بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه : نفت

تصویر سازی لرزه ای ساختارهای پیچیده با استفاده از تلفیق کوچ زمانی پیش از بر انبارش و روش بر انبارش سطح بازتاب مشترک

دانشجو:
علی خلیل زاده

استادان راهنما:
دکتر ایرج پیروز
دکتر محمد علی ریاحی

استادان مشاور:
دکتر مهرداد سلیمانی منفرد
مهندس جواد جمالی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه وسال انتشار:
بهمن ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: نفت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای: علی خلیل زاده

تحت عنوان:

تصویر سازی لرزه ای ساختارهای پیچیده با استفاده از تلفیق کوچ زمانی پیش از بر انبارش و روش بر انبارش سطح بازتاب مشترک

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام ونام خانوادگی: ایرج پیروز		نام و نام خانوادگی: مهردادسلیمانی	
نام و نام خانوادگی:محمد علی ریاحی		نام و نام خانوادگی: جواد جمالی	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی: ابوالقاسم کامکار روحانی		خانم عابدی	
نام و نام خانوادگی: امین روشندل کاهو			

تقدیم به پیشگاه حضرت ولی عصر –روحی و ارواح العالمین لتراب مقدمه الفداء–

و همه شهدا، بالاخص حضرت سیدالشّهداء (ع)

و پدر ، مادر و خانواده ام

تشکر و قدردانی

پس از حمد و سپاس پروردگار، برخود لازم می دانم بدین وسیله از زحمات تمامی عزیزانی که همواره حامی و پشتیبان اینجانب در مراحل انجام این پایان نامه بودند، تشکر و قدردانی نمایم. در ابتدا از آقایان دکتر پیروز و دکتر ریاحی که پدرانه، زحمت هدایت و راهنمایی این رساله را بر عهده داشتند، و همچنین از زحمات آقایان دکتر سلیمانی و مهندس جمالی که همواره از هدایت‌های ایشان به عنوان استاد مشاور بهره‌مند بودم، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از تمامی دوستان در دانشکده، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به خصوص آقایان دکتر عبداللهی فرد و دکتر شرکتی، شرکت دانا به ویژه آقای دکتر ترابی که در همه امور اینجانب را مورد لطف خود قرار دادند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم. از شرکت ملی نفت به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌ها، نرم افزار و اجازه انتشار آن‌ها و از کنسرسیوم WIT برای دسترسی به کدها و مطالب مربوطه کمال امتنان را دارم. و در آخر، نه به دلیل کم اهمیت بودن، بلکه به دلیل نقش نهایی و تعیین کننده، ممنون و مرهونِ صبر و پشتیبانیِ همیشگی پدر و مادرم هستم.

تعهد نامه

اینجانب **علی خلیل زاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی نفت-اکتشاف** دانشکده **مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه **تصویرسازی لرزه ای ساختارهای پیچیده با استفاده از تلفیق کوچ زمانی پیش از برانبارش و روش برانبارش سطح بازتاب مشترک** تحت راهنمائی **آقایان دکترایرج پیروز و دکتر محمدعلی ریاحی** و مشاوره آقایان **دکترمهرداد سلیمانی و مهندس جواد جمالی،** 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 صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام« دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار 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 صنعتی 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

روش CRS به عنوان روشی مستقل از مدل سرعت و خودکار، از حدود یک دهه پیش، جای خود را در پردازش داده‌های لرزه‌ای باز کرده است و هر روز از مزایای آن در باز کردن گرهی از مشکلات تصویرسازیِ داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌گردد. این‌روش، نتایج با نسبت سیگنال به نوفه بالا، پیوستگی بیشتر بازتابنده‌ها و افزایش وضوح جانبی وکیفیت بیشتر تصویر را فراهم می‌کند. با این حال، در مناطق پیچیده‌ی زمین‌شناسی و مسئله تداخل شیب‌ها کارآیی لازم را ندارد و نتایج خیلی خوبی از آن به دست نمی‌آید. لذا بر آن شدیم عملکرد روشهای نوین برانبارش CRSو CDS را بر روی نمونه‌ای از مقاطع لرزه‌ای دو بعدی برداشت شده از این مناطقِ با ساختارهای پیچیده در ایران، ارزیابی نموده و راه حل پیشنهادی خود را برای رفع مشکل این روش، به کار بسته و نتایجش را با روش‌های قبلی مقایسه نماییم.

استفاده ازکوچ به عنوان تکمیل کننده‌ی فرآیند تصویرسازی، به خصوص کوچ زمانی پیش از برانبارش، آن هم به دلیل سرعت بالا و کاربرد در مناطق پیچیده‌ی زمین شناسی، روشی پرکاربرد در صنعت است. بنابراین با انجام کوچ زمانی پیش از برانبارش، مسئله تداخل شیب‌ها در این مناطق بهتر تصویرسازی می‌شود و با استفاده از این مجموعه داده‌های با کیفیتِ به دست آمده، ورودی مناسبی برای روش CRS تهیه می‌گردد، در حالی که روند معمولی، استفاده از داده‌های صرفاً پیش پردازش شده برای مرحله اول CRS می‌باشد. به کاربردن این داده‌های با کیفیت در روشCRS، طبیعتاً باعث می‌شود که مقطع به دست آمده از مرحله نهایی بهینه‌سازی CRS، نسبت به مقطع CRS با ورودی‌های عادی، ساختارهای بیشتری را نمایان کند، وضوح و کیفیت بیشتری داشته باشد و بتوان با اطمینان بیشتر و ریسک کمتری، از آن برای مراحل تفسیر استفاده کرد.

کلمات کلیدی: تصویرسازی لرزه‌ای، سطح بازتاب مشترک، سطح پراش مشترک، کوچ زمانی پیش از برانبارش، تداخل شیب‌ها، ساختار پیچیده‌ی زمین شناسی

فهرست مقالات استخراج شده از پایان نامه

1) **Seismic image enhancement using CRS method; a case study from SW Iran**, Istanbul International Geophysical Conference and Oil & Gas Exhibition, Istanbul, Turkey, September 2012.

2) **Seismic imaging in complex region of Zagros thrust fault belt by CRS and CDS stack method**, Istanbul International Geophysical Conference and Oil & Gas Exhibition, Istanbul, Turkey, September 2012.

3) **New imaging methods for improving S/N ratio in the Gorgan region,** VIII AZERBAIJAN INTERNATIONAL GEOPHYSICAL CONFERENCE, Baku, Azerbaijan, October 2012

فهرست مطالب **شماره صفحه**

فصل اول

مقدمه

۱-۱ برداشت داده های لرزه ای بازتابی ۳
۱-۲ پردازش داده های لرزه ای بازتابی ۵
۱-۳ روش های تصویر سازی لرزه ای مبتنی بر داده ۶
۱-۳-۱ روش برانبارش نقطه میانی مشترک ۷
۱-۳-۲ روش کوچ به دور افت صفر ۹
۱-۳-۳ روش برانبارش سطح بازتاب مشترک ۹
۱-۴ روش های تصویر سازی لرزه ای مبتنی بر مدل ۱۰
۱-۵ تاریخچه تصویر سازی در مقاطع پیچیده و مسئله تداخل شیب ها ۱۱
۱-۶ ساختار پایان نامه ۱۶

فصل دوم

روش برانبارش سطح بازتاب مشترک

۲-۱ مقدمه ۱۹
۲-۲ نشانگرهای جنبشی میدان موج ۲۰
۲-۳ عملگر برانبارش CRS ۲۲
۲-۴ روش انجام برانبارش CRS ۲۵
۲-۴-۱ یافتن پارامتر ها ۲۶
۲-۴-۲ بازه در CRS ۲۹
۲-۵ شیب های متداخل ۳۰
۲-۶ استراتژی جستجوی تعمیم یافته در روش برانبارش CRS ۳۲
۲-۷ روش سطح پراش مشترک CDS ۳۵
۲-۷-۱ بر طرف کردن مسئله تداخل شیب ها توسط CDS ۳۶
۲-۷-۲ عملگر برانبارش CDS ۳۷
۲-۷-۳ استراتژی جستجوی بهینه شده ۳۸

فصل سوم

کوچ

۳-۱ مقدمه ۴۱
۳-۲ تصویر سازی داده های لرزه نگاری ۴۵
۳-۳ اصول کوچ ۴۹
۳-۴ روش های کوچ ۵۰
۳-۵ کوچ زمانی پس از برانبارش ۵۶
۳-۵-۱ مزایا و معایب کوچ زمانی ۵۷
۳-۶ عملگر هرم خئوپس ۵۸
۳-۷ کوچ زمانی پیش از برانبارش ۶۱

فهرست مطالب **شماره صفحه**

۳-۸ تحلیل سرعت در توالی پردازشی PSTM به روش کیرشهف ۶۶
۳-۹ مزایا و محدودیت های روش PSTM ۷۲
۳-۱۰ کوچ عمقی (PreSDM) ۷۳
۳-۱۱ کوچ عمقی پس از برانبارش ۷۷

فصل چهارم

اِعمال پردازش معمول و روش CRS بر روی داده های واقعی

۴-۱ مقدمه ۸۰
۴-۲ محل مورد مطالعه و مشخصات برداشت ۸۰
۴-۳ پیش پردازش ۸۴
۴-۴ پردازش به روش مرسوم ۸۵
۴-۴-۱ اِعمال برون راند شیب ۸۶
۴-۵ پردازش به روش CRS ۸۹
۴-۵-۱ تعیین بازه CRS ۹۱
۴-۵-۲ برانبارش خودکار CMP ۹۳
۴-۵-۳ برانبارش خودکار CRS ۹۵
۴-۶ مقایسه مقطع CRS با مقطع CMP ۱۰۱
۴-۷ پردازش به روش CDS ۱۰۳

فصل پنجم

تلفیق PSTM و CRS بر روی داده های واقعی

۵-۱ مقدمه ۱۰۸
۵-۲ انجام کوچ زمانی پیش از برانبارش ۱۰۹
۵-۳ انجام روش CRSبر روی خروجی PSTM ۱۱۶
۵-۴ مقایسه مقاطع به دست آمده در این بخش ۱۱۸

فصل ششم

خلاصه، نتیجه گیری وپیشنهادات

۶-۱ خلاصه ۱۲۱
۶-۲ نتیجه گیری ۱۲۳
۶-۳ پیشنهادات ۱۲۶

فصل هفتم

منابع و مراجع

منابع و مآخذ ۱۳۱

فهرست اشکال شماره صفحه

فصل اول – مقدمه

۱-۱ روند کلی در استفاده از لرزه نگاری بازتابی. ۳

فصل دوم – روش سطح بازتاب مشترکCRS

۲-۱ مقطع دو بعدی موج عمود و پرتوهای عمود مرتبط با آزمایش دورافت صفر. ۲۱
۲-۲ مقطع دو بعدی موج NIP و پرتوهای غیراسنلی در آزمایش CMP. ۲۱
۲-۳ نشانگر های جنبشی میدان موج برای یک مدل یک لایه ای ۲۲
۲-۴ بازتابنده تاقدیسی شکل‌در حوزه‌عمق‌و سطح حاصل‌از زمان‌سیرهای دورافت مشترک و سطح بازتاب مشترک ۲۴
۲-۵ نمودار استراتژی جستجوی عملی. ۲۸
۲-۶ بازه در CRS ۲۹
۲-۷ بازه CRS که به صورت یک بیضی شکل در حوزه دورافت-CMP می باشد ۳۰
۲-۸ پدیده‌ی تداخل شیب‌ها ۳۱
۲-۹ همدوسی به عنوان تابعی از زاویه ورودیα که در راستای یک عملگر خطی در مقطع برانبارش شده CMP، برای یک نمونه ZO منتخب، محاسبه شده است ۳۳
۲-۱۰ نمودار ساده شده استراتژی جستجوی تعمیم یافته ۳۴
۲-۱۱ شکل عملگرهای CDS برای تمام زوایای ممکن ۳۸
۲-۱۲ نمودار ساده شده استراتژی جدید توسعه داده شده ۳۹

فصل سوم – کوچ

۳-۱ کوچ قبل از برانبارش دو بعدی با یک چشمه ۴۷
۳-۲ اصول انتگرال گیری کیرشهف ۴۸
۳-۳ اصول کوچ ۴۹
۳-۴ ساختار و سرعت های ساده و پیچیده و روش های مناسب کوچ برای آن ها ۵۴
۳-۵ مراحل گام به گام کوچ زمانی کیرشهف در مقطع دورافت صفر و مدل سرعت کوچ ۵۸
۳-۶ برداشت ساده داده ها در حالت دوبعدی ۵۹
۳-۷ مرتب کردن داده ها در ورداشت ها و مقاطع مختلف در مختصات متفاوت ۵۹
۳-۸ هرم خئوپس که هذلولی های پراش در مختصات های متفاوت را نشان می دهد ۶۰
۳-۹ مراحل انجام روش Moves ۶۲
۳-۱۰ مراحل مختلف کوچ PSTM ۶۶
۳-۱۱ تحلیل سرعت به روش تصحیح برون راند باقی مانده ۶۸
۳-۱۲ تحلیل سرعت به روش پویش سرعت ها در کوچ زمانی پیش از بر انبارش ۷۰
۳-۱۳ مراحل پردازش PreSDM در حالت ورداشت انفجار مشترک ۷۴
۳-۱۴ مراحل کوچ PreSDM در حالت مقطع دورافت مشترک ۷۶
۳-۱۵ چگونگی انجام تکنیک دنبال کردن پرتو در دورافت ثابت ۷۶
۳-۱۶ کوچ عمقی پس از بر انبارش، در حالت دورافت صفر ۷۸

فهرست اشکال — شماره صفحه

فصل چهارم –اِعمال پردازش معمول و روش CRS بر روی داده های واقعی

۴-۱ موقعیت جغرافیایی نفت شهر و میدان نفت شهر ۸۱
۴-۲ توزیع فولد و دورافت در نقاط میانی مشترک برداشت دوبعدی ساختار پیچیده ۸۳
۴-۳ طیف‌های‌سرعت‌به ازای‌هر ۴۰ نقطه میانی‌مشترک برای‌خط برداشت دوبعدی‌ساختار پیچیده. ۸۵
۴-۴ مدل سرعت بدست آمده از تحلیل سرعت در پردازش به روش مرسوم(NMO/Stack) داده‌های دو بعدی ساختار پیچیده ۸۷
۴-۵ مقطع دورافت صفرحاصل از پردازش به روش مرسوم (NMO/Stack) ساختار پیچیده ۸۷
۴-۶ طیف های سرعت بدست آمده از تحلیل سرعت بعد از انجام NMOو DMO ۸۸
۴- ۷ مدل سرعت به دست آمده برای انجام تصحیح DMO ۸۸
۴-۸ مقطع دورافت صفرحاصل‌از NMO/DMO/Stack ، مقطع دوبعدی مربوط به ساختار پیچیده ۸۹
۴-۹ ناحیه فرسنل ۹۲
۴-۱۰ مقطع همدوسی مربوط به داده های ساختار پیچیده در مرحله برانبارش خودکار CMP ۹۴
۴-۱۱ مقطع دورافت صفر حاصل از برانبارش خودکار CMP مربوط به داده های ساختار پیچیده ۹۴
۴-۱۲ مقطع دورافت صفر حاصل از برانبارش CRS داده های ساختار پیچیده ۹۶
۴-۱۳ مقطع همدوسی CRS ، داده های مربوط به ساختار پیچیده ۹۶
۴-۱۴ مقطع زاویه (α) حاصل از پردازش CRS داده های مربوط به ساختار پیچیده ۹۷
۴-۱۵ مقطع R_{NIP} حاصل از پردازش CRS داده های مربوط به ساختار پیچیده ۹۸
۴-۱۶ مقطع R_N حاصل از پردازش CRSداده های مربوط به ساختار پیچیده ۹۹
۴-۱۷ تعدادردهای استفاده‌شده در روش برانبارش CMP برای‌تصویرکردن‌یک نقطه در مقطع ZO ۱۰۰
۴-۱۸ تعدادردهای استفاده‌شده در روش برانبارش CRS برای‌تصویرکردن‌یک نقطه در مقطع ZO ۱۰۰
۴-۱۹ بخشی از مقاطع برانبارش CRS و CMP داده های با ساختار پیچیده ۱۰۲
۴-۲۰ بخشی از مقاطع برانبارش CRS و CMP داده های با ساختار پیچیده ۱۰۲
۴-۲۱ مقطع CDS مربوط به داده‌های ساختارپیچیده‌که اثر گسل با بیضی در آن نشان‌داده‌شده ۱۰۵
۴-۲۲ مقایسه مقاطع CDS ، CRS و CMP در مواجهه با مسئله تداخل شیب‌ها ۱۰۶

فصل پنجم – تلفیق PSTM و CRS بر روی داده های واقعی

۵-۱ مدل سرعت اولیه برای کوچ زمانی پیش از برانبارش کیرشهف. ۱۱۱
۵-۲ مقطع نهایی کوچ زمانی پیش از برانبارش، با مدل سرعت اولیه ۱۱۲
۵-۳ مقاطع‌ورداشت‌تصویرمشترکِ‌کوچ‌زمانی‌پیش‌ازبرانبارش‌باسرعت‌اولیه،بعدازحذف‌کشیدگی‌ها ۱۱۳
۵-۴ مدل سرعت به روز شده به دست آمده از تحلیل برون راند باقی مانده. ۱۱۴
۵-۵ مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش با استفاده از مدل سرعت به روز شده ۱۱۵
۵-۶ مقاطع‌ورداشت‌تصویرمشترکِ‌کوچ‌زمانی‌پیش‌ازبرانبارش‌باسرعت‌به‌روز،بعدازحذف کشیدگی‌ها ۱۱۵
۵-۷ استفاده از روش برانبارش CRS به جای برانبارش(جمع) معمول ۱۱۶
۵-۸ نمودار ساده شده‌ی روش تلفیقی PSTM و CRS ۱۱۷
۵-۹ مقطع برانبارش شده و بهینه‌ی CRS بر روی داده‌های کوچ داده شده ۱۱۸

فهرست جداول　　　　　　　　　　　شماره صفحه

فصل چهارم – اِعمال پردازش معمول و روش CRS بر روی داده های واقعی
۴-۱ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده‌های ساختار پیچیده ۸۳
۴-۲ پارامترهای پردازشCRS برای‌شبیه‌سازی‌مقطع دورافت‌صفر داده‌های‌مربوط‌به‌ساختار پیچیده ۹۰
۴-۳ پارامترهای مورد استفاده در پردازش داده های ساختار پیچیده به روش CDS ۱۰۴

فهرست اختصارات به کار رفته در متن:

AGC : Automatic Gain Control.(تابع تقویت خودکار)

CDP: Common Depth Point. (نقطه عمقی مشترک)

CDS*:* Common Diffraction Surface. (سطح پراش مشترک)

CMP*: Common*-Mid-Point. (نقطه میانی مشترک)

CRP: Common Reflection Point. (نقطه بازتاب مشترک)

CRS*:* Common Reflection Surface. (سطح بازتاب مشترک)

CS/***CR****:* Common Shot / Common Receiver. (چشمه مشترک/گیرنده مشترک)

CVS: Constant Velocity Stack (برانبارش با سرعت ثابت)

DMO :Dip Move-Out . (برون راند شیب)

MZO: Migration to Zero Offset. (کوچ به دورافت صفر)

NIP*:* Normal Incidence Point. (نقطه ورود عمود)

NMO: Normal Move-Out. (برون راند نرمال)

PostSDM: Post-Stack Depth Migration. (کوچ عمقی پس از برانبارش)

PreSDM: Pre-Stack Depth Migration. (کوچ عمقی پیش از برانبارش)

RMS : Root Mean Square. (جذر میانگین مربعات)

RMO : Residual Move Out (برون راند باقی‌مانده)

ZO*:* Zero Offset. (دورافت صفر)

فصل اول

مقدمه

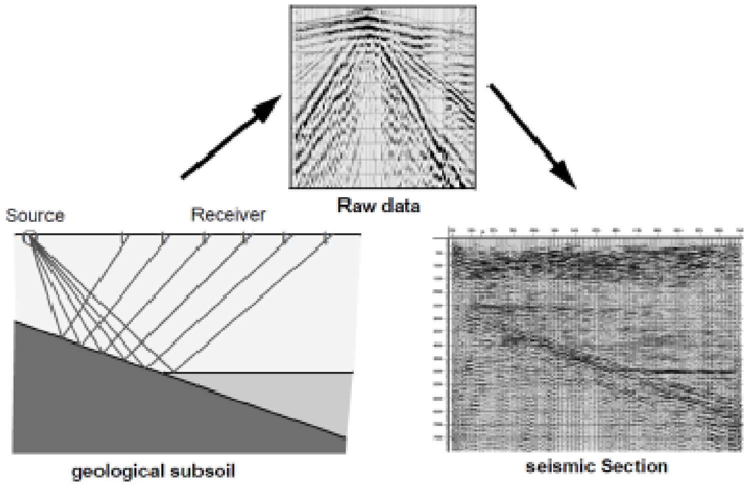
فصل اول

مقدمه

هدف نهایی از برداشت داده های لرزه ای و انجام مراحل پردازش بر روی این داده ها به دست آوردن تصاویر هر چه دقیق تر و واقعی تر از زیر سطح زمین می باشد، که در دو حوزه زمان و عمق تحویل مفسر می شوند. علاوه بر این سعی می‌گرددتا درکنار تهیه تصاویراز زیر سطح‌زمین(شکل ۱-۱)، اطلاعات حاصل از وارون سازی دامنه ها (AVO)[۱]، نشانگرهای لرزه ای و مقاطع امپدانس صوتی را نیز فراهم کرد. در ادامه از تمامی این داده‌ها در کنار داده‌های پتروفیزیکی حاصل از چاه‌نگاری، برای تفسیر زمین شناسی و تصمیم گیری در مورد محل حفاری چاه‌ها، وضعیت مخزن و مطالعاتی از این قبیل استفاده می شود. بنا براین با روشن شدن اهمیت تصویر سازی لرزه‌ای زیر سطح در ابتدای بخش بالا دستی صنعت نفت، لزوم به دست آوردن تصاویر عمقی یا زمانی با کیفیت هر چه بیشتر و با نسبت سیگنال به نوفه بالاتر و هم چنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر، بر ما آشکار می‌گردد. روش برانبارش نقطه میانی مشترک (CMP)[۲]همراه با تصحیح برون راند نرمال (NMO)[۳]و تصحیح برون راند شیب (DMO)[۴]برای نیل به چنین هدفی درفاصله‌ای نه چندان دور از شروع فعالیت‌های اکتشاف لرزه ای ابداع گردید. ولی این روش در محیط هایی که با بازتابنده‌های پر شیب، متداخل و یا تغییرات جانبی سرعت در محیط انتشار موج مواجه هستیم (زمین شناسی پیچیده)، قادر به استفاده از تمام داده‌های سهیم در بازتاب از یک نقطه نمی‌باشد و در نتیجه نسبت سیگنال به نوفه پایین‌تری در تصویر به دست آمده خواهیم داشت. با افزودن اطلاعات دیگری از شکل بازتابنده‌ها مثل شیب و انحنای بازتابنده به عملگر پردازش، می‌توان از روش برانبارش سطح بازتاب مشترک (CRS)[۵]برای به دست آوردن تصویری با نسبت سیگنال به نوفه بالاتر و پیوستگی بیشتر بازتابنده‌ها استفاده کرد. با

[1]- Amplitude versus offset
[2]- Common Mid Point stack
[3]- Normal Move Out correction
[4]- Dip Move Out correction
[5]- Common Reflection Surface stack

وجود این‌که استفاده از روش CRS، نتایج بهتری را حاصل می‌کند، اما در تصویر کردن شیب‌های متداخل با نقص‌هایی همراه است. کوچ زمانی با مزیت‌های فراوان و مدتِ کوتاهی که برای انجامش صرف می‌شود، نتایج قابل قبولی را در مناطق با زمین شناسی پیچیده، فراهم می‌نماید. بنابراین، به نظر می‌رسد، کوچ زمانی پیش از برانبارش و سپس انجام برانبارش با استفاده از عملگر CRS، بتواند مشکل روش CRS را تا حدودی برطرف نماید. در ادامه این فصل پس از اشاره‌ای به برداشت داده‌های لرزه‌ای بازتابی، مرور مختصری بر پردازش مرسوم داده‌های لرزه‌ای بازتابی خواهیم داشت و بعد از آن به تاریخچه گذرایی در مورد تصویر سازی مقاطع پیچیده و مسئله تداخل شیب‌ها و در آخر به ساختار پایان نامه خواهیم پرداخت.



(شکل ۱-۱) روند کلی در استفاده از لرزه نگاری بازتابی. تهیه مقطع لرزه ای به کمک ارسال امواج لرزه ای به درون زمین، بازتاب آنها از لایه ها و آشکار سازی ساختارهای زمین شناسی به کمک پردازش داده های لرزه ای.

۱-۱ برداشت داده‌های لرزه‌ای بازتابی

داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی در محیط‌های مختلف مانند خشکی، نواحی گذار[1] و در محیط‌های دریایی کم عمق تا آب‌های بسیار عمیق و با هندسه[2] (اشکال) مختلف برداشت می‌شوند. تجهیزات لرزه‌نگاری به کار گرفته شده در این مناطق، محدوده وسیعی از دستگاه‌ها و ابزار را شامل می‌شوند که

[1]- Transition zones
[2]- Geometry

اجازه مطالعه زیر سطح زمین را از نزدیک سطح تا عمق چند کیلومتری، میسّر می‌سازند. در برداشت‌های بزرگ مقیاس در خشکی، امواج لرزه‌ای معمولاً به وسیله مواد انفجاری و یا ویبراتور[۱] های هیدرولیکی به وجود می‌آیند. میدان موج بازتاب شده، توسط گیرنده‌ها (ژئوفون‌ها)[۲] به عنوان تابعی از زمان، پس ازگسیل انرژی لرزه‌ای از چشمه ثبت می‌گردد. مقدار اندازه گیری شده، یک یا سه مؤلفه از جابجایی ذره، سرعت یا شتاب است.

در طراحی برداشت‌های لرزه‌ای معمول، میدان موجی که توسط یک چشمه ایجاد می‌شود به وسیله تعداد زیادی گیرنده، ثبت می‌شود. به دلیل ابهام زیاد در مسئله معکوس سازی لرزه‌ای[۳]، انجام چندین عدد از این آزمایش‌های ثبت شده با چشمه مشترک، با موقعیت‌های متغیر چشمه و گیرنده، برای جمع‌آوری اطلاعات فراوان و به دست آوردن داده‌هایی هم‌پوشانی شده[۴]، از ساختارهای زیر سطح، لازم به نظر می‌رسد. مجموعه داده‌های دارای هم‌پوشانیِ به‌دست آمده، از سری‌های زمانی گسسته برای هر جفت چشمه و گیرنده که معمولاً به آن‌ها ردلرزه[۵] گفته می‌شود، تشکیل‌شده‌است و به هر مجموعه از این رد لرزه‌ها با یک هندسه مشخص، ورداشت[۶] می‌گویند. معمول ترین این مجموعه ها که هر کدام در قسمتی از پردازش به کار می‌آیند، ورداشت‌های (نقطه میانی مشترک)CMP، (دورافت مشترک) CO[۷]، (دورافت صفر) ZO[۸]، (چشمه مشترک)CS[۹] و (گیرنده مشترک)CR[۱۰] می‌باشند. طراحی برداشت، همان‌طور که به هدفِ اجرای روش لرزه‌ای بستگی دارد، به میزان پیچیدگی ساختار زیر سطح و شرایط محیطی نیز وابسته است. اطلاعات بیشتر در مورد طراحی برداشت لرزه‌ای را می‌توان در ورمیر[۱۱](۲۰۰۲) یافت.

---

[1]- Vibrator
[2]- Geophones
[3]- Seismic inversion
[4]- Multi coverage data
[5]- Trace
[6]- Gather
[7]- Common offset
[8]- Zero offset
[9]- Common source(shot)
[10]- Common receiver
[11]- Vermeer

۱-۲ پردازش مرسوم داده‌های لرزه‌ای بازتابی

مقصود از پردازش داده‌های لرزه‌ای، تبدیل داده‌های برداشت شده به تصویری از زیر سطح زمین است که معرّفِ توزیعِ فصل مشترک[۱]های زمین شناسی باشد. پردازش داده‌های لرزه‌ای معمولاً از همان محل برداشت داده‌ها آغاز می‌شود و ردهای لرزه‌ای ثبت شده از چشمه‌ها و گیرنده‌های مجاور با هم ترکیب می‌شوند تا نسبت سیگنال به نوفه[۲] را افزایش دهند. در داده‌های خشکی، تصحیحات استاتیک[۳]، معمولاً برای تصحیح ارتفاعِ پستی و بلندی‌ها و تاثیر لایه هوازده انجام می‌گیرد. برای کسب کسب اطلاعات و توضیحات بیشتر در مورد پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌توان برای مثال به ایلماز[۴](۲۰۰۱)، شِریف و جِلدارت[۵](۱۹۹۵) یا کِری و همکاران[۶](۲۰۰۲) مراجعه نمود.

پیش از تصویرسازی لرزه‌ای، داده‌های خام برداشت شده باید برای مراحل بعدی آماده، یا به عبارتی پیش پردازش شوند. ابتدا ردلرزه‌های معیوب حذف می‌شوند و هندسه برداشت داده‌ها در سرِزمین[۷]، مثلاً مختصات چشمه‌ها و گیرنده‌ها، برای سربرگِ[۸]ردها مشخص و معلوم می‌شوند. به کمک اِعمال فیلترهای مختلف، نوفه همدوس[۹]یا نوفه‌هایی که خارج از محدوده فرکانسِ در نظر گرفته شده هستند، هستند، کاهش می‌یابند. توابع تقویت خودکار[۱۰]هم، برای جبرانِ واگرایی کروی[۱۱]و فرآیند جذب انرژی و کاهیدگیِ[۱۲]امواج، با اهداف نمایشی، به کار می‌روند. سپس نوبت به واهمآمیخت[۱۳]می‌رسد که می‌توان آن‌را نوعی فیلتر معکوس برای حذف اثرات موج منبع دانست. در نتیجه‌ی انجام این فرآیند طول پالس لرزه‌ای کاهش یافته و به فاز صفر تبدیل می‌شود، که وضوح عمودی یا زمانی را در پی خواهد داشت.

1- Interface
2- Signal to noise ratio (SNR)
3- Static correction
4- Yilmaz
5- Sheriff and Geldart
6- Kearey
7- Field
8- Header
9- Coherent noise
10- Automatic gain functions
11- Spherical divergence
12- Energy absorption and attenuation
13- Deconvolution

برای توضیحات بیشتر ریاضی و روش‌های مختلف واهمآمیخت، می‌توانید به بوتکوس[1](۲۰۰۰) مراجعه نمایید. دسته‌بندی کردن داده‌ها برحسبCMP، انجام تحلیل سرعت[2]و به دست آوردن میدان سرعت برون راند نرمال و استفاده از آن در تصحیح برون راند نرمال، اِعمال تصحیح برون راند شیب، اِعمال استاتیک باقیمانده[3] که مرتبط با تغییرات کوچک مقیاسِ سرعت نزدیک به سطح است، برانبارش ردها ردها در ورداشت‌های CMP و به دست آوردن مقطع برانبارش شده در حوزه زمان، از برجسته ترین مراحل روش مرسوم پردازش می‌باشند. مراحل ذکر شده، نوفه‌های همدوس و تصادفی و حجم داده‌ها را برای پردازش‌های بعدی کاهش می‌دهند. از سرعت‌های برانبارش حاصل از تحلیل سرعت نیز می‌توان به عنوان پایه‌ای برای ساخت مدل سرعت مورد نیاز کوچ[4] به منظور به دست آوردن تصویر واقعی از ساختارهای زیر سطحی، استفاده کرد.

به دلیل تعدد و تنوع روش های تصویرسازی لرزه‌ای، دسته‌بندی دقیق آن‌ها کاری مشکل است ولی به طور کلی می‌توان دو دسته را برای آن‌ها ترسیم کرد: روش‌هایی که برای مراحل بعدی پردازش، به اطلاعاتی از خواص الاستیکِ لایه های زیر سطح زمین نیاز دارند، به اصطلاح روش‌های مبتنی بر مدل[5] و روش‌هایی که به این قبیل اطلاعات نیازی ندارند و تنها از داده‌های برداشت شده برای مراحل بعدی پردازش‌استفاده می‌کنند (روش‌های مبتنی بر داده[6]). در بخش‌های پیش‌رو با در نظر گرفتن دسته‌بندی ذکر شده، به طوراجمالی با آنها آشنا می‌شویم.

۱-۳روش‌های تصویر سازی لرزه‌ای مبتنی بر داده

تصویرسازی لرزه‌ای بازتابی را می‌توان بدون دانستن اطلاعاتی در مورد مدل سرعت لایه‌های زیرِزمین انجام داد و این کار تنها با استفاده از اطلاعاتی امکان پذیر است که مستقیماً از داده‌های

[1]- Buttkus
[2]- Velocity analysis
[3]- Residual static
[4]- Migration
[5]- Model-based
[6]- Data-based or Data-driven

لرزه‌نگاری برداشت شده به دست می‌آیند. در این نوع روش ها از تعدّد برداشت نقاط زیر سطح توسط داده‌های برداشت شده دارای هم پوشانی، برای شبیه سازی یک مقطع لرزه‌ای استفاده می‌شود. در واقع این مقطع، معادل مقطعی است که از برداشت داده‌های لرزه‌ای، هنگامی که جفت‌های گیرنده و چشمه بر هم منطبق هستند به دست می آید(مقطع دورافت صفر[1]). در ادامه چندین روش از این دست، که برای شبیه سازی مقطع دورافت صفر به کار می‌روند به صورت خلاصه معرفی می‌گردد.

۱-۳-۱ روش بر انبارش نقطه میانی مشترک

در ابتدای عمر فعالیت‌های پردازش لرزه‌ای به دلیل توان بسیار پایین محاسباتی، اکثر فعالیت‌ها به محاسبات ساده محدود می‌شد. اولین استفاده گسترده از روش‌های مبتنی بر داده توسط مین[2](۱۹۶۲) معرفی شد. فرض او محیطی با لایه‌های افقی بود که رخدادهای بازتابی آن، روی ردهای مختلف در مجموعه‌ای از داده‌های قبل از برانبارش یعنی ورداشتCMP قابل مشاهده باشد. در این آرایش، نقطه‌ای در زیر سطح زمین که درست در زیر نقطه میانی مشترک قرار گرفته است، چند بار شاهد بازتاب امواج لرزه‌ای از مسیرهای مختلف خواهد بود و زمان‌سیر موج برای یک فصل مشترکِ افقی با لایه همگنی که بر روی آن قرار گرفته است به صورت معادله یک هذلولی می‌باشد (ایلماز،۲۰۰۱). دراین معادله، منحنی زمان سیر، تنها با پارامتر معروف سرعت برون راند نرمال تعریف می‌شود. در جایی که چندین لایه افقی با مقادیر سرعت ثابت داشته باشیم، اگر دورافت نسبت به عمق لایه‌هایی که قصد تصویر سازی آن‌ها را داریم کمتر باشد، می‌توان معادله‌ای برای منحنی زمان سیر تقریب زد. در چنین محیطی به جای سرعت برون راند نرمال از سرعتِ جذر میانگین مربعات(RMS)[3] که میانگینی از سرعت لایه‌های بالایی است، استفاده می‌شود (تنر و کوهلر[4]،۱۹۶۹). در پردازش به روش برانبارش نقطه میانی مشترک، ردلرزه‌ها در ورداشت‌های CMP گروه بندی می‌شوند و سپس با انجام

[1]-Zero-Offset section
[2]- Mayne
[3]- Root mean square velocity
[4]- Taner and Koehler

تحلیل سرعت برای تعدادی از این برداشت‌ها، سرعت‌های برانبارش[1] به دست می‌آیند (ایلماز،۲۰۰۱). هر برداشت CMP با تعداد زیادی سرعت‌های ثابتِ مختلف، تصحیح می‌شود و مقدار همدوسی برای همه زمان سیرها و سرعت‌های برانبارش در آن برداشت CMP به صورت یک نمودار (طیف سرعت[2]) نمایش داده می‌شود. سرعت‌های برانبارشی که بیشترین مقدار همدوسی را داشته باشند و قاعدتاً بهترین انطباق هذلولی را برای هر زمان سیر موجب شوند در فرآیندی تعاملی به نام دستچین کردن[3]، انتخاب می‌شوند و برای آن برداشت CMP، یک تابعِ سرعتِ برانبارشِ یک بعدی را با استفاده از درونیابی تشکیل می‌دهند. از کنار هم قرار دادن توابعِ سرعتِ برانبارش به دست آمده از تحلیل سرعت برداشتهایِ CMP انتخاب شده و درونیابی بین این توابع یک بعدی، مدل سرعتی دو بعدی به دست خواهد آمد. این مدل سرعت برای تصحیح برون راند نرمال در مجموعه داده‌های برداشت شده دو بعدیِ دارای هم‌پوشانی به‌کار می‌رود، به طوری که منحنی زمان سیر مربوط به هر بازتابنده در برداشت CMP مربوطه، از هذلولی به یک خط راست افقی تبدیل می‌شود. با برانبارش ردهایی که در هر برداشت CMP قرار دارند، مقطع نهایی دورافت صفر به دست می‌آید که علاوه بر افزایش نسبت سیگنال به نوفه در آن، از حجم داده‌ها نیز کاسته شده است. در صورتی که فرضیاتی که قبلاً ذکر شد برای محیط زمین شناسی صادق نباشد، این روش نتایج خیلی خوبی نخواهد داشت. اگر چه این روش مشکلات دیگری هم دارد، از جمله عدم توانایی در تصویرکردن شیب‌های متداخل[4]، یعنی شرایطی که رخدادهای بازتابی، رخدادهای پراش[5] یا تعدادی از رخدادهای مختلف، یکدیگر را در یک نقطهِ دورافت صفر قطع می‌کنند. در حالتی که بازتابنده‌ها شیب‌دار باشند، این روش پاسخ‌هایی از نقاط مختلف بازتابی از یک محدوده را به جای پاسخِ تنها از یک نقطه، با هم ترکیب کرده و در نتیجه تصویر واضحی از آن نقطه زیر سطح به دست نمی‌دهد. برای غلبه بر محدودیت‌های روش برانبارش CMP، روش برانبارش DMO معرفی گردید.

[1]- Stacking velocity
[2]- Velocity spectrum
[3]- Picking
[4]- Conflicting dips
[5]- Diffraction

۱-۳-۲ روش کوچ به دورافت صفر[1]

درحالتی که بازتابنده‌ها شیب دارباشند، تصحیح برون راند شیب سعی می‌کند پراکندگیِ نقطه بازتاب را که ناشی از شیب دار بودن لایه است، برطرف نماید.ابتدا تصحیح NMO در برداشت CMP مورد نظر انجام می‌شود تا با تخمین اولیه‌ای‌از سرعت، اثر لایه‌های رویی حذف شود و سپس به وسیله یکی از چند روش تصحیح DMO(درگوسکی،۱۹۸۶؛هیل[2]،۱۹۹۱)، اثر بازتابنده شیب‌دار بر روی سرعت‌ها، حذف می‌شود.

۱-۳-۳ روش برانبارش سطح بازتاب مشترک

در واقع برانبارش سطح بازتاب مشترک همان ادامه مفهوم تحلیل سرعت‌های بر انبارش با استفاده از تقریب مرتبه دوم معادله زمان سیر موج بازتابی است و پارامترهای برانبارش در آن توسط تحلیل همدوسی[3] مشخص می‌شوند (مولر، ۱۹۹۹؛ مَن و همکاران، ۱۹۹۹؛ یگر و همکاران[4]، ۲۰۰۱). رابطه بین تحلیل سرعت برانبارش مرسوم و روش CRSتوسط هرتوِک و همکاران[5] (۲۰۰۷) توصیف شده، به به گونه‌ای که به جای برانبارش سرعت در یک برداشت CMP، در روش CRS مشخص کردن پارامترها در تعدادی از برداشت هایِCMPمجاور شکل می‌گیرد و به جای عملگر هذلولی شکلِ بر انبارش در روش مرسوم، عملگری صفحه‌ای خواهیم داشت که دارای انحنا می‌باشد. برای به دست آوردن تقریبِ معادله زمان سیر موج بازتابی، از تئوری پرتوهای موازی[6] (شلیشر و همکاران، ۱۹۹۳؛ بورتفلد، ۱۹۸۹؛ چرونی[7]، ۲۰۰۱) و یا از تئوری انتشار جبهه موج‌های فرضی (هوبرال، ۱۹۸۳؛ تیگل و همکاران[8]، ۱۹۹۷) استفاده می‌شود. در تحقیق پیش‌رو از علامتها و نام گذاری‌های روش دوم استفاده شده است.

---

[1]- Migration to zero offset
[2]- Deregowski; Hale
[3]- Coherency analysis
[4]- Müller; Mann; Jäger
[5]- Hertweck
[6]- Paraxial ray theory
[7]- Schleicher; Bortfeld; Cerveny
[8]- Hubral; Tygel

در عملگر برانبارش یا معادله زمان سیر روش CRS بر خلاف روش مرسوم که فقط پارامتر سرعت برون راند نرمال تعیین کننده بود، پارامترهای چند گانه‌ای دیده می‌شوند که نشان دهنده محل، انحنا و جهت گیری و شیبِ بازتابنده مورد نظر هستند. در این روش، تنها دانستن سرعت لایه سطحی و مشخص کردن پارامترهای برانبارش کافی می‌باشد و مانندروش مرسوم، نیازی به تخمین اولیه و به روز کردن مدل سرعت نیست. بنابراین،CRS روشی مستقل از مدل سرعت اولیه می‌باشد. در فصل بعد علاوه بر جزئیات بیشتر، به چگونگی تحلیل همدوسی برای معلوم کردن پارامترهای برانبارش و نهایتاً برانبارش و به دست آوردن مقطع با دورافت صفر می‌پردازیم. مفاهیمی مثل روش برانبارش سطح بازتاب مشترک در روش‌های تصویر سازی لرزه‌ای مشابهی توسط دی بازلاری[1] (۱۹۸۸)، دی بازلاری و همکاران (۱۹۹۴)، توره و همکاران[2] (۱۹۹۴) به نام Polystack و توسط گلچینسکی و همکاران[3](a,b۱۹۹۹) و لاندا و همکاران[4](۱۹۹۹) به نام Multifocusing به کار گرفته شده اند.

۴-۱ روش‌های تصویر سازی لرزه‌ای مبتنی بر مدل

تقریباً هدف تمام روش‌های تصویر سازی لرزه‌ای به دست آوردن تصویری در حوزه عمق، از ناپیوستگی‌هایِ خواص الاستیک زمین است که این تصویر حاصل برداشت داده‌های دارای هم پوشانی در حوزه زمان می‌باشد. بازتابنده‌های زیر سطح باید از رخدادهای بازتابی در حوزه زمان به فصل مشترک‌هایی در حوزه عمق تبدیل شوند. ضمن این که مدلی از خواص الاستیک که از فرآیند معکوس سازی به دست می‌آید باید با داده‌های برداشتی سازگار باشد. با وجود این که خروجی مناسب نهایی از مرحله تصویر سازی در حوزه عمق می‌باشد، اما تصویر سازی لرزه‌ای بازتابی را می توان در حوزه زمان نیز انجام داد. به گونه‌ای که این تصاویر می‌توانند اطلاعات خوبی را در مواردی که پیچیدگی زمین شناسی درحد متوسطی است فراهم کنند. علاوه بر این، برای مدل‌های پیچیده تر که نیاز به کوچ

[1]- De Bazelaire
[2]- Thore
[3]- Gelchinsky
[4]- Landa

عمقی پیش از برانبارش (PreSDM)[1] دارند، تصویر سازی زمانی، گام اولیه‌ای را برای تسهیل در تخمین خواص الاستیک به منظور تصویر سازی در حوزه عمق بر می‌دارد. برای رفتن از حوزه زمان به حوزه عمق نیاز به مدلی صریح[2] از خواص الاستیک محلی داریم که حداقل در مقیاس بزرگ، دقیق باشد. در صورتی که این مدل اولیه به اندازه کافی به شرایط حقیقی زمین نزدیک باشد می‌توان با چندین بار به روز کردن آن، به مدل صحیحی از خواص الاستیک محیط دست یافت. به این روش از تصویر سازی، روش مبتنی بر مدل می‌گویند (مَن، ۲۰۰۲). همه روش هایِ معمول کوچ را می‌توان از دسته روش‌های تصویر سازی مبتنی بر مدل دانست که شامل کوچ زمانی پیش از برانبارش[3]، کوچ زمانی پس از برانبارش[4]، کوچ عمقی پیش از برانبارش و کوچ عمقی پس از برانبارش[5] می گردند. البته کوچ عمقی پیش ازبرانبارش بیشترین حساسیت را نسبت به عدم صحت و دقت مدل دارد و کم ترین حساسیت هم مربوط به کوچ زمانی پس از برانبارش است.

۱-۵ تاریخچه تصویرسازی در مقاطع پیچیده و مسئله تداخل شیب‌ها

به طور سنتی، تصویر سازی لرزه‌ای حلقه‌ی پایانیِ زنجیر بلندی از فرآیندهاست. همه مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای شامل متناسب سازی[6] دامنه‌ها، واهمآمیخت، تصحیح استاتیک و تحلیل سرعت، تصحیحات برون راند نرمال و برون راند شیب و برانبارش، به کوچ منتهی می‌شوند که اصولاً هدف این مرحله، تصویر سازی ساختاری[7] می‌باشد. مقاطع و نقشه‌های ساختاریِ لرزه‌ای که پس ازکوچ به دست آمده‌اند، برای حفر چاه‌های اکتشافی و رسیدن آن‌ها به ساختارهای زمین شناسیِ هدف به کار گرفته می‌شوند (گرِی[8]،۲۰۰۱). بعد از به دست آوردن تصویر ساختاری، می‌توان از آن

[1]- Pre Stack Depth Migration
[2]- Explicit
[3]- Pre stack time migration
[4]- Post stack time migration
[5]- Post stack depth migration
[6]- Scaling
[7]- Structural imaging
[8]- Gray

برای ورود به چینه شناسی لرزه‌ای[1]، که ترتیب قرار گیری لایه‌ها در سازندهای زمین شناسی را مشخص می‌کند، و هم چنین برای تعیین جنسِ زمین شناسی تک تک لایه‌ها و ارزیابی خواص و توزیع سیال منفذی، در حین تحلیل تغییرات دامنه سیگنال لرزه‌ای نسبت به دورافت (AVO)، استفاده کرد. کیفیت خروجی این روش‌هایِ کوچک مقیاس تا حد زیادی به کیفیت تصویرسازی ساختاری وابسته است (فارمر و همکاران[2]، ۱۹۹۳). امروزه، پیشرفت در تصویر سازی ساختاری لرزه‌ای لرزه‌ای در دو بخش متمرکز شده است که شامل بهبود کیفیت تصویر در ساختارهای معمولی، یعنی مشخص کردن محل و شکل آن‌ها با دقت و صحت بیشتر و دیگری توانایی تصویر سازی در مناطقی با ساختارهای پیچیده همراه با تغییرات زیاد و ناگهانی سرعت می‌باشد (فارمروهمکاران،۱۹۹۳). در مناطقی که با تغییرات شدیدِ جانبی سرعت و ساختارهای روباره پیچیده مواجه هستیم به تصویر سازی در حوزه عمق نیازمندیم. این ساختارهای پیچیده به طور شاخص به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- ساختارهای پیچیده مرتبط با زمین ساخت [3] گنبد های نمکی؛

۲- ساختارهای بر روی هم[4] قرار گرفته توسط زمین ساختِ گسل های روراندگی[5] و چین خوردگی های پی در پی؛

۳-ناهمواری‌های نامنظم کف دریا.

هر سه مورد ذکر شده وابسته به ساختارند، اما نوع دیگر تغییرات جانبی سرعت، مستقل از ساختار می‌باشد که معمولاً با تغییرات رخساره‌ای[6] همراه است، مانند تغییر در سنگ شناسی از شیل به ماسه سنگ و یا آهک که تغییر جانبی در مقاومت صوتی ظاهری[7] را سبب می‌شود(ایلماز، ۲۰۰۱؛ وندِویه[8]،

1- Seismic stratigraphy
2- Farmer
3- Tectonics
4- Imbricate
5- Overthrust
6- Facies changes
7- Acoustic impedance
8- Vendeville

۱۹۹۷). این ساختارهای پیچیده معمولاً طبیعتی سه بعدی دارند و تصویر سازی دقیق آن‌ها توسط داده‌های لرزه‌ای دو بعدی امکان پذیر نیست، بنا براین با انجام کوچ دو بعدی در این مناطق، فرض بر این است که امواجی خارج از صفحهِ برداشت، توسط گیرنده‌ها دریافت نمی شوند و این خلاف واقعیت است. در واقع برای به‌دست آوردن تصویری دقیق‌تر در این مناطق نیاز به کوچ سه بعدی است (ایلماز،۲۰۰۱). روش مرسومِ برانبارش نقطه میانی مشترک، داده‌های برداشت شده را به صورت صفحه‌ای با محورهای زمان - نقطه میانی، در دورافت صفر شبیه سازی می‌کند و برای برانبارش در راستای محور دورافت از فرض برون راند هذلولی استفاده می نماید که به دلیل تغییرات شدیدِ سرعت جانبی در ساختارهای پیچیده، این فرض برای بعضی از رخدادهای بازتابی مناسب نیست و در نتیجه مقطع برانبارش به دست آمده معادل مقطع دورافت صفر نمی‌باشد. شیب های متداخل با سرعت های برانبارش مختلف که معمولاً در دامنه گنبد های نمکی و مناطق گسل خورده (مناطق با زمین شناسی پیچیده) دیده می‌شوند نیز، در مقطع برانبارشِCMP به دست آمده، معادل با مقطع دور افت صفر، تصویر نمی‌شوند و با کوچ پس از برانبارش، تصویر دقیق و صحیحی از این مناطق حاصل نمی‌شود (ایلماز، ۲۰۰۱). برای جلوگیری از عدم تصویر شدن تداخل شیب‌ها می‌توان از روش DMO و یا کوچ پیش از برانبارش استفاده کرد و در این تحقیق برای تصویر سازی در مناطق پیچیده به دنبال پیاده سازی روش برانبارش سطح بازتاب مشترک و کوچ پیش از برانبارش هستیم.

مسئله شیب‌های متداخل به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. دوهرتی[1](۱۹۷۵) برای اولین بار معادلات برونیاب موج را برای داده‌های غیر از دورافت صفر معرفی کرد. شروود و همکاران[2](۱۹۷۸) روشی را برای نگاشت داده‌های غیر از دورافت صفر ، به دورافت صفر در حضور شیب‌های متداخل با سرعت های برانبارش متفاوت ابداع کردند. پس از آن ایلماز و کلاربوت[3](۱۹۸۰) تکنیک کوچ پیش از برانبارش جزئی(PSPM)[4]را برای حل مسئله شیب‌های متداخل پیشنهاد کردند.

1- Doherty
2- Sherwood
3- Yilmaz & Claerbout
4- Pre Stack Partial Migration

آنها تئوری موجی را برای به حساب آوردن تفاوت بین کوچ پیش از برانبارش و نتیجه پردازش مرسوم که شامل تصحیح برون راند و برانبارش CMPو کوچ بعد از بر انبارش می‌شد، توسعه دادند و به این واقعیت دست یافتند که تصحیح DMO در اصل، یک فرآیند کوچ جزئی است که بر روی داده‌های با دورافت مشترک و تصحیح شده از نظر برون راند، اعمال می‌گردد. با این وجود، تئوری PSPM یک مشکل مهم داشت. یعنی اگر چه در مورد مدل سرعت لایه‌ای برای زمین معتبر بود، ولی بر اساس تقریب دورافت های کوتاه استوار شده بود. درگوسکی و همکاران (۱۹۸۱) تئوری PSPM را از نو، مشابه کوچ کیرشهف[۱] مطرح کردند و اتولینی[۲](۱۹۸۲) معادلاتPSPM را در حوزه مقاطع پارامترهای ثابت پرتو توسعه داد. این تکنیک به صورت تئوری در محیط لایه‌ای برای همه دورافت ها و شیب ها دقیق بود. همین روش با ارائه یک راه حلِ ادامه دورافت توسط بولوندی و همکاران[۳](۱۹۸۴)، سالوادور و همکاران[۴](۱۹۸۲)، دنبال شد، که عبارت بود از نگاشت یک مقطع با دورافت زیاد به یک مقطع با دورافت نزدیک که نتیجه‌اش تبدیل همه دورافت ها به دورافت صفر بود. هِیل (۱۹۸۴) روش DMOای را در حوزه f-k فرموله کرد که نتایج خوبی را برای محیط‌های با سرعت ثابت و در بر گیرنده همه شیب‌ها و دورافت ها و همچنین در مناطقی با تغییرات سرعت عمودیِ کم تا متوسط فراهم می‌کرد. جاکوبویکز[۵] (۱۹۹۰) یک تکنیک جذاب از نظر مفهومی را توسعه داد که شامل تجزیه شیبِ داده های ورودی و کاربرد یک عملگر DMO بر روی هر مولفه، به تنهایی می شد. هیل و آرتلی[۶] (۱۹۹۲) تئوری تئوری DMO را برای پشتیبانی تغییرات سرعت عمودی گسترش دادند و بیوندی و رونن[۷] (۱۹۸۷) ، کابرِرا و لوی[۸](۱۹۸۹) ، گرانسر[۹] (۱۹۹۴) و ژوو و همکاران[۱۰](۱۹۹۶) عملگرهای DMOای را برای اعمال بر روی برداشت های چشمه ها طراحی کردند. تمامی این تکنیک ها به تغییرات سرعت

[1]- Kirchhoff Migration
[2]- Ottolini
[3]- Bolondi
[4]- Salvador
[5]- Jacubowicz
[6]- Hale &Artely
[7]- Biondi& Ronen
[8]- Cabrera & Levi
[9]- Granser
[10]- Zhou

عمودی محدود می‌شوندکه کوچ زمانی برای آن‌ها مناسب می‌باشد و تصحیح DMOبه تنهایی نمی‌تواند نقص های حاصل از برانبارش را که بر اثر تغییرات سرعت جانبی به وجود می آید، برطرف نماید؛ مگر این‌که پس از آن، کوچ زمانی بعد از برانبارش اعمال گردد. البته راه حل دقیق‌تر،کوچ زمانی پیش از برانبارش است. فاولر[1](۱۹۸۴) نیز تکنیک تصویر سازی پیش از برانبارشی را توسعه داد که مستقل از سرعت بود و شامل مرحله‌ای برای تصحیح سرعت‌های برانبارشِ وابسته به شیب می‌شد که بر روی داده‌های برانبارش شده با سرعت ثابت اعمال می‌گردید. گاردنر و همکاران[2] (۱۹۸۶)هم، تصحیح DMO را با روش تصویر سازی پیش از بر انبارشی ترکیب کردند که مستقل از سرعت بود و بر روی صفحاتی با زمان ثابت در مختصات نقطه میانی- دورافت انجام می‌گرفت. بنکرافت و گیگر[3](۱۹۹۴)نیز از چنین صفحاتی با زمان ثابت از مجموعه داده‌های قبل از برانبارش استفاده کردند، کردند، اما این بار در مختصات چشمه -گیرنده. هوبرال و همکاران (۱۹۹۶، ۱۹۹۹) مفهوم روش برانبارش سطح بازتاب مشترک را ارائه کردند که می‌توانددمقاطع دورافت صفر با وضوح بالایی تهیه کند، اگر چه نتوانست مشکل تداخل شیب ها را به خوبی حل کند. مَن(۲۰۰۲،۲۰۰۱) با ارائه راه حلی، این مسئله را تا حدودی برطرف کرد، اما با ترکیب جنبه های روشDMOو CRS، سلیمانی[4](۲۰۰۹)روشی به نام بر انبارش سطح پراش مشترک (CDS)[5] ارائه نمود که تداخل شیب‌ها را به خوبی تصویر می‌کرد و اجازه می‌داد که به جای یک عملگر برانبارشِ تنها یا تعداد اندکی عملگر مجزّا، برای هرنمونه، یک محدوده‌ی پیوسته‌ی مجازی از شیب‌ها در نظر گرفته شود. این روش در مناطق پیچیده نتیجه نسبتاً خوبی را فراهم می‌کرد (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۰)، اگرچه از نظر محاسباتی پرهزینه است وعملگر برانبارش باید برای هر یک از نمونه های مقطع دورافت صفر و هم چنین برای تمامی شیب‌های در نظر گرفته شده به وسیله تحلیل همدوسی در محدوده داده‌های پیش از برانبارش، شبیه سازی شود. در واقع نحوه به دست آوردن پارامترهای عملگر برانبارش در روش ذکر

1- Fowler
2- Gardner
3- Bancroft & Geiger
4- Soleimani
5- Common Diffraction Surface stack

شده مبتنی بر داده می‌باشد. شاهسونی[1] (۲۰۱۱) توانست با استفاده از قابلیت‌های روش CRS در معکوس سازی و تهیه مدل سرعتی، از آن در انجام مدل سازی پیشرو و به دست آوردن پارامترهای عملگر بر انبارش CDS بهره ببرد و زمان پردازش و مشخص کردن پارامترهای برانبارش CDS را، در این روش مبتنی بر مدل، نسبت به روش قبلی کاهش دهد. در تحقیق پیش رو برای تصویر سازی در مقاطع نسبتاً پیچیده که می توان در آن‌ها نتایج کوچ زمانی پیش از برانبارش را قابل قبول دانست، برای رفع مشکل تداخل شیب‌ها تلاش کرده و امکان انجام روش برانبارش سطح بازتاب مشترک را بر روی داده‌های کوچ داده شده پیش از برانبارش، به منظور گرفتن نتیجه بهتری از روش CRS با استراتژی تعمیم داده شده، بررسی می‌کنیم.

۱-۶ساختار پایان نامه

بعد از مقدماتی گذرا در فصل اول، پیرامون برداشت و انواع روش‌های پردازش داده‌های لرزه‌ای و مرور تاریخچه‌ای از تصویر کردن ساختارهای پیچیده زمین شناسی، در فصل دوم به روش برانبارش سطح بازتاب مشترک می‌پردازیم، معادله کلی عملگر برانبارش CRS و نشانگرهای جنبشی میدان موج را معرفی کرده و همچنین استراتژی به دست آوردن نشانگرهای جنبشی میدان موج و حل معادله CRS به طورکلی شرح داده خواهد شد. پس از آن در مورد مسئله تداخل شیب ها و نحوه پدید آمدن آن بحث کرده،راه حل پیشنهاد شده را بررسی نموده و پس از آن به شرح روش برانبارش سطح پراش مشترک (CDS) به عنوان راه حلی برای غلبه بر مشکل تداخل شیب‌ها، معادله و نشانگر مربوط به آن و استراتژی دستیابی به این نشانگر خواهیم پرداخت. در فصل سوم به طور کلی از کوچ و روش‌های آن صحبت می کنیم و در مورد کوچ زمانی پیش از برانبارش توضیح بیشتری خواهیم داد. فصل چهارم به مراحل انجام پردازش به روش‌های برانبارش نقطه میانی مشترک (CMP)، سطح بازتاب مشترک (CRS) و همچنین سطح پراش مشترک(CDS)بر روی داده‌های مربوط به یک مقطع دو بعدی

[1]- Shahsavani

برداشت شده در یک منطقه گسل خورده و رورانده در خشکی که دارای ساختاری نسبتاً پیچیده می‌باشد، اختصاص دارد.

در فصل پنجم نیز مراحل انجام پردازش به روش کوچ زمانی پیش از برانبارش(PSTM)و چگونگی تلفیق آن با روش سطح بازتاب مشترک (CRS) بر روی همان داده‌ها توضیح داده خواهد شد. همچنین نتایج حاصل از برانبارش توسط روش‌های مذکور با یکدیگر مقایسه شده و عملکرد آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در فصل ششم نیز نتایج حاصل از فصل چهارم وپنجم جمع بندی شده و به ارزیابی نهایی نتایج حاصل شده توسط روش پیشنهادی در داده‌های مربوط به ساختار پیچیده موجود در ناحیه مورد نظر خواهیم پرداخت.

لازم به ذکر است که مراحل پیش پردازش داده‌های مربوط به ساختار پیچیده و همچنین تهیه مقطع برانبارش CMP و انجام PSTM مورد بحث در این پایان نامه توسط نرم افزارProMax انجام شد. مراحل برانبارش CRS و CDS نیز با به کارگیری کد های زبان برنامه نویسی C++ در نرم افزار Seismic Unix(SU) به انجام رسید. سایر مقاطع نشان داده شده در پایان نامه نیز به کمک همین نرم افزار به دست آمده اند.

فصل دوم

روش برانبارش سطح بازتاب مشترک

فصل دوم

روش بر انبارش سطح بازتاب مشترک

۲-۱ مقدمه

در این فصل با روشی جدید به نام برانبارش سطح بازتاب مشترک یا CRS آشنا خواهیم شد که بر اساس تئوری پرتو کار می کند و نسبت به روش های انتگرال گیری کیرشهف و کوچ به دورافت صفر، برتری های قابل توجهی دارد (هوبرال، ۱۹۹۹). این روش درمحیط های با بازتابنده های منحنی شکل که محیط آنها ناهمگن است (جایی که سایر روش ها با آن مشکل دارند) جواب قابل قبولی بدست می دهد (هوبرال،۱۹۸۳). روش برانبارش سطح بازتاب مشترک از روش های مستقل از مدل سرعت است که در نهایت مقطع دورافت صفر را شبیه سازی می کند (هوبرال ، ۱۹۹۹). این روش را می توان از روش های مبتنی بر داده‌ها بیان کرد، چرا که این روش مستقل از مدل زیر سطحی است. برای محاسبه عملگر برانبارش نیاز به سه مشخصه است که عبارتند از α، زاویه ورود[1]ی موج بازتاب به سطح زمین، R_N، شعاع انحنای موج عمود وR_{NIP} شعاع انحنای موج عمود در نقطه ورود (مَن ،۱۹۹۹)؛ که به این سه مشخصه، نشانگرهای جنبشی میدان موج[2] گویند. با بدست آوردن سه نشانگر جنبشی میدان موج، عمل برانبارش در امتداد سطحی که معادله آن یک معادله دوبعدی زمان بر حسب نیم دورافت و نقطه میانی می باشد و به آن سطح برانبارش CRS گویند، انجام می پذیرد. از کاربردهای دیگر این روش می توان به تعیین ناحیه فرسنل[3]، فاکتورتوزیع هندسی و همچنین فرایند معکوس سازی اشاره کرد. بزرگترین مزیتی که این روش دارا می باشد، افزایش نسبت سیگنال به نوفه بوده و همچنین رخدادها، در مقاطع، دارای پیوستگی بالایی خواهند بود(یگر ،۱۹۹۹). در این بخش به معرفی این روش و کاربردهای آن خواهیم پرداخت.

---

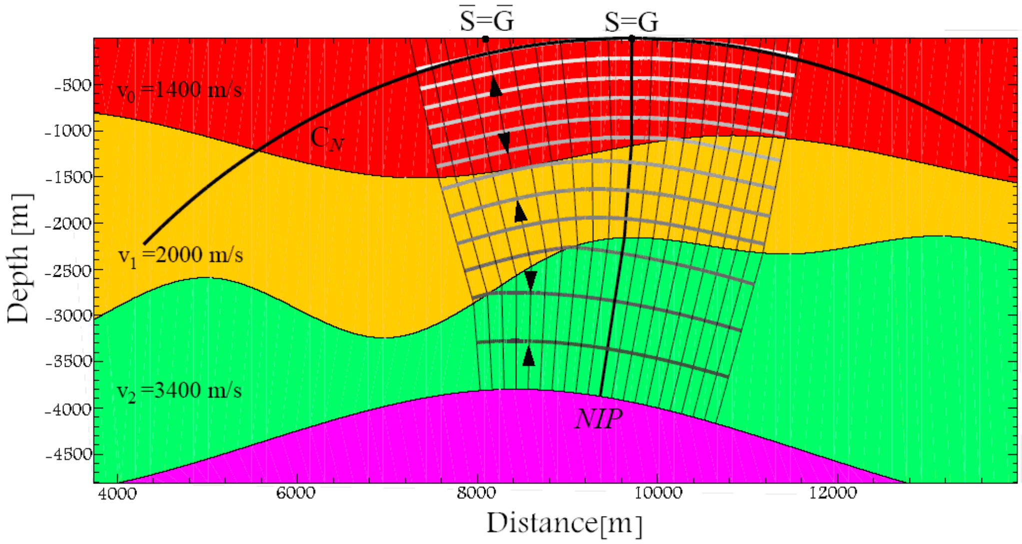
[1]- Emergence angle
[2]- Wave field kinematic attributes
[3]- Fresnel zone

۲-۲ نشانگرهای جنبشی میدان موج

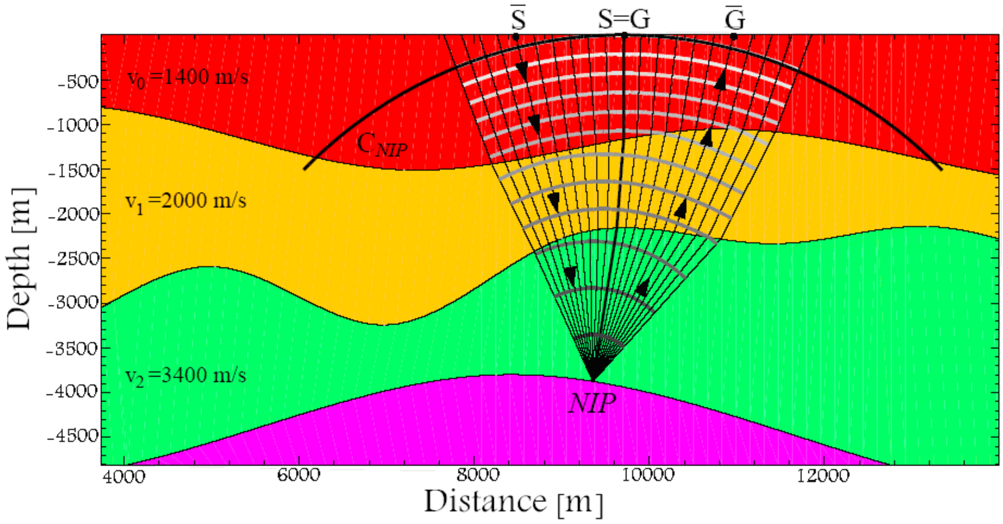
برای محاسبه عملگر برانبارش نیاز به سه نشانگر است که عبارتند از زاویه ورود پرتوی مرکزی α، شعاع انحنای موج عمود R_N و شعاع انحنای موج عمود در نقطه ورود R_{NIP}. طبق تعریف، موج عمود موجی فرضی است که در آزمایش دورافت صفر، تمام پرتوهای آن بر سطح بازتابنده عمود باشد. به عبارت دیگر موج عمود، موجی است که جبهه اولیه تشکیل دهنده آن بر سطح بازتاب منطبق بوده، با نصف سرعت محیط به سمت بالا انتشار می یابد و در زمان t_0 به نقطه S=Gدر سطح می رسد (یگر، ۱۹۹۹). موج نرمال را هنگامی موج ویژه[1] گویند که اگر جبهه موج از سطح‌زمین، از نقطه‌ای که S=G است به سمت پایین حرکت کند، به صورت مشابه به تمام نقاط سطح بازتابنده برخورد کند، سپس به سمت بالا بازتاب شود و جبهه موج برگشتی با جبهه موج گسیل شده منطبق گردد (هوبرال، ۱۹۸۳). شکل(۲-۱) نحوه گسترش موج نرمال به همراه پرتوهای فرضی آن‌را نشان می‌دهد.

بنابر تعریف، موج NIP موجی است که از نقطه NIP بر روی سطح بازتابنده آغاز شده و با نصف سرعت محیط در زمان t_0 به محل انطباق چشمه و گیرنده می رسد، (یگر، ۱۹۹۹). موج NIP را هنگامی موج ویژه گویند که اگر جبهه موجی از سطح به سمت پایین حرکت کند، در نقطه NIP متمرکز شده و پس از بازتاب دوباره به همان محل در سطح باز گردد. در این صورت جبهه موج برگشتی با جبهه موج گسیل شده بر هم منطبق خواهند شد. شکل(۲-۲) نحوه گسترش جبهه موج NIP به همراه پرتوهای فرضی (غیر اسنلی) آن در آزمایش CMP رانشان می‌دهد.

[6]- Eigen wave



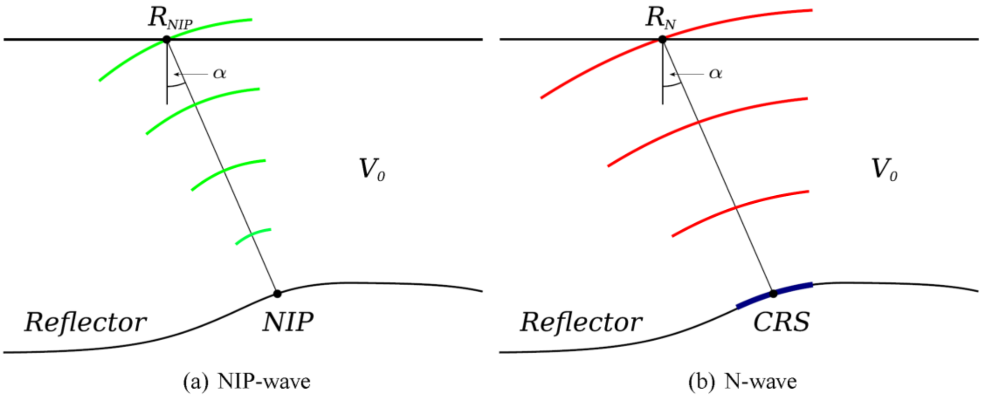
(شکل ۲-۱) مقطع دو بعدی موج عمود و پرتوهای عمود مرتبط با آزمایش دورافت صفر. موج عمود توسط دایره C_N (در حالت سه بعدی به صورت صفحه منحنی) که دارای شعاع انحنایی برابر جبهه موج عمود است، در نقطه ای که S=G است تخمین زده می شود، (یگر، ۱۹۹۹).



(شکل ۲-۲) ، مقطع دو بعدی موج NIP و پرتوهای غیراسنلی در آزمایش CMP. موج NIP را می توان توسط دایره C_{NIP} (در حالت سه بعدی به صورت صفحه منحنی) تخمین زد، که همان شعاع انحنایی را دارد که موج NIPدر نقطه S=G دارد (یگر، ۱۹۹۹).

پارامتر R_{NIP} شعاع انحنای جبهه موج NIP و پارامتر R_Nشعاع انحنای جبهه موج عمود دریافت شده توسط گیرنده ها در سطح می باشد. پارامتر R_{NIP}بیانگر عمق سطح بازتابی و پارامترR_N بیانگر میزان تقعر و تحدب سطح مذکور است. در ساختارهای پیچیده تعیین دقیق این دو پارامتر، شکل دقیق

سطح بازتابی و تصویری درست از این ساختار ها را در پی خواهد داشت. در شکل (۲-۳) مفهوم دو موج NوNIP برای یک مدل یک لایه ای با یکدیگر مقایسه شده است.



(شکل۲-۳) نشانگر های جنبشی میدان موج برای یک مدل یک لایه ای با سرعت V_0که در آن R_{NIP}شعاع انحنای موج سبز رنگ و R_N شعاع انحنای موج قرمز رنگ می باشد(بایکولوف، ۲۰۰۹).

۲-۳ عملگر برانبارش CRS

بر انبارشCRS یک تکنیک برانبارش چند پارامتری می باشد. در روش بر انبارش CRS، برخلاف روش مرسوم که تنها از داده های مربوط به یک CMP برای یک نقطه بازتابنده استفاده می شود، داده های مربوط به بازتابنده های مجاور با انحنایی مشابه با نقطه مذکور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و یک سطح برانبارش را تشکیل می‌دهد. هوخت[1] (۱۹۹۸)، به روش بسط تیلور، معادلاتی را برای بدست آوردن زمان سیر پرتوها به کمک نشانگرهای میدان موج ارائه کرد که این معادلات به عنوان معادلات اصلی عملگر برانبارش CRS شناخته می‌شوند. در این روش، بسط تیلور مرتبه اول برای t و سپس بسط تیلور مرتبه دوم برای t^2 محاسبه می شود که بسط مرتبه اول در تخمین ناحیه فرسنل و بسط مرتبه دوم به عنوان عملگر برانبارش CRS شناخته می شود:

1- Hocht

$$t_{par}(x_m,h)=t_0+\frac{2Sin\alpha(x_m-x_0)}{v_0}+\frac{Cos^2\alpha}{v_0}\left[\frac{(x_m-x_0)^2}{R_N}+\frac{h^2}{R_{NIP}}\right] \quad (۲-۱)$$

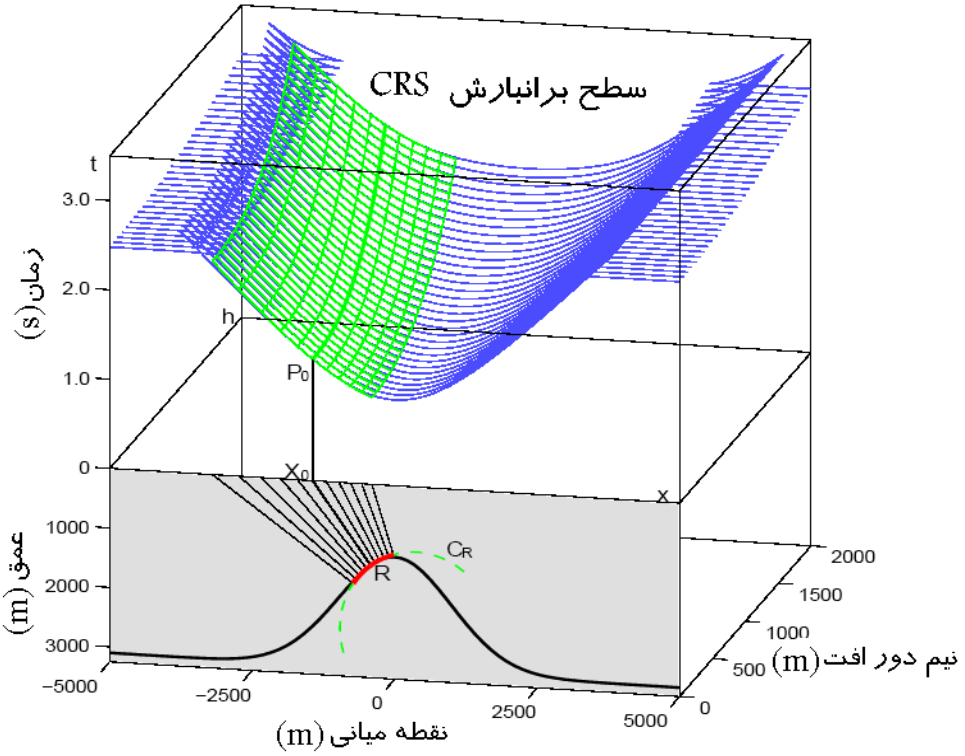
$$t_{hyp}^2(x_m,h)=\left[t_0+\frac{2Sin\alpha(x_m-x_0)}{v_0}\right]^2+\frac{2t_0Cos^2\alpha}{v_0}\left[\frac{(x_m-x_0)^2}{R_N}+\frac{h^2}{R_{NIP}}\right] \quad (۲-۲)$$

در معادلات بالاR_N ، R_{NIP} و α مشخصه های میدان موج در روش CRS هستند، v_0 برابر سرعت لایه سطحی است که در دست می باشد و نقطه ای که باید در مقطع دورافت صفر شبیه سازی شود با x_0 نشان داده شده که در واقع همان محل ورود پرتوی موج بازتاب به سطح زمین می‌باشد.

همانگونه که در معادله ۲-۲ مشاهده می‌شود عملگر برانبارش CRS بیانگر یک سطح است که شکل آن با مقادیر مختلف R_N ، R_{NIP} و α تغییر می‌کند. این سطح برانبارش در شکل(۲-۴) نشان داده شده است.

قسمت پایین شکل(۲-۴)، یک سطح بازتابنده تاقدیسی شکل را نشان می دهد و در قسمت بالای این‌شکل، سطح‌های آبی رنگ، زمان سیر پرتوهای CO بازتابیده از این سطح را در حوزه مختصات نقطه‌میانی، نیم‌دورافت و زمان (x,h,t) نشان می‌دهد. منحنی قرمز رنگ بر روی سطح بازتابنده نیز دایره ای است که شعاع بخش پر رنگ آن برابر شعاع سطح بازتابنده در آن قسمت می‌باشد و از آن به عنوان سطح انفجار در برانبارش CRS یاد می شود. تمام پرتوهای نشان داده شده، بر این بخش قرمز رنگ عمود می باشند و زمان سیر آنها بر روی منحنی سبز رنگ نشان داده شده است. نقطه P_0 بر روی منحنی زمان سیر دورافت صفر، مربوط به پرتوی دورافت صفر است که در نقطه X_0 به سطح زمین می‌رسد. همانگونه که در بخش قبل نیز عنوان شد، با افزایش دورافت، این نقطه بر روی منحنی های‌زمان سیر حرکت کرده و روند نقطه بازتاب مشترک CRP را ایجاد می کند که در این شکل با خط سبز پررنگ نشان داده شده است. اما در این حالت تنها با یک پرتو مواجه نمی باشیم، بلکه تمام پرتوهایی که از سطح قرمز رنگ ساطع می شوند، مشابه همین روند را در منحنی های زمان سیر طی

کرده و خود سطحی را ایجاد می کنند که با رنگ سبز نشان داده شده است. این سطح سبز رنگ، در واقع همان عملگر بر انبارش سطح بازتاب مشترک CRS می باشد. هر چه انطباق این عملگر با سطح



(شکل ۲-۴) قسمت پایین، بازتابنده تاقدیسی شکل در حوزه عمق با پرتوهای ZO که بر بخش قرمز رنگ بازتابنده‌ی R عمود می‌باشند. قسمت بالا، سطح حاصل از زمان‌سیرهای دورافت مشترک (سطح آبی رنگ) و سطح بازتاب مشترک (سطح سبز رنگ) برای بازتابنده‌ی R(بعد از یگر، ۱۹۹۹).

منحنی های زمان سیر بیشتر باشد، در این صورت عملگر از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد و نسبت سیگنال به نوفه در برانبارشی که توسط آن عملگر انجام می شود، افزایش می‌یابد.

برای درک بهتر ارتباط این عملگرها کافی است المان قرمز رنگ شکل (۲-۴) را به عنوان آیینه ای تصور کنید که تغییرات آن با سه پارامتر زیر قابل توجیه می باشد:

۱. فاصله نقطه(X_0) تا محل بازتاب (R) که در این مدل برابر R_{NIP} است،
۲. شعاع انحنای آیینه که برابر R_N می‌باشد و
۳. جهت قرار گیری آیینه نسبت به سطح زمین که با زاویه α به دست می‌آید.

۲-۴ روش انجام برانبارش CRS

همانگونه که اشاره شد، درپردازش به روش CRS، برانبارش، به جای اینکه در راستای یک منحنی هذلولی انجام بگیرد، در راستای مجموعه‌ای از منحنی‌های هذلولی که یک سطح را تشکیل می‌دهند انجام می پذیرد که شکل این سطح برانبارش به سه پارامتر به مقادیر R_N ، R_{NIP} و αبستگی دارد. لذا برای انجام برانبارش به‌روشCRS باید مقادیر بهینه‌ی این سه پارامتر را به گونه ای که بهترین همدوسی از برانبارش حاصل از این سه پارامتر بدست آید، تعیین کرد.

در ابتدا، این مسئله کاملاً ساده به نظر می‌رسد؛ کافی است تمام حالات ممکن برای این سه پارامتر را درنظر گرفت، هر دسته سه‌تایی از این پارامترها، خود یک سطح برانبارش را در حوزه (x_m,h,t) ایجاد می‌کند. سپس عمل برانبارش را بر روی داده‌های قبل از برانبارش به کمک این صفحه انجام داده و در مرحله بعد تحلیل همدوسی بر روی نتایج صورت خواهد گرفت. اکنون هر صفحه‌ای که بیشترین میزان همدوسی را از خود نشان دهد، پارامترهای آن صفحه به عنوان پارامترهای بهینه انتخاب شده و آن صفحه نیز صفحه بهینه عملگر برانبارش CRS خواهد بود. ولی این روش مشکلات زیادی را بهمراه خواهد داشت. اول اینکه این استراتژی در مورد پیدا کردن پارامترهای بهینه، از لحاظ محاسباتی بسیار زمان‌بر خواهد بود. علاوه بر آن مطمئن نمی‌باشیم که آیا نتایج بدست آمده واقعاً بهینه هستند یا خیر. چرا که مقادیر R_{NIP}و R_N بین $+\infty$ و $-\infty$ تغییر می‌کند. بنابراین، این دوپارامترتنها در بازه مشخص و به صورت جستجو در شبکه‌های با ابعاد مختلف قابل تخمین می‌باشند (مَن و همکاران، ۱۹۹۹). در این گونه موارد سریع‌ترین و مطمئن‌ترین راه رسیدن به جواب بهینه، پیدا کردن جواب‌های اولیه‌ای است که تا حد کافی به جواب بهینه کلی نزدیک باشند. در این صورت مسئله از جستجو برای بهینه کلی، به مساله جستجو برای بهینه محلی تقلیل پیدا می‌کند. در کنار این کار، می‌توان از معیاری بعنوان حد آستانه نیز استفاده کرد. بنابراین به جای یک جستجوی سه پارامتری در یک گام، معادله CRS به سه بخش تقسیم می‌شود و سه جستجوی تک پارامتری در آن انجام می‌گیرد.

۲-۴-۱ یافتن پارامترها

سه نشانگر عملگر برانبارش CRSکه موجب بهترین انطباق، بین سطحی که توسط رابطه (۲-۲) نشان داده می‌شود و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری می‌گردند، توسط تحلیل همدوسی به دست می‌آیند: نشانگر های مطلوب، در محدوده مشخص شده توسط کاربر، برای هر نشانگر، بیشترین مقدار همدوسی را به نمایش می گذارند. به زبان دیگر تحلیل همدوسی در یک فضای سه بعدی متشکل از زاویه ورودی موج بازتاب به سطح زمین و دوپارامتر جبهه موج‌های R_NوR_{NIP} انجام می‌شود. معیار این تحلیل استفاده از شباهت (سمبلانس)[1]می‌باشد که توسط تانر و کوهلر(۱۹۶۹) و نیدل و تانر[2](۱۹۷۱) معرفی شده‌است. مشخص کردن این سه نشانگر به صورت همزمان و یکباره از نظر محاسباتی کار پر هزینه‌ای است. بنابراین مولر(۱۹۹۹) و یگر (۱۹۹۹) روشی با استراتژی جستجوی عملی[3] برای این پارامترها معرفی کردند، که سه مرحله جستجوی تک پارامتریِ متوالی را در بر می‌گیرد و بعد از آن به صورت اختیاری یک بهینه سازی محلی در حوزه سه بعدی این نشانگر ها انجام می‌دهد تا مقادیر بهینه نشانگرها از مقادیر اولیه‌ی آن‌ها که نقاط آغازین بهینه سازی می‌باشند، به دست آیند. استراتژی بهینه سازی که از قسمت‌های زمان‌برِ این روش است، از جستجوی چند وجهی انعطاف‌پذیر[4](نِلدر و مید[5]،۱۹۶۵) استفاده می‌کند. در ادامه، مراحل شبیه سازی یک مقطع دورافت صفر از داده های دارای هم پوشانی به وسیله روش بر انبارش CRS، توضیح داده می‌شود. این مراحل بر اساس رابطه زمان سیرِ هذلولی (۲-۲) انجام می‌شوند و برای معادله سهمی (۲-۱) نیز به همین شکل عمل می‌شود.

گام اول: یک جستجوی یک پارامتری برای پارامتر ترکیبی V_{NMO} در ورداشت های CMPو $x_m=x_0$ انجام می شود و رابطه (۲-۲) به شکل زیر در می آید :

$$t^2(x_m,h)\Big|_{x_m=x_0} = t_0^2 + \frac{2t_0 Cos^2\alpha}{V_0}\frac{h^2}{R_{NIP}} \qquad (۲-۳)$$

---

[1]- Semblance
[2]- Neidell & Taner
[3]- Pragmatic search strategy
[4]- Flexible polyhedron search
[5]- Nelder & Mead

در مقایسه با معادله زمان سیر ساده در محیط با لایه های افقی،

$$t^2(h) = {t_0}^2 + \frac{4h^2}{{V^2}_{NMO}} \quad (۴-۲)$$

سرعت بر انبارش را می توان بر حسبα و R_{NIP} ، این چنین بیان کرد:

$$V^2{}_{NMO} = \frac{2V_0 R_{NIP}}{t_0 \cos^2 \alpha} \quad (۵-۲)$$

این مرحله، برانبارش خودکارCMP (مَن و همکاران،۱۹۹۹) نامیده می‌شود و تحلیل سرعتیِ غیر تعاملی را بر خلاف روش برانبارش CMP معمول که تحلیل سرعت در آن تعاملی[1] است، ارائه می‌کند.

گام دوم: مرحله بر انبارش خودکارCMP، مقطع دور افت صفری را تهیه می کند که طی آن معادله (۲-۲) به صورت زیر در می آید:

$$t(x_m, h)\big|_{h=0, R_N=\infty} = t_0 + \frac{2\sin\alpha}{v_0}(x_m - x_0) \quad (۶-۲)$$

رابطه (۲-۲)پس از جاگذاری h=0، تقریب مرتبه اولش معادلِ تقریب یک موج صفحه ای است یعنی$R_N=\infty$.از این مرحله یعنی برانبارش موج صفحه ای، زاویه ورودی αبه دست می آید و از قرار دادن این زاویه در رابطه (۲-۵)، راه حلی برای یافتنR_{NIP} پیدا می‌شود.

گام سوم: اکنون که مقادیر α و R_{NIP} مشخص شده اند، پارامتر سوم R_N، در مقطع بر انبارش شده CMP به وسیله معادله زیر جستجو می شود :

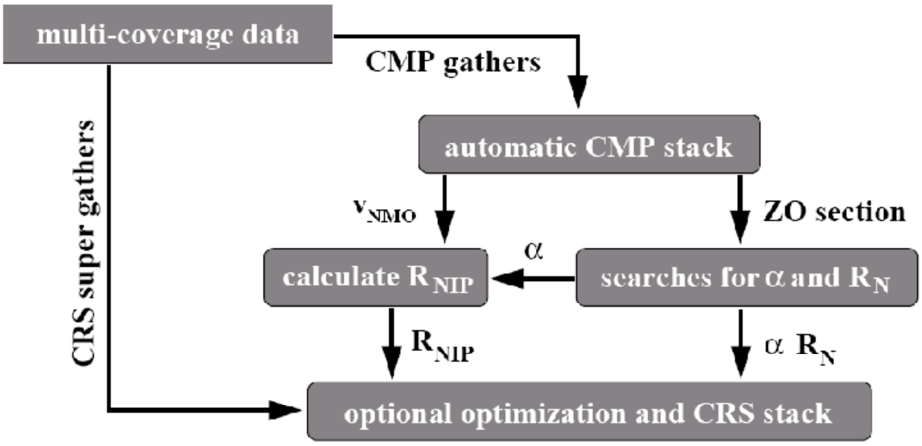
$$t^2(x_m, h)\big|_{h=0} = \left(t_0 + \frac{2\sin\alpha}{v_0}(x_m - x_0)\right)^2 + \frac{2t_0\cos^2\alpha}{v_0}\left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N}\right) \quad (۷-۲)$$

مقدار R_Nکه همراه با بیشترین مقدار همدوسی است، برای شبیه سازی نقطه ZOمربوطه، در گام چهارم استفاده می‌شود.

گام چهارم: بعد از این که همه پارامتر ها (برای یک نمونهZO) معین شدند، می توان از آن ها برای محاسبه زمان سیر در رابطه(۲-۲) استفاده کرد. برانبارشی که در راستای سطح این زمان سیر به دست می آید را بر انبارش CRS اولیه می گوییم. کلمه اولیه به مقادیری از نشانگرها تاکید دارد که نقاط آغازینی هستند برای مرحله اختیاری بعدی، که مقادیر بهینه و مطلوب پارامترها را برای ما

---
[1]- Interactive

مشخص خواهد نمود. در انتهای این گام، پنج مقطع بدست می‌آید که عبارتند از مقطع برانبارش CRS یا مقطع نهایی شبیه سازی شده ZO، مقطع همدوسی حداکثر، مقطع α بهینه شده، مقطع R_N بهینه شده و مقطع R_{NIP} بهینه شده. مَن (۲۰۰۲) این چهار مرحله را در نمودار زیر خلاصه کرد:



(شکل۲-۵) نمودار استراتژی جستجوی عملی. مراحل پردازش نشان داده شده، باید برای هر نمونه ZO که می خواهد شبیه سازی شود، انجام گردند. همه ردلرزه‌ها در بازه مکانی CRSبه عنوان اَبَر ورداشت[1] های CRSمشخص شده اند (مَن،۲۰۰۲).

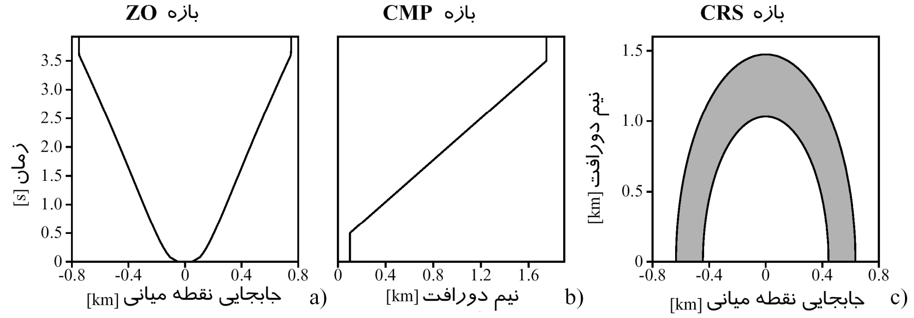
اعتبار تقریب‌های مرتبه دوم (فرمول هذلولی و سهمی) زمان سیر رابطه‌های(۲-۱)و(۲-۲) بستگی به انتخاب بازه[2] برای تعیین پارامترهای برانبارش دارد. به طور کلی برای یک نمونه ZO خاص، بازه با افزایش جابجایی نقطه میانی و نیم دور افت، افزایش می‌یابد، به طوری که می توان گفت شکلی بیضی مانند پیدا می‌کند (مَن،۲۰۰۰و ۲۰۰۲؛ مولر،۲۰۰۶؛ وییت[3]، ۲۰۰۱).

اِشکال اصلی روش برانبارش CRS در این استراتژی این است که نمی تواند شرایط تداخل شیب ها را به درستی رعایت کند (مَن، ۲۰۰۲). در ادامه به بررسی مشکل تداخل شیب ها پرداخته و دلیل ناتوانی روش CRS را برای حل این مسئله بیان می کنیم و در بخش های بعدی به راه حل هایی برای آن می پردازیم. اما قبل از آن توضیحی در مورد بازه CRS ضروری به نظر می رسد.

[1]- Supergather
[2]- Aperture
[3]- Vieth

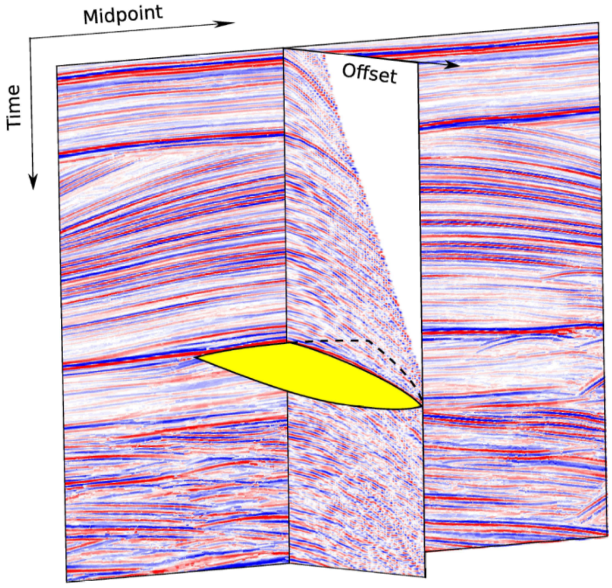
۲-۴-۲ بازه در CRS

عملگر برانبارش CRS تخمین درجه دوم زمان سیر در حوزه نقطه میانی x_m-x_0 و دورافت h بوده واین تخمین تنها تا فاصله خاصی از پرتوی مرکزیِ موج بازتابی به سطح زمین معتبر می‌باشد. بنابراین در تعیین بازه پردازش این مطلب را باید در نظر داشت. چرا که در غیر این صورت ممکن است محاسبات برای تخمین عملگر برانبارش CRS در محدوده‌ایی انجام شود که از لحاظ تئوری پرتو معتبر نمی‌باشد (سلیمانی، ۲۰۰۹). در پردازش CRS بازه پردازش در دو مرحله به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود، بدین ترتیب که بازه‌ای برای مرحله جستجو در ZO و بازه‌ای برای جستجو در CMP به صورت جداگانه در نظر گرفته شده و در نهایت بازه‌ای برای برانبارش CRS تعیین می‌شود. تحلیل همدوسی نسبت به تعداد ردها در بازه بسیار حساس بوده و بنابراین بازهCMP در تمام طول پردازش باید یکسان باشد. چگونگی تعیین بازه CMP در شکل(۲-۶) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل (۲-۶) نشان داده شده بازه ZO به صورت یک منحنی در حوزه نقطه میانی- زمان تعیین می‌شود. در واقع این بازه تعیین کننده اندازه سطح بازتابنده در هر عمق می باشد به گونه‌ای که پرتوی بازتابی از سطح مذکور با تئوری پرتو که پایه و اساس عملگر برانبارش CRS است، قابل توجیه باشد (سلیمانی۲۰۰۹).



(شکل۲-۶) a) حداقل بازه ZO برابر m ۵۰ و حداکثر آن برابر m ۷۵۰ قرار داده شده است. b) در این شکل، بازه CMP توسط نقاط (0.5 s, 0.1 km) و(3.5 s, 1.75 km) تعیین شده است.c) بازه مکانی CRS که توسط بازه ZO وCMP در زمان ۳ sبدست آمده (بعد از مَن و همکاران، ۱۹۹۹).

بازه CRS یک سطح بیضی شکل در حوضه نیم دورافت-نقطه میانی می‌باشد به طوری که یک محور آن توسط بازه CMP و محور دیگر آن توسط بازهZOتعیین می گردد(شکل۲-۷). قطع ناگهانی عملگر برانبارش در مرز بازه باعث رخداد وقایع غیر واقعی در این نواحی خواهد شد. بنابراین استفاده از یک تابع وزن دهنده به نام تابع تعمیم در این مرز باعث حصول نتایجی بهتر خواهد شد. همانطور که در شکل(۲-۶) دیده می‌شود منطقه خاکستری توسط تابع تعمیم ترسیم شده‌است. فاکتور وزن دهنده در داخل بیضی داخلی برابر ۱ بوده و در ناحیه خاکستری به تدریج از آن کاسته شده و در نهایت در بیضی بیرونی به صفر خواهد رسید(مَن ، ۱۹۹۹).

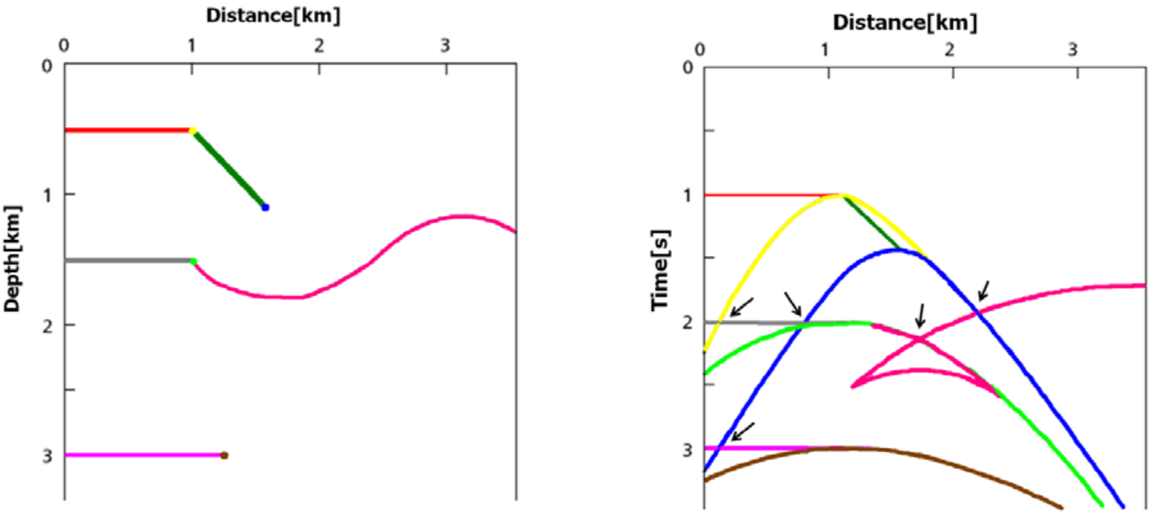


(شکل۲-۷) بازه CRS که به صورت یک بیضی شکل در حوزه دورافت-CMP می باشد (بایکولوف، ۲۰۰۹).

۲-۵ شیب های متداخل

همان‌طور که در شکل (۲-۸)سمت چپ، دیده می‌شود، مدلی بسیار ساده از بازتابنده ها و نقاطی که منجر به پراش می‌گردند، نمایش داده شده است. مقطع دورافت صفر شبیه سازی شده برای این مدل شبیه شکل (۲-۸)سمت راست، خواهد بود. لبه گسل‌ها مانند چشمه نقطه‌ای عمل می کنند و در مقطع دورافت صفر به شکل هذلولی‌های پراش ظاهر می شوند. علاوه بر این، پاسخ ناودیس هم در این

مقطع به شکل پاپیون[1] در می‌آید. نقاطی که با پیکان نشان داده شده اند، محل‌هایی را نمایش می دهند که چند رخداد برای ساختن آن نمونه از مقطع دورافت صفر، با یکدیگر همکاری می کنند و در واقع پدیده شیب های متداخل را به وجود می آورند.



(شکل ۲-۸) سمت چپ، مدل ساختاری از زیر سطح، سمت راست، پاسخ جنبشی مدل ذکر شده، در مقطع دور افت صفر پدیده های با شیب متداخل متعددی را در بر می گیرد (بعد از کِری و همکاران،۲۰۰۲).

با استفاده از ادبیات تئوری پرتو، پدیده تداخل شیب‌ها توسطِ همکاری چندین پرتو دورافت صفر با زوایای ورودی متفاوت، برای ساختن تنها یک نمونه از مقطع دورافت صفر، به وجود می‌آید. حل کردن مسئله تداخل شیب‌ها برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر، نقش بسیار مهمی در فرآیند پس از آن یعنی کوچ پس از برانبارش دارد، زیرا کمبود انرژی همدوس در راستای رخدادهایی که کمتر برجسته شده اند، ممکن است ناحیه‌های سایه[2] را در نتیجه کوچ سبب شود.

روش CRS در ساده‌ترین راه حل پیاده‌سازی آن، تنها یک عملگر برانبارش را برای هر نمونه از مقطعی که باید شبیه‌سازی شود در نظر می‌گیرد. در راستای این عملگر بهینه، بیشترین همدوسی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی به دست می‌آید. اگر برای هر نمونه، تنها یک رخداد بازتابی در نظر گرفته شود یا هیچ رخداد همدوسی برای آن در نظر گرفته نشود، این عملگر کافی به نظرمی‌رسد. البته در صورت حضور بازتابنده‌های منحنی شکل یا نقاط پراش، رخدادهای گوناگونی با یکدیگر برخورد می‌کنند، به

[1]- Bow tie
[2]- Shadow zone

طوری که دیگر تنها یک عملگر برانبارش برای هر نمونه ZO کافی نیست، تا مقطعی با دورافت صفر را شبیه‌سازی کند که شامل همکاری همه رخدادهای مربوط به آن باشد. برای به حساب آوردن چنین شرایطی که شیب‌های متداخل را پدید می‌آورد، باید به شکل دیگری در پی جستجوی سایر نشانگر های جنبشی میدان موج باشیم.

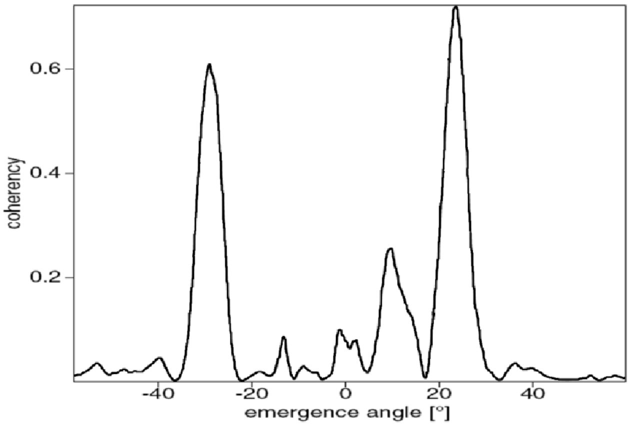
۲-۶ استراتژی جستجوی تعمیم یافته[1] در روش بر انبارش CRS

سه مرحله استراتژی جستجوی عملی که در بخش های قبلی آورده شد، برای در نظر گرفتنِ صحیحِ تداخل شیب‌ها، باید اصلاح گردند. با توجه به رابطه (۲-۵)، سرعت بر انبارش V_{NMO}، خیلی به زاویه ورودیα حساس نیست، بنابراین نمی توان به گام اول از استراتژی جستجوی عملی، یا به عبارت دیگر به برانبارش خودکار CMP، برای جداسازی رخدادهایی با زوایای ورودی متفاوت، تکیه کرد. چرا که سرعت‌های برانبارش رخدادها ممکن است شبیه، یا در مواردی یکسان باشند. علاوه بر این، علامت جبریِ زاویه ورودی را نیز نمی‌توان با رابطه (۲-۶) مشخص کرد.

برای حل این مشکل مَن (۲۰۰۱و ۲۰۰۲) استراتژی جستجوی تعمیم داده شده را برای روش بر انبارش CRS پیشنهاد داد. این روش بر خلاف تصحیح DMO که اطلاعات مربوط به همه رخدادهای ممکن با شیب‌های مختلف را جمع آوری می‌کند، تنها به چند عملگر برانبارش مجزا در هر نمونه از مقطعZO که باید شبیه سازی شود، اجازه همکاری برای ساخت آن نمونه را می دهد. در نتیجه ابتدا نیاز داریم تا بدانیم که در چه محل هایی و چه نمونه هایی از مقطع دور افت صفر، چنین شرایط تداخل شیب هایی رخ می‌دهد. به همین منظور طیف زاویه[2]، که در واقع مقدار همدوسی به عنوان تابعی از زاویه ورودی در راستایِ یک عملگرِ خطی در مقطع بر انبارش شده CMP است، باید محاسبه گردد. یک طیف زاویه در شکل(۲-۹) برای یک نمونه از مقطع دورافت صفر که بر روی یک رخداد واقعی قرار گرفته، نمایش داده شده است. سه مقدار بیشینه در این مثال دیده می شود که مربوط به

[1]- Extended search strategy
[2]- Angle spectrum

دو رخداد پراش و یک رخداد بازتاب هستند، که همدیگر را در نمونه ZO مربوطه قطع کرده اند. علاوه بر این چندین بیشینه محلی هم دیده می شوند که به نظر می رسد به رخداد خاصی تعلق ندارند.



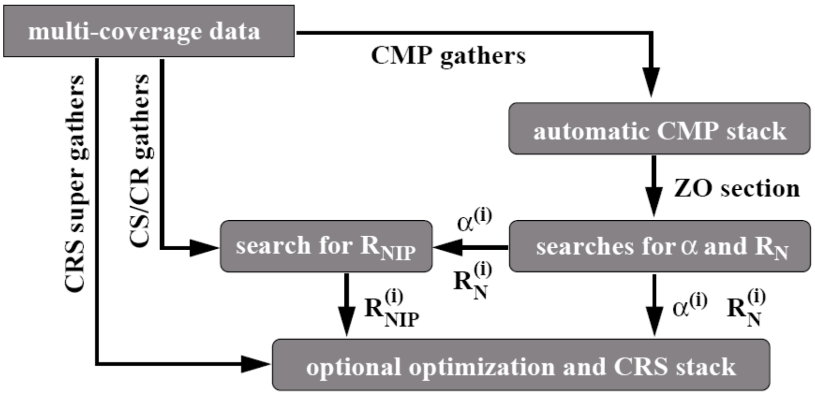
(شکل۲-۹) همدوسی به عنوان تابعی از زاویه ورودیα که در راستای یک عملگر خطی در مقطع بر انبارش شده CMP، برای یک نمونه ZO منتخب، محاسبه شده است. سه مقدار بیشینه واضح مربوط به دو پراش در زوایای°۳۰- و °۲۵ و یک بازتاب ضعیف در °۱۲ در شکل دیده می شوند (مَن، ۲۰۰۱).

اگر همدوسی یک رخداد از مقدار حد آستانه[1]ی تعریف شده توسط کاربر بیشتر شود، برای فرآیند برانبارش در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت از آن صرف نظر می گردد. بعد از شناسایی نمونه هایی که مسئله تداخل شیب ها در آن رخ داده است، جستجوی ZO خطی برای هر زاویه ورودی جداگانه $\alpha^{(i)}$ (i، رخداد های مختلف که در ساختن یک نمونه با هم همکاری داشته اند)که در مرحله قبل مشخص شده اند، انجام می گردد. سپس جستجوی ZO هذلولی، مجدداً برای هر رخدادِ شناسایی شده، انجام می شود و شعاع انحنای $R_N^{(i)}$ را برای هر شیب که در پدید آمدن آن نمونه همکاری داشته، فراهم می نماید. در استراتژی جستجوی عملی، R_{NIP} از رابطه بین V_{NMO} و زاویه ورودی که در مرحله اول به دست آمده بود، تهیه می شد. البته محاسبه R_{NIP} ازα و V_{NMO} رابطه (۲-۵) در حالت تداخل شیب ها،امکان پذیر نیست، زیرا به طور کلی زوایای ورودی بیش از یکی، و مقدار سرعت بر انبارش V_{NMO} تنها یک مقدار است. با توجه به عملگر بر انبارش (۲-۲)، $R_{NIP}^{(i)}$ در مقطع ZOتاثیر نمی گذارد (h=0) و از αهم نمی تواند در ورداشت CMP ($x_m=x_0$) جدا شود، بنابر این $R_{NIP}^{(i)}$ نه از طریق مقطع بر انبارش شده CMP و نه از ورداشت های CMP به دست نمی آید. برای حل این

[1]- Threshold

مسئله مَن(۲۰۰۱) جستجوی اضافه‌ای برای $R_{NIP}^{(i)}$در زیر مجموعه دیگری از داده های دارای هم پوشانی پیشنهاد داد، یعنی ورداشت های CS/CR. در نتیجه در این مرحله به ازای هر $\alpha^{(i)}$ و هر $R_N^{(i)}$، یک جستجو برای $R_{NIP}^{(i)}$ انجام می شود. نهایتاً همه نشانگر های میدان موج برای هر نمونه از مقطع دور افت صفر را به دست می آوریم. یک نمودار ساده از این استراتژی را در شکل (۲-۱۰) مشاهده می کنید.

نکته مهم در این جا، تعیین حد آستانه توسط کاربر است که اگر خیلی پایین تعریف شود، نه تنها رخدادهای نادرست زیادی به عنوان رخداد های تشکیل دهنده نمونه ها در نظر گرفته می شوند، بلکه زمان بیشتری هم برای محاسبات صرف می گردد. اگر حد آستانه بالا تعریف شود، ممکن است برخی رخداد های لازم، در نظر گرفته نشوند. سختی کار در این روش مشخص کردن شرایط شیب های متداخل و تعداد رخداد هایی است که باید در نظر گرفته شوند. به دلیل در نظر گرفتن تعداد گسسته‌ای از رخداد ها، ممکن است تعداد رخداد های شناسایی شده و سپس تصویر شده برای هر نمونه متفاوت باشد، طوری که رخداد های لرزه ای در تصویر نهایی به صورت تکه تکه[1] و غیر یکنواخت نشان داده شوند.



(شکل۲-۱۰) نمودار ساده شده استراتژی جستجوی تعمیم یافته. مراحل پردازش نشان داده شده، باید برای هر نمونه ZO که می خواهد شبیه سازی شود، انجام گردند. همه ردلرزه ها در بازه مکانی CRS به عنوان اَبر ورداشت های CRS مشخص شده اند (مَن،۲۰۰۲).

[1]- Fragmented

۲-۷ روش سطح پراش مشترک(CDS)

در صورت وجود مساله تداخل شیب‌ها، جایی که رخدادها تغییر شیب داده، گسل خورده شده‌اند و یا توسط گنبد نمکی و یا تاقدیس به سمت بالا کشیده شده‌اند، برخی از بخش‌های رخدادها در مقطع برانبارش شده دورافت صفر به خوبی تصویر نخواهد شد که در نهایت در مقطع عمقی برای کارهای تفسیر ایجاد مشکل خواهند کرد.

روشDMOدر مراحل پردازش مرسوم قادر به رفع مساله تداخل شیب‌ها خواهد بود (هیل، ۱۹۹۱).معادل این روش در پردازش CRS، روش استراتژی تعمیم یافته است که این مشکل را به صورت جزئی برطرف می‌کند (مَن ۲۰۰۱). از نظر عملگر برانبارش درCRS، مسئله تداخل شیب‌ها به صورتی است که در نقطه‌ای در مقطع دورافت صفر، دو یا چند رخداد یکدیگر را قطع کنند. در مرحله پردازشCRSبه روش استراتژی عملی، عملگر برانبارش برای نمونه مذکور در مقطع دورافت صفر، بر رخداد قوی‌تر یا به عبارت دیگر بر رخدادی که میزان همدوسی بالایی را از خود نشان می‌دهد، منطبق خواهد شد. تحلیل همدوسی برای هر سه نشانگر جنبشی میدان موج در معادله برانبارش CRS به صورت جداگانه انجام می‌شود. بنابراین عملگر برانبارش، سطحی است که از نشانگرهای جنبشی میدان موج با بیشترین مقدار همدوسی بدست می‌آید و برانبارش بر روی این سطح انجام می‌گیرد. بنابراین از دیگر رخدادهای موجود در نمونه چشم‌پوشی خواهد شد. لذا تنها آن رخدادی که سطح برانبارش بر آن بیشتر منطبق می‌شود، مد نظر قرار دارد (سلیمانی ۲۰۰۹).

۲-۷-۱ برطرف کردن مسئله تداخل شیب‌هاتوسط CDS

برای برطرف کردن مسئله تداخل شیب‌ها اولین تلاش با اضافه کردن یک مرحله جستجو به روش CRSآغاز گردید (مَن ۲۰۰۱). در این روش عنوان شد که برای تهیه مقطع دورافت صفر در چنین شرایطی، تعیین تنها یک عملگر برانبارش در نقطه مذکور کافی نمی‌باشد و باید به ازای هر رخداد موجود در نقطه، یک سطح برانبارش جداگانه در نظر گرفته شود. بدین ترتیب نتیجه نهایی برانبارش با بیش از یک سطح برانبارش برای یک نقطه، برابر حاصل جمع نتایج برانبارش هر عملگر به صورت جداگانه می‌باشد.

در استراتژی معمول، تنها زوایای ورود رخدادهای اصلی که بیشترین میزان همدوسی را نشان می‌دهند به عنوان نشانگر بهینه انتخاب می‌شوند. بنابراین مساله تداخل شیب‌ها از لحاظ تئوری، معادل وجود زوایای ورود متفاوت است که میزان همدوسی بالایی را نشان می‌دهند(سلیمانی ۲۰۰۹). ذکر این نکته در اینجا مهم است که در استراتژی جدید ارائه شده، در نظر گرفتن تمام زوایای ورود، نه تنها باعث افزایش نوفه زمینه در مقطع نهایی خواهد شد، بلکه زمان پردازش را نیز تا حد زیادی افزایش خواهد داد. در روش معمولCRSاز ایده مشابهی برای حل مسئله تداخل شیب‌ها استفاده می‌گردد. در این روش، تمام عملگرهای ممکن برانبارشCRSبرای هر شیب و مربوط به هر رخدادی، در نمونه‌ای که در برانبارش سهیم می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. این ایده مشابه آن است که در طیف زاویهٔ مربوط به هر نمونه در مقطع دورافت صفر، حدود آستانه مطلق و محلی حذف شده، یک بازه برای زاویه ورود پرتوی مرکزی ($\alpha_{min}, \alpha_{max}$)از ابتدا تعیین شود و گامهایی برای نمونه برداری از طیف زاویه ($d\alpha$) نیز مشخص گردد. بنابراین با در نظر گرفتن هر زاویه بر روی این طیف ناپیوسته، بدون در نظر گرفتن مقدار همدوسی، برای هر زاویه یک سطح برانبارش تشکیل خواهد شد. در مقطع دورافت صفر، همواره تداخل رخدادهای بازتابی و رخدادهای پراش مشاهده می‌شود. حل مسئله تداخل شیب‌ها بدین شیوه، باعث تقویت رخدادهای ضعیف پراش در مقطع برانبارش نهایی خواهد

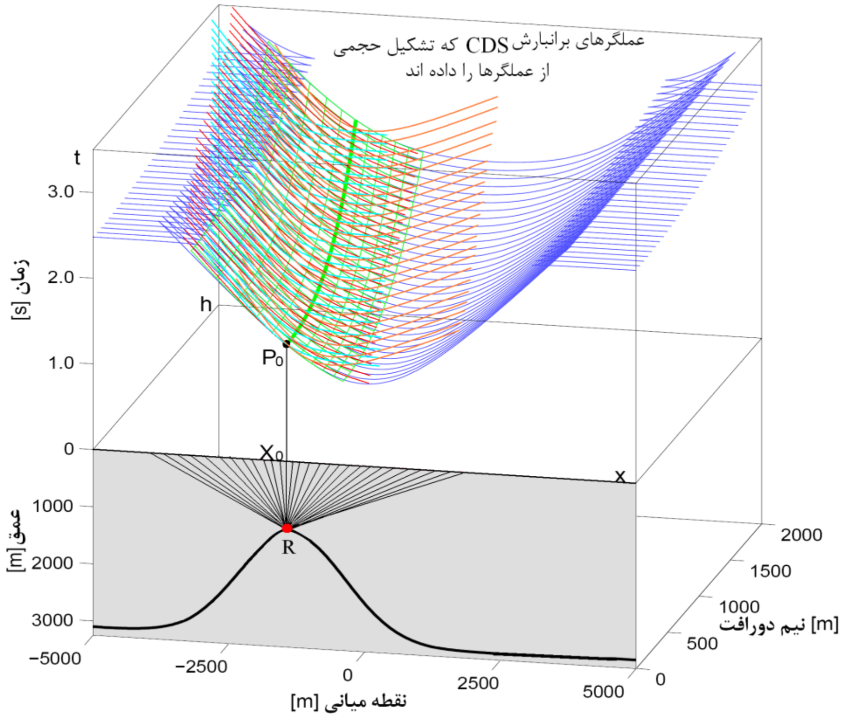
شد. بنابراین چون این استراتژی جدید، تمرکز بیشتری بر روی رخدادهای پراش نسبت به رخدادهای بازتاب دارد، لذا می‌توانیم آن را برانبارش سطح پراش مشترک (CDS)بنامیم(سلیمانی، ۲۰۰۹).

۲-۷-۲ عملگر برانبارش CDS

در رخدادهای پراش، مقدار شعاع موج N و شعاع موج NIP با یکدیگر برابر هستند؛ $R_{NIP} = R_N$. برای رخدادهای بازتابی، این مقادیر طبیعتاً متفاوت خواهند بود. بنابراین می‌توان از معادله زمان سیر یکسانی نیز به صورت تقریبی برای برانبارش رخدادهای پراش استفاده کرد. برای رخدادهای بازتابی، تخمین با این معادله از دقت کمتری نسبت به عملگر CRS برخوردار می‌باشد، ولی برای یک زاویه ورود مشخص α، تنها نشانگری که باید محاسبه شود، ترکیبی از شعاع انحناهای R_N و R_{NIP} است که می‌توان آن را R_{CDS} نام گذاری کرد. بنابراین معادله تخمین زمان سیر CRS در این حالت، به شکل زیر در خواهد آمد(سلیمانی ، ۲۰۰۹):

$$t_{hyp}^{2}(x_m h)=\left(t_0+\frac{2\mathrm{Sin}\alpha}{v_0}(x_m-x_0)\right)^2+\frac{2\mathrm{t}_0\mathrm{Cos}^2\alpha}{v_0R_{CDS}}\left((x_m-x_0)^2+h^2\right) \qquad (۲-۸)$$

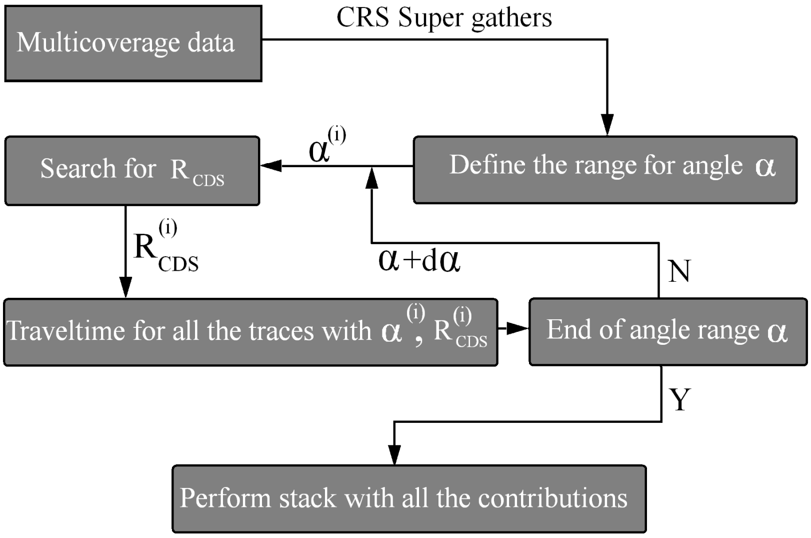
که به نام عملگر برانبارش CDS خوانده می‌شود (شکل ۲-۱۱). تنها نشانگر جنبشی میدان موج باقیمانده، R_{CDS}است. با در نظر گرفتن تمام زوایای ممکن در رابطه (۲-۸)، گروهی از عملگرها، به جای یک عملگر تکی در حوزه زمان، تشکیل یک حجم وزن داده شده از عملگرها، برای نمونه موجود در مقطع دورافت صفر را می‌دهند. این عمل باعث تقویت هر رخداد بازتابی یا پراش ضعیف موجود در نمونه می‌شود که در روش‌های قبلی توسط سایر رخدادهای قوی‌تر پوشیده شده بودند. تحلیل همدوسی نیز برای هرکدام از سطوح برانبارش انجام می‌شود که این امر نیز باعث افزایش زمان محاسبات خواهد شد. بزرگتر انتخاب کردن بازه زوایای ورود و یا کوچکتر کردن گام‌های افزایش زاویه در بازه نیز باعث افزایش زمان محاسبات و همچنین زمان محاسبه R_{CDS} خواهد شد (سلیمانی، ۲۰۰۹).



(شکل۲-۱۱) شکل عملگرهای CDS برای تمام زوایای ممکن(سلیمانی ۲۰۰۹).

۲-۷-۳ استراتژی جستجوی بهینه شده

استراتژی جدید بهینه شده‌ای که در اینجا معرفی می‌گردد، با استراتژی معمول مولر(۱۹۹۹) و استراتژی تعمیم یافته مَن (۲۰۰۲) از نظر جستجوی نشانگرهای جنبشی میدان موج متفاوت می‌باشد. همانگونه که قبلاً نیز بدان اشاره شد، تهیه یک مقطع تکی از نشانگرهای جنبشی میدان موج و همچنین مقاطع همدوسی مرتبط با آنها نیز در این استراتژی جدید غیرممکن است. در این استراتژی جدید، لازم است که از ابتدا به کل دسته داده‌های قبل از برانبارش دسترسی داشته باشیم، نه تنها به زیرمجموعه‌ای از آنها. در این استراتژی از ابتدا وارد حجم کل داده‌ها شده و به کمک معادله CDS (رابطه۲-۸)، به جستجوی تنها پارامتر باقی‌مانده، یعنی R_{CDS} می‌پردازیم. اولین پارامتری که لازم است توسط پردازشگر مشخص شود، تعیین بازه زاویه و همچنین گام‌های افزایش زاویه است (سلیمانی،۲۰۰۹).



(شکل۲-۱۲)نمودار ساده شده استراتژی جدید توسعه داده شده(سلیمانی ، ۲۰۰۹).

در عین حال می‌توان با انجام تحلیل همدوسی و همچنین بهینه سازی، جواب دقیق‌تری نیز برای R_{CDS} محاسبه کرد که این امر باعث افزایش چشمگیر زمان محاسبات می‌شود و در عین حال تاثیر چندانی در نتیجه برانبارش نهایی نخواهد داشت. اکنون با دانستن مقدار R_{CDS} و زاویه ورود α، می‌توان به کمک رابطه(۲-۸)، شکل عملگر برانبارش را برای نمونه مورد پردازش تعیین کرد. سپس با توجه به گام افزایش زاویه$d\alpha$ ، این فرایند در همین نمونه ولی با زاویه جدید$(\alpha + d\alpha)$ تکرار خواهد شد. این فرایند تا اتمام بازه زاویه و برای تمام نمونه‌های موجود در مقطع دورافت صفر تکرار می‌شود. در گام نهایی، نتیجه برانبارش تمام سطوح با یکدیگر جمع شده و به نمونه مربوطه در مقطع دورافت صفر اختصاص داده می‌شود. در نهایت مقطع برانبارش شده‌ای خواهیم داشت که تمام زوایای ممکن را شامل شده است. شکل (۲-۱۲)، نمودار ساده شده‌ای از مراحل استراتژی جدید معرفی شده را نشان می‌دهد (سلیمانی ۲۰۰۹) . میزان نوفه زمینه موجود در داده‌ها، تا حدی می‌تواند کیفیت مقطع نهایی را تحت تاثیر قرار دهد، چراکه همانگونه که عنوان شد، عملگر برانبارش CDS نسبت به عملگر برانبارش CRS، حساسیت بیشتری به نوفه ها دارا می‌باشد. بنابراین قبل از آغاز پردازش CDS، لازم است که مطالعه کاملی بر روی داده‌ها از لحاظ حذف انواع نوفه های تصادفی و همدوس صورت گیرد.

فصل سوم

کوچ

فصل سوم

کوچ

۳-۱ مقدمه

در همه محیط های زمین شناسی حتی ساده ترین آن ها، تصویر سازی لرزه ای با سه مسئله اساسی رو بروست: تصویر به دست آمده شفافیت و وضوح لازم را ندارد، با شکل اصلی اش فرق می کند و در محل اشتباهی قرار گرفته است. این مشکلات، به دلیل انکسار[۱]، یعنی خم شدن پرتوها و هم چنین پراش انرژی لرزه ای هنگام عبور از لایه های سنگی با سرعت ها، شکل ها و ضخامت های مختلف رخ می دهند. برای این که تصویر به دست آمده قابل تفسیر گردد، انرژی لرزه ای در آن، باید طوری متمرکز شود که تصویری واضح، با شکل صحیح و منتقل شده به محل درستِ جانبی و عمودی تحویل دهد. هر چه این سه مشکل بهتر حل شوند، می توان با اطمینان بیشتری، از صحت ارزیابیِ ساختمان مورد نظر و به نتیجه رسیدن بهتر حفاری‌ها سخن گفت. این فرآیندِ افزایش وضوح[۲]، تصحیح شکل و جابجایی در تصاویر، به اصطلاح کوچ نامیده می شود که اغلب با تصویر سازی ساختاری هم معنی است (فارمر و همکاران، ۱۹۹۳).

از نظر ریاضی، فرآیند کوچ با ارائه راه حل های مختلف برای معادله موجی که عبور امواج را از درون زمین توصیف می کند، انجام می گردد. این راه حل ها و الگوریتم های گوناگون معمولاً نام مبدعین (گزدگ[۳]، استولت[۴]) یا نوع راه حل (تفاضل محدود[۵]، انتگرال)را با خود یدک می کشند. هر یک از این انواع روش های کوچ مانند مجموعه ای از ابزارها، دارای مزایا و معایبی هستند که انتخاب روش بهینه از میان آن ها همیشه کار آسانی نیست و نیاز به تجربه کافی دارد. انواع روش های کوچ در یک دسته بندی جامع تر به گروه های پس از بر انبارش یا پیش از بر انبارش، دو بعدی یا سه

---

[1]- Refraction
[2]- Sharpening
[3]- Gazdag
[4]- Stolt
[5]- Finite difference

بعدی و حوزه زمان یا عمق تقسیم می شوند. این گروه ها ۸ ترکیب را ممکن می سازند در عین حالی که روند کلی در تصویر سازی، از روش های پس از بر انبارش به پیش از بر انبارش، دو بعدی به سه بعدی و کوچ زمانی به کوچ عمقی برای نزدیک شدن هر چه بیشتر به واقعیت است. با در نظر داشتن این روند، به طور کلی می توان به نقاط قوت و ضعف این دسته ها پی برد. کوچ پس از بر انبارش که هنوز هم یکی از متداول ترین روش هاست، بر این فرض استوار است که مقطع به دست آمده از بر انبارش ردلرزه‌ها معادل مقطع دورافت صفر است. از مهم ترین مزایای روش کوچ پس از بر انبارش، کم کردن حجم داده ها، حذف بازتاب های مکرّر و نوفه های دیگر و پردازش سریع و کم هزینه می باشد. این روش حتی در شرایط محیطی با تغییرات متوسط سرعتِ جانبی هم، جواب می دهد ولی برای تغییرات بیش از آن، نیازمند به پردازش پیش از بر انبارش هستیم. از محدودیت های داده های بر انبارش شده حذف اطلاعات مربوط به دامنه واقعی[1] آن هاست. تصویر سازی پیش از بر انبارش بر روی ردلرزه‌های بر انبارش نشده حدود ۶۰ تا ۱۲۰ برابر بیشتر از تصویر سازی پس از برانبارش طول می‌کشد ولی پتانسیلی برای حفظ تغییرات دامنه با دورافت (AVO)و هم چنین تغییرات فاز[2] را برای تحلیل های بعدی فراهم می نماید (فارمر و همکاران، ۱۹۹۳). وقتی که دو یا چند رخداد در یک زمان، ولی با سرعت های بر انبارش متفاوت با هم تلاقی پیدا می کنند (شیب های متداخل)، کوچ زمانی پیش از بر انبارش ترجیح داده می شود. کوچ عمقی پیش از بر انبارش هم موقعی سودمند است که سرعت‌ها به شدت تغییر کنند و ساختار های پیچیده داشته باشیم. البته این روش از نظر محاسباتی و امکانات رایانه ای مورد نیاز برای پردازش، روشی پر هزینه می باشد و امروزه با پیشرفت تکنولوژی و رشد رایانه های پردازشگر موازی، متداول تر گشته است.

در کوچ دو بعدی، تنها، انرژی ای که بازتاب آن متعلق به همان صفحه است، درست تصویر می گردد و این در حالی است که کوچ سه بعدی علاوه بر امواج بازتابی همان صفحه، از انرژی بازتابیِ خارج از صفحهِ مقطع مورد نظر نیز استفاده می کند و به همین دلیل وضوح بیشتری را برای تصویر

[1]- True amplitude
[2]- Phase

فراهم می نماید. البته هزینه این وضوح بیشتر نیز با خرج های بیشتر در برداشتِ داده ها و زمان طولانی ترِ پردازش (پردازشی دوبعدی که چند روز طول می کشد، ممکن است تا چند هفته برای پردازش داده های سه بعدی آن، زمان لازم باشد) جبران می گردد. انتخاب کوچ دو بعدی یا سه بعدی در وهله اول به هندسه برداشت داده ها مربوط می شود. داده ای که به صورت دو بعدی برداشت می شود (یک خط برداشت که چشمه ها و گیرنده ها روی آن قرار می گیرند)، فقط کوچ دوبعدی می تواند روی آن اجرا شود ولی داده سه بعدیِ برداشت شده قابلیت انجام کوچ دوبعدی یا سه بعدی را داراست.

کوچ زمانی و عمقی تفاوت هایی با هم دارند. به زبان ساده، کوچ زمانی، بازتابنده ها را در حوزه زمان سیرِ رفت و برگشت[1] (از سطح به بازتابنده و برعکس در راستای پرتوی تصویر[2]) قرار می دهد، در حالی که کوچ عمقی، بازتابنده ها را در حوزه عمق قرار می دهد. فرق اساسی بین کوچ زمانی و عمقی، میزان جزئیاتی است که هر کدام از آن ها برای عبور و رفتار امواج در زمین، در نظر می گیرند. از دیدگاه کوچ زمانی، زمین هم از لحاظ ساختار و هم از لحاظ سرعت، ساده است ولی برای چشمان کوچ عمقی، هر دو مؤلفه پیچیده در نظر گرفته می شوند. فرض کوچ زمانی تغییرات جانبیِ ناچیز در سرعت و بنابراین برون راند هذلولی است. اگر ساختار و سرعت در یک ناحیه، به طور کلی ساده باشند، کوچ زمانی تنها با سرعت های برانبارش یا تقریب های آن، می تواند تصویر هایی شفاف و واضح، با شکل صحیح و در محل واقعی قرار گرفته، ارائه نماید. در ضمن این نوع کوچ می تواند تا حدی پیچیدگی در ساختار را اداره کند و جواب قابل قبولی بدهد ولی برای تغییرات سرعت، محدودیت بیشتری دارد. در صورتی که پیچیدگی در ساختار و سرعت، وجود داشته باشد، پرتو ها خمیده شده، منحنی های زمان سیر غیر هذلولی می گردند و نتایج کوچ زمانی با واقعیت انطباق پیدا نمی کنند: بازتابنده ها غیر شفاف، در محل غلط قرار گرفته و بیش از حد کشیده می شوند. برای به حساب

[1]- Two-way traveltime
[2]- Image ray

آوردن این خمیدگی پرتوها به مدلی کلان[1] (مدلی که سرعت را بین بازتابنده ها به دقت مشخص می کند) نیازمندیم. در واقع این مدل برای حذف خطاهای قرارگیری جانبی بازتابنده ها که توسط انکسار به وجود آمده و هم چنین برای افزایش وضوح تصویر به کار می رود. ساختن، اصلاح و به روز کردن و بازبینی این مدل کلان، از اهداف کوچ عمقی هستند و عوامل اصلی سختیِ کار و هزینه بالای آن نیز می باشند. بنابراین کوچ عمقی خیلی بیشتر از کوچ زمانی به خطا در سرعت حساس است.

اگر چه کوچ زمانی، تنها در شرایطِ ساده‌ی محیطی قابل اطمینان است ولی به عنوان یکی از روش های پرکاربرد در اکتشاف، باقی مانده و معمولاً مدل کلان کوچ عمقی را نیز پی ریزی می کند. کوچ عمقی هم به یک ابزار بسیار ارزشمند تبدیل شده، زیرا تنها روشی است که می تواند از عهده سخت ترین مسئله ها در تصویر سازی یعنی تغییرات شدید و سریع جانبی در سرعت، برآید(برکهوت[2]، ۱۹۹۲). بنابراین، این سؤال مطرح می شود که چه موقع به کوچ عمقی نیاز پیدا می کنیم یا به عبارت دیگر چه موقع میدان سرعت به اندازه کافی پیچیده است تا کوچ زمانی را به اشتباه بیندازد؟ برای بسیاری از پردازشگران، مرحله قبل از کوچ عمقی، مرحله پردازشی است که حین آن مقطع کوچ داده شده زمانی را با استفاده از تبدیل[3] عمقیِ پرتوی تصویر، به مقطعی عمقی تبدیل می کنند. این روش از پرتوی تصویر استفاده می کند، که به صورت عمود بر سطح زمین به سمت پایین گسیل می شود و هنگام عبور از محیط، متناسب با اندازه مقادیری که از اِعمال قانون اسنل[4] بر مدل سرعت به دست می آیند، خم (شکسته) می گردد. این پرتوی تصویری از موقعیت صحیح جانبی یک رخداد عبور می کند، که در کوچ زمانی به طور عمودی درست در زیر نقطه آغاز پرتوی تصویری، ظاهر می شود. اگر پرتوی تصویری در فاصله جانبیِ قابل توجهی از نقطه آغاز، با بازتابنده برخورد نماید، آن گاه می توان کافی بودن تغییرات سرعت را برای لزوم انجام کوچ عمقی، نتیجه گرفت. انتخاب نوع و دسته کوچ، تنها نیمی از داستان تصویر سازی را شامل می شود، که احتمالاً اهمیت کمتری هم دارد. نگرانی اصلی در

---

[1]- Macro model
[2]- Berkhout
[3]- Conversion
[4]- Snell’s law

تصویر سازی، موتوری است که الگوریتم کوچ عمقی را به پیش می راند و آن چیزی نیست جز مدل سرعت کلان. این مدل، توصیفی عددی از زیر سطح در مقیاس چند صد متر می باشد که زمان سیر دو طرفه یا عمق را تا بازتابنده های اصلی در بر می گیرد و سرعت ها و چگالی های بین آن ها را نیز مشخص می نماید و در واقع توصیفی است از خصوصیات انتشار صوتِ [1] زیر سطح که برای کوچ عمقی با در نظر گرفتن خم شدن پرتو ها، به کار می رود. مدل کلان برای الگوریتم کوچ، مشخص می کند که بازتابنده را چه مقدار در جهت های مختلف جابجا کند و نداشتن اطلاعات کافی از سرعت باعث می شود که تصویر، کمتر یا بیشتر کوچیده[2] شود، در محل اشتباه قرار گیرد یا غیر واضح[3] گردد. حتی پیشرفته ترین الگوریتم های کوچ نیز در صورت راهنمایی شدن با یک مدلِ کلان ناقص، برای متمرکز کردن تصویر به در بسته خواهند خورد. روش های ساختن مدل کلان، اختصاصی و در معرض رشد و پیشرفت سریع هستند و تمرکز بر روی روش های پیچیده برای مدلسازی، به روز کردن و تایید مدل جهت کوچ عمقی روز به روز افزایش می یابد (مارشال[4]، ۱۹۹۱). ذکر این نکته نیز لازم است که هزینه و زمان محاسباتیِ این روش ها با افزایش قابلیت آن ها برای برآمدن از عهده تغییرات شدید و سریع سرعت، افزوده می گردد.

۳-۲ تصویرسازی داده های لرزه نگاری

روش‌های مختلفی برای کوچ عمقی وجود دارد. با این وجود تمامی آنها بر پایه استفاده از معادلات انتشار موج استوار هستند(دوونک[5]، ۲۰۰۴). در این فرایند، اثرات انتشار موج در هنگام عبور از ساختارهای زیر سطحی (که در میدان موج ضبط شده موجود است) معکوس سازی شده و شرایط تصویر سازی ایجاد می‌شود. رخدادهای بازتابی موجود در داده های لرزه ای، به نقاط پراکنش مربوطه، متمرکز شده و بازتابنده ها در محل واقعی شان قرار خواهند گرفت (شکل ۳-۱). معادلات موج در این

---

[1]- Acoustic propagation characteristics
[2]- Under or over migrated
[3]- Blurred
[4]- Marschall
[5]- Duveneck

حالت را می توان توسط انتگرال گیری کیرشهف حل کرد که به این دلیل، این روش را روش کوچ عمقی کیرشهف[1] می‌گویند. برای آنکه بتوان چگونگی انتشار امواج در محیط را بدرستی درک کرد است که پارامتر میدان موج $\Delta P(x,z,t)$ در هر نقطه از محیط در هر زمان t معلوم باشد. بدین منظور باید رابطه ای بدست آورد که در آن مقدار میدان موج را به صورت تابعی از زمان برای هر نقطه از محیط ناهمگن بدست دهد. این تابع توسط انتگرال کیرشهف بیان می شود. انتگرال کیرشهف بیان می کند که با در دست داشتن مقادیر میدان موج بر روی یک سطح بسته، می توان مقدار میدان موج در هر نقطه M در داخل صفحه بسته مذکور را به صورت تابعی از زمان بدست آورد(شکل ۳-۲). در شکل (۳-۲-الف)، میدان موج $\Delta P(x,z,t)$ تولید شده در چشمه با سرعت V(x,z) در محیط منتشر می شود. در این شکل انتگرال کیرشهف بیان می کند که اگر مقادیر میدان موج در سطح Σ که شامل چشمه نمی شود معلوم باشند، می توان مقدار میدان موج در نقطه M را که در داخل صفحه Σ قرار دارد محاسبه کرد. برکهوت (۱۹۸۷) فرضیاتی را برای حل این مساله عنوان کرد:

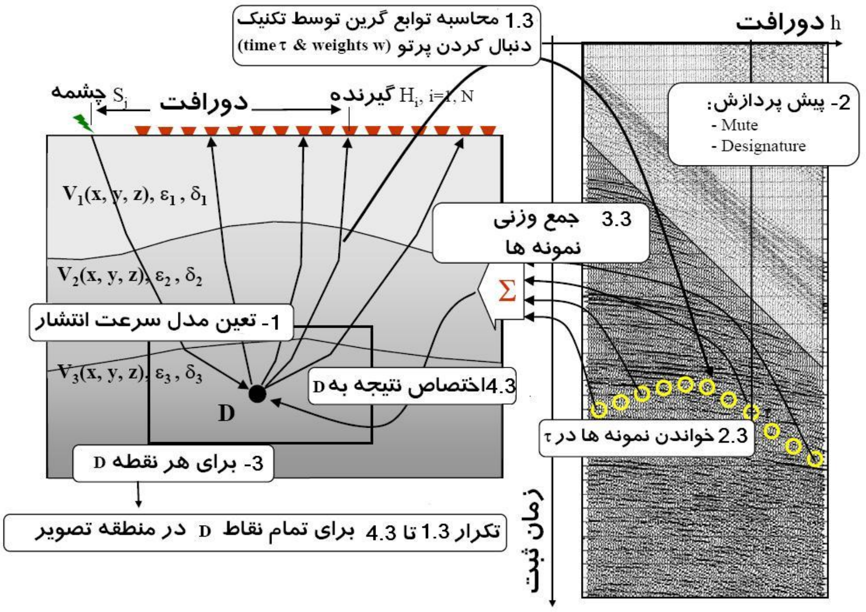
- انتخاب صفحه Σ اختیاری است. بدین معنی که هر صفحه ای که انتخاب شود باید جواب یکسانی را برای مقدار میدان موج در M بدست دهد.
- بر روی سطح Σ نقاطی را به عنوان چشمه های ثانویه در نظر گرفته و میدان موج در M مجموع اثراتی است که این چشمه های فرضی بر M می گذارند.

اکنون یکی از این چشمه های فرضی مانند P را بر روی سطح Σ در نظر می گیریم. تاثیر این چشمه بر روی نقطه M با تاخیر زمانی برابر زمان سیر موج از P تا M ، به نقطه M می رسد. دامنه موج در M بستگی به سرعت و مقدار میدان موج در P ، طول مسیر P تا M و هم چنین واگرایی کروی از P تا M دارد. این پارامترها برای هر چشمه فرضی بر روی سطح Σ متفاوت می باشد. پس می توان گفت میدان موج در M برابر مجموع وزن دار مولفه های تاخیری میدان موج تمام چشمه های فرضی واقع بر روی سطح است. وزن دار کردن پارامترهای کره واگرایی، مسیر مستقیم P تا M و

[1]- Kirchhoff Depth Migration

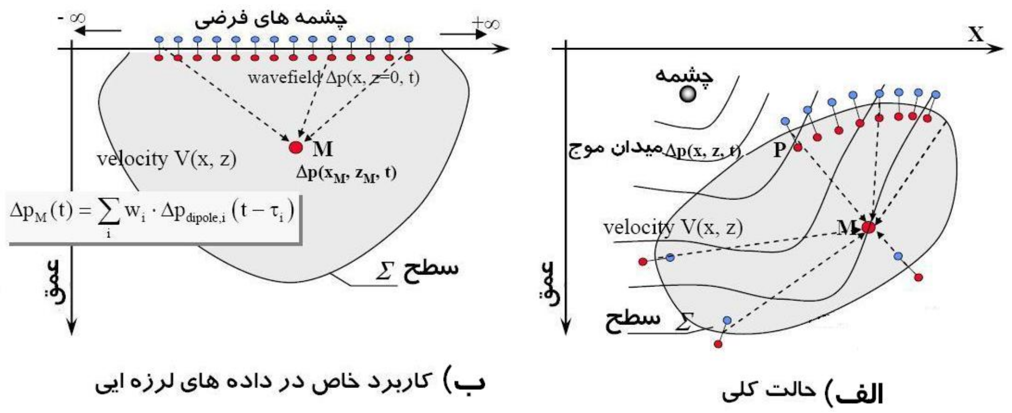
زمان تاخیر مربوط به چشمه های فرضی، توسط توابع گرین[1] انجام می شود. شکل (۳-۲-ب) حالتی را نشان می دهد که در برداشت داده های لرزه نگاری با آن مواجه هستیم. در این حالت مقادیر میدان موج تنها در سطح زمین ثبت شده و هدف ما بدست آوردن مقادیر میدان موج در هر نقطه از زیر سطح است. بنابراین صفحه Σ باید به گونه ایی انتخاب شود که علاوه بر شامل شدن سطح برداشت، طرف دیگر آن به اندازه کافی دور انتخاب شود تا اطمینان حاصل گردد که سایر نقاط (به غیر از نقاط برداشت که در سطح زمین واقع هستند) تاثیر چندانی بر M نخواهند داشت. بدین ترتیب انتگرال کیرشهف می تواند میدان موج را در عمق تنها با در دست داشتن میدان موج در سطح زمین، بدست دهد. رابطه زیر انتگرال کیرشهف را نشان می دهد:

$$\Delta P_M(t) = \sum_i w_i \cdot \Delta P_i(t-\tau_i) \qquad (۳-۱)$$



(شکل ۳-۱)کوچ قبل از برانبارش دو بعدی با یک چشمه. ابتدا نگاشت ها پیش پردازش شده و مدل سرعت انتشار تهیه می‌شود. نقطه تصویری D انتخاب می شود. سپس توابع گرین برای تمام پرتوها در مسیر D به چشمه و گیرندها محاسبه می‌شود. این فرایند، زمان ها و وزن های مربوط به هر دورافت را بدست می دهد که بیان می-کند نمونه های مربوطه در کجای نگاشت قرار دارد. سپس تمام نمونه‌ها جمع وزنی شده و میزان بازتاب در نقطه D را بدست می‌دهند. برای تصویر سازی، تمامی محاسبات فوق برای تمامی نقاط مانند D انجام می‌شود (بعد از روبین[2]، ۲۰۰۳).

[1]- Green Functions
[2]- Robein



(شکل ۳-۲) اصول انتگرال گیری کیرشهف. میدان موج در هر نقطه M در سطح S را می‌توان با جمع کردن (انتگرال) چشمه های فرضی که در محیط سطح قرار دارند محاسبه کرد. این چشمه های فرضی، بستگی به مقدار واقعی میدان موج $\Delta p(x,z,t)$ در سطح Σ دارند. از این تکنیک به صورت گسترده در تصویر سازی لرزه ایی به منظور محاسبه میدان موج در عمق توسط برداشت های سطحی استفاده می شود(بعد از روبین، ۲۰۰۳).

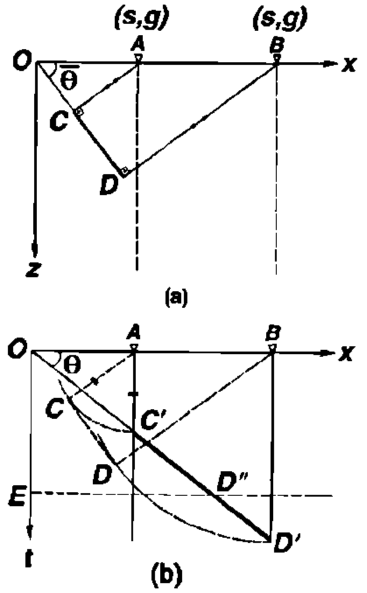
در این رابطه w_i ضرایب وزنی، ΔP_M میدان موج در M، ΔP_iمیدان موج در چشمه های ظاهری و $(t-\tau_i)$ اختلاف زمانی بین چشمه فرضی i و M است.

سایر روش‌ها بر اساس حل عددی معادلات موج استوار هستند که این فرایند را می‌توان در حوزه های مکان-زمان و یا فرکانس-عدد موج انجام داد. در این تحقیق، از روش حل عددی موج در حوزه مکان-زمان استفاده می‌شود. حل این معادلات بر اساس توابع گرین و تکنیک دنبال کردن پرتو[1] صورت می پذیرد. در هر صورت، تبدیل داده های لرزه نگاری به تصویر عمقی ساختارهای زیرسطحی، نیاز به مدلی از توزیع سرعت موج در ساختارهای زیرسطحی دارد که مدل سرعت[2] نام دارد (کِری و همکاران، ۲۰۰۲). این چنین مدلی، در ابتدای امر ناشناخته می باشد و لازم است که ابتدا مدل اولیه ای براساس تمام اطلاعات موجود تهیه شود. لازم به ذکر است که اگر مدل سرعت اشتباه انتخاب شود، در آن صورت کوچ عمقی نادرست انجام گرفته و بازتابنده ها در محل واقعی شان قرار نمی گیرند.

[1]- Ray Tracing
[2]- Velocity Model

۳-۳ اصول کوچ

کوچ سبب حذف اثر انتشار موج از داده‌های ضبط شده و قرار گرفتن بازتاب‌ها در محل واقعی و همچنین موجب بالا رفتن قدرت تفکیک جانبی در مقطع نهایی می شود.کوچ، بازتاب های شیب‌دار را به موقعیت صحیحشان در زیر سطح انتقال می‌دهدو باعث حذف پراش‌ها(تبدیل پراش به یک نقطه) می‌شود. دراین صورت، قدرت تفکیک تصویر، افزایش و یک تصویر لرزه‌ای زیرسطحی حاصل می‌شود. زاویه شیب واقعی مربوط به لایه‌های بازتابنده به کمک روابط هذلولی قابل محاسبه است، در حالیکه محل دقیق قرارگیری لایه شیب‌دار، اینگونه قابل محاسبه نیست. برای برطرف کردن این مسئله و کوچ داده‌ها به مکان واقعی خود، یک روش ترسیمی ساده وجود دارد. در این روش برای هر نقطه یک نیم‌دایره با شعاع زمان رفت و برگشت موج در حالت دورافت‌صفر(t_0)کشیده می‌شود. محل قرارگیری درست نقطه بازتابی، جایی درروی این نیم دایره خواهد بود. خط مماس بر تمام نیم دایره‌های مذکور بیانگر محل واقعی نقاط بازتابی است (شکل۳-۳)(ایلماز،۲۰۰۱).



(**شکل ۳-۳**) در قسمت (b) رخداد شیب دار $C'D'$ بعد از اعمال کوچ در محل صحیح خود در CD قرار گرفت. همانطور که مشاهده می شود در قسمت (a) رخداد بازتابی شیب دار در بالای مقطع و در محل و موقعیت صحیح خود قرار دارد، در حالی که طول بازتابنده کوتاه تر و شیب آن بیشتر است(ایلماز، ۲۰۰۱).

برای حذف پراش ها نیز می توان از روش ترسیمی بهره گرفت. در این صورت اگر برای هر نقطه با مرکزیت t_0 نیم دایره‌ای رسم شود، در نوک قله پراش تمام این نیم‌دایره ها همدیگر را قطع خواهند کرد، که این نقطه، همان نقطه پراشیده شده‌است.همانطور که در شکل (۳-۳) مشاهده می‌شود، کوچ رخدادهای شیب‌دار را به بالا انتقال می‌دهد بنابراین با حذف پراش‌ها و قرارگیری بازتاب‌ها در محل واقعی خود این امکان فراهم می‌شود که گسل‌ها تصویر شوند، در حالی که بازتاب‌های افقی در جای خود باقی می‌مانند.

۳-۴ روش های کوچ

همه ژئوفیزیکدان های اکتشافی، از این که کوچ چه فرآیندی است، اطلاعاتی کلی دارند و تعداد زیادی از آن ها می دانند که چندین روش برای انجام کوچ در دست داریم، ولی تنها تعداد اندکی از آن ها با نحوه کارکرد الگوریتم ها و روش های کوچ آشنا هستند. توضیح در مورد جزئیات همه روش های کوچ خارج از حیطه چنین تحقیقی است، بنابراین به طور خلاصه به معرفی تعدادی از روش های نمونه می پردازیم که بیشترین تاثیر را بر روی آن چه که امروزه ما تصویر کردن داده های لرزه ای می نامیم، داشته است. گاردنر[1](۱۹۸۵) جزئیات این روش ها را جمع آوری و ارائه نموده، و بیشتر به روش های پس از بر انبارش پرداخته است. روش های پیش از برانبارش صرف نظر از این که توسعه روش های پس از برانبارشند، سختی های مفهومی خود را نیز در بر دارند. این روش ها نیاز به پردازش دو میدان موج در کوچ پیش از بر انبارش دارند (برای یک چشمه مشخص، یکی از محل چشمه و یکی از محل های همه گیرنده های قرار گرفته در آرایش برداشت داده ها)، در حالی که کوچ پس از برانبارش فقط یک میدان موج (مقطع دور افت صفر کوچ داده نشده) لازم دارد.

[1]- Gardner

برای توضیح این روش ها ابتدا باید به خطی بودن مدلی که کوچ تحت آن انجام می شود، یعنی معادله موج الاستیک یا صوتی (آکوستیک) تنها برای بازتاب های اولیه[1]، اشاره کرد. با فرض این که هیچ پراکنش مکرّری[2] (انرژی لرزه ای که از یک چشمه به سمت یک پراکنده ساز[3] در زیر سطح، سپس به سمت پراکنده ساز دوم و پس از آن به سمت گیرنده سیر می کند) نداشته باشیم، می توان خطی بودن را از دو دیدگاه بررسی کرد. راه اول در نظر گرفتنِ زیر سطح زمین به مثابه مجموعه ای از پراکنده سازهای جدا از هم به همراه افق های بازتابنده پیوسته است که از قرار گرفتن دسته ای از این پراکنده سازها در کنار همدیگر، ساخته می شوند. از این دیدگاه اگر یک پراکنده ساز دیگر به زیر سطح اضافه شود، یک رخداد پراکنده ساز تعریف شده دیگر به برداشت کوچ داده نشده اضافه خواهد شد. این امر به ما اجازه خواهد داد که تصویر سازی پراکنده سازها را در یک زمان داشته باشیم. راه دوم برای نگاه به خطی بودن، در نظر گرفتن داده های لرزه ای ثبت شده و کوچ داده نشده به عنوان مجموعه ای از اسپایک[4] های جدا از هم است، که از کنار هم قرار گرفتن مجموعه ای از آن ها، رخداد های بازتابی پیوسته ساخته می گردند. هر کدام از این اسپایک ها از یک بازتابنده پیوسته در زیر سطح ناشی می شود و محل قرارگیری این بازتابنده ها طوری است که زمان سیر دوطرفه از چشمه به هر نقطه روی بازتابنده و از آن جا به گیرنده، معادل زمان ثبت شده برای اسپایک است. برای مثال در یک مدل زمین با سرعت ثابت، مکان هندسی نقاطی که باعث پدید آمدن یک اسپایک برای یک پاسخ کوچ داده نشده می گردند، یک بیضی با مراکز کانونیِ محل چشمه و گیرنده است. اضافه کردن یک اسپایک دیگر به برداشت کوچ داده نشده ی داده ها، موجب افزوده شدن یک پاسخ ضربه ای[5] کوچ به مقطع کوچ داده شده خواهد شد.

آشناترین و شاید ساده فهم ترین روش کوچ، روش کوچ کیرشهف است. این روش بر روی داده های لرزه ای در حوزه اصلی زمان-مکان عمل می کند و بعد از مقداری فیلتر اولیه، به طور صریح هر

[1]- Primaries
[2]- Multiple scattering
[3]- Scatterer
[4]- Spike
[5]- Impulse response

یک از دو عملیاتی را که در پاراگراف قبل توضیح داده شد، انجام می دهد. کوچ کیرشهف را هم می توان برای کوچ زمانی و هم کوچ عمقی به کار برد، و از آن جا که کوچ پیش از بر انبارش سه بعدی به تطبیق پذیری و قابل انعطاف بودن الگوریتم کوچ نیاز دارد، کوچ کیرشهف به دلیل دارا بودن این خصوصیات، از روش هایی است که برای کوچ در مقیاس بزرگ بر روش های دیگر ترجیح داده می شود. برای کوچ پس از بر انبارش نیز نمی توان گفت که دقیق ترین یا سریع ترین روش هاست. کوچ کیرشهف را برای تصویر کردن شیب های تند به کار می برند ولی در ازای آن، در نظر گرفتن بازه ای که به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتوان این شیب های تند را تصویر کرد، هزینه محاسباتی کار را بالا می برد.

اولین کوچ رقمی[1] که هنوز هم برای کوچ پس از بر انبارش معمول است، از اِعمال تقریبِ تفاضل محدود[2] بر روی معادله موج به دست آمده و اجازه انتشار امواج را فقط در جهت فروسو (پایین)[3] می آورَد (بر خلاف موج کامل که اجازه انتشار فراسو و فروسو- بالاوپایین- را می دهد). چند نمونه کوچ تفاضل محدود موجود است که از طرح های دوگانه ی عددی صریح و ضمنی[4] استفاده می کنند و ویژگی مشترک همه آن ها ادامه فروسوی یک میدان موج کامل (نه فقط ردهای انتخاب شده در بازه مثل کوچ کیرشهف) از سطح ثبت داده ها به سمت عمق های میانی و از آن جا به عمق تصویر سازی با استفاده از تقریب های تفاضل محدود به یک معادله موجِ یک طرفه (منتشر شونده به سمت پایین) است. این روش ها را می توان در حوزه زمان و عمق پیاده و اجرا کرد. علاوه بر این برای شیب های متوسط نتایجی با صحت بالا را فراهم می کنند، ولی برای شیب های خیلی تند این چنین نیستند.

سریع ترین روش های کوچ در حوزه f-k (فرکانس-عدد موج) انجام می شوند. این روش ها میدان موج ثبت شده را به مؤلفه های موج صفحه ای تجزیه می کنند و هر مؤلفه را جداگانه کوچ می دهند.

---

[1]- Digital
[2]- Finite difference
[3]- Downward
[4]- Explicit & implicit

شبیه روش های تفاضل محدود، آن ها میدان موج را به سمت پایین ادامه داده، از سطحِ جمع آوری و ثبت داده ها به اعماق تصویر سازی می برند و به جای استفاده از یک تقریب تفاضل محدود بر روی معادله موج، از انتقال فاز[1] برای انجام ادامه فروسو استفاده می کنند. این روش ها برای شیب های خیلی تند صحیح هستند، ولی تغییرات شدید سرعتِ جانبی را به خوبی اداره نمی کنند. برای بر آمدن از عهده این تغییرات سرعتی، می توان این روش ها را توسعه داد ولی در آن صورت دیگر روش های خیلی سریعی نخواهند بود.

روش دیگر، که از معادله موج دو طرفه‌ی کامل استفاده می کند و به نام کوچ زمانِ معکوس[2] معروف است، با میدان موج ثبت شده آغاز می شود که یک برش زمانی [3] را در یک زمان نشان می دهد و به سمت زیر سطح با زمانی که در معادله موج به سمت عقب بر می گردد، یک میدان موج کاملی را درون زمین در هر مرحله ی زمانی تشکیل می دهد. بنابر این نگاه به تصاویر لحظه‌ایِ[4] انرژی که از سطح ثبت داده ها به سمت نقاط بازتاب حرکت می کند، میسّر می شود. به دلیل این که در این روش نسبت به سایر روش ها، تقریب های کم در معادلاتی که حاکم بر انتشار امواج لرزه ای است، استفاده می شود، کوچ زمانِ معکوس صحیح ترین روش کوچ در دسترس است. ولی متاسفانه معمولاً کند ترین روش نیز می باشد.

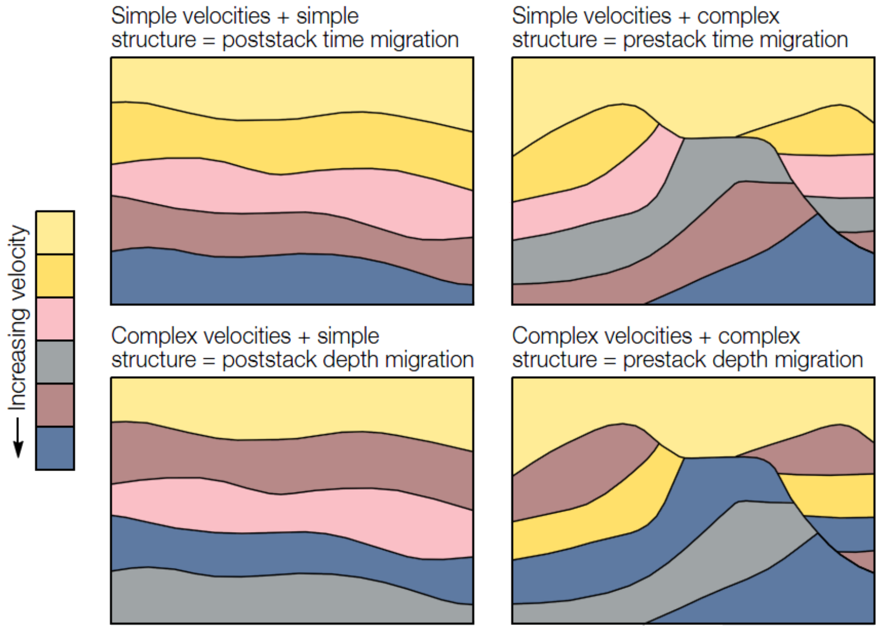
در این مرحله ممکن است، سؤالی به ذهن خطور کند که چرا این همه روش کوچ داریم؟ فراوانی روش های کوچ، در حالی که تعداد زیادی از ژئوفیزیکدان ها را گیج کرده، از طرفی نشان داده که در برخورد با مسائل گوناگونِ تصویر سازی و حل آن ها امری مفید است. بعضی از روش ها برای ساختار های پیچیده زمین شناسی، با شیب های خیلی تند به کار می روند، در حالی که تعداد دیگری از آن ها برای تصویر سازی چینه شناسی و با وضوح بالابهتر هستند. برای انتخاب الگوریتم و روش کوچ، عواملی از قبیل ساختمانی که قرار است تصویر شود (وجود یا عدم وجود شیب تند و ساختار پیچیده و

[1]- Phase shift
[2]- Reverse time migration
[3]- Time slice
[4]- Snapshot

یا سرعت های روباره پیچیده)(شکل ۳-۴)، تجهیزات محاسباتی، زمان در دسترس، مسائل اقتصادی، وجود مهارت و تجربه و میزان قطعیتِ مدل کلان سرعت، تاثیر گذار هستند. به طور کلی الگوریتم مطلوبِ کوچ دارای این ویژگی هاست:

- اداره کردن هر محدوده ای، از شیب ها.

- اداره کردن تغییرات سرعت شدید (بیش از ۳۰ تا ۴۰ ٪ و در صورت امکان تا ۱۰۰٪ در هر جهتی).



(**شکل ۳-۴**) ساختار و سرعت های ساده و پیچیده و روش های مناسب کوچ برای آن ها (ردشاو و لاستِر[1]، ۱۹۹۱).

- در صورت تهیه یک میدان سرعت صحیح، تصویر ها را در هر سه جهت مختصاتی در محل صحیح و درست خودشان قرار دهد.

- حفظ و نگه داری دامنه و فاز.

- بدون تولید مصنوعات[2].

- ارزان و سریع.

[1]- Redshaw & Lasseter
[2]- Artifacts

البته هیچ الگوریتمی نمی تواند همه این موارد را انجام دهد و بعضی روش ها تنها می توانند به یکی از نکات جامه عمل بپوشانند. برای مثال کوچ تفاضل محدود در حوزه f-x می تواند تغییرات زیاد در سرعت را اداره کند و تصاویر با وضوح بالا تهیه کند ولی تنها می تواند بازتابنده های تا شیب °۸۰ را تصویر کند. از طرف دیگر کوچ کیرشهف، تصویر سازی شیب های تا °۹۰ را پاسخگوست و وضوح خوبی را هم فراهم می کند ولی با تغییرات شدید سرعت مشکل دارد. با این حال استفاده از کوچ کیرشهف به دلیل انعطاف پذیری و همه کاره بودنش، در طیف وسیعی از مسائل تصویر سازی، امری رایج شده است ولی باید این را هم در نظر داشت که این روش نه سریع ترین و نه صحیح ترین روش برای بسیاری از مسائل کوچ است. اکنون جواب دادن به سؤال مطرح شده راحت تر می شود، که خرج کردن برای پروژه های تصویر سازی متنوع و بزرگ که با آن ها رو برو هستیم، بهتر از برخورد کردن به هزینه های عظیم و سرسام آورتری است که در نتیجه ی رسیدن به چاه های خشکِ حاصل از تصویر سازیِ غلط به دست می آیند.

برای ساختن تصویر از داده های لرزه ای، زمان سیر امواج از محل های چشمه و گیرنده به محل های زیر سطح، مورد نیاز فرآیند کوچ است و برای مشخص کردن این زمان های سیر، کوچ به سرعت نیاز دارد. کوچِ زمانی از نوعی از سرعتِ میانگین روباره، بین محل های سطحی و محل های تصویر استفاده می کند که ممکن است سرعت های تصویر سازی نامیده شوند (گِری، ۲۰۰۱) و کوچ عمقی از یک تابع سرعت بازه ای[1] با جزئیات بیشتر استفاده می کند. برای کوچ پس از بر انبارش، معمولاً می توان این توابع را با اطمینان نسبی، از سرعت های به دست آمده از تحلیل سرعت برانبارش تخمین زد. ولی برای کوچ پیش از بر انبارش، معمولاً سرعت های برانبارش در دسترس نیستند و باید از خود فرآیند کوچ برای تخمین سرعت استفاده کرد و این فرآیند هم به طور قابل ملاحظه ای برای کوچ عمقی، سخت تر از کوچ زمانی است. چندین روش برای تخمین سرعت های بازه ای برای کوچ عمقی پیش از بر انبارش توسعه داده شده اند که پیچیده ترین آن ها که معمولاً از آن استفاده می شود،

[1]- Interval velocity

توموگرافی لرزه ای[1] است. این روش به صورت جبری خطای عدم انطباقِ بین ورداشت های کوچ داده شده را در هر محل از تصویر کاهش می دهد. مانند روش ها و الگوریتم های کوچ، این روش های تخمین سرعت نیز هر یک در محل خود استفاده می شوند، که روش های ساده آن در محل هایی با تغییرات سرعتِ جانبی ضعیف تا متوسط، خوب کار می کنند. اگر چه که هیچ کدام از این روش ها در محل هایی که کیفیت داده ضعیف باشد یا تغییرات شدیدِ سرعت را داشته باشیم (یعنی همان جایی که نیاز ماست) خیلی خوب کار نمی کنند.

۳-۵ کوچ زمانی پس از برانبارش

تقریباً تمامی ژئوفیزیست ها بیشتر مراحل پردازش داده ها را در حوزه زمان انجام می دهند. برای انجام کوچ زمانی، نیاز به داشتن مدل سرعت است. شکل (۳-۵) مراحل مختلف کوچ زمانی کیرشهف را نشان می دهد. همانگونه که در بخش انتگرال کیرشهف نیز عنوان شد، در این شکل نقطه‌ای با مختصات (x,t_{mig}) بر روی مقطع کوچ داده شده، بوسیله حاصل جمع نقاط وزن داری بدست می آید که این نقاط بر روی منحنی $V(X_{MP},t_{mig})$ واقع در مقطع دورافت صفر قرار دارند. انتگرال کیرشهف میدان موج در نقطه (x,t_{mig}) را توسط انتگرال زیر محاسبه می کند؛

$$\Delta P(x_{MP},t_{mig}) = \sum_{x\in aperture} w_x \cdot \Delta P(x_{MP}-x,t(x)) \qquad (۳-۲)$$

$$t^2(x) = t_{mig}^2 + \left(\frac{2x}{V_{mig}(x,t_{mig})}\right)^2 \qquad (۳-۳)$$

بدین ترتیب مقطع کوچ به صورت نقطه به نقطه با وزن های w_x به کمک روابط فوق برای تمام مقطع دورافت صفر محاسبه می شود. این بخش نشان می دهد که مقطع کوچ زمانی را می توان با فرایندی آسان و اطلاعات اندکی در زمان کوتاه بدست آورد. ولی این مزیت به از دست دادن اطلاعات

[1]- Seismic tomography

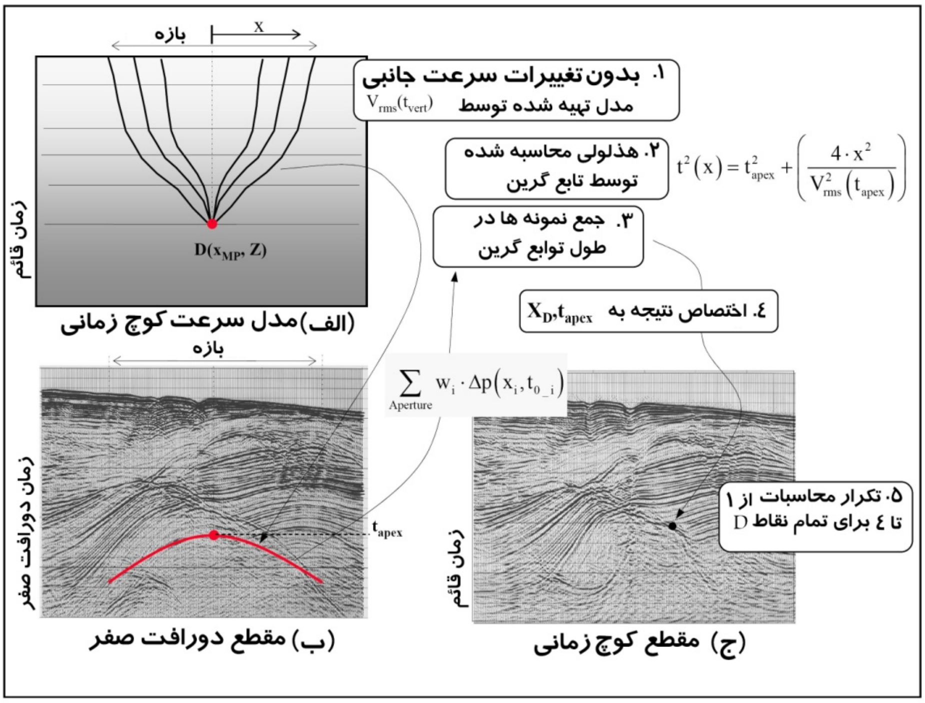
تکمیلی دیگر و هم چنین ناصحیح بودن مقطع نهایی می انجامد. هم چنین محور قائم در این مقطع زمان است که تفسیر آن مطلوب نظر زمین شناسان نمی باشد.

۳-۵-۱ مزایا و معایب کوچ زمانی

مزیت اصلی کوچ زمانی به اصول اولیه آن بر می گردد ، بدین معنی که تنها با در اختیار داشتن اطلاعاتی از سرعت انتشار زیرسطحی می توان مقطع کوچ تهیه کرد. این اطلاعات سرعت می تواند از آنالیز سرعت برانبارش یا حتی سرعت هایی که برای تصحیح برون راند نرمال بکار می رود، انتخاب گردد. اما این ساده سازی ها، محدودیت هایی را نیز به دنبال خواهد داشت که در اینجا تنها به بخشی از آن می پردازیم.

- در این روش فرض می شود که سرعت در محیط بدون تغییرات جانبی است، در حالی که در واقعیت اینگونه نمی باشد. با این حال اگر فرض کنیم که بتوانیم تغییرات جانبی سرعت را به عنوان تصحیحی در مدل اعمال کنیم، این مشکل باقی می ماند که تا چه میزان می توان این تغییرات سرعت جانبی را اعمال کرد. به عبارت دیگر، روش کوچ زمانی تا چه میزان اعمال تغییرات سرعت جانبی، مقطع قابل قبولی بدست خواهد داد.
- تابع گرین تنها در محدوده کوچکی از بازه انتخاب شده هذلولی می باشد و در خارج از این محدوده، تخمین ها دارای دقت کمتری خواهند بود. انتگرال کیرشهف هم چنین ساختارهای با شیب تند را به خوبی کوچ نمی دهد.
- در پردازش های تحلیل سرعت، سرعت برانبارش به عنوان تخمینی از سرعت جذر میانگین مربعات V_{rms} در نظر گرفته می شود و همانگونه که عنوان شد، در کوچ زمانی نیز از سرعت برانبارش استفاده می شود. ولی با افزایش پیچیدگی ساختارهای زمین شناسی و هم چنین وجود تغییرات سرعت جانبی، از دقت این تخمین نیز کاسته خواهد شد.

- در نهایت باید عنوان کرد که هنوز نظر مساعدی در استفاده از مقطع کوچ زمانی برای تفسیرهای زمین شناسی وجود ندارد. در این گونه مقاطع، لایه های با سرعت پایین ضخیم تر از میزان واقعی شان نشان داده می شوند و بر عکس لایه هایی که دارای سرعت بالایی هستند، نازک تر از مقدار واقعی، خود را نشان می‌دهند. علاوه بر آن در ساختارهایی که تغییرات سرعت جانبی وجود دارد، شیب لایه ها در جهت معکوس ترسیم می شوند (روبین، ۲۰۰۳).



(**شکل ۳-۵**) مراحل گام به گام کوچ زمانی کیرشهف در مقطع دورافت صفر و مدل سرعت کوچ (بعداز روبین، ۲۰۰۳).

۳-۶ عملگر هرم خئوپس[1]

برای ورود به مبحث کوچ پیش از بر انبارش باید مفهوم عملگر هرم خئوپس را توضیح دهیم. شکل (۳-۶) یک برداشت ساده دوبعدی را نشان می دهد. در فرایندهای مختلف، داده ها در مختصات های متفاوتی مرتب می شوند، به عنوان مثال ممکن است داده ها بر حسب نقطه انفجار مشترک (CS) ، نقطه میانی مشترک (CMP) و یا دورافت مشترک (CO) مرتب شوند (شکل ۳-۷).

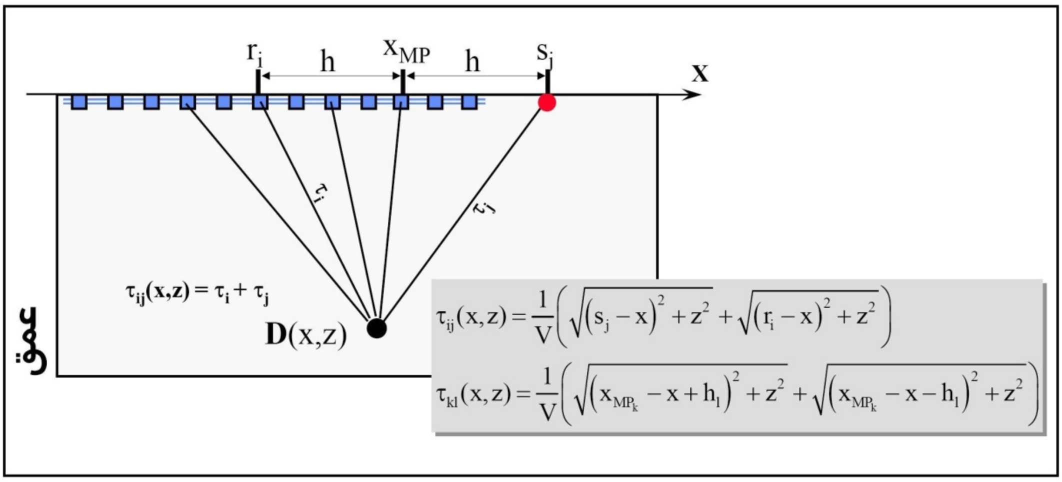
براساس قضیه فیثاغورث، معادله زمان سیر برای پرتوی S_j-D-r_j در شکل(۳-۶) برابر خواهد بود با :

[1]- Cheops pyramid operator

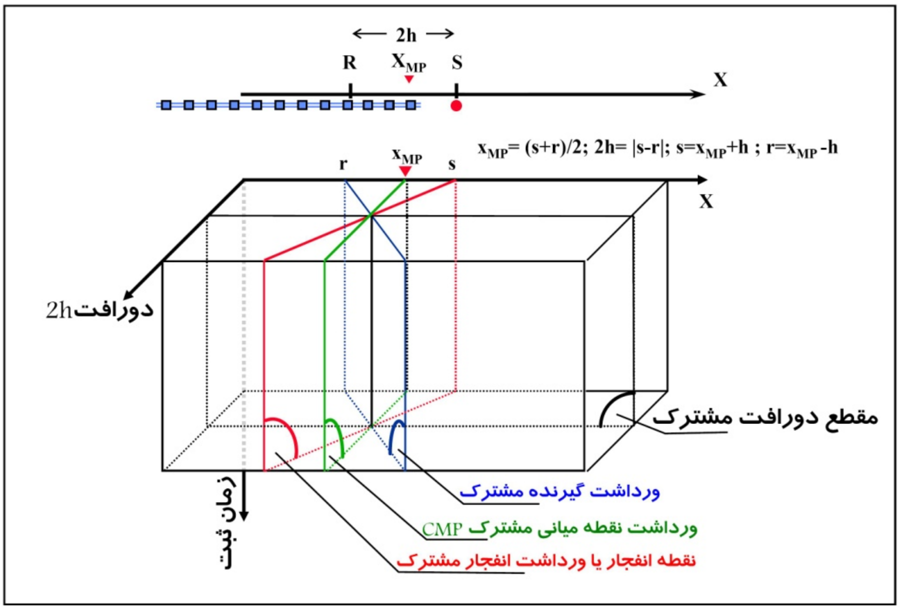
$$\tau_{ij}(x,z)=\frac{1}{V}(\sqrt{r_i-x)^2+z^2}+\sqrt{(s_j-x)^2+z^2}) \quad (۳-۴)$$

اگر این معادله را برای مختصات نقطه میانی و نیم دورافت مرتب بازنویسی کنیم خواهیم داشت :

$$\tau(x,z)=\frac{1}{V}(\sqrt{x_{MP}-x-h)^2+z^2}+\sqrt{(x_{MP}-x+h)^2+z^2}) \quad (۳-۵)$$



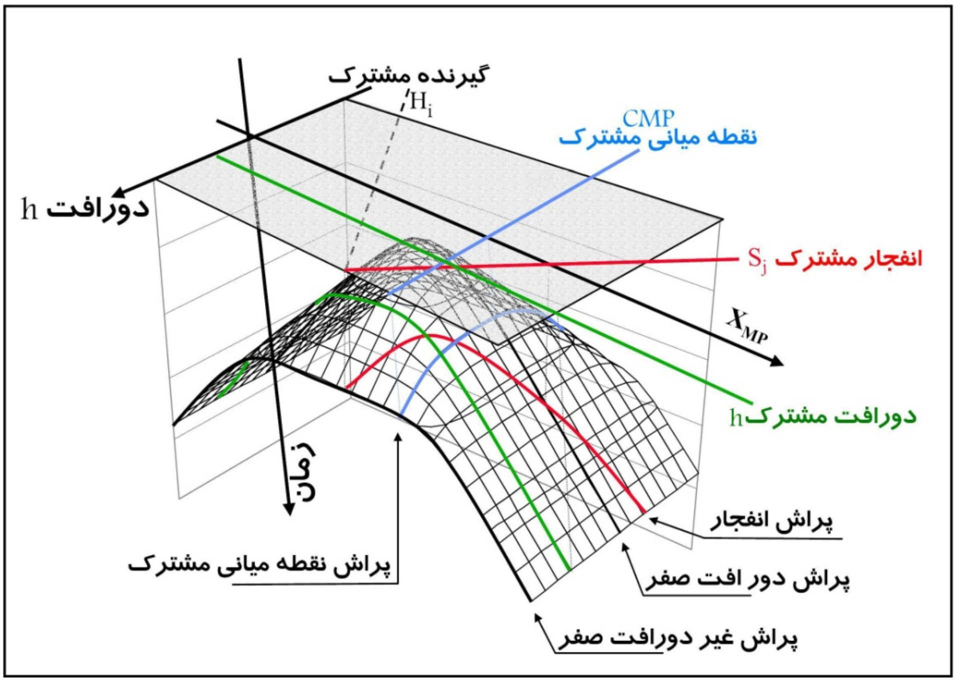
(شکل ۳-۶) برداشت ساده داده ها در حالت دوبعدی (بعد از روبین، ۲۰۰۳).



(شکل ۳-۷) مرتب کردن داده ها در برداشت ها و مقاطع مختلف در مختصات متفاوت (بعد از روبین، ۲۰۰۳).

مکان هندسی مقادیر t در فضای (x_{MP},h,t) برای نقطه D(x,z) و سرعت V ، هرمی خواهد شد که به آن هرم خئوپس گویند (کلاربوت،۱۹۸۵). نمونه ای از این هرم در شکل (۳-۸) نشان داده شده است.

هرم خئوپس در واقع از بسط منحنی پراش دورافت در دورافت های غیر صفر ایجاد می شود. منحنی پراش دورافت صفر در صفحه X_{MP} و زمان ، به شکل یک هذلولی واقعی است که در شکل با خط پررنگ نشان داده شده است. با افزایش مقدار دورافت، منحنی در جهت محور h به سمت جلو و عقب حرکت کرده اما از حالت هذلولی واقعی خارج می شود. بدین صورت که این منحنی ها به شکل هذلولی هایی خواهد شد که قله آنها تخت می باشد. به این منحنی ها، منحنی های پراش غیر دورافت صفر گویند. صفحه نقطه انفجار مشترک در این هرم به صورت صفحه ایی افقی است که در محورهای h و X_{MP} قرار دارد و به رنگ خاکستری در شکل نشان داده شده است. صفحه دورافت مشترک نیز به صورت صفحه ای عمود بر صفحه نقطه انفجار مشترک نشان داده می شود. این صفحه در محورهای X_{MP} و t قرار دارد. بنابراین برای هر مقدار h می توان صفحه ای به نام صفحه دورافت مشترک در نظر گرفت.



(**شکل ۳-۸**) هرم خئوپس که هذلولی های پراش در مختصات های متفاوت را نشان می دهد (بعد از روبین، ۲۰۰۳).

۳-۷ کوچ زمانی پیش از برانبارش

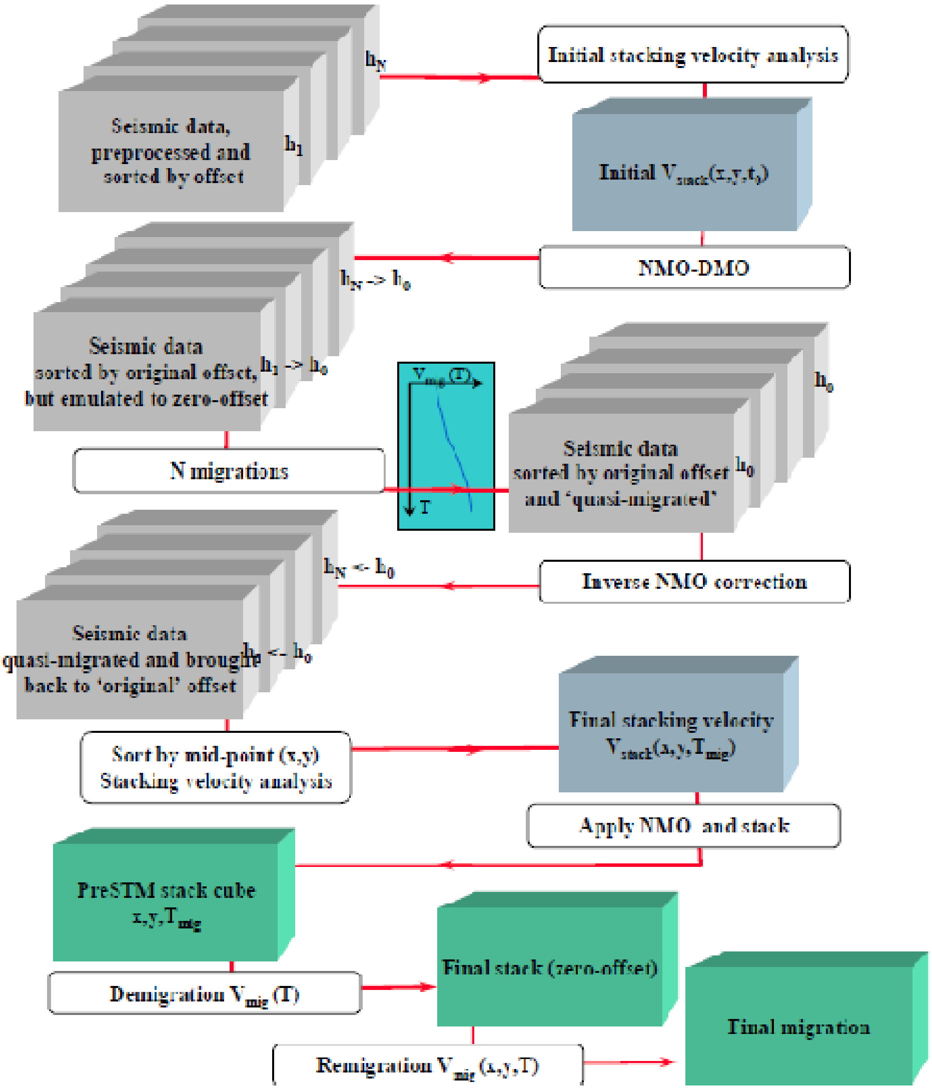
۳-۷-۱ روش Moves[1]

روش Moves اولین بار توسط مارکوکس و همکاران[2](۱۹۸۷) برای داده های دو بعدی مطرح شد و نامش از عبارت کوچ برای ارزیابیِ بهینه ی سرعت و بر انبارش گرفته شده بود. دلیل منطقی که در پشتِ این روش قرار داشت، این بود که وقتی NMO و DMO بر روی داده ها اِعمال شده بود، مجموعه ای از داده های دارای دورافت مشترک، یک مجموعه از داده های دور افت صفر را شبیه سازی کرده بودند و در روش معمول برانبارش، این مجموعه داده ها در راستایِ دور افت، با هم جمع می شدند و مقطع بر انبارش را می ساختند که پس از آن کوچ پس از برانبارش بر روی آن انجام می گرفت. گزینه ی دیگر که سنگ بنای روش ذکر شده در این بخش است، انجام کوچ قبل از بر انبارش، بر روی مجموعه داده های شبیه سازی شده دور افت صفر است. یعنی مجموعه داده هایی که NMO و DMO بر روی آن ها انجام شده است. سپس با همان الگوریتم کوچ و همان مدل سرعت کوچ داده می شوند و در واقع عمل جمع داده ها در راستای محورِ دورافت یا همان عمل بر انبارش بعد از کوچِ جداگانه در هر یک از مقاطعِ دور افت صفرِ شبیه سازی شده (که از انجام NMO وDMO به دست آمده اند)، صورت خواهد گرفت. چنین عملیاتی به انجام چندین کوچِ مقطع دورافت صفر نیاز دارد و نتایجی شبیه کوچ پس از برانبارشِ معمول خواهد داشت. چرا که کوچ داده های برانبارش شده، معادل جمع یا برانبارش داده های کوچ داده شده است. بنا بر این روش مذکور، فوایدی را قبل از برانبارش فراهم می کند و آن، بهبود مدل سرعت با انجام تحلیل سرعت بعد از کوچ و در نتیجه بهبود تصویر برانبارش شده نهایی است. مراحل روش Moves که در شکل (۳-۹) نشان داده شده، به قرار زیر است:

[1]- Migration for optimum velocity evaluation and stacking
[2]- Marcoux

- ابتدا داده ها پیش پردازش شده و به دور افت های مشترک مرتب می شوند و به موازات روش مرسوم پردازش، تحلیل سرعت انجام شده و یک مدل سرعت اولیه ساخته می شود که از آن در تصحیح NMO و سپس اِعمال تصحیح DMO بر روی هر مقطع با دور افت مشترک استفاده می شود. پس از این عملیات می توانیم بگوییم که مجموعه داده های دارای دور افت مشترک (حداقل به طور تقریبی) به دور افت صفر منتقل شده اند.

- در این مرحله، یک تابع سرعت $V_{mig}(T)$ که تابعی ساده و دارای تغییرات تدریجی کم، بدون داشتن تغییرات جانبی است، برای انجام کوچ در این مراحل میانی تعریف می شود. با این که به طور مطلق نمی توان گفت، ولی استفاده از الگوریتم های سریعی مثل روش استولت یا انتقال فاز توصیه می شود.



(شکل ۳-۹) مراحل انجام روش Moves(روبین، ۲۰۰۳).

- با انجام کوچ بر روی این مقاطع با دور افت مشترک، مجموعه ای از داده های کوچ داده شده با مقدار همپوشانی پایین [1] به دست می آیند.

- با مرتب کردن داده ها بر حسب نقاط میانی، ورداشت های CMP را خواهیم داشت و در هر ورداشت یک تصحیح NMO معکوس[2] با استفاده از مدل سرعت بر انبارش اولیه انجام می دهیم.

- این ورداشت های CMP که به حالت قبل از تصحیح[3] برگشته اند، مجدداً برای یک سری تحلیل سرعت مرسوم، آماده می شوند.

- سرعت های برانبارش نهاییِ به دست آمده، اجازه ی ساختن مدل سرعت کوچ نهایی $V_{mig}(x,y,T)$ که از تابع ساده $V_{mig}(T)$، پیچیده تر است را می دهند.

- با این سرعت برانبارش، مجدداً تصحیح NMO و سپس بر انبارش داده ها در ورداشت های CMP انجام می شود و مجموعه داده ی بر انبارش شده ای که به صورت جزئی[4] نیز کوچ داده شده است را بدست می دهد.

- سپس مقطع برانبارش شده، که قبل از برانبارش کوچ داده شده، تحت فرآیندِ کوچ معکوس[5]، با استفاده از تابع سرعت اولیه ی $V_{mig}(T)$ قرار می گیرد و انتظار می رود مقطع بر انبارش شده ی نهایی را که بهتر یا حداقل معادل مقطع بر انبارشی که بعد از NMO و DMO به دست می آمد، برای ما تولید کند.

- سپس مقطع دورافت صفر به دست آمده مجدداً کوچ داده می شود[6] و برای این کوچ، از مدل سرعت کوچ نهایی یعنی $V_{mig}(x,y,T)$ استفاده می شود.

---

[1]- Fold
[2]- Inverse NMO
[3]- Decorrected
[4]- Partial
[5]- Demigration
[6]- Remigration

۳-۷-۲ اصول کوچ زمانی پیش از بر انبارش کامل[1] کیرشهف

روش Moves، بهبود روش کوچ زمانی پس از برانبارش بوده که اجازه می داد تحلیل سرعت بر انبارش بر روی محل های کوچ داده شده (جزئی) انجام شود. ولی این روش از استراتژی خرد کردن کوچ پیش از بر انبارش کامل، به تصحیح های NMO و DMO، و سپس کوچ دادنِ مقاطع با دورافت مشترک و سپس بر انبارش، بهره می گرفت. خرد کردن این فرآیند کلی، تنها در محیط همگن صادق است. راه عملیِ کاهش اثرات سوء این روش، در حضور تغییرات سرعت زیر سطح، استفاده از سرعت تصحیح NMO(V_{NMO}) متغیر، سرعت اولیه کوچ (V_{mig}) متغیر، و V_{mig} یا V_{stack} نهاییِ وابسته به زمان و مکانِ متغیر است. با این وجود، محدودیت های روش ذکر شده ی Moves در موارد مختلفی نشان داده شده، حتی در مواردی که سرعت فقط به صورت عمودی تغییر می کند. بنابراین مدتهاست که صنعت، حرکت به سمت کوچ زمانی پیش از بر انبارشِ کامل کیرشهف را آغاز کرده است؛ روشی که در ادامه در مورد آن بحث می کنیم و در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است و صحبت در مورد روش قبلی(Moves) برای ورود به آن ضروری به نظر می رسید.

در این بخش در مورد نحوه کوچ زمانی پیش از برانبارش به روش کیرشهف و خصوصیات آن به بحث می پردازیم. این روش به میزان زیادی در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۳-۱۰) اصول اولیه این روش را نشان می دهد که در آن نقطه پراش D کوچ داده می شود. مراحل انجام PSTM به شرح زیر است:

۱- محیطی با همگنی جانبی را در نظر بگیرید، لازم نیست که این محیط به خوبی شناخته شود بلکه دانستن تنها سرعت کمترین مربعات V_{rms} نیز کافی خواهد بود.

۲- مقدار تابع گرین محاسبه می شود. این فرایند تقریباً در زمان کمتری نسبت به سایر روش های مشابه انجام می گیرد. زیرا همانگونه که عنوان شد مقدار این تابع در این روش اساساً به مقدار قائم سرعت V_{rms} بستگی دارد.

[1]- Full

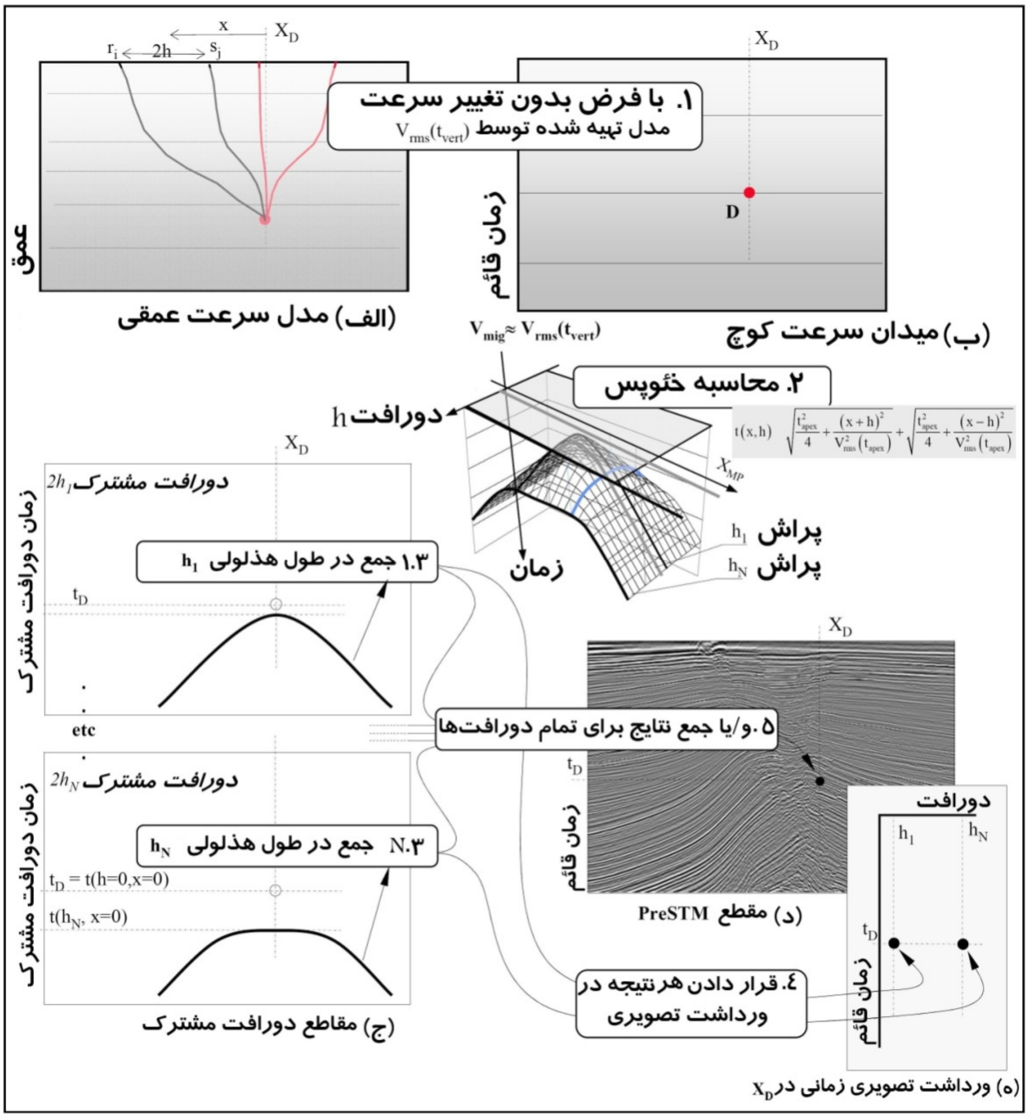
۳- داده ها بر اساس مقاطع دورافت مشترک مرتب می شوند و هر کدام از آنها به صورت جداگانه پردازش می شوند.

۴- برای هر دورافت نتیجه حاصل جمع کیرشهف در PSTM به نقطه D در مقطع دورافت مشترک مربوطه اختصاص می یابد. این نقطه دارای مختصات (X,Y) و زمان سیر t_d از سطح تا نقطه D است. این عمل برای تمام دورافت ها انجام می شود. سپس برای هر نقطه (X,Y,t_0) در مقطع دورافت مشترک، به تعداد دورافت ها جواب خواهیم داشت. در این مرحله سه گزینه پیش رو قرار دارد که می توانیم هر کدام را انتخاب کنیم؛

- می توانیم نتایج هر دورافت و مقادیر آن را در تعداد محدودی از ورداشت های تصویری PSTM برای گام های بعدی تحلیل سرعت حفظ کنیم.
- می توانیم فرض کنیم که در ورداشت های تصویری رخدادها افقی هستند و نتایج هر دورافت را برانبارش کرده و تصویر نهایی PSTM را تهیه کنیم.
- به عنوان گزینه سوم می توان تمام ورداشت های تصویری را تحت آنالیز تصحیح برونراند نرمال قرار داده، رخدادها را افقی کنیم و سپس این رخدادهای افقی را برانبارش کرده و کوچ عمقی را انجام داد.

۵- این گام ها برای تمام نقاط پراش D انجام می گیرد تا زمانی که مقطع نهایی کوچ قبل از برانبارش برای تمام مقاطع تکمیل گردد.

لازم به ذکر است که از کنار هم قرار دادن منحنی های پراش در هر دورافت، هرم خئوپس تشکیل می شود. مقطع نهایی PSTM حاصل جمع نمونه های وزن داری است که بر روی هرم خئوپس در دسته داده های قبل از برانبارش واقع هستند. هم چنین باید عنوان کرد که نقطه D در راس این هرم قرار دارد و حاصل جمع تمام هذلولی ها در تمامی مقاطع دورافت به این نقطه در راس هرم اختصاص داده می شود.



(**شکل ۳-۱۰**) مراحل مختلف کوچ PSTM به کمک مدل سرعت عمقی و مدل سرعت کوچ، محاسبه هرم خئوپس و جمع در دورافت های مختلف و در نهایت انجام عمل کوچ (بعد از روبین، ۲۰۰۳).

۳-۸ تحلیل سرعت درتوالی پردازشی PSTM به روش کیرشهف

تحلیل سرعت در کوچ زمانی پیش از بر انبارش را می توان بر اساس عبارتِ: بهترین کوچ زمانی پیش از برانبارش هنگامی به دست می آید که هر رخداد برای همه دور افت ها به یک زمان مشخص و یکسان کوچ داده شود، ارزیابی کرد. زمان یکسان برای همه دور افت ها به این معنی است که رخداد ها در برداشت های تصویریِ PSTM، به خط شوند[1] و در نتیجه دامنه هر رخداد در مقطع بر انبارش شده افزایش یابد. بنابراین هدف تحلیل سرعت PSTM یافتن تابع سرعت $V_{mig}(t_{mig})$ در محل (x,y) و

[1]- Flattening

برای همه زمان های کوچ داده شده t_{mig} است که عملگر های هرم خئوپس را کنترل کرده و رخداد ها در برداشت های تصویری را به خط کرده و دامنه آن ها را در مقطع بر انبارش، افزایش می دهد.

اصولاً سه راه برای تحلیل سرعت PSTM وجود دارد :

۱-اولین راه، اِعمال یک تابع $V_{mig}(t)$ اولیه و سپس اجرای یک تحلیل برون راند باقی مانده (RMO)[1] بر روی برداشت های تصویر است و برانبارش بعد از این مراحل انجام می شود. در واقع RMO در حین تصحیح معکوس NMO [2]، که در پی آن یک تصحیحِ NMO جدید دیگر با سرعت های متفاوت صورت می گیرد، انجام می شود.

۲-راه دوم شامل تکرار روش RMO است.

۳-روش دیگر که آن را روش پویش[3] می نامیم، شامل آزمایش یک سری از توابع سرعت فرضی و انتخاب یکی از آن ها که بهترین نتایج، یعنی به خط شده ترین برداشت های تصویر و مقطع بر انبارش با بیشترین دامنه را فراهم می کند، می گردد. این روش، تقریباً پر هزینه است، ولی معمولاً بهترین نتایج را تهیه می کند.

۳-۸-۱ روشRMO

نموداری برای توالی پردازشی این روش در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است. این مراحل از قرار زیرند:

- ابتدا داده ها پیش پردازش می شوند (مشخص کردن هندسه برداشت، کاهش نوفه، بازیابی دامنه واقعی، حذف بازتاب های مکرّر، اِعمال تصحیحات استاتیک و واهمآمیخت ....)

- سپس داده ها را بر حسب دور افت مشترک مرتب می کنند.

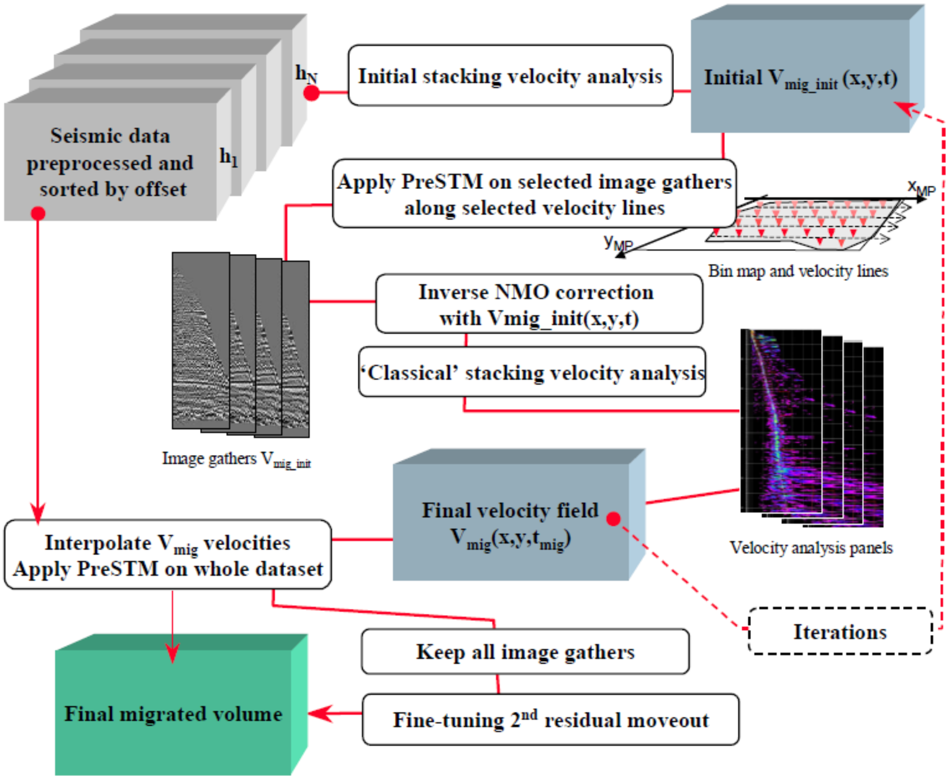
---

[1]- Residual Move Out
[2]- Inverse NMO - (NMO^{-1})
[3]- Scanning approach

- یک میدان سرعت اولیه پس از تحلیل سرعتی کلاسیک به دست می آید که به آن $V_{mig-init}(x,y,t)$ می گوییم.

- با این میدان سرعت کوچ می توانیم عملگرهای خئوپس مربوطه را محاسبه کنیم.

- این عملگر ها بر روی داده ها در هر نمونه زمانی اِعمال می گردد تا یک سری از ورداشت های تصویری در یک شبکه تعیین شده را به دست آوریم.



(شکل ۳-۱۱) تحلیل سرعت به روش تصحیح برون راند باقی مانده (روبین، ۲۰۰۳).

- در این مرحله، ورداشت های تصویری معمولاً به خط شده نیستند و به مرحله دیگری نیاز داریم. یک راه ممکن، تحلیل برون راند باقی مانده است که پس از آن سرعت ها به روز می شوند. شرایطی شبیه این، در روش Moves هم دیده شد.

- ورداشت های تصویر به دست آمده را تحت تصحیح برون راند معکوس با استفاده از سرعت NMO اولیه قرار می دهیم. با این عمل، ورداشت ها به حوزه غیر از دور افت صفر باز می گردند.

- در مرحله بعدی یک تحلیل سرعت کلاسیک دیگر، بر روی این ورداشت ها انجام می شود. سرعت های دستچین شده توسط پردازشگر، مدل سرعت نهایی کوچ را با مقادیر $V_{mig}(t)$ بر روی شبکه انتخاب شده برای انجام تحلیل سرعت، فراهم می آورند.

- در آخر توابع سرعت V_{mig} در کل شبکه برداشت (x,y,t)(حالت سه بعدی) بر حسب نرخ های نمونه برداری [1] درونیابی می شوند و یک عملگر خئوپس برای هر نمونه خروجی محاسبه شده و PSTM به روش کیرشهف اعمال می گردد. این روش برای همه نمونه های خروجی تا ساختن کامل مجموعه PSTM شده، ادامه می یابد.

امروزه یک یا بیش از یک تکرارِ روش RMO، معمول است و سرعت کوچ نهایی برای تکرار مراحل، به عنوان سرعت اولیه، همان طور که در شکل (۳-۱۱) با خط نقطه چین نشان داده شده، استفاده می شود. این فرآیند تا زمانی که دو سرعت ذکر شده به اندازه کافی به هم نزدیک شوند، تکرار می شود. پس از این که ورداشت های تصویری تحت بر انبارش قرار گرفتند، محصولات این روش پردازشی به قرار زیر می باشند:

- تصویر PSTM که اغلب، بر انبارش PSTM نیز نامیده می شود.
- و میدان سرعت کوچ $V_{mig}(x,y,t)$.

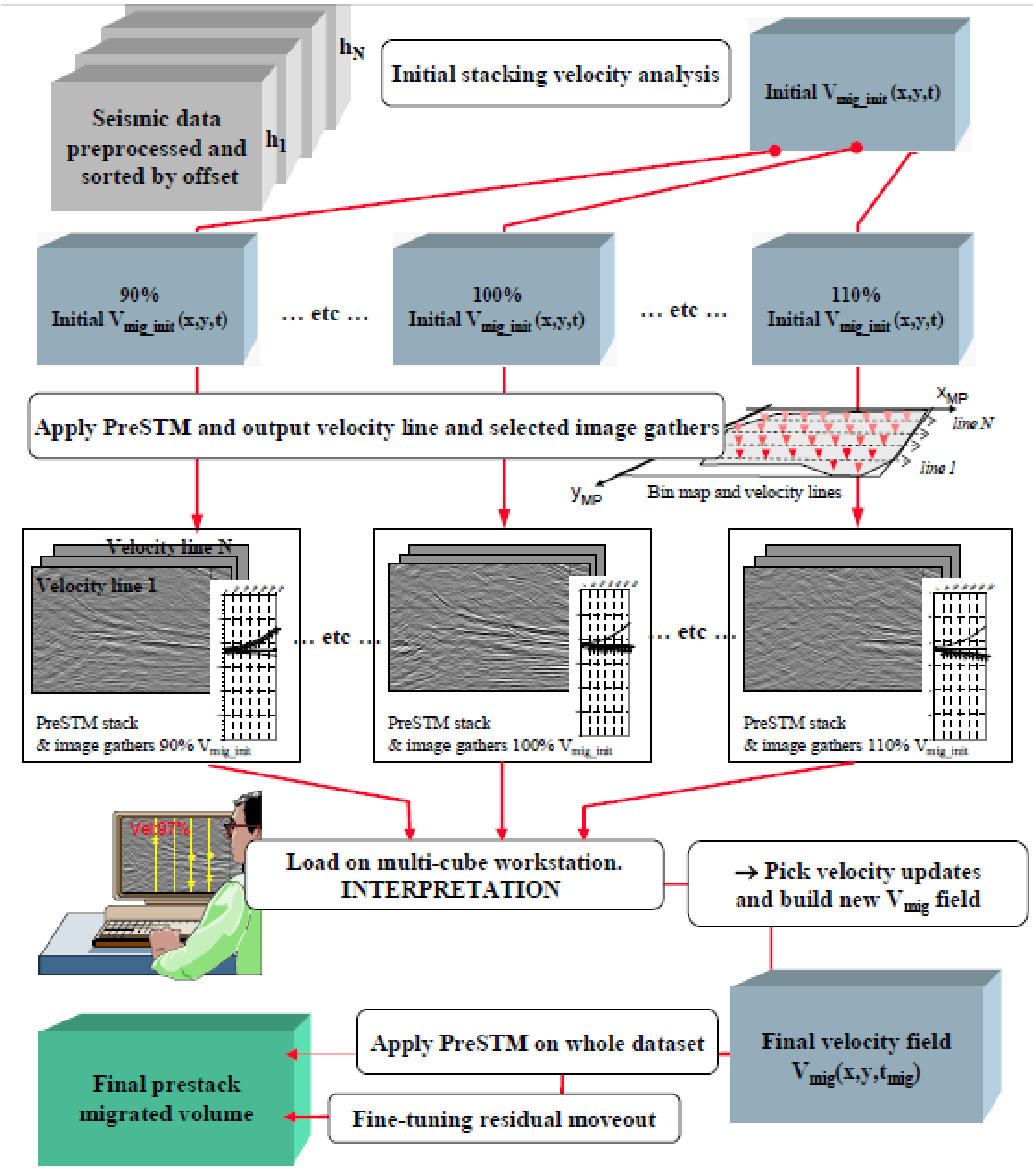
۳-۸-۲ پویش توابع سرعتِ کوچ درPSTM به روش کیرشهف

این روش تحلیل سرعت در توالی پردازشی PSTM در شکل(۳-۱۲) نمایش داده شده‌است. در این روش به جای به روز کردن یک مدل سرعت اولیه با استفاده از تحلیل سرعت باقی مانده، با آزمایش توابع سرعت مختلف و انتخاب یکی از آن ها که بهترین نتیجه را می دهد، مدل سرعت را به روز می کنیم. قضاوت در مورد نتایج بهینه به معیار های هدف که عمدتاً تفسیری هستند، بستگی دارد. مراحل روش به این ترتیب است:

[1]- Sample rates

- مرحله اول همانند روش پیشین است که داده ها پیش پردازش شده و به صورت دور افت مشترک مرتب می شوند و یک میدان سرعت اولیه نیز ساخته می شود.

- سپس محدوده ای از درصد ها، به طور شاخص ۵ تا ۱۰ مقدار از ۸۰٪ تا ۱۱۰٪ بر روی میدانِ سرعتِ (حالت سه بعدی) اولیه $V_{mig-init}(x,y,t)$ اِعمال می گردند.



(شکل ۳-۱۲) تحلیل سرعت به روش پویش سرعت ها در کوچ زمانی پیش از بر انبارش(روبین، ۲۰۰۳).

- پس از آن PSTM با استفاده از هر یک از این میادین سرعت، انجام شده و در حالت سه بعدی تنها نتایج بعضی از خطوط و برداشت های تصویری آن ها برای مرحله بعد آماده می شوند. در حالت دو بعدی نیز نتایج نهایی کوچ، یعنی مقطع بر انبارش شده PSTM و تعدادی از برداشت های تصویر انتخاب می شوند. ذکر این نکته لازم است که کوچ کیرشهف بر خلاف کوچ های دیگر مانند کوچ تفاضل محدود، اجازه محاسبه و نمایش زیر مجموعه ای از نتایج خروجیِ داده ها را به ما می دهد و نیاز به صرف زمان برای به دست آوردن نتایج از کل داده ها نداریم.

- نتایج به دست آمده در پروژه های بزرگ بر روی رایانه های ایستگاه کاری[1] برای تفسیر بیشتر بارگذاری می گردند و این جاست که مفسر وظیفه انتخاب این که چه درصدی از سرعت ها بهترین نتایج را در یک محل خاص فراهم می کنند، به عهده می گیرد. انتخاب او بر اساس این موارد است:

- به خط شدگی رخداد ها در برداشت های تصویری به عنوان معیار هدف.
- معیارهای دقیق تر از جمله تصویر کردن درست محل برخورد لایه ها و صفحات گسل ها و متمرکز کردن پراش ها.
- و معیارهای کاملاً تفسیری مثل شناسایی ویژگی های ساختمانی و رسوب شناسیِ مورد انتظار در محیط تحت مطالعه.

- نتایج این مرحله تفسیری دست چین کردن یک سری از درصدها و نمونه های غیر یکنواخت در مجموعه ی x,y,t است. این نقاط دست چین شده برای به روز کردن مدل سرعت اولیه و به دست آوردن مدل سرعت نهایی کوچ به کار می روند.

- در مرحله آخر هم، کوچ زمانی پیش از بر انبارش کیرشهف با مدل سرعتِ به روز شده بر روی داده ها اِعمال می شود. پس از آن می توان با بر انبارش مجموعه داده های PSTM شده، مقطع بر انبارش شده نهایی را به دست آورد و یا ترجیحاً یک مرحله تحلیل برون راند باقی مانده را انجام داده و سپس

[1]- Workstation computers

بر انبارش را انجام داد. روش پویش سرعت ها از نظر محاسباتی پر هزینه تر و طولانی تر از روش های قبل است و دلیل عمده آن، مرحله دست چین کردن سرعت ها بر اساس دیدِ تفسیری است.

۳-۹ مزایا و محدودیت های روش PSTM

روش PSTM مانند هر روش دیگری در فرآیند کوچ دارای مزایا و محدودیت هایی است.

- روش PSTM به ما این امکان را می دهد که در مقطع کوچ داده شده بتوان آنالیز سرعت انجام دهیم که این مزیت بزرگی نسبت به سایر روش ها است.
- در روش PSTM مرزهای بسیار تندی در بین فصل مشترک ها ایجاد می شود که این مشکل هنگامی پیش می آید که از سرعت کوچ مناسبی استفاده نشود.
- افقی بودن رخدادها در برداشت های تصویری شرط لازم در صحیح بودن جواب نهایی است اما شرط کافی نمی باشد. بدین معنی که افقی بودن رخدادها الزاماً به معنی درست بودن مدل بدست آمده نمی باشد. در برخی موارد رخدادهای افقی با آنالیز سرعت اشتباه نیز حاصل می شود که این مورد در صنعت بسیار مشاهده می شود.
- وجود رخدادهای بازتابی تند در نقاط کوچ، احتمال ایجاد خطا در نشان دادن محل واقعی بازتابنده را افزایش می دهد. این اتفاق حتی در هنگامی که تغییرات سرعت جانبی در محیط وجود نداشته باشد نیز رخ خواهد داد.

البته لازم به ذکر است که روش PSTM تا سالهای متمادی و تاکنون نیز به عنوان روش استاندارد در فرایند کوچ مورد استفاده قرار گرفته و می‌گیرد. با این حال این فرایند در حوزه زمان انجام گرفته و تضمینی در مورد نشان دادن محل دقیق بازتابنده ها ارائه نمی دهد. مدل سرعتی که از آنالیز سرعت در این روش بدست می آید دارای خطا بوده و لازم است که در استفاده آن به منظور مقاصد بعدی از جمله تفسیر زمین شناسی و انتقال آن به حوزه عمق دقت کرد. کشیدگی به بالا و کشیدگی به پایین از جمله مسائلی است که در این مقاطع شایع می باشد. بدین معنی که در صورت وجود لایه ای با

سرعت بالا، سایر ساختارهای زیر این لایه به سمت بالای مقطع کشیدگی پیدا می کنند. عکس این حالت هنگامی رخ خواهد داد که لایه ایی با سرعت پایین در ساختارهای زیر سطحی حضور داشته باشد که در این صورت سایر ساختارهای زیر این لایه کم سرعت، به سمت پایین مقطع کشیده می شوند. همچنین روش PSTM بازتابنده های زیر ساختارهای پیچیده را به خوبی تصویر نمی کند. بدین معنی که در صورت وجود تاقدیس در مقطع، سایر ساختارهای کناری و زیر تاقدیس به خوبی تصویر نخواهند شد.

۳-۱۰ کوچ عمقی پیش از برانبارش (PreSDM)

اکنون می توان مفهوم PreSDM را به صورت کامل توضیح داد. در بخش های قبل مشاهده کردیم که چگونه به کمک پس انتشار موج از گیرنده به نقطه D در عمق، انتشار موج از چشمه به نقطه D و سپس با ایجاد شرایط تصویرسازی، می توان میزان بازتاب در نقطه D را محاسبه نمود. در شکل(۳-۱)، این محاسبات برای شرایطی نشان داده شده که تنها از یک برداشت انفجار (برداشت انفجار مشترک CS) و بنابراین تنها از یک منحنی پراش برای وزن دهی نمونه ها استفاده شده بود. میزان بازتاب در این حالت توسط رابطه(۳-۶) محاسبه می شود:

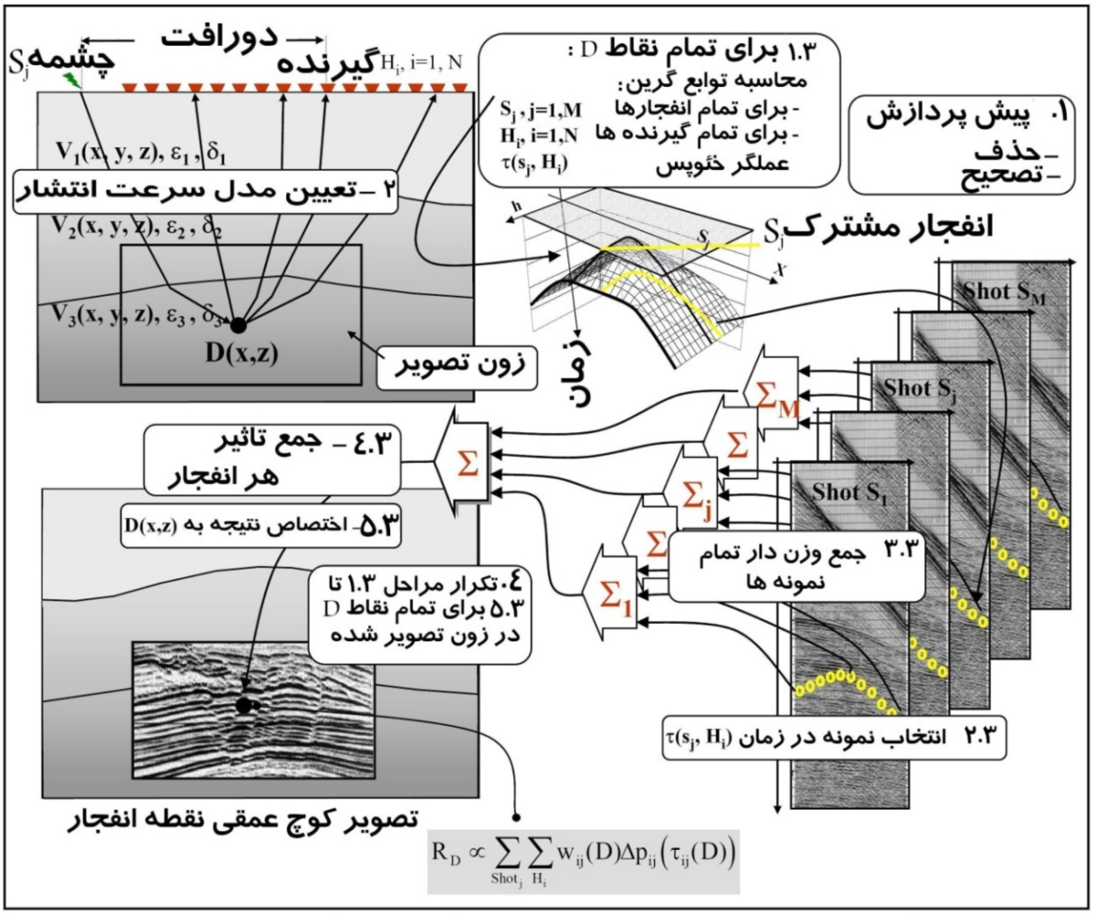
$$R_j = \sum w_{ij} \cdot \Delta P(x_i, t - (\tau_{ij} + \tau_{sj})) \qquad (۳\text{-}۶)$$

اما اکنون حالت واقعی را در نظر بگیرید که در آن چندین برداشت نقطه انفجار مشترک در دست است (شکل ۳-۱۳). در این حالت برای یک نقطه D ، یک منحنی بر روی هر برداشت وجود دارد. لازم به ذکر است که منحنی های مذکور برای نقطه D در برداشت های متفاوت، یکسان خواهد بود.

بنابراین اگر مقطعی عمود بر تمام این برداشت ها در نظر بگیریم، منحنی ها خود را به صورت یک خط افقی و صاف نشان خواهند داد. به این مقطع جدید, برداشت تصویری گفته می شود که پیشتر در مورد آن صحبت کرده بودیم. مراحل کوچ PreSDM با برداشت های نقطه انفجار مشترک در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، در این حالت با دو مرحله جمع روبرو

هستیم. در مرحله اول پس از محاسبه توابع گرین برای منحنی های مربوط به نقطه D و وزن دار کردن نمونه ها در هر برداشت به صورت جداگانه، این نمونه های وزن دارشده با یکدیگر جمع می شوند. این فرایند برای تمام برداشت های نقطه انفجار مشترک انجام می شود. سپس تمام حاصل جمع های بدست آمده، با هم جمع شده و حاصل به نقطه D اختصاص داده می شود. رابطه زیر بیانگر چگونگی انجام این محاسبات است:

$$R(x,z) = \frac{1}{N_{shot}} \sum_{N_{shot}} \sum_{H_i} w_{ij}(x,z) \cdot \Delta p_{ij}(\tau_{ij}(x,z)) \qquad (۳-۷)$$



(شکل ۳-۱۳) مراحل پردازش PreSDM در حالت برداشت انفجار مشترک، توضیح در متن (بعد از روبین، ۲۰۰۳).

در عین حال می توان این محاسبات را برای مختصات نقطه میانی و نیم دورافت نیز انجام داد. در این صورت رابطه (۳-۷) به رابطه زیر تبدیل می شود:

$$R(x,z)=\frac{1}{N_{offset}}\sum_{N_{offset}}\sum_{MP} w_{ij}(x,z)\cdot \Delta p\tau_{ij} \qquad (۸-۳)$$

باید دقت کرد که تبدیل مختصات، زمان سیر (τ_{ij}) موج را تغییر نخواهد داد. ولی وزن نمونه ها (w_{ij}) تغییر خواهد کرد. اما باید در نظر داشت که در هر دو حالت تنها یک جواب برای R در نقطه D وجود دارد.

مراحل کوچ PreSDM در حالت دورافت مشترک به صورت زیر است (شکل ۳-۱۴) :

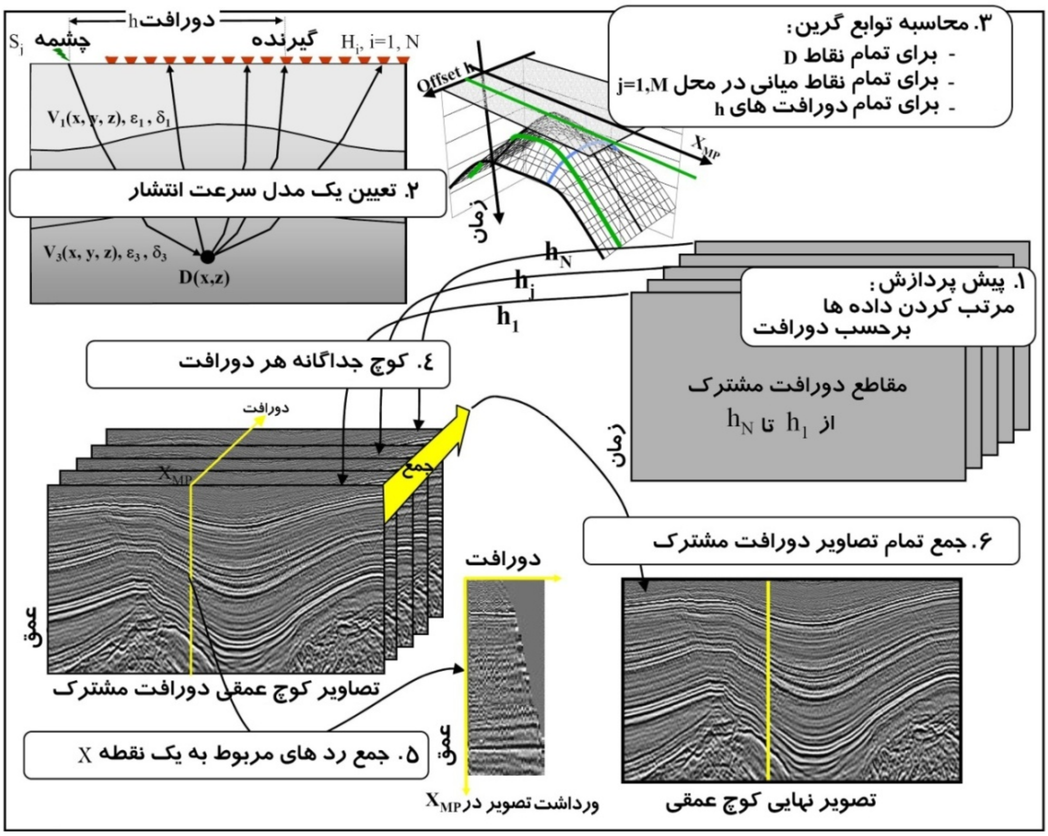
۱- در ابتدا داده ها در مقاطع دورافت مشترک مرتب می شوند. هر مقطع با میزان دورافت آن مشخص می شود و هر رد بر روی مقطع با مقدار نقطه میانی آن X_{MP} تفکیک خواهد شد.

۲- برای هر مقطع دورافت مشترک و نقطه D ، نمونه های وزن دار در طول منحنی $\tau_{ij}(x,z)$ با یکدیگر جمع می شوند. این منحنی دارای دورافت ثابت است ولی نقطه میانی آن متفاوت می باشد. در محیط های با سرعت ثابت، این منحنی با ثابت قرار دادن مقدار h و متغیر در نظر گرفتن X_{MP} در رابطه (۳-۵) بدست می آید. ولی در محیط های ناهمگن، این مقدار توسط تکنیک دنبال کردن پرتو از S_j بهD و از D به r_j حاصل می شود. مقدار دورافت در این حالت نیز ثابت است.

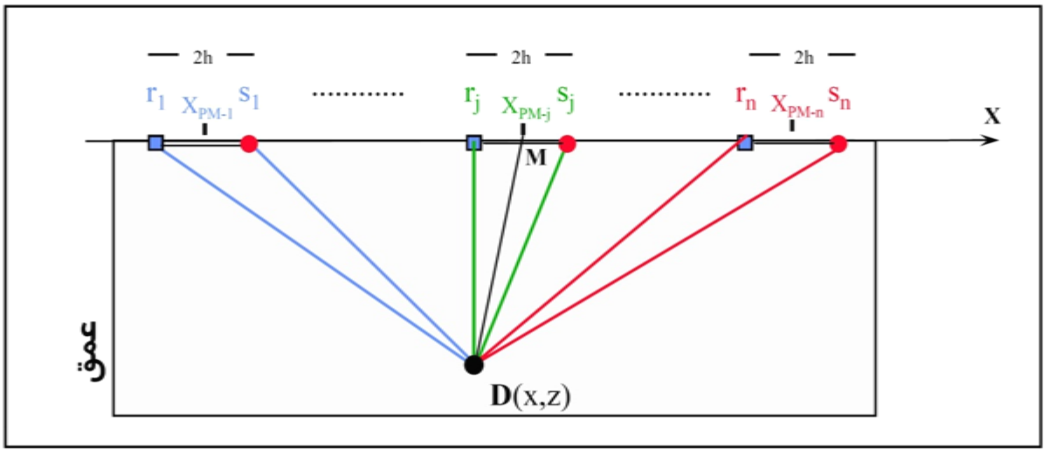
۳- اکنون اولین فرایند جمع کردن در رابطه (۳-۸) صورت می گیرد. در این مرحله مقادیر بدست آمده در یک مقطع دورافت با یکدیگر جمع می شوند. شکل (۳-۱۵) چگونگی انجام این فرایند را نشان می دهد. در این حالت با ثابت در نظر گرفتن دورافت، نقطه میانی تغییر داده می شود و پرتو از S_j بهD و از D به r_j دنبال می شود. سپس تمام این مقادیر با یکدیگر جمع شده و به نقطه D اختصاص داده می شود.

۴- مراحل فوق به صورت جداگانه برای هر دورافت انجام می شود. اگر مدل سرعت استفاده شده برای زمان سیر صحیح باشد، در آن صورت تعداد N مقطع یکسان برای دورافت های مختلف خواهیم داشت. (بدون در نظر گرفتن تاثیرات دامنه در مقابل دورافت).

۵- اکنون دومین مرحله جمع کردن در رابطه (۳-۸) انجام می شود. در این مرحله تمام مقاطع دورافت مشترک با یکدیگر جمع می شوند. این فرایند باعث افزایش چشمگیری در کیفیت مقاطع نهایی خواهد شد.



(شکل ۳-۱۴) مراحل کوچ PreSDM در حالت مقطع دورافت مشترک.
جزئیات هر مرحله در متن آمده است (بعد از روبین، ۲۰۰۳).



(شکل ۳-۱۵) چگونگی انجام تکنیک دنبال کردن پرتو در دورافت ثابت. در این حالت مقدار دورافت ثابت است در حالی که مختصات نقطه میانی تغییر می کند(بعد از روبین، ۲۰۰۳).

۳-۱۱ کوچ عمقی پس از بر انبارش

در حالت دورافت صفر، به جای چندین مقطع دورافت مشترک تنها دارای یک مقطع دورافت در h=0 هستیم. در این حالت هم چنین با پرتوهایی سروکار داریم که در این پرتوها توابع گرین برای انتشار به سمت بالا و به سمت پایین یکسان است. بنابراین با یک بار محاسبه تابع گرین و دوبرابر کردن آن، می توان زمان پردازش را نصف کرد. در این حالت تکنیک PreSDM برای مقاطع دورافت مشترک که در شکل(۳-۱۴) نشان داده شده‌بود، به تکنیک ساده ای تبدیل می شود که اصول آن در شکل(۳-۱۶) نشان داده شده و دارای گام های زیر است:

۱- پیش پردازش داده ها، این مرحله بسیار قبل تر از آن صورت گرفته است.

۲- محاسبه تابع گرین، محاسبه این تابع تنها برای انتشار پرتو در یک جهت محاسبه شده و سپس مقدار آن دوبرابر می شود.

۳- جمع وزن دار نمونه ها در مقطع دورافت صفر در امتداد منحنی گرین. در یک محیط همگن، این منحنی همان هذلولی پراش است.

۴- نتیجه جمع وزن دار به نقطه مورد نظر D اختصاص داده می شود.

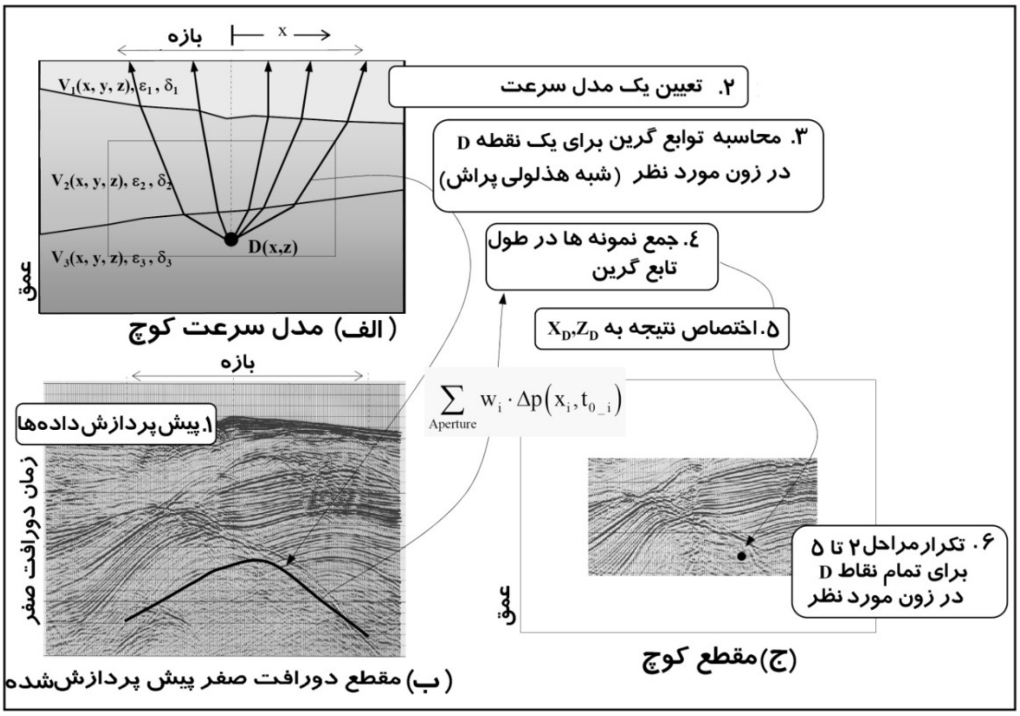
۵- این عمل برای تمام نقاط D موجود در زون مورد نظر برای تهیه تصویر انجام می شود.

در این نوع کوچ، چون با هذلولی پراش سروکار داریم، لذا به آن کوچ برانبارش پراش[1] گفته می شود.

با این وجود در تمامی این روش ها باید چند نکته را مد نظر قرار داد. بسیار مهم است که به یاد داشته باشیم برای انجام فرآیند کوچ لازم است که توابع گرین به صورت دقیق محاسبه شوند و هم چنین مدل درستی از انتشار سرعت نیز در دسترس باشد. در مواردی که مدل سرعت دارای پیچیدگی هایی باشد، تابع گرین برای یک پرتو چندین مقدار بدست می‌دهد. بدین معنی که چندین نمونه در عملیات انتگرال گیری در یک ردلرزه‌ی بخصوص شرکت می‌کنند. این پدیده به‌ویژه در جاهایی که با

[1]- Diffraction Stack Migration

بازتاب های مکرر مواجه هستیم دیده می شود. در این مواقع، از تکنیک دنبال کردن دینامیکی پرتو[1] استفاده می شود (روبین، ۲۰۰۳).



(**شکل ۳-۱۶**) کوچ عمقی پس از بر انبارش، در حالت دورافت صفر (بعد از روبین، ۲۰۰۳).

در فصل های بعدی به چگونگی تلفیق روش بر انبارش سطح بازتاب مشترک و کوچ زمانی پیش از بر انبارش خواهیم پرداخت.

[1]- Dynamic Ray Tracing

فصل چهارم

اِعمال پردازش معمول و روشCRS بر روی داده‌های واقعی

فصل چهارم

اِعمال پردازش معمول و روشCRS بر روی داده های واقعی

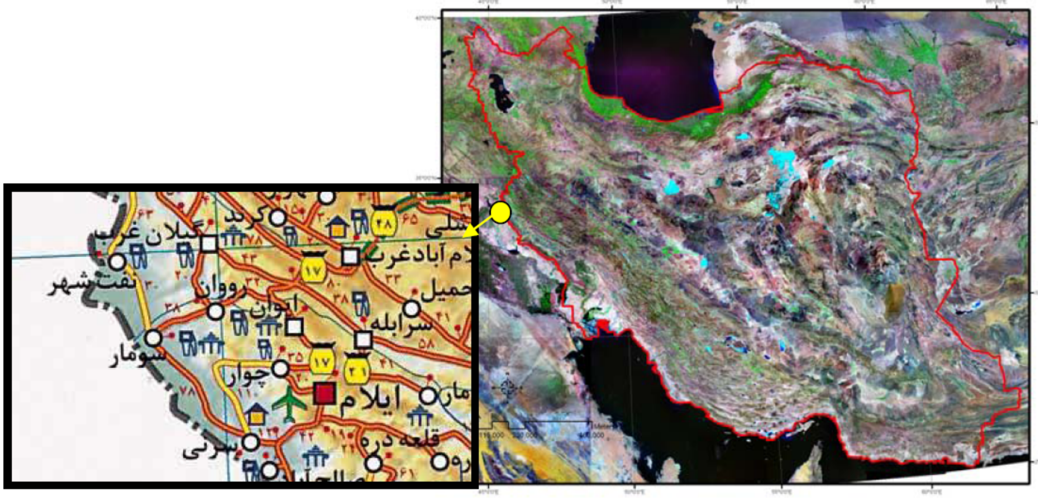
۴-۱ مقدمه

برای بررسی و مقایسه نتایج روش برانبارش سطح بازتاب مشترک با استراتژی تعمیم یافته، روش مرسوم پردازش و نهایتاً روش مد نظر در این تحقیق، یک خط دوبعدی لرزه ای واقعی که در خشکی برداشت شده بود، انتخاب گردید و پردازش به این روش ها بر روی آن انجام گرفت، که در این فصل و فصل بعدی به مراحل مختلف انجام این روش ها و مقایسه نتایج پرداخته می شود. از آن جا که امروزه اولویت فعالیت های اکتشافی و بهره برداری در کشور پهناور ما، مناطق مرزی و میدان های مشترک است؛ داده های لرزه ای که در اختیار ما قرار گرفتند، مربوط به یکی از میادین مشترک در غرب کشور می باشد، تا با انجامِ روش های نوین، امکانِ بهبود نتایج حاصل را بررسی نماییم. خط لرزه ای در نظر گرفته شده مربوط به یک ساختار نسبتاً پیچیده (همان طور که در فصل اول توضیح داده شد) در محیطی با زمین ساختِ گسل های رورانده و چین خوردگی می باشد.

۴-۲ محل مورد مطالعه و مشخصات برداشت

میدان نفت شهر در بخش انتهایی شمالیِ ناحیه ی چین خورده ی زاگرس و ناحیه دزفول و در نوار مرزی ایران و عراق قرار دارد و تاکنون در حدود ۲۷ حلقه چاه بر روی این میدان حفاری شده است. این میدان در استان کرمانشاه در ۶۰ کیلومتری شهر قصر شیرین و شمال شهر سومار در نفت شهر قرار دارد و نام سابق آن نفت شاه بوده، بخش شمالی آن با میدان نفت خانه عراق مشترک می باشد. شکل (۴-۱) موقعیت جغرافیایی نفت شهر را نسبت به ایران و شهرستان های ایلام و سومار، نشان می دهد. اولین چاه در این میدان در سال ۱۳۰۶ حفاری شد و از سال ۱۳۱۴ چاه های توسعه ای و تولیدی حفاری گردیدند. مخزن اصلی آن آسماری، نفت آن ۴۲ درجه API و مقدار گوگرد آن ۰.۶

درصد است و تولید روزانه آن تا قبل از جنگ عراق با ایران در سال۱۳۵۹ حدوداً ۱۶۰۰۰ بشکه در روز بوده است(مطیعی،۱۳۷۴). بر اساس گزارش های سال ۱۹۹۸ ذخیره میدان درحدود۱۵۰میلیون بشکه نفت تخمین زده می شود. از اهداف برداشت لرزه نگاری، شناسایی پتانسیل و هم چنین تهیه نقشه مناسب از میدان نفت شهر و ساختمان های اطراف می باشد که در این راستا تا کنون بر روی این میدان دو پروژه ی مجزای عملیات لرزه نگاری دو بعدی انجام شده است. پروژه کوهستان-۱ در سال ۱۳۸۵ حدود ۵۲۲ کیلومتر از ناحیه مهران تا نفت شهر و پروژه تنگ هُمام در سال ۱۳۸۹ حدود ۹۵۰ کیلومتر را پوشش داده است (ملکی،۱۳۹۰ الف) . منطقه عملیات لرزه نگاری دو بعدیِ تنگ همام ، بر



(شکل ۴-۱) موقعیت جغرافیایی نفت شهر و میدان نفت شهر

روی نوار مرزی، از سومار در جنوب غرب منطقه، تا قصر شیرین و امامزاده عباس در شمال غرب منطقه، خطوط برداشتیِ مناطق داروانا، نفت شهر و تنگ همام را در بر می گیرد (جمالی، ۱۳۸۹).

همان طور که گفته شد مخزن اصلی این میدان، سازند آسماری می باشد. سنگ آهک آسماری وسری های معادل زمانی آن، یکی از مهم ترین سنگ‌های مخزن دنیا به حساب می آید که تخمین زده می شود ۹۰٪ از هیدروکربون‌های قابل بازیابی ایران و عراق را نگهداری می‌کند (غضبان و همکاران[1]،۲۰۰۷). سازند سطحی منطقه، آغاجاری است که از قطعات آواری از سیلت گرفته تا کنگلومرا و هم چنین میان لایه های ماسه سنگی و ماداستون تشکیل شده است. در بعضی نواحی،

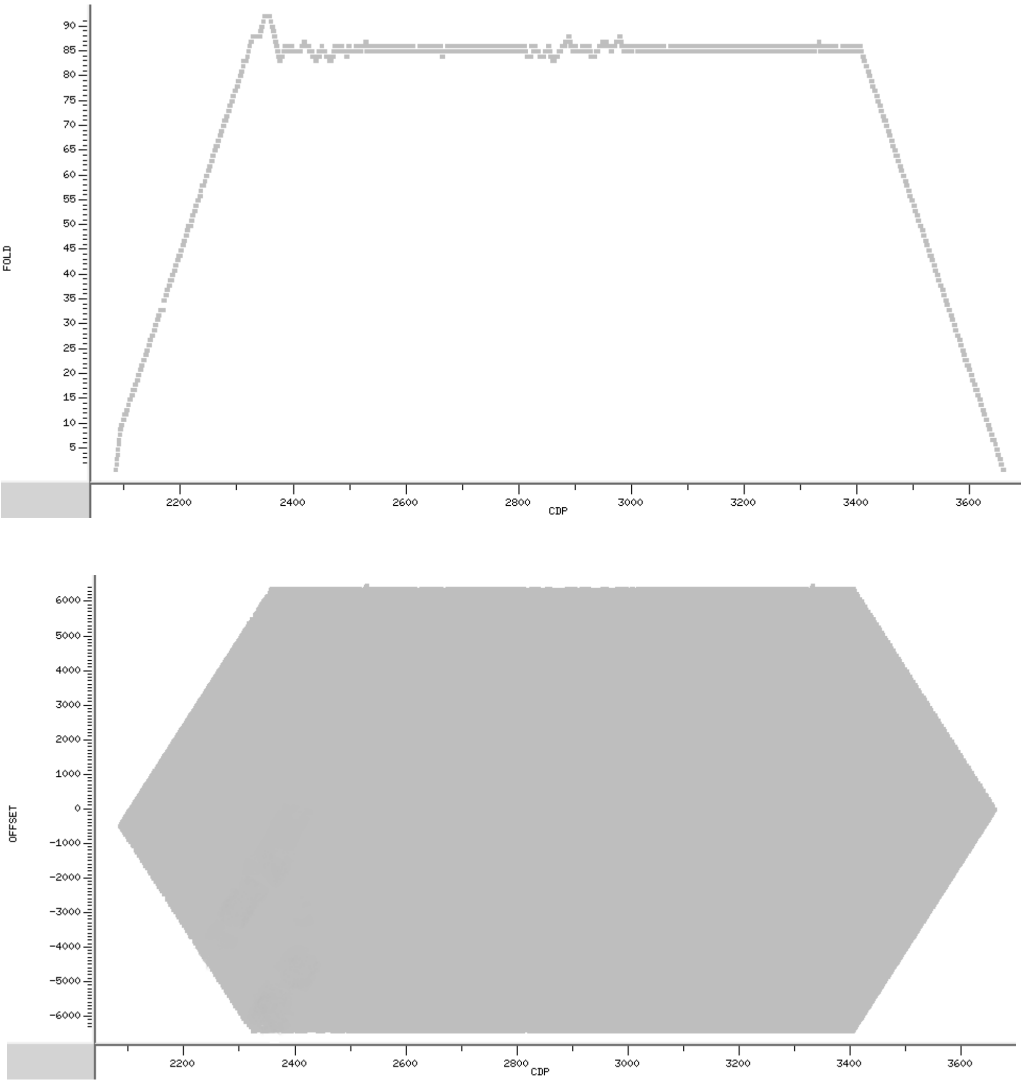
---

[1]- Ghazban

رویِ سازند آغاجاری از سنگِ سیلت، مارل و ماسه سنگ که متعلق به سازند لهبری هستند، پوشیده شده است. در راس ساختمان به طور جزئی سازند گچساران برونزد دارد. با توجه به اطلاعات زمین شناسی ضخامت‌زیادی از سازندهای آغاجاری، لهبری وگچساران، ساختمان هدف یعنی آسماری را می‌پوشانند و قاعدتاً در افق‌های زیرین آن نیز سازند پابده که سنگ منشا است وجود خواهد داشت، البته در بخش هایی هم سازند سروک با آسماری در تماس است(ملکی، ۱۳۹۰ب). سازند تبخیری گچساران، سنگِ پوش[1] میدان های نفتی بزرگ در منطقه زاگرس و خلیج فارس است و هم چنین ذخایر طبیعی سولفور زیادی را در بر می‌گیرد. این سازند تحرک و پویایی قابل توجهی دارد به طوری که نمی توان ضخامت آن را دقیقاً تخمین زد و معمولاً بین ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متر در نظر گرفته می شود و جنس آن از انیدریت[2] (سنگ گچ) با مقدار کمی آهک، شیل و مارل است. جنس سازند پابده نیز متشکل از شیل، مارل و آهک با میان لایه های رُسی می باشد (غضبان و همکاران، ۲۰۰۷).

از میان خطوط برداشت شده یک خط برای پردازش انتخاب می شود که طول آن درحدود ۲۰ کیلومتر می باشد. در این خط ۲۶۶ انفجار به انجام رسیده که هر انفجار توسط ۵۱۲ کانال گیرنده دریافت شده است. کمترین دورافت برای انفجار های مذکور ۹ متر و بیشترین دورافت ۶۴۶۳ متر می باشد. گیرنده ها با فاصله ۲۵ متری از یکدیگر در طول خط چیده شده اند. در حالی که فاصله نقاط چشمه از یکدیگر ۷۵ متر است. مشخصات هندسی ذکر شده موجب ایجاد بیشینه فولد ۸۶ می گردد، ولی در تعداد کمی از CDP ها به دلیل وجود کانال های بیشتر در برداشت، فولد ۹۲ است. توزیع فولد و دورافت در این خط برداشت در شکل (۴-۲) نشان داده شده و مشخصات برداشت را نیز در جدول (۴-۱) مشاهده می کنید.

1- Cap rock
2- Anhydrite



(**شکل ۴-۲**) توزیع فولد(بالا) و دورافت(پایین) در نقاط میانی مشترک برداشت دوبعدی ساختار پیچیده.

(**جدول ۴-۱**) پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده‌های ساختار پیچیده.

هندسه چشمه و گیرنده	
تعداد چشمه‌ها	۲۶۶
فاصله چشمه‌ها	۷۵ متر
تعداد گیرنده‌ها	۷۹۹
فاصله گیرنده‌ها	۲۵ متر

هندسه نقطه میانی و دورافت	
تعداد شبکهCMP	۱۵۷۶
حداکثر فولد CMP	۹۲
فاصله بین شبکه CMP	۱۲.۵ متر
بازه دورافت	۶۳۸۹- ، ۶۴۶۳

پارامترهای ثبت	
زمان ثبت	۵ ثانیه
فاصله نمونه برداری	۴ میلی ثانیه

محتوای فرکانس	
فرکانس	۸ تا ۱۰۰ هرتز
فرکانس غالب	۴۰ هرتز

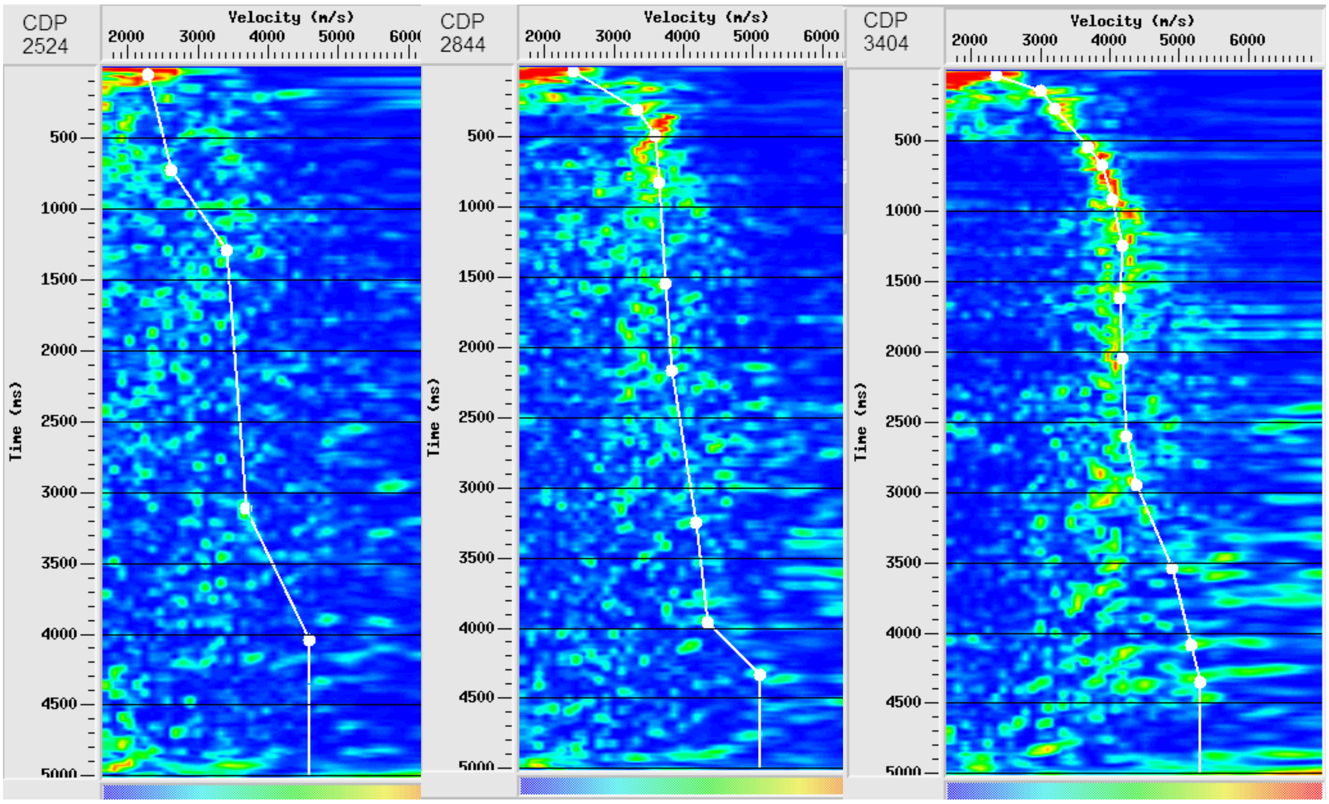
۳-۴ پیش پردازش

به منظور بالا بردن نسبت سیگنال به نوفه و تهیه داده های مورد نیاز جهت انجام مرحله برانبارش، مراحل مقدماتی پردازش داده های لرزه ای با استفاده از نرم افزار ProMax به انجام رسید. این کار در وهله اول با تطبیق دادن موقعیت هندسی نقاط چشمه و گیرنده و تعریف ارتباط بین هر انفجار با گیرنده های درگیر آغاز شد. در این مرحله با تعریف بین های CMP [1]، ردهای لرزه ایِ مربوط به هر CMPرا مشخص نموده و کار را با ویرایش ردها ادامه دادیم. در این قسمت به حذف ردلرزه‌های دارای نوفه‌ای که فاقد سیگنال[2] و غیرقابل بازیابی بودند، پرداختیم و همچنین ردهای لرزه ایِ دارای قطبیت[3] معکوس را نیز تصحیح نمودیم. سپس به تصحیح استاتیک داده های مذکور پرداخته شد و اثر ارتفاع و سرعت لایه هوازده را از روی داده های مذکور حذف نمودیم تا داده ها هم سطح گردند. پس از آن با انجام تحلیل داده ها در حوزه f-k نوفه های موجود در داده ها را که اغلب نوفه هایی خطی بودند شناسایی و فیلتر کرده و با بهره گیری از فیلتر های میانگذر[4] (۶۰-۵۰-۲۰-۱۰) نسبت سیگنال به نوفه را تا اندازه قابل قبولی بهبود بخشیدیم. در مرحله بعدی با بازیابی دامنه واقعی[5]، کاهش دامنه ناشی از پیشرفت موج در زمین را جبران کرده و سپس با حذف کردن قسمت بالایی داده ها که مربوط به امواج انکساری و مستقیم بود، داده ها را بر اساس CMP دسته بندی کردیم. مرحله بعدی مرحله انجام واهمآمیخت برای بالا بردن وضوح عمودی تصویر بود. داده های به دست آمده از مراحل مذکور، داده های ورودی برای برانبارش به هر یک از روش های NMO، CRS و CDS می باشند.

[1]- CMP Bins
[2]- Dead trace
[3]- Polarity
[4]- Bandpass filters
[5]- True Amplitude Recovery

۴-۴ پردازش به روش مرسوم

همان طور که در فصل اول به آن اشاره شد، در روش متداول پردازش داده های لرزه ای برای به دست آوردن مقطع دورافت صفر یا ZO به سرعت برانبارش نیازمندیم. از این رو تحلیل سرعت را می توان اساسی ترین مرحله پردازش به روش متداول تلقی کرد. در این مرحله ما تحلیل سرعت برای داده های خروجی از مراحل پیش پردازش را به انجام رساندیم(شکل۴-۳).



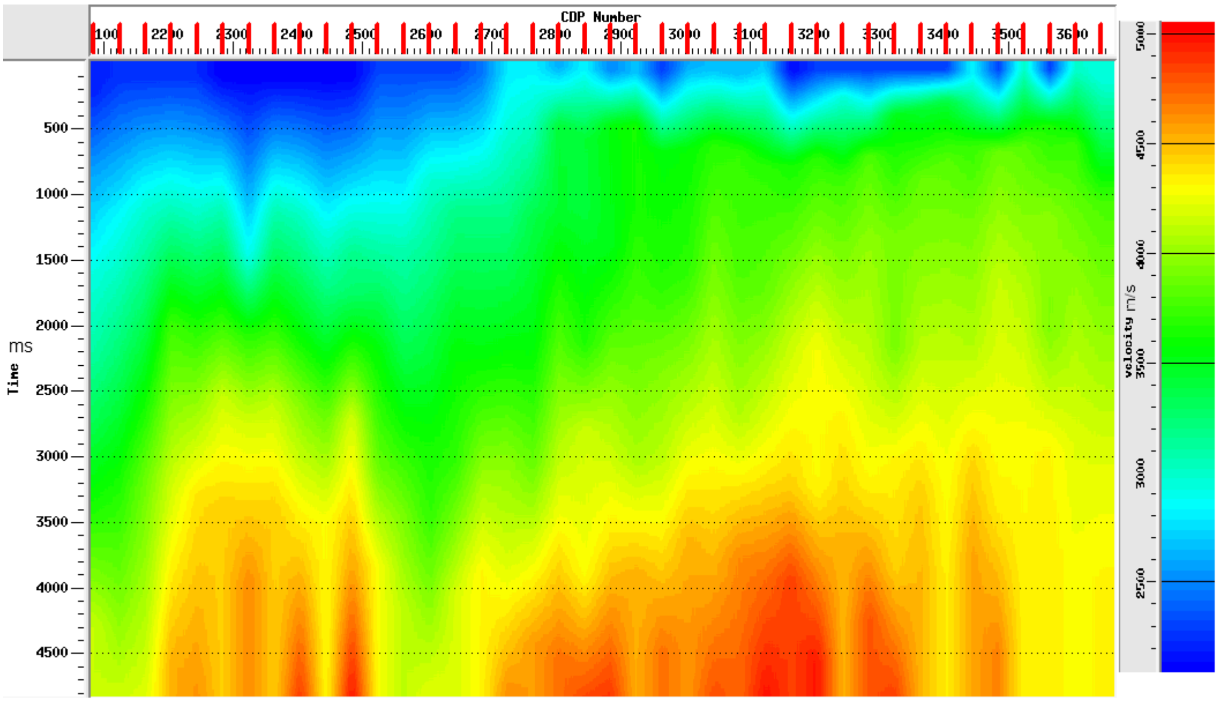
(شکل ۴-۳) طیف‌های سرعت به ازای هر ۴۰ نقطه میانی مشترک برای خط برداشت دوبعدی ساختار پیچیده.

فاصله انتخاب شده برای محل های تحلیل سرعت در این مرحله، هر ۴۰ CMP، یعنی نقاطی با فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر انتخاب شدند. درتعداد زیادی از این طیف‌های سرعت، انتخاب تنها یک نقطه به عنوان سرعت برانبارش، مقدور نبود و در مواردی هم روند معمولی افزایش سرعت، با افزایش عمق دیده نمی‌شد. این مسئله به خاطر گذشته زمین شناسی منطقه مورد نظر می باشدکه به دلیل چین خوردگی و روراندگی‌های متعدد، لایه‌های قدیمی بر روی لایه‌های جوانتر قرار گرفته و در بعضی اوقات، به همین دلیل با روند کاهشی سرعت رو به رو می‌شویم. اشباع سرعت نیز در بعضی طیف‌های

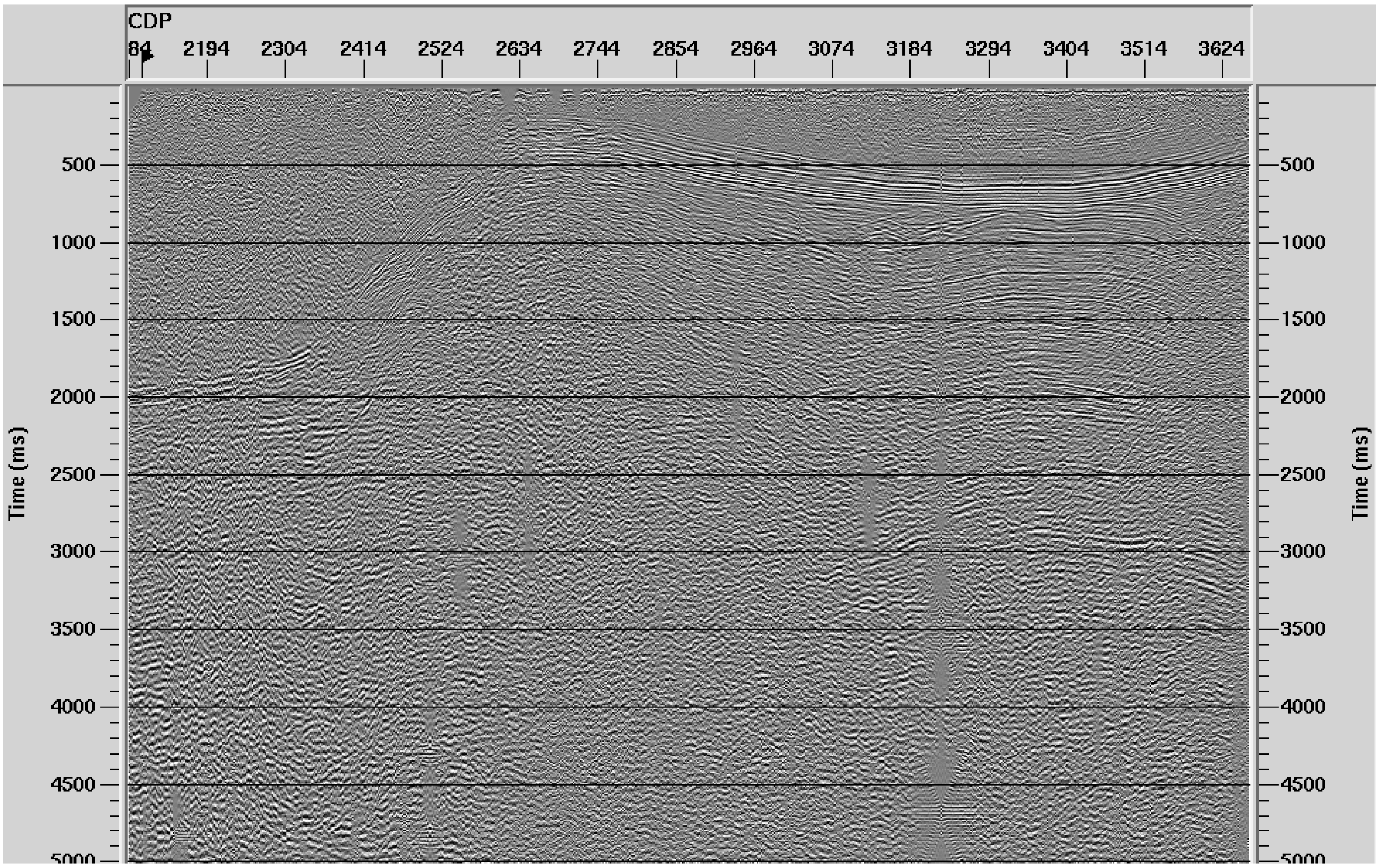
سرعت (شکل ۴-۳،وسط و سمت راست) دیده می‌شود که در این موارد نقش چگالی، از تغییرات سرعت بیشتر می‌شود. پس از آن انجام تصحیح NMO و برانبارش از جمله مراحلی بود که جهت حصول مقطع دورافت صفر با کیفیت مناسب به انجام رسید. شکل(۴-۴) مدل سرعت استفاده شده جهت تهیه مقطعZO حاصل‌از پردازش به روش مرسوم وشکل(۴-۵) خود مقطع ZO را نشان می‌دهد. همان‌طور که از مقطع برانبارش شده پیداست، پیچیدگی منطقه به حدی است که پردازش مرسوم، در ارائه‌ی تصویری خوب از آن، با شکست مواجه می‌گردد.

۴-۴-۱ اعمالِ برون راند شیب

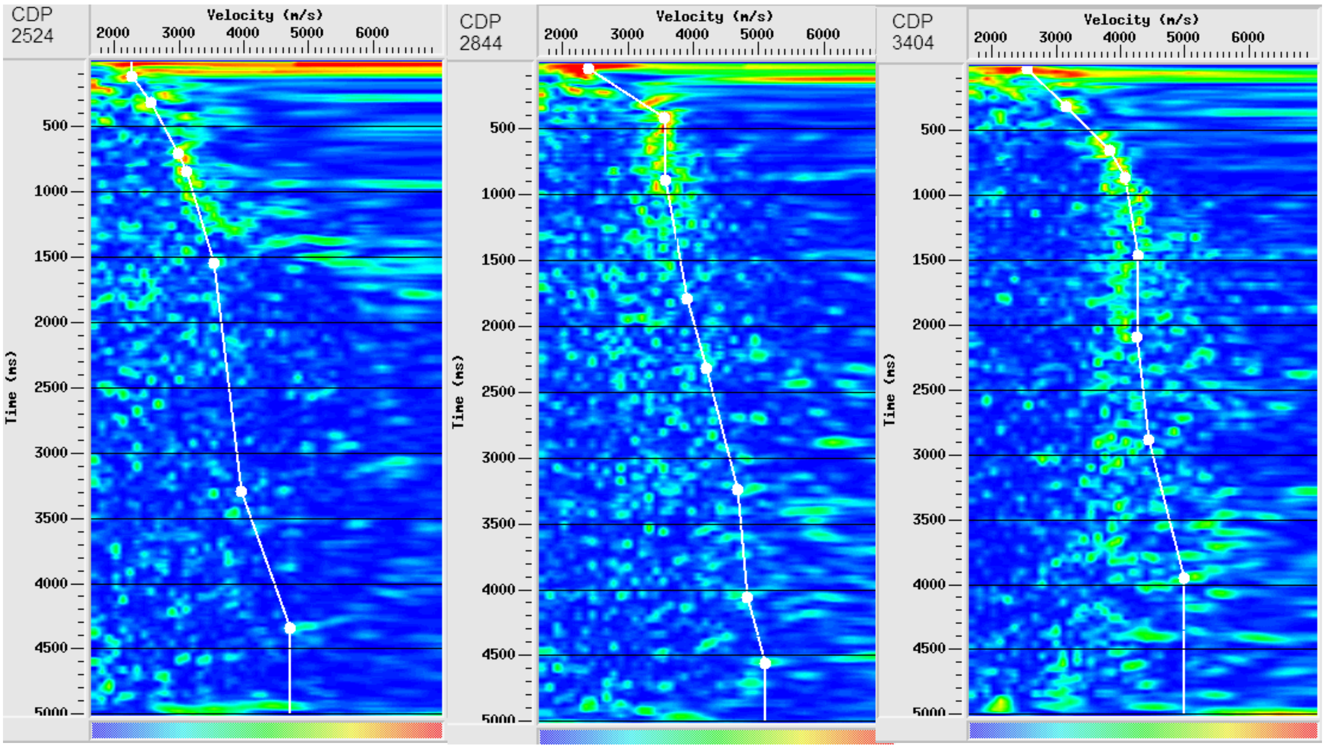
در این مرحله با انجام برون راند شیب قصد داریم تفاوت تحلیل سرعت و مقطع بر انبارش شده نهایی را با تصحیح NMO به تنهایی، نشان دهیم. بنابراین در این مرحله، با انجام تصحیح برون راند شیب بر روی داده‌هایی که تصحیح NMO ، بر روی آن ها انجام شده است، اثرات مربوط به لایه‌های شیب دار بر روی سرعت نیز حذف می شوند واین امر در به خط شدن پدیده‌های شیب دار موثر است. سپس با همین سرعت اولیه که NMO و DMO با آن انجام شده، یک تصحیح NMO معکوس بر روی داده‌ها انجام داده و با تحلیل سرعت برانبارش مجدد، مدل سرعتی جدید به دست می آوریم. (شکل۴-۶ و شکل۴-۷). با انجام مجدد تصحیح NMO با این سرعتِ به دست آمده و برانبارش داده‌ها، مقطع برانبارش نهایی NMO/DMO/Stack را مطابق شکل (۴-۸) به دست می‌آوریم که بهبود تصویر یال سمت چپ تاقدیس نفت‌شهر درآن مشهود است. همان‌طور که در شکل (۴-۳)و(۴-۶) دیده می شود، ۲۵۲۴CDP بر روی لایه شیب دار قرار می گیرد، و تحلیل سرعت قبل و بعد از انجام تصحیح DMO بر روی این ورداشت ، اثرات سرعتی لایه شیب دار را مشخص می نماید.۳۴۰۴CDP نیز در منطقه ای قرار دارد که سرعت با افزایش عمق، تغییر چندانی نمی کند و به اصطلاح به اشباع رسیده، و تغییرات چگالی، تعیین کننده‌ی مقاومت صوتی ظاهری هستند.



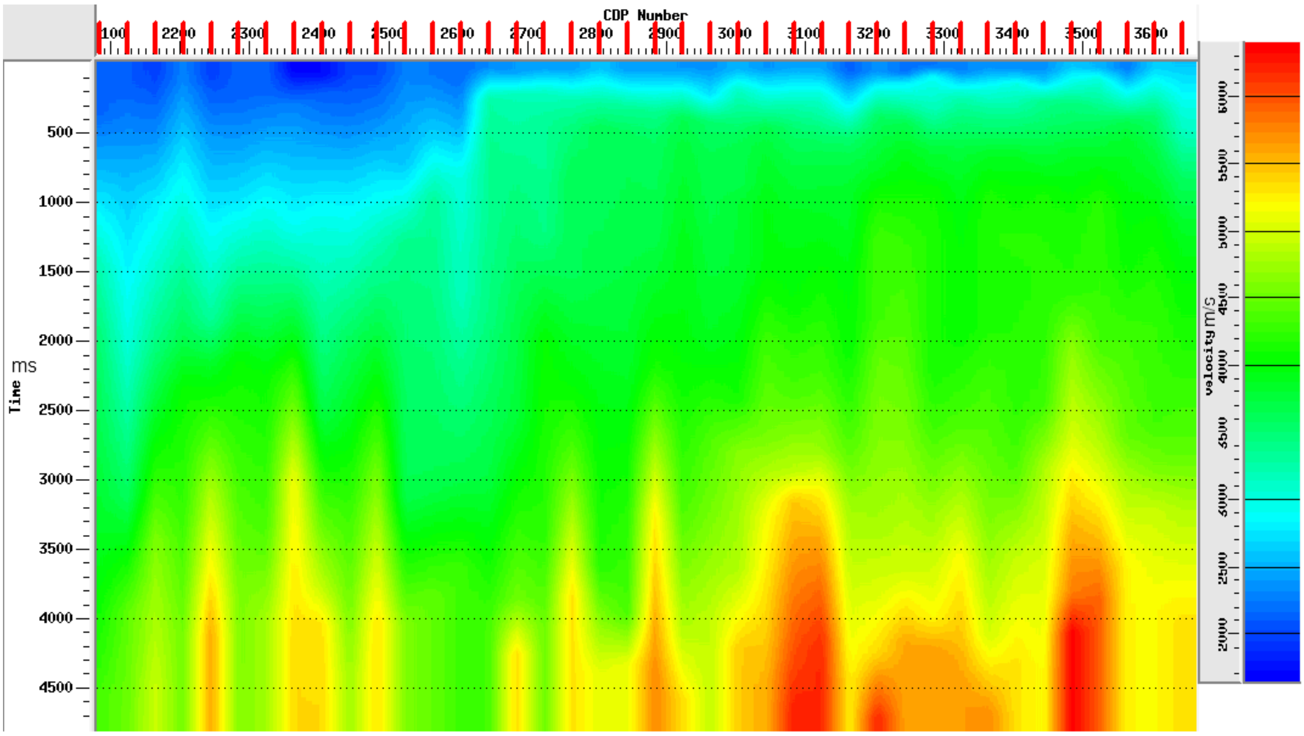
(شکل ۴-۴) مدل سرعت بدست آمده از تحلیل سرعت در پردازش به روش مرسوم(NMO/Stack) داده های دو بعدی ساختار پیچیده



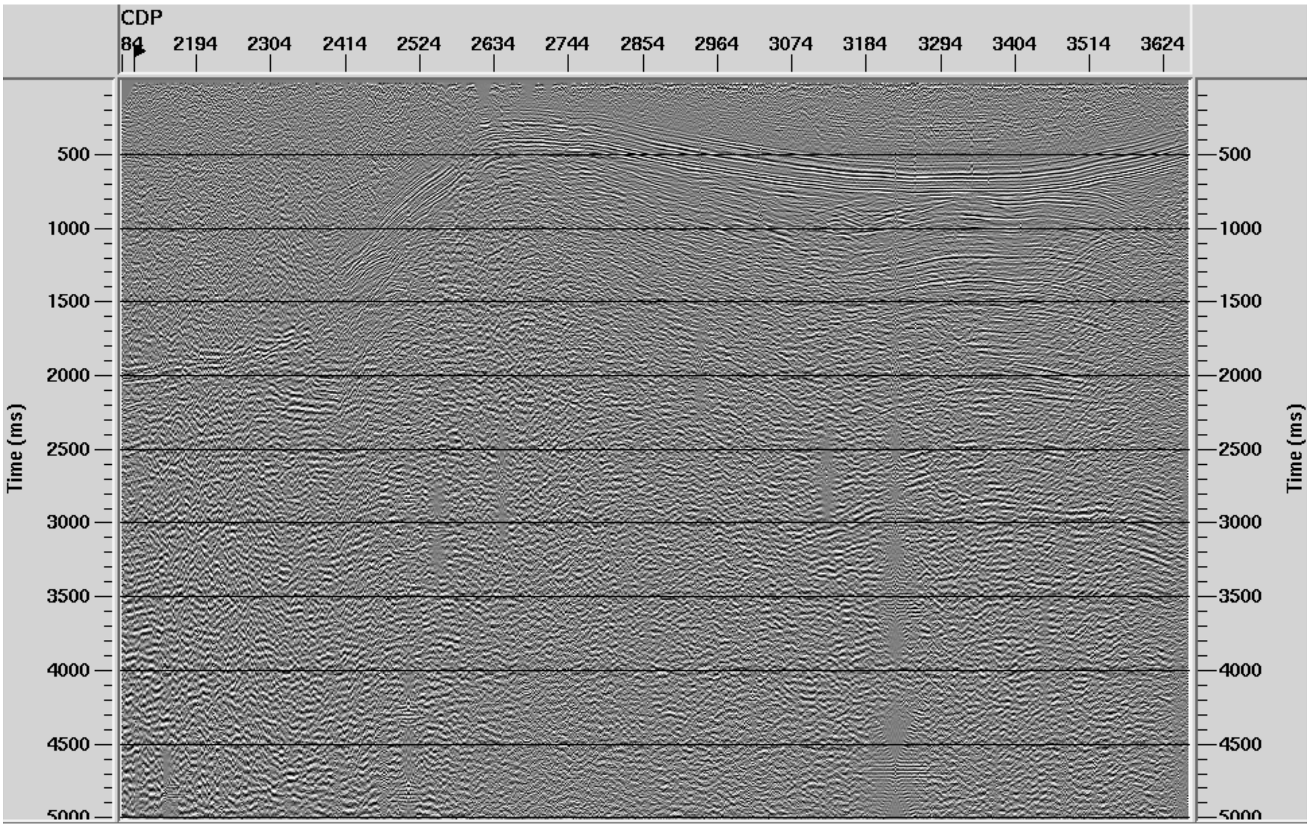
(شکل ۴-۵) مقطع دورافت صفرحاصل از پردازش به روش مرسوم (NMO/Stack) ، مقطع دوبعدی مربوط به ساختار پیچیده.



(**شکل۴-۶**) طیف های سرعت بدست آمده از تحلیل سرعت بعد از انجام NMOو DMO، در مقایسه با شکل(۴-۳)



(**شکل ۴-۷**)مدل سرعت به دست آمده برای انجام تصحیح DMO.



(**شکل ۴-۸**) مقطع دورافت صفرحاصل‌از پردازش‌به‌روش NMO/DMO/Stack ، مقطع دوبعدی مربوط به ساختار پیچیده

۴-۵ پردازش به روش CRS

همان‌گونه که در فصل دوم به آن اشاره شد در پردازش به روش CRS باید سه نشانگر جنبشی میدان موج را پیدا کرد. جستجوی سه پارامتری، یک فرایند وقت گیر و پر هزینه می باشد. بنابر این برای یافتن این سه مشخصه ما از سه جستجوی تک پارامتری شرح داده شده در فصل مربوطه استفاده کردیم. تعیین پارامترهای مناسب جهت عملیات جستجو، امری بسیار مهم در پردازش به روش CRS می باشد. یکی از این پارامتر ها بازه[1] CRS است که ابتدا به شرح نحوه انتخاب آن برای داده های مربوط به ساختار پیچیده مذکور می پردازیم. دیگر پارامتر های مورد استفاده در پردازش به روش CRS برای این داده ها در جدول(۴-۲) نشان داده شده اند.

[1]- CRS aperture

(**جدول ۴-۲**)پارامترهای پردازشCRS برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر داده های مربوط به ساختار پیچیده.

نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۴۰ هرتز
	معیار همدوسی	شبیه بودن
	داده های مورد استفاده در تحلیل همدوسی	ردهای اصلی
	عرض نوار همدوسی	۵۶ میلی ثانیه
سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه	سرعت نزدیک سطح	۱۵۰۰ متر بر ثانیه
	سرعت برانبارش تحت جستجو	۱۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متر بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	۰ تا ۵ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۴ میلی ثانیه
	تعداد ردهای شبیه سازی شده در ZO	۱۲۵۰
	فاصله بین ردها در شبیه‌سازی ZO	۱۲.۵ متر
بازه جستجوی بین ردها	حداقل بازه ZO	۵۰ متر در ۴/. ثانیه
	حداکثر بازه ZO	۳۵۰۰ متر در ۵ ثانیه
	حداقل بازه CMP	۱۵۰ متر در ۱/. ثانیه
	حداکثر بازه CMP	۶۴۰۰ متر در ۵ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	٪۳۰
برانبارش خودکار CMP	اولین برونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۴ میلی ثانیه
	تعداد مراتب کاهش ابعاد شبکه	۳
جستجوی خطی ZO	بازه زاویه مورد جستجو	۴۰- تا ۴۰+ درجه
	گام بین زاویه‌های مورد جستجو	۱ درجه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی ZO	اولین برونراند برای بزرگترین فاصله ZO	۴ میلی ثانیه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی در CS/CR	اولین برونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۴ میلی ثانیه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
بهینه سازی محلی	آستانه همدوسی برای کمترین زمان سیر	۰/۰۵
	آستانه همدوسی برای بزرگترین زمان سیر	۰/۰۲
	حداکثر تعداد تکرار در جستجو	۱۰۰
	حداکثر انحراف نسبی برای توقف جستجو	$۱۰^{-۴}$
	تغییرات اولیه در زوایای ورودی	۶ درجه
	تغییرات اولیه برای R_{NIP}	٪۵
	تغییرات اولیه برای R_N تبدیل یافته	۶ درجه
	تبدیل شعاع برای R_N	۱۰۰ متر

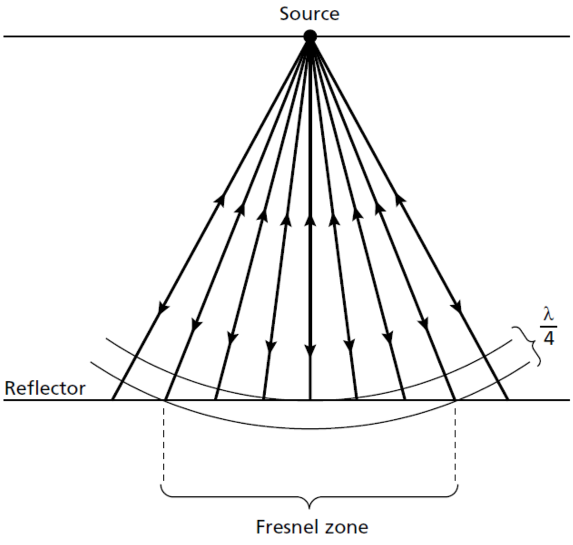
۴-۵-۱ تعیین بازه CRS

همان طور که در بخش ۲-۴-۲ در مورد بازه CRS توضیح داده شد، مشخص کردن این بازه با تعیین دو بازه ZO و CMP ممکن می گردد. بازه CMP محدوده دور افتی را که داده ها با آن برداشت شده اند، در زمان های ابتدایی و انتهایی داده ها در بر می گیرد و مشکلی برای تعیین آن وجود ندارد، ولی تعیین بازه ZO، به سادگیِ تعیین بازه CMP نیست. با بررسی نتایجِ حاصل از پردازش با بازه های مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر، می توان تشخیص داد که نسبت سیگنال به نوفه با افزایش بازه به صورت مشهودی افزایش می یابد. این مسئله به صورت بارزی تاثیر خود را با افزایش عمق نشان می‌دهد. بازه های خیلی زیاد علاوه بر وقت گیر کردن پردازش باعث حذف برخی پدیده ها و کاهش کیفیت جانبی تصویر خواهند شد. افزایش پیوستگیِ ناشی از افزایش بازه، بیشتر از یک مقدار بهینه نه تنها مفید نبوده بلکه یک نکته منفی محسوب می شود. برای تعیین بازه ZO، با انتخاب بازه به نحوی که ناحیه اول و دوم فرسنل، برای تمام داده ها پوشش داده شود، بهترین کیفیت تصویر حاصل خواهد شد (ادیبی و همکاران، ۱۳۸۹).

کیفیت تصویر،توسط وضوح عمودی و افقی تصویر مشخص می‌شود. یعنی هر چه تصویر در راستای افقی یا عمودی، قابلیتِ تفکیک دو نقطه نزدیکتر به هم را دارا باشد، می‌توان گفت که وضوح و در نتیجه کیفیت بیشتری دارد. وضوح عمودی به طول موج غالب (سرعت موج تقسیم بر فرکانس غالب) وابسته است و وضوح افقی هم معمولاً بر اساس ناحیه فرسنل اندازه گیری می شود (اسکِیلز[1]،۱۹۹۷). ناحیه فرسنل یک ناحیه دایره‌ای شکل بر روی یک بازتابنده است که اندازه‌اش به عمق بازتابنده، سرعت انتشارِ موج بالای بازتابنده و فرکانس غالب وابسته است. واهم‌آمیخت با فشرده کردن موجک لرزه‌ای، سعی می‌کند وضوح عمودی را افزایش دهد و کوچ با کاهش دادن پهنای ناحیه فرسنل، وضوح جانبی یا افقی را بهبود می بخشد (ایلماز، ۲۰۰۱) و در نهایت، تمایز بین نقاط در جهات عمودی یا افقی شفاف تر می‌گردد. اگر بخواهیم تعریف دقیق تری از ناحیه فرسنل داشته باشیم، با توجه به شکل

[1]- Scales

(۴-۹)، بخشی از بازتابنده که انرژی بازتاب شده از آن به هنگام پیشروی نیمی از طول موج، توسط گیرنده‌ها قابل دریافت است را ناحیه اول فرسنل می‌گوییم(بنکرافت،۱۹۹۸). دو نقطه بر روی بازتابنده را که در این ناحیه قرار بگیرند، نمی توان در تصویر به دست آمده، از یکدیگر جدا کرد(ایلماز، ۲۰۰۱). به دلیل این که پهنای ناحیه فرسنل به طول موج بستگی دارد، وابسته به فرکانس نیز هست. برای مثال اگر فرکانسِ سیگنال لرزه‌ای بالا باشد، پهنای ناحیه فرسنل نسبتاً کم می‌شود و هر چه ناحیه فرسنل کوچکتر باشد، تمایز بین دو نقطه بازتابنده آسان‌تر می‌گردد؛ لذا ناحیه فرسنل مقیاسی برای وضوح جانبی است (ایلماز، ۲۰۰۱). به عنوان یک قانون کلی، پهنای ناحیه فرسنل برای افق‌های مورد نظر تخمین زده می شود و سپس فاصله بین گیرنده‌ها را طوری در نظر می‌گیرند که بیش از یک چهارم پهنای ناحیه فرسنل نشود. در این صورت وضوح جانبی، تنها با ویژگی‌های فیزیکی موج لرزه‌ای محدود می شود، نه با طراحی برداشت (کِری و همکاران، ۲۰۰۲).



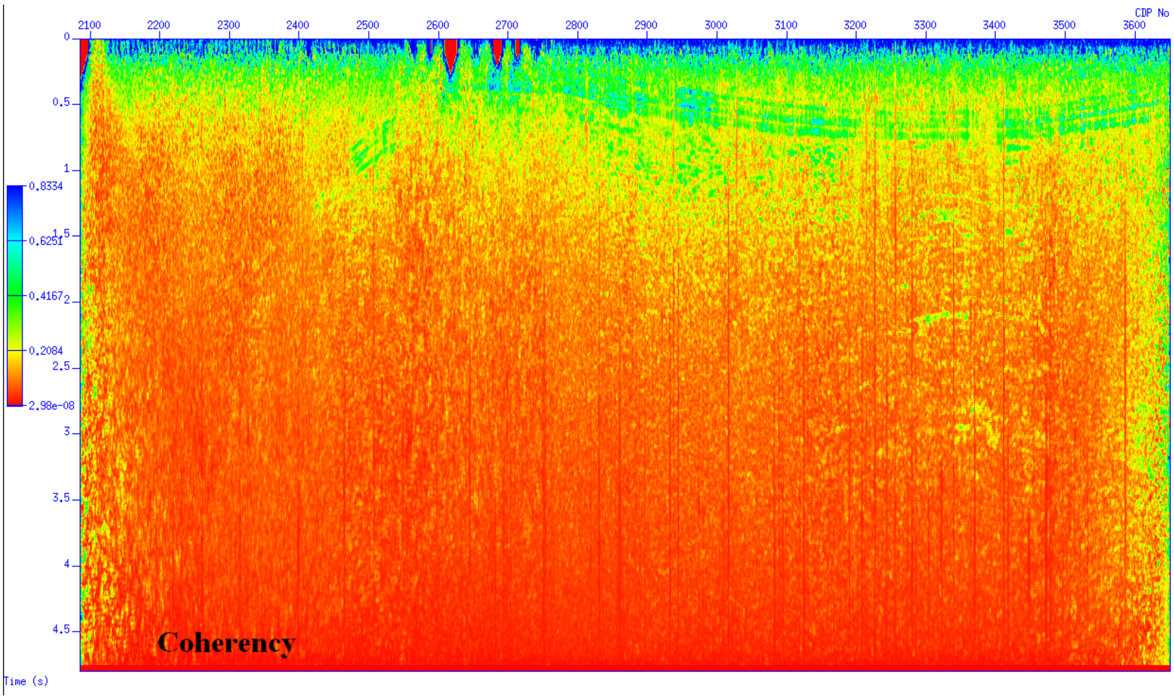
(شکل۴-۹) بخشی از بازتابنده که حینِ پیشرویِ نیمی از طول موج بازتابی اولیه، انرژی از آن بازتاب می‌گردد و به ناحیه فرسنل موسوم است(کِری و همکاران، ۲۰۰۲).

از مزایای روش CRS به دست آوردنِ تخمینی از، ناحیه فرسنل می باشد که به صورت مقطعی با دورافت صفر، نسبتِ اندازه‌ی ناحیه فرسنل به بازه انتخابی را نمایش می‌دهد و با تغییر بازه ZO و مشاهده خروجی ها می‌توانیم به طور تقریبی تخمینی از ناحیه فرسنل برای بازتابنده های با عمق متفاوت داشته باشیم. اساس کار ادیبی و همکاران (۱۳۸۹) هم به همین شکل بود، لذا با تخمینی از

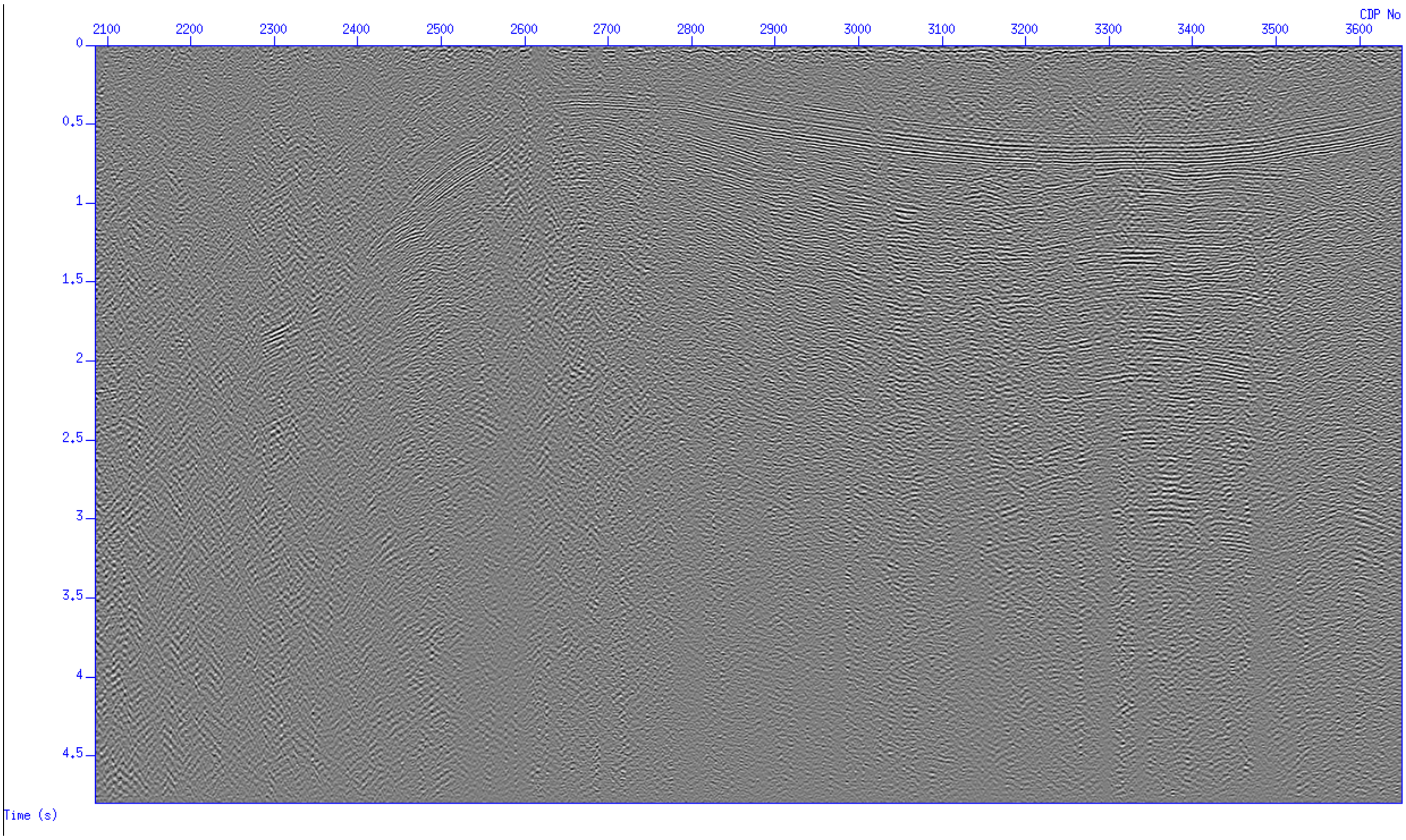
ناحیه فرسنل برای بازتابنده‌ها در این تحقیق بازه ۳۵۰۰ متر به عنوان بازه ZO مناسب تشخیص داده شد که تقریبا ۱/۵ برابر اولین ناحیه فرسنل برای زمان انتهایی داده ها می باشد و با اعمال تابع تعمیم بر بازه CRS به گونه ای که دومین ناحیه فرسنل نیز پوشش داده شود، می توان گفت بهترین نتایج حاصل می‌شود.

۴-۵-۲ برانبارش خودکار CMP

اولین گام در پردازش CRS برانبارش خودکار CMP می باشد. در این مرحله با در نظر گرفتن بازه CMP که یک بازه خطی از زمان ۰/۱ ثانیه تا ۵ ثانیه می باشد، به صورت خودکار بهترین همدوسی و بهترین سرعت برانبارش انتخاب می شوند. به منظور انتخاب سرعت مناسب با در نظر گرفتن یک مدل اولیه ساده شامل سرعت اولیه ۱۵۰۰، سرعت متوسط ۲۵۰۰ و سرعت انتهایی۴۰۰۰ متر بر ثانیه، انتخاب خودکار سرعت و در نهایت برانبارش خودکار CMP به انجام رسید. شکل(۴-۱۰) و (۴-۱۱) به ترتیب مقطع همدوسی مربوط به این مرحله و همچنین مقطع ZO حاصل از برانبارش خودکار را نشان می دهد. همان‌طور که در تصویر مشاهده می شود آشفتگی و عدم پیوستگی و همچنین اعوجاج در قسمت هایی که انرژی به اندازه کافی نبوده از ویژگی های بارز این مقطع می باشد. اما با وجود نسبت سیگنال به نوفه نسبتاً پایین این مقاطع، درمقایسه با مقطع حاصل از پردازش به روش NMO، به تصویرکشیدن تقریبا تمام بازتابنده ها و منحنی های پراش موجود در مقطع NMO در مقاطع خروجی این مرحله، از خروجی‌های قابل قبول از مرحله اول برانبارش CRS حکایت می کند. این خروجی‌ها، ورودی مرحله بعدی پردازش CRS می باشند.



(**شکل ۴-۱۰**) مقطع همدوسی مربوط به داده های ساختار پیچیده در مرحله برانبارش خودکار CMP.



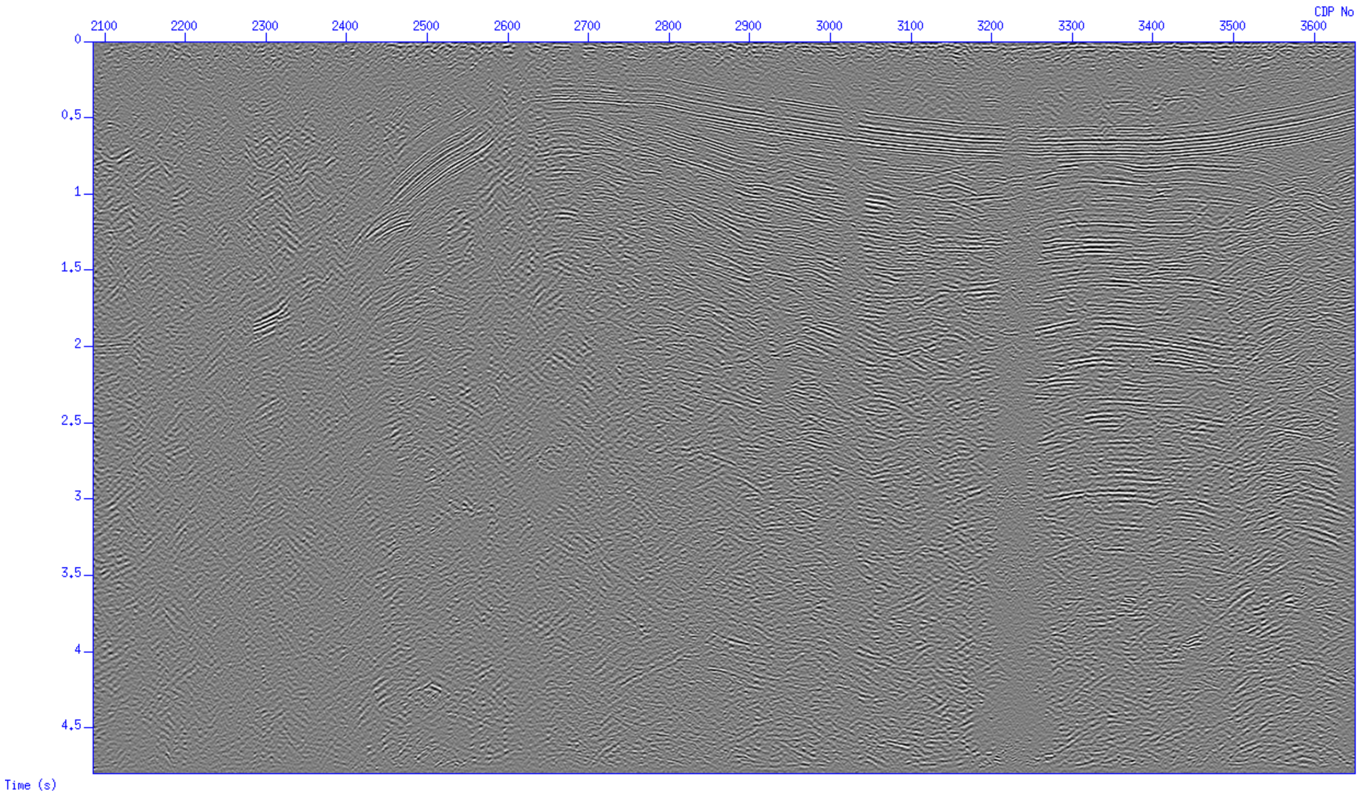
(**شکل ۴-۱۱**) مقطع دورافت صفر حاصل از برانبارش خودکار CMP مربوط به داده های ساختار پیچیده.

۴-۵-۳ برانبارش خودکار CRS

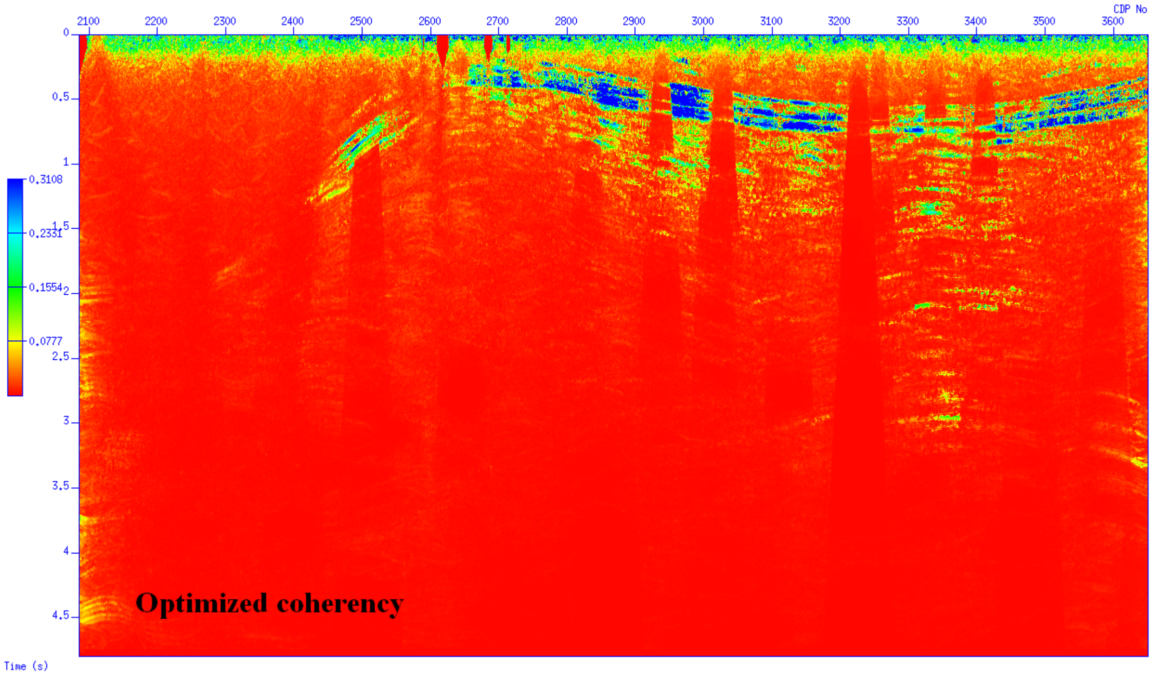
همان‌طور که در فصل دوم اشاره شد بعد از مرحله برانبارش خودکار، با استفاده از خروجی این مرحله باید به جستجوی پارامتر های سه گانه CRS بپردازیم. این جستجو در دو مرحله به انجام می‌رسد. در مرحله اول با استراتژی تعمیم یافته مقادیر اولیه‌ای برای این سه پارامتر در نظر گرفته می‌شود. در مرحله دوم با یک الگوریتم بهینه سازی مقادیر بهینه این پارامتر ها تعیین شده و برانبارش CRS با استفاده از این پارامترها به انجام می رسد. شکل (۴-۱۲) مقطع ZO حاصل از برانبارش CRS را با AGC نشان می دهد. در مقایسه با مقطع CMP، مقطع به دست آمده از CRS به شکل واضحی دارای نسبت سیگنال به نوفه بالاتری بوده و تصویر حاصل از آن دارای کیفیت بالاتری می باشد. در قسمت بالایی مقطع، امتداد لایه های ناودیس سمت راستِ مقطع CRS پیوستگی بیشتری داشته و تعقیب امتداد لایه بندی در آن بسیار آسانتر می باشد. همچنین در قسمت های پایینی که نسبت سیگنال به نوفه بسیار پایین است وقایع بازتابی ضعیف در مقطع CMP، در مقطع CRS به شکل واضحتر و با پیوستگی بیشتری آشکارسازی شدند.

در پردازش به روش CRS علاوه بر مقطع ZO، پارامتر های CRS نیز خود دارای مقاطعی بوده که هر کدام به گونه ای نمایانگر تصویری از سطوح بازتابی و لایه‌ها می‌باشند. شکل(۴-۱۳) نمایانگر مقطع همدوسی CRS می‌باشد. قسمت بالایی مقطع که دارای لایه بندی واضحی می باشد مقادیر بالایی از همدوسی را به خود اختصاص داده، در حالی که در قسمت های میانی مقطع، این مقادیر به شدت کاهش می یابد. همان‌طور که مشاهده می کنید این مقطع شکل لایه بندی و سطوح بازتابنده را به خوبی به تصویر کشیده است. به دلیل وجود مقداری نوفه زمینه در این داده‌ها، میزان همدوسیِ حداکثر در این مقطع بین صفر تا ۰/۳ تغییر می‌کند. در این مقطع، میزان همدوسی بالایی برای زمان‌های کمتر از ۱.۵ ثانیه مشاهده می شود ولی برای نمونه‌های واقع در زمان سیرهای بیشتر از این زمان، مقدار همدوسی کاهش می‌یابد. در حالت کلی، میزان همدوسی برای اغلب نقاط بالای ۰/۱

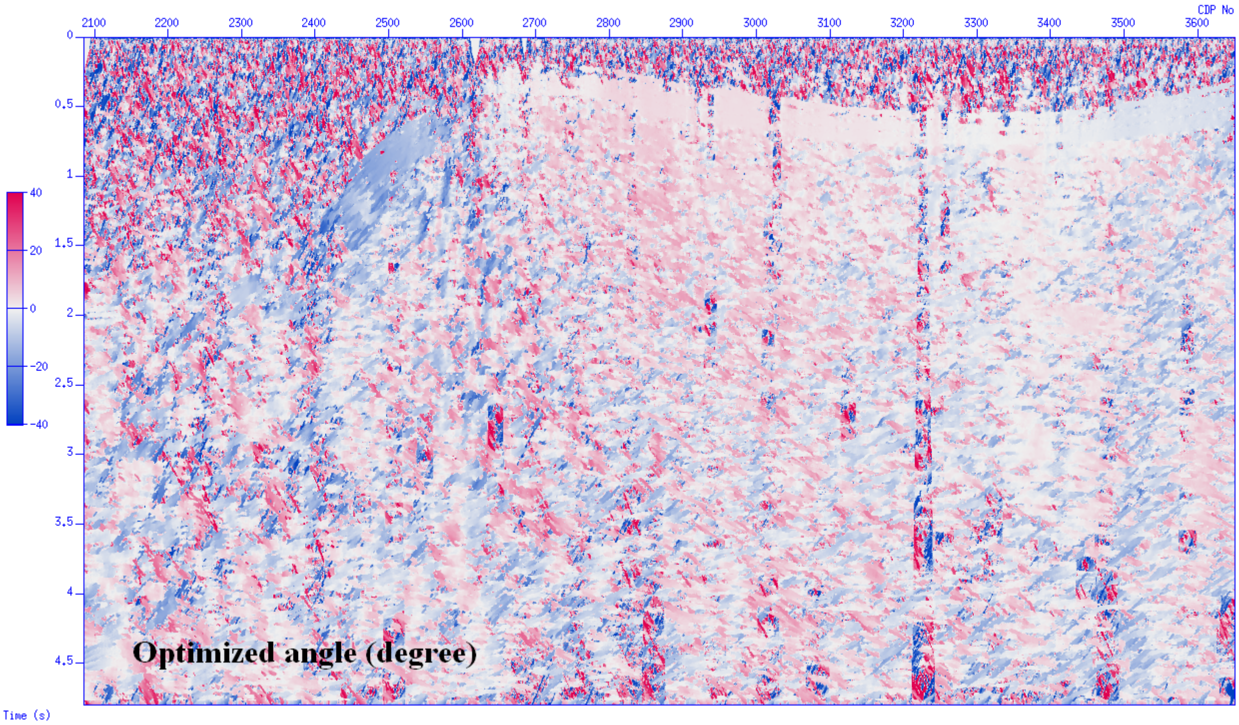
است. البته لازم به ذکر است که نه برای مقادیر مختلف بازه و نه برای داده‌های مختلف، مقادیر همدوسی قابل مقایسه با یکدیگر نمی‌باشند.



(**شکل ۴-۱۲**) مقطع دورافت صفر حاصل از برانبارش CRS داده های ساختار پیچیده.



(**شکل ۴-۱۳**) مقطع همدوسی CRS ، داده های مربوط به ساختار پیچیده.



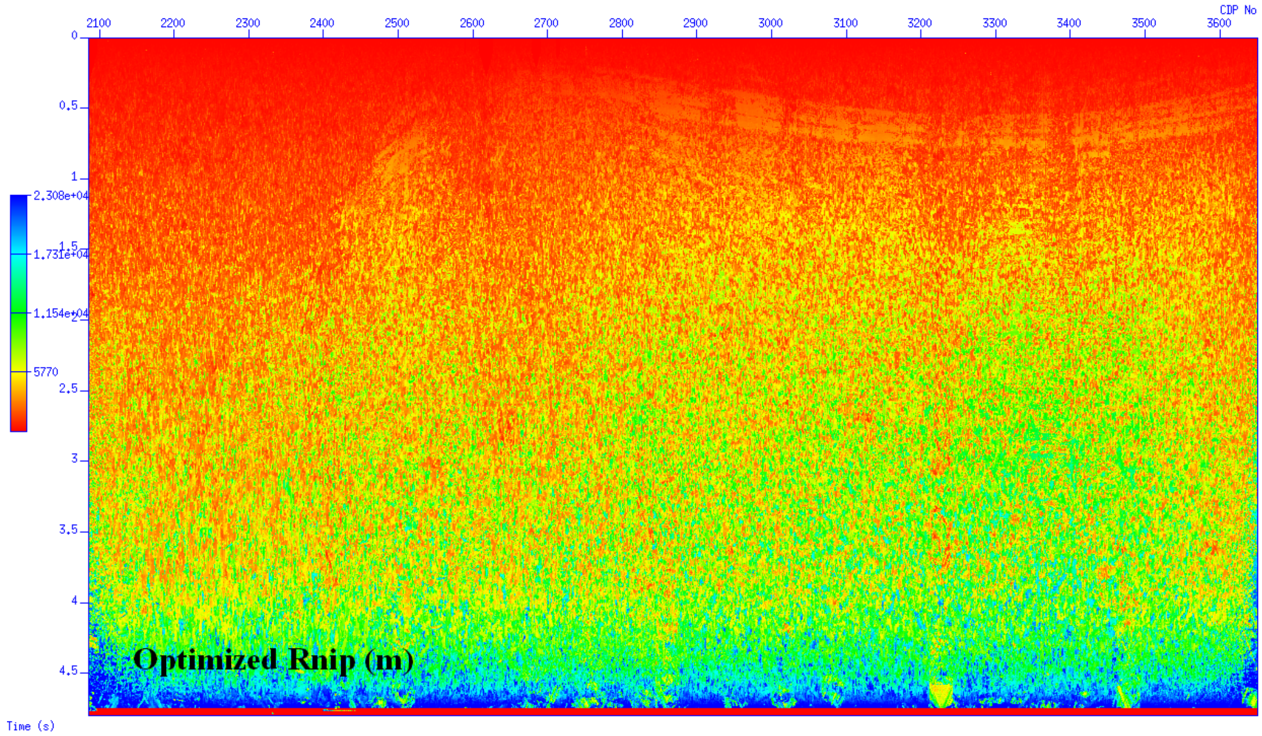
(شکل۴-۱۴) مقطع زاویه (α) حاصل از پردازش CRS داده های مربوط به ساختار پیچیده.

شکل(۴-۱۴) نیز مقطع زاویه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود، زاویه ورود برای رخدادهای افقی برابر صفر درجه است(رنگ سفید). ولی مقادیر منفی و مثبت در زوایای ورود نشان دهنده جهت ورود پرتوی مرکزی به سطح است. با توجه به رابطه مستقیم بین زاویه ورود و شیب رخداد در مقطع دورافت صفر، همخوانی این مقطع با رخدادهای بازتابی به خوبی مشخص می شود. در قسمت سمت راست و بالای مقطع، یعنی ناودیس بزرگ، همان‌گونه که مشاهده می کنید، سمت راستش شیب منفی و سمت چپش دارای شیب مثبت است و مرکز ناودیس هم شیب تقریباً صفر دارد. از آن به بعد به سمت چپ، یال سمت چپِ تاقدیس نفت شهر شیب منفی دارد، که باعث می‌شود زاویه ورودی که به سطح برخورد می‌کند، منفی باشد.

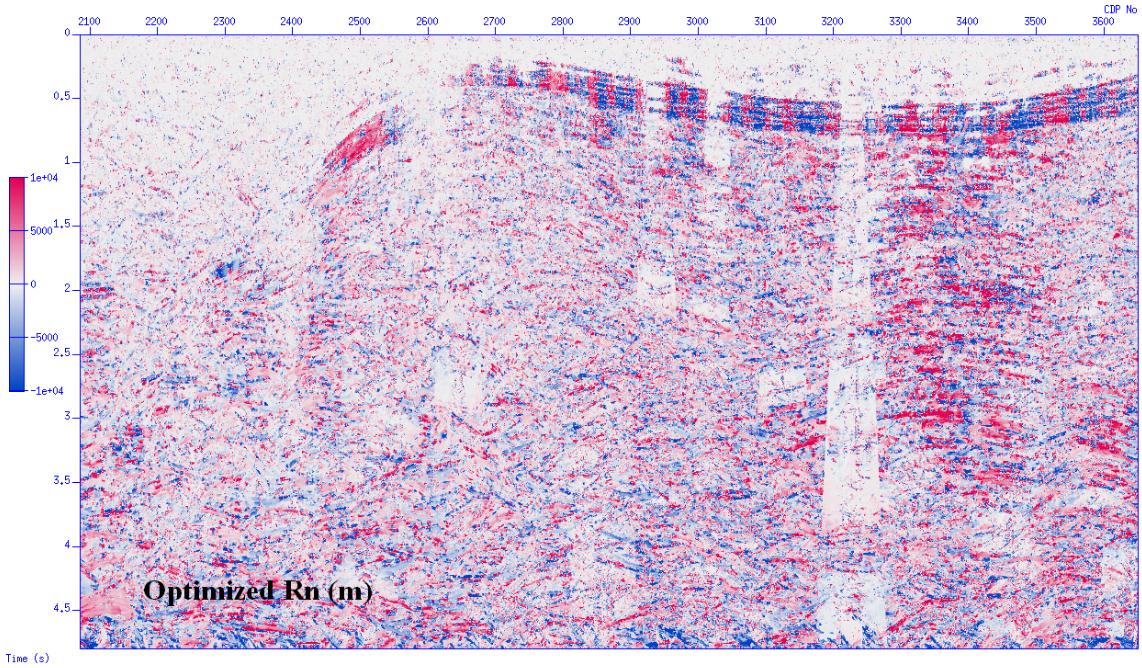
شکل(۴-۱۵) بیانگر شعاع انحنای جبهه موج عمود در نقطه ورود، R_{NIP}، است. به عنوان یک اصل، با افزایش زمان سیر یا افزایش عمق، میزان R_{NIP} نیز به صورت پیوسته افزایش پیدا می کند. در داده های مذکور به دلیل پیچیدگی ساختار، مقادیر R_{NIP} بیانگر عمق واقعی پدیده‌ها نمی‌باشند. عمق واقعی

با انجام کوچ در حوضه عمق تصویرسازی خواهد شد، اما همان‌طور که مشاهده می کنید روند افزایش مقادیر R_{NIP} با افزایش عمق در داده های مذکور مشهود می باشد.

شعاع انحنای جبهه موج عمود، R_N، در شکل(۴-۱۶) نشان داده شده است. مقدار بهینه R_N در ارتباط با شعاع انحناء بازتابنده در مقطع دورافت صفر در عمق می باشد. برای نشان دادن و تفسیر بهتر مقدار شعاع انحنای بازتابنده، از مقدار عکس شعاع موج نرمال، $1/R_N$ ، استفاده می شود. زیرا که مقدار شعاع انحناء برای بازتابنده‌های مسطح، برابر بی‌نهایت خواهد شد که طبیعتاً نشان دادن این مقدار در مقطع غیرممکن خواهد بود، ولی مقدار عکس آن برابر صفر خواهد شد که برای نشان دادن در مقطع مناسب‌تر می‌باشد. بنابراین مقدار $1/R_N$ برای بازتابنده‌های مسطح، برابر صفر خواهد شد. مقدار مثبت ومنفی دراین مقطع نیز به ترتیب در ارتباط با برآمدگی و فرورفتگی در بازتابنده می باشد.



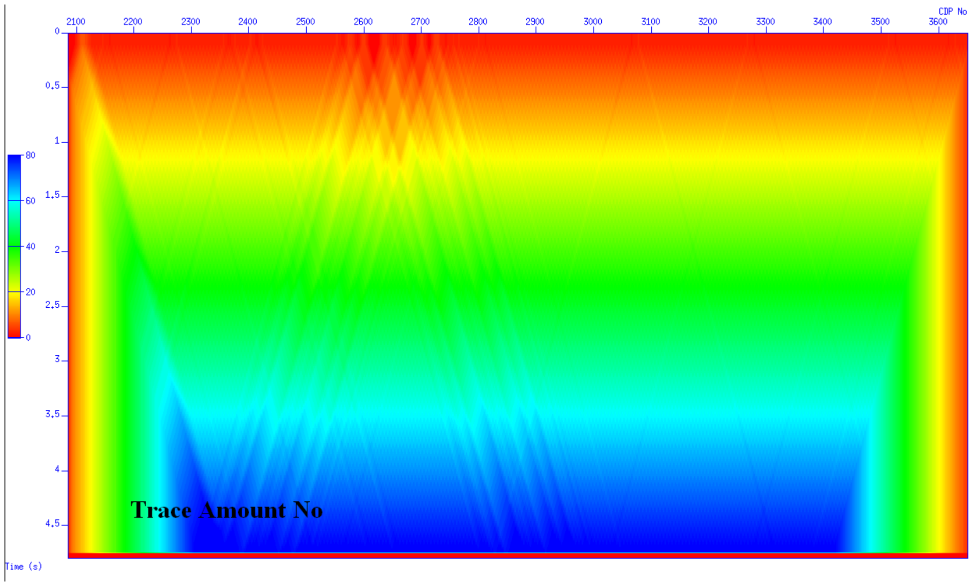
(شکل ۴-۱۵) مقطع R_{NIP} حاصل از پردازش CRS داده های مربوط به ساختار پیچیده.



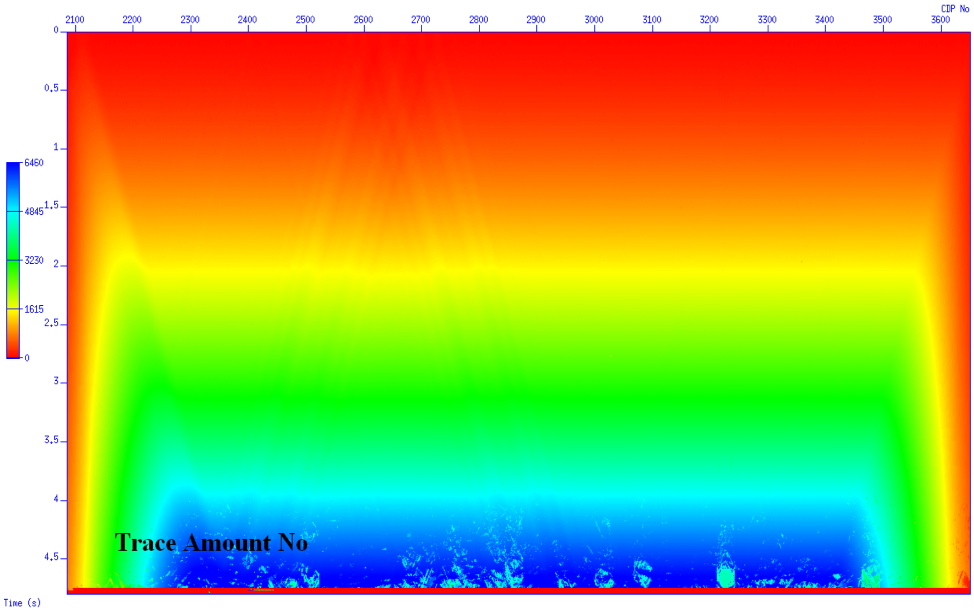
(شکل ۴-۱۶) مقطع R_N حاصل از پردازش CRS داده های مربوط به ساختار پیچیده.

در نهایت شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) تعداد ردهای لرزه‌ای را که در دو روش برانبارش CMP وCRS برای به تصویر کشیدن یک نقطه در مقطع ZO، مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید ردهای استفاده شده در مقطع حاصل از روش CRS برای زمانهای انتهایی بیش از ۸۰ برابر ردهای استفاده شده در روش مرسوم می باشد که این امر منجر به بالا رفتن نسبت سیگنال به نوفه در روش CRS می شود.

همان‌طور که در شکل‌های مربوط به پارامترهای CRS دیده می شود، مقاطع حاصل از پارامترهای CRS، هریک به نوعی ساختار های زیر سطحی را در حوزه زمان به تصویر می کشند.



(**شکل۴-۱۷**) تعداد ردهایی که در روش برانبارش CMP برای به تصویر کشیدن یک نقطه در مقطع ZO مورد استفاده قرار گرفته اند.



(**شکل ۴-۱۸**) تعداد ردهایی که در روش برانبارش CRS برای به تصویر کشیدن یک نقطه در مقطع ZO مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

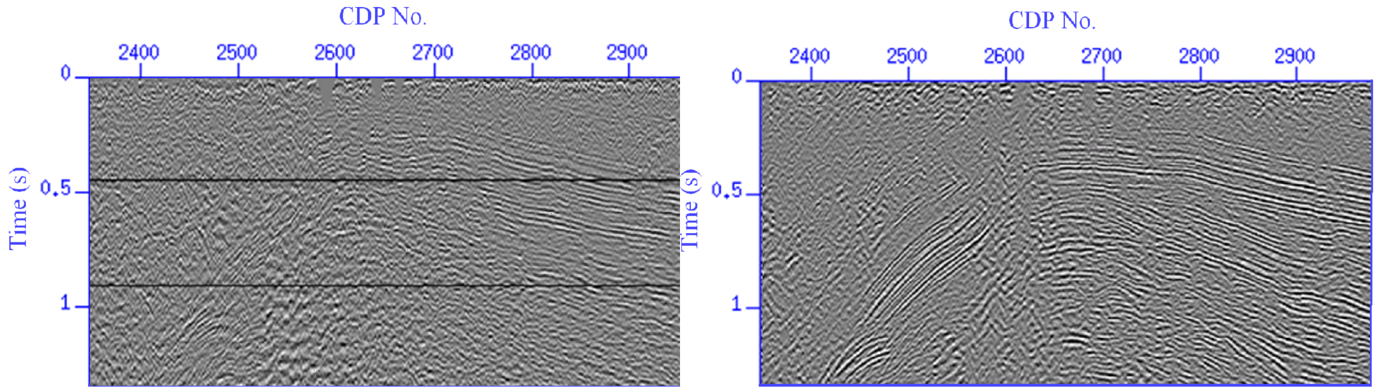
۴-۶ مقایسه مقطع CRS با مقطع CMP

همان‌طور که مشاهده کردیم مقطع برانبارش CRS در مقایسه با مقطع CMP دارای نسبت سیگنال به نوفه بالاتری می‌باشد. این امر با یک مقایسه ساده بین شکل های (۴-۵) و(۴-۸) و (۴-۱۲) به راحتی قابل تشخیص می باشد. شکل(۴-۱۷)و(۴-۱۸) نیز با به تصویر کشیدن تعداد ردهای درگیر در تصویر سازی یک نقطه، بر این امر صحه می گذارد. طبیعی است هر چه تعداد ردها بیشتر باشد پدیده های تصادفی یکدیگر را بیشتر تضعیف نموده و بازتابها تقویت خواهند شد. حال با نگاهی جزئی تر به دو مقطع مذکور به مقایسه مقاطع حاصل از برانبارش CMP وCRS می پردازیم.

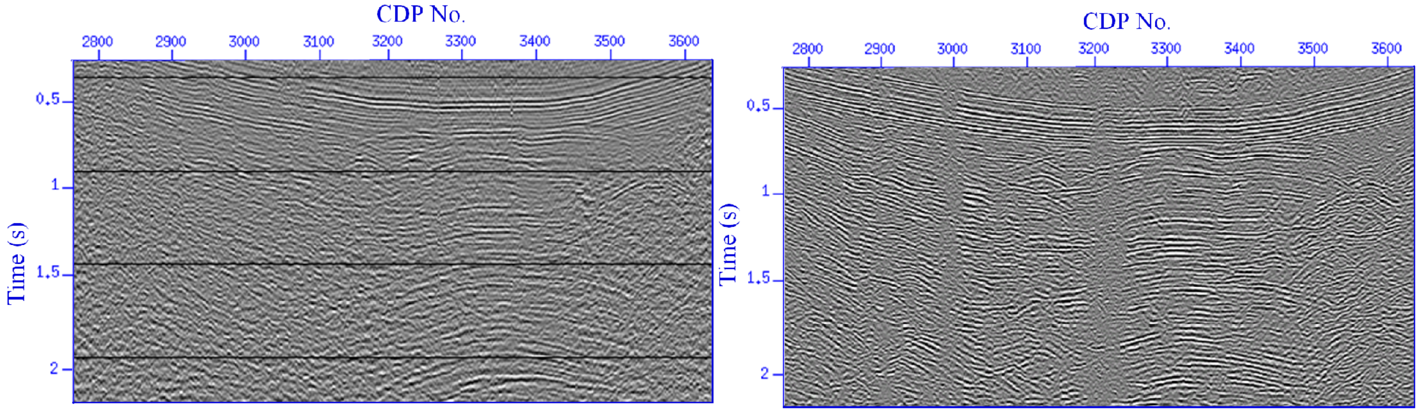
در قسمت بالایی و سمت راست مقطع شکل(۴-۵)، یک ناودیس که بخشی از سیستم چین خوردگی است، مشاهده می گردد. علاوه بر این ناودیس، تاقدیسی هم در سمت چپ مقطع دیده می شود. بقیه قسمت‌های مقطع، نوفه زیادی داردکه نشانه پیچیدگی زیر سطح است و در این قسمت‌ها رخدادی واضح مشاهده نمی شود. برای غلبه بر این مسئله، می‌توان روش بر انبارش سطح بازتاب مشترک را بر روی داده‌ها پیاده کرد. روش CRS، مقطعی با نسبت سیگنال به نوفه بالاتر و پیوستگی بیشتر رخدادها ، نسبت به برانبارش CMP تهیه می‌کند. کیفیت مقطع CRS ، نسبت به مقطع برانبارش CMP بهتر است. بنابراین در قدم اول می توان گفت که این روش نسبت S/N را افزایش داده، رخدادهای بیشتر با حفظ پیوستگی بیشتری، در آن تصویر شده اند و تعدادی از ابهام‌هایی که در مقطع برانبارش CMP دیده شد، در این مقطع برطرف شدند. سیستم چین خوردگی به خصوص در بالای مقطع، با وضوح بیشتری دیده می‌شود. در زیر ناودیس بزرگ مقطع، یک تاقدیس دیگر دیده می شود، که در مقطع برانبارش CMP به وضوح قابل مشاهده نبوده و تنها ، قسمت بالایی اش تصویر شده است. در حالی که در مقطع CRS ، این تاقدیس تا زمان‌های سیر بیشتر ، قابل مشاهده است. در قسمت سمت چپِ مقطع CRS ، یالِ سمت چپ تاقدیس نفت شهر که متشکل از لایه‌های شیب دار است ، دیده می شود که، در حالی که به سختی در مقطع برانبارش CMP که تصحیحِ DMO بر روی آن انجام نگرفته، قابل دیدن است.در شکل(۴-۱۹) همان طور که مشاهده می شود، قسمت سمت

راست ، بخشی از مقطع CRS را نمایش می دهد که در آن، قسمت بالایی تاقدیس اصلی را بهتر از روش برانبارش CMP مرسوم (شکل سمت چپ)، به تصویر کشیده است و یال و لایه‌های شیب دار آن را نشان داده است. شکل (۴-۲۰) نیز قسمت مربوط به مقطع برانبارش CRS، بخش بالایی تاقدیس و گوه هایِ سمت چپ آن را بهتر تصویر کرده است.

به دلیل پیچیدگی ساختار و تغییرات شدید سرعت جانبی، تلاش ما برای تصویرسازی با روش CMP، نتیجه خوبی در بر نداشت.برای غلبه بر این مشکل ، روش CRS بر روی داده‌ها اِعمال شد و با انجام آن رخدادهای بیشتر، و باکیفیت و پیوستگی بیشتری نسبت به مقطع CMP به دست آمدند.



(شکل ۴-۱۹) بخشی از مقاطع برانبارش CRS (سمت راست) و CMP (سمت چپ) داده های با ساختار پیچیده



(شکل۴-۲۰) بخشی از مقاطع برانبارش CRS (سمت راست) و CMP (سمت چپ) داده های با ساختار پیچیده

۴-۷ پردازش به روش CDS

همان‌طور که در بخش قبل مشاهده شد، روش CRS در مواقع مواجهه با تداخل شیب ها عملکرد خوبی از خود نشان نمی دهد. در محل برخورد پدیده های پراش با بازتابها، پیوستگی جانبی بازتاب ها در روش CRS غالب می باشند. همچنین در پردازش CRS، تعیین محل دقیق گسل‌ها و مرزهای آنها به دلیل ماهیت نرم کنندگی روش CRS و همچنین به دلیل وجود مساله تداخل شیب‌ها در رخدادهای پراش حاصل از نوک گسل، دشوار است. لذا برای حل این مشکل در داده های مربوط به ساختار پیچیده مذکور، از روش CDS که در انتهای فصل دوم شرح داده شد، استفاده می‌نماییم.

نتایج برانبارش به روش CRS، یک مقطع بهینه همدوسی، یک مقطع بهینه برانبارش و سه مقطع بهینه نشانگرهای جنبشی میدان موج است.در مقابل، نتیجه برانبارش CDS تنها یک مقطع برانبارش و یک مقطع از تعداد ردهای استفاده شده در بازه خواهد بود. بنابراین تنها مقاطع برانبارش شده قابل مقایسه هستند. پردازش CRS، در سه گام انجام شد و نتایج گام‌های میانی نیز قابل مشاهده بودند، در حالی که در CDS، مستقیماً به حجم داده‌های پیش از برانبارش وارد می‌شویم و نتایج میانی وجود نخواهد داشت.

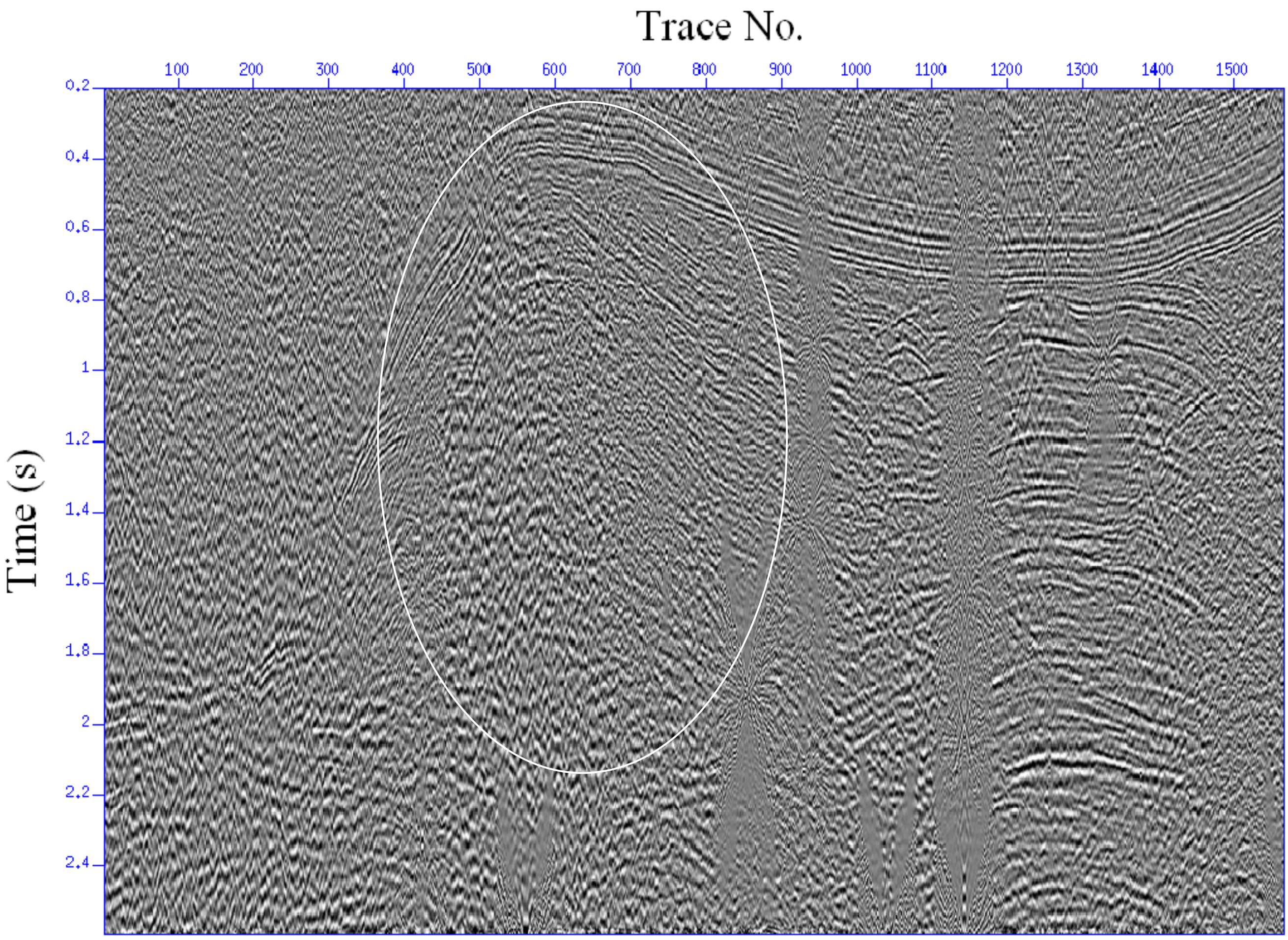
در پردازش CDS مربوط به داده‌های ساختار پیچیده، بازه زاویه بین ۴۰- درجه و ۴۰+ درجه انتخاب شده است. گام افزایش زاویه برابر یک درجه در نظر گرفته شده است. سایر پارامترهایی که برای پردازش CDS انتخاب شده‌اند، مشابه پارامترهای متناظرشان در پردازش CRS بوده‌اند. پارامترهای مورد استفاده برای پردازش در جدول (۴-۳) آورده شده اند.

شکل(۴-۲۱) نتیجه برانبارش به روش CDS بر روی داده‌های مذکور را نشان می دهد. همان‌گونه که مشاهده می شود، رخدادهای پراش بهتر آشکار شده‌اند و همچنین اثر گسل‌ها بر روی رخدادها بهتر دیده می شوند(دایره سفید). مناطق سفید خالی در زمان سیرهای کم در برخی از نقاط در مقطع دیده می شوند که به دلیل کمبود پوشش انرژی در آن مناطق است.

(**جدول ۴-۳**) پارامترهای مورد استفاده در پردازش داده‌های ساختار پیچیده به روش CDS.

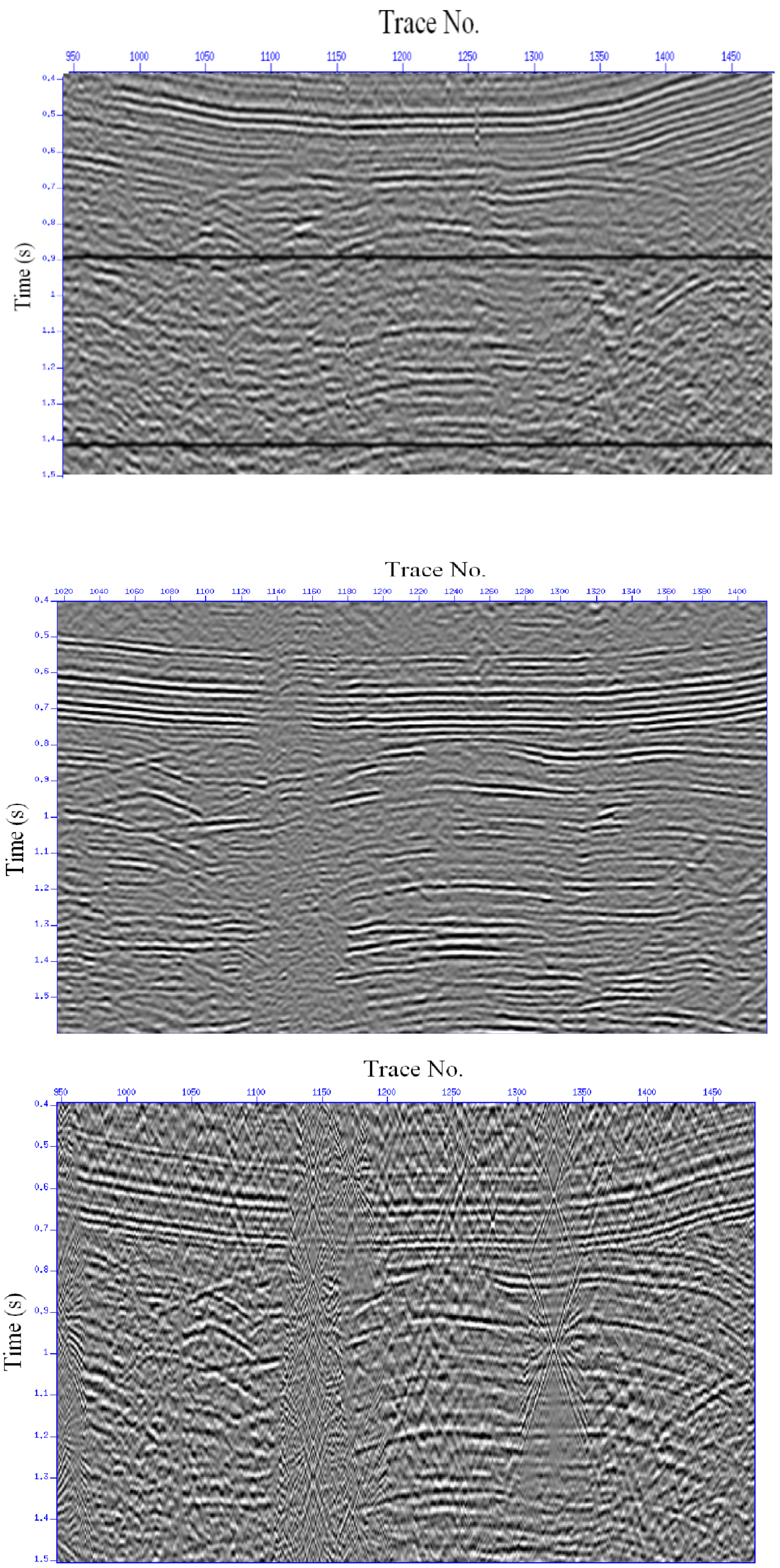
نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۴۰ هرتز
	معیار همدوسی	شباهت
	داده‌های مورد استفاده در آنالیز همدوسی	ردهای اصلی
	عرض نوار همدوسی	۵۶ میلی ثانیه
سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه	سرعت نزدیک سطح	۱۵۰۰ متر بر ثانیه
	سرعت برانبارش تحت جستجو	۱۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متر بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	۰ تا ۵ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۴ میلی ثانیه
	تعداد ردهای شبیه سازی شده در ZO	۱۲۵۰
	فاصله بین ردها در شبیه‌سازی ZO	۱۲.۵متر
بازه جستجوی بین ردها	حداقل بازه ZO	۵۰ متر در ۰.۴ ثانیه
	حداکثر بازه ZO	۳۵۰۰ متر در ۵ ثانیه
	حداقل بازه CMP	۱۵۰ متر در ۰.۱ ثانیه
	حداکثر بازه CMP	۶۴۰۰ متر در ۵ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	٪۳۰
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
پارامترهای CDS	بازه زاویه مورد جستجو	۴۰- تا ۴۰+ درجه
	گام افزایش زاویه‌های مورد جستجو	۱ درجه
	فرکانس جستجو در ورداشت انفجاری	۲ میلی ثانیه
	زمان پردازش	۲۱۰ ساعت

وجود گسل‌ها در این مقطع باعث شده که پیوستگی رخدادها در برخی نقاط از بین رفته و همچنین رخدادها در برخی محل‌ها شکستگی پیدا کنند. در مقطع برانبارش شده به روش CRS (شکل ۴-۱۲) نسبت سیگنال به نوفه بالا بود، به گونه‌ای که به راحتی می‌توانستیم ردها را در آن مقطع دنبال کنیم، با این حال در نقاط زیادی مساله تداخل شیب‌ها، رخدادها را دچار تغییر می‌کرد.



(**شکل ۴-۲۱**) مقطع CDS مربوط به داده های ساختار پیچیده که اثر گسل با بیضی در آن نشان داده شده.

با مقایسه مقطع دورافت صفر CDS با مقاطع CRS و CMP، (شکل۴-۲۲) می توان به این موضوع پی بردکه روش CDS قادر است به خوبی مشکل تداخل شیب‌ها را حل نماید. در مقطع CDS (شکل ۴-۲۱)، انرژی مربوط به منحنی های پراش در سرتاسر مقطع به خوبی قابل مشاهده بوده و امتداد آنها به راحتی قابل ردیابی می‌باشد. همچنین از تصاویر به راحتی قابل تشخیص است که در این مقطع، پدیده های بازتابی دارای امتداد و پیوستگی بسیار خوب و قابل قبولی می باشند. این امر در پدیده های مربوط به زمانهای زیاد به شکل واضحی به چشم می خورد. مساله قابل توجه دیگر بالا بودن کیفیت جانبی تصویر حاصل ازCDS می‌باشد. گسل‌ها و شکستگی ها و همچنین مرز ناپیوستگی با کیفیت بسیار بالاتری از دو مقطع CRS و CMP به تصویر کشیده شده اند.



(شکل۴-۲۲) مقایسه مقاطع CDS ، CRS و CMP به ترتیب ازراست به چپ و در تصویر از پایین به بالا در محل مواجهه با مشکل تداخل شیب ها.

فصل پنجم

تلفیق PSTM و CRS بر روی داده‌های واقعی

فصل پنجم

تلفیق PSTM و CRS بر روی داده‌های واقعی

۵-۱ مقدمه

کوچِ زمانیِ پیش یا پس از برانبارش، در پردازش داده‌های لرزه ای، برای تهیه‌ی تصاویر اولیه در حوزه‌ی زمان و به دست آوردن سرعت، به روشی ساده و کارآمد بدل شده است (هوبرال و کِرِی[1]، ۱۹۸۰؛ایلماز، ۲۰۰۱). ولی علی رغم مزایایش در بازدهی محاسباتی و نیرومندی اش در به کارگیری مدل سرعتِ نه چندان دقیق و پیچیده، در بعضی مواردی که در فصل کوچ توضیح داده شد، از جمله محیطِ با تغییرات سرعتِ جانبیِ متوسط، تصاویر خوبی حاصل نمی کند(روبین، ۲۰۰۳). یک راه غلبه بر مشکلات تصویر سازیِ کوچ زمانی، تبدیل تصاویرِ کوچ داده شده‌ی زمانی به عمق است، که طی آن الزاماً می‌بایست سرعت‌های کوچ داده شده‌ی زمانی به یک مدل سرعتِ عمقی تبدیل شوند.با این حال، عملگر CRS، عملگری تعریف شده در حوزه‌ی زمان است وامکان اِعمال آن در حوزه عمق وجود ندارد.

با اِعمال روش CRS بر روی داده های کوچ داده نشده (روش معمول CRS)، مقطعی برانبارش شده با کیفیت بالا به دست می‌آوریم و در کنار آن پارامترهایی را نیز به دست می‌آوریم که برای استفاده در معکوس سازی و تصویر سازی، قابل استفاده اند. همان‌طور که در فصل دوم توضیح داده شد، از مشکلات روش CRS، نحوه تصویر کردن شیب‌های متداخل، در محل برخوردِ پاسخ بازتابیِ پراش‌ها و بازتابنده‌ها و هم‌چنین در محلِ سه گانه‌ها[2] یا اثرات پاپیونی بود. در این محل‌ها، پارامترهای به دست آمده با روش تحلیل همدوسی، دقیق نیستند (تیگل و همکاران، ۲۰۰۹). به همین دلیل، به کارگیری و بررسی روش CRS در حوزه‌ی زمانِ کوچ داده شده، می‌تواند نتایج جالبی در پی داشته باشد(تیگل و همکاران، ۲۰۰۹)، زیرا در این حوزه، پراش‌ها متمرکز شده و سه گانه‌ها و اثرات پاپیونی، از بین رفته‌اند و می‌توان گفت شیب‌های متداخل تا حدودی تصویرسازی شده‌اند. روش CRS معمول

[1]- Hubral & krey
[2]- Triplications

که در حوزه‌ی زمانِ کوچ داده نشده و پس از برانبارش به کار گرفته می‌شود، زمان سیرِ بازتابیِ دورافت صفر را به عنوان بسط مرتبه دوم سری تیلور، در مختصات نقطه‌ی میانی تقریب می‌زند، ولی اِعمال روش CRS در حوزه‌ی زمانِ کوچ داده شده، زمان سیرِ بازتابی برای دورافت صفر را با همان بسط، امّا این بار در مختصات نقطه تصویر، تقریب می‌زند. بنا براین با مقایسه نتایج این دو تقریب، به بررسی عملکرد نهاییِ هر یک در تصویر سازیِ حوزه زمان خواهیم پرداخت.

۲-۵ انجام کوچ زمانی پیش از برانبارش

کوچ زمانی یک ابزار جذاب برای تهیه تصاویر از زیر سطح زمین است، زیرا از کوچ عمقی سریع تر است و حساسیت کمتری نسبت به خطای سرعت دارد، اگر چه یک تصویر زمانی، برای کیفیت و صحت خوب، نیاز به مشخص شدن دقیقِ سرعت‌های کوچ زمانی دارد. بنابراین سرعت های اولیه‌ی کوچ زمانی، باید بهبود داده شوند، تا این امر محقق گردد.

در این تحقیق از کوچ زمانی پیش از برانبارش کیرشهف استفاده می‌کنیم. سرعت های کوچ زمانی، عملگر کوچ را کنترل می‌کنند، تا به بهترین صورت بر داده‌ها منطبق گردد. در محیط با لایه‌های افقی، سرعت‌های کوچ زمانی را می‌توان از سرعت های جذر میانگین مربعات (RMS) تعیین کرد. برای محیطی که تغییراتِ متوسطِ سرعتِ جانبی داریم، سرعت های اولیه کوچ زمانی را می‌توان از سرعت‌های برانبارش به دست آورد. برای ساختار های پیچیده، سرعت هایِ کوچِ به دست آمده از سرعت‌های برانبارش، نادرستند و منجر به این می‌شوند که پدیده‌ها در تصویر زمانی، خوب متمرکز و تصویر نشوند. بنابراین، بعد از انجامِ کوچ زمانی پیش از برانبارش، بهبود و به روز کردن سرعت‌های کوچ، امری مطلوب است و این به روز رسانیِ سرعت کوچ ِ زمانی، باعث نتیجه گرفتنِ بهتر، در تصویر به دست آمده خواهد شد.

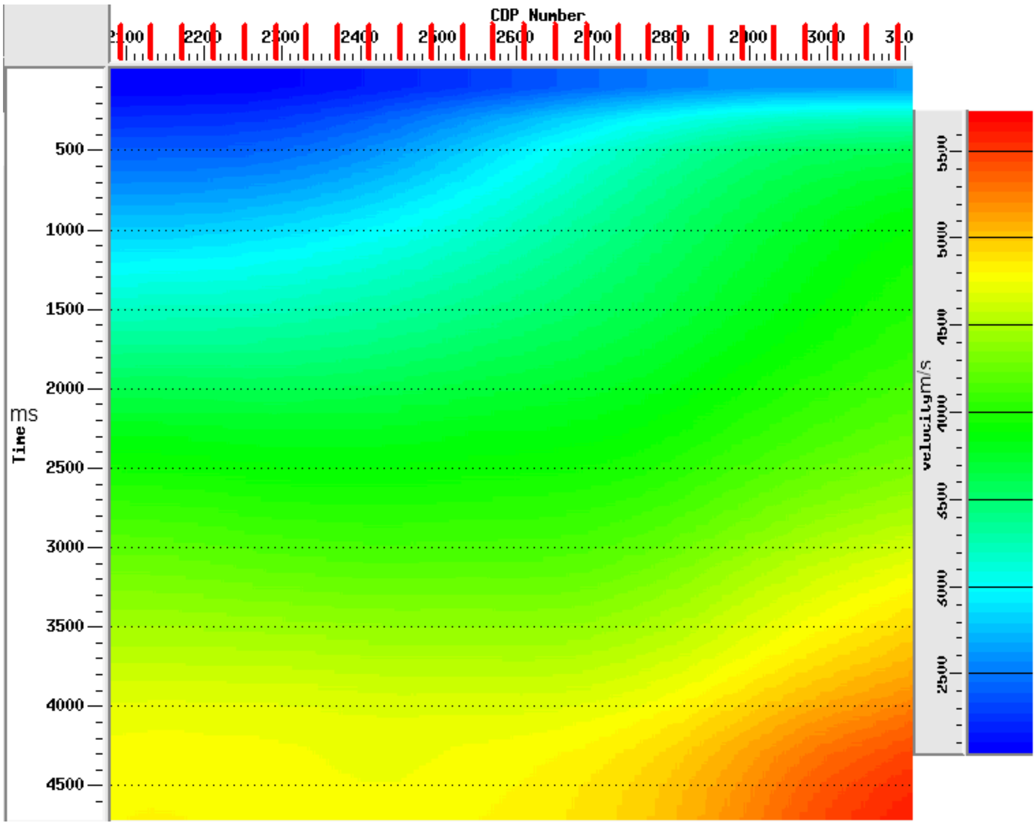
به روز رساندنِ مدل سرعت کوچ زمانی را می توان بر اساس تحلیل برون راند باقی مانده (انجام تصحیح NMOمعکوس)، تکرار چندین باره‌ی این روش، یا توسط پویش توابع مختلف سرعتی انجام

داد و به مدل سرعت کوچ زمانی بهبود یافته ای دست یافت(روبین، ۲۰۱۰). روش RMO و NMO معکوس، معمولاً با یک میدانِ سرعت اولیه، که توسط تحلیل سرعت برانبارش مرسوم مشخص می‌گردد، آغاز می‌شود. سپس تعدادی برداشت تصویری، با استفاده از کوچ زمانی پیش از برانبارش، ساخته می شوند که معمولاً برون راندِ باقی مانده از خود نشان می دهند، یعنی رخدادها در برداشت های تصویر کاملاً به خط شده نیستند. بعد از انجامِ تحلیل برون راند باقی‌مانده، این وضعیت تا حدودی بهبود می‌یابد و رخدادها در برداشت‌های تصویری به خط می شوند و سپس می شود این برداشت های تصویری را در راستای محور دورافت، تحت برانبارش قرار داد. در هنگام استفاده از تصحیح NMOمعکوس، فرض بر این است که رخداد ها در برداشت‌های تصویر، به موقعیت قبل از کوچ زمانی پیش از برانبارش بازمی‌گردند، ولی این فرض تنها برای محیط با لایه‌های افقی، معتبر است. لذا این دو روش که بر مبنای تحلیل برون راند باقی مانده استوارند، در شبکه ای انجام می شوند که فاصله نقاط انتخابی برای تحلیل، از یکدیگر زیاد باشد، تا سرعت های کوچ زمانی بتوانند درونیابی شوند (دِل و همکاران[1]، ۲۰۱۲) و از عدم دقتِ کار کاسته گردد. روش پویشِ سرعت ها نیز برای آزمایش یک سری توابع سرعت، به صورت همزمان، استفاده می‌شود و بهترین نتیجه بر اساس به خط شدگی برداشت‌های تصویر و معیارهای تفسیری حاصل می‌گردد. این روش از لحاظ محاسباتی سنگین است، زیرا چندین کوچ زمانیِ پیش از برانبارشِ کامل کیرشهف، باید طیِ آن انجام شود.

برای شروع کوچ زمانیِ پیش از بر انبارش کامل کیرشهف در نرم افزار Promax، ابتدا باید داده‌های پیش پردازش شده را بر اساس دورافت مرتب کرد، وبرای این کار نیاز به بین بندی در محدوده دورافت داریم. یعنی برای راحتی کار محدوه‌ی دورافت را به قسمت‌های مساوی تقسیم کرده و هریک را یک بین دورافت می نامیم. لازم است، بین بندی طوری انجام شود که تعداد ردهای قرار گرفته در هر بین دورافت تقریباً یکسان باشند. با توجه به بازه دور افت داده‌های مورد نظر ما، هر بین ۲۰۰ متر در نظر گرفته می شود و دورافت به ۳۲ بین دورافت تقسیم می شود.

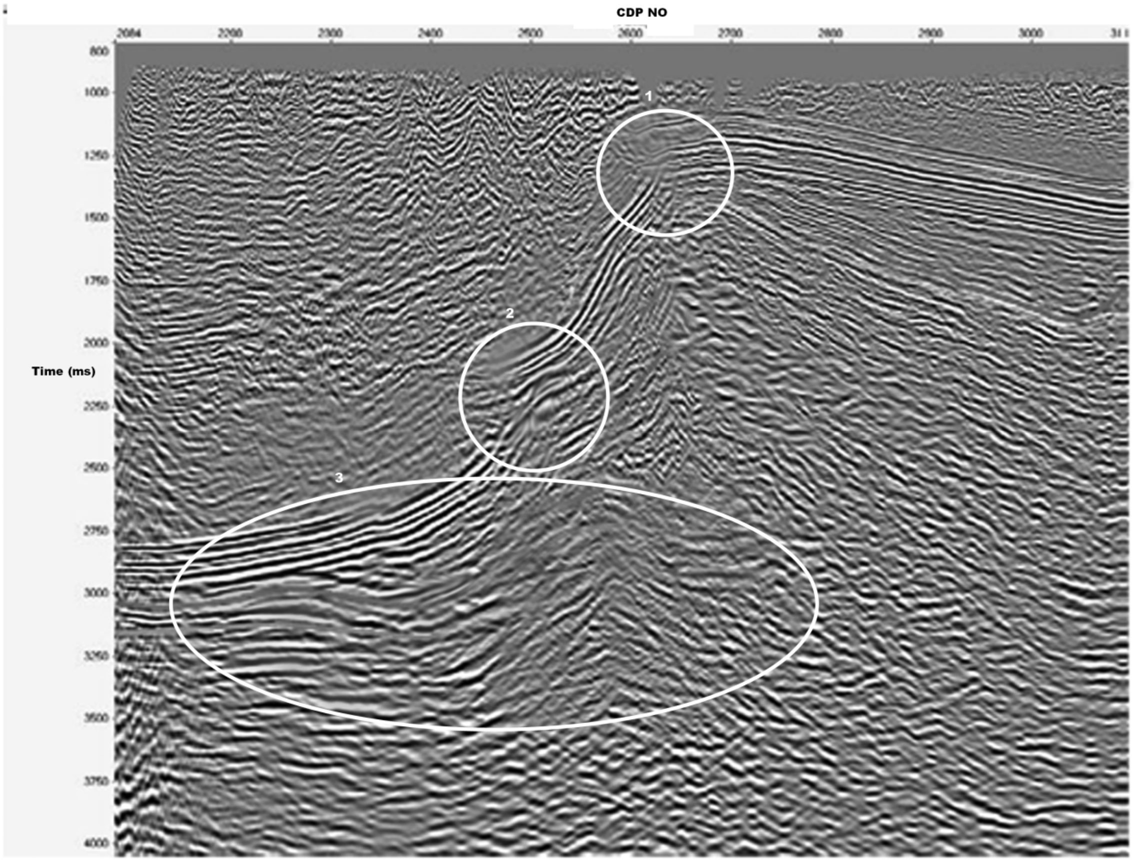
[1]- Dell

پس از بین بندی داده ها در محدوده دورافت، کوچ داده های پیش پردازش شده توسط ماژول کوچ زمانی پیش از برانبارشِ کامل کیرشهف انجام شد. بازه کوچ کیرشهف ۴۰۰۰ متر در نظر گرفته شد و تابع وزن دار[۱] نیز طبق تنظیمات پیش فرض نرم افزار، لحاظ شد. سرعت اولیه ای که در انجام کوچ از آن استفاده شد، همان سرعت حاصل از تحلیل سرعت بر انبارش در مرحله تصحیح NMO در نظر گرفته شد، ولی چون عملگر کوچ زمانی به تغییرات شدید و یکباره سرعت حساس است، بنا بر این مدل سرعت ذکر شده را مقداری نرم کرده و سپس، از آن در عملیات کوچ بهره بردیم. این مدل سرعت اولیه کوچ زمانی را در شکل(۵-۱) مشاهده می‌نمایید. شکل (۵-۲)نیز نتیجه نهایی، برانبارش و جمع داده‌های ورداشت‌های مشترک تصویر[۲] می‌باشد که مقطع نهایی کوچ زمانی‌پیش‌از برانبارش است. لازم به ذکر است که به دلیل اهمیت ساختار زیر تاقدیس نفت شهر برای ما، عملیات کوچ، فقط در آن قسمت انجام شد، و مدل سرعت نیز مربوط به همان بخش از خط برداشت می‌باشد.



(شکل ۵-۱) مدل سرعت اولیه برای کوچ زمانی پیش از برانبارش کیرشهف.

[1]- Taper
[2]- Common Image gather (CIG)

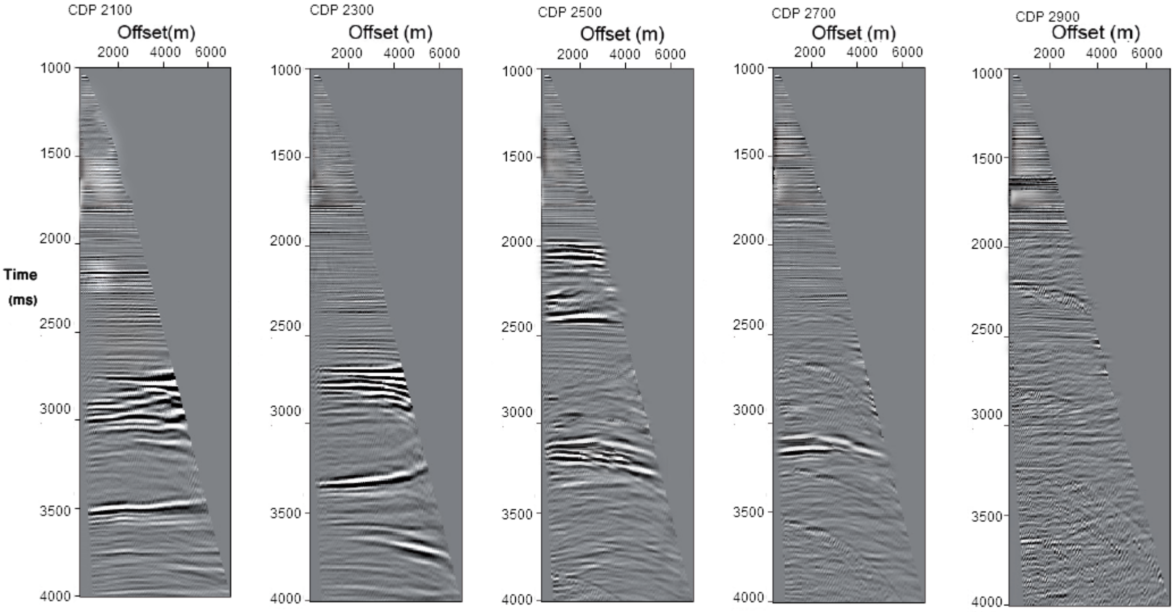


(شکل ۵-۲) مقطع نهایی کوچ زمانی پیش از برانبارش، با مدل سرعت اولیه.

اولین تفاوت محسوسی که این‌مقطع کوچ یافته با مقاطع برانبارش به دست آمده قبلی دارد، آشکارسازی یک تاقدیس کوچک در زیر تاقدیس اصلی، در ناحیه نشان داده شده با شماره ۳ است. مقایسه کردن مقاطع در بخش های بعدی بررسی می گردد، اما اکنون، زمانِ مشاهده ورداشت‌های مشترک تصویر است که معیاری برای بهبود مدل سرعت اولیه و به روز کردن آن، برای به دست آوردن نتیجه بهتری از کوچ می باشد. از این بخش خط برداشت که تحت کوچ قرار گرفته است، به فاصله یکسان CMP ۲۰۰، پنج ورداشت تصویر مشترک از داده‌های کوچ داده شده، تهیه می‌کنیم (شکل ۵-۳). همان‌طور که می‌دانید ودر فصل سوم نیز بیان کردیم، با اِعمال کوچ کیرشهف، و استفاده از سرعت مناسب، پدیده‌هادر ورداشت‌های تصویر مشترک باید به خط شوند، درست مثل اِعمال تصحیح NMO؛ بنابراین یک کشیدگی[1] نیز، درست مثل همین عملگرNMO، به خصوص در زمان‌های

[1]- Stretch

کم و دورافت‌های زیاد، رخ خواهد داد، که برای انجام برانبارش و به دست آوردنِ مقطع نهایی کوچ، باید آن قسمت از داده‌ها را، از برداشت‌ها حذف[1] کنیم تا روی مقطع برانبارش شده‌یِ کوچ نهایی تاثیر منفی نگذارد.



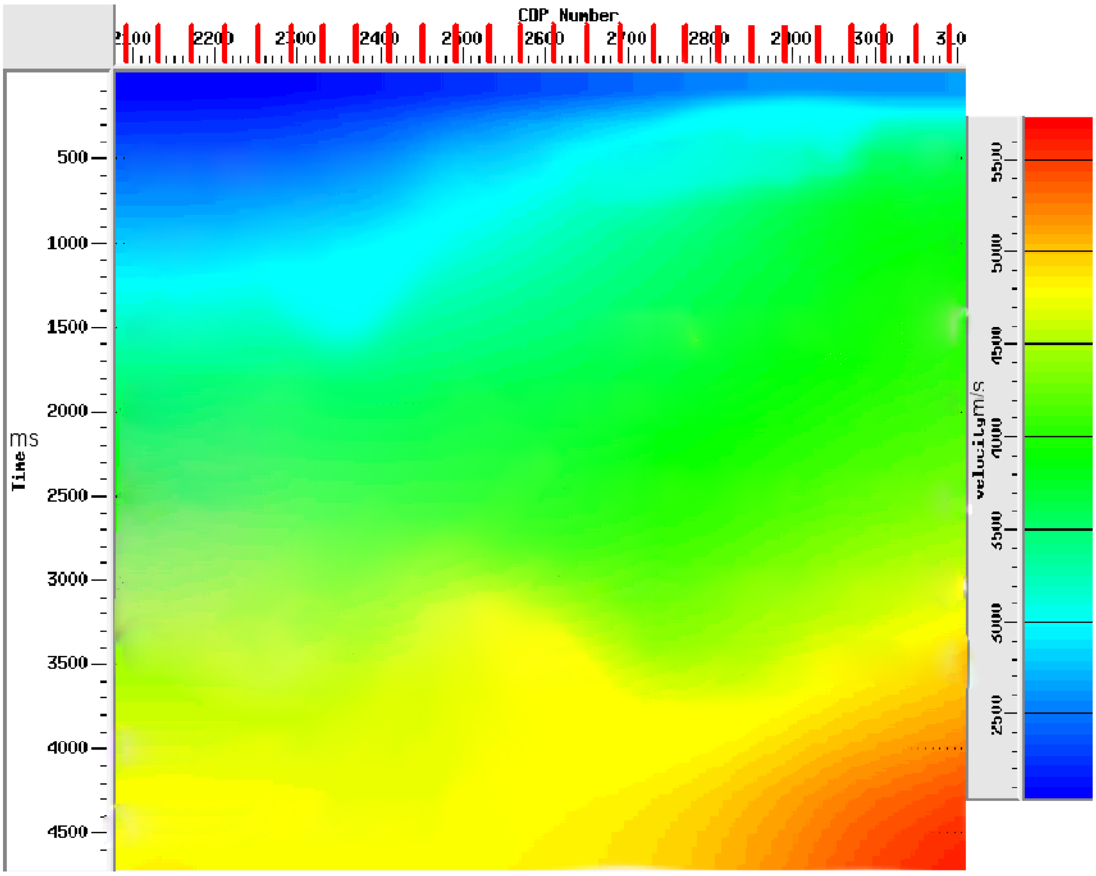
(شکل ۵-۳) مقاطع برداشت تصویر مشترکِ کوچ زمانی پیش از برانبارش با سرعت اولیه، بعد از حذف کشیدگی‌ها.

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، به خط شدگی در برداشت‌های تصویر، به خصوص در زمان های زیاد، خیلی مطلوب نیست و نشانه‌ی این است که سرعت در این محل‌ها، بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی است. بنابراین با انجام مجدد تحلیل سرعت برانبارش، یعنی همان تحلیل برون راند باقی‌مانده، سعی می کنیم به سرعت کوچِ زمانیِ واقعی نزدیک شویم. برای این کار، ابتدا یک تصحیح NMO معکوس را با همان سرعتی که کوچ انجام شده، برروی برداشت‌های تصویر، اِعمال می‌کنیم و سپس تحلیل سرعت برانبارش مرسوم را انجام می‌دهیم. نتیجه‌ی تحلیل برون راند باقی مانده، به روز کردن مدل سرعت است، همان طور که در شکل(۵-۴)نمایش داده شده است. با انجام دوباره‌ی کوچ با همان مشخصات، و با استفاده از مدلِ سرعت به روز شده جدید، مقطعِ نهایی کوچ (شکل ۵-۵) به دست می‌آید و برداشت‌های تصویر مشترک نشان داده شده در شکل(۵-۳) نیز پس از انجام کوچ جدید با

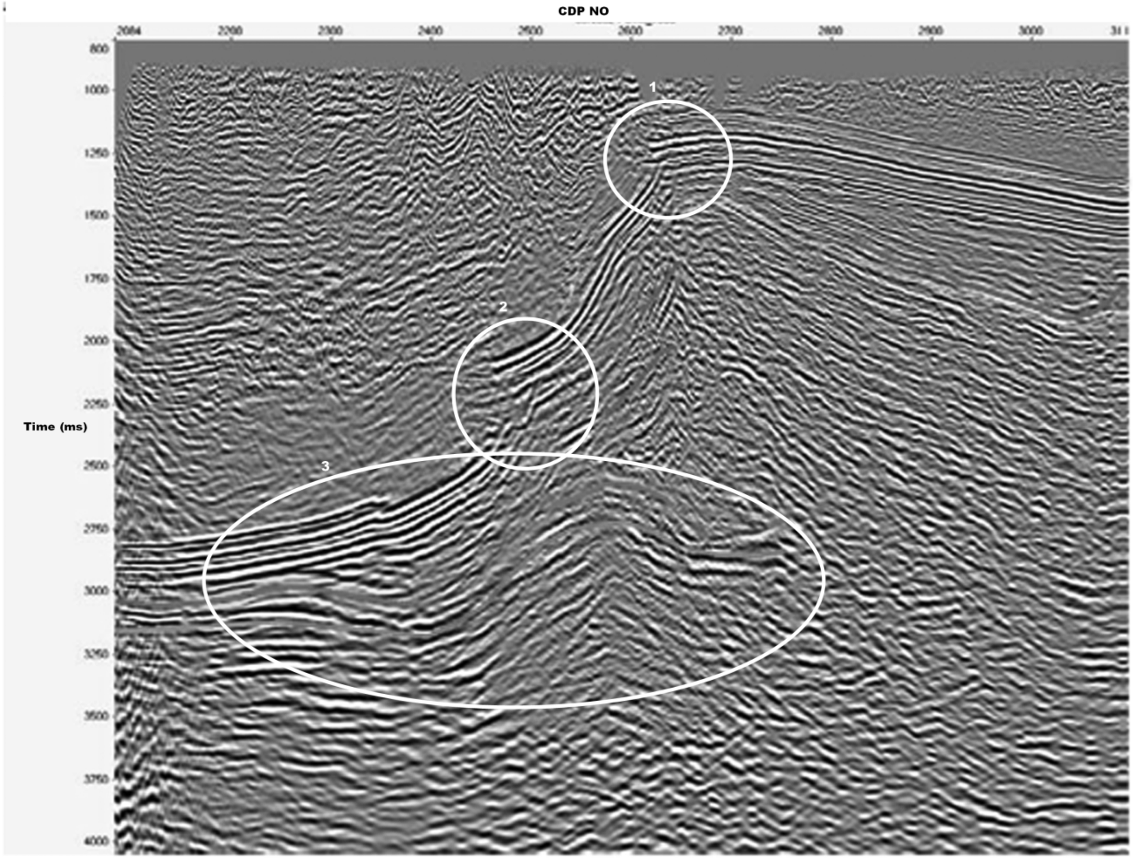
[1]- Mute

مدلِ سرعت جدید، در شکل(۵-۶)آورده شده‌اند. تصویر زمانی به دست آمده از کوچ، نسبت به تصویر قبلی، در مناطق مشخص شده بهبود یافته و تاقدیس کوچک مد نظر نیز بهتر تصویر شده است. گوه‌های نزدیک به صفحه گسل رورانده نیز نسبت به مرحله قبل، از کیفیت بیشتری برخوردار است. شاهدِ بهبود مدل سرعت، علاوه بر خود تصویر کوچ زمانی، ورداشت های تصویرِ مشترکی است که در شکل (۵-۶)مشاهده می‌کنید. در این ورداشت‌ها، نسبت به شکل(۵-۳)، در بعضی محل‌ها بهبود زیادی در به خط شدگی پدیده‌ها دیده می شود و آن هم ناشی از انتخاب و دست چین کردنِ درست و واقعی سرعت هاست.

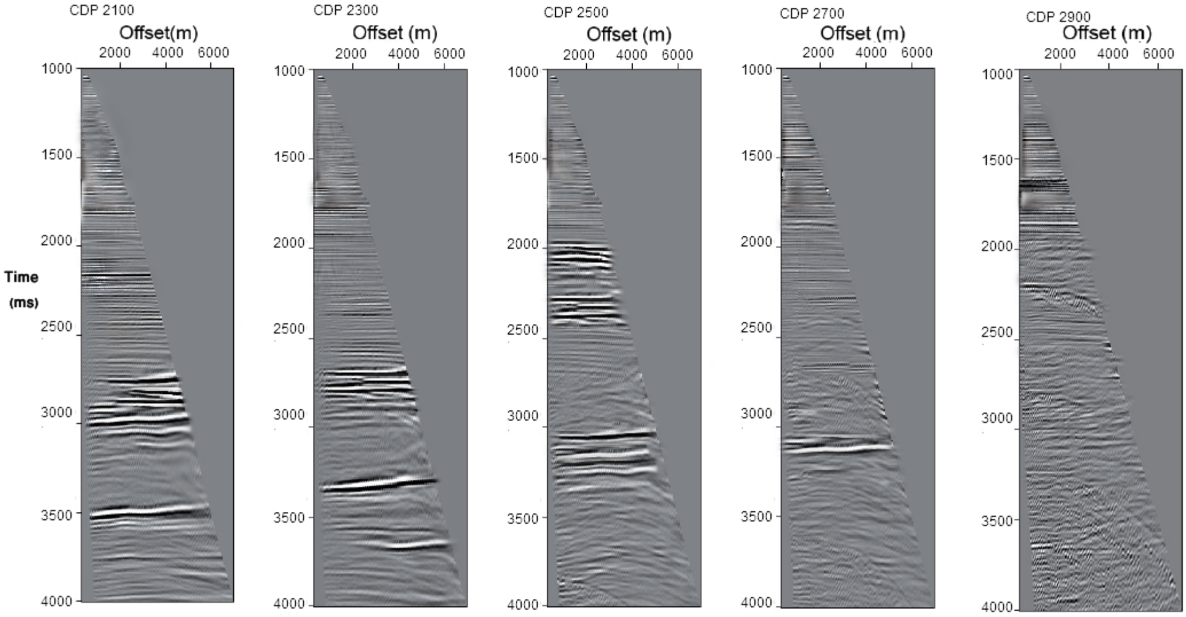
بعد از به دست آوردن مقطع نهاییِ کوچ زمانی، و مجموعه داده‌های کوچ داده شده‌ی زمانی، نوبت به مرحله‌ی بعدی، یعنی ورود این مجموعه داده‌ها به مرحله انجام CRS می‌رسد.



(شکل ۵-۴) مدل سرعت به روز شده به دست آمده از تحلیل برون راند باقی مانده.



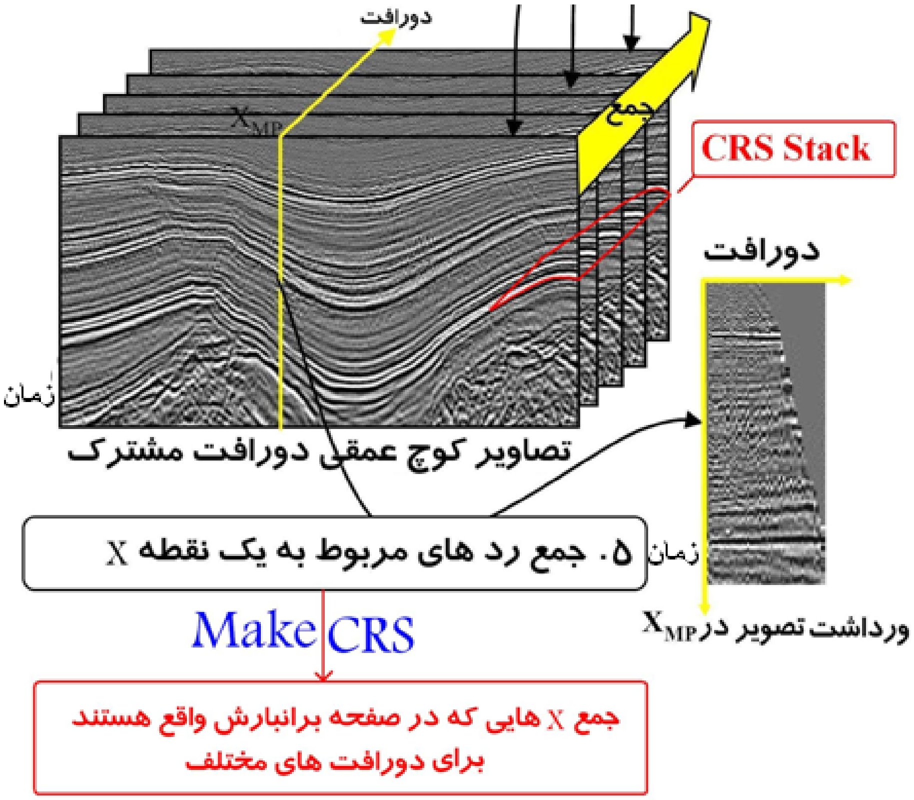
(شکل ۵-۵) مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش با استفاده از مدل سرعت به روز شده.



(شکل ۵-۶) مقاطع ورداشت تصویر مشترکِ کوچ زمانی پیش از برانبارش با سرعت به‌روز شده، بعد از حذف کشیدگی‌ها.

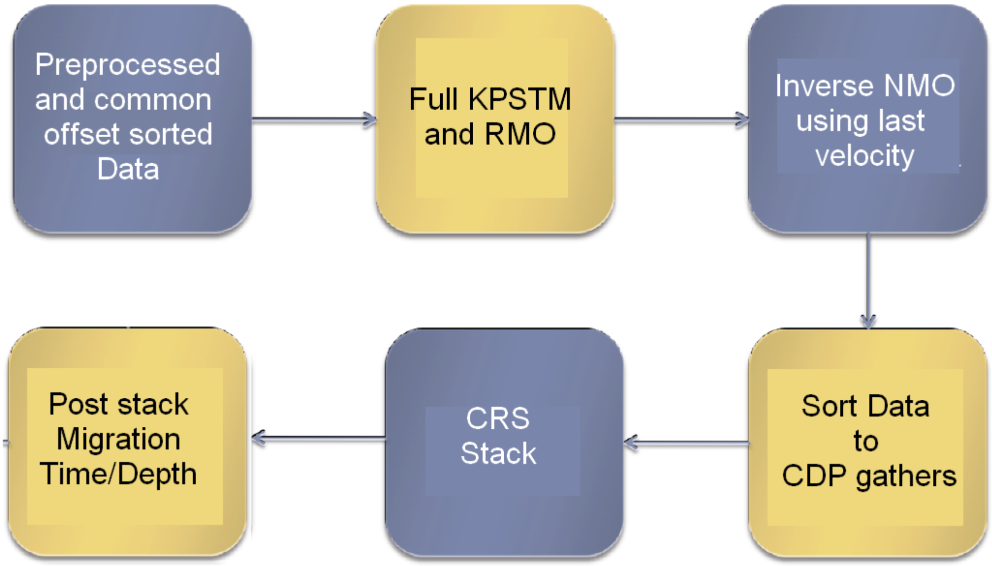
۵-۳ انجام روش CRS بر روی خروجی PSTM

اگر مرحله پنجم از روش PreSDM ذکر شده در فصل سوم، شکل (۳-۱۴)را یادآوری کنیم، با مقاطع مرتب شده بر اساس دورافت وهم چنین کوچ داده شده در حوزه عمق روبه رو بودیم که فقط نیاز به یک برانبارش در راستای محور دور افت داشتند، تا تصویر نهایی کوچ عمقی از آن ها به دست آید. ما نیز پس از پایان بخش قبلی، همان‌طورکه درشکل(۵-۷) به صورت شماتیک مشاهده می‌کنید، مقاطعی مرتب شده بر حسب دور افت و کوچ داده شده در حوزه زمان در اختیار داریم، که تنها با انجام یک برانبارش، در راستای محور دور افت، مقطع نهاییِ کوچ زمانیِ پیش از برانبارش را در اختیار ما قرار می‌دهد. قصد داریم به جای استفاده از برانبارشِ(جمع) معمول داده‌ها، در این مرحله، از روش برانبارش CRS استفاده کنیم. ولی با ذکر این نکته که ورداشت‌های تصویری به خط شده هستند، باید قبل از انجام روش برانبارش CRS بر روی مجموعه داده‌ها، درحالی که داده‌ها را برحسب CDP مرتب‌کرده‌ایم‌از یک تصحیح NMO معکوس استفاده کنیم، تا داده‌ها به‌حالت عادی و پیش از برانبارش



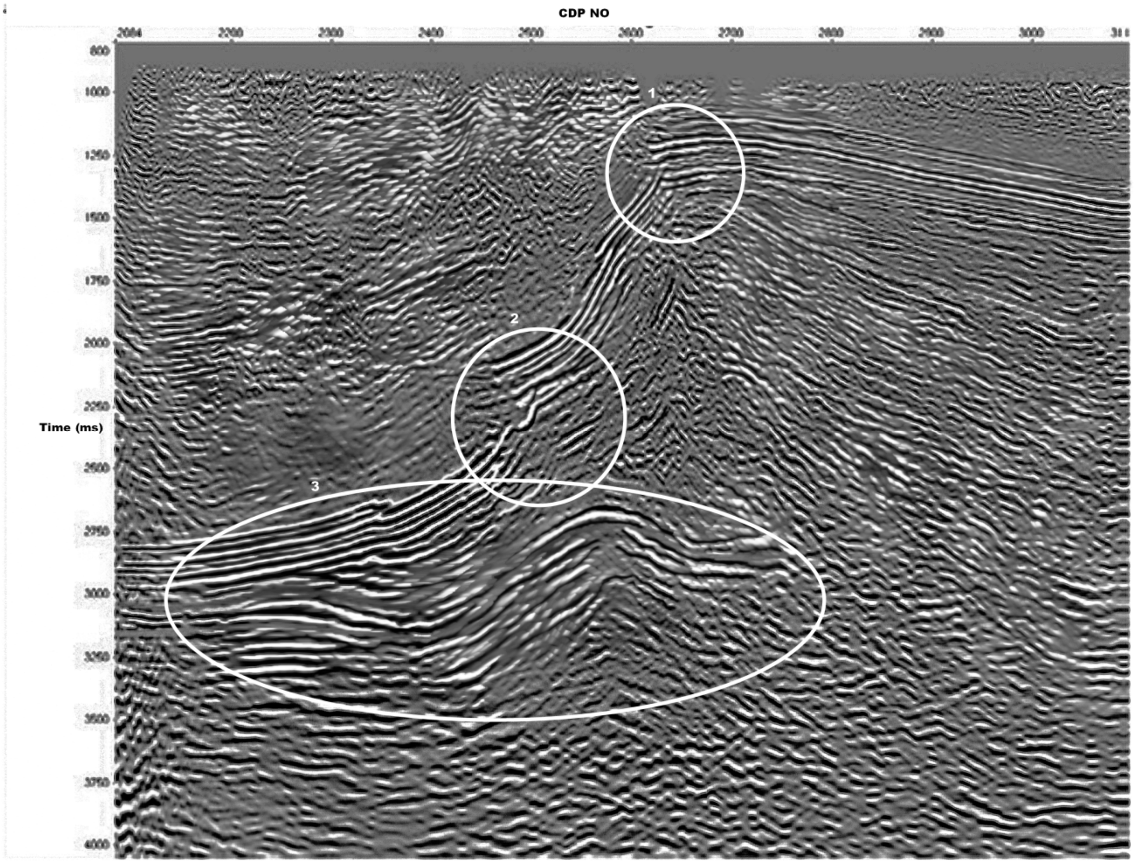
(شکل ۵-۷) استفاده از روش برانبارش CRS به جای برانبارش(جمع) معمول(بعد از روبین، ۲۰۰۳)

CRS معمول برگردند. آن گاه این مجموعه داده‌ی با کیفیت و کوچ داده شده در حوزه زمان را می توان تحت برانبارش CRS قرار داد. پیش بینی می‌شود، این مقطع دارای نسبت سیگنال به نوفه و کیفیت بالاتری نسبت به مقاطعی که از روش‌های مرسوم بدست می‌آیند، باشد. پس از آن نیز می‌توان مقطع برانبارش به دست آمده نهایی را کوچ داد، اگر چه به نوعی، داده های مورد نظر یک بار تحت فرآیند کوچ قرار گرفته اند. نمودار خلاصه شده‌ای از این روش تلفیقی را در شکل (۵-۸) می بینید.



(شکل ۵-۸) نمودار ساده شده‌ی روش تلفیقی PSTM و CRS.

پس از تصحیح NMO معکوس، بر روی داده‌های کوچ داده شده، با آخرین سرعت به دست آمده، مجموعه داده‌ها آماده ورود به مرحله انجام برانبارش CRS می‌شوند. پارامترهای برانبارش CRS، همانند پارامترهای به کارگرفته شده در فصل قبل، برای این مجموعه داده در نظر گرفته می شوند. شکل (۵-۹)مقطع نهاییِ برانبارش و بهینه شده‌ی روش برانبارش CRS را نمایش می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌کنید، نسبت سیگنال به نوفه مقطع، بالاتر رفته و تاقدیس کوچک نیز بهتر از مرحله قبلی تصویر شده است. با این حال در نقاطی هم، کیفیت تصویر کمی به هم ریخته به نظر می‌رسد. در بخش بعدی به مقایسه مقاطع می‌پردازیم.



(**شکل۵-۹**) مقطع برانبارش شده و بهینه‌ی CRS بر روی داده‌های کوچ داده شده.

۵-۴ مقایسه مقاطع به دست آمده در این بخش

ابتدا به مقطع کوچ داده شده با سرعت اولیه می‌پردازیم(شکل۵-۲). این مقطع که اساساً با مقاطع برانبارش معمول و CRS معمولیِ فصل چهارم، تفاوت دارد، یعنی مقطعی از جنس کوچ و تصویر است، رویدادهای بیشتری را نسبت به مقاطع فصل چهارم نمایان کرده است. ولی در ناحیه ۱،۲،۳ که با دوایر سفید مشخص شده‌اند، به دلیل نداشتن سرعت مطلوب، شیب های متداخل را با کیفیت کمتری نسبت به مقطع کوچ با سرعت به روز شده، تصویر کرده است. تاقدیس کوچک نیز به همین دلیلِ عدم دسترسی به سرعتِ کوچ مناسب، نسبت به دو مقطع دیگر(شکل۵-۵ و ۵-۹) با کیفیت کمتری تصویر شده است. قسمت های گوه ای شکلِ سمت راست گسل رورانده نیز در این مقطع نسبت به دیگر مقطع کوچ، ضعیف تصویر شده‌اند. در مقطع دوم کوچیده شده(شکل۵-۵)، با سرعت به روز شده و بهبود یافته، شیب های متداخل در نواحی ۱ و ۲ و سمت چپ ناحیه ۳ بهتر تصویر شده اند. گوه قرار

گرفته در سمت راست گسل رورانده هم، پیوستگی و نسبت سیگنال به نوفه بالاتری دارد. تاقدیس زیر گسل نیز، نسبتاً بهتر تصویر شده است. در مقطع شماره سوم(شکل ۵-۹) که در واقع مقطعی برانبارش شده (دورافت صفر) است، ولی در عین حال، کوچ داده شده نیز هست، نسبت کلی سیگنال به نوفه بالاتر است؛ که از خصایصِ روش برانبارش CRS می‌باشد. تاقدیس کوچک خیلی بهتر تصویر شده است و شیب های متداخل نیز بهتر و با کیفیت و تفکیک و تمایز بهتری تصویر شده‌اند، زیرا کوچ زمانی پیش از بر انبارش، مشکل تداخل شیب ها را تا حدودی بر طرف کرده است. بنابراین، همان طور که مشاهده می کنید انجام روش CRS مسلماً نتایج بهتری را، در ارتباط با تصویر سازی شیب های متداخل فراهم می‌کند. البته در قسمت‌هایی از این مقطع، رخدادها به صورت تکه تکه نمایش داده شده‌اند که احتمالاً از نامناسب بودن پارامترهای CRS، یا بین بندی شدن محدوده دورافت و ورود داده‌ی کوچیده به عرصه عملکرد روش برانبارش CRS ناشی می‌شوند.

مقایسه نتیجه مقطع نهایی این فصل با مقاطع برانبارش CMP، CRS و CDS از جهت سیگنال به نوفه، آشکارسازی پدیده ها در زمان‌های زیاد و بهتر تصویر کردن تداخل شیب ها، افزایش و بهبود قابل توجهی را شامل می شود.

فصل ششم

خلاصه، نتیجه گیری وپیشنهادات

فصل ششم

خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ خلاصه

همان‌طور که در این تحقیق به آن اشاره شد، نسبت سیگنال به نوفه به تعداد داده برداشت شده از هر نقطه میانی مشترک بستگی دارد. لذا به منظور بالا بردن نسبت سیگنال به نوفه باید تعداد و حجم برداشت از یک منطقه، در عملیات لرزه نگاری، بالا برده شود که این کار مستلزم صرف هزینه زیادی می باشد. از طرفی متحمل شدن این افزایش هزینه برای بسیاری از نواحی ضروری نبوده و با معیارها و روش های برداشت متداول نیز نتیجه مطلوب حاصل خواهد شد.

از این رو استفاده از یک روش پردازش که بدون بالا بردن حجم عملیات برداشت، قدرت افزایش نسبت سیگنال به نوفه را در مواقع ضروری داراباشد و همچنین تصویری قابل قبول در مقایسه با روش های مرسوم از لایه های زیر سطحی حاصل نماید، در پردازش داده‌های لرزه‌ای امری ضروری می‌باشد.

روش CRS به عنوان روشی مستقل از مدل سرعت و خودکار، از حدود یک دهه پیش، جای خود را در پردازش داده‌های لرزه‌ای باز کرده است و هر روز از مزایای آن در باز کردن گرهی از مشکلات تصویرسازیِ داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌گردد. داده‌های استفاده شده در این تحقیق، از گره‌هایی است که صنعت به دنبال گشودن آن، توسط به کارگیری روش‌های نوین تصویرسازی است، زیرا در این منطقه که با گسل‌های رورانده و چین‌خوردگی‌های شدید، شناخته شده است؛ با استفاده از روش‌های مرسوم پردازش، نتایج با کیفیت قابل قبولی به دست نیامده است و تبعاً تفسیر در این نواحی با چالش و ریسک زیادی همراه می‌شود. لذا بر آن شدیم عملکرد روشهای نوین برانبارش سطح بازتاب مشترک و برانبارش سطح پراش مشترک را بر روی نمونه‌ای از مقاطع لرزه‌ای دو بعدی برداشت شده از این مناطقِ با ساختارهای پیچیده در ایران، ارزیابی نموده و روش پیشنهادی خود را نیز انجام داده و نتایجش را با روش‌های قبلی مقایسه کنیم.

در فصل اول، اصول روش مرسوم پردازش، یعنی روش برانبارش CMP، برای انجام مرحله به مرحله این روش، مرور شد و پس از آن در فصل دوم، مبانی روش CRS که در واقع تعمیمی از همان روش قبلی است و قاعدتاً نتایج مطلوب‌تری هم فراهم می‌کند، ارائه گردید. در فصل سوم نیز که هنوز مربوط به توضیح روش‌های مورد بررسی در این تحقیق است، در مورد کوچ به عنوان تکمیل کننده و تصحیح کننده‌ی تصاویر زیر سطح زمین، به دست آمده از داده‌های لرزه‌ای بازتابی، به تفصیل مطالبی مرور شد. کوچ زمانیِ پیش از برانبارش به دلیل جایگاه و سازگاریِ مدِ نظر ما، که در موردش صحبت خواهیم کرد، بخش زیادی از این فصل را به خود اختصاص داده‌است. در ضمن روش‌های تحلیل سرعت کوچ و به روز کردن آن بررسی شد و از مزایای کوچ زمانی نیز صحبت به میان آمد.

مانند همه روش‌های حلِ مسائل فیزیکی، در حوزه پردازش داده‌های لرزه‌ای نیز، ابتدایی‌ترین راه حل‌ها با فرضیات ساده‌تر آغاز شده و پس از آن جزئیات بیشتری برای تطابق فرض ساده و نزدیک تر شدن آن به واقعیت، لحاظ گشته و راه حل‌ها پیچیده‌تر و نتایج به دست آمده به واقعیت نزدیک‌تر می‌گردند. بحث این تحقیق هم، همین مطلب می‌باشد و از مرحله‌ای که با روش CMP شروع کرده و به روش CRS می‌رسیم، در واقع به جای عملگر ساده‌ی هذلولی شکل با پارامتر وابسته‌ی سرعت، آن هم در یک نقطه میانی مشترک، از تعمیم همین عملگر و در نظر گرفتن نقاط میانی مشترک مجاور، بهره می‌بریم و در این صورت از یک سطح منحنی شکل که این بار به پارامترهای بیشتری از جمله انحنا و زاویه‌ی شیب بازتابنده‌ها ، وابسته است به عنوان عملگراستفاده شده و سعی می‌شود به واقعیت نزدیک‌تر گردیم و نتایج مطلوب‌تری دریافت کنیم. استفاده از این عملگر جدید، باید نسبت سیگنال به نوفه بالاتر و پیوستگی بیشتر بازتابنده‌ها را فراهم کند، که با بررسی فصل چهارم و مقایسه این نتایج، می‌توان به صدق این ادعا پی برد. روش CDS هم که در واقع، لحاظ کردن عملگری شبیه DMO در روش CRS است، با در نظر گرفتن همه شیب‌های ممکن برای یک نمونه از مجموعه‌ی داده‌ها، هم پیوستگی بازتابنده‌ها در تصویر را بالا می‌برَد و هم تداخل شیب‌ها که یکی از فاکتورهای مقاطع با زمین شناسی پیچیده است را برای هر نمونه دورافت صفر، بهتر تصویرسازی می‌کند. در فصل چهارم،

نتایج این روش هم گنجانده شده و گویای مطالب ذکر شده است.

کوچ پس از برانبارش، هم در حوزه عمق و هم زمان با از بین بردن پراش‌ها و انتقال بازتابنده‌ها به مکان واقعی خود، تصویری شبیه واقعیت فراهم می‌کند. انجام کوچ بر روی مقطع برانبارش شده‌ی CRS ، در تحقیقات قبلی صورت گرفته و نتایج خوبی هم از آن به دست آمده است، ولی کوچ پیش از برانبارشِ داده‌ها که برای تلفیق با روش CRS ، قاعدتاً باید در حوزه زمان هم باشد، حداقل تاکنون و با ارائه نتایج، انجام نشده است. بنابراین برانبارش داده‌هایی که در حوزه زمان کوچ داده شده اند، با استفاده از روش CRS ، ایده‌ی اولیه‌ی انجام این تحقیق شد و دلیل آن هم استفاده از داده‌های با کیفیت ترِ ورودی، نسبت به حالت معمول این روش برانبارش می‌باشد، که در آن از داده‌های پیش پردازش شده استفاده می شد. با این توصیفات، در فصل پنجم، ابتدا اِعمال کوچ زمانی پیش از برانبارش به روش کیرشهف بر روی داده‌ها مرحله به مرحله توضیح داده شد و نتایج آن نیز در معرض نمایش گذاشته شدند و سپس این مجموعه داده‌های با کیفیت تر، البته پس از انجام یک تصحیح NMO معکوس با آخرین مدل سرعتِ به دست آمده، ورودی مرحله اول روش CRS گردیدند و نتایج بهبود یافته‌تری نسبت به روش CMP، CRS معمول و CDS در اختیار گذاشتند.

۶-۲ نتیجه گیری

همان‌گونه که مشاهده گردید، یکی از پارامترهای بسیار مهم در پردازش به روشCRS بازه دورافت صفر می‌باشد. در این تحقیق برای داده‌های مذکور بازه ۳۵۰۰ متر به عنوان بازه مناسب تشخیص داده شد که تقریبا ۱/۵ برابر اولین ناحیه فرسنل برای زمان انتهایی داده‌ها می باشد و با اعمال تابع تعمیم بر بازهCRS به گونه‌ای که دومین ناحیه فرسنل نیز پوشش داده شود، به صورت عملی این نتیجه حاصل شد که با انتخاب بازه به نحوی که ناحیه اول و دوم فرسنل، برای تمام داده ها پوشش داده شود، بهترین کیفیت تصویر حاصل خواهد شد. لذا بازه دورافت صفر مربوط به داده‌های

ساختار پیچیده مذکور در فصل چهارم را با استفاده از معیار ناحیه فرسنل به دست آمده از روش CRS تعیین کرده و به طور مستقیم به بهترین نتیجه رسیدیم.

مهمترین خصوصیتی که در نتایج حاصل از CRS در مقاطع ذکر شده مشاهده شد، افزایش نسبت سیگنال به نوفه در مقایسه با مقاطع حاصل از روش متداول پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌باشد .این امر بایک نگاه و مقایسه کلی بین مقاطع CRS و CMP به راحتی قابل تشخیص می باشد.

روش برانبارش CRS علاوه بر خروجی مقطع برانبارش شده دورافت صفر ، دارای خروجی‌های دیگری همچون مقطع R_N (بیانگر انحنای سطح بازتابنده)، مقطع R_{NIP} (بیانگر عمق قرارگیری سطح بازتابنده)، مقطع α (بیانگر زاویه قرارگیری سطح بازتابنده) و همچنین مقطع همدوسی CRS می‌باشد. وجود یک بازتابنده در زمین موجبات پیوستگی در روند هر یک از مشخصه های فوق الذکر را فراهم می سازد. لذا مقاطع مذکور، خود می‌توانند بیانگر تصویری از سطوح بازتابی در زیر زمین باشند. این امربه خوبی در مقاطع α، R_N ، R_{NIP} وهمدوسیCRS مربوط به داده‌های ساختار پیچیده مذکور در این تحقیق، مشهود بود. همانطور که مشاهده کردیم روند تغییر شیب بازتابنده ها به خوبی توسط مقطع α به تصویر کشیده شده است. پیوستگی در مشخصه R_N ، روند بازتابنده‌ها را به تصویر کشیده بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مقاطعی که به دلیل پیچیدگی با ابهام مواجه هستیم دیگر خروجی‌های CRS همچون α، R_N ، R_{NIP} وهمدوسی نیز می‌توانند به عنوان راهگشایی فراروی این ابهامات در اختیار مفسران قرار گرفته و آنها را در جهت اخذ تصمیمات دقیق‌تر یاری نمایند.

در مواقعی که با ساختارهای پیچیده پرگسل مواجه هستیم، وجود منحنی های پراش، امر تصویر سازی لایه ها را با مشکل مواجه می‌کند، در صورت تصویرسازی درست انرژی پراش، با اعمال کوچ به راحتی می توان اثر آنها را بر روی داده ها حذف کرد. در اینگونه مواقع مشکل تداخل شیب ها یکی از اساسی‌ترین مشکلات فراروی تصویرسازی لایه‌های بازتابنده است. نتایج استفاده از روش جدید CDS بر روی داده‌های مذکور، نشان داد که این روش قادر به برطرف کردن مساله تداخل شیب‌ها بوده و مقطعی بدست می‌دهد که رخدادهای بیشتری در آن آشکار می‌شوند و رخدادها از پیوستگی بهتری

برخوردار می‌باشند. در مقایسه انجام شده بین سه مقطع حاصل از برانبارش CDS، CRSو CMP در فصل چهارم، مشاهده شد که روش برانبارش CDS ، علاوه بر برخورداری از خاصیت نسبت سیگنال به نوفه بالا که موجبات پیوستگی بیشتر در پدیده های بازتابی را فراهم می سازد، با ثبت هر گونه انرژی در تمام جهات، دارای وضوح تصویر جانبی بسیار بالایی بوده ، انرژی پراش ها را به طور کامل تصویر سازی کرده و همچنین به دلیل وضوح تصویر جانبی بسیار بالا، شکل، نحوه قرارگیری و موقعیت گسل‌ها را با کیفیتی بسیار بالاتر از مقاطع برانبارش CRS وCMP تصویرسازی می‌نماید و تنها عیب این روش زمان بر بودن آن می باشد. بنا براین می توان از این روش به عنوان یک روش فوق العاده موثر و مکمل در کنار روش های برانبارش CRS و CMP یاد کرد.

کوچ زمانی پیش از بر انبارش در محیط‌های زمین شناسی که ساختاری پیچیده و مدل سرعتی متوسط از نظر پیچیدگی دارند، خوب عمل کرده و شیب‌های متداخل را با کیفیت و تمایز بیشتر تصویر می کند و پیوستگی و وضوح جانبی تصویر را نیز افزایش می‌دهد که همه‌ی این‌ها بر روی نتایج خروجی روش CRS ، طبق نتایج به دست آمده در فصل پنجم، تاثیر به سزایی دارد.

همان طور که در فصل پنجم دیده شد، مقطع به دست آمده از CRS که ازداده‌های کوچ داده شده به دست آمده بود نسبت به مقطع CRS فصل قبلی ساختارهای بیشتری را نمایان کرده، وضوح و کیفیت بیشتری داشته و می توان با اطمینان بیشتر و ریسک کمتری، از آن برای مراحل تفسیر استفاده کرد. و همان طور که دیده شد گسل بزرگ که در تاقدیس وجود دارد و گسل های شعاعی منشعب از آن در این مقطع بهتر تصویرسازی شدند که می توان با توجه به آن ها دلایل آتش سوزی چاه شماره ۲۴ نفت شهر در خرداد ۱۳۸۹را بهتر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد و از حوادث مشابه با تکیه بر چنین تصاویر با کیفیت تر و دقیق تری، جلوگیری به عمل آورد.

مقطع نهایی به دست آمده در فصل پنجم، نسبت به مقطع CDS نیز کیفیت و وضوح بیشتری دارد و توانسته تاقدیس کوچکتری که در زیر روراندگی و تاقدیس بزرگ نفت شهر قرار دارد را نمایش دهد، درحالی که مقطع CDS علی‌رغم نسبت سیگنال به نوفه بالا، در به تصویرکشیدن آن ناکام مانده است.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که هرچه قدر داده‌های ورودی برای روش CRS ، با کیفیت تر باشند، می‌توان خروجی بهتری را از آن‌ها به دست آورد. این افزایش کیفیت، مثل کار انجام شده در این تحقیق، می‌تواند کوچ زمانی پیش از بر انبارش باشد، یا این که تلاش بیشتر برای حذف نوفه ها یا موارد دیگر را شامل گردد.

۶-۳ پیشنهادات

با توجه به کیفیت خوب مقطع CDS به نظر می‌رسد که انجام این روش بر روی داده‌های کوچ داده شده‌ی زمانی هم، نتایج قابل توجهی در برداشته باشد که احتمالاً نسبت سیگنال به نوفه بالا، آشکارسازی بازتابنده‌ها در زمان های بیشتر و تصویرسازیِ با کیفیتِ شیب‌های متداخل از ویژگی های این مقطع است.

برای انجام روش CRS در فصل پنجم از همان پارامترهای فصل قبل استفاده شد، که احتمالاً اثرات نامطلوب مشاهده شده در مقطع نهایی به همین خاطر باشد. لذا انجام آزمایش‌های متعدد با پارامترهای مختلف و بازه های دور افت صفر متفاوت، می تواند در رفع این اثرات و حصول نتایج بهتر موثر باشد.

از آنجا که روش‌های CRSو CDS نسبت به نوفه حساس هستند و عملگرشان طوری است که ردلرزه‌های بیشتری را برای یک نقطه در نظر می‌گیرند؛ بنابراین اگر نوفه در داده‌ها زیاد باشد، تبعاً این نوفه‌ها در مقطع نهایی تاثیر گذار خواهند بود، پس باید با انجام پردازش‌های لازم تا آن جا که ممکن است نوفه را کاهش داد و هم چنین بر روی تصحیحات استاتیک باقی مانده هم بیشتر سرمایه گذاری کرد، زیرا بر روی نتیجه نهایی تاثیر مستقیم و فراوان دارند.

در مرحله انجام کوچ زمانی، قبل از تحلیل مجدد سرعت، از تصحیح NMO معکوس استفاده شد، در صورتی که این تصحیح بر روی داده‌هایی صورت می‌گرفت که تحت کوچ کیرشهف قرار گرفته بودند، لذا این تصحیح نمی تواند اثرات کوچ را از بین ببرد و بهتر آن است که از الگوریتم‌های کوچ

معکوس(دِمایگریتشن) که روز به روز در حال توسعه و کاربردی شدن هستند، استفاده نموده تا هم تحلیل سرعت دقیق تری داشته باشیم و هم نتایج با کیفیت تری به دست آوریم. ضمناً به جای استفاده از روش کوچ زمانی کیرشهف کامل که پیش از بر انبارش انجام شد، پیشنهاد می گردد که از روش Moves هم که در فصل سوم در موردش صحبت شد، استفاده نموده و نتایج به دست آمده را مقایسه نماییم، اگر چه طبق تئوری، کوچ کیرشهف کامل دقیق تر است.

مقطع نهایی به دست آمده در فصل پنجم، در واقع مقطعی برانبارش شده (دورافت صفر است)، لذا در این مرحله می‌توان با انجام کوچ زمانی پس از برانبارش، نتایج به دست آمده را با سایر مقاطع و هم چنین، کوچی که بر روی مقطع CRS معمول پس از برانبارش انجام گرفته مقایسه نمود. با انجام کوچ عمقی پس از برانبارش یا تبدیل زمان به عمق هم می توان مقاطعی آماده برای تفسیر به مفسران تحویل داد، که در مورد آن‌ها قضاوت نمایند.

روش CRSو CDS، از جمله روش‌های خودکار هستند که اِعمال نفوذ پردازشگر را در مراحل میانی پردازش محدود می نمایند. با توجه به این که تصحیح NMO و معکوس آن قابلیت خوبی را برای انجام تحلیل سرعت های مجدد در اختیار گذاشته اند و از آن جا که عملگر CRS تعمیم یافته‌ی همان عملگر NMO است، لذا تعبیه‌ی ساز و کاری برای دخالت در مراحل پردازش و انجام CRS معکوس[1] و مشاهده رخدادهای به خط شده و سپس تحلیل مجدد همدوسی، باعث تبدیل شدن این روش به روشی موثر و کارآتر می‌گردد.

با وارد کردن پارامترهای ناهمسانگردی[2] در رابطه (۲-۲) عملگر هذلولی CRS، یا در نظر گرفتن جملات با مرتبه بیش از دو در این رابطه و تلاش برای پیدا کردن روش پیاده‌سازی مقرون به صرفه‌ی عملگر به دست آمده، می توان به واقعیت نزدیک تر شد و نتایج بسیار با کیفیت تری به دست آورد.

در این تحقیق، در مرحله نهاییِ داخلیِ روش CRS ، یعنی یافتن پارامترهای بهینه برای برانبارش، از روش جستجوی چندوجهی انعطاف پذیر استفاده شد. پیشنهاد می‌گردد از روش‌ها و الگوریتم‌های

---

[1]- Inverse CRS (i-CRS)
[2]- Anisotropy

جدید تر بهینه سازی مانند آبکاری فلزات[1] یا الگوریتم ژنتیک[2] استفاده گردد و نتایج با همدیگر مقایسه شوند.

روش‌های توسعه یافته‌ی CRS مانند CO-CRS (دورافت مشترک) و FO-CRS (دورافت محدود)، برای افزایش کیفیت مقطع ZO که از روش CRS به دست می‌آیند، ایجاد شده یا مراحل تحقیقاتی را پشت سر می‌گذارند و تا حدودی هم نتایج بهتری حاصل کرده و در تصویرسازی شیب‌های متداخل هم موفق تر عمل کرده‌اند، بنابراین انجام این روش‌ها و مقایسه آن‌ها با مقطع نهایی به دست آمده در این تحقیق می تواند، راهگشای حل مسائل تصویر سازی شود. هم چنین انجام هر یک از این روش‌ها بر روی داده‌های با کیفیتِ کوچ داده شده‌ی زمانیِ پیش از برانبارش، مانند کاری که در این تحقیق انجام دادیم، شدنی به نظر می‌رسد.

با توجه به کاربرد نشانگرهای جنبشی میدان موج در معکوس سازی و تهیه مدل سرعتی، می توان از پارامترهای جانبی به دست آمده در این تحقیق، در روش توموگرافی موج NIP استفاده کرده و کوچ عمقی و زمانی را با مدل سرعت به دست آمده از آن، انجام داد که در این صورت روش CRS و تلفیق آن با PSTM روشی خودکفا و قابل رقابت با روش‌های پیشرفته و پرهزینه مثل PreSDM و RTM می‌گردد.

داده‌های به کار رفته در این تحقیق، برداشت شده در خشکی ودوبعدی بودند. با توجه به حساسیت ویژه روش CRS به نوفه، پیشنهاد می‌گردد که روش مورد نظر بر روی داده‌های دریایی که معمولاً نسبت سیگنال به نوفه بالاتری دارند، انجام شود، تا قابلیت آن برای تصویر سازی در مناطق با ساختار پیچیده، بهتر مشخص گردد. مقایسه نتایجِ روش پیشنهادی در این تحقیق با روش پرهزینه و دقیق PreSDM می تواند سنگ محک و معیار خوبی برای کارآیی و دقت این روش باشد. ورود به عرصه داده‌های سه بعدی و انجام 3D CRS و هم چنین تلفیق 3D PSTM با روش CRS نیز پیشنهاد می‌گردد.

[1]- Simulated annealing
[2]- Genetic algorithm

بسیاری از مقاطع لرزه ای مربوط به نواحی نفت خیز در غرب و جنوب غربی ایران، دارای دو ناحیه هدف یکی در اعماق کمتر (مانند سازند آسماری) ودیگری در اعماق بیشتر (مانند گروه بنگستان) می‌باشند که در نواحی دارای ساختار پیچیده تصویر سازی ناحیه هدف عمیق به دلیل نسبت سیگنال به نوفه پایین به خوبی صورت نمی‌گیرد.لذا پیشنهاد می‌گردد در این‌گونه موارد به منظورافزایش نسبت سیگنال به نوفه و همچنین پیگیری هرچه بهتر امتداد لایه‌بندی ودر صورت وجود گسل خوردگی و منحنی‌های پراش فراوان و همچنین در صورت نیاز به کسب اطلاع از جزئیات ساختار موجود، از روش های CRS، CDS و PSTM+CRS به عنوان روش‌هایی نوین‌وبا وضوح تصویر جانبی بسیار بالا استفاده گردد.

فصل هفتم

منابع و مراجع

فصل هفتم

منابع و مآخذ

ادیبی، ا.، سلیمانی منفرد، م.، سکوتی، م.ر. و پیروز، ا.، (۱۳۸۹)، "انتخاب بازه بهینه به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز و پیوستگی پدیده ها در روشهای پردازش CRS وCDS "، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران

جمالی، ج.، (۱۳۸۹)، " گزارش ماموریت به ناحیه لرزه‌نگاری تنگ همام" ، گزارش داخلی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

مطیعی، ه.،(۱۳۷۴)،" زمین شناسی ایران، زمین شناسی نفت زاگرس"،جلد دوم، سازمان زمین شناسی کشور، تهران

ملکی، م.، (۱۳۹۰-الف)،" گزارش نتایج تعبیر و تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری دو بعدی میدان نفت شهر"، گزارش داخلی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، گزارش شماره GR2282

ملکی، م.، (۱۳۹۰-ب)، " نتایج تعبیر و تفسیر خطوط لرزه‌نگاری ساختمان پرویز"، گزارش داخلی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، گزارش شماره GR2292

Bancroft, J.C., (1998), “ A Practical understanding of Pre and Poststack migrations”, Vols1,2, Soc. of Expl. Geophys., Tulsa, USA

Bancroft, J.C. and Geiger, H.D., (1994), “Equivalent-offset CRP gathers”, 64th Ann. Internat. Mtg. , Soc. Expl. Geophys., Expanded abstracts, 672-675

Baykulov, M (2009), “Seismic imaging in complex media with the Common Reflection Surface stack”, PhD thesis, University of Hamburg, Germany

Berkhout, A.J., (1987), “Applied Seismic Wave Theory”, *ELsevier, Amsterdam.*

Berkhout, A.J., (1992),“Trends in seismic industry”,Journal of seismic exploration**1**, 3-8

Biondi, B. and Ronen, J. (1987), “Dip move out in shot profiles”, Geophysics, **52**, 1473-1482

Bolondi, G., Loinger, E. and Rocca, F.,(1984), “Offset continuation in theory and practice”, Geophys. Pros., **32**, 1045-1073

Bortfeld, R.,(1989), “Geometrical ray theory: Rays and traveltimes in seismic systems (second-order approximations of the traveltimes)”, Geophysics, **54**(3), 342-349.

Buttkus, B., (2000), “Spectral analysis and filter theory in Applied Geophysics”, Springer Verlag, Berlin

Cabrera, J. and Levy, S. (1989), “Shot dip move out with logarithmic transformations”, Geophysics, **54**, 1038-1041

Cervený, V. (2001). “*Seismic ray theory*”, Cambridge University Press, Cambridge.

Claerbout, J.,F., (1985) “Imaging the earth’s interior”, Blackwell scientific publications, USA

De Bazelaire, E., (1988), “Normal move out revisited- inhomogeneous media and curved interfaces”, Geophysics, **53**(2), 143-157

De Bazelaire, E., and Viallix, J.,R.,(1994) “Normal move out in focus”, Geophys. Pros., **42**(5), 477-499

Dell, S., Gajewski, D. and Vanelle, C.,(2012), “Prestack time migration by common-migrated-reflector-element stacking”, Geophysics, **77**(3), S73-S82

Deregowski, S.M., (1986), “What is DMO?”, First Break, **4**(7):7-24

Deregowski, S.,M. and Rocca, F.(1981), “Geometrical optics and wave theory of constant offset section in layered media”, Geophys. Prosp., **29**(3):374-406

Doherty, S.M., (1975), “Structure independent seismic velocity estimation”, Ph.D Thesis, Stranford University

Duveneck, E., (2004), ”Tomographic determination of seismic velocity models with kinematic wavefield attributes”, Logos Verlag, Berlin

Farmer, P., Gray, S., Hodgkiss, G., Pieprzak, A., Ratcliff, D. and Whitcombe, D.,(1993), “Structural imaging: Toward a sharper subsurface view”, Oilfield review, **24**, 28-41

Fowler, P., (1984), “Velocity- independent imaging of seismic reflectors”, 54th Ann. Internat. Mtg., Soc., Explor., Geophys., Expanded Abstracts, 383-385

Gardner, G.H.F., (1985), “Migration of seismic data”, Soc. Expl. Geophys, USA

Gardner, G.H.F., Wang, S.Y., Pan, N.D. and Zhang, Z. (1986), “Dip moveout and prestack imaging”, 18th Ann. Offshore Tech. Conf., Expanded abstracts,75-84

Gelchinsky, B., Berkovitch, A., and Keydar, S. (1999a), “Multifocusing homeomorphic imaging -Part 1. Basic concepts and formulas”, J. Appl. Geophys., **42**(3,4), 229-242

Gelchinsky, B., Berkovitch, A., and Keydar, S.,(1999b), “Multifocusing homeomorphic imaging -Part 2. Multifold data set and multifocusing”, J. Appl. Geophys., **42**(3,4), 243-260

Ghazban, F., Motiei, H. and editorial and advisory board, (2007), “Petroleum geology of the Persian gulf” Tehran University Press and NIOC, Tehran, Iran

Granser, H., (1994), “Shot gather DMO in the double-log domain”, Geophysics, **49**, 1305- 1307

Gray, S.H. (2001), “Seismic imaging”, Geophysics, **66**(1), 15-17

Hale, D. (1991). “*Dip moveout processing”*, Society of Exploration Geophysics, Tulsa.

Hale, D. (1984) “Dip-moveout by fourier transform”, *Geophysics*, **49**(6):741-757

Hale, D. and Artely, C.,(1992), “Squeezing Dip move out for depth variable velocity”, Geophysics, **58**, 257-264

Hertweck T., Schleicher, J., and Mann, J.,(2007), “Data-stacking beyond CMP”, The leading edge, **26**(7),818–827

Höcht, G. (1998). “The Common Reflection Surface stack”, Master’s thesis, University of Karlsruhe.

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

Hubral, P. (1999),”Macro model independent seismic reflection imaging”, *J. Appl. Geophy.*, **42**(3-4).

Hubral, P. and Krey, T.,(1980), “Interval velocities from seismic reflection time measurements”, Soc. of Explor. Gephys., Tulsa, USA

Hubral, P., Schleicher, J., and Tygel, M. (1996). A unified approach to 3-D seismic reflection imaging, part I: basic concepts. *Geophysics*, **61**(3),742–758.

Jacubowicz, H.,(1990), “A simple efficient method of Dip move out correction”, Geophys. Pros., **38**, 221-245

Jäger, R. (1999). “The Common Reflection Surface stack - theory and application”, Master’s thesis,University of Karlsruhe.

Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P.,(2001), “Common-Reflection-Surface stack: image and attributes”, Geophysics, **66**(1), 97-109

Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I.,(2002), “An introduction to geophysical exploration”, Blackwell science Ltd, Third edition.

Landa, E., Gurevich, B., Keydar, S., and Trachtman, P.,(1999), “Application of multifocusing method for subsurface imaging”, J. Appl. Gephys., **42**(3,4), 283-300

Mayne, W.H.,(1962) ,” Common reflection point horizontal data stacking techniques”, Geophysics, **27**(6), 927-938

Mann, J., Jäger, R.,Müller, T., Höcht, G., Hubral, P.,(1999), “Common-reflection-surface-stack, a real data example”, J. Appl. Geophys., **42**(3,4), 301-318

Mann, J. (2000), “Common-reflection-surface stack (user’s manual)”, Geophysical Institute, University of Karlsruhe, 4.1b edition

Mann, J. (2001). “Common-Reflection-Surface stack and conflicting dips”. In *Extended abstracts, 63rd Conf.* Eur. Assn. Geosci. Eng. Session P077.

Mann, J. (2002). “*Extensions and applications of the Common-Reflection-Surface Stack method”*.Logos Verlag, Berlin.

Marcoux, M., Godfrey, R. and Notfors, C.,(1987), “Migration for optimum velocity evaluation and stacking” 49th EAGE Ann. Mtg.

Marschall, R.,(1991), “Macro model optimization and depth migration”, 2nd Internat. Congress of Brazilian Geophysical Society,Salvador-Bahia, Expande abstracts, 944-947

Müller, N.A., (2006), “Elimination of the spread-length bias in the Common-Reflection-Surface stack”, In Expanded abstracts, 76th Ann. Internat. Mtg., 3006-3010. Soc. Expl. Geophys.

Müller, T. (1998). “Common Reflection Surface stack versus NMO/stack and NMO/DMO/stack”, *Extended abstracts, 60th Conf.* Eur. Assn. Geosci. Eng. Session 1-20.

Müller, T. (1999). “*The Common Reflection Surface stack method – seismic imaging without explicit knowledge of the velocity model”,* Der Andere Verlag, Bad Iburg.

Neidell, N.S., and Taner, M.T.(1971),“ Semblance and other coherency measures for multichannel data”. Geophysics, 36(3),482-497

Nelder, J.A. and Mead, R.(1965),“ A simplex method for function minimization” Computer Journal. 7,308-313

Ottolini, R.,(1982),“ Migration of seismic data in angle-midpoint coordinantes”. Ph.D Thesis, Stranford University

Redshaw, T., and Lasseter, L.,(1991),“ Seismic migration explained! And seismic migration defined!“, Internal report, BP complex structure group, Houston, TX, USA

Robein, E. (2003). "*Velocities, time imaging and depth imaging in reflection seismic, principles and methods"*, Eur. Assn. Geosci. Eng. Press. Netherlands.

Robein, E. (2010), " Seismic imaging; A review of the techniques, their principles, merits and limitations",Education tour series, Eur. Assn. Geosci. Eng. Press. Netherlands

Salvador, L. and Savelli, S.,(1982),"Offset continuation for seismic stacking", Geophys. Prosp. **30**, 829-849

Scales, J.A.,(1997), "Theory of seismic imaging", Samizdat Press, Golden, CO, USA

Schleicher, J., Tygel, M., and Hubral, P.,(1993), "Parabolic and hyperbolic paraxial two-point traveltimes in 3D media", Geophys. Prosp., 41(4),495–514

Shahsavani, H (2011), "A model-based approach to the common diffraction surface stack", Ph.D. thesis, Shahrood University of Technology, Iran

Sheriff, R. and Geldart, L.P.(1995)."Exploration Seismology", Cambridge University Press . New York.

Sherwood, J.W.C., Schultz, P.S., and Judson, D.R.,(1978), "Equalizing the stacking velocities of dipping events via devilish". In *48th Conf.* Soc. Expl Geophys

Soleimani, M.,(2009), "Common Diffraction Surface (CDS) stack; A new approach for solving the problem of conflicting dips", PhD thesis in Shahrood University of Technology, Iran

Soleimani Monfared, M., Piruz, I., Mann. J., and Hubral, P.(2009)" Common Reflection Surface stack, accounting for conflicting dip situations by considering all possible dips." Journal of Seismic Exploration, JSE, **18**, 271-288.

Soleimani M., Mann, J., Adibi Sedeh, E., and Piruz, I.,(2010), "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

Taner, M.T., and Koehler, F.,(1969), "Velocity spectra. Digital computer derivation and applocations of velocity functions", Geophysics, **34**(6),859-881

Thore, P.D., de Bazelaire, E. and Ray, M.P.,(1994), "Three parameter equation: An efficient tool to enhance the stack", Geophysics, **59**(2), 297-308

Tygel, M., Müller, T., Hubral, P., and Schleicher, J.,(1997), "Eigenwave based multiparameter traveltime expansions", In Expanded abstracts, 67th Ann. Internat. Mtg., 1770–1773. Soc. Expl. Geophys.

Tygel M., B. Ursin, E. Iversen, and M. V. de Hoop,(2009), "An interpretation of CRS attributes of time-migrated reflections", WIT Reports, **13**, 260–268.

Vendeville, B.,(1997), “New tools to help delineate complex structures”, The Leading Edge, **28**, 24-25

Vermeer, G.J.O.,(2002), “3-D seismic survey design”. Soc. Expl. Geophys., Tulsa, USA

Vieth, K.U., (2001),“*Kinematic wavefield attributes in seismic imaging”*.Logos verlag, Berlin.

Yilmaz, Ö. (2001). “*Seismic data analysis”, vols. 1 and 2*. Soc. Expl. Geophys., Tulsa. USA

Yilmaz, Ö and Claerbout, J.F. (1980), “Prestack partial migration. *Geophysics*, 45(12), 1753–1779

Zhou, B., Mason, I.M. and Greenalgh, S.A.,(1996), “Accurate and efficient shot gather dip-move out processing in the log-stretch domain”, Gophys. Prosp., **43**, 963-978

Abstract

The CRS stacking method is a new automatic method in seismic data processing, that is macro model independent and has been born since late 90’s. Application of the CRS stack technique is advantageous in complex areas, since it involves information about the shape of seismic reflectors, i.e., dip and curvature, into processing. Moreover, a multi-parameter formula allows to sum up more traces during the stack. All together, this leads to better imaging results, especially to an improvement of the signal-to-noise (S/N) ratio. Reflection events in the CRS stack section appear clearer and more continuous, compared to the conventional CMP stack section. But, one of the problems of the CRS method, is neglecting the conflicting dips problem in these sections. It means that if two or more events conflict in a same point in the section, the CRS stack method could not handle this problem well.The conflicting dips problem is an important issue in the matter of imaging in complex structures. The CDS method was proposed to solve this problem and in fact it was extension and improvement of the previous method. So in this thesis, I investigate the functionality and results of the conventional, CRS and CDS methods in a complex structure region of IRAN and then implement my method to solve this issue beside a comparison with results of the cited methods.

Using migration as a complementary process in seismic imaging, especially Pre Stack Time Migration (PSTM), because it’s short time to perform and also application in regions with complex structure, have made this technique, a useful and applicable method in industry. So we could prepare a high quality data to be input for CRS method by migrating the data before stacking in the time domain. PSTM in complex structures, produces better and clearer images with conflicting dips issues, rather than conventional methods. The CRS method in this case, uses data with better quality, instead of only preprocessed data in usual CRS implementation. Using this high quality data as input for CRS, leads to get a final optimized section with more detected events in late times, more quality and more resolution. This section could be trusted in interpretation, more than previous methods.

KEYWORDS: Seismic imaging, Common reflection surface(CRS), Common diffraction surface (CDS), Pre stack time migration (PSTM), Conflicting dips, Geological complex structure

Shahrood
University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

Seismic imaging of complex structures by integration of Pre Stack Time Migration (PSTM) with Common Reflection Surface (CRS) stacking method

**A THESIS SUBMITTED TO THE DEPARTMENT
OF MINING, PETROLEUM AND GEOPHYSICS, AND
THE COMMITTEE ON GRADUATE STUDIES OF SHAHROOD UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN
PETROLEUM EXPLORATION ENGINEERING**

Ali Khalilzadeh

Supervisors:

Dr. Iraj Piruz

Dr. Mohammad Ali Riahi

Advisors:

Dr. Mehrdad Soleimani Monfared

Engineer. Javad Jamali

Dec 2012