





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد لرزه‌شناسی

بررسی امکان کاهش خطای مکانی در کوچ زمانی با افزایش قدرت  
تفکیک در مدل سرعت

مصطفی رضائی

اساتید راهنما:

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

بهمن‌ماه ۱۳۹۶

شماره: ۹۹/۲۰۱۵  
تاریخ: ۹۶/۱۱/۲۹

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مصطفی رضائی با شماره دانشجویی ۹۴۰۸۲۴۴ رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه‌شناسی تحت عنوان: بررسی امکان کاهش خطای مکانی در کوچ زمانی با افزایش قدرت تفکیک در مدل سرعت که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u> )	<input checked="" type="checkbox"/>
مردود	<input type="checkbox"/>
نوع تحقیق: نظری	<input checked="" type="checkbox"/>
عملی	<input type="checkbox"/>

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر امین روشندل کاهو	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر مهرداد سلیمانی منفرد	دانشیار	
۳- استاد مشاور	_____	_____	_____
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی نجاتی کلاته	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمد رداد	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر ایرج پیروز	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علیرضا عرب امیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۱۱/۳۰

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در صورت مجاز) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



## تقدیم به

پدرم، که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و اعضای خانواده ام که همیشه و همه جا برایم دلگرمی به همراه داشته اند...

# سپاسگزاری

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرومی رود مدحیات است و چون برمی آید مفرح ذات. پس در هر نفس دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی شکر می واجب.

در پایان این دوره تحصیلی بر خود لازم می دانم که مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود این

پایان نامه به انجام نمی رسید. در ابتدا از اساتید که تقدیرم جناب آقای دکتر امین روشندل کا هو و دکتر مهرداد سلیمانی متفرد کمال

سپاس و تشکر را دارم. در طول این دوره تحصیلی مطالب زیادی چه به لحاظ علمی و چه به لحاظ اخلاقی از ایشان آموختم.

امیدوارم همیشه در طول مراحل زندگی موفق و سربلند باشند. از اساتید داور جناب آقای دکتر ایرج پیروز و دکتر محمد رداد که

زحمات بررسی و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته اند کمال تشکر را دارم.

در پایان از تمام دوستان عزیزم به ویژه مهندس احسان آقابرار که در طول این دوره تحصیلی همواره باعث دلگرمی و آرامش خاطر

من بودند و در تمام این مدت مرایاری و همراهی کردند صمیمانه تشکر و سپاس گزار می کنم.

## تعهد نامه

اینجانب **مصطفی رضائی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک - گرایش لرزه‌شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **بررسی امکان کاهش خطای مکانی در کوچ زمانی با افزایش قدرت تفکیک در مدل سرعت تحت راهنمایی دکتر امین روشندل کاهو و دکتر مهرداد سلیمانی منفرد** متعهد می‌شوم.

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

### تاریخ

### امضای دانشجو

### 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 شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

# چکیده

اطلاعات ساختاری در تصاویر لرزه‌ای با کیفیت پایین غیر قابل اطمینان است و انجام تفسیرهای زمین‌شناسی بر روی این تصاویر با عدم قطعیت همراه هستند، به طوری که مفسر با خطا در مکان‌یابی (عدم قطعیت‌های ساختاری) در این تصاویر مواجه می‌شود. این امر به ارائه تفسیر نادرست و اشتباه می‌انجامد و در نتیجه باعث بروز خطا و صرف هزینه گزاف در مراحل بعدی اکتشاف می‌شود. کاهش عدم قطعیت در مکان‌یابی ساختارهای زیرسطحی در تصاویر لرزه‌ای، نیازمند برطرف کردن خطاهای تصویر سازی لرزه‌ای در مرحله پردازش داده‌ها است. در بیشتر موارد، دلیل اصلی وجود عدم قطعیت‌ها در تفسیر تصاویر لرزه‌ای، پیچیدگی مدل سرعت انتشار موج در محیط و به دنبال آن، عدم قطعیت در تخمین مقدار سرعت است. چرا که تعیین دقیق مکان و شیب بازتابنده‌ها، به صحت و دقت مدل سرعت استفاده شده در تصویر سازی لرزه‌ای بستگی دارد. مطالعات نشان داده است که حتی در حضور تغییرات اندک سرعت و پیچیدگی اندک ساختاری، همچنان عدم قطعیت‌های ساختاری می‌تواند چشم‌گیر باشد؛ بنابراین ضروریست که در مرحله آنالیز سرعت کوچ، روش مناسبی در بروز رسانی مدل سرعت اتخاذ گردد، به گونه‌ای که با افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت و کاهش خطای (عدم قطعیت) آن، به تخمینی هر چه دقیق‌تر از مدل سرعت دست یافت. در میان روش‌های مرسوم آنالیز سرعت، روش شباهت به‌عنوان متداول‌ترین روش محاسبه هم‌دوسی، از قدرت تفکیک پایینی برخوردار است. قدرت تفکیک پایین این روش ناشی از مقاوم بودن آن به تغییرات سرعت است. از این رو با اضافه کردن جمله‌ای به روش شباهت که حساسیت زیادی به تغییرات در راستای محور سرعت داشته باشد، می‌توان قدرت تفکیک طیف سرعت را بالا برد. در این پایان‌نامه به منظور انجام آنالیز سرعت کوچ زمانی، از روش شباهت وزن‌دار شده برای وزن‌دار کردن روش شباهت مرسوم کمک گرفته می‌شود. سپس جهت افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ زمانی تولید شده با روش شباهت، تابع وزنی محاسبه

شده بر اساس نسبت مقدار تکین اول به دوم پنجره تحلیل زمانی، به معادله شباهت اضافه می‌شود. این تابع وزنی، سبب افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور سرعت خواهد شد. در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر استراتژی پیشنهادی در کاهش عدم قطعیت ساختاری تصاویر لرزه‌ای، این روش بر روی یک داده لرزه‌ای دریایی پیاده گردید. با بکارگیری استراتژی پیشنهادی، قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ زمانی افزایش یافته و باعث کاهش عدم قطعیت ساختاری در تصویر لرزه‌ای گردید. در ادامه با محاسبه خطای (عدم قطعیت) مدل سرعت تخمینی و آنالیز حساسیت ساختاری تصویر کوچ یافته زمانی به مدل سرعت، مقدار خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) در تصویر مورد نظر برای هر بخش از بازتابنده، محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از روش مورد نظر در مقایسه با نتایج روش شباهت مرسوم، بیانگر کاهش خطای مکان‌یابی در تصاویر لرزه‌ای کوچ یافته می‌باشد که به دلیل افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ زمانی ایجاد شده است.

## واژه‌های کلیدی

خطا در مکان‌یابی، عدم قطعیت ساختاری، آنالیز سرعت کوچ زمانی، شباهت وزن دار شده، تابع وزنی، مقدار تکین.



# فهرست مطالب

- فصل اول: مقدمه..... ۱
- ۱-۱ تعریف مسئله..... ۲
- ۱-۲ اهداف و ضرورت انجام تحقیق..... ۴
- ۱-۳ سابقه و مروری بر کارهای انجام شده..... ۶
- ۱-۴ روش انجام تحقیق..... ۱۰
- ۱-۵ ساختار پایان نامه..... ۱۲
- فصل دوم: مروری بر روش‌های تهیه مدل سرعت و منابع مختلف عدم قطعیت در کوچ..... ۱۳
- ۲-۱ مقدمه..... ۱۴
- ۲-۲ طیف سرعت..... ۱۷
- ۲-۳ فاکتورهای مؤثر بر محاسبه طیف سرعت..... ۲۲
- ۲-۳-۱ طول دورافت..... ۲۲
- ۲-۳-۲ مقدار فولد..... ۲۳
- ۲-۳-۳ نسبت سیگنال به نوفه..... ۲۴

- ۲۵.....۲-۳-۴ طول پنجره تحلیل زمانی
- ۲۶.....۲-۴ تجزیه مقادیر تکین
- ۲۹.....۲-۵ آنالیز سرعت کوچ (MVA)
- ۳۰.....۲-۵-۱ آنالیز سرعت کوچ با تکنیک همدوسی معکوس
- ۳۱.....۲-۵-۲ آنالیز سرعت کوچ با روش پیوستگی سرعت یا موج - تصویری
- ۳۵.....۲-۶ خطای مدل سرعت
- ۳۷.....۲-۷ تأثیر خطای مدل سرعت بر نتیجه کوچ
- ۴۰.....۲-۸ عدم قطعیت
- ۴۰.....۲-۸-۱ منابع عدم قطعیت
- ۴۰.....۲-۸-۱-۱ برداشت
- ۴۱.....۲-۸-۱-۲ پیش پردازش
- ۴۱.....۲-۸-۱-۳ برانبارش
- ۴۱.....۲-۸-۱-۴ کوچ
- ۴۱.....۲-۸-۱-۵ مرحله تفسیر
- ۴۲.....۲-۸-۱-۶ تبدیل زمان به عمق

- ۲-۸-۲ تخمین پارامترهای عدم قطعیت..... ۴۲
- ۲-۸-۳ تعیین عدم قطعیت کوچ..... ۴۳
- ۲-۸-۳-۱ عدم قطعیت سرعت کوچ زمانی..... ۴۳
- ۲-۸-۳-۲ عدم قطعیت سرعت کوچ عمقی..... ۴۳
- ۲-۸-۴ عدم قطعیت ساختاری..... ۴۳
- فصل سوم: تئوری روش کار..... ۴۵
- ۳-۱ شباهت وزن دار شده..... ۴۶
- ۳-۱-۱ تابع وزنی..... ۴۶
- ۳-۱-۱-۱ افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور سرعت..... ۴۷
- ۳-۲ آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش با روش پیوستگی سرعت..... ۵۲
- ۳-۳ تعیین حساسیت ساختاری تصویر به سرعت..... ۵۳
- ۳-۴ تعیین عدم قطعیت در انتخاب سرعت..... ۵۶
- ۳-۵ تعیین عدم قطعیت ساختاری (خطای مکان یابی)..... ۵۸
- فصل چهارم: اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی داده مصنوعی و دریایی..... ۵۹
- ۴-۱ اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی داده مصنوعی..... ۶۰

۱-۴-۱	آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش با روش پیوستگی سرعت.....	۶۱
۱-۴-۲	تهیه تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش.....	۶۵
۱-۴-۳	تعیین عدم قطعیت (خطا) در تخمین مدل سرعت.....	۶۵
۱-۴-۴	تخمین خطای مکان یابی (عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر لرزه‌ای کوچ یافته.....	۶۸
۴-۱۲	اعمال الگوریتم مورد نظر بر روی داده دریایی.....	۷۴
۴-۲-۱	آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش با روش پیوستگی سرعت.....	۷۵
۴-۲-۲	تهیه تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش.....	۷۹
۴-۲-۳	تعیین عدم قطعیت (خطا) در تخمین مدل سرعت.....	۷۹
۴-۲-۴	تخمین خطای مکان یابی (عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر لرزه‌ای کوچ یافته.....	۸۲
۸۹	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....	
۵-۱	نتیجه گیری.....	۹۰
۵-۲	پیشنهادها.....	۹۱
۹۲	مراجع.....	

# فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای ..... ۱۴
- شکل ۲-۲: الف) رکورد نقطه میانی مشترک مصنوعی. ب) اعمال تصحیح برون‌راند نرمال ایده‌آل با سرعت‌های به‌دست آمده از آنالیز سرعت. ج) برانبارش داده‌ها بعد از تصحیح برون‌راند نرمال ..... ۱۵
- شکل ۳-۲: مدل زمین تک‌لایه ..... ۱۶
- شکل ۴-۲: الف) رکورد CMP مصنوعی. ب) تصحیح برون‌راند نرمال با سرعت ۹۰۰ متر بر ثانیه. ج) تصحیح برون‌راند نرمال با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. د) تصحیح برون‌راند نرمال با سرعت ۱۱۰۰ متر بر ثانیه ..... ۱۷
- شکل ۵-۲: الف) رکورد CMP مصنوعی مربوط به زمین تک‌لایه با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. ب) طیف سرعت به‌دست آمده برای تعیین سرعت تشکیل هذلولی زمان‌سیر ..... ۱۸
- شکل ۶-۲: الف) رکورد CMP دارای رویداد بازتابی هذلولی شکل. ب) پنجره تحلیل زمانی حول رویداد هذلولی شکل الف جهت محاسبه معیار شباهت با استفاده از رابطه مقابل آن. ج) نمونه‌های داده لرزه‌ای درون پنجره تحلیل مذکور در کنار هم به‌صورت یک ماتریس در راستای افقی به‌همراه رابطه شباهت مربوطه ..... ۲۰
- شکل ۷-۲: پنجره‌های تحلیل با طول ۲۷ نمونه زمانی برای رویداد بازتابی شکل ۵-۲ الف به‌ازای سرعت‌های الف) ۸۰۰ ب) ۹۰۰ ج) ۱۰۰۰ د) ۱۱۰۰ و ه) ۱۲۰۰ متر بر ثانیه ..... ۲۲
- شکل ۸-۲: تأثیر کاهش طول دورافت بر طیف سرعت. الف) رکورد CMP مصنوعی با طول دورافت ۱۲۰۰ متر. ب) طیف سرعت حاصله برای شکل الف. ج) رکورد CMP مصنوعی با طول دورافت ۶۰۰ متر. د) طیف سرعت به‌دست آمده برای شکل ج ..... ۲۳

شکل ۲-۹: تأثیر کاهش فولد بر آنومالی‌های طیف سرعت. الف) رکورد CMP مصنوعی با فولد ۵۲. ب) طیف سرعت به دست آمده برای شکل الف. ج) رکورد CMP مصنوعی با فولد ۱۲. د) طیف سرعت به دست آمده برای شکل ج ..... ۲۴

شکل ۲-۱۰: تأثیر نوفه بر کیفیت طیف سرعت. طیف سرعت محاسبه شده با نسبت سیگنال به نوفه الف) ۲ دسی‌بل. ب) ۲- دسی‌بل و ج) ۵- دسی‌بل ..... ۲۵

شکل ۲-۱۱: تأثیر طول پنجره تحلیل بر محاسبه طیف سرعت. طیف سرعت محاسبه شده با طول پنجره تحلیل الف) ۸ نمونه زمانی ب) ۲۲ نمونه زمانی و ج) ۴۶ نمونه زمانی ..... ۲۶

شکل ۲-۱۲: الف) ماتریس دربردارنده رویدادی کاملاً هم‌دوس. ب) مقادیر تکین رویداد با هم‌دوسی بالا. ج) بازسازی ماتریس با مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول ..... ۲۸

شکل ۲-۱۳: الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد با هم‌دوسی نسبتاً بالا. ب) مقادیر تکین رویداد با هم‌دوسی نسبتاً بالا. ج) بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول ..... ۲۹

شکل ۲-۱۴: الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد با هم‌دوسی پایین. ب) مقادیر تکین رویداد با هم‌دوسی پایین. ج) بازسازی ماتریس اصلی با مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول ..... ۲۹

شکل ۲-۱۵: مکعب داده لرزه‌ای حاصل از روش پیوستگی سرعت برای کوچ زمانی پیش از برانبارش ... ۳۳

شکل ۲-۱۶: رکورد تصویر مشترک برش زده شده از مکعب پیوستگی سرعت همراه با منحنی انتخاب کننده مقادیر بیشینه درون آن به عنوان نقاط تصویر کوچ یافته نهایی مربوط به موقعیت رکورد تصویر مشترک. ۳۴

شکل ۲-۱۷: اسکن شباهت مربوط به رکورد تصویر مشترک شکل ۲-۱۶ تولید شده در فرایند پیوستگی

سرعت، همراه با منحنی نشان‌دهنده سرعت‌های RMS کوچ زمانی انتخاب‌شده متناظر با بیشینه مقادیر شباهت ..... ۳۵

شکل ۲-۱۸: داده‌های زمانی ورودی مصنوعی، برای یک مدل سه‌لایه با لایه‌ای کم‌عمق با شیب ۳۰ درجه و سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه و دولایه با سرعت به‌ترتیب ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ متر بر ثانیه ..... ۳۸

شکل ۲-۱۹: کوچ با مدل صحیح سرعت ..... ۳۸

شکل ۲-۲۰: کوچ با ۳٪ خطای سرعت، فقط در لایه کم‌عمق، که به تغییر مکان ۵۰ متری عمودی و افقی می‌انجامد ..... ۳۹

شکل ۲-۲۱: کوچ با حدود ۸٪ خطای سرعت، فقط در لایه کم‌عمق، که باعث تغییر مکان ۱۲۰ متری عمودی و ۱۵۰ متری افقی می‌شود ..... ۳۹

شکل ۳-۱: الف) رکورد تصویر مشترک انتخابی از مقاطع دورافت مشترک کوچ‌یافته با سرعت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه مربوط به مدل مصنوعی زمین هفت‌لایه قبل از انجام فرایند پیوستگی سرعت. پنجره تحلیل زمانی حول چهارمین بازتابنده با  $t_0 = 0/8s$  پس از انجام فرایند پیوستگی سرعت به ازای سرعت‌های کوچ ب) (۱۴۸۰ متر بر ثانیه، ج) (۱۴۹۰ متر بر ثانیه، د) (۱۵۰۰ متر بر ثانیه، ه) (۱۵۱۰ متر بر ثانیه و) (۱۵۲۰ متر بر ثانیه ..... ۴۸

شکل ۳-۲: نمودار مقادیر شباهت به همراه مقادیر نسبت تکین اول به دوم به ازای سرعت‌های کوچ مختلف در  $t_0 = 0/8s$  مربوط به شکل ۳-۱ ..... ۵۰

شکل ۳-۳: طیف سرعت کوچ مربوط به شکل ۳-۱ محاسبه‌شده با استفاده از الف) روش شباهت ب) شباهت وزن‌دار شده با استفاده از نسبت  $\sigma_1/\sigma_2$  ..... ۵۱

شکل ۳-۴: رکورد تصویر مشترک گرفته شده از مکعب پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان‌دهنده مقادیر بیشینه درون آن، که به‌منظور محاسبه شیب محلی رخدادها در آن موقعیت‌ها جهت تعیین حساسیت

ساختاری تصویر به سرعت در زمان، مورد استفاده قرار می‌گیرد..... ۵۵

شکل ۳-۵: برش زمانی  $C(t_0, x, v)$  گرفته شده از مکعب پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان‌دهنده مقادیر بیشینه درون آن، که با محاسبه شیب محلی رخدادها در آن موقعیت‌ها، حساسیت ساختاری تصویر به سرعت در موقعیت جانبی ( $x$ )، به دست می‌آید. .... ۵۵

شکل ۳-۶: اسکن شباهت مربوط به رکورد تصویر مشترک شکل ۳-۴ تولید شده در فرایند پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان‌دهنده سرعت‌های RMS کوچ زمانی انتخاب شده متناظر با بیشینه مقادیر شباهت. .... ۵۷

شکل ۳-۷: منحنی‌هایی که محدوده تقریبی از عدم قطعیت سرعت کوچ زمانی را اطراف مسیر انتخابی در اسکن شباهت شکل ۳-۶ مشخص می‌کنند. .... ۵۷

شکل ۴-۱: مدل مصنوعی تولید شده جهت بررسی کارایی روش شباهت وزن دار شده در کاهش خطای مکان‌یابی بر روی تصویر کوچ یافته مربوطه ..... ۶۰

شکل ۴-۲: مقطع دورافت مشترک داده مصنوعی پس از کوچ پیش از برانبارش با سرعت ثابت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه. .... ۶۱

شکل ۴-۳: طیف سرعت رکورد تصویر مشترک واقع در موقعیت  $x = 1960$  متر به دست آمده از فرایند پیوستگی سرعت با استفاده از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده. .... ۶۲

شکل ۴-۴: مدل سرعت کوچ انتخاب شده از طیف سرعت حاصل از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده. .... ۶۴

شکل ۴-۵: نتیجه نهایی فرایند پیوستگی سرعت، تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش به دست آمده با توجه به مدل سرعت کوچ مربوط به روش الف) شباهت ب) شباهت وزن دار شده. .... ۶۶

شکل ۴-۶: مقادیر عدم قطعیت سرعت مربوط به مدل سرعت کوچ به دست آمده با استفاده از روش الف)



شبهات ب) شبهات وزن دار شده. ۶۷ .....

شکل ۷-۴: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، در راستای موقعیت جانبی (افقی). ۶۹ .....

شکل ۸-۴: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، در راستای زمان (قائم). ۷۰ .....

شکل ۹-۴: مؤلفه افقی خطای مکان یابی (عدم قطعیت ساختاری) تخمینی با استفاده از روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، به صورت پاره خط های کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۵-۴ الف و ب. ۷۲ .....

شکل ۱۰-۴: مؤلفه قائم خطای مکان یابی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده با استفاده از روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، به صورت پاره خط های کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۵-۴ الف و ب. ۷۳ .....

شکل ۱۱-۴: مقطع دورافت مشترک داده مالزی پس از کوچ پیش از برانبارش با سرعت ثابت ۲۲۰۰ متر بر ثانیه. ۷۵ .....

شکل ۱۲-۴: طیف سرعت به دست آمده از فرایند پیوستگی سرعت در موقعیت  $x = 1875$  متر با استفاده از روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده. ۷۶ .....

شکل ۱۳-۴: مدل سرعت RMS کوچ انتخاب شده از طیف سرعت حاصل از روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده. ۷۸ .....

شکل ۱۴-۴: نتیجه نهایی فرایند پیوستگی سرعت، تصویر لرزه ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش تولید شده با توجه به مدل سرعت کوچ مربوط به روش الف) شبهات ب) شبهات وزن دار شده. ۸۰ .....

شکل ۱۵-۴: مقادیر خطای (عدم قطعیت) مدل سرعت کوچ انتخاب شده از طیف سرعت حاصل از روش الف)

- شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده..... ۸۱
- شکل ۴-۱۶: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، در راستای موقعیت جانبی (افقی)..... ۸۳
- شکل ۴-۱۷: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، در راستای زمان (قائم)..... ۸۴
- شکل ۴-۱۸: مؤلفه افقی خطای مکان یابی (عدم قطعیت ساختاری) تخمینی با استفاده از روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، به صورت بردارهای کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۴-۱۴ الف و ب..... ۸۶
- شکل ۴-۱۹: مؤلفه قائم خطای مکان یابی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده با استفاده از روش الف) شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده، به صورت بردارهای کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۴-۱۴ الف و ب..... ۸۷

# فهرست جداول

جدول ۱-۲: مقادیر شباهت مرتبط با پنجره‌های تحلیل تولیدشده در شکل ۲-۷..... ۲۱

جدول ۱-۳: مقادیر شباهت و نسبت مقدار تکین اول به دوم مرتبط با پنجره‌های تحلیل شکل ۳-۱.... ۴۹

جدول ۱-۴: پارامترهای هندسی برداشت داده مربوط به داده دریایی مالزی..... ۷۴



# فصل اول: مقدمه

## ۱-۱ تعریف مسئله

هدف از لرزه‌نگاری اکتشافی به دست آوردن اطلاعات و تصاویر ساختاری زیرسطحی از داده‌های لرزه‌ای است و نتیجه معمول پردازش داده‌های لرزه‌ای نیز، یک تصویر از زیر سطح است [۱] که این تصویر به مفسر لرزه‌ای سپرده می‌شود، کسی که اغلب با استخراج اطلاعات ساختاری مانند موقعیت افق‌ها و گسل‌ها در تصویر لرزه‌ای، تفسیر زمین‌شناسی انجام می‌دهد. آن‌چه که در این فرایند مخفی می‌باشد این حقیقت است که اطلاعات ساختاری اساساً قطعی نیست و مفسر با خطا در مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) در این تصاویر مواجه است که این به معنی خطا در محل قرارگیری رخدادهای گسل‌ها، آنومالی‌ها، ساختارهای موردنظر و همچنین به معنی خطا در تعیین موقعیت تله‌های نفتی و مخازن هیدروکربنی و در نتیجه خطا در تخمین حجم این مخازن می‌باشد. این امر باعث ارائه تفسیر نادرست و اشتباه شده و به دنبال آن موجب صرف هزینه زیاد در حفاری و هدر رفت زمان می‌شود. این مسئله خود سبب خدشه به کارآمدی روش‌های لرزه‌نگاری شده و در نتیجه اعتماد و اعتقاد و بها دادن به این روش‌ها به تدریج از بین خواهد رفت. لذا شناخت عدم قطعیت و تعیین مقدار آن در اطلاعات ژئوفیزیکی می‌تواند جهت اکتشاف منابع و ذخایر بسیار مهم باشد [۲]. خطاهای موقعیت‌یابی (عدم قطعیت‌های ساختاری) عمدتاً به خاطر عدم قطعیت‌هایی در تخمین پارامترهای سرعت لرزه‌ای موردنیاز برای تصویرسازی می‌باشند. مطالعات نشان داده است که حتی هنگامی که تغییرات ساختار و سرعت کم هستند باز هم عدم قطعیت‌های ساختاری می‌تواند چشم‌گیر باشد [۳]. از این رو به حساب آوردن این عدم قطعیت‌ها عمل تفسیر ساختاری لرزه‌ای را بهبود می‌بخشد. صرف نظر از مورد بازتابنده‌های لرزه‌ای کاملاً تخت و مسطح که حتی هنگامی که از سرعت‌های برانبارش یا کوچ نادرست استفاده می‌شود، به درستی در مقطع زمانی قرار می‌گیرند در سایر موارد تصاویر لرزه‌ای به دلیل خطاهای اجتناب‌ناپذیر در تخمین سرعت می‌توانند از لحاظ ساختاری خارج از شکل طبیعی باشند و معمولاً این‌گونه نیز هستند.

یکی از مراحل کلیدی و مهم در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی، آنالیز سرعت است و بسیاری از مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم متأثر از کیفیت طیف سرعت<sup>۱</sup> حاصل از آنالیز سرعت می‌باشند. یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مراحل برای ساخت تصاویر ساختاری زیرسطحی، به دست آوردن یک مدل سرعت مناسب و ایده آل از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد و همچنین یکی از موضوع‌های مهم و اساسی در لرزه‌نگاری اکتشافی، ساخت مدل سرعت<sup>۲</sup> است. به طور کلی، به دو شیوه مستقیم (استفاده از نگرهای صوتی در عملیات چاه‌نگاری جهت محاسبه مدل سرعت به عنوان تابعی از عمق) و غیرمستقیم (استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری) می‌توان سرعت رخدادهای زیرسطحی را تعیین کرد. از آنجایی که تعیین سرعت لایه‌ها و ساختارهای زیرسطحی با روش مستقیم هزینه‌بر و دشوار است و برای انجام به وجود گمانه یا چاه و صرف زمان زیادی نیازمند است، روش‌های غیرمستقیم مانند آنالیز سرعت داده‌های لرزه‌ای که قادر است تخمین نسبتاً دقیقی از سرعت بازتابنده‌ها به دست آورد، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی اساس بیشتر روش‌های آنالیز سرعت بر انتخاب بیشینه همدوسی<sup>۳</sup> می‌باشد. شباهت به عنوان مرسوم‌ترین روش آنالیز سرعت یکی از معیارهای همدوسی است [۴]. قدرت تفکیک روش شباهت به وسیله طول دورافت<sup>۴</sup>، عمق بازتابنده‌ها، سرعت روباره<sup>۵</sup> و فرکانس غالب<sup>۶</sup> داده‌های لرزه‌ای محدود می‌شود [۵، ۶]. گرچه دقت قابل قبول در تخمین سرعت و محاسبات آسان، شباهت را به روشی مرسوم در محاسبه طیف سرعت داده‌های لرزه‌ای تبدیل کرده است؛ اما این روش معایب زیادی همچون حساسیت کم آن به تغییرات دامنه بر حسب دورافت<sup>۷</sup> و گستره دینامیکی کوچک<sup>۸</sup> دارد که کاربرد این روش را محدود می‌کند. علاوه بر این، افزایش پهن‌شدگی آنومالی‌های طیف سرعت با ازدیاد عمق و کاهش دورافت، افزایش عدم قطعیت در تعیین

---

1-Velocity spectra  
2-Velocity model building  
3-Maximum coherency  
4-Aperture array  
5-Overburden velocity  
6-Dominant frequency  
7-Amplitude verse offset  
8-Small dynamic range

دقیق سرعت را موجب می‌شود [۱]. همچنین این روش در شناسایی رویدادهای تداخلی<sup>۱</sup> در یک پنجره زمانی کوچک، مدل‌های زمین با لایه‌بندی نازک و مقادیر بالای نوفه عملکرد خوبی ندارد و خطا (عدم قطعیت) در تخمین مدل سرعت را افزایش می‌دهد.

## ۲-۱ اهداف و ضرورت انجام تحقیق

هدف نهایی از پردازش داده‌های لرزه‌ای دستیابی به تصویر عمقی صحیح و دقیق از لایه‌ها و ساختارهای زیرسطحی می‌باشد. مفسر لرزه‌ای با استخراج اطلاعات ساختاری (مانند موقعیت افق‌ها و گسل‌ها) از تصاویر لرزه‌ای، یک تفسیر زمین‌شناسی انجام می‌دهد. اگر از سرعت کوچ نادرست استفاده شود، تصاویر لرزه‌ای به لحاظ ساختاری غیرطبیعی دیده می‌شوند [۷]. کاهش خطا در موقعیت‌یابی (کاهش عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر لرزه‌ای کوچ‌یافته، بدین معنی است که می‌توان موقعیت افق‌ها، رخدادهای گسل‌ها و ساختارهای مورد نظر را با دقت بیشتر تعیین کرد و با اطمینان و قطعیت بالاتری در مورد محل قرارگیری تله‌های نفتی و مخازن هیدروکربنی و میزان حجم این مخازن اظهار نظر کرد؛ بنابراین به منظور کاهش اختلاف بین تصاویر لرزه‌ای حاصل از کوچ و مدل واقعی زیرسطح و در نتیجه افزودن بر صحت و اعتبار نتایج تفسیر، ضروری است که خطا در موقعیت‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) بر روی تصاویر لرزه‌ای کوچ‌یافته را تا حد ممکن کاهش داد.

سرعت پارامتری حساس در فرایند کوچ است به طوری که قرارگیری رخدادهای در موقعیت واقعی خود و قدرت تفکیک افق‌ها و بازتابنده‌ها و صحت تصویر لرزه‌ای تولیدشده، به شدت تحت تأثیر مدل سرعت استفاده‌شده برای انجام کوچ است. به عبارت دیگر، در مرحله کوچ داده‌های لرزه‌ای، در اختیار داشتن یک مدل سرعت دقیق الزامیست. چرا که انجام کوچ صحیح، تهیه تصویر لرزه‌ای با کیفیت مناسب و در نهایت

---

1-Interfering events



ارائه تفسیر درست و قابل اطمینان، بدون استفاده از مدل سرعت دقیق و صحیح امکان پذیر نیست. تعیین دقیق مکان و شیب افق‌ها و ساختارها از جمله مهم‌ترین دلایلی هستند که ما را ملزم به آنالیز سرعت صحیح و دقیق بر روی داده‌های لرزه‌ای می‌کنند. یکی دیگر از موارد اهمیت آنالیز سرعت، تبدیل مقاطع زمانی به عمقی است. در مرحله تفسیر داده‌های لرزه‌ای، یک جدول دو ستونه شامل سرسازند یا ساختارهای لرزه‌ای در مقابل عمق مربوطه مورد نیاز است. مدل سرعت ارتباط بین مقاطع زمانی و عمقی را فراهم می‌کند و این مقاطع به شدت به مدل سرعت انتخابی وابسته هستند، در نتیجه خطاهای تخمین مدل سرعت سبب می‌شود موقعیت افقی و عمودی رخدادها در کوچ عمق تغییر کند [۸]، لذا باید تفسیر مقاطع عمقی با احتیاط و دقت بیشتری انجام گیرد. با افزایش دادن قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ و تخمین مدل سرعت صحیح‌تر، امکان نزدیک‌تر کردن تصویر لرزه‌ای به مدل واقعی زمین و تعیین دقیق‌تر موقعیت اهداف مورد نظر فراهم می‌آید؛ بنابراین ضروریست که در مرحله آنالیز سرعت کوچ، روش مناسبی برای تخمین هر چه دقیق‌تر مدل سرعت و کم‌تر شدن خطای آن به کار گرفته شود. به عبارتی دیگر در فرایندهای پردازش داده‌های لرزه‌ای در صورتی که یک مدل سرعت مناسب انتخاب شود، همه شرایط برای تفسیر درست و قابل اعتماد مهیا است؛ اما اگر به هر دلیلی مدل سرعت ضعیفی انتخاب شود عملاً شرایط برای یک تفسیر خوب در اختیار نیست و نمی‌توان به نتایج تفسیر اطمینان کرد.

به کارگیری روشی جایگزین برای شباهت مرسوم که بر قدرت تفکیک طیف سرعت بیافزاید و از خطای (عدم قطعیت) مدل سرعت تخمینی بکاهد ضروریست. باید به این نکته اشاره کرد که روش شباهت وزن دار شده‌ای هم که توسط ابراهیمی و همکاران [۹] ارائه شده است، مربوط به تصحیح برون‌راند نرمال می‌باشد که موجب افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت برون‌راند نرمال می‌شود و هنوز صحت این روش برای مرحله کوچ به اثبات نرسیده است. هدف ما در این پایان‌نامه آن است که توانایی این روش را در تعیین دقیق‌تر مدل سرعت کوچ زمانی بررسی کنیم. به این صورت که با به کارگیری روش شباهت وزن دار شده در آنالیز

سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش به روش پیوستگی سرعت<sup>۱</sup>، تأثیر آن را بر قدرت تفکیک طیف سرعت حاصله نشان داده و کارایی روش پیشنهادی را در کاهش خطاهای مکان‌یابی (عدم قطعیت‌های ساختاری) بر روی تصاویر کوچ‌یافته زمانی مورد بررسی قرار دهیم.

### ۳-۱ سابقه و مروری بر کارهای انجام‌شده

در مطالعات لرزه‌نگاری اکتشافی، تحقیقات وسیعی در حوزه تخمین سرعت انجام‌شده است. آنالیز سرعت بر اساس برون‌راند نرمال با استفاده از محاسبه شباهت یک مرحله اصلی برای ساخت مدل سرعت اولیه است. نیدل و تانر<sup>۲</sup> [۱۰] با انجام مقایسه‌ای بین روش شباهت و سایر روش‌های محاسبه همدوسی نشان دادند که روش شباهت نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری در محاسبه همدوسی دارد. تاکنون به‌منظور افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت چندین روش بهبودیافته نسبت به روش مرسوم شباهت ارائه‌شده است. بیوندی و کاستوف<sup>۳</sup> [۵] به کمک تصاویر ویژه<sup>۴</sup>، قدرت تفکیک طیف سرعت را افزایش دادند. ساچی<sup>۵</sup> [۱۱] برای ساخت طیف سرعت با قدرت تفکیک بالا از روش خودگردانی<sup>۶</sup> استفاده کرد. وی با میانگین‌گیری از نتایج به‌دست‌آمده از تعداد زیادی برآورد همدوسی بر پایه ویژه ساختار حساس به ترتیب قرارگیری ردلرزه‌ها درون پنجره زمانی، به این امر دست یافت. کی و اسمیتسون<sup>۷</sup> [۱۲] بر اساس محاسبه ماتریس کوواریانس پنجره تحلیل و مقادیر ویژه آن به آنالیز سرعت با قدرت تفکیک بالا دست یافتند. دوریس و برخاوت<sup>۸</sup> [۱۳] قدرت تفکیک طیف سرعت را با استفاده از اصل حداقل آنتروپی<sup>۹</sup> که روشی آماری است، افزایش دادند. سارکار<sup>۱۰</sup>

---

1-Velocity continuation

2-Neidell and Tanner

3-Biondi and Kostov

4-Eigenimages

5-Sacchi

6-Bootstrap

7-Key and Smithson

8-De Vries and Berkhout

9-Minimum entropy

10-Sarkar

و همکاران [۱۴] نشان دادند که می‌توان با استفاده از تقریب شوئی<sup>۱</sup> [۱۵] و ترکیب آن با روش شباهت، به روش آنالیز سرعتی دست یافت که بتواند مدل سرعت مناسب‌تری را در محیط‌های حاوی آنومالی AVO به‌دست دهد. روش‌سندل و همکاران [۱۶] با وزن‌دار کردن روش شباهت با استفاده از تجزیه مقادیر تکین<sup>۲</sup>، موفق به افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت شدند و همچنین نشان دادند که به‌هنگام عدم گسترش کافی دورافت، روش مذکور قادر است مشکل پهن‌شدگی قله طیف سرعت را برطرف سازد. فومل [۱۷] روش AB semblance را برای آنالیز سرعت داده‌های لرزه‌ای پیشنهاد کرد و نشان داد در حالتی که تغییر پلاریته در داده‌های لرزه‌ای وجود داشته باشد، روش مذکور نسبت به روش شباهت می‌تواند عملکرد بهتری از خود نشان دهد. وی همچنین با استفاده از نسبت مقدار شباهت به مقدار AB semblance، نشانگری را به‌منظور شناسایی نواحی دارای AVO معرفی کرد. آباد و اورسین<sup>۳</sup> [۱۸] با استفاده از روش شباهت تفاضلی خودگردان<sup>۴</sup> که روشی آماری است و برای برآورد ویژگی‌های آماری داده مثل واریانس و میانگین، به نمونه‌گیری دوباره از داده نیازمند است، نشان دادند به‌هنگام عدم گسترش کافی دورافت و پارامترهای زمان‌رسید نزدیک به هم، این روش نسبت به روش شباهت مرسوم از قدرت تفکیک بالاتری برخوردار است.

در سال‌های اخیر استفاده از ضرایب وزنی مختلف که نسبت به تغییرات پارامترهای زمان‌رسید (سرعت بازتابنده‌ها و زمان‌سیر دورافت صفر) حساسیت بیشتری دارند، مورد توجه محققان قرار گرفته است. لو و هال<sup>۵</sup> [۱۹] با به‌کارگیری توابع وزنی وابسته به دورافت که حساسیت بالایی به تغییرات سرعت داشتند، قدرت تفکیک معیار شباهت را برای تشخیص بازتاب‌های اولیه و چندگانه بهبود بخشیدند. اورسین و همکاران [۲۰] با استفاده از تجزیه مقادیر تکین و بر اساس مدل سیگنال و نوفه، سه روش کلی را برای تخمین

---

1-Shuey

2-Singular values decomposition

3-Abad and Ursin

4-Bootstrapped differential semblance

5-Luo and Hale

پارامترهای زمان رسید ارائه دادند که نسبت به روش شباهت مرسوم عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند و می‌توانند مشکلات مربوط به روش شباهت را تا حدودی برطرف کنند و همچنین در شرایطی که داده‌ها حاوی آنومالی AVO باشند، این روش‌ها می‌توانند با دقت خوبی طیف سرعت را محاسبه کنند. ابراهیمی و همکاران [۹] با معرفی دو تابع وزنی جدید موفق شدند قدرت تفکیک طیف سرعت برون‌راند نرمال را در دو راستای سرعت و زمان افزایش دهند و مشکلات مربوط به روش شباهت و AB semblance را برطرف کنند. مبنای تابع وزنی اول، نسبت مقدار تکین اول به دوم پنجره تحلیل داده‌های لرزه‌ای و مبنای تابع وزنی دوم، استفاده از مرکز ثقل انرژی موجک لرزه‌ای درون این پنجره بوده است که با ضرب این دو تابع وزنی در مقدار شباهت در هر پنجره تحلیل، قدرت تفکیک طیف سرعت را در دو راستای سرعت و زمان به مقدار زیادی افزایش دادند.

عدم قطعیت ساختاری ناشی از عدم دقت در مدل سرعت، یا از معادله دیکس منشاء گرفته [۲۱، ۲۲] و یا ناشی از تخمین سرعت برانبارش است [۲۳]. هنگامی که تعیین مدل سرعت به‌عنوان یک مسئله معکوس بیان می‌شود، عدم قطعیت‌ها می‌توانند از معکوس ماتریس هسیان<sup>۱</sup> گرفته شوند [۲۴، ۲۵]. لاند و همکاران [۲۶] نشان دادند که باید دو منشأ عدم قطعیت در نظر گرفته شود: یکی مربوط به داده لرزه‌ای و دیگری مربوط به مدل سرعت. گراب و تورا<sup>۲</sup> [۲۷] به بررسی پیامدهای عدم قطعیت سرعت بر روی تغییر دامنه با دورافت (AVO) پرداختند. تور و جولیارد<sup>۳</sup> [۲۸] پیامدهای زون فرنل بر قدرت تفکیک سرعت را مورد بحث قرار دادند. همچنین نقاط ضعف الگوریتم‌های مختلف کوچ و عدم قطعیت‌های نسبی مربوط به آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲۹-۳۱]. از سوی دیگر زمین‌آمارشناسان ابزارهایی برای تلفیق و گسترش عدم قطعیت‌ها فراهم کرده‌اند [۳۲] و حوزه‌های احتمال را معرفی کرده‌اند [۳۳]. هابراهامسن<sup>۴</sup> و همکاران [۳۴]

---

1-Hessian  
2-Grubb and Tura  
3-Thore and Juliard  
4-Habrahamssen

روشی برای پرداختن به عدم قطعیت تبدیل زمان به عمق در یک بافت چندلایه پیشنهاد کردند، اما این کارها با محدودیت‌هایی همراه بود: به‌طور مثال عدم قطعیت‌ها به راستای قائم محدود شده بودند. همچنین هدف آن‌ها تولید مدل‌های تصادفی بوده است که در ساخت آن‌ها فرض بر این بوده که منابع مختلف عدم قطعیت معلوم بوده‌اند [۳۵]. توره<sup>۱</sup> و همکاران [۳۵] موضوع عدم قطعیت ساختاری در تصاویر لرزه‌ای را آنالیز کرده و مسئله عدم قطعیت را از دو زاویه بررسی کردند: تخمین پارامتر با ادغام منابع مختلف عدم قطعیت و استخراج منابع مختلف عدم قطعیت. آن‌ها روشی بر اساس یک مدل بسیار کلی پیشنهاد دادند و تأثیر مراحل مختلف پردازش را بر شکل مدل ساختاری مورد بررسی قرار دادند. پن و لاینس<sup>۲</sup> [۳۶] به بررسی موضوع عدم قطعیت ساختاری در تصاویر کوچ‌یافته عمقی پرداختند. تأثیر خطاهای مدل سرعت بر فرایند کوچ بررسی شده است [۳۰، ۳۱، ۳۷]. تورا و هانیتزش<sup>۳</sup> [۳۸] به بررسی اثر عدم قطعیت سرعت بر تصاویر کوچ‌یافته و نشانگرهای AVO پرداختند. باب<sup>۴</sup> و همکاران [۳۹، ۴۰] تأثیر عدم قطعیت‌های سرعت بر انبارش و ناهمسانگردی را بر عدم قطعیت‌های ساختاری مورد بررسی قرار دادند. کلپ<sup>۵</sup> [۴۱-۴۳] راه‌کاری برای ارزیابی عدم قطعیت در تصویرسازی لرزه‌ای وابسته به مدل سرعت کوچ داده لرزه‌ای خام پیشنهاد کرد. فومل و لاند<sup>۶</sup> [۳] عدم قطعیت ساختاری را به‌عنوان یک محصول عدم قطعیت در انتخاب سرعت و حساسیت<sup>۷</sup> ساختاری تعریف کردند و روشی جهت تخمین عدم قطعیت ساختاری در تصاویر لرزه‌ای به‌دست آمده از کوچ زمانی پیش از برانبارش ارائه کردند. آن‌ها بر اساس روش پیوستگی سرعت که روشی برای آنالیز سرعت کوچ زمانی است و با استفاده از پهنای آنومالی‌های طیف سرعت به‌دست آمده از این روش، گستره عدم قطعیت در تعیین سرعت کوچ زمانی را محاسبه کرده و با تلفیق کردن این عدم قطعیت با میزان وابستگی (حساسیت)

---

1-Thore

2-Pon and Lines

3-Tura and Hanitzsch

4-Bube

5-Clapp

6-Fomel and Landa

7-Sensitivity

ساختاری تصویر لرزه‌ای به مدل سرعت کوچ انتخابی، موفق شدند عدم قطعیت ساختاری تصاویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی را به صورت کمی تعیین کنند. کونگات<sup>۱</sup> و همکاران [۴۴] بر اساس ردگیری پرتو، روشی را به منظور محدود کردن عدم قطعیت‌های ساختاری توسعه دادند که به کمک یک سری مدل‌های مغشوش با تلفیق با داده‌های چاه، خطای بالقوه موقعیت‌یابی را به وسیله ردگیری پرتو ارزیابی می‌کند و بدین ترتیب محدوده‌ای از موقعیت‌های ممکن را به همراه واریانس مربوطه به دست می‌دهد. شلاشر و بیلوتی<sup>۲</sup> [۴۵] با به حساب آوردن شیب بازتابنده به عنوان یک پارامتر اضافه شده سعی کردند به مدل سرعتی با صحت بالاتر دست یابند. سانتوس<sup>۳</sup> و همکاران [۴۶] با استفاده از الگوریتم‌های کوچ دوباره<sup>۴</sup>، روش کوچ زمانی پیش از برانبارش را به منظور افزایش قدرت تفکیک محلی مدل سرعت کوچ توسعه دادند. این ابزار از نشانگرهای جنبشی محلی رخدادهای انتخابی تخمین زده شده جهت بروز رسانی محلی مدل سرعت قبلی و بهبود موقعیت‌یابی بازتابنده‌های اصلی استفاده می‌کند.

در مرحله کوچ زمانی پیش از برانبارش با افزودن جملات وزنی به روش شباهت مرسوم که حساسیت بیشتری به تغییرات سرعت داشته باشند، می‌توان قدرت تفکیک طیف سرعت را افزایش و در نتیجه خطا در تخمین مدل سرعت را کاهش داد.

#### ۴-۱ روش انجام تحقیق

در این پایان‌نامه به کمک تجزیه مقادیر تکین و با استفاده از یک تابع وزنی سعی در افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش در راستای سرعت می‌شود و تأثیر آن بر امکان کاهش خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) مورد بررسی قرار می‌گیرد. مبنای این تابع وزنی استفاده از مقادیر تکین

---

1-Cognot  
2-Schleicher and Biloti  
3-Santos  
4-Remigration

پنجره تحلیل داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. یکی از پرکاربردترین تجزیه‌های ماتریسی در جبر خطی، تجزیه مقادیر تکین است و اهمیت زیادی در مباحث مختلف ریاضی، مهندسی و پزشکی دارد. می‌توان نشان داد زمانی که درون ماتریس داده‌های لرزه‌ای یک رویداد افقی و همدوس موجود باشد، مقدار تکین اول نسبت به سایر مقادیر تکین، بسیار بزرگ‌تر خواهد بود. در واقع هنگامی که سرعت تشکیل هذلولی زمان‌سیر به-درستی انتخاب می‌شود (رویداد هذلولی به صورت افقی و صاف در پنجره تحلیل دیده می‌شود) مقدار تکین اول بسیار بزرگ می‌شود و به‌ازای سرعت‌های بیشتر و یا کم‌تر از سرعت واقعی (رویداد هذلولی به ترتیب دچار کم تصحیح شدگی<sup>۱</sup> و بیش تصحیح شدگی<sup>۲</sup> می‌شوند) مقدار تکین اول نسبت به سایر مقادیر اختلاف چندانی ندارد. با استفاده از نسبت مقدار تکین اول به دوم ضریبی به دست می‌آید که سبب کاهش مقادیر بالای شباهت در همسایگی مقادیر دقیق سرعت و تقویت مقادیر صحیح و تضعیف مقادیر ناصحیح طیف سرعت می‌شود و در نتیجه منجر به افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت می‌شود. در این پایان‌نامه برای آنالیز سرعت کوچک زمانی پیش از برانبارش از روش پیوستگی سرعت استفاده می‌شود. در هر مقطع تصویر مشترک (صفحه سرعت-زمان) حاصل از این روش، با ضرب تابع وزنی مذکور در مقدار شباهت در هر پنجره تحلیل، قدرت تفکیک طیف سرعت به مقدار زیادی افزایش یافته و عدم قطعیت در انتخاب مدل سرعت کوچک کاهش می‌یابد. بدین ترتیب می‌توان به مدل سرعت دقیق‌تری دست یافت. در ادامه، مقدار عدم قطعیت مدل سرعت کوچک انتخابی و میزان حساسیت هر نقطه از تصویر لرزه‌ای به مدل سرعت انتخابی در دو راستای افقی (موقعیت جانبی) و قائم (زمان) با استفاده از روابط محاسبه می‌شود و با ضرب این دو مقدار، عدم قطعیت ساختاری (خطای مکان‌یابی) در هر نقطه از تصویر تعیین می‌شود. این بدان معنی است که عدم قطعیت ساختاری رابطه مستقیمی با عدم قطعیت تخمین مدل سرعت کوچک دارد و بنابراین متناسب با مقدار کاهش ایجادشده در عدم قطعیت مدل سرعت کوچک، عدم قطعیت ساختاری (خطای موقعیت‌یابی) نیز کاهش می‌یابد.

---

1-Under correction

2-Over correction

همچنین به منظور بررسی میزان کارایی روش ارائه شده، مقدار این عدم قطعیت با مقدار عدم قطعیت ساختاری به دست آمده از روش شباهت مرسوم مقایسه می گردد.

## ۱-۵ ساختار پایان نامه

این پایان نامه به لحاظ ساختاری در پنج فصل تنظیم و نگارش شده است. در فصل دوم ابتدا به مروری بر تصحیح برون راند نرمال در دو حوزه زمان-مکان و زمان-سرعت، پرداخته می شود و عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر آنالیز سرعت به روش طیف سرعت مورد بررسی قرار می گیرند. سپس مطالبی در مورد تجزیه مقادیر تکین و خصوصیات آن بیان می شود. در ادامه دو روش آنالیز سرعت کوچ توصیف شده و به بررسی عوامل ایجاد خطاهای مدل سرعت و تأثیر این خطاها بر نتیجه کوچ پرداخته می شود و در انتهای این فصل نیز راجع به منابع مختلف عدم قطعیت و تأثیر هر یک از آنها بر روی تصاویر لرزه ای کوچ یافته بحث می شود. در فصل سوم ابتدا تابع وزنی مورد نظر معرفی می شود و در ادامه تئوری روش پیشنهادی و نحوه انجام تحقیق تشریح می گردد. در فصل چهارم عملکرد روش پیشنهادی بر روی داده های لرزه ای مصنوعی و دریایی مورد بررسی قرار می گیرد و همه خروجی های مورد نیاز جهت مشاهده و تحلیل عملکرد روش پیشنهادی نمایش داده می شود. همچنین نتایج حاصل از این روش با روش شباهت مرسوم مقایسه می شود. در فصل پنجم نیز نتایج حاصل از این پایان نامه بیان شده و پیشنهادهای ارائه می گردد.

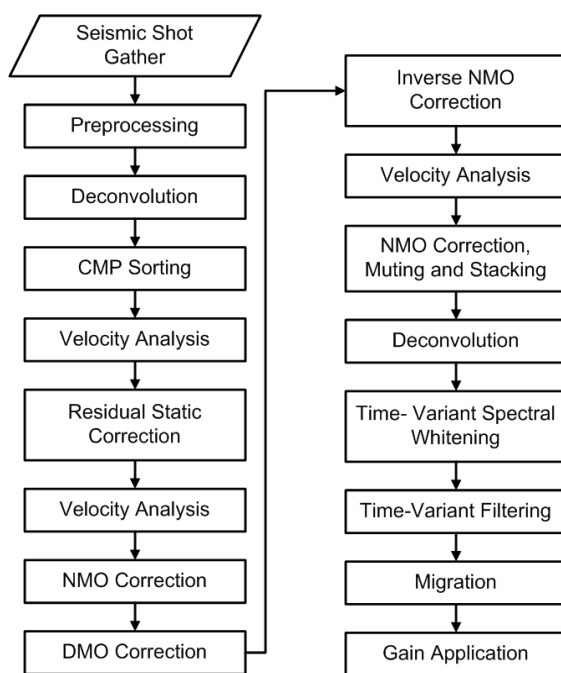


فصل دوم: مروری بر روش های تهیه مدل سرعت و منابع مختلف  
عدم قطعیت در کوچ

## ۱-۲ مقدمه

مهم‌ترین ثابت فیزیکی مورد نیاز جهت به‌دست آوردن یک تصویر درست زیرسطحی، سرعت انتشار موج لرزه‌ای در لایه‌ها می‌باشد. یک نگار صوتی به‌طور مستقیم سرعت سیر امواج در لایه‌های زیرسطحی را به‌عنوان تابعی از عمق فراهم می‌آورد [۱]. داده‌های لرزه‌ای به‌عنوان روشی غیرمستقیم برای محاسبه سرعت امواج لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. بر اساس این دو نوع اطلاعات، لرزه‌شناسان از انواع مختلف سرعت شامل سرعت بازه‌ای، سرعت لحظه‌ای، سرعت میانگین، سرعت مجذور میانگین مربعات، سرعت برون‌راند نرمال، سرعت برانبارش و سرعت کوچ استفاده می‌کنند.

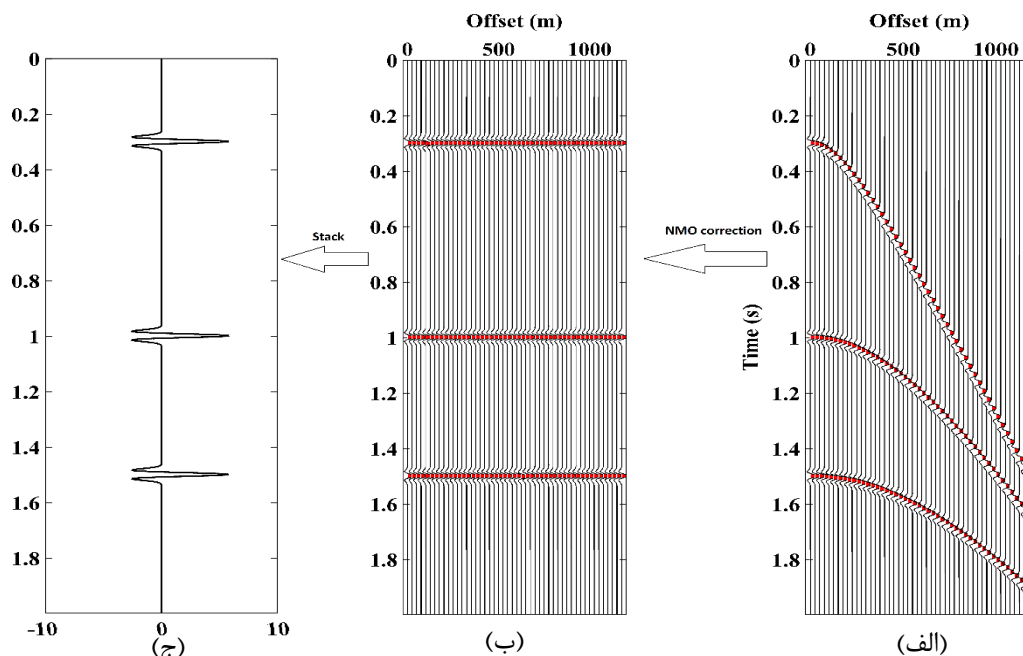
شکل ۱-۲ مراحل اصلی فرآیند پردازش داده‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، آنالیز سرعت در چندین مرحله از پردازش، بر روی داده‌ها اعمال می‌شود.



شکل ۱-۲: مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای [۱].

همه بازتاب‌های ثبت‌شده در دورافت‌های مختلف در رکورد نقطه میانی مشترک حاوی اطلاعاتی از نقاط مشابه زیرسطحی (زیر نقطه میانی) می‌باشند. در تصحیح برون‌راند نرمال، بایستی تأثیر دورافت بر روی

زمان رسید بازتاب‌های رسیده از یک نقطه عمقی مشترک حذف شود تا بازتاب‌های مذکور به خط شوند. شکل ۲-۲ فرایند تصحیح برون‌راند نرمال با استفاده از تابع سرعت حاصل از آنالیز سرعت و انجام فرایند برانبارش را به صورت شماتیک بر روی یک رکورد نقطه میانی مشترک با سه رویداد بازتابی نشان می‌دهد [۴۷].



شکل ۲-۲: الف) رکورد نقطه میانی مشترک مصنوعی. ب) اعمال تصحیح برون‌راند نرمال ایده‌آل با سرعت‌های به دست آمده از آنالیز سرعت. ج) برانبارش داده‌ها بعد از تصحیح برون‌راند نرمال [۴۷].

رابطه زمان سیر موج برای یک مدل زمین تک‌لایه افقی روی نیم‌فضا مطابق شکل ۲-۳ به صورت رابطه

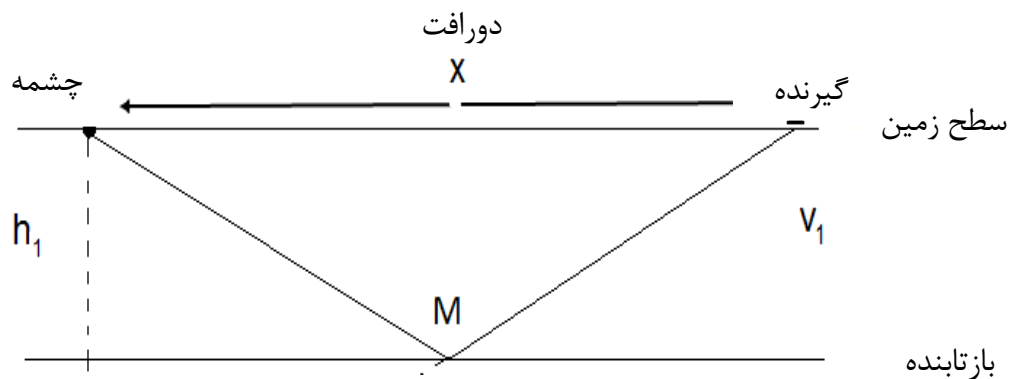
(۱-۲) می‌باشد [۴۸].

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v_1^2} \quad (1-2)$$

که  $x$  دورافت،  $v_1$  سرعت انتشار موج در لایه و  $t_0$  زمان سیر موج در دورافت صفر می‌باشد و به صورت

$$t_0 = \frac{2h_1}{v_1}$$

تعریف می‌شود که  $h_1$  ضخامت لایه است.

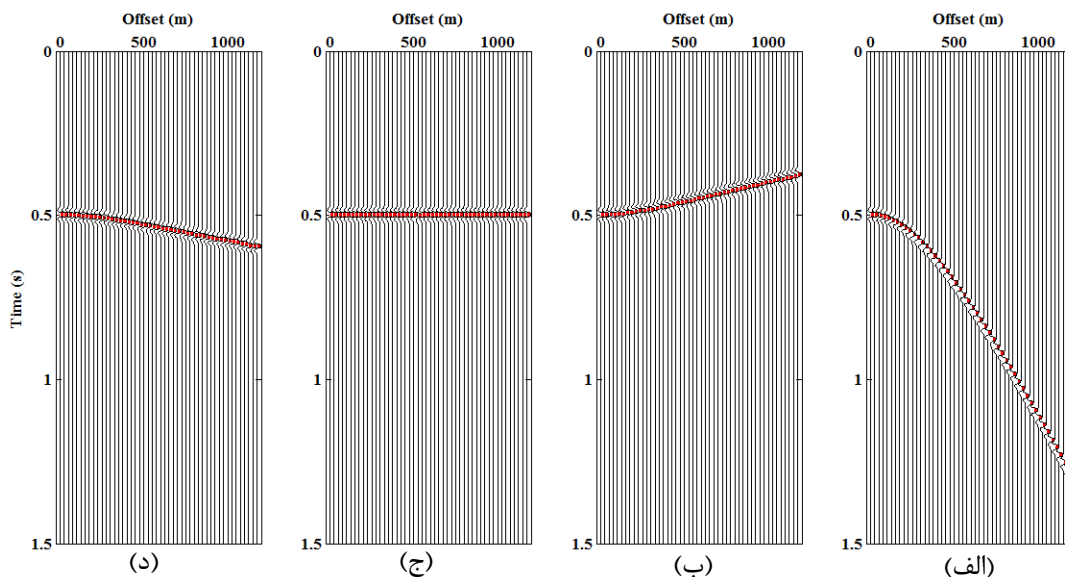


همان‌گونه که از رابطه (۱-۲) مشاهده می‌شود، این رابطه معادله زمان‌سیر یک هذلولی در صفحه  $t-x$  می‌باشد. با مشخص بودن مقادیر  $t_0$ ، دورافت و زمان‌سیر هر دورافت می‌توان سرعت تشکیل هذلولی زمان‌سیر را محاسبه کرد. اختلاف زمان‌رسید بین هر دورافت با زمان‌سیر دورافت صفر را برون‌راند نرمال می‌گویند که مطابق رابطه (۲-۲) به‌دست می‌آید [۴۸]:

$$\Delta t_{NMO} = t - t_0 \approx t_0 \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{x}{v_{NMO} t_0} \right)^2} - 1 \right] \approx \frac{x^2}{2v_{NMO}^2 t_0} \approx \frac{x^2}{4v_{NMO} h} \quad (2-2)$$

شکل ۴-۲ الف، رکورد نقطه میانی مشترک برای یک مدل زمین تک‌لایه با سرعت انتشار ۱۰۰۰ متر بر ثانیه و ضخامت ۲۰۰ متر را نشان می‌دهد. در ساخت این رکورد نقطه میانی مشترک بیشترین دورافت برابر ۱۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است و ۴۸ گیرنده که با فاصله ۲۵ متری نسبت به هم قرار گرفته‌اند، تعیین شده است. شکل ۴-۲ ب تا د رکوردهای تصحیح برون‌راند نرمال شده را به‌ازای سرعت‌های ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ متر بر ثانیه نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است برای سرعت‌های کمتر از سرعت واقعی، هذلولی زمان‌سیر به‌صورت صاف و افقی نمی‌باشد و نمودار دچار انحنای به سمت بالا می‌شود. این پدیده بیش‌تصحیح نامیده می‌شود. اگر سرعت تخمین بیشتر از سرعت واقعی بازتابنده باشد، نمودار زمان‌سیر دچار زیرتصحیح می‌شود. این شکل اساس و پایه آنالیز سرعت را نشان می‌دهد. اگر تصحیح

برونراند نرمال با استفاده از سرعت واقعی انجام شود، سبب به خط شدن رویداد بازتابی می‌شود؛ بنابراین اگر معیاری بتواند این میزان به خط شدگی رویداد هذلولی را محاسبه کند، می‌تواند به منظور تعیین سرعت واقعی لایه مورد استفاده قرار گیرد. سرعتی که بهترین به خط شدگی هذلولی زمان سیر را ایجاد می‌کند، همان سرعتی است که بهترین تصحیح برونراند نرمال قبل از برانبارش داده‌ها را سبب می‌شود. البته مطالب عنوان شده برای یک مدل ساده تک‌لایه افقی است که از مدل واقعی زمین دور می‌باشد؛ اما می‌توان نشان داد که در هر مدل پیچیده زمین، منحنی زمان رسید حاصل از یک بازتابنده در رکورد CMP را می‌توان با یک هذلولی تقریب زد [۴۷].



شکل ۲-۴: الف) رکورد CMP مصنوعی. ب) تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۹۰۰ متر بر ثانیه. ج) تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. د) تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۱۱۰۰ متر بر ثانیه [۴۷].

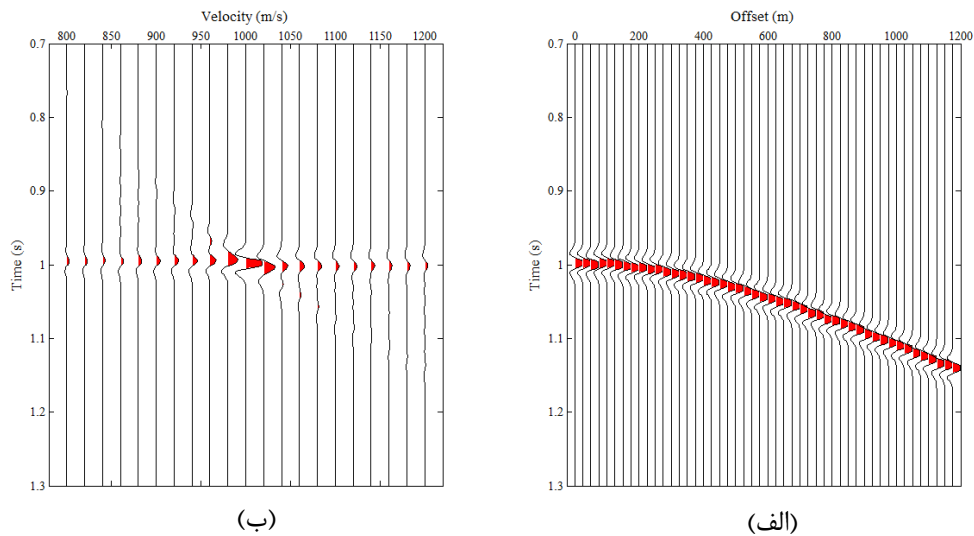
## ۲-۲ طیف سرعت

طیف سرعت، بر اساس همبستگی عرضی بین ردلرزه‌ها در یک رکورد CMP عمل می‌کند. در مقایسه با روش برانبارش سرعت ثابت<sup>۱</sup> (CVS)، این روش برای داده‌هایی با بازتاب‌های چندگانه مناسب‌تر است ولی

1-Constant Velocity Stack

در مناطقی با ساختارهای پیچیده، روش برانبارش سرعت ثابت کارایی نسبتاً بهتری دارد [۴۷].

شکل ۵-۲ الف رکورد نقطه میانی مشترک مربوط به یک بازتابنده افقی با  $v = 1000m/s$  و  $t_0 = 1s$  را نشان می‌دهد. شکل ۵-۲ ب نتیجه ردلرزه‌های برانبارش شده برای هر سرعت انتخابی را در صفحه  $t_0 - v_{ms}$  نشان می‌دهد که آن را طیف سرعت می‌نامند [۴]. با انجام این کار، داده‌ها از حوزه  $t - x$  به حوزه  $t_0 - v_{ms}$  منتقل می‌شوند. در این روش بیشترین دامنه برانبارش در سرعت صحیح بازتابنده به دست می‌آید. هنگامی که نسبت سیگنال به نوفه داده‌ها پایین باشد، دامنه ردلرزه برانبارش شده ممکن است بهترین دامنه برانبارش را نشان ندهد. هدف طیف سرعت دستیابی به سرعتی است که مربوط به بیشترین همدوسی سیگنال‌ها روی هذلولی زمان سیر در تمام دورافت‌ها می‌باشد [۴۷].



شکل ۵-۲: الف) رکورد CMP مصنوعی مربوط به زمین تک‌لایه با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. ب) طیف سرعت به دست آمده برای تعیین سرعت تشکیل هذلولی زمان سیر [۴۷].

نیدل و نتر [۱۰] روش‌های مختلفی را به منظور محاسبه همدوسی سیگنال که جهت به دست آوردن طیف سرعت به کار می‌رود ارائه کردند. شباهت که به عنوان انرژی ردلرزه میانگین به میانگین انرژی ردلرزه‌ها تعریف می‌شود، به عنوان متداول‌ترین و پرکاربردترین معیار همدوسی جهت محاسبه طیف سرعت مورد

استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۶-۲ الف یک رکورد نقطه میانی مشترک را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. جهت محاسبه معیار شباهت برای یک  $t_0$  و  $v_{ms}$  (سرعت مجذور میانگین مربعات) مشخص، ابتدا پنجره تحلیل زمانی حول هذلولی شکل ۶-۲ الف حاصل از سرعت  $v_{ms}$  در  $t_0$  مورد نظر انتخاب می‌شود که این کار در شکل ۶-۲ ب به صورت شماتیک نشان داده شده است. اگر از هر  $M$  ردلرزه رکورد CMP تعداد  $2N + 1$  نمونه زمانی درون پنجره تحلیل مذکور قرار گرفته باشند، مقدار شباهت با استفاده از روابط (۳-۲) و (۴-۲) محاسبه می‌شود:

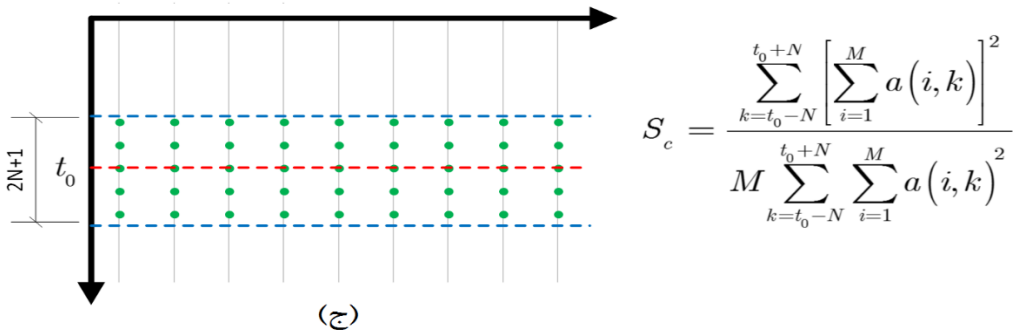
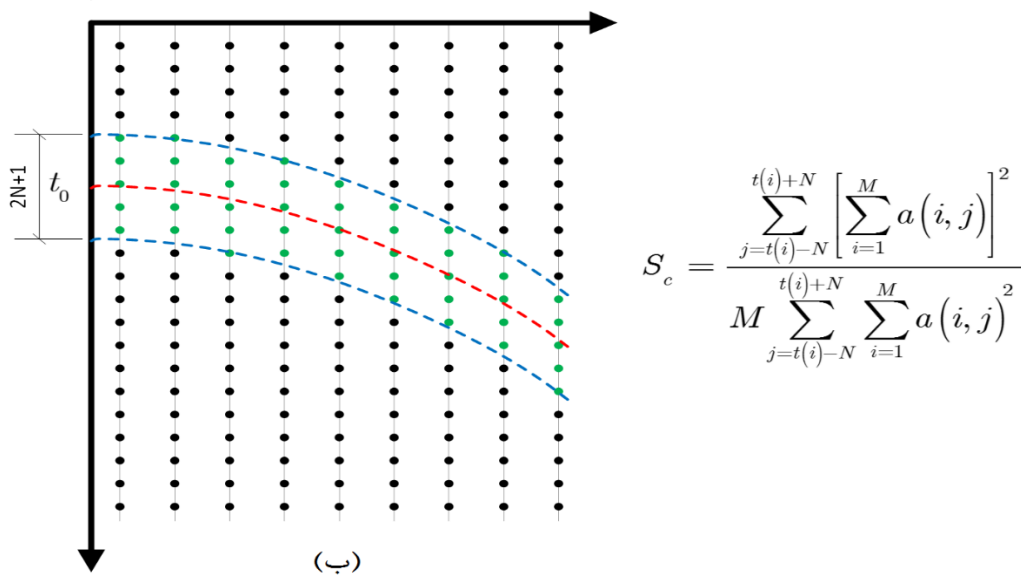
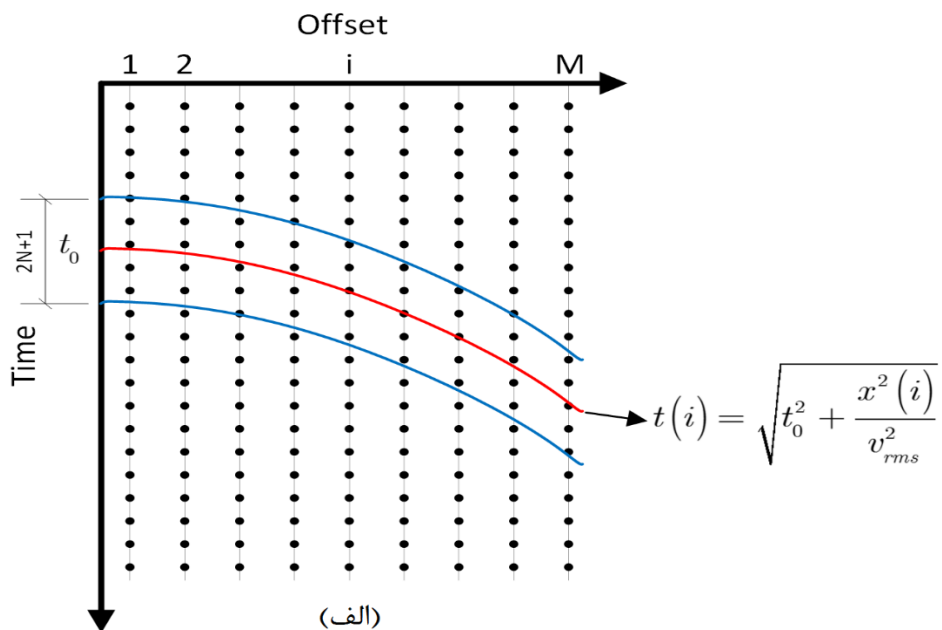
$$t(i) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x(i)^2}{v_{ms}^2}} \quad (۳-۲)$$

$$S_c = \frac{\sum_{j=t(i)-N}^{t(i)+N} \left( \sum_{i=1}^M a(i, j) \right)^2}{M \sum_{j=t(i)-N}^{t(i)+N} \sum_{i=1}^M a(i, j)^2} \quad (۴-۲)$$

که  $t(i)$  مرکز پنجره تحلیل در ردلرزه  $i$  ام و  $a(i, j)$  نشان‌دهنده دامنه نمونه  $j$  ام از ردلرزه  $i$  ام درون پنجره تحلیل می‌باشند. پنجره تحلیل داده، پنجره‌ای هذلولی شکل به طول  $2N + 1$  برای یک سرعت انتخابی می‌باشد. همچنین نمونه‌های داده درون پنجره تحلیل مذکور را می‌توان در کنار هم به صورت یک ماتریس در راستای افقی نمایش داد (شکل ۶-۲ ج) که در این مورد مقدار شباهت از رابطه (۵-۲) به دست می‌آید:

$$S_c = \frac{\sum_{k=t_0-N}^{t_0+N} \left( \sum_{i=1}^M a(i, k) \right)^2}{M \sum_{k=t_0-N}^{t_0+N} \sum_{i=1}^M a(i, k)^2} \quad (۵-۲)$$

که  $a(i, k)$  نشان‌دهنده دامنه نمونه  $k$  ام از ردلرزه  $i$  ام درون پنجره تحلیل افقی شکل به مرکز  $t_0$  می‌باشد.



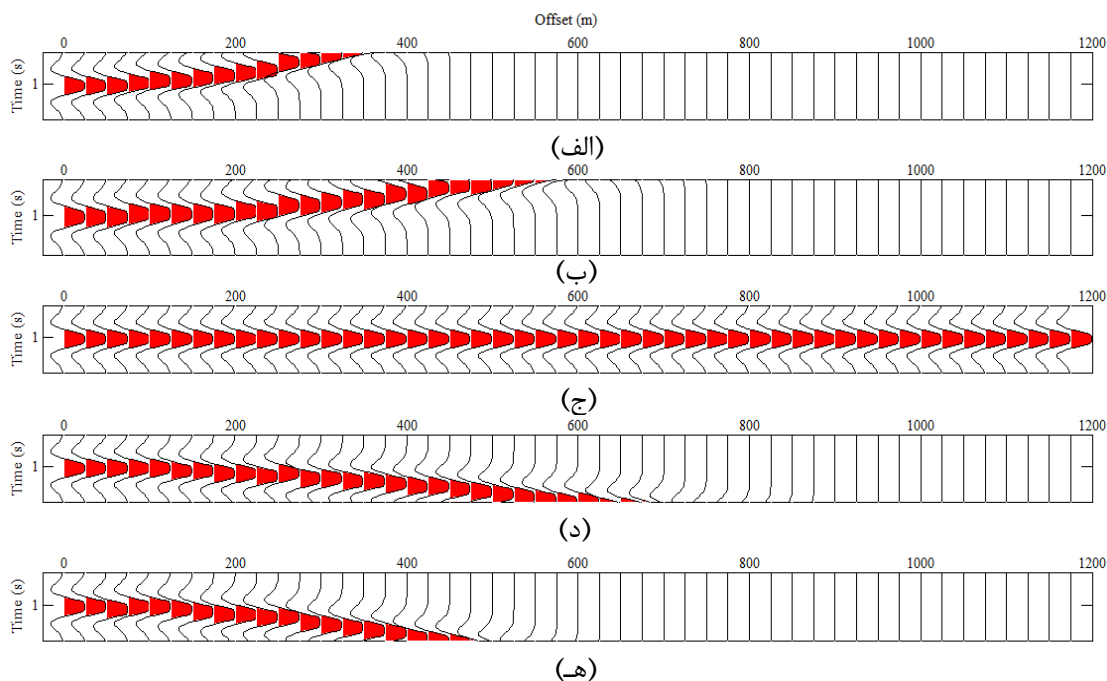
شکل ۲-۶: الف) رکورد CMP دارای رویداد بازتابی هذلولی شکل. ب) پنجره تحلیل زمانی حول رویداد هذلولی شکل ۲-۶ الف جهت محاسبه معیار شباهت با استفاده از رابطه مقابل آن. ج) نمونه‌های داده لرزه‌ای درون پنجره تحلیل مذکور در کنار هم به صورت یک ماتریس در راستای افقی به همراه رابطه شباهت مربوطه.



مطابق با رابطه (۴-۲) و (۶-۲)، شباهت در واقع نسبت بین انرژی خروجی به ورودی می‌باشد. اگر رویدادها در داخل پنجره تحلیل به موازات طول پنجره به خط شوند، مقدار صورت و مخرج رابطه (۴-۲) و یا (۵-۲) یکسان خواهند شد و مقدار شباهت برابر یک می‌شود. چنانچه پنجره تحلیل شامل داده‌های تصادفی باشد، دامنه ردلرزه میانگین در حالت ایده آل صفر می‌شود و انرژی آن نیز صفر خواهد شد؛ بنابراین در این حالت، مقدار شباهت برابر صفر می‌شود. اگر سرعت تشکیل پنجره تحلیل (سرعت مربوط به هذلولی داخل پنجره تحلیل)، سرعت واقعی بازتابنده (لایه) باشد، رویدادها داخل پنجره تحلیل به موازات طول پنجره به خط می‌شوند که باعث بیشینه شدن مقدار شباهت می‌شود و مقدار آن نزدیک به یک می‌باشد. در غیر این صورت، مقدار شباهت کاهش یافته و به سمت صفر خواهد رفت. به عنوان مثال، پنجره‌های تحلیل برای رویداد بازتابی شکل ۵-۲ الف به طول ۲۷ نمونه زمانی به ازای سرعت‌های ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ متر بر ثانیه تهیه شده که در شکل ۷-۲ الف تا هـ به ترتیب نمایش داده شده است. مقدار شباهت در هر یک از این پنجره‌ها محاسبه شده و در جدول ۱-۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار شباهت مربوط به پنجره تحلیل با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه است که همان سرعت تشکیل هذلولی زمان سیر می‌باشد [۴۷].

جدول ۱-۲: مقادیر شباهت مرتبط با پنجره‌های تحلیل تولیدشده در شکل ۷-۲ [۴۷].

مقدار شباهت	سرعت تشکیل پنجره تحلیل (سرعت مربوط به هذلولی داخل پنجره تحلیل) (متر بر ثانیه)	شماره پنجره تحلیل
۰/۰۵۲۵	۸۰۰	۱
۰/۰۶۹۳	۹۰۰	۲
۱	۱۰۰۰	۳
۰/۰۶۵۵	۱۱۰۰	۴
۰/۰۵۵۳	۱۲۰۰	۵



شکل ۲-۷: پنجره‌های تحلیل با طول ۲۷ نمونه زمانی برای رویداد بازتابی شکل ۲-۵ الف به ازای سرعت‌های الف) ۸۰۰ (ب) ۹۰۰، ج) ۱۰۰۰، د) ۱۱۰۰ و ه) ۱۲۰۰ متر بر ثانیه [۴۷].

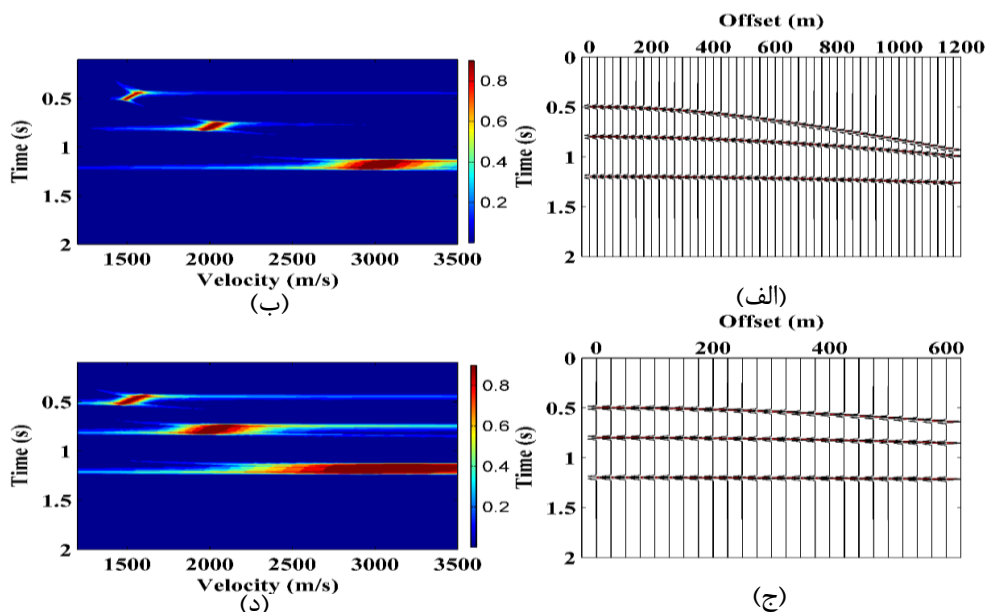
### ۳-۲ فاکتورهای مؤثر بر محاسبه طیف سرعت

قدرت تفکیک طیف سرعت و دقت در تخمین سرعت داده‌های لرزه‌ای توسط چندین عامل محدود می‌شود که در ادامه به تأثیر هر کدام از این عوامل بر طیف سرعت پرداخته می‌شود.

#### ۳-۲-۱ طول دورافت

به منظور بررسی اثر طول دورافت بر روی کیفیت طیف سرعت، برای یک مدل زمین سه لایه، دو رکورد CMP مصنوعی یکی با طول دورافت ۱۲۰۰ متر و دیگری با طول دورافت ۶۰۰ متر در شکل ۲-۸ الف و ج به ترتیب نشان داده شده‌اند. طیف سرعت حاصل از دو رکورد CMP مذکور در شرایط کاملاً یکسان محاسبه شده که نتایج آن‌ها به ترتیب در شکل ۲-۸ ب و د نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۲-۸ د مشاهده می‌شود، طیف سرعت مربوط به رکورد CMP با طول دورافت ۶۰۰ متر دچار پهن‌شدگی شده است و قدرت تفکیک

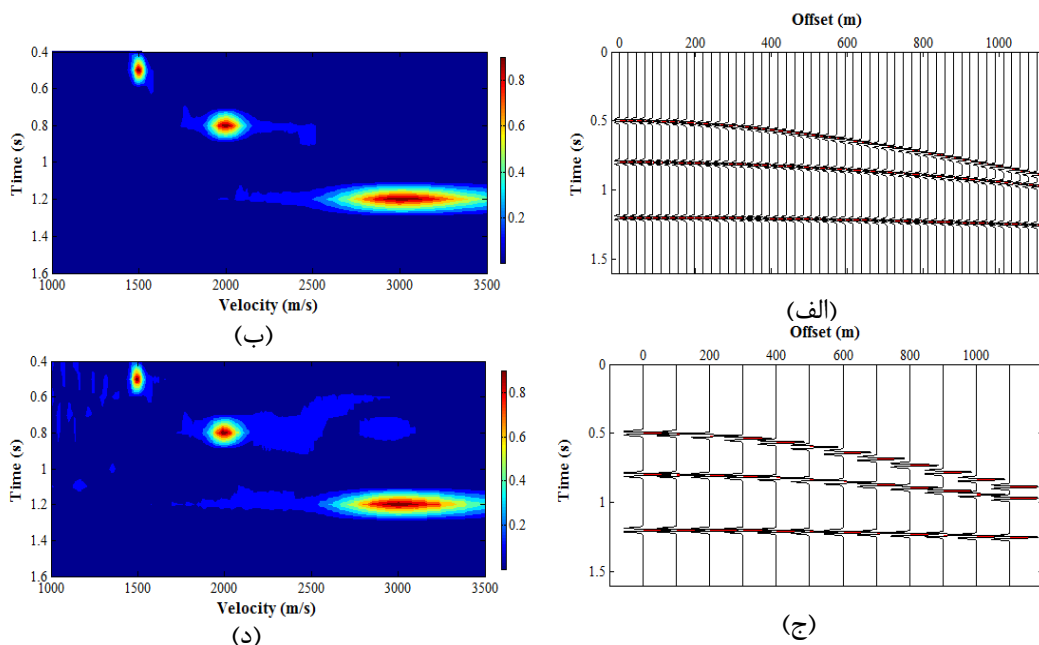
آن نسبت به طیف سرعت مربوط به رکورد CMP با طول دورافت ۱۲۰۰ متر کاهش یافته است [۴۷].



شکل ۸-۲: تأثیر کاهش طول دورافت بر طیف سرعت. الف) رکورد CMP مصنوعی با طول دورافت ۱۲۰۰ متر. ب) طیف سرعت حاصله برای شکل الف. ج) رکورد CMP مصنوعی با طول دورافت ۶۰۰ متر. د) طیف سرعت به دست آمده برای شکل ج [۴۷].

## ۲-۳-۲ مقدار فولد<sup>۱</sup>

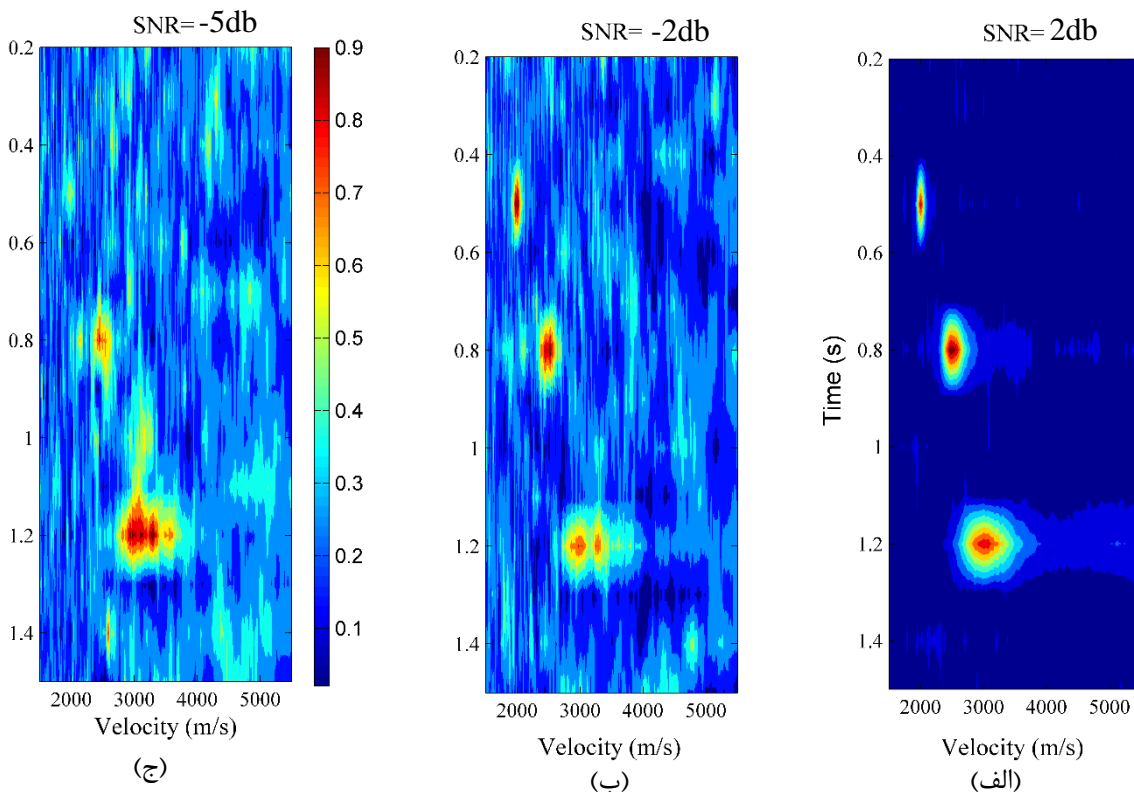
این کمیت نقش مهمی در قدرت تفکیک طیف سرعت ایفا می کند. به منظور کاهش محاسبات و زمان انجام سایر مراحل پردازشی، گاهی اوقات رکوردهای با فولد بالا توسط برانبارش جزئی به رکوردهای معادل با فولد کم تبدیل می شوند. به منظور بررسی اثر مقدار فولد بر روی کیفیت طیف سرعت، برای مدل زمین سه لایه شکل ۸-۲ با طول دورافت ۱۲۰۰ متر، دو مقدار فولد متفاوت ۵۲ و ۱۲ در نظر گرفته شده که در شکل ۹-۲ الف و ج به ترتیب نشان داده شده اند. مقایسه طیف های سرعت محاسبه شده برای دو رکورد CMP نشان می دهد که هر چه مقدار فولد بیشتر باشد، طیف سرعت از کیفیت و قدرت تفکیک بالاتری برخوردار است [۴۷].



شکل ۹-۲: تأثیر کاهش فولد بر آنومالی‌های طیف سرعت. الف) رکورد CMP مصنوعی با فولد ۵۲. ب) طیف سرعت به‌دست آمده برای شکل الف. ج) رکورد CMP مصنوعی با فولد ۱۲. د) طیف سرعت به‌دست آمده برای شکل ج [۴۷].

### ۳-۳-۲ نسبت سیگنال به نوفه

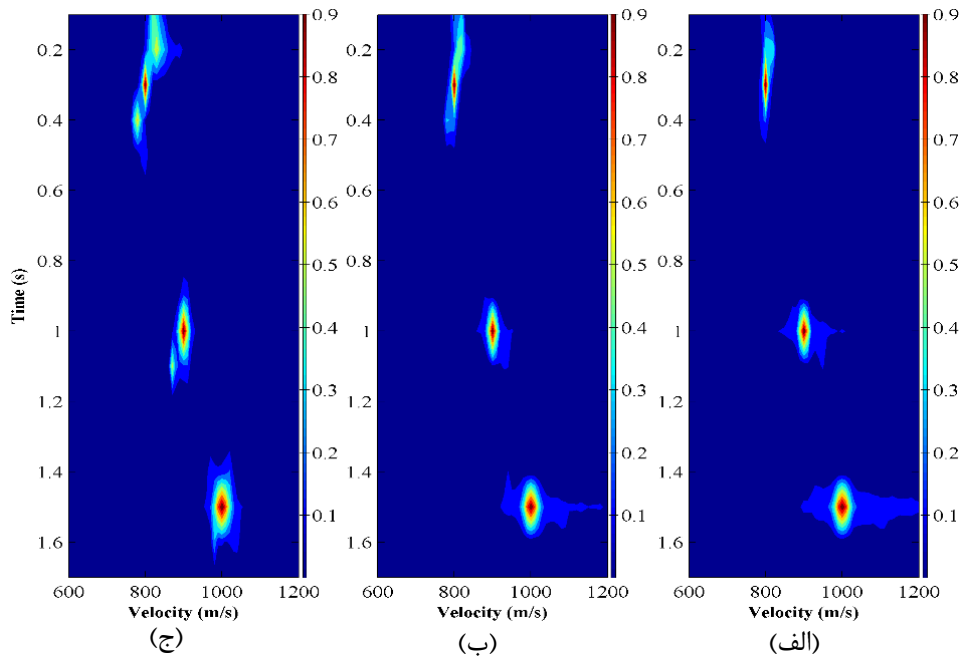
در اکثر مواقع، داده‌های لرزه‌ای حاوی امواج ناخواسته‌ای به نام نوفه هستند. نسبت سیگنال به نوفه تأثیر مستقیمی بر کیفیت طیف سرعت دارد. شکل ۲-۱۰ طیف سرعت به‌دست آمده برای رکورد CMP شکل ۲-۸ را در سه حالت با نسبت سیگنال به نوفه‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۲-۱۰ مشخص است، در نسبت سیگنال به نوفه بالا، تشخیص آنومالی‌های طیف سرعت آسان‌تر می‌باشد، چرا که کیفیت طیف سرعت به‌دست آمده از رکورد با نسبت سیگنال به نوفه بالا بیشتر است [۴۷].



شکل ۲-۱: تأثیر نوفه بر کیفیت طیف سرعت. طیف سرعت محاسبه شده با نسبت سیگنال به نوفه الف) ۲ دسی بل. ب) ۲- دسی بل و ج) ۵- دسی بل [۴۷].

### ۲-۳-۴ طول پنجره تحلیل زمانی

همان طور که بیان شد، برای محاسبه معیار همدوسی به یک پنجره تحلیل زمانی نیاز می باشد. طول این پنجره به عنوان یک عامل مؤثر بر طیف سرعت، با قدرت تفکیک زمانی این طیف رابطه دارد. به طور کلی هر چه طول پنجره زمانی بزرگ تر انتخاب شود، منجر به کاهش بیشتر قدرت تفکیک زمانی می شود و رویدادهای کاذبی در طیف سرعت ایجاد می کند. در عمل طول پنجره تحلیل بین ۱ تا ۱/۵ برابر دوره غالب موجک لرزه ای که معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ نمونه زمانی می باشد، در نظر گرفته می شود [۱]. شکل ۲-۱۱ تأثیر طول پنجره های زمانی مختلف را بر روی طیف سرعت رکورد CMP مصنوعی شکل ۲-۸ الف نشان می دهد [۴۷].



شکل ۲-۱۱: تأثیر طول پنجره تحلیل بر محاسبه طیف سرعت. طیف سرعت محاسبه شده با طول پنجره تحلیل الف) ۸ نمونه زمانی ب) ۲۲ نمونه زمانی و ج) ۴۶ نمونه زمانی [۴۷].

## ۴-۲ تجزیه مقادیر تکین

مسئله مقادیر ویژه (مقادیر ذاتی) مربوط به ماتریس‌ها از جمله بنیادی‌ترین و پرکاربردترین مباحث و ابزارها در بسیاری از زمینه‌های علوم مختلف می‌باشد. تجزیه مقادیر منفرد یا تجزیه مقادیر تکین، به‌عنوان یک تجزیه و فاکتورگیری ماتریسی، قدمی اساسی در بسیاری از زمینه‌های علمی و مهندسی محسوب می‌شود [۴۹]. تجزیه مقادیر تکین یک روش عددی برای قطری کردن ماتریس‌ها در آنالیز عددی است. بر اساس تئوری تجزیه مقادیر تکین، هر ماتریس  $A_{m \times n}$  را می‌توان به‌صورت رابطه (۴-۲) به شکل ضرب سه ماتریس بیان کرد [۵۰، ۵۱].

$$A_{m \times n} = U_{m \times m} \Lambda_{m \times n} V_{n \times n}^T \quad (۴-۲)$$

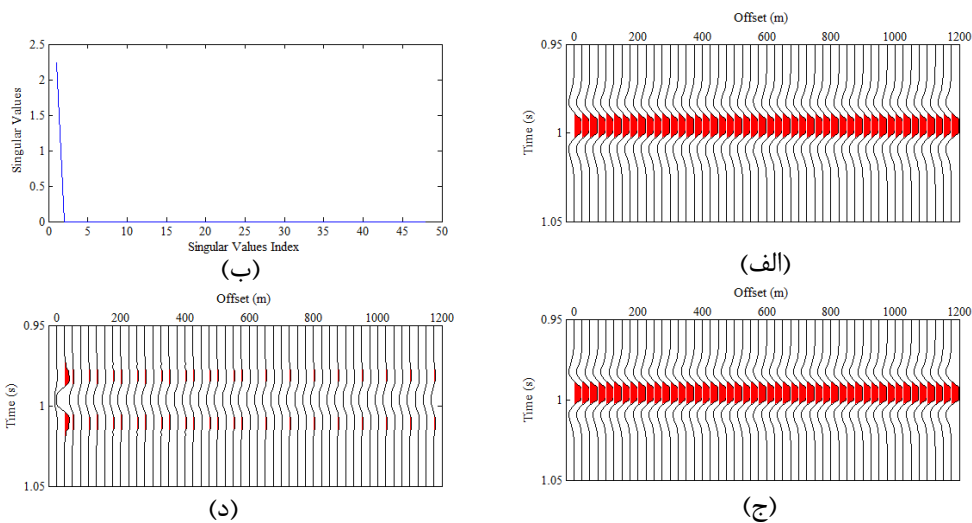
که ماتریس‌های  $U_{m \times m}$  و  $V_{n \times n}$  ماتریس‌های متعامد با ستون‌های  $u_i$  و  $v_i$  می‌باشند که به‌ترتیب بردارهای ویژه ماتریس  $AA^T$  و  $A^T A$  می‌باشند و  $\Lambda$  ماتریسی است که تمام درایه‌های غیر قطر اصلی آن صفر و درایه‌های قطر اصلی آن ریشه دوم مقادیر ویژه ماتریس  $AA^T$  یا  $A^T A$  می‌باشد. در واقع تجزیه

مقادیر تکین یک ماتریس مانند تجزیه یک بردار به مؤلفه‌های سازنده آن است. اگر برداری در جهت یکی از محورهای مختصات باشد، مؤلفه بردار مربوط به آن محور مختصات دارای مقداری برابر با طول بردار می‌باشد و سایر مؤلفه‌ها صفر هستند؛ بنابراین می‌توان بردار مذکور را تنها با یک مؤلفه نمایش داد. در صورتی که بردار مذکور به جای این که در جهت یکی از محورهای مختصاتی باشد، نزدیک به آن جهت باشد، باز هم می‌توان بردار مذکور را با دقت مناسبی با مؤلفه بردار روی آن محور مختصات بیان نمود، هرچند که در این حالت، سایر مؤلفه‌ها صفر نیستند [۴۷].

در تجزیه مقادیر تکین، اگر در ماتریس یک رویداد همدوس و یا با همدوسی بالا وجود داشته باشد، مانند برداری است که یا به‌طور کامل در جهت محور مختصاتی قرار گرفته و یا نزدیک به آن است. لذا می‌توان این ماتریس را با استفاده از یک یا تعداد کمی از مؤلفه‌های آن بازسازی نمود. شکل ۲-۱۲ الف و ب یک ماتریس که دارای رویدادی همدوس است را به همراه نمودار مقادیر تکین آن نشان می‌دهد. نمودار مقادیر تکین شکل ۲-۱۲ ب در واقع مقادیر قطر اصلی ماتریس  $\Lambda_{m \times n}$  می‌باشند که با استفاده از رابطه (۲-۶) محاسبه می‌شوند [۵۰، ۵۱]. شکل ۲-۱۲ ج حاصل بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین می‌باشد که اکثر خصوصیات ماتریس اولیه را دارد و می‌تواند تقریب خوبی از آن باشد که با تعداد ضرایب کم‌تری قابل بازیابی است. شکل ۲-۱۲ د اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی‌شده را نمایش می‌دهد. شکل ۲-۱۳ الف تا ج یک ماتریس با رویدادی تقریباً همدوس را به همراه نمودار مقادیر تکین و بازسازی‌شده آن با مقدار تکین اول نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ماتریس بازسازی شده را می‌توان با تقریب همان ماتریس اولیه در نظر گرفت. در شکل ۲-۱۴ الف تا ج ماتریسی که رویداد درون آن از همدوسی پایینی برخوردار است همراه با نمودار مقادیر تکین و بازسازی‌شده با مقدار تکین اول نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر تکین این ماتریس خیلی اختلاف چشم‌گیری با یکدیگر ندارند، به‌عبارت‌دیگر سهم هر یک از مؤلفه‌های ماتریس تقریباً با یکدیگر یکسان است؛ بنابراین نمی‌توان این ماتریس

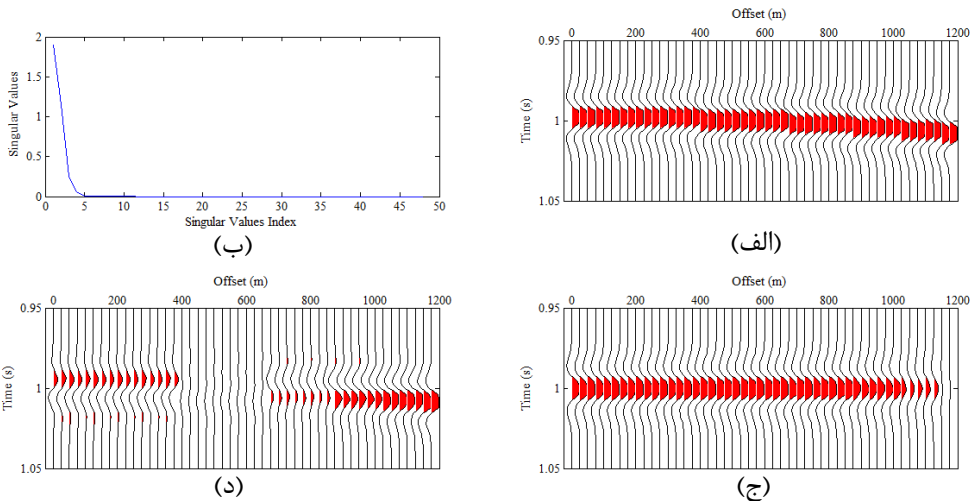
را با مقدار تکین اول بازسازی کرد؛ اما در مثال اول که دارای رویدادی کاملاً همدوس است، مقدار تکین اول اختلاف زیادی با سایر مقادیر تکین دارد. این ویژگی تجزیه مقادیر تکین، پایه و اساس استفاده از آن در آنالیز سرعت با قدرت تفکیک بالا می‌باشد [۴۷].

امروزه تجزیه مقادیر تکین کاربردهای فراوانی در پردازش داده‌های لرزه‌ای از جمله جداسازی امواج بالارونده و پایین‌رونده در داده‌های لرزه‌ای درون‌چاهی [۵۲]، تفسیر داده‌ها [۵۳]، بهبود سیگنال در داده‌ها [۵۴]، تضعیف نوفه‌های زمین‌غلت [۵۵-۵۷]، افزایش کیفیت بازتابنده‌ها [۵۸] و بهبود قدرت تفکیک طیف سرعت [۲۰، ۵۹] دارد.

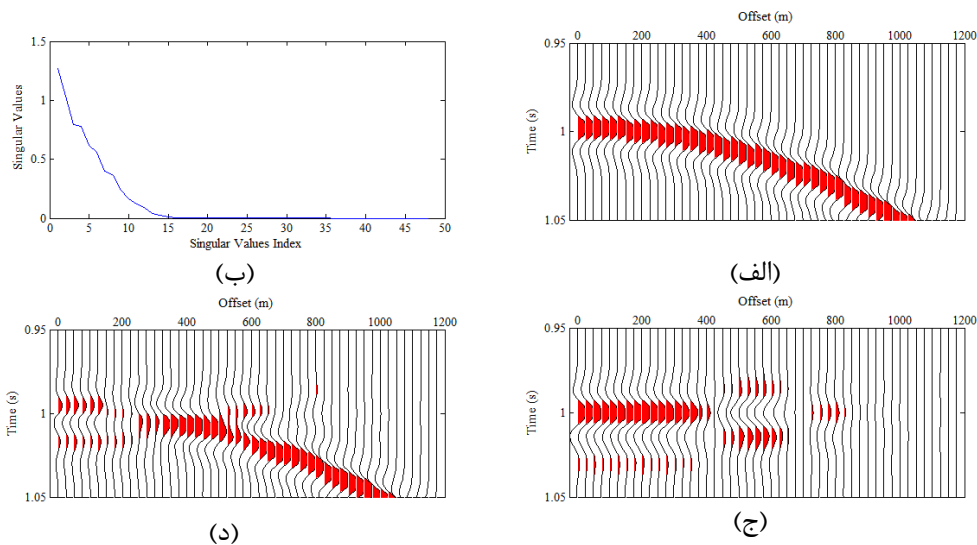


شکل ۲-۱۲: الف) ماتریس دربردارنده رویدادی کاملاً همدوس. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی بالا. ج) بازسازی ماتریس با مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی‌شده با مقدار تکین اول [۴۷].





شکل ۲-۱۳: الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد با همدوسی نسبتاً بالا. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی نسبتاً بالا. ج) بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول [۴۷].



شکل ۲-۱۴: الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد با همدوسی پایین. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی پایین. ج) بازسازی ماتریس اصلی با مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول [۴۷].

## ۵-۲ آنالیز سرعت کوچ ( $MVA^1$ )

آنالیز سرعت کوچ یکی از مهم‌ترین بخش‌های تصویرسازی داده‌های لرزه‌ای است. صرف نظر از این که کوچ زمانی یا کوچ عمقی باشد، یافتن مدل سرعت برای تصویرسازی لرزه‌ای کار آسانی نیست. پیدا

کردن سرعت بهینه به تجربه‌ی محقق، کیفیت ابزار کوچ و کیفیت داده‌های لرزه‌ای وابسته است و هنگامی که زمین همسانگرد باشد کوچ نتیجه‌ی قابل قبولی به دست می‌دهد؛ اما زمانی که زمین ناهمسانگرد باشد تخمین منطقی از پارامترهای مدل سرعت مشکل‌ساز است. در این هنگام محقق باید ابزارهای مناسبی جهت بهبود دقت و صحت مدل نهایی زمین در دست داشته باشد، با این حال پارامترهای درون زمین باید از داده‌های لرزه‌ای تخمین زده شوند.

ایجاد روشی قابل قبول برای آنالیز سرعت نیازمند داده‌های زیادی برای کاهش خطای تخمین مدل سرعت است. آنالیز سرعت پس از کوچ، سرعت را به صورت قائم از سطح تا نقطه‌ی کوچ شده تخمین می‌زند. می‌توان با کوچ مقاطع دورافت مشترک و توسعه‌ی آنالیز سرعت پس از کوچ مقطع را بهسازی کرد. هدف استفاده از روش‌های آنالیز سرعت، دستیابی به سرعتی است که تخمین‌های مدل اولیه‌ی سرعت را بهبود ببخشد [۶۰]. آنالیز سرعت کوچ یک بخش همیشگی از کاربردهای کوچ زمانی پیش از برانبارش می‌باشد که هم به عنوان ابزاری جهت تخمین سرعت [۶۱] و هم به عنوان ابزاری برای برانبارش بهینه مقاطع لرزه‌ای کوچ یافته و مدل‌سازی داده دورافت صفر جهت کوچ عمقی عمل می‌کند [۶۲].

تکنیک‌های مختلفی برای آنالیز سرعت کوچ وجود دارد که می‌توان به تکنیک سرعت ثابت [۶۰]، سرعت مستقل [۶۰]، پیوستگی سرعت [۶۳]، کوچ نقشه [۸]، آنالیز یک بعدی تحلیلی [۸]، همدوسی معکوس [۸]، برون‌یابی میدان موج [۸]، آنالیز تمرکز (FA) [۸]، اسکن رکوردهای نقطه بازتاب مشترک [۸] و تکنیک اسکن تصویر [۸] اشاره کرد.

## ۲-۵-۱ آنالیز سرعت کوچ با تکنیک همدوسی معکوس

این تکنیک اسکن شبه‌تک بعدی، در اصل بر اساس ردیابی پرتو از طریق یک مدل اولیه است؛ بنابراین جهت محاسبه‌ی همدوسی در آنالیز سرعت، پنجره‌ای بر روی این مسیر برون‌راند متمرکز است. سپس

سرعت در لایه‌های تحت بررسی منحرف شده و ردیابی پرتو تکرار می‌شود به نحوی که به یک مسیر مشابه جدید برای آنالیز سرعت بعدی منجر شود. با اسکن بر روی مسیرهای ردیابی شده با پرتو، برای محدوده‌ای از سرعت‌های انحراف یافته، می‌توان بیش‌ترین شباهت را با گزینش انتخاب کرد و سرعت بازه‌ای در این موقعیت CMP را با بروز رسانی معکوس عمودی ساده دیکس، بروز رسانی نمود. گرچه این تکنیک بسیار سریع است اما برای ساختارهای پیچیده خیلی دقیق نیست. به دلیل استفاده آسان و سرعت انجام بالا، این تکنیک اغلب به منظور تهیه مدل اولیه به کار گرفته می‌شود [۸].

## ۲-۵-۲ آنالیز سرعت کوچ با روش پیوستگی سرعت یا موج - تصویری

آنالیز سرعت کوچ زمانی می‌تواند توسط پیوستگی سرعت انجام شود، یک فرایند پیوسته که مقاطع کوچ یافته زمانی را بر طبق تغییرات در سرعت کوچ، تغییر شکل می‌دهد. پیوستگی سرعت، با به حساب آوردن هر دو جابجایی‌های قائم و جانبی بازتابنده‌ها به‌طور صحیح، تصحیح بیشتری بر روی برون‌راند نرمال باقیمانده انجام می‌دهد [۶۳]. هوبرال و همکاران [۶۴] و شلاشر و همکاران [۶۵] از مفهوم امواج تصویری در توصیف فرایند تغییر شکل تصاویر کوچ زمانی بر اساس تغییرات سرعت کوچ استفاده کردند [۶۶-۶۸]. این روش ایده‌های قدیمی‌تر کوچ باقیمانده و کوچ تکراری را تعمیم می‌دهد [۶۹-۷۱]. مقطع کوچ حاصل از این استراتژی، معادل مقطع کوچی است که با سرعت‌های متفاوت به دست آمده است [۷۲].

اعمال روش پیوستگی سرعت در آنالیز سرعت کوچ پیش از برانبارش، مراحل زیر را شامل می‌شود:

- (۱) کوچ مقاطع دورافت-مشترک (و آزیموت-مشترک<sup>۱</sup>) پیش از برانبارش به منظور تولید داده اولیه جهت پیوستگی.

- (۲) پیوستگی سرعت همراه با برانبارش و آنالیز شباهت روی دورافت‌های مختلف برای تبدیل بُعد دورافت

داده به بعد سرعت.

۳) انتخاب (دستچین کردن) سرعت بهینه و برش از میان حجم داده کوچ یافته جهت تولید یک تصویر متمرکز شده بهینه [۶۳].

الگوریتم روش پیوستگی سرعت پیش از برانبارش در حوزه فوریه به صورت زیر است:

در ابتدا مقاطع دورافت-مشترک که با سرعت اولیه ثابت  $v_0$  کوچ داده شده اند، انتخاب می شوند. سپس محور زمان  $t$  به مختصات زمان مجذور شده تبدیل می شود:  $\sigma = t^2$  و با اعمال تبدیل فوریه سریع<sup>۱</sup> بر روی هر دو محور زمان مجذور شده و محور نقطه میانی، زمان مجذور شده  $\sigma$  به فرکانس  $\Omega$  و مختصات نقطه میانی  $x$  به عدد موج  $k$  تبدیل می شود. در ادامه عملگر شیفت-فاز<sup>۲</sup> به منظور تبدیل به سرعت های مختلف  $v$  بر داده لرزه ای اعمال می شود که به صورت رابطه (۷-۲) می باشد [۶۳].

$$P(\Omega, k, v) = \sum_h P_0(\Omega, k, h) e^{i \frac{k^2(v_0^2 - v^2)}{4\Omega} + i\Omega h^2 \left( \frac{1}{v_0^2} - \frac{1}{v^2} \right)} \quad (7-2)$$

که در آن  $h$  نیم دورافت،  $P(\Omega, k, h)$  نقطه ای از داده با فرکانس  $\Omega$  و عدد موج  $k$  در رکورد دورافت مشترک با دورافت  $h$  و  $P(\Omega, k, v)$  نتیجه اعمال عملگر شیفت-فاز بر نقطه مورد نظر با سرعت  $v$  می باشد [۶۳].

در توضیح این مرحله باید عنوان کرد که به ازای یک سرعت مشخص  $v$ ، این رابطه برای تمام نقاط داده درون هر مقطع دورافت-مشترک با نیم دورافت  $h$  مربوط به خود محاسبه و سپس این مقاطع در راستای دورافت با هم برانبارش می شوند. جهت اهداف آنالیز سرعت، علاوه بر برانبارش ساده یک معیار شباهت نیز محاسبه می شود. این فرایند برای سرعت های مختلف در محدوده مورد نظر سرعت با گام تغییر دلخواه، تکرار

---

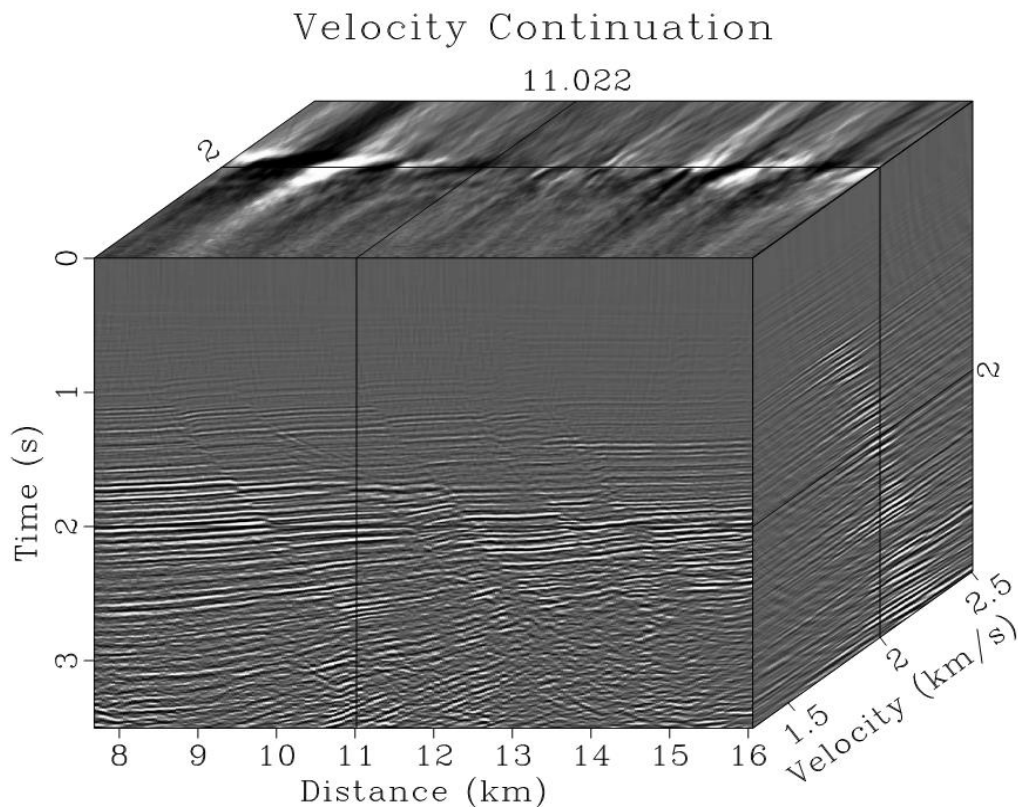
1-Fast Fourier Transform  
2-Phase-Shift

می‌شود. سپس فرایند معکوس تبدیل فوریه سریع جهت تبدیل  $\Omega$  به  $\sigma$  و  $k$  به  $x$  اعمال می‌شود و در نهایت معکوس کشیدگی زمان برای تبدیل  $\sigma$  به  $t$  انجام می‌شود.

در نتیجه به ازای هر سرعت کوچ مشخص  $v$ ، یک مقطع لرزه‌ای کوچ‌بافته زمانی با کیفیتی منحصر به فرد تولید می‌شود که با کنار هم قرار دادن این مقاطع، یک مکعب زمان-نقطه‌مییانی-سرعت به دست می‌آید. اگر خروجی پیوستگی سرعت با  $C(t, x, v)$  نشان داده شود، جایی که  $t$  و  $x$  مختصات کوچ زمانی و  $v$  سرعت کوچ است، تصویر کوچ‌بافته زمانی از رابطه (۸-۲) به دست می‌آید [۳]:

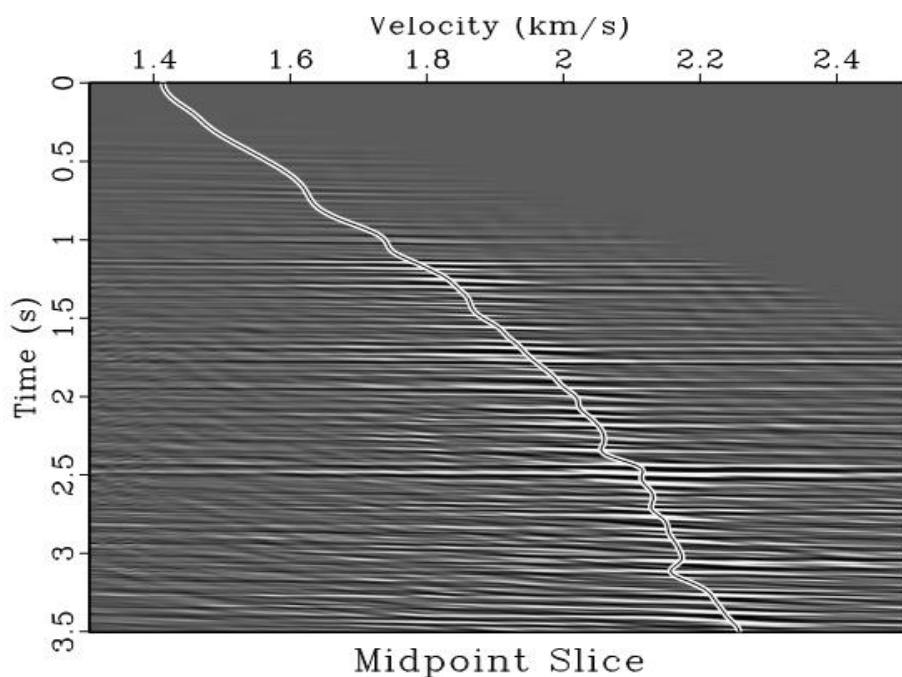
$$I(t, x) = C(t, x, v_M(t, x)) \quad (8-2)$$

که در آن  $v_M(t, x)$  سرعت کوچ منتخب می‌باشد. شکل ۱۵-۲ مکعب پیوستگی سرعت  $C(t, x, v)$  تولید شده از یک داده واقعی را نشان می‌دهد [۳].

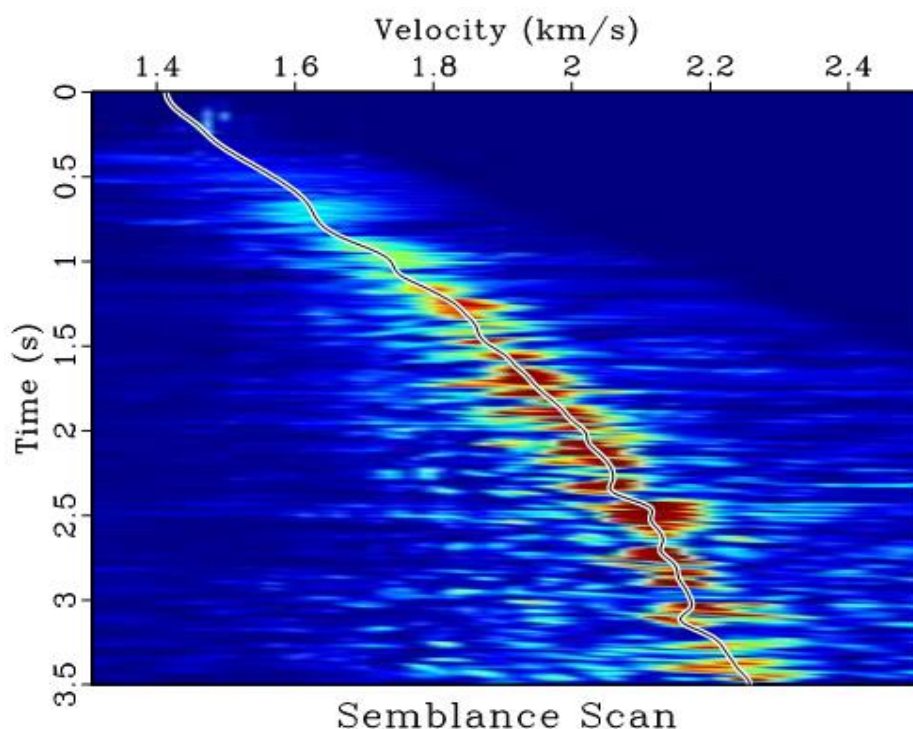


شکل ۱۵-۲: مکعب داده لرزه‌ای حاصل از روش پیوستگی سرعت برای کوچ زمانی پیش از برانبارش [۳].

به عبارتی دیگر، با برش یک رکورد تصویر مشترک از مکعب مذکور مانند  $C(t, x_0, v)$ ، یک مقطع با محور افقی سرعت و محور قائم زمان (صفحه سرعت-زمان) همانند شکل ۱۶-۲ به دست می‌آید که مقادیر بیشینه درون رکورد تصویر مشترک، همان نقاط تصویر کوچ‌یافته زمانی نهایی مربوط به موقعیت آن رکورد تصویر مشترک می‌باشند (شکل ۱۶-۲) و می‌توان با برش این مقادیر منتخب در تمام رکورد تصویر مشترک‌ها از میان مکعب مذکور، تصویر متمرکز شده بهینه‌ای ساخت. برای تخمین مدل سرعت RMS کوچ زمانی می‌توان به همان شیوه‌ی استفاده از نتیجه آنالیز سرعت نقطه‌میانی مشترک یا نقطه بازتاب مشترک، از مکعب مذکور استفاده کرد. به این نحو که با انتخاب (دست‌چین کردن) سرعت‌های متناظر با مقادیر بیشینه شباهت در اسکن شباهت مربوط به رکورد تصویر مشترک موردنظر، سرعت‌های RMS مربوط به محل رکورد تصویر مشترک موردنظر به دست می‌آید که شکل ۱۷-۲ همین امر را نشان می‌دهد؛ و با انجام این کار برای تمام رکورد تصویر مشترک‌ها در کل مقطع، می‌توان به تخمینی از مدل سرعت RMS کوچ زمانی دست یافت.



شکل ۱۶-۲: رکورد تصویر مشترک برش زده شده از مکعب پیوستگی سرعت همراه با منحنی انتخاب کننده مقادیر بیشینه درون آن به‌عنوان نقاط تصویر کوچ‌یافته نهایی مربوط به موقعیت رکورد تصویر مشترک [۳].



شکل ۲-۱۷: اسکن شباهت مربوط به رکورد تصویر مشترک شکل ۲-۱۶ تولید شده در فرایند پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان دهنده سرعت‌های RMS کوچ زمانی انتخاب‌شده متناظر با بیشینه مقادیر شباهت [۳].

تفاوت مهم این روش با سایر روش‌ها در این است که روش پیوستگی سرعت با تغییر دادن سرعت کوچ، هم جابجایی قائم و هم جابجایی جانبی تصاویر بازتابنده‌ها را به درستی به حساب می‌آورد که این امر تمرکز بهینه‌ای از انرژی بازتابش را فراهم می‌کند. یکی از مزیت‌های این روش عدم نیاز به مدل سرعت اولیه می‌باشد. هم‌چنین به دلیل عدم نیاز به بهسازی مکرر مدل سرعت، زمان انجام فرایند کاهش می‌یابد [۶۳]. گرچه این روش به‌طور مستقیم تنها برای کوچ زمانی پیش از برانبارش قابل اجرا است، اما می‌تواند به‌طور کلی برای کوچ عمقی پیش از برانبارش نیز با استفاده از روش‌های سرعت-پرتو جهت گسترش مفهوم پیوستگی سرعت تعمیم داده شود [۷۳-۷۵].

## ۲-۶ خطای مدل سرعت

سرعت پارامتری حساس در فرآیند کوچ است. اطلاعات نادرست سرعت سبب خواهد شد که مطابق با سرعت

تخمینی پایین تر یا بالاتر، داده‌ها به ترتیب، یا کم کوچ‌بافته<sup>۱</sup> باشند یا زیاد کوچ‌یافته<sup>۲</sup>، بنابراین شناخت عواملی که باعث عدم قطعیت سرعت می‌شوند مهم است [۷۶].

علل عدم قطعیت را می‌توان در دو نوع دسته‌بندی کرد. نوع اول به اثرات کاستی‌های آزمایش<sup>۳</sup> مربوط است. برای مثال طول محدود گسترش ثبت<sup>۴</sup>، پهنای باند محدود سیگنال چشمه<sup>۵</sup> و موقعیت ثبت گسسته<sup>۶</sup>. نوع دوم که کلی‌تر است شامل تمام تأثیرات محیط ناقص<sup>۷</sup> می‌شود، مانند ناهمگنی<sup>۸</sup> محیط، ناهمسانگردی<sup>۹</sup> محیط، زیرسطح نامنظم<sup>۱۰</sup> و بی‌نظمی‌های<sup>۱۱</sup> ایجاد شده هنگام نمایش هندسه سه‌بعدی (3-D) در داده‌ی دو بعدی (2-D). هم‌چنین برخی از آر‌تی‌فکت‌های<sup>۱۲</sup> پردازش و خطاهای آزمایش می‌توانند در این نوع قرار گیرند، مانند تصحیح استاتیک ناقص<sup>۱۳</sup> و هندسه گسترش نامنظم<sup>۱۴</sup> و ... [۷۶].

همه این پدیده‌ها یا باعث تولید برون‌راند غیر هذلولی‌شکل<sup>۱۵</sup> می‌شوند، یا اغتشاشات زمانی تصادفی<sup>۱۶</sup> اضافه شده بر منحنی‌های پراش دقیقاً هذلولی‌شکل را ایجاد می‌کنند. برون‌راند نرمال غیر هذلولی‌شکل می‌تواند منجر به خطاهای سیستماتیک<sup>۱۷</sup> در تخمین سرعت شود. براون<sup>۱۸</sup> صحت تصحیح NMO در رکورد-های CMP دورافت بلند را مورد مطالعه قرار داد. نتایج او نشان داد که برای بازتابنده‌های افقی اگر انحراف

- 
- 1-Under-migrated
  - 2-Over-migrated
  - 3-Experiment Imperfections
  - 4-Finite Length Of The Recording Spread
  - 5-Finite Bandwidth Of The Source Signal
  - 6-Discrete Recording Position
  - 7-Imperfect Media
  - 8-Heterogeneity
  - 9-Anisotropy
  - 10-Irregular Subsurface
  - 11-Irregularities
  - 12-Artifacts
  - 13-Imperfect Static Correction
  - 14-Irregular Spread Geometry
  - 15-Non-Hyperbolic Moveout
  - 16-Random Time Perturbations
  - 17-Systematic Errors
  - 18-Brown



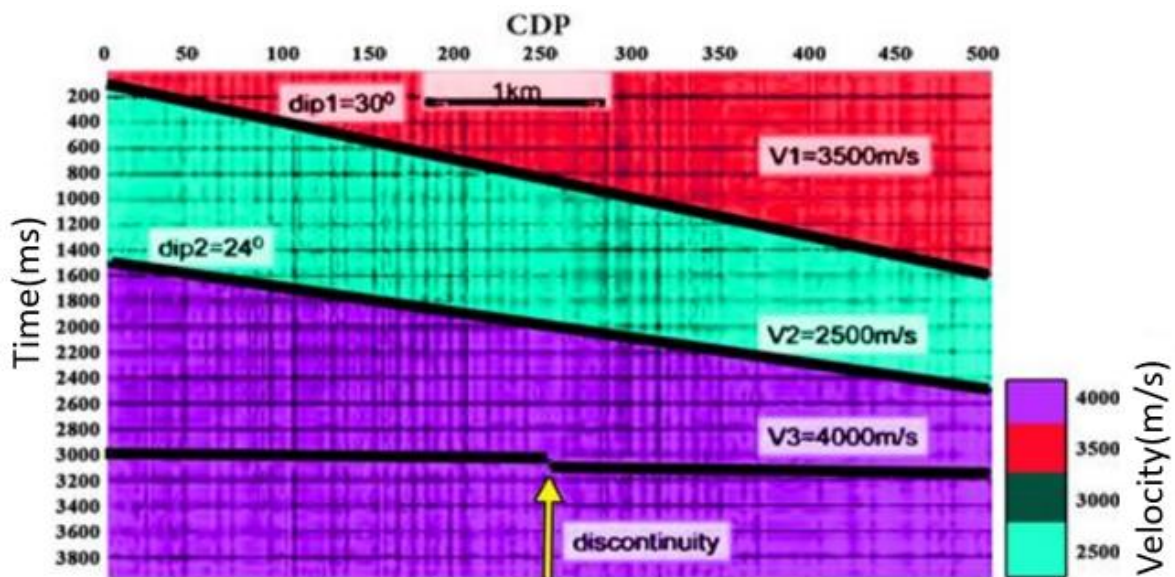
RMS سرعت از مقدار متوسط آن در نظر گرفته شود یک تقریب درجه بالاتر  $v_{rms}^2$  می تواند به دست آید. خطاهای زمان سنجی تصادفی<sup>۱</sup> که عمدتاً توسط ناهمگنی محیط ایجاد می شوند، یک نوع نوفه همبستگی<sup>۲</sup> هستند. ظهور آنها در داده های لرزه ای، عدم قطعیت سرعت را بسیار بیشتر از هر نوفه افزودنی افزایش می دهد. پاول<sup>۳</sup> به کمک تکنیک های آماری<sup>۴</sup> استاندارد، تأثیر خطاها در اندازه گیری زمان رسید را بر تخمین سرعت بررسی کرد. نتایج او نشان داد که تأثیرات خطای زمان سنجی بسیار بیشتر از تأثیرات غیر هذلولی-شکل برای مدل لایه بندی شده افقی، به ویژه برای دورافت های کوچک است [۷۶].

## ۷-۲ تأثیر خطای مدل سرعت بر نتیجه کوچ

در فرایند کوچ مرسوم، عملگر با این فرض که سرعت تخمینی سرعت درستی است طراحی می شود. در حقیقت تمام کارهای پیشین نشان می دهد که اهمیتی ندارد کدام روش استفاده شود، نتایج تخمین سرعت در نهایت حاوی چند درجه ای از عدم قطعیت خواهد بود که گاهی اوقات برای صدمه زدن به اثربخشی کوچ به اندازه کافی بزرگ است [۷۶]. خطاهای اندازه گیری سرعت سبب می شود موقعیت افقی و عمودی رویدادها در کوچ عمق تغییر کند [۸]. شکل ۲-۱۸ یک مدل سه لایه ساده با لایه ای نزدیک به سطح با سرعت بالا مانند گچ را نمایش می دهد.

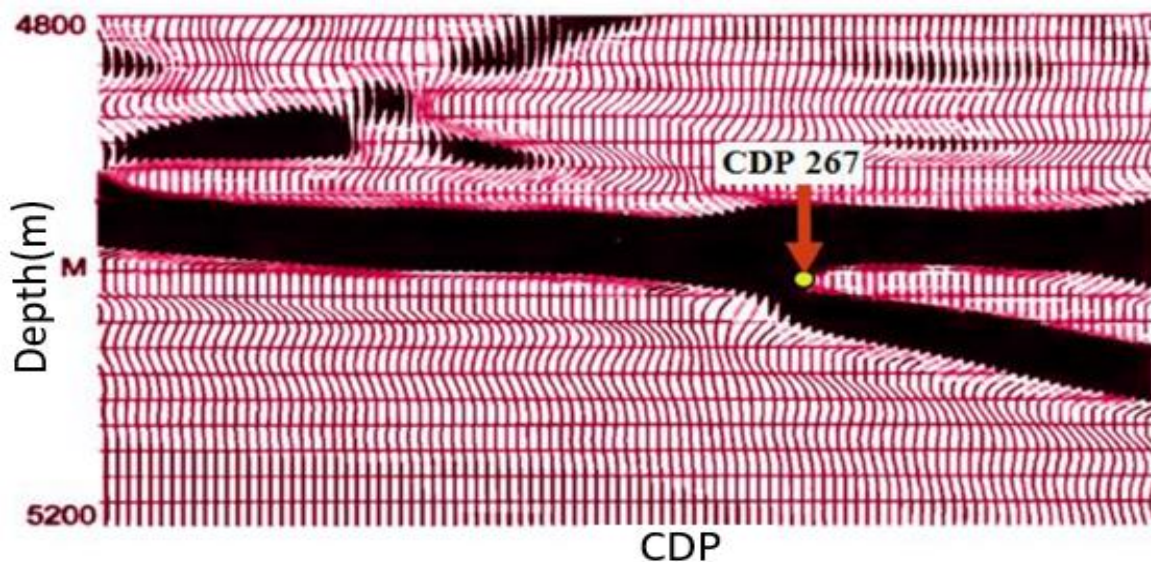
---

1-Random Timing Errors  
2-Convolutional Noise  
3-Powell  
4-Statistical



شکل ۱۸-۲: داده‌های زمانی ورودی مصنوعی، برای یک مدل سه‌لایه با لایه‌ای کم‌عمق با شیب ۳۰ درجه و سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه و دو لایه با سرعت به‌ترتیب ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ متر بر ثانیه [۸].

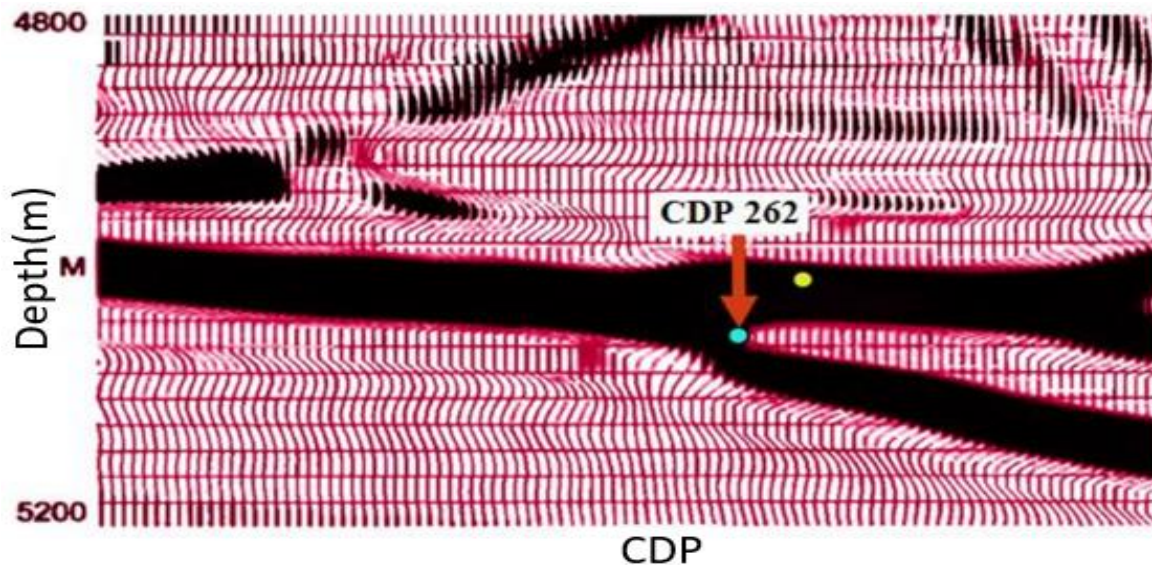
شکل ۱۹-۲ کوچ با مدل صحیح سرعت یعنی سرعت در لایه‌ی اول ۳۵۰۰، در لایه‌ی دوم ۲۵۰۰ و در لایه‌ی سوم ۴۰۰۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-۲: کوچ با مدل صحیح سرعت [۸].

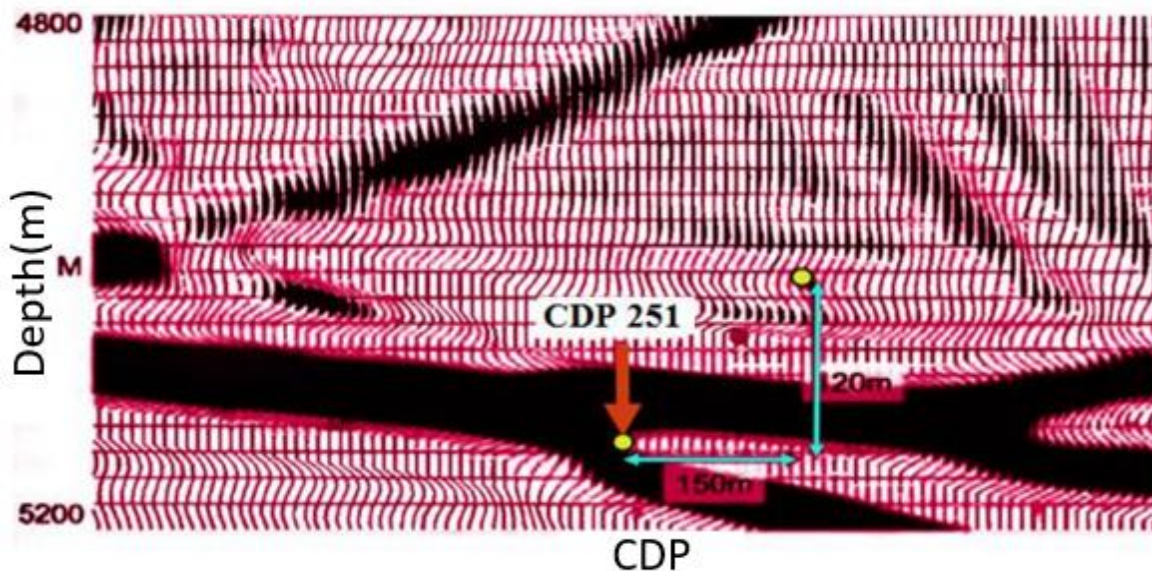
سپس کوچ با مدل سرعت خطادار، ۳ درصد خطا و ۸ درصد خطا در لایه‌ی اول انجام می‌شود. شکل ۲۰-۲

کوچ با مدل سرعت ۳ درصد خطا در لایه‌ی اول که منجر به تغییر مکان ۵۰ متر عمودی و ۵۰ متر افقی شده است را نمایش می‌دهد [۸].



شکل ۲-۲۰: کوچ با ۳٪ خطای سرعت، فقط در لایه کم‌عمق که به تغییر مکان ۵۰ متری عمودی و افقی می‌انجامد [۸].

شکل ۲-۲۱: کوچ با مدل سرعت ۸ درصد خطا در لایه‌ی اول که سبب تغییر مکان ۱۲۰ متری عمودی و ۱۵۰ متری افقی می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۱: کوچ با حدود ۸٪ خطای سرعت، فقط در لایه کم‌عمق که باعث تغییر مکان ۱۲۰ متری عمودی و ۱۵۰ متری افقی می‌شود [۸].

از این رو تکنیک‌های بسیاری برای کاهش عدم قطعیت در تخمین سرعت توسعه داده شده است. واضح است که تخمین سرعت‌های بالا دارای عدم قطعیت بالاتری نسبت به عدم قطعیت مربوط به تخمین سرعت‌های پایین است [۷۶].

## ۲-۸ عدم قطعیت

عدم قطعیت دارای دو مؤلفه است: یک انحراف<sup>۱</sup> به علت طبیعت تقریب‌های عددی که زده می‌شود وجود دارد، به علاوه واریانسی که در اندازه‌گیری‌ها ایجاد می‌شود [۸]. هر مرحله از زنجیره پردازش لرزه‌ای (برداشت، پیش‌پردازش، برانبارش، کوچ، تفسیر و تبدیل زمان به عمق) یک عدم قطعیت ذاتی دارد که باید ارزیابی و در نتیجه نهایی گنجانده شود. هنگامی که به مشکلات ساختاری و چینه‌شناسی پرداخته می‌شود منابع عدم قطعیت بسیار مختلف هستند. در بعضی شرایط، عدم قطعیت‌ها می‌توانند به صورت پیوسته در نظر گرفته شوند (عدم قطعیت‌های مربوط میدان سرعت استفاده شده برای کوچ). هر یک از مراحل زنجیره پردازش لرزه‌ای در جای خود در کیفیت تصویر نهایی با اهمیت هستند، اما بر حسب موقعیت‌یابی هندسی آن‌ها اهمیت یکسانی ندارند [۳۵].

### ۲-۸-۱ منابع عدم قطعیت

#### ۲-۸-۱-۱ برداشت

معمولاً برداشت داده‌های دریایی عدم قطعیتی پایینی ایجاد می‌کند و می‌توان پیامدهای آن را نادیده گرفت. ولی عوامل اصلی عدم قطعیت در برداشت داده‌های خشکی فراوان هستند. یک برداشت بد ممکن است به یک تصویر مبهم، یا بدتر، فقدان یک تصویر بیانجامد. با وجود این، از لحاظ موقعیت‌یابی، مرحله برداشت تأثیر محدودی دارد. این منشأ عدم قطعیت در قالب کار مرحله تفسیر داخل خواهد شد [۳۵].

---

1-Bias

## ۲-۱-۸-۲ پیش‌پردازش

این مرحله به‌ویژه برای داده‌های دریایی تأثیری محدود بر روی نقشه‌های ساختاری دارد. ممکن است پیش‌پردازش زیراستاندارد، تصویر را تاری یا حتی محو کند، اما به‌طور کلی تنها تأثیری محدود روی شکل و موقعیت بازتابنده‌ها دارد. همانند برداشت این منشأ عدم قطعیت نیز در قالب مرحله تفسیر داخل خواهد شد [۳۵].

## ۳-۱-۸-۲ برانبارش

شاید مهم‌ترین مرحله زنجیره پردازش لرزه‌ای، برانبارش باشد چرا که در این مرحله، تصویر ساخته می‌شود. با این وجود تأثیر آن بر شکل بازتابنده محدود است. اگر از یک سرعت نادرست یا تقریبی برای برانبارش استفاده شود، انرژی بازتابنده شدیداً کاهش خواهد یافت، اما موقعیت آن ثابت خواهد ماند [۳۵].

## ۴-۱-۸-۲ کوچ

دو هدف اصلی کوچ برگرداندن بازتابنده‌ها به موقعیت‌های واقعی خود و جمع کردن انرژی پراش‌ها در قله آنهاست؛ بنابراین تأثیر آن به لحاظ تصویر کردن ساختارها حیاتی است (حداقل هنگامی که شیب‌ها قابل چشم‌پوشی نباشند). توره<sup>۱</sup> و همکاران روابطی برای محاسبه عدم قطعیت سرعت در شرایط ساده (یک مدل سرعت با تغییرات جانبی بسیار کم) به دست آوردند که خصوصیات اصلی عدم قطعیت ساختاری ناشی از کوچ را مشخص می‌کند [۳۵].

## ۵-۱-۸-۲ مرحله تفسیر

معمولاً در مرحله تفسیر داده‌های لرزه‌ای، باید سناریوهای مختلف در نظر گرفته شود. تمامی کارهایی که باید در این مرحله انجام گیرد به استخراج اطلاعات از داده لرزه‌ای و دانش زمین‌شناسی وابسته است.

---

1-Thore

هنگامی که داده لرزه‌ای بسیار قابل اطمینان باشد، می‌توان تفسیر دقیق‌تری را انجام داد و عدم قطعیتی اندکی را ناشی از مرحله تفسیر دانست. از سوی دیگر هنگامی که داده لرزه‌ای ضعیف است، تفسیر نقش عمده‌ای را بازی می‌کند و عدم قطعیت بالایی وارد مدل می‌شود که معمولاً ناشی از پیچیدگی ساختاری، فاصله داده تا چاه و حضور نشانه‌های لرزه‌ای قابل اطمینان‌تر است. این منشأ عدم قطعیت تقریباً قابل چشم‌پوشی نیست و بایستی در طی این مرحله ارزیابی شود [۳۵].

#### ۲-۸-۱-۶ تبدیل زمان به عمق

در این مرحله به کمک یک مدل سرعت مناسب، محور Z داده لرزه‌ای اندازه‌گیری شده بر حسب زمان، به عمق تبدیل می‌شود. عدم قطعیت مربوط به این مرحله به‌طور کلی بزرگ است و تجربه ثابت کرده که در بسیاری از نواحی، عدم قطعیت زمان به عمق می‌تواند ۵۰٪ عدم قطعیت کل مربوط به مدل تفسیری یا بیشتر از این مقدار را نشان دهد [۳۵].

#### ۲-۸-۲ تخمین پارامترهای عدم قطعیت

توره و همکاران به‌طور مفصل منابع مختلف عدم قطعیت را مورد بررسی قرار دادند و جهت تخمین پارامترهای عدم قطعیت روشی ارائه دادند که در آن هر منشأ عدم قطعیت به‌عنوان یک میدان برداری همبسته<sup>۱</sup> توصیف می‌شود. بدین معنی که برای هر منشأ عدم قطعیت سه پارامتر در هر نقطه از سطح مورد نیاز است: جهت، اندازه و طول همبستگی<sup>۲</sup>. آن‌ها چگونگی تعیین عدم قطعیت‌های مربوط به کوچ، دست‌چین کردن و تبدیل زمان به عمق را در موقعیت‌های نمونه‌ای نشان دادند [۳۵].

---

1-Correlated  
2-Correlation

## ۲-۸-۳ تعیین عدم قطعیت کوچ

### ۲-۸-۳-۱ عدم قطعیت سرعت کوچ زمانی

مقدار عدم قطعیت کوچ به صحت مدل سرعت مربوط به کوچ و تنها در مواردی که بازه کوچ بزرگتر از طول بیشترین دورافت باشد به الگوریتم کوچ بستگی دارد. مدل سرعتی که برای این نوع از کوچ استفاده می‌شود از نسخه هموار شده مدل سرعت برانبارش گرفته می‌شود و عدم قطعیت مربوط به آن باید قبل و در طی مرحله هموارسازی تعیین شود. تعریف عدم قطعیت بر سرعت برانبارش مستقیماً بر اساس پارامترهای برداشت، سطح نوفه و دیگر پارامترهای فیزیکی، معمولاً دشوار است [۱۲، ۲۱، ۲۳، ۲۸]، بنابراین در حالت کوچ زمانی استفاده از یک روش آماری ارجحیت دارد [۳۵].

### ۲-۸-۳-۲ عدم قطعیت سرعت کوچ عمقی

در کوچ عمقی پیش از برانبارش یا پس از برانبارش، مدل سرعت گرفته شده از سرعت برانبارش رضایت‌بخش نیست و راه‌کار بهتری موردنیاز است. در صورت استفاده از الگوریتم وارون‌سازی و با استفاده از ماتریس کوواریانس استقرایی، می‌توان تخمین درستی از عدم قطعیت انجام داد. در مواردی که از اطلاعات لرزه‌ای خام استفاده می‌شود (تخمین سرعت کوچ یا معکوس همدوسی)، راه تخمین عدم قطعیت، اندازه‌گیری پهنای نقاط همدوسی روی پنل‌های دامنه می‌باشد، مانند روشی که بر روی آنالیز سرعت برانبارش انجام می‌شود [۳۵].

## ۲-۸-۴ عدم قطعیت ساختاری

عدم قطعیت ساختاری، اصلی‌ترین عدم قطعیت در مدل‌سازی مخزن می‌باشد به لحاظ (۱) سختی تفسیر ساختاری به دلیل برداشت محدود داده و کیفیت پایین آن و (۲) میزان تأثیر آن بر عدم قطعیت در تخمین هیدروکربن برجا و چگونگی جریان سیال. در نظر گرفتن عدم قطعیت ساختاری در تخمین هیدروکربن برجا

در مرحله ارزیابی توسعه میدان، عملی رایج است، اما باید گفت که علاوه بر وجود عدم قطعیت در موقعیت‌های افق و گسل به علت قدرت تفکیک پایین تصاویر لرزه‌ای، فرایند کوچ و تفسیر ساختاری یکتا نیست و اغلب به تصمیمات شخصی کارشناسان بستگی دارد [۷۷].

ارزیابی عدم قطعیت ساختاری کاری پیچیده است و در مدل‌سازی این عدم قطعیت، باید منابع مختلف زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی عدم قطعیت تخمین زده شده و بر طبق تأثیرشان مرتب شوند. غیر یکتایی در نتایج کوچ معمولاً به دلیل مواردی مانند عدم قطعیت در تخمین مدل سرعت، تفسیرهای ساختاری چندگانه، تفسیرهای مختلف درباره شناسایی افق و گسل، خطا در موقعیت‌یابی افق و گسل به علت قدرت تفکیک پایین تصاویر لرزه‌ای و خطای تبدیل زمان به عمق است [۷۷]. اگر تأثیر برخی از آن‌ها ناچیز باشد می‌توان از آن‌ها چشم‌پوشی کرد، معمولاً تنها عدم قطعیت‌های کوچ، دست‌چین کردن و تبدیل زمان به عمق چشم‌گیر و غالب هستند [۳۵].



# فصل سوم: تئوری روش کار

### ۱-۳ شباهت وزن دار شده

شباهت وزن دار شده بر اساس تجزیه مقادیر تکین نسخه‌ای از شباهت مرسوم می‌باشد که توسط ابراهیمی و همکاران [۹] برای مرحله تصحیح برون‌راند نرمال ارائه شده است. در این پایان‌نامه از این روش جهت افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش کمک می‌گیریم، بدین صورت که با ضرب یک تابع وزنی  $W_{svd}^1(t_0, v_{ms})$  در رابطه شباهت مطابق با رابطه (۱-۳)، قدرت تفکیک طیف سرعت را در راستای سرعت به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهیم.

$$S_W(t_0, v_{ms}) = W_{svd}(t_0, v_{ms}) \times S_c(t_0, v_{ms}) = W_{svd}(t_0, v_{ms}) \times \frac{\sum_{k=t_0-N}^{t_0+N} \left( \sum_{i=1}^M a(i, k) \right)^2}{M \sum_{k=t_0-N}^{t_0+N} \sum_{i=1}^M a(i, k)^2} \quad (1-3)$$

که  $a(i, k)$  مقدار دامنه نمونه زمانی  $k$  ام از ردلرزه  $i$  ام و  $M$  تعداد ردلرزه‌ها درون پنجره تحلیل می‌باشند. پنجره تحلیل داده، پنجره‌ای افقی به طول  $2N + 1$  و به مرکز  $t_0$  برای یک سرعت  $v_{ms}$  انتخابی است. پر واضح است که رویدادهای لرزه‌ای در رکوردهای تصویر مشترک (که پس از انجام فرایند کوچ به دست می‌آیند) بایستی افقی و یا نزدیک به حالت افقی باشند؛ بنابراین لازم است که پنجره تحلیل افقی در نظر گرفته شود تا بتوان با محاسبه مقدار بیشینه شباهت برای رویدادهای بازتابی با افقی‌ترین حالت، به سرعت کوچ مناسب دست یافت.  $W_{svd}(t_0, v_{ms})$  تابع وزنی بر اساس تجزیه مقادیر تکین است که از نسبت مقدار تکین اول به دوم رویداد درون پنجره تحلیل محاسبه می‌شود [۴۷].

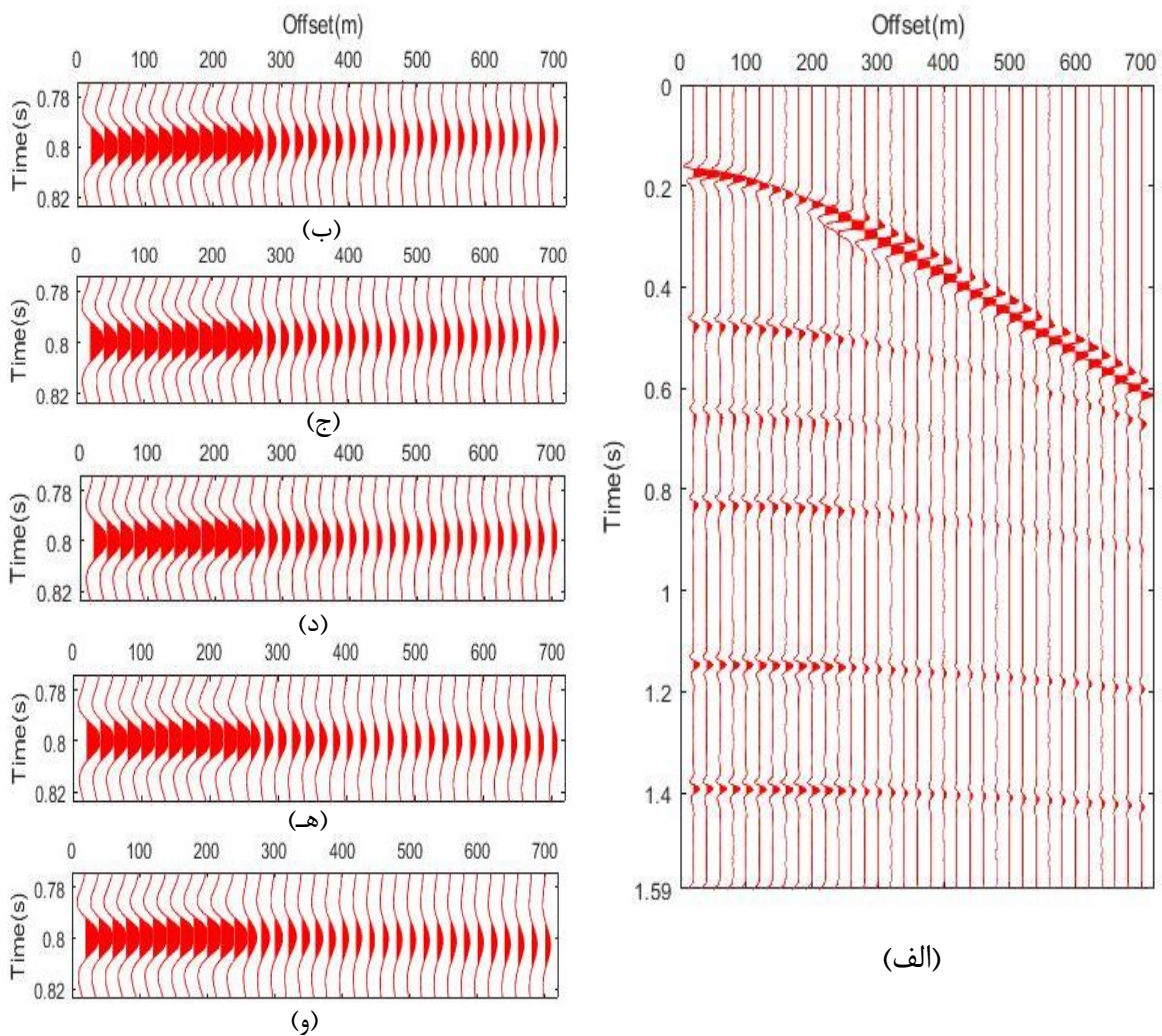
### ۱-۱-۳-۱-۳ تابع وزنی

با بکارگیری تابع وزنی در محاسبه شباهت که حساسیت بیشتری به تغییرات در راستای سرعت دارد، می‌توان

بر قدرت تفکیک طیف سرعت افزود و مدل سرعت صحیح تر و دقیق تری را انتخاب کرد. این تابع وزنی در پنجره تحلیل مورد استفاده در محاسبه ضریب شباهت، محاسبه می شود و در مقدار شباهت به دست آمده، ضرب می شود تا مقدار شباهت را برای سرعت صحیح، تقویت و مقادیر شباهت مربوط به سرعت های نادرست را تضعیف نماید [۴۷].

### ۱-۱-۱-۳ افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ در راستای محور سرعت

به منظور آنالیز سرعت کوچ و نشان دادن حساسیت پایین روش شباهت به تغییرات سرعت، بر روی مقاطع دورافت مشترک یک مدل مصنوعی مربوط به زمین هفت لایه فرایند پیوستگی سرعت از سرعت ۱۰۸۰ تا ۲۱۲۰ متر بر ثانیه با گام تغییر ۱۰ متر بر ثانیه انجام شده است. قبل از انجام فرایند پیوستگی سرعت، مقاطع دورافت مشترک مذکور با سرعت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه کوچ داده شده است که شکل ۱-۳ الف یک رکورد تصویر مشترک انتخابی از مقاطع کوچ یافته مذکور را نشان می دهد. در شکل ۱-۳ ب - و به ترتیب پنجره تحلیل زمانی حول چهارمین بازتابنده با  $t_0 \approx 0.185$  پس از انجام فرایند پیوستگی سرعت به ازای سرعت های کوچ ۱۴۸۰، ۱۴۹۰، ۱۵۰۰، ۱۵۱۰ و ۱۵۲۰ متر بر ثانیه نمایش داده شده است.



شکل ۱-۳: الف) رکورد تصویر مشترک انتخابی از مقاطع دورافت مشترک کوچ یافته با سرعت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه مربوط به مدل مصنوعی زمین هفت لایه قبل از انجام فرایند پیوستگی سرعت. پنجره تحلیل زمانی حول چهارمین بازتابنده با  $t_0 = 0.8$  پس از انجام فرایند پیوستگی سرعت به ازای سرعت‌های کوچ ب) ۱۴۸۰ متر بر ثانیه، ج) ۱۴۹۰ متر بر ثانیه، د) ۱۵۰۰ متر بر ثانیه، ه) ۱۵۱۰ متر بر ثانیه و و) ۱۵۲۰ متر بر ثانیه.

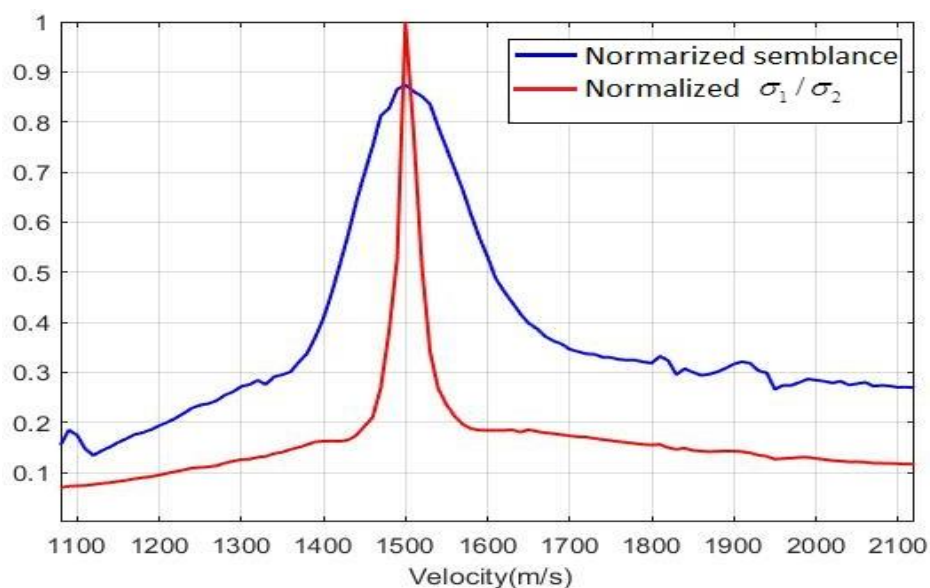
جدول ۱-۳ مقادیر شباهت محاسبه شده به ازای هر پنجره تحلیل مربوط به شکل ۱-۳ را نشان می‌دهد. شباهت محاسبه شده برای هر یک از پنجره‌های تحلیل تقریباً مقادیر بالایی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده حساسیت پایین معیار شباهت به تغییرات سرعت می‌باشد. مقادیر شباهت برای سرعت‌های کوچ ۱۰۸۰ تا ۲۱۲۰ متر بر ثانیه در  $t_0 = 0.8$  محاسبه و بر حسب سرعت رسم شده که در شکل ۲-۳ توسط خط آبی رنگ مشخص شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار شباهت در سرعت صحیح ۱۵۰۰

متر بر ثانیه دارای یک قله است؛ اما به دلیل این که مقادیر شباهت برای سرعت‌های نزدیک به سرعت کوچ صحیح، بزرگ هستند، قله مربوط به سرعت ۱۵۰۰ متر بر ثانیه در نمودار شباهت تیز<sup>۱</sup> نمی‌باشد و امکان انتخاب دقیق سرعت را در شرایط پیچیده سخت می‌کند.

بر اساس ویژگی بیان شده در مورد مقادیر تکین یک ماتریس، در جدول ۳-۱ نسبت مقدار تکین اول به مقدار تکین دوم ( $\sigma_1/\sigma_2$ ) برای هر یک از پنجره‌های تحلیل مثال قبل نیز نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، مقدار این نسبت در پنجره تحلیل مربوط به سرعت صحیح بسیار بزرگ‌تر از مقدار این نسبت در سایر پنجره‌های تحلیل می‌باشد. این موضوع حساسیت بالای این نسبت را به سرعت دقیق نشان می‌دهد که می‌توان از آن برای وزن دار کردن شباهت و افزایش حساسیت آن به تغییرات سرعت استفاده کرد. در شکل ۳-۲ نیز مقدار این نسبت به ازای سرعت‌های ۱۰۸۰ تا ۲۱۲۰ متر بر ثانیه رسم شده است که یک قله بسیار تیز در سرعت صحیح ۱۵۰۰ متر بر ثانیه ایجاد کرده است که کارایی بالای ایده مطرح شده برای وزن دار کردن شباهت را تأیید می‌کند.

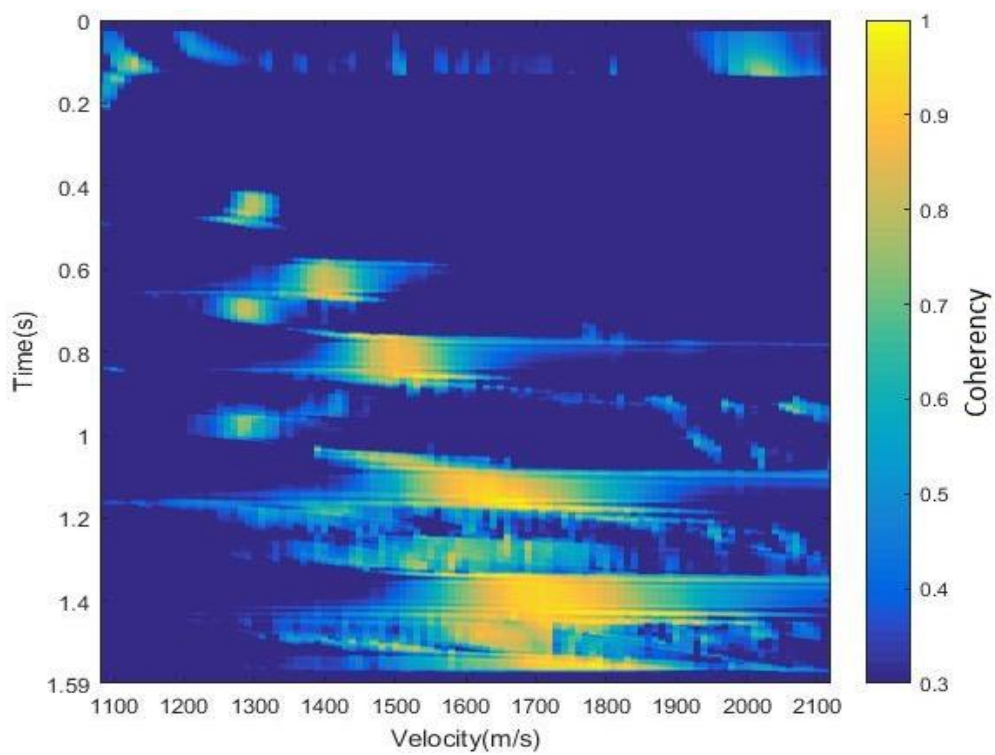
جدول ۳-۱: مقادیر شباهت و نسبت مقدار تکین اول به دوم مربوط به پنجره‌های تحلیل زمانی شکل ۳-۱.

نسبت مقدار تکین اول به دوم	مقدار شباهت	سرعت‌های مختلف جهت کوچ رویداد بازتابی درون پنجره تحلیل زمانی مورد نظر (متر بر ثانیه)
۶/۳۸۴۴	۰/۸۲۶۸	۱۴۸۰
۸/۸۵۲۷	۰/۸۶۵۲	۱۴۹۰
۱۶/۷۶۷۶	۰/۸۷۳۶	۱۵۰۰
۱۳/۰۷۰۴	۰/۸۶۱۱	۱۵۱۰
۸/۶۲۸۹	۰/۸۵۱۳	۱۵۲۰

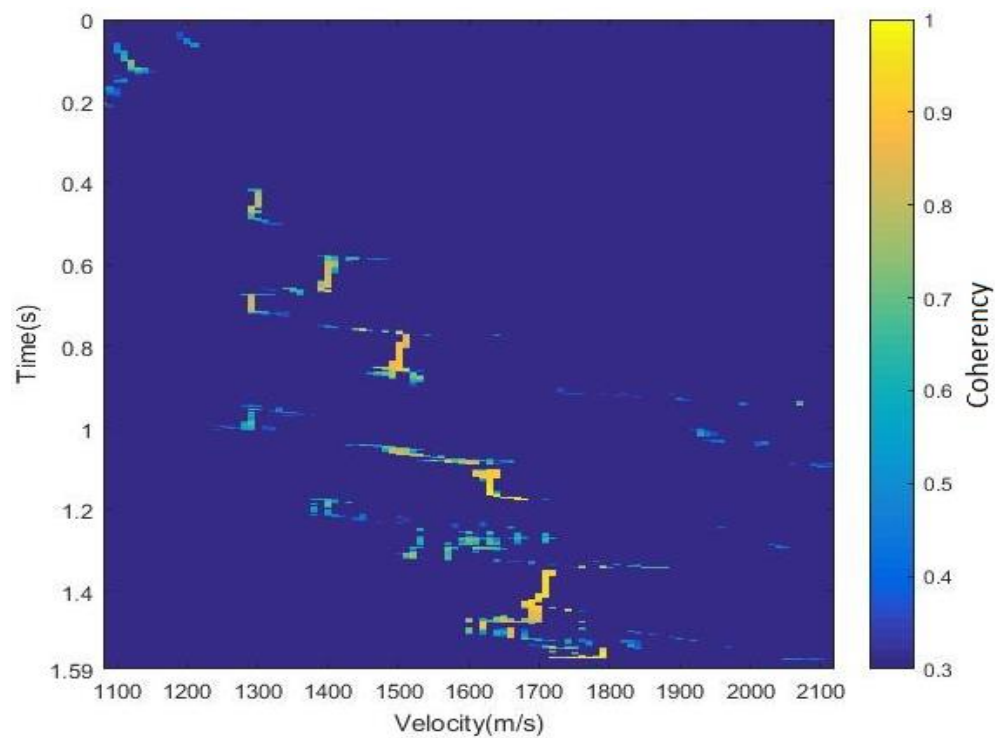


شکل ۳-۲: نمودار مقادیر شباهت به همراه مقادیر نسبت تکین اول به دوم به ازای سرعت‌های کوچ مختلف در  $t_0 = 0.8S$  مربوط به شکل ۳-۱.

همان‌طور که مشاهده شد، نسبت  $\sigma_1/\sigma_2$  توانایی بالایی در تشخیص و تمایز بین مقادیر صحیح و ناصحیح سرعت دارد. لذا تابع وزنی بر اساس نسبت مقدار تکین اول به دوم استفاده می‌شود تا مقادیر شباهت مرتبط با مقادیر صحیح سرعت کوچ را به مقدار قابل توجهی تقویت کند و در عین حال مقادیر شباهت غیر مرتبط با مقادیر صحیح سرعت کوچ را به شدت میرا کند. شکل ۳-۳ الف و ب طیف سرعت کوچ مربوط به رکورد تصویر مشترک شکل ۳-۱ که با دو روش شباهت مرسوم و شباهت وزن دار شده با استفاده از نسبت مقدار تکین اول به دوم محاسبه شده است را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استفاده از تابع وزنی  $\sigma_1/\sigma_2$  توانسته است قدرت تفکیک طیف سرعت کوچ را در راستای محور سرعت به‌طور چشم‌گیری افزایش دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۳-۳: طیف سرعت کوچ مربوط به شکل ۱-۳ محاسبه شده با استفاده از الف) روش شباهت ب) شباهت وزن دار شده با استفاده از

نسبت  $\sigma_1/\sigma_2$ .

اما به دلیل وجود بیش از یک بازتابنده با دامنه‌های مختلف، تابع وزنی  $\sigma_1/\sigma_2$  همزمان با افزایش قدرت تفکیک، باعث تضعیف بازتابنده‌های با دامنه ضعیف‌تر در طیف سرعت شده است که این مشکل ناشی از تفاوت زیاد بین مقدار  $\sigma_1/\sigma_2$  مرتبط با بازتابنده‌های با دامنه قوی‌تر و ضعیف‌تر در طیف سرعت می‌باشد. ابراهیمی و همکاران [۹] برای حل مشکل مذکور از تابع وزنی مطابق رابطه (۲-۳) استفاده کردند که از تغییرات زیاد مقدار  $\sigma_1/\sigma_2$  جلوگیری کرده و تغییرات آن را در بازه‌ای محدودتر می‌کند.

$$W_{svd} = \frac{10}{1 + e^{-a(\sigma_1/\sigma_2 - b)}} \quad (2-3)$$

$a$  و  $b$  مقادیر ثابتی هستند که به صورت تجربی تعیین می‌شوند [۴۷]. در این پایان‌نامه ما نیز با استفاده از این تابع وزنی مشکل مطرح شده را برطرف می‌کنیم.

### ۲-۳ آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش با روش پیوستگی سرعت

در این پایان‌نامه آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش را براساس روش پیوستگی سرعت انجام می‌دهیم که فرایند انجام آن به طور مفصل در فصل قبل توضیح داده شد [۶۳]. پیوستگی سرعت به عنوان فرایند تغییر شکل تصویر با تغییر در سرعت کوچ تعریف می‌شود که تصاویر لرزه‌ای را با یک پیوستگی صریح در سرعت کوچ می‌سازد [۳]. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد خروجی این روش، یک مکعب داده لرزه‌ای با ابعاد سرعت-زمان-نقطه‌مییانی می‌باشد. به منظور انجام آنالیز شباهت وزن دار شده موردنظر، پس از انجام روش پیوستگی سرعت، با اضافه کردن بُعد دورافت مقاطع دورافت-مشترک کوچ یافته با این روش به خروجی معمول، داده لرزه‌ای با چهار بُعد سرعت-زمان-نقطه‌مییانی و دورافت به دست می‌آید و هنگامی که جهت تهیه طیف سرعت مربوط به هر نقطه میانی (موقعیت جانبی)، آنالیز شباهت مربوطه انجام می‌شود، از روش شباهت وزن دار شده‌ای که پیشنهاد گردید به جای شباهت مرسوم استفاده می‌شود. بدین صورت که در هر رکورد تصویر مشترک به ازای هر سرعت  $\omega$ ، مقطع دورافت-زمان مربوطه را همانند یک رکورد CMP در



نظر گرفته و مقادیر شباهت و تابع وزنی  $W_{svd}$  رابطه (۳-۲) را درون هر پنجره تحلیل محاسبه کرده و با ضرب این مقادیر، مقدار شباهت وزن دار شده مربوط به موقعیت پنجره تحلیل مورد آنالیز را برای سرعت مشخص  $v$  تعیین می‌کنیم که رابطه (۳-۳) همین امر را نشان می‌دهد:

$$S_W(t_0, v_{ms}) = W_{svd}(t_0, v_{ms}) \times S_c(t_0, v_{ms}) = \frac{10}{1 + e^{-a(\sigma_1/\sigma_2(t_0, v_{ms}) - b)}} \times \frac{\sum_{k=t_0-N}^{t_0+N} \left( \sum_{i=1}^M a(i, k) \right)^2}{M \sum_{k=t_0-N}^{t_0+N} \sum_{i=1}^M a(i, k)^2} \quad (3-3)$$

با اسکن کردن کل مقطع دورافت- زمان مذکور توسط فرایند فوق، طیف سرعت مربوط به رکورد تصویر مشترک مورد بررسی به دست می‌آید و با انجام این فرایند برای تمام رکورد تصویر مشترک‌ها، آنالیز شباهت وزن دار شده به پایان می‌رسد. طیف سرعت حاصل از این روش از قدرت تفکیک بالاتری نسبت به روش شباهت مرسوم برخوردار است که این امر مسلماً عدم قطعیت در انتخاب سرعت را کاهش می‌دهد و انتخاب مدل سرعتی با صحت و دقت بالاتر را فراهم می‌کند.

### ۳-۳ تعیین حساسیت ساختاری تصویر به سرعت

روش پیوستگی سرعت علاوه بر تولید تصاویر صحیح کوچ زمانی، امکان محاسبه میزان حساسیت (وابستگی) ساختاری این تصاویر به سرعت کوچ را نیز فراهم می‌آورد. حساسیت ساختاری تصویر می‌تواند به وسیله مشتقات  $\frac{\partial x}{\partial v}$  و  $\frac{\partial t}{\partial v}$  توصیف شود که با شیب رخدادهای در حجم  $C(t, x, v)$  ارزیابی شده در  $v = v_M(t, x)$  (سرعت کوچ) مطابقت می‌کند [۳]. به عبارت ساده‌تر، با اندازه‌گیری شیب محلی رویدادها در هر رکورد تصویر مشترک  $C(t, x_0, v)$  (صفحه سرعت- زمان  $t-v$ ) همانند شکل ۳-۴ و در نظر گرفتن مقادیر این شیب‌ها در موقعیت‌های متناظر با سرعت‌های کوچ انتخاب شده برای رکورد مذکور،  $\frac{\partial t}{\partial v}$  مربوط به مختصات رکورد مورد نظر به دست می‌آید که رابطه (۳-۴) همین امر را نشان می‌دهد:

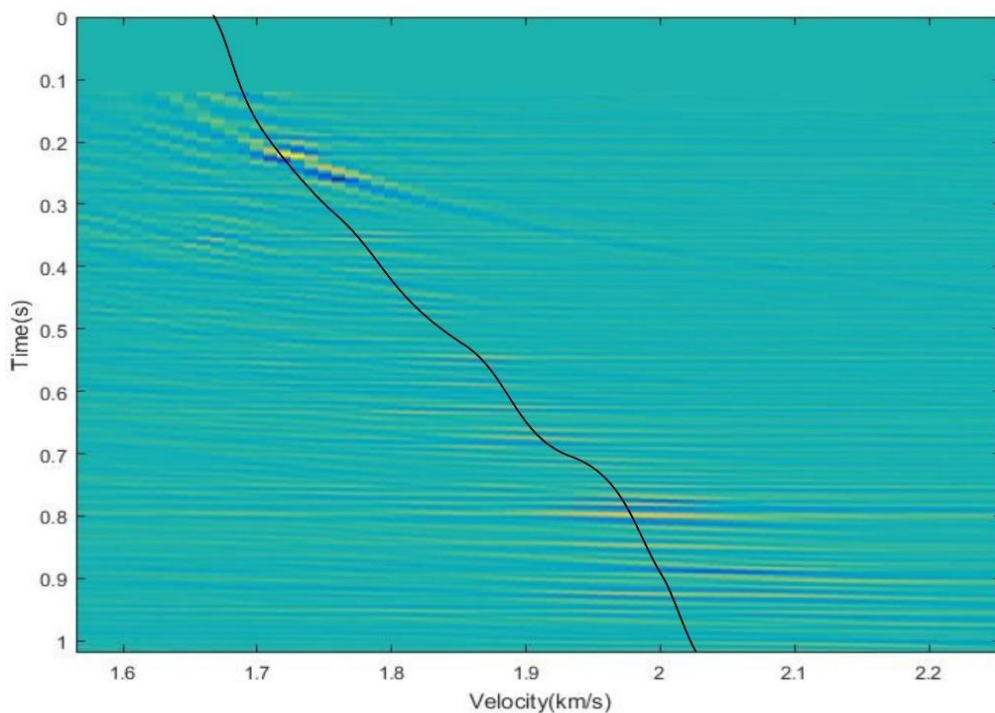
$$p_t(t, x) = \frac{\partial t}{\partial v} \Big|_{v=v_M(t, x)} \quad (4-3)$$

با انجام این فرایند برای تمام رکوردها در کل مکعب داده لرزه‌ای،  $p_t$  یا حساسیت ساختاری تصویر نسبت به سرعت در زمان ( $t$ ) به دست می‌آید [۳].

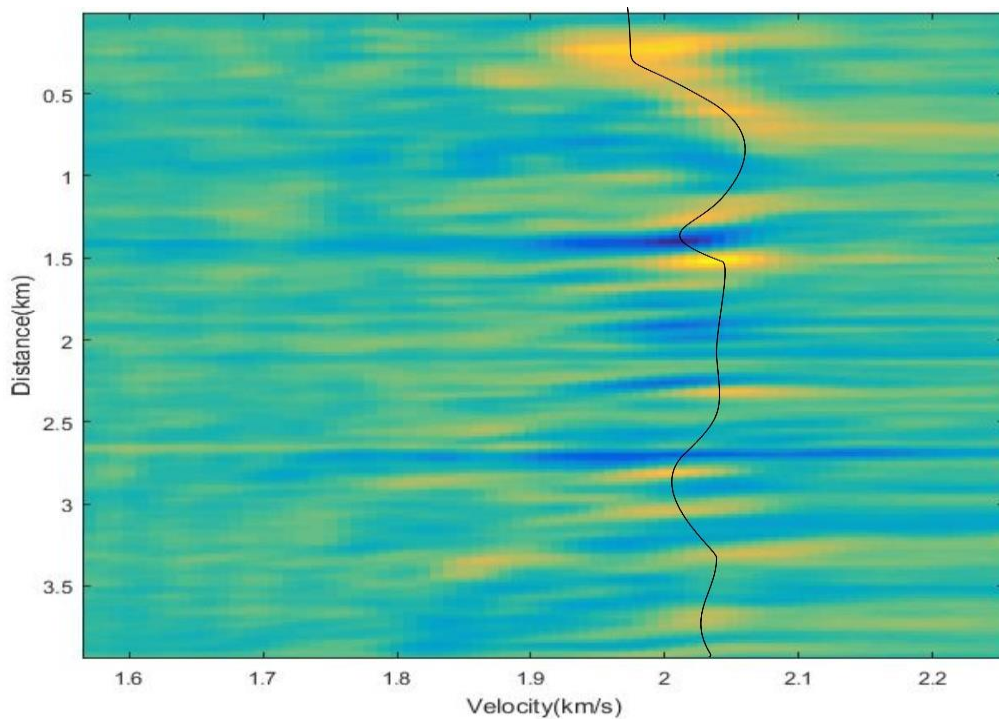
به صورت مشابه با اندازه‌گیری شیب محلی رخدادها در هر برش زمانی  $C(t_0, x, v)$  (صفحه  $v-x$ ) همانند شکل ۳-۵ و در نظر گرفتن مقادیر این شیب‌ها در موقعیت‌های متناظر با سرعت‌های کوچ انتخاب‌شده برای برش زمانی مذکور،  $\frac{\partial x}{\partial v}$  مربوط به مختصات برش زمانی موردنظر به دست می‌آید که رابطه (۳-۵) همین امر را نشان می‌دهد:

$$p_x(t, x) = \frac{\partial x}{\partial v} \Big|_{v=v_M(t, x)} \quad (5-3)$$

و با انجام این فرایند برای تمام برش‌های زمانی در کل مکعب داده لرزه‌ای،  $p_x$  یا حساسیت ساختاری تصویر نسبت به سرعت در موقعیت جانبی ( $x$ ) به دست می‌آید [۳].



شکل ۳-۴: رکورد تصویر مشترک گرفته شده از مکعب پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان‌دهنده مقادیر بیشینه درون آن که به منظور محاسبه شیب محلی رخدادها در آن موقعیت‌ها جهت تعیین حساسیت ساختاری تصویر به سرعت در زمان، مورد استفاده قرار می‌گیرد.



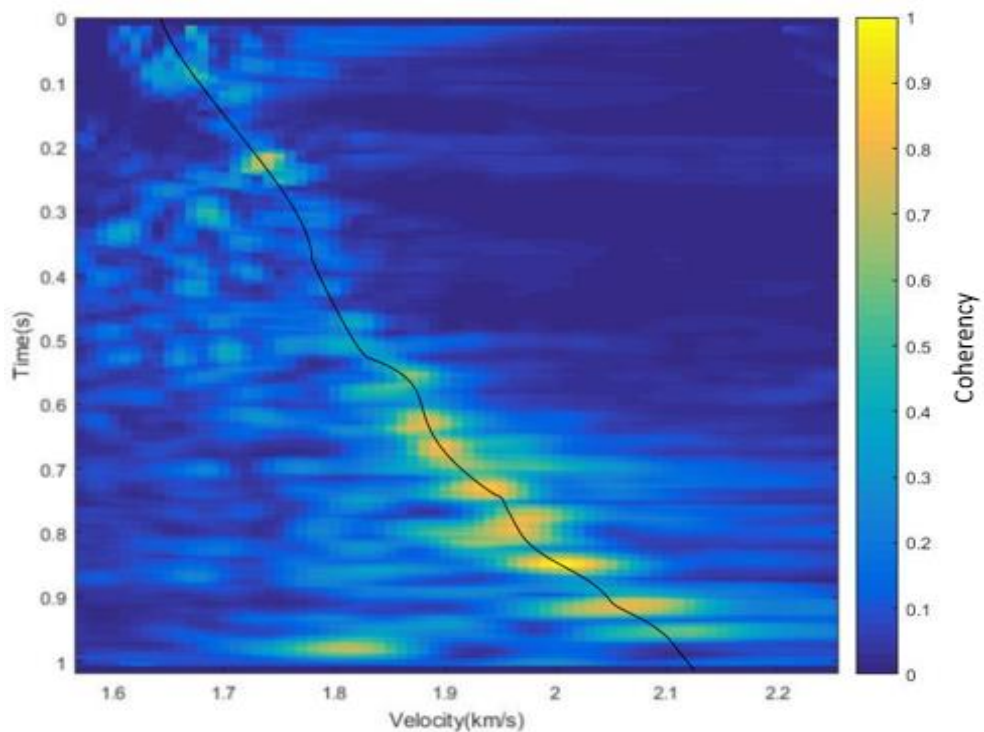
شکل ۳-۵: برش زمانی  $C(t_0, x, v)$  گرفته شده از مکعب پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان‌دهنده مقادیر بیشینه درون آن که با محاسبه شیب محلی رخدادها در آن موقعیت‌ها، حساسیت ساختاری تصویر به سرعت در موقعیت جانبی  $(x)$ ، به دست می‌آید.

### ۴-۳ تعیین عدم قطعیت در انتخاب سرعت

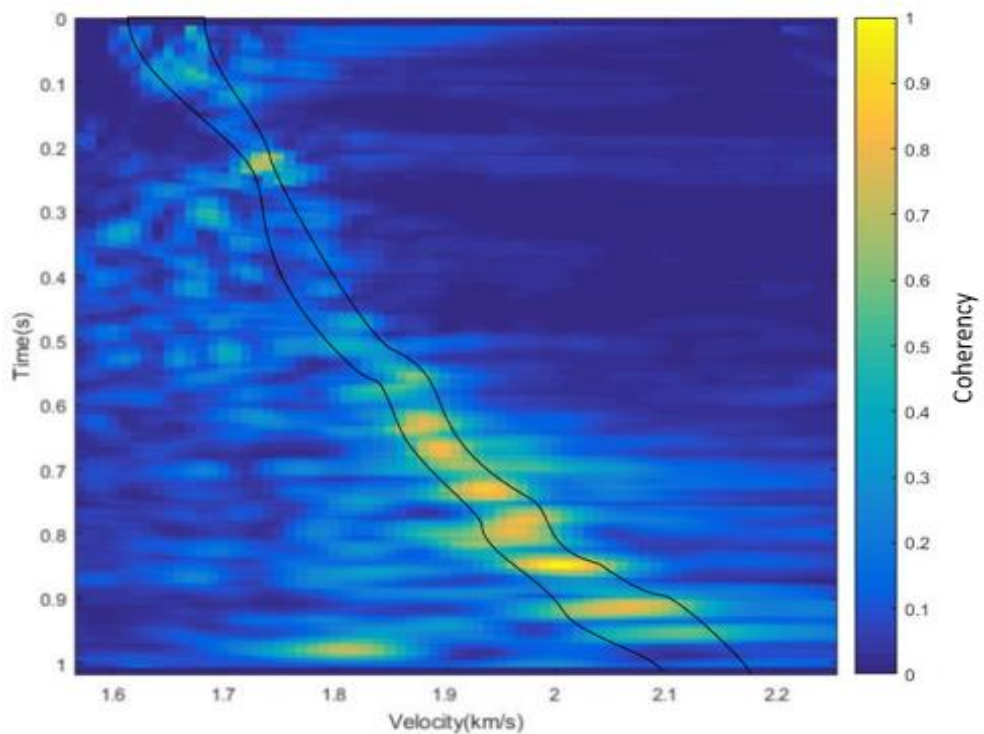
مدل سرعت نهایی، تقریبی از مدل سرعت واقعی است که می‌تواند با عدم قطعیت همراه باشد. شکل ۳-۶ اسکن شباهت مربوط به رکورد تصویر مشترک شکل ۳-۴ را نشان می‌دهد. با اینکه ممکن است محتمل‌ترین تابع سرعت انتخاب شود، اما احتمال آن کم‌تر از ۱۰۰٪ (صد درصد) است [۳]، در نتیجه دستکم یک عدم قطعیت در انتخاب سرعت وجود دارد که فومل و لاندن [۳] با استفاده از پهنای آنومالی‌های طیف سرعت کوچک، رابطه‌ای برای تعیین این عدم قطعیت در انتخاب سرعت کوچک زمانی معرفی کرده و بیان کردند که اگر شباهت نرمالیزه شده به‌عنوان توزیع احتمال در نظر گرفته شود و بازه اطمینان تقریباً مطابق با انحراف استاندارد مشخص شود، محدوده تقریبی از عدم قطعیت در تعیین سرعت به‌دست می‌آید که این محدوده در شکل ۳-۷ نمایش داده شده و مطابق رابطه (۳-۶) محاسبه می‌شود:

$$\delta v(t, x) = \frac{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} [v - v_M(t, x)]^2 S(t, x, v) dv}{\int_{v_{\min}}^{v_{\max}} S(t, x, v) dv} \quad (۳-۶)$$

که در آن  $S(t, x, v)$  مقدار شباهت متناظر با  $C(t, x, v)$  و  $[v_{\min}, v_{\max}]$  محدوده کامل سرعت است [۳].



شکل ۳-۶: اسکن شباهت مربوط به رکورد تصویر مشترک شکل ۳-۴ تولید شده در فرایند پیوستگی سرعت، همراه با منحنی نشان-  
 دهنده سرعت‌های RMS کوچ زمانی انتخاب‌شده متناظر با بیشینه مقادیر شباهت.



شکل ۳-۷: منحنی‌هایی که محدوده تقریبی از عدم قطعیت سرعت کوچ زمانی را اطراف مسیر انتخابی در اسکن شباهت شکل ۳-۶  
 مشخص می‌کنند.

### ۳-۵ تعیین عدم قطعیت ساختاری (خطای مکان یابی)

عدم قطعیت موجود در مدل سرعت کوچ تخمینی، در کل تصویر کوچ یافته به ویژه در موقعیت تک تک افقها پخش می شود [۵, ۳۶, ۳۹, ۴۰] و تصویر کوچ یافته حاصل باید عدم قطعیت پارامترهای استفاده شده در ساخت تصویر را شامل شود. با ضرب عدم قطعیت سرعت کوچ در مقادیر حساسیت ساختاری تصویر نسبت به سرعت، عدم قطعیت ساختاری به دست می آید [۳]. در این تحقیق نیز به منظور تعیین عدم قطعیت ساختاری یا خطای مکانی، به همین صورت با استفاده از روابط (۳-۷) و (۳-۸) مؤلفه های این عدم قطعیت را در هر نقطه از تصویر محاسبه می کنیم [۳].

$$\delta t = \frac{\partial t}{\partial v} \delta v \quad (۳-۷)$$

$$\delta x = \frac{\partial x}{\partial v} \delta v \quad (۳-۸)$$

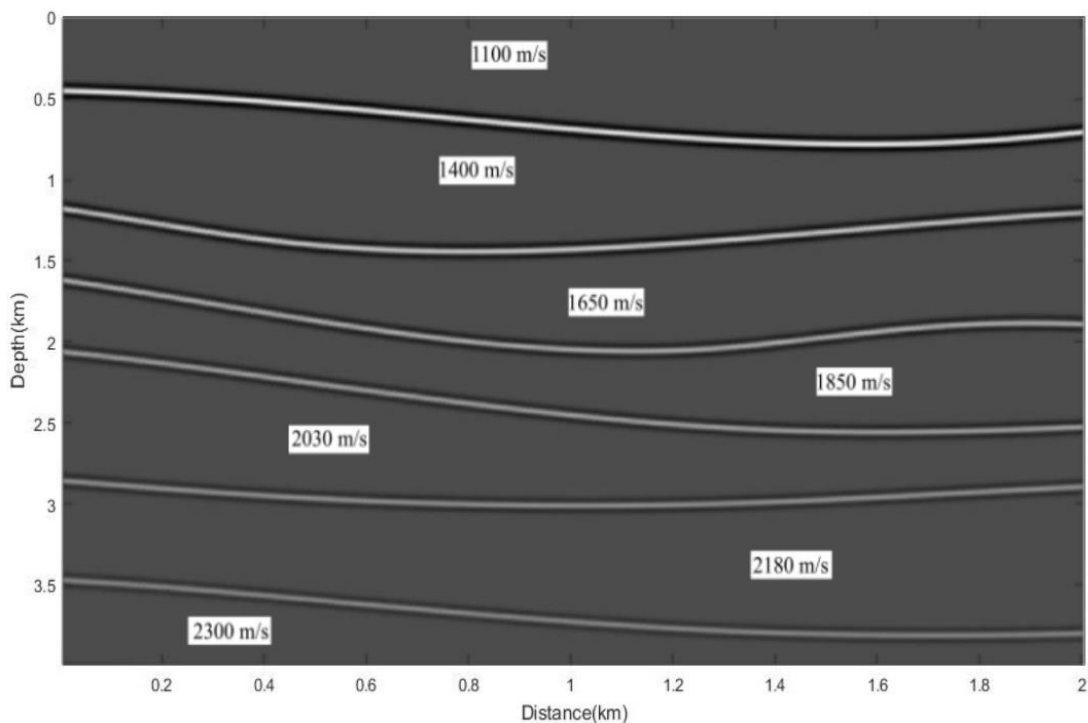
این روابط نشان می دهند که عدم قطعیت ساختاری (خطای موقعیت یابی) رابطه مستقیمی با عدم قطعیت موجود در مدل سرعت کوچ تخمینی دارد، در نتیجه با توجه به کاهش ایجاد شده در عدم قطعیت مدل سرعت کوچ در این تحقیق، عدم قطعیت ساختاری (خطای مکان یابی) متناسب با این مقدار، کاهش می یابد. در پایان جهت بررسی میزان کارایی روش ارائه شده، مقدار این عدم قطعیت با مقدار عدم قطعیت ساختاری حاصل از انجام فرایند فوق با استفاده از روش شباهت مرسوم مقایسه می شود.

## فصل چهارم: اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی داده مصنوعی و دریایی

در این فصل سعی می‌شود تا با ارائه نتایج اعمال روش شباهت وزن‌دار شده بر آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش، کارایی این روش در کاهش خطای مکانی تصاویر لرزه‌ای کوچ‌یافته مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا الگوریتم روش پیشنهادی بر روی آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش یک مدل مصنوعی اعمال می‌گردد. سپس الگوریتم روش موردنظر برای یک داده دریایی به کار گرفته می‌شود. همچنین نتایج استفاده از این روش با نتایج حاصل از روش شباهت مرسوم مقایسه می‌گردند.

#### ۱-۴ اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی داده مصنوعی

به منظور بررسی تأثیر روش پیشنهادی بر کاهش عدم قطعیت در تخمین مدل سرعت کوچ زمانی و به تبع آن کاهش خطا در مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری)، یک مدل هفت‌لایه ساخته شده که در شکل ۱-۴ نمایش داده شده است. سرعت در لایه‌ها روندی افزایشی در راستای قائم دارد اما تغییرات جانبی آن اندک است در نتیجه می‌توان از کوچ زمانی پیش از برانبارش جهت آنالیز سرعت مربوطه استفاده کرد.



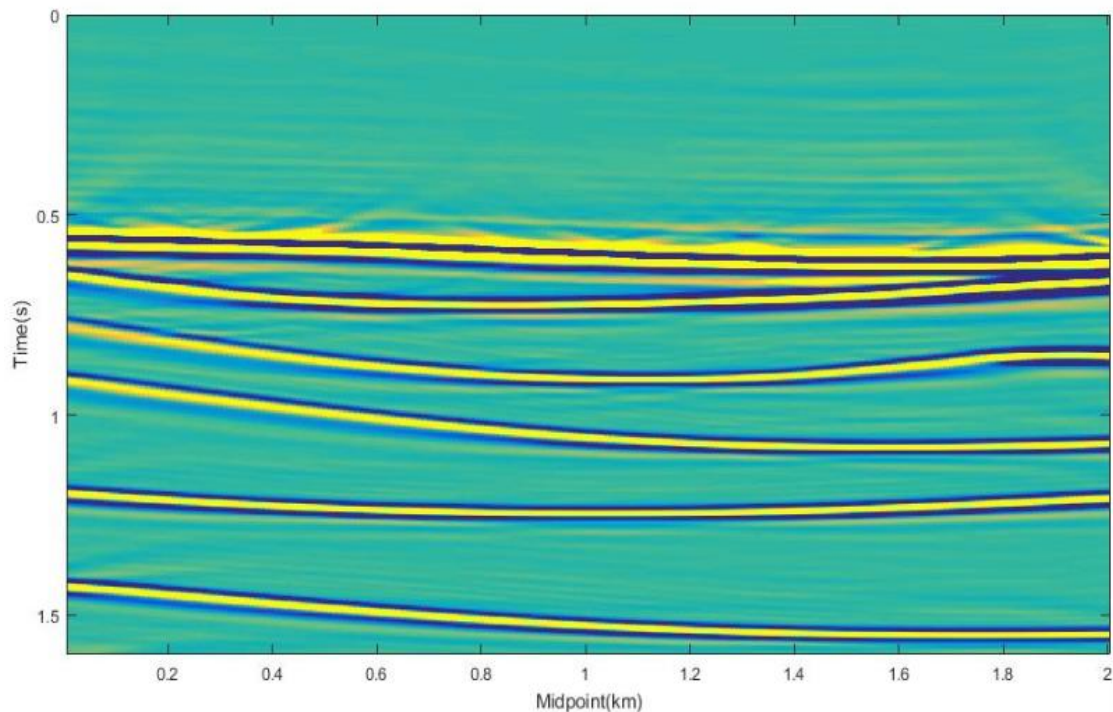
شکل ۱-۴: مدل مصنوعی تولیدشده جهت بررسی کارایی روش شباهت وزن‌دار شده در کاهش خطای مکان‌یابی بر روی تصویر کوچ-یافته مربوطه.



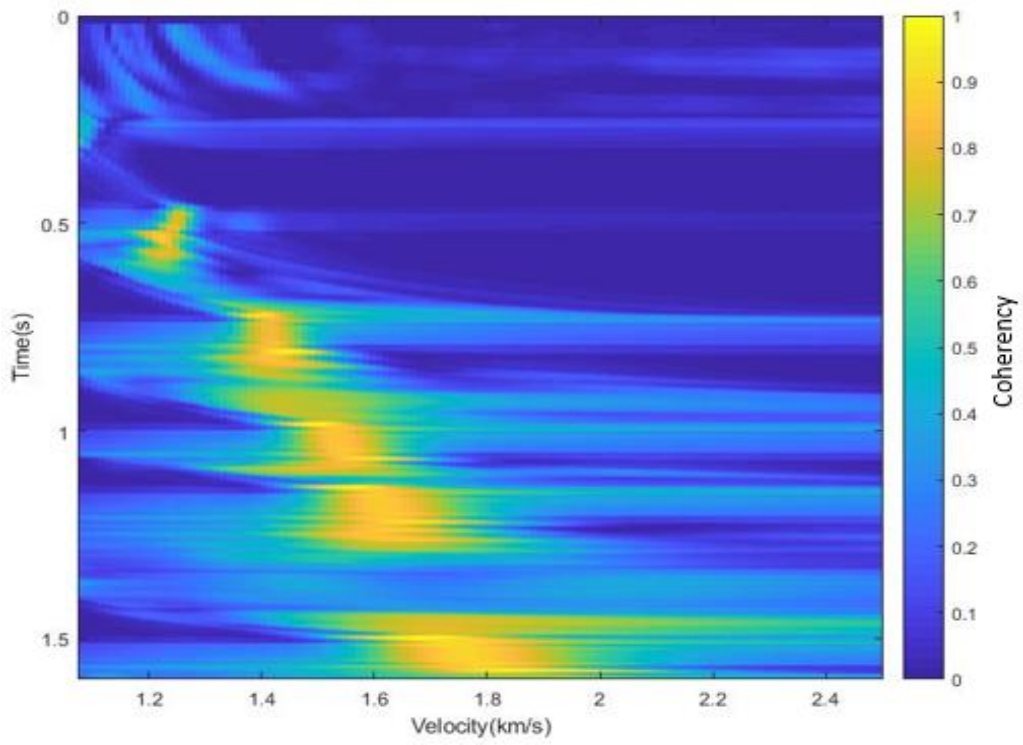
این مدل مصنوعی از ۲۰۰ نقطه میانی مشترک با فواصل ۱۰ متر تولید شده است و برای هر نقطه میانی مشترک ۳۵ دورافت با گام ۲۰ متر در نظر گرفته شده که طول بیشترین دورافت برابر ۷۰۰ متر، گام نمونه برداری برابر ۰/۰۰۲ ثانیه و مدت زمان نمونه برداری ۱/۶ ثانیه می باشد.

#### ۱-۴-۱ آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش با روش پیوستگی سرعت

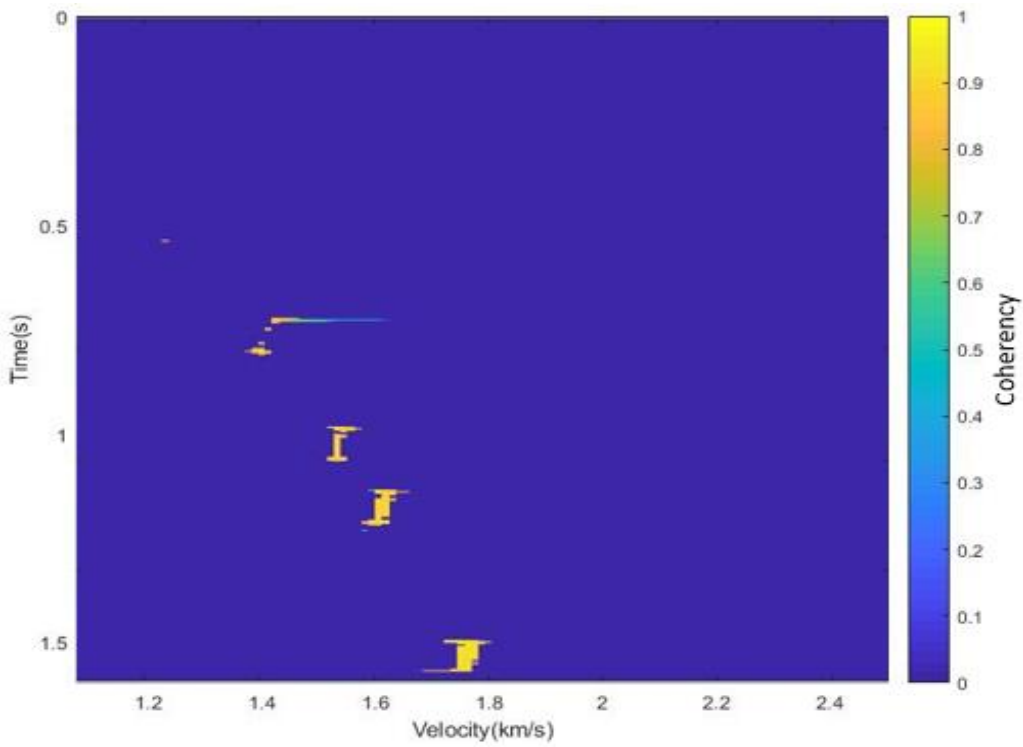
جهت انجام کوچ زمانی و آنالیز سرعت مربوطه با روش پیوستگی سرعت، مقاطع دورافت مشترک مدل مذکور با سرعت ثابت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه کوچ داده شده و فرایند پیوستگی سرعت بر روی این مقاطع از سرعت اولیه ۱۰۸۰ متر بر ثانیه تا ۲۵۰۰ متر بر ثانیه با گام ۱۲ متر بر ثانیه انجام شده است. شکل ۲-۴ داده اولیه را پس از کوچ پیش از برانبارش سرعت ثابت با سرعت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه نشان می دهد. در شکل ۳-۴ الف و ب به ترتیب اسکن شباهت مرسوم و شباهت وزن دار شده مربوط به رکورد تصویر مشترک در موقعیت  $x = 1960$  متر حاصل از فرایند پیوستگی سرعت نشان داده شده است.



شکل ۲-۴: مقطع دورافت مشترک داده مصنوعی پس از کوچ پیش از برانبارش با سرعت ثابت ۲۸۰۰ متر بر ثانیه.



(الف)

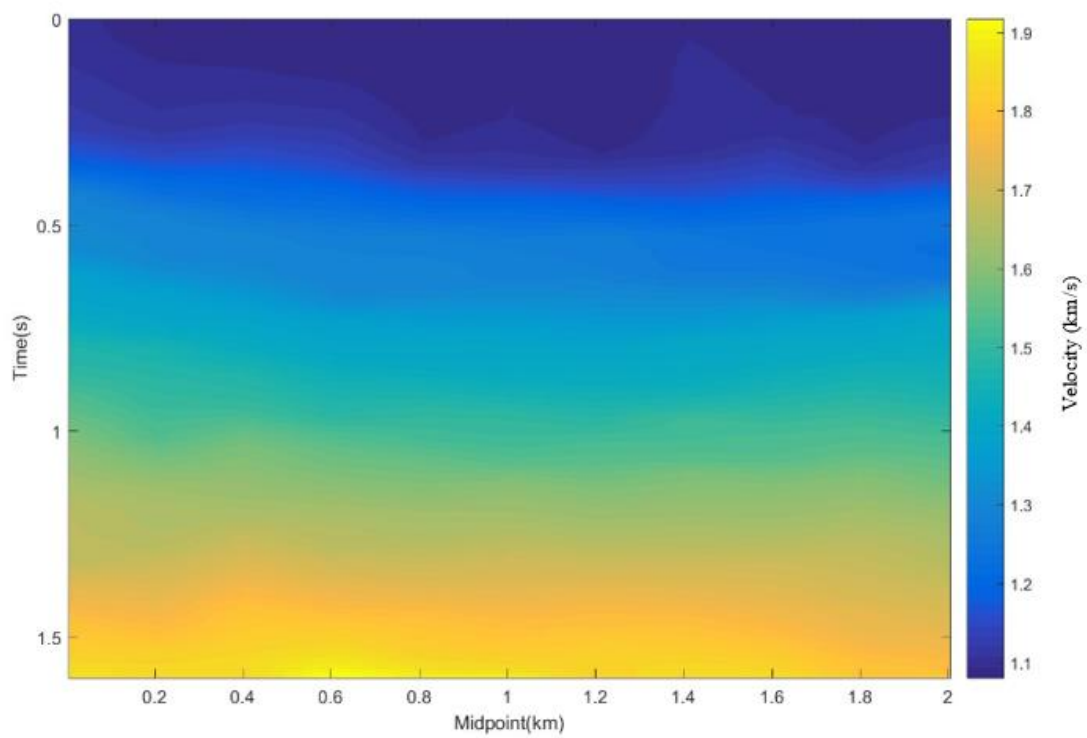


(ب)

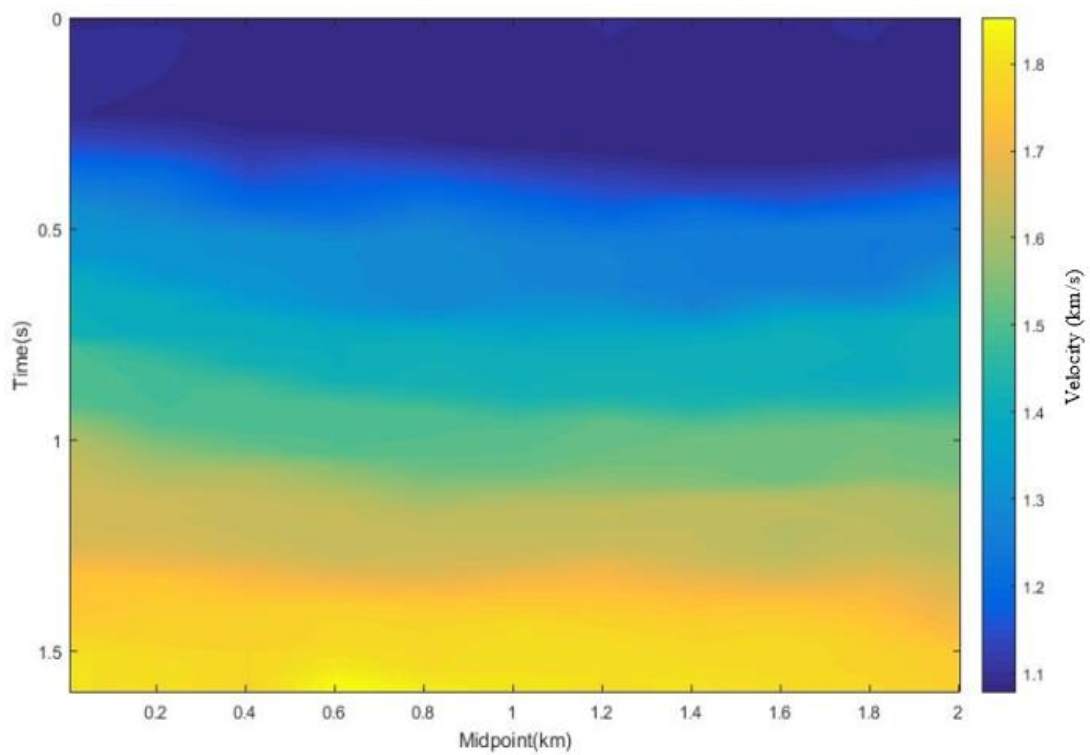
شکل ۳-۴: طیف سرعت رکورد تصویر مشترک واقع در موقعیت  $\lambda = 1960$  متر به دست آمده از فرایند پیوستگی سرعت با استفاده از روش الف (شبهات مرسوم ب) شبهات وزن دار شده.

همان‌طور که شکل ۳-۴ به‌صورت واضح نشان می‌دهد طیف سرعت حاصل از روش شباهت وزن‌دار شده نسبت به طیف سرعت روش شباهت قدرت تفکیک بسیار بهتری دارد. با توجه به طیف‌های سرعت به‌دست آمده، روش شباهت مرسوم قادر به تشخیص لایه‌های مدل مذکور و تعیین دقیق پارامترهای زمان-رسید (زمان دورافت صفر و سرعت) مرتبط با این لایه‌ها نمی‌باشد. از طرفی با افزایش عمق آنومالی‌های سرعت دچار پهن‌شدگی شده‌اند که این موضوع عدم قطعیت در انتخاب دقیق پارامترهای زمان-رسید مربوط به لایه‌ها را افزایش می‌دهد، ولی در مقابل روش پیشنهادی به‌خوبی و با دقت بالایی قادر به تعیین دقیق این پارامترها است و با قدرت تفکیک بسیار بالایی توانسته است آنومالی‌های سرعت مربوط به لایه‌ها را نشان دهد.

شکل ۴-۴ الف و ب مدل‌های سرعت کوچ انتخابی از طیف سرعت هر یک از دو روش مورد بحث را نمایش می‌دهد. در شکل ۴-۴ ب سرعت مربوط به نقاط مختلف تصویر با قطعیت و اطمینان بیشتری در محدوده کوچک‌تری از طیف سرعت انتخاب شده است، در نتیجه مدل سرعت به‌دست آمده از روش پیشنهادی نسبت به مدل سرعت حاصل از روش شباهت از صحت و اعتبار بالاتری برخوردار است.



(الف)



(ب)

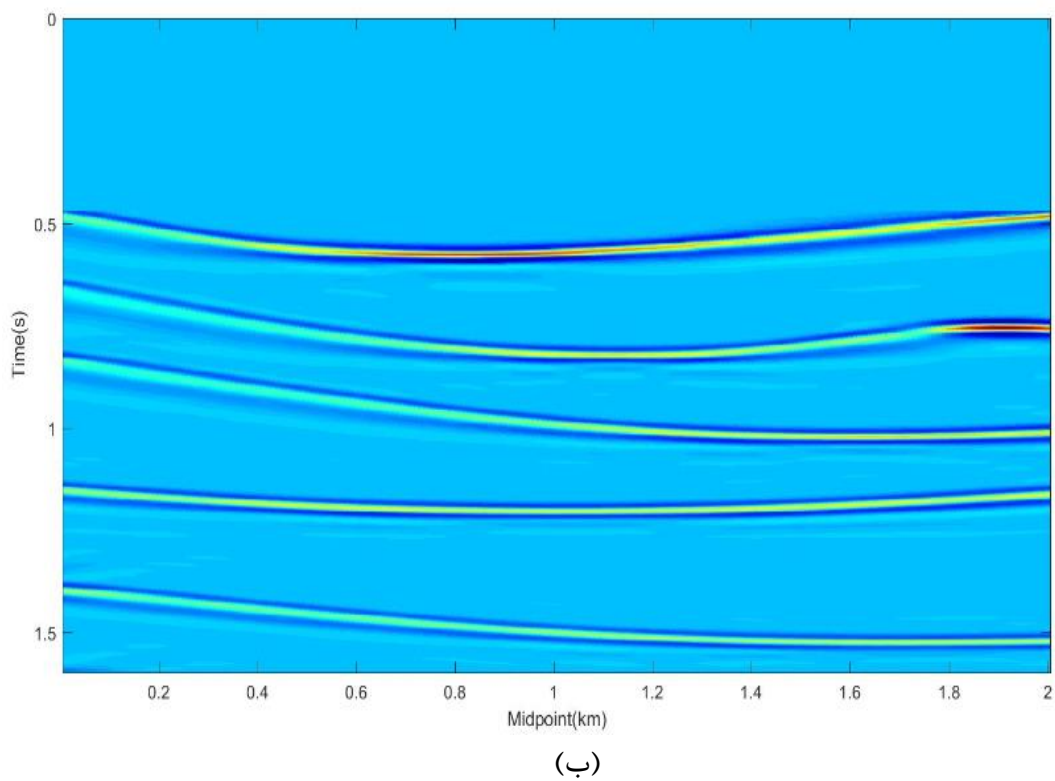
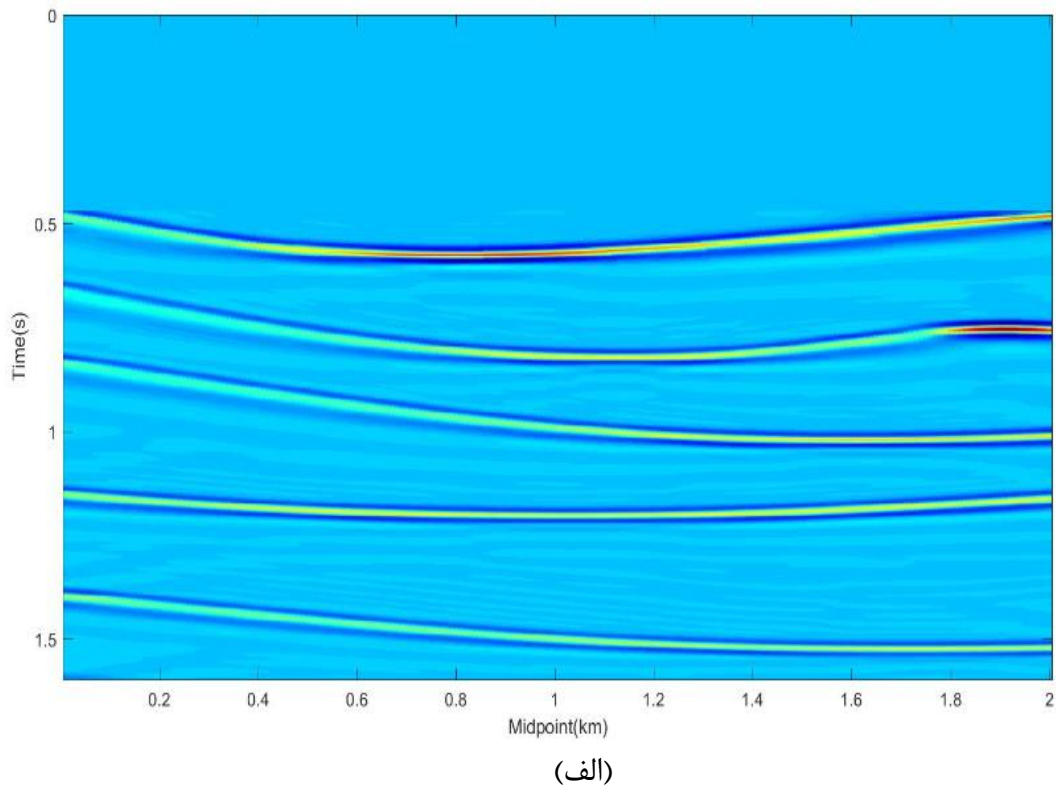
شکل ۴-۴: مدل سرعت کوچک انتخاب شده از طیف سرعت حاصل از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده.

#### ۴-۱-۲ تهیه تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش

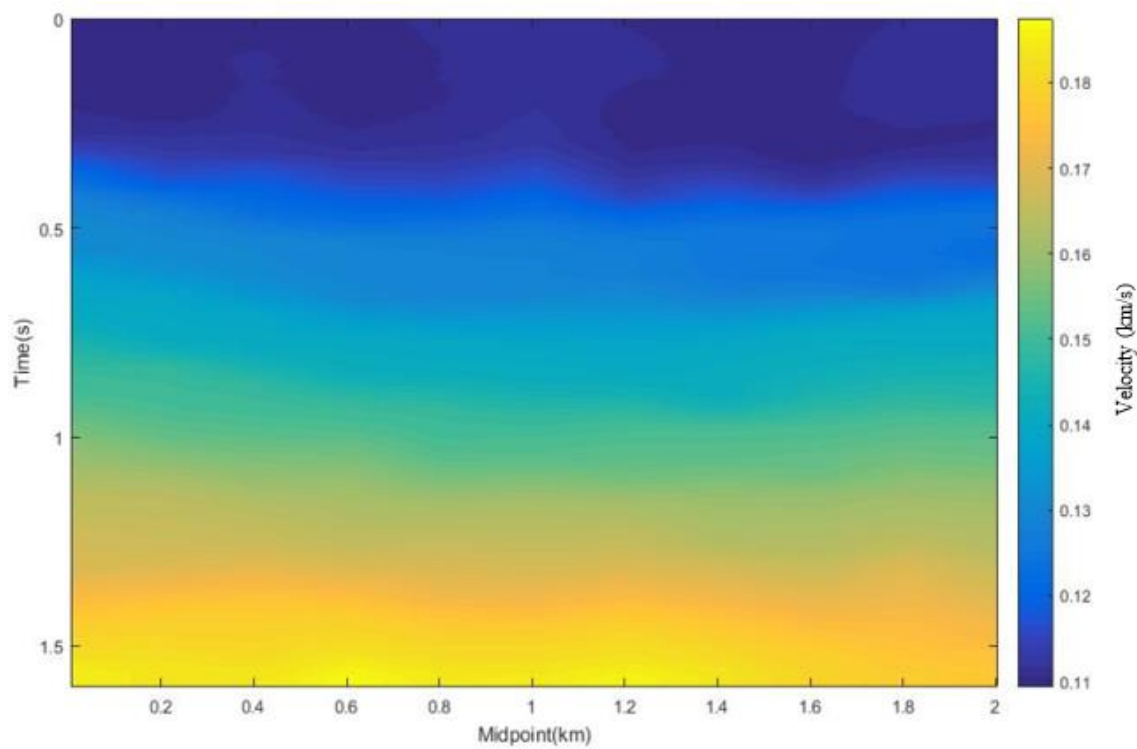
با استفاده از روش پیوستگی سرعت، تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش مربوط به هر یک از مدل‌های سرعت شکل ۴-۴ الف و ب تولید شده که به ترتیب در شکل ۴-۵ الف و ب نشان داده شده است. هر چند تفاوت قابل مشاهده‌ای بین دو شکل دیده نمی‌شود اما در ادامه نشان خواهیم داد که روش مورد نظر با استفاده از مدل سرعت دقیق‌تر، به تصویری با خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) کمتر دست یافته است.

#### ۴-۱-۳ تعیین عدم قطعیت (خطا) در تخمین مدل سرعت

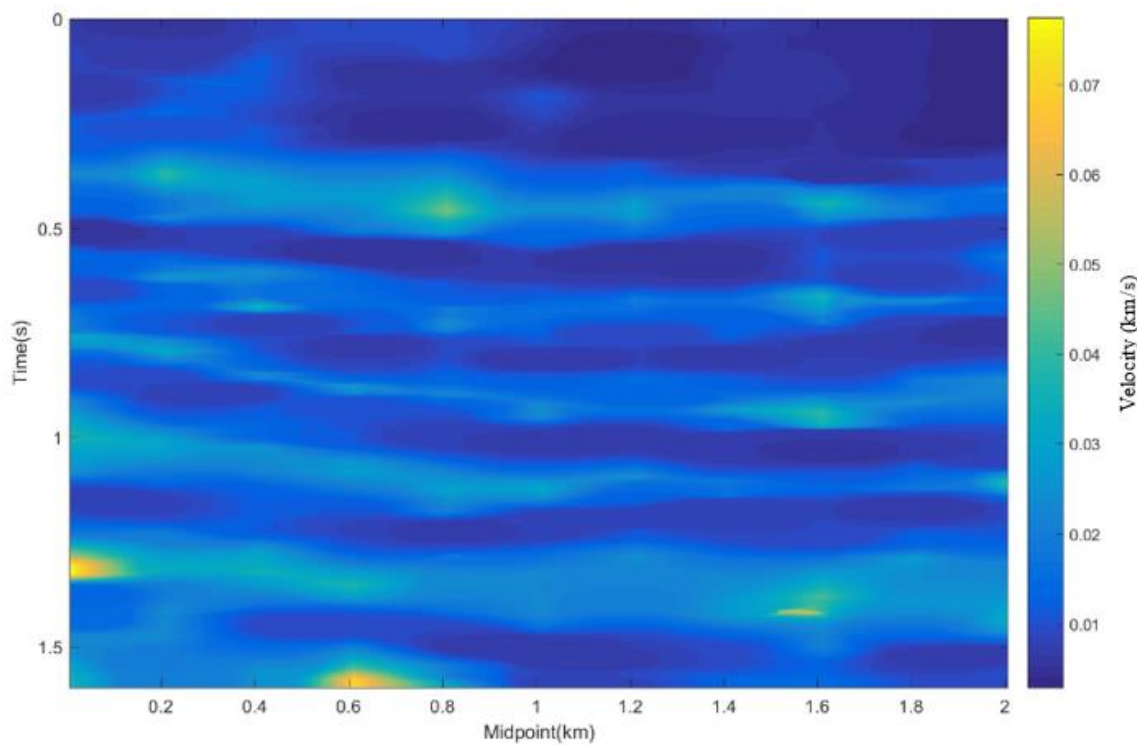
با توجه به شکل ۴-۳ الف و ب با صراحت می‌توان گفت که روش شباهت وزن دار شده نسبت به روش شباهت، به محدوده احتمالی کوچک‌تری از خطا (عدم قطعیت) در انتخاب سرعت دست یافته است. با در نظر گرفتن محدوده تقریبی خطای (عدم قطعیت) سرعت اطراف مسیر انتخاب شده بر روی شکل ۴-۳ الف و ب می‌توان مقادیر خطای (عدم قطعیت) سرعت مربوط به مدل سرعت حاصل از روش شباهت و شباهت وزن دار شده را با استفاده از رابطه (۳-۷) محاسبه کرد. این مقادیر در شکل ۴-۶ الف و ب نمایش داده شده است.



شکل ۴-۵: نتیجه نهایی فرایند پیوستگی سرعت، تصویر لرزه‌ای کوچ‌یافته زمانی پیش از برانبارش به‌دست آمده با توجه به مدل سرعت کوچ مربوط به روش الف) شباهت ب) شباهت وزن‌دار شده.



(الف)



(ب)

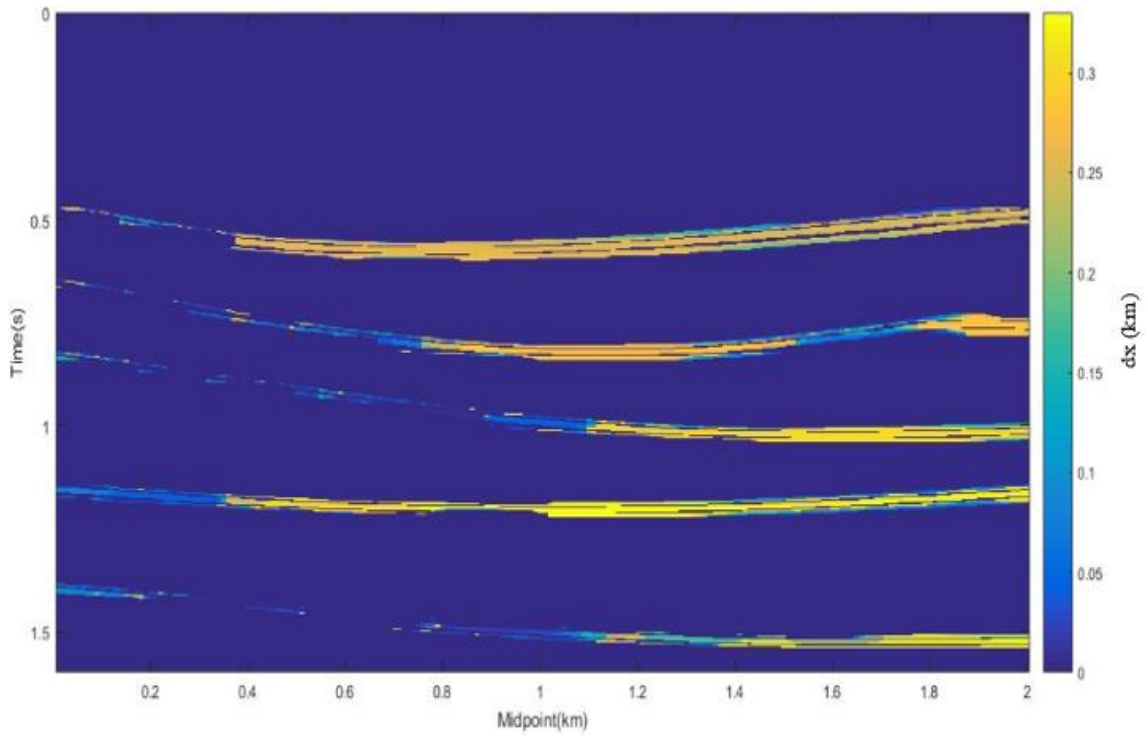
شکل ۴-۶: مقادیر عدم قطعیت سرعت مربوط به مدل سرعت کوچک به دست آمده با استفاده از روش الف) شباهت ب) شباهت وزن دار شده.

همان‌طور که از شکل ۴-۶ مشخص است روش پیشنهادی نسبت به روش شباهت مرسوم خطا (عدم قطعیت) در انتخاب مدل سرعت مربوطه را به‌طور چشم‌گیری کاهش داده است.

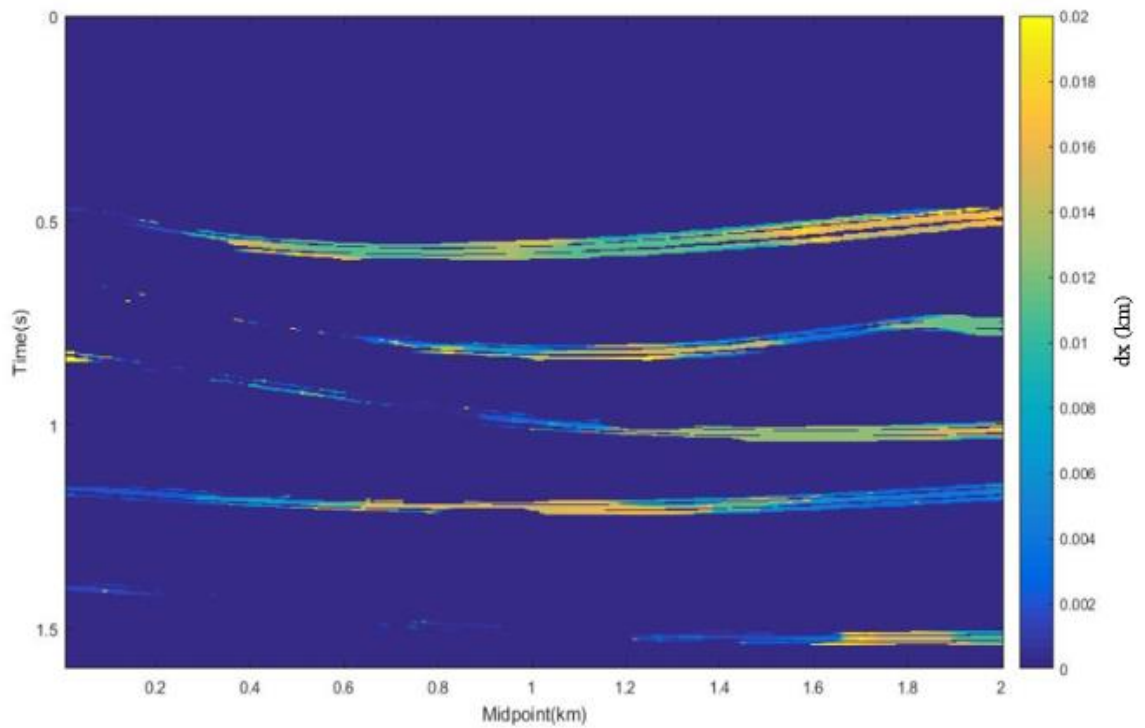
#### ۴-۱-۴ تخمین خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر لرزه‌ای کوچک‌یافته

در ادامه با ضرب مقادیر عدم قطعیت مدل سرعت کوچک در مقادیر حساسیت ساختاری تصویر لرزه‌ای به مدل سرعت در دو راستای موقعیت جانبی و زمانی، مؤلفه‌های افقی و قائم خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) برای هر یک از دو روش مورد بحث محاسبه شده است. در شکل ۴-۷ و شکل ۴-۸ مقادیر این خطا در دو راستای موقعیت جانبی و زمانی به‌ترتیب نشان داده شده است.



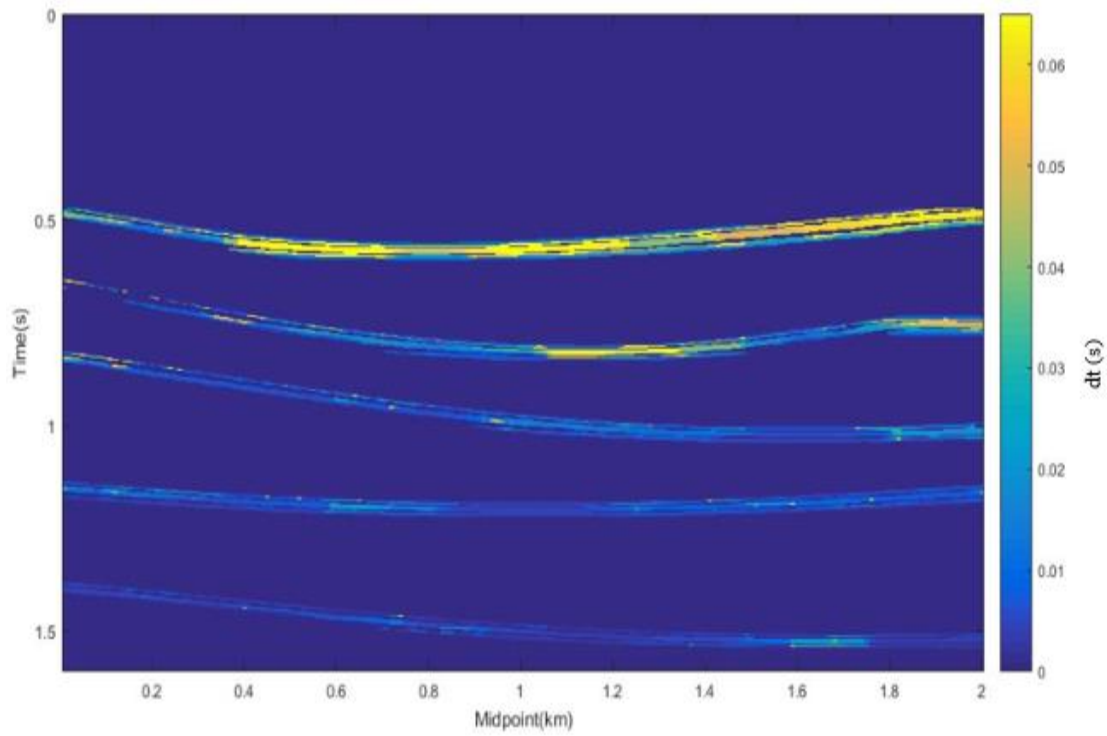


(الف)

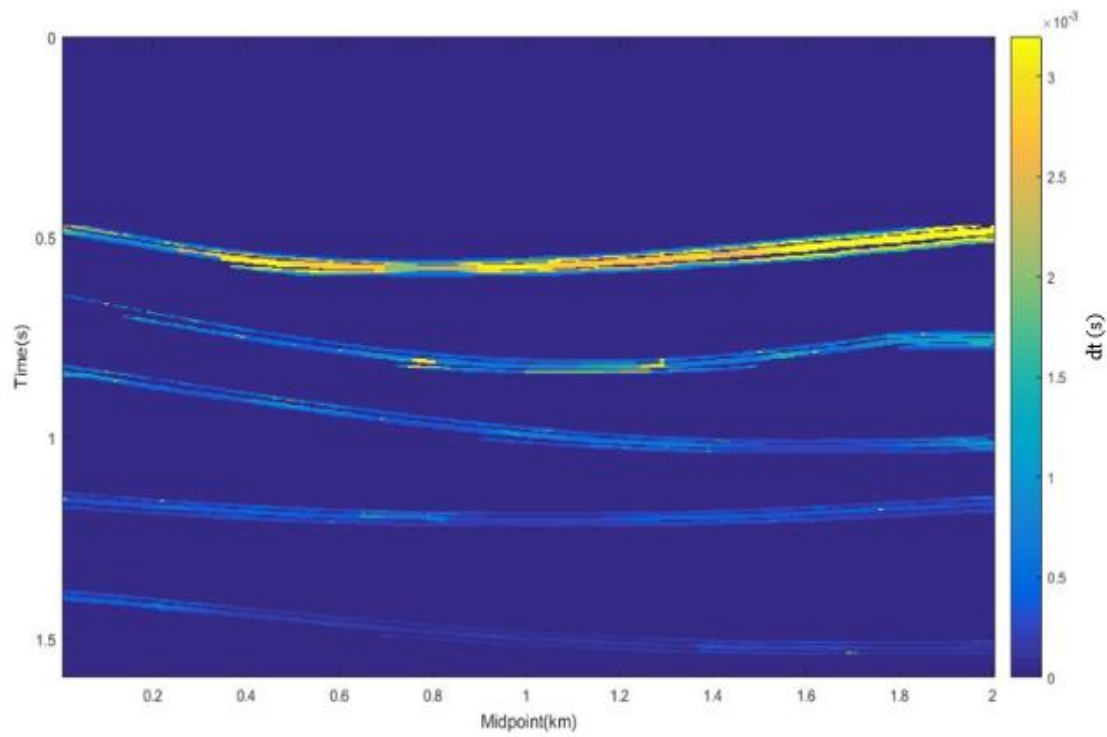


(ب)

شکل ۴-۷: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده، در راستای موقعیت جانبی (افقی).



(الف)



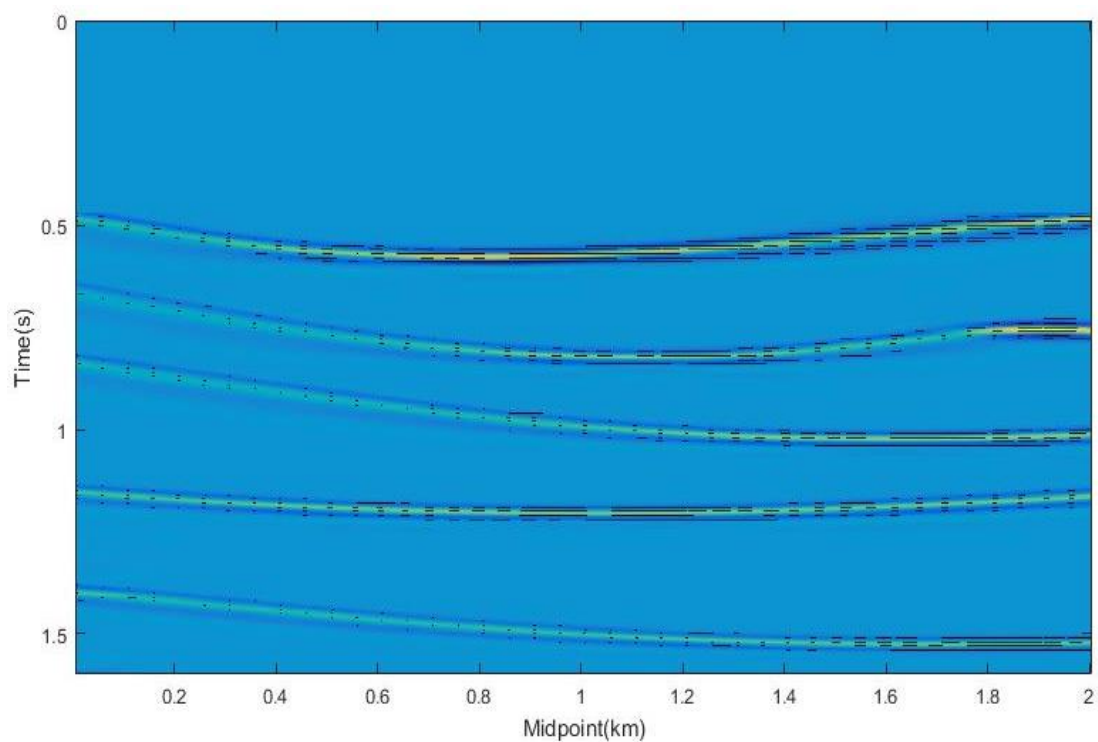
(ب)

شکل ۴-۸: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده، در راستای زمان قائم).

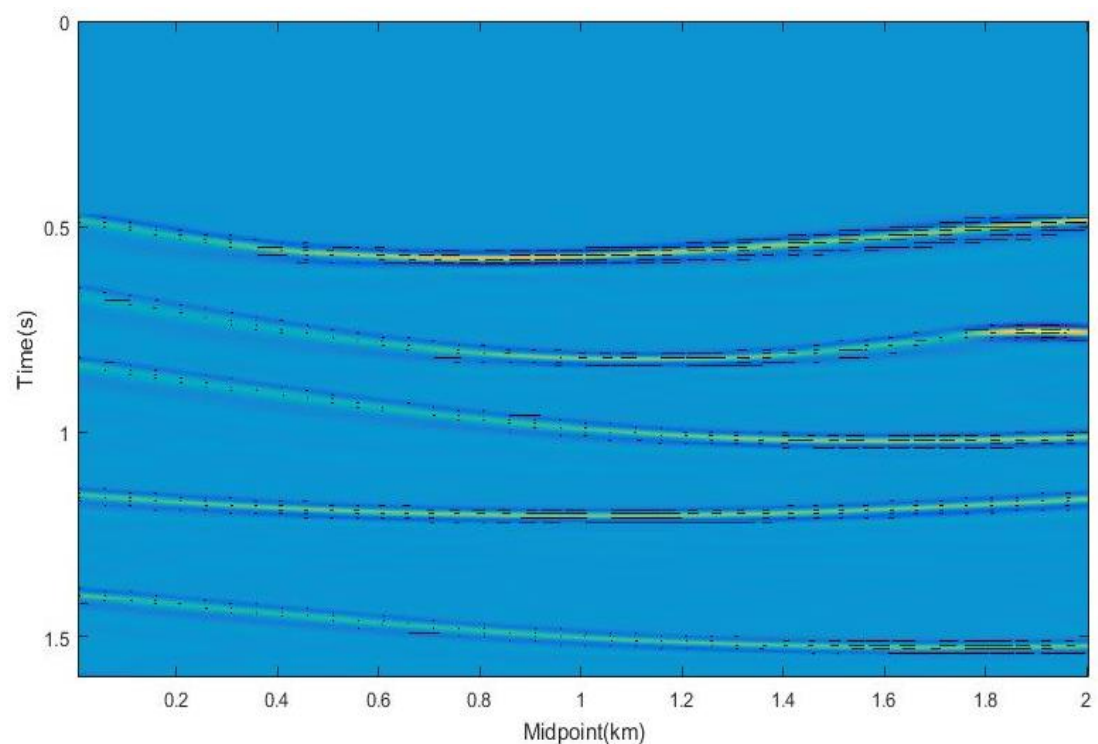
شکل ۷-۴ و شکل ۸-۴ بیان‌گر توانایی بالای روش شباهت وزن‌دار شده نسبت به روش شباهت، در کاهش خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) در هر دو راستای افقی و قائم می‌باشد.

مقادیر این خطا را می‌توان به صورت پاره‌خطهایی بر روی تصویر کوچ‌یافته نیز نمایش داد. شکل ۹-۴ الف و ب مؤلفه افقی خطای موقعیت‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) بر روی هر یک از تصاویر کوچ‌یافته شکل ۵-۴ الف و ب را به صورت پاره‌خطهای کوچک جابجایی نمایش می‌دهد. در شکل ۱۰-۴ الف و ب نیز مؤلفه قائم این خطا بر روی تصاویر شکل ۵-۴ الف و ب به صورت پاره‌خطهای کوچک جابجایی نشان داده شده است.

طول هر یک از پاره‌خطهای نشان داده شده بر روی تصاویر شکل ۹-۴ و شکل ۱۰-۴ بیان‌گر میزان جابجایی احتمالی افقی و قائم بازتابنده‌ها در اثر خطای مدل سرعت کوچ است. همان‌طور که در تصویر کوچ‌یافته شکل ۹-۴ الف و شکل ۱۰-۴ الف مشاهده می‌شود میزان جابجایی احتمالی افقی و قائم افق‌ها در اثر خطای مدل سرعت کوچ تخمینی به وسیله روش شباهت مرسوم بالا است لذا تعیین موقعیت این افق‌ها با خطا و عدم قطعیت بالایی همراه است در حالی که با توجه خطای بسیار کمتر مدل سرعت کوچ مربوط به روش شباهت وزن‌دار شده، این روش میزان این جابجایی‌ها را در هر دو راستای افقی و قائم تا حد زیادی کاهش داده و به شدت از خطا در مکان‌یابی افق‌ها بر روی تصویر مربوطه کاسته است که تصاویر شکل ۹-۴ ب و شکل ۱۰-۴ ب بیان‌گر این موضوع است.

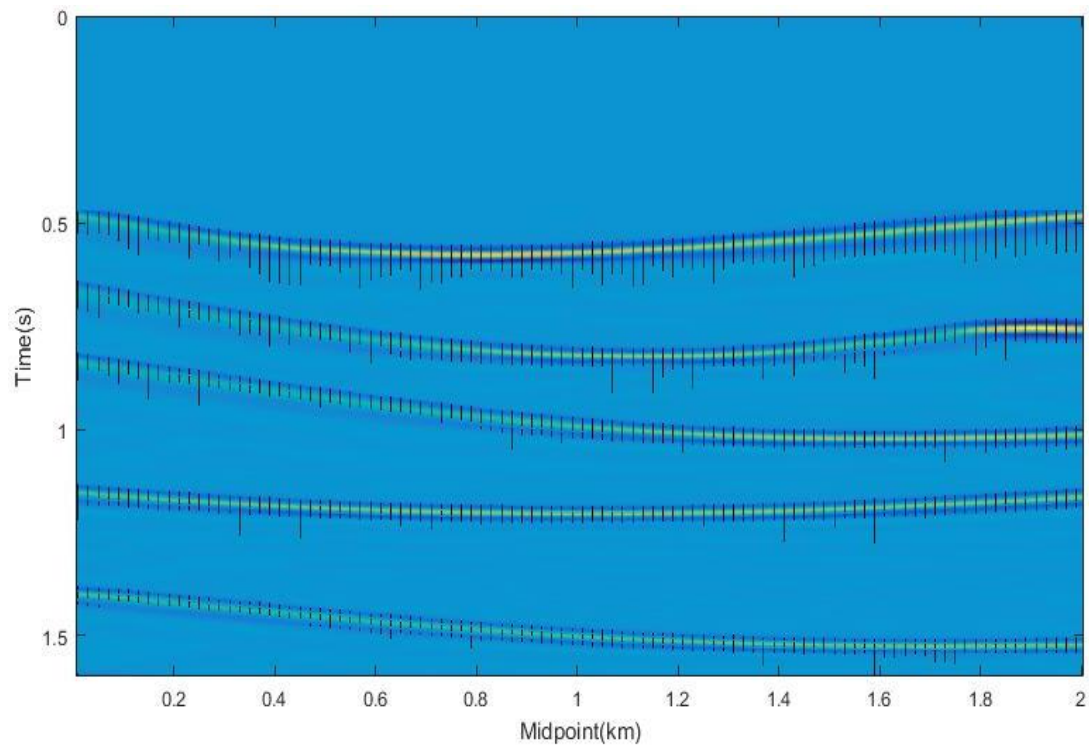


(الف)

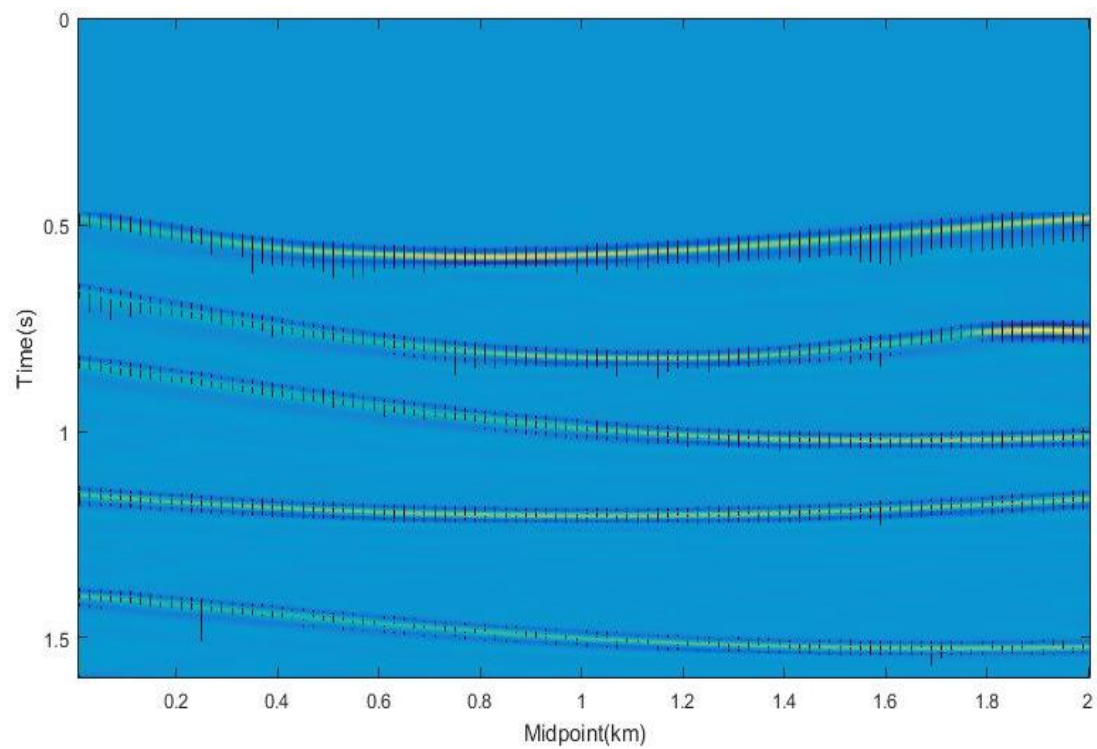


(ب)

شکل ۴-۹: مؤلفه افقی خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) تخمینی با استفاده از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن‌دار شده، به صورت پاره‌خط‌های کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۴-۵ الف و ب.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۰: مؤلفه قائم خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه‌شده با استفاده از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن‌دار شده، به صورت پاره‌خط‌های کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۴-۵ الف و ب.

به عبارت دیگر پاره‌خط‌های مذکور نشان‌دهنده محدوده قرارگیری افق‌های محلی در دو راستای موقعیت جانبی و زمانی می‌باشند. با توجه به تصاویر قسمت الف و ب شکل ۴-۹ و شکل ۴-۱۰، واضح است که در تصویر کوچ‌یافته مربوط به روش پیشنهادی نسبت به روش شباهت، این محدوده‌ها به مراتب کوچک‌تر هستند که به این معناست که در تصویر کوچ‌یافته مربوط به روش موردنظر، تعیین موقعیت افق‌ها از صحت و قطعیت بالاتری برخوردار است که دلیل اصلی این امر خطای کمتر مدل سرعت کوچ مربوط به روش پیشنهادی می‌باشد.

#### ۴-۲ اعمال الگوریتم مورد نظر بر روی داده دریایی

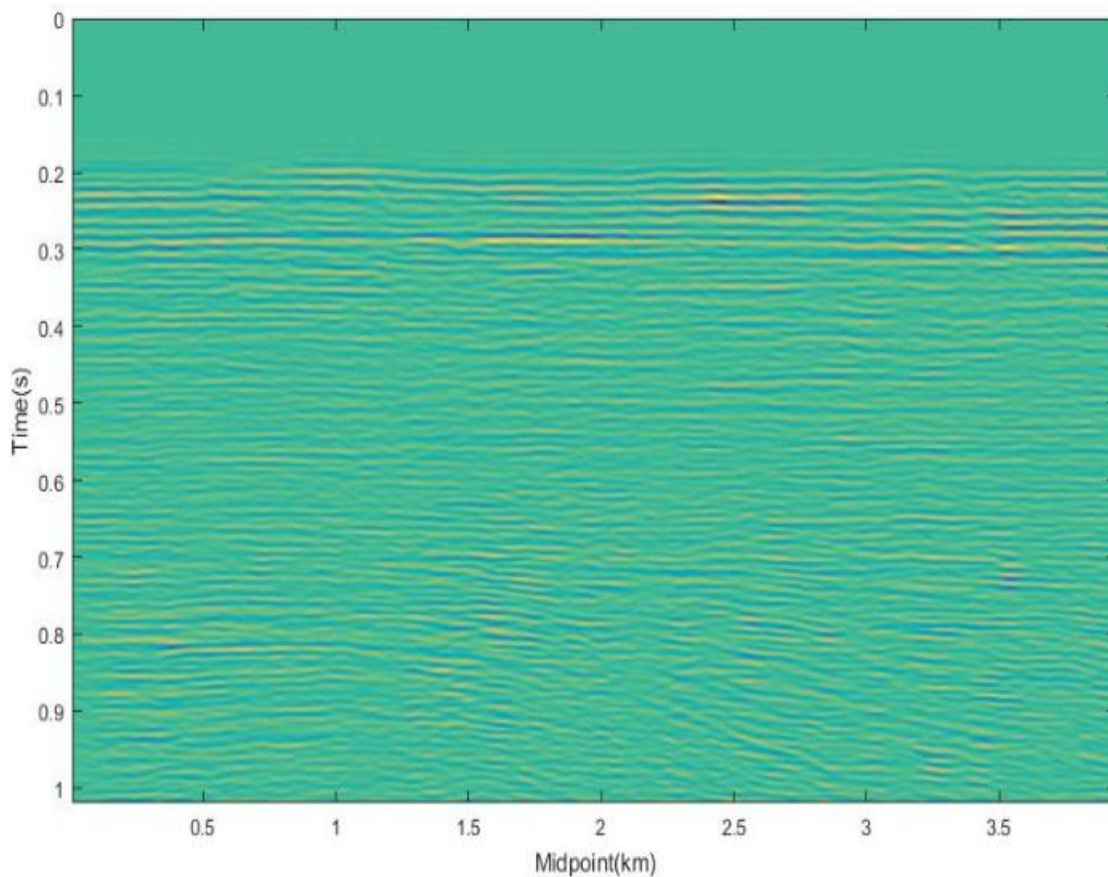
به منظور نشان‌دادن کارایی بالای روش معرفی‌شده در این پایان‌نامه و بررسی بیشتر تأثیر روش پیشنهادی بر کاهش خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر واقعی، از یک داده دریایی برداشت‌شده در کشور مالزی، استفاده شده است. هندسه برداشت این داده در جدول ۴-۱ نشان داده شده است. در این داده بازتابنده‌ها و ساختارها کم‌شیب و تغییرات جانبی سرعت نیز اندک می‌باشد که داده را برای کوچ زمانی پیش از برانبارش مناسب کرده است.

جدول ۴-۱: پارامترهای هندسی برداشت داده مربوط به داده دریایی مالزی.

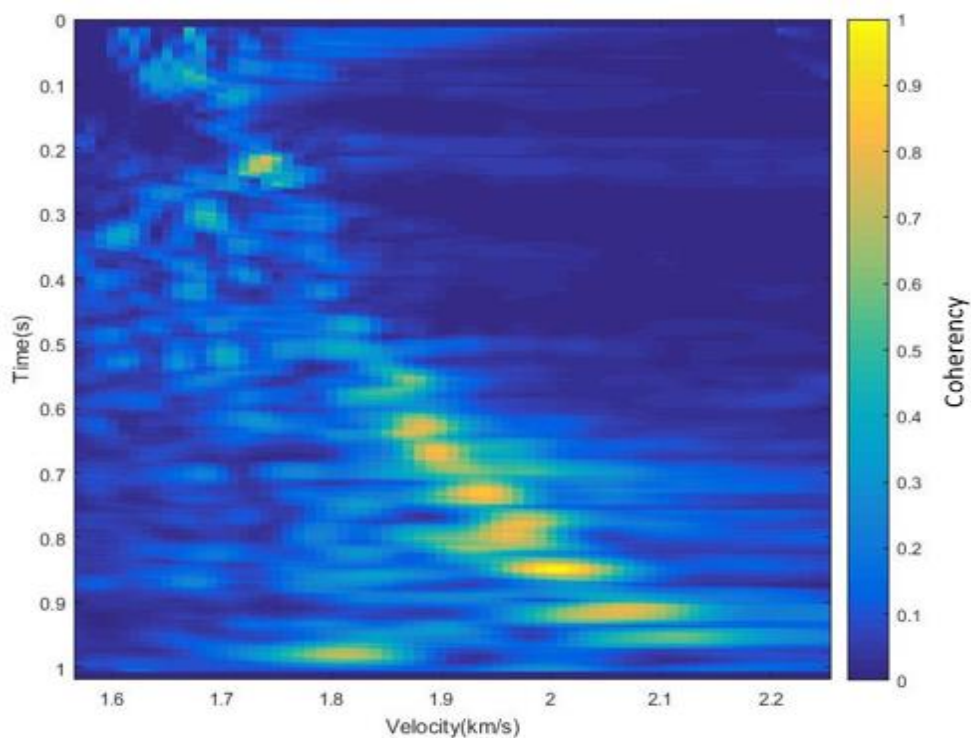
هندسه چشمه و گیرنده		هندسه نقطه میانی و دورافت	
تعداد چشمه‌ها	۲۱۵	تعداد شبکه CMP	۳۱۵
فاصله چشمه‌ها	۱۲/۵ متر	حداکثر تعداد چینش CMP	۳۷
تعداد گیرنده‌ها	۴۱۲	فاصله بین شبکه CMP	۱۲/۵
فاصله گیرنده‌ها	۱۲/۵ متر	بازه دورافت	۵۰ - ۱۰۰۰
پارامترهای ثبت		محتوای فرکانس	
زمان ثبت	۱ ثانیه	فرکانس	۲۰ تا ۱۵۰ هرتز
فاصله نمونه‌برداری	۰/۰۰۱ ثانیه	فرکانس غالب	۸۰ هرتز

#### ۴-۲-۱ آنالیز سرعت کوچ زمانی پیش از برانبارش با روش پیوستگی سرعت

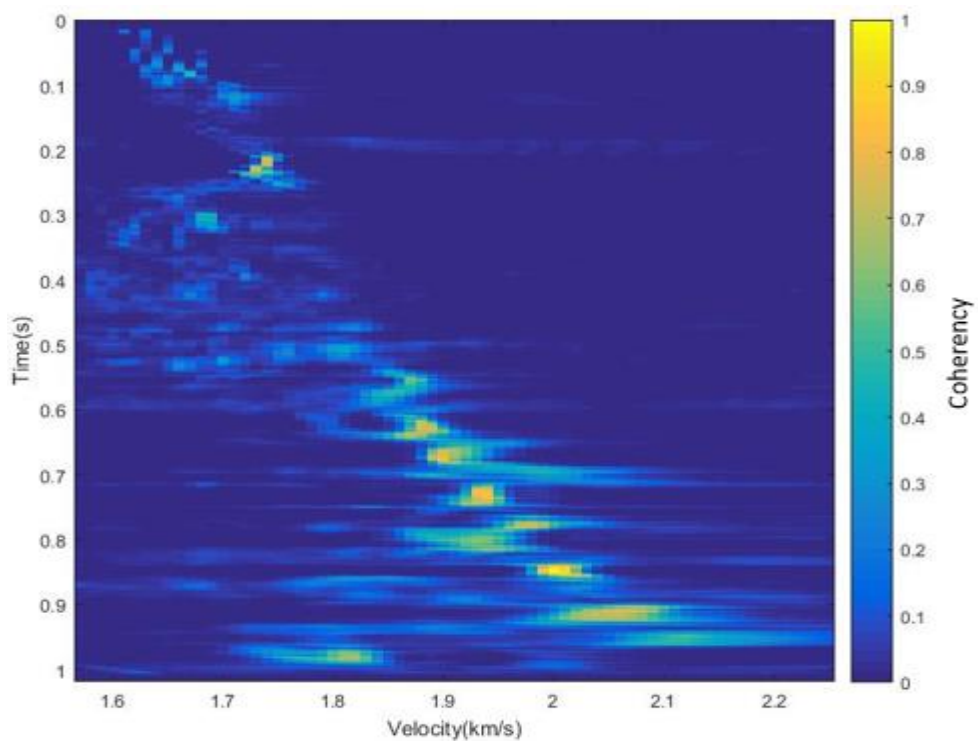
برای انجام کوچ زمانی و آنالیز سرعت مربوطه با روش پیوستگی سرعت، مقاطع دورافت مشترک داده موردنظر با سرعت ثابت ۲۲۰۰ متر بر ثانیه کوچ داده شده و فرایند پیوستگی سرعت بر روی این مقاطع از سرعت اولیه ۱۵۷۰ متر بر ثانیه تا ۲۲۵۰ متر بر ثانیه با گام ۱۰ متر بر ثانیه انجام شده است. شکل ۴-۱۱ یک مقطع دورافت مشترک داده موردنظر را پس از کوچ پیش از برانبارش سرعت ثابت با سرعت ۲۲۰۰ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. در شکل ۴-۱۲ الف و ب به ترتیب طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش شباهت مرسوم و شباهت وزن دار شده مربوط به رکورد تصویر مشترک واقع در موقعیت  $x = 1875$  متر حاصل از فرایند پیوستگی سرعت نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱: مقطع دورافت مشترک داده مالزی پس از کوچ پیش از برانبارش با سرعت ثابت ۲۲۰۰ متر بر ثانیه.



(الف)



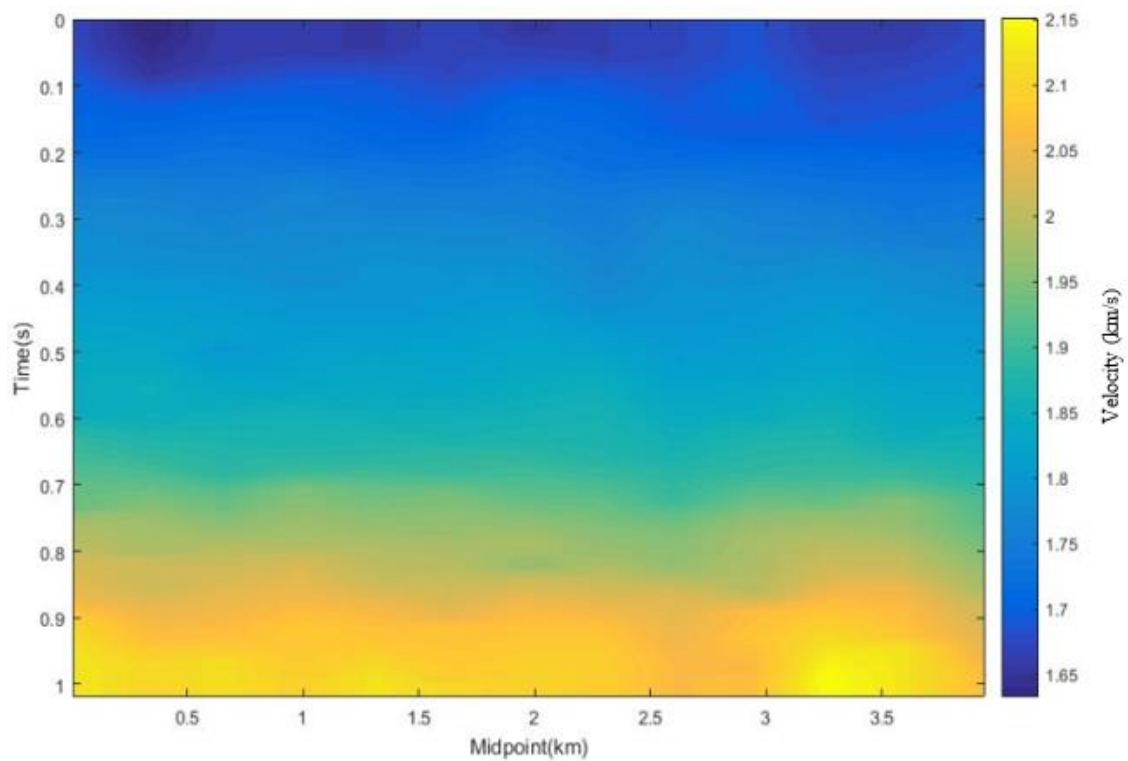
(ب)

شکل ۴-۱۲: طیف سرعت به دست آمده از فرایند پیوستگی سرعت در موقعیت  $x = 1875$  متر با استفاده از روش الف) شباهت مرسوم (ب) شباهت وزن دار شده.

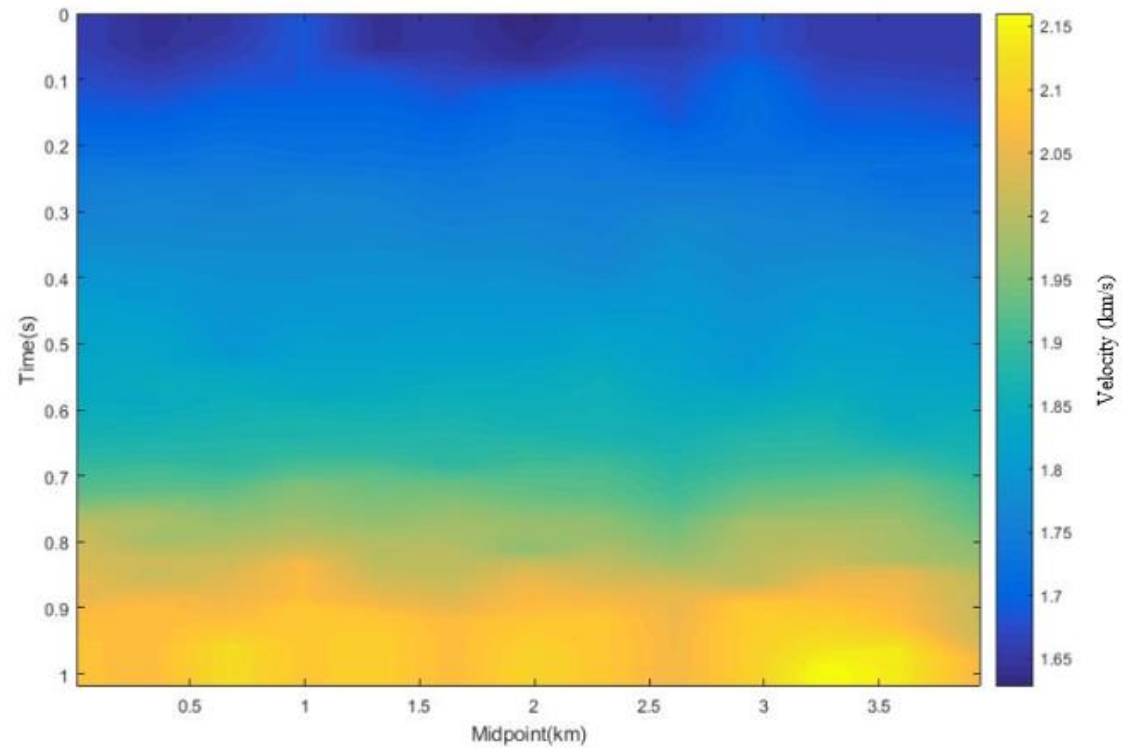


همان گونه که شکل ۴-۱۲ نشان می‌دهد طیف سرعت حاصل از روش شباهت وزن‌دار شده نسبت به طیف سرعت روش شباهت از قدرت تفکیک بالاتری برخوردار است، به گونه‌ای که روش پیشنهادی محدوده احتمالی کوچک‌تری برای انتخاب سرعت صحیح در اختیار قرار داده که می‌توان با دقت و قطعیت بالاتری تابع سرعت را انتخاب کرد. همچنین در طیف سرعت روش شباهت قدرت تفکیک آنومالی‌های سرعت مربوط به چندگانه‌ها در محدوده زمانی  $t = 0.25S$  تا  $t = 0.55S$  پایین است در حالی که در شکل ۴-۱۲ ب روش مورد نظر این آنومالی‌ها را با دقت بیشتری از هم تفکیک کرده است.

شکل ۴-۱۳ الف و ب مدل‌های سرعت RMS کوچ انتخاب‌شده از طیف سرعت هر یک از دو روش مورد بحث را نمایش می‌دهد. هرچند اختلاف چندانی بین این دو مدل مشاهده نمی‌شود، اما مدل سرعت به‌دست آمده از طیف سرعت روش پیشنهادی نسبت به مدل سرعت حاصل از روش شباهت از صحت و اعتبار بالاتری برخوردار است چرا که می‌توان تابع سرعت مربوط به هر یک از رکوردهای تصویر مشترک تصویر مربوطه را با اطمینان بیشتر در محدوده کوچک‌تری از طیف سرعت انتخاب کرد.



(الف)



(ب)

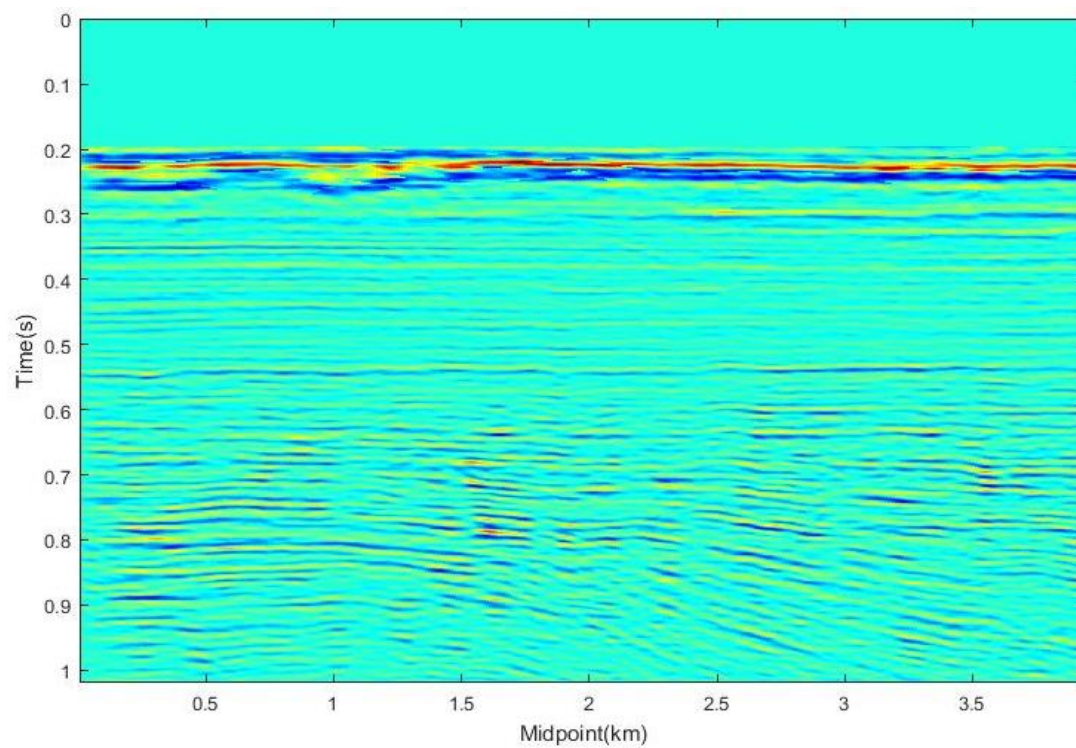
شکل ۴-۱۳: مدل سرعت RMS کوچک انتخاب شده از طیف سرعت حاصل از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده.

#### ۴-۲-۲ تهیه تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش

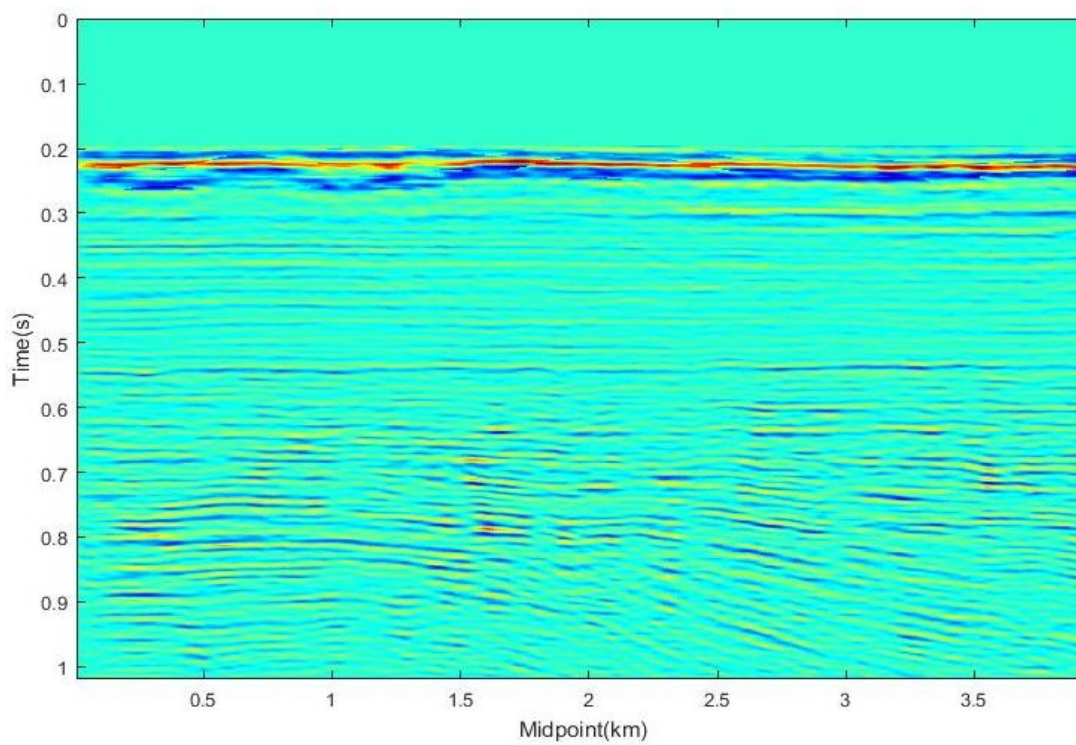
با استفاده از روش پیوستگی سرعت، تصویر لرزه‌ای کوچ یافته زمانی پیش از برانبارش مربوط به هر یک از مدل‌های سرعت شکل ۴-۱۳ الف و ب تولید شده که به ترتیب در شکل ۴-۱۴ الف و ب نشان داده شده است. هر چند تفاوت قابل مشاهده‌ای بین تصاویر کوچ یافته شکل ۴-۱۴ الف و ب وجود ندارد، اما در ادامه مشخص خواهد شد که تصویر به دست آمده با استفاده از مدل سرعت کوچ روش پیشنهادی نسبت به تصویر تولیدی به کمک مدل سرعت روش شباهت مرسوم، خطای (عدم قطعیت) کمتری در تعیین موقعیت افق‌ها و ساختارها به همراه دارد.

#### ۴-۲-۳ تعیین عدم قطعیت (خطا) در تخمین مدل سرعت

همان طور که از شکل ۴-۱۲ الف و ب مشاهده می‌شود در روش پیشنهادی نسبت به روش شباهت، محدوده احتمالی خطا (عدم قطعیت) در انتخاب سرعت کوچک تر است. با در نظر گرفتن محدوده تقریبی خطای (عدم قطعیت) سرعت اطراف مسیر انتخابی بر روی شکل ۴-۱۲ الف و ب، مقادیر عدم قطعیت سرعت مربوط به هر نقطه از مدل سرعت حاصل از روش شباهت و شباهت وزن دار شده با استفاده از رابطه (۳-۷) محاسبه شده و در شکل ۴-۱۵ الف و ب به ترتیب نمایش داده شده است.

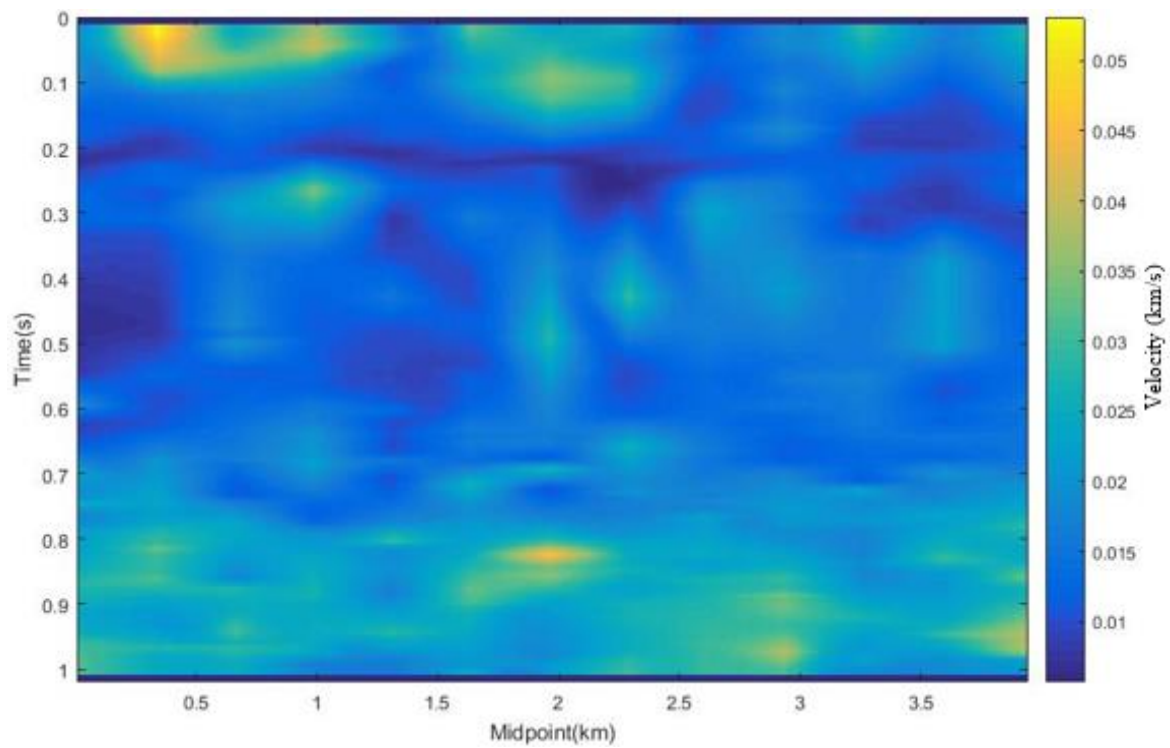


(الف)

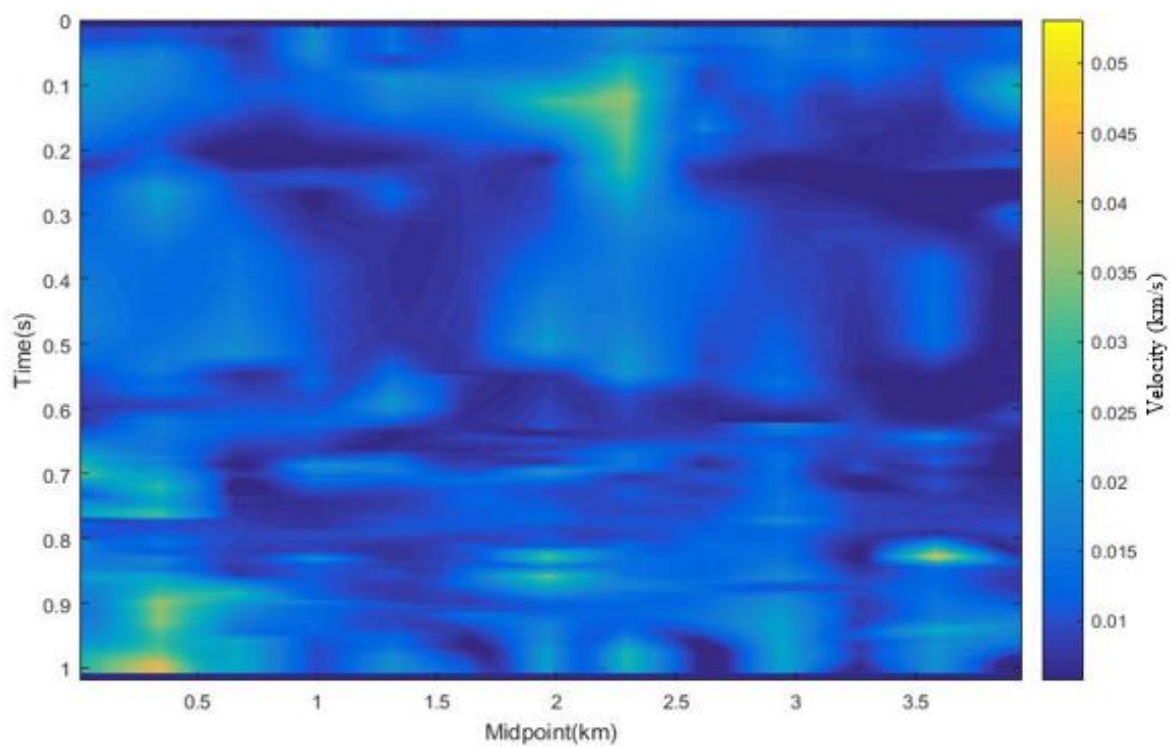


(ب)

شکل ۴-۱۴: نتیجه نهایی فرایند پیوستگی سرعت، تصویر لرزه‌ای کوچ‌یافته زمانی پیش از برآینارش تولیدشده با توجه به مدل سرعت کوچ مربوط به روش الف) شباهت ب) شباهت وزن‌دار شده.



(الف)



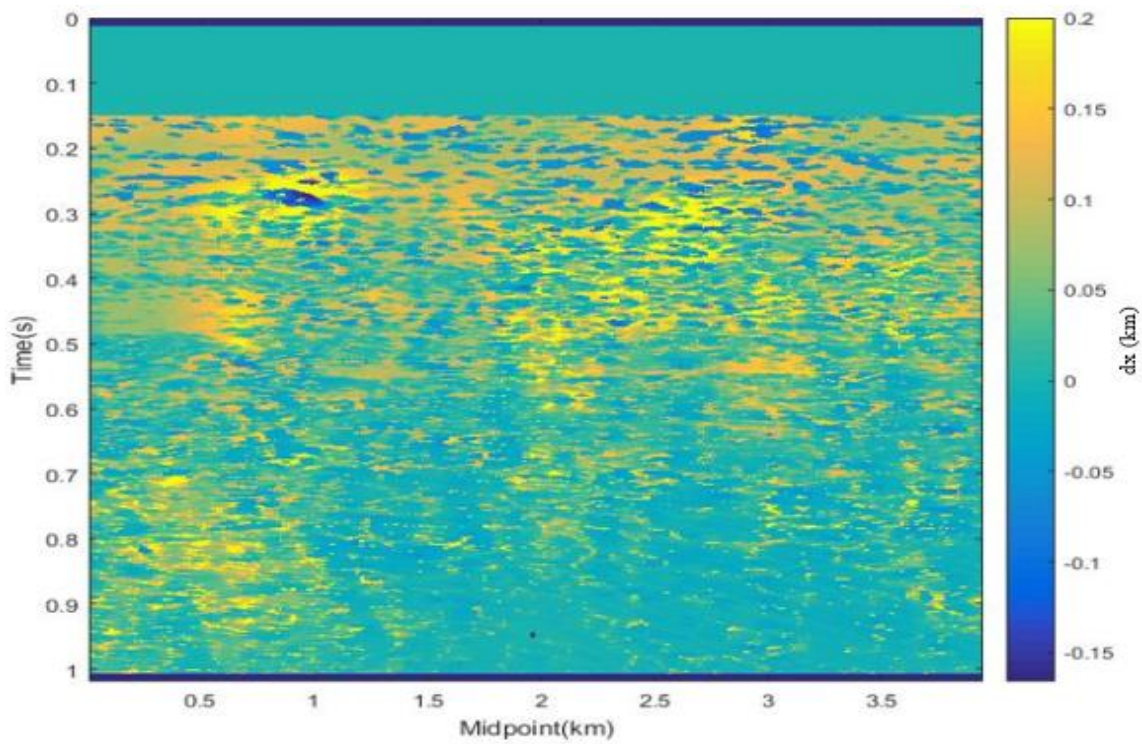
(ب)

شکل ۴-۱۵: مقادیر خطای (عدم قطعیت) مدل سرعت کوچ انتخاب شده از طیف سرعت حاصل از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده.

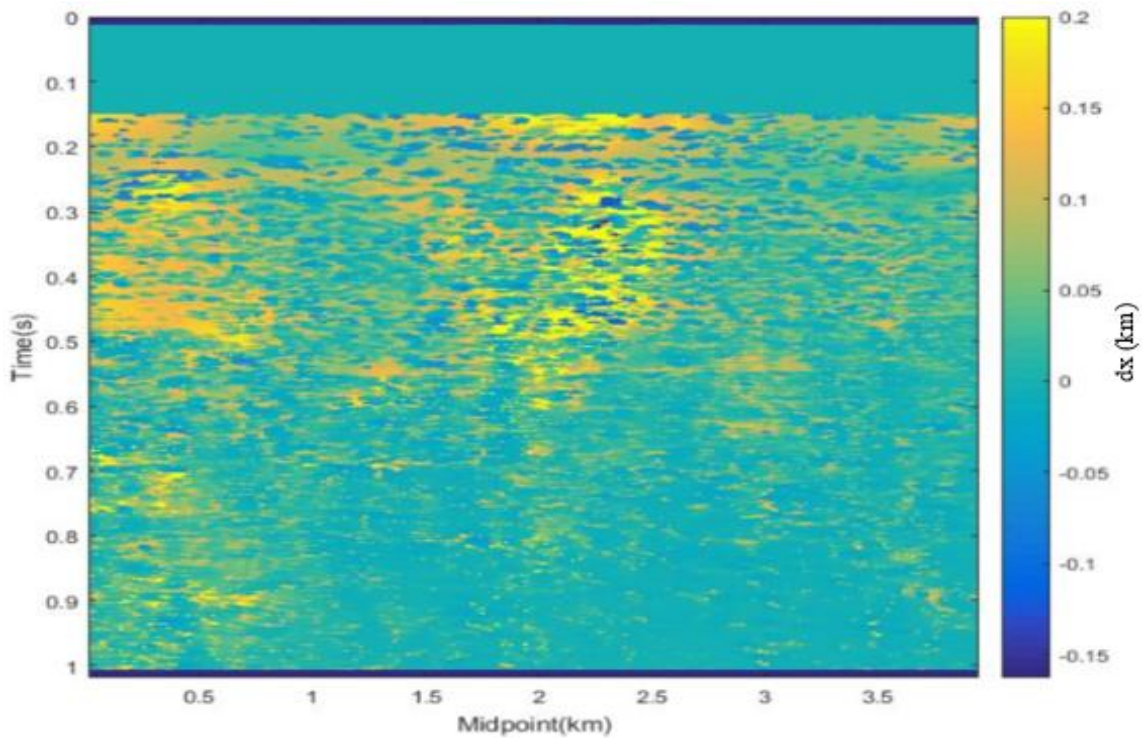
با مقایسه به نقاط نظیر به نظیر در شکل ۴-۱۵ الف و ب می‌توان گفت که در اکثر نقاط، روش پیشنهادی نسبت به روش شباهت مرسوم خطای (عدم قطعیت) به مراتب کم‌تری در انتخاب سرعت مربوطه در پی داشته است که به دلیل قدرت تفکیک بالاتر طیف سرعت روش موردنظر است.

#### ۴-۲-۴ تخمین خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر لرزه‌ای کوچک‌یافته

در نهایت با ضرب مقادیر عدم قطعیت مدل سرعت کوچک در مقادیر حساسیت ساختاری تصویر لرزه‌ای به مدل سرعت در دو راستای موقعیت جانبی و زمانی، مؤلفه‌های افقی و قائم خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه می‌شود. در شکل ۴-۱۶ و شکل ۴-۱۷ مقادیر این خطا به ترتیب در دو راستای موقعیت جانبی و زمانی نشان داده شده است.

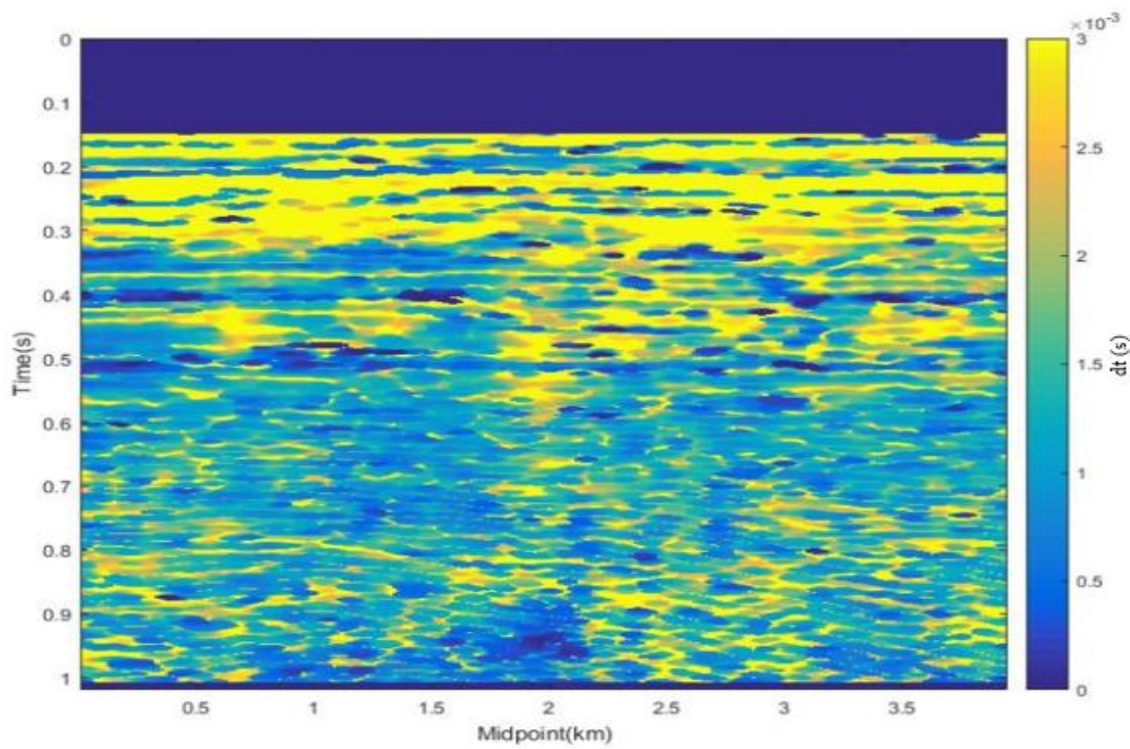


(الف)

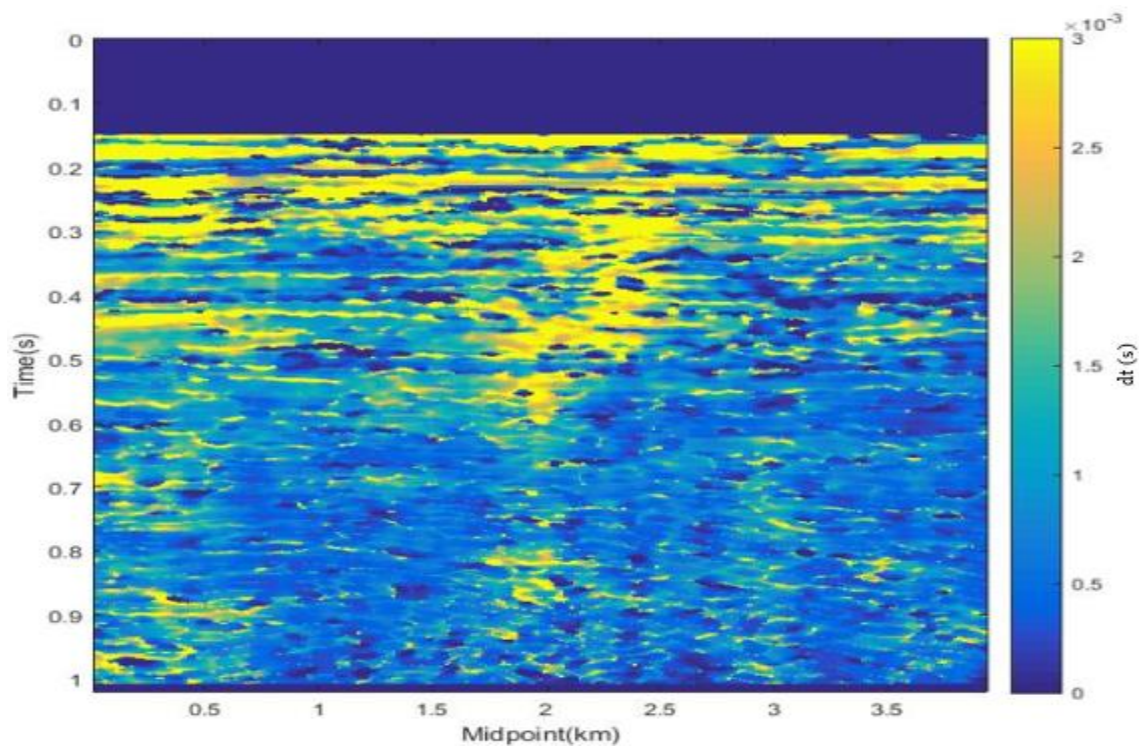


(ب)

شکل ۴-۱۶: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده، در راستای موقعیت جانبی (افقی).



(الف)



(ب)

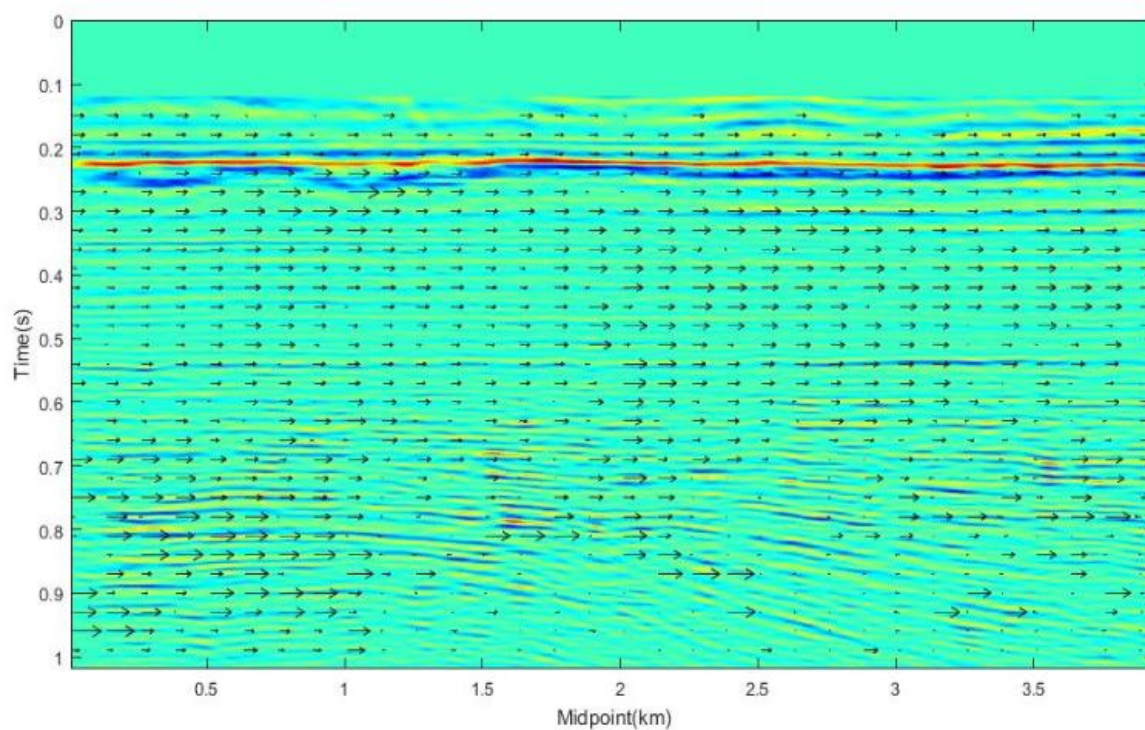
شکل ۴-۱۷: مقادیر خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده به کمک روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن دار شده، در راستای زمان (قائم).



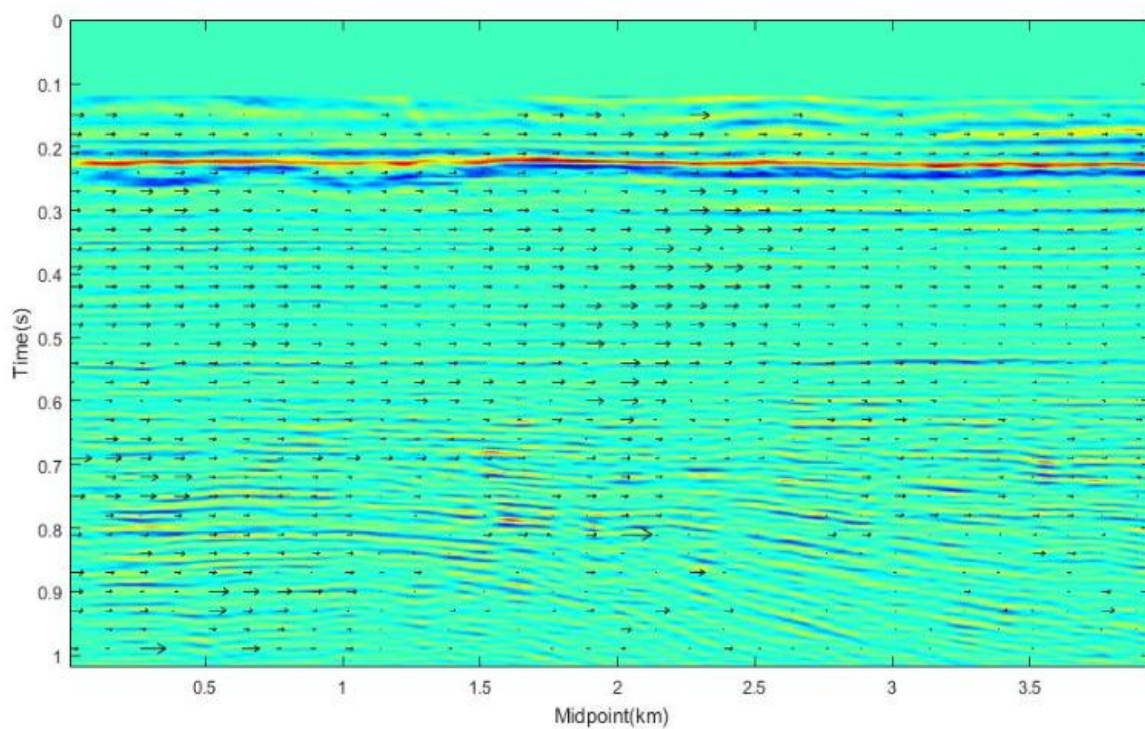
با مقایسه هر یک از نقاط متناظر در تصاویر قسمت الف و ب شکل ۱۶-۴ و شکل ۱۷-۴، می‌توان نتیجه گرفت که در اکثر نقاط، روش شباهت وزن‌دار شده نسبت به روش شباهت در هر دو راستای افقی و قائم خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) کمتری به همراه دارد که این امر ناشی از خطای (عدم قطعیت) کمتر در تخمین مدل سرعت کوچ با استفاده از روش پیشنهادی نسبت به روش شباهت می‌باشد.

شکل ۱۸-۴ الف و ب مؤلفه افقی خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) بر روی هر یک از تصاویر کوچ‌یافته شکل ۱۴-۴ الف و ب را به صورت بردارهای کوچک جابجایی نمایش می‌دهد. در شکل ۱۹-۴ الف و ب نیز مؤلفه قائم این خطا بر روی تصاویر شکل ۱۴-۴ الف و ب به صورت بردارهای کوچک جابجایی نشان داده شده است.

همان‌طور که در تصاویر کوچ‌یافته شکل ۱۸-۴ الف و شکل ۱۹-۴ الف مشاهده می‌شود میزان جابجایی احتمالی افقی و قائم افق‌ها و رویدادها در اثر خطای مدل سرعت کوچ تخمینی به وسیله روش شباهت مرسوم نسبتاً زیاد است در نتیجه تعیین موقعیت افق‌ها و رخدادها از اطمینان و دقت نسبتاً پایینی برخوردار است در حالی که با توجه خطای کمتر مدل سرعت کوچ مربوط به روش شباهت وزن‌دار شده، این روش میزان این جابجایی‌ها را در هر دو راستای افقی و قائم کاهش داده است و از خطا در مکان‌یابی افق‌ها و رخدادها بر روی تصویر مربوطه کاسته است که تصاویر شکل ۱۸-۴ ب و شکل ۱۹-۴ ب بیان‌گر آن است.

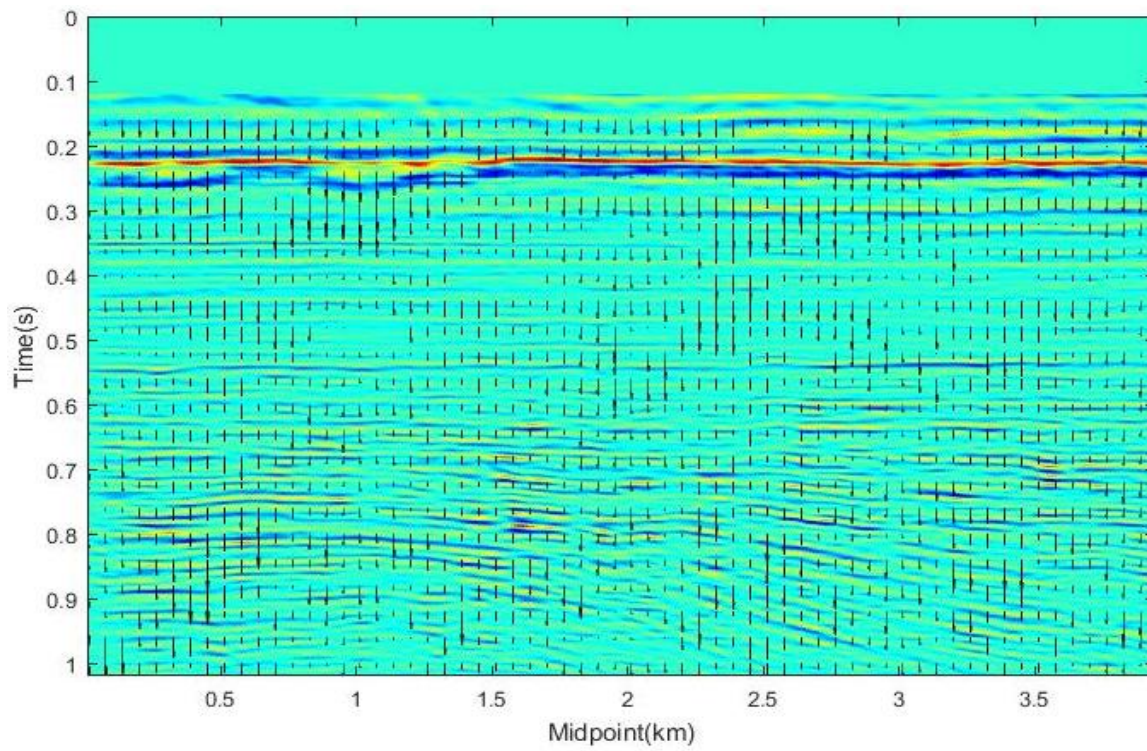


(الف)

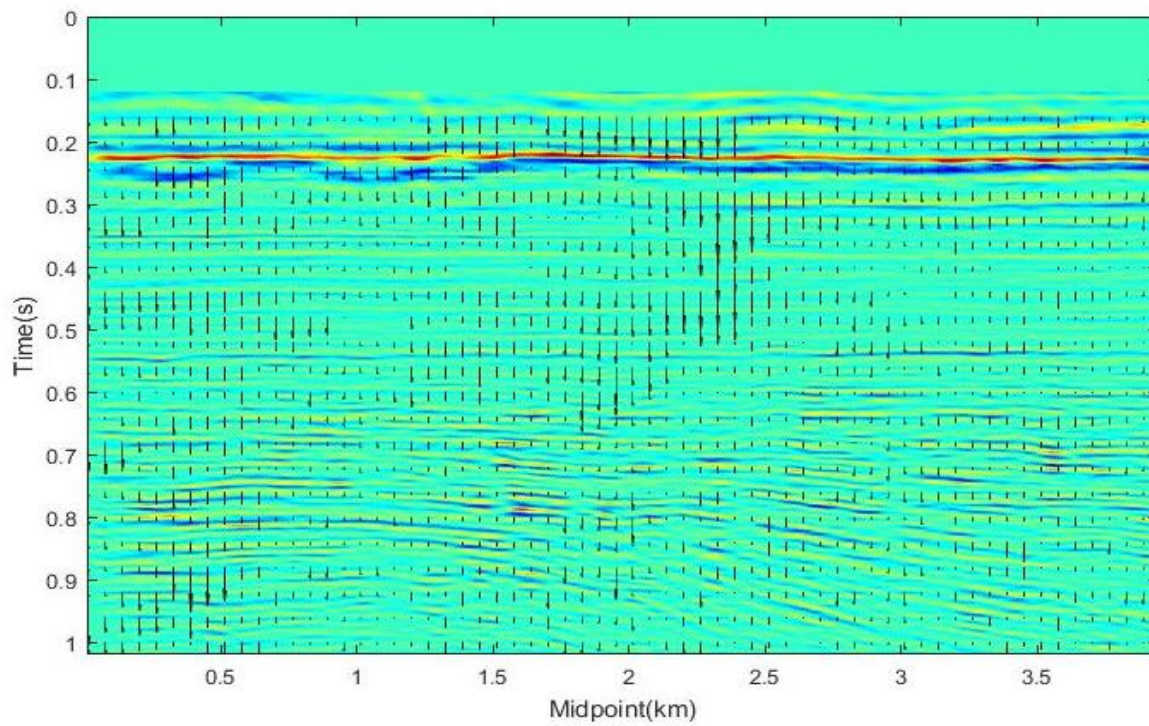


(ب)

شکل ۴-۱۸: مؤلفه افقی خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) تخمینی با استفاده از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن‌دار شده، به صورت بردارهای کوچک جابجایی بر روی تصاویر شکل ۴-۱۴ الف و ب.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۹: مؤلفه قائم خطای مکان‌یابی (عدم قطعیت ساختاری) محاسبه شده با استفاده از روش الف) شباهت مرسوم ب) شباهت وزن‌دار شده، به صورت بردارهای کوچک جایابی بر روی تصاویر شکل ۴-۱۴ الف و ب.

به عبارت دیگر با مقایسه هر یک از این بردارهای متناظر در تصاویر قسمت الف و ب شکل ۴-۱۸ و شکل ۴-۱۹، می توان این چنین گفت که به طور کلی در تصویر کوچ یافته مربوط به روش شباهت وزن دار شده نسبت به روش شباهت در بیشتر نواحی این محدوده ها کوچک تر هستند که به این معناست که در تصویر کوچ یافته مربوط به روش پیشنهادی، افق ها و ساختارها به موقعیت واقعی خود نزدیک تر هستند و تعیین موقعیت آنها با اطمینان و قطعیت بالاتری قابل انجام است که دلیل اصلی این امر خطای کمتر مدل سرعت کوچ مربوط به روش پیشنهادی می باشد.

# فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

## ۵-۱ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه با وزن‌دار کردن روش شباهت مرسوم، روشی جهت محاسبه طیف سرعت کوچ زمانی داده‌های لرزه‌ای بازتابی معرفی شد. نشان داده شد که اگر یک رویداد افقی و همدوس در پنجره تحلیل رکورد تصویر مشترک وجود داشته باشد، مقدار تکین اول نسبت به سایر مقادیر تکین بزرگ‌تر خواهد بود. این حقیقت، مبنای استفاده از تابع وزنی در محاسبه شباهت می‌باشد. با اعمال این تابع وزنی، قدرت تفکیک طیف سرعت هر رکورد تصویر مشترک در راستای محور سرعت افزایش یافت و با انتخاب صحیح‌تر و دقیق‌تر تابع سرعت مربوطه، عدم قطعیت (خطا) در تخمین مدل سرعت کوچ کاهش یافت و به طبع آن از خطای مکانی (عدم قطعیت ساختاری) در تصاویر کوچ‌یافته نیز کاسته گردید. با توجه به اشکال نشان داده شده در فصل قبل نیز می‌توان نتیجه گرفت که روش شباهت وزن‌دار شده توانسته است خطای مکان‌یابی در تصاویر لرزه‌ای را تا حد رضایت بخشی کاهش دهد و به تصاویر کوچ‌یافته با صحت و قطعیت بالاتری دست یابد. به عبارت دیگر می‌توان با استفاده از روش شباهت وزن‌دار شده تصاویر قابل اعتمادتری تولید کرد و با اطمینان بیشتری به نتایج تفسیر ساختاری این تصاویر تکیه کرد.

یکی از عوامل تأثیرگذار بر آنالیز سرعت به روش پیوستگی سرعت، گام افزایش سرعت است که بر میزان قدرت تفکیک طیف سرعت روش شباهت اعمال شده بر آن نیز بسیار مؤثر است. هرچه طول این گام کوچک‌تر انتخاب شود آنالیز سرعت بهتر و دقیق‌تری انجام می‌شود اما این امر نیازمند صرف هزینه و زمان بیشتری جهت انجام محاسبات می‌باشد بنابراین می‌بایست فرایند پیوستگی سرعت با گام افزایش سرعت بهینه انجام شود تا با ممانعت از ایجاد مشکل ذکرشده، آنالیز سرعت مناسبی صورت گیرد و با نزدیک‌تر شدن به سرعت واقعی، بتوان با صحت و دقت هر چه بیشتر مدل سرعت را تعیین کرد. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر میزان کارایی روش پیشنهادی نسبت به روش شباهت مرسوم، تعداد رکوردهای دورافت مشترک داده اولیه جهت آنالیز سرعت کوچ می‌باشد. هر چند که با کاهش دورافت، قدرت تفکیک طیف سرعت نیز

کاهش می‌یابد اما بررسی‌ها نشان داد که برای تعداد رکوردهای دورافت مشترک کمتر، نتایج اعمال روش پیشنهادی تفاوت چشم‌گیرتری با نتایج حاصل از روش شباهت دارد. در حالی که با افزایش تعداد رکوردهای دورافت مشترک، قدرت تفکیک طیف سرعت روش شباهت افزایش یافته و به طیف سرعت روش پیشنهادی نزدیک‌تر می‌شود در نتیجه از تفاوت بین نتایج حاصل از دو روش مورد بررسی کاسته می‌شود.

## ۲-۵ پیشنهادها

محاسبه تجزیه مقادیر تکین فرآیندی زمان‌بر می‌باشد، به همین دلیل پیشنهاد می‌شود که به منظور کاهش هزینه محاسباتی، ابتدا مقادیر ویژه ماتریس همبستگی محاسبه و سپس نسبت مقدار ویژه اول به دوم محاسبه شود.

پیشنهاد می‌شود کارایی روش شباهت وزن‌دار شده، برای آنالیز سرعت کوچ زمانی در مورد کوچ سرعت ثابت رکوردهای تصویر مشترک مورد بررسی قرار گیرد.

همچنین پیشنهاد می‌شود با تبدیل سرعت RMS کوچ زمانی حاصله از روش ارائه‌شده به سرعت بازه‌ای و به کارگیری روش‌های سرعت-پرتو، روش شباهت وزن‌دار شده در آنالیز سرعت کوچ عمقی پیش از برنبارش مورد استفاده قرار گیرد تا میزان تأثیر این روش در کاهش عدم قطعیت سرعت مربوطه و کاهش خطای مکانی بررسی شود.

- [١] Yilmaz Ö. 2001, "Seismic data analysis", vol. 1, Society of exploration geophysicists, pp.271-462.
- [٢] Caers, J., 2011, Modeling uncertainty in the Earth sciences: Wiley.
- [٣] Fomel, S., and E. Landa, 2014, Structural uncertainty of time-migrated seismic images: Journal of Applied Geophysics, 101, 27–30.
- [٤] Taner, M. T., and Koehler, F., 1969, Velocity spectra-digital computer derivation applications of velocity functions: Geophysics, Vol. 34, 859-881.
- [٥] Biondi, B. L., and Kostov, C., 1989, High-resolution velocity spectra using eigenstructure methods: Geophysics, Vol. 54, 832-842.
- [٦] Lerner, K., and Celis, V., 2007, Selective-correlation velocity analysis: Geophysics, Vol. 72, U11-U19.
- [٧] Glogovsky, V., E. Landa, S. Langman, and T. J. Moser, 2009, Validating the velocity mode: the Hamburg Score: First Break, 27, 77–85.
- [٨] Jones I. F. 2010, "An Introduction to Velocity Model Building", EAGE publications bv, PP.1-296.
- [٩] Ebrahimi, S., A. Roshandel Kahoo, M. J. Porsani and A. Nejati Kalateh, 2016 "Obtaining high-resolution velocity spectra using weighted semblance ", " Exploration Geophysics ", EG15100.
- [١٠] Neidell, N. S., and Taner, M. T., 1971, Semblance and other coherency measures for multichannel data: Geophysics, Vol. 36, 482-497.
- [١١] Sacchi, M. D., 1998, A bootstrap procedure for high-resolution velocity analysis: Geophysics, Vol. 63, 1716-1725.
- [١٢] Key, S. C., and Smithson, S. B., 1990, New approach to seismic-reflection event detection and velocity determination: Geophysics, Vol. 55, 1057-1069.
- [١٣] De Vries, D., and Berkhout, A., 1984, Velocity analysis based on minimum entropy:



Geophysics, Vol. 49, 2132-2142.

[۱۴] Sarkar, D., Castagna, J., and Lamb, W., 2001, AVO and velocity analysis: Geophysics, Vol. 66, 1284-1293.

[۱۵] Shuey, R., 1985, A simplification of the Zoeppritz equations: Geophysics, Vol. 50, 609-614.

[۱۶] Roshandel Kahoo, A., Siahkoohi, H. R., and Zabihi Naini, E., 1387, Improving velocity spectra by using singular values decomposition (In persian), 13th Iranian Geophysics Conference, Tehran, Iran.

[۱۷] Fomel, S., 2009, Velocity analysis using AB semblance: Geophysical Prospecting, Vol. 57, 311-321.

[۱۸] Abbad, B., and Ursin, B., 2012, High-resolution bootstrapped differential semblance: Geophysics, Vol. 77, U39-U47.

[۱۹] Luo, S., and Hale, D., 2012, Velocity analysis using weighted semblance: Geophysics, Vol. 77, U15-U22.

[۲۰] Ursin, B., da Silva, M. G., and Porsani, M. J., 2013, Generalized semblance coefficients using singular value decomposition, 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF.

[۲۱] Al Chalabi, M., 1994, Seismic velocities, a critique: First Break, 12, 305–317.

[۲۲] Hajnal, Z., and Sereda, I. T., 1981, Maximum uncertainty of interval velocity estimates: Geophysics, 46, 1543–1547.

[۲۳] O'Brien, J. J., and Lerche, I., 1988, Seismic imaging of deep hydrocarbon reservoirs: Pageoph, 127, 33–61.

[۲۴] Ursin, B., 1981, Error estimates for inverse modeling schemes using seismic traveltimes: Geophysics, 46, 1227–1234.

[۲۵] Duijndam, A., 1988, Bayesian estimation in seismic inversion: Geophys. Prosp., 36, 878–918.

[۲۶] Landa, E., Thore, P., Sorin, V., and Koren, Z., 1991, Interpretation of velocity estimate from coherency inversion: Geophysics, 56, 1377– 1383.

[۲۷] Grubb, H., and Tura, A., 1996, Interpreting uncertainty measures for AVO migration/inversion: 67th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 210–213.

- [٢٨] Thore, P., and Juliard, C., 1999, Fresnel zone effect on seismic velocity resolution: *Geophysics*, 64, 593–603.
- [٢٩] Larner, K., and Cohen, J., 1993, Migration error in transversally isotropic media with linear velocity variation in depth: *Geophysics*, 58, 1454–1467.
- [٣٠] Black, J. L., and Brzostowski, M. A., 1994, Systematics of time migration errors: *Geophysics*, 59, 1419–1435.
- [٣١] Loveridge, M., Parkes, G., and Hatton, L., 1994, Modeling of migration velocity fields and velocity error zones: *First Break*, 5, 281–293.
- [٣٢] Srivastava, R. M., 1992, Reservoir characterization with probability field simulation: SPE Paper 24753.
- [٣٣] Samson, P., Dubrule, O., and Euler, N., 1996, Quantifying the impact of structural uncertainties on gross rock volume estimates: SPE Paper 35535.
- [٣٤] Habrahamsen, P., Omre, H., and Lia, O., 1991, Stochastic models for seismic depth conversion of geological horizons: SPE Paper 23138.
- [٣٥] Thore, P., A. Shtuka, M. A. Lecour, T. Ait-Ettajer, and R. Cognot, 2002, Structural uncertainties: Determination, management, and applications: *Geophysics*, 67, 840–852.
- [٣٦] Pon, S., and L. R. Lines, 2005, Sensitivity analysis of seismic depth migrations: *Geophysics*, 70, S39–S42.
- [٣٧] Chun, J. H., and Jacewitz, C. A., 1981, Fundamentals of frequency domain migration: *Geophysics*, 46, 717–733.
- [٣٨] Tura, A., and C. Hanitzsch, 2001, Estimating and interpreting velocity uncertainty in migrated images and AvO attributes: *Geophysics*, 66, 1208–1216.
- [٣٩] Bube, K. P., J. A. Kane, T. Nemeth, D. Medwedeff, and O. Mikhailov, 2004a, The influence of stacking velocity uncertainties on structural uncertainties: 74th Ann. Internat. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., 2188–2191.
- [٤٠] Bube, K. P., T. Nemeth, O. Mikhailov, D. Medwedeff, and J. A. Kane, 2004b, The influence of uncertainties in anisotropy on structural uncertainties: 74th Ann. Internat. Mtg., Soc. of Expl. Geophys., 2192–2195.
- [٤١] Clapp, R. G. (2001): Multiple realizations: Model variance and data uncertainty, Stanford Exploration Project Report.

- [۴۲] Clapp, R. G. (2003): Multiple realizations and data variance: Successes and failures, Stanford Exploration Project Report.
- [۴۳] Clapp, R. G. (2004): Velocity uncertainty: Non-linearity and the starting guess, Stanford Exploration Project Report.
- [۴۴] Cognot, R., Thore, P., and Haas, A., 1995, Seismic depth estimation, in Harlan, W. S., Ed., Spring Symp. Geophys. Soc. Tulsa: Soc. Expl. Geophys., 18–26.
- [۴۵] Schleicher, J., and R. Biloti, 2007, Dip correction for coherence-based time migration velocity analysis: *Geophysics*, 72, no. 1, S41–S48, doi: 10.1190/1.2400844.
- [۴۶] Santos, H. B., T. A., Coimbra, J., Schleicher, and A., Novais, 2015, Prestack time-migration velocity analysis using remigration trajectories: *Geophysics*, Vol. 80, S151-S163.
- [۴۷] صالح ابراهیمی، ۱۳۹۴، افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت با استفاده از ضرایب وزنی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [۴۸] Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995, *Exploration seismology*, Cambridge university press.
- [۴۹] Strang, G., and Aarikka, K., 1986, *Introduction to applied mathematics*, Wellesley-Cambridge Press Wellesley.
- [۵۰] Laub, A. J., 2005, *Matrix analysis for scientists and engineers*, Siam.
- [۵۱] Yanai, H., Takeuchi, K., and Takane, Y., 2011, *Projection Matrices*, Springer.
- [۵۲] Freire, S. L., and Ulrych, T. J., 1988, Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling: *Geophysics*, Vol. 53, 778-785.
- [۵۳] Scales, J. A., Smith, M. L., and Treitel, S., 2001, *Introductory geophysical inverse theory*, Samizdat Press.
- [۵۴] Bekara, M., and Van der Baan, M., 2007, Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data: *Geophysics*, Vol. 72, V59-V65.
- [۵۵] Lu, W., 2002, Adaptive noise attenuation of seismic image using singular value decomposition and texture direction detection, IEEE International Conference on Image Processing.
- [۵۶] Cary, P., and Zhang, C., 2009, Ground roll attenuation via SVD and adaptive subtraction, CSPG CSEG CWLS Convention.

- [ΔΥ] Porsani, M. J., Silva, M. G., Melo, P. E., and Ursin, B., 2010, SVD filtering applied to ground-roll attenuation: *Journal of Geophysics and Engineering*, Vol. 7, 284-289.
- [ΔΛ] Porsani, M. J., Ursin, B., Silva, M. G., and Melo, P. E., 2013, Dip-adaptive singular-value decomposition filtering for seismic reflection enhancement: *Geophysical Prospecting*, Vol. 61, 42-52.
- [Δϑ] Barros, T., Lopes, R., and Tygel, M., 2015, Implementation aspects of eigendecomposition- based high-resolution velocity spectra: *Geophysical Prospecting*, Vol. 63, 99-115.
- [Ϭ•] Bednar J. B. (2013), “Modeling, Migration and Velocity Analysis in Simple and Complex Structure”, *Panorama Technologies, Inc*, PP.255-258.
- [Ϭρ] Deregowski, S. M., 1990, Common-offset migrations and velocity analysis: *First Break*, 8, no. 6, 224–234.
- [Ϭϲ] Kim, Y. C., Hurt, W. B. J., Maher, L. J., and Starich, P. J., 1997, Hybrid migration: A cost-effective 3-D depth-imaging technique: *Geophysics*, 62, 568–576.
- [Ϭϳ] Fomel, S., 2003a, Time migration velocity analysis by velocity continuation: *Geophysics*, 68, 1662–1672, doi: 10.1190/1.1620640.
- [Ϭϴ] Hubral, P., M. Tygel, and J. Schleicher, 1996, Seismic image waves: *Geophysical Journal International*, 125, 431–442.
- [Ϭϵ] Schleicher, J., Hubral, P., Hocht, G., and Liptow, F., 1997, Seismic constant-velocity remigration: *Geophysics*, 62, 589–597
- [ϬϦ] Fomel, S. B., 1994, Method of velocity continuation in the problem of temporal seismic migration: *Russian Geology and Geophysics*, 35, no. 5, 100–111.
- [Ϭϧ] Fomel, S. B., 1997, Velocity continuation and the anatomy of residual prestack migration: 67th Ann. Internat. Meeting, Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1762–1765.
- [ϬϨ] Fomel, S. B., 2003, Velocity continuation and the anatomy of residual prestack time migration: *Geophysics*: 68, 1650–1661.
- [Ϭϩ] Rocca, F., and L. Salvador, 1982, Residual migration: 52nd Ann. Internat. Mtg, Soc. of Expl. Geophys., Session:S1.4.
- [Υ•] Rothman, D. H., S. A. Levin, and F. Rocca, 1985, Residual migration – Applications and limitations: *Geophysics*, 50, 110–126.

- [٧١] Lerner, K., and C. Beasley, 1987, Cascaded migrations - Improving the accuracy of finite-difference migration: *Geophysics*, 52, 618–643. (Errata in GEO-52-8-1165).
- [٧٢] Yilmaz, O., I. Tanir, and C. Gregory, 2001, A unified 3-D seismic workflow: *Geophysics*, 66, 1699–1713.
- [٧٣] Adler, F., 2002, Kirchhoff image propagation: *Geophysics*, 67, 126–134.
- [٧٤] Iversen, E., 2006, Velocity rays for heterogeneous anisotropic media: Theory and implementation: *Geophysics*, 71, T117–T127.
- [٧٥] Duchkov, A. A., and M. V. De Hoop, 2009, Velocity continuation in the downward continuation approach to seismic imaging: *Geophysical Journal International*, 176, 909–924.
- [٧٦] Zhang L. (1989) “Migration under velocity uncertainty” SEP report 60., pp 179-186, *Geophysics* ", EG15100.
- [٧٧] Suzuki, S., 2007, Integrated evaluation of structural uncertainty using history matching from seismic imaging uncertainty model. Doctoral dissertation, Department of energy resources engineering, Stanford University.



## **Abstract**

Structural interpretation on seismic images with low resolution is always accompanied by high uncertainty in positioning reflectors and focusing structures in their correct places. This uncertainty results in inaccurate geological interpretation and misunderstanding in subsurface geological model evaluation. Thus, reducing geological interpretation uncertainties is among advanced researches in seismic imaging. The main source of introducing uncertainty in seismic imaging comes from structural complexity of wave propagation media and lateral changes in velocity. Accurate positioning of reflectors and their dips strongly depends on the accuracy and precision of the used velocity model through seismic imaging. Interpretation studies have shown that even slight complexity in geological structure and mild lateral velocity change will result in large positioning and focusing error. Therefore it is required to apply a robust velocity model updating scheme in seismic imaging procedure. Among common methods for velocity analysis, the semblance analysis is known as the most common coherence measure with poor resolution due to its low sensitivity to velocity changes. However, its resolution could be increased by adding a special term to its semblance equation to increase its sensitivity to velocity changes. In this study, the weighted semblance method was selected for improving resolution of the velocity spectrum. It was used for weighting the common semblance method for time migration velocity analysis. To increase resolution of time migration velocity spectra that was generated by semblance method, we added weighting function based on first to second singular values ratio of time analysis window to the semblance equation. This weighting function enhances resolution of migration velocity spectra in velocity direction. The proposed strategy was applied on a marine data to investigate its efficiency in reducing structural uncertainty and positioning error. Results in the first steps have shown that the velocity resolution was increased in velocity spectra. Obtained velocity model then was used for time migration. Subsequently, by calculating uncertainty in velocity model estimation and structural sensitivity of time-migrated image on velocity model, positioning error of reflectors and focusing uncertainty of geological structures were defined. Results of application the proposed method in comparison with results of common semblance method reveals that positioning errors in migrated seismic images were decreased due to increasing in resolution of time migration velocity spectra.

## **Key words:**

Positioning error, Structural uncertainty, Time migration velocity analysis, Weighted semblance, Weighted function, Singular value.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering**

**M.Sc. Thesis in Exploration Seismology**

**Investigation on decreasing positioning error in time  
migration by increasing resolution in velocity model**

**Mostafa Rezaei**

**Supervisors:**

**Dr. Amin Roshandel Kahoo**

**Dr. Mehrdad Soleimani Monfared**

**February 2018**