۱۰ از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی برداشت شده بر روی یکی از میادین گازی دریای خزر در محدوده زمانی ۲۵۳۰ تا ۳۰۰۲ میلی‌ثانیه می‌باشد که محدوده نشان داده شده در شکل ۵-۱۵ (الف) از آن جدا شده است. داده‌ها با فاصله نمونه بردای ۴ میلی‌ثانیه برداشت شده‌اند. در شکل ۵-۱۵ (ب) مشاهده می‌شود که محدوده فرکانسی داده‌ها بین ۱۰ تا

۸۰ هرتز است. برای شناسایی محدوده مخزن گازی مقاطع تک فرکانس ۱۵ و ۵۵ هرتز انتخاب شده‌اند. با مقایسه این دو مقطع محدوده سایه فرکانس با مستطیل‌های زردرنگ مشخص شده است. با مقایسه مقاطع تک فرکانس با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته و تبدیل فوریه زمان کوتاه می‌توان تفاوت قدرت تفکیک در صفحه زمان-فرکانس را برای این دو تبدیل مشاهده کرد. توزیع با تداخل کاهش یافته دارای قدرت تفکیک بسیار بالاتری می‌باشد (شکل ۵-۱۶).

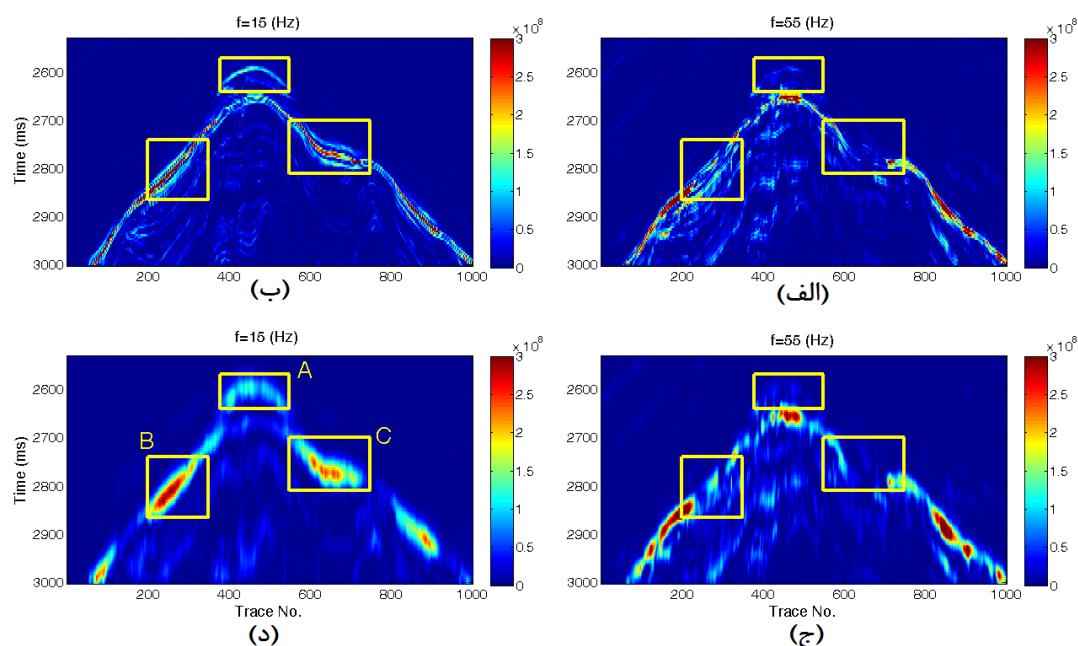


(الف)



(ب)

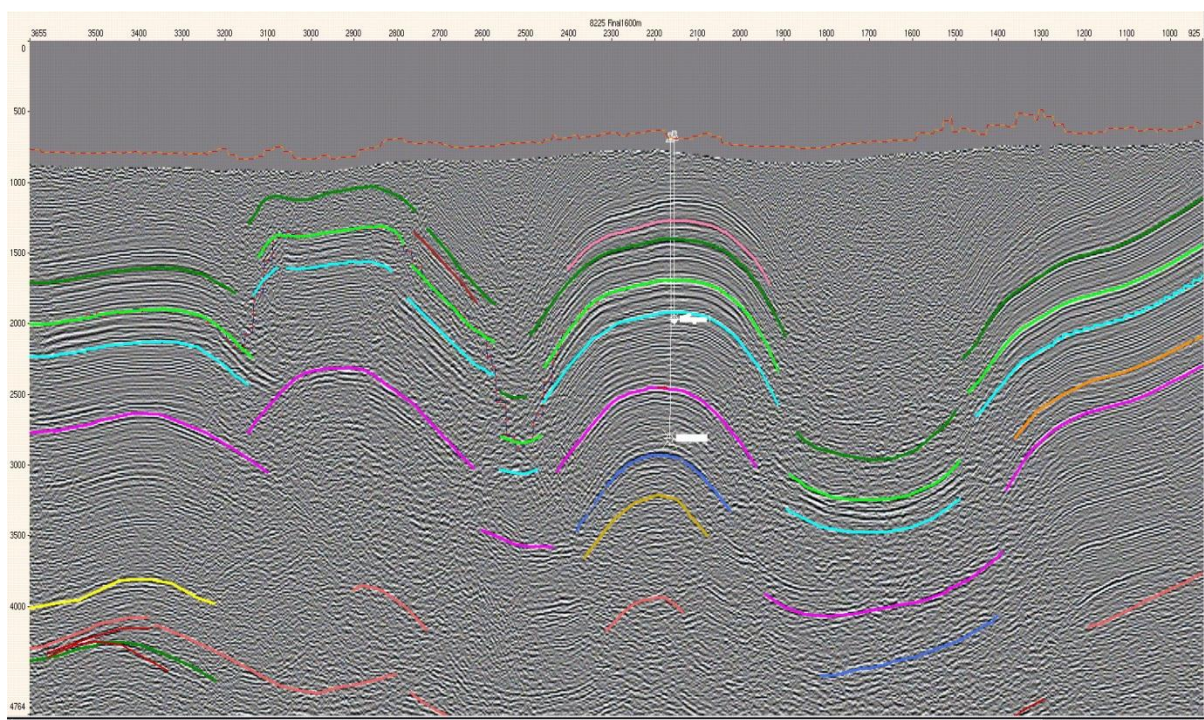
شکل ۵-۱۶ (الف) مقطع لرزه‌ای، (ب) طیف دامنه میانگین.



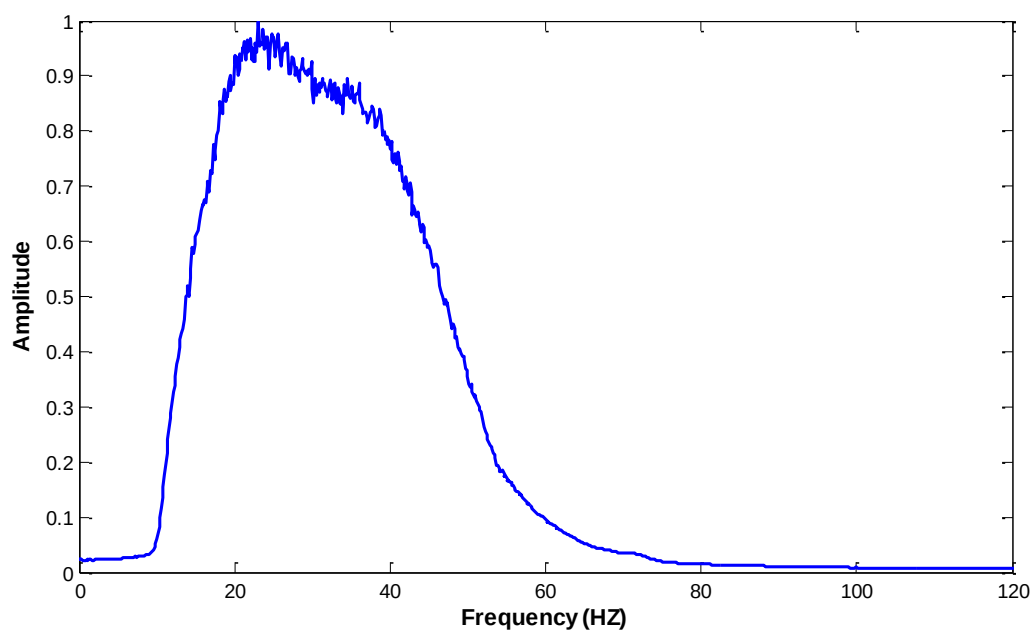
شکل ۵-۱۶ مقاطع تک فرکانس از توزیع با تداخل کاهش یافته در فرکانس‌های (الف) ۵۵ هرتز و (ب) ۱۵ هرتز، مقاطع تک فرکانس از تبدیل فوریه زمان کوتاه در فرکانس‌های (ج) ۵۵ هرتز و (د) ۱۵ هرتز.

داده‌ای که در مثال دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد یک خط لرزه‌ای دو بعدی مربوط به یکی از میداین فارس می‌باشد. در منطقه یک چاه اکتشافی حفر شده است. بر اساس گزارشات مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، در مقطع لرزه‌ای تفسیر شده در شکل ۵-۱۷ لایه حاوی گاز در زمان ۲۵۰۰ میلی‌ثانیه گزارش شده است. با توجه به شکل ۵-۱۸ که طیف دامنه داده مورد نظر است، محتوای فرکانسی این داده‌ها بین ۲۰ تا ۵۰ هرتز است. برای بررسی کارایی روش توزیع با تداخل کاهش یافته در استخراج نشانگر سایه فرکانس پایین، ابتدا RID را بر روی داده مورد نظر اعمال کرده و سپس مقاطع تک فرکانس مختلف را بدست می‌آوریم. با توجه به محتوای فرکانسی داده‌ها دو مقطع تک فرکانس ۳۰ و ۴۵ هرتز انتخاب می‌شود. با مقایسه مقاطع تک فرکانس با محتوای فرکانسی بالا و پایین می‌توان سایه‌های فرکانس پایین را مشاهده کرد.

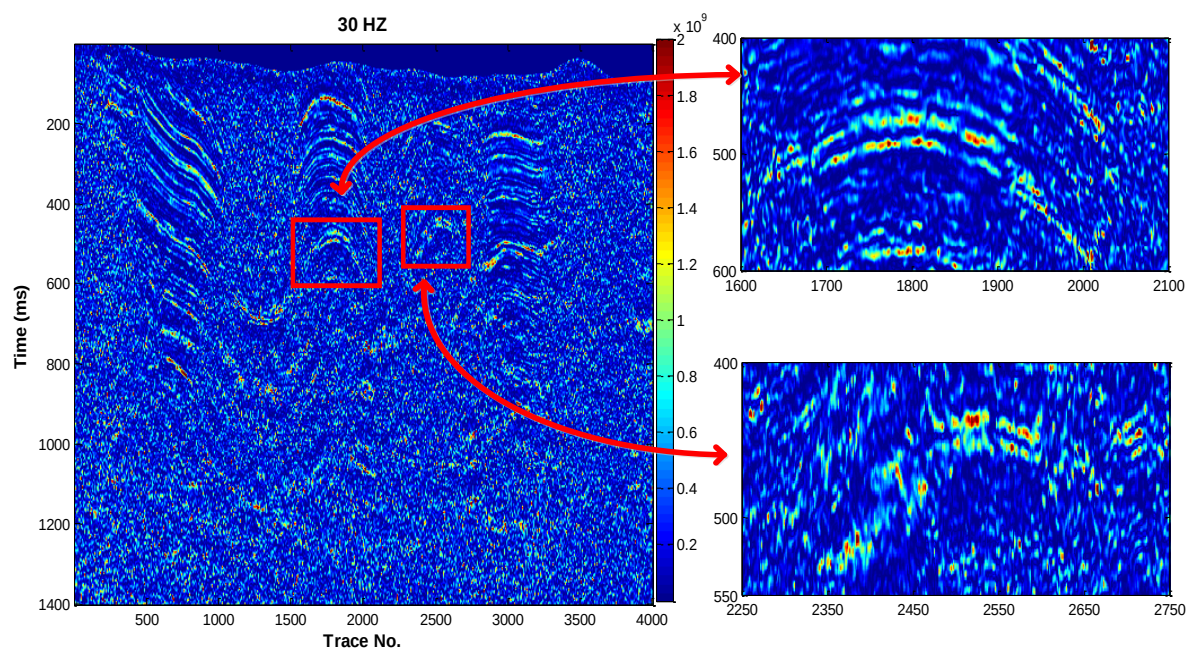
در شکل ۵-۱۹ مقطع تک فرکانس ۳۰ هرتز با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته رسم شده است. در شکل ۵-۲۰ مقطع تک فرکانس ۴۵ هرتز رسم شده است. با مقایسه این دو شکل می‌توان دید که در محدوده‌هایی که با مربع قرمز در شکل نشان داده شده است پدیده سایه فرکانس پایین مشاهده می‌شود. این لایه در زمان ۲۵۰۰ میلی‌ثانیه قرار دارد که منطبق بر منطقه حاوی گاز در مقطع شکل ۵-۱۷ است. در مناطق دیگر که پدیده سایه فرکانس پایین مشاهده می‌شود، می‌توان اینگونه بیان کرد که در آن لایه‌ها با توجه به مقطع تفسیر شده شکل ۵-۱۷ نمی‌تواند حاوی گاز باشد. بنابراین، این نشانگر همراه با روش‌های دیگر تفسیر می‌تواند برای شناسایی مناطق حاوی گاز مورد استفاده قرار گیرد.



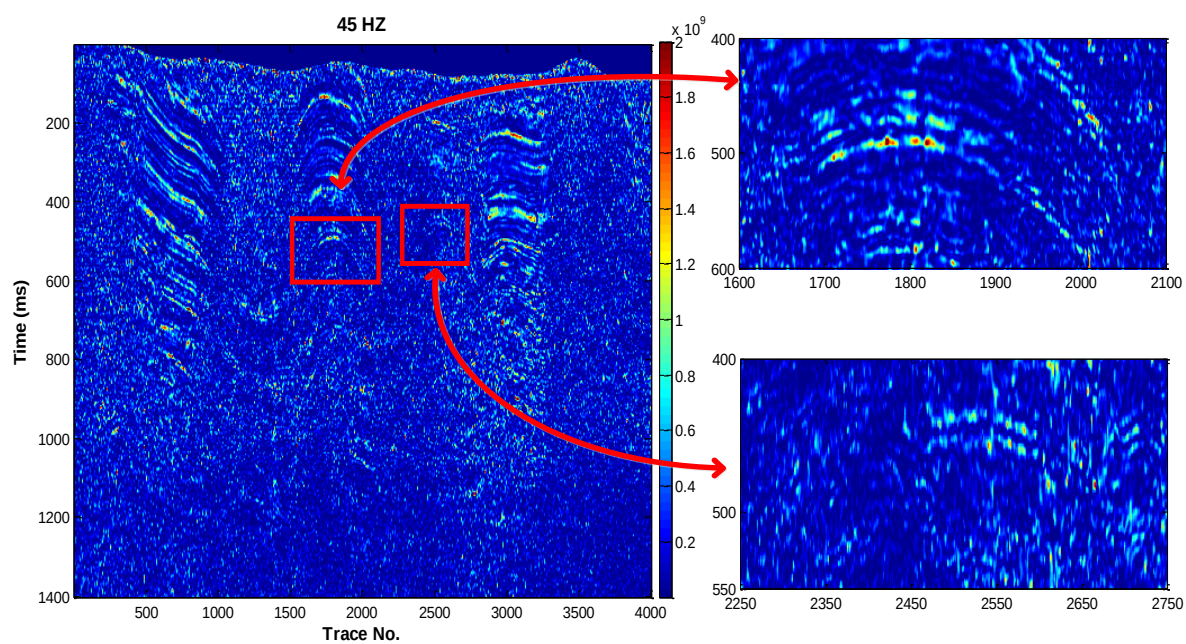
شکل ۵-۱۷ مقطع لرزه‌ای تفسیر شده، لایه حاوی گاز در زمان ۲۵۰۰ میلی‌ثانیه گزارش شده است.



شکل ۵-۱۸ طیف دامنه داده لرزه‌ای.



شکل ۵-۱۹ مقطع تک فرکانس ۳۰ هرتز از توزیع با تداخل کاهش یافته.



شکل ۵-۲۰ مقطع تک فرکانس ۴۵ هرتز از توزیع با تداخل کاهش یافته.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این رساله، سعی بر این بود که با استفاده از یکی از تبدیلات زمان-فرکانس با عنوان توزیع با تداخل کاهش یافته، به شناسایی لایه‌های نازک، کانال‌های مدفون و مخازن گازی پرداخته شود. ابتدا برتری تبدیلات زمان-فرکانس بر تبدیل فوریه بررسی شد. سپس تبدیلات زمان-فرکانس مختلف معرفی شدند و نشان داده شد که توزیع استفاده شده در این رساله یعنی توزیع با تداخل کاهش یافته، نسبت به تبدیلات مرسوم برتری دارد. محدودیت‌هایی که در تبدیلات مرسوم وجود دارد مانند پنجره‌ای کردن و همچنین حضور عبارات متقاطع در تبدیلات درجه دو که قدرت تفکیک را کاهش می‌دهند با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته برطرف می‌شود. در این تبدیل مشکل پنجره کردن وجود ندارد و با استفاده از کرنل‌های مختلف می‌توان عبارات متقاطع را حذف کرد بدون اینکه قدرت تفکیک در صفحه زمان-فرکانس کاهش یابد. کرنل‌های متفاوتی در الگوریتم توزیع با تداخل کاهش یافته وجود دارد که برای داده‌های لرزه‌ای، کرنلی که بهترین نتیجه را بدست می‌دهد کرنل دوجمله‌ای اصلاح شده است.

بعد از مقایسه تبدیلات مختلف و اثبات برتری توزیع با تداخل کاهش یافته نسبت به تبدیلات مرسوم، از این روش برای استخراج نشانگرهای بیشینه دامنه و بیشینه فرکانس در شناسایی کانال‌های مدفون استفاده کردیم و نتیجه بدست آمده بطور قابل قبولی گسترش کانال را نشان می‌دهد. در مرحله بعد برای بررسی بیشتر کارایی توزیع با تداخل کاهش یافته، از نشانگر سایه‌های فرکانس پایین برای شناسایی مخازن گازی استفاده نمودیم. با استفاده از این روش محل مخزن گاز با دقت بالاتری مشخص شد.

با توجه به نتایج بدست آمده در این رساله می‌توان نتیجه گرفت که توزیع با تداخل کاهش یافته برتری‌های بسیاری نسبت به تبدیلات مرسوم دارد و علاوه بر آن با استفاده از این روش می‌توان نتایج خوبی در شناسایی کانال‌های مدفون و مخازن گازی نسبت به روش‌های قبل بدست آورد.

پیشنهادهای چندی در این مورد می‌توان داد:

- ❖ از توزیع با تداخل کاهش یافته می‌توان در استخراج نشانگرهای لرزه‌ای دیگر استفاده کرد.
- ❖ با استفاده از این روش می‌توان کاربردهای دیگر تبدیلات زمان-فرکانس در تفسیر و پردازش داده‌های لرزه‌ای مانند تضعیف نوفه را به کار بست و نتایج بهتری بدست آورد.
- ❖ طراحی کرنلی که بهترین نتایج را در داده‌های لرزه‌ای داشته باشد.

مراجع

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات دانشگاه تهران.

حسینی، م.ح.، ۱۳۷۸، "بررسی زمین‌شناسی تاقدیس هالگان"، گزارش شماره GR1916 مدیریت اکتشاف.

ذبیحی نائینی، ا.، سیاه‌کوهی، ح.، ۱۳۸۴، "حوزه زمان-فرکانس و کاربرد آن در شناسایی مخازن هیدروکربور"، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۲۹، ۱۱-۱۴.

روشندل کاهو، ا.، ۱۳۸۸، رساله دکتری، "بهبود تبدیل‌های زمان-فرکانس در مطالعه داده‌های لرزه‌ای"، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

زارعی، م.، ۱۳۹۱، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "شناسایی مخازن هیدروکربن با استفاده از تبدیل‌های زمان-فرکانس"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

صادقی، م.، ۱۳۹۱، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بهبود تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از تلفیق روش‌های آنالیز اصلی و تجزیه طیفی"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مصطفایی، ر.، ۱۳۸۶، "تحلیل رخساره‌ای، مدل رسوبی و بررسی کیفیت مخزنی سازندهای ایلام و سروک در میدان اهواز، منصوری و آب‌تیمور"، شرکت مدیریت اکتشاف ایران، تهران.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۳، "زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

ملکی، م.، ۱۳۹۱، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تعیین پارامترهای مخزن و مشخصات چینه‌ای در یکی از میداین نفتی جنوب غرب ایران با روش‌های ژئوفیزیکی"، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

Atlas, L. E., Loughlin, P. J., and Pitton, J. W., 1992, " Signal analysis with cone kernel time-frequency representations and their application to speech", **in: Time-Frequency Signal Analysis, edited by Boashash, Longman Cheshire, 375-388.**

Auger, F., and Flandrin, P., Goncalves, P., and Lemoine, O., 1996, "Time-frequency toolbox for use with MATLAB", **CNRS, France.**

Barkat, B., and Boashash, B., 2001, "A hig-resolution quadratic time-frequency distribution for multicomponent signals analysis", **IEEE Trans. Signal Processing, 49, 2232-2239.**

Baydar, N., Ball, A., 2001, " A comparative study of acoustic and vibration signals in detection of gear failures using Wigner-Ville distribution", **Mechanical Systems and Signal Processing, 15(6), 1091-1107.**

Boashash, B., 2003, "*Time frequency signal analysis: A comprehensive refrence*", **Elsivier, Oxford, UK.**

Brigham, E. O., 1988, " *The fast fourier transform and its applications*", **Prentice-Hall, Inc.**

Castagna, J. P., Sun, S. and Siegfried, R. W., 2003, "Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadow associated with hydrocarbons", **The Leading Edge, 22, 120-127.**

Chakraborty, A., and Okaya, D., 1995, " Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods", **Geophysics, 60, 1906-1916.**

Chuang, H., and D. C. Lawton, 1995, " Frequency characteristics of seismic reflections from thin beds", **Canadian Journal of Exploration Geophysics, 31, 32-37.**

Choi, H., and Williams, W. J., 1989, " Improved Time-Frequency Representation of Multicomponent Signal Using Exponential Kernels", **IEEE Transactions on**

acoustics. Speech. And signal processing, 37, 862-871.

Classen, T., Mecklenbrauker, W., 1980, " The Wigner distribution: a tool for time-frequency signal analysis", **Philips Journal of Research, 35, 217-250.**

Claerbout, J. F., 1976, "*Fundamentals of geophysical data processing*", **Blackwell Scientific Publications.**

Cohen, L., 1995, "*Time-Frequency Analysis*", **Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.**

Cohen, L., 1966, "Generalized phase-space distribution function. **J. Math. Phys., 7(5): 781-786.**

Coifman, R. R., 1989, " Multiresolution analysis in non-homogeneous media", **in Combes, J. M., Grossmann, A., and Tchamitchian, P., Eds., Wavelet time-frequency methods and phase space: spring-er-Verlag, 259-262.**

Coifman, R. R., and Wickerhauser, M. V., 1992, " Entropy-based algorithms for best basis selection", **IEEE Trans. Inform. Th., 38, 713-719.**

Cunningham, G. S., and Williams, W. J., 1993, "High-Resolution Signal Synthesis for Time-Frequency Distributions", **Proc. IEEE ICASSP-93, 4, 400-403.**

Daubechies, I., 1992, " Ten lectures on wavelet", **Regional Conference Series in Applied Mathematics, SIAM. Philadelphia.**

Ebrom, D., 2004, " the low-frequency gas shadow on seismic sections", **The Leading EDGE.**

Flandrin, P., 1984, " Some features of time-frequency representation of multicomponent signals", **IEEE, 41B.4.1-41B.4.4.**

Flandrin, P., 1989, "Some aspects of nonstationary signal processing with emphasis

on time-frequency and time-scale methods", in **Combos, J. M., Grossman, A., and Tchamitchian, P., Eds., Wavelets time-frequency methods and phase space: Springer-Verlag, 68-98.**

Flandrin, P., 1999, "*Time-Frequency/Time-Scale*", **Academic Press, San Diego.**

Gabor, D., 1946, Theory of communication: **J. IEEE (London), 93(III), 429-457.**

Grossman, A., and Morlet, J., 1984, "Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape", **SIAM J. Math. Anal., 15, 723-736.**

Grossman., A., Kronland-Martinet., R., and Morlet., J., 1989, "Reading and understanding continuous wavelet transforms", **Wavelets, time-frequency representation and phase space, Springer Verlage, USA.**

Han, R. D., Wan, Z. H., Chen, M S., and Zheng, Y., 2011, " Application of Time-Frequency Attributes Based on Generalized S-transform for Thin Bed Indication", **73rd EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2011, Austria, 23-26 May, 509-513.**

Hart, B. S., 1999, " Geology plays key role in seismic attribute studies", **Oil & Gas Journal, 76-80.**

Hassanpour, H., 2004, "Time-Frequency based detection of newborn EEG seizure", **PHD thesis, Queensland Universiyu of Technology.**

Hussain, Z. M., and Boashash, B., 2000, " Adaptive instantaneous frequency estimation of multicomponent FM signals", in **Proc. IEEE Internat. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2000), Vol. II, 657-660, Istanbul.**

Hussain, Z. M., and Boashash, B., 2000, "Multi-component IF estimation", in **Proc. Tenth IEEE Workshop on Statistical Signal and Array Processing (SSAP-2000), 559-563, Pocono Manor.**

Jeong, J., and Williams, W. J., 1992, "Kernel design for reduced interference distribution", **IEEE Transactions on Signal Processing**, **40(2)**, 402-412.

Lawrence M. G., 1991, " Tuning effect and interference reflections from thin beds and coal seams", **Geophysics**, **56, 8**, 1288-1295.

Li, Y., and Zheng, X., 2007, " Wigner-Ville distribution and its application in seismic attenuation estimation", **Applied Geophysics**, **4(4)**, 1-10.

Li, Y., and Zheng, X., 2008, " Spectral decomposition using Wigner-Ville distribution with applications to carbonate reservoir characterization", **The Leading Edge**, **28(8)**, 1050-1057.

Lin, H., Li, Y., and Yang, B., 2007, "Recovery of seismic events by time-frequency peak filtering", **IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 2007, San Antonio, Texas, USA, Expanded Abstract**, WA-P6.4.

Liu, J., 2006, "spectral decomposition and its application in mapping stratigraphu and hydrocarbons", **thesis Ph.D., Department of Geoscience, University of Houston**.

Liu, J. C., and Sun, C. P., 2010, " Thin Bed Prediction Processing Technique Based on Generalized S Transform", **First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing and Application**.

Loughlin, P., Atlas, L. E., Pitton, J., 1993, " Advanced time-frequency representations for speech processing", **in: Visual Representations of Speech, Signals, M.Cooke, S. Beete and M. Crawford, John Wiley & Sons**.

Mallat, S., 1999, "*A wavelet tour of signal processing*", **2nd edition, Elsevier, USA**.

Mallat, S., 2009, "*A wavelet tour of signal processing*", **3th edition, Elsevier, USA**.

Mallat S., and Hwang, W., 1992, " Singularity detection and processing with

wavelets", **IEEE Trans. Inform. Th.**, **38**, 617-643.

Malat, S., and Zhong, S., 1992, " Characterization of signal from multiscale edge", **IEEE Trans. Pattern analysis and machine intelligence**, **14**, 710-732.

Mallat, S., and Zhang, Z., 1993, " Matching pursuits with time-frequency dictionaries", **IEEE Transactions on Signal Processing**, **41**, 3397-3415.

Marfurt, K. J., and Kirlin, R. L., 2001, " Narrow-band spectral analysis and thin-bed tuning", **Geophysics**, **66**, 1274-1283.

Matos, M. C., P.Osorio, E. C. Mundim, and M. Moraces, 2005, "Characterization of thin beds through joint time-frequency analysis applied to a turbidite reservoir in Campos Basin, Brazil: 75th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstract, 1429-1432.

Meckel, L. D., and Nath, A. K., 1977, " Geologic considerations for stratigraphic modeling and interpretation", **AAPG memoir** **26**, 417-438.

Meissner, R., and Meixner, E., 1969, " Deformation of seismic wavelets by thin layers and layered boundaries", **Geophys. Prosp.**, **17**, 1-27.

Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E., and Giard, D., 1982, " Wave Propagation and Sampling Theory", **Geophysics**, **47**, 203-236.

Neidell, N. S., and Poggiagliomi, E., 1977, " Stratigraphic modeling and interpretation: **Geophysical principles and techniques**, in Peyton, C. E., Ed., **Seismic stratigraphy applications to hydrocarbons exploration: AAPG Memoir**, **26**, 389-416.

Odebeatu, E., J. Zhang, M. Chapman, E. liu, and X.Li, 2006, " Application of spectral decomposition to detection of dispersion of anomalies associated with gas saturation", **The Leading edge**, **25**, Issue 2, 206-210.

Partyka, G. A., Gridley, J., and Lopez, J., 1999, " Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization", **The Leading Edge**, **18**, 353-360.

Peyton, L., Bottjer, R., and Partyka, G., 1998, " Interpretation of incised valleys using new 3-D seismic techniques: A case history using spectral decomposition and coherency", **The Leading Edge**, **17**, 1294-1298.

Pike, C., 1994, " Analysis of high-resolution marin seismic data using the wavelet transform in Georgiou, E., and Kumar, P., Eds., Wavelet in geophysics", **Academic Press**, 183-211.

Politis, N. P., 2003, "Advanced time-frequency analysis applications in earthquake engineering", **Seismic Design and Analysis of Structures**.

Pinenegar, C. R., and Mansinha, L., 2003, "The S-tftransform with windows of arbitrary and varying shape", **Geophysics**, **68**, 381-385.

Press, W., 1992, " *Numerical recipes for fortran*", **2nd. Ed: Cambridge Univ. Press**.

Puryear, C. I., Tai, S., and Castagna, J. P., 2008, " Comparison of frequency attributes from CWT and MPD spectral decompositions of a complex turbidite channel model", **SEG Las Vegas, Annual Meeting**.

Qiang, Z., and Wen-Kai, L., 2010, " Spectral decomposition using deconvolutive short time Fourier transform spectrogram", **80th SEG meeting, Denver, Expanded Abstracts**, 1581-1585.

Rabertson , J., and Nogami, H., 1984, " Complex seismic trace analysis of thin beds", **Geophysics**, **49**, 344-352.

Ralston, M., et al, 2007, " general method to Reduce Cross-Term Interference in the Wigner-Ville Decomposition", **SEG 2007 Expanded Abstract**, 870-874.

Rauch-Davis, M., and Ralston, M., 2005, " Spectral Decomposition-transform methods and fluid and reservoir prediction case study", **EAGE 67th Conference and Exhibition, 13-16 June, 491-495.**

Ren, H., Goloshubin, G., and Hiltermann, F., 2007, "Spectra cross plot", **77th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 199-203.**

Ricker, N., 1953, " Wavelet contraction, wavelet expansion, and the control of seismic resolution", **Geophysics, 18, 769-792.**

Saito, N., 1994, " Simultaneous noise suppression and signal compression using a library of orthonormal bases and the minimum description length criterion, in Georgiou, E., and Kumar, P., Eds., Wavelet in geophysics", **Academic Press, 299-324.**

Schoenberger, M., 1974, " Resolution comparison of minimum phase and zero-phase signals", **Geophysics, 39, 826-833.**

Shensa, M. J., 1992, " The discrete wavelet transform: wedding the a tortuous and mallat algorithms", **IEEE Trans. Signal Proc., 40, 2464-2482.**

Sheriff, R., and Geldart, L., 1983, "*Exploration seismology*", **1 and 2: Cambridge Univ. Press.**

Shukla, P. D., 2003, " Complex wavelet transform transform and their applications", **thesis, M. Phil., The Department of Electronic and Engineering, University of Strathclyde, Glasgow.**

Sinha, S., Routh, P. S., Anno, P. D., and Castagna, J. P., 2004, " Optimum Time-Frequency Resolution of Seismic Data using Continuous Wavelet Transform", **5th Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, Hyderabad-2004, India, 984-987.**

Sinha, S., Routh, P. S., Anno, P. D., and Castagna, J. P., 2005, " Spectral

decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform", **Geophysics**, **70**, 19-25.

Staszewski, W., Worden, K., and Tomlinson, G. R., 1997, " Time-frequency analysis in gearbox fault detection using the Wigner-Ville distribution and pattern recognition", **Mechanical Systems and Signal Processing**, **11(5)**, 673-692.

Stockwell, R. G., Mansinha, L., and Lower, R. P., 1996, "Localization of the complex spectrum: The S transform" **IEEE Trans. Signal Process.**, **44**, 998-1001.

Tai, S., Puryear, C., Castagna, J. P., 2009, " local frequency as a direct hydrocarbon indicator", **SEG Houston International Exposition and Annual Meeting**.

Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1977, "Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphies and hydrocarbon determination", **AAPG Memoir**, **26**, 301-327.

Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, " Complex seismic trace analysis", **Geophysics**, **44**, 1041-1063.

Vetterli, M., and Cormac, H., 1992, " Wavelet and filter banks: Theory and design", **IEEE Trans. Signal Proc.**, **40**, 2207-2231.

Ville, J., 1948, "Theorie et applications de la notion de signal analytique: Cables et Transm, **2A(1)**, 61-74.

Vongala, V. S., 2005, " Knowledge-based fault detection using time-frequency analysis", **thesis M.Sc., The Department of Electrical and computer Engineering, Andhra University, India.**

Widess, M. B., 1973, " How thin is a thin bed?", **Geophysics**, **38**, 1176-1180.

Wigner, E. P., 1932, "On the quantum correlation for thermodynamic equilibrium: **Phys. Rev.**, **40**, 749-759.

Williams, W. J., 2001, " Reduced interference time-frequency distributions: scaled decompositions and interpretations", **In: Debnath L, editor. Wavelet transforms and time-frequency signal analysis, Cambridge: Birkhauser, 381-717.**

Williams, W. J., 1996, "Reduced interference distributions: Biological applications and interpretations: **Proceeding s of the IEEE, 84, 1264-1280.**

Wu, X., Liu, T., 2009, " Spectral decomposition of seismic data with reassigned smoothed pseudo Wigner-Ville distribution", **Journal of Applied Geophysics, 68, 389-393.**

Yilmaz, O., 1987, "*Seismic data processing*", **SEG, Tulsa, OK.**

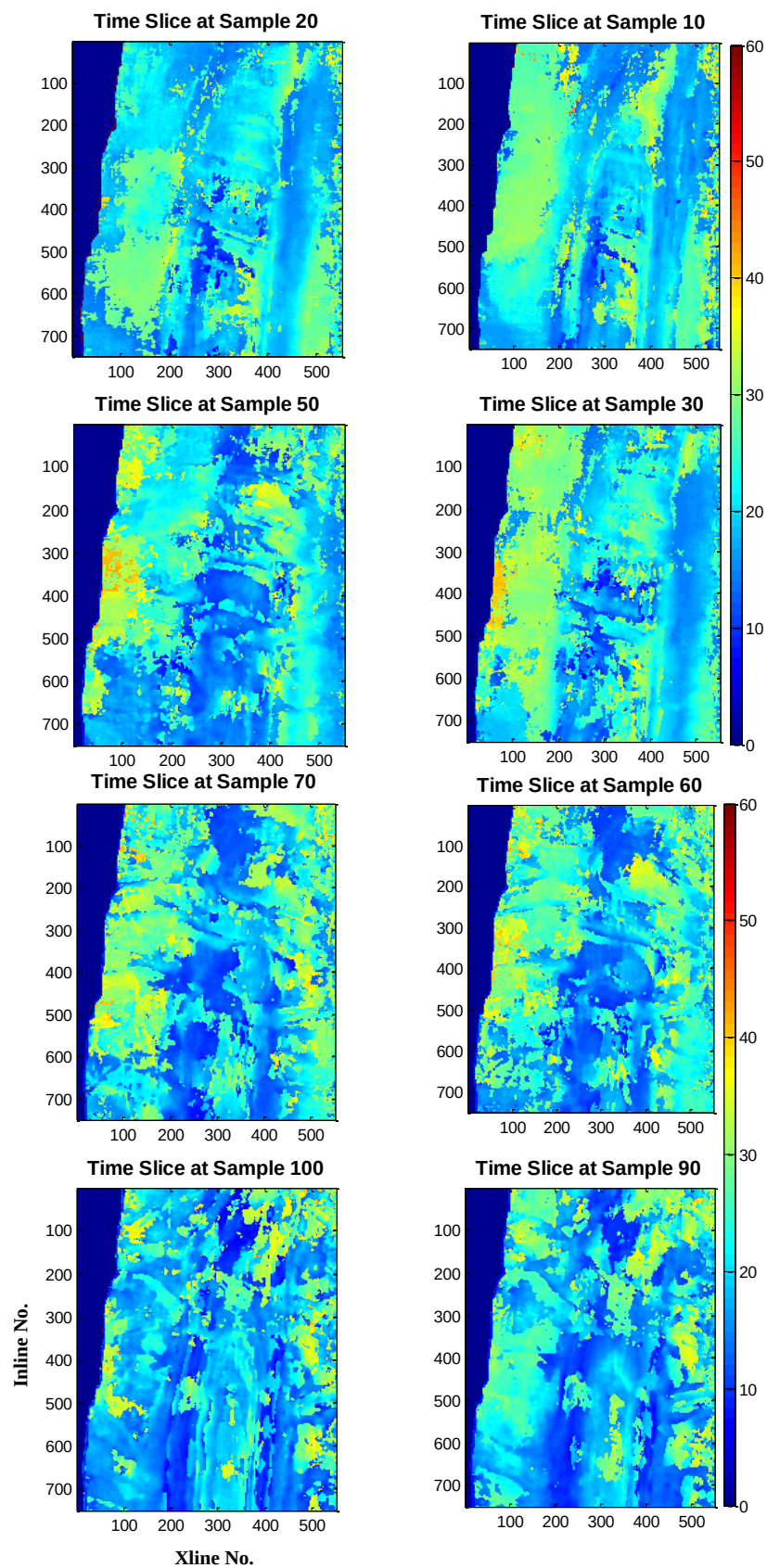
Yilmaz, O., 2001, " *Seismic Data Analysis , Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data*", **Vol.1, second edition, SEG.**

Young, R. K., 1993, "*Wavelet theory and its applications*", **Kluwer Academic Publishers.**

Zabihi, N. E., and Siahkoohi, H. R., 2006, " Single Frequency Seismic Attribute Based on Short Time Fourier Transform, Continuous Wavelet Transform, and S Transform", **6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, Kolkata, 662-666.**

Zhao, y., Atlas, L. E., and Marks, R. J., 1990, " The use of cone-shaped kernels for generalized time-frequency representations of nonstationary signals", **IEEE Trans. Acoust, Speech, Signal Processing, 38, 1084-1091.**

پیوست



شکل ۱ برشهای زمانی مختلف از بیشینه فرکانس با استفاده از توزیع با تداخل کاهش یافته.

Abstract

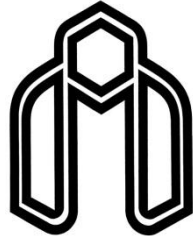
Spectral decomposition based on Fourier transform is one of the useful tools in geophysics. This method has widely used in seismic data processing and interpretation. Underground changes affect frequency content of seismic data. Study of frequency content of these information can map subtle changes of channel thickness, temporal bed tuning thickness, location of hydrocarbon reservoirs and so on. The earth behaves such as low pass filter. So when seismic signals travel in the earth, frequency content of seismic signals changes with time and they became non-stationary.

Fourier transform is not suitable to representation of non-stationary signals so time-frequency transforms introduced. Time-frequency distribution is utilized as a powerful tool for simultaneously representation of signals in both time and frequency domain, can reveal the characteristics that are not easily observed in the time representation or the frequency representation alone.

There are many time-frequency distribution such as Short Time Fourier transform, Continuous Wavelet transform, S transform and Wigner-Ville distribution. Conventional time-frequency distributions have many advantages but moreover have some restrictions that arise from various reasons such as Heisenberg uncertainty principle and superposition principle. Therefore looking for methods which preserve the existing advantages of the conventional methods and eliminate disadvantages of them is necessary. Reduced Interference distribution is one of best of these methods.

In this thesis, we used Reduced Interference distribution to identify thin beds, buried channels and hydrocarbon reservoirs by extracting seismic attributes. We compare our results with conventional time-frequency distributions and earn more accurate results.

Keywords: spectral decomposition, tuning thickness, non-stationary signal, time-frequency distribution, Reduced Interference distribution, attributes.



Shahrood University of Technology

Application of Reduced Interference Time-Frequency Distribution in Seismic Data

Azita Nikoo

Supervisors:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Ali Nejati Kalateh

Advisers:

Dr. Hamid Hassanpour

Eng. Hamed Saadatnia

A thesis submitted to the Graduate Studies Office in partial fulfillment of the
Requirement for the Degree of Master of Science in Geophysics

(Exploration Seismology)

February 2013