

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تغییر شرایط تصویرسازی در روش CRS به منظور تهیه مقطع برانبارش در

داده‌های لرزه‌ای بازتابی عمق کوتاه

عقیل سالاری

اساتید راهنما:

دکتر مهرداد سلیمانی

دکتر سید رضا قوامی ریابی

شهریور ماه ۱۳۹۶

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نسبیم ساخته تا در سایه درخت پربار
وجودشان بیاسایم و از ریشه آن‌ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش
نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو
وجود، پس از پروردگار، مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از
فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم انسان بودن را معنا کردند.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

سپاس‌گزاری

در طول سه سال تحصیل در دانشگاه شاهرود به عنوان دانشجو، افتخار آشنایی با اساتید برجسته‌ای داشتم. به ویژه استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر مهرداد سلیمانی به لحاظ راهنمایی‌های مناسب، ایده‌های نو و تشویق به پژوهش در طول انجام این پایان‌نامه، و از اینکه با صبر و متانت من را راهنمایی کرده‌اند، نهایت قدردانی را دارم.

همچنین قدردان تلاش دیگر اساتید خود از جمله آقای دکتر پیروز، آقای دکتر روشندل، آقای دکتر کامکار، آقای دکتر نجاتی، آقای دکتر رضانی و دیگر عزیزان می‌باشم.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از آقای دکتر رحیمیان و دوست عزیزم آقای کریمی که با راهنمایی‌های ارزنده خود نقش مهمی در پیشرفت این پایان‌نامه داشته‌اند، تشکر نمایم.

تعهد نامه

اینجانب عقیل سالاری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک (لرزه شناسی) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تغییر شرایط تصویرسازی در روش CRS به منظور تهیه مقطع برانبارش در داده‌های لرزه‌ای بازتابی عمق کوتاه تحت راهنمایی آقای دکتر سلیمانی متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشگاه

مالکیت نتایج و حق نشر

□ کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها 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 پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

در لرزه‌نگاری بازتابی، عمق‌های بسیار نزدیک سطح تا عمق چند صد متر را عمق کم می‌نامند. اطلاعات مربوط به عمق کم در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی مثلاً برای ساخت سازه‌های عظیم (سدها، پل‌های با دهانه زیاد، نیروگاه‌ها، سازه‌های صنعتی)، معادن، حفاری چاه‌های عمیق (نفت، گاز و ژئوترمال) بسیار پرکاربرد است. واضح است که عمق‌های کمتر از ۱۰۰ متر تنها با روش‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی و برداشت امواج سطحی و عمق‌های بیشتر از چند صد متر با روش لرزه‌نگاری بازتابی عمق زیاد قابل مطالعه است. با این حال یک خلا عملیاتی در بررسی ساختارهای بین تقریباً ۱۰۰ متر تا چند صد متر وجود دارد. به منظور پر کردن این خلا روش لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم معرفی شد. تفاوت این روش با روش بازتابی عمق زیاد این است که زمان ضبط داده‌ها و فاصله نمونه‌برداری در روش ذکر شده کوتاه می‌باشد و امواج با فرکانس‌های بالاتری (نسبت به روش لرزه‌نگاری بازتابی عمق زیاد) به درون زمین فرستاده می‌شوند.

در این تحقیق جهت تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم از روش تصویرسازی سطح بازتاب مشترک (CRS) با استراتژی رایج استفاده شد. در روش تصویرسازی CRS، پاسخ بازتابی بازتابنده‌های درون زمین به کمک پارامترهای جنبشی میدان موج (انحنای جبهه موج عمود، انحنای جبهه موج NIP، زاویه ورود موج مرکزی) تخمین زده می‌شود. در یکی از مراحل حل معادله CRS به روش رایج، انحنای جبهه موج عمود صفر فرض می‌شود. فرض ذکر شده برای عمق‌های مربوط به داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم به دور از واقعیت است. برای حل مشکل ذکر شده در این تحقیق دو استراتژی جدید جهت تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم به روش CRS استفاده شد. استراتژی اول شامل تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک الگوریتم تجمع ذرات (PSO) و برانبارش می‌باشد. استراتژی دوم شامل تخمین مقادیر اولیه نشانگرهای جنبشی میدان موج طی یک جست‌وجوی تک پارامتری و یک جست‌وجوی دو پارامتری، تخمین مقادیر نهایی

نشانه‌های جنبشی میدان موج طی یک جست‌وجوی سه پارمتری حول مقادیر به دست آمده از مرحله قبل و برانبارش است.

در همه جست‌وجوهای استراتژی دوم از الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی کمینه‌پایه استفاده شده است. پایه و اساس الگوریتم کمینه‌پایه شناسایی و حذف فضاهایی است که احتمال وجود نقاط بهینه در آنجا بسیار کم می‌باشد. به این منظور فضای جست‌وجو به صورت یک فضای چند بعدی در نظر گرفته می‌شود که هر یک از بعدها به یکی از متغیرها تعلق دارد. در هر مرحله از تکرار الگوریتم کمینه‌پایه، متغیرهای موجود در مساله بهینه‌سازی در فضای جست‌وجو با گام‌های مختص آن مرحله انتخاب می‌شود و برای مقادیر انتخاب شده، مقدار تابع برازندگی (تابعی که قرار است بهینه آن به دست آورده شود) محاسبه می‌گردد و فضای اطراف آن دسته نقاطی که برازندگی کمتری ایجاد کرده‌اند، از فضای جست‌وجوی مراحل بعدی حذف می‌شود.

روش‌های تصویرسازی ذکر شده و روش تصویرسازی رایج (NMO/DMO/Stack) بر سه خط از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی دریایی عمق کم اعمال شد. داده‌های دریایی استفاده شده در این تحقیق مربوط به کشور مالزی می‌باشد. نتایج حاصل بیانگر کارایی بیشتر استراتژی پیشنهادی دوم نسبت به سایر روش‌ها بود.

کلید واژه:

تصویرسازی لرزه‌ای، سطح بازتاب مشترک، برانبارش، الگوریتم تجمع ذرات، الگوریتم کمینه‌پایه،

عمق کم، مالزی

فهرست

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات.....
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۱-۱-۱ پیش پردازش ها.....
۳	۲-۱-۱ تهیه مقطع دورافت صفر.....
۶	۳-۱-۱ کوچ.....
۷	۲-۱ تعرف مسأله.....
۸	۳-۱ ضرورت انجام تحقیق.....
۹	۴-۱ سابقه تحقیق.....
۱۱	۵-۱ ساختار پایان نامه.....
۱۳	فصل دوم: تصویرسازی به روش سطح بازتاب مشترک.....
۱۴	۱-۲ مقدمه.....
۱۴	۲-۲ روش سطح بازتاب مشترک.....
۱۶	۱-۲-۲ تئوری معادله CRS.....
۲۳	۲-۲-۲ استراتژی های حل معادله CRS.....
۲۳	۱-۲-۲-۲ استراتژی رایج حل معادله CRS.....

۲۶	.....استراتژی استفاده از مشتق‌های محلی
۳۱	.....استراتژی استفاده از جست‌وجوهای سه پارامتری
۳۳	.....فصل سوم: استراتژی‌های پیشنهادی حل معادله CRS
۳۴	.....۱-۳ مقدمه
۳۵	.....۲-۳ استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کم الگوریتم PSO
۳۶	.....۱-۲-۳ الگوریتم تجمع ذرات
۴۰	.....۱-۱-۲-۳ سرعت ذرات
۴۲	.....۳-۳ حل معادله CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته
۴۵	.....۴-۳ الگوریتم کمینه‌پایه
۴۸	.....۱-۴-۳ بررسی پارامترهای مختلف الگوریتم کمینه‌پایه
۴۸	.....۱-۱-۴-۳ گام اولیه
۴۹	.....۲-۱-۴-۳ قدرت تاثیرگذاری متغیرها
۵۰	.....۳-۱-۴-۳ میزان فضایی که در هر مرحله باید حذف شود
۵۰	.....۴-۱-۴-۳ شرط توقف
۵۰	.....۲-۴-۳ مزایا و معایب الگوریتم کمینه‌پایه
۵۱	.....۳-۴-۳ کاربرد الگوریتم کمینه‌پایه

۵۲	.....دلیل انتخاب الگوریتم کمینه پایه
۵۵	.....فصل چهارم: پردازش داده‌های واقعی
۵۶	.....۱-۴ مقدمه
۵۷	.....۲-۴ پردازش داده‌های واقعی
۵۸	.....۱-۲-۴ تصویرسازی به روش رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)
۵۹	.....۲-۲-۴ تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج
۵۹	.....۳-۲-۴ تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج تعمیم یافته
۵۹	.....۴-۲-۴ تصویرسازی به روش CRS با استراتژی حل معادله CRS به کمک الگوریتم PSO
۵۹	.....۵-۲-۴ تصویرسازی خط لرزه‌ای اول داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی واقعی
۶۹	.....۶-۲-۴ تصویرسازی خط لرزه‌ای دوم داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی واقعی
۷۴	.....۷-۲-۴ تصویرسازی خط لرزه‌ای سوم داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی واقعی
۷۶	.....۳-۴ بررسی نتایج روش‌های تصویرسازی در این تحقیق
۸۱	.....فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۲	.....۱-۵ نتیجه‌گیری
۸۳	.....۲-۵ پیشنهادات
۸۴	.....منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱: رکورد CMP.....
۵	شکل ۲-۱: روش برانبارش CMP.....
۱۵	شکل ۱-۲: عملگر برانبارش CRS در حجم زمان-نقطه میانی-دورافت.....
۱۹	شکل ۲-۲: موج عمود برای یک مدل با سرعت ثابت.....
۲۰	شکل ۳-۲: موج NIP برای یک مدل با سرعت ثابت.....
۴۰	شکل ۱-۳: فلوچارت روش PSO.....
۴۶	شکل ۲-۳: فلوچارت الگوریتم کمینه‌پایه.....
۴۷	شکل ۳-۳: روند کاهش فضای جست‌وجو در الگوریتم کمینه‌پایه.....
۴۹	شکل ۴-۳: تاثیر گام‌ها در الگوریتم کمینه‌پایه.....
۵۳	شکل ۵-۳: یک مثال از روند تغییرات تابع شباهت با الف) زاویه ورود پرتو مرکزی. ب) انحنای جبهه موج عمود.....
	شکل ۱-۴: قسمت کوچکی از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی استفاده شده در این تحقیق. الف) خط اول.
۵۶	ب) خط دوم. ج) خط سوم.....
	شکل ۲-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)،
۶۰	خط اول.....

- شکل ۳-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، خط اول.....۶۱
- شکل ۴-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم یافته، خط اول..۶۲
- شکل ۵-۴: مقطع برانبارش حاصل از تصویرسازی به روش CRS با استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک روش بهینه‌سازی PSO، خط اول.....۶۳
- شکل ۶-۴: مقطع شباهت خط اول حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج.....۶۶
- شکل ۷-۴: مقطع شباهت خط اول حاصل از روش تصویرسازی CRS. الف) با استراتژی رایج تعمیم یافته
ب) با استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک الگوریتم PSO.....۶۷
- شکل ۸-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)
خط دوم.....۶۹
- شکل ۹-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، خط دوم.....۷۰
- شکل ۱۰-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم یافته، خط دوم.....۷۱
- شکل ۱۱-۴: مقطع برانبارش حاصل از تصویرسازی CMP ۴۰۰ از خط سوم به روش تصویرسازی الف) رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO). ب) CRS با استراتژی رایج. ج) استراتژی رایج تعمیم یافته.....۷۴

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۴: پارامترهای هندسی برداشت مربوط به داده واقعی..... ۵۷

جدول ۲-۴: بازه زمانی پردازش تصویرسازی خط اول داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی..... ۷۵

فصل اول

کلیات

لرزه‌نگاری بازتابی یکی از روش‌های متداول در اکتشافات ذخایر هیدروکربن از قبیل گاز طبیعی، نفت یا ذخایر ژئوترمال است. هدف روش لرزه‌نگاری بازتابی به شکل درآوردن ساختارهای زیرسطحی است. به این منظور امواج الاستیک^۱ یا آکوستیک^۲ حاصل از چشمه‌های مصنوعی در منطقه مورد نظر به درون زمین فرستاده می‌شود، این امواج در مرز لایه‌ها به سمت بالا بازتاب شده و توسط گیرنده‌های واقع در سطح زمین، ثبت می‌شود. امواج بازتاب شده از لایه‌های درون زمین، حاوی اطلاعات بسیار مهمی از لایه‌بندی درون زمین مانند شیب، انحنا و اعماق لایه‌ها است. جهت به دست آوردن این اطلاعات، یک سری پردازش‌ها باید روی داده‌های دریافتی انجام شود. پردازش‌های لرزه‌نگاری بازتابی جهت تصویرسازی ساختارهای زیر سطحی عموماً طی سه مرحله انجام می‌گیرد. این سه مرحله که پیش‌پردازش‌ها، تهیه مقطع دورافت صفر (ZO^3) و کوچ نامیده می‌شود (Yilmaz, 2001). جهت تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی اغلب از روش رایج تصویرسازی (شامل آنالیز سرعت، تصحیح برون‌راند نرمال (NMO^4) و برانبارش) و روش سطح بازتاب مشترک (CRS^5) استفاده می‌شود. در یکی از مراحل تخمین پارامترهای CRS از فرض تخت بودن جبهه موج نرمال در مکان گیرنده استفاده می‌شود که این فرض برای داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم دور از واقعیت است. در این تحقیق سعی شده تا مشکل ذکر شده حل شود. روش تصویرسازی CRS در فصل‌های بعدی بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش رایج تصویرسازی (شامل آنالیز سرعت، NMO و برانبارش) در زیر به صورت مختصر توضیح داده شده است.

^۱ Elastic

^۲ Acoustic

^۳ Zero offset

^۴ Normal moveout

^۵ Common reflection surface

۱-۱-۱ پیش پردازش‌ها

پیش پردازش‌ها عملیاتی هستند که قبل از شروع پردازش اصلی روی داده‌ها انجام می‌گیرد تا داده‌ها آماده پردازش شوند. مراحل اصلی پیش پردازش‌ها به طور کلی عبارتند از:

۱- تعیین مختصات چشمه و گیرنده‌های هر ردلرزه و ثبت این مختصات به همراه اطلاعات هندسه برداشت در فایل‌ها به نام سرآیند.

۲- از بین بردن اثر توپوگرافی و لایه هوازه با اعمال تصحیح استاتیک صحرائی و باقیمانده.

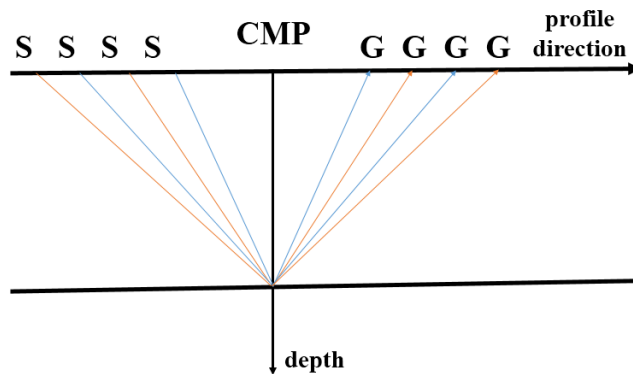
۳- تقویت دامنه ردلرزه‌ها، جهت جبران اثرات ناشی از عوامل مختلف کاهش دامنه (مثل اثر گسترش هندسی).

۲-۱-۱ تهیه مقطع دورافت صفر

حضور نوفه در هنگام برداشت داده‌های لرزه‌ای اجتناب ناپذیر بوده و در برخی موارد سیگنال را تا حدی تحت تاثیر قرار می‌دهد که استفاده از آن بدون انجام پیش پردازش غیر ممکن خواهد بود (کریمی و روشندل کاهو، ۱۳۹۲). یک دسته مهم از نوفه‌ها، نوفه‌های تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی است که نوفه‌های غیر همدوس نامیده می‌شوند. چنانچه نوفه‌های غیر همدوس در داده‌های لرزه‌ای حذف نشود، کیفیت مقطع‌های حاصل از پردازش داده‌های بازتابی به شدت کاهش پیدا خواهد کرد. یکی از راه‌های حذف نوفه‌های غیر همدوس، استفاده از برداشت نقطه میانی مشترک (CMP^۱) و برانبارش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی است. ایده اصلی برداشت CMP، جمع‌آوری اطلاعات تکراری از نقاط زیرسطحی است. به این جهت تمام پرتوهایی که از یک نقطه زیر سطحی (روی صفحه میانی چشمه و گیرنده) بازتاب شده‌اند و دورافت‌های متفاوتی دارند (شکل ۱-۱)، برحسب افزایش دورافت در کنار هم

^۱ Common midpoint

مرتب شده و به آن‌ها ورداشت CMP می‌شود (Mayne, 1962).



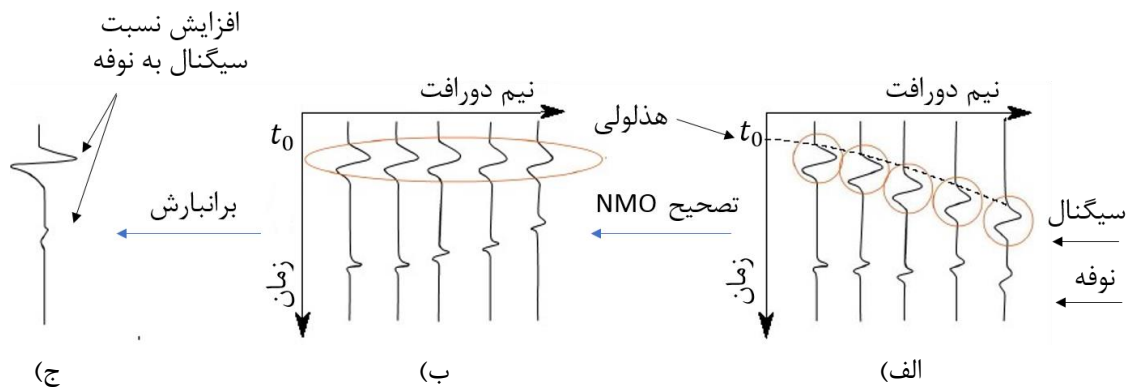
شکل ۱-۱: رکورد CMP. S و G به ترتیب چشمه‌ها و گیرنده‌ها را نشان می‌دهند. امواج از چشمه‌ها سطح شده و پس از بازتاب از یک نقطه بازتاب مشترک توسط گیرنده‌ها دریافت می‌شوند (Baykulov and Gajewski, 2009). در یک ورداشت CMP اطلاعات بازتابی از یک نقطه زیرسطحی در دورافت‌های کوچک رفتاری شبیه به یک هذلولی از خود نشان می‌دهند (شکل ۱-۲-الف). معادله (۱-۱) بیانگر معادله هذلولی زمان سیر در محیط همگن دارای بازتابنده‌های افقی است (Hubral and Krey, 1980).

$$t^2(h, v_{NMO}) = t_0^2 + \frac{4h^2}{v_{NMO}^2} \quad (1-1)$$

که t مدت زمان انتشار موج از چشمه تا گیرنده، t_0 زمان سیر با دورافت صفر (چشمه و گیرنده در یک موقعیت یکسان هستند)، h نیم دورافت و v_{NMO} سرعت تصحیح برون‌راند عمود است. برای یک لایه شیب‌دار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v_{NMO} = \frac{v}{\cos(\alpha)} \quad (2-1)$$

که v سرعت محیط و α زاویه بازتابنده نسبت به سطح افق است (Baykulov and Gajewski, 2009).



شکل ۱-۲: روش برانبارش CMP. در گام اول (قسمت الف) هدلولی که با رخداد بازتابی موجود در CMP، بهترین انطباق را دارد انتخاب می‌شود، در گام دوم (قسمت ب) تصحیح NMO بر ردلرزه‌ها اعمال می‌گردد و در گام آخر (قسمت ج) ردلرزه‌هایی که تصحیح NMO بر روی آن‌ها انجام شده، با هم جمع می‌شوند (Baykulov and Gajewski, 2009).

مرحله برانبارش CMP از پرتوهایی که از یک نقطه بازتاب شده‌اند میانگین گرفته شده و به هر CMP یک ردلرزه نسبت داده می‌شود. با کنار هم قرار گرفتن ردلرزه‌های ذکر شده، مقطع برانبارش تشکیل می‌گردد. در واقع عملگر برانبارش دورافت صفر، بازتاب‌های واقعی را در مجاورت نقطه میانی صفر تخمین می‌زنند یا به عبارتی دیگر در مرحله برانبارش، پاسخ بازتابی نقطه بازتاب مشترک جمع بسته می‌شد و با این کار تاثیر دورافت از بین می‌رود (Bergler, 2001). این امر موجب افزایش نسبت سیگنال به نوفه و کاهش حجم داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی می‌شود. به این جهت ابتدا باید تصحیح NMO بر روی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی انجام گیرد. تصحیح NMO انتقال زمان رسید دورافت‌های غیر صفر، به زمان رسید دورافت صفر است (شکل ۱-۲). با توجه به معادله (۱-۱) تنها متغیر مجهول جهت انجام تصحیح NMO، V_{NMO} است که این سرعت به کمک آنالیز سرعت و بدون نیاز به دانش قبلی تخمین زده می‌شود. در واقع سرعتی به عنوان سرعت NMO انتخاب می‌شود که بهترین به خط شدگی را پس از تصحیح NMO ایجاد کند.

برای چندین لایه با شیب‌های متفاوت تعیین سرعت NMO پیچیده‌تر خواهد شد و تعیین آن نیازمند به پارامترهای مدل، نظیر موقعیت لایه‌ها و سرعت بازه‌ای است. به همین دلیل معادله (۱-۱)

باید این گونه تغییر کند:

$$t^2(h, v_{NMO}) = t_0^2 + \frac{4h^2}{v_{ST}^2} \quad (3-1)$$

V_{ST} سرعت برانبارش است، به سرعتی که بین هذلولی حاصل از رابطه (3-1) و منحنی زمان سیر در یک برداشت CMP، بهترین تطبیق را ایجاد می کند سرعت برانبارش می گویند (Yilmaz, 2001). اگر ساختارهای زیرسطحی پیچیده باشد بازتاب‌هایی که در یک دسته CMP قرار می گیرند مربوط به یک نقطه مشترک از لایه بازتابنده نیستند. در واقع در حالتی که بازتابنده شیب‌دار باشد به جای داشتن یک نقطه بازتاب، چند نقطه بازتاب خواهیم داشت این امر موجب می شود که برانبارش CMP درگیر انرژی‌هایی باشد که مربوط به یک نقطه عمقی مشترک نباشد و کیفیت مقطع برانبارش کاهش یابد (Yilmaz, 2001). در این صورت تصحیح دیگری به نام تصحیح برون راند شیب (DMO^1) ضروری است. برای این منظور دسته‌های CMP باید به دسته‌های CRP^2 تبدیل شوند تا امکان تصحیح برون راند شیب فراهم شود (Baykulov and Gajewski, 2009).

در سال‌های اخیر تکنیک‌های جدیدی برای تصویرسازی معرفی شده است. یکی از این روش‌ها، برانبارش CRS است. در این روش بازتابنده به چندین بخش کوچک تقسیم شده و پاسخ بازتابی این بخش‌ها به کمک چند پارامتر که نشانگرهای جنبشی میدان موج نامیده می‌شوند، به دست می‌آید. نشانگرهای جنبشی میدان موج به انحنای عمق و جهت یافتگی بازتابنده بستگی دارند (Mann, 2001).

۳-۱-۱ کوچ

داده‌های لرزه‌ای توسط گسترش امواج درون بخش‌های زیرسطحی حاصل می‌شوند. یکی از خواص

¹ Dip moveout

² Common reflection point

امواج، اتفاق افتادن پراش در شکستگی‌ها و گسل‌ها است. به همین دلیل شکلی که از گسترش امواج درون زمین به دست می‌آید، در شکستگی‌ها و گسل‌ها کیفیت خود را از دست می‌دهد. همچنین همیشه در مقاطع لرزه‌ای یک بازتاب کننده شیب‌دار به طور نادرست ظاهر می‌شود (شیب و طول بازتابنده در مقطع ZO با واقعیت فرق می‌کند). کوچ روندی است که بازتابنده شیب‌دار را به جای واقعی خود بر می‌گرداند، طول بازتابنده را اصلاح می‌کند و کیفیت شکل را در مرز گسل‌ها و شکستگی‌ها بهبود می‌بخشد (Yilmaz, 2001).

۲-۱ تعرف مسأله

یکی از مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای، تهیه مقطع ZO است که در پی آن یک شکل ابتدایی از ساختارهای زیرسطحی به دست می‌آید. به منظور به دست آوردن مقطع ZO با کیفیت بالا، معمولاً روش برانبارش نقطه میانی مشترک همراه با تصحیح برون‌راند عمود و تصحیح برون‌راند شیب به کار می‌رود. این روش، به عنوان روشی مقاوم در تهیه مقطع ZO شناخته می‌شود (Yilmaz, 2001). در مواجهه با ساختارهای هموار زیرسطحی و داده‌های با نسبت سیگنال به نوفه بالا کارایی مناسبی دارد. در شرایطی که داده‌های لرزه‌ای به دلیل نوع برداشت داده یا وضعیت توپوگرافی منطقه، کیفیت مناسبی نداشته باشند، همچنین در محیط‌هایی که بازتابنده‌های پرشیب حضور دارند یا با تغییرات جانبی سرعت زیادی همراه هستند روش رایج تصویرسازی شکل واضحی از داده‌های با مقدار چینش معمول نمی‌دهد (Mann, 2002) و (Muller, 1998). این امر به دلیل وابستگی روش ذکر شده به مدل سرعت، نسبت سیگنال به نوفه و ... است. بنابراین باید از روشی با کارایی بالا در داده‌های حاوی نسبت سیگنال به نوفه پایین و همچنین مستقل از مدل سرعت استفاده شود (Soleimani and Mann, 2009). در سال‌های اخیر روش مستقل از مدل سرعت CRS معرفی شده است. روش CRS در برانبارش از چند CMP استفاده می‌کند. استفاده از چند CMP باعث می‌شود تعداد ردلرزه‌های شرکت کننده در برانبارش افزایش یابد و در جاهایی که چینش یا نسبت سیگنال به نوفه پایین است، کیفیت مقطع ZO، نسبت

به روش رایج برانبارش CMP افزایش چشم‌گیری داشته باشد. در روش CRS به دلیل بازه زیاد تغییرات از نشانگرهای جنبشی میدان موج، محاسبه هم‌زمان هر سه نشانگر جنبشی میدان موج مستلزم صرف هزینه و وقت زیاد خواهد بود. جهت حل مشکل ذکر شده در مراحل مختلف برانبارش CRS از فرض‌هایی استفاده می‌شود. یکی از این فرض‌ها، فرض تخت بودن جبهه موج مرکزی است. این فرض برای عمق‌های زیاد به حقیقت نزدیک است اما برای عمق‌های کم از واقعیت دور است و چنان‌چه در پردازش داده‌های بازتابی مربوط به عمق‌های کم از این فرض استفاده شود، کیفیت مقطع برانبارش به حدی کاهش پیدا می‌کند که در مراحل بعدی برانبارش قابل جبران نخواهد بود. در این پایان‌نامه سعی شده تا با تغییر استراتژی حل معادله CRS و ارائه روشی نوین در بهینه‌سازی‌های مورد نیاز در مراحل مختلف حل معادله CRS، علاوه بر افزایش کیفیت مقطع‌های حاصل از برانبارش به روش CRS، زمان حل معادله CRS نیز کاهش داده شود.

۳-۱ ضرورت انجام تحقیق

روش لرزه‌نگاری عمق کم، ساختارهای بین تقریباً ۱۰۰ متر تا چند صد متر را بررسی می‌کند. تفاوت روش لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم با روش لرزه‌نگاری عمق زیاد این است که در روش ذکر شده زمان ضبط داده‌ها و فاصله نمونه‌برداری کوتاه است و امواج با فرکانس‌های بالاتر به درون زمین فرستاده می‌شوند (Anderson and Akingbade, 2000). اطلاعات مربوط به عمق‌های کم در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی مثلاً برای ساخت سازه‌های عظیم (سدها، پل‌های با دهانه زیاد، نیروگاه‌ها، سازه‌های صنعتی)، معادن، حفاری چاه‌های عمیق (نفت، گاز و ژئوترمال) بسیار پرکاربرد است.

به دلیل این‌که پایه و اساس روش لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم و روش لرزه‌نگاری بازتابی عمق زیاد یکسان است اغلب از فرآیندهای پردازشی یکسانی جهت پردازش داده‌های حاصل از هر دو روش استفاده می‌شود. با توجه به عدم کارایی مناسب استراتژی رایج تصویرسازی CRS در تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری عمق کم و نیاز به یک روش تصویرسازی قوی در تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری

عمق کم) به ویژه در جاهایی که به دلیل پایین بودن نسبت سیگنال به نوفه و پیچیدگی ساختارهای زیر سطحی، روش رایج تصویرسازی (شامل NMO/DMO/stack) جواب خوبی ارائه نمی‌کند، در این تحقیق سعی شده تا با تغییر استراتژی حل معادله CRS کیفیت مقطع‌های حاصل از برانبارش داده‌های بازتابی عمق کم با روش ذکر شده افزایش داده شود. همچنین در این تحقیق روشی نوین جهت بهینه‌سازی‌های مورد نیاز در مراحل مختلف حل معادله CRS، ارائه شده که این امر موجب کاهش چشم‌گیر زمان حل معادله CRS شده است.

۴-۱ سابقه تحقیق

اولین نظریه‌ها برای تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی در نقطه ورود پرتو به سطح زمین بدون وابستگی به مدل سرعت، توسط de Bazelaire, (1988) و Gelchinsky, (1988) مطرح شد. Mann et al., (1999) و Hubral et al., (1999) تلاش زیادی برای بسط روش‌های تصویرسازی مستقل از مدل سرعت انجام دادند. Mann et al., (1999) روش مستقل از مدل سرعت CRS را ارائه نمودند. در واقع عملگر برانبارش به روش رایج، حالت خاصی از عملگر CRS است (Jager, 1999). به عبارتی دیگر اگر در عملگر CRS فقط یک CMP جهت تصویرسازی انتخاب شود، عملگر CRS به عملگر روش رایج برانبارش CMP تبدیل می‌شود. به کمک تئوری پرتوهای موازی محور، (2005) Cerveny نشان داد که معادله زمان سیر مرتبه دوم CRS، یک عملگر مکانی را به دست می‌دهد که می‌تواند به عنوان صفحه برانبارش عمل کند. علی‌رغم افزایش بیشتر نسبت سیگنال به نوفه در روش برانبارش CRS در مقایسه با روش‌های رایج برانبارش، این روش شیب‌های متقاطع را به صورت متداخل نمایش می‌دهد. این مشکل با معرفی روش سطح پراش مشترک (CDS^۱) برطرف شد (Soleimani et al., 2009). به علت نوع راهبردی که در روش ذکر شده وجود دارد نوفه‌های زمینه و سایر رخداد‌های ناخواسته نیز در مقطع نهایی برجسته‌تر می‌شود به منظور افزایش کارایی روش برانبارش CDS در مواجهه با شیب‌های

^۱ Common Diffraction Surface

متداخل، کاهش دادن اثر نوفه‌های زمینه و بهبود بخشیدن پیوستگی بازتاب‌ها روش برانبارش CDS با دورافت محدود (FO^۱-CDS) معرفی شده است (مرتضی بالارستاقی و همکاران، ۹۱). لازم به ذکر است که روش برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک (CO CRS)، توانایی افزایش کیفیت در تصویرسازی ساختارهای زمین شناسی در مقطع دورافت مشترک را دارا می‌باشد (علی پهاوان‌لو و همکاران، ۱۳۹۴).

نشانه‌های جنبشی میدان موج روش CRS علاوه بر تهیه شکل لرزه‌ای، کاربردهای دیگری هم دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- تخمین خودکار کوچ زمانی بدون استفاده از مدل سرعت (Mann, 2001)

۲- منظم کردن داده‌ها جهت کوچ بهتر (Gierse et al., 2015) و (Garabito et al., 2015)

۳- تصحیح استاتیک باقیمانده (Koglin and Ewig, 2003)

۴- تخمین مدل سرعت توموگرافی (Duveneck, 2004)

۵- کوچ با بازه کمینه (Jager, 2005)

(Mann, 2002) و Muller, (1998) پیشنهاد کردند که جهت کاهش زمان حل معادله CRS.

مقدار بهینه پارامترها با در نظر گرفتن مقادیر سه‌گانه اولیه‌ای که به قدر کافی به مقدار بهینه نزدیک باشند، محاسبه شود. از مشکلات این روش می‌توان به استفاده از مدل سرعت و فرض جبهه موج تخت اشاره نمود. در روشی دیگر معادله CRS بدون هیچ پیش فرضی به کمک استخراج شیب محلی از داده‌های بازتابی در زمان بسیار کوتاه حل می‌شود (Santos et al., 2011). روش ذکر شده در داده‌های دارای نوفه بالا، جواب خوبی ارائه نمی‌دهد.

در سال‌های اخیر سعی شده تا معادله CRS بدون استفاده از فرض تخت بودن جبهه موج مرکزی

^۱ Finite Offset

و مدل سرعت حل شود و از الگوریتم‌های بهینه‌سازی قوی از جمله ¹SA، ²VFSA، ³MSA جهت حل معادله سه پارامتری CRS استفاده شده است (Garabito et al., 2012). استفاده از روش‌های بهینه‌سازی ذکر شده باعث افزایش کیفیت مقطع برانبارش در مقایسه با دو روش اول شد. اما این روش‌ها در حل معادله CRS اغلب یکی از بهترین جواب‌ها را ارائه می‌نمایند، نه بهترین جواب را. لازم به ذکر است که با توجه به پیشرفت شگرف علم سخت‌افزار و نرم‌افزار کامپیوتر در دهه اخیر سعی شده تا روش‌های ذکر شده با استفاده از پردازش موازی پیاده‌سازی شوند (Lawrens et al., 2015).

۱-۵ ساختار پایان نامه

در فصل اول این تحقیق پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی به صورت مختصر توضیح داده شد. مزایا و معایب برانبارش داده‌های بازتابی به روش رایج برانبارش CMP و روش CRS به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفت و در آخر تاریخچه روش CRS بیان شد.

در فصل دوم تصویرسازی داده‌های بازتابی به روش CRS بیان شده است و استراتژی‌های مرسوم حل معادله CRS از قبیل استراتژی رایج حل معادله CRS، استراتژی تخمین نشانگرهای جنبشی میدان موج بر اساس شیب‌های محلی و استراتژی تخمین هم‌زمان پارامترهای جنبشی میدان موج به کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی قوی بیان شده است.

در فصل سوم دو استراتژی تخمین هم‌زمان پارامترهای جنبشی میدان به کمک الگوریتم PSO و استراتژی رایج تعمیم‌یافته برای حل معادله CRS ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل چهارم به پردازش بر روی سه خط لرزه‌ای بازتابی عمق کم از مالزی با روش رایج تصویرسازی (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) و روش تصویرسازی CRS (حل معادله CRS به

¹ Simulated annealing

² Very fast simulated annealing

³ Modular aimulated annealing

کمک استراتژی رایج، استراتژی رایج تعمیم‌یافته و استراتژی تخمین هم‌زمان پارامترهای معادله CRS به کمک الگوریتم^۱ PSO پرداخته شده است.

در فصل پنجم، نتایج حاصل از این تحقیق بیان شده و پیشنهاداتی برای انجام مطالعات بعدی ارائه شده است.

^۱ Particle swarm optimization

فصل دوم

تصویرسازی به روش سطح بازتاب مشترک (CRS)

در فصل یک مراحل پردازشی که بر داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی اعمال می‌شود، مورد بررسی قرار گرفت و بیان شد که دومین مرحله از مراحل پردازشی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی، که مرحله تهیه مقطع ZO نام دارد، عموماً به روش رایج تصویرسازی CMP (شامل آنالیز سرعت، تصحیح برون‌راند عمود (NMO) و تصحیح برون‌راند شیب (DMO)) و روش CRS انجام می‌پذیرد. در این فصل تئوری روش تصویرسازی CRS، چند تا از استراتژی‌های مرسوم حل معادله CRS به همراه مفهوم فیزیکی پارامترهای معادله CRS آورده شده است.

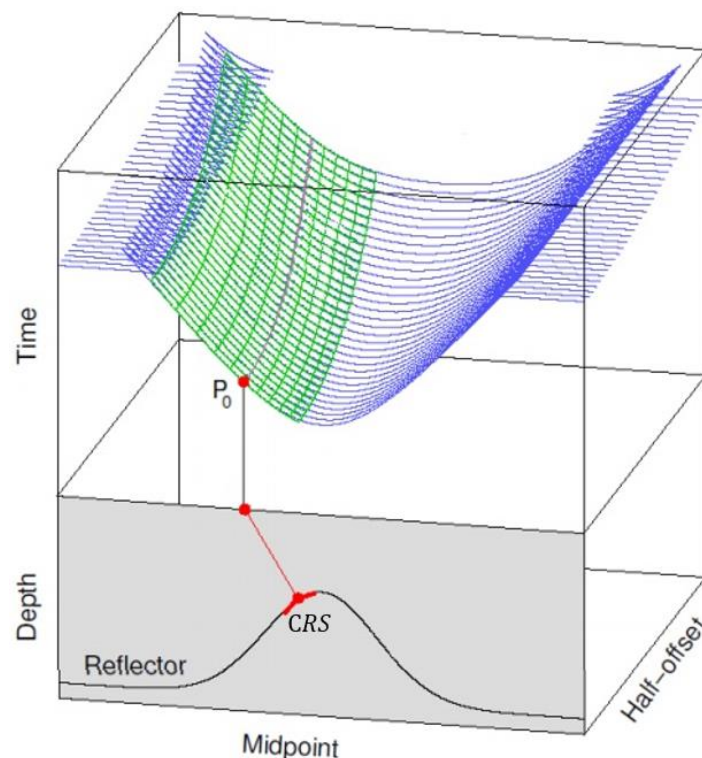
۲-۲ روش سطح بازتاب مشترک

با توجه به معادله (۱-۳)، در تصویرسازی به روش رایج برانبارش CMP به مدل سرعت نیاز است. در مناطقی که ساختمان‌های زمین‌شناسی پیچیده وجود دارد یا داده‌ها دارای نسبت سیگنال به نوفه پایینی هستند، تعیین مدل سرعت دقیق امکان‌پذیر نیست، به همین دلیل در این گونه موارد روش رایج تصویرسازی (شامل NMO/DMO/stack) قادر به ساختن شکل ابتدایی صحیحی از لایه‌های زیر زمین نخواهد بود. جهت حل مشکلات ذکر شده، روش تصویرسازی CRS که روشی مستقل از مدل سرعت است، ارائه شده است (Hubral et al., 1999). این روش در فرآیند تصویرسازی که به صورت تمام خودکار انجام می‌شود، مقطع ZO را از روی داده‌های پیش از برانبارش شبیه‌سازی می‌کند.

روش CRS به دلیل مستقل بودن از مدل سرعت برتری قابل توجهی نسبت به روش رایج تصویرسازی CMP دارد. در برانبارش به روش رایج CMP، پاسخ بازتابی یک نقطه از بازتابنده درون زمین تخمین زده شده و به یک نقطه در مقطع برانبارش نسبت داده می‌شود. اما در برانبارش به روش CRS، پاسخ بازتابی یک بخش از بازتابنده، تخمین زده شده و به یک نقطه از مقطع برانبارش نسبت داده می‌شود. به همین دلیل در تخمین هر نقطه از مقطع برانبارش در روش CRS از تعداد ردلرزه‌های

بیشتری استفاده می‌شود که این امر موجب افزایش بیشتر نسبت سیگنال به نوفه در روش CRS می‌شود. در یک برداشت CMP باید پرتوهایی که از یک نقطه مشترک بازتاب شده‌اند، قرار داده شوند. در برخی موارد به دلایل مختلف از قبیل شیب‌دار بودن لایه بازتابنده و ...، پرتوهایی که در یک برداشت CMP جمع آوری شده است از یک نقطه مشترک بازتاب نشده‌اند این مشکل باعث کاهش کیفیت مقطع برانبارش می‌شود. استفاده از یک صفحه برانبارش که حاوی بیش از یک CRS است باعث می‌شود تا مشکل ذکر شده حل شود.

در تصویرسازی به روش CRS یک بازتابنده به بخش‌های کوچک با انحنا و جهت‌یافتگی دلخواه تقسیم می‌شود و پاسخ بازتابی این بخش‌ها به کمک چند پارامتر که به نشانگرهای جنبشی میدان موج معروف هستند، به دست می‌آید (Soleimani and Mann, 2008).



شکل ۱-۲: عملگر برانبارش CRS در حجم زمان-نقطه میانی-دورافت. منحنی‌های آبی در قسمت بالایی، منحنی‌های زمان‌سیر بازتاب در دورافت‌های ثابت برای یک مدل گنبدی شکل قسمت پایینی هستند. خطوط سبز نشان دهنده عملگر CRS یا به عبارتی دیگر پاسخ بازتابی بخشی از بازتابنده (قسمت قرمز رنگ) حول نقطه بازتاب مشترک است که به نقطه P_0 نسبت داده می‌شود (Spinner et al., 2012).

عملگر برانبارش CRS در حجم زمان-نقطه میانی-دورافت، در شکل (۱-۲) نمایش داده شده است. در شکل ذکر شده منحنی‌های سبز رنگ تقریبی از پاسخ بازتابی بخش مشخص شده با CRS^1 (منحنی قرمز رنگ)، در روش CRS است. پاسخ بازتابی هر نقطه از بخش مشخص شده با رنگ قرمز یک منحنی هذلولی است برای مثال در شکل (۱-۲) منحنی بنفش رنگ پاسخ بازتابی نقطه قرمز رنگ مشخص شده بر بخش CRS، منحنی‌های سبز رنگ سمت چپ منحنی بنفش پاسخ بازتابی نقاط سمت چپ نقطه قرمز رنگ مشخص شده بر بخش CRS و منحنی‌های سبز رنگ سمت راست منحنی بنفش پاسخ بازتابی نقاط سمت راست نقطه قرمز رنگ مشخص شده بر بخش CRS است. صفحه‌ای که حاوی منحنی ذکر شده می‌باشد صفحه CRS نامیده می‌شود هدف روش CRS شناخت صفحه ذکر شده برای هر بخش از بازتابنده است.

به دلیل اهمیت درک فیزیکی پارامترهای عملگر CRS همچنین فرض‌هایی که در مراحل مختلف به دست آوردن معادله CRS استفاده شده است، قسمت بعدی به تئوری معادله CRS اختصاص داده می‌شود.

۱-۲-۲ تئوری معادله CRS

پایه و اساس تئوری عملگر CRS معادله موج آکوستیک (معادله ۱-۲) است.

$$\frac{1}{v} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \Delta p = 0 \quad (1-2)$$

v سرعت موج آکوستیک و p کندی موج در محیط است. حل معادله موج آکوستیک در حوزه فرکانس منجر به حاصل شدن معادله آیکونال^۲ (معادله ۲-۲-الف) و معادله انتقال (معادله ۲-۲-ب) می‌شود

^۱ common reflection segment

^۲ Eikonal

(Cerveny, 2005).

$$(\vec{\nabla} \tau(\vec{x}))^2 = \frac{1}{v^2(\vec{x})} \quad (2-2 \text{ الف})$$

$$2\vec{\nabla} \tau(\vec{x}) \cdot \vec{\nabla} A_0(\vec{x}) + A_0(\vec{x}) \Delta \tau(\vec{x}) = 0 \quad (2-2 \text{ ب})$$

τ زمان سیر و A_0 دامنه موج است. حل معادله انتقال در مختصات کارتیزین نسبتاً پیچیده است. به این جهت سعی شده تا حل معادله انتقال در مختصات پرتو انجام گیرد. مختصات ذکر شده مختصاتی راست گوشه است، در این مختصات یکی از محورها در راستای پرتوی مرکزی انتشار یافته از چشمه و دو محور دیگر در صفحه عمود بر پرتوی ذکر شده در نظر گرفته می‌شود (Popov, 2002).

اگر در مختصات پرتو مرکزی راستای حرکت پرتو q_3 و محورهای عمود بر راستای حرکت پرتو q_2 و q_1 در نظر گرفته شود. همچنین اگر پرتوهایی که انحراف قابل توجهی از پرتو مرکزی نداشته باشند (در مکان چشمه)، به عنوان پرتوهای موازی محور تعریف شوند، نتیجه نهایی حل معادله موج منجر به معادله (2-3) می‌شود (Cerveny, 2005).

$$\begin{pmatrix} q_1(\mathbf{R}) \\ q_2(\mathbf{R}) \\ p_1^{(q)}(\mathbf{R}) \\ p_2^{(q)}(\mathbf{R}) \end{pmatrix} = \Pi(\mathbf{R}, \mathbf{S}) \begin{pmatrix} q_1(\mathbf{S}) \\ q_2(\mathbf{S}) \\ p_1^{(q)}(\mathbf{S}) \\ p_2^{(q)}(\mathbf{S}) \end{pmatrix} \quad (2-3)$$

\mathbf{R} مکان گیرنده، \mathbf{S} مکان چشمه، $p_1^{(q)}$ کندی پرتو در راستای محور q_1 ، $p_2^{(q)}$ کندی پرتو در راستای محور q_2 و Π ماتریس انتشار است. رابطه (2-3) بیانگر این موضوع است که خواص دینامیکی پرتو موازی محور در مکان چشمه با خواص دینامیکی پرتو موازی محور در مکان گیرنده رابطه خطی دارد و به کمک ماتریس انتشار می‌توان برای هر شرایط ابتدایی پرتو در مکان چشمه، جواب معادله موج در مکان گیرنده را به دست آورد (Cerveny, 2005).

شکل دیگر معادله (۳-۲) در مختصات کارتزین به صورت زیر است (Bortfeld, 1989).

$$\begin{pmatrix} x(R) \\ \bar{P}_{(R)} - P_{(R)} \end{pmatrix} = \hat{T} \begin{pmatrix} x(S) \\ \bar{P}_{(S)} - P_{(S)} \end{pmatrix} \quad (۴-۲)$$

x مکان، \bar{P} کندی پرتو مرکزی، P کندی پرتو موازی محور و \hat{T} ماتریس انتشار پرتو سطح به سطح است.

ماتریس انتشار پرتو سطح به سطح، ماتریسی ۴×۴ است که به صورت معادله (۵-۲) تعریف می شود:

$$\hat{T} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \quad (۵-۲)$$

A, B, C و D ماتریس‌های ۲×۲ مشخصه پرتو مرکزی هستند و می توان با استفاده از آن‌ها خواص

دینامیکی میدان موج از قبیل فاکتور توزیع هندسی را تعیین نمود (Hubral et al, 1992b). به کمک

رابطه (۵-۲) و با استفاده از معادله همیلتون (Schleicher et al., 1993)، تقریب سهموی زمان سیر در

امتداد پرتو موازی محور به صورت معادله (۶-۲) حاصل می شود (Spinner, 2007).

$$\begin{aligned} \tau_{\text{par}}(x_S, x_R) = & \tau_0 + p_R \cdot x_R - p_S \cdot x_S - x_S \cdot B^{-1} x_S \\ & + \frac{1}{2} x_S \cdot B^{-1} A x_S + \frac{1}{2} x_R \cdot D B^{-1} x_R \end{aligned} \quad (۶-۲)$$

τ_0 زمان سیر در امتداد پرتو مرکزی است. به کمک روابط (۷-۲ الف)، (۷-۲ ب) و انجام چند

محاسبه ریاضی، تقریب هذلولی زمان سیر در مختصات زمان-نقطه میانی-دورافت به صورت معادله (۷-

۲-ج) حاصل می شود (Spinner, 2007).

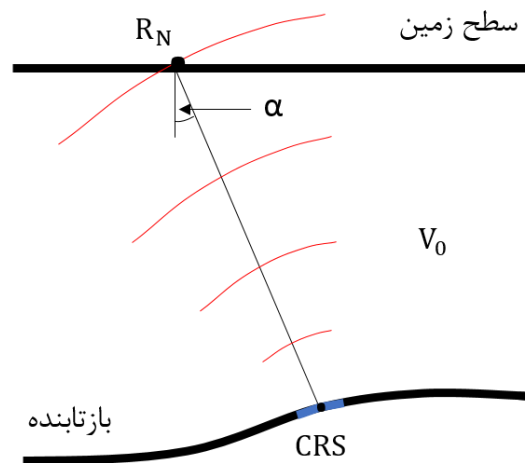
$$\Delta m = m - m_0 = \frac{1}{2} (x_R + x_S) \quad (۷-۲ الف)$$

$$\Delta h = h - h_0 = \frac{1}{2} (x_S - x_R) \quad (۷-۲ ب)$$

$$\tau_{hyp}^2(\Delta m, \Delta h) = (\tau_0 + (p_R - p_S) \cdot \Delta m + (p_R + p_S) \cdot \Delta h)^2 + \tau_0 (\Delta m \cdot M_M^H \Delta m + 2 \Delta m \cdot M_{MH} \Delta h + \Delta h \cdot M_H^M \Delta h) \quad (2-7-ج)$$

در روابط بالا h نیم دورافت، h_0 نیم دورافت صفر (وقتی چشمه و گیرنده روی هم قرار گیرند)، m بردار مکان CMP یا به عبارتی دیگر مکان نقطه میانی مشترک، m_0 بردار مکان مربوط به CMP مرکزی مکان نقطه میانی مشترک مرکزی (شرکت کننده در تصویرسازی)، P بیانگر کندی پرتو مرکزی در مکان گیرنده و M_M^H, M_H^M و M_{MH} ماتریس‌هایی هستند که با مشخصه‌های پرتو مرکزی رابطه دارند. مفهوم فیزیکی ماتریس‌های ذکر شده نیازمند تعریف موج عمود و موج NIP است که در ادامه بیان می‌شود.

موج عمود، موجی فرضی است که جبهه اولیه آن بر سطح بازتاب منطبق بوده و اگر با نصف سرعت محیط به سمت بالا انتشار یابد در زمان τ_0 به سطح می‌رسد (شکل ۲-۲). اگر جبهه موج عمودی که به سطح رسیده است با نصف سرعت محیط از سطح حرکت کند و پس از زمان τ_0 (به طوری که مسیر جبهه موج برگشتی با موج گسیل شده منطبق شود)، به صورت مشابه به تمام نقاط سطح بازتابنده برخورد کند جبهه موج عمود را جبهه موج ویژه می‌گویند (Hubral, 1983).



شکل ۲-۲: موج عمود برای یک مدل با سرعت ثابت. منحنی آبی رنگ چشمه‌های نقطه‌ای فرضی بر بازتابنده می‌باشد. α زاویه ورود موج عمود و R_N شعاع موج عمود است (Mann, 2001).

چنانچه جبهه موج دریافتی در گیرنده‌ها به صورت عمود فرض شوند می‌توان نوشت:

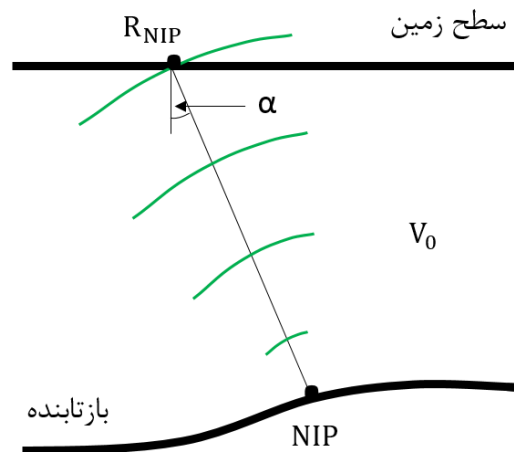
$$P_R = -P_S \quad (۸-۲)$$

معادله بالا را به شکل زیر نیز می‌توان تعریف کرد:

$$2p_m = P_R - P_S \quad (۹-۲)$$

P_m کندی موج دریافتی در مکان گیرنده (یا چشمه) می‌باشد.

موج NIP موجی فرضی است که اگر از نقطه NIP روی سطح بازتابنده آغاز شود و با نصف سرعت محیط به سمت سطح حرکت کند پس از گذر زمان τ_0 به محل انطباق چشمه و گیرنده می‌رسد. اگر جبهه موج NIPی که به محل انطباق چشمه و گیرنده رسیده است با نصف سرعت محیط، از محل انطباق چشمه و گیرنده حرکت کند و پس از زمان τ_0 (به طوری که مسیر جبهه موج برگشتی با موج گسیل شده منطبق گردد)، در نقطه NIP متمرکز شود، جبهه موج NIP ذکر شده را جبهه موج NIP ویژه گویند (Hubral, 1983) (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲: موج NIP برای یک مدل با سرعت ثابت. α زاویه ورود موج عمود (یا موج مرکزی) و R_{NIP} شعاع موج عمود است (Mann, 2001).

با فرض این که جبهه موجی دریافتی توسط گیرنده واقع در مکان چشمه، رفتاری شبیه به جبهه

موج NIP ویژه از خود نشان می‌دهد، روابط (۱۰-۲ الف) و (۱۰-۲ ب) را می‌توان نوشت. با اعمال روابط (۹-۲)، (۱۰-۲ الف) و (۱۰-۲ ب) در معادله (۷-۲ ج) معادله عملگر CRS در زمان-نقطه میانی-دورافت به صورت معادله (۱۰-۲ ج) حاصل می‌شود.

$$\Delta h = h \quad (۱۰-۲ الف)$$

$$M_{MH} = 0 \quad (۱۰-۲ ب)$$

$$\tau_{hyp}^2 (\Delta m, h) = (\tau_0 + 2p_m \cdot \Delta m)^2 + \tau_0 (\Delta m \cdot M_M^H \Delta m + h \cdot M_H^M h) \quad (۱۰-۲ ج)$$

P_m مولفه افقی بردار کندی پرتو مرکز را در مکان گیرنده (یا چشمه) نشان می‌دهد. مقدار و جهت این بردار در معادله (۱۱-۲) آورده شده است.

$$P_m = \frac{1}{V_0} \begin{pmatrix} \cos(\phi) & \sin(a) \\ \sin(\phi) & \sin(a) \end{pmatrix} \quad (۱۱-۲)$$

V_0 سرعت موج دریافتی در گیرنده، α زاویه پرتو مرکزی نسبت به خط عمود بر سطح افقی زمین و ϕ آزمون بردار پرتو مرکزی نسبت به برداری (عموما محور حاوی چشمه و گیرنده را انتخاب می‌کنند) دلخواه بر روی سطح زمین است.

اگر جبهه موج مرکزی که توسط گیرنده دریافت می‌شود یک موج NIP ویژه در نظر گرفته شود، آنگاه ماتریس M_H^M طبق رابطه (۱۲-۲) به دست خواهد آمد:

$$M_H^M = \frac{2}{V_0} H k_{NIP} H^T \quad (۱۲-۲)$$

که K_{NIP} ماتریس انحنای جبهه موج مرکزی است. H و H^T عمل تبدیل کارتزین پرتو مرکزی به سیستم کارتزین عمومی را انجام می‌دهند.

اگر پرتوهایی که توسط گیرنده دریافت می‌شوند یک موج عمود ویژه فرض شود، آن‌گاه ماتریس

M_M^H از رابطه (۲-۱۳) به دست می‌آید.

$$M_M^H = \frac{2}{V_0} H k_N H^T \quad (۲-۱۳)$$

که K_N ماتریس انحنای جبهه موج عمود ذکر شده است. درایه‌های ماتریس‌های K_N ، K_{NIP} و زوایای α و ϕ را نشانگرهای جنبشی میدان موج می‌نامند.

معادله (۲-۱۰-ج) عملگر CRS در فضای سه بعدی است. داده‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد، داده‌های مربوط به لرزه‌نگاری بازتابی دو و نیم بعدی است. در هندسه دو بعدی چشمه‌ها و گیرنده‌ها در امتداد یک خط که خط لرزه‌ای نامیده می‌شود قرار می‌گیرند. صفحه‌ای که خط لرزه‌ای روی آن قرار دارد و بر سطح زمین عمود است نیز صفحه برداشت نامیده می‌شود در هندسه دو بعدی فرض می‌شود که پارامترهای زیرسطحی در امتداد عمود بر صفحه برداشت تغییر نمی‌کنند. این وضعیت معمولاً متناسب به هندسه دو و نیم بعدی است زیرا موج به صورت سه بعدی در مدلی با تغییرات دو بعدی انتشار می‌یابد. در شرایط هندسه دو و نیم بعدی عملگر CRS طبق رابطه زیر تعریف می‌شود (Spinner, 2007).

$$\tau_{hyp}^2(\Delta m, h) = \left(\tau_0 + \frac{2\sin(\alpha)}{V_0} \cdot \Delta m\right)^2 + \frac{2\tau_0 \cos^2(\alpha)}{V_0} (k_N \Delta m^2 + k_{NIP} h^2) \quad (۲-۱۴)$$

α زاویه ورود پرتو مرکزی، K_N انحنای جبهه موج عمود و K_{NIP} انحنای جبهه موج NIP در شرایط هندسه دو و نیم بعدی و در نقطه ورود موج به سطح زمین می‌باشد.

α با جهت یافتگی نقطه NIP، K_N با انحنای قسمتی از بازتابنده که موج از آن‌جا بازتاب شده (شکل ۲-۲) و K_{NIP} با عمق بازتابنده (شکل ۲-۳) رابطه دارد. مقادیر کم انحنای جبهه موج NIP در سطح، بیانگر این موضوع است که موج مسافت زیادی را طی کرده تا به سطح زمین رسیده است و

برعکس. با توجه به این موضوع و جهت‌یافتگی بازتابنده می‌توان مکان بازتابنده را تخمین زد. در رابطه با یک بازتابنده که در فاصله خاصی از نقطه ورود موج به سطح زمین قرار دارد انحنای جبهه موج عمود با انحنای بازتابنده رابطه دارد. مقادیر مثبت انحنای جبهه موج عمود بیانگر شکل تاقدیسی بازتابنده و مقادیر منفی انحنای جبهه موج عمود بیانگر شکل ناودیسی بازتابنده می‌باشد. میزان انحنای بازتابنده به کمک فاصله بازتابنده از نقطه ورود و مقدار انحنای جبهه موج عمود به دست می‌آید.

۲-۲-۲ استراتژی‌های حل معادله CRS

در روش تصویرسازی CRS، پاسخ بازتابی بازتابنده‌های درون زمین توسط نشانگرهای جنبشی میدان موج توصیف می‌شود. محاسبه نشانگرهای جنبشی میدان موج به دلیل عدم وجود هیچ پیش‌شرط اولیه در تعیین آن‌ها، ناگزیر باید از طریق آنالیز همدوسی انجام گیرد. در روش آنالیز همدوسی به ازای مقادیر مختلف نشانگرهای جنبشی میدان موج، صفحه برانبارش CRS تشکیل داده می‌شود و صفحه برانبارشی که بیشترین انطباق را با صفحه منحنی‌های زمان‌سیر داشته باشد به عنوان صفحه برانبارش و نشانگرهای متناظر با آن، به عنوان نشانگرهای جنبشی میدان موج در نظر گرفته می‌شود. با توجه به محدوده زیاد تغییرات نشانگرهای جنبشی میدان موج (R_N از منفی بی نهایت تا مثبت بی نهایت، R_{NIP} از مقدار حدی صفر مثبت تا بی نهایت و α از منفی نود درجه تا مثبت نود درجه)، محاسبه هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج با روش‌های معمول (مورد آنالیز قرار دادن تمام مقادیر نشانگرهای جنبشی میدان موج) منجر به اتلاف وقت و هزینه زیاد خواهد شد. در زیر چند استراتژی مختلف که برای حل معادله CRS و تخمین نشانگرهای جنبشی میدان موج به کار گرفته می‌شود، آورده شده است.

۱-۲-۲-۲ استراتژی رایج برانبارش CRS

در این روش ابتدا هر کدام از نشانگرهای جنبشی در مقطع‌های همدوسی جداگانه تخمین زده می‌شوند سپس با فرض اینکه جواب‌های به دست آمده (از جست‌وجو در مقطع همدوسی تک پارامتری)

به جواب اصلی نزدیک است، طی یک مرحله بهینه‌سازی سه پارامتری در محدوده‌های کوچک حول مقادیر به دست آمده، بهینه‌های اصلی نشانگرهای جنبشی استخراج می‌شود (Jager, 1999). روش ذکر شده طی سه مرحله که در زیر آورده شده، انجام می‌گیرد:

مرحله اول:

اولین مرحله از استراتژی رایج برانبارش CRS، برانبارش خودکار CMP نامیده می‌شود. در این مرحله سطح برانبارش CRS به یک CMP محدود می‌گردد (معادله ۲-۱۵). به این جهت در معادله ۲-۱۴ مقدار Δm صفر در نظر گرفته می‌شود.

(۲-۱۵)

$$\tau_{\text{hyp}}^2(0, h) = \tau_0^2 + \frac{2\tau_0 \cos^2(a)}{V_0} (k_{\text{NIP}} h^2)$$

اگر متغیر q طبق رابطه (۲-۱۶-الف) تعریف شود و در معادله (۲-۱۵) قرار گیرد معادله (۲-۱۶-ب) حاصل می‌شود:

$$q = \cos^2(a) k_{\text{NIP}} \quad (۲-۱۶-الف)$$

$$\tau_{\text{hyp}}^2(0, h) = \tau_0^2 + \frac{2\tau_0 q}{V_0} h^2 \quad (۲-۱۶-ب)$$

با مقایسه رابطه (۲-۱۶-ب) و رابطه (۱-۱) مشاهده می‌شود که هر دو معادله فقط در ظاهر با هم تفاوت دارند و بین q و V_{NMO} رابطه (۲-۱۷) برقرار است:

$$V_{\text{NMO}}^2 = \frac{2V_0}{\tau_0 q} \quad (۲-۱۷)$$

رابطه (۲-۱۷) بیانگر این موضوع است که مقدار q را می‌توان با استفاده از سرعت تصحیح برون‌راند عمود که از روش آنالیز سرعت به دست می‌آید محاسبه نمود، به همین دلیل این مرحله از روش رایج برانبارش

CRS را برانبارش خودکار CMP می نامند.

مرحله دوم:

دومین مرحله از استراتژی رایج برانبارش CRS، مرحله تهیه مقطع ZO اولیه نام دارد. در این مرحله نیم‌دورافت و انحنای جبهه موج عمود در عملگر CRS صفر در نظر گرفته می‌شود و معادله زمان سیر با نیم‌دورافت صفر (معادله ۲-۱۸) به دست آورده می‌شود. به کمک معادله ذکر شده و با استفاده از روش آنالیز همدوسی مقدار بهینه α و به تبع آن مقدار بهینه K_{NIP} (طبق معادله ۲-۱۶-الف) محاسبه می‌گردد. در گام بعدی از این مرحله مقادیر α و K_{NIP} به دست آورده شده در معادله (۲-۱۴) قرار داده شده و با روش آنالیز همدوسی تک پارامتری مقدار بهینه K_N نیز محاسبه می‌شود و مقطع ZO اولیه به کمک نشانگرهای ذکر شده تشکیل می‌گردد. به دلیل این که مقطع ZO به دست آمده از این مرحله مقطع ZO نهایی نیست مقطع ذکر شده را مقطع ZO شبیه‌سازی شده می‌نامند. بنا به آنچه که بیان شد از مرحله دوم برانبارش CRS به روش رایج پنج مقطع شامل مقطع ZO شبیه‌سازی شده، مقطع همدوسی سه پارامتری اولیه، مقطع α مقطع R_{NIP} مقطع R_N به دست می‌آید.

$$\tau_{hyp}(\Delta m, 0) = \tau_0 + \frac{2\sin(a)}{V_0} \cdot \Delta m \quad (2-18)$$

مرحله سوم:

دقت جوابی که از حل سه معادله تک پارامتری به دست می‌آید از دقت جوابی که از حل معادله اصلی به صورت سه پارامتری به دست خواهد آمد کمتر است. با این حال جواب‌های به دست آمده دارای دقت کافی برای استفاده در محاسبات مراحل بعدی می‌باشند. در این جا فرض بر آن است که نشانگرهای تخمین زده شده، در نزدیکی محل نشانگرهای واقعی است. بنابراین می‌توان با انجام یک مرحله بهینه‌سازی محلی به جواب‌های واقعی بسیار نزدیک شد (Jager et al., 2001). در انتهای این گام نیز

پنج مقطع به دست می‌آید که عبارت است از: مقطع برانبارش CRS (مقطع نهایی برانبارش بهینه شده ZO)، مقطع همدوسی حداکثر، مقطع R_{NIP} بهینه شده، مقطع R_N بهینه شده و مقطع α بهینه شده.

۲-۲-۲-۲ استراتژی استفاده از مشتق‌های محلی

آن دسته از استراتژی حل معادله CRS که پارامترهای معادله CRS را بر اساس آنالیز همدوسی (استراتژی رایج حل معادله CRS) تخمین می‌زنند عموماً روش‌هایی وقت‌گیر و پرهزینه هستند. در سال‌های اخیر دسته روش دیگری جهت حل معادله CRS ارائه شده است که پارامترهای CRS را بر اساس مشتق‌های محلی در نقطه ورود موج مرکزی به سطح زمین تخمین می‌زند. از مزیت‌های این روش‌ها می‌توان به سرعت بالای این روش در تخمین پارامترهای معادله CRS و کاربرد زیاد مشتق‌های محلی در کارهای پردازشی دیگر از قبیل روش‌های توموگرافی اشاره نمود (Santos et al., 2011). نحوه به دست آمدن پارامترهای CRS در روش ذکر شده، در زیر بیان شده است:

در روش‌های ذکر شده پارامترهای جدید A، B و C طبق معادله‌های (۲-۱۹-الف)، (۲-۱۹-ب) و (۲-۱۹-ج) تعریف می‌شود. با اعمال پارامترهای A، B و C در معادله (۲-۱۴)، معادله (۲-۱۹-د)، به دست می‌آید.

$$A = \frac{2\sin(a)}{v_0} \quad (۲-۱۹-الف)$$

$$B = \frac{2T_0 \cos^2(a)}{v_0} K_N \quad (۲-۱۹-ب)$$

$$C = \frac{2T_0 \cos^2(a)}{v_0} K_{NIP} \quad (۲-۱۹-ج)$$

$$T_{CRS}(m,h)=\sqrt{[T_0+A(m-m_0)]^2+B(m-m_0)^2+Ch^2} \quad (2-19-د)$$

A، B و C بر اساس پارامترهای قابل محاسبه از مقطع ZO و CO¹، به ترتیب طبق معادله‌های (2-20-الف)، (2-20-ب) و (2-20-ج) تعریف می‌شود (Hertweck et al., 2007).

$$A=2p \quad (2-20-الف)$$

$$B=\frac{4}{v_{CO}^2} \quad (2-20-ب)$$

$$C=\frac{4}{v_{NMO}^2} \quad (2-20-ج)$$

که p کندی موج مرکزی در نقطه ورود به سطح زمین، v_{CO} سرعت تصحیح انحنا و v_{NMO} سرعت تصحیح برون‌راند عمود است.

در ادامه T بیانگر زمان سیر از نظر تئوری و t بیانگر زمان سیر محاسبه شده از مقطع‌های بازتابی است. همچنین a، b و c بیان‌کننده مقادیر محاسبه شده ضرایب ذکر شده در مقطع‌های بازتابی و A، B و C به ترتیب نشان‌دهنده میانگین a، b و c می‌باشد.

اولین پارامتری که در روش تخمین پارامترهای CRS براساس مشتق‌های محلی محاسبه می‌شود پارامتر C است. بدین منظور در رابطه (2-19-د)، m برابر m_0 در نظر گرفته می‌شود و رابطه (2-21) به دست می‌آید.

$$T_{CMP}(h)=T_{CRS}(m_0,h)=\sqrt{T_0^2+Ch^2} \quad (2-21)$$

با توجه به معادله (2-21)، کندی محاسبه می‌شود (معادله 2-22-الف). اگر کندی در نیم دورافت

¹ Common offset

h و زمان t از CMP مرکزی به صورت $p(h,t)$ تعریف شود از ادغام رابطه‌های (۲۱-۲) و (۲۲-۲-الف)، رابطه (۲۲-۲-ب) به دست می‌آید.

$$P = \frac{1}{2} \frac{d}{dh} T_{CMP} = \frac{Ch}{2T_{CMP}} \quad (۲۲-۲-الف)$$

$$t_0 = \sqrt{t^2 - 2htp(h,t)} \quad (۲۲-۲-ب)$$

با مقایسه t و h در رابطه‌های (۲۲-۲-ب) و (۱-۱) می‌توان نتیجه گرفت که هر دو رابطه بیانگر تصحیح برون‌راند عمود هستند و رابطه (۲۲-۲-الف) را می‌توان به صورت معادله (۲۳-۲) نوشت.

$$c(h,t) = \frac{2tp(h,t)}{h} \quad (۲۳-۲)$$

رابطه (۲۳-۲) بیانگر این موضوع است که اگر p در هر t و h در مقطع CMP مرکزی معلوم باشد آنگاه می‌توان برای همه t و h ها c را محاسبه نمود و با میانگین‌گیری از c های محاسبه شده برای t های متناظر با هر C, t_0 را محاسبه نمود.

پارامترهای A و B را می‌توان در همسایگی ردلرزه مرکزی در مقطع CO محاسبه نمود. بدین منظور ابتدا باید تابع زمان سیر در مقطع CO محاسبه شود. اگر در معادله (۱۹-۲-د)، h با h_0 جایگزین شود تابع زمان سیر در مقطع CO به دست می‌آید (معادله ۲۴-۲).

$$T_{CO}(x) = T_{CRS}(m, h_0) = \sqrt{T_{CMP}(h_0)^2 + 2AT_0(m-m_0)^2 + D(m-m_0)^2} \quad (۲۴-۲)$$

در معادله بالا T_{CMP} زمان سیر مربوط به CMP مرکزی می‌باشد. D نیز از معادله (۲۵-۲) به دست می‌آید.

$$D = A^2 + B \quad (۲۵-۲)$$

در این تحقیق دو روش متفاوت برای محاسبه A و B بیان می‌شود.

روش اول:

در این روش به کمک معادله (۲۴-۲) مشتق مکانی q ، در مقطع CO محاسبه می‌شود (معادله ۲۶-۲).

$$q = \frac{d}{dm} T_{CO} = \frac{AT_0 + D(m - m_0)}{T_{CO}} \quad (26-2)$$

با فرض این که مقدار q در هر نقطه مقطع CO معلوم است معادله (۲۶-۲) را می‌توان به صورت معادله (۲۷-۲) نوشت.

$$q(m,t) = \frac{AT_0 + D(m - m_0)}{t} \quad (27-2)$$

در معادله (۲۷-۲)، T_{CO} ، t در نظر گرفته شده است. در معادله ذکر شده چون A و D هر دو مجهول هستند نمی‌توان هر دو مجهول را با هم به دست آورد برای رفع این مشکل می‌توان از مشتق مکانی دوم زمان سیر در مقطع ZO استفاده کرد (معادله ۲۸-۲).

$$q_m(m,t) = \frac{D}{T_{CO}} - \frac{[AT_0 + D(m - m_0)]^2}{T_{CO}^3} \quad (28-2)$$

اگر در رابطه (۲۸-۲) نیز T_{CO} ، t در نظر گرفته شود رابطه (۲۹-۲) به دست می‌آید.

$$d(m,t) = q(m,t)^2 + tq_m(m,t) \quad (29-2)$$

به کمک معادله‌های (۲۴-۲)، (۲۷-۲) و (۲۹-۲) معادله (۳۰-۲) به دست می‌آید. معادله (۳۰-۲) بیانگر رابطه بین زمان سیر در مقطع CMP و ZO است. همچنین با توجه به این که t_{CMP} زمان سیر مربوط به CMP مرکزی می‌باشد می‌توان رابطه (۲۲-۲) را به صورت معادله (۳۰-۲) نوشت.

$$t_{CMP} = \sqrt{t^2 - 2q(m,t)t(m-m_0) + [q(m,t)^2 + tq_m(m,t)](m-m_0)^2} \quad (2-30-الف)$$

$$t_0 = \sqrt{t_{CMP}^2 - 2h_0 t_{CMP} p(h_0, t_{CMP})} \quad (2-30-ب)$$

با انجام یک سری محاسبات ریاضی روی معادلات (2-30-الف) و (2-30-ب) پارامترهای a و b به صورت زیر به دست می‌آید:

$$a(m,t) = \frac{q(m,t)t - d(m,t)(m-m_0)}{t_0} \quad (2-31-الف)$$

$$b(m,t) = d(m,t) - a(m,t)^2 \quad (2-31-ب)$$

برای t ها و m های مختلف a و b محاسبه می‌شود و با ماینرگیری از a و b های محاسبه شده به ترتیب A و B به دست می‌آید.

روش دوم:

در روش دوم به کمک رابطه (2-27)، AT_0 برحسب $q(m_0, t)$ محاسبه می‌شود (معادله 2-32-الف). اگر در رابطه (2-27) AT_0 برحسب $q(m_0, t)$ قراد داده شود و t نیز به جای T_{CO} به کار گرفته شود رابطه (2-32-ب) به دست می‌آید.

$$AT_0 = q(m_0, t)T_{CO} \quad (2-32-الف)$$

$$D(m-m_0) = t[q(m,t) - q(m_0, t)] \quad (2-32-ب)$$

با اعمال رابطه (2-32-ب) در رابطه (2-24)، رابطه بین زمان سیر در مقطع CMP و زمان سیر در مقطع ZO به دست می‌آید (معادله 2-33-الف). در روش دوم a به کمک رابطه (2-32-الف) و b به کمک روابط (2-33-الف)، (2-33-ب)، (2-24) و (2-25) محاسبه می‌شود (معادله‌های (2-32-ب) و (2-25-ب)).

۳۲-ج)).

$$t_{CMP} = \sqrt{t^2 - t(m-m_0)[q(m,t)+q(m_0,t)]} \quad (2-33-الف)$$

$$a(m_0,t) = \frac{tq(m_0,t)}{t_0} \quad (2-33-ب)$$

$$b(m,t) = \frac{t[q(m,t)-q(m_0,t)]}{m-m_0} - a(m_0,t)^2 \quad (2-33-ج)$$

برای محاسبه A، در CMP مرکزی برای t های مختلف a محاسبه می‌شود و از آن‌ها میانگین گرفته می‌شود. برای محاسبه B، در CMP مرکزی و CMP های همسایه، برای t های مختلف b محاسبه می‌شود و از آن‌ها میانگین گرفته می‌شود.

همان‌طوری که در روش حل معادله CRS براساس مشتق‌های محلی بیان شد در این روش‌ها برای محاسبه پارامترهای معادله CRS از مشتق‌های محلی استفاده می‌شود. جهت محاسبه مشتق‌های محلی روش‌های متفاوتی وجود دارد که (Schleicher et al., 2009) نشان داد نتایج حاصل از این روش‌ها قابل اطمینان نیست. نقص اصلی استراتژی حل معادله CRS بر اساس مشتق‌های محلی عدم اطمینان به مقادیر محاسبه شده برای مشتق‌های محلی است.

۳-۲-۲-۲ استراتژی استفاده از جست‌وجوهای سه پارامتری

از زمانی که روش رایج حل معادله CRS ارائه شده است، سال‌ها می‌گذرد. در این سال‌ها علم بهینه‌سازی پیشرفت‌های بسیار زیادی داشته است و علی‌رغم رفع مشکلات الگوریتم‌های بهینه‌سازی که از قبل وجود داشتند، الگوریتم‌های بهینه‌سازی نوینی ارائه شده‌اند. به این ترتیب اکنون الگوریتم‌های زیادی جهت حل مسایل بهینه‌سازی وجود دارد که می‌توان به الگوریتم ژنتیک (GA^۱)، الگوریتم تجمع

^۱ Genetic algorithm

ذرات (PSO)، SA و MSA اشاره نمود. وجود الگوریتم‌های بهینه‌سازی سریع موجب شده تا سعی شود پارامترهای معادله CRS، براساس آنالیز همدوسی و به طور هم‌زمان جست‌وجو شود در همین راستا، Garabito et al., (2012) از الگوریتم‌های SA، MSA و VSA، (2016) Xie and Gajewski، از الگوریتم ¹NM، Walda and Gajewski, (2017) از الگوریتم ²DE برای تخمین پارامترهای معادله CRS استفاده کرد. لازم به ذکر است با توجه به تاثیر زیاد استفاده از پردازش موازی در کاهش زمان پردازش مسائل بهینه‌سازی، سعی شده است که با استفاده از پردازش موازی زمان پردازش روش‌های ذکر شده کاهش داده است (Lawrens et al., 2015).

نقص اصلی روش‌های جست‌وجوی سه پارامتری وابستگی این روش‌ها به نوع الگوریتم و زمان زیاد پردازش در مقایسه با روش‌های دیگر می‌باشد. از مزایای روش‌های ذکر شده می‌توان به کیفیت بالای مقطع ZO حاصل از آنها (که این کار نیازمند صرف وقت زیادی برای پردازش می‌باشد) اشاره کرد.

¹ Nelder–Mead

² differential evolution

فصل سوم

استراتژی‌های پیشنهادی حل معادله CRS

۱-۳ مقدمه:

در فصل یک اهمیت پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم بیان گردید و به این موضوع اشاره شد که پایه و اساس روش‌های پردازشی مورد استفاده در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق زیاد و عمق کم یکسان هستند. در فصل دو روش تصویرسازی CRS به همراه استراتژی‌های مرسوم حل معادله CRS مورد بررسی قرار گرفت و به این موضوع اشاره شد که روش رایج تصویرسازی CRS، به دلیل استفاده از فرض تخت بودن جبهه موج عمود در یکی از مراحل حل معادله CRS، کارایی مناسبی در تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم ندارد. بنابراین برای حل مشکل ذکر شده یا باید استراتژی روش رایج حل معادله CRS به گونه‌ای تغییر کند که روش ذکر شده از فرض تخت بودن جبهه موج عمود مستقل شود و یا از روشی دیگر جهت حل معادله CRS استفاده شود. بدین منظور دو استراتژی جهت حل معادله CRS پیشنهاد شده است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در تصویرسازی به روش CRS، بیشترین زمان در مرحله تخمین نشانگرهای جنبشی میدان موج صرف می‌شود و کیفیت مقطع حاصل از تصویرسازی به روش CRS نیز بستگی به دقت تعیین نشانگرهای جنبشی میدان موج دارد در بخش قبل چند روش تخمین نشانگرهای جنبشی میدان موج، مورد بررسی قرار گرفت. یکی از این روش‌ها، روش حل معادله CRS براساس مشتق‌های محلی بود که در این تحقیق به دلیل عدم اعتماد به روش‌های تعیین مشتق‌های محلی، از روش ذکر شده صرف نظر می‌شود. یکی دیگر از روش‌هایی که در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت روش رایج حل معادله CRS بود، این روش نیز به دلیل این که در یکی از مراحل حل معادله CRS از فرض تخت بودن جبهه موج عمود استفاده

می‌کند، برای تصویرسازی داده‌های عمق کم مناسب نمی‌باشد اما با اعمال تغییراتی در استراتژی حل معادله CRS به این روش، می‌توان وابستگی روش ذکر شده به فرض تخت بودن جبهه موج عمود را از بین برد که در ادامه به این موضوع پرداخته می‌شود. آخرین روشی که در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت روش تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج بر اساس آنالیز همدوسی، به کمک روش‌های بهینه‌سازی کنونی بود. مشکل اصلی روش ذکر شده این بود که با توجه به بازه زیاد تغییرات پارامترهای معادله CRS، عموم روش‌های بهینه‌سازی کنونی برای رسیدن به دقت بالا، نیازمند زمان پردازش زیاد است در این تحقیق سعی شده که با انتخاب یکی از سریع‌ترین روش‌های بهینه‌سازی (متناسب با عملگر CRS)، مشکل ذکر شده محک زده شود.

با توجه به آن‌چه که در پاراگراف قبلی بیان شد در این تحقیق دو روش جهت حل معادله CRS پیشنهاد می‌شود:

۱- تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج بر اساس آنالیز همدوسی، به کمک یکی از روش‌های بهینه‌سازی کنونی

۲- تعمیم روش رایج حل معادله CRS

۲-۳ استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک الگوریتم PSO

حل معادله CRS به کمک آنالیز همدوسی در واقع حل یک مساله بهینه‌سازی است. چون در حل معادله CRS به کمک آنالیز همدوسی هدف یافتن مقادیری از نشانگرهای جنبشی است که صفحه CRS حاصل از آن‌ها بیشترین میزان شباهت را با صفحه زمان سیر ایجاد کند.

در حل مسائل مربوط به علم بهینه‌سازی انتخاب الگوریتم، یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در دقت و سرعت حل مساله می‌باشد. چون هر کدام از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مزایا و معایب خاص خودش را دارد که این امر موجب می‌شود تا هر کدام از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل مسایل خاصی

کارایی مناسب داشته باشند. عوامل متعددی در انتخاب الگوریتم بهینه‌سازی برای حل یک مساله بهینه‌سازی وجود دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- پیوسته یا گسسته بودن متغیرهای مساله

۲- شرط‌های موجود در مساله

۳- حداکثر میزان زمانی که برای حل مساله می‌توان گذاشت

۴- زیاد بودن یا کم بودن اکسترمم‌های محلی

۵- وجود یا عدم وجود نقاط حدی

پیوسته بودن مجهولات، محدوده زیاد تغییرات مجهولات، عدم امکان استفاده از روابط ریاضی در حل معادله CRS و همچنین اهمیت بسیار بالای دقت جواب نهایی حاصل از حل معادله CRS موجب می‌شود که از بین الگوریتم‌های موجود الگوریتم PSO که الگوریتم بسیار سریعی می‌باشد، انتخاب شود. از عوامل دیگر تاثیرگذار در انتخاب الگوریتم PSO در این تحقیق می‌توان به آسان بودن درک ماهیت و پیاده‌سازی، عدم نیاز به حافظه زیاد و پیچیدگی محاسباتی پایین (نظام‌آبادی‌پور، ۱۳۸۷) و این که کارایی الگوریتم ذکر شده در موارد بسیاری تایید شده است اشاره نمود که می‌توان به کارایی الگوریتم PSO در انتخاب ویژگی (Firip and Goodman, 2004)، تنظیم وزن‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی (Liu et al., 2004)، حل مسائل ترکیباتی همچون فروشنده دوره گرد (Machado and Lopes, 2005) و ... اشاره نمود.

۱-۲-۳ الگوریتم PSO

پایه و اساس الگوریتم بهینه‌سازی PSO، مدل‌های اجتماعی جانوران می‌باشد. در بیشتر گونه‌های جانوران رفتارهای گروهی دیده می‌شود. در بعضی از این گونه‌ها یکی از اعضا به عنوان رئیس، سایر اعضا را راهنمایی و مدیریت می‌کند که می‌توان به شیرها اشاره نمود و در بعضی دیگر از گونه‌ها مثل پرندگان

اعضا توسط عضوی به عنوان رئیس، راهنمایی و مدیریت نمی‌شوند. در این گونه از جانوران اعضا هیچ دانشی نسبت به رفتار عمومی کل گروه و یا حتی محیطی که در آن هستند، ندارند و با رد و بدل نمودن اطلاعات با اعضای هم‌جوار خود حرکت می‌کنند و نیازهای خود را برطرف می‌نمایند. در این گونه‌ها، تعامل ساده بین اعضا باعث ایجاد رفتار پیچیده‌تر گروه می‌شود. جهت درک ساده‌تر رفتار پویا و پیچیده گروه‌های ذکر شده، رفتار گونه‌های اجتماعی شبیه‌سازی شدند (Reynholds, 1987). در بسیاری از موارد از این شبیه‌سازی‌ها در الگوریتم‌های بهینه‌سازی الهام گرفته شده است.

اولین بار (Kennedy and Eberhart, 1995) پس از شبیه‌سازی رفتار اجتماعی پرندگان روش بهینه‌سازی گروه ذرات را ارائه دادند. در این شبیه‌سازی ذرات باید در الگوبرداری از رفتار پرندگان به نقاط بهینه نزدیک شوند. به این جهت هر ذره به سمت بهترین موقعیتی که ذره هم‌جوار دارد، حرکت می‌نماید. استفاده از این عمل باعث می‌گردد که گروه خیلی سریع به یک جهت نامعین و بدون تغییر همگرا شوند. جهت رفع این مشکل یک مولفه دیوانگی به صورت تغییر تصادفی در گروه‌ها استفاده شده است.

به منظور توسعه بیشتر مدل بهینه‌سازی گروه ذرات، استفاده از یک راهنمای سراسری نیز به مدل اضافه شد. به این ترتیب در الگوریتم PSO، ذرات با تاثیر گرفتن از بهترین تجربه خود ذره، بهترین تجربه سراسری و یک عنصر تصادفی حرکت می‌کنند و به مرور زمان اعضا حول یک هدف جمع می‌شوند (Hoorfar, 2007). الگوریتم PSO طی گام‌های زیر انجام می‌پذیرد (رضایی و راحتی، ۱۳۹۳):

گام اول: تولید نسل اولیه ذرات به صورت تصادفی

در این مرحله در فضای جست‌وجو تعدادی نقطه به طور تصادفی انتخاب شده و فرض می‌شود در هر یک از نقاط مذکور یک ذره قرار دارد. بدیهی است که تعداد زیاد ذرات موجب افزایش محاسبات و در اکثر موارد بیشتر شدن دقت نتیجه نهایی می‌شود.

گام دوم: ارزیابی نسل فعلی بر اساس تابع برازندگی

در الگوریتم PSO به تابعی که هدف به دست آوردن ماکزیمم (یا کمینه) آن می‌باشد، تابع برازندگی گفته می‌شود. در این مرحله برای نقاطی که ذرات در آنها قرار دارد تابع برازندگی محاسبه می‌شود.

گام سوم: انتخاب بهترین موقعیت ذره

هر ذره در فضای جست‌وجو جابجایی‌هایی خواهد داشت و تابع برازندگی برای مکان‌هایی که ذرات تجربه می‌کند محاسبه می‌شود. برای هر ذره مکانی که تابع برازندگی در آنجا بیشترین مقدار را داشته باشد، به عنوان بهترین موقعیت ذره انتخاب می‌گردد.

گام چهارم: انتخاب بهترین موقعیت سراسری

از میان تمام مکان‌هایی که تمام ذرات تجربه کرده‌اند مکانی که تابع برازندگی در آنجا بیشترین مقدار را داشته باشد، به عنوان بهترین موقعیت سراسری انتخاب می‌گردد.

گام پنجم: به روز رسانی موقعیت ذرات

در این مرحله میزان و جهت سرعتی که هر ذره باید طی کند تا به مکان بعدی برسد حساب می‌شود و ذره بنا بر آن در مکان جدید قرار می‌گیرد.

گام ششم: توقف در صورت مشاهده شرایط توقف

از شرط‌های رایجی که برای توقف الگوریتم PSO استفاده می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تعداد تکرار الگوریتم

۲- میزان تابع برازندگی

۳- عدم تغییرات میزان بهینه تابع برازندگی طی چند تکرار

۴- ترکیبی از موارد بالا

گام هفت: رفتن به گام دوم

برای درک بهتر الگوریتم PSO یک مثال ساده مطرح و به کمک الگوریتم PSO حل می‌شود. در این مثال تعدادی پرنده در یک مزرعه وجود دارند و می‌خواهند نقطه‌ای که بیشترین مواد غذایی در آنجا است را پیدا کنند.

گام اول: تعدادی پرنده انتخاب و به طور تصادفی در مزرعه پراکنده می‌شوند.

گام دوم: هر پرنده در مکانی که هست میزان مواد غذایی را اندازه‌گیری می‌کند.

گام سوم: هر پرنده از بین مکانی‌هایی که خودش مورد بررسی قرار داده، مکانی که بیشترین مواد غذایی را در آنجا اندازه‌گیری کرده را به عنوان بهترین تجربه شخصی انتخاب می‌کند.

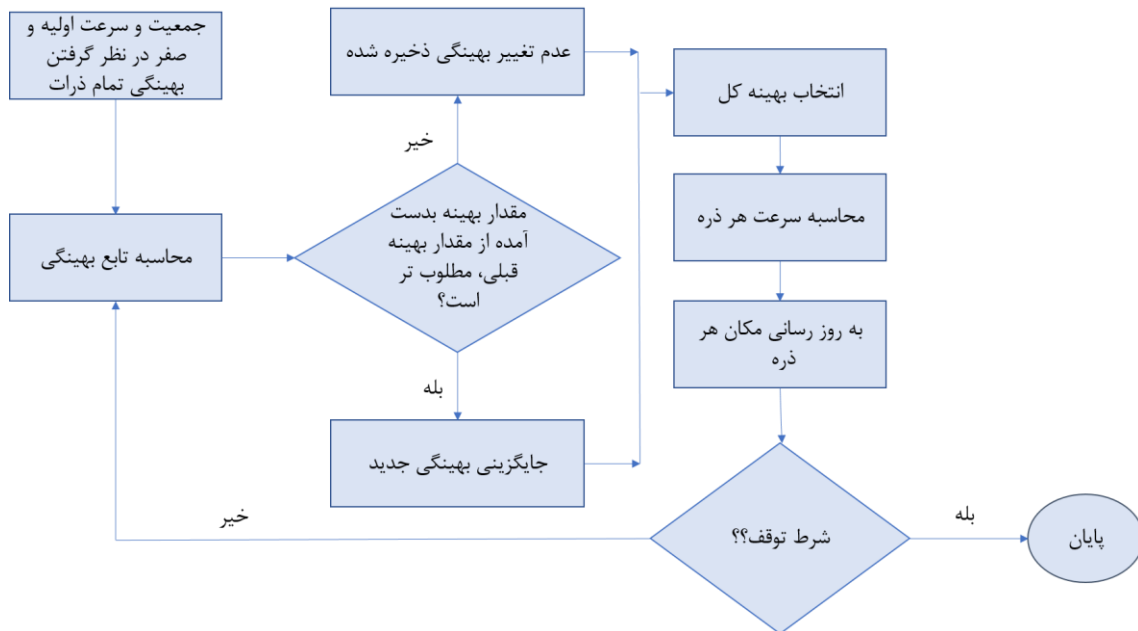
گام چهارم: از بین مکانی‌هایی که همه پرنده‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند، مکانی که در آنجا بیشترین مواد غذایی اندازه‌گیری شده است به عنوان بهترین تجربه سراسری انتخاب می‌شود.

گام پنجم: هر پرنده با توجه به بهترین تجربه شخصی، بهترین تجربه سراسری و یک عنصر تصادفی جابه‌جا می‌شود و به یک مکان جدید می‌رود.

گام ششم: در این مثال شرط توقف را برای مثال می‌توان بیست جابه‌جای پرنده در نظر گرفت.

گام هفت: رفتن به گام دوم

فلوچارت کلی روش PSO در شکل (۱-۳) آورده شده است.



شکل ۱-۳: فلوچارت کلی روش PSO

۲-۲-۳ سرعت ذرات

همان گونه که بیان شد، الگوریتم PSO از جمله الگوریتم‌های موازی و مبتنی بر داده است که با یک گروه از جواب‌های تصادفی شروع به کار می‌کند. هر ذره به صورت چند بعدی (بسته به نوع مساله) با دو بردار V_{id} و X_{id} که به ترتیب معرف موقعیت مکانی و سرعت بعد d ام از i امین ذره هستند، مشخص می‌شود (معادله‌های (۱-۳ الف) و (۱-۳ ب)). در هر مرحله از حرکت جمعیت سرعت ذره و مکان ذره از طریق رابطه‌های زیر مشخص می‌شود (نوروزی بیرامی و میبیدی، ۱۳۸۷).

$$v_{id}(t+1) = w.v_{id}(t) + c_1.rand_1(p_best_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2.rand_1(g_best_{id}(t) - x_{id}(t)) \quad (۱-۳ الف)$$

$$x_{id}(t+1) = v_{id}(t+1) + x_{id}(t) \quad (3-1-ب)$$

در معادلات بالا w ضریب اینرسی، c_1 و c_2 ضرایب یادگیری یا شتاب، p -best مکان بهترین تجربه شخصی هر ذره، g -best مکان بهترین تجربه سراسری اعداد، $rand_1$ و $rand_2$ اعداد تصادفی و t شمارنده تکرار الگوریتم می باشد.

عبارت ضریب اینرسی برای اولین بار توسط Shi and Eberhart, (1998) معرفی گردید. این وزن در واقع درصدی از سرعت قبلی ذره را در سرعت جدید ذره تاثیر می دهد. هرچه این مقدار بیشتر باشد میزان جست و جوی عمومی افزایش می یابد و هرچه این وزن کمتر باشد میزان جست و جوی محلی افزایش می یابد (Shi and Eberhart, 1998). ضریب اینرسی به صورت خطی کاهش پیدا می کند. ضرایب اینرسی و اعداد $rand_1$ و $rand_2$ معمولاً بین بازه صفر تا یک و ضرایب شتاب بین صفر تا دو انتخاب می شود. لازم به ذکر است که اغلب ضرایب شتاب $1/49$ یا 2 در نظر گرفته می شود (Liu et al.; 2007).

سمت راست معادله (3-1-الف) از سه قسمت تشکیل شده است: قسمت اول ضریبی از سرعت فعلی ذره است که این قسمت منجر به کاهش سرعت ذره می شود. به عبارتی دیگر این قسمت باعث می شود به مرور زمان ذرات از جست و جوی سراسری به جست و جوی محلی روی بیاورند و از واگرایی حرکت ذرات جلوگیری می کند. قسمت دوم ضریبی از بهترین تجربه شخصی ذره می باشد. در واقع این قسمت برای تغییر و چرخش سرعت ذره به طرف بهترین تجربه شخصی است و منجر به جست و جوی محلی حول بهترین تجربه شخصی می گردد. قسمت سوم هم که ضریبی از بهترین تجربه سراسری است و منجر به حرکت ذره به سمت بهترین تجربه سراسری می شود. در واقع قسمت اول برای موازنه بین جست و جوی محلی و سراسری ارائه شده است (Shi and Eberhart, 1998).

روش PSO که در بالا توضیح داده شد دو مشکل بزرگ دارد. اولین مشکل این است که برای ذره‌ای که حاوی جمله g -best می باشد قسمت دوم و سوم معادله (3-1-الف) صفر می شود. از طرفی

چون معمولاً w به صورت کاهشی در نظر گرفته می‌شود، پس از چند تکرار سرعت ذره ذکر شده بسیار کم خواهد شد (نظام آبادی‌پور و رستمی، ۱۳۸۵). این موضوع باعث همگرایی زودرس الگوریتم به یک بهینه محلی می‌شود. برای رفع این مشکل یک پارامتر به الگوریتم اضافه می‌شود که باعث جست‌وجوی تصادفی ذره g -best حول جواب بهینه خواهد شد (Vanden Bergh and Engelbrecht, 2002). مشکل دیگر روش ذکر شده این است که کاهش خطی مقدار w منجر به همگرایی زودرس الگوریتم می‌شود. برای رفع این مشکل از تابع کاهشی غیر خطی مثل توابع نمایی کاهشی، برای مقدار w استفاده می‌گردد (نوروزی بیرامی و میبیدی، ۱۳۸۷).

۳-۲ حل معادله CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته

هدف اصلی این تحقیق حل معادله CRS بدون استفاده از فرض تخت بودن جبهه موج مرکزی است. در مرحله قبل الگوریتم PSO که یکی از سریع‌ترین الگوریتم‌های موازی مبتنی بر ذرات است جهت حل معادله CRS پیشنهاد شد. یک ایده دیگر که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، ایجاد تغییراتی در روش رایج حل معادله CRS و مستقل نمودن روش ذکر شده از فرض تخت بودن جبهه موج عمود است. ایده پیشنهادی که جهت حل معادله CRS مورد بررسی قرار می‌گیرد شامل سه مرحله زیر است:

مرحله اول:

در مرحله اول از روش پیشنهادی، مانند مرحله اول از روش رایج حل معادله CRS، سطح برانبارش CRS به یک CMP محدود می‌شود و پس از انجام آنالیز سرعت مقدار q محاسبه می‌شود.

مرحله دوم:

در این مرحله سطح CRS به منحنی زمان‌سیر دورافت صفر محدود می‌شود. به این منظور مقدار

نیم دورافت در معادله (۲-۱۴) صفر در نظر گرفته می‌شود و معادله (۳-۳) به دست می‌آید.

$$T_{CO}^2(\Delta m, h) = \left(\tau_0 + \frac{2\sin(a)}{V_0} \cdot \Delta m \right)^2 + \frac{2T_0 \cos^2(a)}{V_0} (k_N \Delta m^2) \quad (2-3)$$

علت نام‌گذاری زمان‌سیر در معادله (۲-۳) به صورت T_{CO} این است که معادله ذکر شده بیانگر زمان‌سیر در مقطع CO (در دورافت صفر) می‌باشد. معادله (۲-۳) دو پارامتر مجهول دارد که اولی زاویه ورود جبهه موج مرکزی به سطح زمین و دومی انحنای جبهه موج عمود در مکان گیرنده است. در واقع معادله (۲-۳) منحنی حاصل از تقاطع سطح CRS و مقطع زمان‌سیر دورافت صفر در مختصات زمان-نقطه میانی-دورافت می‌باشد. به کمک معادله (۲-۳) مقدار بهینه a و K_N در یک مقطع همدوسی دو پارامتری تخمین زده می‌شود. تخمین هم‌زمان مقدار بهینه a و K_N در یک مقطع همدوسی باعث می‌شود استراتژی رایج تعمیم‌یافته مستقل از مدل سرعت شود. با توجه به مقدار محاسبه شده a و مقدار q که در مرحله اول به دست آورده شد، به کمک معادله (۲-۱۶-الف) مقدار K_{NIP} محاسبه می‌شود و به کمک نشانگرهای تخمین زده شده، مقطع ZO شبیه‌سازی شده تشکیل می‌گردد. بنا به آنچه که بیان شد از مرحله دوم برانبارش CRS به روش پیشنهادی چهار مقطع شامل مقطع ZO شبیه‌سازی شده، مقطع همدوسی سه پارامتری اولیه، مقطع همدوسی دو پارامتری a و K_N و مقطع همدوسی K_{NIP} به دست می‌آید.

مرحله سوم:

در این مرحله با فرض اینکه مقادیر به دست آمده از یک مقطع همدوسی دو پارامتری و یک مقطع همدوسی یک پارامتری که در مرحله یک و دو بیان شد، به جواب نهایی نزدیک باشد، جواب نهایی معادله CRS در یک مقطع همدوسی سه پارامتری و در نزدیکی مقادیر ذکر شده، جست‌وجو می‌شود. فرض بیان شده بنا بر این استدلال است:

a اولیه در روش رایج حل معادله CRS با فرض صفر بودن K_N و در روش پیشنهادی با در نظر گرفتن مقادیر مختلف K_N تخمین زده می‌شود به همین دلیل انتظار می‌رود a اولیه تخمین زده شده در روش پیشنهادی نسبت به a اولیه تخمین زده شده در روش رایج حل معادله CRS، به جواب نهایی نزدیک‌تر باشد. از آنجایی که در هر دو روش K_{NIP} به کمک سرعت تصحیح برون‌راند عمود و a اولیه تخمین زده می‌شود، انتظار می‌رود K_{NIP} تخمین زده شده در روش پیشنهادی نیز نسبت به روش رایج، به جواب اولیه نزدیک‌تر باشد. K_N اولیه در روش رایج با استفاده از همه ردلرزه‌های تشکیل دهنده صفحه CRS و در روش پیشنهادی با استفاده از ردلرزه‌های دورافت صفر صفحه CRS تخمین زده می‌شود. از یک طرف تعداد کم ردلرزه‌های شرکت کننده در تخمین K_N منجر به کاهش دقت K_N اولیه تخمین زده شده در روش پیشنهادی نسبت به روش رایج حل معادله CRS می‌شود و از طرفی دقت بیشتر a اولیه در روش پیشنهادی منجر به افزایش دقت K_N اولیه تخمین زده شده در روش پیشنهادی نسبت به روش رایج حل معادله CRS می‌گردد. در روش پیشنهادی با افزایش بازه جست‌وجو در اطراف K_N در مرحله سوم تا حدود زیادی می‌توان مطمئن بود که K_N نهایی دقت کافی را دارد.

در انتهای این گام نیز پنج مقطع به دست می‌آید که عبارت است از: مقطع برانبارش CRS (مقطع نهایی برانبارش بهینه شده ZO)، مقطع همدوسی حداکثر، مقطع K_N بهینه شده، مقطع K_{NIP} بهینه شده و مقطع a بهینه شده.

در مرحله دوم از روش پیشنهادی، a و K_N اولیه در یک مقطع همدوسی محاسبه می‌شود. این امر به دلیل زیاد بودن محدوده تغییرات پارامترهای ذکر شده، بسیار زمان‌بر است. جهت حل مشکل ذکر شده الگوریتمی جدید معرفی می‌شود که در زمان کوتاه قادر به یافتن مقادیر a و K_N اولیه می‌باشد. الگوریتم ذکر شده که در این تحقیق از آن به عنوان الگوریتم کمینه‌پایه نام برده می‌شود برای محاسبه هم‌زمان نشانگرهای جنبشی در مرحله سوم روش پیشنهادی که برای حل معادله CRS به کار گرفته شد نیز به کار گرفته شده است.

۴-۳ الگوریتم کمینه پایه

در روش‌های بهینه‌سازی فضای جست‌وجو همواره امری بسیار مهم می‌باشد. بدیهی است که در یک مساله بهینه‌سازی وقتی فضای جست‌وجو بیشتر می‌شود، یافتن نقاط بهینه به زمان بیشتری نیاز پیدا می‌کند. به دلیل اهمیت زمان حل مساله، در حل مسایل بهینه‌سازی از روش‌های سریعی استفاده می‌شود که در خیلی از موارد صرفاً یکی از بهترین جواب‌ها (نه بهترین جواب) را محاسبه می‌نماید.

پایه و اساس الگوریتم کمینه پایه شناسایی و حذف فضاهایی است که احتمال وجود نقاط بهینه در آنجا بسیار کم می‌باشد. به این منظور فضای جست‌وجو به صورت یک فضای چند بعدی در نظر گرفته می‌شود که هر یک از بعدها به یکی از متغیرها تعلق دارد. در هر مرحله از تکرار الگوریتم کمینه پایه، متغیرهای موجود در مساله بهینه‌سازی در فضای جست‌وجو با گام‌های مختص آن مرحله انتخاب می‌شود و برای مقادیر انتخاب شده، مقدار تابع برازندگی (تابعی که قرار است بهینه آن به دست آورده شود) محاسبه می‌گردد و فضای اطراف آن دسته نقاطی که برازندگی کمتری ایجاد کرده‌اند، از فضای جست‌وجو برای مراحل بعدی حذف می‌شود. به دلیل این که در هر مرحله از الگوریتم کمینه پایه مقداری از فضای جست‌وجو حذف می‌شود در هر مرحله نسبت به مرحله قبلی می‌توان با دقت کمتر به جست‌وجوی نقطه بهینه پرداخت. در شکل (۳-۳) یک مثال از روند کاهش فضای جست‌وجو جهت پیدا کردن زاویه ورود و انحنای جبهه موج عمود در یک مقطع جست‌وجوی دو پارامتری در الگوریتم کمینه پایه نمایش داده شده است. همان طوری که در شکل (۳-۳) نمایش داده شده، پس از چند مرحله تکرار الگوریتم کمینه پایه، فضای جست‌وجو بسیار محدود می‌شود و می‌توان نقاط بهینه را با دقت بالا انتخاب کرد. به طور کلی الگوریتم کمینه پایه را می‌توان طی مراحل زیر پیاده‌سازی نمود.

۱- تعیین یک نسل از نقاط بر اساس گام‌های اولیه متغیرها

۲- ارزیابی نقاط تعیین شده براساس تابع برازندگی

۳- انتخاب نقاط کمینه

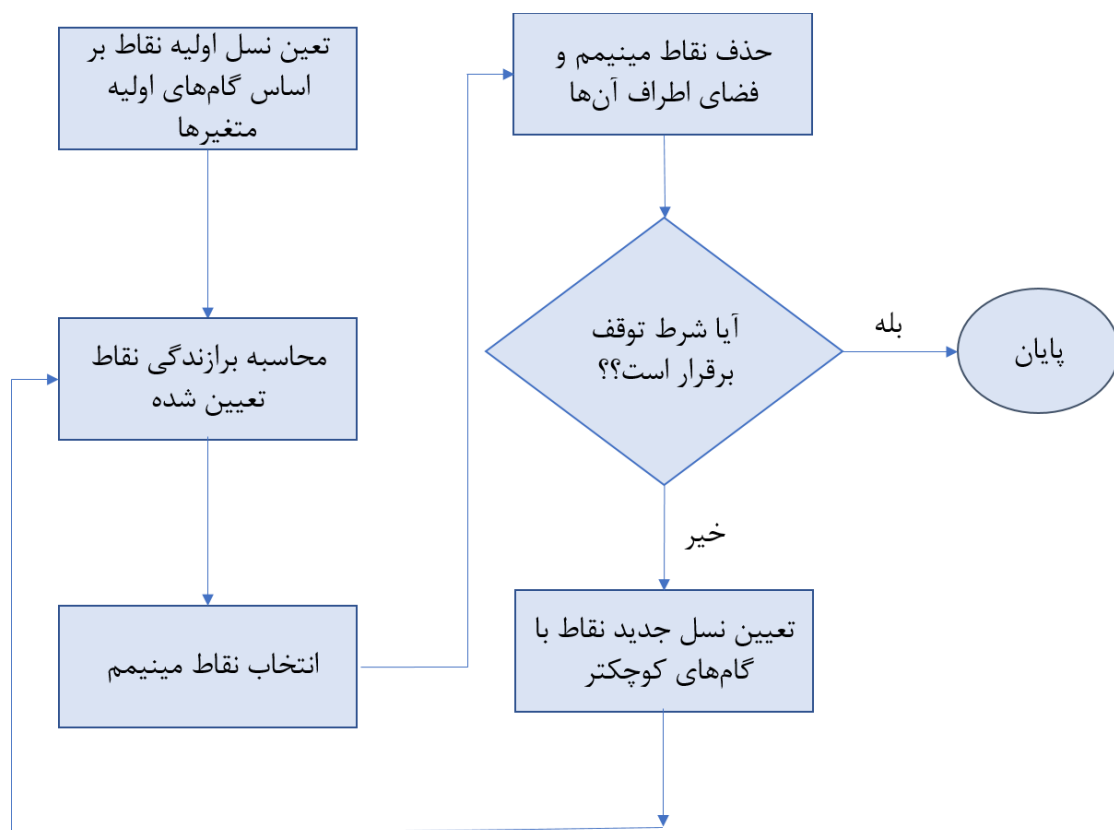
۴- حذف نقاط کمینه فضای اطراف آنها

۵- تعیین نقاط جدید با گام‌های کوچکتر

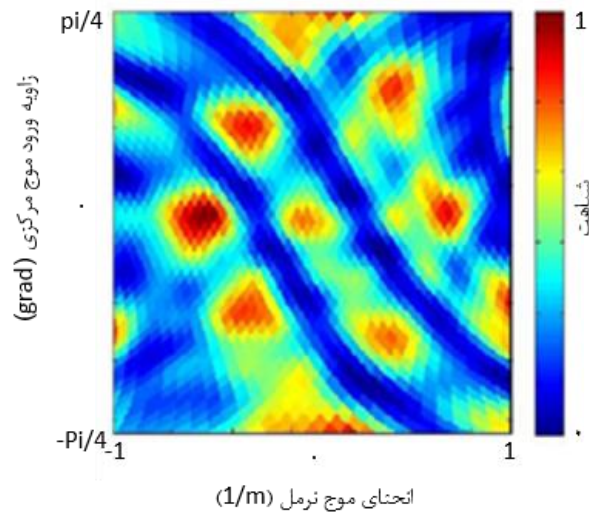
۶- توقف در صورت مشاهده شواهد توقف

۷- رفتن به گام ۲

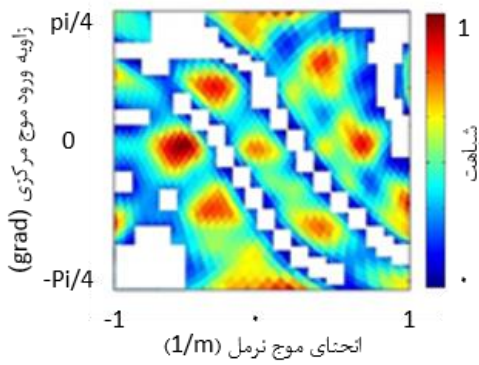
فلوچارت الگوریتم کمینه‌پایه در زیر نشان داده شده است.



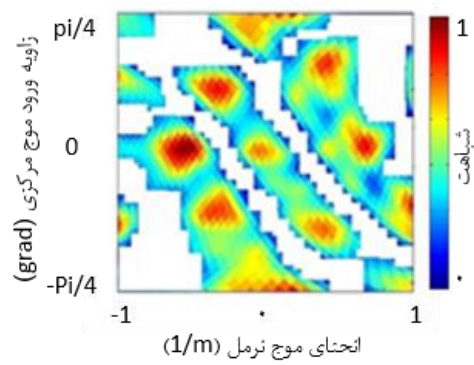
شکل ۳-۲: فلوچارت الگوریتم کمینه‌پایه



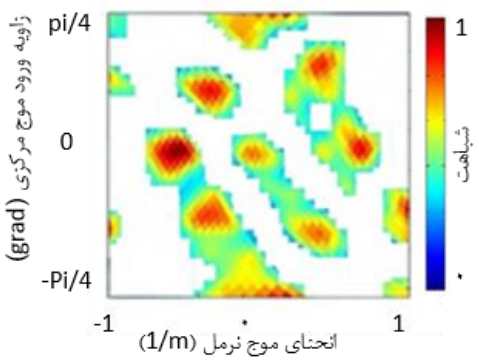
(الف)



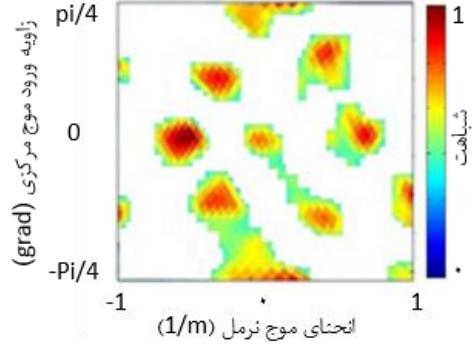
(ب)



(ج)



(د)



(ه)

شکل ۳-۳: روند کاهش فضای جست‌وجو در الگوریتم کمینه‌پایه. مقطع نمایش داده شده در قسمت الف، مقطع همدوسی دو پارامتری (زاویه ورود موج مرکزی و انحنای جبهه موج عمود) برای تمام فضای جست‌وجو می‌باشد. رنگ‌های سفید در مقطع‌های ب، ج، د و ح به ترتیب فضاهایی هست که در تکرارهای دوم، سوم، چهارم و پنجم مورد بررسی قرار نخواهد نگرفت.

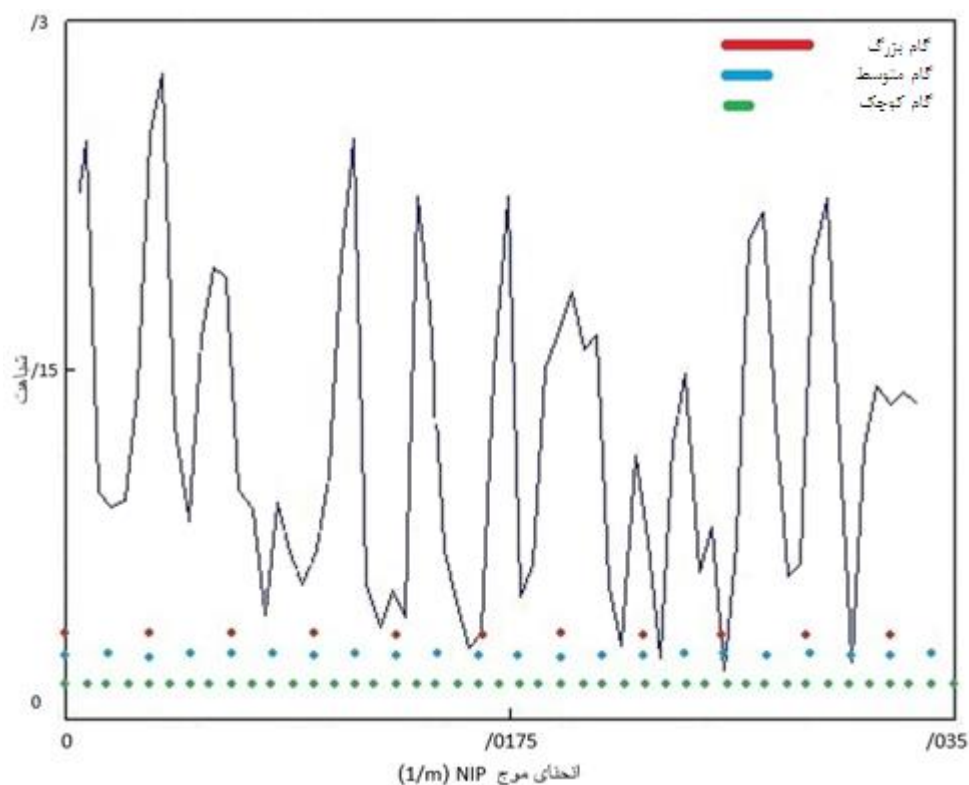
با مقایسه شکل (۲-۳-الف) و (۲-۳-ح) مشاهده می‌شود که تنها پس از چند مرحله تکرار الگوریتم کمینه‌پایه، فضای بسیار زیادی که حاوی نقاط کمینه‌پایه از فضای جست‌وجو حذف شده است که این امر موجب می‌شود در مراحل بعدی بتوان با سرعت و دقت بالا نقطه بهینه را پیدا نمود.

۱-۴-۳ بررسی پارامترهای مختلف الگوریتم کمینه‌پایه

در سرعت و دقت حل معادلات بهینه‌سازی به کمک الگوریتم کمینه‌پایه عوامل مختلفی تاثیرگذار هستند که می‌توان به مورد زیر اشاره نمود:

۱-۱-۴-۳ گام اولیه:

به گامی که در مرحله اول الگوریتم کمینه‌پایه برای انتخاب متغیرها به کار گرفته می‌شود، گام اولیه گفته خواهد شد. مقدار گام‌های اولیه یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در سرعت و دقت محاسبات الگوریتم کمینه‌پایه می‌باشد. بدیهی است که انتخاب مقادیر بزرگ برای گام‌های اولیه منجر به کاهش زمان محاسبه مرحله اول می‌شود. اما اگر گام‌های اولیه از حدی بیشتر انتخاب شود (گام قرمز رنگ در شکل (۳-۴)) دقت الگوریتم کمینه‌پایه کاهش می‌یابد. انتخاب گام‌های اولیه کوچک (گام سبز رنگ در شکل (۳-۴)) نیز منجر به افزایش زمان محاسبات خواهد شد. به طور کلی گام اولیه باید به گونه‌ای انتخاب شود که در بازه بین دو کمینه‌هم‌جوار حداقل یک نقطه مورد بررسی قرار گیرد (گام آبی رنگ در شکل (۳-۴)).



شکل ۳-۴: تاثیر گام‌ها در الگوریتم کمینه‌پایه. گام‌های قرمز منجر به کاهش دقت جواب نهایی، گام‌های سبز منجر به افزایش بیهوده محاسبات و گام‌های آبی منجر به ایجاد شرایط برای یافتن جوابی نهایی دقیق در زمانی کوتاه می‌شود. لازم به ذکر است در مثال بالا زاویه ورود موج مرکزی و انحنای جبهه موج عمود صفر در نظر گرفته شده است.

۲-۱-۴-۳ قدرت تاثیرگذاری متغیرها:

در انتخاب گام اولیه قدرت تاثیرگذاری متغیرها در بازه‌های متفاوت در میزان تابع برازنده باید مورد توجه قرار گیرد. برای مثال در معادله (۳-۳) که بیانگر نسبت مثلثاتی تانژانت می‌باشد، مقادیر کوچک x نسبت به مقادیر بزرگ x قدرت تاثیرگذاری بیشتری دارد مثلاً تاثیر تغییر x از صفر درجه به یک درجه در مقدار تابع خیلی بیشتر از تاثیر تغییر x از چهل درجه به چهل و یک درجه می‌باشد. در معادلاتی که به شکل بالا می‌باشد برای حل مشکل ذکر شده می‌توان از تغییر متغیر یا گام‌های وزن‌دار استفاده نمود. در صورتی که از گام‌های وزن‌دار استفاده شود، باید وزن گام‌ها به گونه‌ای انتخاب گردد که در جاهایی که قدرت تاثیرگذاری متغیرها بیشتر است گام‌ها کوچکتر انتخاب شود و برعکس.

$$f(x)=\tan(x)$$

(۳-۳)

۳-۱-۴-۳ میزان فضایی که در هر مرحله باید حذف شود:

در هر تکرار از الگوریتم کمینه پایه فضای اطراف تعدادی از نقاطی که میزان تابع برازندگی برای آن‌ها محاسبه شده است از فضای جست‌وجوی برای تکرار بعد حذف می‌شود. انتخاب تعداد نقاط و میزان فضای اطراف نقاط انتخابی که باید حذف شود نیز یکی از عوامل مهم در کنترل سرعت و دقت جواب حاصل از الگوریتم کمینه پایه می‌باشد. از مواردی که باید در انتخاب تعداد نقاط و میزان فضای اطراف نقاط انتخابی که باید حذف شود، توجه نمود می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- در توابعی که ماکزیمم‌های محلی زیادی دارند تعداد نقاط حذفی باید کاهش یابد.

۲- در مواردی که گام‌های اولیه کوتاه در نظر گرفته شده باشد می‌توان تعداد نقاط حذفی را افزایش داد البته باید فضای کمتری حول هر نقطه حذف نمود.

۳- تعداد نقاط و میزان فضای اطراف نقاط که باید حذف شود به شماره تکرار الگوریتم نیز بستگی دارد. برای مثال در تکرارهای اولیه فضای بیشتری حول نقاط کمینه‌باید حذف شود.

۴-۱-۴-۳ شرط توقف:

به دلیل این که در الگوریتم کمینه پایه گام‌ها و فضای جست‌وجو در هر مرحله کمتر می‌شود، بعد از چند تکرار گام‌های جست‌وجو به حدی می‌رسند که گام‌های کوچکتر از آن‌ها تاثیر خاصی در جواب نهایی ایجاد نمی‌کند، محتمل‌ترین شرط برای توقف الگوریتم کمینه پایه تعریف گام انتهایی می‌باشد.

۲-۴-۳ مزایا و معایب الگوریتم کمینه پایه:

نقص اصلی الگوریتم کمینه پایه وابستگی این روش به شناخت مساله می‌باشد. وابستگی ذکر شده منجر به عدم کارایی الگوریتم کمینه پایه در حل بسیاری از مسایل بهینه‌سازی می‌شود. در مواردی که

فضای جست‌وجو نقاط حدی زیادی داشته باشد نیز استفاده از الگوریتم کمینه‌پایه جواب قابل قبولی را نشان نمی‌دهد. اما در حل مسایلی که شناخت کلی از آن‌ها در دسترس باشد، الگوریتم کمینه‌پایه یکی از بهترین الگوریتم‌ها می‌باشد. از مزایای الگوریتم کمینه‌پایه می‌توان به سرعت و دقت بالای آن اشاره نمود. همچنین با توجه به مسایلی که در قسمت قبل توضیح داده شد، در الگوریتم ذکر شده می‌توان موازنه بین سرعت و دقت را توسط کاربر تعیین نمود. در مواردی که دقت بیشتر اهمیت دارد، می‌توان گام‌ها و میزان حذف نقاط کمینرها به گونه‌ای تغییر داد که جواب نهایی دقت مورد نظر را داشته باشد و در مواردی که زمان بیشتر اهمیت دارد نیز می‌توان گام‌ها و میزان حذف نقاط کمینرها به گونه‌ای انتخاب نمود که الگوریتم یکی از بهترین جواب‌ها را در زمانی کوتاه ارائه دهد.

۳-۴-۳ کاربرد الگوریتم کمینه‌پایه:

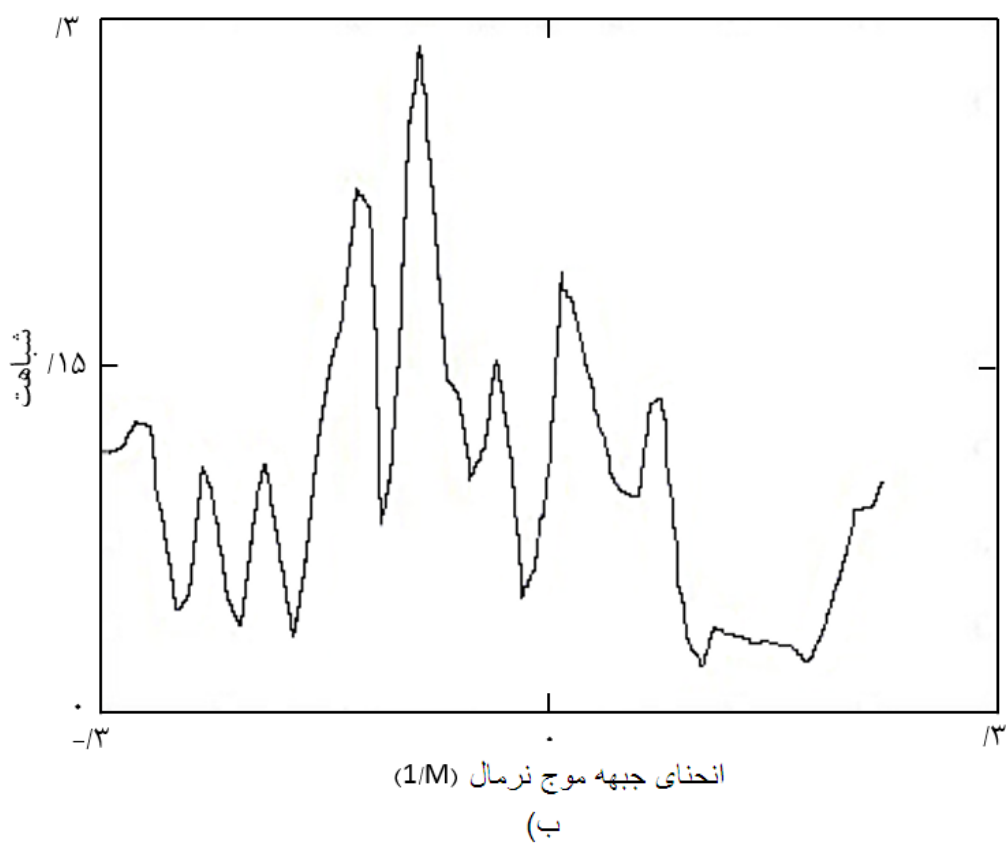
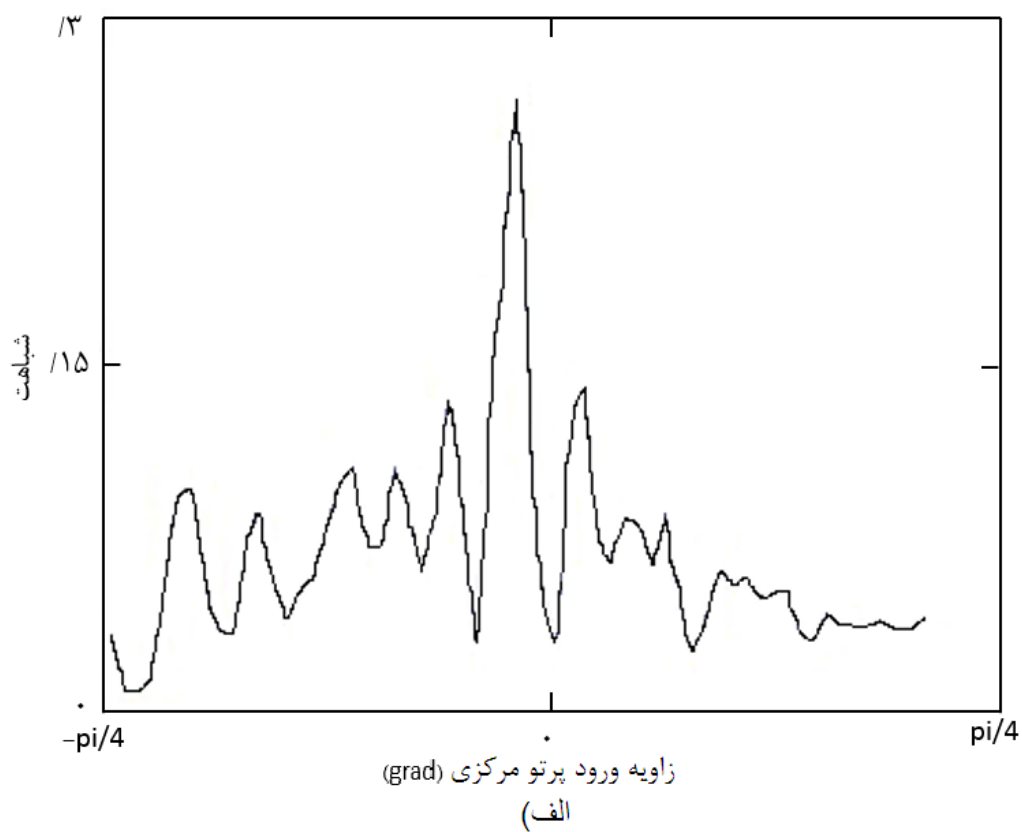
در بسیاری از مراحل پردازشی در رشته‌های مختلف یک مساله بهینه‌سازی باید به تعدد و برای حالت‌های مختلف حل شود. در چنین مواردی می‌توان با استفاده از شناختی که از چند بار حل مساله مورد نظر به دست می‌آید، الگوریتم کمینه‌پایه را به خوبی پیاده‌سازی نمود و در زمانی مناسب جواب‌هایی با دقت بسیار بالا به دست آورد.

همچنین با توجه به نوع مساله‌های بهینه‌سازی، در بسیاری از مواقع الگوریتم کمینه‌پایه را می‌توان با الگوریتم‌های دیگر ترکیب نمود. برای مثال در الگوریتم PSO چون نسل اولیه ذرات به صورت تصادفی انتخاب می‌شود، در بعضی موارد ذرات بر حسب اتفاق به گونه‌ای انتخاب می‌گردند که پس از تکرارهای زیاد هم به نقاط بهینه (بهینه‌های اصلی) نمی‌رسند. برنامه‌نویسان اغلب برای حل این مشکل، پس از چند بار حل کردن مساله، بهترین جواب را انتخاب می‌کنند. در این گونه موارد می‌توان با اجرای الگوریتم کمینه‌پایه مقداری از فضای جست‌وجو را حذف و الگوریتم بهینه‌سازی مورد نظر را بر فضای مانده اجرا نمود. یا در ترکیبی دیگر می‌توان در هر مرحله استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مورد نظر، طبق الگوریتم کمینه‌پایه مقداری از فضای جست‌وجو حذف گردد. این امر موجب افزایش دقت الگوریتم مورد نظر در

تکرارهای بعدی می‌شود. روش‌های ترکیبی بیشتری وجود دارد که پرداختن به آن‌ها از حوصله این بحث خارج است.

۵-۳ دلیل انتخاب الگوریتم کمینه‌پایه:

در روش تصویرسازی CRS در فضای دو و نیم بعدی، جهت به دست آوردن مقطع برانبارش باید معادله CRS هزاران و در برخی موارد بیش از چند میلیون بار حل شود. بنابراین سعی شد تا مواردی از قبیل وجود یا عدم وجود نقاط حدی و میزان تاثیر هر نشانگر در تغییرات تابع شباهت مورد بررسی گیرد. به این منظور نشانگرهای جنبشی میدان موج برای حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های (۴-۳) و (۵-۳-الف) و (۵-۳-ب) میزان و نحوه تغییرات تابع برازندگی (در این مساله تابع شباهت) با نشانگرهای جنبشی را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل‌های (۴-۳) و (۵-۳) و (۵-۳-الف) و (۵-۳-ب) مشاهده می‌شود مقدار ماکزیمم تابع برازندگی در نقاط حدی واقع نشده و روند تغییرات تابع برازندگی با نشانگرهای جنبشی به گونه‌ای است که می‌توان الگوریتم کمینه‌پایه را جهت حل معادله CRS پیشنهاد داد.



شکل ۳-۵: یک مثال از روند تغییرات تابع شبهت با الف) زاویه ورود پرتو مرکزی ب) انحنای جبهه موج عمود.

فصل چهارم

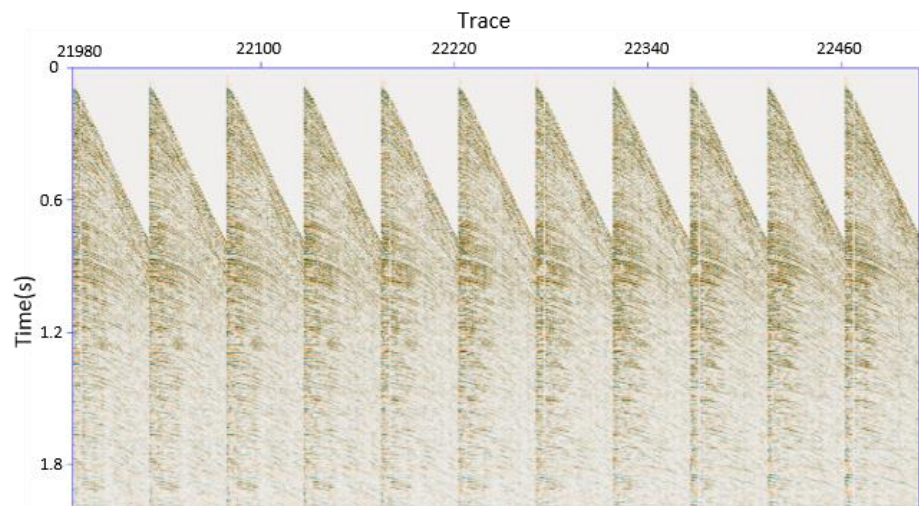
پردازش داده‌های واقعی

در فصل اول تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی به روش رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، در فصل دوم استراتژی‌های مرسوم تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی به روش CRS و در فصل سوم دو استراتژی پیشنهادی جهت تصویرسازی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی به روش CRS بیان شد. در این فصل روش رایج تصویرسازی (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) و سه استراتژی متفاوت تصویرسازی به روش CRS (دو استراتژی پیشنهادی و استراتژی رایج) بر سه خط از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق کم اعمال می‌شود و نتایج حاصل از روش‌های ذکر شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق منطقه‌ای دریایی در کشور مالزی است.

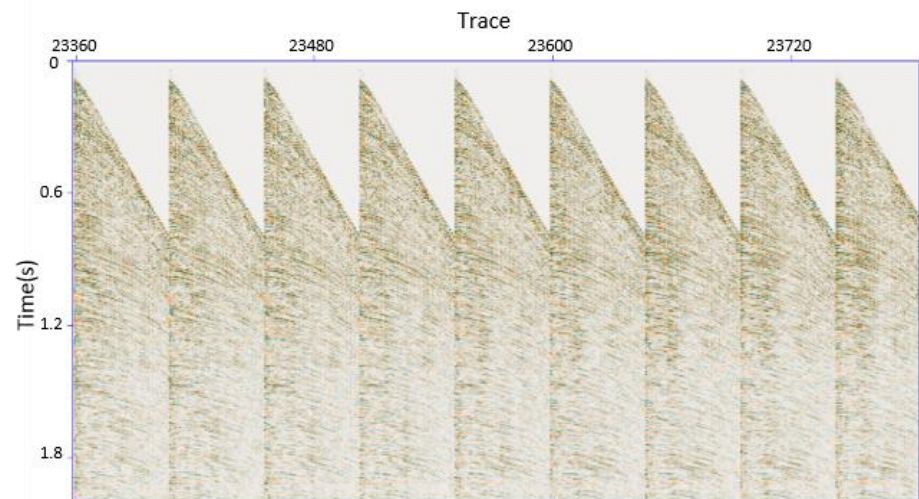
۲-۴ پردازش داده‌های واقعی

به منظور بررسی روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) و روش تصویرسازی CRS (حل معادله CRS با استراتژی رایج و دو استراتژی پیشنهادی)، روش‌های ذکر شده بر روی داده‌های واقعی از کشور مالزی، اعمال شدند. از پردازش‌های مراحل پیش از تصویرسازی که در کشور مالزی بر داده‌های مورد بررسی در این تحقیق انجام شده است می‌توان به تصحیح گسترش هندسی، تصحیح استاتیک، روش‌های متفاوت کاهش نوفه (نوفه‌های تصادفی و نوفه‌های خطی) و بازیابی دامنه اشاره نمود.

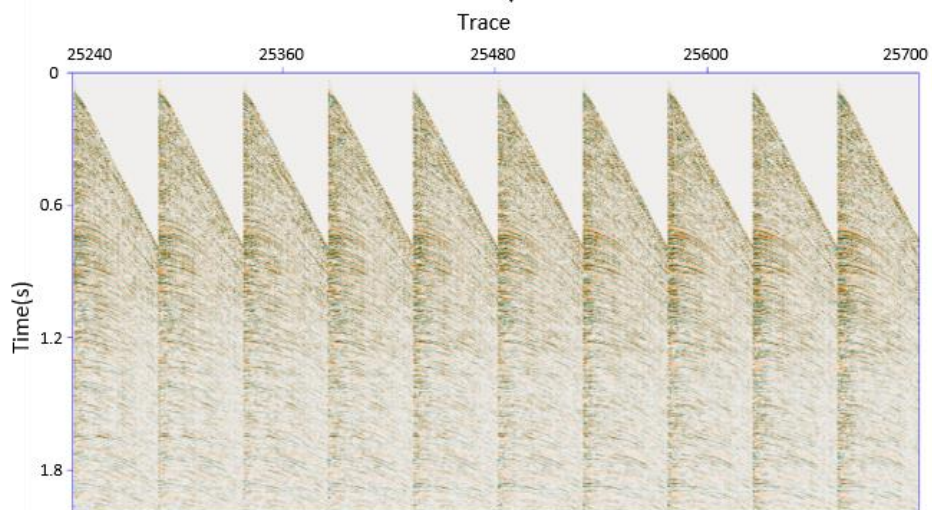
در این فصل و فصل بعدی سه خط داده لرزه‌نگاری بازتابی واقعی مورد استفاده قرار گرفته در این تحقیق، به ترتیب خط لرزه‌ای اول، خط لرزه‌ای دوم و خط لرزه‌ای سوم نامیده می‌شود. قسمت کوچکی از داده‌های پیش از برانبارش مربوط به خط‌های اول، دوم و سوم به ترتیب در شکل‌های (۱-۴-الف)، (۱-۴-ب) و (۱-۴-ج) و پارامترهای هندسی برداشت مربوط به خط‌های ذکر شده نیز در جدول (۱-۴) آورده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱-۴: قسمت کوچکی از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی استفاده شده در این تحقیق. الف) خط اول. ب) خط دوم. ج) خط سوم.

جدول ۱-۴: پارامترهای هندسی برداشت داده مربوط به داده واقعی

هندسه برداشت	خط لرزه‌ای اول	خط لرزه‌ای دوم	خط لرزه‌ای سوم
تعداد چشمه‌ها	۲۱۵	۲۱۵	۲۱۵
تعداد گیرنده‌ها	۴۱۲	۴۱۲	۴۱۲
فاصله چشمه‌ها (m)	۴۸	۵۰	۵۰
فاصله گیرنده‌ها (m)	۲۴	۲۵	۲۵
تعداد شبکه CMP	۱۰۲۶	۱۰۲۶	۱۰۲۵
حداکثر تعداد چینش CMP	۵۱	۴۸	۴۸
فاصله بین هر دو CMP متوالی (m)	۱۲	۱۲/۵	۱۲/۵
بازه دورافت (m)	۵۰-۱۲۵۰	۵۰-۱۲۳۸	۵۰-۱۲۳۸
زمان ثبت (s)	۲	۲	۲
فاصله نمونه‌برداری (s)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

۱-۲-۴ تصویرسازی به روش رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)

در تصویرسازی به روش رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) تنها پارامتر مجهول برای برانبارش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی سرعت تصحیح برون‌راند عمود است که از طریق آنالیز همدوسی به دست می‌آید. در آنالیز همدوسی سرعتی به عنوان سرعت تصحیح برون‌راند عمود انتخاب می‌شود که بیشترین میزان همدوسی را ایجاد کند. معیار همدوسی استفاده شده در این تحقیق معیار شباهت است که می‌توان آن را نسبت عمود شده انرژی خروجی (ردلرزه‌های برانبارش شده) بر انرژی ورودی (ردلرزه‌های پیش از برانبارش) دانست.

۲-۲-۴ تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج

در این روش معادله CRS طی سه مرحله حل می‌شود که مرحله اول برانبارش خودکار CMP، مرحله دوم تهیه مقطع ZO اولیه و مرحله سوم بهینه‌سازی نهایی نامیده می‌شود. مهم‌ترین خروجی‌های مرحله اول مقطع برانبارش خودکار CMP و مقطع سرعت متناظر با آن، مهم‌ترین خروجی‌های مرحله دوم مقطع ZO اولیه و مقطع شباهت متناظر با آن و مهم‌ترین خروجی‌های مرحله سوم مقطع ZO نهایی و مقطع شباهت متناظر با آن است.

۳-۲-۴ تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته

حل معادله CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته شبیه به حل معادله CRS با استراتژی رایج است با این تفاوت که نشانگرهای جنبشی اولیه میدان موج در روش رایج حل معادله CRS، طی سه جست‌وجوی تک پارامتری و در روش رایج تعمیم‌یافته طی یک جست‌وجوی تک پارامتری و یک جست‌وجوی دو پارامتری تخمین زده می‌شود. در روش رایج تعمیم‌یافته تمام بهینه‌سازی‌ها با استفاده از الگوریتم کمینه‌پایه پیاده‌سازی شده است.

۴-۲-۴ تصویرسازی به روش CRS با استراتژی حل معادله CRS به کمک الگوریتم PSO

در روش حل معادله CRS به کمک الگوریتم PSO، همه نشانگرهای جنبشی میدان موج با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO و طی یک مرحله جست‌وجوی سه پارامتری تخمین زده می‌شود.

۵-۲-۴ تصویرسازی خط لرزه‌ای اول داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی واقعی

روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته و روش تصویرسازی CRS با استراتژی حل معادله CRS با الگوریتم PSO بر خط لرزه‌ای اول اعمال شد و نتایج حاصل به ترتیب در

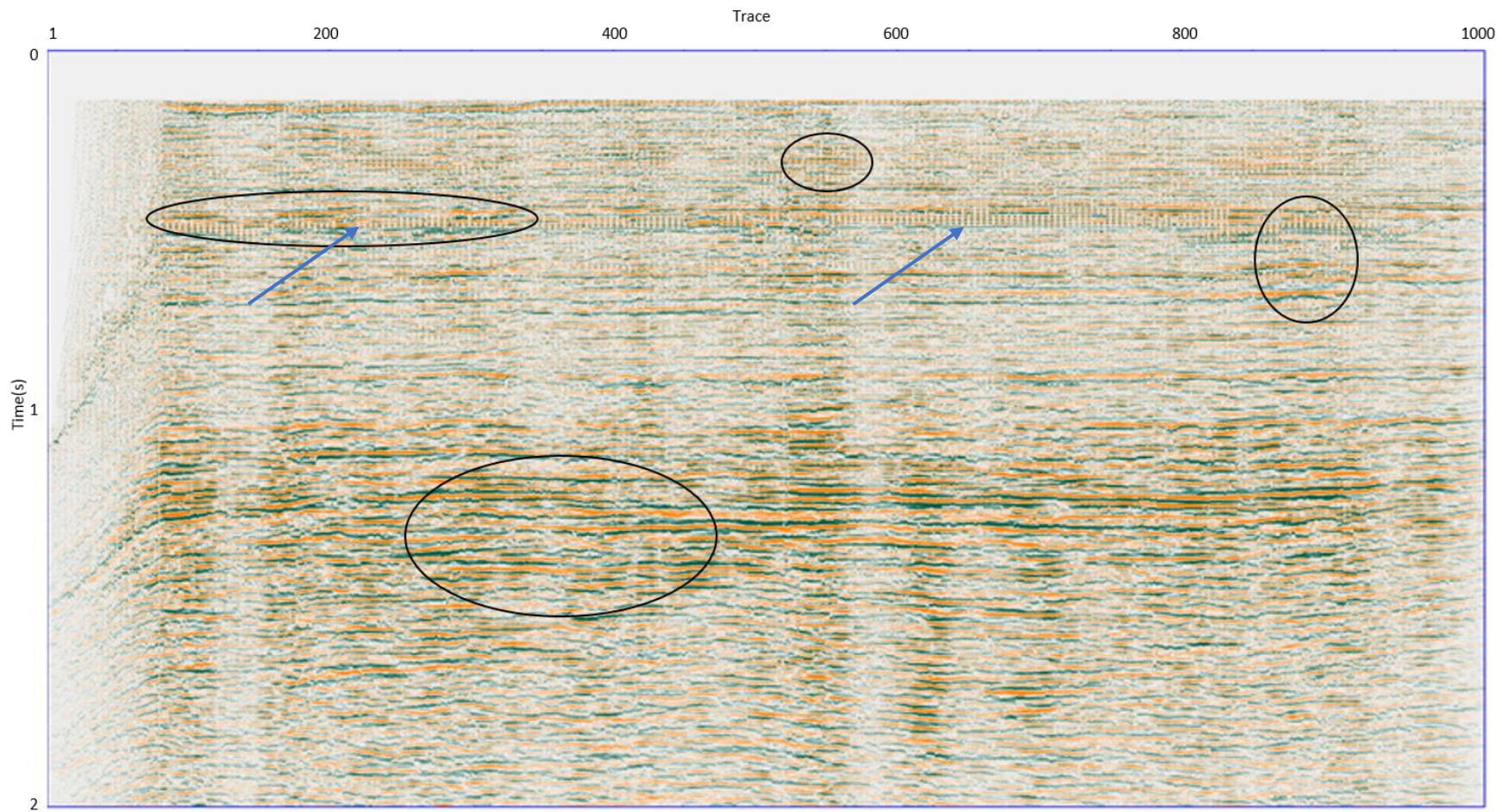
شکل‌های (۲-۴)، (۳-۴)، (۴-۴) و (۵-۴) نمایش داده شده است.

در آنالیز همدوسی خط لرزه‌ای اول بازه سرعت ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر بر ثانیه، با گام ۲۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

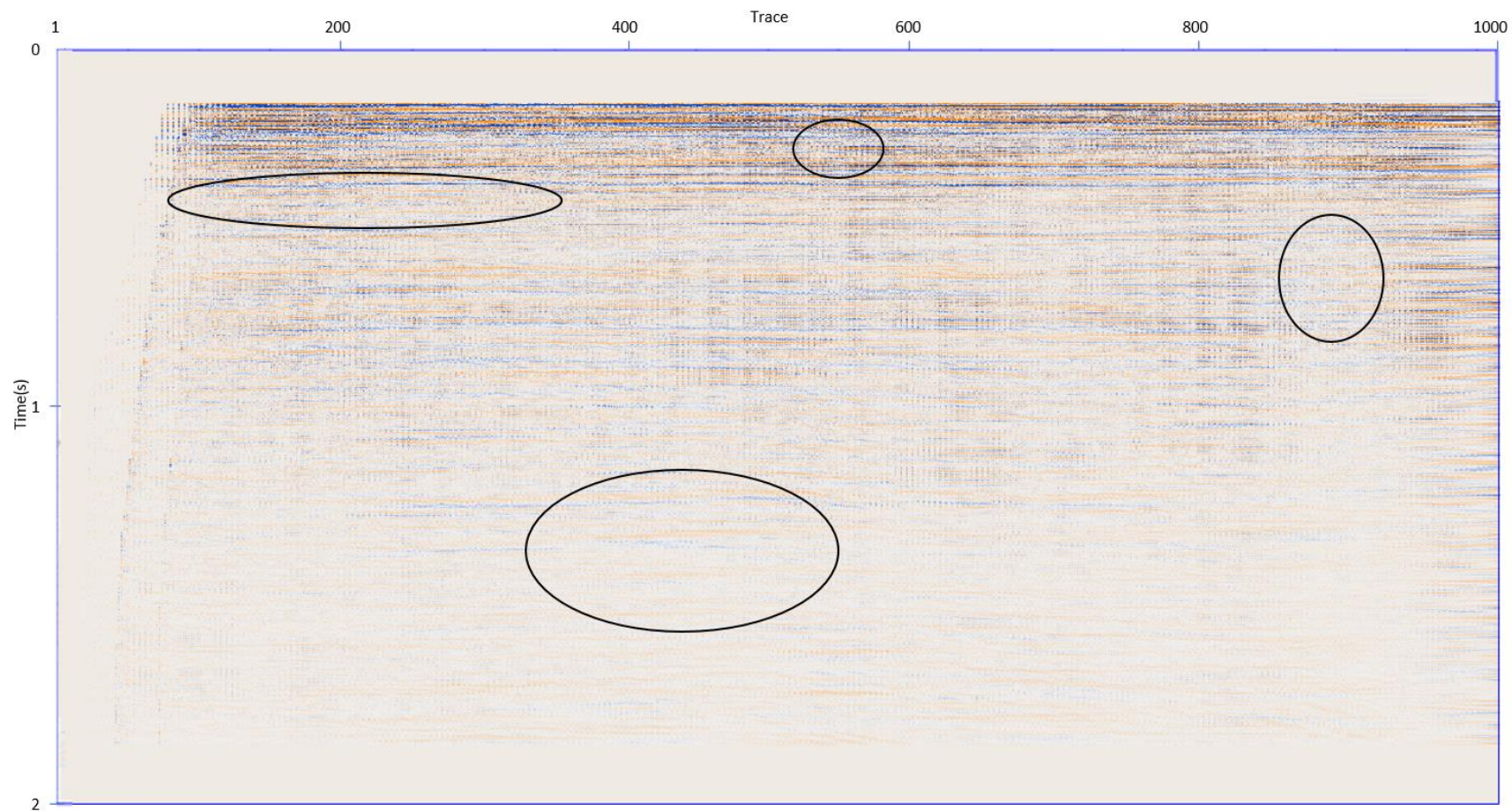
یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در جست‌وجوی نشانگرهای جنبشی میدان موج بازه نقطه میانی است. بطور کلی انتخاب بازه مناسب مستلزم در نظر گرفتن نسبت سیگنال به نوفه است. برای تعیین این بازه استفاده از زون فرنل نیز می‌تواند مفید باشد. چون آنومالی‌های کوچک‌تر از زون فرنل قابل تفکیک نمی‌باشد به همین دلیل بازه باید بگونه‌ای انتخاب شود که قدرت تفکیک مورد نظر در پردازش را داشته باشد. در این تحقیق بازه برای خط لرزه‌ای اول در هر سه استراتژی مختلف حل معادله CRS، ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است.

مقادیر زاویه ورود پرتو مرکزی از منفی ۴۵ درجه تا مثبت ۴۵ درجه، شعاع موج NIP از یک متر تا مثبت بینهایت و شعاع موج عمود از منفی بینهایت تا مثبت بینهایت در نظر گرفته شده است. در تصویرسازی به روش PSO، تعداد ذرات ۵۰۰، تعداد تکرارها ۴۰۰، ضریب اینرسی ۰/۹ و ضرایب یادگیری ۱/۹ در نظر گرفته شده است.

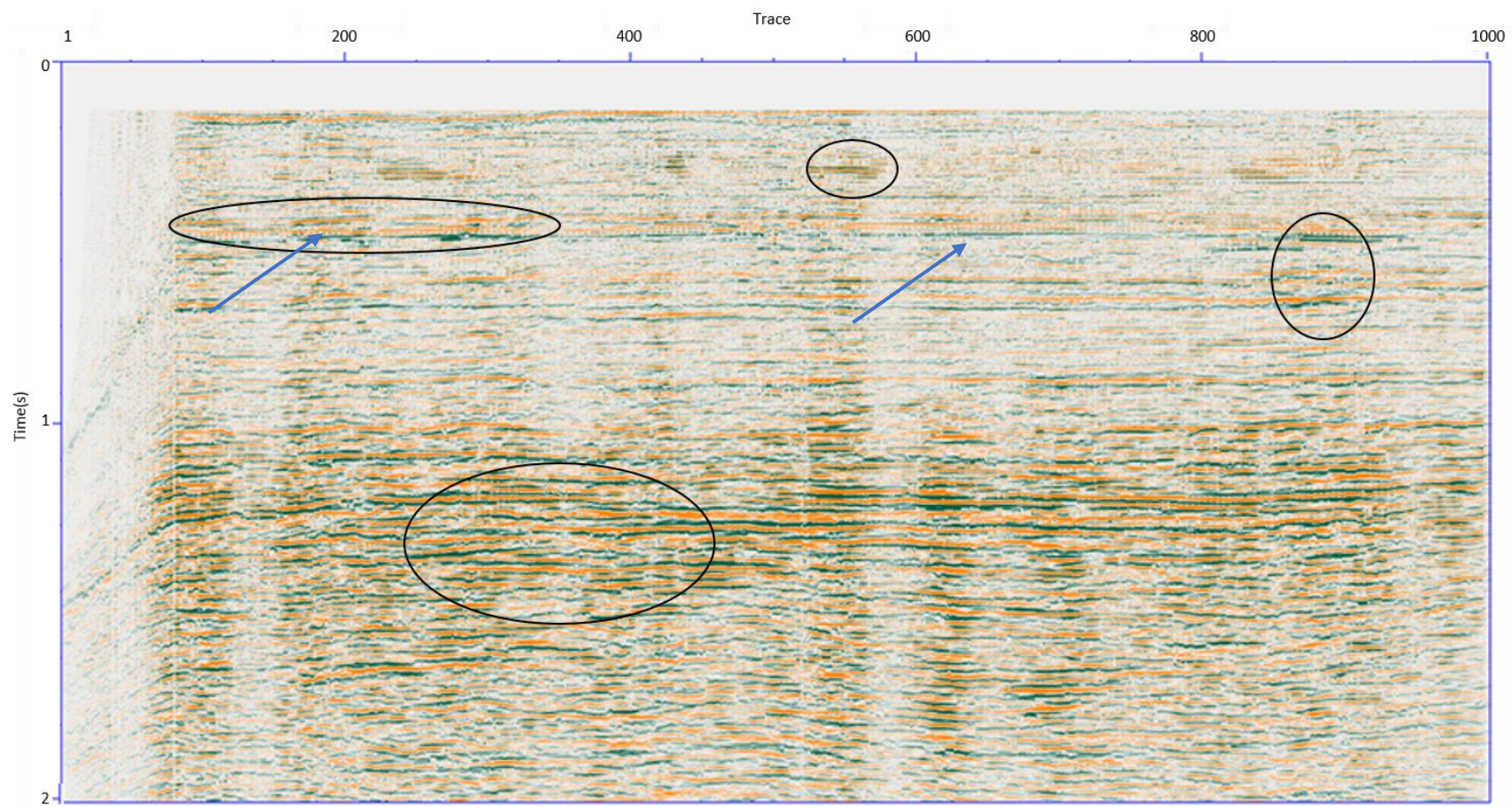
لازم به ذکر است که در هر سه استراتژی استفاده شده برای تصویرسازی به روش CRS، از معیار شباهت برای همدوسی استفاده شده است.



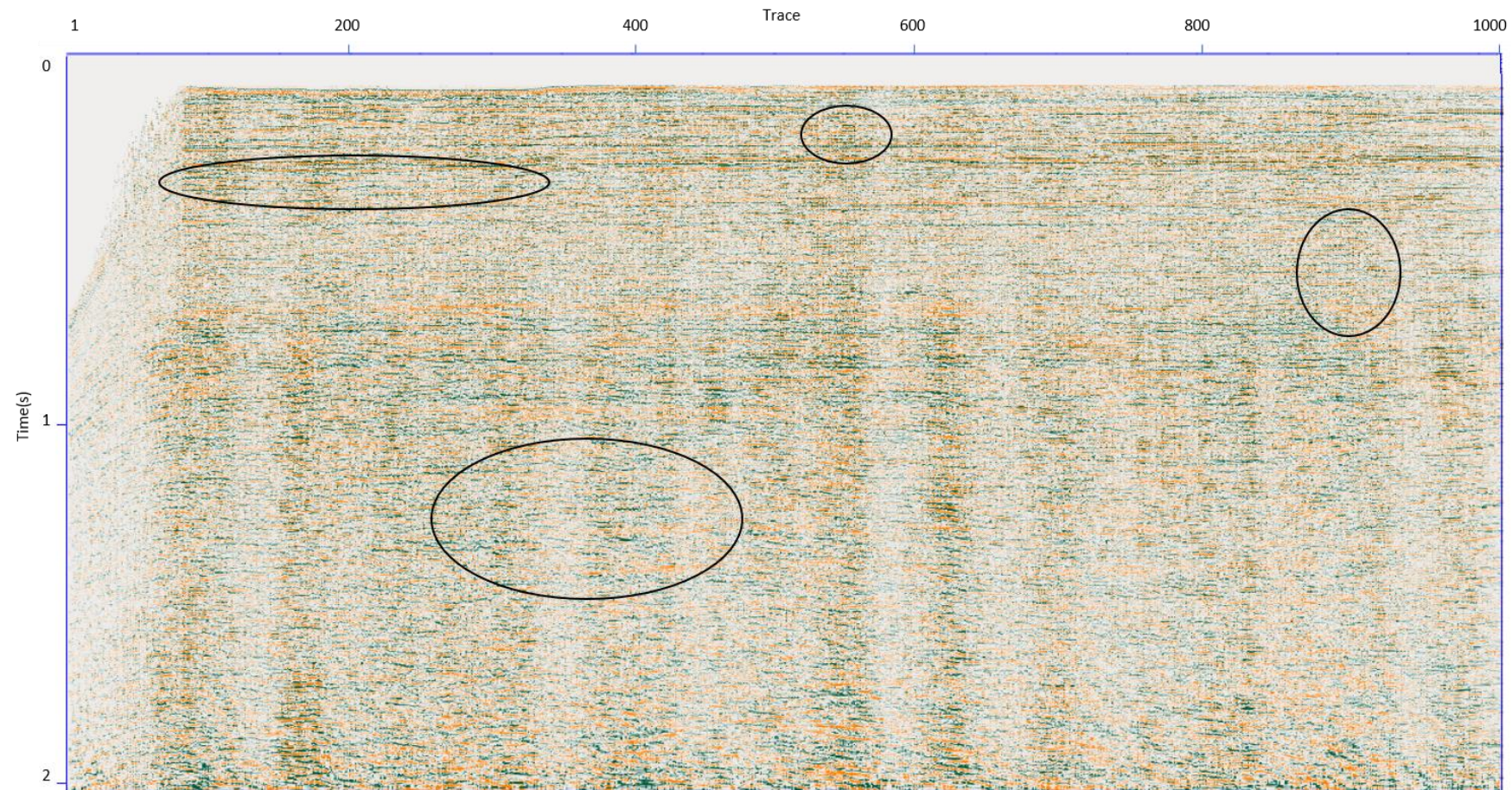
شکل ۲-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، خط اول



شکل ۳-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، خط اول



شکل ۴-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته، خط اول



شکل ۴-۵: مقطع برانبارش تصویرسازی به روش CRS با استراتژی تخمین همزمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک روش بهینه‌سازی PSO، خط اول

شکل (۲-۴) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) خط اول را نشان می‌دهد. در شکل (۲-۴) لایه‌ها هموار و تقریباً افقی است. کیفیت مقطع برانبارش در بازه ردلرزه‌های یک تا حدود هفتاد بسیار پایین می‌باشد که این امر به دلیل پایین بودن چینش در CMP های یک تا حدود هفتاد اتفاق افتاده است. در بازه زمانی یک تا دو ثانیه برخلاف بازه زمانی صفر تا یک ثانیه، کیفیت بازتابنده‌ها، نسبت سیگنال به نوفه و پیوستگی رخدادهای بازتابی بیشتر می‌باشد و لایه‌ها با کیفیت بیشتری نمایش داده شده است. در بعضی از قسمت‌های مقطع برانبارش نمایش داده شده در شکل (۲-۴)، یک سری اغتشاشات عمودی (با پیکان آبی به آن اشاره شده است) مشاهده می‌شود. اغتشاشات ذکر شده به این دلیل است که در CMP های فرد خط اول ردلرزه‌های مربوط به گیرنده‌های فرد و در در CMP های زوج خط اول ردلرزه‌های مربوط به گیرنده‌های زوج جمع آوری شده است. علت این که اغتشاشات ذکر شده در لایه‌های بالایی بیشتر نمایش داده شده، نسبت سیگنال به نوفه پایین داده‌ها در لایه‌های بالایی می‌باشد.

شکل (۳-۴) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج را نشان می‌دهد. همان‌طوری که پیش‌بینی می‌شد روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج در تصویرسازی داده‌های مربوط به عمق کم قادر به ارائه مقطع برانبارش با کیفیت نبوده است. در اکثر نقاط شکل (۳-۴) پیوستگی رخدادهای بازتابی و نسبت سیگنال به نوفه بسیار پایین می‌باشد و رخدادهای بازتابی را نمی‌توان به خوبی تعقیب کرد که یکی از دلایل اصلی عدم کارایی مناسب تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، استفاده کردن استراتژی ذکر شده از فرض تخت بودن جبهه موج عمود در یکی از مراحل حل معادله CRS است.

شکل (۴-۴) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته را نشان می‌دهد. با مقایسه شکل (۴-۴) با شکل‌های (۲-۴) و (۳-۴) مشاهده می‌شود که روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته در مقایسه با دو روش قبلی توانسته مقطع برانبارش با کیفیت‌تر،

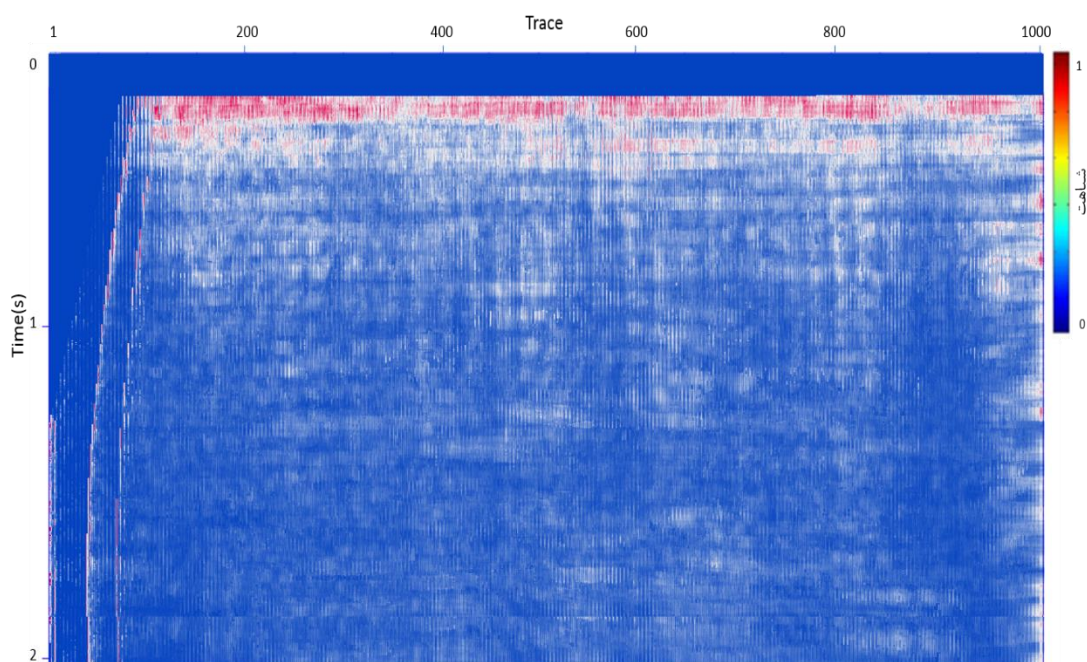
نسبت سیگنال به نوفه بالاتر و پیوستگی رخدادهای بازتابی بیشتری ارائه کند. روش ذکر شده توانسته اغتشاشات عمودی که در تفسیر شکل (۴-۲) به آن اشاره شده را از بین ببرد و در بازه زمانی صفر تا یک که هر دو روش قبلی نتوانسته بودند رخدادهای بازتابی را به خوبی نمایان کنند، چندین لایه را با کیفیت مناسبی نمایش دهد. کارایی بهتر روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته نسبت به دو روش قبلی دلایل متفاوتی دارد که می‌توان به تئوری استراتژی روش ذکر شده و الگوریتم استفاده شده در بهینه‌سازی مربوط به روش ذکر شده اشاره کرد. دلایل بیان شده در تفسیر مقطع‌های خط دوم و سوم بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل (۴-۵) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک روش بهینه‌سازی PSO خط اول را نشان می‌دهد. مقطع برانبارش ذکر شده در مقایسه با مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، به طور کلی از کیفیت و نسبت سیگنال به نوفه بیشتری برخوردار است. این امر بیانگر این است که اختلاف مقدار انحنای موج عمود اولیه (انحنایی موج عمود که در مرحله دوم استراتژی رایج حل معادله CRS به دست می‌آید) و مقدار انحنای موج عمود نهایی (انحنایی موج عمود که در مرحله سوم استراتژی رایج حل معادله CRS به دست می‌آید) بیشتر از نصف بازه‌ای است که در مرحله سوم برای یافتن انحنای موج عمود مورد جست‌وجو قرار می‌گیرد. مقطع برانبارش نمایش داده شده در شکل (۴-۵) در مقایسه با مقطع برانبارش نمایش داده شده در شکل (۴-۴) از کیفیت و نسبت سیگنال به نوفه کمتری برخوردار است. یکی از دلایل اصلی آن تعدد ماگزیم‌های محلی مقدار شباهت در فضای جست و جوی نشانگرهای جنبشی میدان موج، و عدم توانایی مناسب الگوریتم PSO در تخمین بیشینه مطلق از بین ماگزیم‌های محلی ذکر شده است.

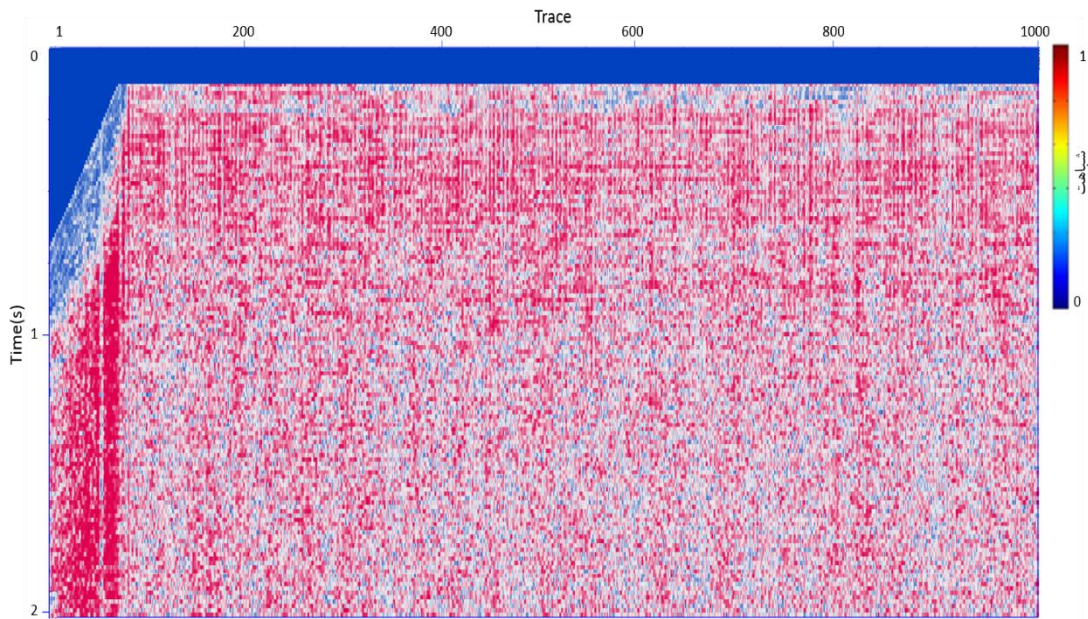
به دلیل آن که هم تعداد ذرات و هم تعداد تکرار در پردازش PSO به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شده است (۵۰۰ ذره و ۴۰۰ تکرار)، برای تخمین هر نقطه در مقطع برانبارش تعداد زیادی محاسبه

(۲۰ هزار محاسبه) انجام شده است به گونه که افزایش میزان محاسبات از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد. اما شاید بتوان با تغییر استراتژی الگوریتم PSO و یا ترکیب آن با الگوریتم‌های دیگر و یا تعریف قیدهایی در الگوریتم PSO کیفیت مقطع برانبارش حاصل از استراتژی تخمین هم‌زمان پارامترها به کمک الگوریتم PSO را افزایش داد.

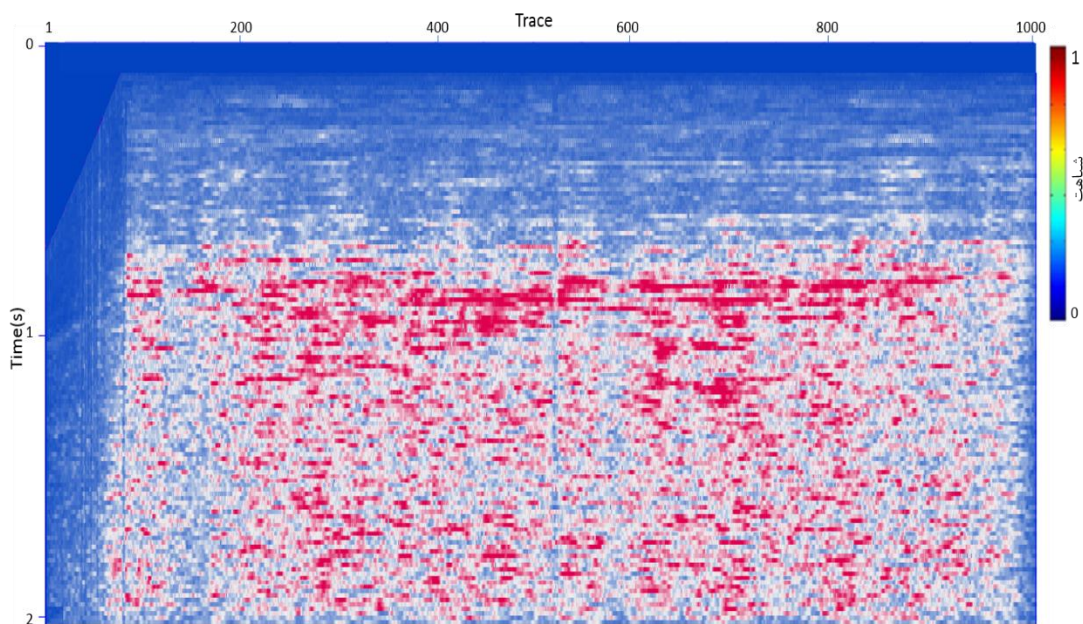
مقطع‌های شباهت حاصل از روش‌های تصویرسازی CRS با استراتژی رایج و تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته و روش تصویرسازی CRS با استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک روش بهینه‌سازی PSO به ترتیب در شکل‌های (۴-۶)، (۴-۷ الف) و (۴-۷ ب) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۶: مقطع شباهت خط اول حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج



(الف)



(ب)

شکل ۴-۷: مقطع شباهت خط اول حاصل از روش تصویرسازی CRS. (الف) با استراتژی رایج تعمیم یافته. (ب) با استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج به کمک الگوریتم PSO

شکل (۴-۶) مقطع شباهت متناظر با مقطع برانبارش نمایش داده در شکل (۴-۳) را نشان می‌دهد

در قسمتی لایه‌های بالایی مقادیر زیاد شباهت مشاهده می‌شود که این امر بیانگر این موضوع است که

در قسمت ذکر شده به دلیل کم بودن انحنای بازتابنده‌ها روش رایج توانسته میزان شباهت زیادی را ارائه کند اما در اکثر نقاط دیگر شباهت خیلی پایینی مشاهده می‌شود.

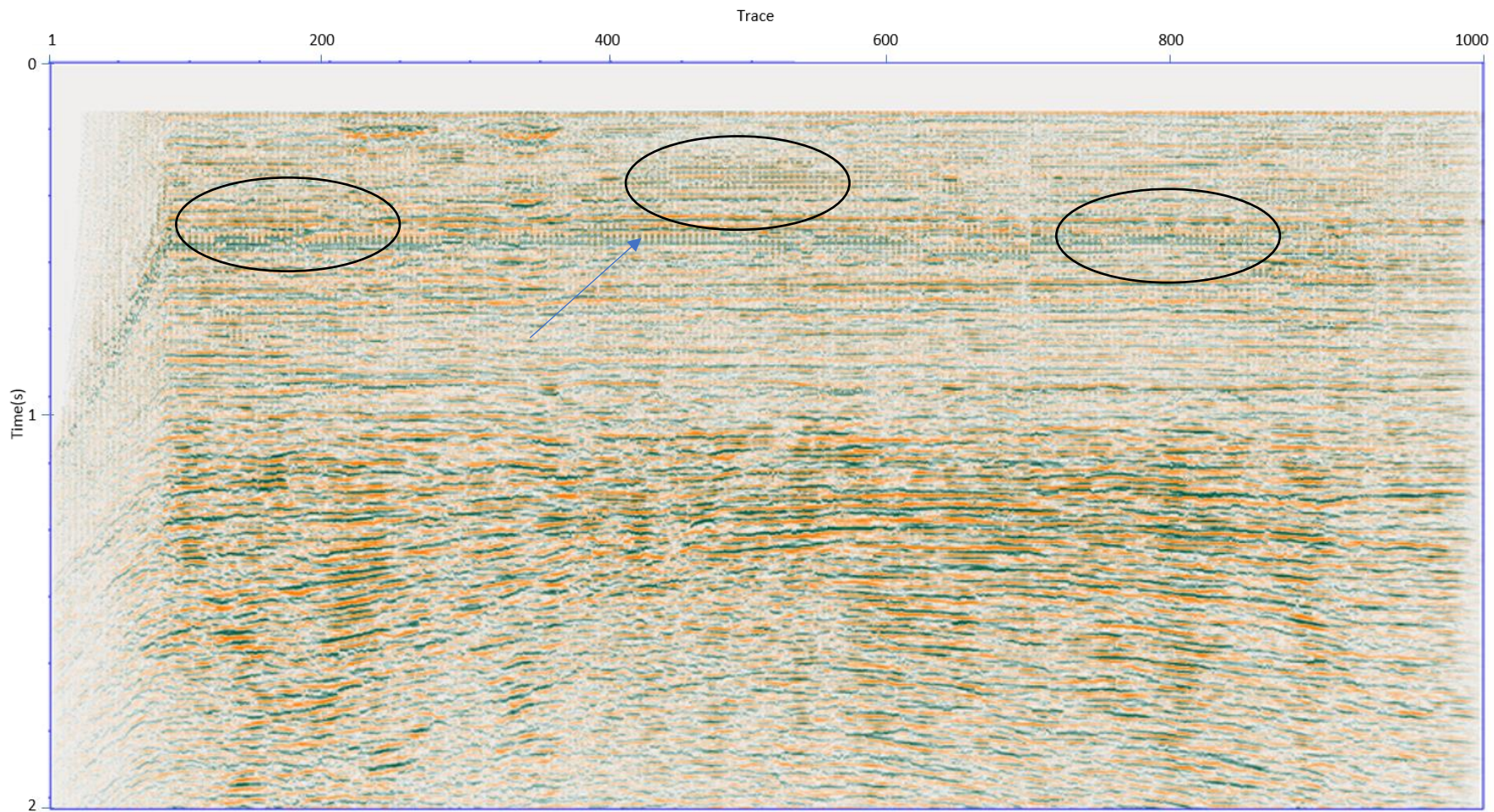
شکل (۴-۷-الف) مقطع شباهت متناظر با مقطع برانبارش نمایش داده شده در شکل (۴-۴) را نمایش می‌دهد در اکثر نقاط میزان شباهتی بالایی مشاهده می‌شود که این تایید کننده کارایی بالای استراتژی رایج تعمیم‌یافته در تخمین پارامترهای معادله CRS است.

شکل (۴-۷-ب) مقطع شباهت متناظر با مقطع برانبارش نمایش داده شده در شکل (۴-۵) را نمایش می‌دهد در قسمت بالایی شکل (۴-۷-ب) مقادیر کم شباهت مشاهده می‌شود با توجه به موارد گفته شده در تفسیر شکل (۴-۲) چون در این قسمت از داده‌ها نسبت سیگنال به نوفه پایین بوده، استراتژی تخمین هم‌زمان پارامترهای معادله CRS به کمک الگوریتم PSO نتوانسته مقادیر بالای شباهت را ارائه کند اما در زمان‌های بیشتر که نسبت سیگنال به نوفه در داده‌ها افزایش یافته الگوریتم PSO نتوانسته مقادیر بیشتر شباهت را نمایش دهد.

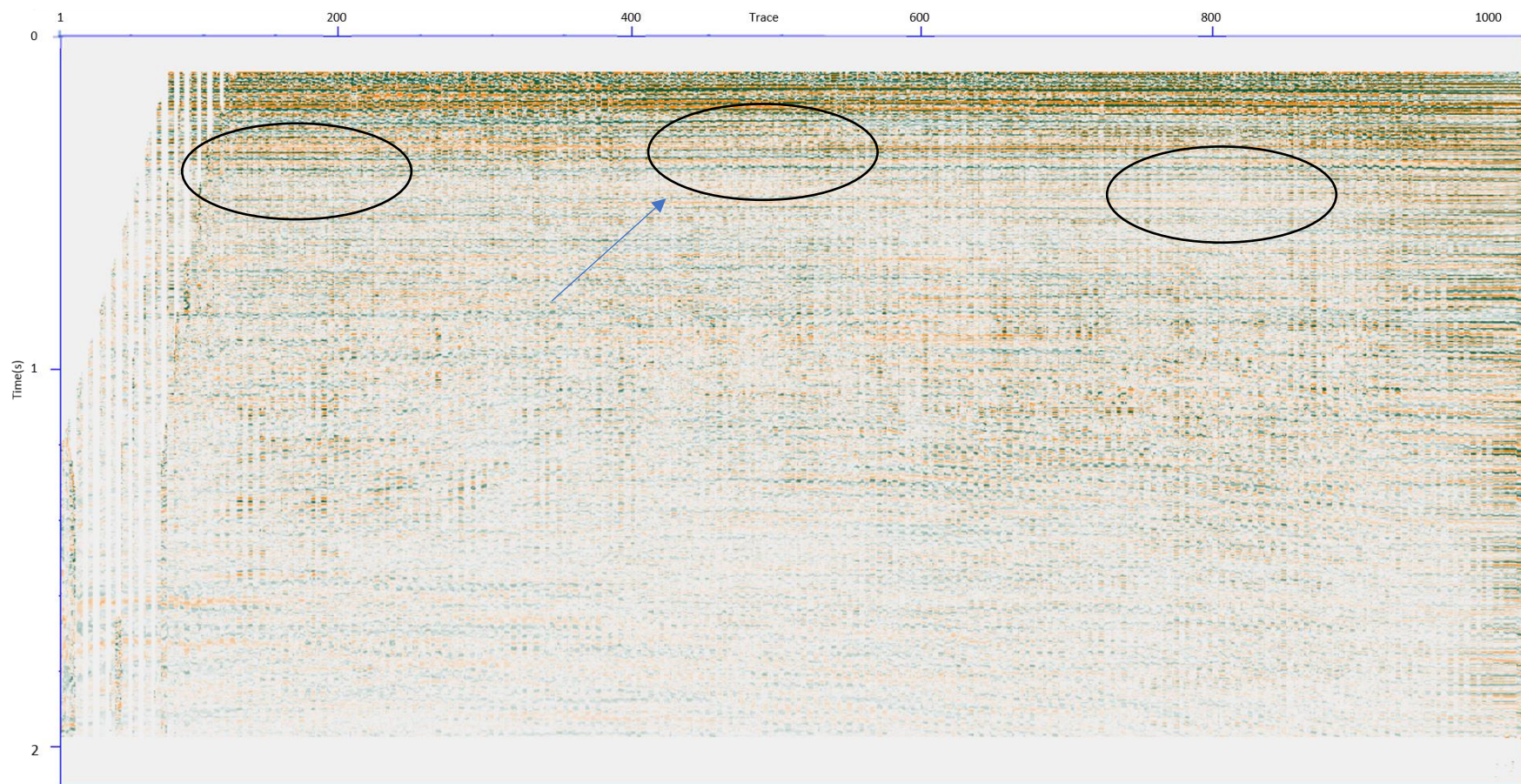
۴-۲-۶ تصویرسازی خط لرزه‌ای دوم داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی واقعی

با توجه به عدم کارایی مناسب روش PSO در حل معادله CRS، جهت جلوگیری از اتلاف وقت، در تصویرسازی خط دوم فقط از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، تصویرسازی CRS با استراتژی رایج و تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته استفاده شده و نتایج حاصل به ترتیب در شکل‌های (۴-۸)، (۴-۹) و (۴-۱۰) نمایش داده شده است.

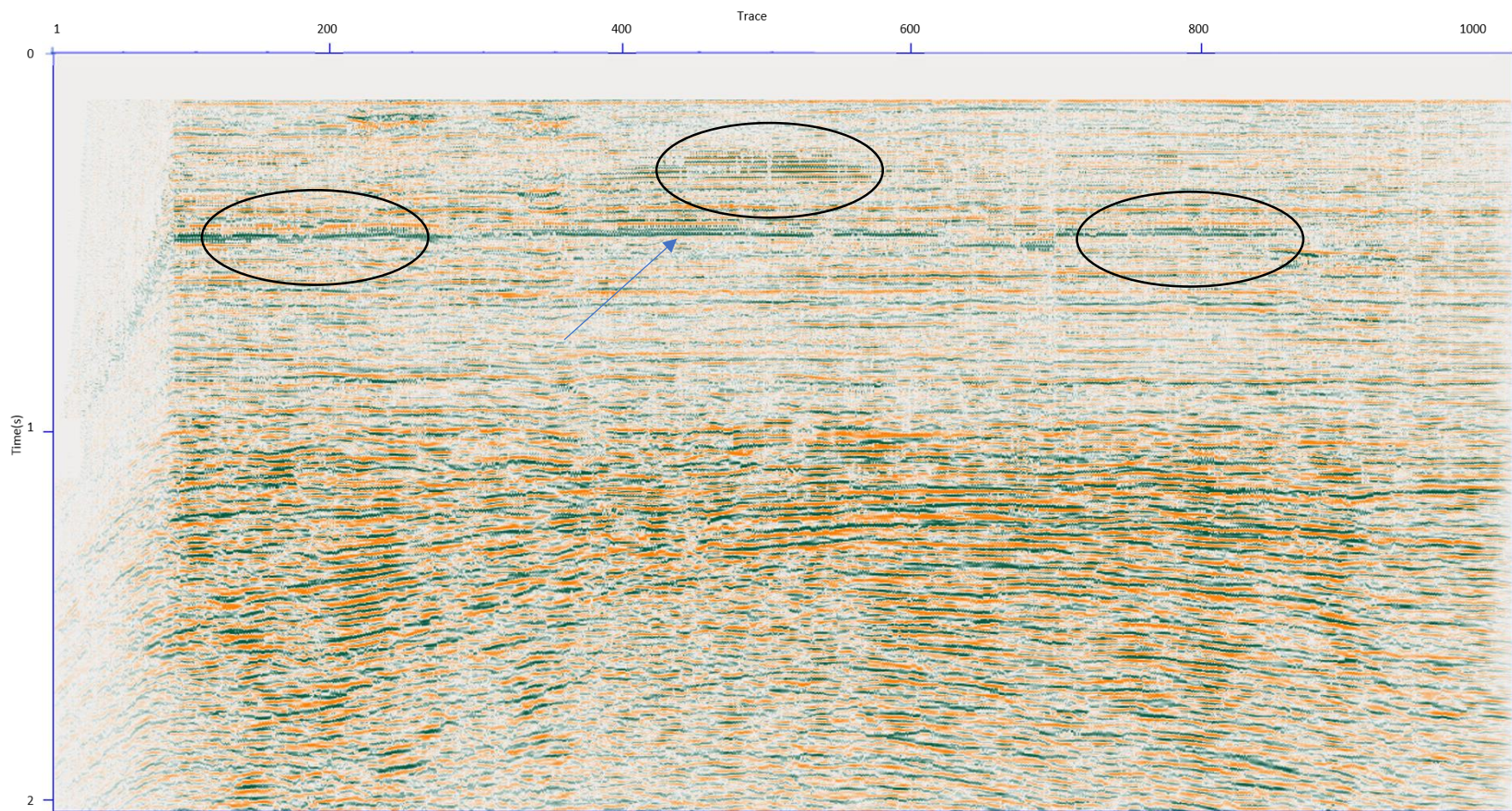
در آنالیز هم‌دوسی خط لرزه‌ای دوم بازه سرعت ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر بر ثانیه، با گام ۲۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. و در هر دو استراتژی مختلف حل معادله، بازه ۲۵۰، زاویه ورود پرتو مرکزی از منفی ۴۵ درجه تا مثبت ۴۵ درجه، شعاع موج NIP از یک متر تا مثبت بینهایت و شعاع موج عمود از منفی بینهایت تا مثبت بینهایت در نظر گرفته شده است.



شکل ۴-۸: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، خط دوم



شکل ۹-۴: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، خط دوم



شکل ۴-۱۰: مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم یافته، خط دوم

شکل (۸-۴) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) خط دوم را نشان می‌دهد. در شکل (۸-۴)، در بازه زمانی صفر تا یک ثانیه لایه‌ها هموار و تقریباً افقی و در بازه زمانی صفر تا یک ثانیه به دلیل بالا آمدگی لایه‌ها در CMP های مرکزی، لایه شیبدار است. به دلیل چینش ناقص CMP های یک تا حدود هفتاد، در بازه ذکر شده کیفیت مقطع برانبارش بسیار پایین می‌باشد. کیفیت مقطع برانبارش نمایش داده شده در زمان‌های بیشتر از یک ثانیه اغلب بیشتر از زمان‌های کمتر از یک ثانیه است. در لایه‌های بالایی نیز یک سری اغتشاشات عمودی مشاهده می‌شود (با فلش آبی به آن اشاره شده است).

شکل (۹-۴) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج خط دوم را نشان می‌دهد. در اکثر نقاط شکل (۹-۴) پیوستگی رخدادهای بازتابی و نسبت سیگنال به نوفه بسیار پایین است و رخدادهای بازتابی را نمی‌توان به خوبی تعقیب کرد. که این امر نیز موید عدم کارایی مناسب روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج در تصویرسازی داده‌های مربوط به عمق کم می‌باشد. در شکل (۹-۴) به طور کلی کیفیت قسمت‌های بالایی مقطع برانبارش بیشتر از کیفیت قسمت پایین مقطع برانبارش است که این امر بیانگر انحنای کم‌تر بازتابنده‌های بالایی است.

شکل (۱۰-۴) مقطع برانبارش حاصل از روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته خط دوم را نشان می‌دهد. با مقایسه شکل (۱۰-۴) با شکل‌های (۹-۴) و (۸-۴) مشاهده می‌شود که مثل خط اول روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته در مقایسه با دو روش قبلی توانسته مقطع برانبارش با کیفیت‌تر، نسبت سیگنال به نوفه بالاتر و پیوستگی رخدادهای بازتابی بیشتر ارائه کند. استراتژی رایج تعمیم‌یافته اغتشاشات عمودی که در تفسیر (۱۰-۴) به آن اشاره شده را از بین برده و در بازه زمانی صفر تا یک که هر دو روش قبلی نتوانسته بودند رخدادهای بازتابی را به خوبی نمایان کنند توانسته چندین لایه با کیفیت مناسب را نمایش دهد. مهمترین دلیل کارایی بیشتر روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته در تصویرسازی داده‌های

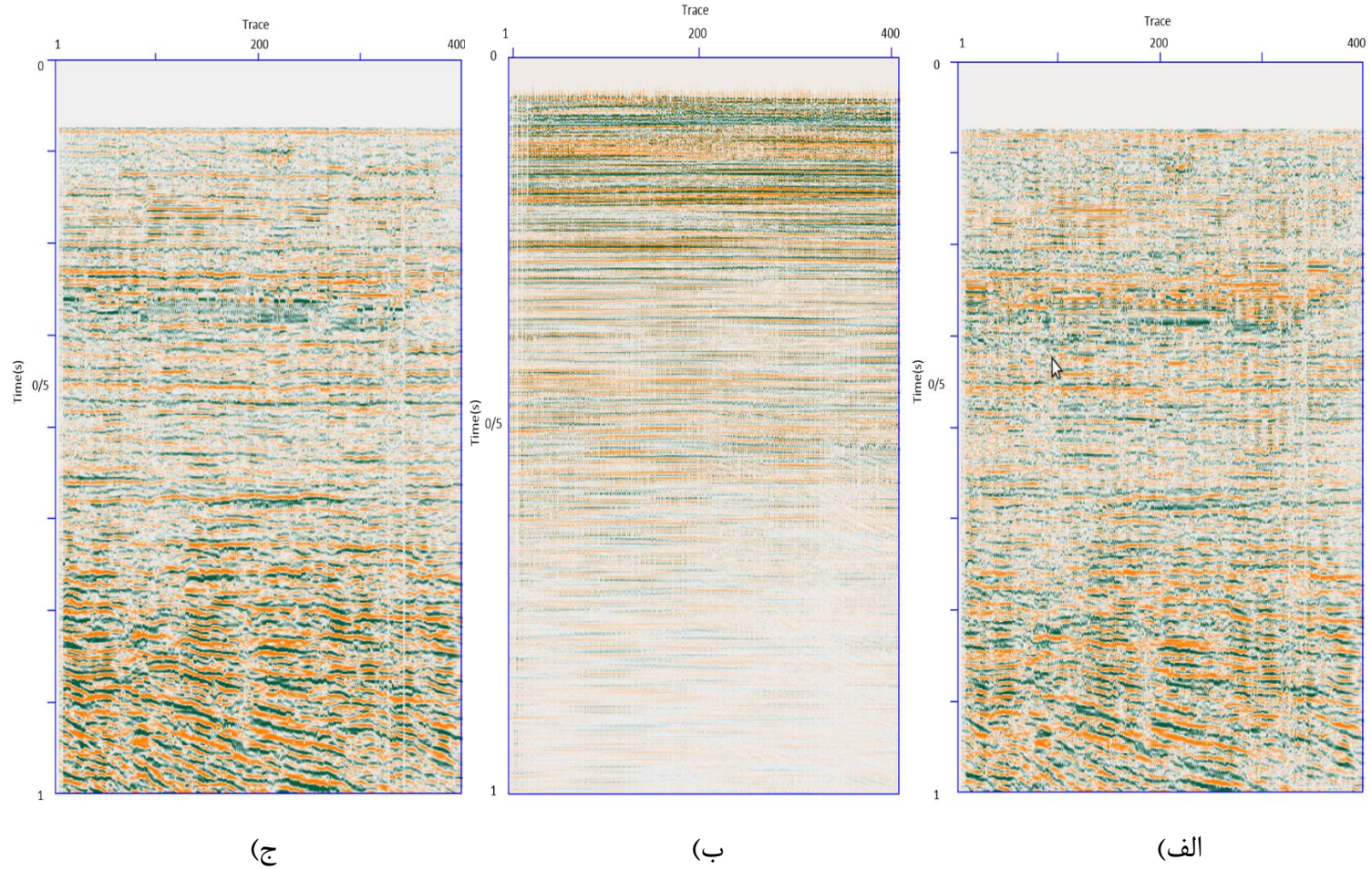
بازتابی عمق کم نسبت به روش‌های قبلی، تئوری روش ذکر شده است. در واقع کیفیت مناسب شکل (۴-۱۰)، موید این موضوع است که در اکثر نقاط مقادیر تخمین زده اولیه نشانگرها در مقطع یک پارامتری و دوپارامتری به مقادیر نهایی نشانگرها نزدیک هستند و می‌توان با یک جست‌وجوی سه پارامتری محلی، مقادیر نهایی نشانگرهای ذکر شده را تخمین زد.

۷-۲-۴ تصویرسازی خط لرزه‌ای سوم داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی واقعی

روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج و روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته بر ۴۰۰ CMP از خط لرزه‌ای سوم اعمال شد و نتایج حاصل در شکل (۴-۱۱) نمایش داده شده است.

در آنالیز همدوسی خط لرزه‌ای دوم بازه سرعت ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر بر ثانیه، با گام ۲۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. و در هر دو استراتژی مختلف حل معادله، بازه ۳۰۰ متر، زاویه ورود پرتو مرکزی از منفی ۴۵ درجه تا مثبت ۴۵ درجه، شعاع موج NIP از یک متر تا مثبت بینهایت و شعاع موج عمود از منفی بینهایت تا مثبت بینهایت در نظر گرفته شده است.

شکل (۴-۱۱) مقطع برانبارش حاصل از برانبارش ۴۰۰ CMP خط اول را نشان می‌دهد. در بازه زمانی کمتر از ۰/۷۵ ثانیه لایه‌های افقی و در بازه زمانی بیشتر از ۰/۷۵ لایه‌های شیب‌دار مشاهده می‌شود. کیفیت مقطع برانبارش حاصل از تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج (۴-۱۱-ب) بسیار پایین و کمتر از دو روش دیگر می‌باشد. در مقطع برانبارش حاصل از تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته (شکل ۴-۱۱-ج) لایه‌ها با کیفیت بیشتری نسبت به لایه‌ها در مقطع برانبارش حاصل از تصویرسازی به روش رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) (شکل ۴-۱۱-الف) نمایش داده شده است و رخدادهای بازتابی را راحت‌تر می‌توان تعقیب کرد.



شکل ۴-۱۱: مقطع برانبارش حاصل از تصویرسازی خط سوم به روش تصویرسازی (الف) رایج (شامل NMO/DMO/stack). (ب) CRS با استراتژی رایج. (ج) استراتژی رایج تعمیم یافته

۳-۴ بررسی نتایج روش‌های تصویرسازی در این تحقیق

در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی علاوه بر کیفیت خروجی‌ها، زمان پردازش نیز یکی از پارامترهای مهم در مقایسه روش‌ها می‌باشد افزایش زمان پردازش افزایش هزینه‌هایی از قبیل هزینه‌های مربوط به مخارج کاربر و پردازنده را به همراه خواهد داشت. اهمیت زمان در پردازش تصویرسازی به روش CRS در مقایسه با روش رایج تصویرسازی (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) دو چندان است چون در تصویرسازی به روش CRS، بازه پردازش تاثیر زیادی بر کیفیت مقطع برانبارش خواهد داشت و بازه جست‌وجو اغلب از طریق صحیح و خطا به دست می‌آید به همین دلیل برای به دست آوردن مقطع برانبارش با کیفیت بازه‌های پردازش متفاوتی بررسی شود. زمان پردازش استراتژی‌های مختلف تصویرسازی CRS استفاده شده در تصویرسازی خط اول این تحقیق، در جدول (۲-۴) آورده شده است.

جدول ۲-۴: بازه زمانی پردازش تصویرسازی خط اول داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی

بازه زمانی پردازش (ساعت)	روش تصویرسازی
۲۴	تصویرسازی به روش CRS با الگوریتم PSO
۵	تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج
۲/۵	تصویرسازی به روش CRS با استراتژی پیشنهادی

در این فصل نتایج حاصل از اعمال روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO)، روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج، روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته و روش تصویرسازی CRS با استراتژی حل معادله CRS با الگوریتم PSO بر خط لرزه‌ای اول، دوم و سوم به صورت پراکنده مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

روش تصویرسازی رایج (شامل آنالیز سرعت، NMO و DMO) بر خط لرزه‌ای اول، دوم و سوم اعمال شد و در تصویرسازی هر سه خط ذکر شده به طور کلی نتایج نسبت مناسبی ارائه کرد. با این حال یک سری اغتشاشات در مقطع‌های برانبارش حاصل از روش ذکر شده مشاهده می‌شد. از دلایل اصلی اغتشاشات ذکر شده می‌توان به نسبت سیگنال به نوفه کم داده پیش از برانبارش و تاثیرات آن در تعیین مدل سرعت در قسمت‌های ذکر شده و همچنین تعداد کم ردلرزه‌ها (نسبت به روش تصویرسازی CRS) در تعیین هر نقطه در مقطع برانبارش اشاره کرد.

روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج نتایج بسیار ضعیفی ارائه کرد. همان‌طوری که در تفسیر مقاطع مربوط به این روش بیان شد دلیل اصلی عدم کارایی مناسب روش ذکر شده، استفاده کردن این روش از فرض تخت بودن جبهه موج عمود در یکی از مراحل حل معادله CRS است. در داده‌های عمق کم چون فاصله مکانی منبع موج تا گیرنده کم می‌باشد در جاهایی که بازتابنده دارای انحنای است انحنای جبهه موج عمود (منظور آن دسته از موج‌هایی است که از بازتابنده‌های با مقادیر بالای انحنای بازتاب شده است) در مکان گیرنده، در حدی نیست که بتوان آن را صفر فرض کرد. لذا استفاده از فرض ذکر شده باعث ایجاد خطا در تخمین زاویه ورود موج مرکزی اولیه و به تبع آن باعث ایجاد خطا در تخمین میزان انحنای جبهه موج عمود و موج NIP اولیه می‌شود. برای رسیدن به جواب نهایی با دقت، باید بازه جست‌وجوی پارامترهای ذکر شده در محله سوم استراتژی رایج افزایش یابد و با توجه به این که افزایش بازه جست‌وجوی هر سه پارامتر منجر به افزایش بیش از حد محاسبات می‌شود، افزایش بازه جست‌وجو در مرحله سوم با اساس استراتژی رایج حل معادله CRS مخالف است.

روش تصویرسازی CRS با استراتژی تخمین هم‌زمان نشانگرهای جنبشی میدان موج علی‌رغم این که نسبت به روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج جواب بهتری ارائه نمود اما نتایج حاصل از آن نیز کیفیت لازم برای مرحله تفسیر را نداشت. دلیل اصلی این امر تعدد

ماگزیم‌های محلی مقدار شباهت در فضای جست‌وجوی نشانگرهای جنبشی میدان موج و فضای زیاد جست‌وجو در حل معادله CRS بود. با توجه به این که هم تعداد ذرات هم تعداد تکرارها به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شده بودند و مقادیر بیش‌تر از لحاظ زمانی و اقتصادی به صرفه نخواهد بود تنها راه بهبود استراتژی ذکر شده ترکیب الگوریتم PSO و با الگوریتم‌های دیگر و یا استفاده از صورت‌های دیگر الگوریتم PSO می‌باشد.

روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته در مقایسه با روش‌های دیگر مورد استفاده در این تحقیق، در تصویرسازی هر سه خط لرزه‌ای نتیجه خوبی ارائه نمود. به خصوص در لایه‌های نزدیک سطح که هیچ کدام از روش‌های دیگر مقطع برانبارش با کیفیتی ارائه ندادند، استراتژی ذکر شده توانست لایه‌های با کیفیت مناسب ارائه کند. به طور کلی کارایی روش ذکر شده در مقایسه با روش‌های دیگر را می‌توان به تئوری استراتژی ذکر شده و دقت و زمان الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده در پیاده‌سازی استراتژی ذکر شده نسبت داد.

تئوری استراتژی رایج تعمیم‌یافته بر اساس این فرضیه است که در حل معادله CRS جواب‌های به دست آمده در مقطع دو پارامتری و یک پارامتری به مقادیر به دست آمده از جست‌وجوی سه پارامتری در کل فضای جست‌وجو نزدیک هستند. با توجه به آن چه که در قسمت توضیح استراتژی رایج تعمیم‌یافته در فصل سه بیان شد و با فرض درست بودن پایه و اساس روش رایج حل معادله CRS برای داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی عمق زیاد، مقدار انحنای موج NIP و زاویه ورود جبهه موج مرکزی اولیه که از استراتژی رایج تعمیم‌یافته به دست می‌آید از دقت بیشتری نسبت به مقادیر ذکر شده که از استراتژی رایج حل معادله CRS به دست می‌آید برخوردار است. به همین دلیل انتظار می‌رفت که کاهش میزان دقت در تخمین انحنای موج عمود به دلیل تعداد کمتر ردلرزه‌ها در استراتژی رایج تعمیم‌یافته توسط دقت بیشتر مقدار انحنای موج NIP و زاویه ورود موج مرکزی و همچنین افزایش بازه جست‌وجو در مرحله سوم جبران شود که نتایج به دست

آمده بیانگر این موضوع است که این امر در حد زیادی اتفاق افتاده است.

در تمام بهینه‌سازی‌های مربوط به تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته در این تحقیق از الگوریتم مینم‌پایه استفاده شده است. با توجه به این که کیفیت مقطع برانبارش علاوه بر استراتژی حل معادله CRS، به نوع الگوریتم بهینه‌سازی استفاده شده در اجرای استراتژی نیز بستگی دارد، کیفیت مناسب نتایج حاصل از تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته بیانگر کارایی مناسب الگوریتم مینیم‌پایه در تخمین نشانگرها در مرحله دوم و سوم استراتژی ذکر شده است. از طرفی دیگر مقایسه زمان پردازش‌های آورده شده در جدول (۴-۲) بیانگر سرعت بالای الگوریتم کمینه‌پایه می‌باشد. البته لازم به ذکر است که جهت بررسی بهتر الگوریتم کمینه‌پایه الگوریتم ذکر شده باید در حل مسایل مختلف با الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگر مقایسه شود که پرداختن به آن از حوصله این بحث خارج است.

از لحاظ زمانی نیز زمان پردازش تصویرسازی به روش CRS با استراتژی رایج تعمیم‌یافته نسبت به استراتژی‌های دیگر که در این تحقیق برای تصویرسازی به روش CRS به کار گرفته شد بسیار کمتر بوده است برای مثال زمان پردازش در تصویرسازی خط اول با استراتژی رایج تعمیم یافته نصف استراتژی رایج حل معادله CRS بود. با توجه به ارزش زمان در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی و تاثیر آن بر اقتصاد، سرعت بالای استراتژی تعمیم‌یافته می‌تواند یک امتیاز مهم برای روش ذکر شده حساب شود.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۵ نتیجه گیری

روش تصویرسازی CRS روشی است که از سه پارامتر برای تخمین مقطع برانبارش استفاده می‌کند. این روش نیازمند محاسبات بسیار زیاد کامپیوتری است و برای ساختارهای پیچیده زمین‌شناسی که سایر روش‌ها از جمله روش معمول (NMO/DMO/stack) دقت بالایی ندارند، کاربرد دارد.

جهت کاهش محاسبات در روش رایج تصویرسازی CRS، از فرض‌هایی در حل معادله CRS استفاده می‌شود. در این روش مقادیر اولیه پارامترهای جنبشی میدان در سه مقطع هم‌دوسی تک پارامتری تخمین زده می‌شود سپس با یک مرحله جست‌وجوی سه پارامتری حول مقادیر به دست آمده از مقطع‌های تک پارامتری، مقادیر نهایی پارامترها تخمین زده می‌شود. روش ذکر شده در تصویرسازی داده‌های عمق زیاد نتیجه خوبی ارائه داد، اما در تصویرسازی داده‌های عمق کم روش ذکر شده کارایی خوبی نداشت.

یکی از روش‌هایی که در این تحقیق برای تصویرسازی عمق کم پیشنهاد شد، روش تصویرسازی CRS به کمک الگوریتم بهینه‌سازی PSO بود. روش ذکر شده برای داده‌های عمق کم نتایج خوبی ارائه نکرد و پیوستگی رخدادهای بازتابی در نتایج حاصل از روش ذکر شده خیلی پایین بود.

یکی دیگر از روش‌هایی که در این تحقیق برای تصویرسازی عمق کم پیشنهاد شد، روش تصویرسازی CRS با استراتژی رایج تعمیم یافته بود. استراتژی ذکر شده شبیه به استراتژی رایج تصویرسازی CRS است با این تفاوت که، در روش پیشنهادی مقادیر اولیه پارامترهای جنبشی میدان موج را در دو مقطع تک پارامتری و دو پارامتری تخمین زده می‌شود، همچنین در استراتژی پیشنهادی در بهینه‌سازی‌ها از الگوریتم کمینه‌پایه استفاده شد. روش ذکر شده در تصویرسازی داده‌های عمق کم نتایج خوبی ارائه کرد. کیفیت و پیوستگی رخدادهای بازتابی در نتایج حاصل از

روش ذکر شده نسبت به نتایجی که در این تحقیق از روش‌های دیگر به دست آمد، بیشتر بود.

از میان استراتژی‌های معرفی شده جهت تصویرسازی CRS، استراتژی رایج تعمیم‌یافته به دلیل استفاده از الگوریتم کمینه‌پایه کم‌ترین زمان پردازش را داشت.

۲-۵ پیشنهادات

در این تحقیق در استفاده از الگوریتم کمینه‌پایه، گام اولیه به صورت تابعی از گام ثانویه نوشته شد، انتظار می‌رود که مستقل نمودن گام اولیه از گام ثانویه منجر به بهبود کارایی الگوریتم کمینه‌پایه شود. مستقل نمودن گام اولیه از گام ثانویه می‌تواند موضوعی برای تحقیق در آینده باشد.

می‌توان از گام‌های اولیه و ثانویه نشانگرهای جنبشی میدان موج به عنوان یک فیلتر استفاده کرد. این مهم می‌تواند موضوعی برای تحقیق در آینده باشد.

ترکیب الگوریتم کمینه‌پایه با الگوریتم‌های دیگر از قبیل PSO می‌تواند موضوعی برای تحقیق در آینده باشد.

با انجام چندین پایان‌نامه در رابطه با پردازش CRS، اکنون می‌توان اعلام کرد توان لازم جهت ساخت نرم‌افزار داخلی CRS با استراتژی‌های متفاوت وجود دارد. البته این مهم جز با برنامه‌ریزی و کارگروهی قابل انجام نیست.

منابع:

بالارستاقی م.، پیروز ای.، سلیمانی م. (۱۳۹۱)، تصویرسازی لرزه‌ای ساختارهای پیچیده با استفاده از روش برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت محدود، **پایان‌نامه کارشناسی ارشد**، دانشگاه صنعتی شاهرود.

پهلوان لو ع.، سلیمانی م.، پیروز ای.، (۱۳۹۴)، تصویرسازی لرزه‌ای ساختارهای پیچیده زمین شناسی با روش برانبارش سطح پراش مشترک در دورافت مشترک، **پایان‌نامه کارشناسی ارشد**، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رضایی و. و راحتی ا.، (۱۳۹۳)، ترکیب الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته، **اولین کنفرانس ملی ریاضیات صنعتی**، تبریز ۷ خرداد ۱۳۹۳

سلیمانی منفرد م.، (۱۳۸۸)، برانبارش سطح پراش مشترک، ارائه یک روش نوین در حل مساله تداخل شیبها، **پایان‌نامه دکتری**، دانشگاه صنعتی شاهرود

کریمی ف. و روشندل کاهو ا.، (۱۳۹۲) تضعیف نوفه‌های تصادفی داده‌های لرزه‌ای با استفاده از فیلتر میانگین غیرمحلی، **مجله ژئوفیزیک ایران**، شماره ۴، جلد ۷.

نظام آبادی پور ح.، رستمی شهربابکی مجید.، (۱۳۸۵)، **تعمیمی بر الگوریتم GCBPSO**.

دوازدهمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران

نظام‌آبادی پور ح.، رستمی شهربابکی مجید.، مغفوری فرسنگی م.، (۱۳۸۷)، بهینه‌سازی

اجتماع ذرات باینری: چالش‌ها و راه‌حل‌های جدید، **نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران**، جلد ۶.

نوروزی بیرامی م.ح. و میبیدی م.ر.، (۱۳۸۷)، بهینه سازی گروه ذرات فازی مشارکتی،

کنفرانس دومین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و سیستم‌های هوشمند.

Anderson N., and Akingbade A., (2000). Overview of the shallow seismic reflection technique. University of Missouri.

Baykulov M., and Gajewski D., (2009). Prestack seismic data enhancement with partial common reflection surface (CRS) stack. *Geophysics*, 49(6), 49-58.

Bergler S., (2001), The Common-Reflection-Surface Stack for Common Offset Theory and Application. PhD. Thesis, University of karlsruhe

Bortfeld R., (1989). Geometrical ray theory: Rays and traveltimes in seismic systems (second-order approximations of the traveltimes). *Geophysics*, 54(3), 42-349.

Cerveny, V., (2005). Seismic ray theory. Cambridge University Press.

Cui X., Potok T.E., and Palathingal P., (2005). Document clustering using particle swarm optimization. In *Swarm Intelligence Symposium*, 185-191.

de Bazelaire E., (1988). Normal moveout revisited: Inhomogeneous media and curved interfaces. *Geophysics*, 53(2), 143-157.

Duveneck E., (2004). Tomographic determination of seismic velocity models with kinematic wavefield attributes. University of Karlsruhe.

Firip, H. A., and Goodman, E., (2004). Swarmed feature selection, In *IEEE Proceedings of the 33rd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop*, 112-118.

Garabito G., Stoffa P.L., Lucena L.S., and Cruz J. C., (2012). Part I—CRS stack: Global optimization of the 2D CRS-attributes. *Journal of Applied Geophysics*, 92-101.

Garabito, G., Schots, H., Ferreira, D., and Caldeira, J. (2015). Regularization of 2D seismic data by using the CRS stacking operator: Application in real low-fold land data. In *14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society* 1114-

Gelchinsky B., (1988). The common reflecting element (CRE) method (nonuniform asymmetric multifold system). *Exploration Geophysics*, 19(2), 71-75.

Gierse, G., Pruessmann, J., Trappe, H., Linzer, H. G., and Schachinger, M. (2015). Customized CRS regularization strategies for improved migration results. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, Society of Exploration Geophysicists. 3905-3909.

Hertweck, T., Schleicher, J., and Mann, J. (2007). Data stacking beyond CMP. *The Leading Edge*, 818 - 827.

Hoorfar A., (2007). Evolutionary programming in electromagnetic optimization: a review. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 55(3), 523-537.

Hubral P., and Krey T., (1980). Interval velocities from seismic reflection time measurements. *Society of Exploration Geophysicists*.

Hubral P., Hoecht G., and Jaeger R. (1999)., *Seismic illumination*. *The Leading Edge*, 18(11), 1268-1271.

Hubral P., Schleicher J., and Tygel M., (1992a). Three-dimensional paraxial ray properties. *Journal of Seismic Exploration*, 347-362.

Hubral P., Schleicher J., and Tygel M., (1992b). Three-dimensional paraxial ray properties. *Journal of Seismic Exploration*, 265-279

Hubral, P. (1983). Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth. *Geophysics*, 48(8), 1051-1062.

Jager R., (1999). *The common reflection surface stack: theory and application*. Thesis University of Karlsruhe.

Jager R., (2005). Minimum-aperture Kirchhoff migration by means of CRS attributes. In *67th EAGE Conference and Exhibition*.

Jager R., Mann J., Hocht G., and Hubral P., (2001). Common-reflection-surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66, 97-109.

Kennedy J., Eberhart RC., (1995). Particle swarm optimization {C}. In International Conference on Neural Networks, IV (Perth, Australia), Piscataway, NJ, (IEEE Service Center).

Koglin I., and Ewig E., (2003). Residual static correction by means of kinematic wavefield attributes. In 65th EAGE conference and exhibition.

Lawrens F., Sule M.R., and Afnimar., (2015). Parallel computation for speedup the computation time of direct determination of common-reflection-surface (CRS) attribute. In Proceedings of the 12th SEGJ International Symposium, Tokyo, Japan, 209-212.

Lawrens, F., Jiwandono, A., and Sule, R. (2015). Implementation of non uniform memory address (NUMA) parallel computation in order to speed up the common reflection surface (CRS) stack optimization process. In Proceedings of the 12th SEGJ International Symposium, Tokyo, Japan, 48-51.

Liu H., Abraham A., and Zhang W., (2007). A fuzzy adaptive turbulent particle swarm optimisation. International Journal of Innovative Computing and Applications, 1(1), 39-47.

Liu, H. B., Tang, Y. Y., and Meng, J., (2004). Neural networks learning using vbest model particle swarm optimization, Proceedings of the 3rd International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 3157- 3159.

Machado, T. R., and Lopes, H. S., (2005). A hybrid particle swarm optimization model for the traveling salesman problem, Adaptive and Natural Computing Algorithms, 255-258.

Mann J., (2001), Extensions and applications of the common-reflection-surface stack method. PhD. Thesis, University of Karlsruhe.

Mann J., (2001). Common-reflection-surface stack and conflicting dips. In SEG technical program expanded abstracts. Society of Exploration Geophysicists. 1886-1889.

Mann J., (2002), Extensions and applications of the common-reflection-surface

stack method, Logos Verlag , Berlin.

Mann J., Jäger R., Müller T., Höcht G., and Hubral P., (1999). Common-reflection-surface stack—A real data example. *Journal of applied geophysics*, 42(3), 301-318.

Mayne W.H., (1962). Common reflection point horizontal data stacking techniques. *Geophysics*, 27, 927-938.

Muller T., (1998), Common reflection surface stack versus NMO/stack and NMO/DMO/stack, Extended abstracts, 60th Conf, Eur Asn Geosci Eng, Session 1-20.

Muller T., (1998), Common reflection surface stack versus NMO/stack and NMO/DMO stack. In 60th EAGE Conference and Exhibition.

Popov M.M., (2002). Ray theory and Gaussian beam method for geophysicists. Editora da Universidade Federal da Bahia.

Reynolds, C. W., (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *ACM SIGGRAPH computer graphics*, 21(4), 25 - 34.

Santos L., Schleicher J., Costa J.C., and Novais A. (2011). Fast estimation of common-reflection-surface parameters using local slopes. *Geophysics*, 76(2), U23-U34.

Schleicher J., Tygel M., and Hubral P., (1993). 3-D true-amplitude finite-offset migration. *Geophysics*, 58(8), 1112-1126.

Schleicher, J., Costa, J. C., Santos, L. T., Novais, A., and Tygel, M. (2009). On the estimation of local slopes. *Geophysics*, 74(4), 25-P33.

Shi Y., and Eberhart R., (1998). A modified particle swarm optimizer. In *Evolutionary Computation Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence.*, 69-73.

Soleimani M., and Mann J., (2008), Merging aspects of DMO correction and CRS stack to account for conflicting dip situations. *Annual WIT Report* , 159-166.

Soleimani M., Piruz I., Mann J., and Hubral P., (2009). Common-Reflection-Surface stack: accounting for conflicting dip situations by considering all possible dips. *Journal of seismic exploration*.

Spinner M., (2007). PhD Thesis,. CRS-based minimum-aperture Kirchhoff migration in the time domain. Geophysical Institute, Karlsruhe University.

Spinner, M., Tomas, C., Marchetti, P., Gallo, C., and Arfeen, S. (2012). Common-Offset CRS for advanced imaging in complex geological settings. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. Society of Exploration Geophysicists.

Van den Bergh, F., and Engelbrecht, A. P. (2002). A new locally convergent particle swarm optimiser. In *Systems, Man and Cybernetics, IEEE International Conference*.

Walda, J., and Gajewski, D., (2017). Determination of wavefront attributes by differential evolution in the presence of conflicting dips. *Geophysics*, 82(4), 229-239.

Xie, Y., and Gajewski, D., (2016). Simultaneous estimation of the 3D CRS attributes by an evolutionary-based Nelder–Mead algorithm. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. Society of Exploration Geophysicists.

Yilmaz O., (2001), *Seismic data analysis*, Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

Abstract:

In reflection seismic, depths near the surface to depth of several in hundred meters are called shallow. shallow depth information for geological engineering studies is very useful, for example, in the making massive structures (dams, large bridges, power plants, industrial structures), mines, deep well drilling (oil, gas and geothermal). Depths less than 100 meters are studied only with refractin seismic methods and surface waveforms and depths of more than a few hundred meters can be studied with deep reflection seismic method. However, there is an operational vacuum in the exploration of structures between about 100 meters. In order to fill this vacuum, shallow reflection seismic was introduced. The difference between this method and the depth reflection method is that the data recording time and sampling distance in the mentioned method are short, and waves with higher frequencies (in contrast to the depth-reflection seismic method) are transmitted to the ground.

In this research, Common Reflection Surface and the typical illustration method (NMO/DMO/stack) was used to imagery the shallow reflection seismic data. In the CRS imaging method, the reflected reflectivity of the reflectors in the earth is estimated using the three attributes (normal wavefront curvature, NIP wavefront curvature, central wave entrance angle). In one of the steps of solving the CRS equation in the usual way, the curvature of the normal wave front is assumed to be zero. The mentioned premise for the shallow depths is far from real. To solve the problem mentioned in this study, two new strategies were used to imagery low depth reflection seismic data using the CRS method. The first strategy involves simultaneous simultaneous estimation of the attributes using the PSO algorithm. The second strategy involves estimating the initial values of the attributes in a single-parameter search and a two-parameter search, estimating the final values of the attributes during a three-parameter search around the values obtained from the previous step and its protruding.

In all of the second strategy searches, the proposed minimumpim-basis optimization algorithm has been used. The basis of the minimumpim-basis algorithm is the identification and removal of the spaces where the probability of having the optimal points there is very low. For this purpose, the search space is considered as a multi-dimensional space, each of which dimension to one of the variables. At each

stage of the repetition of the minimum-pam-basis algorithm, the variables in the optimization problem in the search space are selected with the steps of that stage and for the selected values, the value of the fitness function (the function that is supposed to be optimized) is computed and the space around those areas that have less value is removed from the search space.

The mentioned methods and the conventional image method (NMO / DMO / stack) were applied to three lines of marine reflection seismic data. The marine data used in this study is Malaysia. The results indicated that the second proposed strategy was more effective than other methods.

Keyword: Seismic Image, Common Reflection Surface, Stack, Particle swarm optimization , Minimum-pam-Basic Algorithm, SHallow, Malaysia



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Changing imagery conditions in the CRS method to
provide stack section in shallow reflection seismic data**

Stud:ent

Aghil Salari

Supervisors:

Dr. Mehrdad Soleimani

Dr. Reza Ghavami riabi

September 2017

