





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت با استفاده از ضرایب وزنی

صالح ابراهیمی

اساتید راهنما :

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر علی نجاتی کلاته

آذرماه ۱۳۹۴

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 فرو می رود مدحیات است و چون بر می آید مفرح ذات. پس در هر نفس دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی شکری 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 استاد گرامی جناب آقای دکتر امین روشندل کاهو کمال سپاس و شکر 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 جناب آقای دکتر علی نجابی کلاته که استاد راهنمای دوم این پایان نامه را به عهده داشتند شکر و

قدردانی می کنم. از اساتید داور جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر مهرداد سلیمانی متقدرد که با پیشنهادات سازنده خود، باعث افزایش سطح کیفی این پایان نامه شدند کمال شکر را دارم.

در پایان از تمام دوستان عزیزم که در طول این دوره تحصیلی همواره باعث دلگرمی و آرامش خاطر من بودند و در تمام این مدت مرا همراهی کردند صمیمانه شکر و سپاس گزاری می کنم.

تعهد نامه

اینجانب **صالح ابراهیمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک - گرایش لرزه‌شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت با استفاده از ضرایب وزنی تحت راهنمایی دکتر امین روشندل کاهو و دکتر علی نجاتی** کلاً 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 (یا 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

نتیجه فرآیندهای پردازشی بعد از برانبارش و تصویرسازی داده‌های لرزه‌ای بازتابی وابستگی شدیدی به کیفیت مقطع برانبارش شده که تقریبی از مقطع دورافت صفر می‌باشد، دارد. برای رسیدن به چنین مقطعی، رکورد نقطه میانی مشترک باید توسط یک مدل سرعت ایده‌آل برانبارش شود. بنابراین انتخاب مدل سرعت، یکی از موضوع‌های اساسی و مهم در مرحله پردازش داده‌های لرزه‌ای است. در میان روش‌های معمول آنالیز سرعت، روش شباهت به عنوان معمول‌ترین روش محاسبه همدوسی، قدرت تفکیک پایینی دارد. افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت روش شباهت، باعث افزایش دقت در تخمین سرعت، جهت انجام تصحیح NMO و برانبارش خواهد شد. قدرت تفکیک پایین روش شباهت ناشی از حساسیت کم این روش به تغییرات سرعت است. بنابراین با اضافه کردن جملاتی به روش شباهت که حساسیت زیادی به تغییرات در راستای محور سرعت و زمان داشته باشند، می‌توان قدرت تفکیک طیف سرعت را بالا برد.

در این پایان‌نامه روش جدیدی جهت وزن‌دار کردن روش شباهت مرسوم که تضمین‌کننده قدرت تفکیک بالا در محاسبه طیف سرعت است، ارائه می‌شود. جهت افزایش قدرت تفکیک روش شباهت، دو تابع وزنی جدید بر اساس نسبت مقدار تکین اول به دوم پنجره تحلیل و موقعیت قرارگیری موجک لرزه‌ای درون این پنجره، به معادله شباهت اضافه گردید. این دو تابع وزنی به ترتیب، باعث افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور سرعت و زمان خواهند شد.

یکی دیگر از مشکلات قابل توجه روش شباهت، در داده‌های حاوی آنومالی نوع دوم AVO ایجاد می‌شود که باعث ایجاد تغییرات شدید در پلاریته داده‌ها می‌شود. در چنین شرایطی ممکن است که در طیف سرعت حاصل، برای رویداد بازتابی مذکور، هیچ آنومالی سرعتی وجود نداشته باشد. روش شباهت

مبتنی بر روند (AB semblance) برای رفع این مشکل مطرح گردید که مشکل قدرت تفکیک در آن بیشتر از شباهت معمول بود. بر همین مبنا، توابع وزنی معرفی شده بر روی روش شباهت مبتنی بر روند نیز اعمال گردید تا علاوه بر حل مشکل تغییرات شدید پلاریته، قدرت تفکیک نیز افزایش یابد. نتایج حاصل از اعمال این روش نشان دادند که روش شباهت وزن دار شده قدرت تفکیک به مراتب بالاتری نسبت به روش شباهت مرسوم دارد و در مواردی که آنومالی های سرعت در طیف سرعت روش شباهت ادغام می شوند، قادر به تفکیک آنها از یکدیگر خواهد بود. این روش همچنین در حضور مقادیر بالای نوفه و رویدادهایی با تداخل بسیار بالا عملکرد خوبی از خود نشان می دهد و در شرایط وجود آنومالی نوع دوم AVO نیز قادر به شناسایی و تعیین سرعت برای این رویداد می باشد.

واژه های کلیدی

آنالیز سرعت داده های لرزه ای، شباهت وزن دار شده، تجزیه مقادیر تکین، AB semblance، توابع وزنی.

مقالات مستخرج از پایان نامه

S. Ebrahimi, A. Roshandel Kahoo, M. J. Porsani and A. Nejati Kalateh, " High resolution velocity spectra using weighted semblance", " **Exploration Geophysics** ", EG15100, revised.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه.....	۱
۱-۱ تعریف مسأله.....	۲
۲-۱ اهداف و ضرورت انجام تحقیق.....	۳
۳-۱ سابقه و مروری بر کارهای انجام شده.....	۶
۴-۱ روش انجام تحقیق.....	۸
۵-۱ ساختار پایان نامه.....	۱۰
فصل دوم: تئوری و مروری بر روش‌های معمول آنالیز سرعت.....	۱۳
۱-۲ مقدمه.....	۱۴
۲-۲ برونراند نرمال.....	۱۷
۳-۲ روش‌های متداول تحلیل سرعت بر مبنای تصحیح برونراند نرمال.....	۲۲
۱-۳-۲ روش $t^2 - x^2$	۲۲
۲-۳-۲ اسکن سرعت ثابت.....	۲۳
۳-۳-۲ برانبارش سرعت ثابت (CVS).....	۲۴
۴-۲ طیف سرعت.....	۲۵

۲-۵	فاکتورهای مؤثر بر محاسبه طیف سرعت	۲۹
۲-۵-۱	طول دورافت	۲۹
۲-۵-۲	مقدار فولد	۳۰
۲-۵-۳	نسبت سیگنال به نوفه	۳۱
۲-۵-۴	حذف	۳۲
۲-۵-۵	طول پنجره تحلیل زمانی	۳۲
۲-۵-۶	سایر عوامل	۳۳
۲-۶	آنالیز سرعت در حضور آنومالی AVO	۳۴
۲-۶-۱	روش AB semblance	۳۷
فصل سوم:	توابع وزنی و طیف سرعت وزن دار شده	۴۱
۳-۱	تجزیه مقادیر تکین	۴۲
۳-۲	شباهت وزن دار شده	۴۵
۳-۲-۱	توابع وزنی	۴۶
۳-۲-۱-۱	افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور سرعت	۴۶
۳-۲-۱-۲	افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور زمان	۵۴
فصل چهارم :	اعمال الگوریتم بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی	۶۱

۴-۱	مثال اول: لایه نازک و چندگانه‌ها.....	۶۲
۴-۲	پایداری روش در حضور نوفه.....	۶۳
۴-۳	مثال دوم: کارآیی روش شباهت وزن دار شده در حضور رویدادهایی با تداخل بسیار بالا.....	۶۴
۴-۴	تصحیح برونراند نرمال با مدل سرعت به دست آمده.....	۶۷
۴-۵	آنالیز سرعت در حضور آنومالی AVO.....	۷۰
۴-۶	داده واقعی بدون آنومالی AVO.....	۷۱
۴-۷	داده واقعی در حضور آنومالی AVO.....	۷۲
۷۵	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات.....	
۵-۱	نتیجه گیری.....	۷۶
۵-۲	پیشنهادهات.....	۷۷
۷۸	مراجع.....	

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ تغییرات سرعت در سنگ‌شناسی‌های مختلف..... ۱۴
- شکل ۲-۲ مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای..... ۱۶
- شکل ۳-۲ (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..... ۱۷
- شکل ۴-۲ مدل زمین تک لایه..... ۱۸
- شکل ۵-۲ (الف) 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..... ۲۰
- شکل ۶-۲ مدل زمین چند لایه که سرعت در هر لایه ثابت فرض شده است..... ۲۰
- شکل ۷-۲ مدل زمین تک لایه شبیدار..... ۲۱
- شکل ۸-۲ مدل زمین چندلایه شبیدار با شیب‌های دلخواه..... ۲۱
- شکل ۹-۲ محاسبه سرعت بازتابنده‌ها با روش $t^2 - x^2$. (الف) CMP مصنوعی. (ب) نمودار بازتابنده‌ها در صفحه $t^2 - x^2$ و تخمین سرعت آنها..... ۲۳
- شکل ۱۰-۲ تخمین سرعت بازتابنده‌ها با روش اسکن سرعت ثابت. (الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. اعمال تصحیح برونراند نرمال با سرعت‌های (ب) ۷۰۰ (ج) ۷۵۰ (د) ۸۰۰ (ه) ۸۵۰ (و) ۹۰۰ (ز) ۹۵۰ (ح) ۱۰۰۰ (ط) ۱۰۵۰ (ی) ۱۱۰۰ متر بر ثانیه..... ۲۴
- شکل ۱۱-۲ آنالیز سرعت با استفاده از روش CVS در یک بازه سرعت بین ۵۰۰۰ تا ۱۳۶۰۰ فوت بر ثانیه..... ۲۵

شکل ۲-۱۲ الف) CMP مصنوعی مربوط به زمین تک لایه با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. ب) طیف سرعت به دست آمده برای تعیین سرعت تشکیل هذلولی زمان - سیر..... ۲۶

شکل ۲-۱۳ پنجره تحلیل زمانی جهت محاسبه معیار شباهت..... ۲۷

شکل ۲-۱۴ پنجره های تحلیل با طول ۲۷ نمونه زمانی برای رویداد بازتابی شکل ۲-۱۲ الف به ازای سرعت های الف) ۸۰۰ ب) ۹۰۰ ج) ۱۰۰۰ د) ۱۱۰۰ و ه) ۱۲۰۰ متر بر ثانیه..... ۲۹

شکل ۲-۱۵ تاثیر کاهش طول دورافت بر طیف سرعت. الف) CMP مصنوعی با طول دورافت برابر ۱۲۰۰ متر. ب) طیف سرعت حاصله برای شکل الف. ج) CMP مصنوعی با طول دورافت ۶۰۰ متر. د) طیف سرعت به دست آمده برای شکل ج..... ۳۰

شکل ۲-۱۶ تاثیر کاهش فولد بر آنومالی های طیف سرعت. الف) CMP مصنوعی با فولد ۵۲. ب) طیف سرعت به دست آمده برای شکل الف. ج) CMP مصنوعی با فولد ۱۲. د) طیف سرعت به دست آمده برای شکل ج..... ۳۱

شکل ۲-۱۷ تاثیر 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..... ۳۲

شکل ۲-۱۸ تاثیر 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..... ۳۳

شکل ۲-۱۹ برخورد موج تابشی P به مرز بین دو محیط جامد و تولید امواج انعکاسی و انتقالی..... ۳۵

شکل ۲-۲۰ طبقه بندی گروه های مختلف AVO..... ۳۶

شکل ۳-۱ الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد کاملاً همدوس. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی بالا. ج) بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول..... ۴۴

شکل ۲-۳ الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد با همدوسی نسبتاً بالا. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی نسبتاً بالا. ج) بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول..... ۴۴

شکل ۳-۳ 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..... ۴۵

شکل ۴-۳ الف) رکورد CMP مصنوعی مربوط به زمین تک لایه با سرعت ۳۰۰۰ متر بر ثانیه. پنجره تحلیل به ازای سرعت‌های ب) ۲۹۵۰ متر بر ثانیه، ج) ۲۹۹۰ متر بر ثانیه، د) ۳۰۰۰ متر بر ثانیه، ه) ۳۰۱۰ متر بر ثانیه، و) ۳۰۵۰ متر بر ثانیه..... ۴۷

شکل ۵-۳ نمودار مقدار شباهت به همراه مقادیر نسبت تکین اول به دوم به ازای سرعت‌های مختلف مربوط به شکل ۴-۳..... ۴۹

شکل ۶-۳ طیف سرعت محاسبه شده مربوط به شکل ۴-۳ با استفاده از الف) روش شباهت ب) شباهت وزن دار شده با استفاده از نسبت σ_1/σ_2 ۵۰

شکل ۷-۳ الف) CMP مصنوعی شامل دو بازتابنده با دامنه‌های متفاوت. ب) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت. ج) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزن دار شده..... ۵۱

شکل ۸-۳ نمودار تابع وزنی W_{svd} برای مقادیر مختلف b و مقدار $a = 8$ ۵۲

شکل ۹-۳ نمودار تابع وزنی W_{svd} برای مقادیر مختلف a و مقدار $b = 2$ ۵۲

شکل ۱۰-۳ محاسبه طیف سرعت CMP شکل ۷-۳ الف با استفاده از رابطه (۳-۳)..... ۵۳

شکل ۱۱-۳ تأثیر پارامتر b بر قدرت تفکیک طیف سرعت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $b = 0.5$ ج) $b = 2$ و د) $b = 5$ ۵۴

شکل ۳-۱۲ تأثیر پارامتر a بر قدرت تفکیک طیف سرعت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $a = 0.5$ (ج) $a = 1$ و د) $a = 5$ ۵۴

شکل ۳-۱۳ الف) CMP مصنوعی. پنجره تحلیل به ازای سرعت‌ها و زمان - رسیدهای دورافت صفر ب) ۲۹۷۰ متر بر ثانیه و ۱/۰۲ ثانیه. ج) ۳۰۰۰ متر بر ثانیه و ۱ ثانیه. د) ۳۰۳۰ متر بر ثانیه و ۰/۹۸ ثانیه... ۵۵

شکل ۳-۱۴ تابع وزنی مورد استفاده جهت افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور زمان... ۵۶

شکل ۳-۱۵ تأثیر پارامتر b بر قدرت تفکیک طیف سرعت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $b = 0.5$ (ج) $b = 1$ و د) $b = 3$ ۵۷

شکل ۳-۱۶ تأثیر پارامتر a بر قدرت تفکیک طیف سرعت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $a = 0.5$ (ج) $a = 1$ و د) $a = 3$ ۵۷

شکل ۳-۱۷ طیف سرعت محاسبه شده مربوط به شکل ۳-۴ الف با روش الف) شباهت ب) شباهت وزن‌دار شده با استفاده از رابطه (۳-۳) ج) شباهت وزن‌دار شده با استفاده از روابط (۳-۳) و (۴-۳) ۵۸

شکل ۴-۱ الف) CMP مصنوعی شامل چندگانه‌ها و لایه نازک. ب) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت. ج) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزن‌دار شده... ۶۲

شکل ۴-۲ الف) CMP نویزی شده. ب) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت. ج) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزن‌دار شده... ۶۴

شکل ۴-۳ الف) CMP مصنوعی متشکل از دو بازتابنده با تداخل بالا. طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش ب) شباهت ج) شباهت وزن‌دار شده... ۶۵

شکل ۴-۴ الف) CMP مصنوعی د بردارنده دو بازتاب با تداخل بالا. طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش ب) شباهت ج) شباهت وزن‌دار شده... ۶۷

شکل ۴-۵ الف) CMP مصنوعی در بردارنده سه لایه نازک. ب) طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از

روش شباهت وزن دار شده ج) CMP بعد از تصحیح برونراند نرمال با استفاده از سرعت های به دست آمده.

د) CMP برانبارش شده..... ۶۸

شکل ۴-۶ نمودار همدوسی در برابر زمان مربوط به شکل ۴-۵ الف (خط مشکی مربوط به روش شباهت

وزن دار شده و خط چین آبی مربوط به روش شباهت می باشد)..... ۶۹

شکل ۴-۷ الف) نمودار سرعت بازه ای مرتبط با شکل ۴-۵ ب) نمودار سرعت RMS..... ۶۹

شکل ۴-۸ الف) داده مصنوعی شامل آنومالی نوع دوم AVO و لایه نازک. طیف سرعت به دست آمده با

استفاده از روش ب) شباهت. ج) روش AB semblance. د) روش AB semblance وزن دار شده..... ۷۱

شکل ۴-۹ محاسبه طیف سرعت مربوط به داده واقعی. الف) CMP واقعی برداشت شده در شمال شرق

برزیل. طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش ب) شباهت. ج) شباهت وزن دار شده..... ۷۲

شکل ۴-۱۰ الف) رکورد نقطه میانی مشترک واقعی مربوط به خلیج مکزیک. طیف سرعت حاصله با استفاده

از روش ب) شباهت. ج) AB semblance و د) AB semblance وزن دار شده..... ۷۳

فهرست جداول

جدول ۱-۲	مقادیر شباهت مرتبط با پنجره‌های تحلیل تولیدشده در شکل ۱۴-۲	۲۸
جدول ۱-۳	مقادیر شباهت و نسبت مقدار تکین اول به دوم مرتبط با پنجره‌های تحلیل شکل ۱۴-۳	۴۸
جدول ۱-۴	پارامترهای زمان - رسید جهت ساخت CMP مصنوعی	۶۶

فصل اول: مقدمه

۱-۱ تعریف مسأله

امروزه استفاده از امواج لرزه‌ای و پردازش و تفسیر داده‌های حاصل از آن، روش کارآمدی جهت تعیین لایه‌ها و ساختارهای زیر سطحی و شناسایی مخازن هیدروکربنی می‌باشد. این امواج پس از بازتاب از لایه‌ها و ساختارهای زیرسطحی توسط گیرنده‌ها در سطح زمین ثبت می‌شوند. امواج دریافتی حاوی اطلاعات مهمی از ساختارهای زیرسطحی هستند که با پردازش صحیح این داده‌ها می‌توان اطلاعات با ارزشی به دست آورد. یکی از مراحل کلیدی و مهم در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی، آنالیز سرعت می‌باشد. تانر و کوهرل^۱ [۱] بیان کردند که آنالیز سرعت ابزار قدرتمندی برای تشخیص بازتاب‌های اولیه^۲ و تعیین سرعت برانبارش داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. بسیاری از مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای به شکلی مستقیم و یا غیرمستقیم متأثر از کیفیت طیف سرعت^۳ به دست‌آمده حاصل از آنالیز سرعت می‌باشند.

ساختن مدل سرعت^۴ یکی از موضوع‌های مهم و اساسی در ژئوفیزیک اکتشافی است. در حالت کلی، به دو شیوه مستقیم (استفاده از نگارهای صوتی در عملیات چاه‌نگاری به منظور محاسبه مدل سرعت به عنوان تابعی از عمق) و غیرمستقیم (استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری) می‌توان سرعت رویدادهای زیرسطحی را تعیین کرد. از آنجایی که تعیین سرعت لایه‌های زیر سطحی با روش مستقیم هزینه‌بر و مشکل است و نیاز به وجود گمانه یا چاه و صرف زمان زیادی برای انجام دارد، روش‌های غیر مستقیم مثل تحلیل سرعت داده‌های لرزه‌ای که می‌تواند تخمین نسبتاً دقیقی از سرعت بازتابنده‌ها به دست آورد، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماسدو^۵ و همکاران [۲] عنوان کردند که روش‌هایی همانند تصحیح برونراند نرمال^۶، برانبارش^۷

1-Taner and Kohler

2-Primary reflections

3-Velocity spectra

4-Velocity model building

5-Macedo

6-Normal moveout correction

7-Stacking

و آنالیز سرعت که از رکوردهای نقطه میانی مشترک^۱ استفاده می‌کنند، هسته اصلی فرآیندهای پردازشی می‌باشند، زیرا این روش‌ها در واقع تغذیه‌کننده و ورودی فرآیندهای مهمی مثل کوچ^۲ و وارون‌سازی^۳ داده‌های لرزه‌ای هستند.

۲-۱ اهداف و ضرورت انجام تحقیق

ضرورت تصحیح برونراند نرمال و نبود اطلاعات در مورد سرعت بازتاب‌های لرزه‌ای و تعیین دقیق مکان و شیب لایه‌ها از جمله مهمترین دلایلی هستند که ما را نیازمند تحلیل سرعت بر روی داده‌های لرزه‌ای می‌کنند. سرعت‌های به دست آمده از تحلیل سرعت برای به خط کردن رویدادهای بازتابی و برانبارش ردلرزه‌ها در رکورد نقطه میانی مشترک به کار برده می‌شوند. بنابراین ضرورت یک برانبارش مناسب و مقطع لرزه‌ای با کیفیت خوب، به دست آوردن یک تابع سرعت دقیق می‌باشد. در مرحله کوچ داده‌های لرزه‌ای در اختیار داشتن یک مدل سرعت دقیق الزامی می‌باشد. در هر دو مرحله کوچ زمانی و عمقی نیاز به یک مدل سرعت است با این تفاوت که در کوچ زمانی از تغییرات جانبی سرعت صرف نظر می‌شود ولی در کوچ عمقی این محدودیت برطرف می‌شود. در واقع در کوچ عمقی رویدادها در موقعیت اصلی خودشان قرار خواهند گرفت [۳]. یکی دیگر از موارد اهمیت آنالیز سرعت، تبدیل مقاطع زمانی به عمقی است. هدف نهایی از پردازش داده‌های لرزه‌ای به دست آوردن تصویر عمقی دقیق و درست از لایه‌ها و ساختارهای زیر سطحی می‌باشد. در مرحله برداشت، داده‌های لرزه‌ای به صورت زمانی ثبت می‌شوند و در نتیجه داده‌ها در یک ماتریس لرزه‌ای بر اساس زمان رسید امواج و فاصله بین گیرنده‌ها از منبع انرژی مرتب می‌شوند. در مرحله تفسیر داده‌های لرزه‌ای، یک جدول دو ستونه شامل سرسازند یا ساختارهای لرزه‌ای در مقابل عمق ضروری می‌باشد. مدل سرعت ارتباط بین مقطع زمانی و عمقی را فراهم می‌آورد. به همین جهت تفسیر بر روی

1-Common mid-point gather

2-Migration

3-Inversion

مقاطع عمقی با احتیاط و دقت بیشتری باید انجام شود، زیرا این مقاطع وابستگی شدیدی به مدل سرعت انتخابی دارند. به عبارتی دیگر در فرآیندهای پردازشی داده‌های لرزه‌ای اگر یک مدل سرعت خوب انتخاب شود، همه شرایط برای یک تفسیر خوب مهیا است؛ ولی با انتخاب یک مدل سرعت ضعیف عملاً شرایط برای یک تفسیر خوب در اختیار نیست.

تهیه تصویر لرزه‌ای از زیر سطح زمین با استفاده از داده‌های لرزه‌ای نیازمند مدل سرعت لرزه‌ای دقیق است. عموماً تهیه مدل سرعت انتشار موج در داخل زمین فرآیندی بسیار پیچیده است. لذا، تمام روش‌های تهیه مدل سرعت از یک سری فرضیات و ساده‌سازی‌ها درباره محیط انتشار موج استفاده می‌کنند. در پردازش داده‌های لرزه‌ای، در حالت کلی چهار روش برای ساختن مدل سرعت وجود دارد. روش اول آنالیز سرعت بر اساس برونراند نرمال می‌باشد که با استفاده از روش‌های مختلف اندازه‌گیری همدوسی^۱، آنومالی‌های سرعت را در صفحه سرعت – زمان نمایش می‌دهد [۱، ۴، ۵]. طیف سرعت در این روش با استفاده از برونراند نرمال برای سرعت‌های مختلف و محاسبه معیار شباهت^۲ (به عنوان متداول‌ترین روش محاسبه همدوسی) به دست می‌آید. روش دوم آنالیز سرعت کوچ^۳ بر اساس معادله موج است که یک فرآیند بهینه‌سازی غیر خطی، جهت تخمین سرعت کوچ با استفاده از معادله موج می‌باشد [۶، ۷]. برای تهیه مدل سرعت کوچ پیش از برانبارش، داده لرزه‌ای پیش پردازش شده، به رکورد دورافت مشترک^۴ مرتب^۵ می‌شوند. در این مرحله باید یک مدل سرعت اولیه برای انجام اولین مرتبه کوچ عمقی تهیه شود. سپس با استفاده از این مدل سرعت، مقاطع دورافت مشترک مذکور، کوچ داده می‌شود. از داده‌ی کوچ یافته، چند رکورد تصویر مشترک انتخاب می‌شود. در این مرحله، معمولاً رخداد‌های موجود در رکورد تصویر مشترک افقی نمی‌باشند،

1-Coherency

2-Semblance

3- Migration velocity

4-Common offset gather

5-Sort

یعنی دارای برونراند هستند. برای حذف این انحراف از حالت افقی می‌توان از آنالیز برونراند باقیمانده استفاده کرد. در مرحله بعد، رکورد تصویر مشترک مذکور تحت عمل معکوس برونراند نرمال قرار می‌گیرد و همانند روند تهیه مدل سرعت برانبارش، طیف سرعت با استفاده از رابطه‌ی شباهت تهیه می‌شود. سپس در طیف سرعت بدست آمده، نقاط با حداکثر مقدار همدوسی مشخص می‌شوند. پس از انتخاب سرعت‌ها، مدل سرعت جدیدی بوجود می‌آید که با استفاده از این مدل، مجدداً کوچ عمقی روی مقطع لرزه‌ای اعمال شده و مقاطع تصویر مشترک جدید استخراج می‌شوند. این مراحل ممکن است تا رسیدن به افقی‌ترین حالت رکورد تصویر مشترک، چند بار تکرار شوند [۶-۸].

روش سوم آنالیز سرعت کوچ بر اساس تئوری پرتو است که به نام توموگرافی^۱ زمان - سیر نیز شناخته می‌شود. با کمینه‌سازی اختلاف بین زمان سیرهای اندازه‌گیری شده و زمان سیرهای مدل‌سازی شده، می‌توان مدل اولیه را بهبود بخشید و پس از چند تکرار، به یک مدل سرعت بهینه دست یافت. [۹-۱۳]. در این روش، اگر نسبت سیگنال به نوفه در داده‌ی لرزه‌ای پایین باشد، مشخص کردن و دستچین کردن زمان سیرها به مشکل بر می‌خورد و یا حتی غیر ممکن می‌شود. در این حالت مدل اولیه سرعت نقش مهمی دارد.

روش چهارم که در سال‌های اخیر خیلی مورد توجه قرار گرفته است، وارون‌سازی کامل شکل موج^۲ است که از یک رکورد لرزه‌ای کامل برای معکوس‌سازی خصوصیات زمین استفاده می‌کند و در نتیجه باعث افزایش قدرت تفکیک سرعت می‌شود [۱۴، ۱۵]. در این روش هر چه مدل سرعت اولیه (ورودی) به واقعیت نزدیکتر باشد، تعداد تکرار برای رسیدن به مدل سرعت ایده‌آل کمتر خواهد شد. به طور کلی اساس اکثر روش‌های تحلیل سرعت بر انتخاب بیشینه همدوسی^۳ می‌باشد. شباهت به عنوان متداول‌ترین روش تحلیل

1-Tomography

2-Full waveform inversion

3-Maximum coherency

سرعت یکی از معیارهای همدوسی است [۱]. نیدل و تانر^۱ [۱۶] بین روش شباهت و سایر روش‌های محاسبه همدوسی مقایسه‌ای انجام دادند و نشان دادند که روش شباهت نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری در محاسبه همدوسی دارد. قدرت تفکیک روش شباهت توسط ابعاد بازه^۲، عمق بازتابنده‌ها، سرعت روباره^۳ و فرکانس غالب^۴ داده‌های لرزه‌ای محدود می‌شود [۱۷، ۱۸]. هر چند روش شباهت دارای حساسیت کم به تغییرات دامنه بر حسب دورافت^۵ و گستره دینامیکی کم^۶ می‌باشد، اما دقت قابل قبول در تخمین سرعت و محاسبات آسان، آن را به عنوان یک روش مرسوم در محاسبه طیف سرعت داده‌های لرزه‌ای تبدیل کرده است. اما افزایش پهن‌شدگی آنومالی‌های طیف سرعت با ازدیاد عمق و کاهش دورافت، عدم قطعیت در تعیین دقیق سرعت را افزایش می‌دهد [۱۹]. همچنین این روش در شناسایی رویدادهای تداخلی^۷ در یک پنجره زمانی کوچک، مدل‌های زمین با لایه‌بندی نازک و مقادیر بالای نوفه به خوبی عمل نمی‌کند. وجود این مشکلات در روش شباهت، باعث شد، محققان با ارائه روش‌های جدید تحلیل سرعت، از خطای این روش بکاهند و بر دقت آن بیفزایند.

۱-۳ سابقه و مروری بر کارهای انجام شده

آنالیز سرعت بر اساس برونراند نرمال با استفاده از محاسبه شباهت یک مرحله اصلی برای ساخت مدل سرعت اولیه است. تاکنون چندین روش بهبود یافته نسبت به روش مرسوم شباهت برای افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت ارائه شده است. دوریس و برکهوت^۸ [۲۰] با استفاده از اصل حداقل آنتروپی^۹ که روشی

1-Neidell and Tanner

2-Aperture array

3-Overburden velocity

4-Dominant frequency

5-Amplitude verse offset

6-Small dynamic range

7-Interfering events

8-De Vries and Berkhout

9-Minimum entropy

آماري است، قدرت تفكيك طيف سرعت را افزايش دادند. ساچي^۱ [۲۱] از روش خودگرداني^۲ براي ساختن طيف سرعت با قدرت تفكيك بالا استفاده كرد. وي اين كار را با ميانگين گيري از نتايج به دست آمده از تعداد زيادي برآورد همدوسي بر پايه ويژه ساختار حساس به ترتيب قرارگيري ردلرزه ها درون پنجره زماني انجام داد. بيوندي و كاستوف [۱۷] با استفاده از تصاوير ويژه^۳، قدرت تفكيك طيف سرعت را افزايش دادند. كي و اسميتسون^۴ [۲۲] بر اساس محاسبه ماتريس كوواريانس پنجره تحليل و مقادير ويژه آن به آناليز سرعت با قدرت تفكيك بالا رسيدند. ساركار^۵ و همكاران [۲۳] نشان دادند كه با استفاده از تقريب شوئي [۲۴] و تركيب آن با روش شباهت مي توان روش تحليل سرعتي به دست آورد كه در محيط هاي حاوي آنومالي AVO بتواند مدل سرعت مناسب تري را به دست دهد. روشندل و همكاران [۲۵] با وزن دار كردن روش شباهت با استفاده از تجزيه مقادير تكين^۶، قدرت تفكيك طيف سرعت را افزايش دادند و همچنين نشان دادند كه به هنگام عدم گسترش كافي دورافت، روش حاصله مشكل پهن شدگي قله طيف سرعت را برطرف مي سازد. فومل [۴] روش AB semblance را براي آناليز سرعت داده هاي لرزه اي پيشنهاده داد و نشان داد در شرايطي كه تغيير پلارите در داده هاي لرزه اي وجود داشته باشد، روش مذكور نسبت به روش شباهت عملکرد بهتري از خود نشان مي دهد. وي همچنين با استفاده از نسبت مقدار شباهت به مقدار AB semblance، نشانگري را براي شناسايي مناطق داراي AVO معرفي كرد. آباد و اورسين^۷ [۲۶] با استفاده از روش شباهت تفاضلي خودگردان^۸ كه يك روش آماري است و براي برآورد ويژگي هاي آماري داده مثل واريانس و ميانگين نيازمند نمونه گيري دوباره از داده است، نشان دادند كه هنگام عدم گسترش كافي دورافت

1-Sachi

2-Bootstrap

3-Eigenimages

4-Key and Smithson

5-Sarkar

6-Singular values decomposition

7-Abad and Ursin

8-Bootstrapped differential semblance

و پارامترهای زمان رسید نزدیک به هم این روش قدرت تفکیک بهتری نسبت به روش شباهت مرسوم دارد. در سال‌های اخیر استفاده از ضرایب وزنی مختلف که حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات پارامترهای زمان - رسید دارند، مورد توجه محققان قرار گرفته است. لو و هال^۱ [۵] با استفاده از توابع وزنی وابسته به دورافت که حساسیت زیادی به تغییرات سرعت داشتند، قدرت تفکیک معیار شباهت را برای تشخیص بازتاب‌های اولیه و چندگانه افزایش دادند. اوریسین و همکاران [۲۷] با استفاده از تجزیه مقادیر تکین و بر اساس مدل سیگنال و نوفه سه روش کلی را برای تخمین پارامترهای زمان رسید (سرعت بازتابنده‌ها و زمان رسید دورافت صفر) ارائه دادند و مشکلات مربوط به روش شباهت را تا حدودی برطرف کردند و نشان دادند که هر یک از سه روش به دست آمده عملکرد بهتری نسبت به روش شباهت مرسوم دارند و در شرایطی که داده‌ها حاوی آنومالی AVO باشند، این روش‌ها می‌توانند طیف سرعت را با دقت خوبی محاسبه کنند.

هر کدام از روش‌های مطرح شده در بالا دارای مزایا و معایب مربوط به خود می‌باشند. بنابراین ارائه روشی که کارایی بهتری داشته و معایب کمتری نسبت به روش‌های فوق‌الذکر داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت برای انتخاب کردن سرعت برونراند نرمال حائز اهمیت می‌باشد، به خصوص زمانی که امواج چندگانه در رکورد نقطه میانی مشترک وجود داشته باشد. به وسیله اضافه کردن جملات وزنی به روش شباهت مرسوم که حساسیت بیشتری به تغییرات سرعت داشته باشند، می‌توان قدرت تفکیک طیف سرعت را افزایش داد.

۴-۱ روش انجام تحقیق

در این پایان نامه با معرفی دو تابع وزنی جدید سعی در افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در دو

راستای سرعت و زمان و برطرف کردن مشکلات مربوط به روش شباهت می‌شود. مبنای تابع وزنی اول استفاده از مقادیر تکین پنجره تحلیل داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. تجزیه مقادیر تکین یکی از پرکاربردترین تجزیه‌های ماتریسی در جبر خطی است و اهمیت زیادی در مباحث مختلف ریاضی، مهندسی، پزشکی و ... دارد. می‌توان نشان داد هنگامی که درون ماتریس داده‌های لرزه‌ای یک رویداد همدوس و افقی وجود داشته باشد، مقدار تکین اول نسبت به سایر مقادیر تکین، مقدار بسیار بزرگتری خواهد داشت. در واقع زمانی که سرعت تشکیل هذلولی زمان - سیر به درستی انتخاب شود (رویداد هذلولی به صورت صاف و افقی در پنجره تحلیل دیده می‌شود) مقدار تکین اول بسیار بزرگ می‌شود و به ازای سرعت‌های کمتر و یا بیشتر از سرعت واقعی (رویداد هذلولی به ترتیب دچار بیش تصحیح^۱ و زیر تصحیح^۲ می‌شود) مقدار تکین اول نسبت به سایر مقادیر تفاوت چندانی ندارد. با استفاده از نسبت مقدار تکین اول به دوم ضرایبی تعیین می‌شوند که باعث کاهش مقادیر بالای شباهت در همسایگی مقادیر دقیق سرعت و تقویت مقادیر صحیح و تضعیف مقادیر ناصحیح طیف سرعت می‌شود و در نتیجه باعث افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت می‌شوند.

مبنای تابع وزنی دوم، استفاده از مرکز ثقل انرژی موجک^۳ است. در روش شباهت معمول با انتخاب یک بازه از مقادیر زمان - سیر و سرعت، هذلولی‌های مختلف تشکیل می‌شوند و انتخاب مقادیر صحیح زمان - رسید بازتابنده‌ها انتخاب می‌شود. می‌توان انتظار داشت که هر چه گام جستجوی زمانی کوچکتر انتخاب شود، قدرت تفکیک زمانی طیف سرعت افزایش یابد. اما روش شباهت معمول در گام زمانی کوچک دچار پهن‌شدگی آنومالی‌ها در طیف سرعت در راستای محور زمان می‌شود که این مسأله باعث کاهش قدرت تفکیک طیف سرعت می‌گردد. در این حالت، به ازای یک رویداد بازتابی هذلولی چندین آنومالی در طیف سرعت وجود دارد که تابع وزنی اول نیز قادر به تفکیک آنها نمی‌باشد و عدم قطعیت در انتخاب صحیح

1-Over correction

2-Under correction

3-Center of gravity for wavelet energy

سرعت را افزایش داده و در نتیجه باعث ایجاد خطا در تصحیح برونراند نرمال و به دست آوردن یک مقطع برانبارش ضعیف می‌شود. برای حل این مشکلات تابع وزنی دیگری بر اساس مرکز ثقل انرژی مویک در پنجره تحلیل معرفی شده که مشکلات مطرح شده را برطرف می‌کند. در نهایت با ضرب این دو تابع وزنی در مقدار شباهت در هر پنجره تحلیل قدرت تفکیک طیف سرعت به مقدار زیادی افزایش می‌یابد و تقریباً به صورت ایده‌آل یعنی یک نقطه در صفحه زمان - سرعت به ازای هر هذلولی زمان - سیر دیده می‌شود.

یکی دیگر از موارد ضعف روش شباهت مرسوم، عدم وجود آنومالی سرعت بازتابنده‌ها در داده‌هایی همراه با آنومالی AVO (نوع دوم) می‌باشد. فومل [۴] با معرفی روش AB semblance توانست این مشکل را برطرف کند. اگر چه این روش به خوبی قادر به انتخاب سرعت بازتابنده‌ها در داده‌هایی همراه با آنومالی AVO می‌باشد، اما استفاده از این روش باعث پهن‌شدگی آنومالی‌های طیف سرعت و در نتیجه باعث کاهش قدرت تفکیک طیف سرعت می‌شود. برای رفع این مشکل، در این پایان‌نامه با استفاده از ترکیب روش AB semblance و توابع وزنی مذکور، روش جدیدی برای محاسبه طیف سرعت در نواحی با آنومالی AVO معرفی می‌شود و مشکل قدرت تفکیک روش AB semblance متداول نیز برطرف می‌گردد.

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه به لحاظ ساختاری در پنج فصل تنظیم و نگارش شده است. در این پایان‌نامه ابتدا به مروری بر روش‌های معمول آنالیز سرعت بر اساس تصحیح برونراند نرمال که در دو حوزه زمان - مکان و زمان - سرعت انجام می‌گیرد، پرداخته می‌شود و در ادامه روش شباهت که به عنوان متداول‌ترین روش آنالیز سرعت است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به بررسی عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر روی آنالیز سرعت پرداخته می‌شود. در فصل سوم تجزیه مقادیر تکین و خصوصیات آن به همراه تعریف توابع وزنی جدید ارائه می‌گردد. در این فصل همچنین تأثیر آنومالی AVO بر کیفیت طیف سرعت مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه روش AB semblance و اعمال توابع وزنی بر روی آن جهت انجام آنالیز سرعت در مناطقی با آنومالی

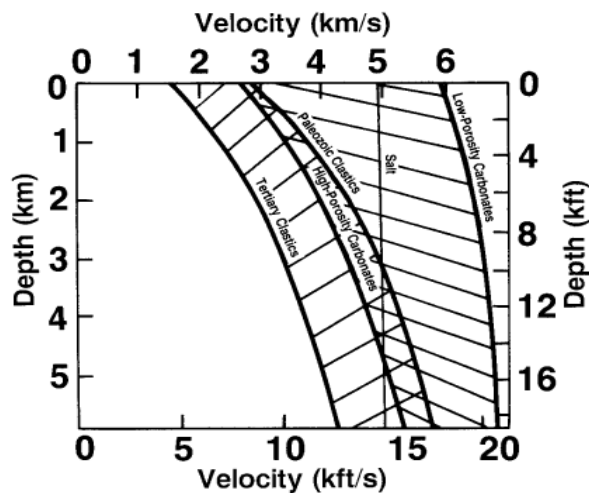
AVO معرفی خواهد شد. در فصل چهارم عملکرد روش مورد نظر بر روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج این روش با روش شباهت مرسوم و AB semblance مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در فصل آخر به نتایج حاصل از این پایان‌نامه و ارائه پیشنهادات پرداخته می‌شود.

فصل دوم: تئوری و مروری بر روش های معمول آنالیز سرعت

۱-۲ مقدمه

هدف از لرزه‌نگاری اکتشافی به دست آوردن اطلاعات و تصویرهای ساختاری زیرسطحی از داده‌های لرزه‌ای است. یکی از مهمترین و اساسی‌ترین مراحل برای ساختن این تصویرها، به دست آوردن یک مدل سرعت مناسب و ایده‌آل از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد.

مهم‌ترین ثابت فیزیکی که برای به دست آوردن یک تصویر درست زیرسطحی مورد نیاز است، سرعت لایه‌ها می‌باشد. یک نگار صوتی به طور مستقیم سرعت سیر امواج در لایه‌های زیرسطحی را به عنوان تابعی از عمق فراهم می‌آورد [۱۹]. داده‌های لرزه‌ای به عنوان یک روش غیر مستقیم برای محاسبه سرعت امواج لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. بر اساس این دو نوع اطلاعات لرزه‌شناسان، انواع مختلفی از سرعت شامل سرعت بازه‌ای، سرعت لحظه‌ای، سرعت میانگین، سرعت مجذور میانگین مربعات، سرعت برونراند نرمال، سرعت برانبارش و سرعت کوچ را مورد استفاده قرار می‌دهند. سرعت بازه‌ای، سرعت میانگین بین دو مرز بالا و پایین بازتابنده است. در حالت کلی سرعت تابعی از عمق و سنگ‌شناسی سازندهای زیرسطحی و یا به عبارتی دیگر تابع مدول‌های الاستیسیته ساختارهای زیرسطحی می‌باشد. شکل ۱-۲ تغییرات سرعت را در انواع سنگ‌ها و عمق‌های مختلف نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۲ تغییرات سرعت در سنگ‌شناسی‌های مختلف [۱۹].

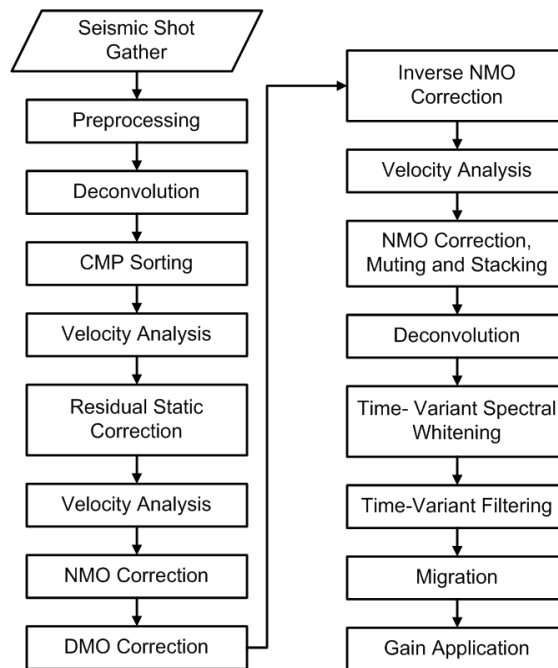
همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشخص است سرعت امواج لرزه‌ای در سنگ‌های جوان (ترشیاری) در مقابل سنگ‌های قدیمی کمتر است. همچنین سنگ‌های با تخلخل کمتر دارای سرعت بیشتری نسبت به سنگ‌های با تخلخل بیشتر هستند. در حالت کلی سرعت امواج لرزه‌ای با افزایش عمق زیادتر می‌شود. همان‌طور که مشخص است طبق روابط (۱-۲) و (۲-۲) سرعت انتشار امواج لرزه‌ای با چگالی رابطه عکس دارد [۲۸].

$$\alpha^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \quad (۱-۲)$$

$$\beta^2 = \frac{\mu}{\rho} \quad (۲-۲)$$

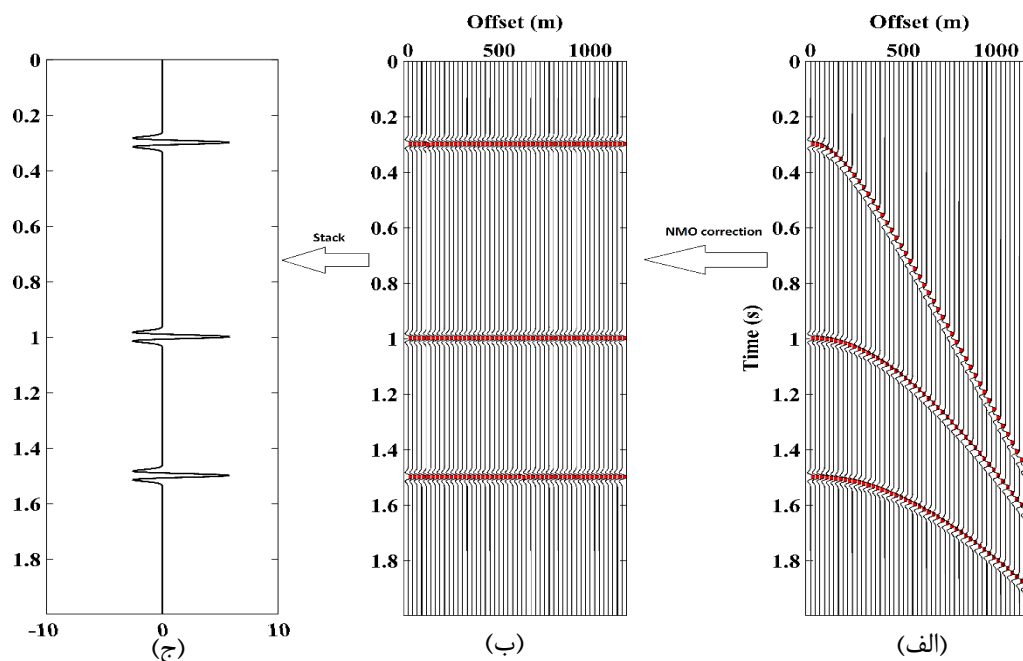
در روابط بالا λ و μ ضرایب لامه و ρ چگالی سازند می‌باشند. α و β به ترتیب سرعت موج فشارشی و برشی هستند. به طور معمول با افزایش عمق، افزایش چگالی سازند اتفاق می‌افتد و طبق روابط بالا انتظار می‌رود سرعت با افزایش عمق، کاهش یابد. اما افزایش عمق علاوه بر افزایش چگالی سازند سبب افزایش ضرایب لامه نیز می‌شود. نرخ افزایش ضرایب لامه با عمق در مقایسه با چگالی بیشتر است. بنابراین با افزایش عمق، سرعت انتشار امواج لرزه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین این مسأله برای تخلخل نیز صادق است. افزایش تخلخل باعث کاهش چگالی می‌شود، ولی از طرف دیگر باعث کاهش ضرایب لامه نیز می‌شود و در نتیجه چون تغییرات این ضرایب لامه نسبت به چگالی در مقابل تخلخل بیشتر است با افزایش تخلخل کاهش سرعت اتفاق می‌افتد.

در شکل ۲-۲ مراحل اصلی فرآیند پردازش داده‌های لرزه‌ای نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲-۲ مشخص است، آنالیز سرعت در چندین مرحله از پردازش، بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. برای انجام آنالیز سرعت لازم است داده‌ها ابتدا از رکورد چشمه مشترک به رکورد نقطه میانی مشترک (CMP) مرتب شوند. یکی از مهمترین اهداف این کار، برانبارش داده‌های لرزه‌ای می‌باشد.



شکل ۲-۲ مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای [۱۹].

همه بازتاب‌های ثبت شده در دورافت‌های مختلف در رکورد نقطه میانی مشترک شامل 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 و در مرحله برانبارش با جمع بازتاب‌های به خط شده، نسبت سیگنال به نوفه افزایش یابد. در شکل ۲-۳ فرآیند تصحیح برونراند نرمال با استفاده از تابع سرعت حاصل از آنالیز سرعت و انجام فرآیند برانبارش به صورت شماتیک بر روی یک رکورد نقطه میانی مشترک با سه رویداد بازتابی نشان داده شده است.



شکل ۳-۲ 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.

از آنجا که فرآیند آنالیز سرعت و تصحیح برونراند نرمال کاملاً به یکدیگر وابسته‌اند و اساس آنالیز سرعت بر مبنای فرآیند به خط شدگی رویداد هذلولی بر مبنای تصحیح برونراند نرمال می‌باشد، لذا ابتدا بایستی با مفهوم برونراند نرمال آشنا شد.

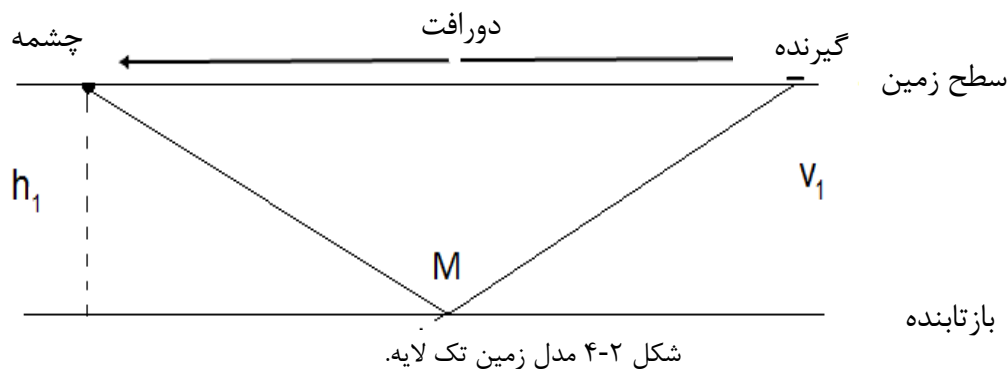
۲-۲ برونراند نرمال

رابطه زمان - سیر برای یک مدل زمین تک لایه افقی روی نیم فضا مطابق شکل ۴-۲ به صورت رابطه (۳-۲) می‌باشد [۲۹].

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v_1^2} \quad (3-2)$$

که، x دورافت، v_1 سرعت انتشار موج در لایه می‌باشد. 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.



همان طور که از رابطه (۳-۲) مشاهده می‌شود، معادله زمان - سیر یک هذلولی در صفحه $t - x$ می‌باشد. با معلوم بودن مقادیر t_0 ، دورافت و زمان - سیر هر دورافت می‌توان سرعت تشکیل هذلولی زمان - سیر را محاسبه کرد. اختلاف زمان - رسید بین هر دورافت با زمان - سیر دورافت صفر را برونراند نرمال می‌گویند که مطابق رابطه (۴-۲) به دست می‌آید [۲۹].

$$\Delta t_{NMO} = t - t_0 = t_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{x}{vt_0} \right)^2} - 1 \right] = \frac{x^2}{2v^2 t_0} = \frac{x^2}{4vh} \quad (4-2)$$

در شکل ۵-۲ الف، رکورد نقطه میانی مشترک برای یک مدل زمین تک لایه با سرعت انتشار ۱۰۰۰ متر بر ثانیه و ضخامت ۲۰۰ متر نشان داده شده است. در ساخت این رکورد نقطه میانی مشترک بیشترین دورافت برابر ۱۲۰۰ متر در نظر گرفته شده است و تعداد گیرنده‌ها برابر ۴۸ که با فاصله ۲۵ متری نسبت به هم قرار گرفته‌اند، تعیین شده است. در شکل ۵-۲ ب تا د رکوردهای تصحیح برونراند نرمال شده به ازای سرعت‌های ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ متر بر ثانیه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است برای سرعت‌های کمتر از سرعت واقعی هذلولی زمان - سیر به صورت صاف نمی‌باشد و نمودار دچار انحنا به سمت بالا می‌شود. این پدیده بیش تصحیح نامیده می‌شود. اگر سرعت تخمین زده بیشتر از سرعت واقعی بازتابنده باشد، نمودار زمان - سیر دچار زیر تصحیح می‌شود. این شکل اساس و پایه آنالیز سرعت را

نشان می‌دهد. اگر تصحیح برونراند نرمال با استفاده از سرعت واقعی انجام شود، سبب به‌خط شدن رویداد بازتابی می‌شود. بنابراین اگر معیاری بتواند این میزان به‌خط شدگی رویداد هزلولی را محاسبه کند، می‌تواند جهت تعیین سرعت واقعی لایه نیز مورد استفاده قرار بگیرد. سرعتی که بهترین به‌خط شدگی هزلولی زمان – سیر را ایجاد می‌کند، همان سرعتی است که بهترین تصحیح برونراند نرمال قبل از برانبارش داده‌ها را ایجاد می‌کند. البته مطالب عنوان‌شده برای یک مدل ساده تک لایه افقی می‌باشد که از مدل واقعی زمین دور می‌باشد. اما می‌توان نشان داد که در هر مدل پیچیده زمین، منحنی زمان – رسید حاصل از یک بازتابنده را در رکورد CMP می‌توان با یک هزلولی تقریب زد. در یک مدل چند لایه افقی مطابق شکل ۶-۲ طبق معادله دیکس، منحنی زمان – رسید هر کدام از بازتابنده‌ها به صورت هزلولی رابطه (۵-۲) می‌باشد.

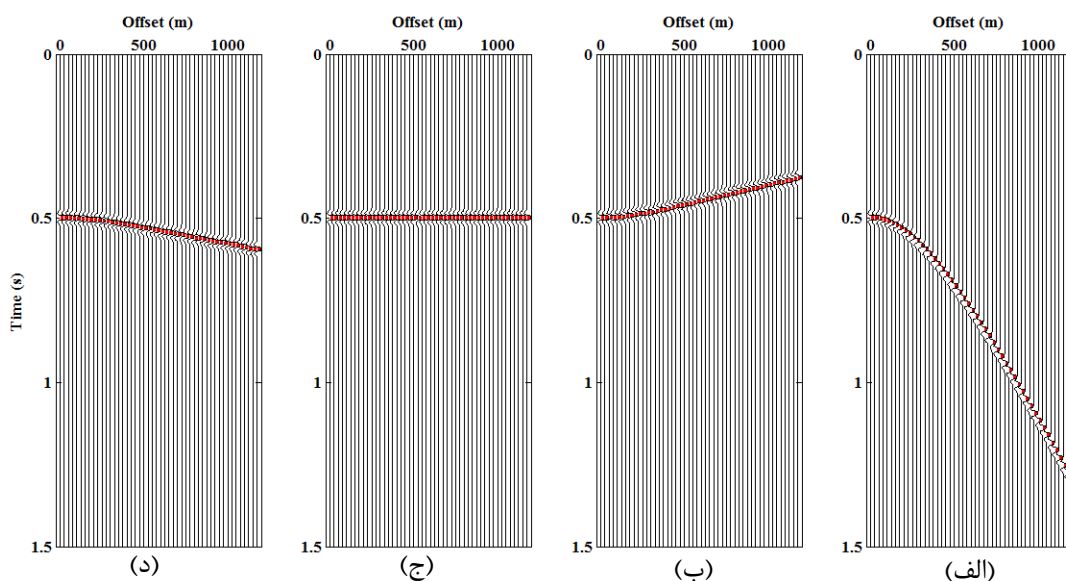
$$t^2 \cong t_0^2 + \frac{x^2}{v_{rms}^2} \quad (۵-۲)$$

که، x دورافت، t_0 زمان – سیر در دورافت صفر تا بازتابنده مورد نظر می‌باشد که مطابق با رابطه (۷-۲) محاسبه می‌شود و v_{rms} طبق رابطه (۸-۲) تا بازتابنده هدف محاسبه می‌شود.

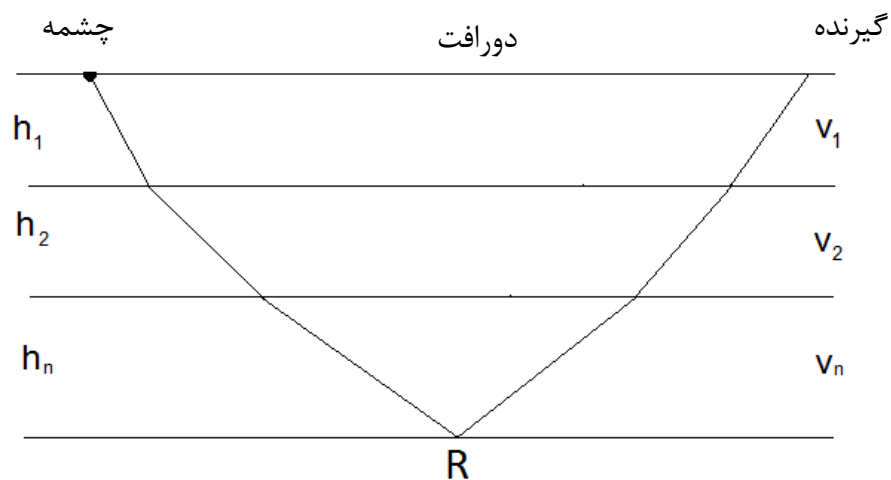
$$\Delta t_i = \frac{2h_i}{v_i} \quad (۶-۲)$$

$$t_0 = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (۷-۲)$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t_0} \sum_{i=1}^n v_i^2 \Delta t_i} \quad (۸-۲)$$

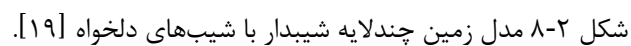
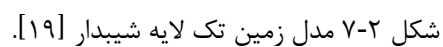


شکل ۵-۲ (الف) CMP مصنوعی. (ب) تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۹۰۰ متر بر ثانیه. (ج) تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. (د) تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۱۱۰۰ متر بر ثانیه.



شکل ۶-۲ مدل زمین چند لایه که سرعت در هر لایه ثابت فرض شده است.

برای یک مدل تک لایه شیبدار، مطابق شکل ۷-۲ منحنی زمان - سیر به صورت رابطه (۹-۲) می‌باشد که معادله یک هذلولی است [۱۹].



که $t_0 = \frac{2h}{v}$ زمان - سیر دورافت صفر در موقعیت CMP، ϕ شیب لایه، x دورافت و v_1 سرعت انتشار موج

نیز منحنی زمان - سیر به صورت یک هذلولی مطابق با رابطه (۲-۵) می‌باشد، با این تفاوت که v_{rms} به

صورت رابطه (۲-۱۰) محاسبه می شود [۱۹].

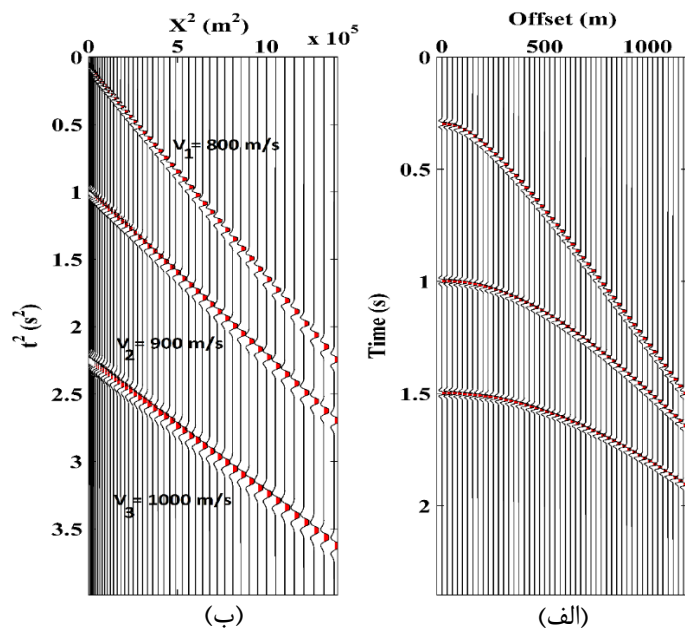
$$v_{rms}^2 = \frac{1}{t_0 \cos^2 \beta_0} \sum_{i=1}^n v_i^2 \Delta t_i (0) \prod_{k=1}^{i-1} \left(\frac{\cos^2 \alpha_k}{\cos^2 \beta_k} \right) \quad (2-10)$$

همان طور که مشاهده گردید در هر مدلی از زمین می توان منحنی زمان - سیر را با استفاده از یک هذلولی تقریب زد. هدف از تصحیح برونراند نرمال به خط کردن این هذلولی برای انجام برانبارش با بیشترین انرژی می باشد. لذا همچنان ایده مطرح شده برای آنالیز سرعت که در مدل تک لایه افقی مبنی بر محاسبه میزان به خط شدگی برای شناسایی دقیق سرعت بود را می توان برای مدل های پیچیده نیز به کار برد. در ادامه روش های متداول آنالیز سرعت بر مبنای تصحیح برونراند نرمال معرفی می شوند.

۲-۳ روش های متداول تحلیل سرعت بر مبنای تصحیح برونراند نرمال

۲-۳-۱ روش $t^2 - x^2$

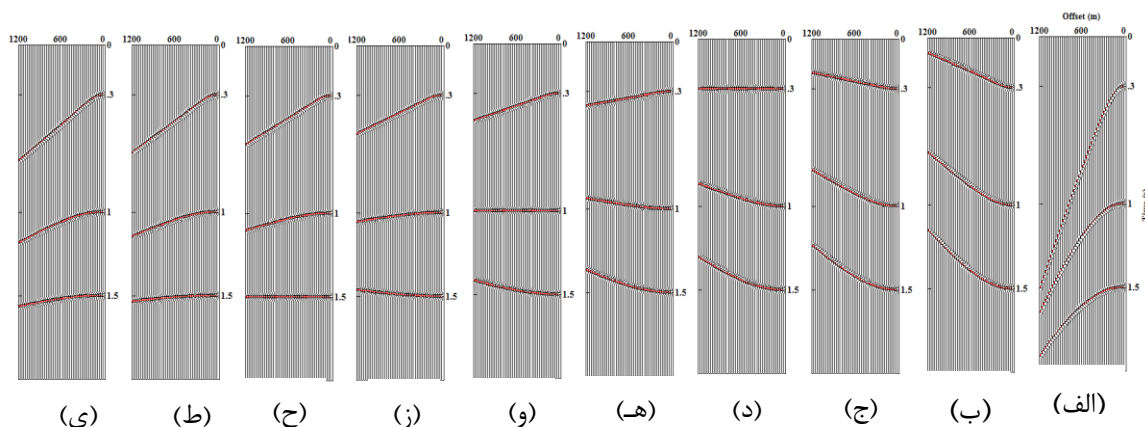
یک روش عملی برای تعیین سرعت هر هذلولی، استفاده مستقیم از رابطه هذلولی می باشد. با توجه به رابطه (۲-۵) مشاهده می شود، رسم نمودار زمان - سیر در صفحه $t^2 - x^2$ سبب می شود که نمودار هذلولی در صفحه $t - x$ به صورت یک خط شیب دار در صفحه $t^2 - x^2$ تبدیل شود. شیب این خط برابر $\frac{1}{v_{rms}^2}$ است و مقدار این خط در $x = 0$ برابر t_0 است. شکل ۲-۹ الف نشان دهنده رکورد نقطه میانی مشترک با سه رویداد هذلولی با سرعت های 800 ، 900 و 1000 متر بر ثانیه در صفحه $t - x$ است. شکل ۲-۹ ب موقعیت رکورد نقطه میانی مشترک در مختصات $t^2 - x^2$ را نشان می دهد که هذلولی های مربوطه به خطوط شیب دار تبدیل شده اند. می توان با محاسبه شیب و عرض از مبدا خطوط مذکور، v_{rms} و t_0 هر رویداد بازتابی را محاسبه نمود. آنالیز سرعت با روش $t^2 - x^2$ یک روش قابل اعتماد برای تخمین سرعت بازتابنده ها می باشد. دقت این روش وابستگی بالایی به نسبت سیگنال به نوفه داده ها دارد.



شکل ۹-۲ محاسبه سرعت بازتابنده‌ها با روش $t^2 - x^2$. الف) CMP مصنوعی. ب) نمودار بازتابنده‌ها در صفحه $t^2 - x^2$ و تخمین سرعت آنها.

۲-۳-۲ اسکن سرعت ثابت^۱

روش اسکن سرعت ثابت رکوردهای نقطه میانی مشترک، یک روش مناسب برای آنالیز سرعت داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. در این روش، رکورد نقطه میانی مشترک با سرعت‌های ثابت مختلف تصحیح برونراند نرمال می‌شود. سپس با مقایسه رکوردهای تصحیح‌شده، مقدار صحیح سرعت برای هر t_0 تعیین می‌شود. مقدار صحیح سرعت برای هر t_0 در واقع همان سرعتی است که رویداد موجود در t_0 مذکور را به بهترین شکل ممکن به خط کرده باشد. برای مثال در شکل ۲-۱۰ رکورد نقطه میانی مشترک مصنوعی شکل ۹-۲ الف به ازای سرعت‌های ثابت از ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ متر بر ثانیه با گام افزایشی ۵۰ متر بر ثانیه تصحیح برونراند نرمال شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود در $t_0 = ۰/۳$ سرعت ۸۰۰ متر بر ثانیه، در $t_0 = ۱$ سرعت ۹۰۰ متر بر ثانیه و در $t_0 = ۱/۵$ سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه بهترین به خط شدگی را ایجاد نموده‌اند.



شکل ۲-۱۰ تخمین سرعت بازتابنده‌ها با روش اسکن سرعت ثابت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. اعمال تصحیح برونراند نرمال با سرعت‌های (ب) ۷۰۰ (ج) ۷۵۰ (د) ۸۰۰ (هـ) ۸۵۰ (و) ۹۰۰ (ز) ۹۵۰ (ح) ۱۰۰۰ (ط) ۱۰۵۰ (ی) ۱۱۰۰ متر بر ثانیه.

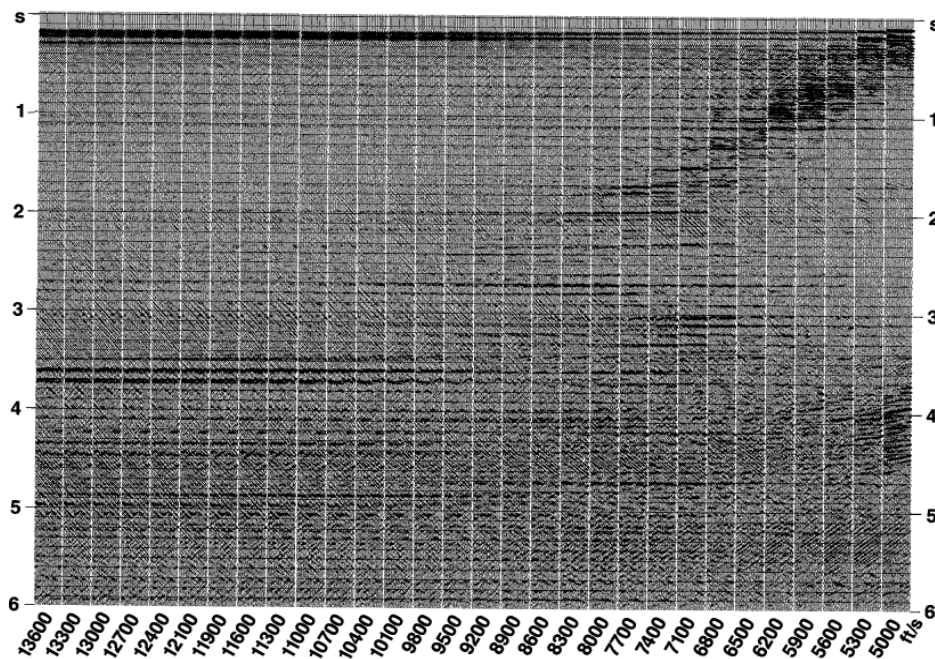
دقت این روش به زمان رسید دورافت صفر بازتابنده، طول دورافت و سرعت بازتابنده‌ها بستگی دارد. سرعت بالا، بازتابنده‌های عمیق و طول برداشت کم، باعث کاهش قدرت تفکیک سرعت در این روش می‌شود. کیفیت مدل سرعت حاصله نیز به پهنای سیگنال نیز وابسته است. هر چه موجک لرزه‌ای فشرده‌تر باشد (فرکانس غالب آن بزرگتر باشد)، قدرت تفکیک مدل سرعت حاصله افزایش می‌یابد. این روش گرچه روش مناسبی برای آنالیز سرعت می‌باشد، ولی برای تعیین دقیق سرعت بازتابنده‌ها روشی مناسب نیست.

۳-۳-۲ برانبارش سرعت ثابت (CVS^۱)

یکی از اهداف اصلی جهت محاسبه یک تابع دقیق سرعت، به دست آوردن بهترین کیفیت برانبارش سیگنال است. بنابراین، این سرعت‌ها در یک بازه سرعت که بازتابنده‌ها در آن برانبارش و پیوستگی خوبی داشته باشند محاسبه می‌شوند. هر بخش از شکل ۲-۱۱ مقطع برانبارش حاصل از ۲۴ رکورد نقطه میانی مشترک که با سرعت ثابت بین ۵۰۰ تا ۱۳۶۰۰ فوت بر ثانیه تصحیح برونراند نرمال و برانبارش شده‌اند را نمایش می‌دهد. سرعت مناسب برانبارش برای هر t_0 برابر با سرعتی است که در آن سرعت، رویداد موجود

1-Constant velocity stack

در t_0 به خوبی و با کیفیت مناسب قابل مشاهده باشد. با توجه به شکل رویداد عمیق که در زمان ۳/۶ ثانیه قرار دارد در یک بازه بزرگ سرعت برانبارش تقریباً یکسانی دارد. این مسأله باعث کاهش قدرت تفکیک در انتخاب سرعت بازتابنده‌ها به خصوص در اعماق زیاد می‌شود. زیرا برونراند نرمال عموماً با افزایش عمق کاهش می‌یابد. انتخاب گام جستجوی سرعت در این روش حائز اهمیت می‌باشد. یک روش مناسب جهت تعیین گام جستجو، انتخاب آن به گونه‌ای است که اختلاف برونراند بین دو سرعت متوالی در بزرگترین دورافت تقریباً ۱/۳ برابر دوره تناوب غالب داده‌ها باشد [۱۹]. روش برانبارش سرعت ثابت، روشی خوب در محیط‌هایی با ساختارهای پیچیده است. این روش به مفسر این امکان را می‌دهد که مستقیماً برانبارش با بهترین پیوستگی را انتخاب کند.



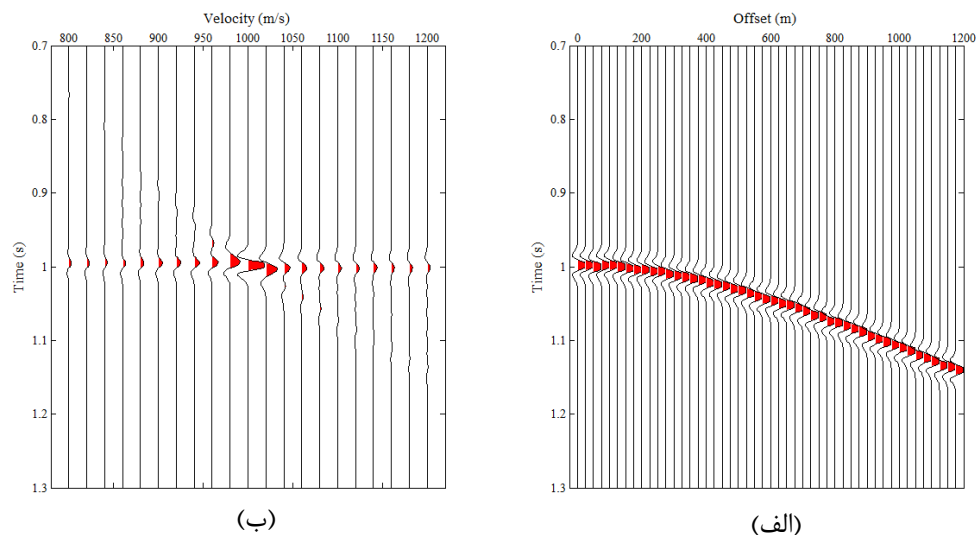
شکل ۲-۱۱ آنالیز سرعت با استفاده از روش CVS در یک بازه سرعت بین ۵۰۰۰ تا ۱۳۶۰۰ فوت بر ثانیه [۱۹].

۴-۲ طیف سرعت

طیف سرعت بر خلاف روش‌های ذکر شده در بخش قبل، بر اساس همبستگی عرضی بین ردلرزه‌ها در یک CMP عمل می‌کند. در مقایسه با روش CVS، این روش برای داده‌هایی با انعکاس‌های چندگانه

مناسب‌تر است ولی در مناطقی با ساختارهای پیچیده، روش CVS کارایی نسبتاً بهتری دارد.

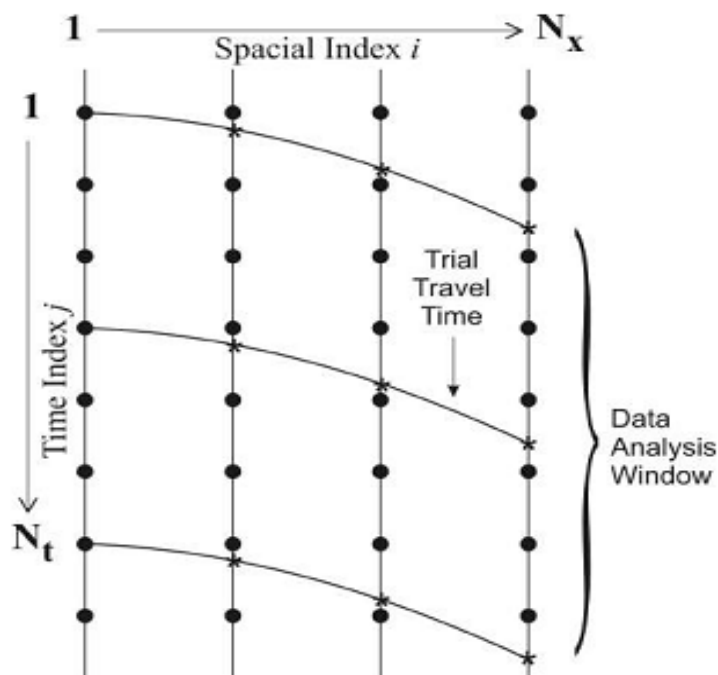
شکل ۲-۱۲ الف رکورد نقطه میانی مشترک مربوط به یک بازتابنده افقی با $v = 1000 \text{ m/s}$ و $t_0 = 1 \text{ s}$ را نشان می‌دهد. شکل ۲-۱۲ ب نتیجه ردلرزه‌های برانبارش‌شده برای هر سرعت انتخابی را در صفحه $t_0 - v_{rms}$ نشان می‌دهد که به آن طیف سرعت می‌گویند [۱]. با انجام این کار داده‌ها از حوزه $t - x$ به حوزه $t_0 - v_{rms}$ انتقال می‌یابند. در این روش بیشترین دامنه برانبارش در سرعت صحیح بازتابنده به دست می‌آید. زمانی که نسبت سیگنال به نوفه داده‌ها پایین باشد، دامنه ردلرزه برانبارش‌شده ممکن است بهترین دامنه برانبارش را نشان ندهد. هدف طیف سرعت به دست آوردن سرعتی است که مربوط به بیشترین همدوسی سیگنال روی هذلولی در تمام دورافت‌ها می‌باشد.



شکل ۲-۱۲ الف) CMP مصنوعی مربوط به زمین تک لایه با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه. ب) طیف سرعت به دست آمده برای تعیین سرعت تشکیل هذلولی زمان - سیر.

نیدل و تنر [۱۶] روش‌های مختلفی را برای محاسبه همدوسی سیگنال که جهت به دست آوردن طیف سرعت به کار می‌رود ارائه کردند. شباهت که به عنوان نسبت بین انرژی خروجی به ورودی تعریف می‌شود، به عنوان متداول‌ترین و پرکاربردترین روش معیار همدوسی جهت محاسبه طیف سرعت مورد

استفاده قرار می‌گیرد. جهت محاسبه شباهت برای یک t_0 و v_{rms} خاص، ابتدا پنجره تحلیلی حول هذلولی حاصل از سرعت v_{rms} در t_0 مورد نظر انتخاب می‌شود که در شکل ۲-۱۳ به صورت شماتیک نشان داده شده است. اگر از هر ردلرزه N_x ردلرزه رکورد نقطه میانی مشترک تعداد N_t نمونه زمانی درون پنجره تحلیل مذکور قرار گرفته باشد، مقدار شباهت مطابق رابطه (۲-۱۱) محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۱۳ پنجره تحلیل زمانی جهت محاسبه معیار شباهت [۲۷].

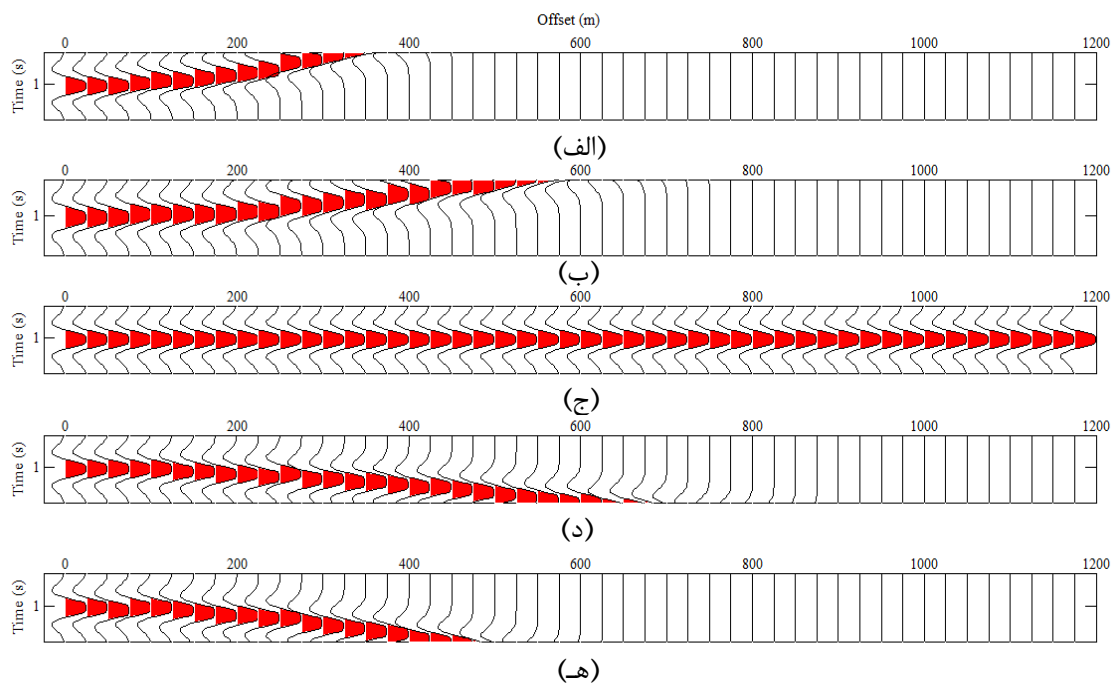
$$S_c = \frac{\sum_{j=1}^{N_t} \left(\sum_{i=1}^{N_x} a_{i,j} \right)^2}{N_x \sum_{j=1}^{N_t} \left(\sum_{i=1}^{N_x} a_{i,j}^2 \right)} \quad (2-11)$$

که $a_{i,j}$ نشان‌دهنده دامنه نمونه j ام از ردلرزه i ام درون پنجره تحلیل می‌باشد. پنجره تحلیل داده، پنجره‌ای هذلولی‌شکل برای یک سرعت انتخابی می‌باشد. مطابق با رابطه (۲-۱۱)، شباهت در واقع انرژی ردلرزه میانگین به میانگین انرژی ردلرزه‌ها می‌باشد. اگر پنجره تحلیل دارای یک رویداد افقی باشد، مقدار

صورت و مخرج رابطه (۱۱-۲) یکسان خواهد شد و مقدار شباهت برابر یک می‌شود. چنانچه پنجره تحلیل شامل داده‌های تصادفی باشد، ردلرزه میانگین در حالت ایده‌آل صفر می‌شود که انرژی آن صفر خواهد شد. بنابراین در این حالت، مقدار شباهت برابر صفر می‌شود. اگر سرعت تشکیل پنجره تحلیل، سرعت واقعی بازتابنده باشد، یک رویداد افقی در آن ایجاد می‌شود که باعث می‌شود مقدار شباهت بیشینه شود و مقدار آن نزدیک به یک باشد. در غیر اینصورت، مقدار شباهت کاهش یافته و به سمت مقدار صفر خواهد رفت. به عنوان مثال، پنجره‌های تحلیل برای رویداد بازتابی شکل ۲-۱۲ الف به طول ۲۷ نمونه زمانی به ازای سرعت‌های ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ متر بر ثانیه تهیه گردید که در شکل ۲-۱۴ الف تا ه به ترتیب نشان داده شده است. مقدار شباهت در هر یک از این پنجره‌ها محاسبه شده است که در جدول ۲-۱ مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار شباهت مربوط به پنجره تحلیل با سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه می‌باشد که همان سرعت تشکیل هذلولی است.

جدول ۲-۱ مقادیر شباهت مرتبط با پنجره‌های تحلیل تولیدشده در شکل ۲-۱۴.

مقدار شباهت	سرعت تشکیل 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 ۲-۱۴ پنجره‌های تحلیل با طول ۲۷ نمونه زمانی برای رویداد بازتابی شکل ۲-۱۲ الف به ازای سرعت‌های الف) ۸۰۰ (ب) ۹۰۰، ج) ۱۰۰۰، د) ۱۱۰۰ و ه) ۱۲۰۰ متر بر ثانیه.

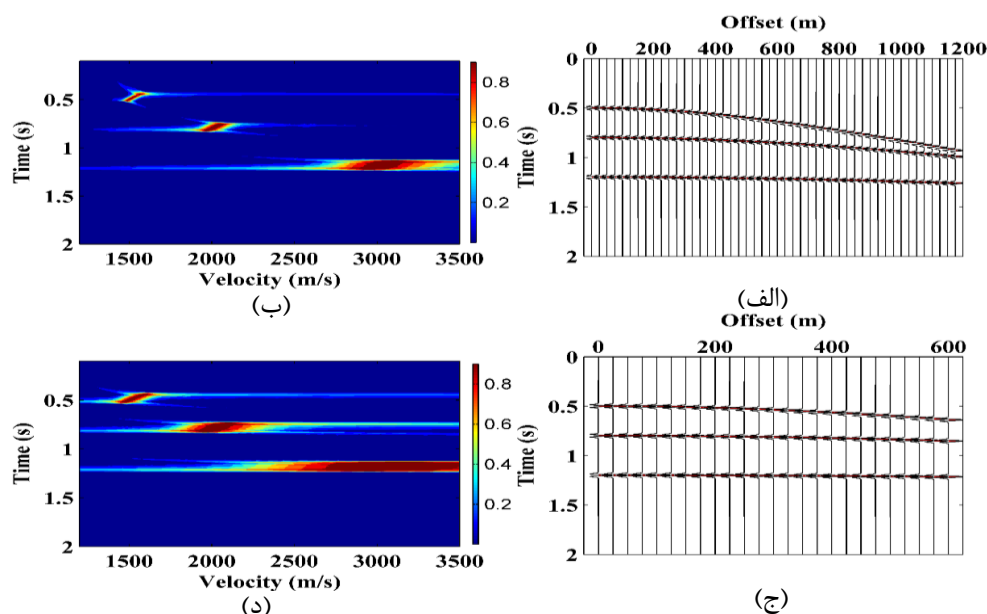
۲-۵ فاکتورهای مؤثر بر محاسبه طیف سرعت

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

۲-۵-۱ 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 تولید گردید که به ترتیب در شکل ۲-۱۵ الف و ج نشان داده شده‌اند. طیف سرعت حاصل از دو CMP مذکور در شرایط کاملاً یکسان محاسبه گردید که نتایج آنها به ترتیب در شکل ۲-۱۵ ب و د نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۲-۱۵ 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 CMP با طول دورافت ۱۲۰۰

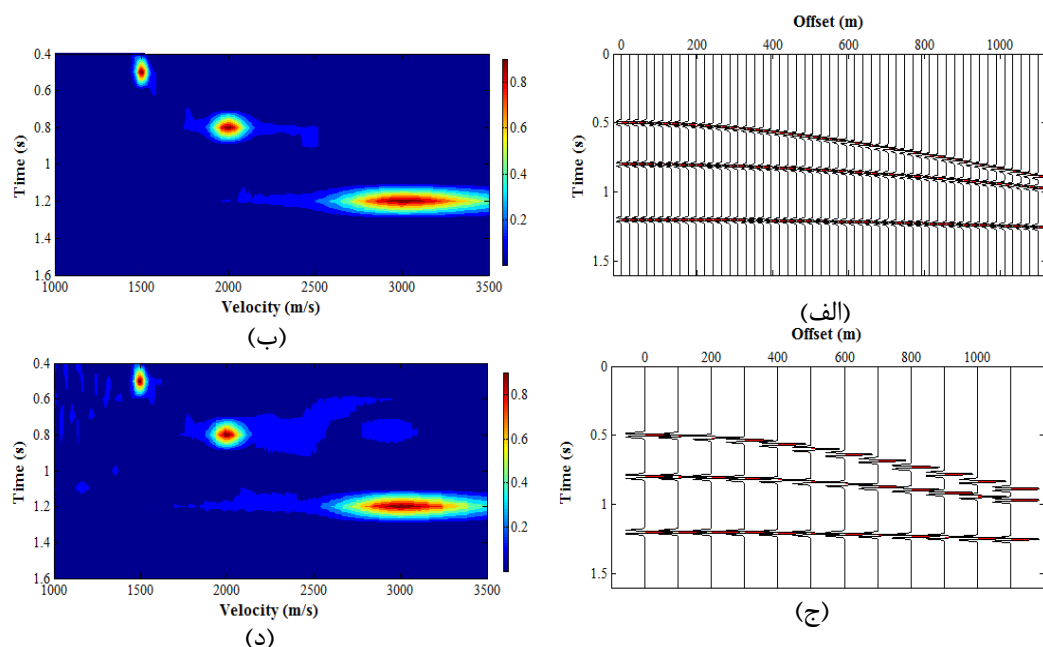
متر کاهش یافته است.



شکل ۲-۱۵ تاثیر کاهش طول دورافت بر طیف سرعت. (الف) CMP مصنوعی با طول دورافت برابر ۱۲۰۰ متر. (ب) طیف سرعت حاصله برای شکل الف. (ج) CMP مصنوعی با طول دورافت ۶۰۰ متر. (د) طیف سرعت به دست آمده برای شکل ج.

۲-۵-۲ مقدار فولد^۱

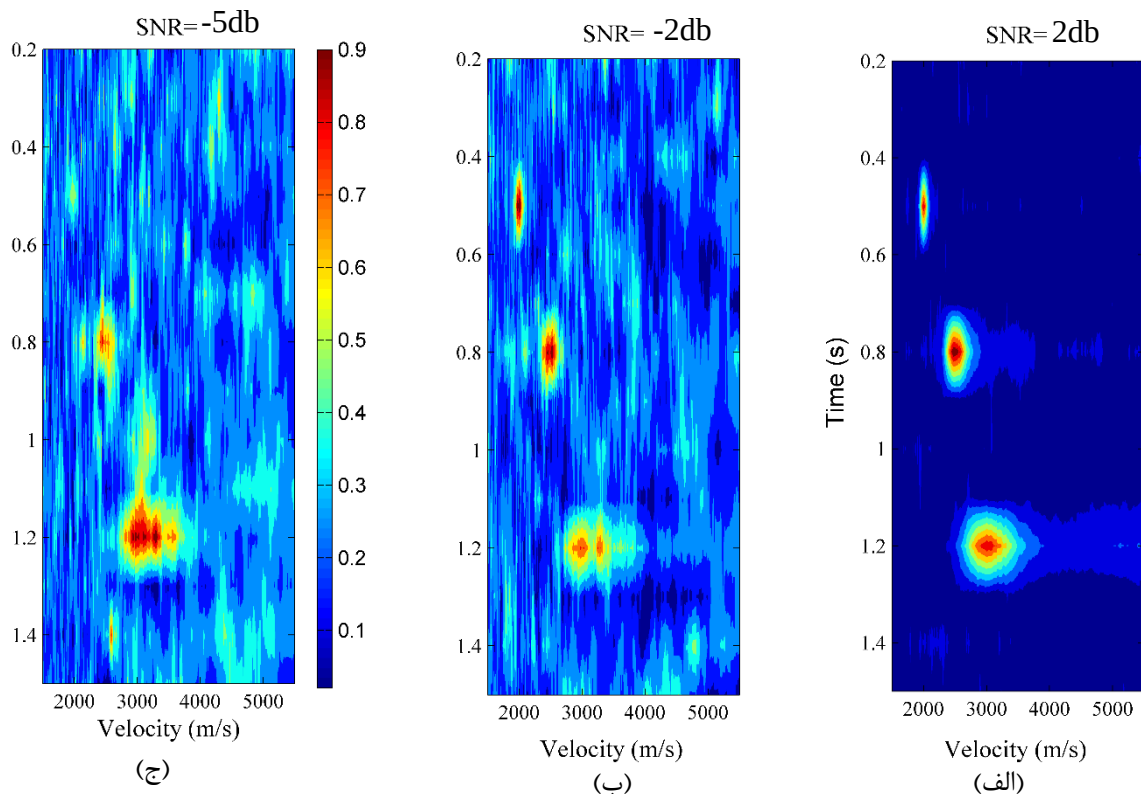
این کمیت نقش مهمی در قدرت تفکیک طیف سرعت ایفا می کند. برای کاهش محاسبات و زمان انجام سایر مراحل پردازشی، بعضی اوقات رکوردهای با فولد بالا توسط برانبارش جزئی به رکوردهای معادل با فولد کم تبدیل می شوند. به منظور بررسی اثر مقدار فولد بر روی کیفیت طیف سرعت، برای مدل زمین سه لایه شکل ۲-۱۵ با طول دورافت ۱۲۰۰ متر، دو مقدار فولد متفاوت ۵۲ و ۱۲ در نظر گرفته شد که در شکل ۲-۱۶ 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.



شکل ۲-۱۶ تأثیر کاهش فولد بر آنومالی‌های طیف سرعت. الف) CMP مصنوعی با فولد ۵۲. ب) طیف سرعت به دست آمده برای شکل الف. ج) CMP مصنوعی با فولد ۱۲. د) طیف سرعت به دست آمده برای شکل ج.

۲-۵-۳ نسبت سیگنال به نوفه

در بیشتر مواقع، داده‌های لرزه‌ای حاوی امواج ناخواسته‌ای به نام نوفه هستند. نسبت سیگنال به نوفه تأثیر مستقیمی بر کیفیت طیف سرعت دارد. شکل ۲-۱۷ طیف سرعت به دست آمده برای CMP شکل ۲-۱۵ در سه حالت با نسبت سیگنال به نوفه‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که از طیف سرعت‌های به دست آمده مشخص است، در نسبت سیگنال به نوفه بالا، تشخیص آنومالی‌های طیف سرعت راحت‌تر می‌باشد زیرا کیفیت طیف سرعت به دست آمده از رکورد با نسبت سیگنال به نوفه بالا بیشتر است.



شکل ۲-۱۷ 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.

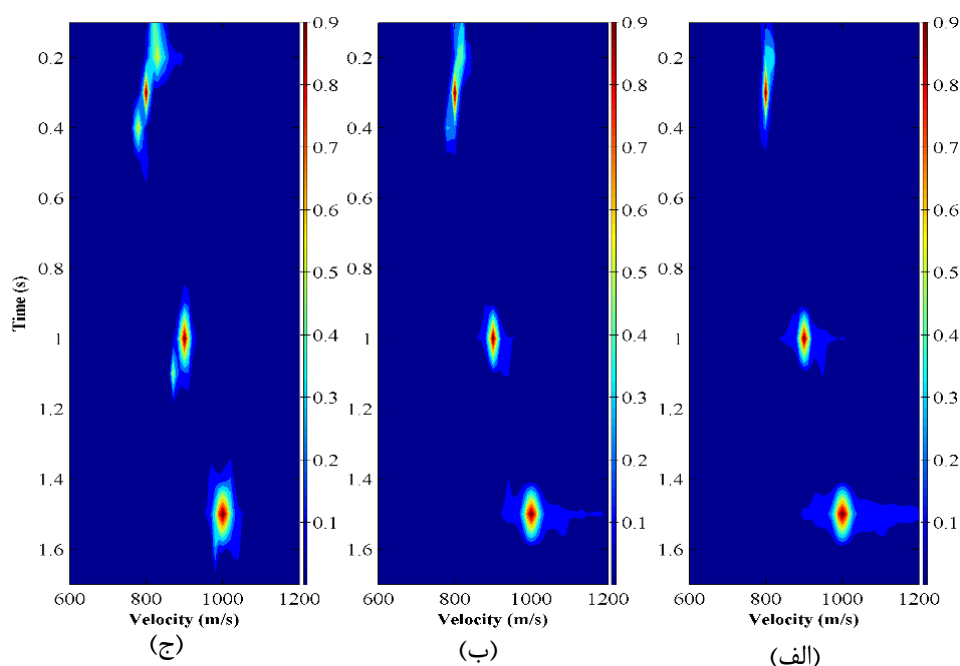
۲-۵-۴ حذف

یک نتیجه نامطلوب از اعمال تصحیح برونراند نرمال، به وجود آمدن کشیدگی در داده‌های لرزه‌ای است. تأثیر این عامل در قسمت‌های سطحی و دورافت‌های بزرگ از CMP تصحیح شده بیشتر است. قسمتی از داده‌های لرزه‌ای که تحت تأثیر کشیدگی هستند، باید از داده‌ها حذف شوند تا از افت قدرت تفکیک و انرژی ردلرزه برانبارش شده مرتبط با نواحی سطحی جلوگیری شود. حذف این ناحیه باعث کاهش فولد و طول دورافت می‌شود که تأثیر آنها بر روی طیف سرعت قبلاً مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۵-۵ طول پنجره تحلیل زمانی

همانطور که بیان شد، برای محاسبه معیار همدوسی نیاز به یک پنجره تحلیل زمانی می‌باشد. طول

این پنجره به عنوان یک عامل مؤثر بر طیف سرعت می‌باشد. به طور کلی هر چه طول پنجره زمانی بزرگتر انتخاب شود، باعث کاهش قدرت تفکیک زمانی می‌شود و رویدادهای کاذبی در طیف سرعت ایجاد می‌کند. در عمل طول پنجره تحلیل بین ۱ تا ۱/۵ برابر دوره غالب موجک لرزه‌ای که معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ نمونه زمانی می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود [۱۹]. در شکل ۲-۱۸ تأثیر طول پنجره‌های مختلف بر روی طیف سرعت یک رکورد CMP مصنوعی شکل ۲-۱۵ الف نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۸ تأثیر طول پنجره تحلیل بر محاسبه طیف سرعت. طیف سرعت محاسبه شده با طول پنجره تحلیل الف) ۸ (نمونه زمانی ب) ۲۲ (نمونه زمانی ج) ۴۶ نمونه زمانی.

۲-۵-۶ سایر عوامل

بازه سرعتی که برای آنالیز سرعت انتخاب می‌شود، باید به گونه‌ای انتخاب شود که تمام سرعت‌های بازتابنده‌های موجود در رکورد CMP را پوشش دهد. گام جستجوی سرعت نیز باید با دقت انتخاب شود. این گام سرعت نباید مقدار بزرگی انتخاب شود، زیرا باعث کاهش قدرت تفکیک طیف سرعت به خصوص برای سرعت‌های بالا می‌شود و از طرفی دیگر اگر این گام، مقدار کوچکی انتخاب شود، باعث افزایش زمان

انجام محاسبات می‌شود. بنابراین باید یک گام سرعت مناسب و بهینه جهت انجام آنالیز سرعت انتخاب شود.

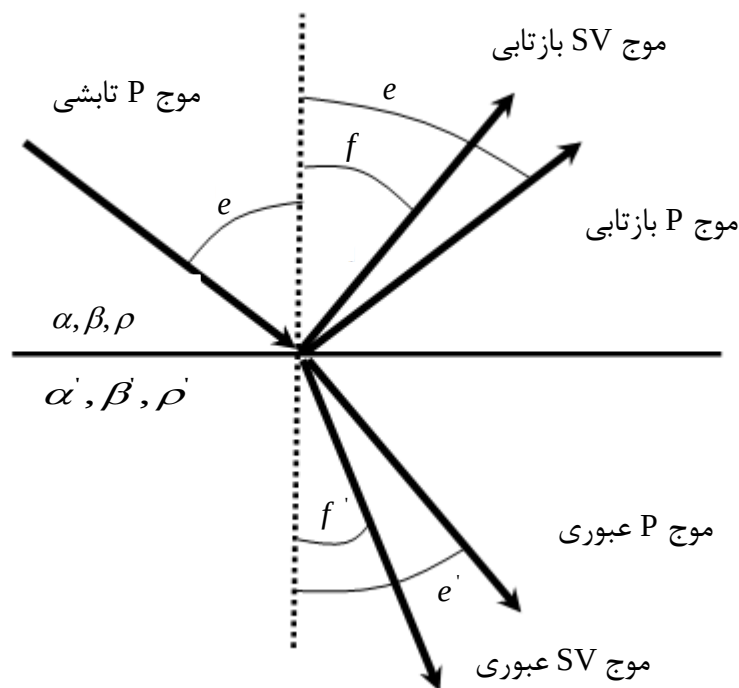
۲-۶ آنالیز سرعت در حضور آنومالی AVO

آنالیز تغییرات دامنه در برابر دورافت در ابتدا به عنوان روشی خوب برای اعتبارسنجی آنومالی‌های دامنه لرزه‌ای مرتبط با ماسه‌های گازی مورد استفاده قرار گرفت [۳۰]. هنگامی که موج P یا SV به سطح جدایش دو محیط تابیده می‌شود، بخشی از آن به صورت موج P و موج SV بازتاب و مقداری نیز به صورت این دو موج عبور می‌کند. معادلات حاکم بر افراز انرژی در تابش موج P یا SV در مرز جدایش دو محیط جامد به صورت روابط زوئپریتس^۱ می‌باشد که در روابط (۲-۱۲) و (۲-۱۳) به ترتیب برای تابش موج P و SV آورده شده‌اند [۲۸].

$$\begin{bmatrix} -\sin e & \cos f & \sin e' & \cos f' \\ \cos e & \sin f & \cos e' & -\sin f' \\ \sin 2e & -\frac{\alpha}{\beta} \cos 2f & \frac{\alpha}{\alpha'} \frac{\rho'}{\rho} \left(\frac{\beta'}{\beta} \right)^2 \sin 2e' & \frac{\alpha}{\beta'} \frac{\rho'}{\rho} \left(\frac{\beta'}{\beta} \right)^2 \cos 2e' \\ -\cos 2f & -\frac{\beta}{\alpha} \sin 2f & \frac{\alpha'}{\alpha} \frac{\rho'}{\rho} \left(\frac{\beta'}{\beta} \right)^2 \cos 2f' & -\frac{\rho'}{\rho} \frac{\beta'}{\alpha} \sin 2f' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1/A \\ B_1/A \\ A'/A \\ B'/A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin e \\ \cos e \\ \sin 2e \\ \cos 2f \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

$$\begin{bmatrix} -\sin e & \cos f & \sin e' & \cos f' \\ -\cos e & -\sin f & -\cos e' & \sin f' \\ \frac{\beta}{\alpha} \sin 2e & -\cos 2f & \frac{\rho'}{\rho} \frac{\beta'}{\alpha'} \frac{\beta'}{\beta} \sin 2e' & \frac{\rho'}{\rho} \frac{\beta'}{\beta} \cos 2f' \\ \frac{\alpha}{\beta} \cos 2f & \sin 2f & -\frac{\rho'}{\rho} \frac{\alpha'}{\beta} \cos 2f' & -\frac{\rho'}{\rho} \frac{\beta'}{\beta} \sin 2f' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1/B \\ B_1/B \\ A'/B \\ B'/B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos f \\ \sin f \\ \cos 2f \\ \sin 2f \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

که α ، β و ρ به ترتیب سرعت انتشار موج P ، سرعت انتشار موج SV و چگالی محیط تابش و α' ، β' و ρ' به ترتیب سرعت انتشار موج P ، سرعت انتشار موج SV و چگالی محیط عبور می‌باشد. e ، f ، e' و f' به ترتیب زاویه تابش و بازتاب موج P ، زاویه تابش و بازتاب موج SV ، زاویه عبور موج P و زاویه عبور موج SV می‌باشد که در شکل ۱۹-۲ نشان داده شده‌اند.



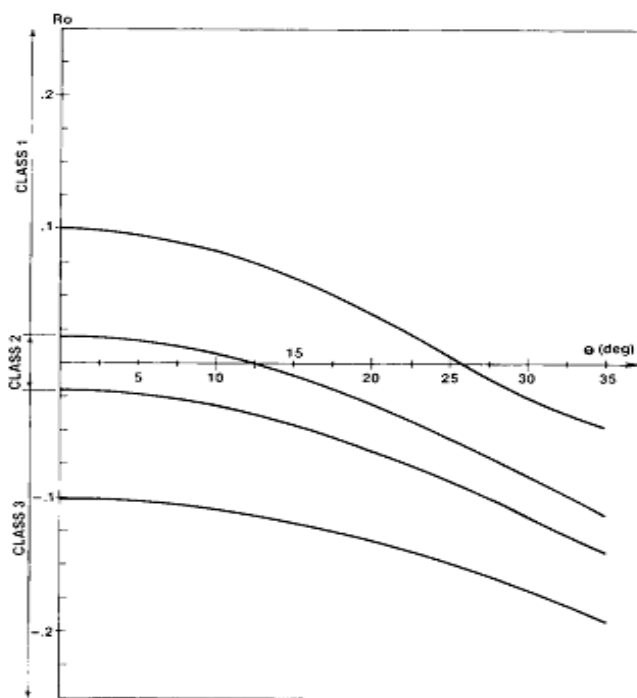
شکل ۱۹-۲ برخورد موج تابشی P به مرز بین دو محیط جامد و تولید امواج انعکاسی و انتقالی (با اصلاحات از [۳۱]).

با استفاده از این معادلات می‌توان تغییرات دامنه بازتاب به ازای زوایای مختلف تابش (AVO) را مورد بررسی قرار داد. معادله پاسخ AVO در مرز بین دو لایه عموماً توسط رابطه (۱۴-۲) بیان می‌شود [۲۴].

$$R(\theta) = R_0 \cos^2(\theta) + \left[\frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \right] \sin^2(\theta) \quad (14-2)$$

که $R(\theta)$ ضریب بازتاب در زاویه تابشی θ ، σ نسبت پواسون و R_0 ضریب بازتاب دورافت صفر است. معادله (۱۴-۲) تا زوایای پایین‌تر از ۳۰ درجه اعتبار دارد. در واقع رابطه (۱۴-۲) شکل ساده شده و تقریبی از

معادلات ژوئپریتس می‌باشد. پاسخ AVO در زوایای تابشی کم تحت تأثیر R_0 و در زوایای تابشی زیاد تحت تأثیر اختلاف نسبت پواسون است. افزایش نسبت پواسون در مرزها باعث افزایش دامنه بازتاب شده با زاویه تابشی می‌شود و بر عکس. بنابراین یک مرز جدایش به طور مستقیم ممکن است مقدار منفی، مثبت و یا صفر R_0 را نشان دهد و دامنه هم با دورافت ممکن است کاهش و یا افزایش یابد. طبقه‌بندی معمول AVO که توسط رادرفورد و ویلیامز^[۳۰] انجام شد، مرتبط با ماسه‌های گازی زیر لایه شیلی بود. آن‌ها با استفاده از R_0 و اختلاف ضریب پواسون بین بازتابنده‌ها سه طبقه‌بندی مختلف را برای بازتاب‌های ماسه‌های گازی ارائه کردند. در شکل ۲-۲۰ این سه گروه نشان داده شده‌اند. در این شکل ضریب پواسون و چگالی برای لایه شیل برابر ۰/۳۸ و ۲/۴ گرم بر سانتی متر مکعب و برای لایه ماسه‌سنگ گازدار برابر ۰/۱۵ و ۲ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۲۰ طبقه‌بندی گروه‌های مختلف AVO [۳۰].

ماسه‌های گازی نوع اول امپدانس بالاتری نسبت به لایه شیلی پوشاننده خود دارند و مقادیر R_0 برای این حالت نسبتاً بزرگ و مثبت می‌باشند. ماسه‌های گازی نوع دوم امپدانس تقریباً مشابهی با لایه‌های شیلی دارند و توسط مقادیر R_0 نزدیک به صفر شناسایی می‌شوند. ماسه‌های گازی نوع سوم امپدانس پایین‌تری نسبت به لایه‌های شیلی از خود نشان می‌دهند و مقادیر R_0 نسبتاً بزرگ و منفی می‌باشد. بزرگی نسبت تغییرات دامنه به دورافت (گرادیان دامنه) در نوع اول نسبت به دو نوع دیگر بیشتر است. این گرادیان به R_0 و تباین نسبت پواسون در مرز بین دو لایه بستگی دارد.

همانطور که از شکل ۲-۲۰ قابل مشاهده می‌باشد، در مدل‌های AVO نوع ۱ و ۲ و به خصوص در مدل ۲ امکان تغییر پلاریته وجود دارد. به عبارت دیگر، در این حالت دامنه روی هذلولی بازتاب دچار تغییر علامت می‌شود. با توجه به رابطه شباهت که بر اساس دامنه بازتاب‌ها استوار می‌باشد، روش متداول شباهت، در چنین شرایطی دچار مشکل می‌شود و حتی ممکن است که در طیف سرعت حاصل در t_0 مربوط به هذلولی با شرایط AVO نوع ۲ هیچ گونه آنومالی ایجاد نشود. فومل [۴] با استفاده از روش AB semblance موفق به رفع این مشکل در طیف سرعت داده‌های لرزه‌ای شد. در ادامه روش AB semblance به طور مختصر توضیح داده خواهد شد.

۲-۶-۱ روش AB semblance

ضریب شباهت بین دو ماتریس $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{M \times N}$ و $\mathbf{B} = [b_{ij}]_{M \times N}$ مطابق با رابطه (۲-۱۵) می‌باشد [۳۲].

$$S = \frac{\sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N a_{ij} b_{ij} \right)^2}{\sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N a_{ij}^2 \sum_{j=1}^N b_{ij}^2 \right)} \quad (2-15)$$

فومل [۴] نشان داد که روش شباهت می‌تواند به صورت مجذور همبستگی بین یک بردار و یک ثابت بیان شود. بنابراین اگر $b_{ij} \equiv C$ باشد که C یک مقدار ثابت است، معادله (۲-۱۵) تبدیل به معادله شباهت متداول می‌شود. برخلاف روش شباهت متداول، روش AB semblance به عنوان همبستگی با یک روند متداول می‌شود که $b_{ij} = p_i + q_i x_j$ تعریف می‌شود که x_j برابر دورافت، p_i و q_i با استفاده از کمینه کردن مجذور مربعات مطابق با رابطه (۲-۱۶) تعیین می‌گردند [۴، ۳۳].

$$\min_{p_i, q_i} \left(\sum_{j=1}^N a_{ij} - p_i - q_i x_j \right) \quad (۲-۱۶)$$

با برابر صفر قرار دادن مشتق عبارت بالا نسبت به p و q و حل دو معادله خطی این مقادیر مطابق با روابط (۲-۱۷) و (۲-۱۸) محاسبه می‌شوند:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N a_i x_i - \sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N a_i}{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (۲-۱۷)$$

$$q = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N a_i - N \sum_{i=1}^N x_i a_i}{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (۲-۱۸)$$

با توجه به روند $b_{ij} = p_i + q_i x_j$ و قرار دادن مقادیر p و q در آن و جایگذاری b در رابطه (۲-۱۵) می‌توان نوشت:

$$\beta^2(a) = \frac{2 \sum_{i=1}^N a_i \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N a_i x_i - \left(\sum_{i=1}^N a_i \right)^2 \sum_{i=1}^N x_i^2 - N \left(\sum_{i=1}^N a_i x_i \right)^2}{\sum_{i=1}^N a_i^2 \left[\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^N x_i^2 \right]} \quad (۲-۱۹)$$

رابطه بالا شکل تعمیم‌یافته روش شباهت مرسوم می‌باشد. در صورت نبود یک روند (زمانی که صورت کسر معادله (۲-۱۸) برابر صفر شود) رابطه (۲-۱۹) معادل رابطه شباهت متداول می‌شود. اگر چه این روش

به خوبی قادر به انتخاب سرعت بازتابنده‌ها در داده‌هایی همراه با آنومالی نوع دوم AVO می‌باشد، اما استفاده از این روش باعث پهن‌شدگی آنومالی‌های طیف سرعت و در نتیجه کاهش قدرت تفکیک طیف سرعت می‌شود. فومل [۴] نشان‌داد که قدرت تفکیک این روش تقریباً معادل نصف قدرت تفکیک روش شباهت مرسوم است.

فصل سوم: توابع وزنی و طیف سرعت وزن دار شده

۳-۱ تجزیه مقادیر تکین

مسئله مقادیر ویژه (مقادیر ذاتی) مربوط به ماتریس‌ها از جمله اساسی‌ترین و پرکاربردترین مباحث و ابزار در بسیاری از زمینه‌های علوم مختلف می‌باشد. به عنوان یک تجزیه و فاکتورگیری ماتریسی، تجزیه مقادیر منفرد یا تجزیه مقادیرهای تکین قدمی اساسی در بسیاری از زمینه‌های علمی و مهندسی به حساب می‌آید [۳۴]. یک روش عددی برای قطری کردن ماتریس‌ها در آنالیز عددی روش تجزیه مقادیر تکین است. بر اساس تئوری تجزیه مقادیر تکین، هر ماتریس $A_{m \times n}$ را می‌توان به صورت رابطه (۳-۱) به شکل ضرب سه ماتریس نوشت [۳۵، ۳۶].

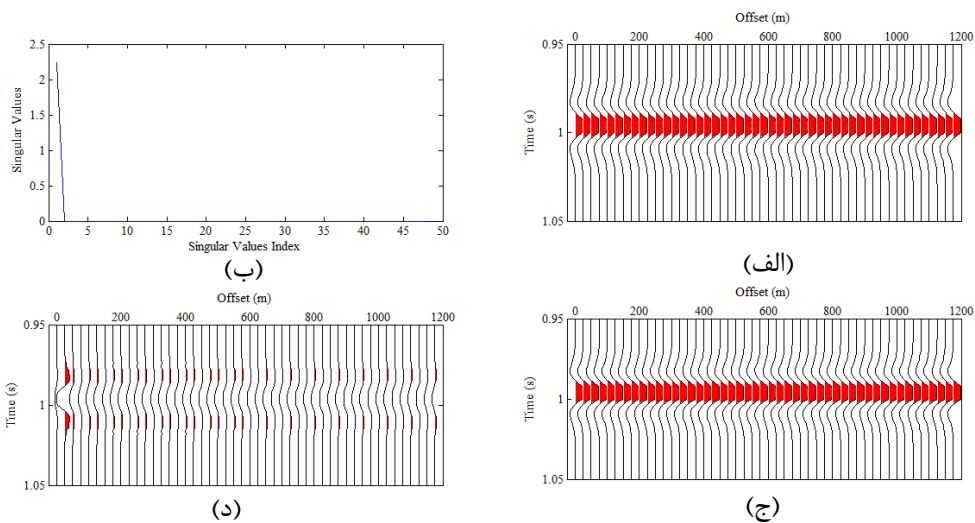
$$A_{m \times n} = U_{m \times m} \Lambda_{m \times n} V_{n \times n}^T \quad (۳-۱)$$

که ماتریس‌های $U_{m \times m}$ و $V_{n \times n}$ ماتریس‌های متعامد با ستون‌های u_i و v_i می‌باشند که به ترتیب بردارهای ویژه ماتریس AA^T و $A^T A$ می‌باشند و Λ ماتریسی است که تمام عناصر غیر قطر اصلی آن صفر و عناصر قطر اصلی آن ریشه دوم مقادیر ویژه ماتریس AA^T یا $A^T A$ می‌باشد. در واقع تجزیه مقادیر تکین یک ماتریس همانند تجزیه یک بردار به مؤلفه‌های سازنده آن می‌باشد. اگر یک بردار در جهت یکی از محورهای مختصاتی باشد، مؤلفه بردار مربوط به آن محور مختصات دارای مقداری برابر با طول بردار می‌باشد و سایر مؤلفه‌ها دارای مقدار صفر هستند. لذا می‌توان بردار مذکور را فقط با یک مؤلفه نمایش داد. اگر بردار مذکور به جای اینکه 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 مختصاتی بیان نمود، هر چند که در این حالت، سایر مؤلفه‌ها صفر نمی‌باشند.

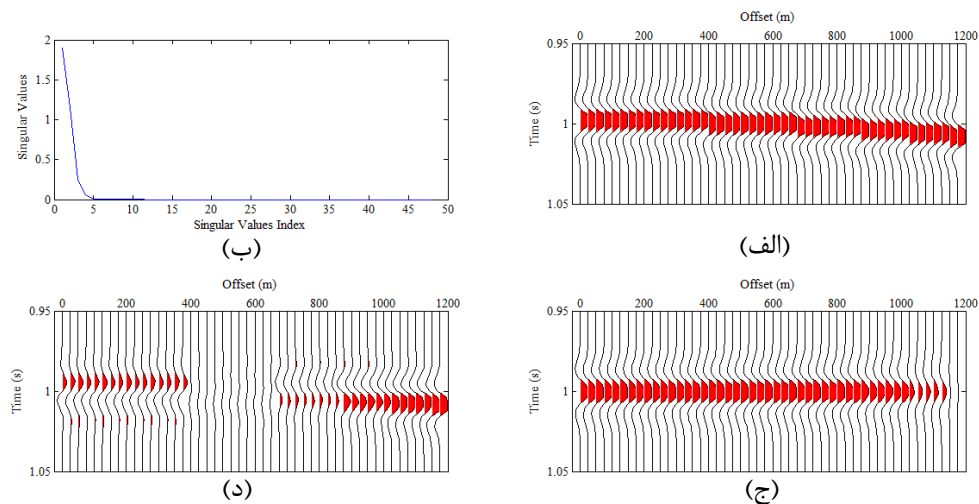
در تجزیه مقادیر تکین، اگر در ماتریس یک رویداد همدوس و یا با همدوسی بالا وجود داشته باشد، همانند برداری است که یا به طور کامل در جهت محور مختصاتی قرار گرفته است یا نزدیک به آن است.

بنابراین می‌توان این ماتریس را با استفاده از یک یا تعداد کمی از مؤلفه‌های آن بازسازی نمود. در شکل ۱-۳ الف و ب یک ماتریس که دارای یک رویداد همدوس می‌باشد، به همراه نمودار مقادیر تکین آن نشان داده شده است. شکل ۱-۳ ج حاصل بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین نشان داده شده که دارای اکثر خصوصیات ماتریس اولیه می‌باشد و می‌تواند یک تقریب خوبی از آن باشد که با تعداد ضرایب کمتری قابل دستیابی است. در شکل ۱-۳ د اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده نمایش داده شده است. شکل ۲-۳ الف تا ج یک ماتریس با رویداد تقریباً همدوس، به همراه نمودار مقادیر تکین و بازسازی شده آن با مقدار تکین اول را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ماتریس بازسازی شده را می‌توان با تقریب همان ماتریس اول در نظر گرفت. در شکل ۳-۳ الف تا ج یک ماتریس که رویداد درون آن از همدوسی پایینی برخوردار است به همراه نمودار مقادیر تکین و بازسازی شده با مقدار تکین اول نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر تکین این ماتریس خیلی تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند و به عبارت دیگر سهم هر یک از مؤلفه‌های ماتریس تقریباً با یکدیگر یکسان می‌باشد. بنابراین نمی‌توان این ماتریس را با مقدار تکین اول بازسازی نمود. اما در مثال اول که یک رویداد کاملاً همدوس را شامل می‌شود، مقدار تکین اول دارای اختلاف زیادی با سایر مقادیر تکین است. این خصوصیت تجزیه مقادیر تکین، پایه و مبنای استفاده از آن در آنالیز سرعت با قدرت تفکیک بالا می‌باشد.

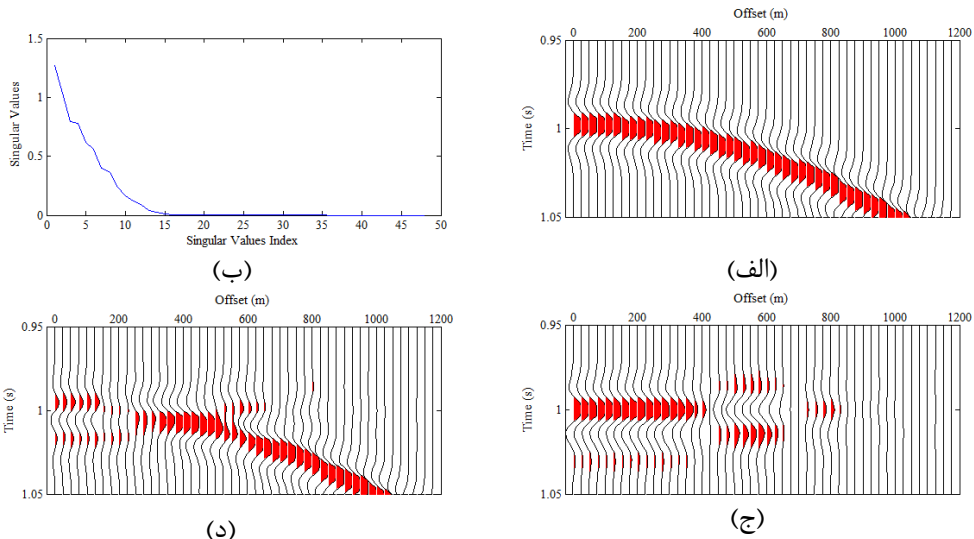
تجزیه مقادیر تکین ابزاری است که امروزه کاربردهای فراوانی در پردازش داده‌های لرزه‌ای از جمله جداسازی امواج بالارونده و پایین‌رونده در داده‌های لرزه‌ای درون‌چاهی [۳۷]، تفسیر داده‌های لرزه‌ای [۳۸]، بهبود سیگنال در داده‌های لرزه‌ای [۳۹]، تضعیف نوفه‌های زمین غلت [۴۰-۴۲]، بهبود کیفیت بازتابنده‌ها [۴۳] و بهبود کیفیت طیف سرعت [۲۷، ۴۴] دارد.



شکل ۱-۳ الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد کاملاً همدوسی. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی بالا. ج) بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول.



شکل ۲-۳ الف) ماتریس دربردارنده یک رویداد با همدوسی نسبتاً بالا. ب) مقادیر تکین رویداد با همدوسی نسبتاً بالا. ج) بازسازی ماتریس با اولین مقدار تکین اول. د) اختلاف بین ماتریس اصلی و ماتریس بازسازی شده با مقدار تکین اول.



شکل ۳-۳ 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.

۲-۳ شباهت وزن دار شده

شباهت وزن دار شده بر اساس تجزیه مقادیر تکین یک نسخه جدید از شباهت مرسوم می باشد. در این پایان نامه با معرفی و استفاده از دو تابع وزنی متفاوت $W_{svd}(t_0, v_{rms})$ و $W_{pow}(t_0, v_{rms})$ در رابطه شباهت مطابق با رابطه (۲-۳)، قدرت تفکیک طیف سرعت به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.

$$S_W(t_0, v_{rms}) = W_{svd}(t_0, v_{rms}) \times W_{pow}(t_0, v_{rms}) \times S_c(t_0, v_{rms}) =$$

$$W_{svd}(t_0, v_{rms}) \times W_{pow}(t_0, v_{rms}) \times \frac{\sum_{\tau=t-l}^{t+l} \left(\sum_{i=1}^M a(\tau, x_i) \right)^2}{M \sum_{\tau=t-l}^{t+l} \left(\sum_{i=1}^M a(\tau, x_i)^2 \right)} \quad (2-3)$$

که M تعداد ردلرزه ها درون پنجره تحلیل به طول $2l+1$ می باشد. $W_{svd}(t_0, v_{rms})$ تابع وزنی بر اساس تجزیه مقادیر تکین می باشد که توسط نسبت مقدار تکین اول به دوم از پنجره تحلیل محاسبه می شود. تابع وزنی $W_{pow}(t_0, v_{rms})$ بر اساس موقعیت قرارگیری موجک در پنجره تحلیل محاسبه می شود. در تابع وزنی دوم، فرض بر این است که موجک چشمه لرزه ای از نوع فاز صفر است. البته ممکن است در واقعیت این

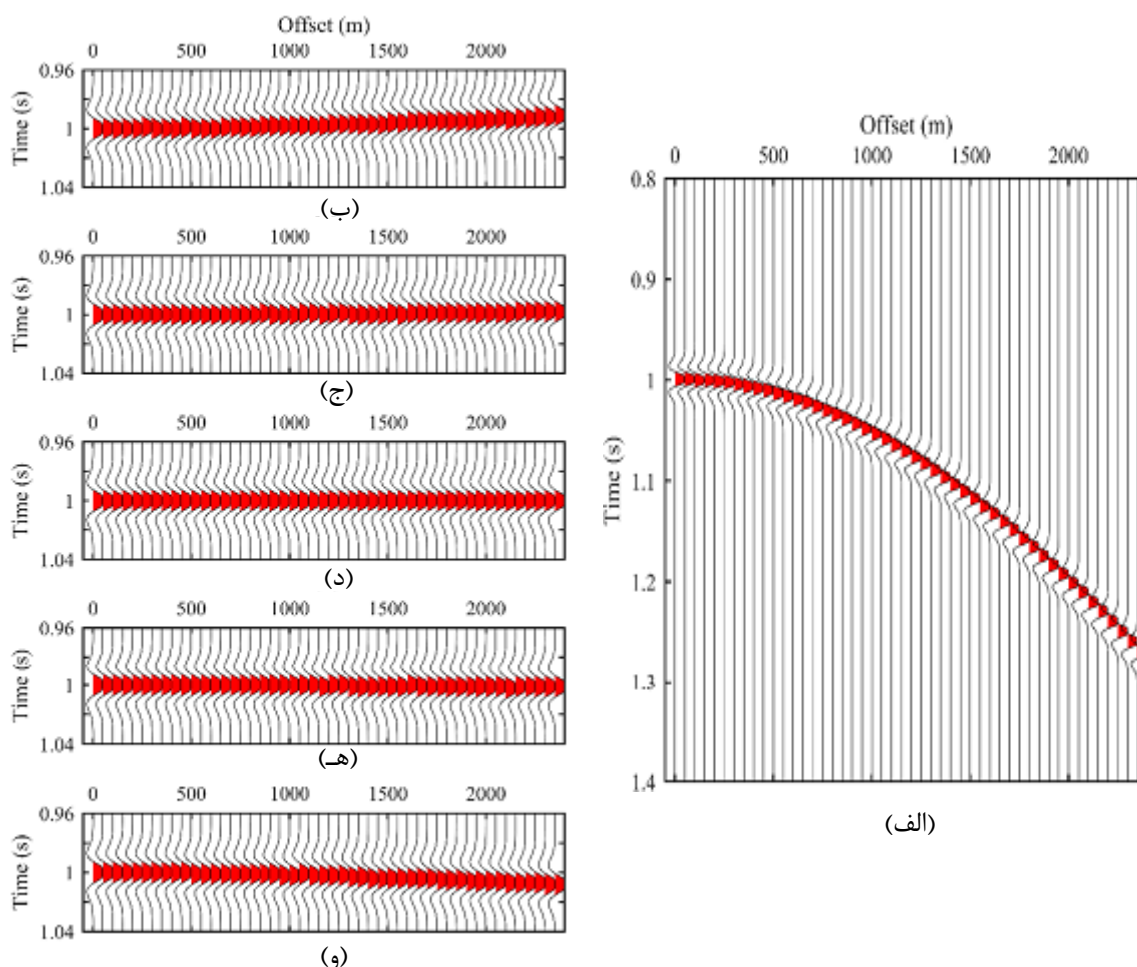
شرط برقرار نباشد. در چنین حالتی می‌توان با استفاده از فیلتر شکل‌دهی وینر فاز موجک را به حالت فاز صفر تغییر داد و سپس آنالیز سرعت را انجام داد.

۳-۲-۱ توابع وزنی

همان‌طور که قبلاً عنوان شد ضرایب شباهت بر روی پنجره تحلیل حول هذلولی زمان - سیر رابطه (۵-۲) محاسبه می‌شوند. با معرفی توابع وزنی در محاسبه شباهت که حساسیت بیشتری به تغییرات در راستای سرعت و زمان دارند، می‌توان قدرت تفکیک طیف سرعت را افزایش داد. این توابع وزنی در پنجره تحلیل مورد استفاده در محاسبه ضریب شباهت محاسبه می‌شوند و در مقدار شباهت محاسبه شده، ضرب می‌شوند تا مقادیر شباهت را برای سرعت صحیح تقویت و مقادیر شباهت مربوط به سرعت‌های غیر صحیح را تضعیف نماید.

۳-۲-۱-۱ افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور سرعت

شکل ۳-۴ حساسیت کم‌روش شباهت به تغییرات سرعت حول سرعت واقعی را نشان می‌دهد. رکورد CMP مصنوعی شکل ۳-۴ الف دارای یک بازتابنده با سرعت ۳۰۰۰ متر بر ثانیه و زمان - رسید دو طرفه دورافت صفر برابر با ۱ ثانیه است. شکل ۳-۴ ب - و به ترتیب نشان دهنده پنجره تحلیل به ازای سرعت‌های ۲۹۵۰، ۲۹۹۰، ۳۰۰۰، ۳۰۱۰ و ۳۰۵۰ متر بر ثانیه می‌باشد.



شکل ۳-۴ الف) رکورد CMP مصنوعی مربوط به زمین تک لایه با سرعت ۳۰۰۰ متر بر ثانیه. پنجره تحلیل به ازای سرعت‌های ب) ۲۹۵۰ متر بر ثانیه، ج) ۲۹۹۰ متر بر ثانیه، د) ۳۰۰۰ متر بر ثانیه، هـ) ۳۰۱۰ متر بر ثانیه، و) ۳۰۵۰ متر بر ثانیه.

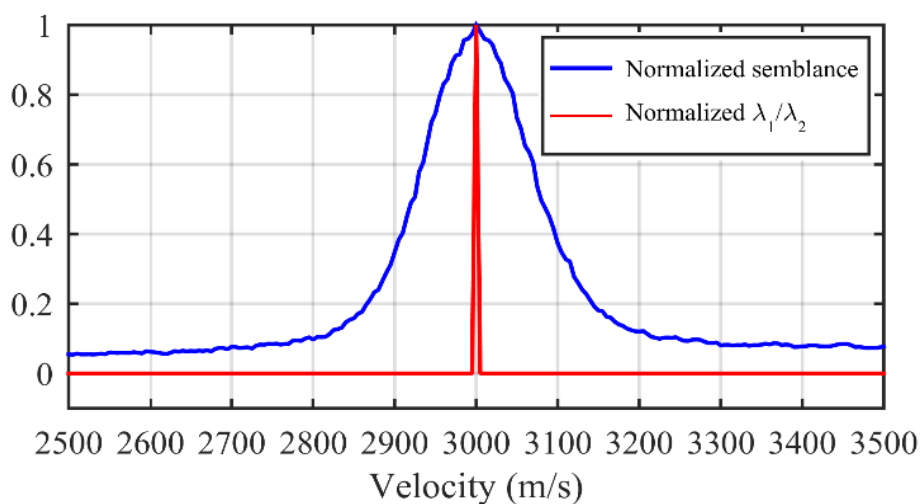
در جدول ۳-۱ مقادیر شباهت محاسبه شده به ازای هر کدام از پنجره تحلیل زمانی مربوط به شکل ۳-۴ نشان داده شده است. شباهت محاسبه شده برای هر کدام از پنجره‌های تحلیل تقریباً مقادیر بالایی را نشان می‌دهند که بیانگر حساسیت پایین معیار شباهت به تغییرات سرعت می‌باشد. مقادیر شباهت برای سرعت‌های ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر بر ثانیه برای $t_0 = 1$ ثانیه محاسبه و بر حسب سرعت رسم گردید که در شکل ۳-۵ توسط خط آبی رنگ مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار شباهت در سرعت دقیق ۳۰۰۰ متر بر ثانیه دارای یک قله می‌باشد. اما با توجه به مقادیر بالای شباهت برای سرعت‌های نزدیک

به سرعت واقعی، قله مربوط به سرعت ۳۰۰۰ متر بر ثانیه در نمودار شباهت تیز^۱ نمی‌باشد و امکان تعیین دقیق سرعت در شرایط پیچیده را سخت می‌کند.

بر اساس خصوصیت بیان‌شده در مورد مقادیر تکین یک ماتریس، در جدول ۱-۳ برای هر کدام از پنجره‌های تحلیل مثال قبل نسبت مقدار تکین اول به مقدار تکین دوم (σ_1/σ_2) نیز رسم شده است. همان‌طور 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 این نسبت به سرعت دقیق را نشان می‌دهد که می‌توان از آن برای وزن‌دار کردن شباهت و افزایش حساسیت آن به تغییرات سرعت استفاده نمود. در شکل ۳-۵ نیز مقدار این نسبت به ازای سرعت‌های ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر بر ثانیه رسم شده است که مشاهده می‌شود یک قله بسیار تیز در سرعت صحیح ۳۰۰۰ متر بر ثانیه دارد که ایده مطرح شده برای وزن‌دار کردن شباهت را تأیید می‌کند.

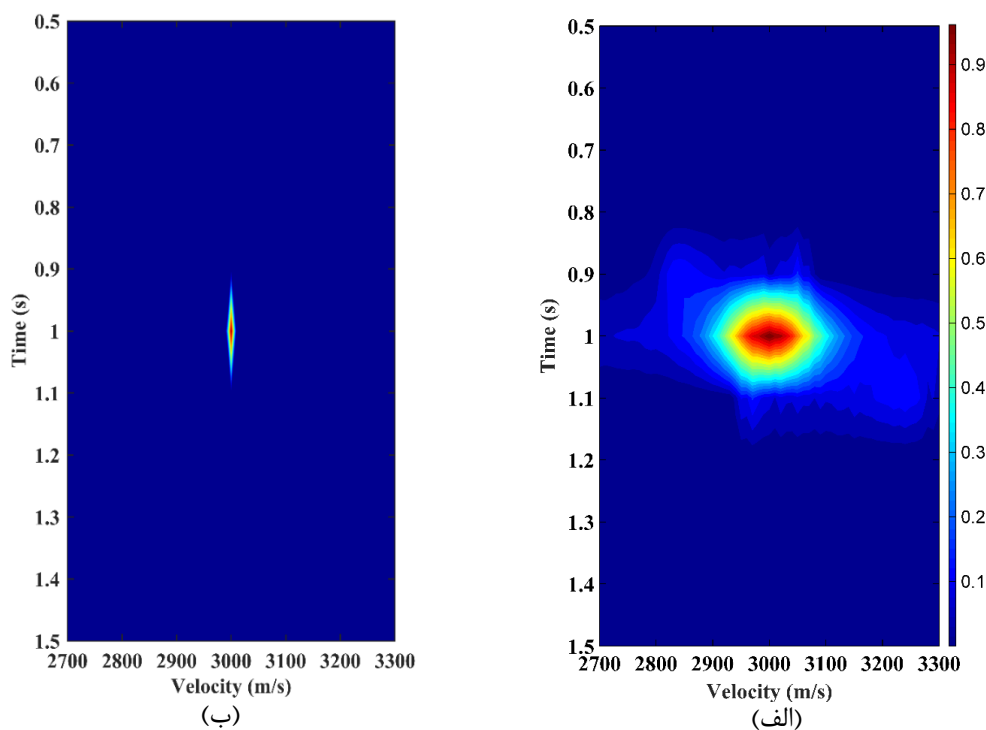
جدول ۱-۳ مقادیر شباهت و نسبت مقدار تکین اول به دوم مرتبط با پنجره‌های تحلیل شکل ۳-۴.

نسبت مقدار تکین اول به دوم	مقدار شباهت	سرعت‌های مختلف جهت تشکیل پنجره تحلیل زمانی (متر بر ثانیه)
۱/۸۵۲۶	۰/۷۴۶۴	۲۹۵۰
۴/۹۲۲۰	۰/۹۶۰۲	۲۹۹۰
۴/۱۳۲۹ × ۱۰ ^{۱۴}	۱	۳۰۰۰
۴/۹۲۲۰	۰/۹۶۰۲	۳۰۱۰
۱/۷۶۳۳	۰/۷۳۳۳	۳۰۵۰



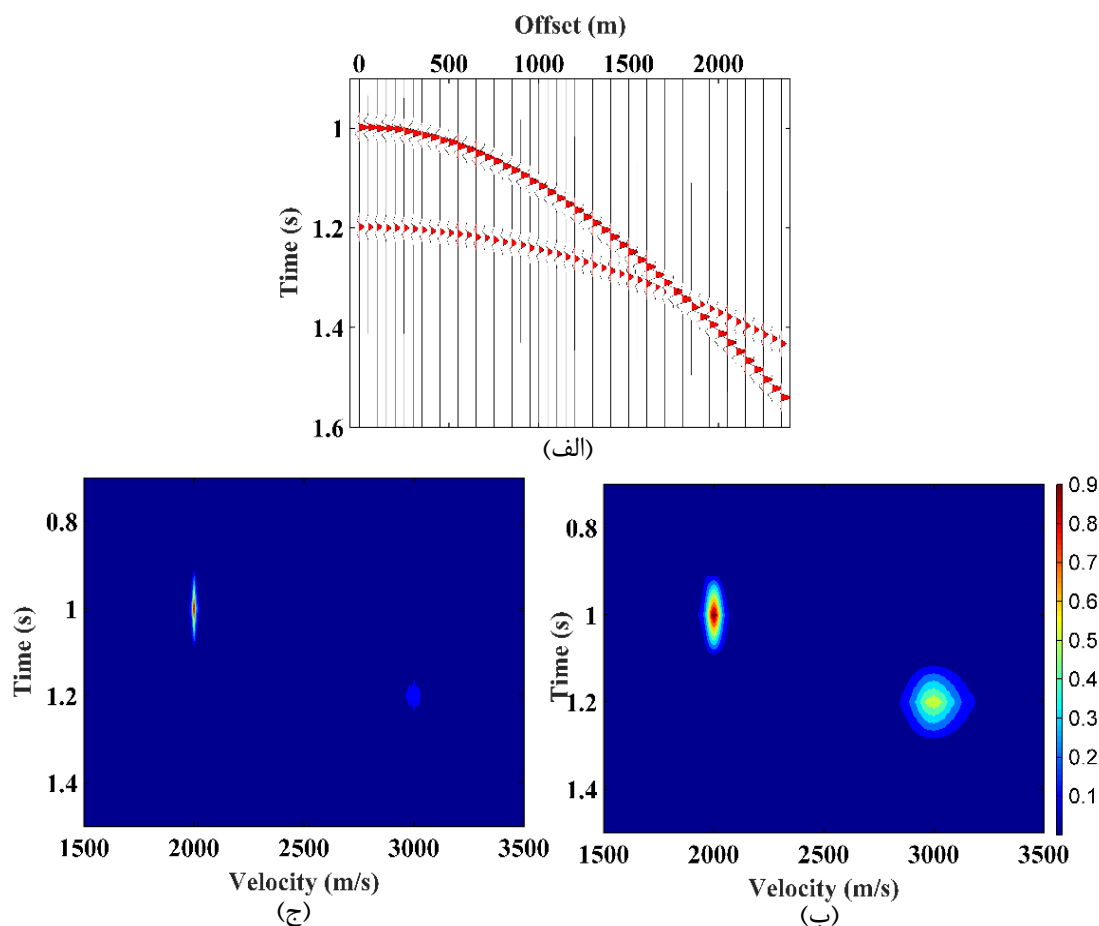
شکل ۳-۵ نمودار مقدار شباهت به همراه مقادیر نسبت تکین اول به دوم به ازای سرعت‌های مختلف مربوط به شکل ۳-۴.

همان‌طور که مشخص است، نسبت σ_1/σ_2 توانایی بالایی در تشخیص و تمایز بین مقادیر درست و نادرست سرعت دارد. بنابراین تابع وزنی بر اساس نسبت تکین اول به دوم معرفی می‌شود تا مقادیر شباهت مرتبط با مقادیر واقعی را به مقدار قابل توجهی تقویت کند و در عین حال مقادیر غیر مرتبط با مقادیر واقعی را به شدت میرا کند. شکل ۳-۶ الف و ب طیف سرعت مربوط به CMP مصنوعی تولید شده مربوط به شکل ۳-۴ که با روش شباهت مرسوم و شباهت وزن‌دار شده با استفاده از نسبت تکین اول به دوم محاسبه شده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، استفاده از تابع وزنی σ_1/σ_2 توانسته است قدرت تفکیک طیف سرعت را به طور چشمگیری افزایش دهد.



شکل ۳-۶ طیف سرعت محاسبه شده مربوط به شکل ۳-۴ با استفاده از الف) روش شباهت ب) شباهت وزن دار شده با استفاده از نسبت σ_1/σ_2 .

به نظر می‌رسد که استفاده از تابع وزنی σ_1/σ_2 می‌تواند مشکل قدرت تفکیک طیف سرعت شباهت را برطرف سازد. چنانچه دو بازتابنده با دامنه مختلف در رکورد CMP وجود داشته باشد، تابع وزنی σ_1/σ_2 همزمان با افزایش قدرت تفکیک، مشکل دیگری ایجاد می‌کند. استفاده از این تابع وزنی باعث تضعیف بازتابنده با دامنه ضعیف‌تر در طیف سرعت خواهد شد. تفاوت زیاد بین مقدار σ_1/σ_2 مرتبط با بازتابنده با دامنه قوی‌تر و ضعیف‌تر باعث ایجاد این مشکل در طیف سرعت خواهد شد. شکل ۳-۷ الف یک رکورد CMP که دارای دو بازتابنده با دامنه‌های متفاوت می‌باشد را نشان می‌دهد. طیف سرعت مربوط به این CMP حاصل از روش شباهت و شباهت وزن دار شده به ترتیب در شکل ۳-۷ ب و ج نشان داده شده است. مقدار σ_1/σ_2 مرتبط با بازتابنده در $t_0 = 1s$ ، برابر $9/5957$ و مقدار آن برای بازتابنده در $t_0 = 1/2s$ برابر $2/5158$ می‌باشد. همانطور که در شکل ۳-۷ ج مشخص است، وزن دار کردن روش شباهت با استفاده از مقدار σ_1/σ_2 باعث تضعیف بازتابنده با دامنه ضعیف‌تر در طیف سرعت خواهد شد.

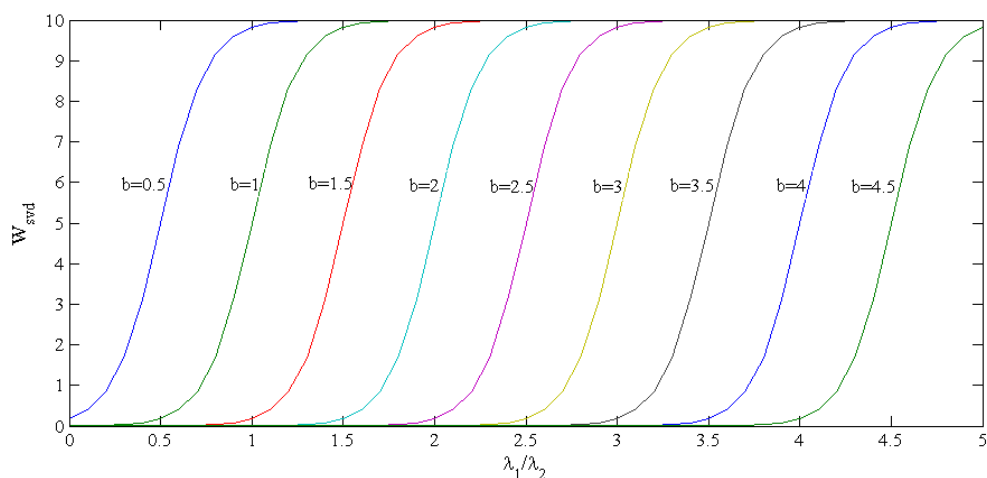


شکل ۷-۳ الف) CMP مصنوعی شامل دو بازتابنده با دامنه‌های متفاوت. ب) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت. ج) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزن‌دار شده.

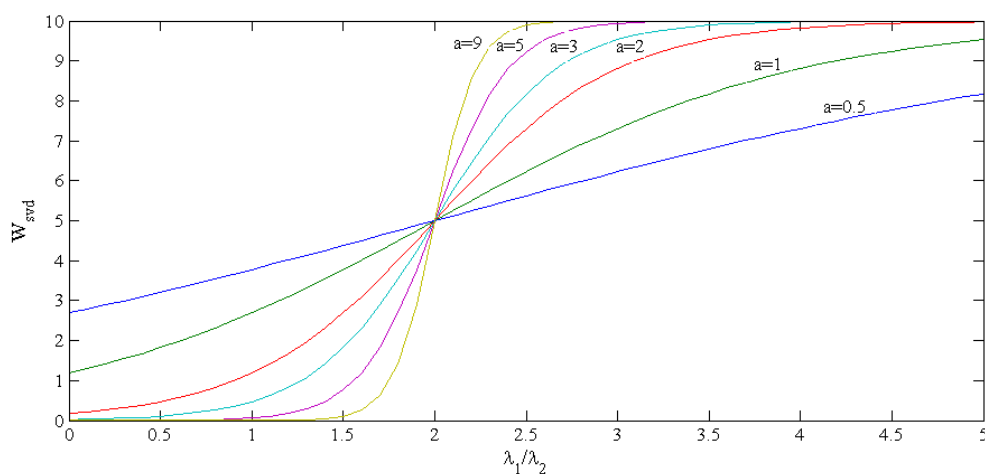
برای حل مشکل مذکور بایستی جلوی تغییرات زیاد مقدار σ_1/σ_2 گرفته شود و تغییرات آن را محدودتر نمود. برای این منظور از تابع وزنی مطابق رابطه (۳-۳) استفاده می‌شود که تغییرات σ_1/σ_2 را در بازه‌ای محدودتر می‌کند.

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

که a و b مقادیر ثابتی هستند که به طور تجربی تعیین می‌شوند. با استفاده از این تابع وزنی مشکل مطرح شده، برطرف می‌گردد. در شکل ۳-۸ و شکل ۳-۹ نمودار تابع وزنی برای مقادیر مختلف a و b رسم شده است.

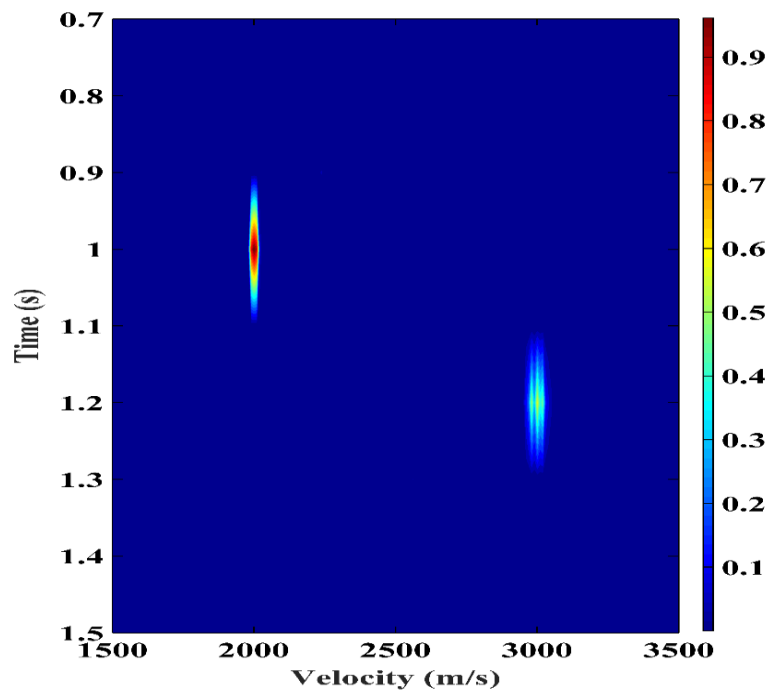


شکل ۳-۸ نمودار تابع وزنی W_{svd} برای مقادیر مختلف b و مقدار $a = 8$.



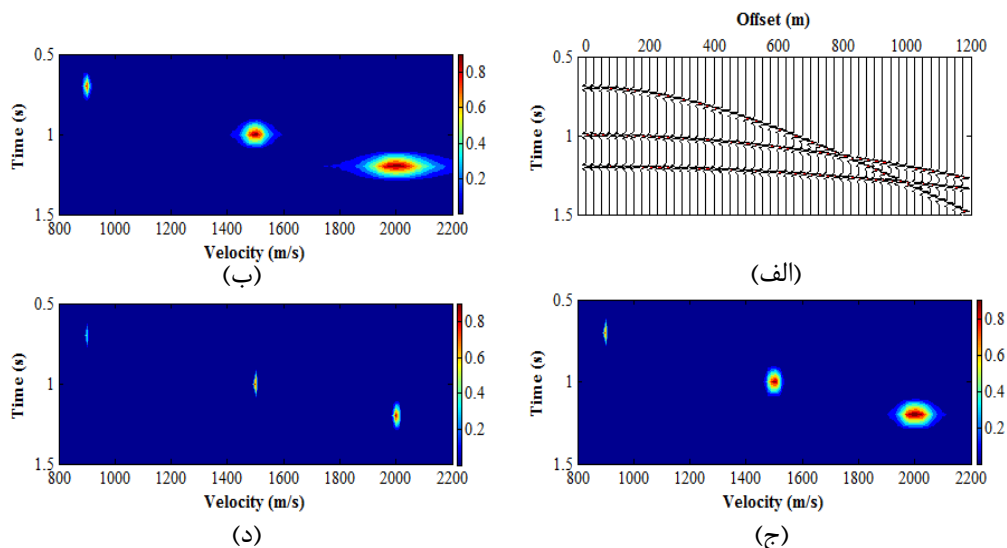
شکل ۳-۹ نمودار تابع وزنی W_{svd} برای مقادیر مختلف a و مقدار $b = 2$.

در شکل ۳-۱۰ طیف سرعت محاسبه شده برای CMP مصنوعی شکل ۳-۷ الف با استفاده از رابطه (۳-۳) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است مشکل تضعیف طیف سرعت مربوط به بازتابنده با دامنه ضعیف‌تر برطرف شده است. در ادامه تأثیر هر یک از پارامترهای a و b بر قدرت تفکیک طیف سرعت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

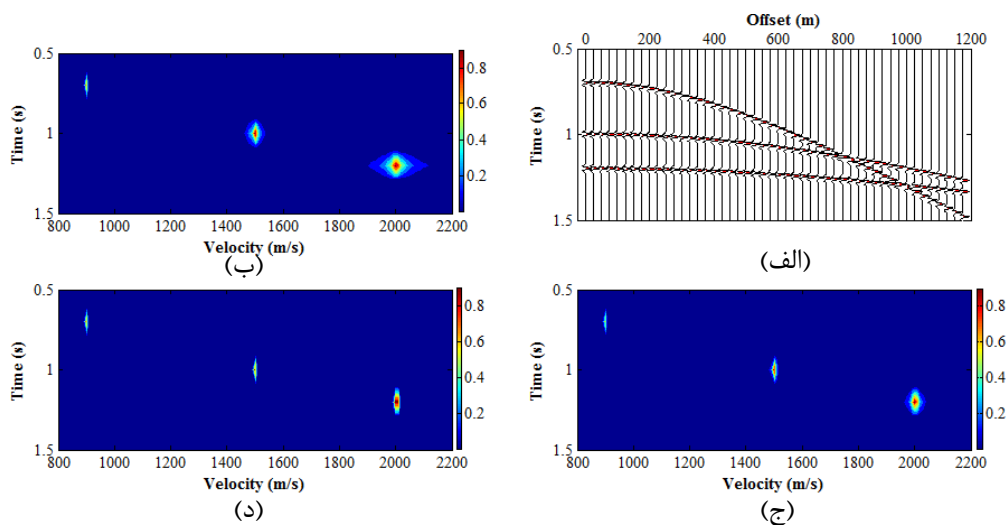


شکل ۳-۱۰ محاسبه طیف سرعت CMP شکل ۳-۷ الف با استفاده از رابطه (۳-۳).

شکل ۳-۱۱ الف یک رکورد CMP مصنوعی متشکل از سه بازتابنده را نمایش می‌دهد. در حالت اول با ثابت فرض کردن مقدار پارامتر a ، طیف سرعت برای مقادیر مختلف b محاسبه می‌شود. در شکل ۳-۱۱ ب تا د طیف سرعت شباهت وزن‌دار شده برای مقادیر $b = 0.5$ ، $b = 2$ و $b = 5$ نشان داده شده است. در این مثال مقدار a برابر ۲ در نظر گرفته شده است. همان‌طور که مشخص است، برای یک مقدار ثابت a ، با افزایش مقدار پارامتر b قدرت تفکیک طیف سرعت افزایش می‌یابد. جهت بررسی تأثیر پارامتر a بر قدرت تفکیک طیف سرعت، در شکل ۳-۱۲ ب تا د طیف سرعت مربوط به CMP مصنوعی برای مقادیر $a = 0.5$ و $a = 1$ و $a = 5$ نشان داده شده است. مقدار b برابر ۵ در نظر گرفته شده است. مشابه با حالت قبل مشاهده می‌شود که با افزایش پارامتر a قدرت تفکیک طیف سرعت افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱۱ تأثیر پارامتر b بر قدرت تفکیک طیف سرعت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $b = 0.5$ ج) $b = 2$ و د) $b = 5$.

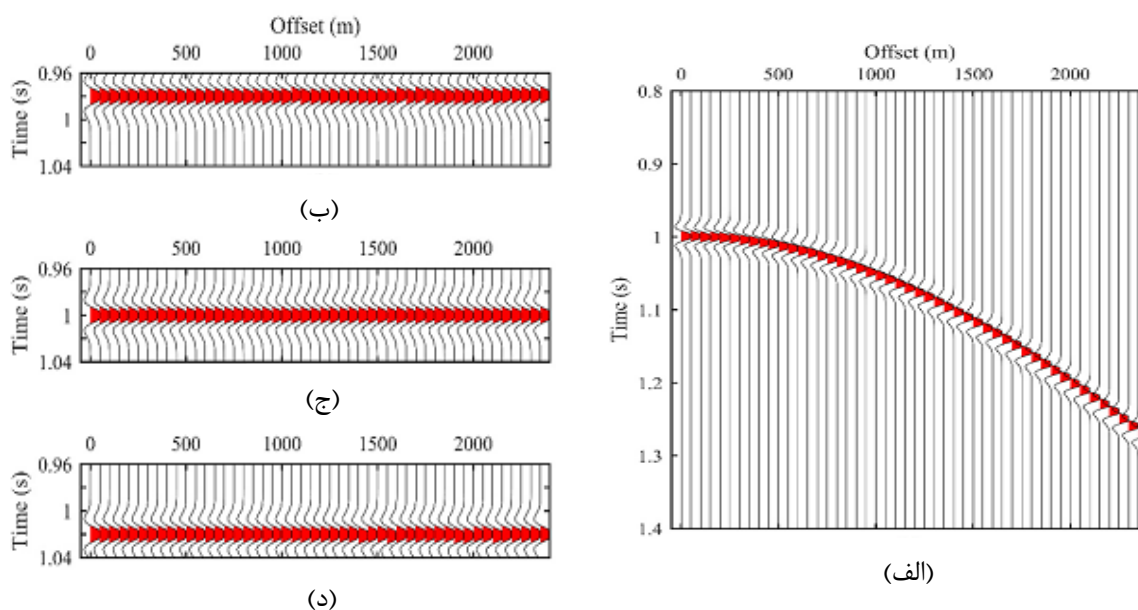


شکل ۳-۱۲ تأثیر پارامتر a بر قدرت تفکیک طیف سرعت. الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $a = 0.5$ ج) $a = 1$ و د) $a = 5$.

۳-۱-۲-۳ افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور زمان

به منظور افزایش قدرت تفکیک و دقت طیف سرعت در راستای محور زمان به منظور شناسایی رویدادهای بازتابی از لایه‌های نازک، بایستی جستجوی زمانی با گام کوچک انجام شود. در چنین شرایطی

حداقل سه پنجره تحلیل زمانی با زمان‌ها و سرعت‌های نزدیک به هم وجود دارند که رویدادهای بازتابی درون آنها همبستگی مکانی بالایی دارند. شکل ۳-۱۳ الف رکورد نقطه میانی مشترک مربوط به تک بازتابنده‌ای با سرعت ۳۰۰۰ متر بر ثانیه و زمان رسید ۱ ثانیه را نشان می‌دهد. در شکل ۳-۱۳ ب تا د سه پنجره تحلیل به ازای سرعت‌های ۲۹۷۰، ۳۰۰۰ و ۳۰۳۰ متر بر ثانیه و زمان رسیدهای ۱/۰۲، ۱ و ۰/۹۸ ثانیه نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳ الف) CMP مصنوعی. پنجره تحلیل به ازای سرعت‌ها و زمان - رسیدهای دورافت صفر ب) ۲۹۷۰ متر بر ثانیه و ۱/۰۲ ثانیه. ج) ۳۰۰۰ متر بر ثانیه و ۱ ثانیه. د) ۳۰۳۰ متر بر ثانیه و ۰/۹۸ ثانیه.

از آنجایی که بازتابنده در هر سه پنجره تحلیل به حالت افقی و صاف می‌باشد، بنابراین هر سه پنجره دارای مقادیر بالای شباهت و W_{svd} خواهند بود. بنابراین در این حالت روش شباهت وزن‌دار شده با تابع وزنی W_{svd} قادر به تشخیص سرعت و زمان رسید واقعی بازتابنده نخواهد بود در نتیجه به هر سه پنجره وزن بالایی را اختصاص می‌دهد و عدم قطعیت در تشخیص مقدار درست پارامتر زمان - سیر را افزایش می‌دهد. برای رفع این مشکل، تابع وزنی دیگری بر اساس موقعیت قرارگیری موجک لرزه‌ای درون پنجره

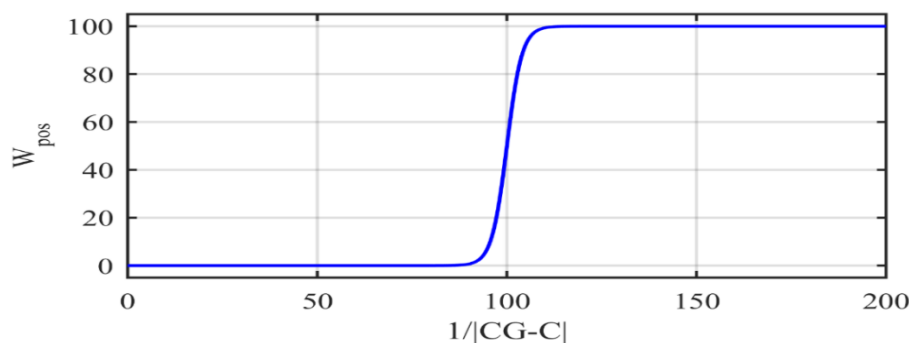
تحلیل داده‌های لرزه‌ای معرفی شده است. در موجک با فاز صفر، به ازای سرعت و زمان رسید واقعی، بازتابنده در مرکز پنجره تحلیل قرار خواهد گرفت. بنابراین تابع وزنی رابطه (۴-۳) که به پنجره‌های تحلیلی که مرکز ثقل آنها در مرکز پنجره می‌باشد، وزن بیشتری می‌دهد، معرفی گردید.

$$W_{pow} = \frac{100}{1 + e^{-a(pow - b)}} \quad (۴-۳)$$

a و b مقادیر ثابتی می‌باشند که به طور تجربی تعیین می‌شوند. مقدار pow برای هر پنجره تحلیل توسط رابطه (۵-۳) محاسبه می‌شود.

$$pow = \frac{1}{|CG - c|} \quad (۵-۳)$$

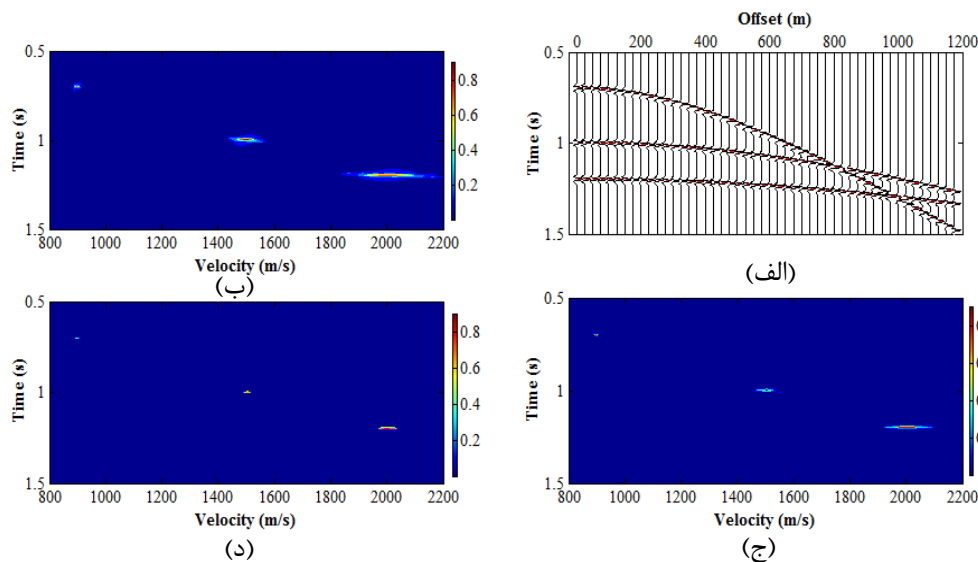
که CG و c به ترتیب مرکز ثقل انرژی موجک و مرکز پنجره تحلیل می‌باشند. شکل این تابع وزنی مشابه تابع وزنی قبلی می‌باشد. در شکل ۱۴-۳ تابع وزنی برای مقادیر $a = 5$ و $b = 100$ رسم شده است.



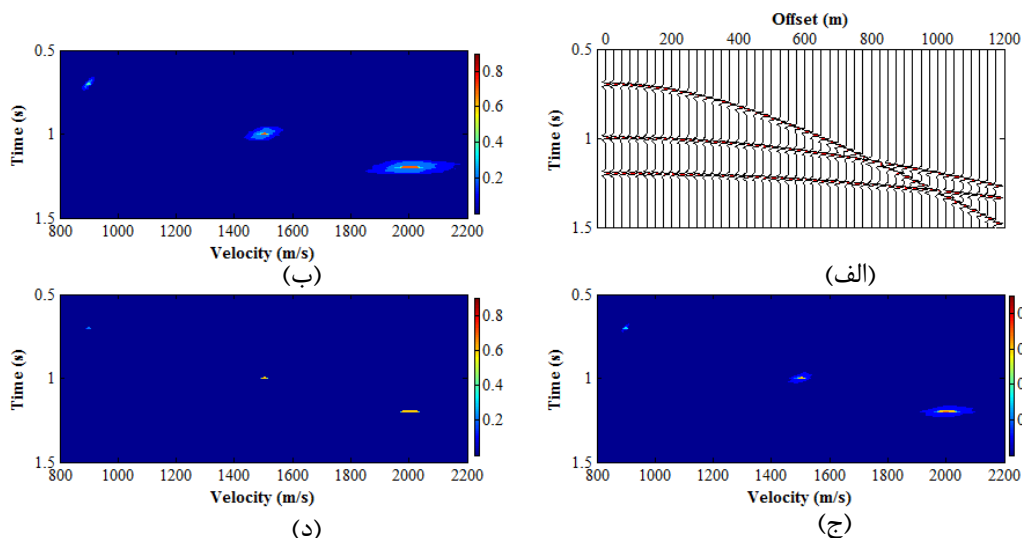
شکل ۱۴-۳ تابع وزنی مورد استفاده جهت افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور زمان.

مشابه با تابع وزنی W_{svd} ، در این قسمت به تأثیر هر یک از پارامترهای a و b بر قدرت تفکیک طیف سرعت پرداخته خواهد شد. شکل ۱۵-۳ ب تا د طیف سرعت شباهت وزن دار شده برای مقادیر $b = 0.5$ ، $b = 1$ و $b = 3$ نشان داده شده است. در این مثال مقدار a برابر ۵ در نظر گرفته شده است. همان طور که مشخص است برای یک مقدار ثابت a ، با افزایش مقادیر پارامتر b قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای

محور زمان افزایش می‌یابد. جهت بررسی تأثیر پارامتر a بر قدرت تفکیک طیف سرعت، در شکل ۳-۱۶ ب تا د طیف سرعت مربوط به CMP مصنوعی برای مقادیر $a = 0.5$ ، $a = 1$ و $a = 3$ نشان داده شده است. مقدار b برابر ۲ در نظر گرفته شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش پارامتر a قدرت تفکیک طیف سرعت افزایش می‌یابد.

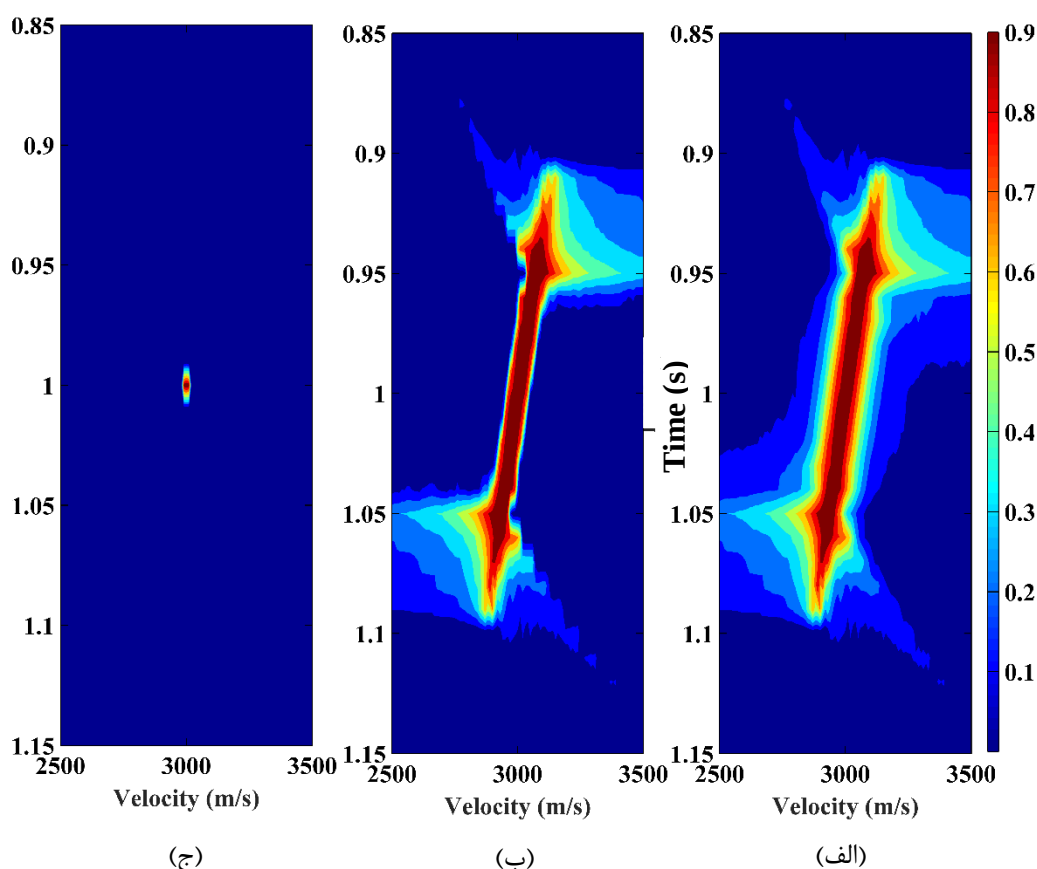


شکل ۳-۱۵ تأثیر پارامتر b بر قدرت تفکیک طیف سرعت. (الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $a = 0.5$ ، ج) $a = 1$ و د) $a = 3$.



شکل ۳-۱۶ تأثیر پارامتر a بر قدرت تفکیک طیف سرعت. (الف) رکورد مصنوعی نقطه میانی مشترک. طیف سرعت به دست آمده برای مقادیر ب) $a = 0.5$ ، ج) $a = 1$ و د) $a = 3$.

مقدار $|CG - c|$ برای پنجره تحلیلی که به ازای مقادیر صحیح پارامترهای زمان - رسید تولید می‌شود برابر صفر خواهد بود. یعنی در این حالت مرکز ثقل انرژی موجک و مرکز پنجره تحلیل برابر خواهند بود و در نتیجه وزن بالایی به این پنجره تحلیل اختصاص می‌یابد. برای پنجره‌های تحلیلی که به ازای مقادیر ناصحیح پارامترهای زمان رسید تولید می‌شوند، مقدار $|CG - c|$ افزایش پیدا می‌کند و بنابراین وزن کمتری به این پنجره‌های تحلیل اختصاص می‌یابد. در ادامه طیف سرعت مربوط به CMP تولید شده در شکل ۳-۴ الف با استفاده از روش شباهت، شباهت وزن دار شده با استفاده از رابطه (۳-۳) و شباهت وزن دار شده با استفاده از رابطه (۴-۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷ طیف سرعت محاسبه شده مربوط به شکل ۳-۴ الف با روش الف) شباهت (ب) شباهت وزن دار شده با استفاده از رابطه (۳-۳) (ج) شباهت وزن دار شده با استفاده از روابط (۳-۳) و (۴-۳).

همان‌طور که در شکل ۳-۱۷ مشخص است، استفاده همزمان از دو تابع وزنی قدرت تفکیک طیف سرعت را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد و شرایط را برای انتخاب درست پارامترهای زمان - رسید بازتابنده‌ها مهیا می‌سازد.

همان‌طور که در فصل دوم عنوان شد، روش شباهت متداول در حضور آنومالی نوع دوم AVO قادر به تعیین سرعت بازتابنده‌ها نمی‌باشد. همچنین استفاده از روش AB semblance، گرچه قادر به تعیین سرعت بازتابنده‌ها در چنین داده‌هایی می‌باشد ولی سبب کاهش قدرت تفکیک طیف سرعت می‌شود. برای رفع این مشکل، از ترکیب روش AB semblance و توابع وزنی معرفی شده در این پایان‌نامه مطابق با رابطه (۳-۶) استفاده می‌شود که باعث بهبود قدرت تفکیک طیف سرعت و انتخاب دقیق پارامترهای زمان - رسید در چنین مناطقی خواهد شد.

$$ABS_W = W_{svd} \times W_{pow} \times ABS \quad (۳-۶)$$

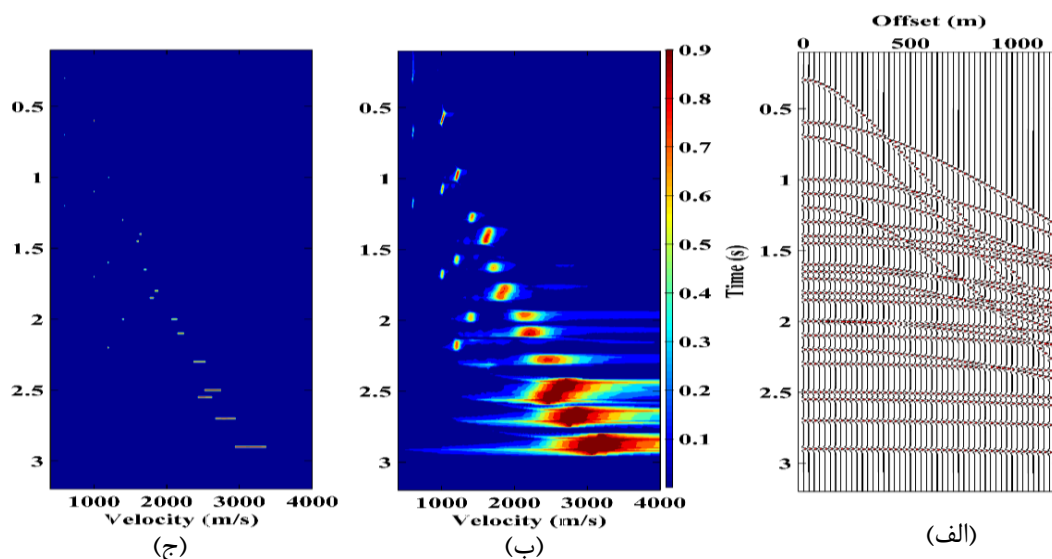
که W_{svd} تابع وزنی بر اساس نسبت σ_1/σ_2 که باعث افزایش قدرت تفکیک در راستای محور سرعت می‌شود، W_{pow} تابع وزنی بر اساس موقعیت قرارگیری موجک در پنجره تحلیل می‌باشد که باعث افزایش قدرت تفکیک در راستای محور زمان می‌شود و ABS مقدار AB semblance متداول است.

فصل چهارم: اعمال الگوریتم بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی

در این فصل سعی می‌شود تا با ارائه مثال‌هایی کارآیی روش مورد بحث در این پایان‌نامه مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا الگوریتم بر روی یک رکورد CMP پیچیده بدون حضور آنومالی AVO در دو حالت بدون نوفه و همراه نوفه اعمال می‌گردد. سپس رکورد CMP مصنوعی دیگری که حاوی آنومالی AVO باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس الگوریتم بر روی دو رکورد CMP واقعی که یکی از آنها شامل آنومالی AVO می‌باشد، اعمال می‌گردد. در هر مرحله نتایج این الگوریتم با نتایج روش شباهت متداول یا AB semblance مقایسه می‌گردند.

۱-۴ مثال اول: لایه نازک و چندگانه‌ها

حضور میان‌لایه‌ها و لایه‌های نازک در داده‌های لرزه‌ای باعث ایجاد مشکل در روند انجام آنالیز سرعت و به دست آوردن مدل سرعت دقیق زیرسطحی می‌شود. شکل ۱-۴ الف یک رکورد نقطه میانی مشترک مصنوعی که شامل ۲۳ بازتاب از لایه‌های زیرسطحی است را نشان می‌دهد. طول دورافت در این مثال مصنوعی برابر ۱۲۰۰ متر، گام نمونه برداری برابر ۲ میلی‌ثانیه، موجک ریکر با فرکانس ۳۰ هرتز و فاصله بین گیرنده‌ها ۲۵ متر در نظر گرفته شده است.



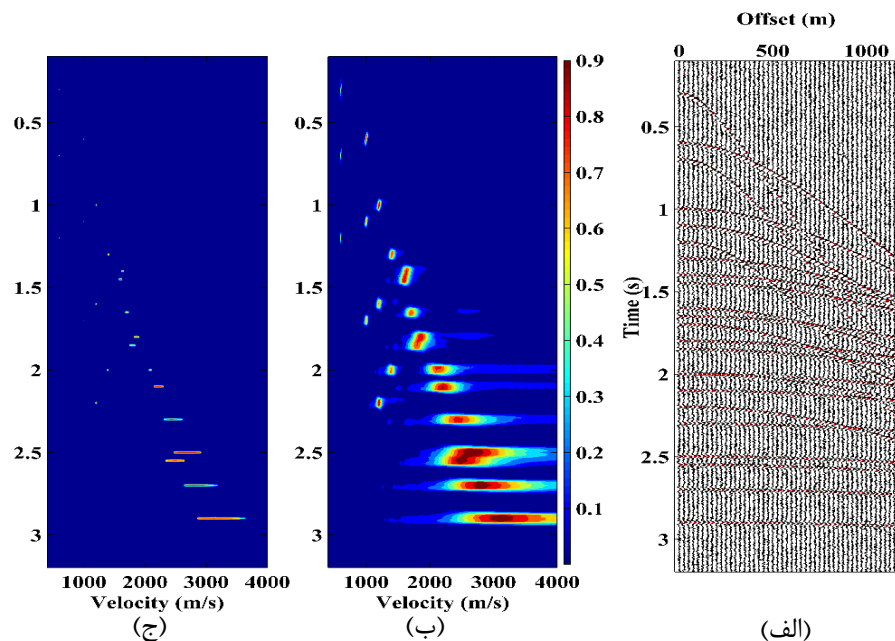
شکل ۱-۴ الف) CMP مصنوعی شامل چندگانه‌ها و لایه نازک. ب) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت. ج) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزن‌دار شده.

در تولید این مثال مصنوعی از سه لایه نازک به همراه امواج چندگانه استفاده شده است. در شکل ۴-۱ ب و ج طیف سرعت حاصل از روش شباهت متداول و شباهت وزن دار شده نشان داده شده است. طیف سرعت حاصل از روش شباهت وزن دار شده قدرت تفکیک بسیار بهتری نسبت به روش شباهت مرسوم دارد. با توجه به طیف سرعت‌های به دست آمده روش شباهت قادر به تشخیص لایه‌های نازک و تعیین دقیق پارامترهای زمان - رسید مرتبط با این لایه‌ها نمی‌باشد. اما روش مورد نظر به خوبی و با دقت بالایی قادر به تشخیص این پارامترها است و رویدادهایی که در طیف سرعت حاصل از روش شباهت دچار ادغام می‌شوند را به خوبی از هم تفکیک می‌کند.

۴-۲ پایداری روش در حضور نوفه

داده‌های لرزه‌ای بازتابی حاوی امواج و انرژی‌های ناخواسته‌ای هستند. حضور نوفه در مرحله برداشت داده‌های لرزه‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است. به منظور نشان دادن پایداری روش مورد نظر در برابر اضافه شدن نوفه، مقداری نوفه تصادفی به CMP تولید شده در مثال قبل با نسبت سیگنال به نوفه ۴-۴ دسی‌بل اضافه شد. در شکل ۴-۲ الف CMP آغشته به نوفه نشان داده شده است. در شکل ۴-۲ ب و ج طیف سرعت مربوط به این داده به ترتیب با روش شباهت متداول و شباهت وزن دار شده محاسبه شده است. همان‌طور که مشخص است، هر دو روش پایداری بسیار خوبی در برابر اضافه شدن نوفه از خود نشان می‌دهند. نکته جالب توجه این است که زمانی که مقداری نوفه تصادفی به داده‌ها اضافه شود قدرت تفکیک طیف سرعت تا حدی افزایش می‌یابد. علت این امر این است که زمانی که نوفه تصادفی به داده‌ها اضافه شود مخرج کسر رابطه شباهت افزایش می‌یابد و همچنین زمانی که پنجره تحلیل به ازای سرعت نادرست استخراج می‌شود، هنوز تا حدی رویداد به حالت همدوس دیده می‌شود ولی با اضافه کردن نوفه، این همدوسی تقریباً از بین می‌رود و مقدار شباهت کمتری در این حالت محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که در حضور مقادیر بالای نوفه، روش شباهت وزن دار شده، پایداری بهتری نسبت به روش شباهت مرسوم دارد. علت این امر این است که

زمانی که مقادیر تکین ماتریس داده آغشته به نوفه محاسبه شود، π مقدار تکین اول مربوط به سیگنال و بقیه مربوط به نوفه می‌باشد. بنابراین به علت استفاده از مقدار تکین اول در روش شباهت وزن دار شده، این روش در حضور مقادیر بالای نوفه، عملکرد بهتری نسبت به روش شباهت مرسوم دارد.



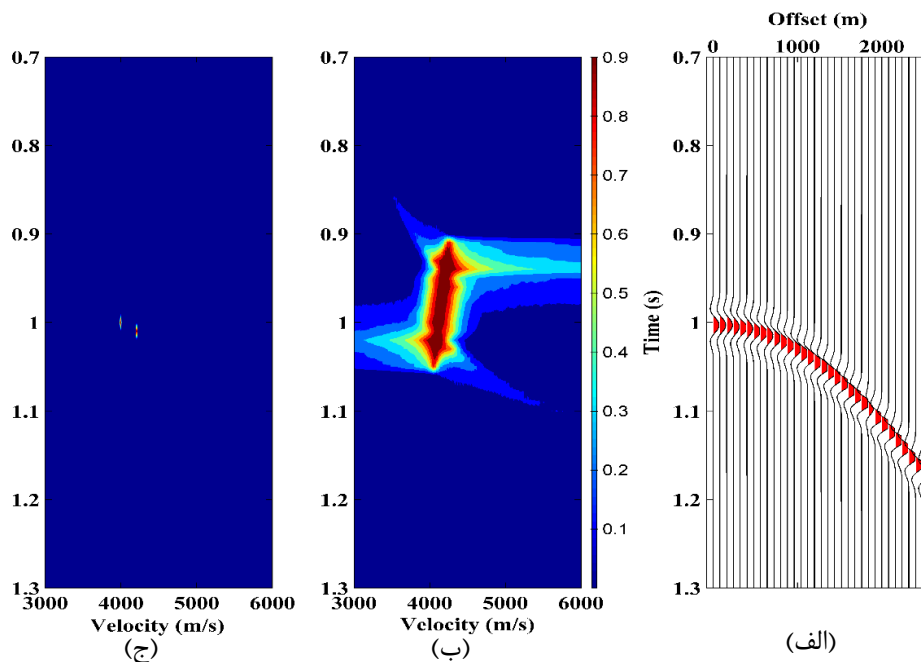
شکل ۳-۴ الف) CMP نویزی شده. ب) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت. ج) طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزن دار شده.

۳-۴ مثال دوم: کارایی روش شباهت وزن دار شده در حضور رویدادهایی با تداخل بسیار بالا

برای نشان دادن عملکرد بالای روش معرفی شده در این پایان نامه، از یک مثال پیچیده در این قسمت استفاده می‌شود. شکل ۳-۴ الف یک رکورد نقطه میانی مشترک مرتبط با دو بازتابنده که سرعت آنها به ترتیب برابر ۴۰۰۰ و ۴۲۰۰ متر بر ثانیه و و زمان - رسید دورافت صفر آنها ۱ و ۱/۰۱ ثانیه می‌باشد را نمایش می‌دهد. تداخل بالا باعث شده است که این دو بازتابنده به صورت یک بازتابنده در شکل ۳-۴ الف دیده شوند. در ساخت این CMP از موجک ریکر با فرکانس ۲۵ هرتز، طول دورافت برابر ۲۵۰۰ متر و فاصله بین گیرنده‌ها برابر ۸۰ متر استفاده شده است. این مثال در سال ۲۰۱۵ توسط باروس^۱ و همکاران [۴۴] جهت

1-Barros

انجام آنالیز سرعت با استفاده از روشی که معرفی کرده بودند، مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۳-۴ ب و ج طیف سرعت مربوط به این CMP با استفاده از روش شباهت متداول و شباهت وزن دار شده با طول پنجره ۲۰ محاسبه شده است. روش شباهت قادر به نشان دادن آنومالی‌های سرعت بازتابنده‌ها به صورت مجزا از یکدیگر نمی‌باشد، ولی در مقابل روش شباهت وزن دار شده با دقت و قدرت تفکیک بسیار بالایی توانسته است، سرعت هر دو بازتابنده را به درستی تخمین بزند. لازم به ذکر است که باروس و همکاران با استفاده از روشی که معرفی نمودند پارامترهای زمان - رسید مرتبط با بازتابنده اول را برابر $v_1 = 4050$ متر بر ثانیه، $t_1(0) = 0.992$ ثانیه و برای بازتابنده دوم $v_2 = 4150$ متر بر ثانیه و $t_2(0) = 1.02$ ثانیه محاسبه کردند که برای هر دو بازتابنده این پارامترها مقداری با واقعیت اختلاف دارند. اما نتایج برای روش معرفی شده شباهت وزن دار برای بازتابنده اول و دوم به ترتیب برابر 4000 و 4200 متر بر ثانیه و و زمان - رسید دورافت صفر آنها ۱ و $1/01$ محاسبه شد که با مقادیر واقعی ساخت مدل مصنوعی کاملاً همخوانی دارد.



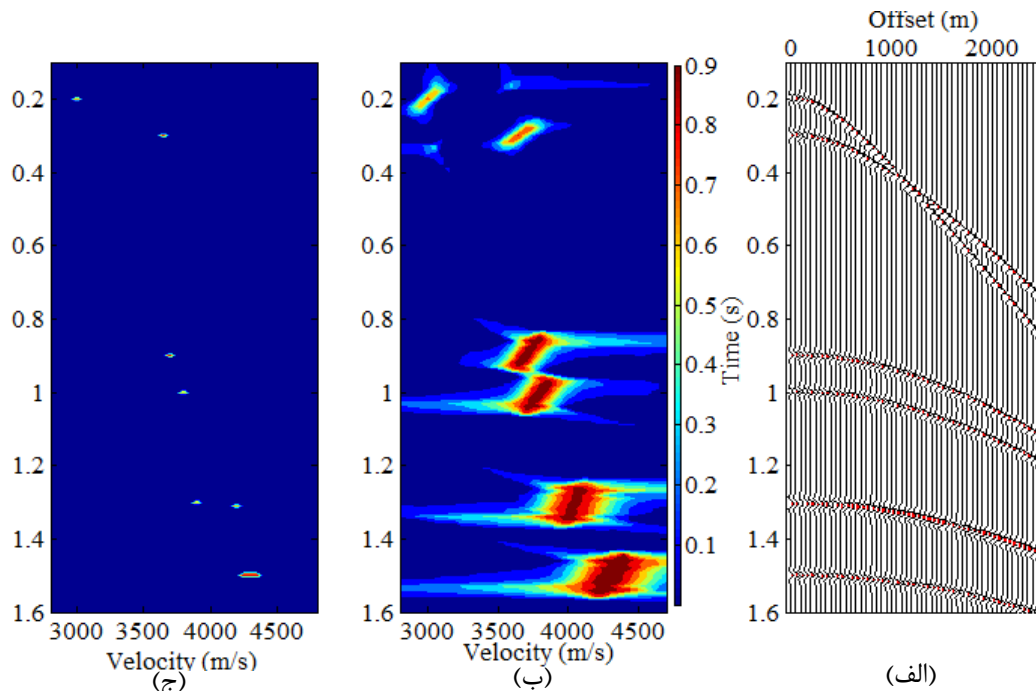
شکل ۳-۴ الف) CMP مصنوعی متشکل از دو بازتابنده با تداخل بالا. طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش ب) شباهت ج) شباهت وزن دار شده.

شکل ۴-۴ الف یک رکورد نقطه میانی مشترک مصنوعی را نشان می‌دهد. در جدول ۴-۱ پارامترهای زمان - رسید مربوط به این CMP مصنوعی نشان داده شده است. در ساخت این مدل مصنوعی از یک لایه با تداخل بسیار بالا استفاده شده است. طول دورافت در این مثال برابر ۲۵۰۰ متر و فاصله بین گیرنده‌ها برابر ۵۰ متر فرض شده است.

جدول ۴-۱. پارامترهای زمان - رسید جهت ساخت CMP مصنوعی.

سرعت بازتابنده‌ها (متر بر ثانیه)	زمان - رسید دو طرفه دورافت صفر (ثانیه)	بازتابنده
۳۰۰۰	۰/۲	۱
۳۶۵۰	۰/۳	۲
۳۷۰۰	۰/۹	۳
۳۸۰۰	۱	۴
۳۹۰۰	۱/۳	۵
۴۲۰۰	۱/۳۱	۶
۴۳۰۰	۱/۵	۷

در شکل ۴-۴ ب و ج طیف سرعت مربوط به این CMP مصنوعی با استفاده از روش شباهت و شباهت وزن‌دار شده نشان داده شده است. همانطور که مشخص است روش شباهت قادر به تشخیص رویداد با تداخل بالا نیست و از طرفی با افزایش عمق آنومالی‌های سرعت دچار پهن‌شدگی می‌شوند که این موضوع عدم قطعیت در انتخاب دقیق پارامترهای زمان - رسید مربوط به بازتابنده‌ها را افزایش می‌دهد، ولی در مقابل روش شباهت وزن‌دار شده به خوبی و با قدرت تفکیک بسیار بالایی توانسته است آنومالی‌های سرعت رویداد با تداخل بسیار بالا را از هم تفکیک کند و هم‌زمان قادر به تعیین دقیق پارامترهای زمان - رسید بازتابنده‌ها می‌باشد.

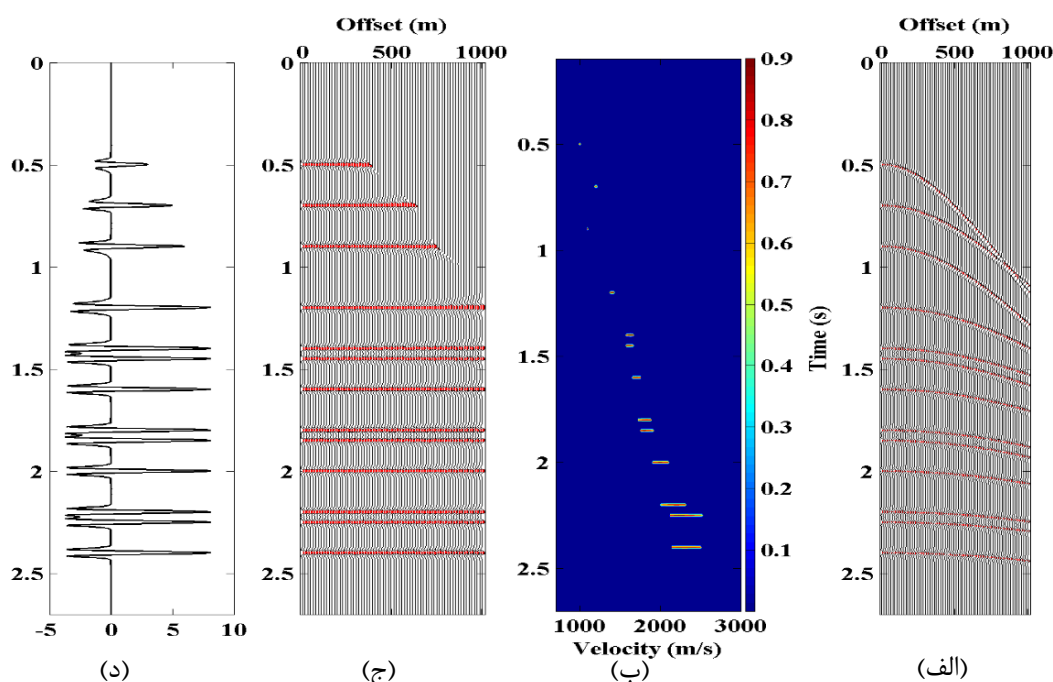


شکل ۴-۴ الف) CMP مصنوعی د بردارنده دو بازتاب با تداخل بالا. طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش ب) شباهت ج) شباهت وزن دار شده.

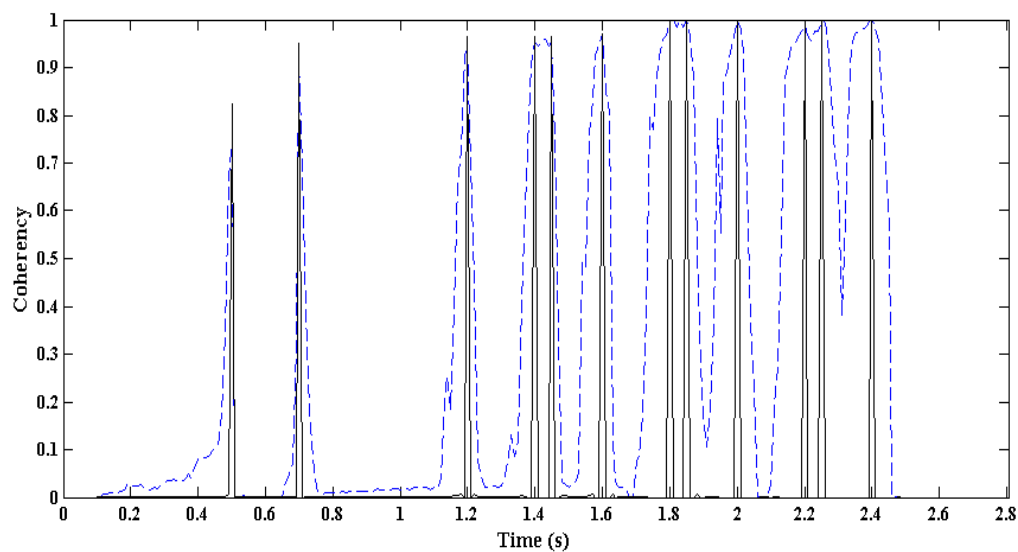
۴-۴ تصحیح برونراند نرمال با مدل سرعت به دست آمده

همان طور که قبلاً اشاره شد یکی از اهداف اصلی ساختن مدل سرعت، اعمال تصحیح برونراند نرمال بر روی داده ها می باشد. در این بخش سعی می شود با ساختن یک CMP مصنوعی و تهیه مدل سرعت مربوط به آن، تصحیح برونراند نرمال بر روی داده ها اعمال شود. شکل ۴-۵ الف CMP مصنوعی تولید شده را نمایش می دهد. در ساختن این CMP از سه لایه نازک استفاده شده است. در شکل ۴-۵ ب و ج طیف سرعت به دست آمده با استفاده از روش شباهت متداول و شباهت وزن دار شده نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، روش وزن دار شده به خوبی توانسته است که آنومالی های سرعت را در موقعیت دقیق خود نمایش دهد. در شکل ۴-۵ ج رکورد CMP تصحیح برونراند نرمال شده با استفاده از تابع سرعت حاصل از شباهت وزن دار شده نشان داده شده است. شکل ۴-۵ د نیز ردلرزه حاصل از برانبارش را برای تابع سرعت نشان می دهد که عملکرد خوب روش شباهت وزن دار شده در تفکیک رویدادهای تداخلی

به خوبی در ردلرزه برانبارش قابل مشاهده است. در ادامه برای درک بهتر توانایی روش شباهت وزن دار شده، از تابع فیتنس (نمودار مقدار همدوسی در برابر سرعت یا زمان) استفاده می‌شود. شکل ۴-۶ نشان‌دهنده مقدار همدوسی بیشینه در برابر زمان است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، روش شباهت وزن دار شده به خصوص در مورد لایه‌های نازک قدرت تفکیک زمانی بسیار بهتری نسبت به روش شباهت معمول دارد.

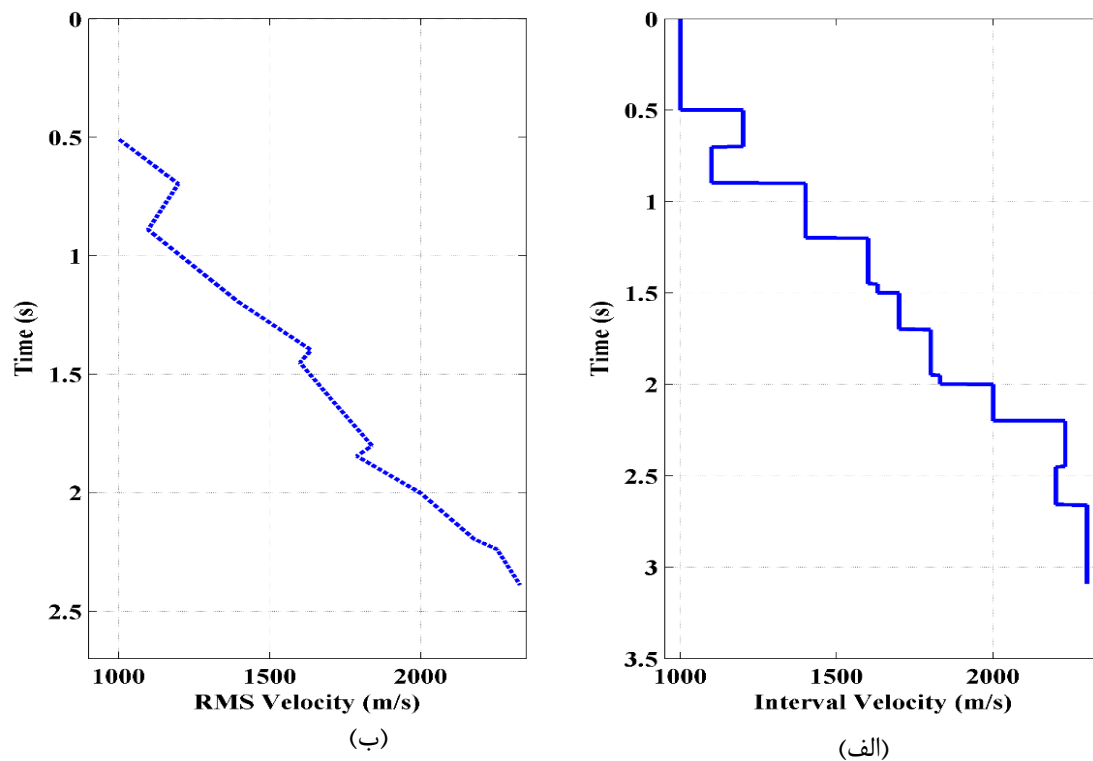


شکل ۴-۵ (الف) CMP مصنوعی در بردارنده سه لایه نازک. (ب) طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش شباهت وزن دار شده (ج) CMP بعد از تصحیح برونراند نرمال با استفاده از سرعت‌های به دست آمده. (د) CMP برانبارش شده.



شکل ۴-۶ نمودار همدوسی در برابر زمان مربوط به شکل ۴-۵ الف (خط مشکی مربوط به روش شباهت وزن دار شده و خط چین آبی مربوط به روش شباهت می باشد).

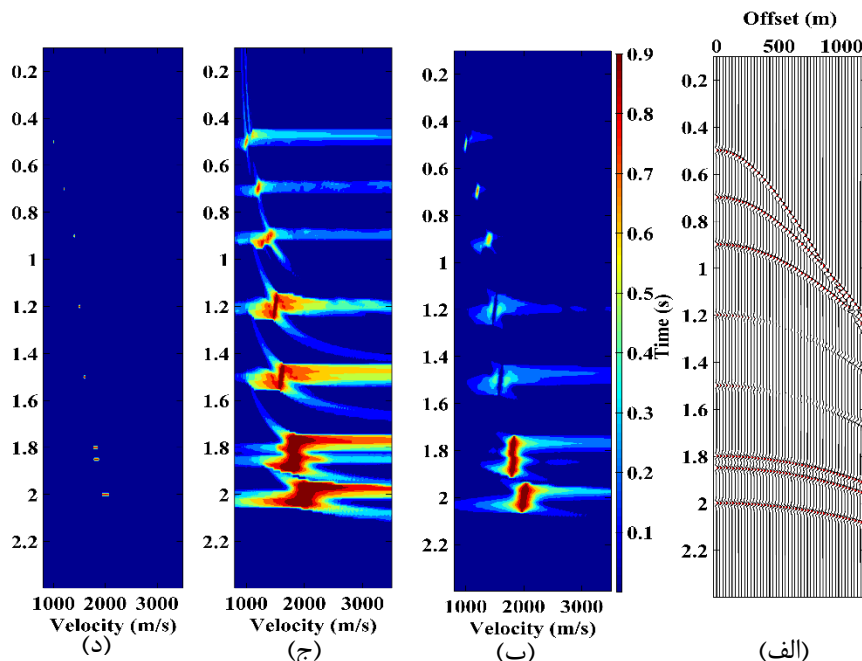
در شکل ۴-۷ تابع مدل سرعت RMS به دست آمده به همراه سرعت بازه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۴-۷ الف) نمودار سرعت بازه‌ای مرتبط با شکل ۴-۵ ب) نمودار سرعت RMS.

۴-۵ آنالیز سرعت در حضور آنومالی AVO

همان‌طور که در فصل ۳ عنوان شد، روش شباهت قادر به تعیین سرعت بازتابنده‌ها در محیط‌هایی با آنومالی نوع دوم AVO نمی‌باشد و از طرفی روش AB semblance دارای قدرت تفکیک پایینی در این مناطق می‌باشد. شکل ۴-۸ الف یک داده مصنوعی همراه با آنومالی نوع دوم AVO به همراه یک لایه نازک را نشان می‌دهد. طول دورافت برابر ۱۱۷۵ متر و فاصله بین گیرنده‌ها ۲۵ متر و موجک چشمه از نوع ریکر با فرکانس ۳۰ هرتز در نظر گرفته شده است. در شکل ۴-۸ ب، ج و د طیف سرعت با استفاده از روش شباهت، AB semblance و AB semblance وزن‌دار شده به ترتیب نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که روش شباهت قادر به تعیین سرعت بازتابنده‌هایی که حاوی آنومالی AVO می‌باشند، نیست. همچنین این روش قادر به انتخاب دقیق پارامترهای زمان - رسید مربوط به بازتاب‌های نزدیک به هم نیز نمی‌باشد. در شکل ۴-۸ ج طیف سرعت حاصل از روش AB semblance نشان داده شده است. این روش بر خلاف روش شباهت به خوبی توانسته است، سرعت بازتابنده‌هایی که حاوی آنومالی AVO می‌باشند را تخمین بزند، اما در مقابل قدرت تفکیک کمتری نسبت به روش شباهت دارد و در نتیجه باعث می‌شود که این روش همانند روش شباهت قادر به انتخاب دقیق پارامترهای زمان - رسید مربوط به بازتاب‌های نزدیک به هم (لایه نازک) نشود. در شکل طیف سرعت حاصل از روش AB semblance وزن‌دار شده که ترکیب روش AB semblance با روش معرفی‌شده در این پایان‌نامه می‌باشد، نشان داده شده است. این روش جدید توانسته است با دقت بالایی طیف سرعت را در حضور آنومالی AVO و لایه نازک به دست آورد.

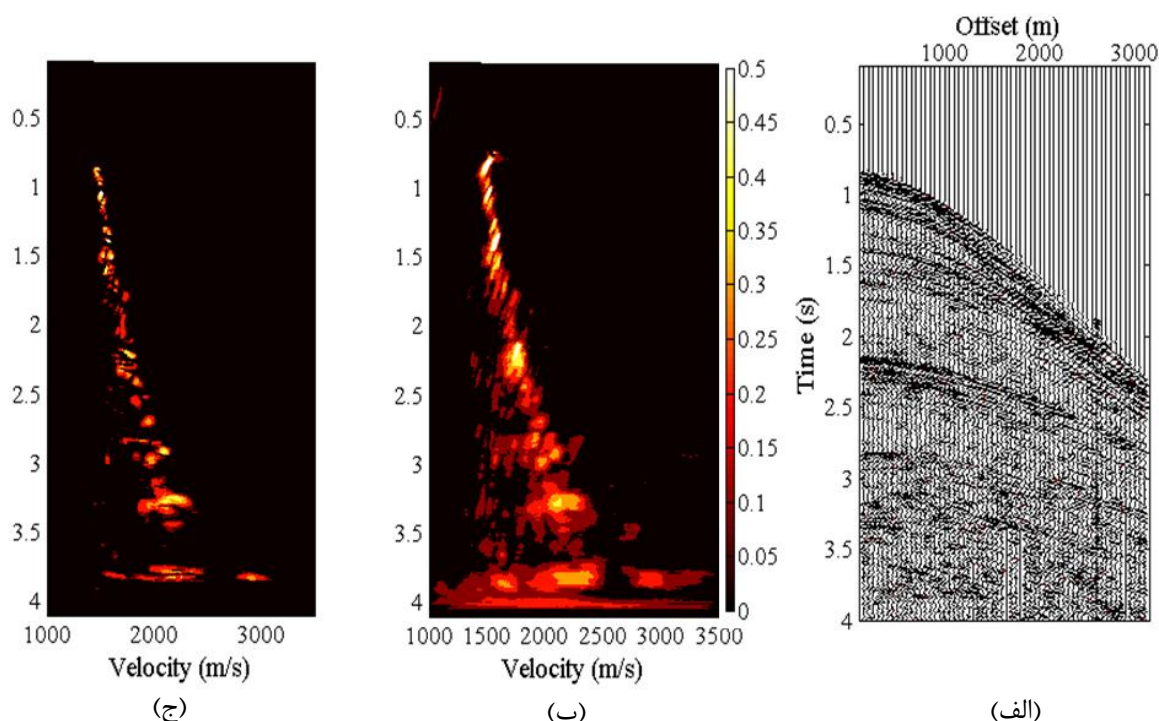


شکل ۴-۸ الف) داده مصنوعی شامل آنومالی نوع دوم AVO و لایه نازک. طیف سرعت به دست آمده با استفاده از روش ب) شباهت. ج) روش AB semblance. د) روش AB semblance وزن دار شده.

۴-۶ داده واقعی بدون آنومالی AVO

برای مقایسه نتایج روش شباهت و شباهت وزن دار شده بر روی داده واقعی، از یک داده دریایی که در شمال شرق برزیل ثبت شده، استفاده شده است. شکل ۴-۹ الف) رکورد نقطه میانی مشترک این داده واقعی را نمایش می دهد. بازه زمانی مربوط به این رکورد از $t = 0s$ تا $t = 4s$ و گام نمونه برداری برابر ۴ میلی ثانیه می باشد. در این رکورد از ۶۰ گیرنده که فاصله بین آنها ۵۰ متر و اولین گیرنده در فاصله ۱۵۰ متری از منبع تولید موج قرار دارد، استفاده شده است. در شکل ۴-۹ ب) طیف سرعت حاصل از روش شباهت نشان داده شده است. طول پنجره تحلیل جهت محاسبه ضرایب شباهت برابر ۱۷ نمونه و بازه جستجوی سرعت از ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر بر ثانیه با گام ۱۰ متر بر ثانیه انتخاب شده است. در شکل ۴-۹ ج) طیف سرعت روش شباهت وزن دار شده که با همان پارامترهای روش شباهت متداول محاسبه شده است، نشان داده شده است. به طور واضح قابل مشاهده است که روش مورد نظر با دقت بالاتری نسبت به روش شباهت مرسوم طیف سرعت را محاسبه کرده است و شرایط را جهت انتخاب درست پارامترهای زمان - رسید فراهم

می‌آورد.

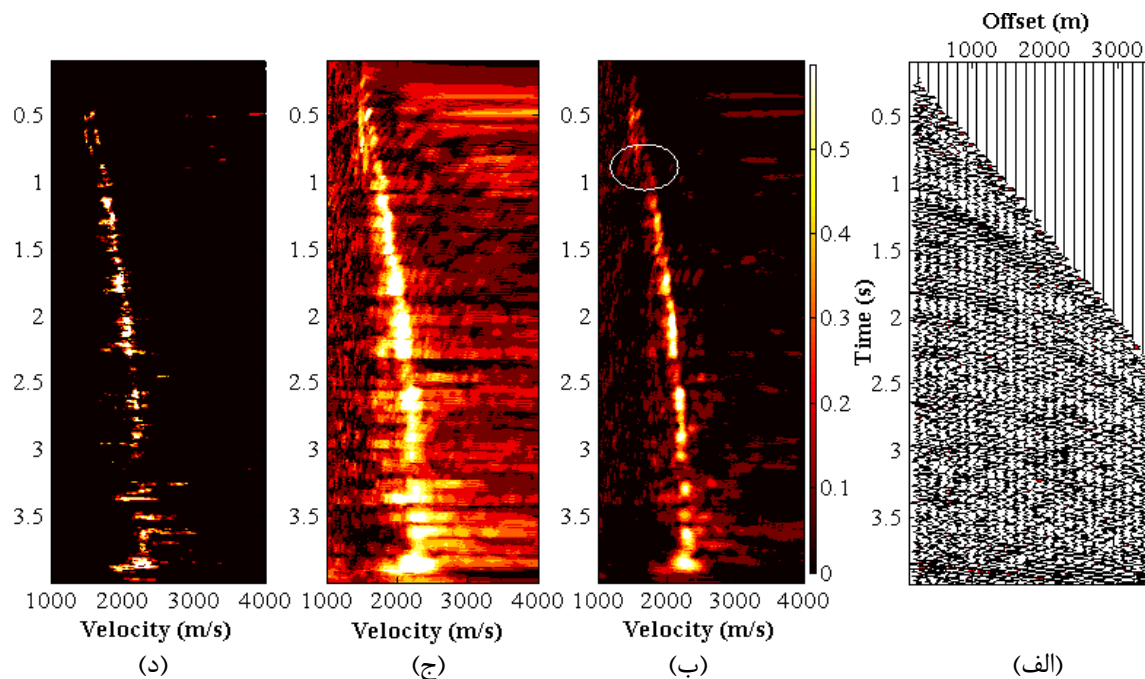


شکل ۹-۴ محاسبه طیف سرعت مربوط به داده واقعی. (الف) CMP واقعی برداشت شده در شمال شرق برزیل. طیف سرعت محاسبه شده با استفاده از روش (ب) شباهت. (ج) شباهت وزن دار شده.

۷-۴ داده واقعی در حضور آنومالی AVO

شکل ۴-۱۰ الف یک رکورد نقطه میانی مشترک مربوط به عملیات لرزه نگاری دو بعدی در خلیج مکزیک را نشان می‌دهد. این داده از زمان $t = 0s$ تا $t = 4s$ با گام نمونه برداری ۴ میلی ثانیه ثبت شده است. فاصله بین گیرنده‌ها برابر ۱۳۴ متر و اولین گیرنده در فاصله ۲۶۴ متری از منبع تولید موج قرار دارد. در این CMP در بازه‌ای بین $t = 0.75$ تا $t = 1.1$ آنومالی AVO مشاهده می‌شود که با بیضی سفید رنگ در شکل ۴-۱۰ ب مشخص شده است. در شکل ۴-۱۰ ب، ج و د طیف سرعت مربوط به این CMP با استفاده از روش شباهت، AB semblance و AB semblance وزن دار شده محاسبه شده است. روش شباهت قادر به تعیین پارامترهای زمان-رسید در محدوده بیضی سفید رنگ که در شکل ۴-۱۰ ب نشان داده شده

است، نمی‌باشد. در مقابل روش AB semblance سرعت بازتابنده‌ها در این ناحیه را مشخص کرده است. این روش همانطور که مشاهده می‌شود، قدرت تفکیک کمتری نسبت به روش شباهت مرسوم از خود نشان می‌دهد. بنابراین، جهت انتخاب کردن سرعت‌ها در این نواحی و داشتن قدرت تفکیک مناسب، روش AB semblance وزن‌دار شده با استفاده از توابع وزنی جدید معرفی شده در این پایان‌نامه بر روی این داده اعمال شد. با توجه به شکل ۴-۱۰ د، با اعمال این روش، طیف سرعت علاوه بر داشتن قدرت تفکیک مناسب، قادر به شناسایی رویدادهای حاوی آنومالی AVO نیز می‌باشد.



شکل ۴-۱۰ الف) رکورد نقطه میانی مشترک واقعی مربوط به خلیج مکزیک. طیف سرعت حاصله با استفاده از روش (ب) شباهت. ج) AB semblance و د) AB semblance وزن‌دار شده.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه روش جدیدی با استفاده از وزن‌دار کردن روش شباهت مرسوم، جهت محاسبه طیف سرعت داده‌های لرزه‌ای بازتابی معرفی شد. نشان‌داده شد که اگر یک رویداد افقی و همدوس در پنجره تحلیل وجود داشته باشد، مقدار تکین اول نسبت به سایر مقادیر تکین مقدار خیلی بزرگتری خواهد داشت. این حقیقت، مبنای استفاده از تابع وزنی اول در محاسبه شباهت می‌باشد. با اعمال این تابع وزنی، قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور سرعت افزایش یافت.

برای افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت، باید دقت آن در راستای زمان نیز افزایش یابد. بدین جهت تابع وزنی دیگری به رابطه شباهت اضافه شد. اساس این تابع وزنی بر موقعیت قرارگیری موجک لرزه‌ای درون پنجره تحلیل استوار است. زمانی که گام جستجوی زمان جهت ساختن هذلولی‌های زمان-سیر آزمایشی برای تشکیل پنجره تحلیل مقدار کوچکی انتخاب شود، حداقل سه پنجره تحلیل قابل تشخیص است که مقادیر شباهت و تابع وزنی اول زیاد می‌باشد که این موضوع باعث کاهش قدرت تفکیک زمانی خواهد شد. با استفاده از تابع وزنی دوم، افزایش قدرت تفکیک در راستای محور زمان امکان‌پذیر می‌باشد. در نهایت با استفاده همزمان از دو تابع وزنی جدید در محاسبه شباهت، قدرت تفکیک طیف سرعت به مقدار چشمگیری افزایش می‌یابد. یکی از موارد استفاده از این روش، تعیین دقیق پارامترهای زمان-رسید مرتبط با لایه نازک است. حضور لایه‌های نازک باعث ادغام شدن آنومالی‌های سرعت آنها در طیف سرعت می‌شود و در مواردی به علت تداخل بالا باعث عدم شناسایی این لایه‌ها می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از روش معرفی شده ابزار قدرتمندی جهت شناسایی این لایه‌ها و تعیین دقیق سرعت و زمان-رسید دو طرفه دورافت صفر مرتبط است.

یکی دیگر از موارد ضعف روش شباهت، عدم شناسایی سرعت در مناطقی با آنومالی نوع دوم AVO است. در این پایان‌نامه نشان داده شد زمانی که داده‌ها در یک محدوده دورافت دچار تغییر پلاریته شوند،

روش شباهت مرسوم قادر به شناسایی سرعت‌ها در این مناطق نمی‌باشد. در ادامه روش AB semblance که توسط فومل [۴] جهت انجام آنالیز سرعت در چنین نواحی پیشنهاد شد، مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که این روش گرچه قادر به شناسایی آنومالی سرعت‌ها در مناطقی با آنومالی AVO می‌باشد، اما در مقابل قدرت تفکیک این روش نسبت به روش شباهت مرسوم کمتر و در حدود نصف روش شباهت می‌باشد. در ادامه برای رفع این مشکل و داشتن همزمان قدرت تفکیک و سرعت‌ها، از ترکیب روش AB semblance و توابع وزنی استفاده گردید و روش جدیدی برای محاسبه طیف سرعت در نواحی با آنومالی AVO معرفی شد.

۵-۲ پیشنهادات

از آنجا که تابع وزنی W_{pow} مورد استفاده در این پایان‌نامه متأثر از نوع موجک لرزه‌ای می‌باشد، پیشنهاد می‌شود توابع وزنی دیگری برای موجک حداقل فاز و فاز مرکب برای افزایش قدرت تفکیک طیف سرعت در راستای محور زمان معرفی شود.

به علت اینکه محاسبه تجزیه مقادیر تکین فرآیندی زمان‌بر می‌باشد، پیشنهاد می‌شود جهت کاهش هزینه محاسباتی، ابتدا مقادیر ویژه ماتریس همبستگی محاسبه و سپس نسبت مقدار ویژه اول به دوم محاسبه شود.

- [١] Taner, M. T., and Koehler, F., 1969, Velocity spectra-digital computer derivation applications of velocity functions: Geophysics, Vol. **34**, 859-881.
- [٢] Macedo, D., De Figueiredo, J., and Portugal, R. S., 2009, Velocity analysis on CMP sections based on the smearing paradigm, 79th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts.
- [٣] Jones, I. F., 2010, An Introduction to Velocity Model Building, EAGE.
- [٤] Fomel, S., 2009, Velocity analysis using AB semblance: Geophysical Prospecting, Vol. **57**, 311-321.
- [٥] Luo, S., and Hale, D., 2012, Velocity analysis using weighted semblance: Geophysics, Vol. **77**, U15-U22.
- [٦] Sava, P., and Biondi, B., 2004, Wave-equation migration velocity analysis. I. Theory: Geophysical Prospecting, Vol. **52**, 593-606.
- [٧] Li, S., 2013, Wave-equation migration velocity analysis by non-stationary focusing, 83th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts.
- [٨] Robein, E., 2005, Velocities, time-imaging, and depth-imaging in reflection seismics: principles and methods, EAGE publications.
- [٩] Zhu, X., Sixta, D. P., and Angstman, B. G., 1992, Tomostatics: turning-ray tomography+ static corrections: The Leading Edge, Vol. **11**, 15-23.
- [١٠] Osypov, K., 2000, Robust refraction tomography, 70th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts.
- [١١] Noble, M., Thierry, P., Taillandier, C., and Calandra, H., 2010, High-performance 3D first-arrival traveltime tomography: The leading edge, Vol. **29**, 86-93.
- [١٢] Li, S., Vladimirsky, A., and Fomel, S., 2013, First-break traveltime tomography with the double-square-root eikonal equation: Geophysics, Vol. **78**, U89-U101.
- [١٣] Chen, J., Zelt, C. A., and Jaiswal, P., 2013, A Case History: Application of Frequency-Dependent Traveltime Tomography and Full Waveform Inversion to a Known Near-Surface Target, 83th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts.
- [١٤] Virieux, J., and Operto, S., 2009, An overview of full-waveform inversion in exploration geophysics: Geophysics, Vol. **74**, WCC1-WCC26.
- [١٥] Guitton, A., Ayeni, G., and Díaz, E., 2012, Constrained full-waveform inversion by model reparameterization 1: Geophysics, Vol. **77**, R117-R127.
- [١٦] Neidell, N. S., and Taner, M. T., 1971, Semblance and other coherency measures for multichannel data: Geophysics, Vol. **36**, 482-497.

- [۱۷] Biondi, B. L., and Kostov, C., 1989, High-resolution velocity spectra using eigenstructure methods: Geophysics, Vol. **54**, 832-842.
- [۱۸] Larner, K., and Celis, V., 2007, Selective-correlation velocity analysis: Geophysics, Vol. **72**, U11-U19.
- [۱۹] Yilmaz, Ö., 2001, Seismic data analysis, Society of exploration geophysicists.
- [۲۰] De Vries, D., and Berkhout, A., 1984, Velocity analysis based on minimum entropy: Geophysics, Vol. **49**, 2132-2142.
- [۲۱] Sacchi, M. D., 1998, A bootstrap procedure for high-resolution velocity analysis: Geophysics, Vol. **63**, 1716-1725.
- [۲۲] Key, S. C., and Smithson, S. B., 1990, New approach to seismic-reflection event detection and velocity determination: Geophysics, Vol. **55**, 1057-1069.
- [۲۳] Sarkar, D., Castagna, J., and Lamb, W., 2001, AVO and velocity analysis: Geophysics, Vol. **66**, 1284-1293.
- [۲۴] Shuey, R., 1985, A simplification of the Zoeppritz equations: Geophysics, Vol. **50**, 609-614.
- [۲۵] 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.
- [۲۶] Abbad, B., and Ursin, B., 2012, High-resolution bootstrapped differential semblance: Geophysics, Vol. **77**, U39-U47.
- [۲۷] 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.
- [۲۸] Pujol, J., 2003, Elastic wave propagation and generation in seismology, Cambridge University Press.
- [۲۹] Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995, Exploration seismology, Cambridge university press.
- [۳۰] Rutherford, S. R., and Williams, R. H., 1989, Amplitude-versus-offset variations in gas sands: Geophysics, Vol. **54**, 680-688.
- [۳۱] Bianco, E., 2008, Seismic rock physics of steam injection in bituminous oil sand reservoirs, Masters Abstracts International.
- [۳۲] Schmid Jr, J., 1947, The relationship between the coefficient of correlation and the angle included between regression lines: The Journal of Educational Research, Vol. **41**, 311-313.
- [۳۳] Chen, Y., Liu, T., and Chen, X., 2015, Velocity analysis using similarity-weighted semblance: Geophysics, Vol. **80**, A75-A82.
- [۳۴] Strang, G., and Aarikka, K., 1986, Introduction to applied mathematics, Wellesley-Cambridge Press Wellesley.
- [۳۵] Laub, A. J., 2005, Matrix analysis for scientists and engineers, Siam.

- [٣٦] Yanai, H., Takeuchi, K., and Takane, Y., 2011, Projection Matrices, Springer.
- [٣٧] Freire, S. L., and Ulrych, T. J ,.1988 ,Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling: Geophysics, Vol. **53**, 778-785.
- [٣٨] Scales, J. A., Smith, M. L., and Treitel, S., 2001, Introductory geophysical inverse theory, Samizdat Press.
- [٣٩] Bekara, M., and Van der Baan, M., 2007, Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data: Geophysics, Vol. **72**, V59-V65.
- [٤٠] Lu, W., 2002, Adaptive noise attenuation of seismic image using singular value decomposition and texture direction detection ,IEEE International Conference on Image Processing.
- [٤١] Cary, P., and Zhang, C., 2009, Ground roll attenuation via SVD and adaptive subtraction, CSPG CSEG CWLS Convention.
- [٤٢] 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.
- [٤٣] 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.
- [٤٤] Barros, T., Lopes, R., and Tygel, M., 2015, Implementation aspects of eigendecomposition-based high-resolution velocity spectra: Geophysical Prospecting, Vol. **63**, 99-115.

Abstract

The results of post stack processing and imaging of reflection seismic data are strongly dependent to the quality of stack section which is an approximation to zero offset section. To get a more close to zero offset section, the CMP records must be stacked by a proper velocity spectra. Therefore, the velocity analysis is one of the most important issue in exploration seismology. Semblance, the most common coherence measure, has poor resolution. Increase the resolution of the semblance velocity spectra causes the accuracy of estimated velocity for NMO correction and stacking is improved. The reason for low resolution of semblance method is little sensitivity to velocity changes. Thus when we add terms that have more sensitivity to velocity and time changes to semblance, the resolution increases.

In this thesis, we present a new weighted semblance method that ensure high resolution velocity spectra. To increase resolution of semblance spectra, we introduced two weighting functions based on the first to second singular values ratio of time window and the position of seismic wavelet in time window to semblance equation. This two weighting functions enhance the resolution of velocity spectra in velocity and time direction, respectively.

Semblance, also unable to pick velocities in area with class II AVO which data experience a server polarity reversal. To enhance resolution of velocity spectra in such area, we applied our method on AB semblance. Finally, we test our method on both synthetic and real data. The results indicate that new proposed weighted semblance method provides higher resolution than conventional semblance and can separate the reflectors which are mixed in semblance spectrum. This method also shows good results when our data is contaminated with high noise ratio or in events with high interference and in presence of class II AVO anomalies is able to recognize and determine the velocity of such data.

Key words:

Velocity analysis of seismic data, Weighted semblance, Singular values decomposition, AB semblance, Weighted functions.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

**Resolution enhancement of velocity spectra using
weighted coefficients**

Saleh Ebrahimi

Supervisors:

Dr. Amin Roshandel Kahoo

Dr. Ali Nejati Kalateh

December 2015