

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تصویر سازی لرزه‌ای ساختارهای پیچیده زمین شناسی با روش برانبارش  
سطح پراش مشترک در دورافت مشترک

علی پهلوانلو گوجگی

اساتید راهنما:

دکتر مهرداد سلیمانی

دکتر ایرج پیروز

آذر ماه ۱۳۹۴

بیاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایشار و از خودگذشتگی

بیاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

بیاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرکردانی و ترس در پناہشان به شجاعت می کراید

و بیاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه راه پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

و همچنین به برادران بزرگوارم

که همواره در طول تحصیل متحمل زحمت بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

## سپاس‌گزاری

در طول شش 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 راراهنمایی کرده‌اند، نهایت قدردانی را دارم.

همچنین قدردان تلاش دیگر اساتید خود از جمله آقای دکتر روشندل، آقای دکتر کاکار، آقای دکتر عرب‌امیری، آقای دکتر پیروز، خانم دکتر عابدی و دیگر عزیزان می‌باشم.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از آقای دکتر کلودیو کالوکه باراهنمایی‌های ارزنده خود نقش مهمی در پیشرفت این پایان‌نامه داشته‌اند، تشکر نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب علی پهلوانلو گوجگی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک (لرزه شناسی) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تصویر سازی لرزه‌ای ساختارهای پیچیده زمین شناسی با روش برانبارش سطح پراش مشترک در دورافت مشترک تحت راهنمایی آقای دکتر سلیمانی متعهد می شوم.

- 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 می باشد 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 بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافت‌های آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد . 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 نمی باشد.

## چکیده

در این تحقیق روش نوین برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک (CO CRS)، استفاده شده است که توانایی افزایش کیفیت در تصویر سازی ساختارهای زمین شناسی در مقطع دورافت مشترک را دارا می باشد. عملگر برانبارش CO CRS مانند عملگر برانبارش در سطح بازتاب مشترک با دورافت صفر (ZO CRS) بوده با این تفاوت که به جای سه پارامتر میدان موج، از پنج پارامتر استفاده می کند. عملگر برانبارش CO CRS همچنین مستقل از مدل سرعت بوده و به صورت کاملاً خودکار به کمک آنالیز همدوسی پارامترهای میدان موج به دست می آید. در مقایسه با روش معمول، برانبارش CO CRS از تمام حجم داده های پیش از برانبارش در روند برانبارش استفاده کرده و تنها به یک رکورد خاص (به طور مثال برانبارش CMP) محدود نمی شود. به دنبال آن، تعداد رد لرزه ی بسیار بیشتری در قیاس با روش معمول در برانبارش سهیم هستند. در کنار چندین کاربرد مهم نشانگرهای میدان موج در روش CO CRS، از این نشانگرها در ساخت مدل سرعت می توان کمک گرفت.

به منظور تصویر سازی ساختارهای زمین شناسی با جزئیات بیشتر، استفاده از امواج پراش در روش CO CRS مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب عملگر جدیدی به نام برانبارش سطح پراش مشترک با دورافت مشترک (CO CDS) به دست می آید که در آن امواج پراش تقویت می شوند. این روش توانایی تولید تصویری با جزئیات بیشتر از ساختارهای تولید کننده پراش، بویژه ساختارهای پیچیده زمین شناسی را دارا می باشد. ساختارهایی مانند گسل ها و همچنین شیب های متقاطع در این روش به بهترین شکل تصویر سازی می شوند. این روش همچنین تمایی مزایایی که برای روش CO CRS بیان شد را دارا می باشد.

هر دوی این روش ها، علاوه بر روش ZO CRS و روش معمول برانبارش بر روی یک خط لرزه ای از منطقه گرگان پیاده گردید. این منطقه از نظر زمین شناسی دارای تعدادی گل فشان است و هدف از

برداشت لرزه‌ای در این منطقه بررسی پتانسیل وجود گاز می‌باشد. نتایج حاصل از این دو روش جدید تمامی مزایای شمرده شده برای آنها را اثبات کرده و دید جدیدی از فهم زمین‌شناسی منطقه به وجود آورد.

نتایج کوچ پیش از برانبارش روش سطح بازتاب مشترک در دورافت مشترک دارای نسبت سیگنال به نوفه بالا بوده، گسل‌ها، مرز ناپیوستگی‌ها و گل‌فشان‌ها به خوبی قابل مشاهده می‌باشند.

همچنین کوچ پیش از برانبارش روش سطح پراش مشترک در دورافت مشترک به دلیل استفاده از امواج پراش توانسته است انرژی بیشتری نسبت به روش‌های دیگر برانبارش جمع کند. در این روش علاوه بر بهبود نسبت سیگنال به نوفه و تشخیص بهتر گسل‌ها، مرز ناپیوستگی‌ها و گل‌فشان‌ها، بازتابنده‌های داخل گل‌فشان نیز به خوبی تصویر شده‌اند.

### کلید واژه:

برانبارش، سطح بازتاب مشترک، سطح پراش مشترک، دورافت مشترک، تصویر سازی لرزه‌ای، گل‌فشان، گرگان.

## فهرست

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| فصل اول : مقدمه.....                                      | ۱  |
| ۱-۱ معرفی: ..                                             | ۲  |
| ۱-۲ ساختار پایان نامه.....                                | ۵  |
| فصل دوم: پیش زمینه نظری.....                              | ۷  |
| ۲-۱ روش مرسوم برانبارش: نقطه میانی مشترک.....             | ۸  |
| ۲-۲ برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت صفر.....          | ۱۲ |
| ۲-۳ برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک.....        | ۱۵ |
| ۲-۴ تفاوت های روش های بیان شده.....                       | ۱۷ |
| ۲-۵ حل معادله CRS.....                                    | ۲۱ |
| ۲-۵-۱ برانبارش ZO CRS.....                                | ۲۱ |
| ۲-۵-۲ روش برانبارش CO CRS.....                            | ۲۳ |
| ۲-۵-۳ بهینه سازی.....                                     | ۲۹ |
| ۲-۵-۴ استفاده های بعدی از پارامترهای برانبارش CO CRS..... | ۲۹ |
| ۲-۶ تصویرسازی.....                                        | ۳۰ |
| فصل سوم: برانبارش سطح پراش مشترک در دورافت مشترک.....     | ۳۵ |
| ۳-۱ مقدمه:.....                                           | ۳۶ |
| ۳-۲ پراش ها.....                                          | ۳۶ |
| ۳-۳ نگاهی به روش های پیشین استفاده از امواج پراش.....     | ۳۷ |

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| ۳۹ | ۱-۳-۳ روش سطح پراش مشترک با دورافت صفر                            |
| ۴۰ | ۲-۳-۳ جدایش کامل رخدادهای پراش پیش از برانبارش بر اساس CRS        |
| ۴۲ | ۳-۳-۳ پیش بینی زمان رسید های دورافت-مشترک پراش بر اساس دورافت-صفر |
| ۴۴ | ۴-۳ تقریب زمان رسید هذلولی CO CDS                                 |
| ۴۷ | ۵-۳ استراتژی حل بر مبنای شیب                                      |
| ۵۳ | فصل چهارم: پردازش داده‌های مصنوعی و واقعی                         |
| ۵۴ | ۱-۴ پردازش داده‌ی مصنوعی Sigsbee 2A                               |
| ۵۸ | ۲-۴ پردازش داده‌ی واقعی                                           |
| ۵۸ | ۱-۲-۴ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه                                |
| ۶۱ | ۲-۲-۴ هندسه برداشت                                                |
| ۶۲ | ۳-۴ برانبارش به روش معمول CMP و برانبارش ZO CRS                   |
| ۶۳ | ۴-۴ پردازش CO CRS و CO CDS                                        |
| ۷۶ | ۵-۴ کوچ                                                           |
| ۸۳ | فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات                                  |
| ۸۴ | ۱-۵ نتیجه‌گیری                                                    |
| ۸۴ | ۲-۵ پیشنهادات                                                     |
| ۸۶ | منابع                                                             |

## فهرست اشکال

- تصویر ۱-۲: هندسه لرزه نگاری بازتابی. الف) تصویر یک رکورد ..... ۱۰
- تصویر ۲-۲: روش برانبارش CMP. یک الگوریتم ..... ۱۱
- تصویر ۳-۲: تفسیر فیزیکی پارامترهای برانبارش. .... ۱۴
- تصویر ۴-۲: شعاع میدان موج در طول پرتو مرکزی ..... ۱۷
- تصویر ۵-۲: مقایسه زمان رسید عملگرهای زمان سیر در حوزه نقطه میانی-دورافت. .... ۱۹
- تصویر ۶-۲: الف) دو نمای متفاوت از عملگر. .... ۲۰
- تصویر ۷-۲: رکورد CMP، CO و CS در حجم داده‌های با پوشش چندگانه. .... ۲۶
- تصویر ۸-۲: نمودار گردشی روند انجام برانبارش CO CRS. .... ۲۸
- تصویر ۹-۲: کوچ انرژی لرزه‌های بازتاب یافته. ب. .... ۳۱
- تصویر ۱۰-۲: الف) رکورد تصویر مشترک مسطح بعد از کوچ عمقی. .... ۳۴
- تصویر ۱-۳: نمایی از یک مدل دو بعدی و داده‌های حاصل از آن. خطوط. .... ۴۲
- تصویر ۲-۳: دو آزمون موج-NIP دورافت-مشترک(ب) شبیه ..... ۴۴
- تصویر ۳-۳: الف) انتشار جبهه موج آزمون CS در ..... ۴۶
- تصویر ۴-۳: قسمت پایین: یک محیط دوبعدی با دولایه‌ی ..... ۴۷
- تصویر ۵-۳: نمودار گردشی تولید CO CDS Supergather. .... ۵۰
- تصویر ۶-۳: نمودار گردشی انجام برانبارش CO CDS ..... ۵۱
- تصویر ۱-۴: داده‌ی Sigsbee 2A و قسمت مورد پردازش در این تحقیق (مستطیل قرمز رنگ). .... ۵۵
- تصویر ۲-۴: الف) مقطع برانبارش CO CRS ..... ۵۷
- تصویر ۳-۴: الف) دریای خزر، مخازن آن ..... ۶۰
- تصویر ۴-۴: منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ..... ۶۰

- تصویر ۴-۵: الف) داده‌های پیش از برانبارش و ب) بزرگ نمایی قسمتی از داده‌ها که با مستطیل سیاه رنگ مشخص شده است. .... ۶۳
- تصویر ۴-۶: برانبارش به روش ZO CRS ..... ۶۴
- تصویر ۴-۷: برانبارش به روش معمول CMP ..... ۶۵
- تصویر ۴-۸: مقطع برانبارش CO CRS برای دورافت ۵۰۰ متر ..... ۶۸
- تصویر ۴-۹: مقطع شباهت بر مبنای همدوسی برای مقطع برانبارش دورافت ۵۰۰ متر ..... ۶۸
- تصویر ۴-۱۰: مقطع برانبارش CO CRS برای دورافت ۱۱۰۰ متر ..... ۶۹
- تصویر ۴-۱۱: تفاوت در ساختار برای سه دورافت ۵۰۰، ۱۳۰۰ و ۲۹۰۰ متر ..... ۶۹
- تصویر ۴-۱۲: الف) Supergather حاصل از پردازش COCRS ..... ۷۰
- تصویر ۴-۱۳: Supergather شباهت بر مبنای همدوسی به روش CO CRS ..... ۷۱
- تصویر ۴-۱۴: تصویر برانبارش CO CRS ..... ۷۲
- تصویر ۴-۱۵: Supergather حاصل از روش CO CDS ..... ۷۳
- تصویر ۴-۱۶: Supergather شباهت بر مبنای همدوسی به روش CO CDS ..... ۷۴
- تصویر ۴-۱۷: مقطع برانبارش نهایی CO CDS ..... ۷۵
- تصویر ۴-۱۸: مدل سرعت کوچ به دست آمده با استفاده از روش ..... ۷۶
- تصویر ۴-۱۹: تصویر کوچ پس از برانبارش روش NMO/DMO/stack ..... ۷۹
- تصویر ۴-۲۰: تصویر کوچ پس از برانبارش به روش ZO CRS ..... ۸۰
- تصویر ۴-۲۱: تصویر کوچ پیش از برانبارش روش CO CRS یا PSDM CO-CRS ..... ۸۱
- تصویر ۴-۲۲: تصویر کوچ پیش از برانبارش روش CO CDS یا PSDM CO-CDS ..... ۸۲

## لیست جداول

جدول ۴-۱: پارامترهای عمومی مورد استفاده در برانبارش CO CRS و CO CDS ..... ۵۴

جدول ۴-۲: پارامترهای هندسی برداشت داده مربوط به داده واقعی ..... ۶۱

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱ معرفی

تقریباً تمام شرکت‌های نفتی برای انتخاب محل چاه‌های اکتشاف نفت به تفسیرهای لرزه‌ای رجوع می‌کنند. احتمال افزایش موفقیت در این فرایند با پرداختن بیشتر به کارهای لرزه‌ای افزایش می‌یابد. علاوه بر این، روش‌های لرزه‌ای در جستجوی آب‌های زیرزمینی و مهندسی عمران، به ویژه برای تعیین عمق سنگ کف در ارتباط با احداث ساختمان‌های بزرگ، سدها، تونل‌ها و بزرگراه‌ها اهمیت دارد (Sheriff and Geldart, 1995).

اساس روش لرزه نگاری بازتابی بر پایه تولید امواج لرزه‌ای و اندازه گیری زمان لازم جهت سیر این امواج از چشمه قرار داده شده بر روی سطح به سمت بازتابنده داخل زمین و برگشت آن به محلی که تعدادی گیرنده در سطح زمین قرار داده شده است، می باشد. زمان سیر امواج بازتابی به خصوصیات الاستیک زیر زمین و ویژگی‌های خود بازتابنده مانند مکان، جهت و انحنا بستگی دارد. بنابراین امکان به دست آوردن اطلاعات از زمین با زمان رسید مشاهده شده وجود دارد.

به طور کلی قبل از اینکه داده‌های لرزه‌ای به دست آمده تفسیر شود، در چندین مرحله مورد پردازش قرار می‌گیرند. سه فرایند اصلی در پردازش داده‌های لرزه‌ای عبارتند از واهمامیخت<sup>۱</sup>، برانبارش و کوچ (Yilmaz, 2001). در این پایان‌نامه، دومین قسمت از زنجیره پردازش به نام برانبارش مورد بحث قرار می‌گیرد. مقطع برانبارش اولین تصویر از ساختارهای زیر سطحی را به دست می‌دهد که می‌تواند به عنوان ورودی در پردازش بعدی یعنی کوچ پس از برانبارش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مجموعه داده لرزه‌ای تنها شامل سیگنال (هر رخداد در داده‌های لرزه‌ای مربوط به سطح زیر زمین که تمایل به به دست آوردن اطلاعات از آن داریم) نبوده و همراه این داده‌ها نوفه نیز وجود دارد. نوفه‌ها معمولاً به نوفه‌های همدوس و غیر همدوس تقسیم می‌شوند. از آنجا که اکثر روش‌های پردازشی از بازتاب‌های اولیه استفاده می‌کنند، بازتاب‌های چند گانه در رده‌ی نوفه‌های همدوس قرار می‌گیرند.

---

<sup>1</sup> Deconvolution

نوفه‌های غیر همدوس یا نوفه‌های تصادفی غیر قابل پیش بینی هستند. این نوع از نوفه‌ها در داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده، می‌توانند به طور مثال از لرزش گیرنده بر اثر باد یا از حرکت یک شخص در کنار گیرنده باشد.

هدف از برانبارش، تقویت سیگنال و تضعیف نوفه غیر همدوس بوسیله جمع کردن رخدادهای مربوط به هم در داده‌های دارای هم پوشانی می‌باشد. عملگرهای برانبارش دورافت صفر، بازتاب‌های واقعی را در فضای نقطه میانی-نیم دورافت-زمان ( $x_m-h-t$ ) در مجاورت نقطه دورافت-صفر تخمین می‌زنند. این نقطه متناظر با یک آزمایش فرضی است که در آن چشمه و گیرنده روی هم واقع شده-اند. از روش‌های معروف برانبارش دورافت-صفر، برانبارش نقطه‌میانی مشترک است. در سال‌های اخیر تکنیک‌های جدیدی برای برانبارش معرفی شده است که نتایج برانبارش بهتری نسبت به روش مرسوم دارند. یکی از این روش‌ها برانبارش سطح بازتاب مشترک (CRS)<sup>۱</sup> است. با محاسبه انحنای محلی سطح بازتابنده، عملگر برانبارش CRS نه تنها داده‌های بازتابی ثبت شده را بهتر از عملگر روش مرسوم تطبیق می‌دهد، بلکه یک روش مستقل از مدل سرعت است. به منظور انجام برانبارش CRS حتی در محیط‌هایی با ناهمگنی جانبی نیز نیازی به یک مدل سرعت مناسب نمی‌باشد. اصول برانبارش CRS در ادامه توضیح داده خواهد شد.

برانبارش دورافت مشترک به طور مشابه با برانبارش دورافت صفر، ولی برای یک نقطه در رکورد<sup>۲</sup> دورافت مشترک انجام می‌شود. در واقع عملگر برانبارش دورافت-مشترک رخداد بازتابی را در فضای  $x_m-h-t$  در مجاورت نقطه‌ای با دورافت ثابت تخمین می‌زند (Bergler, 2001). در این پایان‌نامه، روش جدید برانبارش دورافت مشترک در یک محیط دوبعدی و بر پایه اصول برانبارش CRS مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین این استراتژی، روش برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک<sup>۳</sup> نامیده می‌شود. در ادامه این روش به طور کامل بررسی خواهد شد.

---

<sup>۱</sup> Common Reflection Surface(CRS)

<sup>۲</sup> Gather

<sup>۳</sup> Common Offset Common Reflection Surface (CO CRS)

در بخش دوم این تحقیق، چگونگی تغییر عملگر برانبارش CRS و انطباق آن بر امواج پراش در دورافت مشترک مورد بررسی قرار می‌گیرد. رخدادهای پراش در پردازش سیگنال لرزه‌ای، اطلاعات مربوط به اهداف با ابعاد کوچک‌تر یا قابل مقایسه با طول موج لرزه‌ای مانند گسل‌ها، قطع شدگی لایه‌ها، لایه‌های نازک، لبه‌ی ریف‌ها و یا هر تغییر ناگهانی در رخساره‌ها را در اختیار قرار می‌دهند (Moser and Howard, 2008). به طور کلی به دلیل پایین بودن دامنه امواج پراش، پژوهشگران تا مدت‌ها آنها را به عنوان نوفه در نظر گرفته و سعی در کاهش آنها در فرایند تصویر سازی لرزه‌ای داشتند. انگیزه اصلی در جداسازی پراش‌ها از امواج بازتابی، وضوح بیشتر اطلاعات در تصاویر پراش برای مفسر است، چرا که در این تصاویر کوچ یافته حاصل از پراش‌های فراوان، جزئیات ساختارهای کوچک بهبود خواهند یافت (Khaidukov et al., 2004).

در سال‌های اخیر، راه‌های متفاوتی برای جداسازی بازتاب‌ها از پراش‌ها معرفی شده است. این روش‌ها معمولاً در وضوح تصاویر سیر تکاملی داشته‌اند. (Landa et al., 1987) موفق به تضعیف بازتاب‌ها و تقویت پراش‌ها با به کار بردن ریشه دوم مضاعف زمان سیر برونراند<sup>۱</sup> شدند. (Asgedom et al., 2001) با استفاده از روش CRS رخدادهای بازتاب را از پراش‌ها جدا کردند. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۰) با ترکیب ایده‌ی DMO و CRS موفق به تقویت امواج پراش در مقطع برانبارش CRS شدند. Fomel (2007) et al. با تخت فرض کردن هذلولی‌های پراش در بخش‌های کوچک و جداسازی رخدادهای پراش از رخدادهای بازتابی به کمک تفاوت میزان انحنای امواج آنها، تصویرسازی لرزه‌ای تنها با استفاده از پراش‌ها را ممکن ساختند.

در این پایان نامه تقویت هر چه بهتر امواج پراش در روش CRS CO مورد نظر می‌باشد. این روش جدید برانبارش سطح پراش مشترک در دورافت مشترک<sup>۲</sup> نامیده می‌شود.

---

<sup>1</sup> Double-Square-Root Traveltime Move-out

<sup>2</sup> Common Offset Common Diffraction Surface (CO CDS)

## ۲-۱ ساختار پایان نامه

ساختار پایان نامه در چهار فصل به شرح زیر می باشد:

در فصل دو به بررسی روش مرسوم برانبارش NMO/DMO/Stack، ZO CRS، CO CRS، تفاوت-ها و شباهت های این روش ها پرداخته می شود. سپس پیاده سازی روش CO CRS مورد بحث قرار می گیرد و برای این منظور از روش ZO CRS کمک گرفته می شود. در ادامه این فصل نیز توضیح مختصری در مورد کوچ ارائه خواهد شد.

در فصل سوم امواج پراش معرفی شده و تاریخچه مختصری از روش هایی که سعی بر استفاده از این امواج دارند، بیان می گردد. در ادامه به نحوه ی استفاده از پراش ها در روش CO CRS و به دست آوردن معادله ای جدید CO CDS اختصاص می یابد. در پایان این فصل استراتژی حل برمبنای زاویه برای روش CO CDS شرح داده خواهد شد.

فصل چهار به پردازش با روش های فوق بر روی داده مصنوعی Sigsbee 2A و یک خط لرزه ای واقعی از منطقه گرگان که دارای ساختارهای گل فشان مانند می باشد، اختصاص خواهد یافت.

فصل پنج نیز در بردارنده نتایج و پیشنهادات در راستای این پایان نامه می باشد.



## فصل دوم

### پیش‌زمینه نظری

## ۱-۲ روش مرسوم برانبارش: نقطه میانی مشترک<sup>۱</sup>

در برداشت لرزه‌ای دو بعدی، چشمه‌ها و گیرنده‌ها در یک خط برداشت قرار گرفته، داده‌ها به صورت رکوردهای چشمه مشترک برداشت و سپس به رکورد نقطه میانی مرتب می‌شوند (Yilmaz, 2001). فاصله میان یک گیرنده و چشمه دورافت نامیده می‌شود و معمولاً در پردازش مقدار نیم دورافت  $h=(X_G-X_S)/2$  مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در یک محیط با لایه بندی افقی و سرعت ثابت، بازتاب‌ها، کل سطح یک بازتابنده را در رکورد چشمه مشترک (CS) پوشش می‌دهند (تصویر ۱-۲-الف). یک رکورد CMP شامل تمامی پرتوهایی است که همه یک نقطه از بازتابنده را مشخص می‌کنند (تصویر ۱-۲-ب)، در حالی که دورافت متفاوتی دارند. بنابراین یک رکورد CMP شامل اطلاعات اضافی تکراری از یک نقطه می‌باشد. این پایه ایده‌ی روش برانبارش CMP است (Mayne, 1962). از آنجا که ردلرزه‌های دورافت‌های متفاوت شامل اطلاعات نقطه‌ای مشترک از یک بازتابنده‌ی افقی هستند، اطلاعات اضافی تکراری را می‌توان به صورت سازنده جمع کرد تا یک مقطع برانبارش با نسبت سیگنال به نوفه‌ی بیشتری به دست آورد.

در یک رکورد CMP، رخداد‌های بازتابی به صورت مجموعه‌ای از پاسخ‌های زمانی در طول یک منحنی برونراند ظاهر می‌شوند (Yilmaz, 2001). برانبارش معمول CMP شامل جمع کردن بازتاب‌های اولیه در طول منحنی برونراند محاسبه شده، که بهترین تخمین از بازتاب‌های واقعی منحنی‌های زمان سیر است، می‌باشد. برای دورافت‌های کوچک منحنی‌های زمان سیر توسط یک فرمول هذلولی تخمین زده می‌شود (Hubral and Krey, 1980):

$$t^2(h, V_{NMO}) = t_0^2 + \frac{4h^2}{V_{NMO}^2} \quad (۱-۲)$$

---

<sup>1</sup>Common midpoint (CMP) stack

در این معادله  $t$  زمان انتشار موج از چشمه به گیرنده،  $t_0$  زمان رسید دورافت صفر، یعنی زمان رسید اندازه گیری شده برای چشمه و گیرنده منطبق بر هم ( $h=0$ ) و  $V_{NMO}$  سرعت برونراند (یا NMO) می‌باشد. برای یک لایه شیب‌دار سرعت NMO توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{NMO} = \frac{V}{\cos\phi} \quad (2-2)$$

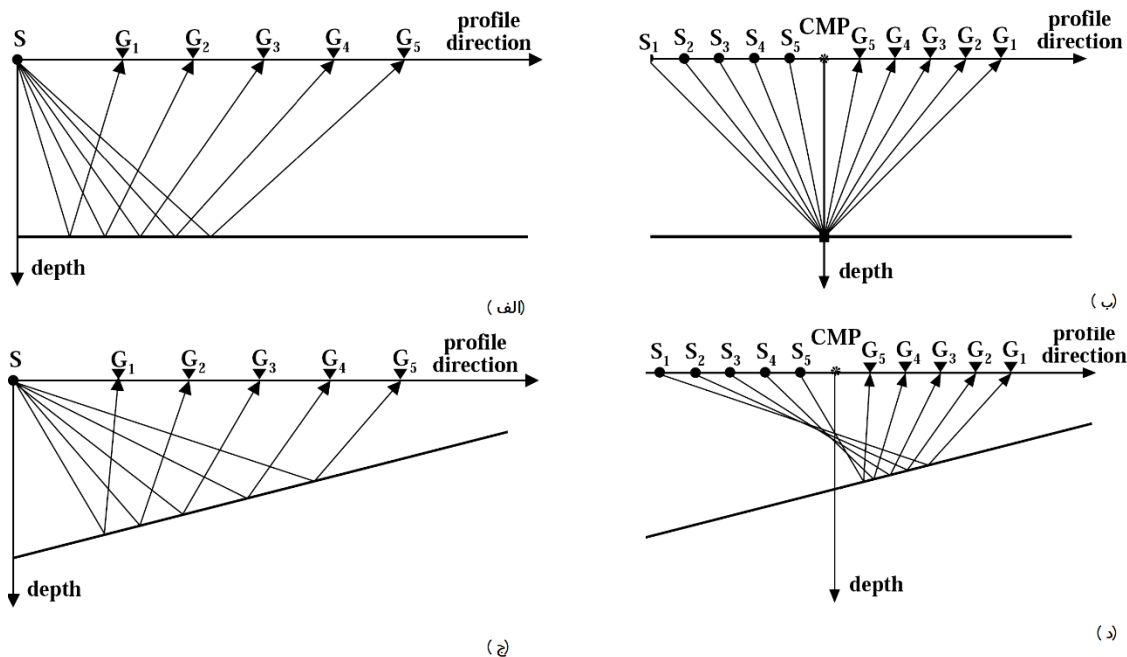
$V$  سرعت لایه و  $\phi$  زاویه شیب بازتابنده است. برای چندین لایه با شیب‌های متفاوت تعریف سرعت NMO پیچیده‌تر می‌شود. این پیچیدگی به پارامترهای مدل مانند مکان بازتابنده‌ها و سرعت‌های درون لایه وابسته است.

تخمین هذلولی به‌دست آمده از معادله (۱-۲) برای به‌دست آوردن بهترین نتیجه برانبارش باید اینگونه تغییر کند:

$$t^2(h, V_{st}) = t_{0st}^2 + \frac{4h^2}{V_{st}^2} \quad (3-2)$$

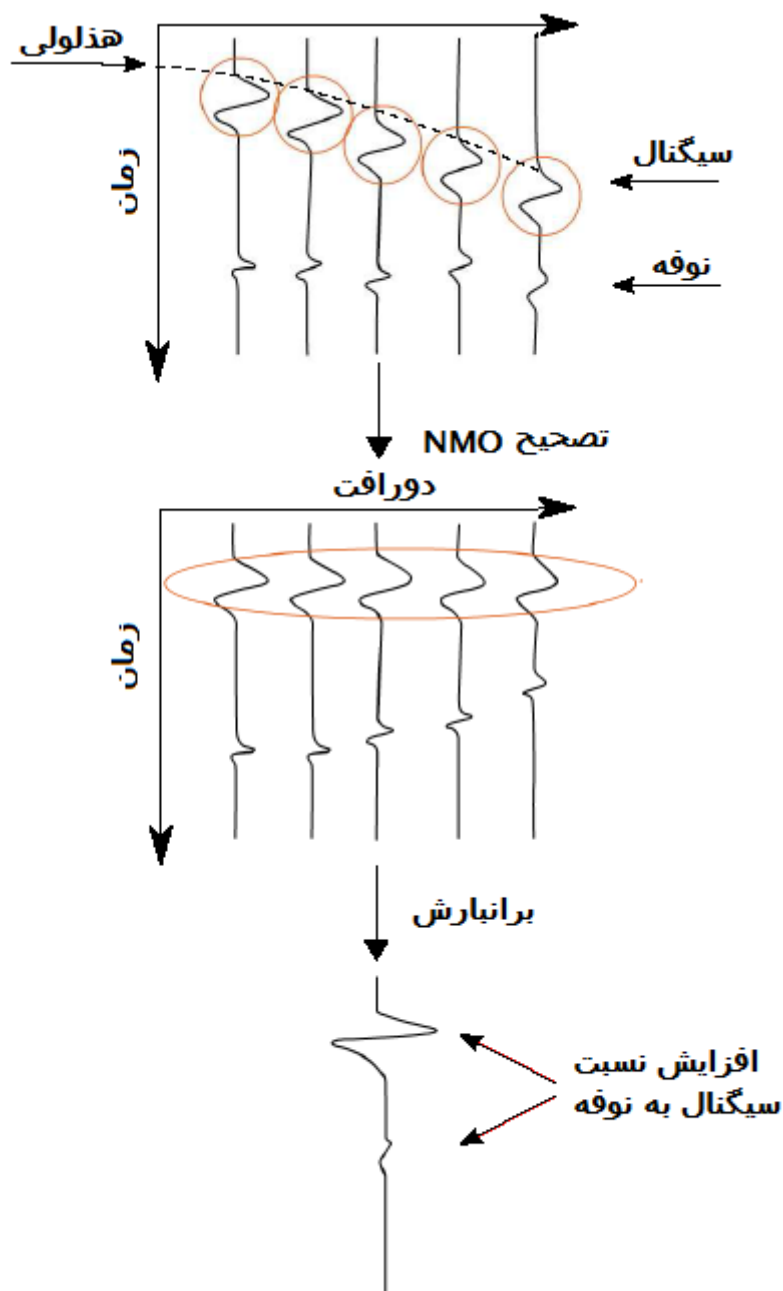
در این معادله،  $V_{st}$  سرعت برانبارش است که امکان تطبیق دادن هرچه بهتر خط سیر زمان رسید را روی رکورد CMP فراهم می‌کند (Yilmaz, 2001). هذلولی بهینه برانبارش توصیف شده با معادله (۳-۲) لزوماً همان هذلولی معادله (۱-۲) نیست. زمان دوطرفه  $t_{0st}$  همراه با بهترین هذلولی برارش شده می‌تواند متفاوت از زمان دورافت صفر دو طرفه در معادله (۱-۲) باشد. اختلاف سرعت برانبارش و سرعت NMO انحراف طول گسترش<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (Hubral and Krey, 1980). با توجه به معادله (۱-۲) و معادله (۳-۲) نتیجه می‌شود که هرچه نیم دورافت  $h$  کوچکتر باشد اختلاف بین  $V_{st}$  و  $V_{NMO}$  کمتر است. در عمل، وقتی به سرعت برانبارش رجوع می‌شود، این سرعت توسط سرعت NMO در هذلولی معادله (۱-۲) تخمین زده می‌شود.

<sup>3</sup> Spread-length bias



تصویر ۱-۲: هندسه لرزه نگاری بازتابی. الف) تصویر یک رکورد چشمه مشترک و نقطه میانی برای یک پروفیل را نشان می‌دهد. برای یک مدل همگن و با لایه های افقی، تمام پرتوها در رکورد CMP از یک نقطه عمقی با زوایای مختلف بازتاب می‌شوند. ب) اگر یک چشمه و گیرنده منطبق بر هم در هندسه برداشت وجود داشته باشد، یک رکورد CMP شامل پرتو ای با دورافت صفر منشا گرفته از همان یک جفت چشمه و گیرنده در محل CMP خواهد بود. ج) تصویر یک رکورد چشمه مشترک و نقطه میانی برای یک بازتابنده شیب دار. د) در یک مدل با بازتابنده شیب دار رکورد CMP دارای پرتوهایی است که از نقاط مختلفی از روی بازتابنده منعکس شده‌اند (Baykulov and Gajewski, 2009).

در برانبارش CMP ابتدا باید تصحیح NMO بر روی داده‌های لرزه‌ای انجام شود. تصحیح NMO انتقال زمان رسید دورافت های غیر صفر  $t$  به زمان رسید دورافت صفر  $t_0$  است. منحنی هذلولی زمان-سیر در معادله (۱-۲) تنها به یک پارامتر مجهول یعنی  $V_{NMO}$  وابسته است. الگوریتم های آنالیز سرعت امکان تخمین این سرعت را از داده‌های ثبت شده بدون هیچ اطلاعات اولیه فراهم می‌کنند. در یک آنالیز استاندارد سرعت، تصحیح NMO بر روی رکورد CMP با چندین مقدار سرعت در یک محدوده انجام شده و سرعتی به دست می‌آید که بهترین برازش برونراند برای رخداد باشد. بعد از انجام تصحیح NMO با بهترین سرعت برانبارش، رکوردهای CMP تبدیل به خط مستقیم شده و می‌توانند جمع شوند تا یک ردلرزه دورافت صفر در یک مقطع برانبارش CMP تولید کنند (تصویر ۲-۲).



تصویر ۲-۲: روش برانبارش CMP. یک الگوریتم آنالیز سرعت برانبارش استفاده شده تا بهترین هذلولی های منطبق شده در CMP های نمونه برای رخداد بازتابی مشخص شوند. سپس، تصحیح NMO بر روی ردلرزه ها انجام شده و بازتاب ها به خط می شوند. مجموع ردلرزه ها یک ردلرزه برانبارش شده می دهد که در آن سیگنال بهبود و نوفه کاهش، یعنی نسبت سیگنال به نوفه افزایش یافته است (Baykulov and Gajewski, 2009).

اگر هندسه زیر سطح پیچیده باشد، سرعت بهینه برانبارش به شکل بازتابنده‌ها وابسته خواهد بود. تصویر (۱-۲ ج) و تصویر (۲-۱ د) مثالی از لایه شیبدار با سرعت ثابت را نشان می‌دهند. جفت گیرنده و چشمه (تصویر ۲-۱ د) نقطه میانی‌ای دارند که مانند نقطه بازتاب مشترک تصویر (۲-۱ ب) نمی‌باشد. نقاط بازتاب متفاوت بوده و این نقاط با افزایش دورافت به سمت بالای شیب انتقال داده شده و در طول بازتابنده توزیع می‌شوند. بنابراین، برانبارش CMP شامل انرژی‌هایی خواهد بود که از نقاط مختلف زیر سطح زمین منشا گرفته‌اند و کیفیت برانبارش کاهش می‌یابد (Yilmaz, 2001). این اثر در مقاطع زمان معمولاً با فرایند DMO اصلاح می‌شود. نهایتاً، تکنیک‌های برانبارش چند پارامتری در سال‌های اخیر توسعه داده شده‌اند که می‌توانند برای برانبارش زمانی بهتر در لایه‌های شیبدار مورد استفاده قرار گیرند.

در این پایان‌نامه از دو روش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک (CO CRS) و روش توسعه یافته‌ی آن، سطح پراش مشترک با دورافت مشترک (CO CDS) برای به‌دست آوردن مقاطع زمان از نواحی با زمین‌شناسی پیچیده استفاده شده است. این روش‌ها خود نیز توسعه یافته‌ی روش ZO CRS می‌باشند.

## ۲-۲ برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت صفر<sup>۱</sup>

روش CRS یک روش برانبارش چند پارامتری است. سطح برانبارش ZO CRS را می‌توان با استفاده از تقریب بازتابنده واقعی زیرسطح زمین محاسبه کرد. این تقریب با یک عنصر بازتابنده که به صورت محلی انحنایی به اندازه انحنای بازتابنده واقعی دارد، انجام می‌شود. زمان رسید  $t$  رخداد انعکاسی با سه پارامتر  $\alpha$ ،  $R_N$  و  $R_{NIP}$  در یک معادله هذلولی به شکل زیر توصیف می‌شود (Mann, 2001):

---

<sup>۱</sup> معادله زمان سیر ZO CRS و CO CRS از بسط تئوری پرتو بدست می‌آیند. اثبات این معادلات بسیار پیچیده بوده و از حوصله یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد خارج می‌باشد. اثبات این معادلات در منابعی مانند (Bergler, 2001) وجود دارد، لذا در این پایان‌نامه فقط به استفاده از خود معادله بسنده شده است.

$$t^2(x_m, h) = \left(t_0 + \frac{2\sin\alpha}{V_0} m\right)^2 + \frac{2t\cos^2\alpha}{V_0} \left(\frac{m^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}}\right) \quad (4-2)$$

در این معادله  $h$  نیم‌دورافت،  $x_m$  فاصله نقطه میانی نسبت به موقعیت CMP مورد نظر،  $t_0$  زمان رسید دوطرفه دورافت صفر و  $P=(\alpha, R_{NIP}, R_N)$  شکل سطح برانبارش را معین می‌کند.

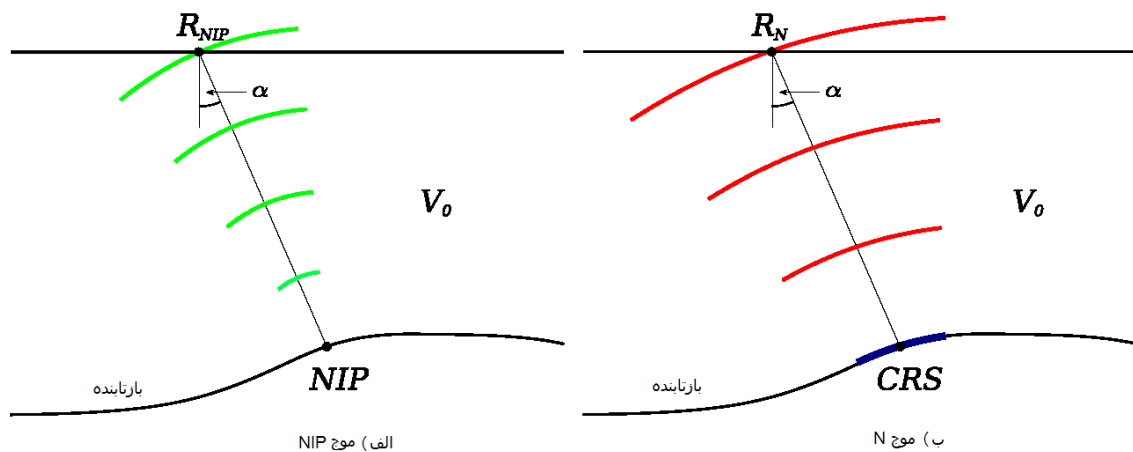
در معادله (۴-۲)،  $\alpha$  زاویه خروج پرتو  $ZO$ ،  $V_0$  سرعت ثابت برای نزدیک سطح<sup>۱</sup> که باید از قبل معلوم باشد،  $R_N$  و  $R_{NIP}$  به ترتیب شعاع انحنا موج عمود<sup>۲</sup> ( $N$ ) و شعاع انحنا موج عمود در نقطه ورود<sup>۳</sup> ( $NIP$ ) می‌باشند. امواج  $N$  و  $NIP$  توسط دو آزمایش فرضی تولید می‌شوند (Hubral, 1938). موج  $NIP$  موجی است که از یک نقطه چشمه فرضی بر روی بازتابنده به سمت سطح انتشار می‌یابد. موج  $N$  نیز از تعداد زیادی چشمه‌های فرضی قرار گرفته بر روی بازتابنده تولید می‌شود که در آن مجموعه‌ای از چشمه‌های نقطه‌ای که سطح اطراف نقطه ورود عمود ( $NIP$ ) پرتوی مرکزی را پوشانده، به طور همزمان منفجر می‌شوند. شعاع موج  $NIP$  که با  $R_{NIP}$  نمایش داده می‌شود، می‌تواند به فاصله عنصر بازتابنده از سطح دریافت موج مربوط باشد، و شعاع موج نرمال که با  $R_N$  بیان می‌شود، بیانگر میزان انحنای سطح بازتابنده است. اگر چه، برای ساختارهای پیچیده زمین شناسی، عمق واقعی و انحنای عنصر بازتابنده به صورت چشمگیری با مقادیر اندازه‌گیری شده  $R_{NIP}$  و  $R_N$  اختلاف دارد. موقعیت درست بازتابنده‌ها فقط با انجام مدل سازی معکوس لرزه‌ای، برای مثال توموگرافی موج  $NIP$  که توسط Duveneck(2004) به کار گرفته شد، قابل بازسازی است. از این نقطه نظر، پارامترهای  $(\alpha, R_N, R_{NIP})$  ویژگی‌های جنبشی دو موج فرضی را توصیف می‌کنند و اغلب به عنوان نشانگرهای جنبشی میدان موج یاد می‌شوند. برانبارش CRS تمام دامنه‌ی ردلرزه‌ها در سطح CRS محاسبه شده را جمع می‌کند و نتیجه این جمع شدن را به زمان رسید دورافت صفر ردلرزه برانبارش شده مورد نظر اختصاص می‌دهد. بسته به حداکثر فاصله نقطه میانی،  $m$  از محل CMP مورد نظر، سطح برانبارش

<sup>1</sup> Near surface

<sup>2</sup> Normal wave

<sup>3</sup> Normal-incident-point

CRS شامل تعداد بسیار بیشتری ردلرزه نسبت به برانبارش معمول CMP خواهد بود. محل  $m$  برای وضوح جانبی در پردازش‌های بعدی مهم است. اندازه اولین زون فرنل که از تقاطع اولین حجم فرنل با بازتابنده به دست می‌آید، راهنمای خوبی برای تعیین محل  $m$  است. محل  $m$  به عنوان گسترش جانبی عملگر برانبارش تفسیر می‌شود (Mann, 2001). طول اولین زون فرنل را می‌توان به کمک پارامترهای CRS تعیین کرد. اگر چه پارامترهای CRS داده‌های لرزه نگاری انعکاسی در ابتدا نامعلوم هستند. بنابراین، حدس اولیه برای طول بازه<sup>۱</sup> معمولاً با اطلاعات زمین شناسی موجود و با تجربه ژئوفیزیکدان تعیین می‌شود.



تصویر ۲-۳: تفسیر فیزیکی پارامترهای برانبارش CRS برای یک مدل با سرعت ثابت. زاویه خروج،  $\alpha$ ، جهت زاویه‌ای CRS (رنگ آبی) را تعریف می‌کند. شعاع انحنای موج NIP (الف) فاصله NIP تا سطح را می‌دهد و شعاع انحنای موج N معیاری برای انحنای CRS می‌باشد (Mann, 2001).

کیفیت داده‌های لرزه نگاری بازتابی برای پردازش بسیار ضروری است. این مهم به عواملی نظیر توپوگرافی سطح، پیچیدگی ساختار زیر سطحی و تکنولوژی تجهیزات حین برداشت وابسته می‌باشد. وجود عوامل انسانی و طبیعت نیز در این اندازه گیری‌ها تاثیرگذار هستند (Stolt, 2002). ناهمگنی در زیر سطح زمین، ساختارهای گسلی و تباین سرعت زیاد مثل نواحی دارای گنبد نمکی منجر به کاهش نسبت سیگنال به نوفه می‌شود. تکنولوژی‌های استاندارد حوزه زمان برای کاهش نوفه مانند

<sup>1</sup> Aperture

برانبارش ZO CRS برای این گونه داده‌ها که در آن اساساً تخمین یک هذلولی ساده و کلی<sup>۱</sup> کاملاً نقض می‌شود، دیگر کفایت نمی‌کند.

این گونه محدودیت‌ها با توسعه تکنولوژی CRS که برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک (CO CRS) نامیده می‌شود، رفع شده‌اند. این روش امکان بهبود داده‌های پیش از برانبارش را با منظم سازی<sup>۲</sup> و افزایش نسبت سیگنال به نوفه میسر می‌سازد. مورد اول بر اساس فرض هذلولی محلی می‌باشد که سطح بالاتری از دقت ساختاری را فراهم کرده و کاربرد این روش را برای داده‌های با ساختار پیچیده توسعه داده است. رکوردهای CDP بهبود یافته، ورودی بهتری برای کوچ زمانی و عمقی قبل از برانبارش فراهم کرده و می‌تواند برای تسهیل ساختن یا بروز رسانی مدل سرعت به کار رود.

## ۲-۳ برانبارش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک

روش سطح بازتاب مشترک با دورافت مشترک ابتدا توسط [Zhang et al.\(2001\)](#) برای شبیه سازی مقاطع دورافت مشترک با نسبت سیگنال به نوفه بهبود یافته معرفی شد. پتانسیل روش CO CRS برای منظم سازی و بهبود داده‌های پیش از برانبارش ابتدا توسط [Mueller et al.\(2010\)](#) ارائه گردید و [Baykulov et al.\(2009\)](#) برتری این روش در بهبود داده‌های پیش از برانبارش نسبت به روش ZO CRS برای داده‌های حاوی برونزنده‌های غیر هذلولی را نشان داد. در واقع روش CO CRS در مواردی که بازتابنده‌ها دارای شکستگی زیاد و یا شعاع انحنای اندک بوده و در تصویر سازی‌های ساده با استفاده از کوچ پرتوهای عمودی با مشکل روبرو هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا این روش برانبارش می‌تواند به طور کامل از تمام اطلاعات دورافت‌های طولانی برای تصویر سازی ساختارهای پیچیده زیرسطحی استفاده کند.

---

<sup>1</sup> Global

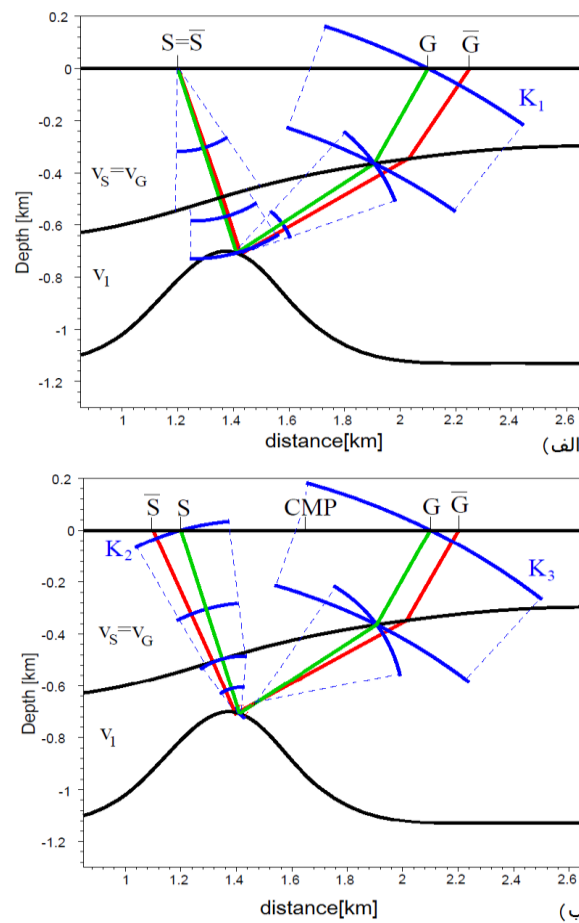
<sup>2</sup> Regularization

معادله هذلولی چند پارامتری این روش در سیستم مختصات نقطه میانی  $x_m$  و نیم دورافت  $h$  این

گونه بیان می شود (Bergler, 2001):

$$\begin{aligned}
 t^2(\Delta x_m, \Delta h) = & \left( t_0 + \left( \frac{\sin \beta_G}{V_G} + \frac{\sin \beta_s}{V_s} \right) \Delta x_m + \left( \frac{\sin \beta_G}{V_G} - \frac{\sin \beta_s}{V_s} \right) \Delta h \right)^2 + \\
 & 2t_0 \left[ \Delta x_m \left( k_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{V_G} + K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} \right) \Delta h + \right. \\
 & \frac{1}{2} \Delta x_m \left( (4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2 \beta_G}{V_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} \right) \Delta x_m + \\
 & \left. \frac{1}{2} \Delta h \left( k_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{V_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} \right) \Delta h \right]
 \end{aligned} \quad (5-2)$$

در این معادله  $t_0$  زمان رسید در طول پرتو مرکزی می باشد.  $V_s$  و  $V_G$  به ترتیب سرعت نزدیک سطح در محل چشمه  $S$  و گیرنده  $G$  هستند. پنج پارامتر  $\beta_s, \beta_G, k_1, k_2$  و  $k_3$  نشانگرهای میدان موج هستند و به پرتو مرکزی مربوط می شوند. این پارامترها در تصویر ۲-۴ توضیح داده شده اند. در هر دو قسمت این شکل پرتو مرکزی (رنگ سبز) در محیط با سه لایه همگن، یکسان است. پرتو مرکزی نقطه چشمه  $S$  را به نقطه گیرنده  $G$  متصل می کند.  $\beta_s$  و  $\beta_G$  به ترتیب زاویه ورود و خروج پرتو مرکزی نسبت به خط عمود بر صفحه برای  $S$  و  $G$  است.  $k_1$  انحنای جبهه موجی در گیرنده است که از چشمه منشأ گرفته و در طول پرتو مرکزی انتشار یافته است (آزمون چشمه مشترک (CS) در تصویر ۲-۴-الف).  $K_2$  انحنای جبهه موج اولیه در چشمه در آزمون فرضی CMP است که در تصویر ۲-۴-ب مشخص می باشد.  $K_3$  بیانگر جبهه موج فرضی CMP در  $G$  است که از  $S$  با انحنای جبهه موج  $k_2$  شروع شده و در طول پرتو مرکزی سیر می کند. امواج انتشار یافته در طول پرتو مرکزی در تصویر ۲-۴ می تواند هر نوع موج، برای مثال امواج  $P-P$  یا  $S-S$  و یا امواج تبدیل شده  $P-S$  یا  $S-P$  باشد. بنابراین پنج پارامتر عملگر CO CRS می تواند از امواج تبدیل شده نیز استفاده کند.



تصویر ۲-۴: شعاع میدان موج در طول پرتو مرکزی برای لحظات مختلف از زمان. الف) آزمایش چشمه مشترک و ب) آزمایش نقطه میانی مشترک (Bergler, 2001).

## ۲-۴ تفاوت‌های روش‌های بیان شده

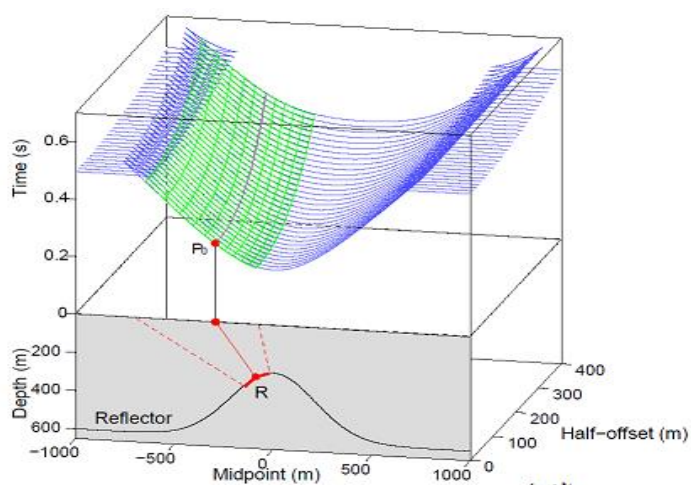
روش CO CRS مانند نمونه اولیه ZO CRS، یک تکنیک تصویر سازی داده محور می‌باشد. هر دو روش بر پایه معادله‌ی زمان رسید چند پارامتری در مختصات نقطه‌میانی-دورافت هستند که یک عملگر برانبارش در حوزه داده‌ها تعریف می‌کنند. به دلیل تعداد زیاد ردلرزه شرکت کننده در فرایند برانبارش، نسبت سیگنال به نوفه و پیوستگی رخداد به صورت چشمگیری نسبت به روش معمول NMO/DMO/Stack افزایش می‌یابد.

عملگر روش برانبارش ZO CRS تصحیح برونراندکلی هذلولی را برای تمام محدوده دورافت تهیه

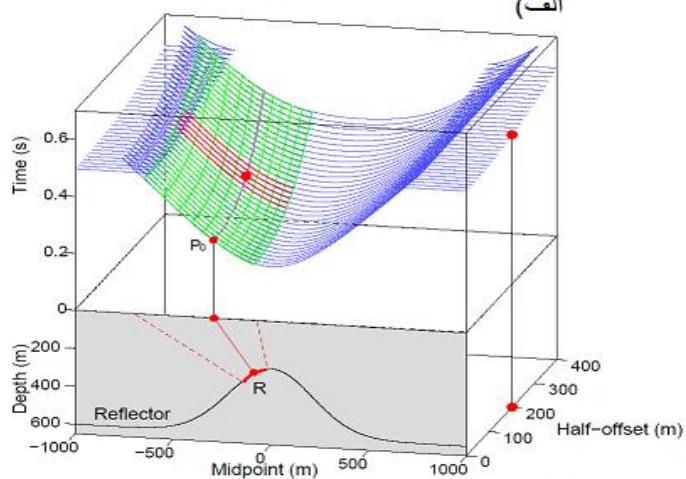
می‌کند. این درحالی است که عملگر روش برانبارش CO CRS می‌تواند به صورت محلی در محدوده دورافت به کار رود و اگر این کار به صورت مکرر برای تمام دورافت‌های مدنظر انجام پذیرد، یک مجموعه داده پیش از برانبارش بهبود یافته و منظم شده تولید خواهد کرد. این دو عملگر با عملگر NMO/DMO در تصویر ۲-۵ مقایسه شده‌اند. در این تصاویر خطوط آبی رنگ، منحنی‌های زمان‌سیر بازتابی متناظر با ساختار گنبد مانند و برای تمام نقاط میانی می‌باشد. در توالی مرسوم NMO/DMO/Stack، فرایند جمع شدن رخدادها بر روی پاسخ عملگر برانبارش در حوزه عمق که همان ایزوکرون دورافت صفر (عملگر مهاجرت به دورافت صفر) انجام می‌شود. با توجه به تصویر ۲-۵-ج، این عملگر تطبیق مناسبی با سطح زمان‌رسید دورافت مشترک (سطح آبی رنگ) فراهم نمی‌کند. عملگر ZO CRS تطبیق مکانی قابل قبولی بین عملگر و سطح آبی رنگ برای پاسخ‌های بازتابی در اطراف نقطه  $P_0$ ، که متناظر با نقاط موجود بر روی بازتابنده و اطراف نقطه R می‌باشند، ایجاد می‌کند. چون این جمع زنی برای کل محدوده دورافت انجام می‌گیرد، لذا می‌توان این عملگر را یک تخمین کلی در نظر گرفت.

در عملگر برانبارش CO CRS، پارامترهای برانبارش برای هر نقطه در حوزه دورافت به صورت مستقل تعیین می‌شوند. بنابراین، این روش را می‌توان یک تخمینگر محلی در نظر گرفت. استفاده از بازه‌های برانبارش تقریباً کوچک، که مجموع عرض آنها برابر با تمام محدوده دورافت می‌باشد، این رفتار محلی را شدت می‌بخشد.

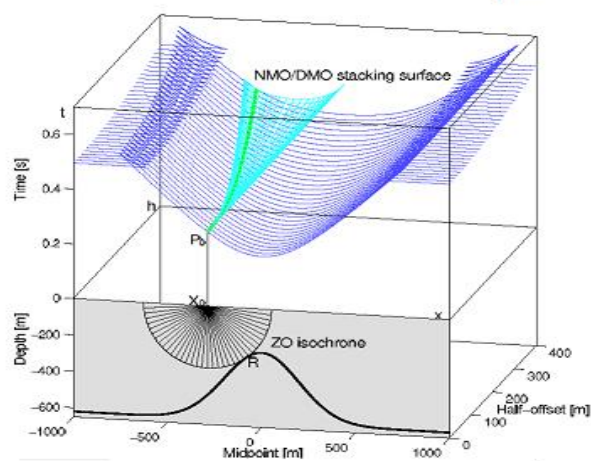
تخمین زمان‌رسید موج در معادله زمان سیر CO CRS برای اغلب مسایل عمومی سه بعدی با کمک ۱۴ پارامتر تعیین می‌شود (برای حالت ZO CRS این تعداد به ۸ تقلیل می‌یابد) و در مسائل دو بعدی به ۵ پارامتر کاهش می‌یابد (برای حالت دو بعدی ZO CRS این تعداد به ۳ پارامتر برانبارش می‌رسد).



(الف)



(ب)

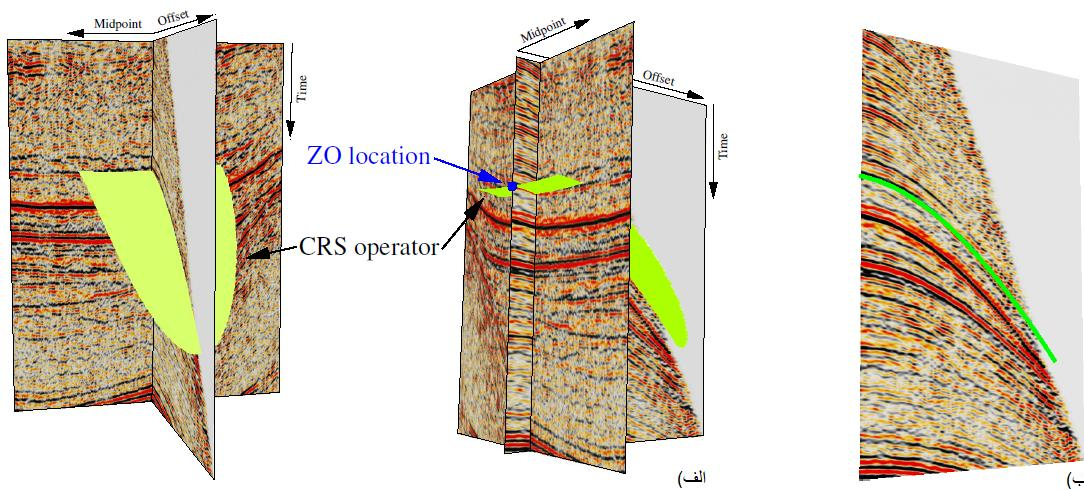


(ج)

تصویر ۲-۵: مقایسه زمان رسید عملگرهای زمان سیر در حوزه نقطه میانی-دورافت برای (الف) ZO CRS، (ب) CO CRS و (د) NMO+DMO. منحنی های آبی بیانگر منحنی زمان رسید بازتابی برای بازتابنده گتبدی می باشد. خط سبز نشان دهنده عملگر ZO CRS و مهاجرت به دور افت صفر (MZO) در شکل پایین می باشد. عملگر CO CRS با رنگ قرمز نشان داده شده است (Spinner et al., 2012).

تصویر ۶-۲ الف نمای متفاوتی از عملگر برانبارش ZO CRS برای یک داده‌ی واقعی نشان می‌دهد. داده‌ی پیش از برانبارش توسط رکورد CMP مرکزی و یک مقطع برانبارش نشان داده شده است. در اینجا عملگر ZO CRS از یک بازه بیضی متقارن در صفحه‌ی دورافت-نقطه میانی استفاده می‌کند. در محل ZO مورد نظر برای شبیه‌سازی، رخداد بازتابی انتخاب شده تقریباً افقی است و انحنای آن ناچیز می‌باشد. برای مقایسه، تصویر ۶-۲ ب عملگر برانبارش معمول را نشان می‌دهد که به رکورد CMP مرکزی محدود شده است. کاملاً مشخص است که عملگر روش معمول جزئی از عملگر برانبارش CRS می‌باشد.

یک جنبه مهم روش CO CRS توانایی این روش در استفاده از امواج تبدیل شده علاوه بر امواج تبدیل نشده در تصویر سازی است.



تصویر ۶-۲ الف) دو نمای متفاوت از عملگر برانبارش CRS برای یک نقطه ZO انتخاب شده. ب) عملگر برانبارش معمول که فقط به رکورد CMP مرکزی محدود شده است. به دلیل تعداد زیاد ردلرزه برانبارش شده در برانبارش CRS، نسبت سیگنال به نوفه افزایش می‌یابد (Schleicher, 2007).

## ۲-۵ حل معادله CRS

در این بخش تعمیم روش برانبارش CRS به روش CO CRS بررسی می‌شود. هدف از انجام برانبارش CO CRS انتقال اطلاعات لرزه‌ای دارای هم‌پوشانی قبل از برانبارش یک مدل دو بعدی به یک مقطع دورافت مشترک مشخص می‌باشد. این روش تمام برتری‌های روش ZO CRS را در بر دارد. بدین معنی که پنج پارامتر عملگر CO CRS مستقل از مدل سرعت است و به صورت کاملاً خودکار توسط آنالیز همدوسی<sup>۱</sup> به دست می‌آید. پارامتردهی عملگر براساس یک مدل با سطحی منحنی می‌باشد، بنابراین رخداد بازتابی در داده‌های پیش از برانبارش بسیار عالی تطبیق داده می‌شود. همچنین عملگر برانبارش CO CRS از تمام داده‌های پیش از برانبارش طی فرایند تصویر سازی استفاده می‌کند.

پیاده سازی برانبارش CO CRS برای اولین بار توسط [Bergler \(2001\)](#) بر اساس تجربیات به دست آمده طی پیاده سازی ZO CRS انجام شد. برای بیان این پیاده سازی ابتدا به صورت خلاصه نحوه ی - حل معادله ZO CRS توضیح داده شده و پس از آن روش CO CRS آورده می‌شود.

## ۲-۵-۱ برانبارش ZO CRS

عملگر برانبارش ZO CRS که در فصل پیش نیز بدان اشاره شد بیانگر زمانرسید هذلولی در حالت دورافت-صفر است. برای انجام برانبارش ZO CRS برای هر نمونه  $(t_0, x_0)$  در مقطع برانبارش، یعنی شبیه سازی مقطع ZO، نیاز به تعیین سطح برانبارش متناظر با معادله (۲-۴) است. مقادیر بهینه سه پارامتر میدان موج که عملگر برانبارش ZO CRS را مشخص می‌کنند به کمک آنالیز همدوسی از بین صدها مقدار شبیه سازی شده، تعیین می‌شوند. در این راستا، به منظور پرهیز از جستجوی بسیار زمان بر همزمان سه پارامتر، [Muller \(1999\)](#) و [Mann \(2001\)](#) پیشنهاد کردند که جستجو به سه جستجوی تک پارامتری تقسیم شود. در ابتدا جستجو در زیر فضای تقاطع عملگر برانبارش معادله (۲-۴) با

---

<sup>1</sup> Coherency

صفحه  $x_m = x_0$  یعنی رکورد CMP انجام می‌شود (Bergler, 2001) :

$$t^2(h) = (t_0)^2 + 2t_0 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} k_{NIP} h^2 \quad (۶-۲)$$

با قرار دادن رابطه زیر در معادله ((۶-۲):

$$V_{NMO}^2 = \frac{2v_s}{t_0 \cos^2 \beta_s K_{NIP}} \quad (۷-۲)$$

معادله شناخته شده NMO به دست می‌آید.

$$T^2(h) = (t_0)^2 + \frac{4h^2}{V_{NMO}^2} \quad (۸-۲)$$

با این معادله یک جستجوی تک پارامتری در رکورد CMP برای جستجوی  $V_{NMO}$  انجام می‌شود. بدلیل شباهت این معادله Mann (2001) این مرحله را برانبارش خودکار CMP نام نهاد.

مرحله‌ی بعدی جستجو در حوزه تقاطع عملگر برانبارش ZO CRS با صفحه مقطع دور افت صفر ( $h=0$ ) انجام می‌شود:

$$T_{ZO}^2(\Delta x_m) = \left( t_0 + \frac{2 \sin \beta_s}{V_0} m \right)^2 + \frac{2 t \cos^2 \beta_s}{V_0} (K_N \Delta x_m^2) \quad (۹-۲)$$

این معادله به دو پارامتر مستقل  $\beta_s$  و  $K_N$  وابسته است. Mann (2001) در اولین مرحله تخمین، فرض کرد که  $K_N=0$  است. این فرض بیانگر خروج امواج صفحه‌ای عمود در سطح می‌باشد. در نتیجه برای معادله (۹-۲) معادله زیر به دست می‌آید:

$$T_{ZO}(\Delta x_m) = t_0 + \frac{2 \sin \beta_s}{V_0} m \quad (۱۰-۲)$$

از یک جستجوی تک پارامتری در معادله (۲-۱۰) مقدار پارامتر  $\beta_s$  به دست می آید. حال با محاسبه مقادیر  $\beta_s$  و  $V_{NMO}$  در مرحله برانبارش خودکار CMP،  $K_{NIP}$  مطابق معادله (۲-۷) محاسبه می شود.

با معلوم بودن پارامتر  $\beta_s$ ، انجام یک جستجوی تک پارامتری در نتایج برانبارش خودکار CMP توسط معادله (۲-۹) امکان پذیر است. این فرایند سومین پارامتر  $K_N$  را مشخص می کند. هنگامی که مقدار سه پارامتر برای هر نمونه دورافت صفر  $(t_0, x_0)$  مشخص شد، می توان از این پارامتر ها جهت ایجاد عملگر عملیات برانبارش ZO CRS در معادله (۲-۴) استفاده کرد. هر گاه مقدار همدوسی در این برانبارش از یک مقدار آستانه بیشتر شود، [Mann \(2001\)](#) پیشنهاد می کند که بهینه سازی سه پارامتری برای افزایش دقت پارامترهای سه گانه انجام شود. از جمع کردن اطلاعات دارای همپوشانی در طول عملگر برانبارش تعیین شده، یک مقطع برانبارش بهینه ZO CRS به دست می دهد.

علاوه بر مقطع برانبارش ZO، سه مقطع خروجی دیگر نیز به دست می آید. هر یک از سه پارامتر مانند مقدار همدوسی در نمونه  $(t_0, x_0)$  مورد نظر موجود می باشد. از آنجا که این پارامترها معنای فیزیکی دارند، مقاطع پارامتر می توانند برای معکوس سازی دو بعدی مدل سرعت مورد استفاده قرار گیرند ([Majer, 2000](#)).

## ۲-۵-۲ روش برانبارش CO CRS

در مورد روش برانبارش CO CRS، فرمول هذلولی زمان رسید در معادله (۲-۵) به عنوان عملگر برانبارش معرفی شد. این معادله می تواند در حالت ماتریسی و نمادگذاری ماتریسی به صورت زیر نوشته شود ([Bergler, 2001](#)):

$$T^2 = (t_0 + a \cdot y)^2 + y \cdot by \quad (۲-۱۱)$$

$y = (\Delta x_m, \Delta h)^T$  بیانگر ماتریس مختصات دو مولفه ای می باشد. بردار  $a$  بردار دو مولفه ای مشتقات زمان رسید درجه اول نسبت به  $\Delta x_m$  و  $\Delta h$  در  $y = (0,0)^T$  و ماتریس  $b$  حاصل ضرب

ماتریس  $2 \times 2$  مشتقات درجه دوم زمان رسید از همان متغیر ها و در همان نقطه در  $t_0$  می باشد.

بردار  $a$  به زاویه  $\beta_s$  و  $\beta_g$  و ماتریس  $b$  به انحنای جبهه موج یعنی  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  وابسته هستند. در ادامه ۵ نشانگر میدان موج به پارامترهای برانبارش CRS CO ارجاع داده می شوند. به فرض اینکه پارامترهای صحیح برانبارش CRS CO برای شبیه سازی هر نمونه زمانی در مقطع CO مشخص شده باشند، در این صورت داده های پیش از برانبارش در طول سطح برانبارش مشخص شده با این پارامترها می توانند جمع شوند. سپس نتایج حاصل جمع به یک نمونه زمانی خاص CO نسبت داده می شود. چون در کل ساختار زیر سطح ناشناخته است، بنابراین پارامترهای صحیح برانبارش نیز نامعلوم هستند. در نتیجه قسمت عمده ای از رویه برانبارش به تعیین این پارامترها مربوط است.

در تئوری می توان استراتژی تعیین همزمان هر پنج پارامتر را برای هر نمونه زمانی CO دنبال کرد. هر مجموعه پارامتر یک سطح برانبارش در فضای  $x_m - h - t$  مشخص می کند. با انجام آنالیز همدوسی، سطح برانبارشی که بهترین تطبیق را با رخداد بازتابی دارد، مشخص می شود. اما Muller (1999) نشان داد حتی در حالت CRS ZO که تنها سه پارامتر برای برانبارش مشخص می شود، جستجوی همزمان تمام پارامترها بسیار زمان بر است.

بنابراین این جستجو به چند مرحله برای کاهش زمان محاسبات تقسیم می شود. برای یک نقطه  $(x_0, h_0, t_0)$  در مقطع CO، پنج پارامتر برانبارش تنها در طول انحنایی که جزئی از سطح سه بعدی برانبارش هستند، مشخص می شود. این انحناها با قطع دادن سطح برانبارش با رکورد CMP در  $x_0$ ، با رکورد CO در  $h_0$  و با رکورد CS یعنی در صفحه ای که  $x_m - x_0 = h - h_0$  به دست می آیند (تصویر ۲-۷). در این رکوردها عملگر برانبارش ساده شده و بردار  $a$  و ماتریس  $b$  تبدیل به اسکالر می شوند.

عملگر برانبارش در هر رکورد، ساختاری یکسان با معادله تک پارامتری مانند معادله زیر دارد

(Bergler, 2001):

$$T^2(y) = (t_0 + ay)^2 + yby \quad (12-2)$$

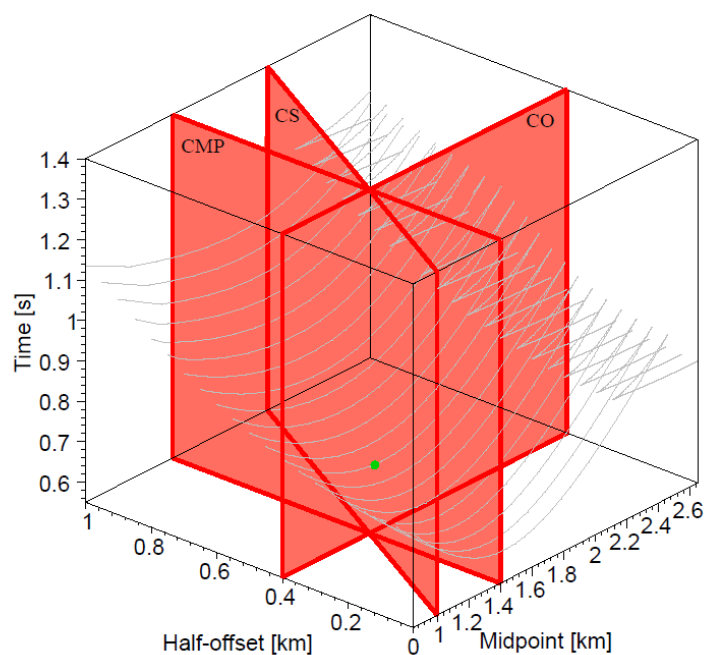
ضرایب  $a$  و  $b$  معنای مناسبی مانند متغیر  $y$  دارند.

با در دسترس بودن اطلاعات در وداشت CMP، CO و CS، Bergler (2001) استراتژی را پیشنهاد می‌کند که در ادامه آورده شده است. این استراتژی در تصویر ۸-۲ نیز نشان داده شده است.

## ۱-۲-۵-۲ برانبارش خودکار CMP

عملگر برانبارش CRS CO در حالت CMP به دو پارامتر  $a_{CMP}$  و  $b_{CMP}$  وابسته است. برای هر نمونه زمانی در محل هدف مقطع CO در حال شبیه سازی، مجموعه‌ای از ترکیبات ( $a_{CMP}$ ,  $b_{CMP}$ ) امتحان می‌شود. هر ترکیب یک هذلولی در رکورد CMP مشخص می‌کند که با داده‌های پیش از برانبارش مرتبط شده است. ترکیب پارامتر  $a_{CMP}$  و  $b_{CMP}$  که بیشترین مقدار همدوسی را دارد، ذخیره می‌شود. مجموع داده‌های پیش از برانبارش در طول به اصطلاح هذلولی در نمونه زمانی CO مورد نظر یک مقطع برانبارش CMP تولید می‌کند. این مرحله از پردازش، مانند برانبارش ZO CRS، برانبارش خودکار CMP نامیده می‌شود.

امکان انجام جستجوی جدا از هم پارامترهای  $a_{CMP}$  و  $b_{CMP}$  نیز وجود دارد. جستجوی برای  $a_{CMP}$  تنها این معنی را می‌دهد که مجموعه‌ای از مماس‌ها در داده‌های پیش از برانبارش مرتب شده در رکورد های CMP برای هر نمونه زمانی CO تطبیق داده می‌شود. در داده‌های با نوفه‌ی زیاد این رویه ممکن است جواب قابل قبولی به دست ندهد. از آنجا که جستجوی تک پارامتری بعدی برای  $b_{CMP}$  در مرحله بعد به مقدار  $a_{CMP}$  وابسته است، بنابراین در صورت وجود خطا در تعیین مقدار  $a_{CMP}$ ، مقدار پارامتر  $b_{CMP}$  نیز با خطا همراه خواهد بود. علاوه بر این انجام برانبارش خودکار با پارامترهای ناصحیح منجر به تهیه یک مقطع CO برانبارش CMP با کیفیتی ضعیف خواهد شد.



تصویر ۷-۲: ورداشت CMP، CO و CS در حجم داده‌های دارای همپوشانی. ورداشت‌ها انتخاب شده‌اند تا پنج پارامتر برانبارش متناظر با نقطه سبز رنگ مشخص شود (Bergler, 2001).

(i) برای ورداشت  $y = \Delta h$  CMP و:

$$a_{cmp} = \frac{\sin \beta_g}{V_g} - \frac{\sin \beta_s}{V_s} \quad (۱۳-۲ \text{ الف})$$

$$b_{cmp} = t_0 \left( k_3 \frac{\cos^2 \beta_g}{v_g} - k_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{v_s} \right) \quad (۱۳-۲ \text{ ب})$$

(ii) برای ورداشت  $y = \Delta x_m$  CO و:

$$a_{co} = \frac{\sin \beta_g}{V_g} + \frac{\sin \beta_s}{V_s} \quad (۱۴-۲ \text{ الف})$$

$$b_{co} = t_0 \left( (4k_1 - 3k_3) \frac{\cos^2 \beta_g}{v_g} - k_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{v_s} \right) \quad (۱۴-۲ \text{ ب})$$

(iii) برای ورداشت  $y = \Delta x_G = \Delta x_m + \Delta h$  CS و

$$a_{cs} = \frac{\sin \beta_g}{V_g}, \quad b_{cs} = t_0 \left( k_1 \frac{\cos^2 \beta_g}{v_g} \right) \quad (۱۵-۲)$$

## ۲-۵-۲ برانبارش CO

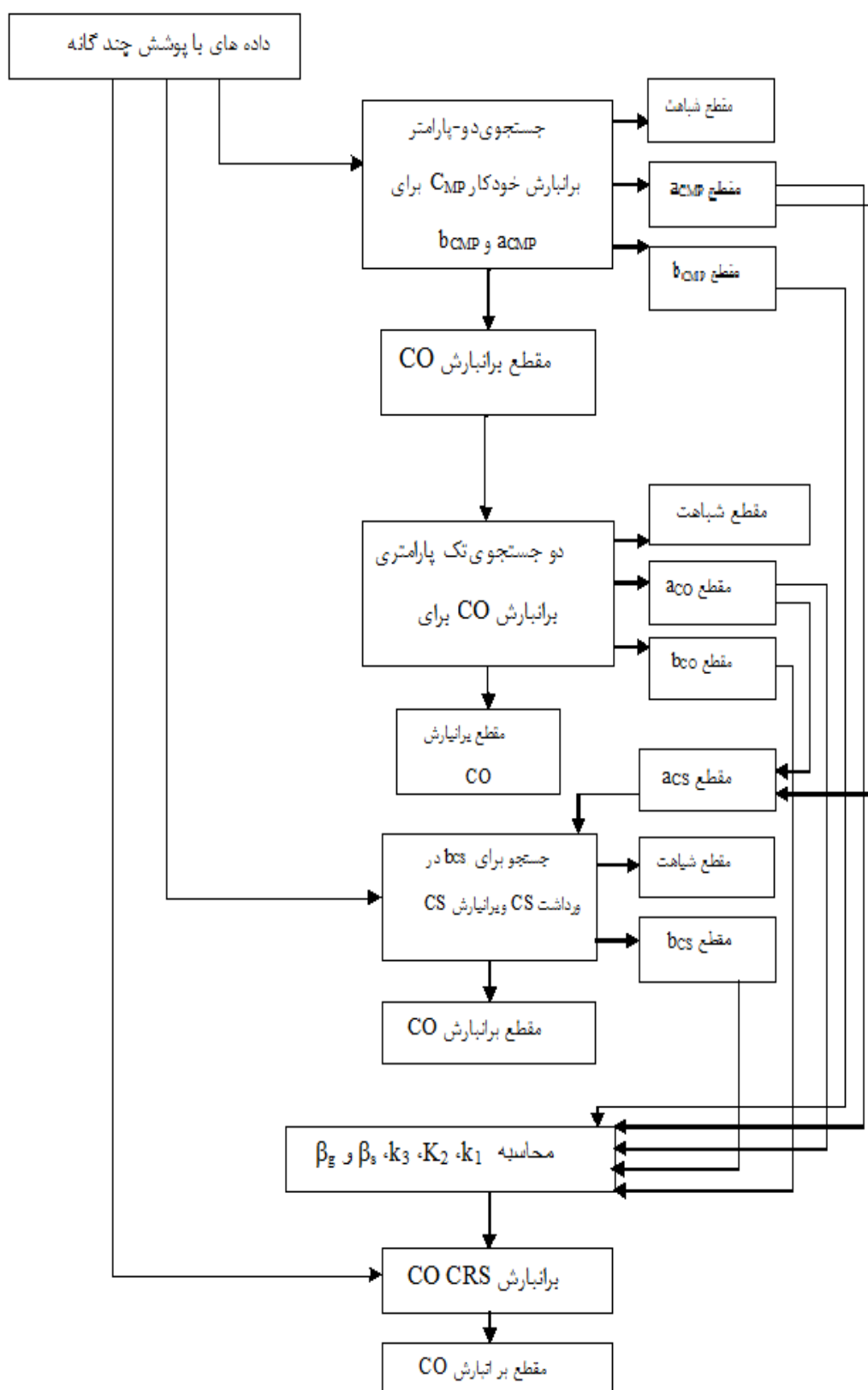
برای جستجوی مقادیر  $a_{CO}$  و  $b_{CO}$ ، از نتایج برانبارش خودکار CMP به عنوان مقاطع ورودی در این مرحله استفاده می‌شود. مقطع CO شبیه سازی شده در این مرحله مزیت افزایش سیگنال به نوفه را دارد. بنابراین جستجو برای مقادیر  $a_{CO}$  و  $b_{CO}$  می‌تواند به دو جستجوی تک پارامتری تقسیم شود.

در اولین مرحله تخمین زمان رسید مطابق معادله (۲-۱۲) در رکورد CO، به پارامتر  $b_{CO}$  مقدار صفر تخصیص داده می‌شود. سپس پارامتر  $a_{CO}$  به ازای یک طیف ناپیوسته از مقدار مختلف امتحان می‌شود. برای هر مقدار از پارامتر  $a_{CO}$  تخمین درجه اول زمان رسید محاسبه شده و با داده CO مقایسه می‌شود. مقداری که به ازای آن پارامتر  $a_{CO}$  که بیشترین مقدار همدوسی را دارد انتخاب می‌شود.

با معلوم بودن مقدار پارامتر  $a_{CO}$ ، بیان زمان رسید در مقطع CO فقط به یک پارامتر نامعلوم وابسته است. طیف ناپیوسته‌ای از مقادیر برای پارامتر  $b_{CO}$  امتحان شده و منحنی زمان رسید به‌دست آمده با مقطع ورودی مقایسه می‌شوند. سپس مقداری از پارامتر  $b_{CO}$  که بیشترین مقدار همدوسی را دارد انتخاب می‌شود. از مجموع داده‌های CO در طول منحنی زمان رسید مشخص شده، مقطع برانبارش به اصطلاح CO به‌دست می‌آید.

## ۲-۵-۳ جستجوی برای $b_{CS}$ و برانبارش CO CRS

پس از تعیین  $a_{CMP}$  و  $a_{CO}$  برای هر نمونه زمانی در محدوده هدف،  $a_{CS}$  متناظر با رابطه  $a_{CS} = (a_{CMP} + a_{CO})/2$  به‌دست می‌آید. با دانستن مقدار  $a_{CS}$  می‌توان یک جستجوی تک پارامتری برای  $b_{CS}$  در رکورد CS انجام داد. این روند برای پارامتر  $b_{CO}$  نیز انجام می‌شود. برانبارش در طول منحنی های زمان رسید CS مشخص شده، مقطع CO برانبارش CS را به‌دست می‌دهد.



تصویر ۲-۸: نمودار گردش روند انجام برائبارش CO CRS (Bergler, 2001).

اکنون برای هر نمونه زمانی مقطع CO در محل هدف، پنج ضریب  $b_{CS}$  و  $b_{CO}$ ،  $b_{CMP}$ ،  $a_{CO}$ ،  $a_{CMP}$  در دسترس می‌باشند. در نتیجه بر اساس معادله‌های (۲-۱۳)، (۲-۱۴) و (۲-۱۵) پنج پارامتر برانبارش  $K_1$ ،  $K_2$ ،  $K_3$ ،  $\beta_s$  و  $\beta_g$  معلوم می‌شوند. هر مجموعه پارامتری پنج گانه یک سطح برانبارش CO CRS در فضای xm-h-t را مشخص می‌کند. با جمع کردن اطلاعات پیش از برانبارش در روی این سطح و اختصاص دادن نتایج مجموع به نمونه زمانی CO، مقطع برانبارش CO CRS به‌دست می‌آید. برای هر نقطه مقدار همدوسی متناظر با سطح برانبارش محاسبه می‌شود. مقطع همدوسی معیار مناسبی برای اطلاع از میزان تطبیق سطح برانبارش با رخدادها در داده‌های پیش از برانبارش می‌باشد.

### ۲-۵-۳ بهینه سازی

پارامترهای برانبارشی که با روند تشریح شده در بالا به‌دست می‌آید، پارامترهای اولیه برانبارش نامیده می‌شود. این اصطلاح در برانبارش ZO CRS نیز وجود دارد. در برانبارش ZO CRS هرگاه مقدار همدوسی متناظر با سطح برانبارش از یک مقدار آستانه بیشتر شد، یک مرحله بهینه‌سازی محلی بر روی پارامترها انجام می‌شود. این بهینه سازی را برای پارامترهای برانبارش نیز می‌توان انجام داد. پنج پارامتر برانبارش به‌دست آمده، که پارامترهای برانبارش بهینه نیز نامیده می‌شوند، در تهیه مقطع برانبارش بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۲-۵-۴ استفاده‌های بعدی از پارامترهای برانبارش CO CRS

همان گونه که از الگوریتم برانبارش CO CRS مشخص است، نیازی به اطلاع از سرعت نزدیک سطح<sup>۱</sup> نمی‌باشد. هر سرعت نزدیک-سطح مفروض نتیجه یکسان برای برانبارش به‌دست می‌دهد ولی پارامترهای برانبارش  $K_1$ ،  $K_2$ ،  $K_3$ ،  $\beta_s$  و  $\beta_g$  متفاوت خواهند بود. اما برای به‌دست آوردن نشانگرهای صحیح میدان موج، به مقدار صحیح این سرعت نیاز است.

نشانگرهای میدان موج به عناصر ماتریس انتشار سطح به سطح وابسته هستند. بنابراین از این

<sup>1</sup> Near-surface velocity

پارامترها در محاسبه فاکتور گسترش هندسی و زون فرنل می‌توان استفاده کرد.

فاکتور گسترش هندسی امکان ساخت مقاطع با دامنه واقعی را فراهم می‌کند (Hubral, 1983; Tygel et al., 1992) و از مفهوم زون فرنل در تعیین بازه کوچ کیرشهف استفاده می‌شود (Hubral et al., 1993). همچنین امکان استفاده از پنج نشانگر میدان موج برای مدل سازی معکوس مدل لایه‌ای زمین وجود دارد. کاربردهای دیگری از این نشانگرها توسط (Zhang et al., 2000) مورد بحث قرار گرفته است.

## ۶-۲ تصویرسازی

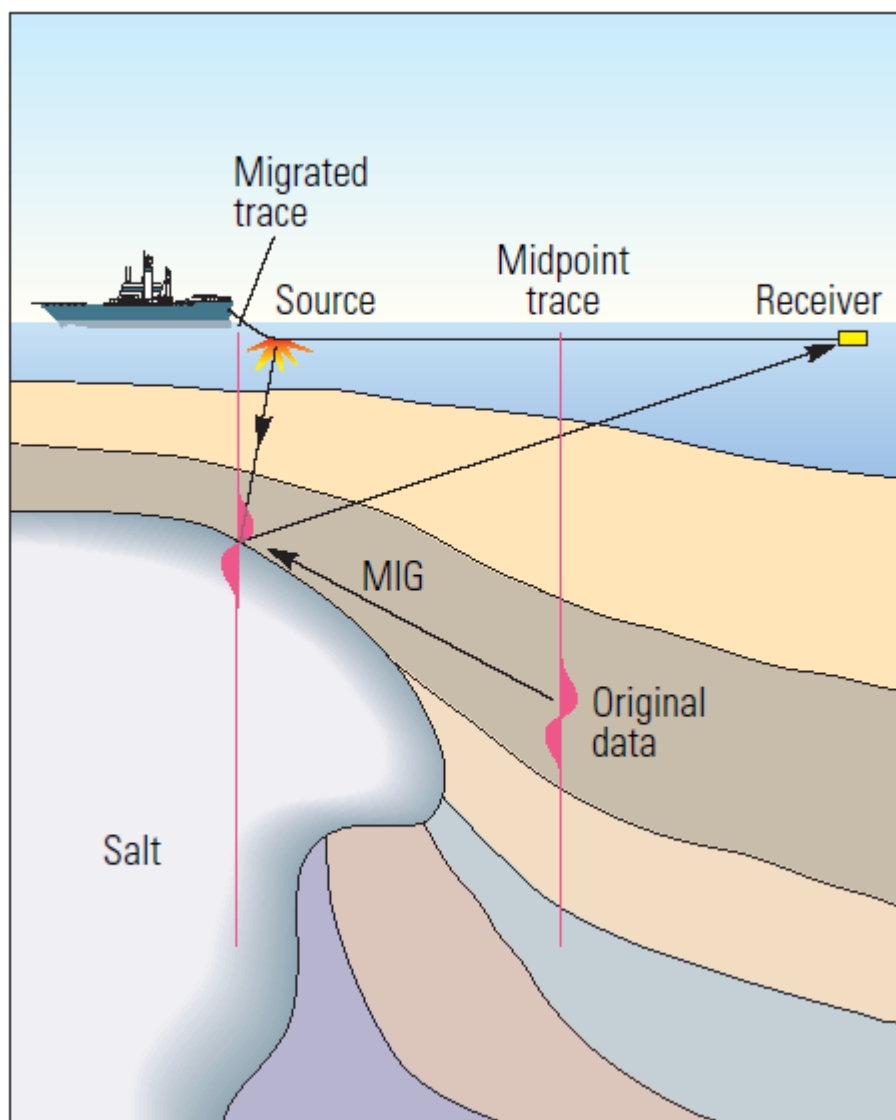
تصویرسازی فرایندی است که بازتاب‌های لرزه‌ای را در مکان مناسب خود متمرکز می‌کند. این فرایند معمولاً شامل دو مرحله اساسی است؛ برانبارش و کوچ (Albertin et al., 2002). برانبارش نسبت سیگنال به نوفه را با جمع بازتاب‌های ثبت شده از یک نقطه افزایش می‌دهد. در بخش‌های پیشین به تفصیل در مورد برانبارش که هدف اصلی پایان‌نامه بود، بحث گردید.

دومین مرحله تصویر سازی یعنی کوچ، از یک مدل سرعت جهت توزیع مجدد انرژی بازتاب یافته از نقطه میانی مفروض به مکان واقعی خود استفاده می‌کند (تصویر ۲-۹). رده‌های مختلفی از مهاجرت بسته به پیچیدگی هدف و ساختارهای روی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختارهای ساده با یک روند هموار برای سرعت با روش‌های ساده کوچ به راحتی تصویر می‌شوند اما ساختارهای پیچیده نیازمند روش‌های نوین کوچ هستند.

کوچ به وسیله راه حل‌های متفاوت معادله موج که توصیف کننده انتشار امواج الاستیک در زمین است، شناخته می‌شود. الگوریتم‌های کوچ اغلب بر اساس نام معرف آن، مثل کیرشهف، و یا بر حسب راه حل ریاضی آن، از جمله تفاضل محدود نام گذاری می‌گردند.

در کوچ عمقی، امکان وجود تباین زیاد افقی و قائم در مدل سرعت وجود دارد. این نوع کوچ زمانی

مورد استفاده قرار می‌گیرد که گسل‌های عمیق شیب‌دار، چین خوردگی و یا لایه‌های با ویژگی‌های متفاوت در مجاورت هم وجود داشته باشد. کوچ عمقی نیازمند یک مدل سرعت دقیق از عمق است و عملیاتی پرکار و پیچیده می‌باشد.



تصویر ۲-۹: کوچ انرژی لرزه‌ای بازتاب یافته. برای این مدل دو بعدی ساده، کوچ با استفاده از یک مدل سرعت، ردلرزه ثبت شده از نقطه میانی چشمه و گیرنده را به مکان واقعی خود انتقال می‌دهد. (Albertin, et al., 2002)

به هر حال، هیچ روش برانبارش زمانی تغییرات بسیار شدید جانبی سرعت را بنا به فرض زمان-رسید هذلولی در نظر نمی‌گیرد. وقتی که ساختار زیر سطح زمین پیچیده است، برون‌راند بازتاب غیر

هذلولی شده و به خوبی توسط فرمول‌های زمان‌رسید هذلولی توصیف نمی‌شود.

نتایج کوچ با دورافت مشترک امکان کنترل کیفیت مدل سرعت را فراهم می‌سازد. در ابتدا تمرکز رخداد پراش می‌تواند تایید کننده دقت مدل باشد. اگر منحنی‌های پراش حذف شوند، مدل سرعت به داده‌ها برازش خواهد شد. پراش‌های باقی مانده که معمولاً در مرزهای گنبد نمکی، گسل‌ها و سایر ناپیوستگی‌ها وجود دارند، نشان دهنده سازگار نبودن مدل عمقی سرعت با داده‌ها می‌باشند. روش قدرتمندتر دیگر کنترل کیفیت براساس رکوردهای تصویر مشترک (CIGs)<sup>۱</sup> کوچ یافته‌ی عمقی می‌باشد. رکوردهای تصویر مشترک از مرتب کردن داده‌های مهاجرت یافته‌ی عمقی به رکوردهای نقطه بازتاب مشترک به دست می‌آیند. هر CIG متناظر با یک محل CMP در داده‌ها می‌باشد. چون رخداد در داده‌های پیش از برانبارش به سمت محل واقعی خود بعد از کوچ انتقال داده شده‌اند، لذا هر CIG شامل ردلرزه‌هایی می‌باشد که یک نقطه بازتاب در عمق متناظر را توصیف می‌کنند. وقتی که مدل سرعت درست باشد، هر صفحه‌ی دورافت به درستی کوچ یافته و بازتابنده در هر مقطع دورافت مشترک موقعیت یکسان دارد. بنابراین، CIG ها افقی می‌شوند (تصویر ۲-۱۰-الف). با این حال اگر مدل سرعت به درستی به داده‌ها برازش نشود، تصحیح بیش از اندازه و یا تصحیح کم رخ خواهد داد (تصویر ۲-۱۰-ب). بنابراین CIG تصحیح بیش از اندازه می‌شود و بازتابنده به سمت بالا تغییر مکان می‌دهد (تصویر ۲-۱۰-ج). اگر سرعت کوچ خیلی زیاد باشد، نتیجه یک رکورد با مقدار تصحیح کم خواهد بود، یعنی بازتابنده به سمت پایین تغییر مکان می‌دهد. بنابراین مهاجرت قبل از برانبارش به دقت مدل سرعت بسیار حساس است. این مهم می‌تواند برای آنالیز سرعت مهاجرت با استفاده CIGها مورد استفاده قرار گیرد. تاثیرات باقیمانده انتخاب شده و مدل سرعت بروز رسانی می‌شود. معمولاً این روند به صورت مکرر انجام می‌شود. هر بار باقیمانده‌ها انتخاب، مدل سرعت به هنگام و کوچ با این مدل سرعت انجام می‌شود تا این که باقیمانده به زیر یک مقدار آستانه برسد. زمانی که CIG ها افقی شدند، می‌توان آنها را در طول دورافت‌ها برانبارش کرد تا یک مقطع کوچ یافته‌ی عمقی به دست آورد

---

<sup>1</sup> Common Image Gathers

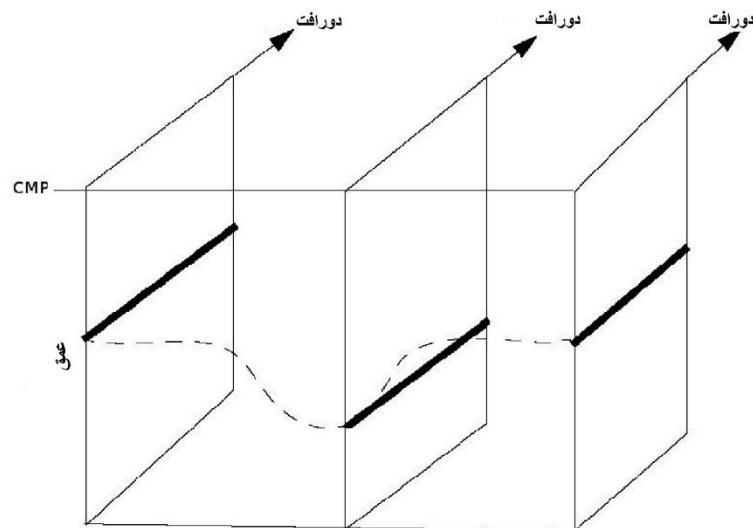
که بازتابنده‌ها در سر جای درست خود قرار دارند.

در این تحقیق از روش کوچ با اشعه گاوسی<sup>۱</sup> استفاده شده است. روش کوچ اشعه گاوسی به عنوان یک روش کوچ عمقی کارآمد و موثر در کوچ داده‌های با کیفیت پایین و زمین شناسی پیچیده استفاده می‌شود. (Hill 2001) کوچ اشعه گاوسی را به عنوان یکی از روش‌هایی که انتشار موج را به صورت پیوسته با استفاده از تعیین پارامترهای میدان موج در نظر می‌گیرد معرفی کرد. تفاوت این روش در مقایسه با سایر تکنیک‌های کوچ در این است که این روش، اعداد مختلطی از زمان و دامنه را برای تصویر سازی استفاده می‌کند. این اعداد مختلط، در واقع معادل همان مقادیر زمان سیر هستند که در روش‌های عادی کوچ در جدول زمان سیر برای انجام فرایند کوچ استفاده می‌شوند.

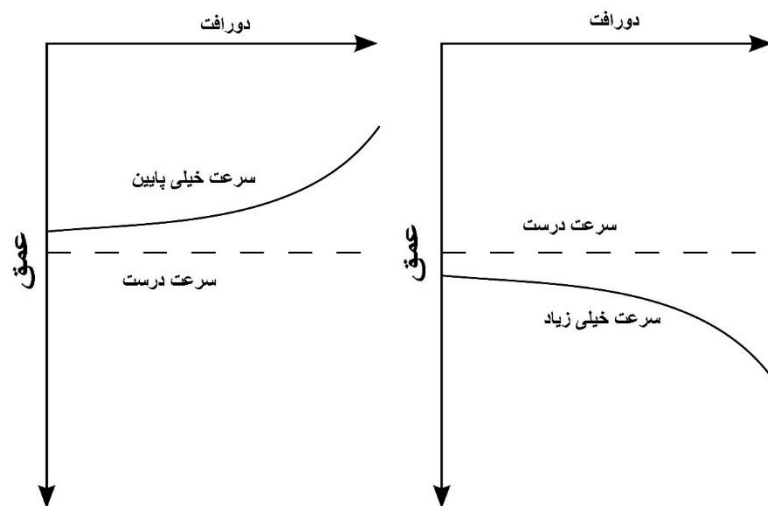
در کوچ به روش اشعه گاوسی، بخش حقیقی این عدد، میزان انحنای موج منتشره در محیط و بخش موهومی آن، چگونگی مستهلک شدن موج در محیط به شکل نمایی با دور شدن از پرتو را بیان می‌کند. بنابراین بخش حقیقی عدد مختلط زمان سیر، مانند روش‌های معمول برای تصویر سازی در طول پرتو استفاده می‌شود، در حالی که بخش موهومی، به عنوان یک تابع کاهش دهنده دامنه عمل می‌کند. بنابراین کوچ اشعه گاوسی، به جای تعیین یک جدول زمان سیر با اعداد حقیقی برای حرکت موج از چشمه به گیرنده، از جدولی با مقادیر بسیار زیاد و مختلط استفاده می‌کند. تکنیک کوچ اشعه گاوسی به عنوان یک تکنیک کوچ، می‌تواند در محیط‌های ناهمگن و همسانگرد کار کند.

---

<sup>1</sup> Gaussian Beam Migration



(الف)



(ب)

(ج)

تصویر ۲-۱۰: الف) رکورد تصویر مشترک مسطح بعد از کوچ عمقی قبل از برانبارش. ب) وقتی سرعت کمتر از سرعت واقعی باشد، CIG بیش از اندازه تصحیح شده و بازتابنده به سمت بالا کشیده می‌شود. ج) وقتی سرعت بیشتر از سرعت واقعی باشد، CIG کمتر از اندازه تصحیح شده و بازتابنده به سمت پایین کشیده می‌شود.

در روش کوچ اشعه گاوسی به منظور در نظر گرفتن بخش موهومی به عنوان تابع کاهش دهنده به جای استفاده از مفهوم پرتو، از مفهوم اشعه بهره گرفته می‌شود. از نظر تئوری، اشعه از پرتو ضخیم‌تر بوده و ضخامت آن را تابع کاهش دهنده دامنه تعیین می‌کند. سپس داده‌هایی که در این پنجره قرار می‌گیرند، به محیط  $P - \tau$  تبدیل می‌شوند. بنابراین داده‌ها از حوزه نقطه میانی  $X_m$ ، به حوزه نقطه میانی پارامتر پرتو  $P_m$  تبدیل می‌شوند (Robein, 2010).

## فصل سوم

برانبارش سطح پراش مشترک

در دورافت مشترک

### ۳-۱ مقدمه:

تهیه تصویر از جزئیات ساختارهای کوچک مقیاس و ناهمگنی‌های زیر سطح زمین نظیر گسل‌ها، کارست‌ها و شکستگی‌ها در تفسیر مقاطع لرزه‌ای در اکتشاف و توسعه‌ی ذخایر نفت و گاز بسیار حیاتی می‌باشد. اطلاع از محل و جهت شکستگی‌های طبیعی در محل انتخاب چاه مهم است. اطلاعات گسل و سیستم شکستگی‌ها معمولاً از تفسیر، نشانگر لرزه‌ای و یا آنالیز ناهمسانگردی به‌دست می‌آید. در این میان، عناصر کوچک مقیاس زیر سطح زمین امواج قوی از پراش تولید می‌کنند؛ سیگنال‌هایی که بیشترین اطلاعات از ساختارهای کوچک مقیاس را در بردارند. اگر چه اهمیت امواج پراش از مدت‌ها پیش شناخته شده است، اما این امواج تاکنون نقش مهمی در تصویر سازی‌های لرزه‌ای با روش‌های موجود نداشته‌اند. در دهه‌ی گذشته، علاقه به استفاده از پراش‌ها به عنوان شاخص ناپیوستگی‌های مختلف بازتابنده، گسل‌ها، کارست‌ها، شکستگی‌ها و ... افزایش یافته‌است. تصویر سازی پراش‌ها تکنولوژیی با سرعت پیشرفت بسیار زیاد است.

پردازش‌ها و تفسیرهای لرزه‌ای امروزی در صنعت بیشتر بر اساس بازتاب‌های لرزه‌ای است. این امواج پاسخ پیوستگی در زیر سطح است، در حالی که پراش‌ها پاسخ به ناپیوستگی‌ها و تکینگی می‌باشند.

در این فصل ابتدا امواج پراش معرفی شده و سپس به کاربرد این امواج در تکنولوژی CRS و معرفی روش CDS CO پرداخته می‌شود. همچنین روش معرفی شده برانبارش سطح پراش مشترک در دورافت مشترک بر روی یک داده واقعی نشان داده می‌شود.

### ۳-۲ پراش‌ها

در ناپیوستگی‌های ناگهانی در سطوح، یا ساختارهایی که شعاع انحنای آنها کوچک‌تر از طول موج امواج ورودی است، قانون بازتاب یا شکست دیگر کاربرد ندارد. این پدیده باعث پراکندگی شعاعی

انرژی لرزه‌ای ورودی می‌شود که به آن پراش می‌گویند.

معمولا این امواج به عنوان نوفه در نظر گرفته می‌شوند اما می‌توانند به عنوان ناپیوستگی در داده‌های پیش از برانبارش تفسیر شوند. یک الگوی هذلولی، در یک مقطع زمان کوچ داده نشده می‌تواند به نقاطی که ناپیوستگی وجود دارد اشاره کند.

این هدف می‌تواند تقاطع یک رخداد خطی (دایک، قله‌ی یک چین خوردگی، صفحه‌ی گسل و...) با صفحه‌ی مقطع باشد.

پراش‌ها می‌توانند از دو لایه مشخص که به صورت ظاهری جدا شده اند، نیز باشند. این مورد اغلب زمانی رخ می‌دهد که بازتاب از بلوک‌های بالا و پایین رفته گسل، به بیرون صفحه گسل منعکس می‌شوند.

در برداشت‌های دریایی، به طور مثال اجرام شناور مانند کشتی‌ها، کوه‌های یخی، یا لاشه‌های کف اقیانوس اغلب تولید پراش می‌کنند. تا زمانی که پراش‌ها از اهداف داخل مقطع لرزه‌ای منشا گرفته باشند، کوچ (وقتی که سرعت درست استفاده شود) تمام انرژی توزیع شده در هذلولی را جمع کرده و در یک نقطه روی قله‌ی آن متمرکز می‌کند. مقاطع پیش از کوچ می‌توانند برای شناسایی ناپیوستگی‌های محلی مورد استفاده قرار گیرند.

### ۳-۳ نگاهی به روش‌های پیشین استفاده از امواج پراش

در دهه‌ی گذشته افزایش چشمگیری در علاقه به استفاده از پراش‌ها به عنوان یک نشانگر مستقیم از ناهمگنی زیر سطح زمین به وجود آمده است. بیشترین تلاش بر روی جدایش موثر میدان موج بازتابی و پراکنده شده و تصویر سازی متعاقب اجزای پراشیده شده، متمرکز شده است.

Landa and Keydar (1998) از مقاطع نقاط پراش مشترک برای تصویرسازی انرژی پراش و شناسایی ناهمگنی‌های محلی استفاده کردند. (Khaidukov et al. (2004 تصویرسازی پراش‌ها را به

عنوان مکمل تصویرسازی بازتابی معمول ترقی دادند و الگوریتم تصویر سازی انتشار موج یک طرفه توسط امواج پراش را معرفی کردند. روش پیشنهاد شده بر پایه تمرکز امواج بازتاب شده در نقاط فرضی چشمه و سپس حذف آنها از کل میدان موج است.

Fomel et al. (2007) و Taner et al. (2006) یک روش ترکیبی به منظور جداسازی و تصویر سازی رخدادهای پراش توسط معیارهای همواری و پیوستگی شیب رخدادهای محلی معرفی کردند. ایده‌ای که جهت جدایش پراش‌ها از بازتاب‌ها در این روش استفاده شده این است که در داده‌های برانبارش شده، بازتاب‌ها متناظر با رخدادهایی با همدوسی زیاد و تغییرات متناوب شیب می‌باشند. حذف این رخدادها، رخدادهای دیگر با همدوسی زیاد که اغلب پراش‌های لرزه‌ای هستند را نمایان خواهد کرد. شناسایی و حذف رخدادهای بازتاب با بررسی میزان انحنای جبهه موج در پنجره‌های کوچک انجام می‌شود. قطعه قطعه سازی موج در پنجره‌ها، شیب‌های محلی رخدادهای غالب لرزه‌ای را با تشکیل یک فیلتر پیشگو ردلرزه، از ردلرزه‌های مجاور تخمین می‌زند. این فیلترهای فشرده غیر ایستا بهینه، انرژی لرزه‌ای را در طول شیب‌های تخمین زده شده دنبال می‌کنند. حداقل سازی مقادیر باقیمانده و اعمال قید تغییرات هموار برای شیب‌های محلی یک تابع بهینه‌سازی تشکیل می‌دهد. اعمال بهینه‌سازی با چند مرحله تکرار در تابع هدف یک میدان شیب محلی تولید خواهد کرد. در نهایت مقادیر باقی‌مانده شامل تمام رخدادها از جمله پراش‌ها می‌شود که از الگوی شیب رخدادهای غالب تبعیت نمی‌کنند. با این حال جداسازی بازتاب‌ها از پراش‌ها هرگز به صورت کامل رخ نمی‌دهد و هدف این روش تقویت امواجی است که پاسخ به ناپیوستگی‌های زیر سطح می‌باشد.

روش‌های نوین پردازش حوزه زمان مانند روش‌های برانبارش تمرکز چند گانه (Berkovitch et al. 2009)، و سطح برانبارش مشترک (Asegdom et al., 2001; Dell and Gajewski, 2011) را نیز می‌توان برای تولید تصاویر پراش اصلاح کرد. در هر دو مورد تقریب زمان‌رسید به‌دست آمده برای رخداد-های بازتابی به گونه‌ای تغییر داده می‌شوند که انطباق کاملی با رخدادهای پراش‌ها داشته باشند.

همچنین تقریب زمان رسید پراش بر اساس برونراند اصلاح شده CRS بسیار شناخته شده است (Spinner and Mann, 2006). در این بخش چند روش اصلاح شده CRS در تصویر سازی پراش ها با جزئیات بیشتری شرح داده می شود. سپس با استفاده از معادلات تقریب زمان سیر پراش، عملگر برانبارش CO CRS به شکل عملگر CO CDS تغییر خواهد کرد که هدف اصلی این تحقیق است.

### ۳-۳-۱ روش سطح پراش مشترک با دور افت صفر<sup>۱</sup>

در ساده ترین حالت روش ZO CRS، یک عملگر بهینه برانبارش برای هر نمونه دورافت صفر در نظر گرفته و مقطع دور افت صفر را شبیه سازی می کند. در این عملگر، بیشترین مقدار همدوسی رخدادهای بازتابی به دست می آید. اما در صورت وجود بازتابهای متقاطع و یا منحنی های پراش که با رخدادهای بازتابی تقاطع پیدا کرده اند، تنها یک عملگر برانبارش در محل تقاطع نمونه ZO در نظر گرفته می شود (Shahsavani et al., 2011). سلیمانی و همکاران (۲۰۰۹) به منظور برطرف کردن این مشکل، از مفهوم تصحیح برونراند شیب (DMO) در روش CRS استفاده کردند. در این صورت به جای تعداد محدودی شیب و بنابراین، عملگرهای آنها برای نمونه مورد نظر، محدوده ای پیوسته از شیب ها در نظر گرفته می شود. برای ساده سازی این روند و تاکید بیشتر بر رخدادهای پراش، این روش بر روی عملگر CRS که به رخدادهای پراش محدود شده است، به کار رفته است.

برای یک پراش دهنده موجود در زیر سطح زمین، موج NIP حاصل از آزمایش چشمه نقطه ای و موج N حاصل از آزمایش فرضی قرار گیری چشمه های متعدد بر روی بازتابنده (که در بخش ۲-۲ نیز به آنها اشاره شده است) منطبق می شوند بدین معنی که  $R_{NIP}=R_N=R_{CDS}$ . بنابراین برای رخداد پراش، زمان رسید CRS در معادله (۲-۴) به تقریب زمان رسید CDS در معادله (۳-۱) کاهش می یابد (Soleimani et al., 2010a):

---

<sup>4</sup> Zero-Offset Common Diffraction Surface(ZO CDS)

$$t^2(m, h, p) = \left(t_0 + \frac{2sina}{V_0}m\right)^2 + \frac{2tcos^2\alpha}{V_0R_{CDS}}(m^2 + h^2) \quad (۱-۳)$$

با در نظر گرفتن تمام زوایای ممکن در معادله (۱-۳)، یک مجموعه عملگر، حجم وزن داری از عملگر-ها برای هر نمونه ZO را تشکیل می‌دهند. با این روند تمام رخداد بازتابی و پراش ضعیف که قبلاً توسط رخداد های غالب پوشیده شده بودند، تقویت می‌شوند.

روش سطح پراش مشترک (CDS) به صورت موفق آمیز بر روی داده‌های با ساختار های پیچیده امتحان شده است (Soleimani et al., 2010). با این حال این روش بسیار زمان‌بر است زیرا عملگر های برانبارش مجزا از هم برای هر نمونه و هر شیب بر اساس آنالیز شباهت باید تعیین شود.

### ۲-۳-۳ جدایش کامل رخداد های پراش پیش از برانبارش بر اساس CRS

در این روش، برانبارش جزئی CRS به گونه‌ای تغییر می‌یابد که انرژی پراش یافته پیش از برانبارش از بازتاب‌ها جدا شود (Bakhtiari Rad et al., 2014). با انجام این جدایش پیش از برانبارش نه تنها رکوردهای صرفاً پراش به دست می‌آید، بلکه باعث تشخیص بهتر الگوهای پراش شده و امکان ساخت مدل سرعت برای کوچ فراهم می‌شود.

یک مزیت مهم این روش، مدل سرعت برانبارش به دست آمده از رکوردهای صرفاً پراش است که کاملاً با مدل سرعت کوچ تطابق خواهد داشت. زیرا سرعت به دست آمده از برانبارش رخداد های بازتاب به شیب بازتابنده وابسته است، حال آنکه پراش‌ها جهت ندارند، بنابراین مدل سرعت به دست آمده از اطلاعات صرفاً پراش مستقیماً به عنوان ورودی کوچ زمانی قابل استفاده است (Dell et al., 2012; Fomel et al., 2006).

در این روش از یک معیار برای جدایی کامل رخداد های پراش از بازتاب‌ها استفاده می‌شود. در

معادله (۴-۲) برای یک رخداد پراش مقدار  $R_N$  تقریباً مساوی با مقدار  $R_{NIP}$  است، اما این مقادیر در واقعیت برابر نیستند. زیرا اطلاعات لرزه‌ای طبیعت باند محدود فرکانسی دارند و معادله (۴-۲) و معادله (۱-۳) دقیق نیستند. معیار مورد استفاده با رابطه زیر به دست می‌آید (Gajewski and Dell, 2011):

$$W_F = \exp\left(-\frac{R_N - R_{NIP}}{R_N + R_{NIP}}\right) \quad (۲-۳)$$

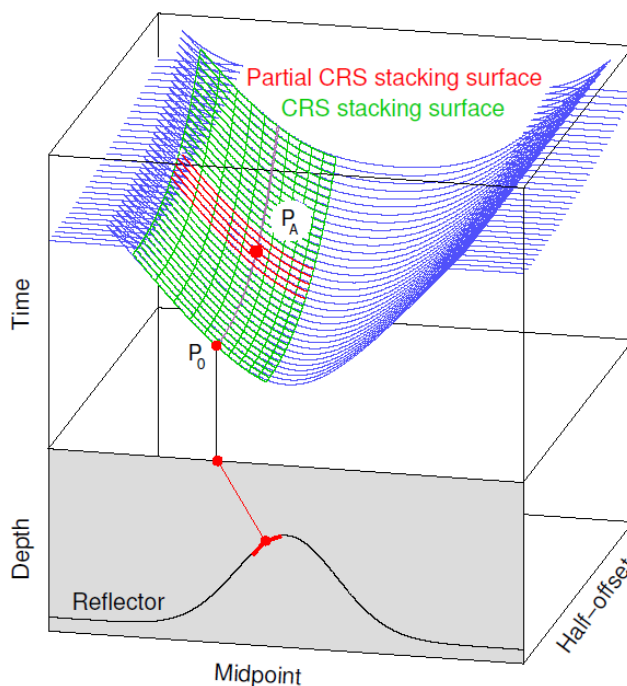
اگر  $R_N$  مقداری نزدیک به  $R_{NIP}$  داشته باشد، مقدار تابع  $W_F$  برابر ۱ خواهد شد. در این صورت رخداد مورد نظر پراش است، در غیر این صورت مقدار  $W_F$  بسیار کوچک خواهد بود. استفاده از  $W_F$  به عنوان یک تابع وزن دار، ممکن است باعث جدایی کامل رخداد پراش از بازتاب نشود؛ زیرا انرژی زیادی از بازتاب‌ها در داده باقی خواهد ماند. بنابراین روش دیگری ارائه می‌شود: اگر مقدار  $W_F$  از یک آستانه بیشتر شد، وزن برانبارش یک خواهد بود. اگر  $W_F$  از این مقدار آستانه کمتر باشد، وزن صفر خواهد بود که متناظر با مقدار صفر برای نتیجه برانبارش است. با این فرایند وزن‌دهی، جدایش موثری برای انرژی بازتاب‌یافته انجام خواهد شد.

این روش جدایش همراه با روش برانبارش جزئی CRS انجام می‌شود. روش برانبارش جزئی CRS با یک بازه محدود در موقعیت نیم-دورافت  $h_A$  انجام می‌گردد. حال آنکه روش برانبارش کلی اطراف دورافت صفر انجام می‌گردد. بنابراین نتیجه برانبارش متناظر با نقطه  $P_0=(x_0, t_0, h=0)$  نخواهد بود و به نقطه  $P_A=(x_0, t_h, h \neq 0)$  اختصاص خواهد یافت. تصویر ۳-۱۱ این فرایند را نشان می‌دهد. فرایند مذکور ردلرزه‌ای جدید در آن نقطه با نسبت سیگنال به نوفه بهبود یافته تولید خواهد کرد. معادله برانبارش جزئی CRS برای یک بازتابنده یا پراش‌دهنده به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$t_0 = -\frac{h_A^2 \cos^2 \alpha}{v_0 R_{NIP}} + \sqrt{\left(\frac{h_A^2 \cos^2 \alpha}{v_0 R_{NIP}}\right)^2 + t_A^2} \quad (۳-۳)$$

استراتژی جدایش کامل رخداد پراش از بازتاب به صورت زیر خلاصه می‌شود (Bakhtiari Rad et al,

- تعیین نشانگرهای میدان موج CRS
- جستجو برای زمان ZO بر اساس نشانگرهای CRS که متناظر با دورافت مورد نظر باشد.
- تعیین معیار جدایش با انتخاب مناسب  $W_F$
- انجام برانبارش جزئی CDS



تصویر ۳-۱: نمایی از یک مدل دو بعدی و داده‌های حاصل از آن. خطوط آبی بیانگر داده‌های دارای همپوشانی در حوزه نقطه‌میانی و نیم دورافت می‌باشد. خط بنفش خط سیر CRP متناظر با نقطه  $P_0$  و سطح قرمز رنگ متناظر با سطح CRS می‌باشد. در هر دو مورد نتایج به نقطه  $P_0$  اختصاص می‌یابد. برای بهبود پیش از برانبارش با برانبارش جزئی CRS برای نقطه  $P_A$ ، ردلرزه‌ها در امتداد سطح قرمز برانبارش شده و نتیجه به نقطه  $P_A$  اختصاص می‌یابد (Bakhtiari Rad et al, 2014).

### ۳-۳-۳ پیش بینی زمان رسید های دورافت-مشترک پراش بر اساس دورافت-صفر

هدف مهم از تصویر سازی پراش‌ها، جدایش و تقویت این امواج در داده‌های پیش از برانبارش می‌باشد که این مهم نیازمند پردازش پراش در حوزه دورافت مشترک است. پردازش دورافت مشترک باعث افزایش وضوح رخدادها می‌شود، به ویژه در مناطقی که انرژی رسیده از آنها مانند زیر گنبدهای نمکی کم می‌باشد. اما به عنوان یک نقیصه، زمان لازم برای این نوع پردازش بسیار طولانی است. به

منظور ترکیب پایداری پردازش ZO CRS (Jager et al., 2001) و افزایش وضوح پردازش CO, Bauer et al.(2014) اصول جدایش آسان برای پراش‌ها را معرفی می‌کنند. بر اساس اطلاعات اضافی موجود در مقاطع ZO و CO برای پراش‌ها، این روش نوین امکان پیش بینی مستقیم نشانگر های پراش بر اساس نتایج پردازش ZO CRS را فراهم می‌سازد. در این روش اطلاعات کامل داده‌های پیش از برانبارش، بدون انجام محاسبات بسیار سنگین پردازش CO CRS یا برونمایی با استفاده از عملگرهای کلی ZO (Baykulov and Gajewski, 2009)، مورد استفاده قرار می‌گیرند. معادله (۴-۳) برونراند سهمی وار ZO CDS که به دو پارامتر زاویه خروج  $\alpha$  و جبهه موج NIP وابسته است را نشان می‌دهد (Bauer et al., 2014):

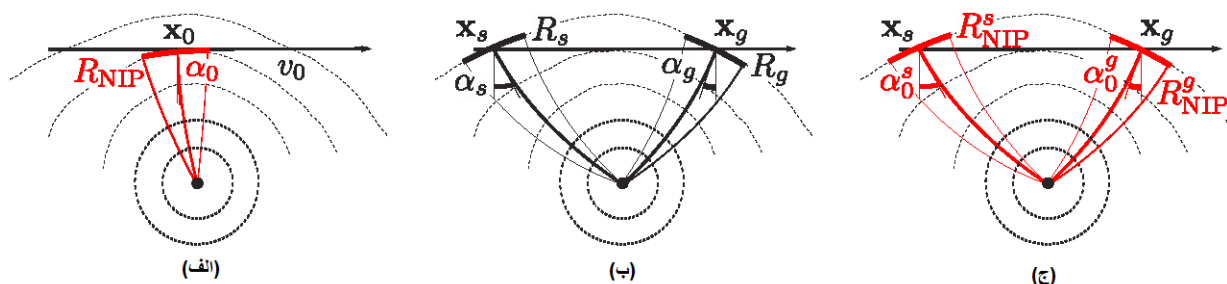
$$t_{ZO}(\Delta x_m, h) = t_0^{zo} + \frac{2\sin\alpha_0}{V_0}\Delta x_m + \frac{\cos^2\alpha_0}{v_0 R_{NIP}}(\Delta x_m^2 + h^2) \quad (4-3)$$

توصیف معادله زمان سیر CO CRS توسط پنج پارامتر انجام می‌شود: شانگرهای دو جبهه موج دوطرفه و زوایای ورود و خروج پرتو مرکزی نسبت به خط عمود بر صفحه برای گیرنده و چشمه این پارامترها را تشکیل می‌دهند. در رابطه با رخدادهای پراش، شعاع انحنای جبهه موج های N و NIP برابر بوده و از نظر فیزیکی بر یکدیگر منطبق می‌باشند (تصویر ۵-۱-ب). بنابراین معادله برونراند پراش CO به صورت زیر می‌باشد (Bauer et al., 2014):

$$t_{CO}(\Delta x_s, \Delta x_g) = t_0^{co} + \frac{\sin\alpha_s}{V_s}\Delta x_s + \frac{1}{2} \frac{\cos^2\alpha_s}{v_s R_s} \Delta x_s^2 + \frac{\sin\alpha_g}{V_g}\Delta x_g + \frac{1}{2} \frac{\cos^2\alpha_g}{v_g R_g} \Delta x_g^2 \quad (5-3)$$

ضرایب این معادله درجه ۲ سهمی‌وار، توسط زوایای خروج  $\alpha_s$  و  $\alpha_g$  و شعاع انحنای  $R_s$  و  $R_g$  مربوط به جبهه موج‌های اندازه گیری شده به ترتیب در وضعیت CS و CR تعیین می‌شود. بنابر جدایی مسیر امواج پراش، پاسخ CS و CR اندازه‌گیری CO (تصویر ۳-۲-ب)، از نظر استراتژی حل

معادله برابر با دو اندازه گیری مستقل ZO است که در  $x_s$  و  $x_g$  انجام می شود (تصویر ۲-۳ ج). بر اساس فرض زمان رسید کلی یکسان و مقایسه معادلات سهمی وار ZO CDS و CO CDS، نشانگرهای منبع CO به صورت  $\alpha_s = \alpha_0^s$  و  $R_s = R_{NIP}^s$  و همچنین نشانگرهای گیرنده  $\alpha_g = \alpha_0^g$  و  $R_g = R_{NIP}^g$  بازنویسی می شوند. همچنین زمان رسید مرجع CO را می توان بر اساس دو زمان رسید مرجع ZO استفاده از رابطه  $t_0^{CO} = (t_0^{ZO,s} + t_0^{ZO,g})/2$  بیان کرد. در واقع روش کار به این صورت است که عملگر CO پراش به دو عملگر مستقل در گیرنده و چشمه و بدون هیچگونه بهینه سازی متعاقب جدا می شود. بنابراین این روش پیشگویی رخدادهای پراش در حوزه دورافت مشترک نامیده می شود.



تصویر ۲-۳: دو آزمون موج-NIP دورافت-مشترک (ب) شبیه به دو آزمون مستقل موج-NIP دورافت صفر (ج) در چشمه و گیرنده می باشد (Bauer et al., 2014)

## ۲-۴ تقریب زمان رسید هذلولی CO CDS

تقریب زمان رسید هذلولی که با معادله (۲-۵) به دست می آید، یک پرتوی مرکزی و زمان رسید های پرتوهای موازی با این پرتو مرکزی را در نظر می گیرد. به منظور در نظر گرفتن پرتو مرکزی به عنوان پرتو پراش، باید تفسیر جدیدی از جبهه موج های انتشار یافته از آزمایش های CS و CMP (که در بخش های پیشین نیز بدان اشاره شده است) برداشت شود.

هنگامی که یک نقطه R در زیر سطح زمین به عنوان نقطه پراش در نظر گرفته می شود، اصل

هویگنس بیان می‌کند که این نقطه به محض ورود یک جبهه موج، به یک چشمه نقطه‌ای جدید برای جبهه موج های دیگر تبدیل می‌شود. با این فرض، تفسیر موج مربوط به آزمایش واقعی CS این گونه بیان می‌شود: موج تولید شده توسط منبع S (منشا پرتو مرکزی) به سمت پایین انتشار یافته و در نقطه R پراشده می‌شود. این نقطه پراش یک جبهه موج جدید تولید کرده که در طول پرتو مرکزی به سمت بالا انتشار یافته و در G دریافت می‌شود.

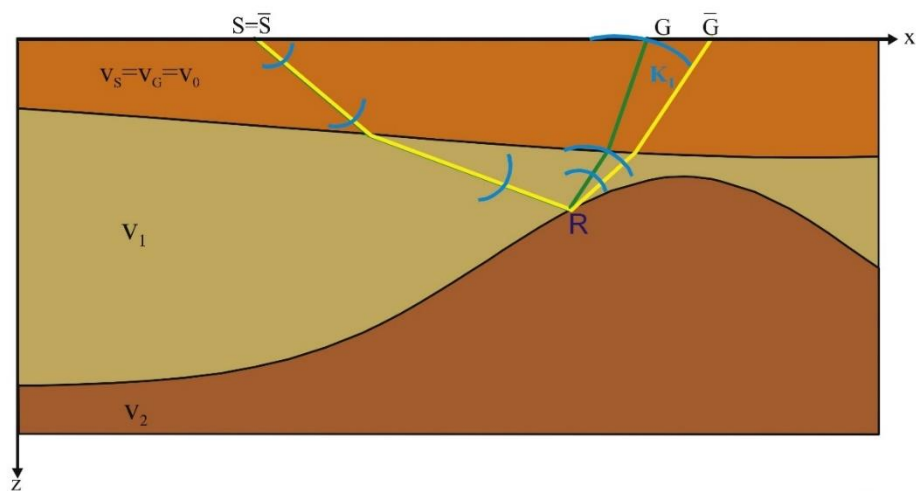
در آزمایش CMP، جبهه موج انتشار یافته تفاوتی با حالت CO CRS ندارد اما باید این نکته را در نظر داشت که R یک نقطه پراش است. بنابراین جبهه موج  $k_1$  که در محل گیرنده G (آزمون CS) بیرون می‌آید، انحنایی برابر با  $K_3$  که آن نیز در محل گیرنده G (آزمون CMP) پدیدار می‌شود، دارد. با در نظر گرفتن شرایط پراش یعنی  $k_1=k_3$  برونراند CO CDS به صورت زیر می‌باشد (Garabito et al., 2011):

$$t^2(\Delta x_m, \Delta h) = \left( t_0 + \left( \frac{\sin \beta_G}{V_G} + \frac{\sin \beta_s}{V_s} \right) \Delta x_m + \left( \frac{\sin \beta_G}{V_G} - \frac{\sin \beta_s}{V_s} \right) \Delta h \right)^2 +$$

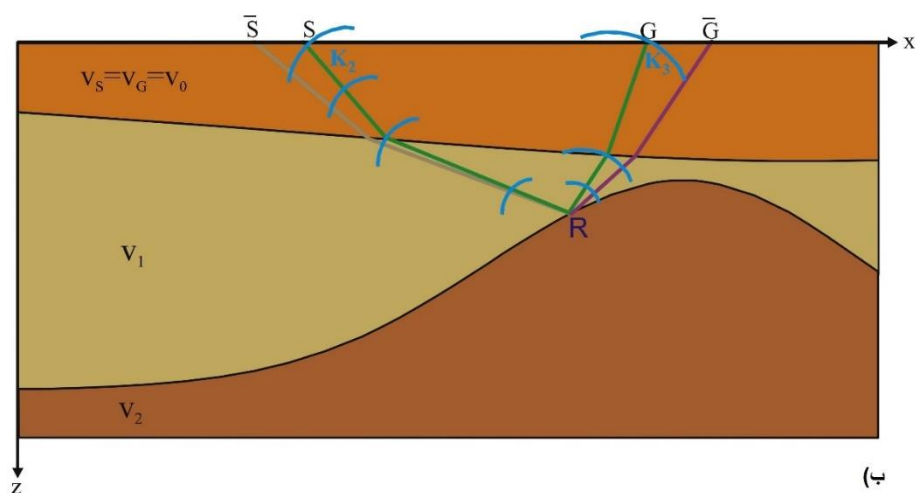
$$2t_0 \left[ \Delta x_m \left( k_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{V_G} + K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} \right) \Delta h + \right. \quad (6-3)$$

$$\left. \frac{1}{2} \Delta x_m \left( K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{V_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} \right) \Delta x_m + \frac{1}{2} \Delta h \left( k_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{V_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{V_s} \right) \right]$$

اکنون تقریب برونراند هذلولی معادله ((6-3) به چهار پارامتر  $k_3, k_2, \beta_s$  و  $\beta_g$  بستگی دارد.

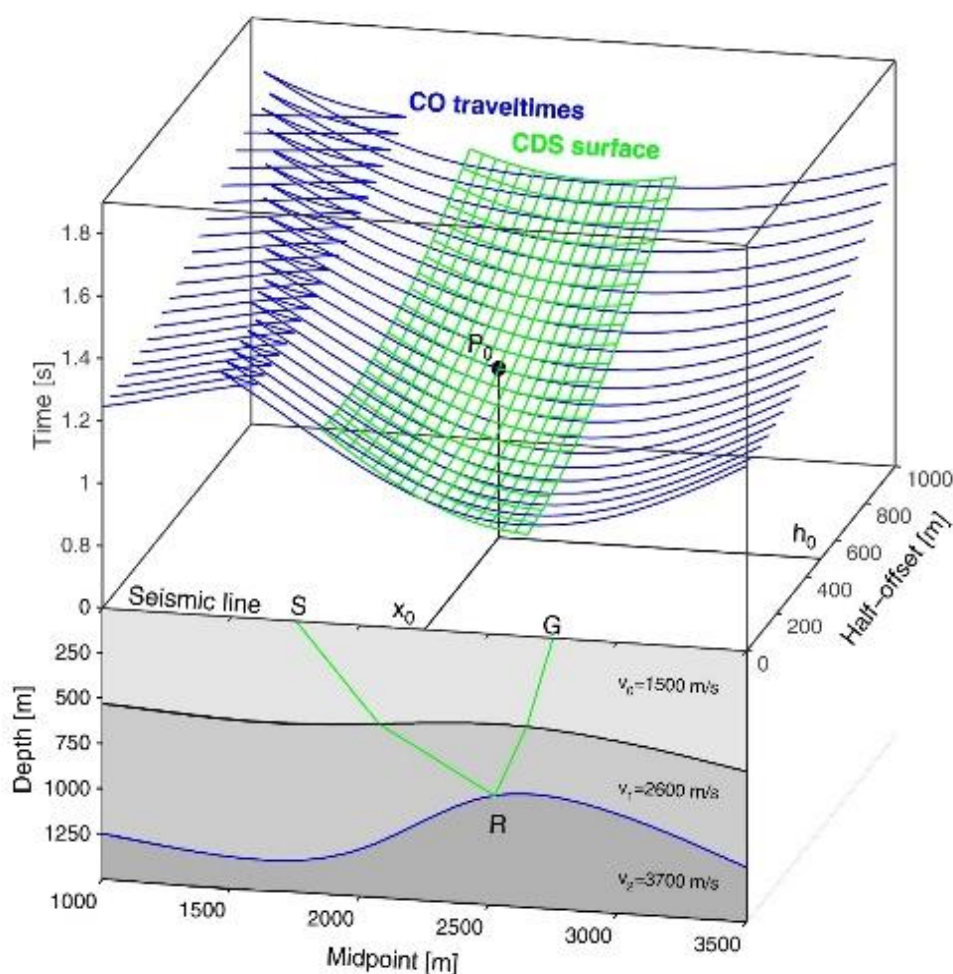


(الف)



(ب)

تصویر ۳-۳: الف) انتشار جبهه موج آزمون CS در لحظات مختلفی از زمان. جبهه موج خروجی  $k_1$  می‌باشد. ب) انتشار جبهه موج آزمون فرضی CMP در لحظات مختلفی از زمان. جبهه در S با انحنای K2 شروع شده و در G با انحنای K3 خارج می‌شود (Garabito et al., 2011).



تصویر ۳-۴: قسمت پایین: یک محیط دوبعدی با دولایه‌ی همگن بر روی نیم فضا که توسط سطوح منحنی و هموار جدا شده اند. یک پرتو دورافت محدود نشان داده شده است و  $x_0$  نقطه میانی و  $h_0$  نیم دور افت می‌باشد. قسمت بالا: منحنی‌های زمان رسید CO (رنگ آبی) مربوط به بازتاب‌های اولیه سطح دوم همراه با اپراتور CDS (رنگ سبز) مربوط به  $P_0$  (Garabito et al., 2011).

با استفاده از معادله (۳-۶) سطح برانبارش تصویر ۳-۴ ساخته می‌شود. با این حقیقت که این اپراتور مربوط به پرتوی مرکزی پراش است، این روش برانبارش سطح پراش مشترک با دورافت مشترک نامیده می‌شود (CO CDS).

### ۳-۵ استراتژی حل بر مبنای شیب

روش‌های برانبارش تمرکز چند گانه و CRS مجموعه‌ای از نشانگرهای میدان موج تخمین می‌زنند و با کمترین فرض درباره سرعت زمین، یک مقطع برانبارش تولید می‌کنند. به هر حال این روش‌ها، حداقل به طور مستقیم یک مقطع مهاجرت زمانی یا عمقی تولید نمی‌کنند. همچنین می‌توان با

استدلال مشخص کرد این دو همچنان روش‌هایی بر مبنای بهینه‌سازی پارامتر (از نشانگرهای جبهه موج به مدل سرعت برانبارش) هستند. روشی جدید بر مبنای پراکندگی معکوس توسط [Weglein et al. \(2000\)](#) توسعه یافته که پتانسیل تصویرسازی زمین بدون نیاز به مدل سرعت می‌باشد.

پس از آن [Landa et al. \(2006\)](#) روشی ابتکاری برای تصویر سازی و بدون نیاز به مدل سرعت با استفاده از روش انتگرال مسیر توسعه دادند. در این روش آنها نه تنها از مفهوم سرعت بلکه از تخمین فاز ایستا در مدل سازی موج نیز استفاده نکردند. انتگرال مسیر در مدل سازی موج لرزه‌ای مشابه با انتگرال مسیر فینمن<sup>۱</sup> در مکانیک کوانتوم، اخیراً معرفی شده است ([Schlottmann, \(Lomax, 1999\)](#) 1999). روش انتگرال مسیر با استفاده از مجموع سیگنال‌های ابتدایی انتشار یافته از تمام مسیر های ممکن بین چشمه و گیرنده برای یک نمونه از بازتابنده، میدان موج را بازسازی می‌کند. این روش به زمان رسید یک رخداد بازتابی تنها از یک مسیر که با استفاده از تخمین فاز ایستا و یا اصل فرما به دست می‌آید، وابسته نیست. در عوض این روش نشان دهنده موج لرزه‌ای به عنوان یک نمونه برداری از فضایی بزرگتر بین دو نقطه است، که حداقل به لحاظ تئوری شامل زون فرنل از تمام درجات می‌باشد. تمام خط سیرهای تصادفی بین چشمه و گیرنده در این فضا به حساب می‌آیند. فاز سهمیم در هر مسیر توسط سیستم لاگرانژی تعریف می‌شود و تمام فاز شرکت کننده، به صورت سازنده و مخرب، لرزه نگاشت کامل را می‌سازد. ریاضیات مورد استفاده در روش انتگرال مسیر تقریباً پیچیده است و نیازمند ترکیب تعداد نامحدودی از ابعاد می‌باشد. اما توسعه دهندگان روش، فرض می‌کنند انتگرال مسیر می‌تواند به صورت عددی با پارامتر دهی خطوط سیر با تعداد محدودی پارامتر حل شود. روش انتگرال مسیر در هر دو حوزه زمان و عمق قابل اجراست و دارای سه کاربرد است؛ برانبارش به دورافت صفر، مهاجرت زمانی و مهاجرت عمقی. در هر مورد، در عوض بهینه سازی یک خط سیر برای کل داده، انتگرال مسیر شامل ادغام تعداد زیادی خط سیر می‌باشد. برای برانبارش به دورافت صفر، انتگرال مسیر شامل ادغام داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش است که در طول تمام خط سیرها به

---

<sup>1</sup> Feynman's path integrals

لحاظ فیزیکی قابل برانبارش هستند، در حالی که در سایر روش‌های تصویر سازی (NMO/DMO/stack، تمرکز چند گانه و CRS) هذلولوی متناظر با بیشترین شباهت (به طور مثال همدوسی) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق برای انجام برانبارش CO CDS، از ایده‌ای مشابه با روش انتگرال مسیر استفاده شده است. در این روش، همه‌ی عملگرهای ممکن برانبارش CO CDS برای هر شیب و مربوط به هر رخدادی در نمونه که در برانبارش دخالت می‌کند، در نظر گرفته خواهد شد. برای این منظور در طیف زاویه‌ی مربوط به هر نمونه و در عوض تعیین بهینه‌ترین مقدار با معیار شباهت، یک بازه برای ورود پرتو مرکزی به گیرنده و یک بازه برای خروج این پرتو از چشمه از ابتدا تعیین می‌شود و گام‌هایی برای نمونه‌برداری از طیف زاویه ( $d\alpha$ ) نیز مشخص می‌شود. این ایده مشابه روش انتگرال مسیر است و هر زاویه بیانگر یک مسیر از چشمه به گیرنده برای یک نمونه در سطح بازتابنده می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن هر زاویه روی این طیف ناپیوسته، بدون در نظر گرفتن مقدار همدوسی، برای هر زاویه یک سطح برانبارش تشکیل خواهد شد.

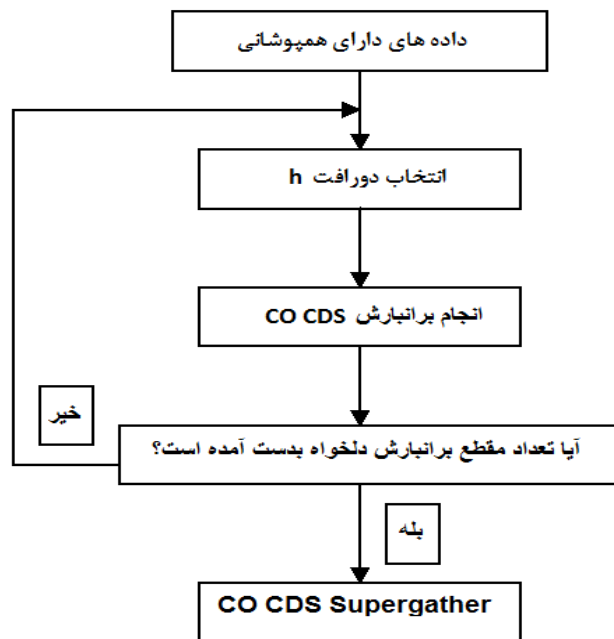
با مشخص بودن مقادیر زوایای خروج و ورود موج مرکزی به ترتیب از چشمه و گیرنده و همچنین تطابق دو جبهه موج  $k_1$  و  $k_3$ ، تنها نیاز به جستجوی دو پارامتر  $k_2$  و  $k_3$  می‌باشد. معادله (۲-۱۳-ب) یا انحنای CMP و معادله (۲-۱۴-ب) یا انحنای CO برابر خواهند بود. در این صورت انحنای CMP در معادله CO CDS به صورت زیر خواهد بود:

$$b_{co-co\ CDS} = a_{cmp-co\ CDS} = t_0(k_3 \frac{\cos^2 \beta_g}{v_g} - k_2 \frac{\cos^2 \beta_s}{v_s}) \quad (۷-۳)$$

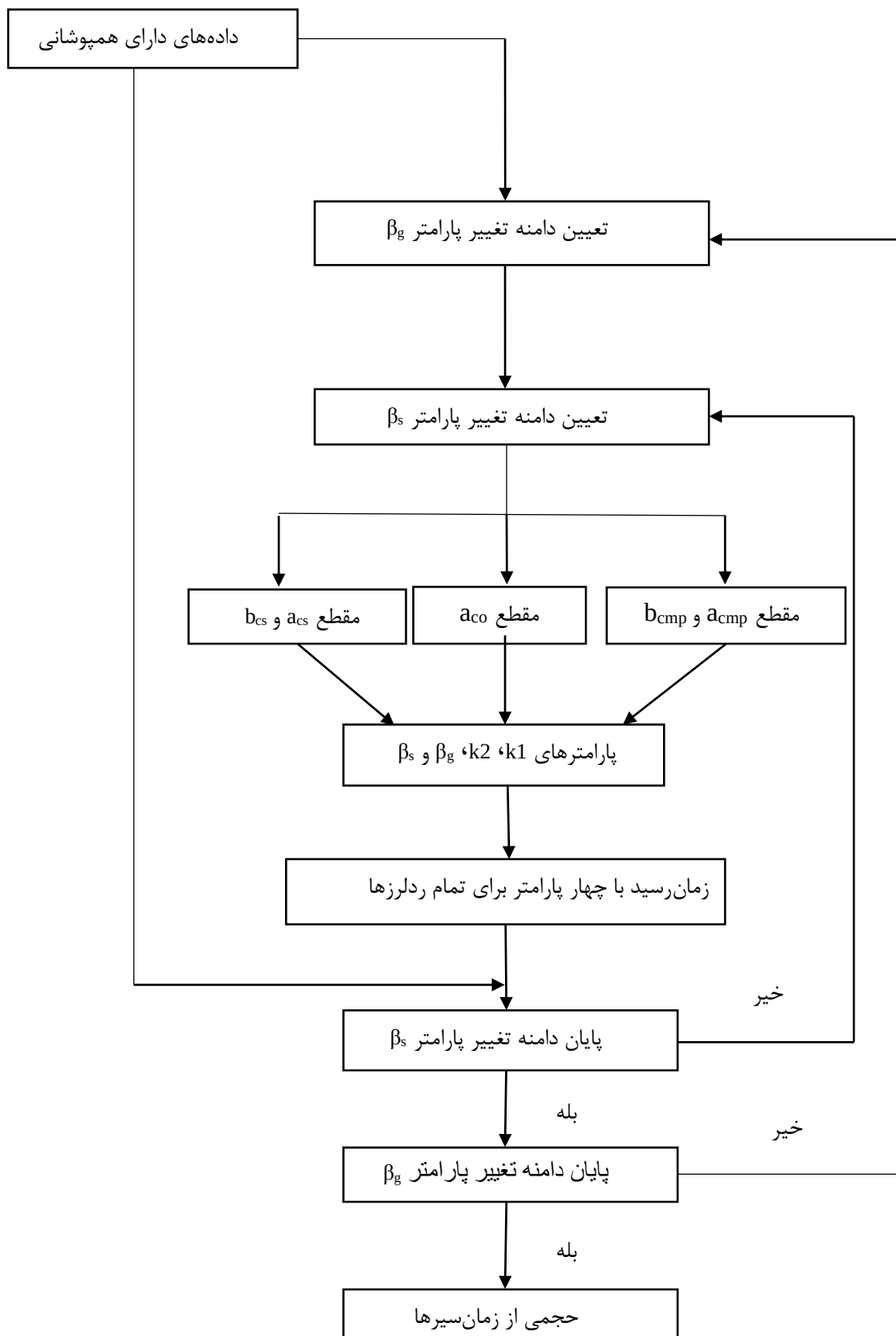
لذا مرحله جستجوی انحنای CO یا  $b_{co}$  در تصویر ۲-۸ حذف خواهد شد. تصویر ۳-۶ استراتژی انجام برانبارش CO CDS را توصیف می‌کند. با در نظر گرفتن همه‌ی زوایای ممکن در معادله (۳-۶)، گروهی از عملگرها، به جای یک عملگر تکی در حوزه زمان، یک حجم با ضرایب وزنی متفاوت از

عملگرها، برای نمونه موجود در مقطع دورافت صفر تشکیل می‌دهند.

برای به‌دست آوردن یک مقطع برانبارش مناسب از روش CO CDS باید تعداد مناسبی از مقاطع برانبارش تک دورافت استفاده شود. معمولاً اختلاف فاصله ۱۰۰-۱۵۰ متر بین مقاطع دورافت مناسب می‌باشد. تصویر ۳-۵ مراحل تولید داده‌های بهبودیافته پیش از برانبارش را نشان می‌دهد.



تصویر ۳-۵: نمودار گردش تولید CO CDS Supergather.



تصویر ۳-۶: نمودار گردش انجام برانبارش CO CDS



# فصل چهارم

## پردازش داده‌های مصنوعی و

### واقعی

## ۱-۴ پردازش داده‌ی مصنوعی Sigsbee 2A

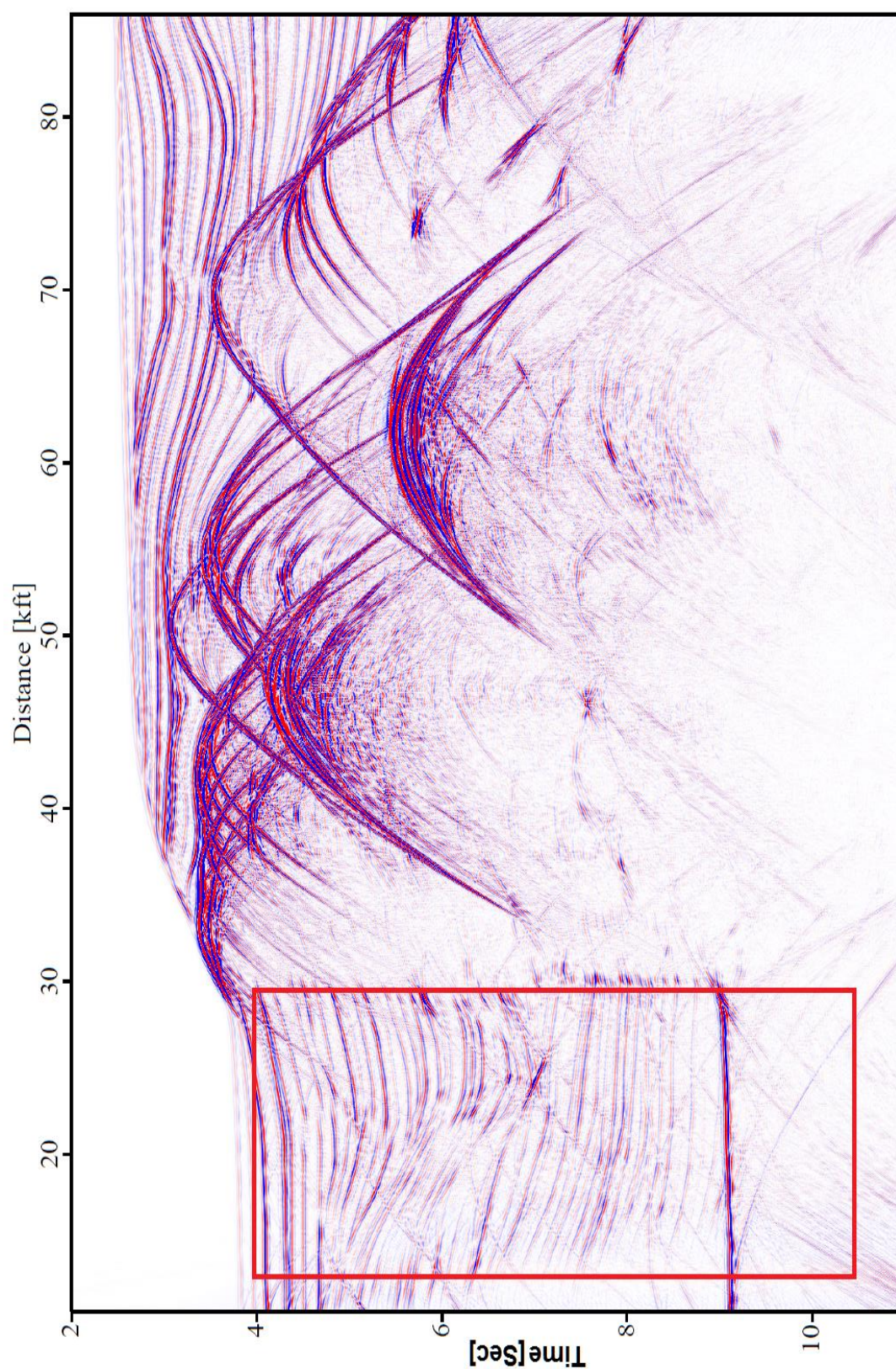
برای بررسی بیشتر روش CO CDS و نشان دادن مزایای آن، این روش به همراه روش CO CRS بر روی داده‌ی مصنوعی Sigsbee 2A مورد استفاده قرار گرفت.

Sigsbee 2A یک مجموعه داده‌ی مصنوعی می‌باشد که توسط کنسرسیوم SMAART JV در سال ۲۰۰۱ انتشار یافته است. این داده مصنوعی قسمتی از زمین‌شناسی پرتگاه Sigsbee در خلیج مکزیک را مدل سازی می‌کند (تصویر ۱-۴). در این پایان‌نامه تنها قسمت کوچکی از این داده مورد پردازش قرار می‌گیرد و ساختار نمکی شامل آن نمی‌شود. داده به دلیل پایین بودن تباین امپدانس صوتی تقریباً هیچ‌گونه امواج چندگانه ندارد.

تعدادی گسل نرمال و راندگی و همچنین نقاط پراش دهنده در داده وجود دارد. فاصله چشمه‌ها ۴۵/۷ متر با ۳۴۸ کانال در هر چشمه و فاصله گیرنده‌ها ۲۲/۸ متر می‌باشد. حداکثر چینش ۸۷ است. داده‌ها هر ۸ میلی ثانیه و در ۱۲ ثانیه نمونه برداری شده‌اند. جدول ۱-۴ پارامترهای مورد استفاده در برانبارش را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴ : پارامترهای عمومی مورد استفاده در برانبارش CO CRS و CO CDS

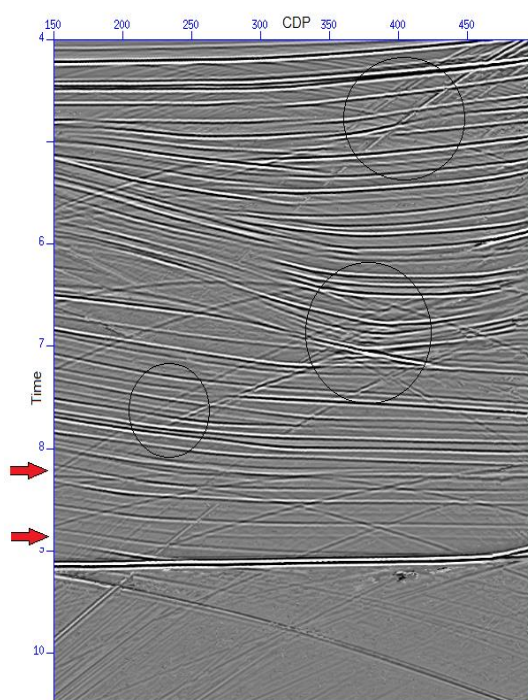
| Offset | cdpmin | cdpmax | minoffsettime | minoffsetap | maxoffsettime | maxoffsetap |
|--------|--------|--------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| 5000   | 150    | 500    | 4.1 s         | 1000        | 10.3 s        | 10000       |



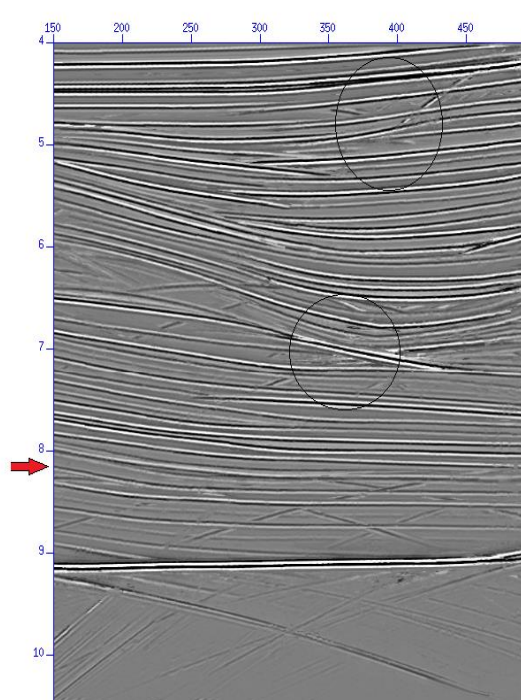
تصویر ۴-۱: داده‌ی Sigsbee 2A و قسمت مورد پردازش در این تحقیق (مستطیل قرمز رنگ) (Mann, 2001).

تصویر ۱-۴ تا تصویر ۲-۴ نتایج برانبارش CO CDS به همراه برانبارش CO CRS و همچنین مقاطع همدوسی مربوطه را نشان می‌دهد. در این پردازش از مقدار ۵۰۰۰ فوت برای دورافت استفاده شده است. ممکن است این گونه برداشت شود که نیازی به دورافت های دیگر نیست، اما دلیل انتخاب تنها یک مقدار برای دورافت صرفاً بررسی توانایی الگوریتم در نشان دادن رخدادهای پراش می‌باشد.

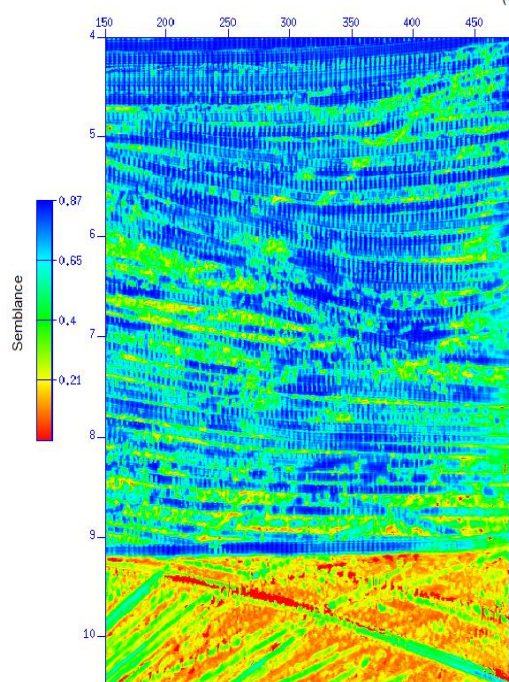
در روش CO CRS رخداد هایی که شبیه سازی می‌شوند، رخداد های بازتابی هستند. حال آنکه در روش CO CDS تلاش بر تقویت رخداد های پراش می‌باشد. در تصویر ۲-۴ الف مقطع برانبارش CO CRS مشاهده می‌شود. در این مقطع رخداد های بازتابی از پیوستگی قابل قبولی برخوردارند ولی رخداد های پراش یا قابل مشاهده نیستند یا پیوستگی قابل توجهی ندارند. تصویر ۲-۴ ب مقطع برانبارش CO CDS (زمان رسید اصلاح شده CO CRS برای رخداد های پراش) را نشان می‌دهد. در این برانبارش تعداد بسیار زیادی رخداد پراش که در حالت CO CRS قابل مشاهده نبودند، تقویت شده‌اند. تعدادی از این رخداد ها با پیکان های قرمز رنگ و دایره سیاه رنگ مشخص شده‌اند. موضوع دیگری که از این تصویر قابل مشاهده است، قابل مقایسه بودن دامنه امواج بازتابی با اموج پراش است. تصویر ۲-۴ ج و تصویر ۲-۴ د به ترتیب مقاطع همدوسی برانبارش CO CRS و CO CDS را نشان می‌دهند. همدوسی معیاری برای محاسبه شباهت میان ردلرزه است. تغییر در میزان شباهت در اثر تغییر در مشخصه های ردلرزه ها بوجود می‌آید که متناسب با تغییر در امپدانس صوتی لایه ها است. از نظر زمین شناسی رخداد بازتابی با میزان شباهت بالا نشان دهنده ساختار پیوسته زمین شناسی است؛ که می توان با استفاده از این ویژگی مقدار هموار سازی را در موقعیت هایی که رخداد بازتابی وجود دارد کنترل کرد. در مقطع همدوسی CO CRS رخداد های بازتاب دارای پیوستگی و در نتیجه مقدار همدوسی بالا هستند، حال آنکه بدلیل تقویت امواج پراش و کاهش رخداد های بازتاب در روش CO CDS این مقدار همدوسی در جهت رخداد های پراش تغییر می‌کند.



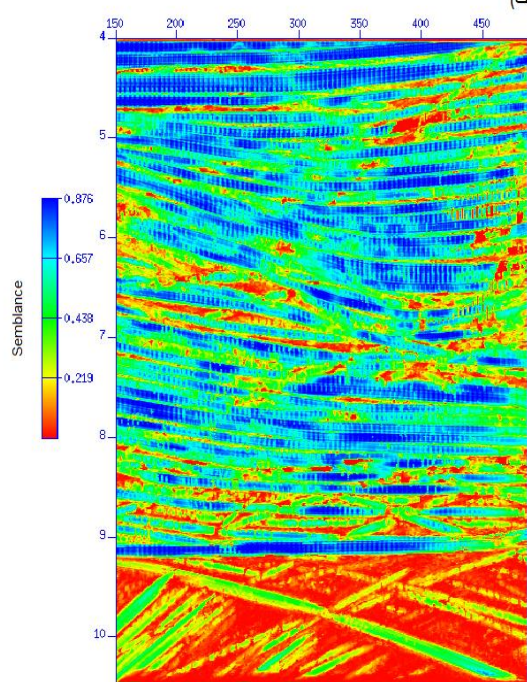
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

تصویر ۴-۲: الف) مقطع برانبارش CO CRS، ب) مقطع برانبارش CO CDS، ج) مقطع همدوسی برای CO CRS و د) مقطع همدوسی CO CDS. تعدادی رخداد پراش که در CO CDS تقویت شده‌اند با پیکان قرمز مشخص شده است.

## ۴-۲ پردازش داده‌ی واقعی

به منظور بررسی روش برانبارش CO CRS و CO CDS در داده‌های پیچیده، این روش‌ها بر روی یک مثال واقعی از شمال شرق کشور، منطقه گرگان استفاده گردید. در بیشتر برداشت‌های لرزه‌ای در این منطقه گلفشان‌ها نقش مهمی در طراحی برداشت‌ها دارند. بنابراین مشخص کردن مرزهای گل فشان در این منطقه یکی از مشکلات در تفسیر مقاطع زمان و عمق است. از پردازش‌های مراحل پیشین می‌توان به تصحیح گسترش هندسی، تصحیح استاتیک، روش‌های متفاوت کاهش نوفه (نوفه-های خطی، نوفه‌های انفجاری منتشر شده در هوا، نوفه‌های زمین غلت و نوفه‌های تصادفی) و بازیابی دامنه اشاره کرد. برانبارش معمول و ZO CRS در گذشته نیز روی این داده انجام شده (به طور مثال: (ادیبی، ۱۳۸۸) و (بالارستاقی، ۱۳۹۱)) و در این قسمت نتایج آنها با نتیجه روش CO CRS مقایسه شده اند.

## ۴-۲-۱ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه کپه داغ به طول ۷۰۰ کیلومتر از شمال غرب دریای مازندران شروع شده و با عبور از شمال شرق ایران به سمت شمال غرب ترکمنستان امتداد می‌یابد. این منطقه صفحه توران را از ایران مرکزی جدا می‌کند. ارتفاع منطقه متغیر بوده و به ۳۰۰۰ متر در بعضی نقاط می‌رسد. کربنات‌های دریایی ژوراسیک-میوسن و رسوبات تبخیری نهشته شده در منطقه مجموعه‌ای از گسل‌ها و راندگی‌ها را تشکیل داده‌اند. تحدب این نهشته‌ها به سمت شمال می‌باشد و به صورت یک روند موازی با گسل راست‌گرد عشق‌آباد در حاشیه شمالی این ناحیه، خم می‌شوند. چین‌ها در خط ساحلی خزر امتداد شمالی-جنوبی دارد که بیانگر مولفه کوتاه شدگی شرقی-غربی می‌باشد. ساز و کار مرکزی در این منطقه روراندگی شدید شمالی-جنوبی روی صفحات با شیب شمالی را نشان می‌دهد. این کوتاه شدگی‌ها، بر اساس نهشته‌های ۴/۵ کیلومتری آواری‌های پلیو کواترنری روی یک توالی دریایی الیگوسن پایینی -میوسن، اصولاً سنی معادل با پلیو کواترنری دارند. بالا آمدگی بر اساس اینکه

واحدهای چینه ای پلیوسن در سمت غرب، نهشته های دریایی اما در سمت شرق غیر دریایی بودند  
ظاهراً از سمت شرق به غرب غیر همزمان هستند (Twigg and Baki, 2013).

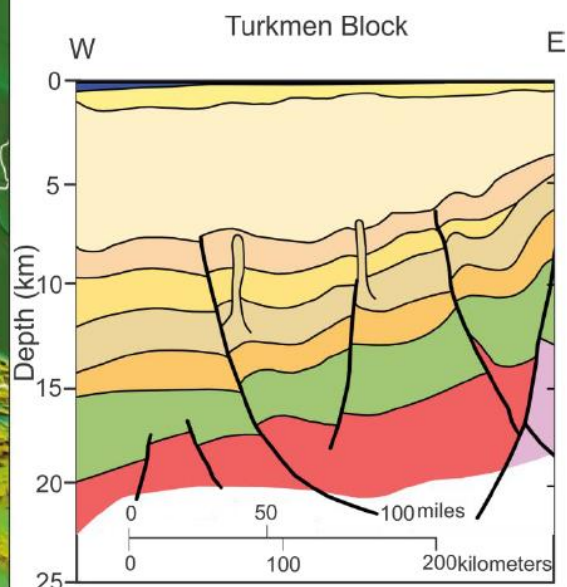
منطقه گرگان بخشی از محدوده کپه داغ واقع در شمال شرق ایران است که در دو ناحیه زمین-  
شناسی متفاوت قرار دارد. این دو ناحیه در بین چند حوزه رسوبی مختلف قرار دارند که بین ایران و  
ترکمنستان توزیع شده اند. این منطقه از رسوبات ضخیمی به سن ژوراسیک تا میوسن به وجود آمده  
است. این رسوبات شیل، سنگ آهک، مارن، ماسه سنگ و گاهی کنگلومرا و رسوبات تبخیری را شامل  
می شود. این توالی پایین تر از یک ناپیوستگی کنگلومرای پالئوسن قرار دارد. شهرت این منطقه بیشتر  
به دلیل گلفشان های آن است که با ذخایر گاز ارتباط دارند. تصویر ۳-۴-ب یک مثال از مقطع زمین-  
شناسی همراه با گلفشان های آن در بلوک ترکمن از دریای خزر را نشان می دهد. در بالای ناپیوستگی  
رسوبات کواترنری حاصل از رودخانه، ساحل و همچنین رسوبات دلتایی وجود دارد. در منطقه گرگان  
که با یک چهارضلعی در تصویر ۳-۴-الف مشخص شده، گلفشان ها نقش مهمی در تعیین محل  
برداشت های لرزه ای جهت اکتشاف گاز دارند. تصویر ۴-۴ خط لرزه ای در شمال منطقه مورد مطالعه و  
گلفشان مجاور آن را نشان می دهد.

بنابراین مقاطع لرزه ای در این منطقه تحت تاثیر گلفشان ها می باشند. تعیین مرز گلفشان در داده-  
های این منطقه یکی از مشکلات تصویر سازی در حوزه زمان و عمق می باشد. مشکل دیگری که  
ممکن است رخ دهد، مسئله شیب ها متقاطع است. همچنین رخدادها در این مقاطع لرزه ای از  
پیوستگی مناسبی برخوردار نیستند که نتیجه ی این شرایط زمین شناسی می باشد. در کنار استفاده از  
روش های مرسوم و همچنین ZO CRS، روش CO CRS و CO CDS روش های بسیار سودمندی  
برای این وضعیت هستند که در ادامه از آنها استفاده خواهد شد.

در این مطالعه، افزایش کیفیت مقاطع لرزه ای باعث تفسیر و تحدید بهتر گلفشان و ویژگی های  
دیگر آن خواهد شد، نظیر کشیدگی لایه ها که در شیل های متراکم قابل مشاهده نیست.

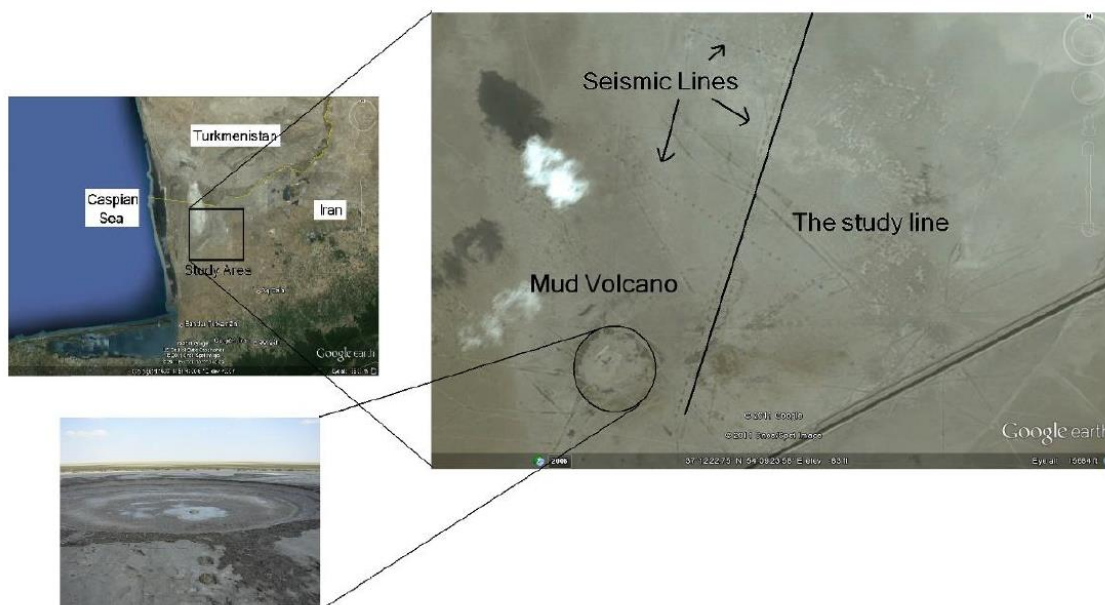


(الف)



(ب)

تصویر ۳-۴: (الف) دریای خزر، مخازن آن و یک نمونه خط لرزه‌ای (نشان داده شده با خط سیاه) و (ب) مقطع زمین-شناسی آن. منطقه مورد مطالعه در کادر مربعی در جنوب-شرق دریای خزر قرار دارد (Twigg and Baki, 2013).



تصویر ۴-۴: عکس ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ایران. گلفشان در نزدیک خط لرزه‌ای نشان داده شده است (Twigg and Baki, 2013).

#### ۲-۲-۴ هندسه برداشت

طول خط لرزه‌ای این برداشت که هدف از آن کشف مخازن گاز بوده است، ۳۵ کیلومتر می‌باشد و ۴۶۵ چشمه انفجاری در امتداد این خط وجود داشته که هر چشمه انفجاری بوسیله ۹۶ کانال گیرنده به ثبت رسیده است. کم‌ترین دورافت ۱۴۰ متر و بیشترین دورافت ۳۴۵۸ متر می‌باشد. فاصله گیرنده‌ها در امتداد خط مذکور ۳۵ متر و فاصله چشمه‌های انفجاری از هم ۷۰ متر بوده است. بیشترین مقدار چینش در طول خط برداشت ۲۴ است. به عبارت دیگر به ازای هر رکورد CMP، ۲۴ ردلرزه در این داده‌ها وجود دارد. جدول ۲-۴ هندسه برداشت این داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۴: پارامترهای هندسی برداشت داده مربوط به داده واقعی

| هندسه چشمه و گیرنده |             | هندسه نقطه میانی و دورافت    |            |
|---------------------|-------------|------------------------------|------------|
| تعداد چشمه‌ها       | ۴۶۵         | تعداد شبکه CMP               | ۱۹۵۲       |
| تعداد گیرنده‌ها     | ۹۹۷         | حداکثر تعداد چینش CMP        | ۲۴         |
| فاصله چشمه‌ها       | ۷۰ متر      | فاصله‌ی بین هر دو CMP متوالی | ۱۷/۵ متر   |
| فاصله گیرنده‌ها     | ۳۵ متر      | بازه دورافت                  | ۱۴۰-۳۴۵۸   |
| پارامترهای ثبت      |             | محتوای فرکانسی               |            |
| زمان ثبت            | ۷ ثانیه     | فرکانس                       | ۵۲-۱۰ هرتز |
| فاصله نمونه برداری  | ۰/۰۰۴ ثانیه | فرکانس غالب                  | ۲۰ هرتز    |

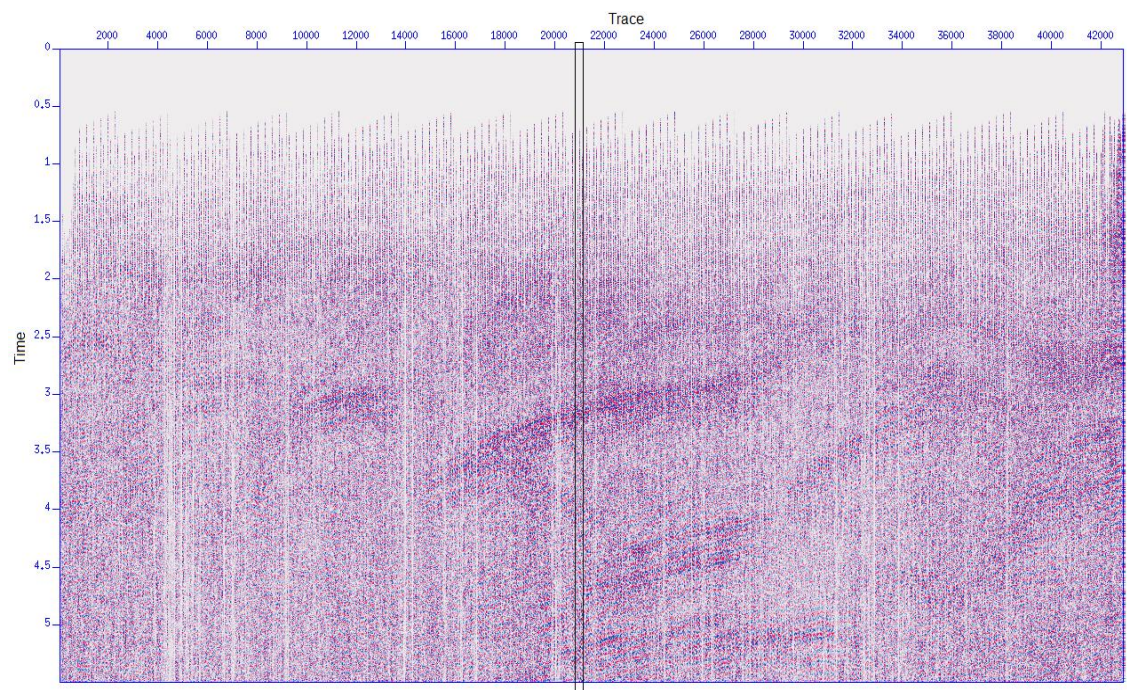
#### ۳-۴ برانبارش به روش معمول CMP و برانبارش ZO CRS

داده‌های بیش از برانبارش خط مذکور در شکل ۴-۵ نشان داده شده اند. به منظور به‌دست آوردن یک ایده اولیه از ساختارهای منطقه و همچنین مقایسه نتیجه روش‌های مختلف با روش CO CRS و CO CDS، روش‌های برانبارش معمول و ZO CRS نیز بر روی داده‌ها اعمال گردید. شکل ۴-۶ نتیجه برانبارش به روش ZO CRS و شکل ۴-۷ نتیجه برانبارش به روش معمول را نشان می‌دهد.

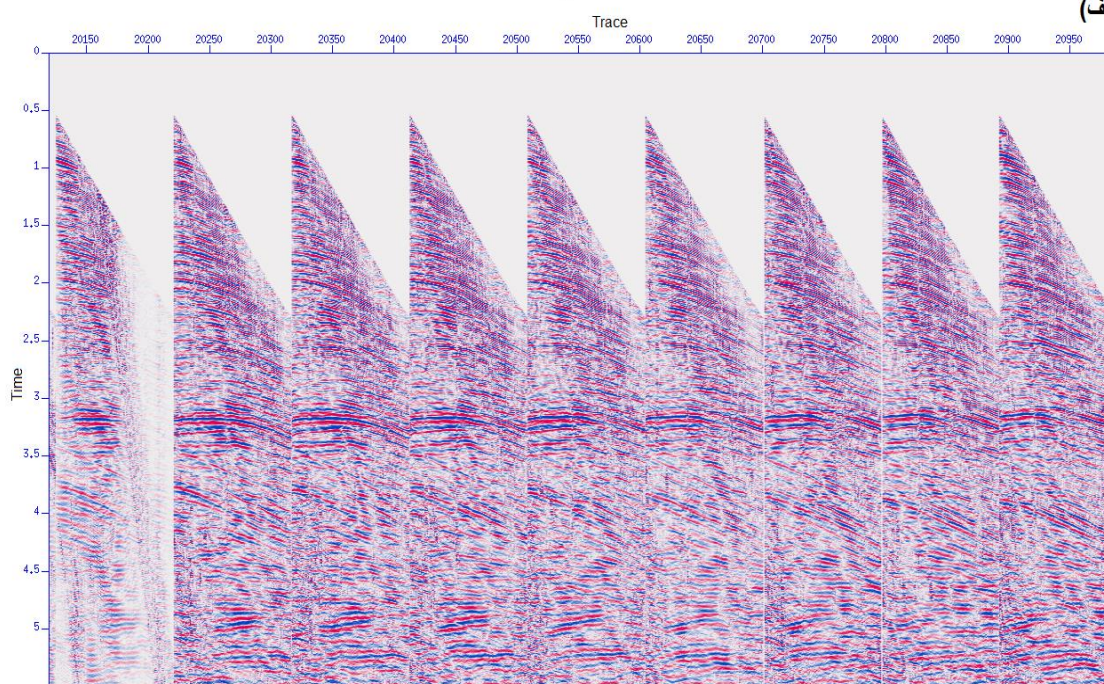
#### ۴-۴ پردازش CO CRS و CO CDS

روند انجام پردازش داده بدین گونه است که برای هر دورافت دلخواه، ابتدا قسمت کوچکی از داده انتخاب شده و پردازش روی آن انجام می‌شود. سپس نتایج مورد بررسی قرار گرفته تا مقدار اولیه‌ای که برای پارامترها استفاده شده است، مورد بازبینی قرار گیرند. یکی از این پارامترها مقدار بازه برای دورافت است. اپراتور برانبارش CO CRS (و یا CO CDS) تقریب پاسخ جنبشی بازتاب (پراش در مورد CO CDS) از یک سطح منحنی در مجاورت پرتو مرکزی می‌باشد. بنابراین لازم است بازه به گونه‌ای انتخاب شود که این تقریب از دقت قابل قبولی برخوردار باشد. بازه سطحی بیضوی شکل در حوزه دورافت-نقطه میانی می‌باشد.

همان گونه که در فصل پیش نیز اشاره شد امکان انجام دو نوع جستجو برای پارامترها در مرحله برانبارش خودکار و برانبارش CO وجود دارد، یک جستجوی همزمان دو پارامتر و دیگری دو جستجوی تک پارامتری. جستجوی همزمان دو پارامتر بسیار زمان‌بر است و با امکانات موجود امکان انجام چنین جستجویی نیست. بنابراین از الگوریتم دو جستجوی تک پارامتری استفاده شد.

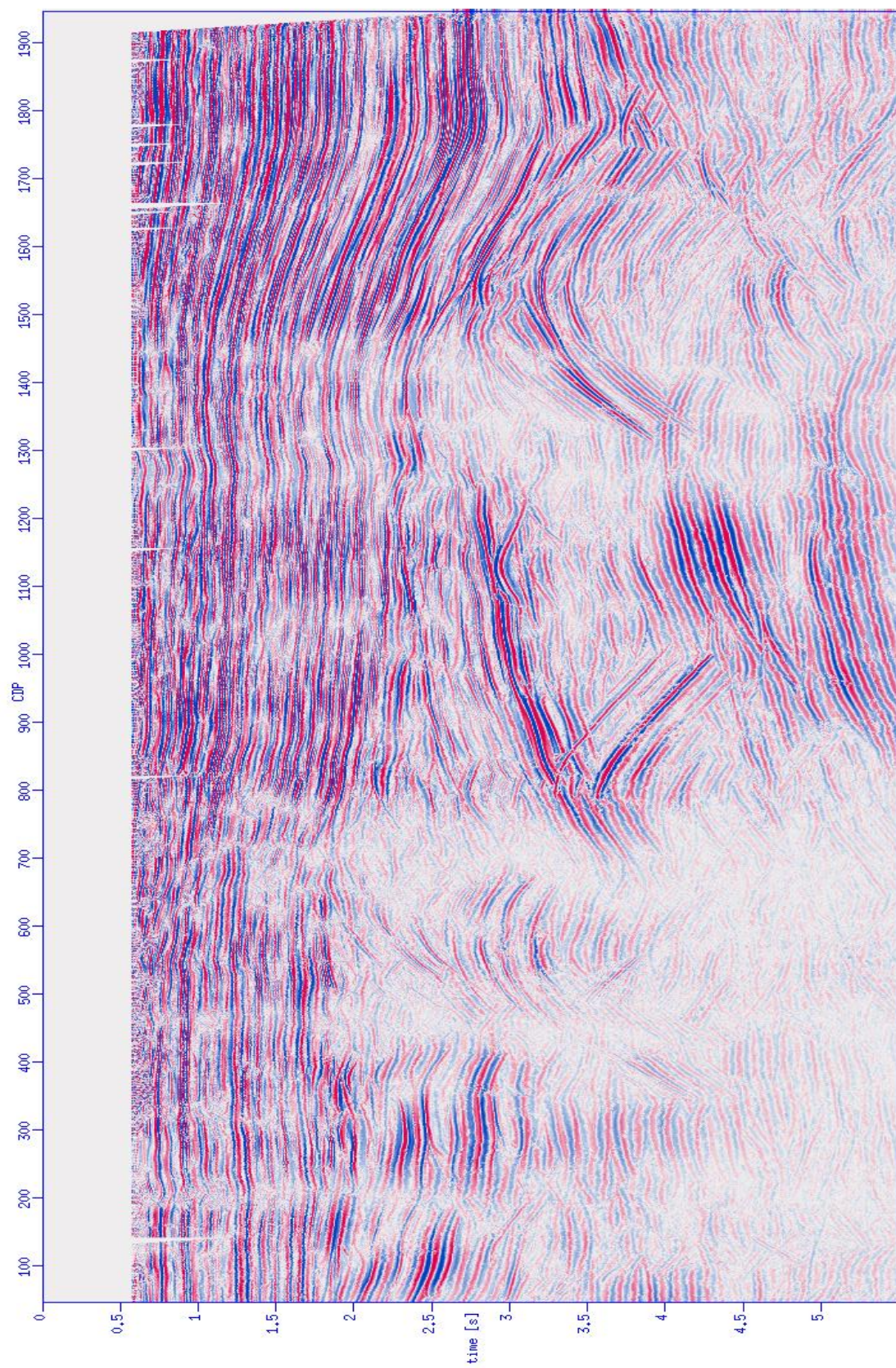


(الف)

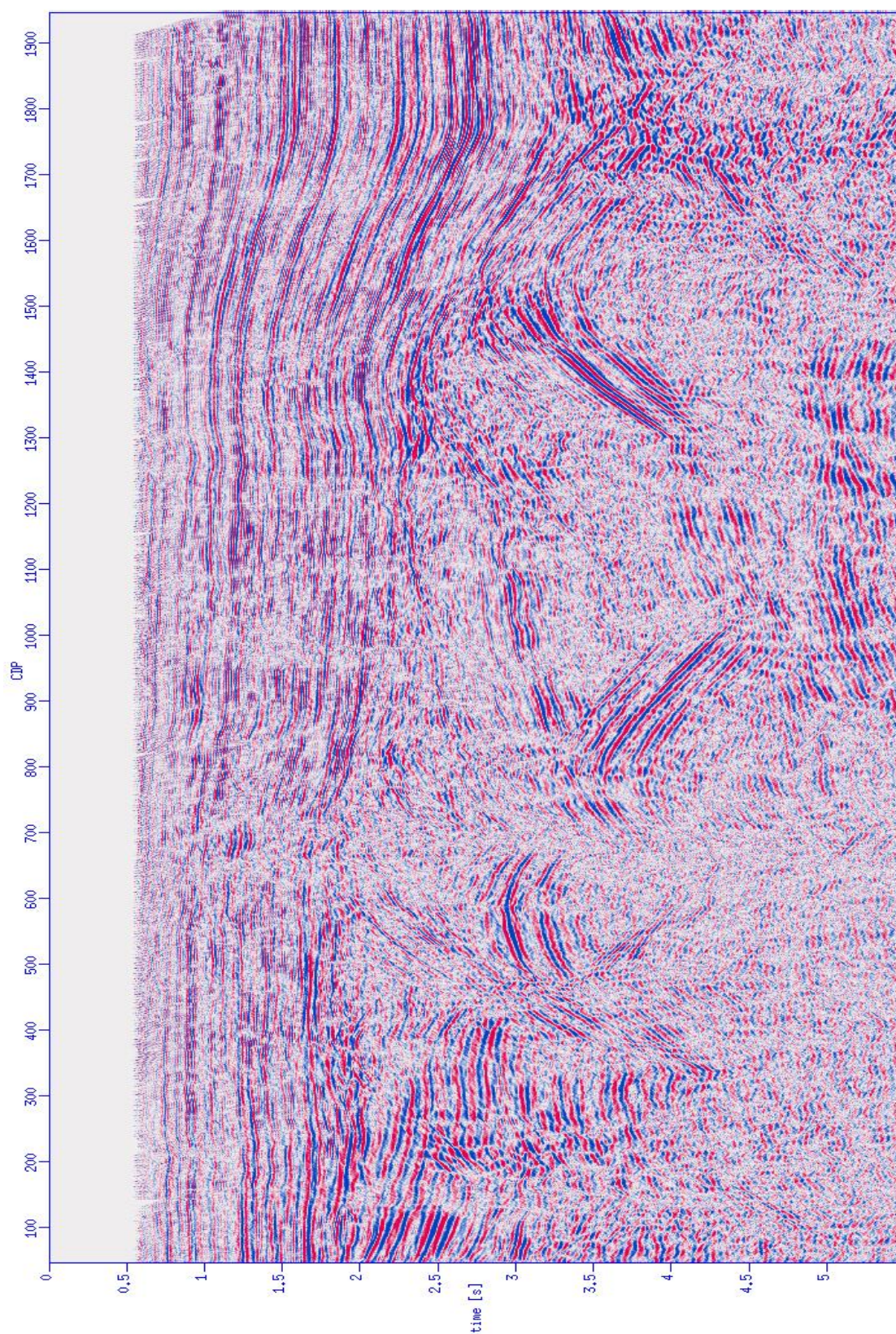


(ب)

تصویر ۴-۵: الف) داده‌های پیش از برانبارش و ب) بزرگ‌نمایی قسمتی از داده‌ها که با مستطیل سیاه رنگ مشخص شده است.



تصویر ۴-۶: برآینارش به روش ZO CRS



تصویر ۴-۷: برانبارش به روش معمول CMP

برانبارش CO CRS در سه مرحله انجام می‌گردد. در مرحله اول برانبارش خودکار CMP که خروجی‌های مهم آن مقطع برانبارش خودکار CMP و مقطع شباهت متناظر با آن است. مرحله دوم برانبارش دورافت مشترک که خروجی مهم آن برانبارش CO و مقطع شباهت متناظر با آن است. خروجی مرحله پیش ورودی این مرحله و خروجی این مرحله نیز ورودی قسمت پایانی برانبارش، یعنی برانبارش CO CRS می‌باشد. در این مرحله، مقطع برانبارش نهایی CO CRS و مقطع شباهت آن از خروجی‌های مهم می‌باشند.

معیار شباهت استفاده شده، معیار همدوسی<sup>۱</sup> است که می‌توان آن را نسبت نرمال شده انرژی خروجی (ردلرزه برانبارش شده) به انرژی ورودی (داده‌های پیش از برانبارش) دانست.

معمولاً روش CO CRS و CO CDS بر روی تمام دامنه دورافت در یک توالی مشخص انجام می‌شود. فاصله دروافت‌ها براساس هندسه ورودی و نیازهای مهاجرت انتخاب می‌شود. مقدار معمول ۱۵۰-۱۰۰ متر است. در این تحقیق از یک فاصله ۵۰ متری برای فاصله دورافت استفاده شده است و تعداد مقاطع به دست آمده ۵۵ عدد می‌باشد.

ترکیب نتایج دورافت‌های متفاوت جهت تولید مقطع نهایی با پردازش‌های معمول نظیر مقاطع تصویر مشترک (CIGs) متفاوت است. در CIGs پس از هموار کردن هذلولی‌ها، نتایج از کمترین دورافت تا بیشترین دورافت با یکدیگر جمع می‌شوند. در این روش صراحتاً فرض می‌شود تمام افق‌ها به یک خط سیر تعلق دارند. این فرض در پردازش به روش CO CRS یا CO CDS صادق نیست. در پردازش دورافت مشترک با این دو روش برای هر دورافت، پارامترهای متفاوتی از جبهه موج‌های متفاوت محاسبه می‌شود. لذا ابتدا از نتایج تمام دورافت‌های محاسبه شده، یک مجموعه داده‌ی پیش از برانبارش با نسبت سیگنال به نوفه بهبود یافته تهیه می‌شود. سپس می‌توان عملیاتی نظیر NMO انجام داد و تمام افق‌ها را به یک خط سیر نسبت داد. در انتها نیز عملیات برانبارش معمول بر روی

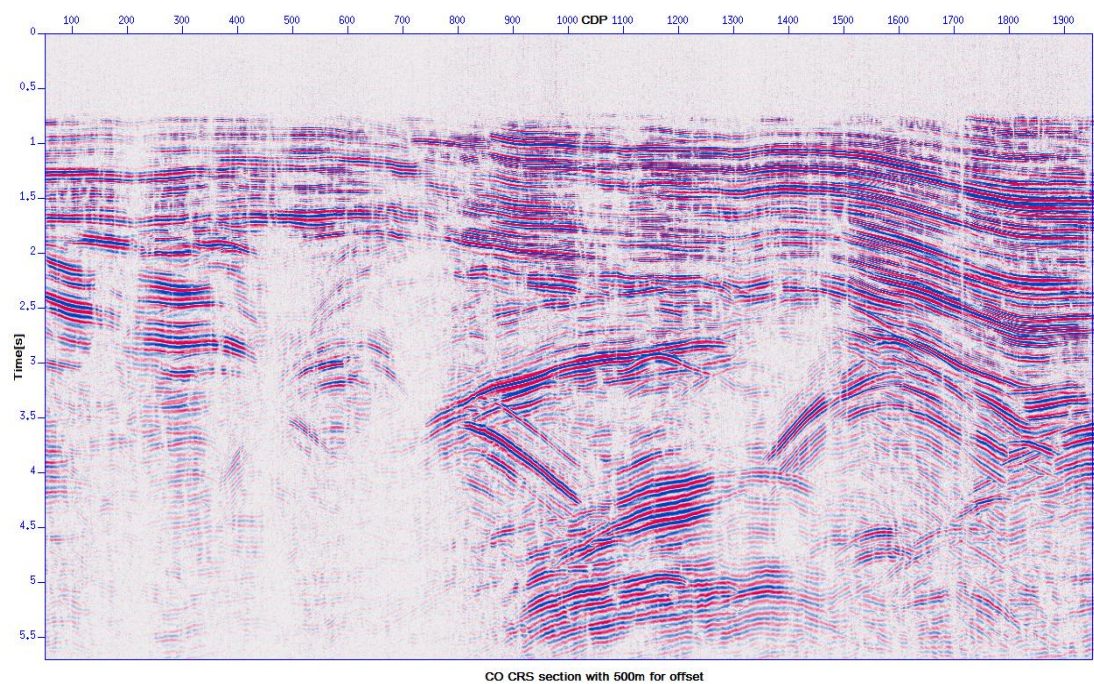
---

<sup>1</sup> semblance

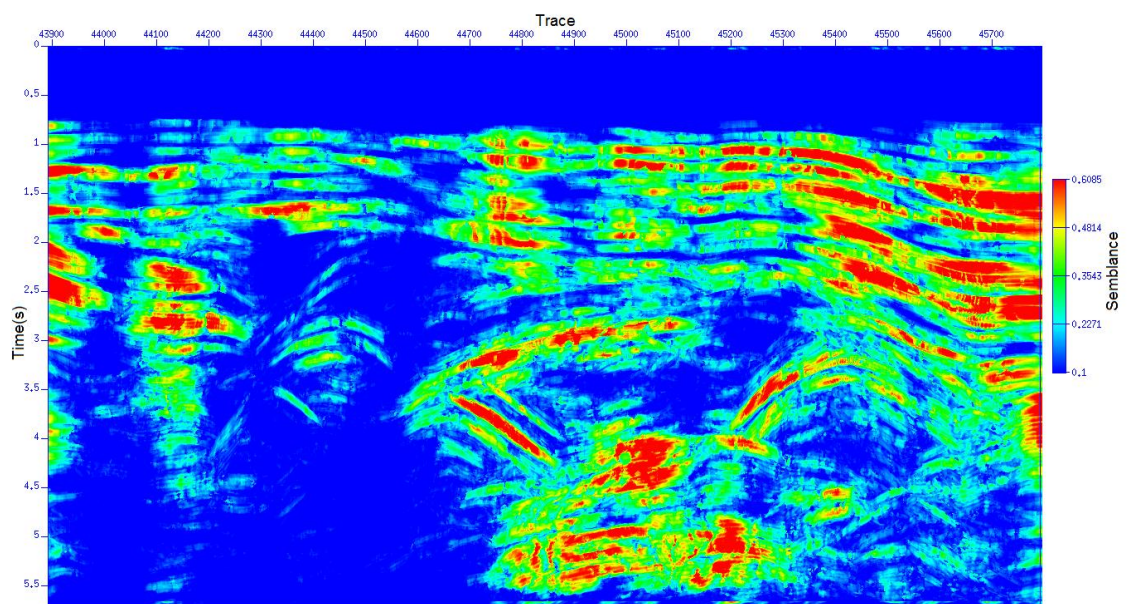
داده‌هایی که تصحیح NMO شده، انجام می‌شود و مقطع نهایی برانبارش بدست می‌آید.

تصویر ۴-۸ نتیجه برانبارش CO CRS برای دورافت ۵۰۰ متر را نشان می‌دهد. در بعضی نقاط پیوستگی ادامه نیافته و یا گپ وجود دارد. دلیل آن را می‌توان وجود اطلاعات تنها از دورافت ۵۰۰ متر دانست. با این حال نسبت سیگنال به نوفه بسیار زیاد است و در بعضی نقاط وجود انرژی مشاهده می‌شود که حتی در مقطع برانبارش به روش معمول وجود ندارد. علاوه بر این دورافت، نتیجه برانبارش دورافت ۱۱۰۰ متر نیز آورده شده است (تصویر ۴-۱۰). نتایج نشان می‌دهد با افزایش دورافت، بازتاب-های زمان‌های نزدیک به تدریج محو شده ولی انرژی رسیده از عمق افزایش می‌یابد. تغییراتی در بعضی نقاط با افزایش دورافت دیده می‌شود که گواهی بر پاسخ محلی روش برانبارش CO CRS است. در تصویر ۴-۱۱ برای سه دورافت این اختلاف‌ها نشان داده شده است.

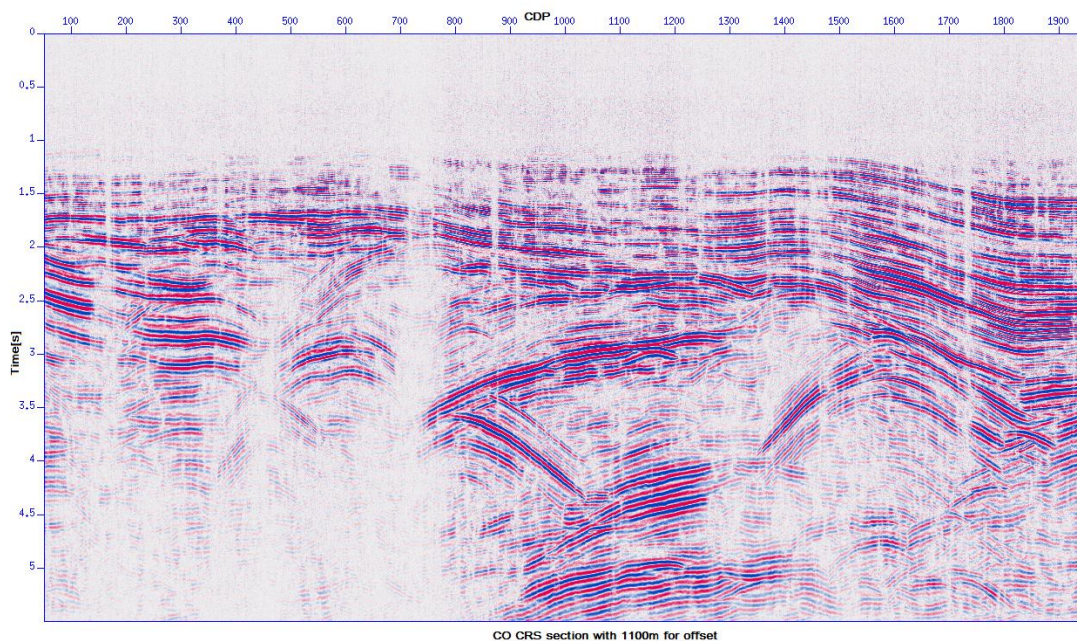
تصویر ۴-۹ مقطع شباهت بر مبنای همدوسی مقطع برانبارش CO CRS برای دورافت ۵۰۰ متر را نشان می‌دهد. از مقایسه تصویر برانبارش متناظر با این مقطع شباهت می‌توان دریافت که بازتابنده‌ها در سمت راست از پیوستگی خوبی برخوردارند.



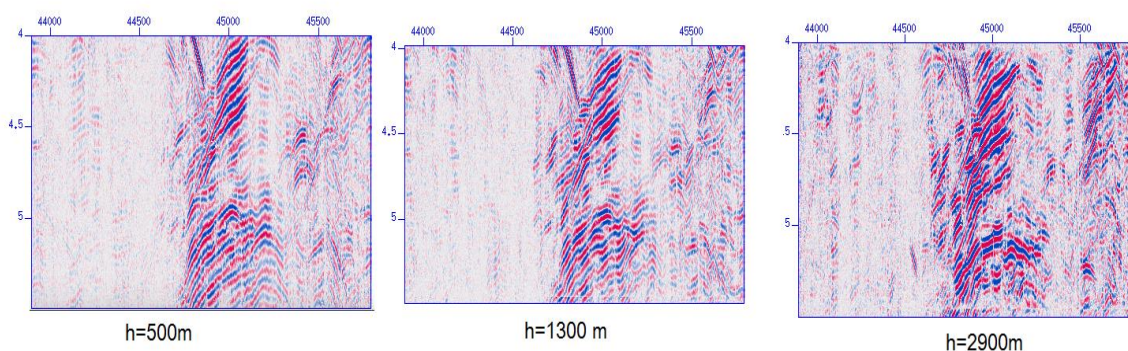
تصویر ۸-۴: مقطع برانبارش CO CRS برای دورافت ۵۰۰ متر



تصویر ۹-۴: مقطع شباهت بر مبنای همدوسی برای مقطع برانبارش دورافت ۵۰۰ متر



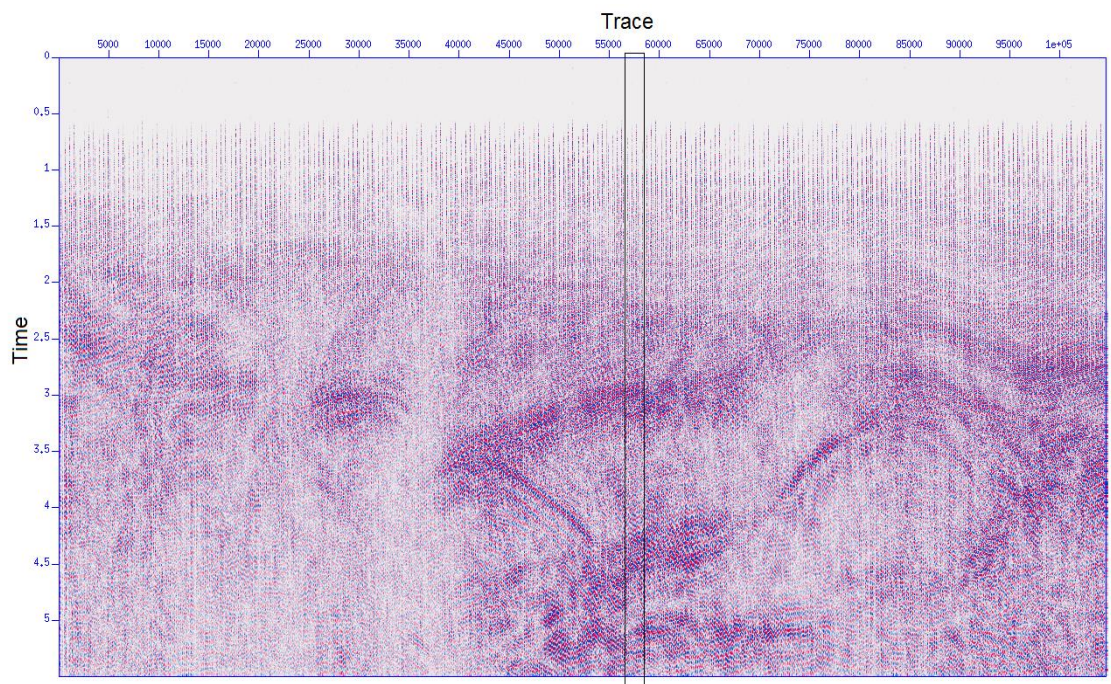
تصویر ۴-۱۰: مقطع برانبارش CO CRS برای دورافت ۱۱۰۰ متر



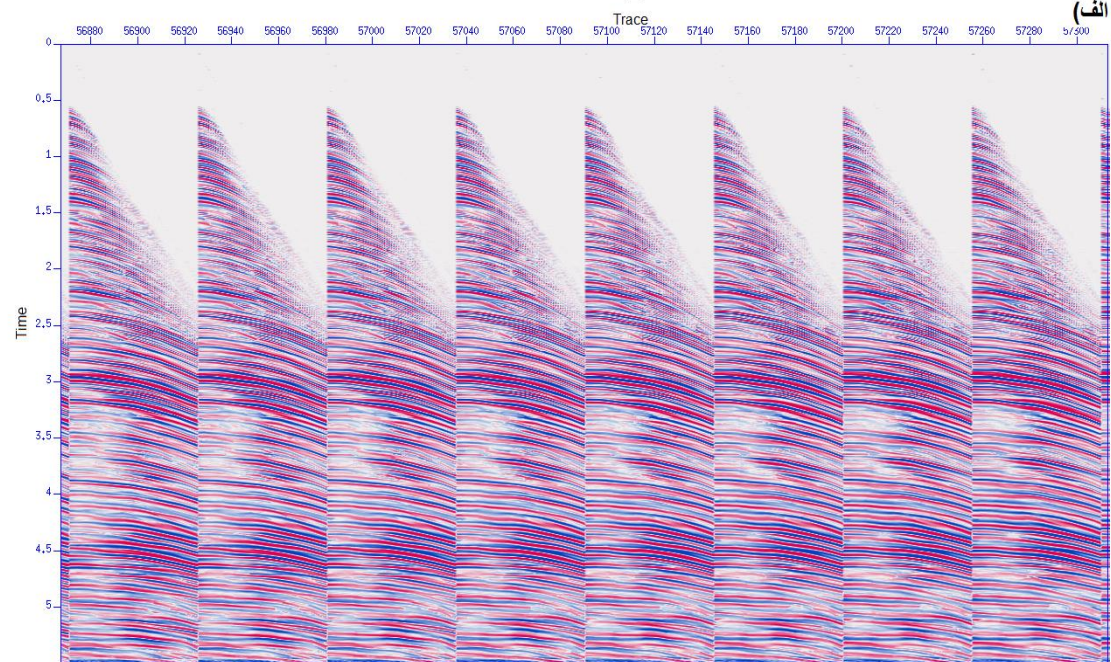
تصویر ۴-۱۱: تفاوت در ساختار برای سه دورافت ۵۰۰، ۱۳۰۰ و ۲۹۰۰ متر

تصویر ۴-۱۲ از قرار گرفتن مقاطع تک دورافتی به دست آمده و نشان دهنده افزایش کیفیت داده-های پیش از برانبارش است. این تصویر اصطلاحاً رکورد سوپر<sup>۱</sup> نامیده می شود. در این مقطع حجم بسیار زیادی از نوفه کاهش یافته و نسبت سیگنال به نویز به صورت چشم گیری افزایش یافته است. برای درک این مطلب می توان به مقایسه این تصویر با تصویر ۴-۵ پرداخت. تصویر ۴-۱۳ رکورد سوپر شباهت برای روش CO CRS را نشان می دهد. تصویر ۴-۱۴ نیز مقطع نهایی برانبارش CO-CRS را نشان می دهد.

<sup>1</sup> Supergather

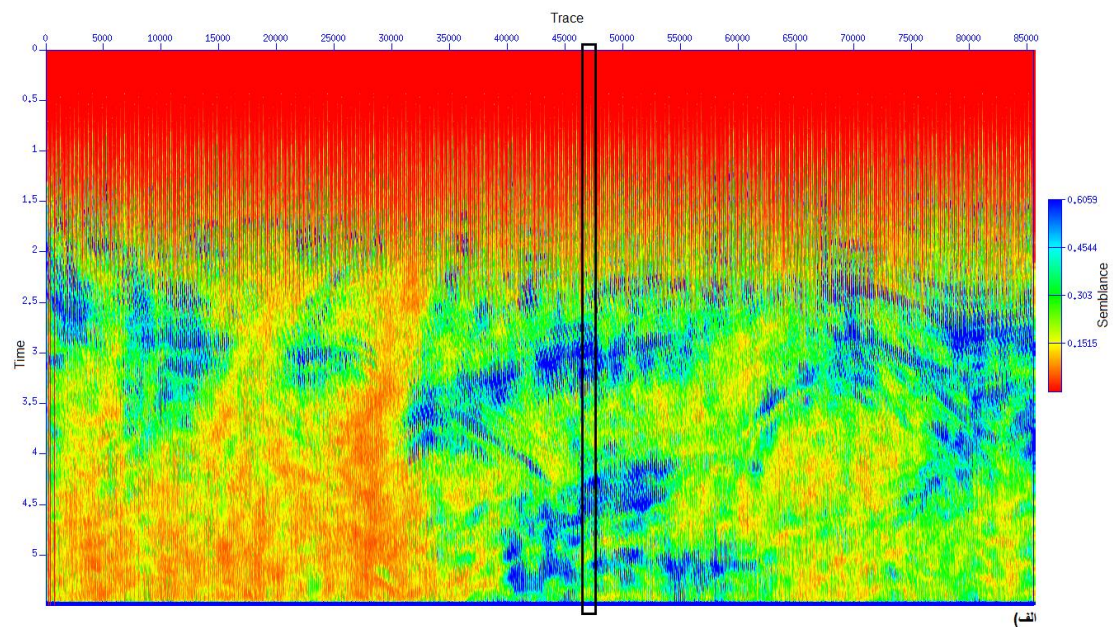


(الف)

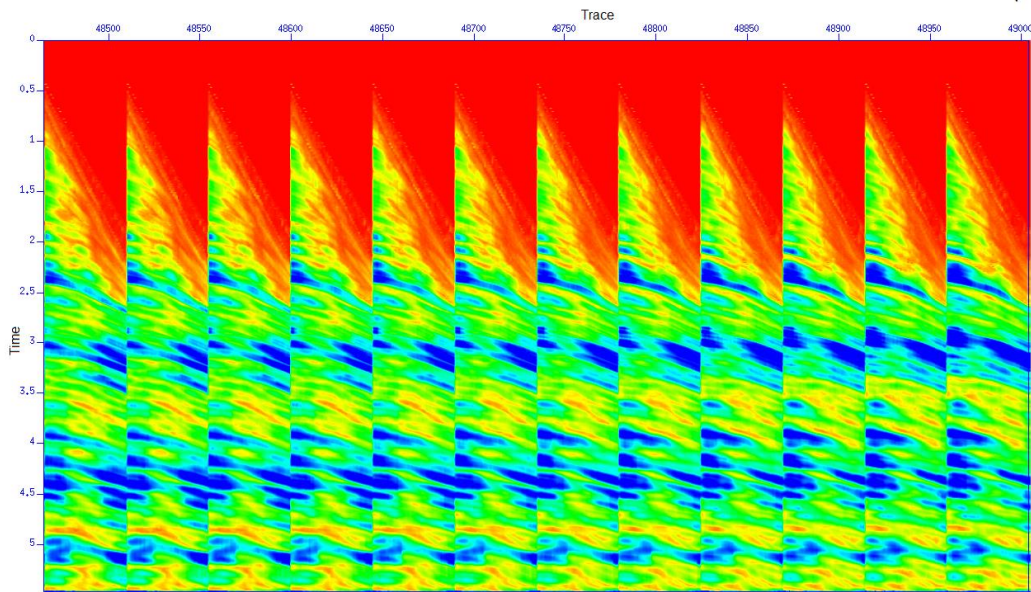


(ب)

تصویر ۴-۱۲: الف) ورداشت سوپر حاصل از پردازش COCRS. ب) قسمت کوچکی از داده که در قسمت الف مشخص گردیده است. تشخیص سیگنال به راحتی امکان پذیر است.

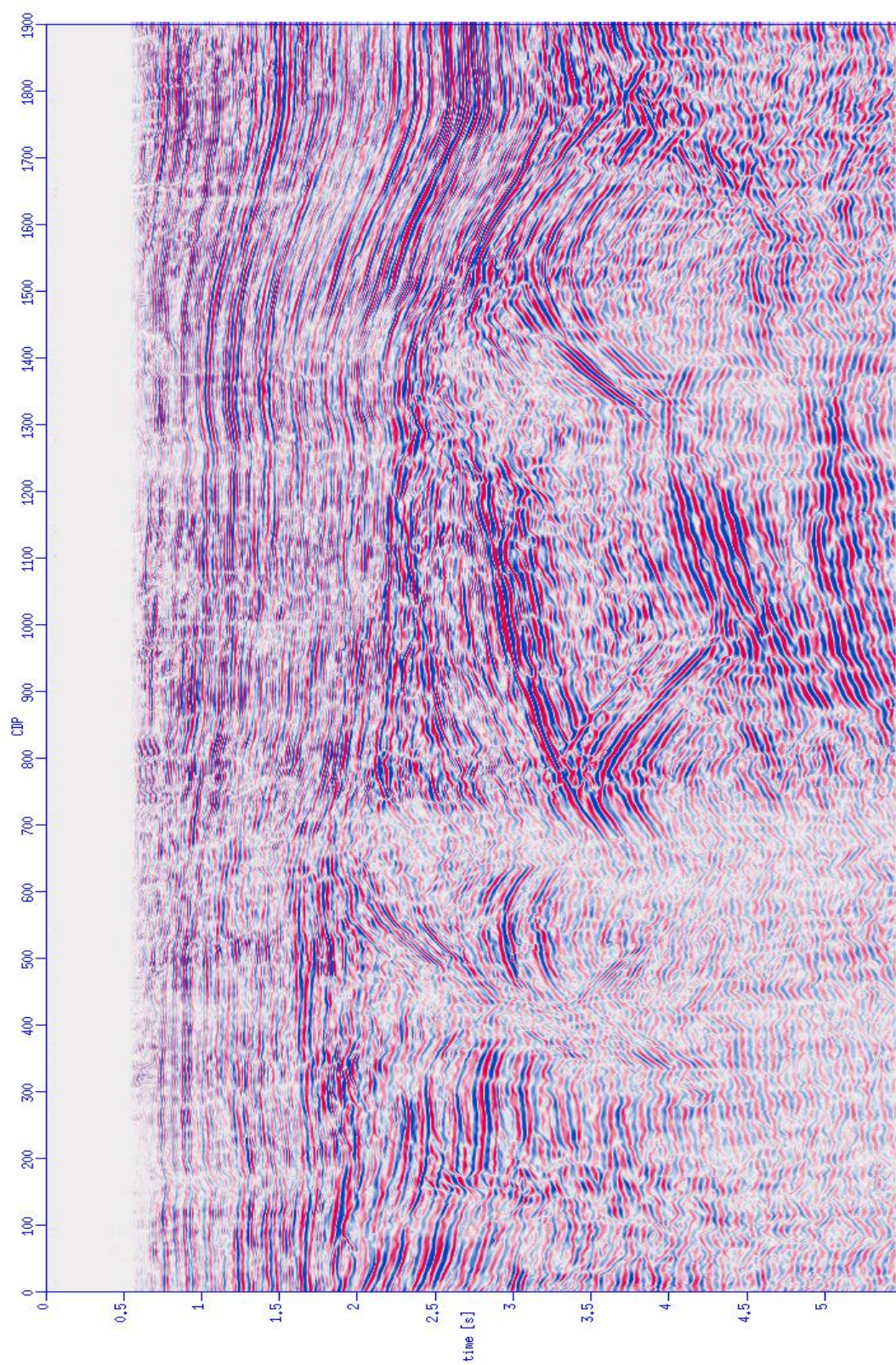


(الف)



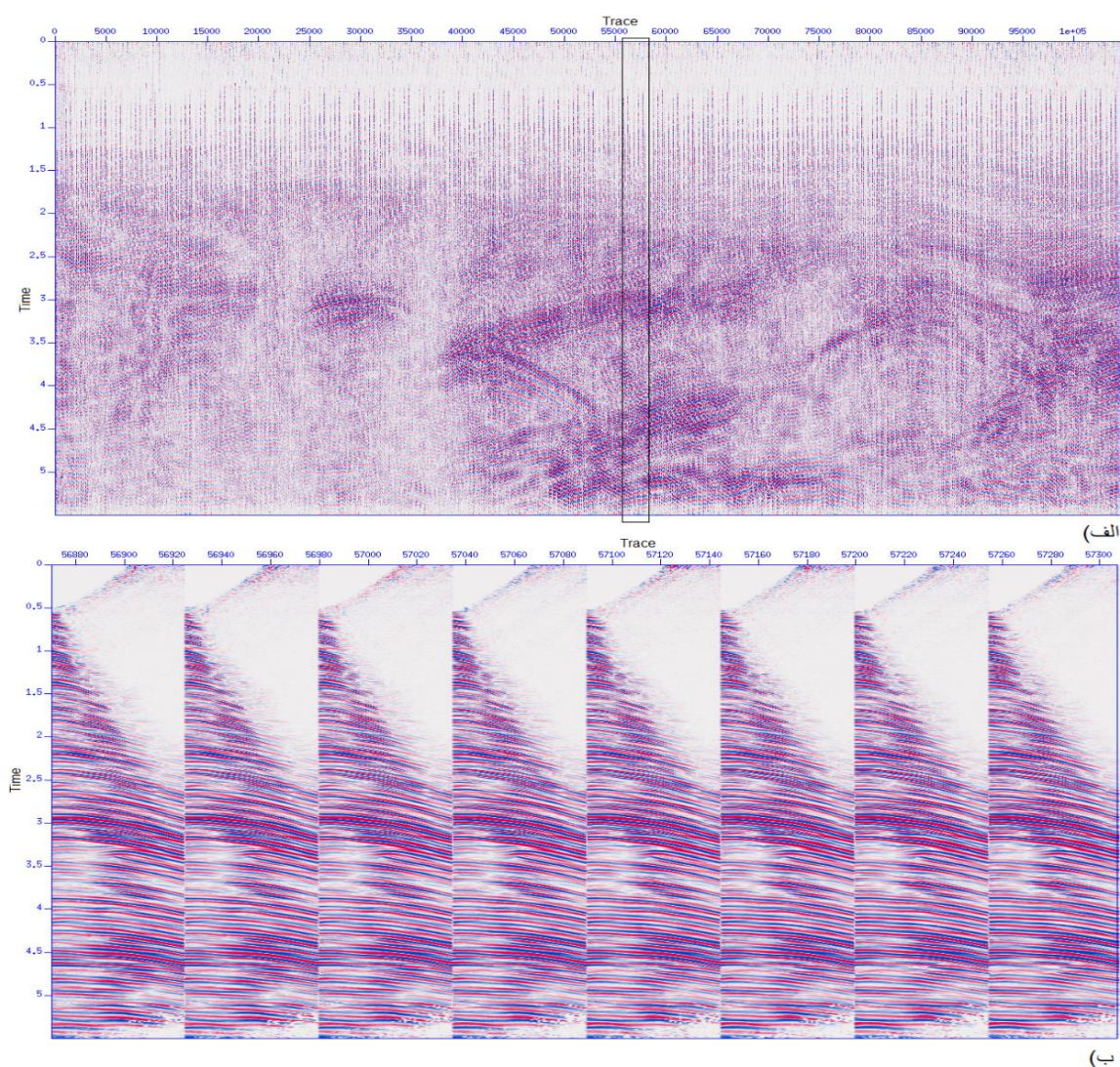
(ب)

تصویر ۴-۱۳: رکورد سوپر شباهت بر مبنای همدوسی به روش CO CRS

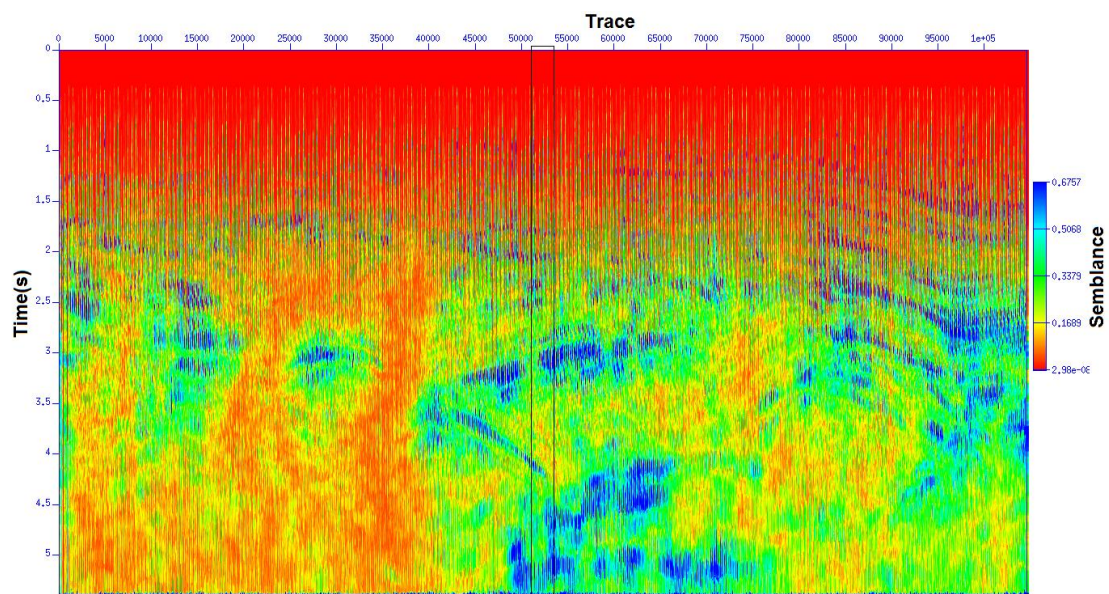


تصویر ۴-۱۴: تصویر برانبارش CO CRS

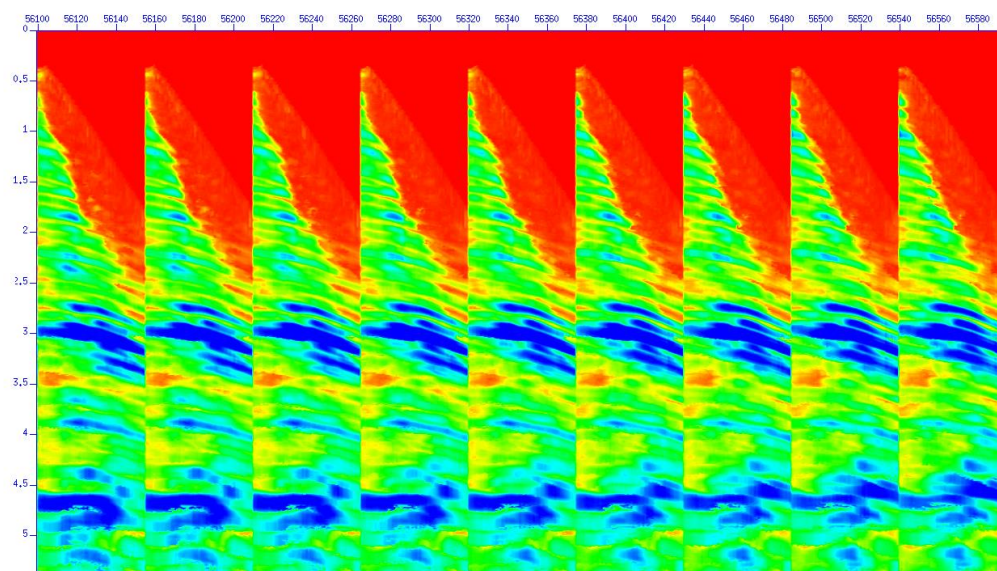
جهت انجام برانبارش CO CDS ابتدا باید دامنه تغییرات پارامترهای  $\beta_s$  و  $\beta_g$  را تعیین کرد. استفاده از یک دامنه‌ی زیاد برای این تغییرات هزینه‌ی زیاد محاسباتی و کاهش این دامنه، از دست رفتن بخشی از اطلاعات را در بر دارد. لذا انتخاب دامنه تغییرات بسیار مهم است. در این تحقیق از بازه  $(-60, +60)$  و گام تغییرات ۱ درجه استفاده شده است. تصویر ۴-۱۵ داده‌های بهبود یافته پیش از برانبارش یا رکورد سوپر حاصل از روش CO CDS را نشان می‌دهد. مطابق انتظار رخدادها کاملاً مشخص هستند و داده از نسبت سیگنال به نوفه بسیار قابل قبولی برخوردار می‌باشد. رکورد سوپر تصویر ۴-۱۶ شباهت برای CO CDS و تصویر ۴-۱۷ مقطع برانبارش نهایی آن را نشان می‌دهد.



تصویر ۴-۱۵: رکورد سوپر حاصل از روش CO CDS

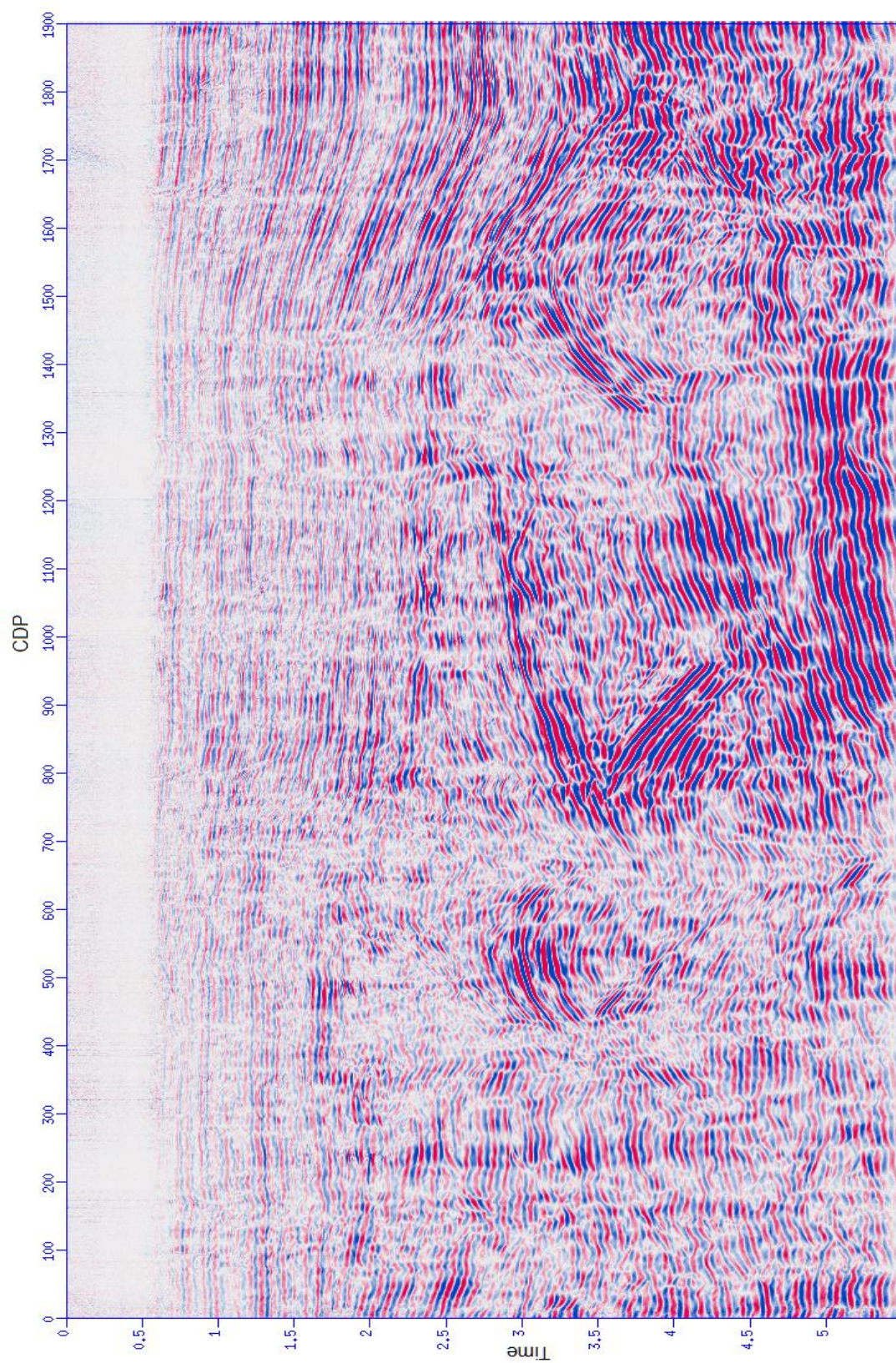


(الف)



(ب)

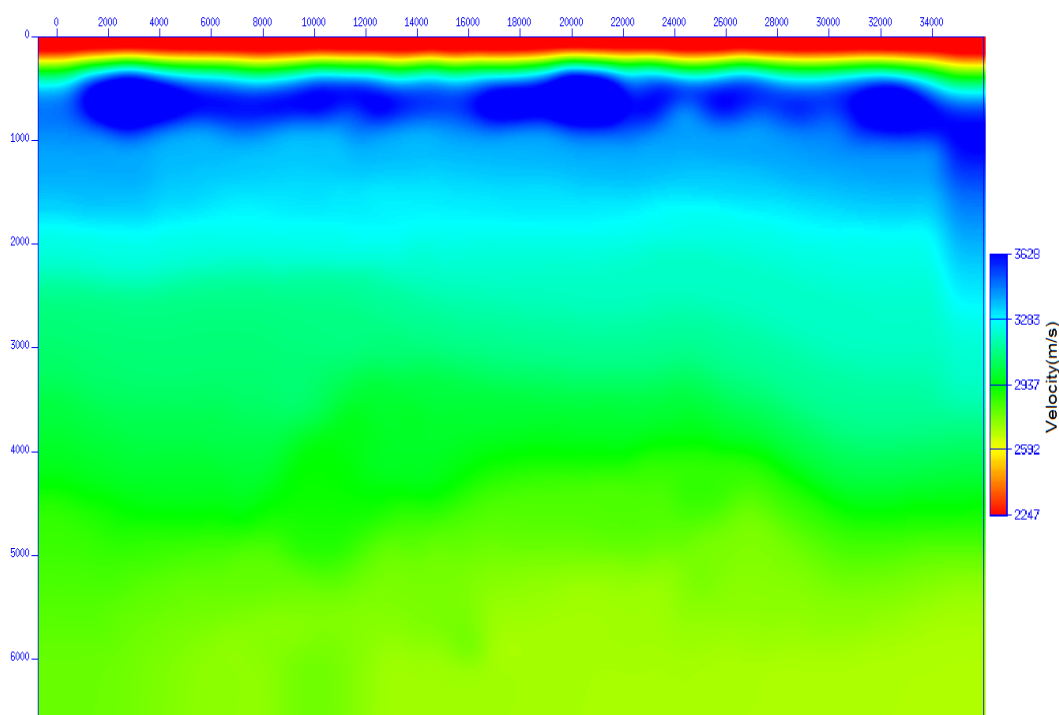
تصویر ۴-۱۶: رکورد سوپر شباهت بر مبنای همدوسی به روش CO CDS



تصویر ۴-۱۷: مقطع برانبارش نهایی CO CDS

#### ۴-۵ کوچ

جهت انجام کوچ با روش کوچ اشعه گاوسی نیاز به یک مدل سرعت عمقی می‌باشد. در ادامه با کمک نشانگرهای جنبشی میدان موج که در روش ZO CRS به دست می‌آید، مدل سرعت نشان داده شده در تصویر ۴-۱۸ با استفاده از روش توموگرافی نقطه فرود موج نرمال تهیه شد (محمدی و سلیمانی، ۱۳۹۲). توموگرافی موج NIP بر اساس اصول متمرکز ساختن جبهه موج NIP و بازگرداندن آن به منبع فرضی موج می‌باشد (Hubral and Krey, 1980). این روش که اولین بار توسط Duveneck (2004) توسعه و بکار گرفته شده است به امواج فرضی NIP وابسته می‌باشد؛ امواجی که از نقطه ورود عمود (NIP) بازتابنده موجود در عمق انتشار یافته و با یک زاویه مشخص در نقطه دورافت صفر متناظر با آن در سطح خارج می‌شود. نشانگرهایی که این امواج تولید می‌کنند، علاوه بر زمان رسید، دارای اطلاعات توزیع سرعت زمین است که اساس تعیین مدل سرعت برای روش توموگرافی می‌باشد.



تصویر ۴-۱۸: مدل سرعت کوچ به دست آمده با استفاده از روش توموگرافی نقطه فرود موج نرمال (محمدی و سلیمانی، ۱۳۹۲).

در ادامه نتایج نهایی فرایند کوچ بر روی چهار مقطع برانبارش به روش معمول، ZO CRS، CO CRS و CO CDS آورده شده است. تصاویر کوچ یک محیط لایه‌ای (از سطح تا عمق ۲۰۰۰ متر در سمت چپ و تا عمق ۴۰۰۰ متر در سمت راست) بر روی یک ناپیوستگی را نشان می‌دهند. همچنین سه گلفشان نیز در این تصاویر قابل رویت است.

تصویر ۴-۱۹ مقطع کوچ پس از برانبارش روش معمول را نشان می‌دهد. همان گونه که از قبل نیز انتظار می‌رفت، روش معمول برانبارش حاوی نوفه بسیار زیادی می‌باشد. خصوصاً در قسمت مرکزی و این باعث ابهامات زیادی در مقطع کوچ آن شده است. ناپیوستگی در این روش به خوبی تصویر نشده است. این موضوع در مورد گلفشان‌ها نیز صادق است. در این تصویر نمی‌توان مرز مشخصی برای هیچ یک از گلفشان‌ها مشخص کرد.

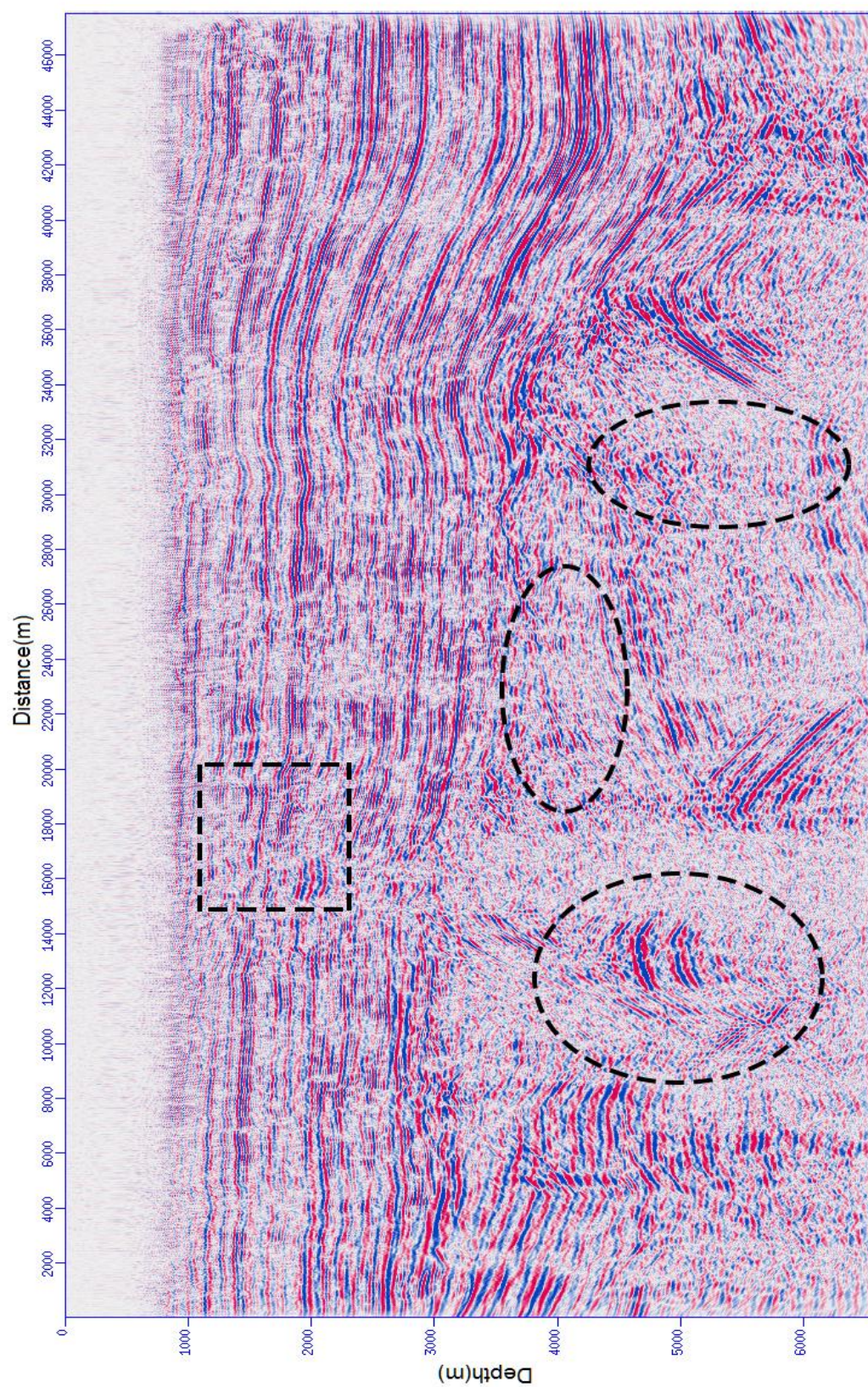
تصویر ۴-۲۰ مقطع کوچ پس از برانبارش ZO CRS را نشان می‌دهد. در مقایسه با روش معمول برانبارش و در نتیجه مقطع کوچ آن، این روش دارای نسبت سیگنال به نوفه بهتری بوده و همچنین ناپیوستگی بهتر دیده می‌شود. در این روش بهتر می‌توان یک مرز برای گلفشان‌ها ترسیم کرد. گسل‌های سطحی نیز مشخص‌تر هستند.

تصویر ۴-۲۱ و تصویر ۴-۲۲ به ترتیب مقاطع کوچ پیش از برانبارش CO CRS و CO CDS را نشان می‌دهد. در اولین نگاه، نسبت سیگنال به نوفه‌ی بسیار بالا و به ویژه تفکیک پذیری افقی تصویر PSDM CO-CRS کاملاً به چشم می‌آید. بازتابنده‌ها از پیوستگی خوبی برخوردار هستند. عملگر برانبارش CO CRS در قیاس با دو روش پیشین، انرژی بیشتری در مقطع برانبارش خود جمع کرده است. بنابراین بازتابنده‌های بیشتر و با جزئیات کاملتری تصویر شده‌اند. مرز گلفشان‌ها بهتر شناسایی می‌شود و گسل‌های موجود در مقطع به خوبی تصویر شده‌اند. بازتابنده‌ها و ساختارهایی که رخداد-های پراش تولید می‌کنند از جمله بالای گلفشان و گسل‌ها در این مقطع به خوبی مشاهده می‌شوند.

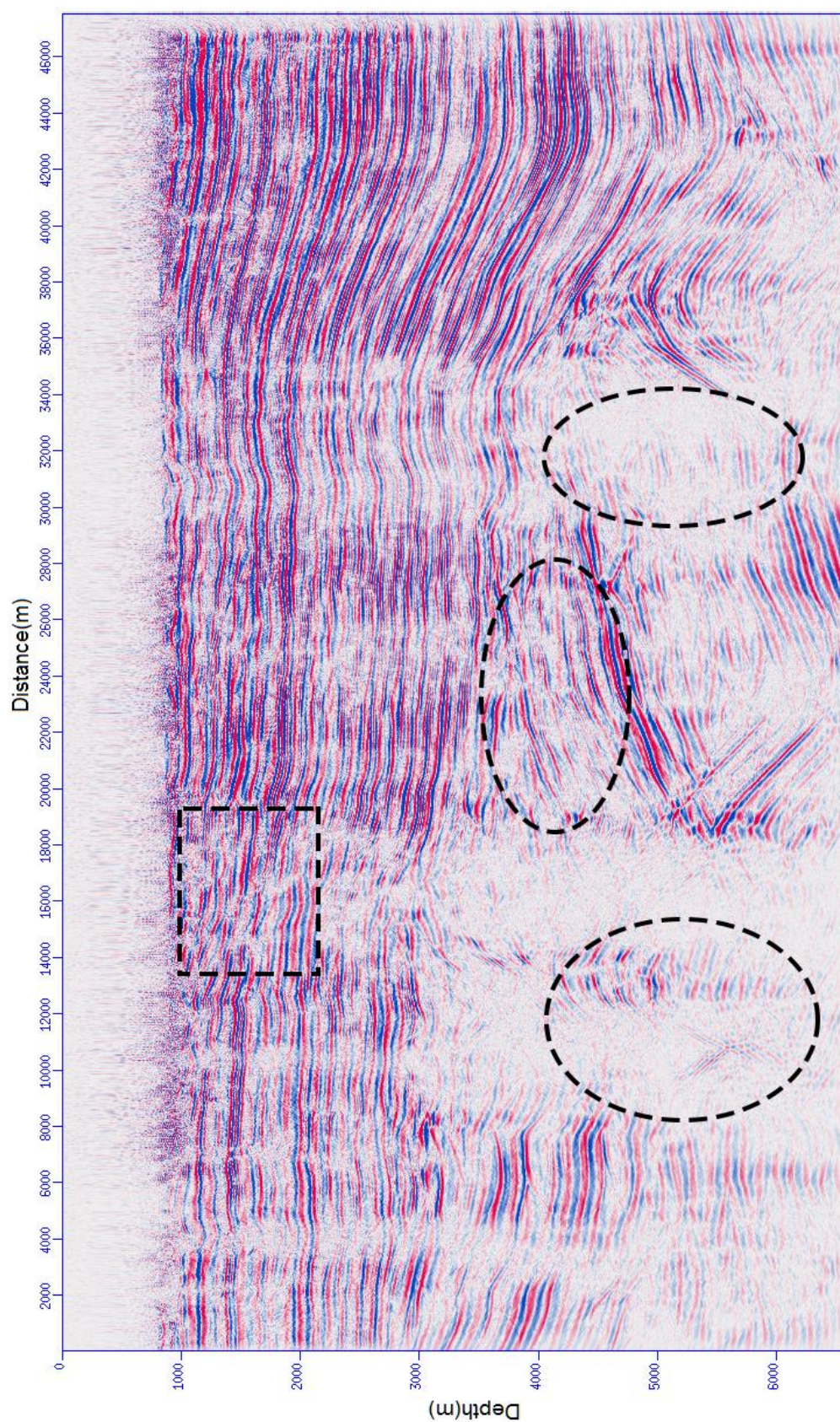
نسبت سیگنال به نوفه بالا و تفکیک پذیری بهتر در مورد PSDM CO-CDS نیز صادق است. در تصویر PSDM CO-CDS مقدار زیادی از انرژی رخدادهای پراش متمرکز شده است. این موضوع تصویرسازی بسیار با کیفیت در مورد تمام مقطع را نتیجه داده است. گسل‌ها، مرز ناپیوستگی و گلفشان به خوبی قابل تشخیص هستند. موضوع مهمی که قابل مشاهده می‌باشد، امکان بررسی قطع شدگی بازتابنده‌ها در بدنه‌ی گلفشان می‌باشد؛ موضوعی که هرگز در روش معمول برانبارش و ZO CRS قابل مشاهده نبود و در روش PSDM CO-CRS کمتر دیده می‌شد.

یکی از مشکلات با هر روش تصویر سازی، بازسازی ساختارهای زمین شناسی به شکل گوه است. در تصاویر حاصل از روش PSDM CO-CRS و PSDM CO-CDS این گوه در زیر ناپیوستگی (مشخص شده با بیضی افقی خط چین) به خوبی بازسازی شده است.

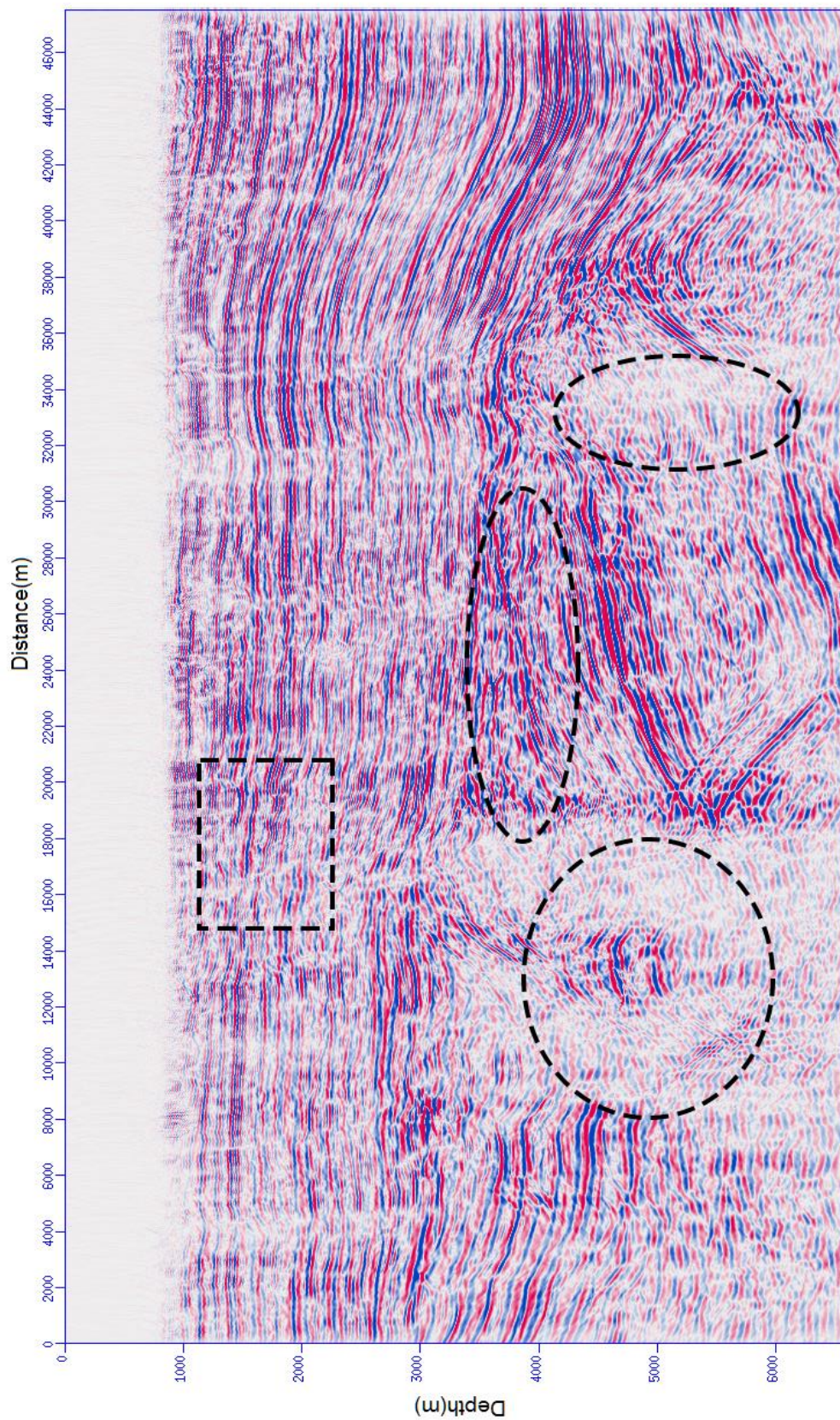
در پایان می‌توان اعلام کرد در این ساختار تقریباً پیچیده، روش‌های PSDM CO-CRS و PSDM CO-CDS بسیار موفق عمل کرده و اطلاعاتی در اختیار مفسر قرار می‌دهند که در روش‌های معمول قابل برداشت نیست.



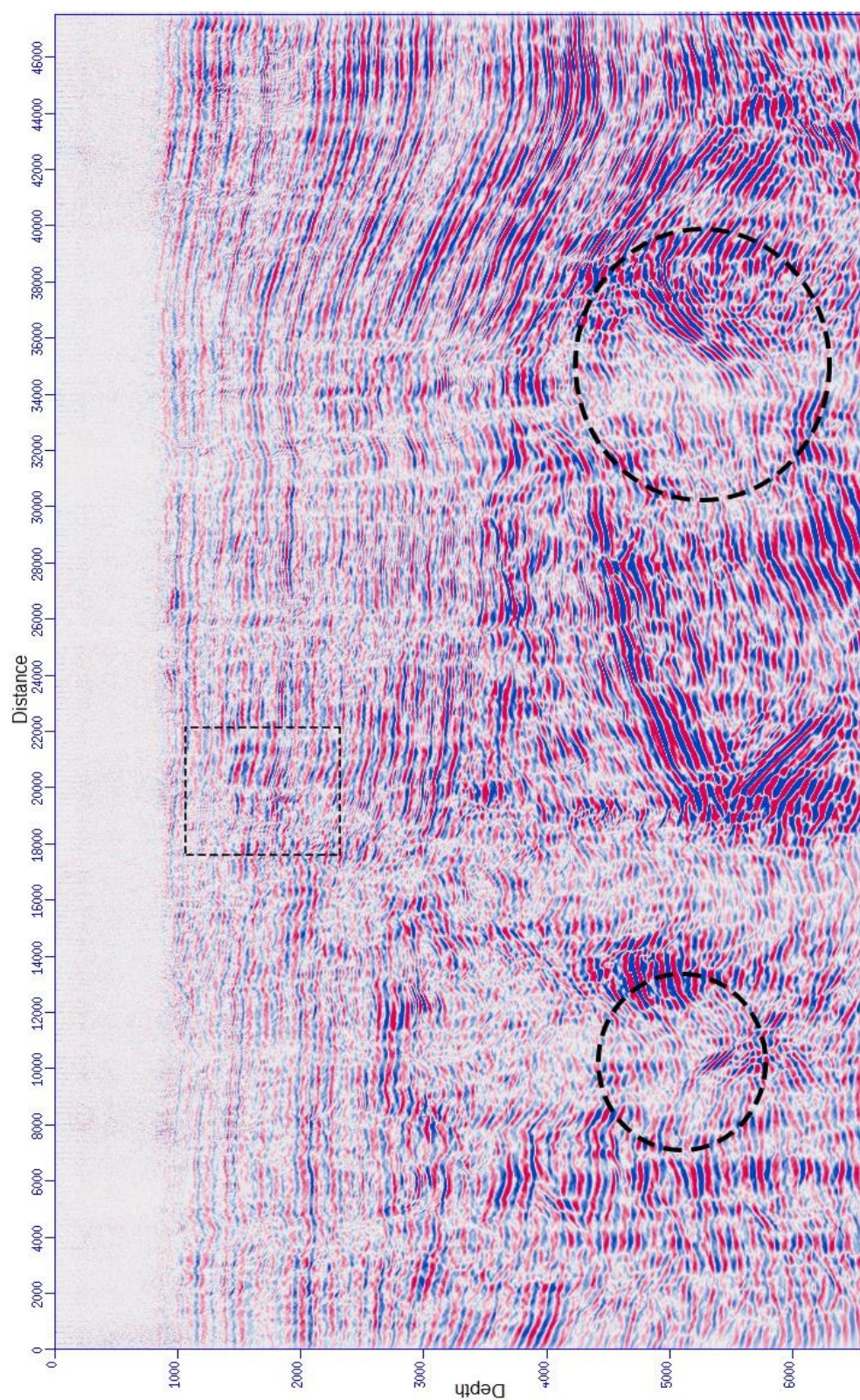
تصویر ۴-۱۹: تصویر کوچ پس از برانبارش روش NMO/DMO/stack.



تصویر ۴-۲۰: تصویر کوچ پس از برانبارش به روش ZO CRS.



تصویر ۴-۲۱: تصویر کوچ پیش از برانبارش روش CO CRS یا PSDM CO-CRS.



تصویر ۴-۲۲: تصویر کوچ پیش از برانبارش روش CO CDS یا PSDM CO-CDS.

## فصل پنجم

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ نتیجه گیری

روش CO CRS توسعه یافته‌ی روش ZO CRS می‌باشد و از تعداد ۵ پارامتر برای 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 و روش ZO CRS در ارائه‌ی یک تصویر مناسب عاجز هستند، کاربرد دارد.

روش CO CDS نیز روشی است که جهت برانبارش از ۴ پارامتر استفاده می‌کند. این روش بر پایه امواج پراش طراحی شده و قابلیت ارائه‌ی تصویری دقیق و با جزئیات از شکستگی‌ها، گسل‌ها، ناهمگنی‌ها و ناپیوستگی‌ها می‌باشد.

در هر دو روش ابتدا مقاطع با دورافت مشخص تهیه می‌شوند. سپس داده‌های منظم شده و بهبود یافته مجدداً به رکورد CMP انتقال داده شده، عملیات NMO بر روی این رکورد جدید به نام رکورد سوپر انجام می‌گردد و مقاطع نهایی برانبارش به دست خواهد آمد.

روش CO CRS و CO CDS که در این پایان‌نامه به آنها پرداخته شده است، تکنولوژی‌های نوین در امر تصویر سازی در حوزه زمان می‌باشند که از زمان معرفی آنها تقریباً یک دهه می‌گذرد. با این حال هنوز پتانسیل این دو روش در پردازش ساختارهای پیچیده، آن چنان که باید مورد بررسی قرار نگرفته است. در این تحقیق سعی شد با ارائه‌ی مثالی این قابلیت نشان داده شود. نتایج استفاده از این روش‌ها روی مثالی واقعی توانایی این دو روش را در مواجهه با ساختارهای پیچیده کاملاً مشخص می‌کند.

## ۵-۲ پیشنهادات

یکی از مزایای روش CO CRS که مجال کافی برای پرداختن به آن در این پایان‌نامه نبود، توانایی این روش در استفاده از امواج تبدیل شده مثل امواج P-S و یا S-P می‌باشد. بنابراین می‌توان این امواج

را در مقطع برانبارش CO CRS شناسایی کرد. این امواج اطلاعات مفیدی و تکمیلی برای مفسر فراهم می‌کنند. این مزیت می‌تواند موضوعی برای تحقیق در آینده باشد.

استفاده از نشانگرهای میدان موج روش CO CRS جهت ساخت مدل سرعت مهاجرت و یا همچنین بررسی‌های AVO، می‌تواند موضوع مهم و جالبی برای تحقیق در آینده باشد.

در این تحقیق برای روش CO CDS هدف تنها تقویت امواج پراش و استفاده از آنها در کنار امواج بازتاب بود. با این حال می‌توان با اعمال محدودیت‌های بیشتر، مقاطعی که فقط رخدادهای پراش را نشان می‌دهند، تولید کرد. این مهم می‌تواند موضوعی برای تحقیق در آینده باشد.

نرم افزار مورد استفاده در این پایان‌نامه توسط **برگ‌لر (۲۰۰۱)** نوشته شده است. این کد توانایی پردازش موازی را ندارد. در صورت اضافه کردن قابلیت پردازش موازی و به تبع آن افزایش سرعت اجرای این کد می‌توان از الگوریتم جستجو همزمان دو پارامتر استفاده کرد.

با انجام چندین پایان‌نامه در مورد برانبارش CRS، اکنون می‌توان اعلام کرد تجربه کافی جهت ساخت نرم افزار و پلتفرم داخلی با الگوریتم حل متفاوت برای این روش وجود دارد. البته این مهم جز با برنامه ریزی و کار گروهی قابل انجام نیست!

## منابع

- ادیبی، ا. (۱۳۸۸). پردازش داده های لرزه نگاری به روش برانبارش CRS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.
- بالارستاقی، م. (۱۳۹۱). تصویر سازی لرزه ای ساختار های پیچیده با روش FO CRS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.
- محمدی، س.، سلیمانی، م. (۱۳۹۲). افزایش کیفیت تصویر سازی لرزه ای به روش کوچ عمقی اشعه گوسی بر روی مقطع برانبارش حاصل از CRS، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک.
- Albertin, U., Kapoor, J., Randall, R., Smith, M., Brown, G., Soufleris, C., . . . Kemme, M. (2002). The time for depth imaging. *Oilfield Review*, 14(1), 2-15.
- Asgedom, E., Gelius, L., and Tygel, M. (2001). A new approach to post-stack diffraction separation. *Extended Abstract. 81st SEG. San Antonio, Texas, USA.*
- Bakhtiari Rad, P., Schwarz, B., Vanelle, C., and Gajewski, D. (2014). Common reflection surface (CRS) based pre-stack diffraction separation. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2014*, 4208-4212.
- Bauer, A., Schwarz, B., and Gajewski, D. (2014). From ZO to CO with diffractions: Theory. 18th Annual WIT report.
- 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.
- Berkovitch, A., Belfer, I., Hassin, Y., and Landa, E. (2009). Diffraction imaging by

- multifocusing. *Geophysics*, 74, 75-81.
- Dell, S., and Gajewski, D. (2011). Common-reflection-surface-based workflow for diffraction imaging,. *Geophysics*, 76, S187–S195.
- Dell, S., Vanelle, C., and Gajewski, D. (2012). Prestack time migration by common-migrated-reflector element stacking. *Geophysics*, 77, S73–S82.
- Duveneck, E. (2004). Velocity model estimation with data-derived wavefront attributes. *Geophysics*, 69, 265-274.
- Fomel, S., Landa, E., and Taner, T. (2007). Poststack velocity analysis by separation and imaging of seismic diffractions. *Geophysics*, 72, 89-94.
- Garabito, G., Oliva, P. C., and Cruz, J. C. (2011). Numerical analysis of the finite-offset common-reflection-surface traveltimes approximations. *Journal of Applied Geophysics*, 74(2), 89-99.
- Hill, N. R. (2001). Prestack Gaussian-beam depth migration. *Geophysics*, 66, 1240-1250.
- Höcht, G. R. (2009). Operator-oriented CRS interpolation. *Geophysical Prospecting*, 57(6), 957-979.
- Hubral, P. (1983). Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth. 48(8), 1051-1062. doi:10.1190/1.1441528
- Hubral, P. and Krey, T. (1980). Interval velocities from seismic reflection traveltimes measurements. *Soc. Expl. Geophys.*
- Hubral, P., Schleicher, J., Tygel, M., and Hanitzsch, C. (1993). Determination of Fresnel zones from traveltimes measurement. *Geophysics*, 58, 703–712.
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P. (2001). Common-reflection-surface stack: Image and attributes. *Geophysics*, 66, 97-109.
- Khaidukov, V., Landa, E., and Moser, T. (2004). Diffraction imaging by focusing-defocusing: An outlook on seismic superresolution. *Geophysics*, 69, 1478-1490.
- Landa, E., and Keydar, S. (1998). Seismic monitoring of diffraction imaging for

- detection of local heterogeneities. *Geophysics*, 69, 1093-1100.
- Landa, E., Fomel, S., and Moser, T. (2006). Path-integral seismic imaging. *Geophysical Prospecting*, 54, 491–503.
- Landa, E., Shtivelman, V., and Gelchinsky, B. (1987). A method for detection of diffracted waves on common-offset sections. *Geophysical Prospecting*, 35, 359-373.
- Lomax, A. (1999). Path-summation waveforms. *Geophysical Journal International*, 138, 702–716.
- Majer, P. (2000). Inversion of seismic parameters: Determination of the 2-d iso-velocity layer-PhD thesis. Karlsruhe: Universität Karlsruhe.
- Mann, J. (2001). Extensions and Applications of the Common-Reflection-Surface Stack Method. PhD thesis.
- Mann, J., and Spinner, S. (2006). True-amplitude CRS-based Kirchhoff time migration for AVO/AVA analysis. *Journal of Seismic Exploration*, 15, 133-152.
- Mann, J., Jager, R., Muller, T., Hocht, G., and Hubral, P. (1999). Common reflection surface stack - a real data example. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 301–318.
- Mann, J., Schleicher, J., and Hertweck, T. (2007). CRS Stacking – A Simplified Explanation. EAGE, 69th Conference and Technical Exhibition-London,.
- Mayne, W. H. (1962). Common reflection point horizontal data stacking techniques. 27, 927-938.
- Moser, T. J., and Howard, C. B. (2008). Diffraction imaging in depth. *Geophysical Prospecting*, 56, 627-641.
- Mueller, N. A., and Spinner, M. (2010). Improving Prestack Migration with CRS Techniques-A Case Study. 72nd EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC. doi:10.3997/2214-4609.201400734
- Muller, T. (1999). The Common Reflection Surface Stack Method - Seismic imaging

- without explicit knowledge of the velocity model. PhD thesis. Universitat Karlsruhe.
- Robein, E. (2010). Seismic imaging A review of the techniques their principles, Merits and limitation. EAGE Publication.
- Schlottmann, R. (1999). A path integral formulation of acoustic wave propagation. *Geophysical Journal International*, 137, 353–363.
- Shahsavani, H., Mann, J., Piruz, I., and Hubral, P. (2011). A Model-Based Approach to the Common-Diffraction-Surface Stack Method – A Synthetic Case Study. 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. SBGF.
- Sheriff, R., and Geldart, L. (1995). *Exploration Seismology* (second ed.). Cambridge University Press.
- Soleimani, M., Mann, J., Adibi Sedeh, E., and Piruz, I. (2010a). Improving the seismic image quality in semi-complex structures in North East Iran by the CDS stack method. In *Extended abstracts. 72nd Conf. Eur. Assn. Geosci. Eng. Session P398*.
- Soleimani, M., Mann, J., Adibi, E., Shahsavani, M., and Piruz, I. (2010b). Applying the CRS stack method to solve the problem of imaging of complex structures in the Zagros overthrust, south west Iranw. 72nd Conference of European Association of Geoscientists and Engineers (pp. 556-588). Barcelona, EAGE.
- Spinner, M., Tomas, C., Marchetti, P., Gallo, C., and Arfeen, S. (2012). Common-Offset CRS for advance imaging in complex geological setting. Las Vegas: Annual meeting; 82nd, Society of Exploration Geophysicists.
- Stolt, R. (2002). Seismic data mapping and reconstruction. *Geophysics*, 67, 890-908.
- Stolt, R. H. (2002). Seismic data mapping and reconstruction. *Geophysics*, 67, 890-908. doi:10.1190/1.1484532
- Taner, M., Fomel, S., and Landa, E. (2006). Prestack separation of seismic diffractions using planewave decomposition. *SEG, Expanded Abstracts*, 2401-2404.
- Twigg, C., and Baki, A. (2013). What has happened in recent years in the Caspian

region, how has it changed – and what is preventing companies from operating here? *Geo. Expro*, 10, 28-34.

Tygel, M., Schleicher, J., and Hubral, P. (1992). Geometrical spreading corrections of offset reflections in a laterally inhomogeneous earth. *Geophysics*, 57, 1054–1063.

Weglein, A., Matson, K., Foster, D., Carvalho, P., Corrigan, D., and Shaw, S. (2000). Imaging and inversion at depth without a velocity model: theory, concepts and initial evaluation. 70th SEG Meeting, Calgary, Canada, Expanded Abstracts, 1016–1019.

Yilmaz. (2001). *Seismic data analysis - Processing, inversion, and interpretation of seismic data*. Soc. Expl. Geophys.

Zhang, Y., Bergler, S., and Hubral, P. (2001). Common-reflection-surface (CRS) stack for common offset. *Geophysical Prospecting*, 49(6), 709-718.

Zhang, Y., Bergler, S., Tygel, M., and Hubral, P. (2000). Model-independent traveltime attributes for 2-D, finite-offset multi-coverage reflections. submitted to *PAGEOPH*.

## Abstract:

In this research, I used a new stacking technique — the Common-Offset Common-Reflection-Surface stack — with which one can transform two-dimensional prestack data into a particular CO section. The CO CRS stacking method is based on concepts of the ZO CRS stack. This means the CO CRS stacking operator is macro-model independent and fully automatically determined by means of a coherency analysis. In contrast to conventional stacking methods, the CO CRS stack uses the full multi-coverage data volume in the stacking procedure as the CO CRS stacking operator is not restricted to specific gathers (as, e.g., the CMP stack). Consequently, many more traces compared to conventional stacking methods contribute to the stack. The five stacking parameters constituting the CO CRS stacking operator are wavefield attributes. Among a multitude of other important applications the attributes can be of help to construct the macro-velocity model.

Another part of this thesis is consist in diffractions using CO-CRS traveltimes. Therefore a state of the art operator named Common-Offset Common-Diffraction-Surface (CO CDS) has been obtained which one can enhance the diffractions. This method leads to high-resolution imaging of complex structure such as faults, fractures or conflicting dips. This method also has all advantages of CO CRS.

Consequently, seismic data set from NE of Iran, with complex structure was selected for processing with these methods. Result of the pre-stack depth migration of the CO-CRS and CO-CDS showed that they could resolve some of the ambiguities in final structural interpretation of the data. They could better image the boundary of the mud volcanoes and faults besides increasing the quality of the final section.

**Keywords:** Stacking, Common-Reflection-Surface, Common-Diffraction-Surface, Common-Offset, Seismic Imaging, Gorgan, Mud Volcano.



**University Of Shahrood**

**Faculty of mine, petroleum and geophysics**

**Title: Seismic imaging in complex media with Common-Offset  
Common-Diffraction-Surface (CO CDS) stack**

**Ali Pahlavanloo Goojgi**

**Supervisors:**

**Dr. Mehrdad Soleimani**

**Dr. Iraj Piruz**

November 2015