



دانشکده : معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه : اکتشاف معدن

برانبارش سطح پراش مشترک به عنوان یک روش جدید
در حل مساله تداخل شیبها

دانشجو: مهرداد سلیمانی منفرد

اساتید راهنما:

دکتر ایرج پیروز
پروفسور پتر هوبرال

استاد مشاور:

دکتر یورگن مان

رساله دکتری جهت اخذ درجه دکتری

ماه و سال انتشار:

اردیبهشت ۱۳۸۸



دانشگاه پشاور

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۱

بسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

صورتجلسه دفاع از رساله دکتری (ph.D)

بدینوسیله گواهی می شود آقای نصرت الله خان دانشجوی دکتری رشته فیزیک (ف) فیزیک

در تاریخ ۱۳۸۳ سال ۱۳۸۳ در تاریخ ۱۸/۲/۹۹ از رساله خود با عنوان:

Common diffraction surface (CDS) stacks: A new approach for solving the problem of conflicting diffraction orders

دفاع و با اخذ ۱۹۱۷ به درجه عالی نائل گردید.

(ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷

(الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰

(د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد

(ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵

(ذ) رساله نیاز به اصلاحات دارد

امضاء	مرتبۀ علمی	نام و نام خانوادگی	هیئت داوران	ردیف
		استاد راهنما	دکتر چیردر	
		استاد راهنما / مشاور	دکتر Prof Hudaib	
		استاد راهنما / مشاور	دکتر Dr Mawan	
		استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر مختاری	
		استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر غیر (ای) فرد	
		استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر جوان	
		استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر کامکار	
		سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر قرامی	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم بعمل آید.

رئیس دانشکده و رئیس هیأت داوران:

تاریخ و امضاء

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات تمامی عزیزانی که همواره حامی و پشتیبان اینجانب در راستای تکمیل علم و دانش بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم. در ابتدا از جناب آقای دکتر پیروز که زحمت هدایت و راهنمایی این رساله را بر عهده داشتند، و همچنین از زحمات آقای پروفسور هوبرال و دکتر مان در انستیتو ژئوفیزیک کارلسروهه آلمان که همواره از هدایت‌های ایشان به عنوان استادر راهنما و مشاوره بهره‌مند بودم. همچنین از تمامی دوستان در دانشکده که در همه امور به اینجانب کمک و راهنمایی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

دانشجو تایید می نماید که مطالب مندرج در این رساله، نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آنرا ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این رساله، متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

اردیبهشت ۱۳۸۸

چکیده

در مبحث پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی، به دست آوردن بهترین مقطع از ساختارهای زیرسطحی، هدف اصلی می‌باشد. یک مقطع خوب از زوایای مختلف می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. از نقطه نظر کیفیت، مقطع با کیفیت خوب مقطعی است که نسبت سیگنال به نویز در آن بالا باشد. به عبارت دیگر، داده‌ها به نحوی مورد پردازش قرار گرفته باشند که امواج ناخواسته از بین آنها حذف و تنها امواجی که مورد نظر پردازشگر می‌باشد، باقی بماند. ولی از نقطه نظر تفسیر، مقطع خوب مقطعی است که بتواند ساختارهای زیرسطحی را به صورت کامل و تا حد امکان مانند آنچه که در زیر زمین رخ داده است، آشکار کند. بنابراین در پردازش، هدف به دست آوردن مقطعی است که ساختارهای زیرسطحی را با کیفیت بالا تصویر سازی کند. رسیدن به این هدف مستلزم انجام پردازش‌های ویژه‌ای بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده است. مراحل کلی این پردازش که امروزه به صورت وسیعی در صنعت انجام می‌گیرد و به آن پردازش مرسوم می‌گویند عبارتند از: واپیچش، تصحیح برونراند نرمال، تصحیح برونراند شیب، برانبارش و کوچ. این پردازش به برانبارش نقطه بازتاب مشترک معروف است. این روش علاوه بر مزایا، معایبی نیز به همراه دارد. برای غلبه بر مشکلات آن، به عنوان مثال، افزایش بهتر نسبت سیگنال به نویز در مقطع نهایی، عدم وابستگی کامل به مدل سرعت و انجام تحلیل سرعت و کاربرد ساده‌تر در ساختارهای پیچیده، روشی به نام روش برانبارش سطح بازتاب مشترک معرفی شده است. همان‌گونه که از اسم آن پیداست، این روش در واقع حالت کلی‌تر روش برانبارش نقطه بازتاب مشترک است. برخلاف روش قبل که در آن ردهای منطبق بر یک روند مورد برانبارش قرار می‌گرفتند، در اینجا از تعداد بیشتری از ردها که تشکیل یک صفحه را در حوزه زمان می‌دهند، استفاده می‌شود. پس به راحتی می‌توان گفت که با حذف بیشتر نویزهای اتفاقی در این روش، نسبت سیگنال به نویز افزایش چشمگیری خواهد یافت. به همین دلیل در این پایان نامه، روش برانبارش سطح بازتاب مشترک به عنوان روش اصلی پردازش انتخاب گردیده است. ولی همان‌گونه که در ابتدا نیز عنوان شد، هدف اصلی به دست آوردن

مقطعی با کیفیت بهتر است. بنابراین غلبه بر مشکلات روش برانبارش سطح بازتاب مشترک، هدف اصلی در این پایان نامه می‌باشد. یکی از مشکلات این روش، عدم در نظر گرفتن شیب‌های متداخل در مقاطع است. بدین معنی که اگر دو یا چند رخداد در یک نقطه با یکدیگر تلاقی داشتند، در روش برانبارش سطح بازتاب مشترک این مساله به خوبی برطرف نمی‌گردد. مساله تداخل شیب‌ها در به دست آوردن مقطعی که بتواند ساختارها را به خوبی آشکار کند، اهمیت فراوانی دارد. به گونه‌ای که با برطرف کردن این مشکل می‌توان محل دقیق گسل‌ها، محل دقیق یال‌های گنبد نمکی یا تاقدیس‌ها و نقاط پراش را به خوبی آشکار کرد. در روش پردازش مرسوم، مساله شیب‌های متداخل توسط عملگر برونراند شیب مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین برای حل این مساله، از ایده برونراند شیب در پردازش مرسوم، در مبحث برانبارش سطح بازتاب مشترک استفاده می‌شود. به کمک این ایده، استراتژی جدیدی در مبحث برانبارش سطح بازتاب مشترک ارائه شد که به همراه آن معادله جدیدی برای زمان سیر و یک نشانگر جدید برای تعیین شعاع موج نیز معرفی شدند. ماهیت و روش کار عملگر برانبارش سطح بازتاب مشترک به گونه‌ای تغییر کرد که با توجه به آن، عملگر جدید، به نام عملگر برانبارش سطح پراش مشترک نامیده شد. برای آنکه ثابت شود که این عملگر جدید می‌تواند مساله تداخل شیب‌ها را برطرف کند، دو سری داده مصنوعی و یک سری داده طبیعی به هر سه روش برونراند شیب، برانبارش سطح بازتاب مشترک و برانبارش سطح پراش مشترک مورد پردازش قرار گرفتند. هم در مقاطع برانبارش شده و هم در مقاطع کوچ داده شده مشخص شد که روش برانبارش سطح پراش مشترک ساختارها را بیشتر و بهتر از سایر روش‌ها نشان می‌دهد. در سری داده مصنوعی محل و یال تاقدیس و گنبد‌های نمکی و محل گسل‌ها، و در سری داده واقعی چگونگی تغییر لایه‌ها در اثر گسل خوردگی فراوان، به خوبی به روش برانبارش سطح پراش مشترک آشکار سازی شد. علاوه بر آن، مزیت بزرگ دیگر این روش، به دست آوردن مقطع کوچ پس از برانبارش تنها با یک مدل سرعت هموار و ساده و در زمان بسیار کم می‌باشد.

کلمات کلیدی: سطح بازتاب مشترک، سطح پراش مشترک، مدل هموار شده سرعت، تداخل شیب‌ها.

مقاله ژورنالی:

Soleimani, M., Mann, J., Piruz, I. and Hubral, P. *Common-Reflection-Surface Stack: accounting for conflicting dip situations by considering all possible dips*. Journal of Seismic Exploration, JSE, France, June 2009.

مقالات کنفرانسی:

1- Soleimani, M. and Piruz, I. *Could we make a better resolution in zero offset section by CRS stack method? A synthetic data example*. The 2nd International Scientific Conference of Young Scientists and Students, Baku 2007.

2- Soleimani, M. and Piruz, I. *Does tomography inversion method give an accurate smooth velocity model? The 2nd International Scientific Conference of Young Scientists and Students, Baku 2007.*

3- Soleimani, M. and Piruz, I. *Common reflection surface stack, new method in seismic reflection data processing: A synthetic data example*. The 19th International Geophysical conference and exhibition, Perth, Australia, 2007.

4- Soleimani, M. and Piruz, I. *NIP tomography inversion, a new improved method for velocity model estimation; synthetic data example*. The 19th International Geophysical conference and exhibition, Perth, Australia, 2007.

5- Soleimani, M. and Piruz, I. *A synthetic seismic reflection data, processes with the new method, common reflection surface stack*. The 7th International Scientific Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM, Bulgaria, 2007.

6- Soleimani, M. and Piruz, I. *Obtaining velocity model with kinematic wavefield attributes by tomography inversion*. The 7th International Scientific Conference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM, Bulgaria, 2007.

7- Soleimani, M. and Mann, J. *Merging aspects of DMO correction and CRS stack to account for conflicting dip situations*. The 12th WIT conference, Hamburg, Germany, 2009.

8- Soleimani, M., Mann, J., Piruz, I. and Hubral, P. *Solving the problem of conflicting dips in Common- Reflection-Surface (CRS) Stack*. The 1st international petroleum conference by EAGE, Shiraz, 2009.

فهرست اختصارات به کار رفته در متن:

CDP: Common Depth Point.

CDS: Common Diffraction Surface.

CMP: Common-Mid-Point.

CRP: Common Reflection Point.

CRS: Common Reflection Surface.

CS/CR: Common Shot / Common Receiver.

MZO: Migration to Zero Offset.

NIP: Normal Incidence Point.

NMO/DMO/Stack: Normal Move-Out / Dip Move-Out stack.

PostSDM: Post-Stack Depth Migration.

PreSDM: Pre-Stack Depth Migration.

SNR (S/N): Signal to Noise ratio.

ZO: Zero Offset.

فهرست اصطلاحات فنی به کار رفته در متن:

مدل بلوکی:

یک مدل سرعت است که مرز بین لایه‌ها با سرعت‌های متفاوت را به صورت تیز نشان می‌دهد. بنابراین ساختارهای زمین‌شناسی و لایه‌ها در این مدل کاملاً از هم تفکیک شده‌اند.

برانبارش نقطه میانی مشترک :

روش مرسوم در برانبارش است که از ردهای با نقطه میانی مشترک برای برانبارش استفاده می‌کند. مجموع این ردها، ورداشتی به نام ورداشت نقطه میانی مشترک را ایجاد می‌کنند. بنابراین برانبارش انجام گرفته بر روی ردهای تصحیح شده این ورداشت، برانبارش نقطه میانی مشترک نامیده می‌شود.

برانبارش سطح بازتاب مشترک :

یک روش جدید معرفی شده در تحلیل سرعت است که تمامی عملگرهایی که برای نمونه‌ای در دورافت صفر وجود دارد را با تحلیل همدوسی بررسی کرده و واقعی‌ترین آنها را برای برانبارش انتخاب می‌کند. آن دسته از نشانگرهایی که در تحلیل همدوسی، بیشترین مقدار همدوسی را داشته باشند، به عنوان نشانگرهای بهینه در تهیه عملگر برانبارش شناخته شده و سطح برانبارش را تشکیل می‌دهند.

دنبال کردن پرتو به صورت پویا:

در حالت کلی، دنبال کردن پرتو به صورت پویا در دو گام صورت می‌گیرد. اولین گام همان دنبال کردن هندسی پرتو است که توسط آن مسیر حرکت پرتو و زمان سیر آن محاسبه می‌شود. این مسیرها به نام مسیر پرتوی مرکزی شناخته می‌شوند. گام دوم شامل تخمین زمان سیر، دامنه و تغییرات فاز در محیط نزدیک پرتوی مرکزی است. به عبارت دیگر، هر پرتوی مرکزی به صورت یک استوانه سه بعدی حاوی پرتوها در نظر گرفته می‌شود. دنبال کردن پرتو با در نظر گرفتن فرکانس‌های بالا انجام می‌شود و این فرض الزام می‌دارد که تغییرات سرعت محیط بسیار ملایم باشد. بنابراین در ساخت مدل سرعت باید دقت کرد که مدل از نظر تئوری پرتو معتبر باشد.

استراتژی جستجوی معمول:

در روش برانبارش CRS، جستجو برای نشانگرهای بهینه، اصلی‌ترین بخش پردازش است. این جستجو به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود که در طول تحقیق به صورت کامل بررسی می‌شوند. اولین روش ارائه شده در این خصوص، به نام استراتژی جستجوی معمول شناخته می‌شود.

استراتژی جستجوی توسعه داده شده:

در اولین تلاش برای برطرف کردن مساله تداخل شیبها در برانبارش CRS، استراتژی معمول جستجو به گونه‌ای تغییر داده شده است که بتوان بیش از یک زاویه را در نظر گرفت. این روش تغییر یافته، استراتژی توسعه یافته نامیده می‌شود.

استراتژی جستجوی تکمیل شده:

در این تحقیق تلاش شده است که مساله تداخل شیبها به صورت کامل برطرف شود و مقطعی تهیه شود که تمام شیبهای ممکن را در نظر گرفته باشد. بدین منظور استراتژی جستجو به صورت کامل تغییر داده شده است. این استراتژی جدید ارائه شده را می‌توان استراتژی جستجوی تکمیل شده نامید.

امواج مشخصه:

در روش برانبارش CRS، دو موج فرضی به نامهای موج NIP و موج نرمال معرفی می‌شوند. در شرایط خاصی که در طول متن توضیح داده می‌شود، این امواج را امواج مشخصه می‌گویند.

داده‌های دارای هم‌پوشانی:

نوع خاصی از داده‌های پیش از برانبارش است که در هنگام برداشت، یک نقطه بر روی بازتابنده چندین بار در انفجارهای مختلف پوشش داده می‌شود. بنابراین داده‌هایی که بدین شکل به دست می‌آیند، به نام داده‌های دارای هم‌پوشانی شناخته می‌شوند.

مدل اولیه:

مدل سرعتی است که در ابتدای تحلیل سرعت تهیه می‌شود. با اضافه کردن اطلاعات بعدی به این مدل و به روز کردن آن، مدل اولیه کم‌کم به مدل نهایی سرعت تبدیل می‌شود.

اثر بالا کشیدگی:

در تحلیل سرعت، رخدادهای زیر یک لایه پرسرعت یا زیر گنبد نمکی، در محلی بالاتر از میدان واقعی‌شان تصویر می‌شوند. این پدیده را، اثر بالا کشیدگی گویند.

کوچ پیش از برانبارش:

در محیط‌های با ساختارهای بسیار پیچیده و با ناهمگنی بالا، یکی از راه حلها، انجام فرایند کوچ قبل از برانبارش است. این روش، کوچ پیش از برانبارش گفته می‌شود.

کوچ پس از برانبارش:

در محیط‌های با ساختارهای کمتر پیچیده و با ناهمگنی کم، روش مرسوم پردازش، انجام فرایند کوچ بعد از برانبارش است. این روش، کوچ پس از برانبارش گفته می‌شود.

موجک ریکر:

موجک فاز صفری است که با ردهای بازتابی پیش انجام می‌دهد و برای ساخت داده‌های مصنوعی به کار می‌رود.

فصل اول

مقدمه

۱	۱-۱ مقدمه‌ایی بر تصویر سازی در لرزه‌نگاری
۲	۲-۱ پردازش داده های لرزه ایی بازتابی
۶	۳-۱ تصویر سازی لرزه ایی مبتنی بر مدل
۶	۴-۱ تصویر سازی لرزه ایی مبتنی بر داده
۷	۱-۴-۱ روش برانبارش CMP
۱۰	۲-۴-۱ عملگر برانبارش CRS
۱۳	۵-۱ تاریخچه مطالعات قبلی
۱۵	۶-۱ ساختار پایان نامه

فصل دوم

تئوری

۱۷	۱-۲ تئوری پرتو
۱۸	۲-۲ معادله موج
۱۹	۱-۲-۲ آنزاتس تئوری پرتو مجانبی
۲۱	۲-۲-۲ تحلیل مجانبی معادله موج
۲۱	۳-۲-۲ تعیین پارامترها
۲۲	۴-۲-۲ معادله آیکونال
۲۳	۵-۲-۲ معادله انتقال
۲۴	۶-۲-۲ حل معادلات آیکونال و انتقال
۲۵	۳-۲ پرتوهای موازی
۳۱	۴-۲ نشانگرهای جنبشی میدان موج
۳۲	۵-۲ عملگر برانبارش CRS
۳۵	۱-۵-۲ پردازش به روش برانبارش CRS
۳۷	۶-۲ بازه و تعمیم در CRS
۳۸	۱-۶-۲ بازه ZO
۴۰	۲-۶-۲ بازه CMP
۴۰	۳-۶-۲ عملگر تعمیم
۴۲	۴-۶-۲ فرایند برانبارش CRS
۴۳	۵-۶-۲ برانبارش خودکار CMP
۴۵	۶-۶-۲ جستجوی خطی دورافت صفر
۴۶	۷-۶-۲ جستجوی هذلولی دورافت صفر
۴۷	۸-۶-۲ جستجوی هذلولی در CS/CR

۴۸	۹-۶-۲ برانبارش مقدماتی
۴۹	۱۰-۶-۲ بهینه سازی

فصل سوم

پردازش داده‌های واقعی و مصنوعی به روش CRS

۵۰	۱-۳ داده‌های مصنوعی
۵۰	۲-۳ داده مصنوعی مدل گنبدی شکل
۶۲	۱-۲-۳ برانبارش CRS
۶۳	۲-۲-۳ صاف کردن مشخصه ها
۶۴	۳-۲-۳ دستچین کردن نقاط
۶۵	۴-۲-۳ ویرایش کردن نقاط دستچین شده
۶۵	۵-۲-۳ تخمین مدل سرعت
۶۸	۳-۳ داده مصنوعی Sigsbee 2A
۸۲	۴-۳ داده واقعی زمینی

فصل چهارم

ارائه روش

۹۲	۱-۴ مساله تداخل شیب‌ها
۹۵	۲-۴ استراتژی جستجوی تعمیم یافته
۱۰۴	۳-۴ عملگر DMO
۱۰۶	۴-۴ مفهوم عملگر برانبارش سطح پراش مشترک
۱۰۸	۵-۴ عملگر برانبارش CDS
۱۰۹	۶-۴ استراتژی جستجوی بهینه شده

فصل پنجم

پردازش داده‌های واقعی و مصنوعی به روش CDS

۱۱۲	۱-۵ مقدمه
۱۱۳	۲-۵ نگاهی کلی به کوچ
۱۱۹	۳-۵ نگاهی به کلیات روش تصحیح DMO
۱۲۰	۴-۵ مدل مصنوعی گنبدی شکل
۱۲۱	۱-۴-۵ نتیجه برانبارش CDS بر روی مدل گنبدی شکل
۱۲۵	۵-۵ داده Sigsbee 2A

فهرست مطالب

شماره صفحه

۱۲۸	۱-۵-۵ نتیجه برانبارش CDS در داده Sigsbee 2A
۱۳۵	۲-۵-۵ کوچ زمانی پیش از برانبارش
۱۳۵	۶-۵ داده‌های واقعی زمینی
۱۳۷	۱-۶-۵ نتیجه پردازش CDS بر روی داده واقعی زمینی
۱۴۰	۷-۵ نتایج کوچ

فصل ششم

خلاصه، نتیجه گیری و کارهای آینده

۱۵۰	۱-۶ خلاصه و نتیجه گیری
۱۵۳	۲-۶ کارهای آینده

فصل اول - مقدمه

- ۱-۱ برداشت انفجاری که از یک برداشت صحرایی به دست آمده است. ۳
- ۲-۱ حجم سه بعدی داده‌های دارای همپوشانی قبل از برانبارش. ۵
- ۳-۱ حجم سه بعدی از داده‌های قبل از برانبارش که مسیر CRP را نشان می‌دهد. ۸
- ۴-۱ عملگر برانبارش MZO. ۱۰
- ۵-۱ آزمایش‌های فرضی که تولید موج NIP و موج عمود را نشان می‌دهد. ۱۲
- ۶-۱ شکل عملگر برانبارش CRS. ۱۳

فصل دوم - تئوری

- ۱-۲ هندسه حرکت پرتوها در آزمایش لرزه‌نگاری بازتابی. ۲۶
- ۲-۲ جبهه موج در حال حرکت در دو نقطه مختلف زمانی. ۲۸
- ۳-۲ پرتوهای مرکزی و موازی عمود بر جبهه موج. ۲۸
- ۴-۲ بردارهای جابجایی و کندی پرتوهای مرکزی و موازی در صفحه مختصات کارترین. ۲۹
- ۵-۲ مقطع دو بعدی موج NIP و پرتوهای غیراسنلی در آزمایش CMP. ۳۳
- ۶-۲ مقطع دو بعدی موج عمود و پرتوهای عمود مرتبط با آزمایش دورافت صفر. ۳۳
- ۷-۲ بازه‌ها مکانی ZO, CMP و CRS. ۴۱
- ۸-۲ آزمایش عملگرهای برانبارش متفاوت در گام برانبارش خودکار CMP. ۴۴
- ۹-۲ دیاگرام مقدار همدوسی به عنوان تابعی از سرعت برانبارش برای یک نمونه در ZO. ۴۵
- ۱۰-۲ عملگرهای برانبارش هذلولوی در مقطع دورافت صفر برای یک نمونه ZO. ۴۷

فصل سوم - پردازش داده‌های واقعی و مصنوعی به روش CRS

- ۱-۳ مدل بلوکی گنبدی شکل با سطح توپوگرافی صاف. ۵۲
- ۲-۳ دسته داده‌های قبل از برانبارش برای مدل پنج لایه گنبدی شکل، پیش و پس از اضافه کردن نویز اتفاقی به داده‌ها. ۵۳
- ۳-۳ مقطع سرعت برانبارش مربوط به مدل گنبدی شکل. ۵۸
- ۴-۳ بهینه زاویه ورودی پرتوی مرکزی مربوط به رخدادهای اصلی در مدل گنبدی شکل. ۵۸
- ۵-۳ مقطع بهینه شعاع انحنای موج عمود مربوط به رخدادهای اصلی در مدل گنبدی شکل. ۵۹
- ۶-۳ مقطع بهینه شعاع انحنای موج عمود در نقطه ورود در مدل گنبدی شکل. ۵۹
- ۷-۳ مقطع بهینه همدوسی مربوط به رخدادهای اصلی در مدل گنبدی شکل. ۶۰
- ۸-۳ مقطع نهایی برانبارش بهینه CRS مربوط به رخدادهای اصلی در مدل گنبدی شکل. ۶۰
- ۹-۳ تئوری موج NIP. ۶۲
- ۱۰-۳ مدل هموار شده سرعت، به دست آمده از روش NIP توموگرافی برای مدل گنبدی شکل. ۶۷
- ۱۱-۳ مقدار چینش در داده مصنوعی Sigsbee 2A. ۷۰
- ۱۲-۳ مقطع دورافت‌های کم از داده مصنوعی Sigsbee 2A. ۷۲

۷۳	۳-۱۳ ، مقطع کوچ شده به روش استولت به دست آمده از مقطع دورافت‌های کوتاه.
۷۴	۳-۱۴ مدل ساده شامل دو لایه همگن شبیه وجود ناودیس در داده Sigsbee 2A .
۷۶	۳-۱۵ مقطع سرعت برانبارش مرتبط با برانبارش خودکار CMP در داده Sigsbee 2A .
۷۹	۳-۱۶ مقطع زاویه ورود پرتوی مرکزی مرتبط با رخدادهای اصلی در داده Sigsbee 2A .
۷۹	۳-۱۷ مقطع شعاع موج نرمال مربوط به رخدادهای اصلی CRS در داده Sigsbee 2A .
۸۰	۳-۱۸ مقطع شعاع موج NIP مربوط به رخدادهای اصلی در داده Sigsbee 2A .
۸۰	۳-۱۹ مقطع همدوسی مربوط به برانبارش نهایی در داده Sigsbee 2A .
۸۱	۳-۲۰ مقطع برانبارش بهینه به دست آمده به روش CRS در داده Sigsbee 2A .
۸۶	۳-۲۱ مقطع سرعت برانبارش به دست آمده در پردازش داده واقعی زمینی.
۸۷	۳-۲۲ مقطع بهینه زاویه ورود پرتوی مرکزی رخدادهای اصلی در داده واقعی زمینی.
۸۷	۳-۲۳ مقطع بهینه شعاع موج نرمال رخدادهای اصلی در داده واقعی زمینی.
۸۸	۳-۲۴ مقطع بهینه شعاع موج NIP رخدادهای اصلی در روی داده واقعی زمینی.
۸۸	۳-۲۵ مقطع همدوسی مربوط به برانبارش نهایی در داده واقعی زمینی.
۸۹	۳-۲۶ مقطع برانبارش شده بهینه در داده واقعی زمینی.
۹۱	۳-۲۷ مدل سرعت $v(x,z)$ به دست آمده از روش NIP توموگرافی برای داده واقعی زمینی.

فصل چهارم - ارائه روش

۹۶	۴-۱ پرتوهای پراش ایجاد شده و منحنی زمان سیر پراش برای پرتوهای مربوطه.
۹۷	۴-۲ فلوچارت ساده شده روش معمول در تعیین پارامترهای جنبشی میدان موج.
۹۸	۴-۳ طیف زاویه برای یک نمونه واقع بر روی یک رخداد دورافت صفر.
۱۰۰	۴-۴ مقطع برانبارش CRS و تفاوت بین دو زاویه ورود پرتوی.
۱۰۱	۴-۵ فلوچارت ساده شده روش تعمیم یافته در تعیین پارامترهای جنبشی میدان موج.
۱۰۳	۴-۶ مقاطع زاویه ورود پرتوی مرکزی مربوط به برانبارش CRS با در نظر گرفتن شیب متداخل یا زوایای ماکزیمم محلی و همچنین با در نظر گرفتن رخدادهای ماکزیمم کلی.
۱۰۳	۴-۷ مقاطع نسبت نشانگرهای R_N/R_{NIP} .
۱۰۵	۴-۸ چگونگی مساله تداخل شیب‌ها با در نظر گرفتن سطوح برانبارش CRS.
۱۰۷	۴-۹ شمایی از تصویر امواج هویگنس در DMO برای دورافت‌های متفاوت و ایجاد تصویر جبهه موج در مساله معکوس DMO .
۱۱۰	۴-۱۰ شکل عملگرهای CDS برای تمام زوایای ممکن.
۱۱۱	۴-۱۱ فلوچارت ساده شده استراتژی جدید در تعیین پارامترهای جنبشی میدان موج.

فصل پنجم - پردازش داده‌های واقعی و مصنوعی به روش CDS

۱۱۵	۵-۱ کوچ پیش و پس از برانبارش.
۱۱۶	۵-۲ حوزه‌های متفاوت کاربرد روش‌های مختلف کوچ زمانی/عمقی - پیش/پس از برانبارش.
۱۱۷	۵-۳ اصول کوچ کیرششف و تابع گرین.

- ۱۲۳ ۴-۵ ، نتیجه برانبارش CDS بر روی مدل گنبدی شکل.
- ۱۲۴ ۵-۵ مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش در مدل گنبدی شکل.
- ۱۲۴ ۶-۵ مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش در مدل گنبدی شکل.
- ۱۲۷ ۷-۵ چگونگی ایجاد انحراف بزرگ در نتیجه برانبارش به کمک عملگر CDS.
- ۱۳۰ ۸-۵ ، نتیجه برانبارش به روش CDS بر روی داده Sigsbee 2A .
- ۱۳۱ ۹-۵ مقطع کوچکی از برانبارش به روش CRS، و همچنین به روش CDS .
- ۱۳۳ ۱۰-۵ مقطع دیگری از برانبارش به روش CRS و همچنین برانبارش به روش CDS .
- ۱۳۴ ۱۱-۵ مقطع دیگری از برانبارش به روش CRS و همچنین برانبارش به روش CDS .
- ۱۳۶ ۱۲-۵ مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش در داده Sigsbee 2A .
- ۱۳۹ ۱۳-۵ ، نتیجه برانبارش CDS بر روی داده واقعی زمینی.
- ۱۴۱ ۱۴-۵ نتیجه کوچ بر روی مقطع دورافت صفر به دست آمده به روش برانبارش CRS.
- ۱۴۲ ۱۵-۵ نتیجه کوچ بر روی مقطع دورافت صفر به دست آمده به روش برانبارش CDS.
- ۱۴۳ ۱۶-۵ ، نتیجه کوچ بر روی مقطع دورافت صفر به دست آمده به روش برانبارش مرسوم.
- ۱۴۶ ۱۷-۵ دو مقطع کوچک از نتایج کوچ عمقی بر روی مقاطع برانبارش شده به دو روش متفاوت.
- ۱۴۷ ۱۸-۵ مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش.
- ۱۴۹ ۱۹-۵ تفسیر و جانمایی گسل‌ها بر روی مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش.

فصل سوم - پردازش داده‌های مصنوعی و واقعی به روش CRS

۵۲	۱-۳ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت مدل گنبدی شکل.
۵۷	۲-۳ پارامترهای پردازش برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر در مدل گنبدی شکل.
۷۰	۳-۳ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده Sigsbee 2A.
۷۵	۴-۳ پارامترهای پردازش برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر داده Sigsbee 2A.
۸۲	۵-۳ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده واقعی زمینی.
۸۴	۶-۳ پارامترهای پردازش برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر در داده واقعی زمینی.

فصل پنجم - پردازش داده‌های مصنوعی و واقعی به روش CDS

۱۲۲	۱-۵ پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی مقطع ZO در مدل گنبدی شکل به روش CDS.
۱۲۶	۲-۵ پارامترهای مورد استفاده در پردازش داده Sigsbee 2A به روش CDS.
۱۳۷	۳-۵ پارامترهای مورد استفاده در پردازش داده واقعی زمینی به روش CDS.

فصل اول

مقدمه

فصل اول

۱-۱ مقدمه‌ای بر تصویرسازی لرزه‌نگاری

در برداشت‌های لرزه‌نگاری، جابجایی ذرات محیط انتشار موج در سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود که مقدار آن تحت تاثیر ویژگی‌های کشسانی تمامی محیط انتشار موج قرار دارد. به منظور به دست آوردن چگونگی توزیع محلی ویژگی‌های کشسانی در محیط مورد مطالعه، دو عملیات باید بر روی مقادیر برداشت شده صورت گیرد که به ترتیب عبارتند از تصویرسازی^۱ و معکوس سازی^۲. اگرچه در این تحقیق هر دوی این مراحل انجام گردیده، ولی تمرکز اصلی بر روی فرایند تصویر سازی می‌باشد. در تصویرسازی، همانگونه که از اسم آن برمی‌آید، تمرکز اصلی بر انرژی‌هایی است که از ناپیوستگی‌های محیط انتشار، بازتابیده می‌شوند و انرژی‌های پراش یافته و یا شکسته شده مورد توجه قرار نمی‌گیرند. البته این بدان معنی نیست که امواج پراشیده و یا شکست مرزی حاوی هیچ‌گونه اطلاعاتی نمی‌باشند، چرا که همواره در داده‌های برداشت شده در لرزه‌نگاری، تمام امواج ممکن در داده‌ها موجود می‌باشند. اگرچه امواج شکست مرزی را به راحتی می‌توان از داده‌های برداشت شده حذف کرد، ولی امواج پراش همواره در تمامی طول مراحل تصویرسازی و معکوس سازی حضور داشته و فرایند را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. بنابراین استفاده از اطلاعاتی که این امواج به دست می‌دهند نیز می‌تواند در تهیه تصویر بهتری از ناپیوستگی‌های کشسانی در محیط موثر واقع شوند که همین امر بخش اصلی تحقیق پیش‌رو را به خود اختصاص می‌دهد.

1- Imaging
2- Inversion

۲-۱ پردازش داده های لرزه ایی بازتابی

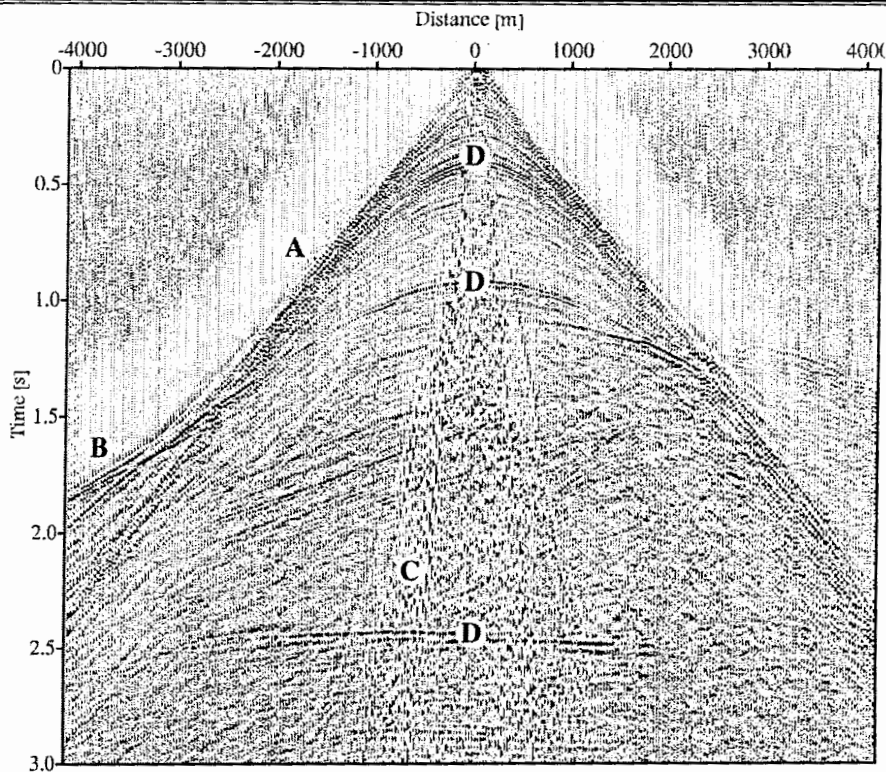
مانند هر داده ژئوفیزیکی دیگری، قبل از آنکه داده های لرزه ایی برداشت شده قابل تفسیر باشند، لازم است که پردازش های متعددی بر روی آنها انجام گیرد. در ابتدا این داده ها حاوی انواع مختلفی از موج ها می باشند. به منظور تصویرسازی بازتاب های لرزه ایی، نوع خاصی از امواج الاستیک مورد استفاده قرار می گیرند، امواج الاستیک حجمی بازتاب شده. در پردازش داده ها در این تحقیق، تنها اولین موج انعکاسی به عنوان سیگنال تلقی شده و سایر انواع موج ها مانند امواج سطحی، بازتاب های چندگانه و امواج شکستی به عنوان نویز همدوس شناخته می شوند. علاوه بر این نویزها، انواع نویزهای دیگری به نام نویزهای ناهمدوس یا به عبارت دیگر نویزهای اتفاقی می باشند که می توانند از رفت آمد وسایل نقلیه، صنایع اطراف، باد و لرزش درختان ایجاد شود. انواع مختلفی از نویزها را می توان در شکل ۱-۱ که یک برداشت انفجاری را نشان می دهد مشاهده کرد. در حالت کلی هدف اصلی هر روش پیش پردازش داده های لرزه ایی بازتابی، حذف تمام آن مؤلفه هایی است که برای تصویر سازی مناسب نمی باشند.

گام اول در این راه، پیش پردازش است که معمولاً از بخش های زیر تشکیل می شود:

- اختصاص اطلاعات هندسی به ردهای مربوطه و حذف ردهای خراب.
- حذف زمان سیرهای کوچک که مربوط به بازتاب ها نمی باشند.
- اعمال فرایند واپیچش به منظور افزایش کیفیت ظاهری^۱.
- حذف نویزهای همدوس به وسیله عملیات فیلتر نمودن داده ها در حوزه فرکانس -

عدد موج.

- تراز کردن ردها به منظور تصحیح تغییرات دامنه و
- تصحیح استاتیک.



شکل ۱-۱، برداشت^۱ انفجاری که از یک برداشت صحرائی به دست آمده است. علاوه بر رخدادهای بازتابی (برخی از آنها با D نشان داده شده‌اند) رخدادهای دیگری از منشاءهای گوناگون را می‌توان مشاهده کرد. به عنوان مثال موج مستقیم (A)، موج سر (B)، امواج زمین غلطش^۲ (امواج سطحی) (C) (هیلمن، ۲۰۰۷).

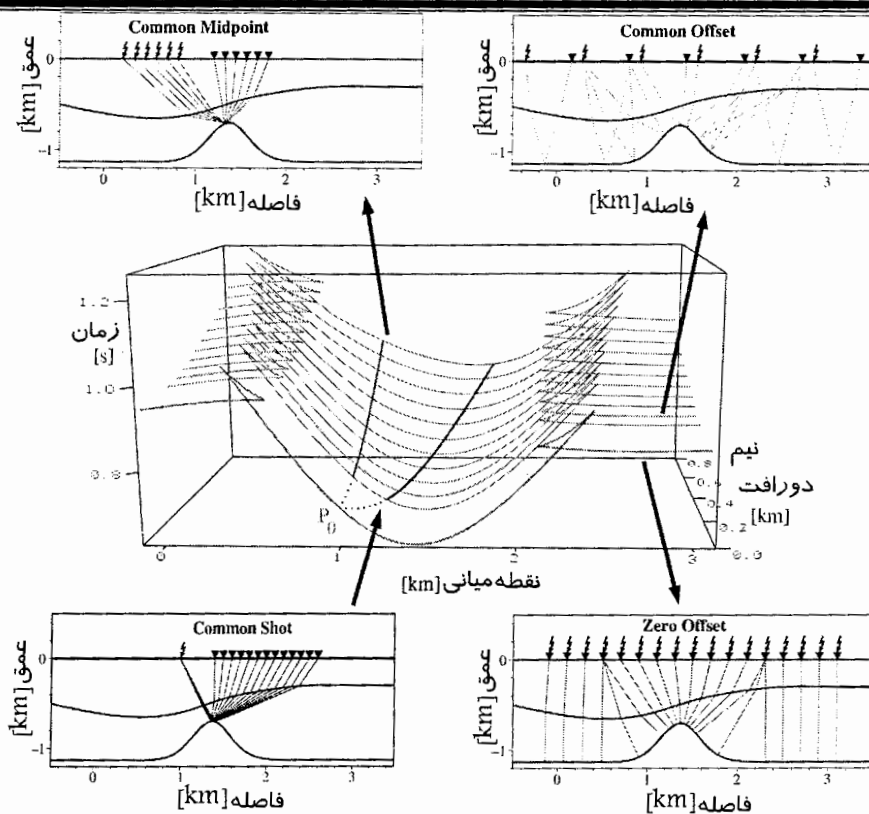
در عمل ممکن است تمامی این مراحل به صورت جزئی انجام نگیرد. تصحیحاتی که در عملیات پیش پردازش انجام می‌گیرد، با توجه به محل برداشت، نوع چشمه، فاصله بین چشمه و گیرنده و زمان سیر در رد لرزه ایی متفاوت است. یک پردازشگر باید مهارت و شناخت کافی نسبت به منطقه و نوع داده‌هایی که با آن کار می‌کند داشته باشد که بتواند یک پردازش مطلوب را انجام دهد. همچنین پردازشگر باید بتواند که اطلاعات برداشت شده در یک آرایش خاص را به سایر آرایش‌ها نیز تبدیل کند. به عنوان مثال در اغلب برداشت‌ها به منظور کسب هرچه بیشتر اطلاعات در عین اقتصادی بودن، از یک چشمه موج و چندین ردیف گیرنده استفاده می‌شود. ولی در طول مراحل پردازش، همانگونه

1- Gather
2- Ground roll
3- Heilmann, (2007)

که در ادامه نیز خواهیم دید، لازم است که ردهای خاص با ویژگی‌های مخصوص را در هر انفجار، مد نظر قرار دهیم. به عنوان مثال ممکن است تنها ردهایی مورد نظر باشند که دورافت در تمام آنها یکسان است، یا ردهایی که از چشمه‌های متفاوت ایجاد شده ولی گیرنده آنها ثابت است. انواع مختلف این آرایش‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. چون در بخش اصلی تحقیق و در جستجو برای نشانگرهای مورد نظر، جستجو را در آرایش‌های متفاوتی انجام می‌دهیم، بنابراین اشاره کوتاهی به انواع دسته داده‌ها در انواع آرایش‌ها لازم به نظر می‌رسد.

- برداشت چشمه مشترک^۱ (CS) برداشتی است که در آن تمام ردها دارای یک چشمه نقطه‌ای یکسان و مشترک می‌باشند (پرتوهای آبی در شکل ۱-۲).
- برداشت دورافت مشترک^۲ (CO) برداشتی است که در آن تمام ردها دارای دورافتی برابر یکدیگر هستند (پرتوهای زرد در شکل ۱-۲).
- برداشت نقطه میانی مشترک^۳ (CMP) برداشتی است که در آن تمام ردها دارای یک نقطه میانی یکسان و مشترک هستند (پرتوهای قرمز در شکل ۱-۲).
- برداشت گیرنده مشترک^۴ (CR) برداشتی است که در آن تمام ردهایی که در یک گیرنده یکسان و مشترک ثبت شده‌اند، مد نظر قرار می‌گیرند و
- مقطع دورافت صفر^۵ (ZO) حالت خاصی از برداشت دورافت مشترک است که در آن تمام ردهایی که دورافتشان صفر است، مد نظر قرار دارند. برخلاف سایر برداشت‌های بالا، این مقطع از ابتدا در داده‌های پیش از برانبارش وجود نداشته و باید توسط مراحل، شبیه سازی شود (پرتوهای سبز در شکل ۱-۲).

1- Common Source (CS)
2- Common Offset (CO)
3- Common Mid-Point (CMP)
4- Common Receiver (CR)
5- Zero Offset (ZO)



شکل ۱-۲، حجم سه بعدی داده‌ها که با در نظر گرفتن آرایش‌های متفاوت چشمه و گیرنده، به زیرحجم‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. برای توضیح بیشتر، به متن مراجع شود، (هیلمن، ۲۰۰۷).

پس از انجام مراحل پیش پردازش، اکنون نوبت پردازش اصلی است. این مرحله از پردازش در

حالت کلی از سه گام زیر تشکیل می‌شود:

- واپیچش
- برانبارش
- کوچ

جدای از مرحله واپیچش که ارتباطی به موضوع تحقیق ندارد، مبانی نظری دو مرحله دیگر به

صورت خلاصه در این فصل آورده می‌شود.

۳-۱ تصویر سازی لرزه‌ای مبتنی بر مدل

در لرزه‌نگاری بازتابی، هدف از روش‌های تصویرسازی به دست آوردن مدلی از داده‌های برداشت شده است که خصوصیات کشسانی محیط را در مقیاس بزرگ نشان دهد. چنین مدلی در نهایت برای تهیه تصویری با کیفیت بالا از ساختارهای زیرسطحی با استفاده از داده‌های پیش‌از برانبارش مناسب است. به عبارت دیگر رخدادهای بازتابی در داده‌های برداشت شده باید به مرزهای تغییر خصوصیات کشسانی در زیرسطح زمین تبدیل شوند. این روش‌های معکوس سازی مبتنی بر مدل، ویژگی‌های الاستیک لایه‌های زیر سطحی را به گونه‌ای که با داده‌های برداشت شده همخوان باشد، به صورت مدل به دست می‌دهند. اگرچه به صورت طبیعی این مدل باید در حوزه عمق باشد، ولی تصویر سازی مبتنی بر مدل در حوزه زمان نیز انجام می‌شود. اگرچه به نظر می‌رسد که تصویر سازی در حوزه زمان از نظر تفسیر در مناطق با ساختارهای پیچیده دارای اشکال است، ولی به دست آوردن این مدل مزیت‌های بزرگی به همراه خواهد داشت، چرا که در هر حال برای تبدیل تصویر از حوزه زمان به عمق، به مدلی از ویژگی‌های الاستیک محلی لایه‌های زیرسطحی نیاز است. در این روش‌ها، اگر مدل مذکور در مرحله ابتدایی به شرایط واقعی ویژگی‌های الاستیک لایه‌ها نزدیک باشد، در آن صورت با چندین بار به روز کردن مدل^۱، می‌توان به تصویری واقعی‌تر از ساختاری زیرسطحی و ویژگی‌های الاستیک لایه‌ها رسید. به این دسته از روش‌های تصویرسازی، روش‌های مبتنی بر مدل می‌گویند.

۴-۱ تصویرسازی لرزه‌ای مبتنی بر داده

هدف اصلی در پردازش داده‌های بازتابی، به دست آوردن بهترین تصویر از ساختارهای زیرسطحی است. پردازش در محیط‌های با ساختار بسیار پیچیده و یا در داده‌های با نسبت سیگنال به نویز پایین، بسیار مشکل و زمان‌بر می‌باشد و نیاز به چندین بار تکرار مراحل پردازش دارد. یکی از راه‌های غلبه بر

1- Model updating

این مشکل، استخراج مستقیم حداکثر اطلاعات ممکن از داده‌های برداشت شده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه کامپیوتر و کاهش زمان محاسبات، امکان عملی شدن چنین روش‌هایی را نیز فراهم نموده است. این روش‌ها، تصویری از ساختارهای زیر سطحی را بدون تهیه مدل کامل و دقیق از ویژگی‌های الاستیک لایه‌ها تهیه می‌کند. در این حالت، تنها در دست داشتن مدل ضمنی و پیوسته-ایی از ویژگی‌های الاستیک که مستقیماً از داده‌های برداشت شده به دست می‌آید، کافی خواهد بود. مرسوم‌ترین تصویری که از این دسته روش‌ها به دست می‌آید، استفاده از مجموعه‌ایی از دسته داده-های بازتابی دارای همپوشانی برای تهیه تنها یک مقطع می‌باشد که در آن فرستنده و گیرنده بر هم منطبق هستند که به آن مقطع دورافت صفر (ZO) می‌گویند. روشهای برانبارش نقطه میانی مشترک (CMP) و سطح بازتاب مشترک¹ (CRS) از جمله این روشها می‌باشند که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

۱-۴-۱ روش برانبارش CMP

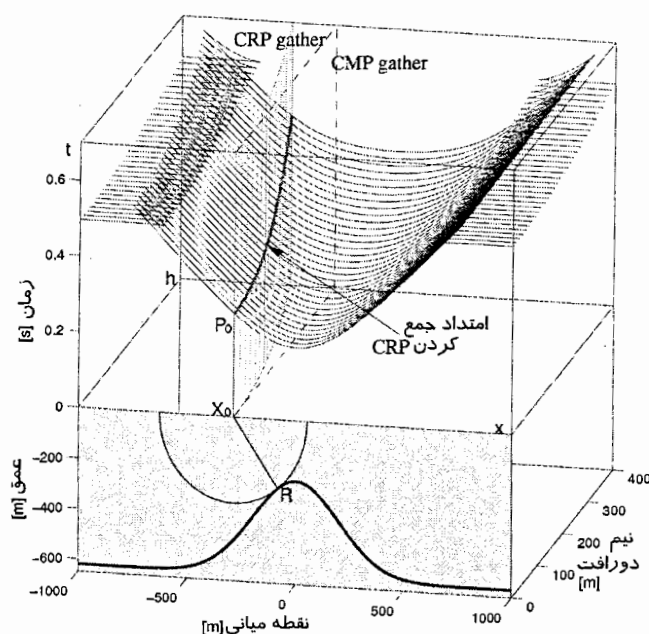
روشهای تصویرسازی مبتنی بر داده در ابتدا توسط دورباوم² (۱۹۵۴) معرفی شدند، ولی برای اولین بار ماین³ (۱۹۶۲) روش برانبارش CMP را به عنوان روش کلاسیک تصویرسازی مبتنی بر داده استفاده کرد. همانگونه که از اسم این روش نیز برمی‌آید، برانبارش CMP تنها در زیرمجموعه‌ایی از دسته داده‌های قبل از برانبارش عمل می‌کند که به آن برداشت CMP گویند. در این برداشت، تنها آن ردهایی مورد پردازش قرار می‌گیرند که نقطه میانی چشمه و گیرنده آنها بر هم منطبق هستند. معادله زمان سیر درجه دو به دست آمده از بسط تیلور نیز برای تخمین پاسخ جنبشی بازتابنده استفاده می‌شود. در این معادله، سرعت برانبارش به عنوان پارامتر مستقل وجود دارد. برانبارش CMP

1- Common Reflection Surface (CRS)

2- Dürbaum (1954)

3- Mayne (1962)

به عنوان روشی مقاوم در شبیه سازی مقطع ZO از داده‌های قبل از برانبارش شناخته می‌شود. علاوه بر آن، حجم داده‌ها را کاهش داده و نسبت سیگنال به نویز را نیز افزایش می‌دهد (شکل ۱-۳). با این حال این روش دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که از جمله آنها در صورت وجود شیب‌های متداخل (که مبحث اصلی در این تحقیق می‌باشد)، جایی که دو یا چند رخداد بازتابی همدیگر را در یک نقطه از مقطع دورافت صفر قطع می‌کنند، روش CMP عملکرد خوبی از خود نشان نمی‌دهد. این روش همچنین پاسخ‌های بازتابی مربوط به نقاط مختلف در بازتابنده‌های شیب دار یا منحنی شکل را با هم ترکیب کرده و به یک نقطه اختصاص می‌دهد که در این صورت تصویر نادرستی از ساختار بازتابنده را به دست می‌دهد. به منظور غلبه بر محدودیت‌های برانبارش CMP، لازم است که در اولین گام تاثیر لایه روباره واقع در بالای بازتابنده را در نظر گرفته و سپس در گام دوم با تصحیحی که بر روی داده‌ها انجام می‌شود، تاثیر شیب را نیز بر طرف کرد.



شکل ۱-۳، حجم سه بعدی از داده‌های قبل از برانبارش که برداشت CRP¹ برای نقطه R توسط روند سبز بر روی منحنی آبی زمان سیر نشان داده شده. دقت کنید که روند CRP در حالت کلی از صفحه برداشت CMP که با نقطه چین نشان داده شده است، انحراف دارد، (هیلمن، ۲۰۰۷).

1- Common Reflection Point (CRP)

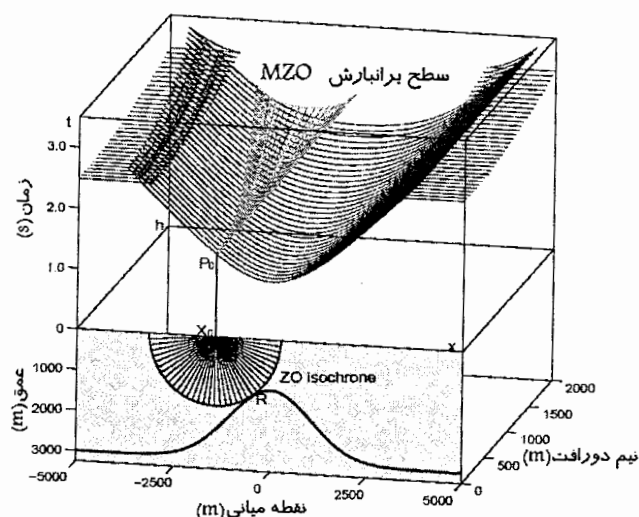
گام اول به نام تصحیح برنراند نرمال^۱ (NMO) و گام دوم به نام تصحیح برنراند شیب^۲ (DMO) شناخته می‌شود (ایلماز و کلائربوت، ۱۹۸۰)^۳. اگرچه روش NMO ساده و قابل درک است، تصحیح DMO تا حدی پیچیده می‌باشد. در این پایان نامه در تعیین استراتژی حل معادله CRS از ترکیبی از مفهوم DMO و CRS استفاده شده است. بنابراین شرح مختصری بر تصحیح DMO ضروری به نظر می‌رسد. اگر تصحیح‌های NMO/DMO را نه به صورت تصحیح‌های جداگانه، بلکه به صورت پیوسته در نظر بگیریم، در خواهیم یافت که عملگر برانبارش NMO/DMO چیزی غیر از پاسخ بازتاب جنبشی منحنی هم‌زمان دورافت صفر نخواهد بود که توسط معادله زمان سیر مربوط به یک رد و مدل سرعت مربوطه به دست می‌آید. با در نظر گرفتن اینکه نقطه واقعی مربوط به بازتابنده باید در جایی واقع بر روی این منحنی هم‌زمان قرار داشته باشد، بنابراین پاسخ جنبشی بازتاب آن نیز در عملگر برانبارش NMO/DMO قرار دارد. عملیات برانبارشی که در طول پاسخ مربوط به منحنی هم‌زمان دورافت صفر انجام می‌شود، معمولاً به نام کوچ به دورافت صفر^۴ (MZO) خوانده می‌شود (پرود و همکاران، ۱۹۹۷)^۵ (شکل ۱-۴). اگرچه استفاده مستقیم از عملگر MZO نیاز به در دست داشتن مدل سرعت میان لایه‌ها برای ایجاد منحنی هم‌زمان دارد، ولی جداکردن عملگر MZO به دو بخش NMO و DMO مزیت بزرگی به همراه دارد که در آن تصحیح NMO تنها با در دست داشتن مدل پیوسته سرعت NMO که مستقیماً از داده‌های قبل از برانبارش به دست می‌آید، قابل انجام است. برای سرعت‌های ثابت نیز عملگر DMO مستقل از سرعت خواهد شد. بنابراین در اغلب موارد از عملگر DMO در حالت سرعت ثابت استفاده می‌شود و بنابراین نیازی به مدل سرعت بین لایه‌ها نخواهد بود. درگوسکی (۱۹۸۶)^۶ عنوان کرد که روش برانبارش NMO/DMO قادر است که مساله تداخل شیب‌ها را به

-
- 1- Normal Move-out (NMO)
 - 2- Dip Move-out (DMO)
 - 3- Yilmaz and Claerbout, (1980)
 - 4- Migration to zero offset (MZO)
 - 5- Perroud et al. (1997)
 - 6- Deregowski (1986)

صورت کامل حل نماید. این امر کاملاً واضح است، چراکه منحنی هم زمان دورافت صفر و در پی آن عملگر DMO، تمام زوایای ممکن را شامل می‌شوند.

۲-۴-۱ عملگر برانبارش CRS

روش برانبارش سطح بازتاب مشترک، از جمله روش های مبتنی بر داده است که مقطع دورافت صفر را از داده‌های قبل از برانبارش شبیه سازی می‌کند. این روش نسبت به روش مرسوم NMO/DMO یک مزیت بزرگ دارد که از مدل سرعت مستقل می‌باشد. مفهوم این روش ابتدا توسط هوبرال و همکاران (۱۹۹۶)^۱ ارائه شد و مولر (۱۹۹۹)^۲ نیز نشان داد که عملگر برانبارش CMP در واقع حالت خاصی از عملگر CRS می‌باشد. به کمک تئوری پرتوهای موازی محور، چرونی (۲۰۰۱)^۳ نشان داد که معادله زمان سیر مرتبه دوم CRS، یک عملگر مکانی را به دست می‌دهد که می‌تواند به عنوان صفحه برانبارش عمل کند.



شکل ۱-۴، قسمت پایین، بازتابنده تأقیدسی شکل در حوزه عمق و قسمت بالا، منحنی های زمان سیر به رنگ آبی و عملگر برانبارش بادبزی شکل NMO/DMO به رنگ فیروزه‌ای نشان داده شده است، (یگر، ۱۹۹۹)^۴.

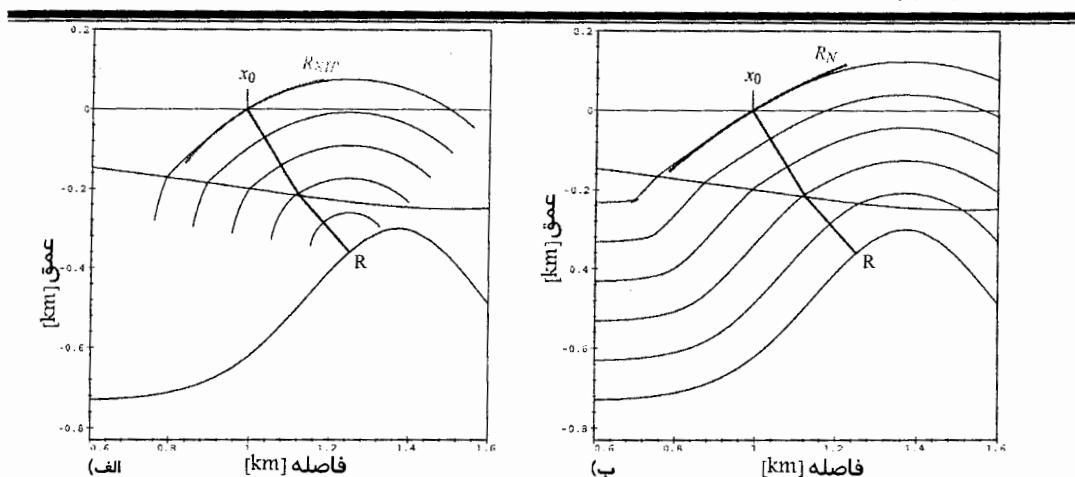
- 1- Hubral et al. (1996)
- 2- Müller (1999)
- 3- Červený (2001)
- 4- Jäger, (1999)

بسط تیلور درجه دو معادله زمان سیر آن نیز عملگر صفحه‌ای شکلی را به دست خواهد داد که با معادلات به دست آمده به کمک تئوری هندسه نوری توسط هوخت (۱۹۹۸)^۱ همخوانی دارد. ایده ابتدایی در روش CRS، تخمین پاسخ بازتاب جنبشی برای یک بخش کوچک از یک بازتابنده با انحناء و جهت یافتگی دلخواه، به کمک دو آزمایش فرضی است. جبهه موج‌های مذکور در شکل ۱-۵ برای یک مدل سه لایه‌ای همگن، نشان داده شده‌اند. جبهه موجی که از قرار دادن یک نقطه انفجاری فرضی R بر روی لایه بازتابنده (شکل ۱-۵ الف) ایجاد شده و به سمت بالا حرکت می‌کند، جبهه عمود در نقطه ورود^۲ (NIP) نامیده می‌شود. در آزمایش دیگر که در شکل ۱-۵ ب نشان داده شده است، یک سطح انفجاری در نظر گرفته می‌شود و موجی که تشکیل می‌گردد به نام موج نرمال می‌باشد و دارای شعاع انحنایی برابر سطح بازتابنده است. به عبارت دیگر اگر جبهه موج را تشکیل شده از پرتوهایی که بر جبهه عمود هستند در نظر بگیریم، در آن صورت تمام این پرتوها بر سطح بازتابنده نیز عمود خواهند بود. بدین منظور این موج را موج عمود^۳ (N) گویند. در نقطه x_0 در سطح، شعاع هر دو موج توسط دایره‌ای تخمین زده می‌شود که به عنوان مثال تخمین شعاع‌های R_{NIP} با دایره سبز رنگ و R_N با دایره قرمز رنگ نشان داده شده‌اند. مسیر حرکت جبهه موج‌ها و انحنای آنها به عنوان پارامترهای عملگر برانبارش قلمداد می‌شوند. برای شبیه سازی مقطع دوبعدی دورافت صفر، سه پارامتر یا نشانگرهای جنبشی میدان موج نیاز است. یکی مربوط به زاویه ورود پرتوی مرکزی است و بنابراین با جهت یافتگی بازتابنده در ارتباط است و دیگری R_N نیز به انحنای سطح بازتابنده بستگی دارد. R_{NIP} نیز به نوعی به عمق بازتابنده مرتبط است. بنابراین روش برانبارش CRS، برخلاف روش CMP، تنها به زیرمجموعه‌ای از داده‌ها محدود نمی‌باشد بلکه بر روی کل حجم داده‌ها عمل می‌کند. قسمت پایین شکل ۱-۶، یک سطح بازتابنده منحنی شکل را نشان می‌دهد و در بالای شکل، منحنی های زمان سیر (خطوط آبی رنگ) پرتوهای بازتابنده از این سطح در حوزه مختصات نقطه میانی، نیم-

1- Höcht (1998)

2- Normal Incidence point (NIP) wave

3- Normal wave



شکل ۱-۵، آزمایش‌های فرضی که در الف) موج NIP توسط چشمه موج نقطه‌ایی که بر روی بازتابنده در R قرار دارد تولید شده و در ب) موج عمود توسط سطح انفجاری ایجاد می‌شود. در هر دو شکل جبهه‌های موج با رنگ آبی نشان داده شده‌اند که به ترتیب توسط دایره‌های سبز و قرمز در سطح زمین اندازه‌گیری می‌شوند. پرتوی مرکزی نیز در هر دو شکل با رنگ آبی پر رنگ از نقطه R ساطع می‌شود، (مان و همکاران، ۱۹۹۹)^۱.

دورافت و زمان (x_m, h, t) نشان داده شده است. منحنی قرمز رنگ بر روی سطح بازتابنده نیز یک بخش از یک قوس^۲ است که شعاع بخش پر رنگ آن برابر شعاع سطح بازتابنده در آن قسمت می‌باشد. تمام پرتوهای نشان داده شده بر این قوس قرمز رنگ عمود می‌باشند و زمان‌های سیر آنها بر روی منحنی‌های سبز رنگ نشان داده می‌شود. نقطه P_0 بر روی سطح زمان سیر دورافت صفر، مربوط به پرتوی دورافت صفر است که در نقطه x_0 به سطح می‌رسد. همانگونه که در بخش قبل نیز عنوان شد، با افزایش دورافت، این نقطه بر روی سطح زمان سیر حرکت کرده و روند نقطه بازتاب مشترک CRP را ایجاد می‌کند که در این شکل با خط سبز پررنگ نشان داده شده است. اما در CRS تنها با یک پرتو مواجه نمی‌باشیم بلکه تمام پرتوهایی که از قوس قرمز رنگ ساطع می‌شوند، مشابه همین روند را در منحنی‌های زمان سیر طی کرده و خود سطحی را ایجاد می‌کنند که با رنگ سبز نشان داده شده است. به این سطح سبز رنگ، عملگر سطح بازتاب مشترک (CRS) می‌گویند.

1- Mann et al. (1999)
2- Arc segment

نظر گرفتن تفاوت‌های بین روش کوچ پیش از برانبارش و روش مرسوم، ایلماز و کلاثریوت (۱۹۸۰) روشی را برای حل مساله تداخل شیب‌ها به اسم کوچ بخشی پیش از برانبارش^۱ (PSPM) ارائه کردند. ولی این تئوری یک عیب بزرگ داشت. اگرچه برای محیط‌های لایه‌ایی به خوبی جواب می‌داد، ولی تنها در دورافت‌های کوچک معتبر بود. درگوسکی و روکا (۱۹۸۱)^۲ معادله PSPM را به شکلی شبیه کوچ کیرشهف بازنویسی کردند. آنها این روش تغییر شکل یافته که برای تصحیح تاثیرات ناشی از شیب مناسب بود را تصحیح برونراند شیب یا DMO نامیدند. امروزه PSPM و DMO به شکل پردازش‌های یکسان تلقی می‌شوند. اوتولینی (۱۹۸۲)^۳ معادلات PSPM را در مختصات اسنل-نقطه میانی که در حوزه مقطع با پارامتر پرتوی^۴ یکسان است، بازنویسی کرد. با این حال هزینه و زمان بالای محاسبات برای تهیه مقطع با پارامتر پرتوی یکسان، مانع از گسترش این روش گردید. این روش با یک روش منحصر به فرد دیگر دنبال شد که در آن تمام دورافت‌ها دخالت داده می‌شدند، بدین صورت که مقاطع دورافت‌های بلند، به مقطع دورافت نزدیک تصویر می‌شدند، بنابراین همه دورافت‌ها به دورافت صفر منتقل می‌شوند. هیل (۱۹۸۴)^۵ معادله DMO را برای حوزه فرکانس-عدد موج $(f-k)$ بازنویسی کرد. این روش برای سرعت برانبارش ثابت بسیار دقیق است و تا زمانی که تغییرات عمودی سرعت چندان شدید نباشد، می‌تواند تمام شیب‌ها در تمام دورافت‌ها را در نظر بگیرد.

هوبرال (۱۹۹۹)^۶ مفهوم روش CRS را به عنوان روشی که مقطع دورافت صفری با کیفیت بالا به دست می‌دهد، معرفی کرد. با این حال روش CRS در ابتدا قادر به برطرف کردن مساله تداخل شیب-ها نبود. به همین سبب مان (۲۰۰۲)^۷ یک جستجوی توسعه یافته‌ایی در داخل روش CRS برای برطرف کردن مساله تداخل شیب‌ها به صورت جزئی ارائه کرد. ولی هنوز نیاز به ارائه روشی در

1- Prestack partial migration (PSPM)
 2- Deregowski and Rocca (1981)
 3- Ottolini (1982)
 4- Ray parameter
 5- Hale (1984)
 6- Hubral (1999)
 7- Mann (2002)

پردازش CRS که بتواند مساله تداخل شیبها را به صورت کامل برطرف کند، احساس می‌شود که این مساله، بخش اصلی تحقیق را شامل می‌شود.

۶-۱ ساختار پایان نامه

همانگونه که از عنوان پایان نامه نیز برمی‌آید، هدف اصلی در این تحقیق، تعمیم روش CRS در حل مشکل شیبهای متداخل و پردازش دادههای بازتابی به کمک آن می‌باشد. در پایان نامه ارائه شده، تئوری روش CRS، چگونگی به دست آوردن معادله، نشانگرهای جنبشی میدان موج و استراتژی به دست آوردن آنها و مساله بهینه سازی به صورت کامل آورده شده است. بنابراین در این پایان نامه تنها به آنها اشاره خواهد شد. این اشاره کوتاه از این لحاظ نیاز است که چگونگی تاثیر مساله تداخل شیبها در هر مرحله و یا در هر روش باید به صورت کامل شناخته شود. از طرفی استراتژی و محدودیت‌های آن برای حل معادله CRS نیز بسیار دارای حائز اهمیت است، چراکه در واقع با تغییر دادن این استراتژی و ارائه استراتژی جدیدتری است که به کمک آن قادر خواهیم بود مشکل تداخل شیبها در روش CRS را برطرف کنیم. در فصل دوم مختصری به تئوری مساله و معادلاتی که در فصل‌های بعدی از آنها استفاده خواهد شد و اصولی که در تعیین استراتژی حل معادله تعمیم CRS به آنها نیاز داریم، پرداخته می‌شود. بنابراین در اینجا تنها به آنها اشاره می‌شود، سپس معادله کلی عملگر برانبارش CRS معرفی شده و نشانگرهای جنبشی میدان موج نیز معرفی می‌شوند. در همین فصل استراتژی به دست آوردن نشانگرهای جنبشی میدان موج و حل معادله CRS به تفصیل شرح داده خواهد شد. این فصل در واقع پایه‌های اساسی برای تعمیم روش CRS که مورد نظر می‌باشد را در بر می‌گیرد. بنابراین گام‌های به دست آوردن نشانگرهای جنبشی میدان موج به صورت کامل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. البته استراتژی حل معادله CRS قبلاً عنوان گردیده است، ولی با این تفاوت که در اینجا این مساله نه از دید کاربردی، بلکه از نظر تئوری، محدودیت‌های

روش، مساله تداخل شیب و همچنین بازکردن مراحل برنامه نویسی به منظور درک مساله مورد نیاز می‌باشد. در فصل سوم، دو داده مصنوعی به همراه یک داده واقعی مورد پردازش قرار می‌گیرند. یک مدل گنبدی شکل به همراه مدل Sigsbee 2A و همچنین داده‌های واقعی زمینی مورد پردازش CRS قرار خواهد گرفت. در ادامه فصل سوم، به منظور نشان دادن چگونگی استفاده از نتایج برانبارش CRS، دو گام دیگر پردازش شامل تعیین مدل سرعت و کوچ نیز بر روی آنها انجام می‌گیرد. در مرحله اول، مدل سرعت به کمک روش NIP توموگرافی به دست آمده و کوچ نیز به روش کیرشهف انجام گردید. در فصل چهارم، به مساله تداخل شیب‌ها، چگونگی شناسایی شیب‌های متداخل روش توسعه یافته در پردازش CRS و در نهایت به ارائه روش نوین برای برطرف کردن این مشکل پرداخته خواهد شد. در این فصل روش پیشنهادی مان (۲۰۰۱)^۱ برای رفع جزئی مشکل تداخل شیب‌ها عنوان می‌شود. البته این روش تنها به صورت محدودی قادر به برطرف کردن مساله تداخل شیب‌ها خواهد بود. با این حال می‌تواند پایه‌ایی برای ارائه ایده جدید در برطرف کردن این مشکل باشد. روش جدید برانبارش سطح پراش مشترک (CDS) در این فصل آورده می‌شود. در فصل پنجم از روش پردازش CDS در پردازش داده‌های مصنوعی Sigsbee 2A و داده‌های واقعی زمینی استفاده گردید. سپس نتایج برانبارش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و مزایای روش نوین در حل مساله تداخل شیب‌ها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل ششم نتیجه گیری‌های لازم و پیشنهادات برای کارهای آینده ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است که زبان برنامه نویسی مورد استفاده، زبان C++ می‌باشد و مراحل پردازش در برانبارش، تهیه مدل سرعت و کوچ، به کمک نرم‌افزار Seismic Un*x (SU) و در محیط Linux انجام گرفته است. مقاطع نشان داده شده در طول پایان نامه نیز به کمک همان نرم افزار SU به دست آمده است.

فصل دوم

تئوری

فصل دوم

تئوری

۱-۲ تئوری پرتو

تئوری پرتو در مبحث لرزه، بسیاری از روابط و اصول حاکم بر خود را مدیون توسعه روابط امواج الکترومغناطیس و یا هندسه نور است. در اصل دو روش برای بدست آوردن معادلات پرتو وجود دارد. روش اول، یک روش کلاسیک کاملاً مبتنی بر هندسه نور بوده و بنابراین آن را تئوری هندسه پرتو می‌نامند. روش دوم، معادلات پرتو را بر اساس آنالیز تحلیلی معادله حرکت موج بدست می‌آورد. اولین گام‌های اساسی در بدست آوردن معادلات پرتو، در قرن هفدهم و توسط روابط شکست اسنل و اصل فرما برداشته شد. در پی آن، اصل هندسه یکسان در مکانیک کلاسیک در نهایت منجر به معادلات پیچیده‌تری مانند معادلات اویلر، لاگرانژ، ژاکوبی و هامیلتون گردید، (اسلاوینسکی، ۲۰۰۳).^۱ در ادامه توسعه مبحث هندسه تئوری پرتو، آشکار شد که این تئوری محدودیت داشته و قادر به توصیف بسیاری از پدیده‌هایی که در آزمایشات نور با آن برخورد می‌شد، نبود. پس از آنکه ماکسول روابط کلی خود درباره معادلات حرکت امواج نور ارائه داد، تلاش‌هایی نیز در تعیین معادلات تئوری پرتو آغاز گردید. این تلاش‌ها در نهایت منجر به ارائه روشی در تحلیل معادلات پرتو گردید که در آن معادلات پرتو توسط آنالیز فرکانس بالای معادله موج بدست می‌آمد. علاوه بر آنکه این معادلات در شرایط فرکانس بالا معتبر بودند، درعین حال این تئوری قادر به توصیف بسیاری از پدیده‌های مرتبط با موج نیز بود، در حالی که تئوری هندسه پرتو، تنها قادر به توصیف مسیر حرکت و زمان سیر موج در امتداد

1- Slawinski (2003)

برای آنکه معادلات فوق در حالت دو بعدی تفسیر شوند، تنها لازم است که مولفه y در بردار \vec{r} را ثابت در نظر گرفته که در این صورت استفاده از عملگر گرادیان برای مولفه y ، برابر صفر می‌شود. توضیحات بیشتر در مورد تئوری الاستودینامیک خطی را در فیت (۲۰۰۱) می‌توان یافت. معادله حرکت موج در حضور نیروهای خارجی دلخواه را می‌توان به صورت انتگرالی و بر حسب تابع گرین به صورت زیر نشان داد، اسلاوینسکی (۲۰۰۳):

$$u(\vec{r}, \omega) = \int G(\vec{r}, \omega) f(\vec{r}, \omega) d\vec{r} \quad (3-2)$$

که در آن تابع گرین $G(\vec{r}, \omega)$ تانسور درجه دو برای بیان ویژگی‌های عمودی جابجایی و نیروی خارجی است. در لرزه‌نگاری، مرحله اصلی کار، تعیین تابع گرین برای محیط و برای نقاط چشمه موج است. بدین ترتیب، معادلات کلی‌تری از حل معادله (۳-۲) می‌توان بدست آورد.

۲-۲-۱- آنزاتس تئوری پرتو مجانبی

گام اول در تحلیل معادلات پرتو، تعیین یک آنزاتس برای معادله موج (۱-۲) است. آنزاتس تئوری پرتو مجانبی^۱ (ART) در واقع یک سری چند جمله‌ای با توان‌های معکوس ω است که توسط معادله زیر بیان می‌شود، (اسلاوینسکی، ۲۰۰۳):

$$u(\vec{r}, t) \approx \left(\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{i\omega^n} U^n(x) \right) e^{i\omega T(x)} \quad (4-2)$$

در این رابطه، آنزاتس توسط یکسری از ضرایب دامنه برداری $U^n(x)$ و تابع فاز $\omega T(x)$ معرفی می‌شود. همچنین T نشان دهنده زمان سیر موج خواهد بود. این سری در واقع یک سری مجانبی فرکانس بالا است که می‌تواند به صورت بسط سری تیلور برای ω^{-1} در $\omega = \infty$ بدست آید. با این حال در بیشتر مواقع تنها جمله مرتبه صفرم این سری مد نظر قرار می‌گیرد، (اسلاوینسکی، ۲۰۰۳):

1- Asymptotic Ray Theory (ART)

$$u(\vec{r}, \omega) \approx U(x)e^{i\omega T(x)} \quad (5-2)$$

که در آن $U \equiv U^{(0)}$ ضریب دامنه است. این، آنزاتس مرتبه صفر¹ (ZART) تئوری پرتوی مجانبی می‌باشد. البته تحلیل کامل در مورد معادلات و سری مربوطه و اینکه چرا از مرتبه صفرم این سری استفاده می‌شود، مربوط به این تحقیق نمی‌باشد، ولی ذکر نکات زیر می‌تواند در درک کامل تئوری پرتو مفید باشد. اول آنکه معادلات ۴-۲ و ۵-۲، در واقع حالت کلی از جواب‌های خاصی است که نحوه انتشار امواج تخت و حجمی را در محیط همگن نشان می‌دهند. دوم آنکه حالت کلی این معادلات شامل جمله‌هایی از فاز و دامنه بر حسب موقعیت هستند. در معادله ۴-۲ همچنین دامنه به فاز بستگی دارد. دقت شود که هر دوی معادلات ۴-۲ و ۵-۲، توسعه میدان موج با جبهه موج‌هائی در سطوح معادل $T(x)$ را بیان می‌کنند. یکی از شروط برقراری این معادله آن است که مقدار طول موج نسبت به تغییرات خواص محیط کوچک باشد، محیط تقریباً همگن باشد و حرکت موج در محیط باید به گونه‌ای باشد که گویا در یک محیط کاملاً همگن منتشر می‌شود. تبدیل فوریه معادله آنزاتس ZART در حوزه زمان، تابع دلتا دیراک به شکل $U(x)\delta(t-T(x))$ را بدست می‌دهد (اسلاوینسکی، ۲۰۰۳).

مرتبه‌های بالاتر در معادله ۴-۲، مراتب بالاتری از انتگرال‌های تابع دلتا دیراک را بدست می‌دهد و نتیجه آن افزایش خاصیت نرم‌کنندگی در معادلات است. بنابراین عنوان می‌شود که آنزاتس ZART در واقع بیشترین حجم اطلاعات از حرکت موج را شامل می‌شود (اسلاوینسکی، ۲۰۰۳).

در حل معادلات تئوری پرتوی مجانبی، به منظور ساده سازی حل معادلات، درجه آزادی معادلات را کاهش می‌دهند. به عنوان مثال بدین شکل که در آنزاتس ZART، توابع دامنه و فاز را مستقل از فرکانس در نظر می‌گیرند در حالی که در معادله کلی‌تر ART، تعداد کمتری از جملات مربوط به دامنه در محاسبات دخالت داده می‌شوند. در نهایت باید عنوان شود که معادلات ۴-۲ و ۵-۲، معادلات

1- Zero-order Asymptotic Ray Theory(ZART)

کمکی برای حل معادله اصلی موج هستند. جواب نهایی معمولاً دارای ضربی از یک فاکتور وابسته به فرکانس است، مثلاً $F(\omega)$ ، که یک بازه محدودی از شکل موج را شامل می‌شود. در نهایت با توجه به نیروهای خارجی (به عنوان مثال f در معادله ۲-۱)، که می‌خواهیم یک میدان موج مجانبی را بر اساس آنها تعیین کنیم، مجموعی از جملات میدان موج در معادلات کمکی باید با یکدیگر جمع شوند.

۲-۲-۲ تحلیل مجانبی معادله موج

با انتخاب آنزاتس با درجه آزادی محدود شده، برای ساده سازی حل معادله موج، در واقع راه برای بدست آوردن یک جواب قطعی برای معادله کلی و برای تمام شرایط محیطی بسته شده است. در عوض برای بسیاری حالات خاص، جواب‌های تخمینی تا حد زیادی به جواب‌های قطعی نزدیک است، (اسلاوینسکی، ۲۰۰۳). در معادله ART، هدف بدست آوردن آنزاتس به گونه‌ایی است که با در نظر گرفتن محدودیت فرکانس بالا، بیشترین انطباق را به صورت مجانبی با معادله موج داشته باشد. بدین طریق تحلیل مجانبی بر روی معادله موج صورت می‌گیرد و فرض می‌شود که جواب نهایی به شکل آنزاتس ZART (معادله ۲-۵) خواهد بود. این تحلیل نهایت منجر می‌شود به یک معادله برای زمان سیر T ، و دامنه U ، که شرایط آنزاتس ZART را برای انطباق با معادله موج ارضاء می‌کند. البته این معادلات بر حسب توان معکوس فرکانس و چگالی محیط و همچنین برای شرایطی است که در آن مجموع نیروهای خارجی برابر صفر باشد، $f = 0$.

۳-۲-۲ تعیین پارامترها

در این بخش، تعدادی از پارامترهایی که در ادامه با آنها سروکار داریم، با قدری توضیح درباره آنها معرفی می‌شوند. به عنوان مثال بردار کندی \vec{p} (چاپمن، ۲۰۰۴):

1- Chapmann, (2004)

برد. دستگاه مقادیر مشخصه، که از مقادیر مشخصه سیستم معادلات در مسیر حل معادله موج تعیین می‌شود، اطلاعاتی در مورد زمان سیر و قطبش هر سه نوع موج را به دست می‌دهد. بنابراین سیستم معادلات را می‌توان با دستگاه معادلات زمان سیر که بر روی محور قطبش خودشان تصویر شده‌اند، جایگزین کرد. در نهایت برای یک نوع موج خاص، یک معادله باقی می‌ماند که آنرا معادله آیکونال می‌نامند (چاپمن، ۲۰۰۴):

$$(\nabla T)^2 = \frac{1}{v^2} \quad T = T(x, y, z) \quad (10-2)$$

که برای هر نوع موج، شکل خاص خودش را دارد. این معادله تنها معادله زمان سیر است چراکه قطبیت به صورت ضمنی در انتخاب نوع موج و بردار کندی آن در شرایط اولیه در نظر گرفته می‌شود. معادله آیکونال یک معادله دیفرانسیل جزئی غیرخطی مرتبه اول بوده و مولفه‌های گرادیان زمان سیر T را به سرعت انتشار موج، v ، مرتبط می‌کند. در این معادله و شرایط در نظر گرفته شده، دو نکته مهم وجود دارد (چاپمن، ۲۰۰۴):

- در محیط همسانگرد و با به کار بردن مولفه‌های فرکانس بالا، معادله آیکونال برای امواج P و S بر یکدیگر منطبق خواهند شد و
- پرتوها همواره بر جبهه موج عمود می‌باشند.

۵-۲-۲ معادله انتقال

حال که معادله زمان سیر توسط معادله آیکونال بدست آمد، و قطبش نیز به صورت ضمنی با انتخاب نوع موج، در نظر گرفته می‌شود، اکنون نوبت تعیین ضرایب آنزاتس $ZART$ (معادله ۵-۲) است. معادله تعیین مقدار اسکالر دامنه، $A(x)$ ، در شرایطی که کل جمله به صفر میل کند، قابل محاسبه نمی‌باشد. تغییرات تابع دامنه نیز تنها مولفه‌هایی از سیستم معادلات را تحت تاثیر قرار می‌-

دهد که در جهت قطبش آن نوع موج خاص باشند و بر سایر مولفه‌ها در سایر جهات تاثیری ندارد. بنابراین بهترین جواب هنگامی حاصل می‌شود که جهت سایر قطبش‌ها نیز عمود بر جهت قطبش اصلی باشند. با ضرب داخلی این مولفه‌ها در جهت قطبش آنها و مساوی قرار دادن آن با صفر، معادله‌ای به اسم معادله انتقال^۱ بدست می‌آید. با توجه به پارامترهای تعریف شده، (معادلات ۷-۲ و ۸-۲) معادله انتقال را می‌توان به صورت زیر نوشت، (چاپمن، ۲۰۰۴):

$$a\vec{p}g \frac{\partial(Ag)}{\partial\vec{r}} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial\vec{r}}(\rho A a\vec{p}g) = 0 \quad (11-2)$$

که در آن a پارامتر چگالی است که نسبت به تانسور الاستیک^۲ چهار مولفه‌ای (a_{ijkl}) نرمال شده است. با برخی تغییرات، معادله را به صورت ساده‌تر زیر می‌توان بازنویسی کرد، (چرونی، ۲۰۰۱):

$$\frac{\partial}{\partial\vec{p}}(\rho a g^2 \vec{p} A^2) = 0 \quad (12-2)$$

که در واقع به شکل قانون پایداری^۳ است.

۲-۲-۶ حل معادلات آیکونال و انتقال

معادله آیکونال یک معادله دیفرانسیل جزئی غیر خطی برای تعیین زمان سیر است. روش‌های حل این معادله می‌تواند به دو دسته روش‌های تئوری پرتو و روش‌های برنامه‌های حل کننده معادله آیکونال تقسیم شود. روش‌های تئوری پرتو که بر اساس روش مشخصه‌ها استوار است، در واقع همان روش کلاسیک است. این دسته از روش‌ها این مزیت را دارند که در آنها معادله دیفرانسیل اصلی، توسط یکسری معادلات دیفرانسیل دیگر جایگزین می‌شود که روش‌های ساده‌تری برای حل آنها وجود دارد. همچنین اینگونه به نظر می‌رسد که معادله انتقال (معادله ۱۲-۲) را به راحتی می‌توان به این روش حل کرد. از معایب این روش، تغییر دستگاه مختصات است که در پی آن محاسبات اضافه‌تری را

1- Transport equation
2- Elastic tensor
3- Conservation law

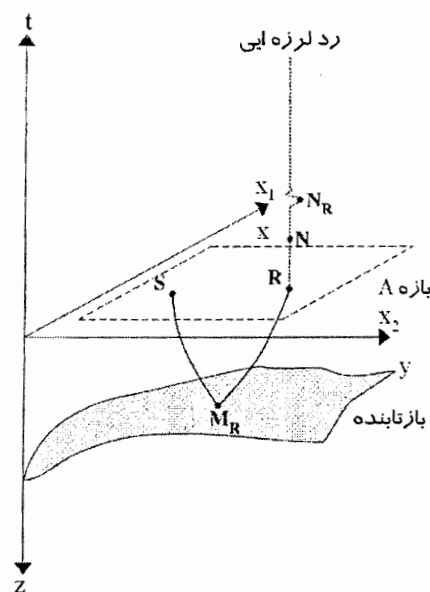
نیز به دنبال خواهد داشت. به عنوان مثال ارزیابی ویژگی‌هایی محیط در این روش با دشواری روبرو است. چراکه اگر به دنبال تعیین ویژگی‌های محیط در هر نقطه دلخواه باشیم، نیاز به درونیابی خواهد داشت. این درونیابی باید به قدر کافی نرم باشد و اینچنین درونیابی‌هایی در محیط، در عمل زمان و حجم زیادی از محاسبات را به خود اختصاص می‌دهد. یکی دیگر از مشکلات، غیرخطی بودن معادله آیکونال است. حتی با شروع از یک شبکه منظم در شرایط اولیه، سیستم معادلات به سرعت ناپایدار خواهد شد. با توجه به روش حل انتخاب شده، این ناپایداری می‌تواند به صورت ارائه یک مقدار بسیار بزرگ و یا ارائه چند مقدار به جای یک مقدار خود را نشان دهد. اگر از روش مشخصه‌ها استفاده شود، ممکن است مساله چند جوابی رخ دهد. مساله چند جوابی از نظر فیزیکی معادل تا خوردن جبهه موج بر روی خودش است. برنامه‌های حل معادله آیکونال، معمولاً این چنین جواب‌های غیرقابل قبول را از خود ارائه نمی‌دهند، (چاپمن، ۲۰۰۴).

۲-۳ پرتوهای موازی

تئوری پرتو، مسائلی مانند؛ هندسه مسیر پرتو، شکست، بازتاب، پراش و تغییرات خواص پرتو در محیط در هنگام انتشار موج را مورد بررسی قرار می‌دهد (چرونی، ۲۰۰۱). شکل ۱-۲ نحوه انتشار پرتو در محیط همگن، انعکاس آن از لایه بازتابنده و رد دریافتی در گیرنده واقع شده در نقطه R را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن اصول هندسه نور در کارهای تصویرسازی لرزه‌ای، پرتوی مورد نظر که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، به عنوان پرتوی مرکزی^۱ در نظر گرفته شده و پرتوهای موازی محور به پرتوهای اطلاقی می‌شود که زاویه انحراف (θ) آنها از این پرتو و فاصله r آنها نسبت به محور نوری ناچیز است. این تخمین برای زوایایی که در آن $\sin(\theta) \approx \theta$ باشد، معتبر است (چرونی، ۲۰۰۱). شکل ۲-۲، یک جبهه موج متحرک را در دو فاصله زمانی نشان می‌دهد که در آن مسیر پرتوی

1- Central ray

مرکزی از نقطه S_0 بر روی صفحه اول شروع می‌شود و به سمت نقطه G_0 بر روی صفحه دوم حرکت می‌کند. همچنین مسیر پرتوی موازی نیز از S به سمت G امتداد دارد. در تئوری پرتو، زمان سیر موج لرزه‌ای از انتگرال گیری بردارهای کندی در طول مسیر پرتویی که چشمه را به گیرنده وصل می‌کند، بدست می‌آید. در این بخش ضمن اشاره مختصری به تئوری پرتو، به کمک معادله اصلی انتشار موج و معادله آیکونال، معادله اصلی عملگر برانبارش CRS و نشانگرهای آن بدست می‌آید. در حل معادلات، تنها امواج فرکانس بالا مورد توجه قرار می‌گیرد. چرا که در این معادلات پرتوها در حوزه فرکانس به صورت یک سری با بعد عکس فرکانس تبدیل شده و اگر آنها را در معادله انتشار موج قرار داهیم، به صورت ضرایبی در خواهند آمد که در فرکانس‌های بالا مقدار این ضرایب بسیار کوچک شده، سری همگرا خواهد شد و بنابراین برای تمامی فرکانس‌ها معادله را قابل حل خواهد کرد.



شکل ۱-۲، هندسه حرکت پرتوها در آزمایش لرزه‌نگاری بازتابی. عموماً، موج به شکل دسته‌ای از پرتوها در نظر گرفته می‌شود که از نقطه S در سطح برداشت گسیل شده و به سمت بازتابنده حرکت می‌کند، در نقطه M_R واقع بر روی بازتابنده، بازتاب می‌کند و به سمت نقطه R در سطح حرکت می‌کند که در آنجا در بازه A ضبط می‌گردد. بازتاب انجام شده در نقطه M_R در سطح در نقطه N_R که زمان مربوط به بازتاب است، در رد لرزه‌نگاری نشان داده شده است (گوئرتز، ۲۰۰۲).

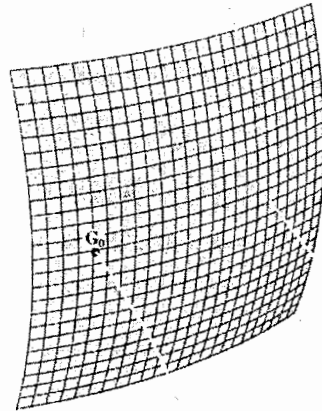
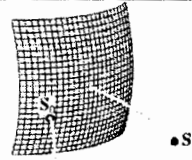
البته در مورد این مطلب که از چه فرکانسی به بعد به عنوان فرکانس بالا در نظر گرفته شود، هنوز توافق کلی حاصل نشده، به همین دلیل این مطلب بیشتر به صورت کیفی مورد بحث قرار می‌گیرد. ولی در حالت کلی عنوان می‌شود که حالت پایدار برای معادله هنگامی ارضاء می‌شود که طول موج ارسالی به قدر کافی از ابعاد هر ساختاری در محیط مورد بررسی کوچکتر باشد. برای محیط‌های ایزوتروپ، بردار کندی همواره بر سطح جبهه موج عمود می‌باشد. (شکل ۲-۳). در صورت معین بودن مسیر پرتو، زمان سیر در طول پرتوی نشان داده شده در شکل ۲-۴ را می‌توان به صورت مستقل و از انتگرال گیری در طول پرتو از چشمه S تا گیرنده G به صورت زیر محاسبه کرد، (برگلر، ۲۰۰۱):^۱

$$t = \int_S^G \frac{ds}{v} \quad (۱۳-۲)$$

در تئوری پرتوهای موازی مساله اصلی این است که آیا می‌توان به کمک زمان سیر یک پرتو با مسیر معلوم، زمان سیر پرتویی نزدیک به پرتوی مذکور را محاسبه و یا حداقل تخمین زد؟ بدین منظور کافی است علاوه بر پرتویی که در شکل ۲-۱ نشان داده شده، پرتویی با فاصله بسیار نزدیک و با چشمه و گیرنده فرضی در نظر گرفت. شکل ۲-۴ این وضعیت را برای دو پرتوی مذکور نشان می‌دهد. در این شکل، پرتوی S-G به عنوان پرتوی مرکزی و پرتوی S₀-G₀ به عنوان پرتوی موازی در نظر گرفته می‌شوند. تئوری پرتوهای موازی همچنین بیان می‌کند که مقادیر پارامترهای هر نقطه از پرتوی موازی در تمام طول مسیر حرکت، تابعی خطی از مشخصات همان پارامتر برای پرتوی مرکزی است. همانگونه که عنوان شد، برای بدست آوردن خصوصیات پرتوهای موازی لازم است که دو پارامتر از آنها در دست باشند که این پارامترها عبارتند از :

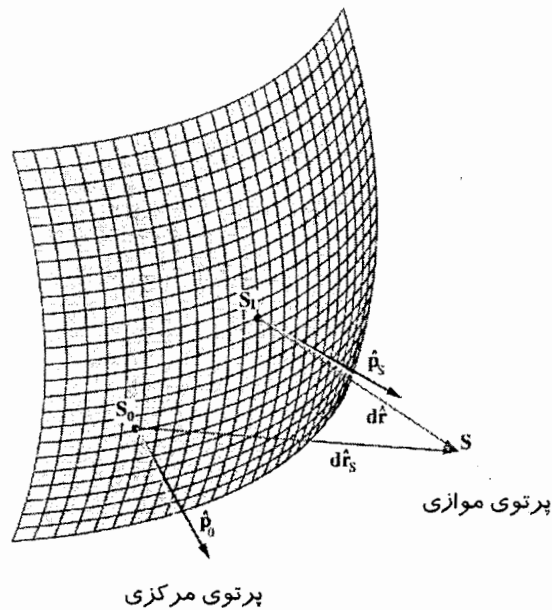
- بردار فاصله پرتوی موازی از پرتوی مرکزی \vec{r} و
- انحراف بردار کندی پرتوی موازی (\vec{p}) ، از پرتوی مرکزی (\vec{p}_0) یعنی $\vec{p} - \vec{p}_0$.

1- Bergler, (2001)



پرتوی مرکزی

شکل ۲-۲، جبهه موج در حال حرکت در دو نقطه مختلف زمانی. پرتوی مرکزی و موازی هر دو بر سطح جبهه موج عمود هستند، (برگلر، ۲۰۰۱).



شکل ۲-۳ پرتوهای مرکزی و موازی عمود بر جبهه موج. بردارهای کندی مربوطه، \vec{P}_0 و \vec{P}_S در نقاط S_0 و S_1 نشان داده شده‌اند. بردارهای $d\vec{r}$ و $d\vec{r}_S$ مسیر و چگونگی حرکت پرتوها به ترتیب از S_1 به S و از S_0 به S را نشان می‌دهند، (برگلر، ۲۰۰۱).

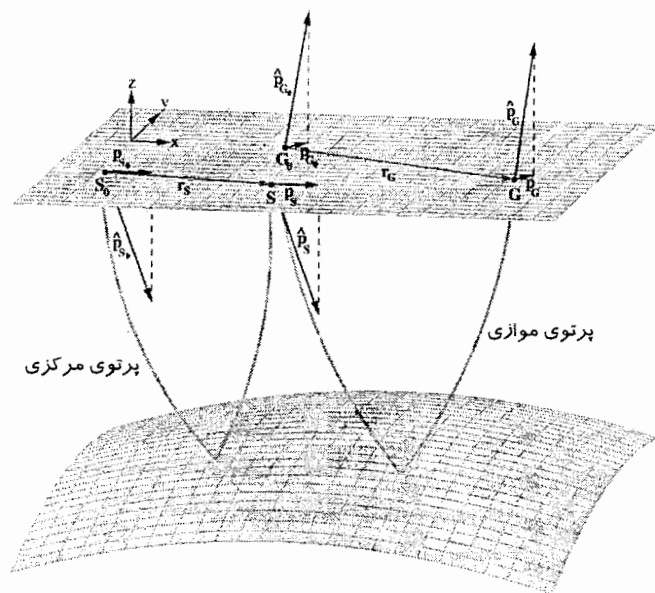
تخمین خطی \bar{P}_G از \bar{P}_S نسبت به بردار جابجایی آنها یعنی \bar{r}_S و \bar{r}_G توسط ماتریسی به نام ماتریس انتشار صورت می‌گیرد (مولر، ۱۹۹۹):

$$\begin{pmatrix} \bar{r}_G \\ \bar{P}_G - \bar{P}_{G_0} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{r}_S \\ \bar{P}_S - \bar{P}_{S_0} \end{pmatrix} \quad (۱۴-۲)$$

عبارت A, B, C, D آرایه‌های ماتریس انتشار هستند (چرونی، ۲۰۰۱). به کمک محاسبات جنبی می‌توان نشان داد که اختلاف زمان سیر بین این دو پرتو را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$dt = \bar{P}_G \cdot d\bar{r}_G - \bar{P}_S \cdot d\bar{r}_S \quad (۱۵-۲)$$

بنابراین با توجه به معادله فوق می‌توان گفت که تفاوت زمان سیر در جابجایی‌های خیلی کوچک و در جهت عمود بر حرکت پرتو، بسیار ناچیز بوده و قابل چشم‌پوشی است. بنابراین می‌توان گفت که زمان سیر نسبت به جابجایی‌های کوچک، ایستا خواهد بود.



شکل ۲-۴، بردارهای جابجایی و کندی پرتوهای مرکزی و موازی در صفحه اندازه‌گیری در مختصات کارتزین S_0 و G_0 نقاط ابتدایی و انتهایی مسیر حرکت پرتوی مرکزی را نشان می‌دهد. G و S نیز نقاط ابتدایی و انتهایی مسیر حرکت پرتوی موازی را نشان می‌دهد. (برگلر، ۲۰۰۱).

برای تعیین معادله زمان سیر برای تمام پرتوها، معادله ماتریس انتشار با توجه به بردار کندی در

گیرنده‌ها خواهیم داشت:

$$\vec{P}_{G_0} = \vec{P}_{S_0} + B^{-1} X_{G_0} - B^{-1} A X_{S_0} \quad (16-2)$$

$$\vec{P}_G = \vec{P}_S + C X_G + D B^{-1} X_S - D B^{-1} A X_{G_0} \quad (17-2)$$

و اگر آن را در رابطه اختلاف زمانی (معادله ۲-۱۵) قرار دهیم خواهیم داشت؛

$$t_{par}(X_S, X_G) = t_0(X_{S_0}, X'_{G_0}) - \vec{P}_{S_0} \cdot \vec{r}_S + \vec{P}_{G_0} \cdot \vec{r}_G - \vec{r}_S \cdot B^{-1} \vec{r}_G + \frac{1}{2} \vec{r}_S \cdot B^{-1} A \vec{r}_S + \frac{1}{2} \vec{r}_G \cdot D B^{-1} \vec{r}_G \quad (18-2)$$

رابطه زمان سیر برای پرتوی موازی بدست می‌آید. در این رابطه \vec{r} نشان دهنده فاصله نقاط از مبدا مختصات در دستگاه مختصات کارتزین (x, y, z) است. بنابراین در صورت معلوم بودن زمان سیر پرتوی مرکزی و ضرایب ماتریس انتشار، برای هر چشمه و گیرنده دلخواه در اطراف پرتوی مرکزی می‌توان زمان سیر آنرا توسط رابطه بالا محاسبه نمود. در عین حال این رابطه را می‌توان در مختصات نقطه میانی و دورافت نیز بازنویسی کرد. برای این حالت :

$$x_m = \frac{1}{2}(x_S + x_G) \quad \text{و} \quad h = \frac{1}{2}(x_G - x_S) \quad (19-2)$$

که x_m مختصات نقطه میانی و h نیم‌دورافت است.

بنابراین رابطه بالا به صورت زیر بازنویسی خواهد شد (مولر، ۱۹۹۹):

$$t(x_m, h) = t_0 + 2\vec{P}_0 \cdot x_m + x_m D_0^{-1} C_0 x_m + h \cdot B_0^{-1} A_0 h \quad (20-2)$$

با در نظر گرفتن رابطه خطی بین پرتوی مرکزی و پرتوی موازی، یک رابطه تخمین زمان سیر از مرتبه دوم برای پرتوی موازی بدست می‌آید. معادله ۲-۲۰، رابطه سهموی تخمین زمان سیر است. صورت دیگر نشان دادن این رابطه، استفاده از رابطه تخمین زمان سیر هذلولی است که با به توان دو رساندن رابطه ۲-۲۰ و چشم پوشی از جملات با توان بالا بدست می‌آید. هر دو شکل این روابط زمان سیر، به صورت کامل در برگلر (۲۰۰۱) و فیت (۲۰۰۱) بحث شده است.

استفاده از این معادلات به شکل بالا در عمل قدری دشوار بود. بدین منظور تلاش‌های زیادی برای ساده سازی آنها صورت گرفت. در ادامه تنها شکل ساده و نهایی آن آورده می‌شود. با این حال قبل از آن لازم است که نشانگرهای جنبشی میدان موج توضیح داده شوند.

۴-۲ 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 می‌یابد و در زمان t_0 به نقطه $S=G$ در سطح می‌رسد (یگر، ۱۹۹۹). موج نرمال را هنگامی موج ویژه^۱ گویند که اگر جبهه موج از سطح از نقطه‌ایی که $S=G$ است به سمت پایین حرکت کند، به صورت مشابه به تمام نقاط سطح بازتابنده برخورد می‌کند، سپس به سمت بالا بازتاب شده و جبهه موج برگشتی با جبهه موج گسیل شده منطبق گردد (هوبرال، ۱۹۸۳)^۲. شکل ۵-۲ 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 می‌رسد، (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 ۶-۲ نحوه گسترش جبهه موج

1- Eigen wave
2- Hubral, (1983)

NIP به همراه پرتوهای فرضی (غیر اسنلی) آن در آزمایش CMP رانشان می‌دهد. معادلات مربوط به

نشانه‌های جنبشی میدان موج به شکل زیر هستند (فیت، ۲۰۰۱):

$$P^x = \frac{\sin \alpha}{v_0} \quad (21-2)$$

$$M_N^x = \frac{\cos^2 \alpha}{v_0} K_N \quad (22-2)$$

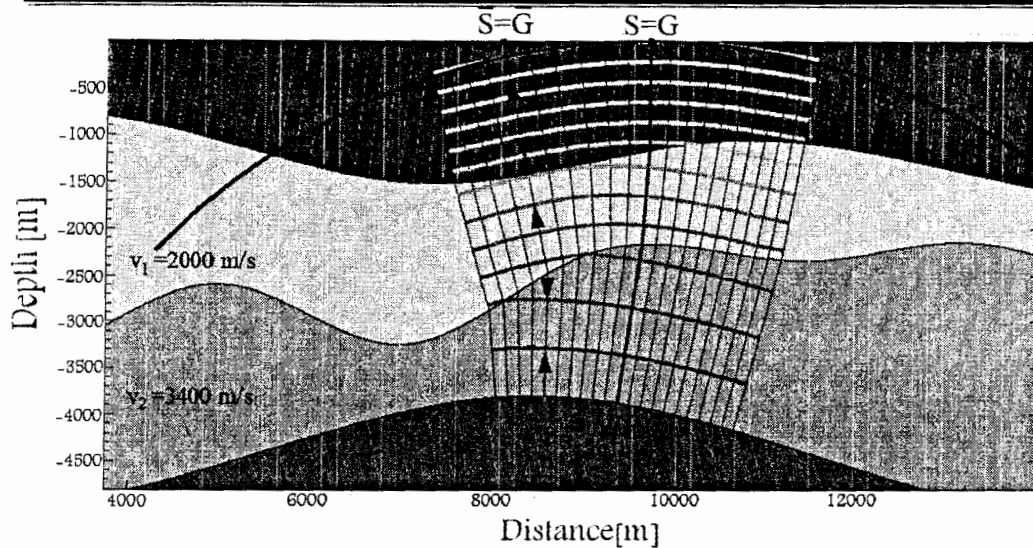
$$M_{NIP}^x = \frac{\cos^2 \alpha}{v_0} k_{NIP} \quad (23-2)$$

۵-۲ عملگر برانبارش CRS

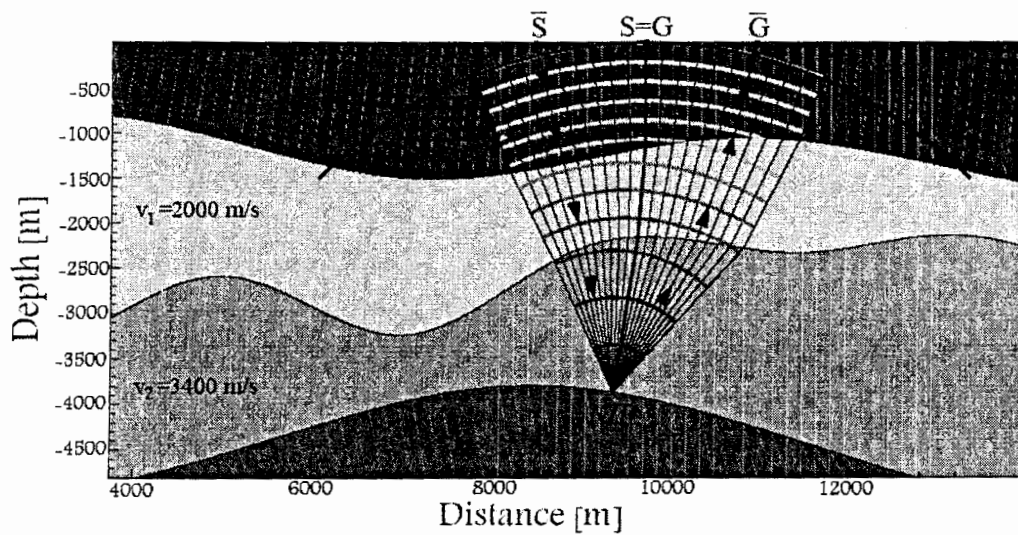
همانگونه که قبلاً نیز به آن اشاره گردیده است (هوخت، ۱۹۹۸)، به روش بسط تیلور، معادلاتی را برای بدست آوردن زمان سیر پرتوها به کمک نشانه‌های میدان موج ارائه کرد که این معادلات به-عنوان معادلات اصلی عملگر برانبارش CRS شناخته می‌شوند. در این روش، بسط تیلور مرتبه اول برای t و سپس بسط تیلور مرتبه دوم برای t^2 محاسبه می‌شود که بسط مرتبه اول در تخمین زون فرسnel و بسط مرتبه دوم به عنوان عملگر برانبارش CRS شناخته می‌شود:

$$t_{par}(x_m, h) = t_0 + \frac{2\sin\alpha(x_m - x_0)}{v_0} + \frac{\cos^2\alpha}{v_0} \left[\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (24-2)$$

$$t_{hyp}^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2\sin\alpha(x_m - x_0)}{v_0} \right]^2 + \frac{2t_0\cos^2\alpha}{v_0} \left[\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (25-2)$$



شکل ۲-۵، مقطع دو بعدی موج عمود و پرتوهای عمود مرتبط با آزمایش دورافت صفر. میزان انحناء پرتوی عمود توسط دایره C_N (در حالت سه بعدی به صورت صفحه منحنی) که دارای انحنایی برابر جبهه موج عمود است، در نقطه ایی که $S=G$ است تخمین زده می شود، (یگر، ۱۹۹۹).



شکل ۲-۶، مقطع دو بعدی موج NIP و پرتوهای غیراسنلی در آزمایش CMP. شعاع انحنای جبهه موج NIP را می توان توسط دایره C_{NIP} (در حالت سه بعدی به صورت صفحه منحنی) تخمین زد، (یگر، ۱۹۹۹).

در معادلات بالا R_{NIP} ، R_N و α مشخصه های میدان موج در روش CRS هستند، v_0 برابر سرعت لایه سطحی است که در دست می باشد و نقطه ایی که باید در مقطع دورافت صفر شبیه سازی شود

با x_0 نشان داده شده که در واقع همان محل ورود پرتوی مرکزی است. معادله اول (معادله ۲-۲۴) بیانگر یک سهمی با نقطه ماکزیمی است که در مقطع دورافت صفر قرار دارد و محور تقارن قائم آن با توجه به مقادیر x_0 و t_0 به ترتیب بر روی محورهای نقطه میانی و زمان جابجا می‌باشد. برای نقطه پراش، به حالت خاصی از سهمی خواهیم رسید که در آن $R_{NIP}=R_N$ خواهد بود. ولی در حالت کلی این معادله به شکل سهمیوار بیضی‌گون ($R_N R_{NIP} > 0$) و یا سهمیوار هذلولوی ($R_N R_{NIP} < 0$) است. معادله دوم که به نام تخمین زمان هذلولوی شناخته می‌شود (معادله ۲-۲۵)، سطحی را بدست خواهد داد که قله آن نیز در مقطع دورافت صفر قرار دارد. این سطح با توجه به مقداری که نشانگرها به خود میگیرند، شکل‌های متفاوتی خواهد داشت. در حالت کلی این عملگر به صورت یک هذلولوی با دو سطح خواهد بود که این هذلولوی در مختصات ZO به شکل بیضی‌گون و در مختصات CMP به شکل هذلولوی است. همانگونه که در معادله عملگر دیده می‌شود، این روش نیازی به اطلاعاتی از مدل سرعت زیرسطحی نداشته و تنها دانستن مقدار سرعت سطحی v_0 برای تعیین عملگر برانبارش کافی خواهد بود (هوبرال، ۱۹۹۹)!

یک بخش کوچکی از یک بازتابنده در نقطه‌ایی با مختصات معلوم در مقطع دورافت صفر را در نظر بگیرید. این بخش به کمک نشانگرهای میدان موج در آن محل شناخته می‌شوند. یک نقطه پراش فرضی درست در همان مکان نیز در نظر بگیرید. مسیر حرکت پرتوی مرکزی برای نقطه پراش و بخش بازتابنده یکسان خواهد بود، همچنین زمان سیر و زاویه ورودی برای آنها نیز برابر خواهد بود. همانگونه که میدانیم، نشانگر R_{NIP} نیز مستقل از شعاع انحنای بازتابنده یا نقطه پراش است، بنابراین این نشانگر نیز برای هر دوی آنها برابر است. بنابراین تنها تفاوت آنها در این حالت نشانگر R_N است که برای نقطه پراش این مقدار برابر R_{NIP} خواهد شد. مان (۲۰۰۲) نشان داد که با توجه به معادله CRS و شکل عملگر برانبارش CRS، می‌توان گفت که عملگر برانبارش کیرشیف، حالت خاصی از عملگر

1- Hubral, (1999)

CRS است که در آن $R_{NIP}=R_N$ می‌باشد. به عبارت دیگر اگر عملگر برانبارش CRS برای یک بخش بازتابنده کوچک در دست باشد، تخمین عملگر کیرشهف آن نیز به سادگی بدست خواهد آمد. برای این کار کافی است مقدار R_N را برابر R_{NIP} قرار داده، که در این صورت خواهیم داشت:

$$t_D^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2 \sin \alpha (x_m - x_0)}{v_0} \right]^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha}{v_0 R_{NIP}} [(x_m - x_0)^2 + h^2] \quad (26-2)$$

۱-۵-۲ پردازش به روش برانبارش CRS

فرض کنید که برای یک نقطه (نمونه) از رخدادی که در زون مورد نظر برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر قرار دارد، تمام پارامترهای معادله CRS معلوم هستند. بنابراین داده‌های قبل از برانبارش را می‌توان بر روی صفحه‌ایی که توسط این سه پارامتر مشخص می‌شوند، جمع کرد و نتیجه را به نمونه مورد نظر اختصاص داد. بدین ترتیب می‌توان ساختار بازتابنده را به خوبی شبیه سازی کرد. ولی در حالت واقعی، چون ساختار زیرسطحی نامعلوم است، بنابراین پارامترهای معادله CRS نیز نامعلوم خواهند بود. بنابراین مهم‌ترین بخش در پردازش CRS، تعیین کردن دقیق این پارامترها، یا به عبارت دیگر، مشخص کردن سطح عملگر برانبارش است. در ابتدا این مساله کاملاً ساده به نظر می‌رسد؛ کافی است تمام حالات ممکن برای این سه پارامتر را در نظر 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 آنالیز همدوسی بر روی نتایج صورت خواهد گرفت. اکنون هر صفحه‌ایی 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 به همراه خواهد داشت. اول اینکه این استراتژی در مورد پیدا کردن پارامترهای بهینه، از لحاظ کامپیوتری بسیار زمان‌بر خواهد بود. علاوه بر آن مطمئن نمی‌

باشیم که آیا نتایج بدست آمده واقعاً بهینه هستند یا خیر. چرا که مقادیر R_N و R_{NIP} بین $+\infty$ و $-\infty$ تغییر می‌کند. بنابراین این دو پارامتر تنها به بازه مشخص و به صورت جستجو در شبکه‌های با ابعاد مختلف قابل تخمین خواهند بود (مان و همکاران، ۱۹۹۹).

البته این نکته را نیز باید در نظر داشت که اگر ابعاد شبکه جستجو بزرگ انتخاب شوند، ممکن است هرگز به مقدار بهینه نرسیم و برعکس، اگر ابعاد شبکه بسیار کوچک انتخاب شود، زمان بسیار زیادی برای جستجوی آنها لازم است. این مساله به خوبی در بخش اصلی این تحقیق که جستجو برای شعاع ترکیبی R_N و R_{NIP} است به چشم می‌خورد و زمان جستجو را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. 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 مساله 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. جزئیات استراتژی‌های جستجو برای یافتن نشانگرهای جنبشی میدان موج را در یگر (۱۹۹۹) می‌توان پیدا کرد. بنابراین به جای یک جستجوی سه پارامتری در یک گام، معادله CRS به سه بخش تقسیم شده و سه جستجوی تک پارامتری در آن انجام می‌گیرد. در گام‌های اول و دوم، جستجو در زیرمجموعه‌هایی از حجم دسته داده‌ها انجام می‌شوند که عبارتند از برداشته‌های CMP و مقطع دورافت صفر. سپس مقادیر اولیه نشانگرها تعیین شده و بنابراین برانبارش اولیه صورت می‌گیرد و در گام سوم، بهینه‌سازی بر روی مقادیر اولیه نشانگرها آغاز می‌شود. در نهایت برانبارش نهایی بر روی سطح بهینه شده انجام گرفته و مقطع نهایی شبیه‌سازی می‌شود. در حالت کلی نشانگرهای CRS از یکدیگر مستقل هستند. با این وجود در زیردسته‌هایی از کل حجم داده‌های قبل از برانبارش، در صورت وجود رابطه‌ای پارامتری بین دورافت h و نقطه میانی

$x_m - x_0$ تعداد این پارامترهای مستقل کاهش پیدا خواهد کرد. این رابطه را می‌توان به شکل زیر پارامتری کرد (مان، ۲۰۰۲):

$$(x_m - x_0)(\zeta) = \lambda_x \zeta \quad (27-2 \text{ الف})$$

$$h(\zeta) = \lambda_h \zeta \quad (27-2 \text{ ب})$$

در آخرین جمله از معادله CRS، مقادیر R_N و R_{NIP} را می‌توان توسط پارامتری مانند R_C جایگزین کرد (مان، ۲۰۰۲):

$$\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2(\xi)}{R_{NIP}} = \frac{\xi^2}{R_C} \quad \text{with} \quad \frac{1}{R_C} = \frac{\lambda_x^2}{R_N} + \frac{\lambda_h^2}{R_{NIP}} \quad (28-2)$$

۲-۶ بازه و تعمیم در CRS

داده‌های قبل از برانبارش تنها محدوده کوچکی از صفحه نقطه میانی و دورافت را می‌پوشانند. بنابراین ناگزیر باید بازه‌ایی برای پردازش داده‌ها انتخاب کرد که بازه مذکور تابعی از این محدوده خواهد بود (مان، ۲۰۰۲). می‌توان عنوان کرد که بهترین محدوده برای تعیین بازه، اولین زون فرسنل تصویر شده است. البته این مطلب را نیز باید در نظر گرفت که عملگر برانبارش CRS تخمین درجه دوم زمان سیر در حوزه نقطه میانی $x_m - x_0$ و دورافت h بوده و این تخمین تنها تا فاصله خاصی از پرتوی مرکزی 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. در پردازش CRS بازه پردازش در دو مرحله به صورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود، بدین ترتیب که بازه‌ایی برای مرحله جستجو در ZO و بازه‌ایی برای جستجو در CMP به صورت جداگانه در نظر گرفته شده و در نهایت بازه‌ایی برای برانبارش CRS تعیین می‌شود. باید دقت شود که شعاع زون فرسنل تصویر شده و شعاع همگرایی الزاماً بر هم منطبق نیستند.

معادله زیر عرض زون فرسنل تصویر شده بر حسب نشانگرهای CRS را نشان می‌دهد

هوبرال . همکاران، (۱۹۹۳):^۱

$$\frac{W_F}{2} = |x_m - x_0| = \frac{1}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{v_0 T}{2 \left| \frac{1}{R_N} - \frac{1}{R_{NIP}} \right|}} \quad (29-2)$$

که در آن W_F عرض زون فرسنل تصویر شده است. این مقدار می‌تواند تخمینی از بازه مورد نظر در زیرمجموعه دورافت صفر را بدست دهد، ولی به دلایلی که در زیر می‌آید استفاده از آن در محاسبات مناسب به نظر نمی‌رسد:

- زون فرسنل تصویر شده به هر سه نشانگر بستگی دارد. در حالی که در هنگام جستجوی دورافت صفر و برانبارش CMP، تنها ترکیبی از آنها یا زیرمجموعه‌ایی از آنها در دست است.
- آنالیز همدوسی نسبت به تعداد ردهایی که در محاسبات دخالت داده می‌شوند بسیار حساس است. بنابراین با تغییر زون فرسنل تصویر شده در نقاط مختلف و به دنبال آن تغییر بازه پردازش، تعداد ردهای مورد پردازش تغییر کرده و مقایسه همدوسی در بازه‌های مختلف را کاملاً بی‌معنی خواهد کرد.

هوبرال و همکاران (۱۹۹۳)، نشان دادند که ابعاد زون فرسنل را در عمق Z_0 بر حسب سرعت ثابت

روباره v_0 و نقطه میانی، می‌توان از اختلاف زمانی بین موج‌های بازتاب و پراش محاسبه کرد:

$$\frac{T}{2} = |t_R(z_0) - t_d(x_m - x_0, z_0)| = \frac{2}{v} \left| z_0 - \sqrt{z_0^2 + (x_m - x_0)^2} \right| \quad (30-2)$$

با قدری محاسبات و قرار دادن آن در معادله ۲-۲۹، معادله زون فرسنل تصویر شده در دورفت

صفر به شکل زیر خواهد بود (هوبرال و همکاران، ۱۹۹۳):

1- Hubral et al. (1993)

$$\frac{W_F}{2} = |x_m - x_0| = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{T^2}{4} + Tt_0} \approx \frac{v}{2} \sqrt{Tt_0} \quad (31-2)$$

در این تخمین، از توان دوم T در فرکانس‌های بالا صرف‌نظر می‌شود. به همان ترتیبی که در هوبرال و همکاران، (۱۹۹۳) بحث شده است، زون فرسنل تصویر شده برای امواج با فرکانس ثابت و دوره تناوب T محاسبه می‌شود، ولی برای امواج با فرکانس مختلف، می‌توان از طول موثر موجک به جای آن استفاده کرد. هرچند که این مقدار را با دقت نمی‌توان اندازه‌گیری کرد، ولی روش بهتر، استفاده از فرکانس غالب به جای این کمییت است. به گونه‌ایی که در مثال‌هایی که در ادامه خواهد آمد (داده Sigsbee 2A، مدل گنبدی شکل و داده واقعی زمینی) از فرکانس غالب برای تعیین بازه استفاده شده است. ولی همانگونه که می‌دانیم، ابعاد واقعی زون فرسنل با ابعاد محاسباتی بدست آمده از رابطه ۳۱-۲ قدری متفاوت است که این امر به دلیل منحنی بودن شکل بازتابنده و همچنین پیچیده بودن شکل و نوع روباره می‌باشد. بنابراین بهتر است که برای مقابله با مشکلات احتمالی، از بازه بزرگتری استفاده کرد. گرچه زمان محاسبات بیشتر خواهد شد، ولی دقت محاسبات و تعداد ردهایی که در هر مرحله از محاسبه در بازه قرار می‌گیرند نیز بیشتر شده و برابارش بهتری صورت خواهد گرفت. تخمین اضافه زون فرسنل همچنین این امکان را فراهم می‌کند که در هنگام استفاده از تابع تعمیم، بخش اصلی زون فرسنل دستخوش تغییر قرار نگیرد. محاسبات نشان داده که در واقع بهترین تخمین برای در نظر گرفتن بازه، $\sqrt{2}$ برابر بزرگتر از مقداری باید باشد که از معادله ۳۱-۲ بدست می‌آید. بازه‌ایی که برای محاسبه زون فرسنل در تمام داده‌ها در این تحقیق استفاده گردید، از معادله زیر محاسبه شده است (هوبرال و همکاران، ۱۹۹۳):

$$\frac{W_F}{2} = |x_m - x_0| = \min \left[W_{F,\max}, \frac{v_0 + (v_{\max} - v_0) \frac{t_0}{t_{\max}}}{2} \sqrt{2Tt_0} + W_{F,\min} \right] \quad (32-2)$$

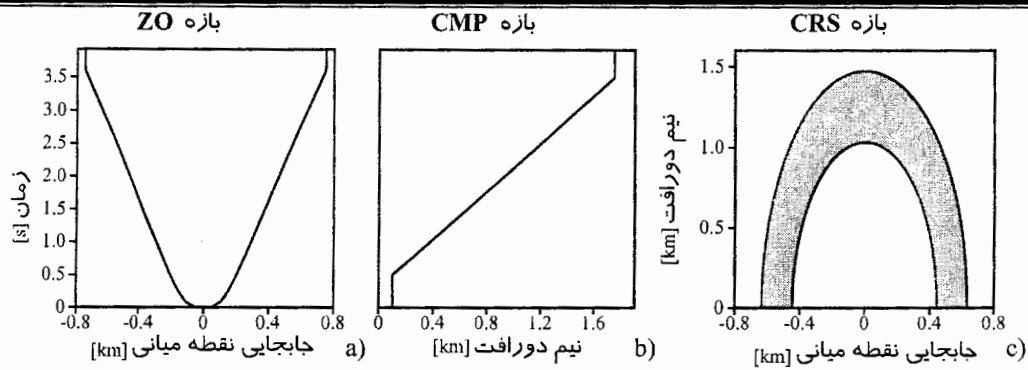
در آن $W_{F,\min}$ و $W_{F,\max}$ به ترتیب مقادیر زون فرسندل ماکزیمم و مینیمم و v_{\max} حداکثر سرعت در محیط بین سطح و بازتابنده است. شکل این بازه در صفحه نقطه میانی و زمان در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.

۲-۶-۲ بازه CMP

نشانه‌های CRS هیچگونه اطلاعاتی در رابطه با دورافت به منظور محاسبه بازه در حالت CMP بدست نمی‌دهند. بنابراین تعیین بازه بدون داشتن اطلاعاتی از مدل قدری مشکل به نظر می‌رسد. تنها راه ممکن برای تعیین بازه CMP، مشخص کردن آن توسط پردازشگری است که در رابطه با آنالیز سرعت و برانبارش دارای تخصص باشد. همانگونه که اشاره شد، آنالیز همدوسی نسبت به تعداد ردها در بازه بسیار حساس بوده و بنابراین این بازه در تمام طول پردازش باید یکسان باشد. چگونگی تعیین بازه CMP در شکل ۲-۷ نشان داده شده است، پردازشگر باید دونقطه (t_1, h_1) و (t_2, h_2) را در صفحه نقطه میانی و نیم‌دورافت انتخاب کرده، و بازه CMP تنها خطی است که این دو نقطه را در صفحه به هم وصل کرده و همچنین به صورت عمودی محور نیم‌دورافت را قطع کند (مان، ۲۰۰۲).

۳-۶-۲ عملگر تعمیم

برای آنکه بتوان مفهوم عملگر تعمیم در CRS را به خوبی درک کرد، لازم است که ابتدا مقدمه‌ایی در مورد کوچ کیرش‌هف صحبت شود. در کوچ به روش کیرش‌هف لازم است که محدوده‌های بازه برانبارش در دورافت و نقطه میانی، تا بی‌نهایت ادامه پیدا کند، که البته این کار از لحاظ عملی و محاسباتی ممکن نخواهد بود. از طرفی استفاده از بازه برانبارش بزرگ، نه تنها زمان محاسبات را افزایش خواهد داد، بلکه باعث اضافه شدن ردهایی از دورافت‌های دورتر می‌شود که عملگر برانبارش بر رخدادهای آنها به خوبی منطبق نخواهد شد.



شکل ۲-۷، a) بازه دورافت صفر برای فرکانس غالب ۳۰ هرتز و سرعت متوسط بین 1500 m/s تا 3000 m/s . حداقل بازه برابر 50 m و حداکثر آن برابر 750 m قرار داده شده است. (b) در این شکل، بازه CMP توسط نقاط $(t_0, h) = (0.5 \text{ s}, 0.1 \text{ km})$ و $(3.5 \text{ s}, 1.75 \text{ km})$ تعیین شده است. (c) بازه مکانی CRS که توسط بازه ZO و CMP در زمان 3 s بدست آمده است. منطقه خاکستری نیز توسط تابع تعمیم ترسیم گردیده است. نسبت بین دو نیم محور بیضی درونی و بیرونی برابر 70% انتخاب شده به گونه‌ای که بتواند دومین زون فرسنتل تصویر شده در ZO را پوشش دهد، (مان، ۲۰۰۲).

بنابراین استفاده از بازه محدود اجتناب ناپذیر خواهد بود (مان، ۲۰۰۲). شلایشر و همکاران، (۱۹۹۷)^۱ نشان دادند که بهترین بازه برانبارش، اولین زون فرسنتل تصویر شده است. این زون به اندازه کافی بزرگ می‌باشد که جواب‌هایی نزدیک جواب‌هایی که از دامنه واقعی دریافت می‌کنیم بدست داده و همچنین نسبت سیگنال به نویز بالایی نیز خواهد داشت. بازه‌های کوچکتر باعث ایجاد خطا در دامنه می‌شوند. پس اینگونه نتیجه می‌شود که علی‌رغم تئوری قضیه، عملگر برانبارش باید در مرزهای بازه قطع شود. قطع عملگر برانبارش در این محدوده‌ها باعث ایجاد رخداد‌های غیر واقعی در هنگام کوچ خواهد شد. این رخداد‌های غیر واقعی را می‌توان به کمک تئوری فاز ایستا بیان کرد. همانگونه که می‌دانیم، آن بخش‌هایی از مرز عملگر برانبارش که قطع شده‌اند، نتیجه برانبارش را تحت تاثیر قرار داده و به دلیل عدم همپوشانی کامل جواب‌های غیر واقعی را وارد نتایج خواهد کرد. جواب‌های واقعی از نقاطی بدست می‌آیند که در آنجا عملگر بر رخداد‌های بازتابی مماس می‌باشد، (بلیستین، ۱۹۸۴)^۲.

1- Schleicher et al. (1997)

2- Bleistein, (1984)

بنابراین لازم است که در این مرحله تابع وزن داری را به کار برد که این تابع به اصطلاح تابع تعمیم نامیده می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده، لازم است که این عملگر دو خصوصیت را دارا باشد،

- دامنه آن در مرزهای عملگر بسیار ناچیز باشد،
- دامنه آن در طول عملگر نیز بسیار به کندی تغییر کند.

اگرچه توضیح ریاضی برای این امر مشابه فاز ایستا برای CRS وجود ندارد، ولی مان (۲۰۰۲) روش تابع تعمیم را از مفهومی کوچک کیرشهف به مباحث CRS انتقال داد. این انتقال همچنین از مفهوم هندسی آن که توسط هرتوک و همکاران (۲۰۰۳)^۱ انجام شد، نتایج مشابهی را بدست داد. همانند کوچک کیرشهف، بهترین نتایج زمانی حاصل می‌شود که تمام ردهای موجود در زون فرسنتل تصویر شده در محاسبات دخالت داده شوند و تابع تعمیم نیز در داخل زون فرسنتل تصویر شده استفاده شود. عملگر مذکور به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(\beta) = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad 0 \leq \beta \leq \pi, \quad (33-2)$$

که در این رابطه β در مرزهای اولین زون فرسنتل تصویر شده صفر بوده و به تدریج افزایش پیدا کرده تا در مرزهای دومین زون فرسنتل تصویر شده به مقدار π برسد و شکل آن نیز مطابق با قسمت خاکستری رنگ در شکل ۲-۷ است. مقدار این تابع در مرزهای زون فرسنتل تصویر شده، بیضی داخلی را تشکیل داده و مقدار π در مرزهای زون فرسنتل تصویر شده، بیضی خارجی را تشکیل می‌دهد.

۴-۶-۲ فرایند برانبارش CRS

پس از تعیین بازه و عملگر تعمیم در فرایند برانبارش CRS، اکنون نوبت پیاده کردن استراتژی جستجو برای تعیین نشانگرهای جنبشی میدان موج است. همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید، به منظور اعتبار سنجی روش جدید لازم است که نه تنها گام‌های حل معادله CRS، بلکه نتایج بدست

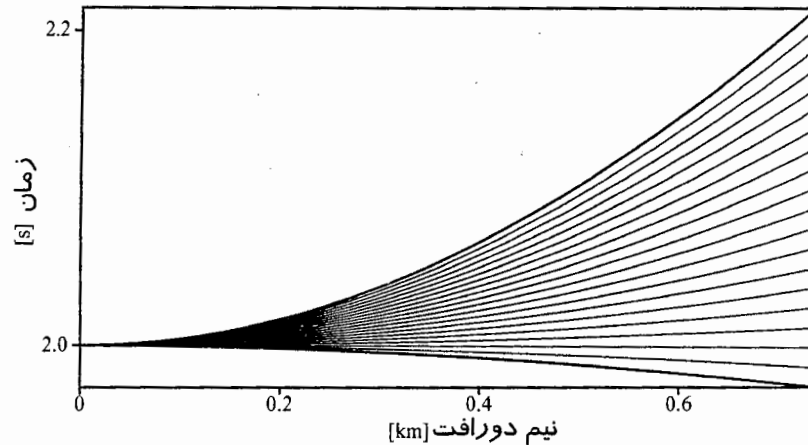
1- Hertweck et al. (2003)

آمده توسط روش CRS نیز مورد بررسی قرار گیرد. جزئیات استراتژی جستجو در برانبارش CRS را می‌توان در یگر (۱۹۹۹) پیدا کرد.

۲-۶-۵ برانبارش خودکار CMP

در برداشت CMP عملگر برانبارش تنها به یک پارامتر به نام سرعت برانبارش بستگی دارد که این پارامتر نیز خود می‌تواند به صورت ترکیبی از نشانگر α و همچنین RNIP بیان شود. مان (۲۰۰۲) عنوان کرد برای تعیین سرعتی که بیشترین میزان همدوسی را نشان دهد، بهتر است بجای آن که با تغییر مقدار سرعت برانبارش در شبکه‌ایی خاص به جستجوی مقدار بهینه پرداخت، عملگرهای برانبارشی را مورد جستجو قرار داد که از تقسیم بندی محور برونراند در طولانی‌ترین دورافت بدست می‌آید. شکل ۲-۸ نحوه جستجوی اشاره شده در فوق را بهتر نشان می‌دهد. شبکه منظم برونراند در محور سمت راست مربوط به بزرگترین دورافت نشان داده شده است. بدین وسیله تنها یک مساله ساده در جستجوی عملگر بهینه در بین عملگرهای واقع در این محدوده پیش رو خواهد بود. با این حال داده‌ها همواره دارای رخدادهای چندگانه نیز می‌باشند. چندگانه‌ها محصول بازتاب‌های موج بیشتر از یک بار هستند. این اتفاق بویژه در برداشت‌های دریایی و مخصوصاً در جاهایی که بخشی از انرژی بین سطح آب و کف دریا به تله می‌افتد، مشاهده می‌شود. نتیجه این بازتاب‌ها چه در روش CRS و چه در سایر روش‌ها، می‌تواند رخدادهای هذلولی شکلی را ایجاد کند که مشابه هذلولی بازتاب است. در روش CRS تنها مرحله‌ایی که می‌توان این چندگانه‌ها را از داده‌ها حذف کرد، مرحله برانبارش خودکار CRS است. مانند روش مرسوم پردازش CMP، سرعت برونراند نرمال V_{NMO} چندگانه‌ها به مراتب کمتر از رخدادهای بازتابی است که از این واقعیت در روش CRS نیز استفاده می‌شود. از نقطه نظر سرعت برانبارش نیز برخی از چندگانه‌ها، مانند چندگانه‌های حاصل از بازتاب سطح آب، داری سرعت برانبارش کمتری نسبت به رخداد بازتابی کناری خود هستند.

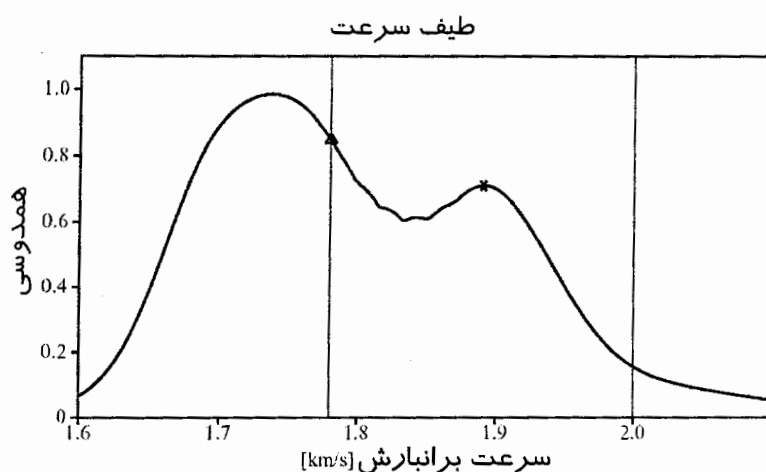
روندهای برانبارش CMP



شکل ۲-۸. آزمایش عملگرهای برانبارش متفاوت در گام برانبارش خودکار CMP برای زمان سیر $t_0=2s$ در دورافت صفر. بزرگترین سرعت برانبارش آزمایش شده برابر 4500 m/s و کمترین آن 1500 m/s (منحنی‌های ضخیم). لازم به ذکر است که این جستجو برای مقادیر مربع سرعت انجام میگیرد. به منظور تشخیص بهتر، خطوط با فاصله بیشتری از یکدیگر نشان داده شده اند. (مان، ۲۰۰۲).

بنابراین اگر محدوده پایینی جستجوی سرعت به گونه‌ایی انتخاب شود که سرعت مربوط به چندگانه در محدوده جستجوی سرعت واقع نشود، نتیجه برانبارش برای رخداد چندگانه تضعیف خواهد شد. در همین راستا ذکر این نکته بسیار ضروری است که در صورت بسیار بزرگ یا بسیار کوچک انتخاب کردن بازه جستجوی سرعت، ممکن است هرگز به مقدار سرعت بهینه دست پیدا نکنیم. نمونه این حالت در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، جستجو برای سرعت بهینه در بخش مرکزی با مشکل مواجه شده است. بدین ترتیب که بیشترین مقدار همدوسی برای سرعت تقریباً 1780 (m/s) بدست آمده است، در حالی که سرعت بهینه در این بازه که با نقطه ضربدر مشخص شده برابر تقریباً 1900 (m/s) می‌باشد. ماکزیمم کلی در این شکل مربوط به رخداد چندگانه و ماکزیمم محلی مربوط به رخداد بازتابی اولیه است (مان، ۲۰۰۲). در صورت انتخاب نقطه ماکزیمم کلی به عنوان نقطه بهینه، رخدادهای بازتاب یا پراش در برانبارش دخالت داده نخواهند شد. بنابراین در هنگام جستجو برای سرعت برانبارش باید شرایطی را در انتخاب

سرعت بهینه به گونه‌ایی ایجاد کرد که در صورتی که مقدار سرعت بهینه در حاشیه‌های بازه جستجو قرار گرفت، نقطه مذکور به عنوان اکستریم شناخته شده و از انتخاب آن جلوگیری شود. این نکته در استراتژی تعمیم یافته CRS که برای رفع مساله تداخل شیبها در ادامه انجام خواهیم داد نیز به طرز بارزی به چشم می‌خورد. نتایج گام برانبارش خودکار CMP، مقطع همدوسی، مقطع برانبارش شده، مقطع کمکی q و مقطع سرعت برانبارش است.



شکل ۲-۹، دیاگرام مقدار همدوسی به عنوان تابعی از سرعت برانبارش برای یک نمونه در ZO که بر روی یک رخداد بازتابی واقع است. ماکزیمم کلی در این نمونه مربوط به یک چندگانه است، درحالی که ماکزیمم محلی مربوط به رخداد بازتابی اولیه ایی است که به دنبال آن هستیم. خطوط نازک قائم، بازه‌های جستجوی سرعت در تکرار دوم را نشان می‌دهند. دقت کنید که مقدار ماکزیمم کلی (مثلاً) در بازه معین شده با خطوط صاف قائم، منطبق با مقدار اکستریم محلی (ضربدر) نمی‌باشد (مان، ۲۰۰۲).

۲-۶-۶ جستجوی خطی دورافت صفر

در این گام پارامتر α تعیین می‌شود. جستجو برای نشانگر زاویه ورود پرتوی مرکزی α در شبکه-ای منظم و با گام‌های مساوی انجام می‌شود. بدین ترتیب که بازه‌ایی را بین $-\alpha$ و $+\alpha$ به صورت دلخواه انتخاب کرده، و با گام‌های یک درجه از $-\alpha$ به سمت $+\alpha$ خواهیم رفت. این عمل برای هر نمونه

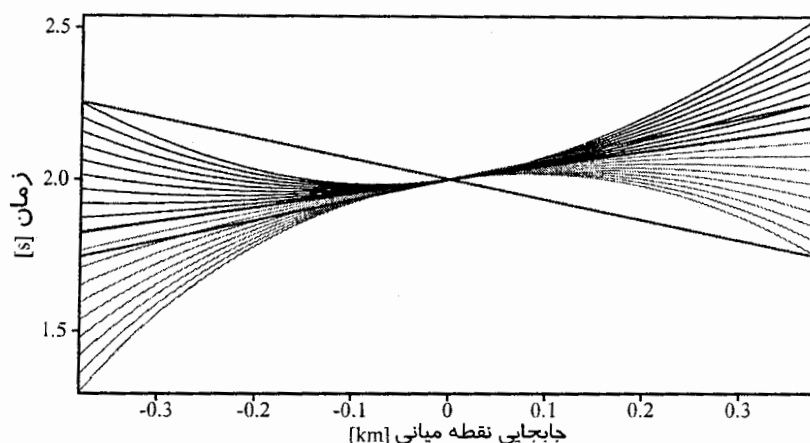
در منطقه مورد نظر برای شبیه سازی مقطع دورافت صفر به صورت جداگانه انجام می‌شود. برای هر کدام از این زوایا، عملگر برانبارشی وجود خواهد داشت، که به کمک آنالیز همدوسی می‌توان آن زاویه‌ایی که دارای بیشترین مقدار همدوسی است را به عنوان زاویه بهینه برای آن نمونه انتخاب کرد. بدین ترتیب این جستجو یک جستجوی خطی ساده و در محدوده دورافت صفر است. این جستجو نیز نه بر روی کل داده‌ها، بلکه تنها بر روی زیرمجموعه‌ایی از داده‌ها صورت می‌گیرد.

۷-۶-۲ جستجوی هذلولوی دورافت صفر

در این مرحله جستجو برای شعاع انحنای موج نرمال R_N مورد نظر می‌باشد. در ابتدا باید به این نکته دقت کرد که هذلولوی برانبارش نسبت به نقطه میانی x_0 متقارن نمی‌باشد. بنابراین در هنگام آزمون عملگرهای برانبارش مختلف در این مرحله به منظور انتخاب عملگر بهینه، باید دقت لازم را به کاربرد. از طرف دیگر انتخاب بازه مناسب برای جستجوی R_N نیز کار چندان ساده‌ایی نمی‌باشد، چراکه حد بالایی برای $|R_N|$ بی‌نهایت است که مربوط به شعاع انحنای موج صفحه‌ایی می‌باشد (خط قرمز در شکل ۲-۱۰). حد پایینی آن نیز به مراتب دشوارتر خواهد بود، چراکه در مورد نقاط پراش، مقدار R_N برابر R_{NIP} بوده و همچنین برای امواج کائوستیک نیز نمی‌توان محدودیتی را برای آن قایل شد. مان (۲۰۰۲) برای تعیین بازه مناسب R_N ، چگونگی رفتار یک بازتاب واقعی را به عنوان معیاری برای انتخاب محدودیت‌ها مدنظر قرار داد. بدین ترتیب که اگر سرعت متوسط محیط بالای بازتابنده بزرگتر از سرعت سطحی نزدیک زمین v_0 باشد، بنابراین شیب رخداد مربوط به آن بازتابنده در نمودار نقطه میانی - دورافت، کوچکتر از $1/v_0$ خواهد بود. حالت عکس این قضیه نیز صادق است. بنابراین یک رخداد واقعی در محدوده نمونه مورد بررسی یقیناً در بازه شیب‌های $+1/v_0$ و $-1/v_0$ واقع خواهد شد. این دو خط به رنگ بنفش در (شکل ۲-۱۰) نشان داده شده‌اند. حداکثر شیب رخدادها، مربوط به بازتابنده‌های با شیب تند و یا مربوط به رخداد‌های با انحنای زیاد می‌باشند که معمولاً رخداد‌های

پراش را تولید می‌کنند. بنابراین در آنالیز همدوسی تنها عملگرهای برانبارشی که بین این دو محدوده واقع می‌شوند مورد جستجو قرار خواهند گرفت. در این گام تنها یک مقدار همدوسی به عنوان مقدار بهینه انتخاب خواهد شد. البته در این مرحله می‌توان بیش از یک مقدار را به عنوان بهینه انتخاب کرد که در این صورت با مساله انحنای متداخل برخورد خواهیم کرد. این مساله می‌تواند موضوع تحقیقات آینده قرار گیرد.

روندهای برانبارش در جستجوی هذلولوی دورافت صفر



شکل ۲-۱۰، عملگرهای برانبارش هذلولوی در مقطع دورافت صفر برای یک نمونه ZO در $t=2s$ و زاویه ورود 20° درجه. به منظور حصول اطمینان از پیدا کردن عملگر مورد نظر در محدوده جستجو، هذلولی‌های آبی به مرز چپ بازه و هذلولی‌های سبز رنگ به سمت مرز راست بازه اضافه شده‌اند. خطوط بنفش با شیب $\pm 1/v_0$ محدوده‌هایی که بازتاب‌های واقعی در آن قرار می‌گیرند را مشخص می‌کند. خط قرمز نشان دهنده جبهه موج صفحه‌ای با زاویه ورود مذکور است. (مان، ۲۰۰۲).

۲-۶-۸ جستجوی هذلولوی در CS/CR

اهمیت جستجو در آرایش‌های CS/CR در استراتژی توسعه یافته جستجوی پارامترهای CRS توضیح داده شد است (مان، ۲۰۰۲). از لحاظ تئوری مساله‌ایی که در این گام باید حل شود نیز مانند مساله‌ایی است که در جستجوی هذلولوی دورافت صفر مورد بررسی قرار گرفت. این مساله به شکل تعیین هذلولی جابجا شده نامتقارن نسبت به x_0 می‌باشد در حالی که شیب هذلولی در نقطه x_0 نیز

معلوم است. همانگونه که در معادله (۲-۲۸) نیز مشاهده شد، این معادله شعاع انحناى R_C را به شعاع

انحناى مورد جستجوی R_{NIP} و شعاع انحناى معلوم R_N مرتبط می‌کند. به گونه‌ای که :

$$\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R_{NIP}} + \frac{1}{R_N}$$

محدودیت‌هایی که در جستجوی سرعت در مرحله برانبارش خودکار CMP به کار بردیم، در اینجا نیز

می‌توانیم همان محدودیت‌ها را برای جستجوی R_C به کار ببریم.

در مقایسه با گام‌های قبل، جستجو برای R_{NIP} نیز در زیر مجموعه‌ای از داده‌ها و در هندسه

نامنظم انجام می‌گیرد. بنابراین محدودیت $|x_m - x_0| = |h|$ دیگر معتبر نبوده و باید عبارت زیر را به کار

برد:

$$\|x_m - x_0 - |h|\| < \varepsilon \quad (2-34)$$

که در اینجا ε کمیت قابل تعریف توسط پردازشگر است که به صورت غیر مستقیم تعداد ردهای

موجود در ورداشت‌های CR/CS را کنترل می‌کند.

۲-۶-۹ برانبارش مقدماتی

در این گام مقادیر اولیه سه پارامتر $(\alpha_0^{ini}, R_N^{ini}, R_{NIP}^{ini})$ برای تعیین معادله برانبارش در دست می‌-

باشند. هر دسته از این پارامترهای سه‌گانه، یک سطح برانبارش را در حوزه (x_m, h, t) تعریف می‌کنند.

با جمع کردن داده‌های قبل از برانبارش بر روی این صفحه و اختصاص دادن آن به نمونه مربوط به

دورافت صفر، مقطع برانبارش شده اولیه بدست می‌آید. پیشوند اولیه برای این مقادیر بیانگر آن است

که نشانگرهای مربوطه، بهینه‌ترین نشانگرها نبوده و باید به عنوان ورودی‌هایی برای گام بهینه سازی

در نظر گرفته شوند. انجام آنالیز همدوسی بر روی آنها نیز مقطع همدوسی مربوطه را بدست می‌دهد.

از این مقطع برای آزمودن این مطلب که سطح برانبارش تا چه میزان بر رخدادهای منطبق شده است، استفاده می‌شود.

۲-۶-۱۰ بهینه سازی

در گام نهایی، سطح برانبارشی که توسط معادله (۲-۲۵) بدست می‌آید، با در دست داشتن نشانگرهای $(\alpha_0^{mi}, R_N^{mi}, R_{NIP}^{mi})$ که در گام‌های قبلی بدست آمده اند، وارد یک الگوریتم بهینه سازی چند پارامتری شده و در نهایت برانبارش بهینه به کمک سطح برانبارشی که نشانگرهای آن بهینه شده‌اند، بر روی کل حجم داده‌ها صورت می‌گیرد.

الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده، در روش CRS، روش جستجوی چندوجهی قابل انعطاف می‌باشد (نلدر و مید، ۱۹۶۵)^۱. مقاطع نهایی حاصل از مرحله بهینه سازی که از نشانگرهای بهینه و بر روی حجم کل داده‌ها در فضای (x_m, h, t) صورت می‌گیرد عبارتند از: الف) مقطع نهایی شبیه سازی شده دورافت صفر که همان مقطع برانبارش شده بهینه است، ب) مقطع همدوسی حداکثر، ج) مقطع زاویه بهینه، د) مقطع R_{NIP} بهینه و ه) مقطع R_N بهینه. لازم به ذکر است که بهینه سازی، زمان برترین گام در برانبارش CRS است. این افزایش زمان بدین دلیل است که در گام‌های برانبارش CMP و ZO، آنالیز همدوسی بر روی منحنی‌ها انجام می‌شود در حالی که در گام نهایی برانبارش CRS، آنالیز همدوسی در فضای (x_m, h, t) صورت می‌گیرد.

1- Nelder and Mead, (1965).

فصل سوم
پردازش داده های واقعی
و مصنوعی به روش
CRS

فصل سوم

پردازش داده‌های واقعی و مصنوعی به روش CRS

۳-۱ داده‌های مصنوعی

به منظور آزمایش ایده جدید در حل مساله شیب‌های متداخل، لازم است که داده‌ها ابتدا به روش CRS پردازش شوند و سپس نتایج آن با نتایج حاصل از روش جدید مقایسه شوند. بنابراین در این فصل داده‌های مصنوعی و داده‌های واقعی به روش جستجوی معمول و روش جستجوی توسعه یافته پردازش خواهند شد. داده‌های مصنوعی و واقعی که از آنها در این تحقیق استفاده شده است عبارتند از:

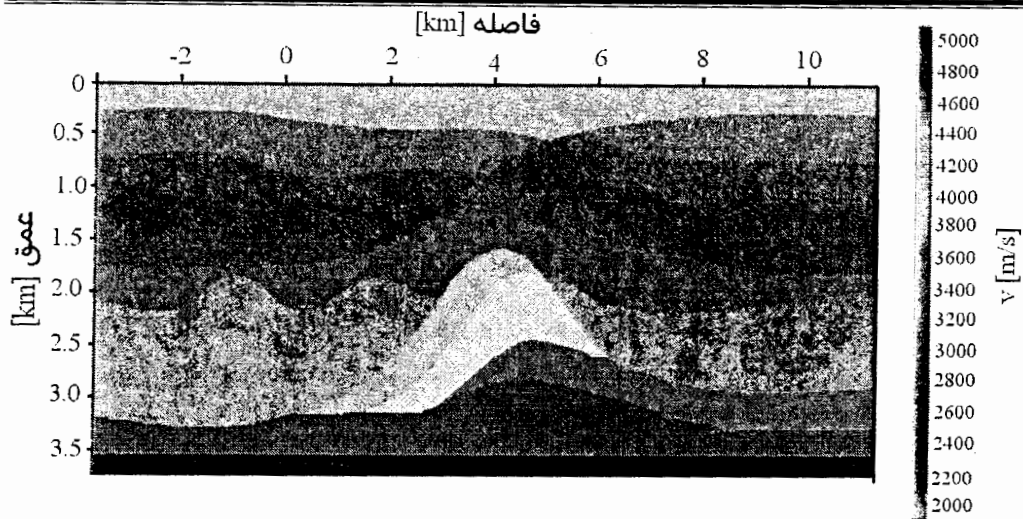
- داده مصنوعی مدل گنبدی شکل،
- داده مصنوعی Sigsbee 2A و
- داده واقعی زمینی

۳-۲ داده مصنوعی مدل گنبدی شکل

مدل بلوکی داده‌های مورد استفاده که به روش CRS پردازش شده‌اند در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. این مدل شامل لایه‌های همگن با سرعت موج طولی v_p بین 2 km/s تا 5 km/s است.

سرعت موج برشی v_s نیز برابر نسبت روبرو قرار داده شده است: $V_s = V_p/\sqrt{3}$ چگالی لایه‌ها نیز در مدل تغییر می‌کند که در این شکل نشان داده نشده است. دقت شود که محورهای x و z با مقیاس متفاوت نشان داده شده‌اند. دسته داده‌های دارای هم‌پوشانی (قبل از برانبارش) و داده‌های دورافت صفر (بعد از برانبارش) در مدل به کمک تکنیک دنبال کردن پرتو تهیه شد. لازم به ذکر است که مدل اصلی تهیه شده در سطح دارای توپوگرافی نامنظم بوده و در اینجا برای سادگی کار بخش بالایی مدل بریده شده و توپوگرافی به صورت مسطح در نظر گرفته شده است. برای تهیه مدل گنبدی شکل، فاصله بین نقاط انفجاری ۱۰ m در نظر گرفته شد. در دسته داده‌های دارای هم‌پوشانی، فاصله بین گروه گیرنده‌ها ۲۰ متر و حداکثر دورافت برابر ۲۰۰۰ متر بوده که در نهایت تعداد ۶۰،۰۰۰ رد ضبط شده اند. موجک مورد استفاده برای چشمه نیز موجک ریکر فاز صفر با فرکانس ۲۰ هرتز بوده و نرخ نمونه گیری نیز برابر ۴ میلی ثانیه است. هندسه داده‌ها نیز در جدول ۳-۱ آورده شده است.

شکل ۳-۲ (بالا)، دسته داده‌های قبل از برانبارش بدون نویز را نشان می‌دهد. به منظور اینکه داده‌ها واقعی تر به نظر برسند، مقداری نویز اتفاقی نیز به داده‌ها اضافه گردید که نتیجه آن در شکل ۳-۲ (پایین) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، دامنه داده‌ها با افزایش زمان سیر کاهش می‌یابد که اهم آن به دلیل توزیع هندسی و پخش انرژی در محیط است. در زیر ساختار گنبدی شکل، سیگنال‌های با انرژی ضعیف دیده می‌شوند. در انتهای پایین مدل بلوکی، پایین‌ترین لایه یک لایه افقی است که به دلیل اثر بالا کشیدگی^۱ در زیر تاقدیس، این لایه در شکل ۳-۲ (بالا) به صورت منحنی در آمده است. پارامترهای مورد استفاده در پردازش CRS نیز در جدول ۳-۲ آورده شده است. برای این مدل، از روش جستجوی معمول یگر (۱۹۹۹) استفاده گردید، یعنی برای هر نقطه در دورافت صفر تنها یک شیب در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۱، مدل بلوکی گنبدی شکل با سطح توپوگرافی صاف. رنگ‌ها نشان دهنده سرعت موج طولی است که بین 2 km/s تا 5 km/s تغییر می‌کند، (هرتوک، ۲۰۰۴)^۱

جدول ۳-۱ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده‌های مدل گنبدی شکل. در هر انفجار، اولین گیرنده بر نقطه انفجار منطبق است.

هندسه نقطه میانی و دورافت	
۱۲۵۰	تعداد شبکه CMP
۴۷	حداکثر چینش CMP
۳۲ متر	فاصله بین شبکه CMP
۲۰ تا ۲۰۰۰ متر	بازه دورافت

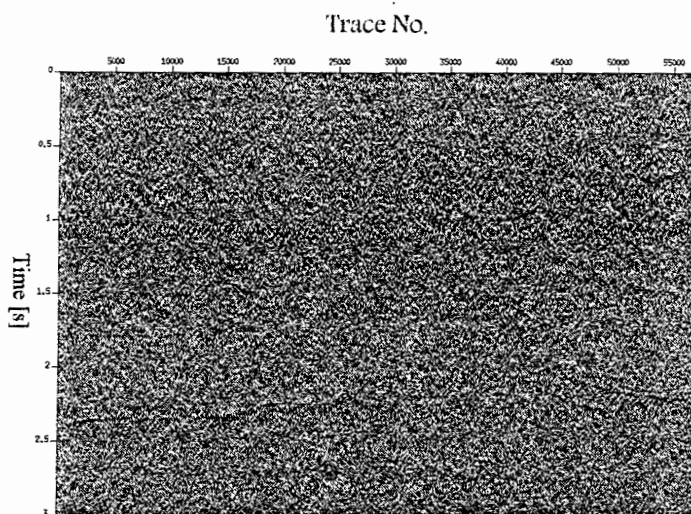
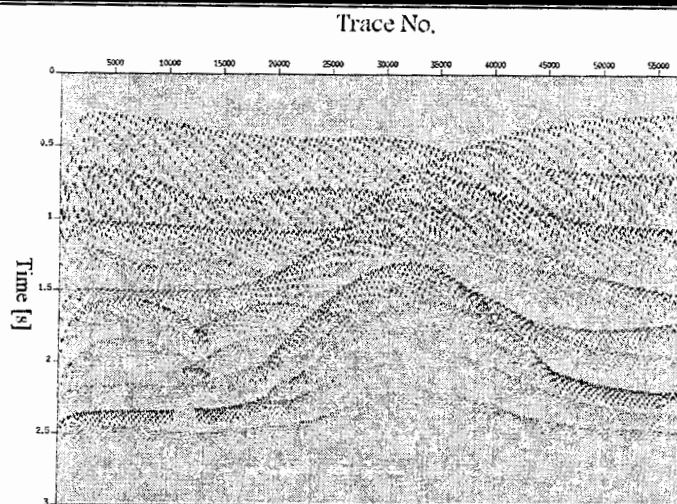
هندسه چشمه و گیرنده	
۷۵۰	تعداد چشمه‌ها
۱۰ متر	فاصله چشمه‌ها
۳۰۰	تعداد گیرنده‌ها
۲۰ متر	فاصله گیرنده‌ها

محتوای فرکانس	
۲۰ هرتز	فرکانس غالب
۴۰ هرتز	حداکثر فرکانس

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

به دلیل تعداد زیاد مقاطعی که در روش CRS تشکیل می‌شود، تنها مقاطعی که از مرحله آخر، یعنی بهینه سازی بدست می‌آید نشان داده می‌شوند. این مقاطع عبارتند از: مقطع سرعت برابارش $V_{stacking}$ بدست آمده از مرحله اول یعنی برابارش خودکار CMP، سه مقطع بهینه نشانگرها، مقطع همدوسی و در انتها مقطع برابارش شده نهایی.

1- Hertweck, (2004)



شکل ۳-۲، دسته داده‌های قبل از برانبارش در ورداشت‌های انفجاری در داده مصنوعی مدل گنبدی شکل. بالا) ردهای بدون نویز، پایین) پس از اضافه کردن نویز اتفاقی.

البته این بدان معنی نیست که مقاطعی که در مراحل میانی بدست آمده اند حاوی اطلاعات نمی-باشند، بلکه برای مرحله بهینه سازی مورد نیاز خواهند بود. این امر بویژه در گام اول، برانبارش خودکار CMP اهمیت دارد. مان (۲۰۰۲) عنوان کرد که کیفیت مقطع برانبارش شده نهایی بستگی به کیفیت مقطع برانبارش شده بدست آمده از مرحله اول برانبارش خودکار دارد.

همانگونه که یگر (۱۹۹۹) عنوان کرد، برانبارش خودکار CMP بر روی زیرمجموعه‌ایی از دسته داده‌های دارای همپوشانی انجام می‌شود و برانبارش در امتداد یک هذلولی انجام می‌گیرد که به هذلولی CMP معروف است و طبق معادله زیر بیان می‌شود:

$$t^2(h) = t_0^2 + \frac{4h^2}{v_{stack}^2} \quad (۱-۳)$$

که v_{stack} سرعت برانبارش، h دورافت و t_0 زمان سیر دورافت صفر است. این معادله نشان می‌دهد که روش CRS در این گام به روش پردازش کلاسیک CMP تبدیل می‌شود. یگر (۱۹۹۹) عنوان می‌کند که سرعت برانبارش می‌تواند به کمک پارامتر کمکی q ، با نشانگرهای CRS ارتباط پیدا کند:

$$q = \frac{\cos^2 \alpha}{R_{NIP}} \quad (۲-۳)$$

$$v_{stack}^2 = \frac{2v_0}{t_0 q} = \frac{2R_{NIP} v_0}{t_0 \cos^2 \alpha} \quad (۳-۳)$$

که در آن v_0 سرعت سطحی و q پارامتر کمکی است. عدم وجود نشانگر R_N در معادله (۳-۳) نشان دهنده آن است که زمان سیر CMP در مرتبه دوم، مستقل از شعاع انحنای بازتابنده است. بنابراین اگر تنها بخش مستقل از شیب در معادله سرعت برانبارش در نظر گرفته شود، و یا $\cos^2 \alpha = 1$ قرار گیرد، در آن صورت حالت کلی سرعت برانبارش به حالت خاص سرعت برونراند نرمال v_{NMO} تبدیل می‌شود. سرعت برونراند نرمال، سرعتی ظاهری است که بستگی به روباره بالای لایه بازتابنده داشته و اطلاعاتی در مورد برونراند وابسته به دورافت $t(h) - t_0$ نیز بدست می‌دهد. این سرعت بستگی به نوع روباره بالای بازتابنده داشته و مستقل از شیب بازتابنده می‌باشد که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$v_{NMO}^2 = \frac{2R_{NIP} v_0}{t_0} \quad (۴-۳)$$

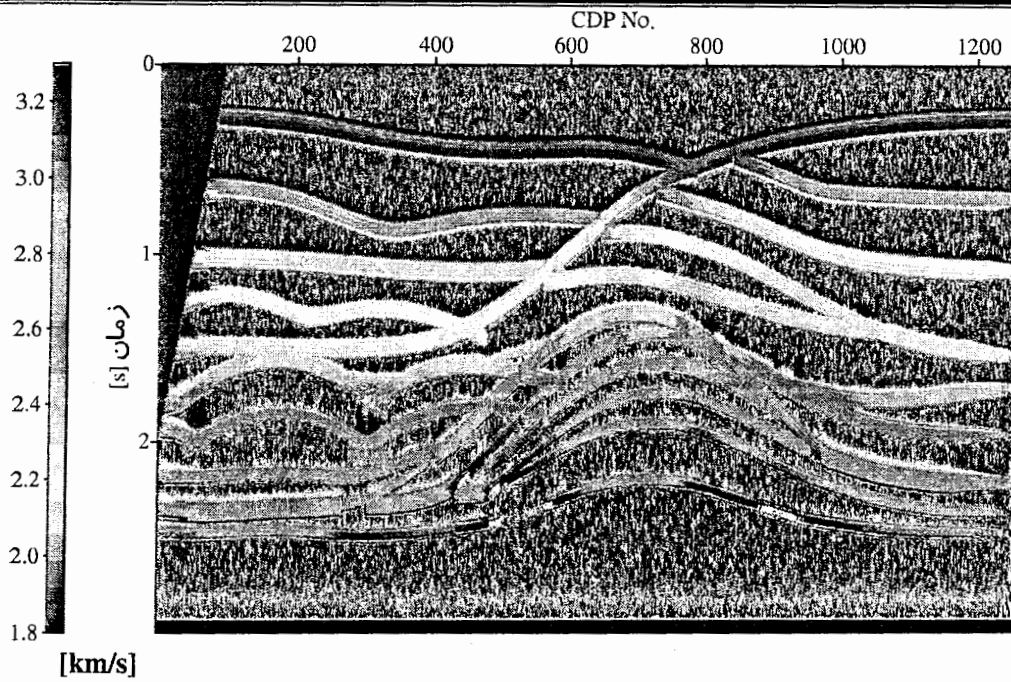
بنابراین می‌توان پیش بینی کرد که مقطع سرعت برانبارش، از نظر ظاهری مانند مقطع R_{NIP} خواهد بود. معمولاً سرعت برونراند v_{NMO} بوسیله آنالیز سرعت، تکرار و به روز کردن مدل سرعت بدست می‌آید، در حالی که آنالیز سرعت در این روش کاملاً به صورت خودکار بوده و از آنالیز

همدوسی بهره می‌گیرد. البته باید دقت کرد که برانبارش خودکار CMP، تمام رخدادهای همدوس در یک برداشت CMP را که تقریباً بر یک هذلولی منطبق می‌گردند با هم جمع می‌کند. این رخدادهای می‌توانند هم بازتاب‌های اولیه و هم چندگانه‌ها باشند، (یگر، ۱۹۹۹). البته برخی از این چندگانه‌ها در مقطع سرعت برانبارش قابل شناسایی خواهند بود. بازتاب‌های اولیه معمولاً دارای برونراند کمتری نسبت به چندگانه‌ها هستند. مقطع سرعت برانبارش مدل مصنوعی گنبدی شکل که به روش CRS در گام اول برانبارش خودکار CMP بدست آمده، در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. مشخص است که با افزایش عمق، سرعت برانبارش نیز افزایش پیدا می‌کند. در مقطع نشان داده شده، ناپیوستگی قابل ملاحظه‌ای که سرعت‌های کم را در کنار سرعت‌های زیاد نشان دهد، مشاهده نمی‌شود. مقطع همدوسی در این گام (نشان داده نشده) مقدار همدوسی بالایی را برای نمونه‌های واقع بر روی رخدادهای بازتابی اولیه نشان می‌دهد، در حالی که برای نمونه‌های واقع بین آنها، مقدار همدوسی بالایی را نشان نمی‌دهد. بنابراین در مقطع سرعت برانبارش، به سرعت‌هایی که مربوط به نمونه‌های با همدوسی پایین باشند، نمی‌توان اعتماد کرد. همانگونه که در قسمت سمت چپ پایین در مقطع سرعت برانبارش دیده می‌شود، در لایه انتهایی یک قسمت توخالی وجود دارد که احتمالاً مربوط به اثرات غیر واقعی در هنگام شبیه‌سازی است. گام‌های بعدی که شامل برانبارش خطی دورافت صفر، برانبارش هذلولوی دورافت صفر، برانبارش هذلولوی در $CS \setminus CR$ ، برانبارش مقدماتی و گام بهینه‌سازی است، توسط پارامترهایی که در جدول ۳-۲ نشان داده شده‌اند صورت گرفته است ولی تنها نتایج گام نهایی نشان داده می‌شوند. شکل ۳-۴ مقطع بهینه زاویه ورود پرتوی مرکزی α را نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رود، زاویه ورود برای رخدادهای افقی برابر صفر درجه است. 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 می‌شود. شعاع انحنای جبهه موج عمود (R_N) در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، نشانگر R_N رابطه مستقیمی با انحنای رخداد بازتابی در مقطع دورافت

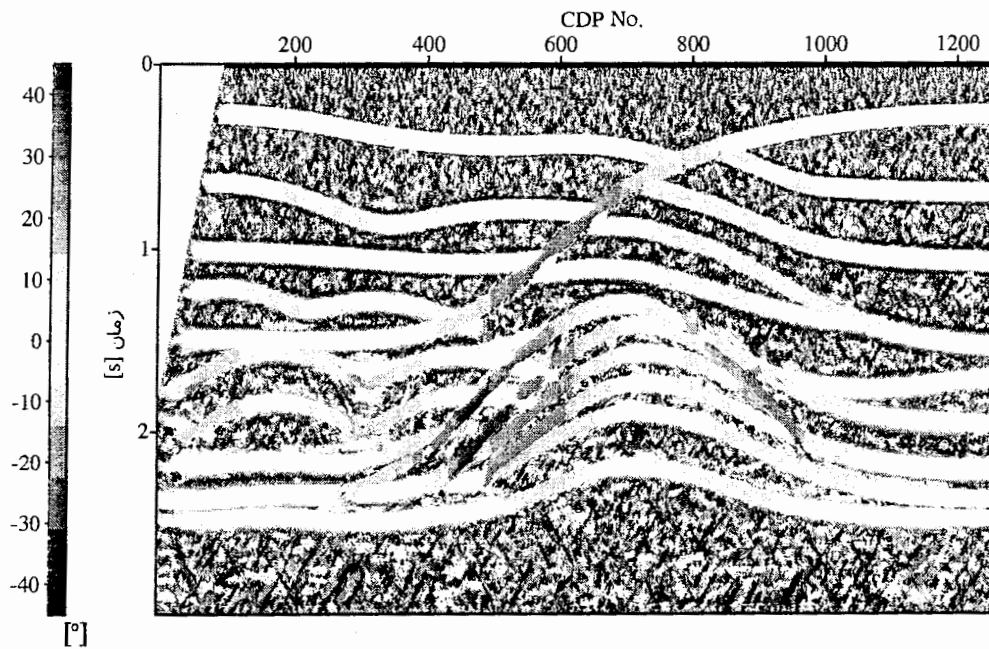
صفر دارد. بنابراین به دلیل آنکه این مقدار می‌تواند بسیار بزرگ باشد و برای رخدادهای افقی حتی به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، لذا از مقدار عکس شعاع انحناء برای نشان دادن شعاع موج نرمال در مقطع استفاده می‌شود. همانگونه که انتظار می‌رود، مقدار $1/R_N$ برای رخدادهای افقی، نزدیک صفر، برای رخدادهای شبیه تاقدیس، مثبت و برای رخدادهای شبیه ناودیس، منفی خواهد شد. در مقطع R_N میزان شعاع انحنای نمونه‌هایی که بین رخدادهای اصلی واقع شده‌اند، نشان دهنده رخداد خاصی نمی‌باشند. آخرین نشانگر بهینه شده، شعاع انحنای جبهه موج عمود در نقطه ورود، R_{NIP} ، است که مقطع آن در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. به عنوان یک اصل، با افزایش زمان سیر یا افزایش عمق، میزان R_{NIP} نیز به صورت پیوسته افزایش پیدا می‌کند. در این مقطع نیز میزان شعاع انحنای نمونه‌هایی که بین رخدادهای اصلی واقع شده‌اند، نشان دهنده رخداد خاصی نمی‌باشند. شکل ۳-۷، مقطع همدوسی بهینه شده که در گام آخر بدست آمده و شکل ۳-۸ نیز مقطع برابارش شده بهینه به روش CRS را نشان می‌دهد. مقطع همدوسی کمک می‌کند که رخدادهای موجود در مقطع دورافت صفر به خوبی آشکار شده و همچنین نشان می‌دهد که سطح برابارش CRS تا چه میزان بر منحنی-های زمان سیر منطبق می‌باشند و یا به عبارت دیگر تا چه میزان نشانگرهای بدست آمده در مقاطع قبلی، قابل اعتماد هستند. همانگونه دیده می‌شود، میزان همدوسی برای نمونه‌های واقع بر روی رخدادهای بازتابی، میزان بالایی را از خود نشان می‌دهند. میزان همدوسی برای نمونه‌هایی که در زیر گنبد واقع هستند، مقدار پایینی را نشان می‌دهند که به دلیل کم بودن انرژی در آن منطقه است. در برخی از رخدادهای بازتابی که مقدار همدوسی بالایی را نشان می‌دهند، در برخی مواقع حفره‌هایی دیده می‌شود، بویژه در رخدادی واقع بین ۲ تا ۲/۵ ثانیه و در زیر CDP شماره ۳۰۰ و همچنین در کناره‌های سمت چپ گنبد، جاهایی که رخدادهای بازتابی افقی با بدنه گنبد برخورد می‌کنند، که احتمالاً به دلیل وجود مساله تداخل شیب‌ها و همچنین پیچیدگی ساختارها در آن منطقه است. این حفره‌ها در مقطع برابارش شده دیده نمی‌شوند، بویژه آن حفره‌ایی که در زیر CDP شماره ۳۰۰ دیده می‌شود که مربوط به مساله تداخل شیب‌ها می‌باشند.

جدول ۲-۳ پارامترهای پردازش برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر برای داده‌های مدل گنبدی شکل.

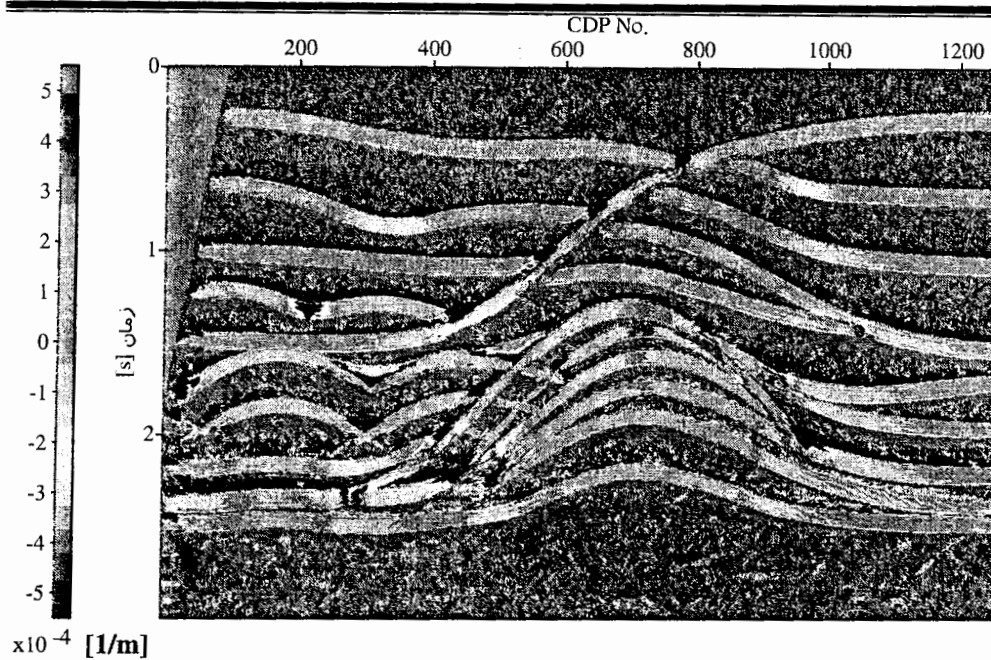
نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۲۰ هرتز
	معیار همدوسی	شبیه بودن
	داده‌های مورد استفاده در آنالیز همدوسی	رده‌های اصلی
	عرض نوار همدوسی	۵۶ میلی ثانیه
سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه	سرعت نزدیک سطح	۲۰۰۰ متر بر ثانیه
	سرعت برانبارش تحت جستجو	۱۶۰۰ تا ۳۸۰۰ متر بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	۰ تا ۳ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۴ میلی ثانیه
	تعداد رده‌های شبیه سازی شده در ZO	۵۷۶۰۰
	فاصله بین ردها در شبیه‌سازی ZO	۲۰ متر
بازه جستجوی بین ردها	حداقل بازه ZO	۱۰ متر در ۰/۱ ثانیه
	حداکثر بازه ZO	۵۰۰ متر در ۲ ثانیه
	حداقل بازه CMP	۱۰۰ متر در ۰/۱ ثانیه
	حداکثر بازه CMP	۲۰۱۰ متر در ۲ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	۳۰٪
برانبارش خودکار CMP	اولین پرونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۴ میلی ثانیه
	تعداد مراتب کاهش ابعاد شبکه	۳
جستجوی خطی ZO	بازه زاویه مورد جستجو	۴۵- تا ۴۵+ درجه
	گام بین زاویه‌های مورد جستجو	۱ درجه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی ZO	اولین پرونراند برای بزرگترین فاصله ZO	۴ میلی ثانیه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی در CS/CR	اولین پرونراند 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	10^{-4}
	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



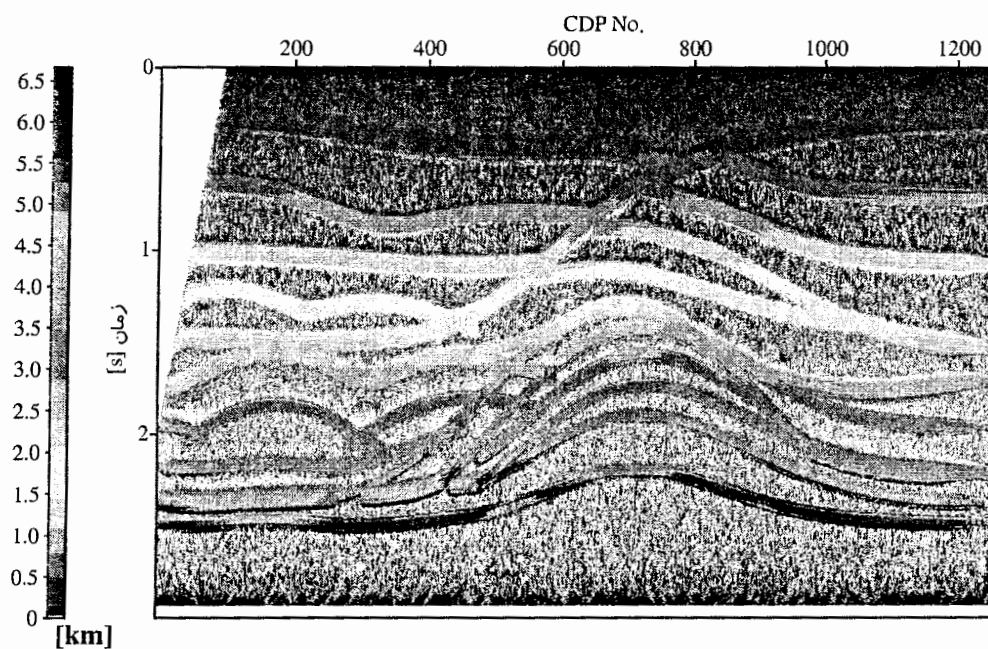
شکل ۳-۳، مقطع سرعت برانبارش مربوط به مدل گنبدی شکل بدست آمده از گام برانبارش خودکار CMP.



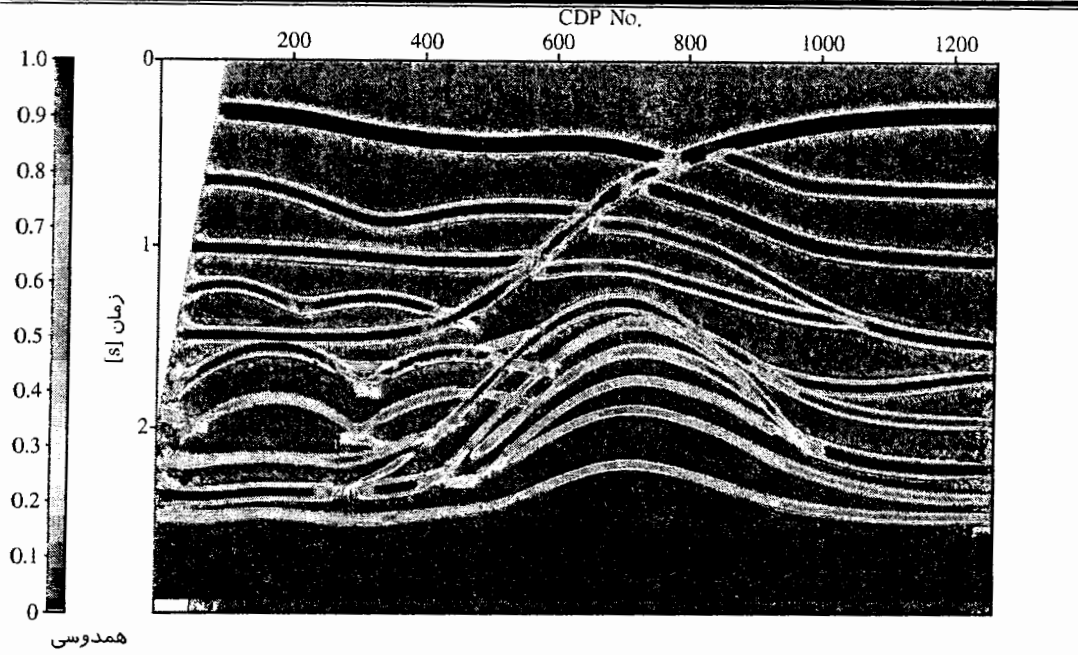
شکل ۳-۴ مقطع بهینه زاویه ورودی پرتوی مرکزی مربوط به رخدادهای اصلی در مدل گنبدی شکل بدست آمده از گام نهایی برانبارش بهینه CRS.



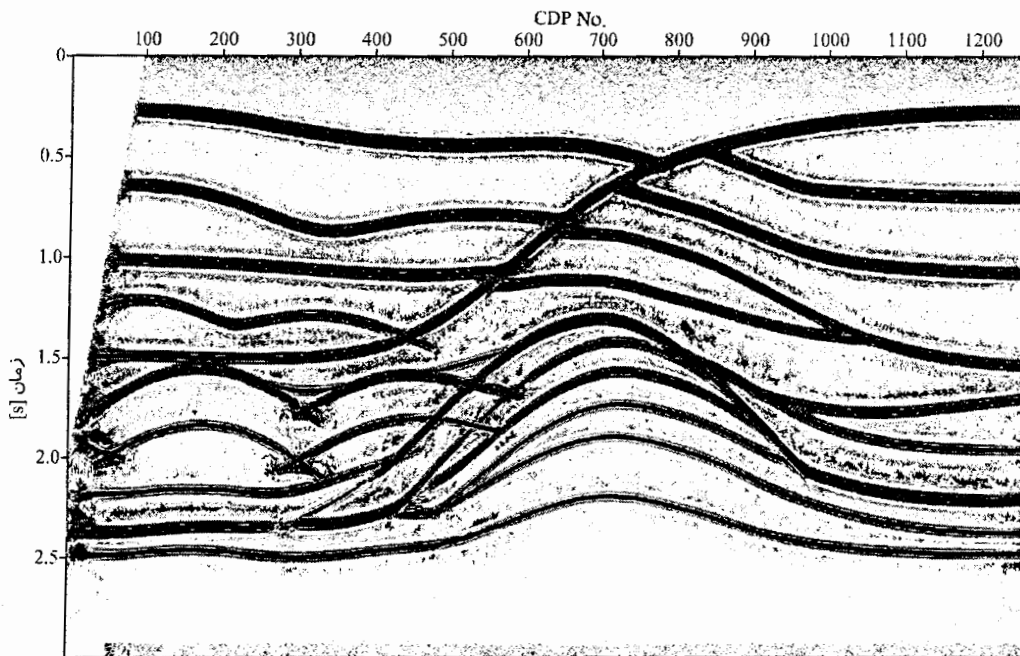
شکل ۳-۵، مقطع بهینه شعاع انحنای موج عمود، R_N ، مربوط به رخداد‌های اصلی در مدل گنبدی شکل بدست آمده از گام نهایی برانبارش بهینه CRS.



شکل ۳-۶، مقطع بهینه شعاع انحنای موج عمود در نقطه ورود، R_{NIP} ، مربوط به رخداد‌های اصلی در مدل گنبدی شکل بدست آمده از گام نهایی برانبارش بهینه CRS.



شکل ۳-۷ ، مقطع همدوسی بهینه مربوط به رخداد‌های اصلی در مدل گنبدی شکل بدست آمده از گام نهایی برانبارش بهینه CRS .



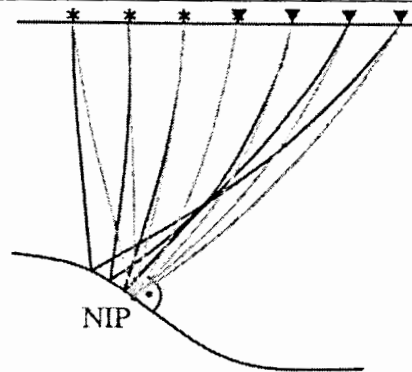
شکل ۳-۸ ، مقطع نهایی برانبارش بهینه CRS مربوط به رخداد‌های اصلی در مدل گنبدی شکل.

دو ساختار ناودیسی در قسمت چپ مقطع، بین زمان‌های $1/5$ تا 2 ثانیه و در بین CDP شماره-های 300 تا 400 دیده می‌شود. این رخدادها به دلیل وجود ساختارهای ناودیسی در عمق‌های 2 تا $2/5$ کیلومتری است که در شکل بلوکی (شکل ۳-۱) دیده می‌شوند. در انتهای پایین مقطع نیز همانگونه که اشاره شده، اثر بالاکشیدگی کاملاً مشخص است.

اگرچه تهیه مدل سرعت هدف اصلی در این پایان نامه نیست، ولی برای آنکه بتوان از نشانگرهای بدست آمده در مرحله برانبارش CRS استفاده کرد و همچنین برای کوچ عمقی نیز مدل سرعت مورد نیاز است، در این بخش به کمک روش معکوس سازی توموگرافی که توسط دوونک (۲۰۰۴)^۱ معرفی شد، مدل سرعت برای داده‌های گنبدی شکل بدست آمده است.

جزئیات این روش توسط هرتوک (۲۰۰۴)، به خوبی معرفی شده است. این روش معکوس سازی، از اطلاعات زمان سیر و نشانگرهای جنبشی شعاع انحنای موج NIP و زاویه ورود پرتوی مرکزی α ، استفاده می‌کند و یک مدل سرعت برای ساختارهای تا حدی ناهمگن و ایزوتروپ بدست می‌دهد. مساله اصلی در روش NIP توموگرافی، بدست آوردن اطلاعات زمان سیر از داده‌های قبل از برانبارش برای معکوس سازی است. روش معکوس سازی NIP توموگرافی بر پایه ایده‌ای استوار است که اطلاعات زمان سیر در مرتبه دوم، برای تعیین مدل سرعت دوبعدی 2D و سه بعدی 3D در یک محیط ناهمگن، تا زمانی که تغییرات جانبی سرعت زیاد نباشد، کافی خواهد بود. این روش، اطلاعات زمان سیر که به صورت نشانگرهای جنبشی میدان موج و در ارتباط با موج فرضی NIP می‌باشد و در برانبارش CRS بدست آمده است را به عنوان ورودی انتخاب می‌کند. در همین راستا، تئوری موج NIP بیان می‌کند که تا مرتبه دوم در مختصات نقطه میانی و دورافت، زمان سیر بازتاب‌ها در CMP و زمان سیر پراش‌های دورافت صفر در طول پرتوهایی که از نقطه NIP بازتاب می‌شوند، برابر خواهند بود (شکل ۳-۹).

1- Duvencek (2004)



شکل ۳-۹، تئوری موج NIP بیان می‌کند که تا مرتبه دوم در مختصات نقطه میانی و دورافت، زمان سیر بازتاب-ها در CMP و زمان سیر بازتاب‌هایی از همان بازتابنده ولی از نقطه NIP، برابر خواهند بود، (دوونک، ۲۰۰۴).

گام‌های اصلی در پردازش NIP توموگرافی عبارتند از

- برآینبارش CRS،
- نرم کردن نشانگرها،
- دستچین کردن خودکار،
- ویرایش کردن نقاط و
- پارامتری کردن و تهیه مدل سرعت.

۳-۲-۱ برآینبارش CRS

نتایج برآینبارش CRS شامل مقطع همدوسی، مقاطع شعاع جبهه موج عمود بر نقطه ورود R_{NIP} و مقطع زاویه ورود پرتوی مرکزی α ، به عنوان ورودی روش NIP توموگرافی استفاده می‌شوند. بنابراین درستی و کیفیت این مقاطع، مستقیماً در درستی نتیجه NIP توموگرافی و مدل سرعت تاثیر خواهد گذاشت. برخی از فاکتورهایی که بر روی کیفیت مدل سرعت برآینبارش و نشانگرهای جنبشی میدان موج تاثیر می‌گذارند توسط ایلماز (۲۰۰۱)^۱ معرفی شده‌اند.

1- Yilmaz (2001)

این پارامترها عبارتند از: طول برداشت (بازه دورافت و نقطه میانی)، نمونه برداری سرعت (و یا نشانگرها)، انتخاب مقدار همدوسی و پهنای باند داده‌ها. یکی از مهم‌ترین این فاکتورها، انحراف منحنی زمان سیر از الگوی یک هذلولی کامل است. اگر میزان این اختلاف بزرگ باشد، نشان دهنده آن است که ساختار زیر سطحی بسیار پیچیده است. بنابراین محاسبه مشخصه‌های جنبشی میدان موج نیز با خطا همراه می‌باشد و لذا انجام معکوس سازی به روش توموگرافی نیز غیر ممکن خواهد بود. به منظور آزمودن صحت این مشخصه‌ها، ابتدا لازم است کنترل شود که تا چه میزان دورافتی در برداشت‌های CMP، رخدادهای بازتابی کاملاً به شکل هذلولی هستند. تجربیات در این زمینه، نشان داده است که برای بازتابنده‌های تا عمق ۳ تا ۴ کیلومتری، حداکثر دورافتی بین ۲ تا ۲/۵ کیلومتر مناسب می‌باشد.

۳-۲-۲ صاف کردن مشخصه‌ها

در طول مرحله CRS، مشخصه‌های جنبشی میدان موج برای هر نمونه در دورافت صفر، به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. اگرچه محاسبه مشخصه‌ها به این صورت مزایایی در پی خواهد داشت، از جمله بالابردن نسبت سیگنال به نویز و یا جلوگیری از کشیدگی پالس در هنگام تصحیح NMO، اما با این حال ممکن است در مشخصه‌های بدست آمده، نوسان ایجاد گردد. با انجام فرایند هموار کردن^۱، نه تنها می‌توان این نقیصه را برطرف کرد، بلکه داده‌های بدون مفهوم فیزیکی که در معکوس سازی توموگرافی ایجاد اختلال می‌کنند را نیز می‌توان حذف کرد. میزان تاثیر فرایند نرم کردن، با سطح نویز در داده‌ها تغییر می‌کند. بدین معنی که در داده‌های با سطح نویز بالا، فرایند نرم کردن نیز تاثیر قابل توجهی نخواهد داشت. لازم به ذکر است که فرایند صاف کردن، باعث حل مساله انحراف از هذلولی رخدادها نخواهد شد، (هرتوک، ۲۰۰۴).

۳-۲-۳ دستچین کردن نقاط

پس از آنکه مقاطع مشخصه های میدان موج بدست آمد، اکنون می توان دستچین کردن نقاط را آغاز کرد. انتخاب این نقاط از یکدیگر مستقل بوده و نیازی به دنبال کردن نقاط، تنها در یک افق خاص نمی باشد. ولی با این حال نقاط باید روی رخدادهای بازتابی قرار گرفته باشند. دستچین کردن نقاط را می توان بر روی مقطع برآیناراش شده دورافت صفر و یا بر روی مقطع همدوسی^۱ انجام داد. دستچین کردن بر روی مقطع برآیناراش شده دورافت صفر این مزیت را دارد که همزمان می توان تفسیری از نقاط در هنگام انتخاب آنها را نیز در ذهن انجام داد و همچنین می توان از انتخاب نقاط واقع بر روی چندگانه ها اجتناب نمود. اما انتخاب بر روی مقطع همدوسی نیز این امکان را فراهم می کند که تنها نقاط با همدوسی بالا را دستچین کرده و لذا مشخصه های واقعی تری را برای انجام عمل توموگرافی در اختیار قرار می دهد (دوونک، ۲۰۰۴). تنها نکته ای که این روش را از سایر روش ها متمایز کرده و امتیاز بزرگی برای آن محسوب می شود، دستچین کردن نقاط به صورت خودکار است. در دستچین کردن نقاط بدین روش لازم است معیارهایی را برای انتخاب نقاط تعیین کرد به عنوان مثال پارامترهایی از جمله حد آستانه همدوسی^۲ و کمترین فاصله مکانی و زمانی بین دونقطه مجاور. میزان فاصله افقی بین نقاط و فاصله نقاط بر روی یک رخداد، بستگی به نوع پارامتری کردن مدل سرعت دارد که توسط ابعاد شبکه ایی که بر روی مقطع مورد نمونه گیری قرار می گیرد کنترل می شود. در جهت افقی، حداقل دو نقطه باید بر روی یک رخداد واقع شوند که این امر توسط فاصله افقی نقاط شبکه کنترل می شود. در جهت قائم نیز فاصله بین نقاط باید به اندازه کافی باشد تا اطمینان حاصل شود که هیچ دو نقطه ایی بر روی یک رخداد بازتابی در جهت قائم واقع نگردند. مشکلات بیشتر در حضور چندگانه ها و یا جاهایی که رخدادهای بازتابی به خوبی از هم تفکیک نشده اند رخ می دهد.

1- Coherency Section
2- Coherency Threshold

۳-۲-۴ ویرایش کردن نقاط دستچین شده

بعد از آنکه تعداد نقاط لازم برای فرایند معکوس سازی انتخاب شد، لازم است که نتایج حاصل را به منظور هرگونه تصحیحی، بازبینی کرد. در طول این مرحله، آن نقاطی که غیر واقعی و بدون هرگونه مفهوم فیزیکی به نظر می آیند و همچنین نقاط انتخاب شده واقع بر روی چندگانه‌ها، حذف می‌شوند. از نقطه نظر تئوری، مشخصه های واقع بر روی یک بازتابنده باید به صورت آرام و طی یک روند مشخصی تغییر کنند. بنابراین نقاطی که مربوط به یک بازتابنده واقعی هستند، باید روند پیوسته‌ایی داشته باشند. آن نقاطی را که از این روند تبعیت نمی‌کنند، به عنوان نقاط خارج از رده شناخته شده و حذف خواهند شد. این عمل توسط پارامتری به نام M_{NIP}^x انجام می‌شود (هرتوک، ۲۰۰۴):

$$M_{NIP}^x = \frac{2}{t_0 v_{NMO}^2} \quad (۵-۳)$$

در حالت کلی، نقاط داده با مقادیر بالای M_{NIP}^x (بزرگتر از $10^{-9} \times 2000$ s/m²) باید حذف شود، چراکه این نقاط فرایند معکوس سازی را دچار ناپایداری خواهند کرد (هرتوک، ۲۰۰۴). مقادیر بالای M_{NIP}^x برای رخدادهای بازتابی کم عمق اتفاق خواهد افتاد (زمان سیرهای کم). ویژگی کاهش سرعت v_{NMO} که در چندگانه‌ها دیده می‌شود، در رابطه با افزایش M_{NIP}^x در زمان سیر یکسان خواهد بود. بنابراین اگر مقادیر M_{NIP}^x در مقابل مقادیر $T_0=t_0/2$ نشان داده شود، نقاطی که در ارتباط با چندگانه‌ها هستند، از روند اصلی نقاط در دیاگرام مربوطه تبعیت نخواهند کرد و بنابراین به سادگی شناسایی و حذف می‌شوند. البته در محل‌های با ساختار پیچیده، این روش برای شناسایی چندگانه‌ها چندان مفید نخواهد بود و روش‌های دیگری برای شناخت این نقاط باید بررسی شود.

۳-۲-۵ تخمین مدل سرعت

قبل از اینکه فرایند معکوس سازی آغاز شود، باید یک مدل سرعت اولیه‌ایی تعیین شود. این امر مستلزم انتخاب روندی از نقاط پایه به نام (B-spline) در جهت قائم و افقی و تعیین مدل اولیه

سرعت به کمک آنها است. انتخاب مناسب فاصله بین نقاط اصلی (B-spline) بستگی به پیچیدگی ساختار زیر سطحی دارد. همانگونه که پیش از این نیز اشاره شد، مقدار M^x_{NIP} که از نتایج برآیند بارش CRS بدست می‌آید، دارای رابطه با کمیت‌های مذکور است. این مقدار بوسیله تکنیک دنبال کردن پرتو در امتداد پرتوی نرمالی که در یک مدل نرم سرعت دنبال می‌شود، بدست می‌آید. به کمک این مقدار فاصله بین نقاط شبکه در جهت افقی تعیین می‌شود. به عنوان مثال برای بازتابنده‌ایی در اعماق ۲ تا ۴ کیلومتر و با در نظر گرفتن دورافت بالای ۲ کیلومتر در داده‌ها، فاصله ۵۰۰ متر بین نقاط شبکه اصلی (B-spline)، مناسب به نظر می‌رسد. در جهت قائم، می‌توان از فاصله متغییری بین نقاط اصلی استفاده کرد. معمولاً در عمق‌های کم، تعداد زیادی رخدادهای بازتابی وجود دارد در حالی که در عمق‌های بیشتر، تعداد کمتری رخدادهای بازتابی به چشم می‌خورد. بنابراین می‌توان عنوان کرد در جهت قائم، در عمق‌های کم از تعداد بیشتری نقاط استفاده می‌شود و در عمق‌های بیشتر، فاصله بین نقاط را می‌توان بزرگتر انتخاب کرد. معمولاً فاصله بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر برای جهت قائم، منطقی به نظر می‌رسد. ساده‌ترین روش برای تعیین مدل اولیه سرعت در معکوس سازی، استفاده از رابطه گرادیان سرعت قائم ثابت است: $V(Z) = V_0 + aZ$. مقادیر قابل قبول برای V_0 و ضریب a باید بر اساس شرایط زمین شناسی تعیین گردد. همانگونه که قبلاً نیز به آن اشاره شد، پارامترهایی که رابطه مرتبه دوم زمان سیر ورود جبهه موج NIP به سطح را تعیین می‌کنند، زمان سیر پرتوی نرمال، T_0 ، و مشتق‌های اول و دوم آنها نسبت به x هستند که عبارتند از P^x و M^x_{NIP} ، در محل ورود موج در نقطه x_0 . داده‌های مورد نیاز برای معکوس سازی دوبعدی، 2D، شامل $(T_0, M^x_{NIP}, P^x, x_0)$ است که از برآیند بارش دوبعدی CRS به صورت مقاطعی از نشانگرهای جنبشی میدان موج در دست است. هر کدام از این داده‌ها، در ارتباط با یک نقطه بر روی بازتابنده با مختصات $(x, z)^{NIP}$ هستند که در آن $z_{NIP} < 0$ و شیب بازتابنده برابر θ^{NIP} می‌باشد.

اکنون نوبت آن است که مقدار سرعت برای آن نقطه اصلی (B-spline) را محاسبه کنیم. در مدل

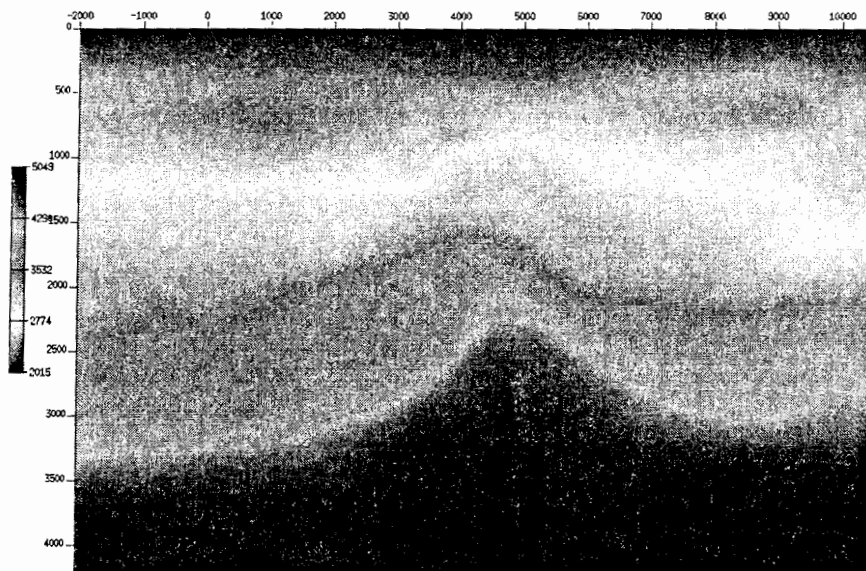
یک بعدی، 1D، مقدار سرعت از رابطه زیر محاسبه می‌شود، (هرتوک، ۲۰۰۴):

$$V(x) = \sum_i V_i \beta_i(x) \quad (6-3)$$

که در آن v_i ضریب B-spline و $\beta_i(x)$ تابع پایه B-spline است. در مدل دوبعدی 2D سرعت توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود، (هرتوک، ۲۰۰۴):

$$V(x, z) = \sum_{j=1}^{n_x} \sum_{k=1}^{n_z} V_{jk} \beta_j(x) \beta_k(z) \quad (7-3)$$

در تعیین مدل سرعت، باید تعداد تکرار به روز رسانی مدل را نیز تعیین کرد. واضح است که با اضافه کردن تعداد این تکرارها، مدل نهایی سرعت دارای دقت بالاتری خواهد بود، ولی در عین حال زمان محاسبات را نیز افزایش خواهد داد. برای معکوس سازی و تهیه مدل سرعت برای داده مصنوعی مدل گنبدی شکل، تعداد تکرارها برابر ۱۴ در نظر گرفته شد. مدل سرعت نرم مربوط به مدل مصنوعی گنبدی شکل، در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۳، مدل سرعت هموار شده بدست آمده از روش NIP توموگرافی برای مدل مصنوعی گنبدی شکل.

۳-۳ داده مصنوعی Sigsbee 2A

این داده مصنوعی که داده اصلی در حل مساله شیب‌های متداخل را تشکیل می‌دهد، توسط شرکت نفتی SMAART و به کمک تکنیک دیفرانسیل محدود^۱ (FD) ساخته شده است. این مدل در واقع الگویی از برداشت لرزه‌ای دریایی است که هم دارای لایه‌های رسوبی و افقی بوده و هم دارای ساختار گنبدی شکل با هندسه پیچیده به‌مراه یک ساختار ناودیس مانند می‌باشد. همچنین مدل دارای نقاط پراش متعددی به صورت شبکه‌ای است که در بین قسمت لایه‌ای شکل تعبیه شده است. تمامی لایه‌ها در این مدل ایزوتروپ می‌باشند. هندسه مدل نیز در واحدهای انگلیسی ارائه شده. حجم داده‌های قبل از برابراش در مدل Sigsbee 2A به کمک تکنیک دیفرانسیل محدود (FD) در تخمین معادله آکوستیک موج تهیه شده است. بنابراین داده‌ها دارای انواع چندگانه‌هایی است که در لایه‌های افقی وجود می‌آیند. سطح آب به عنوان یک سطح آزاد در نظر گرفته نشده، بنابراین چندگانه‌های حاصل از ستون آب در مدل وجود نخواهند داشت. چشمه‌ها و گیرنده‌ها ۲۵ فوت زیر سطح آب واقع شده و پارامتر اندازه‌گیری فشار است. تمام داده‌های برداشت شده به سطح مرجع افقی که چشمه‌ها و گیرنده‌ها بر روی آن قرار دارند اختصاص داده شده است. جدول ۳-۳ تمام پارامترهای هندسی مربوط به داده‌ها را نشان می‌دهد. اگرچه این داده‌ها حاکی از برداشت در یک الگوی بسیار منظم است، ولی تمامی برداشت‌های انفجاری دارای ۳۴۸ رد نمی‌باشند (شکل ۳-۱۱). برای آنکه بتوان دیدی از شکل مدل ایجاد شده داشت، مقطع دورافت نزدیک آن که از داده‌های قبل از برابراش استخراج شده است، در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده. برای نشان دادن این شکل تنها از چهار گیرنده اول در هر برداشت انفجاری استفاده شده است. با توجه به پارامترهای هندسی مدل، میزان دورافت برای چهار گیرنده ابتدایی برابر صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ فوت است. از این مقادیر در نشان دادن شکل ۳-۱۲ استفاده شده و همچنین تصحیح برونراند نرمال NMO نیز برای آنها صورت نگرفته است.

1-Finite difference

در پردازش داده‌های Sigsbee 2A تنها زمان بین ۲ تا ۱۱ ثانیه مورد توجه قرار گرفته است، چراکه در بالای زمان ۲ ثانیه تنها ستون آب بوده و هیچ‌گونه ارزش پردازش نخواهد داشت. از طرفی بدلیل کمبود مقادیر دورافت طولانی، از میزان داده‌ها در اعماق زیاد کاسته شده و بنابراین نتایج خوبی در اعماق زیاد از برانبارش متصور نمی‌شود. همانگونه که در شکل نشان داده شده، هندسه پیچیده گنبد نمکی باعث ایجاد منحنی‌های پراش فراوان و قوی شده که در واقع سطح زیادی از مقطع را پوشانده است. این داده تا کنون توسط افراد زیادی به عنوان آزمون روش‌های جدید مورد پردازش قرار گرفته اند، ولی این داده توسط مان (۲۰۰۲) اولین بار به روش CRS مورد پردازش قرار گرفته است. برای مقایسه نتایج روش جدید و نتایج بدست آمده از روش برانبارش CRS، داده Sigsbee 2A در اینجا نیز مورد پردازش CRS به روش معرفی شده توسط مان (۲۰۰۲)، قرار خواهند گرفت.

برای آنکه بتوان تصویر بهتری از مدل بدست آورد، با انجام تصحیح برونراد برای دورافت‌های نزدیک که به آنها اشاره شد و هم چنین انجام کوچ به روش استولت با سرعت ثابت، تصویر خامی از مدل کوچ شده و ساختارهایی که باید شبیه‌سازی شوند بدست آمد. نتیجه این پردازش کوتاه در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. در این شکل ساختارهای زیرسطحی متعددی قابل مشاهده است. به عنوان مثال بالای گنبد نمکی و لبه‌های آن و همچنین مرز پایین گنبد نمکی مشخص شده‌اند. همچنین در قسمت چپ در بین لایه‌های رسوبی افقی، چندین گسل کوچک نیز به چشم می‌خورد. همانگونه که در شکل ۳-۱۳ مشاهده می‌شود، در بین دو گنبد نمکی، یک بخش ناودیسی وجود دارد. این ساختار ناودیسی در مقطع دورافت صفر تشکیل رخدادی به شکل کاسه وارونه^۱ را می‌دهد. در پردازش‌های مرسوم پیچیدگی این رخداد باز شده و با عملیات کوچ به حالت ناودیسی خود برخواهد گشت. ولی در این مدل ما همواره این رخداد قوی را تا انتها به همراه خواهیم داشت، چرا که این رخداد ناشی از امواج کائوستیک است که چندین بار در ساختار ناودیسی منعکس شده است.

برابارش سطح بازتاب مشترک

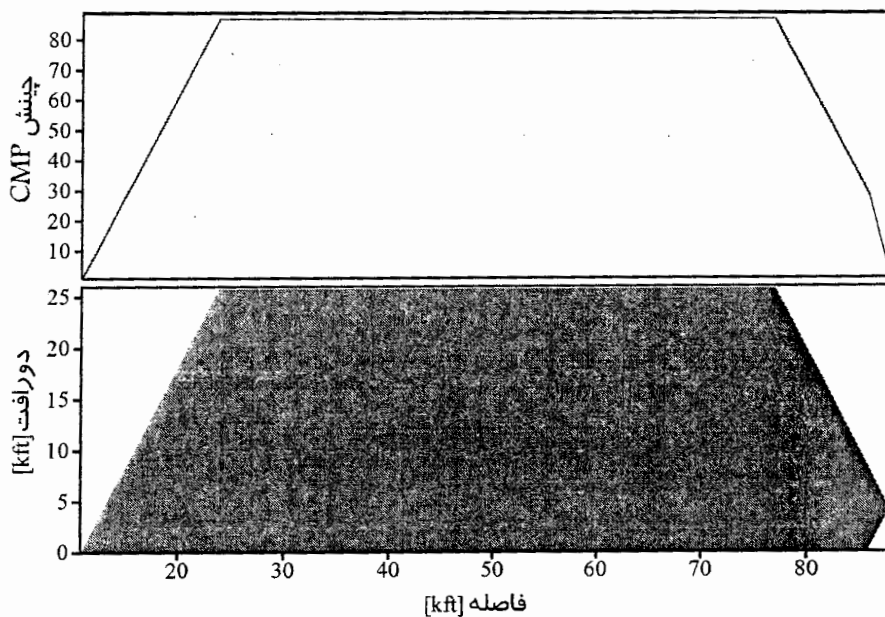
جدول ۳-۳ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده‌های Sigsbee 2A، اولین گیرنده در هر برداشت انفجاری منطبق بر چشمه است.

هندسه نقطه میانی و دورافت	
۲۰۵۳	تعداد شبکه CMP
۸۷	حداکثر چینش CMP
۳۷/۵ فوت	فاصله بین شبکه CMP
۰ تا ۲۶۰۲۵ فوت	بازه دورافت

هندسه چشمه و گیرنده	
۵۰۰	تعداد چشمه‌ها
۱۵۰ فوت	فاصله چشمه‌ها
۳۴۸	تعداد گیرنده‌ها
۷۵ فوت	فاصله گیرنده‌ها

محتوای فرکانس	
۲۰ هرتز	فرکانس غالب
۴۰ هرتز	حداکثر فرکانس

پارامترهای ثبت	
۱۲ ثانیه	زمان ثبت
۸ میلی ثانیه	فاصله نمونه برداری



شکل ۳-۱۱ مقدار چینش در داده‌های مصنوعی Sigsbee 2A، برداشت انفجاری در سمت راست دارای تمام ۳۴۸ رد نمی‌باشد. در برداشت‌های معمول دریایی تعداد گیرنده‌ها ثابت است. داده‌ها با دورافت‌های مثبت مدل شده‌اند. کابل‌های کشنده گیرنده‌ها نیز در امتداد کاهش نقطه میانی مرتب شده‌اند.

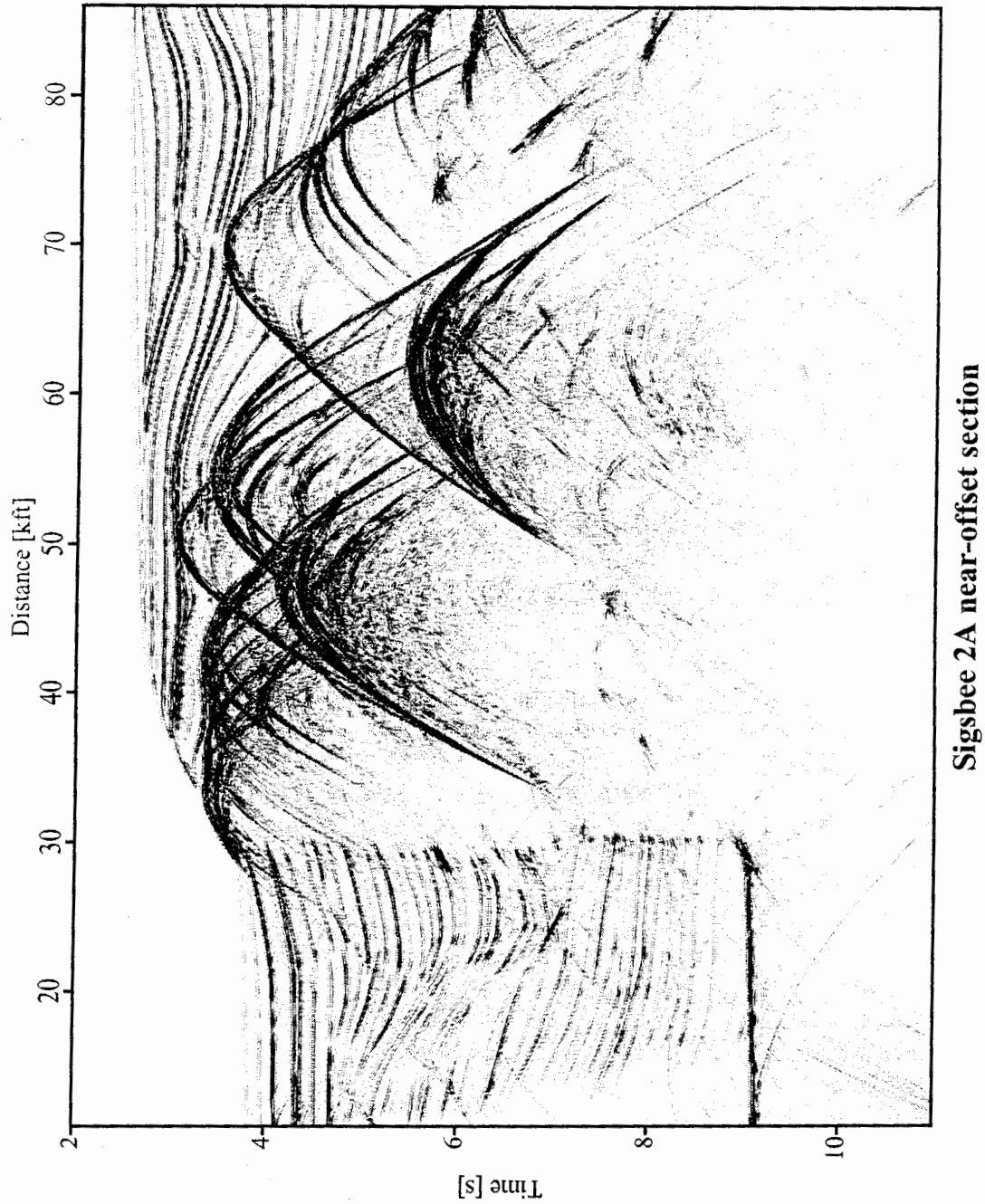
مان (۲۰۰۲) این پدیده را به صورت گسترده مورد مطالعه قرار داد و در شکل ۳-۱۴ چگونگی ایجاد این رخداد در ساختار ناودیدی شکل را نشان داده است.

فرایند برانبارش CRS با گام برانبارش خودکار CMP آغاز می‌شود. مقاطع حاصل از این گام در اینجا نشان داده نشده و تنها مقطع سرعت برانبارش در شکل ۳-۱۵ آورده شده است. معمولاً سرعت برانبارش باید به صورت آرام با افزایش زمان سیر، افزایش پیدا کند. قسمت لایه‌ایی شکل مقطع، این افزایش آرام را به خوبی نشان می‌دهد. همانگونه که در مقطع دیده می‌شود، در زیر رخداد کاسه وارونه، پیچیدگی‌هایی دیده می‌شود. بررسی سرعت در امتداد رخداد مربوط به کاسه وارونه، نشان می‌دهد که سرعت‌های مختلفی از قسمت نوک قله این رخداد تا قسمت پایین آن دیده می‌شود.

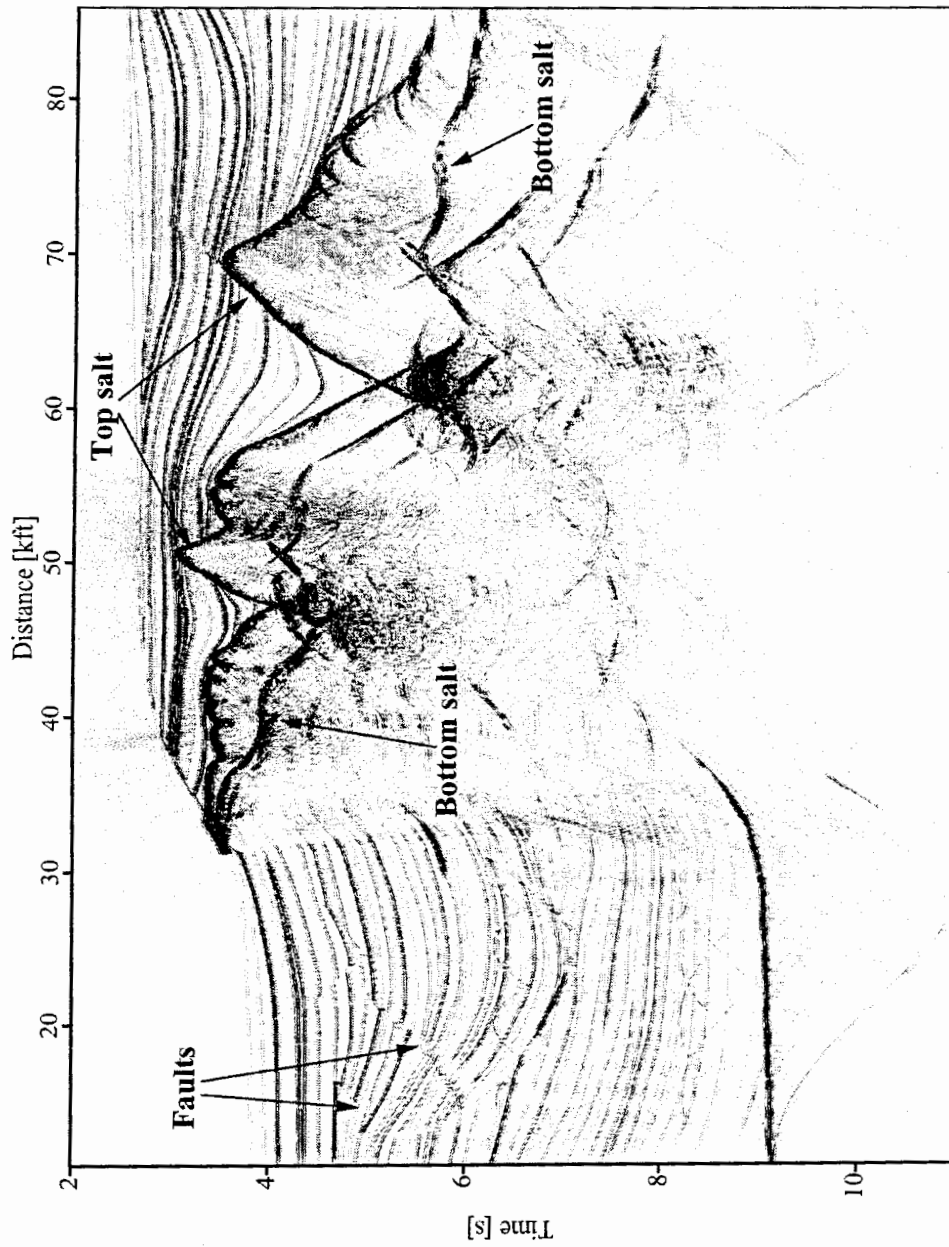
مان (۲۰۰۲) نشان داد که این رخداد، یک رخداد بازتابی اولیه نبوده و ترکیبی از حداقل دو رخداد چندگانه متفاوت است.

گام بعدی، جستجوی هذلولی دورافت صفر است. مقاطع بدست آمده از گام قبل، به عنوان ورودی-های این مرحله می‌باشند. در این گام، زاویه ورود پرتوی مرکزی، α ، و شعاع موج نرمال تعیین می‌شوند. همانگونه که در تئوری CRS به آن اشاره شد، این دو نشانگر جنبشی میدان موج، به ترتیب بیانگر شیب و انحنای بازتابنده در مقطع دورافت صفر در عمق خواهند بود. در این گام، شیب رخدادها به کمک عملگر برانبارش خطی بدست می‌آیند. در روش جستجوی معمول CRS، (یگر، ۱۹۹۹) تنها یک مقدار زاویه ورود پرتوی مرکزی برای رخداد اصلی در نظر گرفته می‌شود، در روش جستجوی تعمیم یافته که توسط مان (۲۰۰۱)^۱ ارائه شد، بیشتر از یک زاویه ورود برای نمونه مذکور در نظر گرفته می‌شود. سپس شعاع انحنای بازتابنده به کمک جستجوی هذلولوی دورافت صفر برای شیب تعیین شده بدست می‌آید. اگر تنها یک مقدار برای زاویه ورود پرتوی مرکزی در نظر گرفته شده باشد، در آن صورت نیز تنها یک جستجو برای تعیین مقدار شعاع انحنای انجام می‌گیرد.

1- Mann (2001)

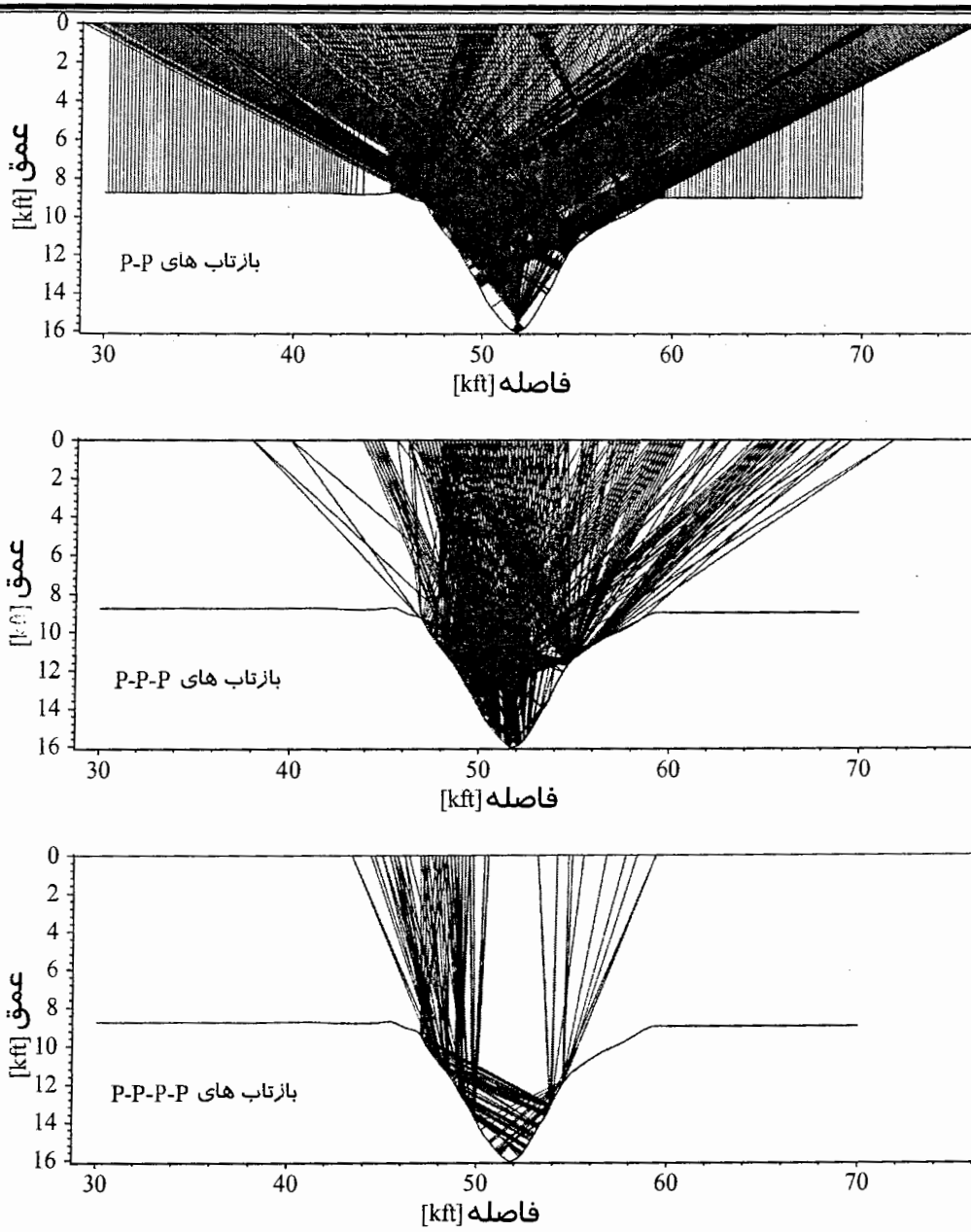


شکل ۳-۱۲، مقطع دورافت‌های کوتاه از داده مصنوعی Sigsbee 2A. دورافت در این مقطع بین صفر تا ۲۲۵ فوت تغییر می‌کند. تصویر گنبد‌های نمکی توسط رخداد کاسه وارونه و رخداد‌های پراش پوشیده شده است.



Stolt time migration of near-offset section

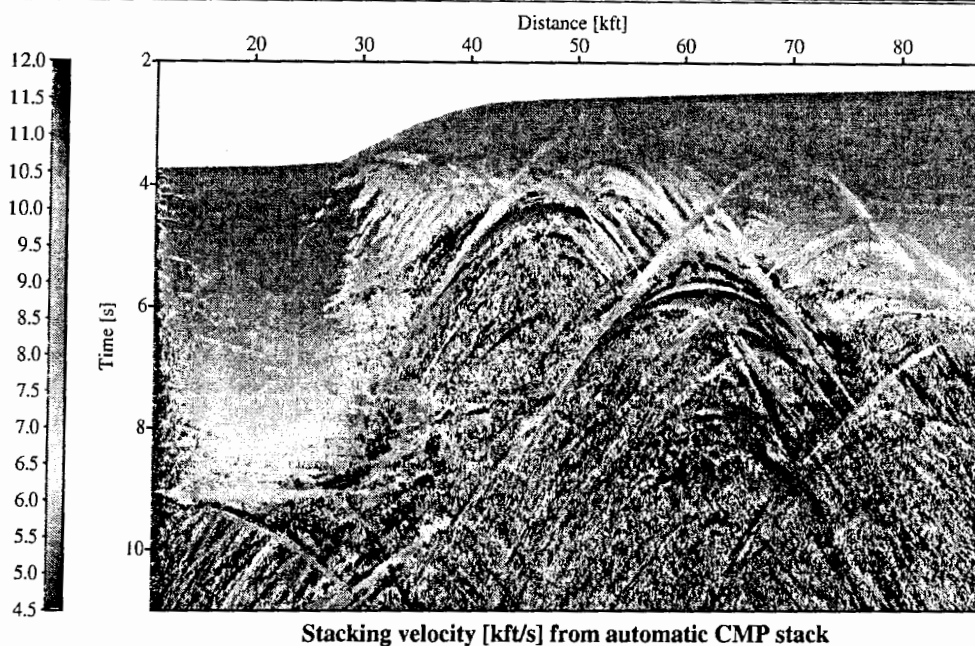
شکل ۳-۱۳، مقطع کوچ شده به روش استولت به دست آمده از مقطع دورافت‌های کوتاه. سرعت آب برابر 4920 ft/s برای تصحیح برونراند نرمال و کوچ در نظر گرفته شد. (مان، ۲۰۰۲).



شکل ۳-۱۴، یک مدل ساده شامل دو لایه همگن. این شکل شبیه وجود ناودیس بین دو گنبد نمکی در داده Sigsbee 2A است. خطوط قرمز مسیر حرکت پرتوها در مقطع دورافت صفر را نشان می‌دهد که پرتوها در آن یکبار (بالا)، دوبار (وسط) و سه بار (پایین) از بازتابنده، بازتاب می‌شوند. (مان، ۲۰۰۲).

جدول ۳-۴ پارامترهای پردازش برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر داده Sigsbee 2A.

نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۲۰ هرتز
	معیار همدوسی	شبیه بودن
	داده‌های مورد استفاده در آنالیز همدوسی	رده‌های اصلی
	عرض نوار همدوسی	۵۶ میلی ثانیه
سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه	سرعت نزدیک سطح	۴۹۲۰ فوت بر ثانیه
	سرعت برانبارش تحت جستجو	۴۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ فوت بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	۲ تا ۱۱ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۸ میلی ثانیه
	تعداد رده‌های شبیه سازی شده در ZO	۲۰۵۳
	فاصله بین رده‌ها در شبیه‌سازی ZO	۳۷/۵ فوت
بازه جستجوی بین رده‌ها	حداقل بازه ZO	۱۷۰۰ فوت در ۲ ثانیه
	حداکثر بازه ZO	۵۸۳۰ فوت در ۱۱ ثانیه
	حداقل بازه CMP	۶۰۰۰ فوت در ۲/۳ ثانیه
	حداکثر بازه CMP	۲۵۰۰۰ فوت در ۱۱ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	۳۰٪
برانبارش خودکار CMP	اولین برونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۸ میلی ثانیه
	تعداد مراتب کاهش ابعاد شبکه	۳
جستجوی خطی ZO	بازه زاویه مورد جستجو	۶۰- تا ۶۰+ درجه
	گام بین زاویه‌های مورد جستجو	۱ درجه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی ZO	اولین برونراند برای بزرگترین فاصله ZO	۸ میلی ثانیه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی در CS/CR	اولین برونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۸ 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 RNIP	۵٪
	تغییرات اولیه برای RN تبدیل یافته	۶ درجه
	تبدیل شعاع برای RN	۳۵۰ فوت



شکل ۳-۱۵، مقطع سرعت برانبارش مرتبط با برانبارش خودکار CMP در داده Sigsbee 2A.

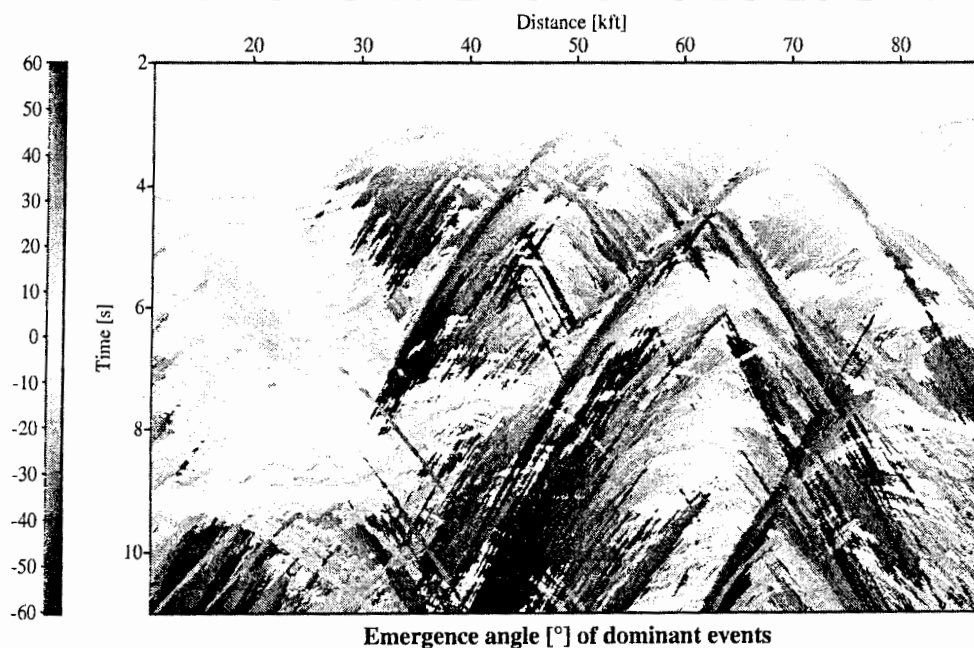
ولی اگر تعداد بیش از یک زاویه برای ورود پرتوی مرکزی تعیین شده باشد، در آن صورت برای هر کدام از شیبها نیز باید یک جستجوی هذلولوی انجام شود. در واقع در این گام است که می‌توان مساله تداخل شیبها را مورد بررسی قرار داد. سپس به کمک زاویه تعیین شده و مقطع سرعت برانبارش که در گام برانبارش خودکار CMP بدست آمده است، می‌توان شعاع انحنای جبهه موج R_{NIP} را محاسبه کرد. بدین ترتیب تا کنون هر سه نشانگر جنبشی میدان موج در دست می‌باشد. البته باید در نظر گرفت که این نشانگرها، مقادیر اولیه می‌باشد، بنابراین می‌توان یک مرحله بهینه سازی اختیاری نیز بر روی آنها انجام داد. بنابراین گام بعد، بهینه سازی نشانگرهای بدست آمده در گام قبل است. در این مرحله، مقادیر بهینه نشانگرها بدست آمده، آنالیز همدوسی برای آنها انجام می‌گیرد و در نهایت برانبارش بر روی سطحی که از این نشانگرهای بهینه بدست آمده است، انجام می‌شود. مقاطع بدست آمده از این گام که در این جا نشان داده شده‌اند شامل سه مقطع بهینه نشانگرهای جنبشی میدان موج، مقطع همدوسی و مقطع برانبارش نهایی است. در استراتژی تعمیم یافته در برانبارش

CRS، برای هر کدام از نشانگرها، به تعداد زوایای در نظر گرفته شده، مقاطع نشانگرهای جداگانه‌ایی بدست می‌آید. بنابراین لازم به ذکر است که تمام مقطعی که در ادامه نشان داده می‌شود، مربوط به رخدادهای اصلی خواهد بود. مقطع بهینه زاویه ورود پرتوی مرکزی در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است. کاملاً مشخص است که مقادیر صفر در این مقطع، مربوط به رخدادهای افقی می‌باشد. مقادیر منفی و مثبت زاویه ورود نیز مربوط به جهت ورود پرتوی مرکزی است. در قسمت چپ مقطع در بخش لایه‌ایی شکل، رخدادهای بازتابی قوی دیده می‌شود که رخدادهای پراش ضعیف‌تر را پوشانده‌اند و تنها در بخش‌هایی از مقطع، این رخدادهای پراش قابل مشاهده هستند. این مساله در واقع همان مساله تداخل شیب‌ها است که در استراتژی CRS به درستی برطرف نمی‌شود. در سمت راست مقطع نیز رخدادهای پراشی وجود دارند که سایر رخدادهای قطع کرده. به عنوان مثال کاملاً مشخص است که در برخی نقاط، رخدادهای پراش آبی رنگ، سایر رخدادهای ضعیف‌تر را پوشانده و در قسمت‌های دیگر این حالت برعکس رخ داده است. در واقع، به دلیل رابطه ساده بین زاویه ورود پرتوی مرکزی و شیب بازتابنده، به راحتی از روی این مقطع می‌توانیم در مورد شیب و جهت شیب بازتابنده نظر دهیم.

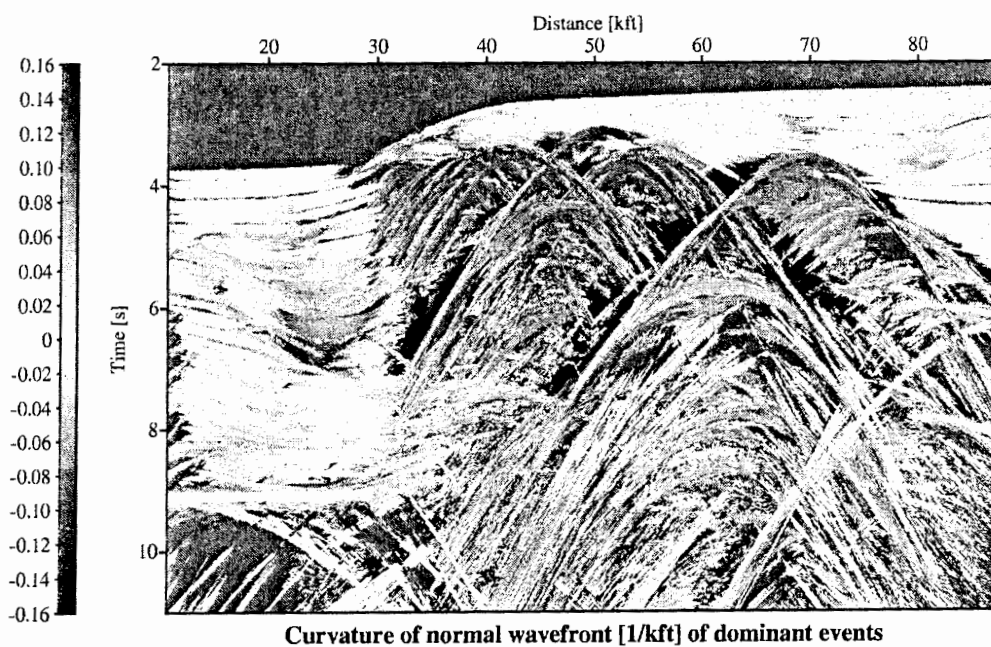
شکل ۳-۱۷ مقطع بهینه شده R_N را نشان می‌دهد. مقدار بهینه R_N در ارتباط با شعاع انحناء بازتابنده در مقطع دورافت صفر در عمق می‌باشد. برای نشان دادن و تفسیر بهتر مقدار شعاع انحنای بازتابنده، از مقدار عکس شعاع موج نرمال، $1/R_N$ ، استفاده می‌شود. زیرا که مقدار شعاع انحناء برای بازتابنده‌های مسطح، برابر بی‌نهایت 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 و منفی در این مقطع نیز به ترتیب در ارتباط با برآمدگی و فرورفتگی در بازتابنده می‌باشد.

آخرین مقطع در ارتباط با نشانگرهای جنبشی میدان موج، مقدار شعاع جبهه موج فرضی NIP یا R_{NIP} است که در شکل ۳-۱۸ نشان داده شده است. با توجه به رابطه ساده بین R_{NIP} و سرعت

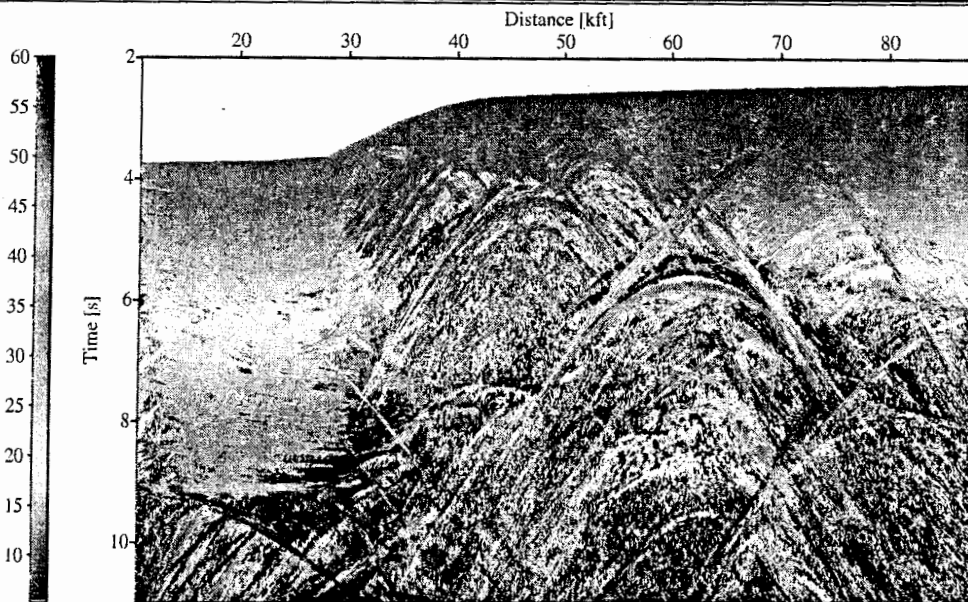
برانبارش، مقدار R_{NIP} باید به صورت تدریجی با افزایش زمان سیر، افزایش پیدا کند. بنابراین مقادیر کوچک R_{NIP} برای رخدادهای نزدیک سطح، و مقادیر بزرگتر R_{NIP} در ارتباط با رخدادهای عمیق‌تر می‌باشد. مشابه سایر مقاطع، در زیر قسمت گنبد‌های نمکی، رخدادهای پراش مربوط به رخداد کاسه وارونه به خوبی دیده می‌شوند. در این مقطع تعداد کمتری رخداد در ارتباط با سطح پایین گنبد دیده می‌شود. مقطع همدوسی مرتبط با برانبارش CRS در داده Sigsbee 2A در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است. همانگونه که انتظار می‌رفت، رخدادهای بازتابی قوی بویژه در زمان سیرهای کوتاه، مقدار همدوسی بالایی را نشان می‌دهند. در قسمت پایین مقطع، به دلیل کمتر بودن رخدادهای بازتابی، میزان همدوسی نیز اندک است. در قسمت میانی مقطع، دنباله‌های رخدادهای پراش، رخداد کاسه وارونه و سایر رخدادهای را می‌توان دنبال کرد. در سمت چپ مقطع، مقادیر بالای همدوسی در ارتباط با رخدادهای بازتابی قوی است که رخدادهای ضعیف‌تر پراش را پوشانده‌اند. بنابراین در چنین نقاطی، مقدار همدوسی در ارتباط با رخداد قوی‌تر است. این مشکل در قسمت بالای راست مقطع، جایی که تنها رخدادهای بازتابی حضور دارند، دیده نمی‌شود. در این مقطع، بالاترین مقدار همدوسی برابر ۱ است. این امر به دلیل کم بودن نویز زمینه در داده‌ها می‌باشد. در مقابل در برخی موارد مقدار همدوسی حداکثر ممکن است برابر ۰/۶ باشد که این امر به دلیل حضور نویز زمینه خواهد بود. البته لازم به ذکر است که نه برای مقادیر مختلف بازه و نه برای داده‌های مختلف، مقادیر همدوسی قابل مقایسه با یکدیگر نمی‌باشند. مقطع نهایی حاصل از برانبارش CRS در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است. در ابتدا این نکته به چشم می‌آید که نسبت سیگنال به نویز در مقطع برانبارش شده بالا است. رخدادهای بازتابی در سمت چپ و بالای مقطع به خوبی تصویر شده‌اند. رخدادهای پراش که از قله گنبد‌های نمکی ناشی شده‌اند نیز به خوبی تصویر شده‌اند. رخداد بازتابی قوی در زیر قسمت لایه‌ای شکل در زیر ۹ ثانیه نیز به خوبی تصویر شده است. در قسمت پایین مقطع نیز هیچگونه رخداد بازتابی یا پراش قابل توجهی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۳-۱۶، مقطع زاویه ورود پرتوی مرکزی مرتبط با رخداد‌های اصلی بدست آمده در روش برانبارش CRS در داده Sigsbee 2A.

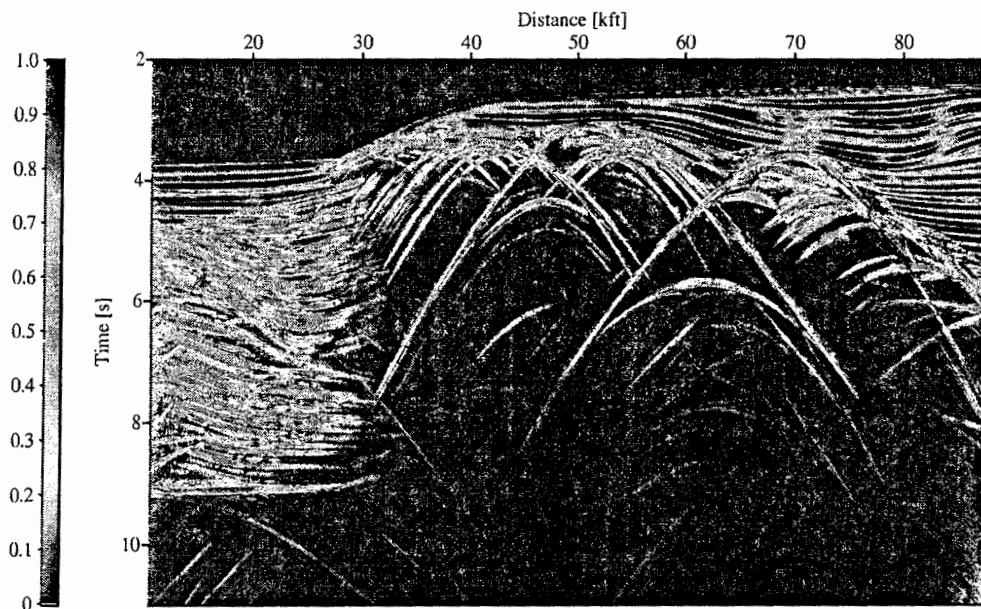


شکل ۳-۱۷، مقطع شعاع موج نرمال مربوط به رخداد‌های اصلی بدست آمده در روش برانبارش CRS در داده Sigsbee 2A.



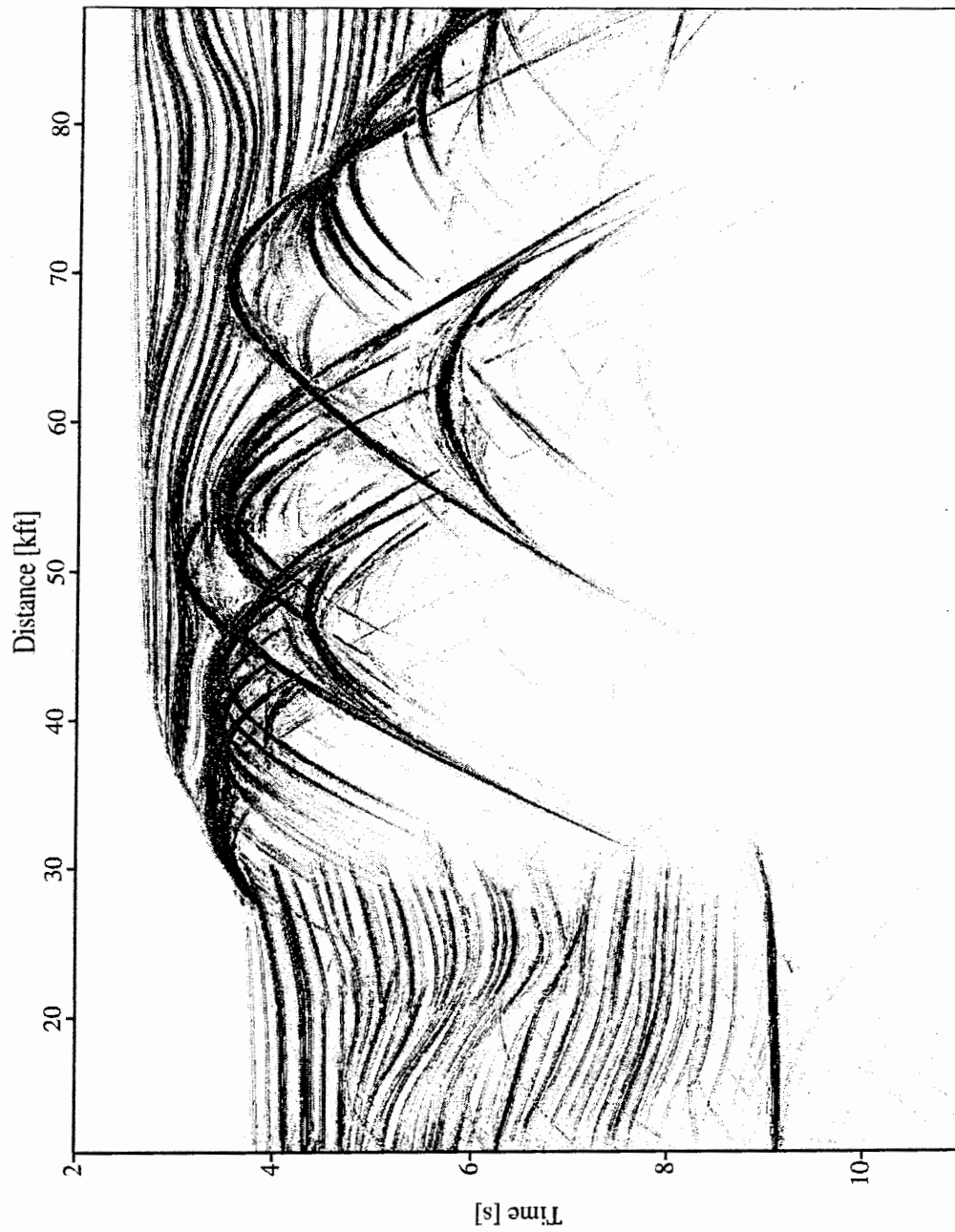
Radius of NIP wavefront [kft] of dominant events

شکل ۳-۱۸، مقطع شعاع موج NIP مربوط به رخداد‌های اصلی بدست آمده در روش برانبارش CRS در داده Sigsbee 2A.



Coherence of dominant events from optimized CRS stack

شکل ۳-۱۹، مقطع هم‌دوسی مربوط به برانبارش نهایی به روش برانبارش CRS در داده Sigsbee 2A.



Result of optimized CRS stack

شکل ۳-۲۰، مقطع برانبارش شده بهینه بدست آمده به روش برانبارش CRS در داده Sigsbee 2A.

۳-۴ داده واقعی زمینی

داده واقعی زمینی به صورت دوبعدی 2D به منظور کارهای ژئوترمال و بررسی دقیق ساختارهای زیرسطحی در تعیین محل بازتابنده‌های مهم و جانمایی گسل‌ها تا عمق ۳ کیلومتر توسط یک شرکت تولید کننده انرژی، برداشت گردیده است. پردازش‌های هرتوک (۲۰۰۴) اطلاعاتی در مورد گسل‌های کوچکتر در اختیار قرار داده است. به منظور بررسی‌های لازم، دو پروفیل برداشت دوبعدی به طول ۱۲ کیلومتر طراحی و برداشت شده است که در این تحقیق تنها از یکی از پروفیل‌های آن استفاده گردیده است. چشمه موج استفاده شده برای این برداشت، سه کامیون تولید کننده موج^۱ بودند. زمان تولید موج خطی^۲ در هر بار برابر ۱۰ ثانیه و موج از فرکانس ۱۲ هرتز تا ۱۰۰ هرتز تولید شده است. فاصله چشمه‌ها از هم برابر ۵۰ متر و از ۶ چشمه برای برابارش در سرزمین استفاده شده است. تقریباً تعداد ۳۰۰۰ گیرنده در طول پروفیل و به فاصله‌های ۵۰ متر چیده شد و هر گروه گیرنده دارای ۱۲ ژئوفون می‌باشد. در هر ژئوفون، موج‌های بازتابی با زمان نمونه برداری ۲ میلی ثانیه و زمان کل برداشت ۴ ثانیه ضبط گردیده است. هندسه برداشت داده‌ها در جدول ۳-۵ آورده شده است.

جدول ۳-۵ پارامترهای هندسی مربوط به برداشت داده‌های واقعی زمینی. در هر انفجار، گیرنده اول منطبق بر نقطه انفجار بوده است.

هندسه نقطه میانی و دورافت	
۴۲۷	تعداد شبکه CMP
۴۷	حداکثر چینش CMP
۲۵	فاصله بین شبکه CMP
۰ تا ۴۰۰۰ متر	بازه دورافت

هندسه چشمه و گیرنده	
۲۴۰	تعداد چشمه‌ها
۵۰ متر	فاصله چشمه‌ها
۲۵۰	تعداد گیرنده‌ها
۵۰ متر	فاصله گیرنده‌ها

محتوای فرکانس	
۱۲ تا ۱۰۰ هرتز	فرکانس
۱۰ ثانیه	زمان افزایش فرکانس

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

- 1- Vibrator
2- Sweep

پیش پردازش‌های مرسوم نیز بر روی داده‌ها صورت گرفته که شامل تعیین هندسه ردها، ویرایش ردها، واپیچش، تصحیح توزیع هندسی، تصحیح استاتیک و فیلتر کردن داده‌ها می‌باشد. ساختارهای زیر سطحی شامل لایه‌های تقریباً افقی با شیب ملایم و بسیار گسل خورده است. در پردازش به روش CRS، به دلیل وجود مساله تداخل شیب‌ها، تعیین کردن محل دقیق گسل‌ها و لایه‌های گسل خورده امکان پذیر نمی‌باشد. در این بخش از جستجوی تعمیم یافته برای بدست آوردن مقطع برانبارش شده دورافت صفر به روش CRS استفاده شده است. پارامترهای پردازش CRS در جدول ۳-۶ آورده شده است. در مقایسه با داده Sigsbee 2A، در داده واقعی با ساختار پیچیده‌ای روبرو نیستیم، در عوض با لایه‌هایی سروکار داریم که بسیار گسله هستند. بنابراین جستجوی زاویه در محدوده کوچکتری نسبت به داده Sigsbee 2A انجام می‌شود. مانند داده‌های قبل، تنها مقاطع بدست آمده از آخرین مرحله، برانبارش بهینه CRS نشان داده خواهد شد. مقطع سرعت برانبارش بدست آمده از گام اول، در شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل‌های قبلی مقاطع سرعت برانبارش نیز دیده شد، این سرعت به صورت تدریجی با افزایش عمق، افزایش می‌باشد. البته در قسمت‌های کوچکی از مقطع سرعت، ناهمگونی‌هایی در سرعت دیده می‌شود که به دلیل توزیع کمتر انرژی در آن مناطق است.

البته بازه جستجوی سرعت برانبارش برای این داده قدری بزرگتر از حد معمول نشان می‌دهد، ولی باید دقت کرد که این سرعت، بیانگر سرعت واقعی حرکت موج در محیط نمی‌باشد، ولی مقدار سرعت سطحی، v_0 ، بیانگر سرعت واقعی انتشار موج در نزدیک سطح زمین است. با توجه به معادله ۳-۳، سرعت برانبارش با شیب لایه در دور افت صفر رابطه دارد. برای رخدادهای ساده افقی، مقدار $\alpha = 0$ بوده و بنابراین سرعت برانبارش تقریباً معادل میانگین سرعت روباره بالای بازتابنده می‌باشد. این حالت برای مقطع سرعت برانبارش شکل ۳-۲۱ تا زمان تقریباً $1/5$ ثانیه دیده می‌شود. برای زمان سیرهای بیشتر، لایه‌ها شیب کمی به سمت راست از خود نشان می‌دهند. بنابراین سرعت برانبارش، مقدار بیشتری را از خود نشان خواهد داد.

جدول ۳-۶ پارامترهای پردازش که برای شبیه‌سازی مقطع دورافت صفر برای داده واقعی زمینی استفاده شد.

نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۳۰ 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	۱۷۰۰ متر بر ثانیه
	سرعت برابارباش تحت جستجو	۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	۰ تا ۳ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۸ میلی ثانیه
	تعداد ردهای شبیه سازی شده در ZO	۲۰۵۳
	فاصله بین ردها در شبیه‌سازی ZO	۳۳ متر
بازه جستجوی بین ردها	حداقل بازه ZO	۵۰ متر در ۰/۲ ثانیه
	حداکثر بازه ZO	۵۰۰ متر در ۱/۲ ثانیه
	حداقل بازه CMP	۲۰۰ متر در ۰/۲ ثانیه
	حداکثر بازه CMP	۲۰۰۰ متر در ۱/۲ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	۳۰٪
برابارباش خودکار CMP	اولین برونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۱۶ میلی ثانیه
	تعداد مراتب کاهش ابعاد شبکه	۳
جستجوی خطی ZO	بازه زاویه مورد جستجو	۲۰- تا ۲۰ درجه
	گام بین زاویه‌های مورد جستجو	۱ درجه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی ZO	اولین برونراند برای بزرگترین فاصله ZO	۸ میلی ثانیه
	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	۳
جستجوی هذلولوی در CS/CR	اولین برونراند نرمال برای بزرگترین دورافت	۸ 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 RNIP	۵٪
	تغییرات اولیه برای RN تبدیل یافته	۶ درجه
	تبدیل شعاع برای RN	۱۰۰ متر

در این مقطع، سرعت برانبارش به حداکثر 5000 m/s می‌رسد، در حالی که سرعت واقعی موج در آن قسمت برابر 3500 m/s است.

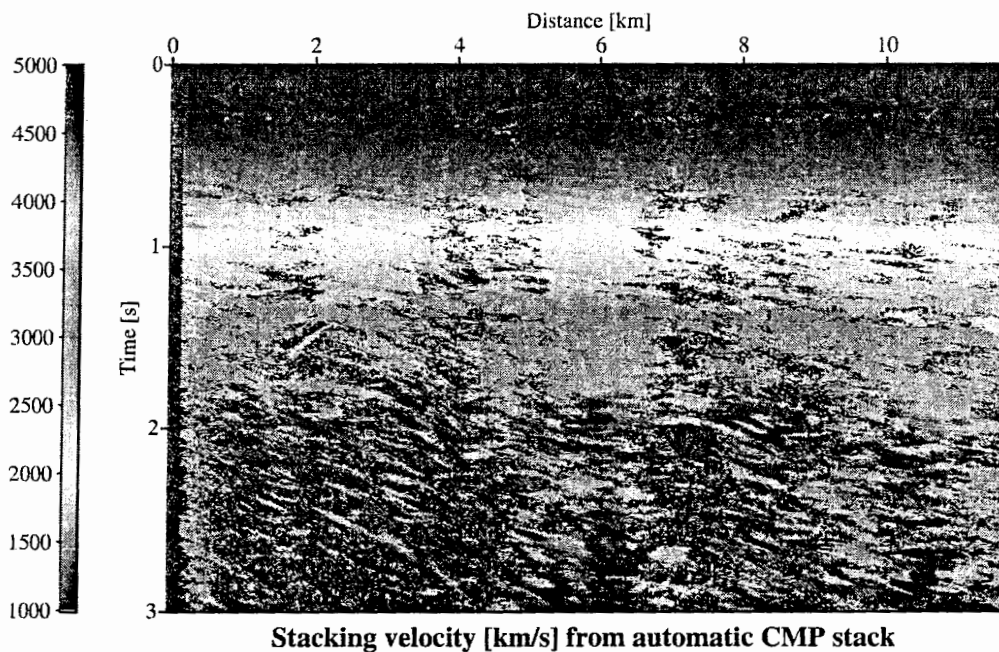
در این مقطع، تغییرات شدید سرعت دیده نمی‌شود، زیرا که تغییرات شدیدی در جنس لایه‌ها رخ نداده و تغییرات زمین شناسی مهمی نیز دیده نمی‌شود. مقطع بهینه زاویه ورود، α ، در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است. سطح مقطع بیشتر توسط رنگ قرمز کمرنگ که مربوط به زاویه ورود بسیار کوچک $0 \leq \alpha$ پوشیده شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اغلب رخدادهای دارای شیب اندکی به سمت راست مقطع هستند. از این مقطع می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب زاویه جستجوی بین -20° و $+20^\circ$ درجه منطقی می‌باشد. مقادیر غیرواقعی زوایا با رنگ خاکستری پوشانده شده‌اند. مواردی که در مورد مقدار شعاع موج R_N و چگونگی نشان دادن آن در مقطع برای داده Sigsbee 2A عنوان شد، در اینجا نیز صادق است. بنابراین مقدار صفر برای $1/R_N$ مربوط به رخدادهای مسطح است. در این صورت مقطع عکس شعاع موج نرمال برای داده واقعی زمینی که در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده، بیشتر توسط مقادیر نزدیک صفر احاطه شده است. مقادیر غیر واقعی نیز با رنگ خاکستری پوشیده شده‌اند.

شکل ۳-۲۴ مقطع بهینه شعاع موج عمود در نقطه ورود R_{NIP} را برای داده واقعی نشان می‌دهد. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، مقدار R_{NIP} با سرعت برانبارش در ارتباط است، بنابراین انتظار می‌رود که این دو مقطع تقریباً شبیه یکدیگر باشند. مقدار R_{NIP} تا زمان سیر نزدیک ۲ ثانیه به صورت تدریجی پیش می‌رود، ولی از این زمان به بعد مقدار R_{NIP} به صورت ناگهانی افزایش پیدا می‌کند.

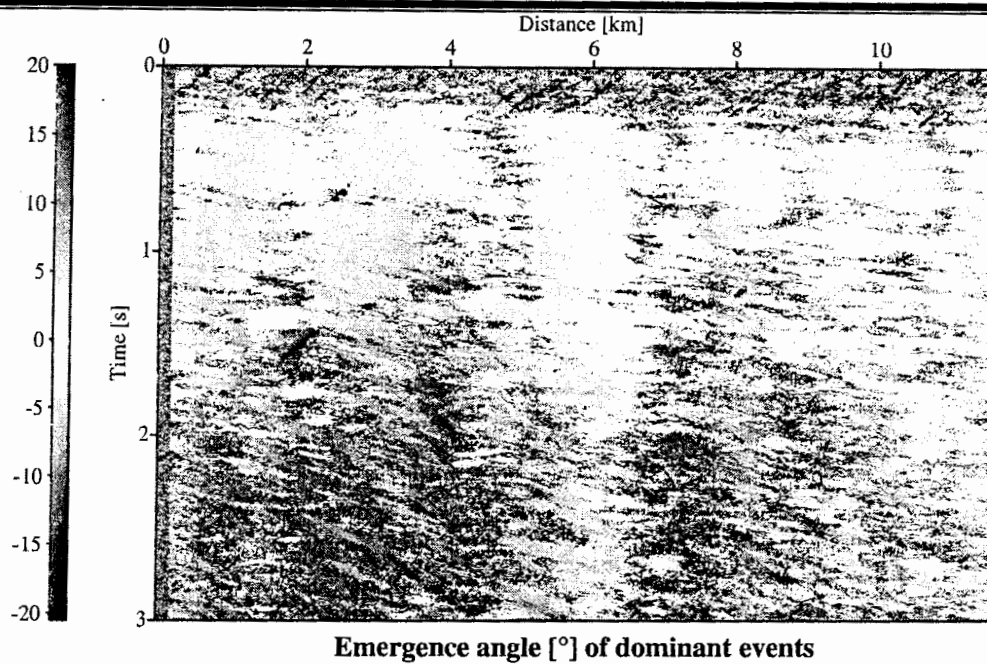
در نهایت مقطع همدوسی در شکل ۳-۲۵ آورده شده است. هرچه مقدار همدوسی برای یک نمونه در مقطع دورافت صفر بیشتر باشد، در آن صورت مقادیر نشانگرهای جنبشی میدان موج بدست آمده برای آن نقطه نیز معتبرتر خواهند بود. به دلیل وجود مقداری نویز زمینی در این داده‌ها، میزان همدوسی حداکثر در این مقطع بین صفر تا 0.5 تغییر می‌کند. در این مقطع، میزان همدوسی بالایی برای زمان‌های کمتر از $1/5$ ثانیه مشاهده می‌شود ولی برای نمونه‌های واقع در زمان سیرهای بالای

این زمان، مقدار همدوسی کاهش می‌یابد. در حالت کلی، میزان همدوسی برای اغلب نقاط بالای ۰/۲۵ است.

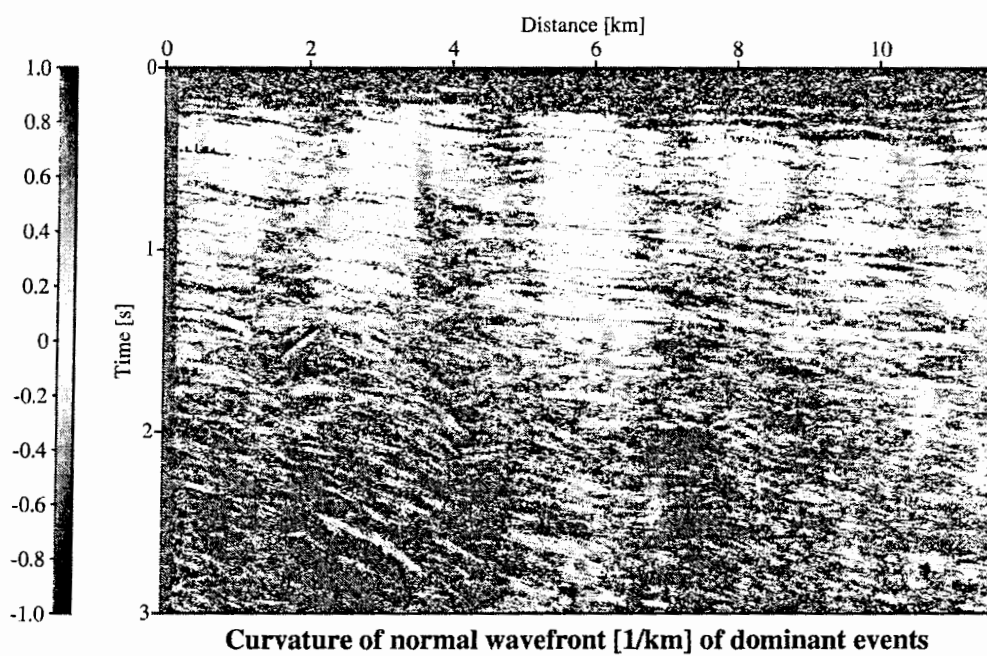
مقطع نهایی بدست آمده از پردازش CRS، مقطع بهینه برانبارش شده است که در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است. علاوه بر میزان بالای نسبت سیگنال به نویز در این مقطع، رخدادهای بازتابی در زمان سیرهای کمتر از ۱/۵ ثانیه به خوبی آشکارسازی شده‌اند. سه رخداد اصلی و بسیار واضح که در سرتاسر مقطع نیز دیده می‌شوند، در زمانهای ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۳ از محور زمان در فاصله صفر آغاز می‌شوند.



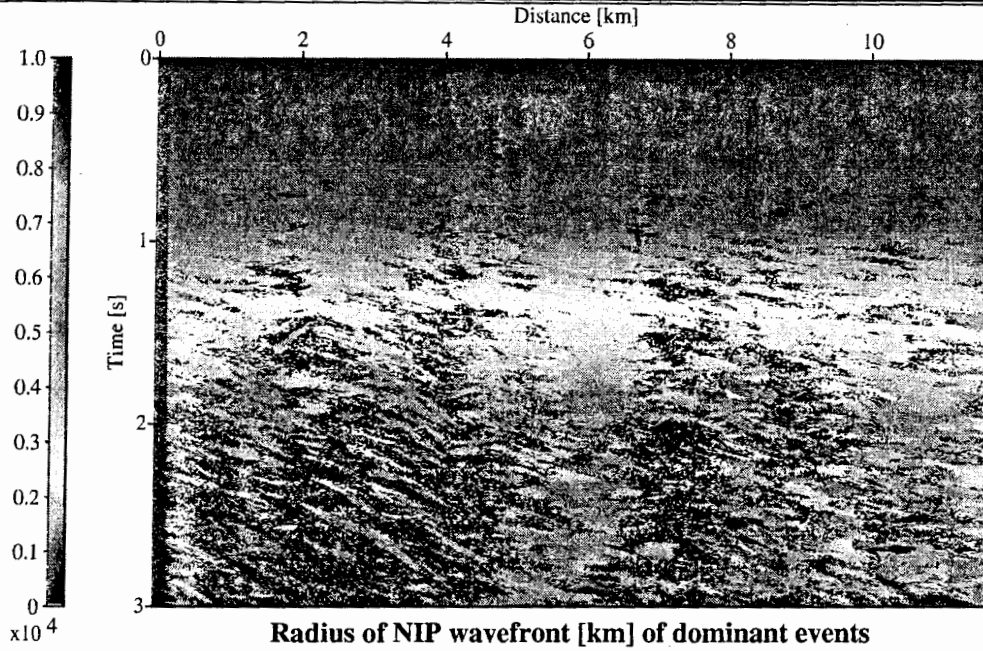
شکل ۳-۲۱، مقطع سرعت برانبارش بدست آمده در پردازش داده واقعی زمینی در برانبارش خودکار CMP.



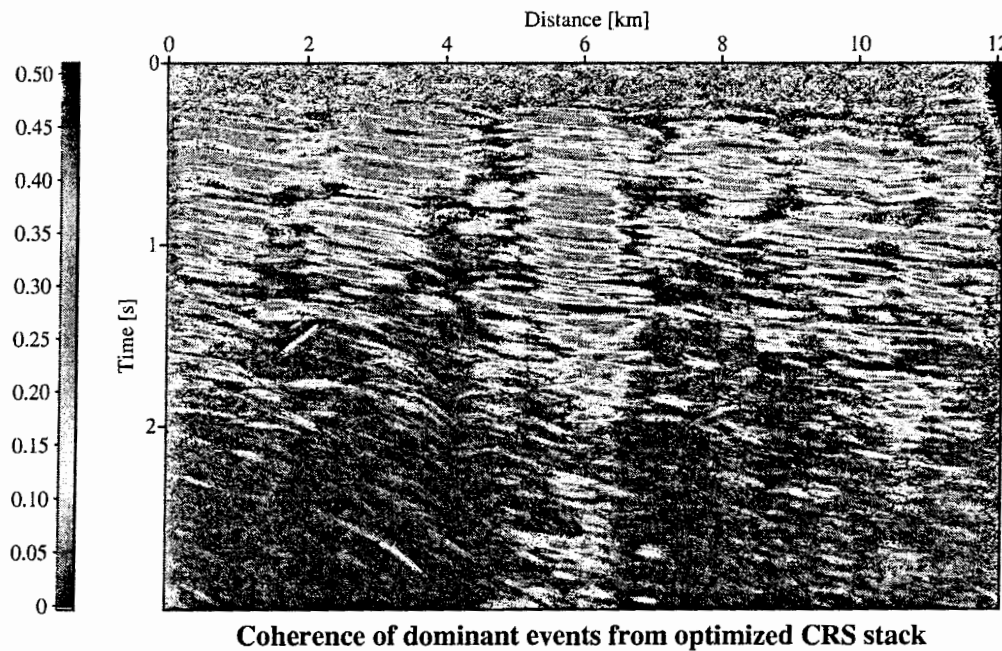
شکل ۳-۲۲، مقطع بهینه زاویه ورود پرتوی مرکزی مربوط به رخداد‌های اصلی بدست آمده در برانبارش CRS بر روی داده واقعی زمینی.



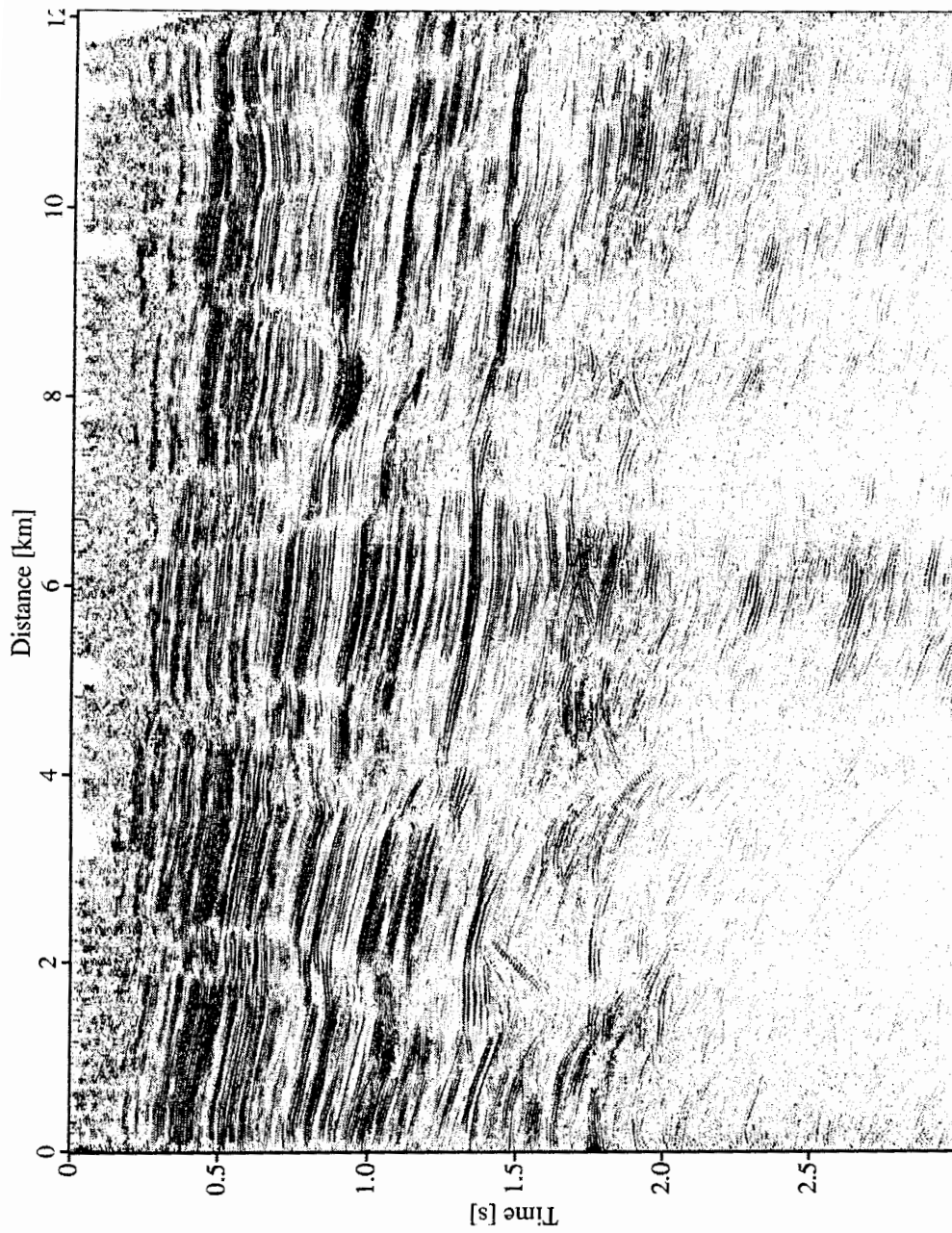
شکل ۳-۲۳، مقطع بهینه شعاع موج نرمال مربوط به رخداد‌های اصلی بدست آمده در برانبارش CRS بر روی داده واقعی زمینی.



شکل ۳-۲۴، مقطع بهینه شعاع موج NIP مربوط به رخداد‌های اصلی بدست آمده در برانبارش CRS بر روی داده واقعی زمینی.



شکل ۳-۲۵، مقطع هم‌دوسی مربوط به برانبارش نهایی به روش برانبارش CRS در داده واقعی زمینی.



Result of Optimized CRS stack

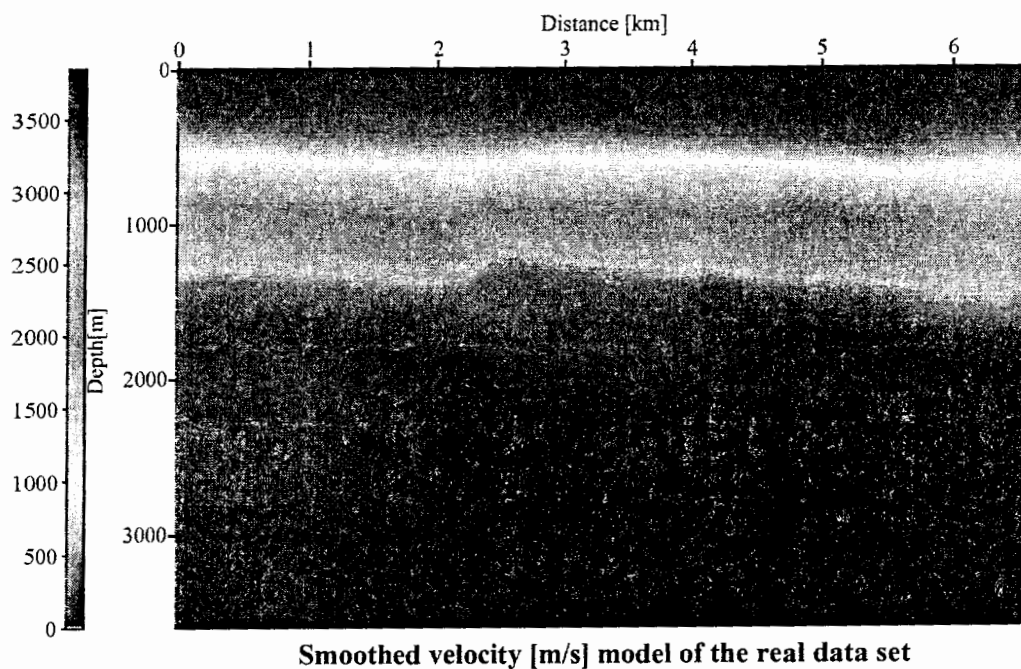
شکل ۳-۲۶، مقطع برانبارش شده بهینه بدست آمده به روش برانبارش CRS در داده واقعی زمینی.

با دنبال کردن این رخدادها در طول مقطع، یک گسل بسیار بزرگ و یک گسل بزرگ در فاصله قدری کمتر از ۲ کیلومتر و قدری بیشتر از ۲ کیلومتر به ترتیب در فواصل زمانی ۰/۲ ثانیه تا نزدیک ۱/۵ ثانیه دیده می‌شوند. اگرچه برخی از نقاط سفید رنگ در این محدوده‌ها مربوط به کمتر بودن انرژی در آن مناطق است، ولی جابجایی رخدادها در اثر گسله شدن در دوطرف گسل به خوبی آشکار است. لازم به ذکر است که محل دقیق گسل‌ها در زیر سطح باید در مقطع کوچ مشخص شود. با این حال مقطع برانبارش نیز می‌تواند در شناسایی محل‌های گسله و آن چیزی که در مقطع کوچ داده شده انتظار آنرا داریم، کمک نماید. بنابراین می‌توانیم در مقطع کوچ داده شده، گسل‌های کوچکتر ولی به تعداد زیادی را در عمق‌های کم و در فاصله بین ۶ تا ۱۲ کیلومتری انتظار داشته باشیم. گسل بزرگ دیگر در فاصله ۶/۳ کیلومتری و در زمان ۱/۵ ثانیه دیده می‌شود که بر بیشتر رخدادها اثر گذاشته است.

مدل سرعت این داده‌ها نیز توسط هر توک (۲۰۰۴) در دسترس گذاشته شده است. همانگونه که در دویبخش قبل عنوان شد، روش NIP توموگرافی از تئوری امواج NIP و همچنین نشانگرهای R_{NIP} و α به منظور معکوس سازی و تهیه مدل سرعت استفاده می‌کند. یکی از بزرگترین مزیت‌های این روش آن است که به دلیل در دسترس بودن مقطع همدوسی، می‌توان دستچین کردن نقاط را به صورت کاملاً اتوماتیک انجام داد. به دلیل نرم بودن مدل، لازم نیست که برای انتخاب نقاط، یک رخداد را به صورت کامل در ردهای کنارهم دنبال کرد، با این حال به دلیل تخمین پاسخ‌های CRP در دورافت-های متفاوت به کمک نشانگرهای CRS، از میزان تغییرات جانبی سرعت مورد قبول در این روش قدری کاسته خواهد شد. جزئیات این روش در دوونک (۲۰۰۴)، آورده شده است.

نتیجه پردازش NIP توموگرافی بر روی این مدل، تعداد ۲۱ نقطه اصلی (B-spline) در جهت x تعداد ۱۶ نقطه اصلی (B-spline) در جهت z و تعداد ۱۱۲۰ نقطه دستچین شده بر روی مقطع بود. مدل سرعت نرم، $v(x,z)$ ، در شکل ۳-۲۷ نشان داده شده است. این مدل شباهت‌هایی با مدل سرعت برانبارش بدست آمده در گام اول برانبارش خودکار CMP دارا می‌باشد. سرعت با افزایش عمق به

صورت تدریجی افزایش پیدا می‌کند. هیچگونه تغییرات بزرگ جانبی سرعت در مدل دیده نمی‌شود. میزان جابجایی لایه‌ها در دوطرف گسل نیز چندان زیاد نیست که تغییرات جانبی سرعت بزرگی را در مدل ایجاد کند. بیشترین میزان سرعت در مدل مربوط به لایه انتهایی و برابر 3500 m/s است، در حالی که این مقدار در مقطع سرعت برانبارش، برابر 5000 m/s بدست آمده بود. بنابراین می‌توان نشان داد که مقطع سرعت برانبارش، نمی‌تواند به عنوان مقطعی برای نشان دادن سرعت حرکت موج در لایه‌ها در نظر گرفته شود. از مدل سرعتی $v(x,z)$ که توسط روش NIP توموگرافی بدست می‌آید، در فصل بعد برای انجام کوچ استفاده می‌شود.



شکل ۳-۲۷، مدل همواره شده سرعت $v(x,z)$ بدست آمده از روش NIP توموگرافی معکوس بر اساس نشانگرهای جنبشی میدان موج حاصل از برانبارش CRS برای داده واقعی زمینی.

فصل چہارم

ارائہ روش

فصل چهارم

ارائه روش

۱-۴ مساله تداخل شیب‌ها

هر زمان که موج با عارضه ای برخورد کند که شعاع انحنای عارضه قابل مقایسه با طول موج و یا از آن کوچکتر باشد، قانون‌های معمولی بازتاب و شکست دیگر معتبر نخواهند بود. در این گونه موارد موج بجای بازتاب یا شکست، پراشیده می شود. قانون های پراش پیچیده اند ولی در فاصله های بزرگتر از چندین طول موج از نقطه پراش، جبهه موج پراشیده به همان شکلی در می آید که در قانون اسنل از آن به عنوان چشمه‌های سازنده صحبت می شود، (ایلماز، ۲۰۰۱).

منحنی پراش در حوزه زمان، مانند بازتاب می‌باشد و یک هذلولی را نشان می دهد که به آن، هذلولی پراش گویند. شکل ۱-۴ منحنی زمان سیر یک هذلولی پراش را نشان می‌دهد. در حالتی که نقطه انفجار درست در بالای نقطه پراش باشد، برای روبراه همگن با سرعت v ، نقطه پراش در مختصات (x, z) ، چشمه در مختصات $(x_m - h)$ و گیرنده در مختصات $(x_m + h)$ ، منحنی زمان سیر پراش بوسیله معادله زیر بیان می شود (ایلماز، ۲۰۰۱):

$$t_d = \frac{2}{v} \times \left[\sqrt{(x_m + h - x)^2 + z^2} + \sqrt{(x_m + h + x)^2 + z^2} \right] \quad (1-4)$$

که در آن x مختصات نقطه میانی و h دورافت است. این معادله که بیانگر ریشه مربعیات است، برای دورافت مخالف صفر $h \neq 0$ تبدیل به یک هذلولی خواهد شد.

رخدادهای پراش دارای شیب تندتری نسبت به رخدادهای بازتاب بوده و دارای دنباله‌ایی طولانی در مقطع دورافت صفر هستند که می‌تواند سایر رخدادهای بازتابی و یا رخدادهای پراش موجود در مقطع را قطع کند. همانگونه که در مقطع دورافت صفر مربوط به داده مصنوعی Sigsbee 2A (شکل ۳-۲۰) نیز مشاهده می‌شود، مقطع برانبارش شده دارای رخدادهای پراش فراوانی می‌باشد که رخدادهای دیگر را قطع کرده است. رخدادهای پراش قوی در مرکز و در قسمت راست مقطع مربوط به تاقدیس‌ها و رخدادهای پراش ضعیف‌تر در قسمت لایه ایی شکل مربوط به گسل‌ها و همچنین نقاط پراشی است که در مدل تعبیه شده است. بنابراین می‌توان حدس زد که در اغلب نقاط در مقطع دورافت صفر با مساله تداخل شیب‌ها مواجه هستیم. رخدادهای دیگری مانند گنبد‌های نمکی و تاقدیس‌ها که در اغلب ساختارها به وفور دیده می‌شوند نیز مشکل تداخل شیب‌ها را در یال‌های خود، محلی که با لایه‌های افقی برخورد دارند، ایجاد می‌کنند. در شکل‌های کاسه وارونه در مقطع دورافت صفر، یک رخداد خودش را قطع کرده و مساله تداخل شیب‌ها را ایجاد می‌کند. این بدان معنی است که در واقع در یک نقطه شبیه سازی شده در مقطع دورافت صفر، بیش از یک رخداد وجود داشته است. بنابراین حتی با در دست داشتن یک مدل سرعت دقیق، در مقطع کوچ داده شده‌ایی که از چنین مقطع دورافت صفری بدست آید، محل تقاطع یال‌های گنبد نمکی و یا تاقدیس‌ها و همچنین محل گسل‌ها به خوبی تصویر نخواهند شد. 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.

هیل (۱۹۹۱)^۱ عنوان می‌کند که روش DMO در مراحل پردازش مرسوم قادر به رفع مساله تداخل شیب‌ها خواهد بود و مان (۲۰۰۱) روش استراتژی تعمیم یافته را برای رفع این مشکل به صورت جزئی در پردازش CRS ارائه می‌کند. تئوری DMO و استراتژی تعمیم یافته مان (۲۰۰۱) به صورت

1- Hale (1991)

کامل در ادامه این فصل توضیح داده خواهد شد. از نظر عملگر برانبارش در CRS، مساله تداخل شیب‌ها به صورتی است که در نقطه‌ایی در مقطع دورافت صفر، دو یا چند رخداد یکدیگر را قطع کنند. در مرحله پردازش CRS به روش استراتژی معمول، 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. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، آنالیز همدوسی برای هر سه نشانگر جنبشی میدان موج 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. بنابراین تنها آن رخدادی که سطح برانبارش بر آن بیشتر منطبق می‌شود، مد نظر قرار دارد. مشخص است برانبارشی که بدین صورت انجام گیرد، (بویژه در محل‌هایی که مساله تداخل شیب‌ها با شدت بیشتری وجود دارد) تمام اطلاعات موجود در مقطع نهایی نشان داده نمی‌شود. البته لازم به ذکر است که این مشکل، مزیت اصلی پردازش CRS که همان نسبت سیگنال به نویز بالای مقطع و همچنین پیوستگی رخدادهای می‌باشد را تحت تاثیر قرار نخواهد داد.

برای برطرف کردن مساله تداخل شیب‌ها مان (۲۰۰۱) اولین تلاش را با اضافه کردن یک مرحله جستجو به روش قبلی آغاز کرد، که توضیح آن در ادامه می‌آید. وی عنوان کرد که برای شبیه‌سازی خوب مقطع دورافت صفر در چنین شرایطی، تعیین تنها یک عملگر برانبارش در نقطه مذکور کافی نبوده 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 است. برای درک بهتر روش‌های جستجوی متفاوت، یعنی روش جستجوی معمول، روش جستجوی توسعه یافته و روش جدید ارائه شده، لازم است که فلوچارت‌های ساده شده آنها با یکدیگر مقایسه شوند. عملگر برانبارش برای یک نمونه در مقطع دورافت صفر توسط معادله ۲-۲۵ بیان می‌شود. در برانبارش CRS، آنالیز همدوسی بر روی عملگرهایی انجام می‌شود که

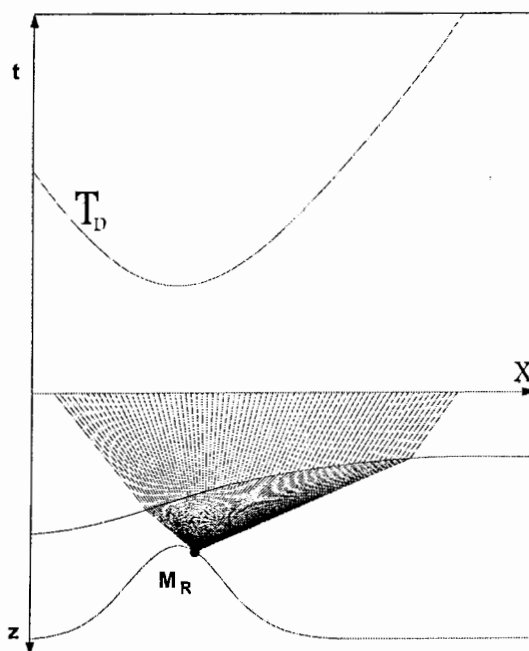
توسط معادله ۲-۲۵ برای هر ترکیب ممکن از نشانگرهای جنبشی میدان موج در یک بازه مشخص ترسیم می‌شوند. ولی در روش جستجوی توسعه یافته، باید یک ماکزیمم کلی و چندین ماکزیمم محلی از نشانگرها بر حسب میزان همدوسی به کمک آنالیز همدوسی تعیین شود. فلوچارت ساده شده استراتژی معمول جستجوی نشانگرهای جنبشی میدان موج در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. در این فلوچارت، ماکزیمم کلی همدوسی در مقابل نشانگرهای جنبشی میدان موج در سه جستجوی تک پارامتری تعیین خواهند شد و بر روی هر کدام از آنها می‌توان به صورت اختیاری، یک مرحله بهینه سازی نیز انجام داد.

۲-۴ استراتژی جستجوی تعمیم یافته

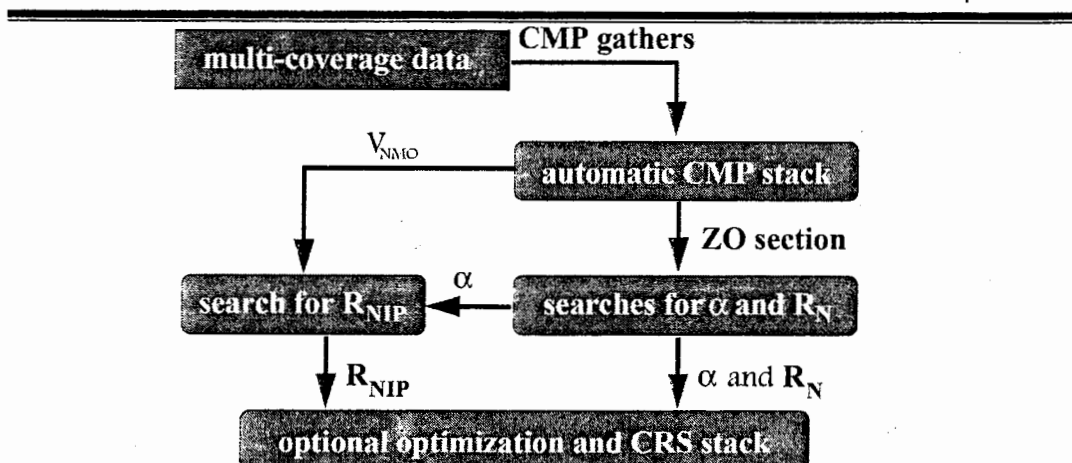
در این بخش هدف از تعمیم استراتژی، حل معادله CRS به گونه‌ای است که بتوان بر مشکل تداخل شیب‌ها غلبه کرد، نسبت سیگنال به نویز را افزایش داد و حداکثر اطلاعات را استخراج نمود. بنابراین استراتژی معمول باید به گونه‌ای تغییر کند که مساله تداخل شیب‌ها را نیز بتواند مد نظر قرار دهد. با توجه به توضیحات ارائه شده در روش حل معادله CRS، می‌توان دریافت که مساله تداخل شیب‌ها از همان ابتدا در مرحله برانبارش CMP قابل حل نمی‌باشد. سرعت برانبارش تا حدی تحت تاثیر مقدار شیب قرار دارد ولی علامت یا جهت شیب در آن تاثیر نخواهد داشت. به نظر می‌رسد که حوزه دیگری از داده‌ها مانند ورداشت‌های نقطه انفجار مشترک (CS) و یا گیرنده مشترک (CR)، ورداشت‌های مناسبی برای در نظر گرفتن انواع شیب‌ها در یک نمونه باشند. در ابتدا به نظر می‌رسد که دو جستجوی تک پارامتری برای شیب (α)، و سپس جستجوی شعاع انحناء در ورداشت CS/CR می‌تواند مشکل را برطرف کند. ولی مان (۲۰۰۱) با اعمال این روش بر روی داده‌های قبل از برانبارش شده نشان داد که در صورت پایین بودن نسبت سیگنال به نویز، مقطع نهایی حاصل از کاربرد این روش نسبت به مقطع نهایی بدست آمده از پردازش مرسوم، یعنی برانبارش CMP، کیفیت به مراتب پایین‌تری به همراه خواهد داشت. بنابراین باید آرایش دیگری از داده‌ها را برای جستجوی نشانگر باقی-

مانده انتخاب کرد. برای برطرف کردن مساله تداخل شیبها، ابتدا باید نقاطی که این مساله در آنها رخ داده است را پیدا کرد. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، در استراتژی معمول، تنها زوایای ورود رخدادهای اصلی که بیشترین میزان همدوسی را نشان می‌دهند به عنوان نشانگر بهینه انتخاب خواهند شد. بنابراین مساله تداخل شیبها از لحاظ تئوری معادل وجود زوایای ورود متفاوت α است - i بیانگر تعداد زوایای ورود است- که میزان همدوسی بالایی را نشان می‌دهند. به منظور بررسی سایر شیبها، لازم است که حدود آستانه‌ایی در میزان همدوسی به عنوان معیار در نظر گرفته شود. یک آستانه به عنوان مقدار حد آستانه مطلق و یک معیار به عنوان حد آستانه محلی در نظر گرفته شود که به ترتیب برای شناسایی ماکزیمم کلی و ماکزیمم محلی به کار می‌رود.

شکل ۳-۴ دیاگرامی را نشان می‌دهد که در آن زوایای ورود بر حسب میزان همدوسی برای یک نمونه واقع بر یک رخداد واقعی نشان داده می‌شود. به این دیاگرام، طیف زاویه گفته می‌شود که نشان دهنده مقدار زاویه در مقابل میزان همدوسی است.



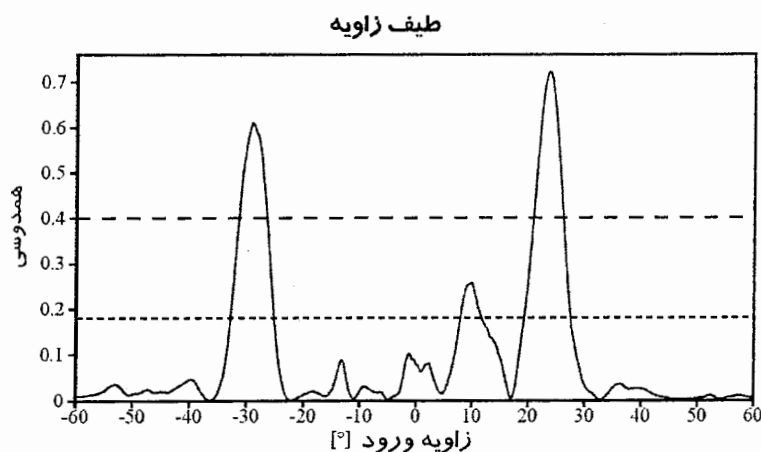
شکل ۳-۴، پایین) پرتوهای پراش ایجاد شده در نقطه M_R در عمق و بالا) منحنی زمان سیر پراش برای پرتوهای مربوطه در حوزه زمان، (ایلماز، ۲۰۰۱).



شکل ۴-۲، فلوجارت ساده شده روش جستجوی معمول، (مولر، ۱۹۹۸).

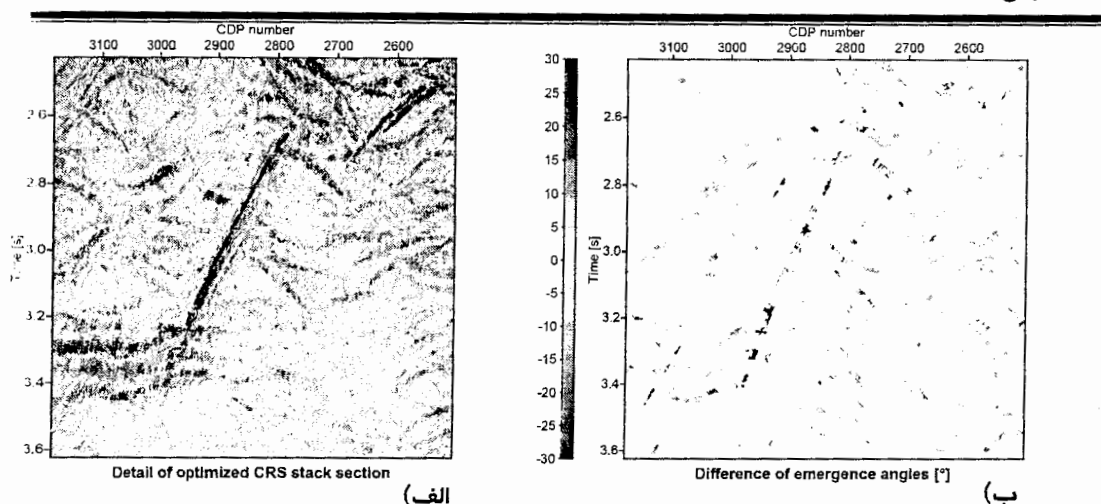
در این مثال خاص، تعداد سه ماکزیمم جداگانه قابل مشاهده است که در زوایای ۲۹- درجه و ۲۴+ درجه مربوط به دو رخداد پراش و در زاویه ۱۰+ درجه مربوط به یک رخداد بازتاب است. میزان آستانه مطلق در این مثال برابر ۰/۴ و میزان آستانه محلی، ۲۵٪ آستانه مطلق در نظر گرفته شده است. اگر زاویه‌ایی معیار ماکزیمم محلی را ارضاء کند، در آن صورت به عنوان یکی از نشانگرها برای تهیه سطح برانبارش انتخاب خواهد شد، در غیر این صورت حذف می‌شود. باید دقت شود که اگر این معیار خیلی کوچک انتخاب شود، در آن صورت تعداد زیادی زاویه انتخاب شده و زمان محاسبات افزایش خواهد یافت. اگر هم این معیار بزرگ انتخاب شود، در آن صورت ممکن است تعدادی از رخدادهای مهم در نظر گرفته نشوند. انتخاب مناسب آستانه‌های محلی و کلی به عهده پردازشگر است. ذکر این نکته در اینجا مهم است که در استراتژی جدیدی که در ادامه گفته خواهد شد، در نظر گرفتن تمام این زوایای ورود، نه تنها باعث افزایش نویز زمینه در مقطع نهایی خواهد شد، بلکه زمان پردازش را نیز تا حد زیادی افزایش خواهد داد. بدین ترتیب لازم است که برای جداسازی ماکزیمم-های کلی و ماکزیمم‌های محلی مربوط به رخدادهای واقعی در طیف زوایای ورود، از معیارهای خاصی در ارتباط با میزان همدوسی استفاده شود. مان (۲۰۰۱) سه شرط را برای جداسازی ماکزیمم‌های

محلی و مطلق عنوان می‌کند. در حالت کلی و بویژه در داده‌های با نویز بالا، میزان ماکزیمم کلی باید یک حد آستانه‌ایی را ارضاء کند. در ادامه، ماکزیمم محلی نیز باید درصدی از ماکزیمم کلی را ارضاء کند. همانگونه که در معرفی استراتژی CRS نیز بیان شد، برای زمان سیر و بازه یکسان در یک رخداد بازتابی واقعی میزان همدوسی برابری بدست می‌آید. این بدان معنی است که ماکزیمم محلی به ماکزیممی گفته می‌شود که از حد آستانه‌ایی که به صورت درصدی از حد آستانه کل تعیین می‌شود، عبور کند. با در نظر گرفتن این فرض، تنها دو زاویه در طیف زاویه شکل ۳-۴ به عنوان ماکزیمم کلی در نظر گرفته می‌شود. شرط دیگر بیان می‌کند که ماکزیمم‌ها باید به صورت کامل قابل تفکیک باشند. در حالت کلی برای شناسایی و جداسازی اکستریم‌ها، تغییر علامت شیب به عنوان یک ابزار مرسوم استفاده می‌شود. علاوه بر آن باید دقت کرد که از انتخاب چندگانه‌ها پرهیز شود. شرط آخر در حالت کلی بیان می‌کند که برای جداسازی ماکزیمم‌ها از یکدیگر، قبل از آنکه تغییر علامت در شیب-های دامنه دو طرف ماکزیمم را به عنوان معیاری برای شناسایی ماکزیمم قرار دهیم، معیاری را مورد استفاده قرار دهیم که در آن میزان همدوسی بعد از هر ماکزیمم، به میزان قابل توجهی کاهش پیدا کند. این میزان در برنامه‌های CRS، معادل ۷۰٪ میزان ماکزیمم مطلق در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۴، همدوسی به عنوان تابعی از زاویه ورود α که در طول عملگر خطی برای مقطع برانبارش شده CMP و برای نمونه (x_0, t_0) محاسبه شده است. خطوط نقطه چین بزرگ، مقدار حد آستانه مطلق برای تعیین ماکزیمم کلی و خطوط نقطه چین کوتاه، حد آستانه محلی را برای تعیین ماکزیمم محلی نشان می‌دهد. (مان، ۲۰۰۲).

علاوه بر آن، میتوان مقطعی را بدست آورد که در آن میزان تفاوت زوایای ورود پرتوی مرکزی در یک نمونه نشان داده شود. شکل ۴-۴ این چنین مقطعی را به همراه مقطع برانبارش آن نشان می‌دهد. در مرکز مقطع برانبارش شده در شکل ۴-۴ (الف) یک رخداد شیب‌دار مشخصی دیده می‌شود که با سایر رخدادها تداخل ایجاد کرده است. در بیشتر بخش‌های مقطع برانبارش شده، رخداد شیب‌دار به خوبی تصویر شده، ولی در سمت پایین چپ مقطع، این رخداد توسط رخدادهای افقی بازتابی پوشیده شده است. بنابراین انتظار داریم که بیشتر نقاطی که دارای مشکل تداخل شیب‌ها هستند، در طول این رخداد شیب‌دار قرار گرفته باشند. مقطع تفاوت زوایای ورود نیز نمونه‌هایی که در آنها مساله تداخل شیب‌ها رخ داده است را نشان می‌دهد. اغلب قسمت‌های این مقطع دارای مقدار صفر است که بیانگر آن است که هیچگونه مساله تداخل شیب‌ها در آن نقاط وجود ندارد. در مقابل، نقاط رنگی در مقطع نشان دهنده نمونه‌هایی است که مساله تداخل شیب‌ها در آنها وجود دارد. رخداد با شیب تند را در این مقطع نیز می‌توان دنبال کرد، چراکه اغلب نقاط با مساله تداخل شیب‌ها در امتداد این رخداد واقع هستند. همانگونه که دیده می‌شود، در سمت پایین چپ این مقطع در شکل ۴-۴ (ب) مساله تداخل شیب‌ها نیز کاملاً به چشم می‌خورد که تا حدی برطرف شده است. اکنون پس از شناسایی نقاطی که مساله شیب‌های متداخل در آن وجود دارد، نوبت تعیین یک استراتژی است که بتواند این مساله را در مقطع برانبارش نهایی برطرف کند. البته قبل از آن، ذکر این نکته ضروری است که تفاوتی در تئوری تصحیح DMO و استراتژی تعمیم یافته و همچنین استراتژی جدید که هدف اصلی این تحقیق است وجود دارد. بدین صورت که در تصحیح DMO، تمام رخدادهایی که در برانبارش دخالت می‌کنند، با تمام زوایای ممکن توسط عملگر DMO جمع آوری می‌شوند، در حالی که در استراتژی-های CRS، این عمل برای تمام زوایای ممکن به صورت ناپیوسته انجام می‌گیرد.



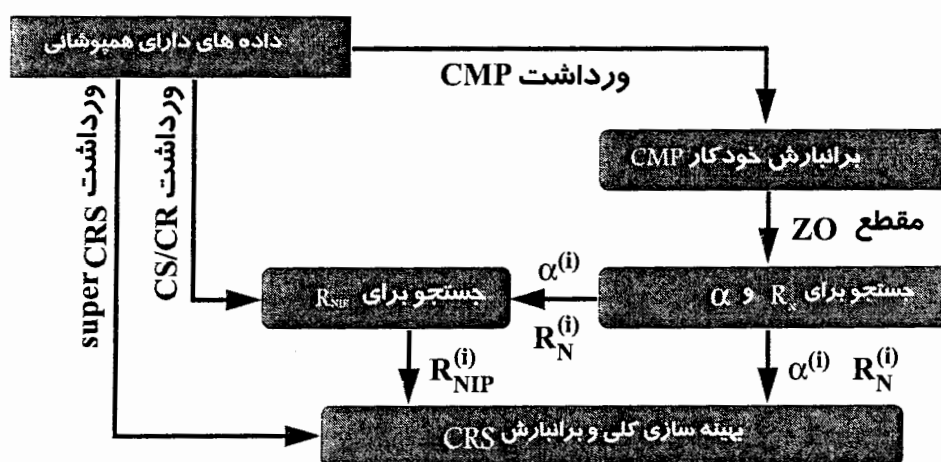
شکل ۴-۴. الف) مقطع برانبارش CRS بهینه، و ب) تفاوت بین دو زاویه ورود پرتوی مرکزی مربوط به مقطع برانبارش شده. (مان، ۲۰۰۱).

در گام دوم، جستجوی خطی دورافت صفر باید برای شیب‌های متداخل و یا زوایای ورود متفاوت $\alpha^{(i)}$ که در مرحله قبل شناسایی شده‌اند، انجام گیرد. $\alpha^{(i)}$ بیانگر زاویه ورود پرتوی مرکزی مربوط به رخداد اصلی است و سایر زوایا نیز بر حسب میزان همدوسی آنها مرتب خواهند شد. تعداد زوایایی که در استراتژی تعمیم یافته می‌توان در نظر گرفت، تنها به مقدار پنج زاویه ورود خواهند بود.

مرحله بعد، جستجوی هذلولوی دورافت است که برای هر زاویه ورود که در گام قبل مشخص شده بود، انجام گرفته و میزان شعاع انحنای سطح بازتابنده $R_N^{(i)}$ را برای هر زاویه ورود بدست می‌دهد. واضح است که مانند مرحله قبل، مقدار $R_N^{(i)}$ شعاع انحناء مربوط به رخداد اصلی خواهد بود. تعداد مقادیر شعاع انحناء برابر تعداد زوایای ورود در نظر گرفته شده است. اکنون تنها نشانگر باقی‌مانده، $R_{NIP}^{(i)}$ است. در استراتژی جستجوی معمول، مقدار $R_{NIP}^{(i)}$ به کمک رابطه ساده‌ایی که بین سرعت برانبارش V_{stack} که در گام اول بدست آمده و زاویه ورود، محاسبه می‌گردید.

ولی در اینجا مجموعه‌ایی از زوایای ورود متفاوت α^i برای یک نقطه و در مقابل تنها یک مقدار سرعت برانبارش موجود است. تنها راه تعیین R_{NIP}^i ، جستجو در زیر مجموعه جداگانه‌ایی از حجم

داده‌های مورد بررسی است. (مان، ۲۰۰۱) عنوان کرد که این مساله نه در آرایش CMP و نه در آرایش دورافت صفر قابل بررسی است. وی آرایشی بین این دو حالت را در نظر گرفت، و برداشت انفجار مشترک (CS) و برداشت گیرنده مشترک (CR). در این مرحله، برای هر $\alpha^{(i)}$ و هر $R_N^{(i)}$ ، یک جستجو برای $R_{NIP}^{(i)}$ انجام می‌شود. در انتهای این گام، دسته‌ایی از تمام نشانگرها به صورت کامل برای هر نمونه در دست است. شکل ۴-۵ فلوجارت ساده شده جستجوی توسعه یافته را که به صورت جزئی مساله تداخل شیبها را حل می‌کند، نشان می‌دهد.

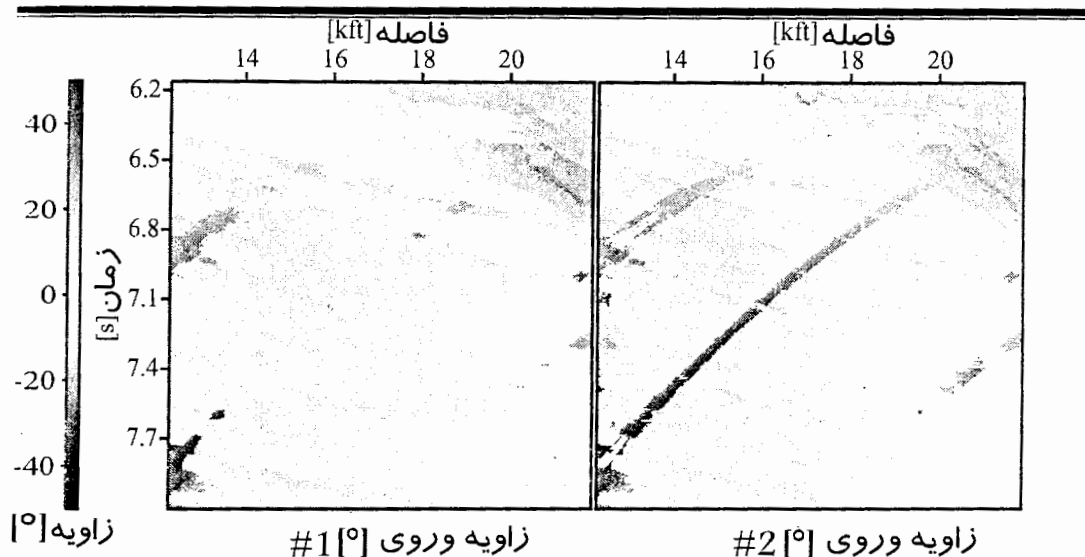


شکل ۴-۵، فلوجارت ساده شده روش تعمیم یافته. گام‌های گفته شده برای هر نمونه بر روی مقطع دورافت صفر انجام می‌شود. برداشتی که در آن تمام ردهایی که در بازه مخصوص CRS قرار گیرند حضور داشته باشند، به عنوان برداشت کلی^۱ در نظر گرفته می‌شود. (مان، ۲۰۰۱).

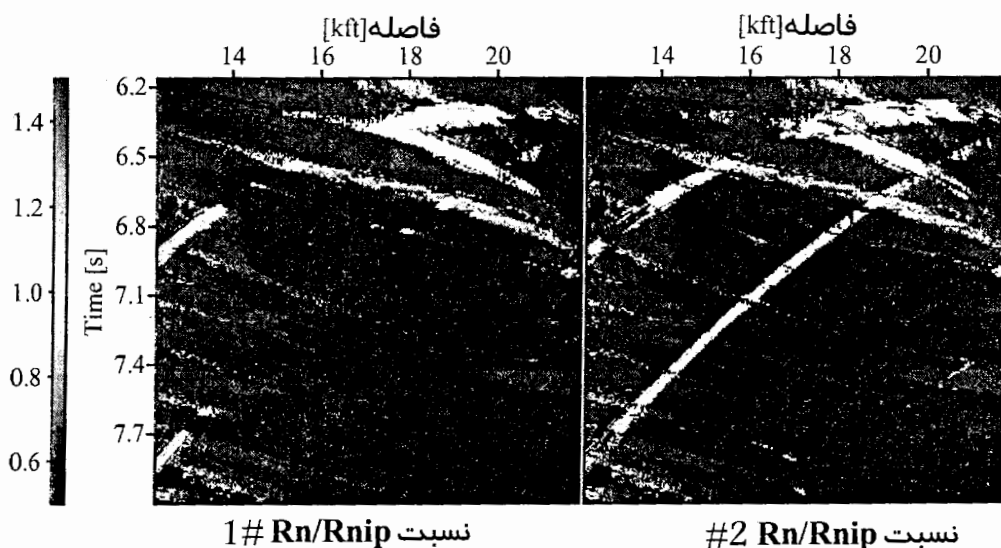
برای درک بهتر نتیجه استراتژی جستجوی تعمیم یافته، شکل ۴-۶ مقطع بدست آمده از این روش در برآیند CRS بر روی بخشی از داده Sigsbee 2A را نشان می‌دهد. این شکل، دو بخش کوچک از مقطع برآیند شده را به روش استراتژی تعمیم یافته برای دو زاویه ورود $\alpha^{(1)}$ و $\alpha^{(2)}$ نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود، استراتژی تعمیم یافته، برای هر زاویه ورود، مقطع جداگانه‌ایی بدست می‌دهد. در جاهایی که تنها یک رخداد وجود داشته باشد، این مقاطع به منظور کاهش حجم محاسبات،

1- Super gather

یکسان در نظر گرفته شده‌اند. در مقطع دست چپ در شکل ۴-۶، زاویه ورود رخدادهای اصلی نشان داده شده است در حالی که در مقطع سمت راست، رخدادهای مربوط به زوایای با بزرگترین ماکزیمم محلی نشان داده شده است. همانگونه که در مقطع سمت چپ دیده می‌شود، رخدادهای پراش با زاویه ورود منفی کاملاً توسط رخدادهای بازتابی پوشیده شده‌اند. در عوض در مقطع سمت راست، این رخدادهای پراش که مربوط به زاویه با بیشترین ماکزیمم محلی هستند، به خوبی دیده می‌شوند. شکل ۴-۶ بیان می‌کند برای نمونه‌هایی که بر روی رخدادهای پراش واقع هستند، دو عملگر برانبارش برای تولید مقاطع سمت چپ و راست در نظر گرفته شده است. زاویه ورود در این عملگرها برای نقاطی که در طیف زاویه بیش از یک ماکزیمم محلی دارند، متفاوت است. اگر نسبت جبهه‌های موج NIP و نرمال به یکدیگر را در نظر بگیریم، این نسبت برای رخدادهای پراش برابر یک خواهد شد، (شکل ۴-۷). بدین معنی که مقدار شعاع انحنای جبهه موج‌ها در نقاط پراش با هم برابر هستند. در استراتژی جدیدی که در ادامه خواهد آمد، این دو انحناء با یکدیگر ترکیب شده و یک رابطه جدیدی را برای میزان انحناء بدست می‌دهند. شکل ۴-۸ حالتی را نشان می‌دهد که دو عملگر برانبارش برای یک نمونه در مقطع دورافت صفر در نظر گرفته شده‌اند. در این شکل، دو عملگر مذکور در فضای (x_m, h, t) نشان داده شده‌اند. این دو سطح برانبارش، مربوط به نقطه P_0 در مقطع دورافت صفر هستند. بنابراین می‌توان حدس زد که در طیف زاویه مربوط به نمونه مذکور، دو ماکزیمم مشخص مربوط به دو رخداد بازتاب مشخص با دو زاویه ورود متفاوت وجود دارد و برای هر کدام از آنها، یک سطح برانبارش در نظر گرفته شده است. در استراتژی معمول، آن سطحی که مربوط به رخداد قویتر است، به عنوان سطح برانبارش بهینه در نظر گرفته می‌شود. در این شکل، سطح سبز رنگ مربوط به رخداد بازتابی است که از نقطه R در عمق ناشی شده است. با در نظر گرفتن مساله تداخل شیب‌ها، سطح برانبارش دیگر (قرمز رنگ)، به عنوان سطح برانبارش انتخاب شده که می‌تواند مربوط به رخداد پراش باشد. استراتژی تعمیم یافته مان (۲۰۰۱)، مبنی بر انجام برانبارش به صورت جداگانه بر روی هر یک از این صفحات می‌باشد.



شکل ۴-۶ مقاطع زاویه ورود پرتوی مرکزی مربوط به برانبارش بهینه CRS به روش استراتژی توسعه یافته. چپ) مقطع زاویه ورود بهینه مربوط به رخداد‌های اصلی، راست) زوایای ورود مربوط به بزرگترین ماکزیمم محلی.



شکل ۴-۷ مقاطع نسبت انحنای جبهه موجهای نرمال و NIP برای رخداد‌های نشان داده شده در شکل ۴-۶. نسبت برابر ۱ مربوط به رخداد‌های پراش است.

۳-۴ عملگر DMO

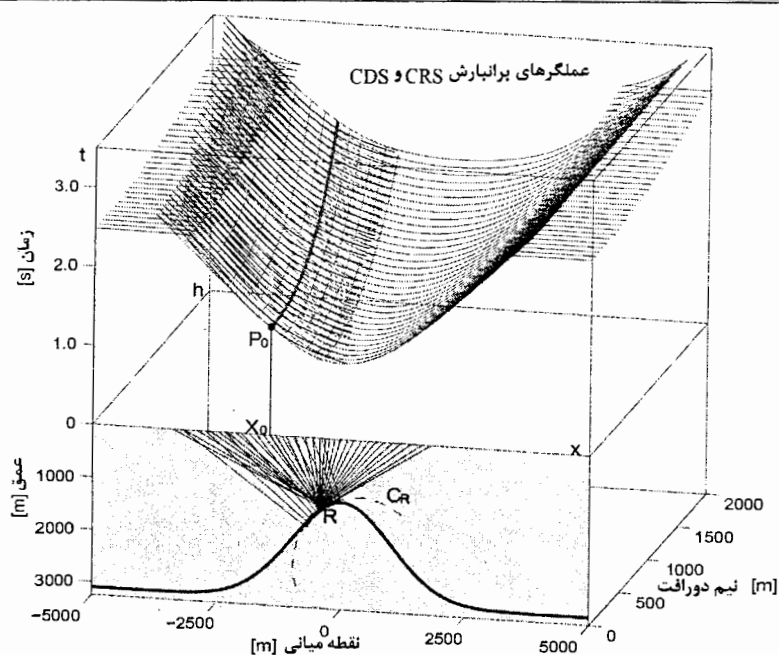
پردازش MZO را می‌توان به صورت دو مرحله پردازش جداگانه، یعنی تصحیح برونراند نرمال (NMO) و تصحیح برونراند شیب (DMO) بیان کرد. تصحیح NMO، تاثیر دورافت بر روی بازتابنده-های افقی را حذف کرده، در حالی که تصحیح DMO، اثر باقی مانده ناشی از شیب بازتابنده را حذف می‌کند. در استراتژی جستجوی معمول در CRS، تنها یک زاویه به عنوان زاویه بهینه در نظر گرفته می‌شود. با بهبود این روش در استراتژی تعمیم یافته، پیوستگی رخدادها در مقطع نهایی به خوبی تصویر میگردد. ولی با این حال در محل‌هایی که رخدادها تغییر شیب می‌دهند، گسله می‌شوند و یا با رخدادهای دیگر تداخل میکنند، این استراتژی نیز قادر به تصویر پیوستگی رخدادها در مقطع نهایی نخواهد بود. برای رفع این مشکل، از ایده‌ایی که در ارائه روش DMO از آن استفاده شد، برای ارائه استراتژی جدید استفاده شده است. در پردازش دیجیتال، تابع پاسخ ضربه بیان می‌کند که یک مرحله پردازش، چگونه یک ضربه را از داده‌های ورودی، به خروجی تصویر می‌کند. در پردازش DMO در یک محیط همگن دو بعدی، پاسخ ضربه به صورت یک نیم‌دایره برای دورافت صفر ($h=0$)، و یک بیضی برای سایر دورافت‌ها ($h \neq 0$) خواهد بود که توسط معادله زیر بیان می‌شود (هیل، ۱۹۹۱):

$$\frac{t_0^2}{t_{NMO}^2} + \frac{x^2}{h^2} = 1 \quad (2-4)$$

که در آن t_{NMO} مربوط به زمان سیر برونراند نرمال است. بنابراین هر نقطه بر روی عملگر DMO، مربوط به یک شیب مشخص بر روی بازتابنده خواهد بود. لذا یک رابطه بین شیب بازتابنده و شیب در نظر گرفته شده بر روی نیم‌دایره DMO برقرار خواهد شد. با حل معادله بالا و مشتق گیری نسبت به x خواهیم داشت:

$$x^2 - \frac{vt_0}{2\sin\phi} x - h^2 = 0 \quad (3-4)$$

که در آن \emptyset شیب بازتابنده است.



شکل ۴-۸، چگونگی مساله تداخل شیبها با در نظر گرفتن سطوح برانبارش CRS. دو رخداد که مربوط به پرتوهای مرکزی متفاوتی می‌باشند، با یکدیگر در یک نمونه در مقطع دورافت صفر تداخل کرده‌اند. در روش معمول CRS، سطح برانبارش سبز رنگ به عنوان تنها سطح برانبارش در نظر گرفته می‌شود.

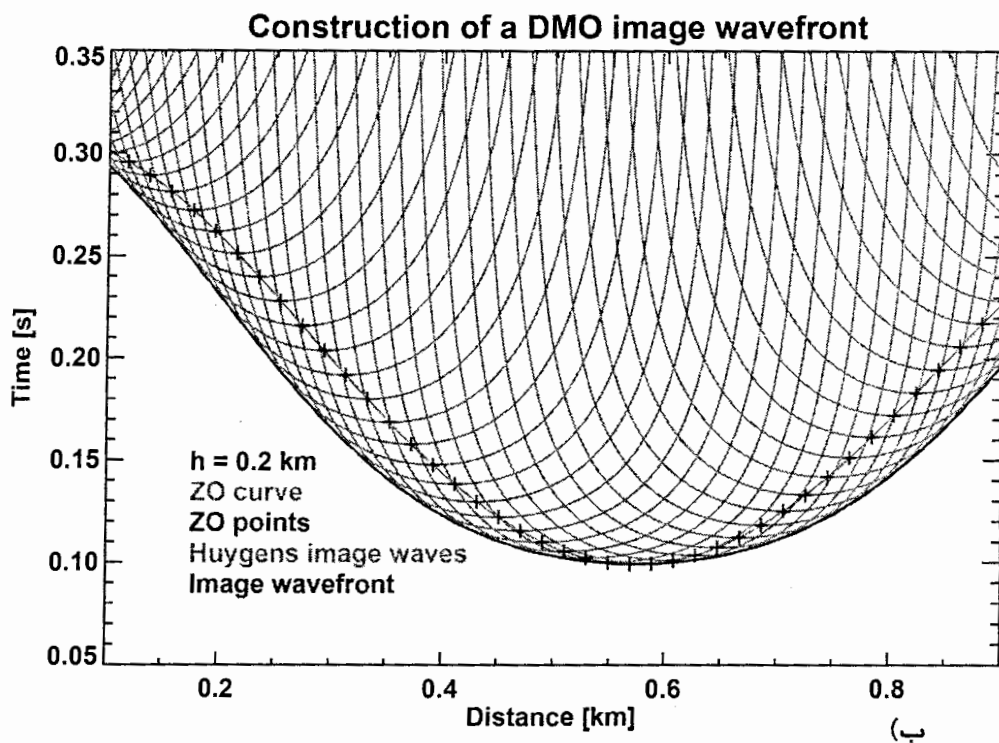
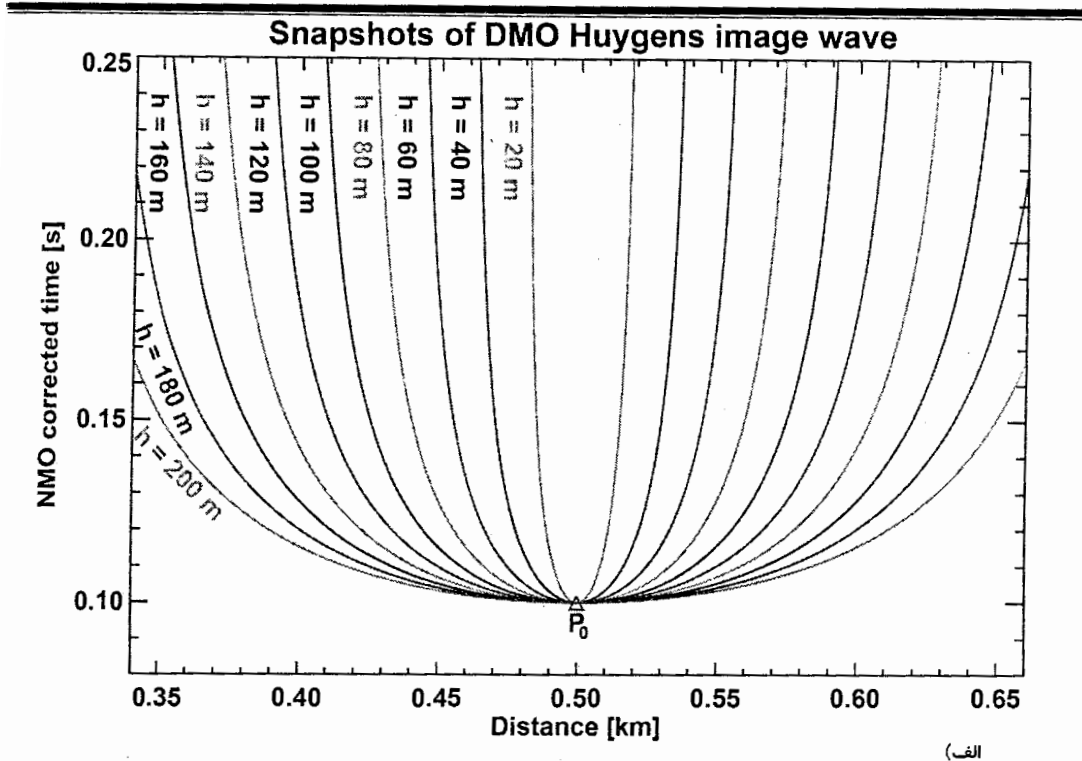
شمایی از تصویر امواج هویگنس در شکل ۴-۹ (الف) نشان داده شده است. نحوه تشکیل جبهه موجها در مرحله DMO معکوس نیز در شکل ۴-۹ (ب) آورده شده است. در شکل ۴-۹ (الف)، تصویر امواج هویگنس برای دورافت‌های متفاوت دیده می‌شود و در نهایت در شکل ۴-۹ (ب) نتیجه پردازش DMO بر روی جبهه موجها (منحنی آبی پررنگ) توسط منحنی فیروزه‌ای رنگ نشان داده شده. این شکل نشان می‌دهد که عملگر DMO مقدار صحیح برونراندهای جانبی برای هر شیب را محاسبه می‌کند. بنابراین چون هر قسمت از عملگر DMO مربوط به یک مقدار شیب فرضی بر روی بازتابنده است، در این صورت عملگر DMO در پردازش مرسوم می‌تواند مساله تداخل شیبها را به خوبی برطرف نماید (مان، ۱۹۹۷).^۱

1- Mann, (1997)

۴-۴ مفهوم عملگر برانبارش سطح پراش مشترک

در روش معمول CRS، از ایده مشابهی برای حل مساله تداخل شیب‌ها استفاده گردید. در این روش، تمام عملگرهای ممکن برانبارش CRS برای هر شیب و مربوط به هر رخدادی در نمونه که در برانبارش دخالت می‌کند، در نظر گرفته شد. این ایده مشابه آن است که در طیف زاویه‌ی 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 این صورت، در فضای (x_m, h, t) نه تنها یک سطح برانبارش، بلکه حجمی از سطوح برانبارش را خواهیم داشت. قسمت پایین شکل ۴-۱۰، یک نقطه پراش بر روی بازتابنده در حوزه عمق را نشان می‌دهد که پرتوهای آن با زوایای مختلفی در بازه ($-\alpha, +\alpha$) به سطح وارد می‌شوند. برای هر پرتو، یک سطح برانبارش تهیه می‌شود که در برانبارش مربوط به آن نقطه، دخالت داده می‌شود. در این تئوری، تعداد شیب‌های متداخل مد نظر نخواهد بود، چراکه تمام شیب‌های ممکن در برانبارش مربوط به نمونه مورد نظر در مقطع دورفت صفر دخالت داده خواهند شد. با این حال در اینجا نیز آنالیز همدوسی نشان می‌دهد که هر سطح برانبارش تا چه میزان بر منحنی‌های زمان سیر منطبق خواهد بود. ولی به دلیل تعداد زیاد سطوح برانبارش، تهیه یک مقطع واحد همدوسی غیر ممکن می‌باشد. این حالت برای سایر نشانگرها نیز به همین صورت است. در استراتژی جدیدی که در ادامه خواهد آمد، این حجم زیاد از پارامترهای مربوطه باید در جایی ذخیره شده که برای محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴-۹ الف) شمایی از تصویر امواج هویگنس در DMO برای دورافت‌های متفاوت و ب) ایجاد تصویر جبهه موج در مسالد معکوس DMO (مان، ۱۹۹۷).

در مقطع دورافت صفر، همواره تداخل رخدادهای بازتابی و رخدادهای پراش مشاهده می‌شود. حل مساله 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. قسمت بالای شکل ۴-۱۰، شمایی از حجم عملگرها در حوزه (x_m, t, h) را نشان می‌دهد. در این شکل، سه سطح برانبارش نشان داده شده است که مربوط به سه زاویه ورود پرتوهایی هستند که از نقطه R در عمق ساطع شده‌اند. در واقع تعداد عملگرها در حوزه (x_m, t, h) برابر تعداد زوایای در نظر گرفته شده در بازه زاویه است. بنابراین تمام رخدادهای موجود در هر نمونه، در برانبارش مربوط به آن نمونه دخالت داده خواهند شد. در حالت کلی، تعداد این سطوح برانبارش کمتر از تعداد رخدادهای موجود در هر نمونه نخواهد بود. هیچکدام از این سطوح برانبارش نیز بر دیگری برتری ندارد. هیچکدام از این عملگرها به صورت جداگانه عمل نکرده و مقاطع جداگانه‌ایی برای نشانگرهای جنبشی میدان موج ارائه نخواهد کرد. بنابراین تمام سطوح بدون در نظر گرفتن شدت و ضعف رخدادهای، در برانبارش دخالت خواهند کرد. بنابراین در این مرحله است که نویز زمینه موجود در داده‌ها می‌تواند تقویت شود. چگونگی عملکرد عملگر CDS در بخش بعدی تشریح خواهد شد.

۴-۵ عملگر برانبارش CDS

همانگونه که قبلاً اشاره شد، 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 (معادله ۲-۲۵) برخوردار خواهد بود، ولی برای یک زاویه ورود مشخص α ، تنها نشانگری که باید محاسبه شود، ترکیبی از شعاع انحنای R_N و R_{NIP} است که می‌توان آن را R_{CDS} نام گذاری کرد. بنابراین معادله

تخمین زمان سیر CRS (معادله ۲-۲۵) در این حالت، به شکل زیر در خواهد آمد:

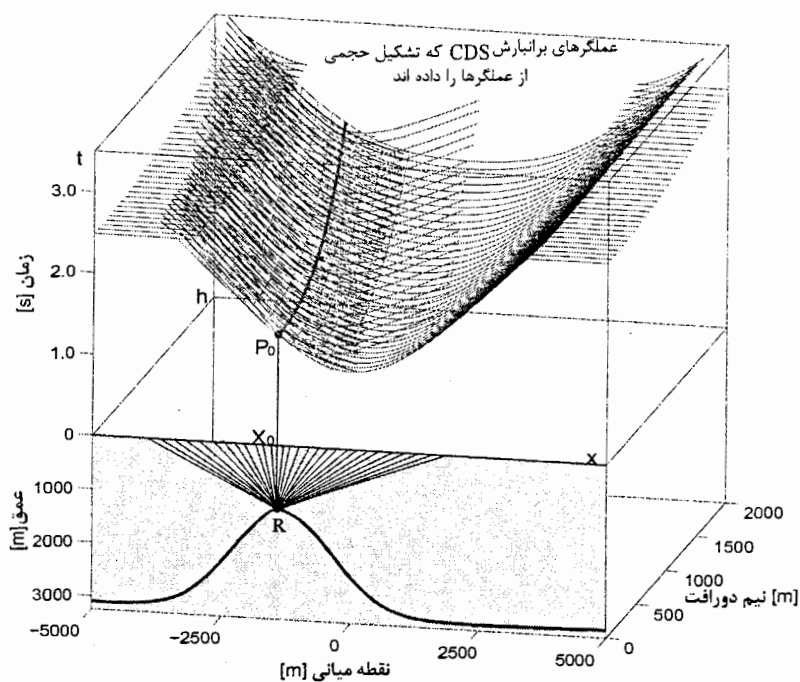
$$t_{hyp}^2(x_m h) = \left(t_0 + \frac{2\text{Sin}\alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2t_0 \text{Cos}^2\alpha}{v_0 R_{CDS}} ((x_m - x_0)^2 + h^2) \quad (4-4)$$

که به نام عملگر برانبارش CDS خوانده می‌شود. تنها نشانگر جنبشی میدان موج باقیمانده، R_{CDS} است. با در نظر گرفتن تمام زوایای ممکن در معادله ۴-۴، 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. آنالیز همدوسی نیز برای هر کدام 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.

۴-۶ استراتژی جستجوی بهینه شده

استراتژی جدید بهینه شده‌ای که در اینجا معرفی می‌گردد، با استراتژی معمول مولر (۱۹۹۸) و استراتژی تعمیم یافته مان (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 (معادله ۴-۴)، به جستجوی تنها پارامتر باقی‌مانده، یعنی R_{CDS} خواهیم پرداخت. اولین چیزی که لازم است توسط پردازشگر مشخص شود، تعیین بازه زاویه و همچنین گام‌های افزایش زاویه است. هر چه که این بازه بزرگتر انتخاب شود، زمان محاسبات نیز افزایش خواهد داشت. بنابراین پیشنهاد می‌گردد

که برای مناطق با رخدادهای با شیب کم، از بازه کوچکتری استفاده شود، مانند داده‌های واقعی زمینی که در فصل بعد پردازش خواهند شد. همچنین در مواقعی که رخدادهای با شیب تند در مقطع حضور دارند، از بازه بزرگتری استفاده شود، مانند داده مصنوعی Sigsbee 2A که در فصل بعد نیز پردازش خواهد شد. برای بازه مشخصی از R_{CDS} معادله را می‌توان بر حسب بازه برونراند بازنویسی کرد و در بازه‌ایی از برونراند‌ها به جستجوی R_{CDS} پرداخت.



شکل ۴-۱۰ شکل عملگرهای CDS برای تمام زوایای ممکن.

در عین حال می‌توان با انجام آنالیز همدوسی و همچنین بهینه سازی، جواب دقیقتری نیز برای R_{CDS} محاسبه کرد که این امر باعث افزایش چشمگیر زمان محاسبات خواهد شد و در عین حال تأثیر چندانی در نتیجه برانبارش نهایی نخواهد داشت. اکنون با دانستن مقدار R_{CDS} و زاویه ورود α ، می‌توان به کمک معادله ۴-۴، شکل عملگر برانبارش را برای نمونه مورد پردازش تعیین کرد. سپس با

فصل پنجم
پردازش داده های واقعی
و مصنوعی به روش
CDS

فصل پنجم

پردازش داده‌های واقعی و مصنوعی به روش CDS

۵-۱ مقدمه

برای نشان دادن چگونگی عملکرد استراتژی جدید ارائه شده به کمک عملگر برانبارش CDS، داده‌های مصنوعی و واقعی که قبلاً در فصل سوم به روش CRS پردازش شده بودند، اینک تحت پردازش CDS قرار خواهند گرفت. 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. استراتژی‌های تعمیم یافته و معمول، در سه گام انجام شده و نتایج گام‌های میانی نیز قابل مشاهده هستند، در حالی که استراتژی جدید ارائه شده، مستقیماً به حجم داده‌های پیش از برانبارش وارد شده و نتایج میانی وجود نخواهد داشت. در ادامه این فصل، مقاطع برانبارش شده داده مصنوعی Sigsbee 2A به روش‌های متفاوت با یکدیگر مقایسه خواهند شد. در مورد داده‌های واقعی زمینی، مدل سرعت و جدول توابع گرین^۱ (GFT) در دسترس می‌باشد، بنابراین کوچ زمانی پس از برانبارش و کوچ عمقی پس از برانبارش نیز بر روی این

1- Green Functions Table, GFT

داده انجام می‌گیرند و نتایج کوچ بر روی مقاطع برانبارش مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. از طرف دیگر، پردازش مرسوم NMO\DMO\Stack بر روی داده واقعی زمینی نیز صورت می‌گیرند تا نتایج کوچ بر روی مقاطع برانبارش بدست آمده به روش‌های CRS، CDS و DMO به خوبی با یکدیگر مقایسه شوند.

۵-۲ نگاهی کلی به کوچ

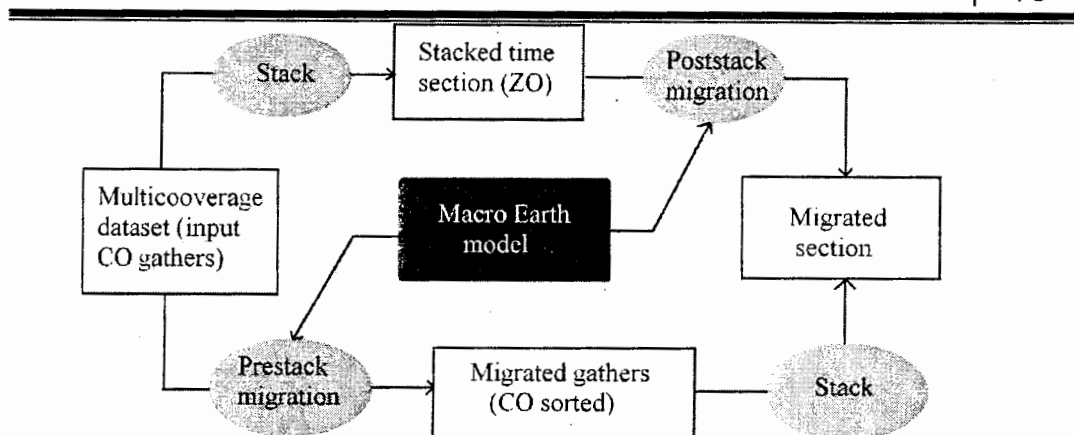
روش‌های چندی برای کوچ وجود دارد که بر اساس ماهیتشان، ایلماز (۲۰۰۱) آنها را به سه دسته تقسیم کرده است:

- روش‌های انتگرال گیری از معادله حرکت موج (روش کیرشهف)،
- روش‌های مجزاسازی معادله حرکت موج (کوچ به روش المان محدود)
- روش‌های حوزه فرکانس - عدد موج (روش فوریه)

در حالت کلی برای هر نوع روش کوچ، به یک مدل سرعت $v(x,z)$ نیازمند می‌باشد. در این بخش به صورت اجمالی روش‌های کوچ پیش و پس از برانبارش و روش‌های کوچ زمانی و عمقی توضیح داده می‌شود. کوچ پس از برانبارش، از مقطع برانبارش شده دورافت صفر به عنوان ورودی استفاده می‌کند. در حالی که روش کوچ پیش از برانبارش، پردازش خود را بر روی دسته داده‌های دارای همپوشانی انجام می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که کوچ پس از برانبارش می‌تواند مقطع بهتری در اختیار قرار دهد. ولی در مناطقی با ساختارهای پیچیده، این روش کوچ کارایی خود را از دست می‌دهد. این امر بدین دلیل است که عملگر کوچ پس از برانبارش تنها از تعداد ردهای محدودی که در مقطع دورافت صفر شبیه سازی شده‌اند استفاده می‌کند. در حالی که عملگر کوچ پیش از برانبارش چون بر روی دسته داده‌های دارای همپوشانی عمل می‌کند، از تعداد ردهای بیشتری سود خواهد جست. ولی در عوض زمان محاسبات بسیار بیشتری نیز لازم دارد. شکل ۵-۱ روش‌های مختلف کوچ و حوزه عملکرد

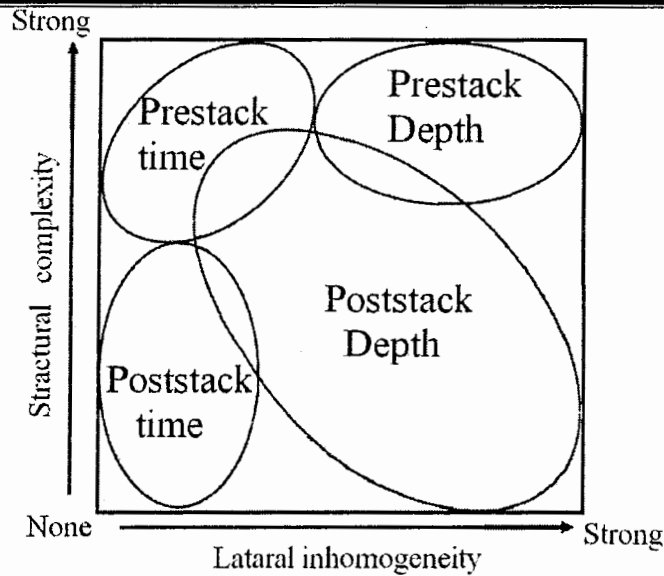
آنها را نشان می‌دهد. هر دو عملیات کوچ پیش و پس از برانبارش، هم در حوزه زمان و هم در حوزه عمق می‌توانند انجام شوند. همانگونه که از اسمشان بر می‌آید، کوچ در حوزه زمان، تصویری از رخدادهای در حوزه زمان بدست می‌دهد و کوچ در حوزه عمق، تصویری از ساختارهای زیرسطحی در حوزه عمق ارائه خواهد کرد که برای پردازش‌های بعدی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. کوچ پیش از برانبارش در حوزه زمان دارای مزیت‌هایی است، به عنوان مثال روش سریعی است و در عین حال بر اساس فرضیات پرتوی مستقیم^۱ استوار است. بر همین اساس تنها مدل سرعت ریشه میانگین مربعات VRMS برای کوچ کفایت خواهد کرد. روش کوچ در حوزه زمان نسبت به کوچ در حوزه عمق، حساسیت کمتری نسبت به خطا در مدل سرعت دارد. ولی با وجود مقدار کمی تغییرات جانبی سرعت در اثر ناهمگنی، کوچ در حوزه زمان ارزش خود را از دست می‌دهد زیرا که فرضیات امواج مستقیم و مدل سرعت RMS در اینگونه محیط‌ها دیگر معتبر نیستند. بنابراین این امر به عهده پردازشگر است که با توجه به نیاز خود و همچنین ساختارهای زیرسطحی منطقه‌ایی که با آن کار می‌کند، حوزه و روش کوچی را که مناسب است انتخاب کند. شکل ۵-۲ محدوده قابل قبول انواع روش‌ها و حوزه‌های کوچ را بر حسب میزان پیچیدگی ساختارهای زیرسطحی و همچنین تغییرات جانبی سرعت نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل نیز مشاهده می‌شود، در حضور تغییرات جانبی سرعت، کوچ در حوزه زمان جواب قابل قبولی بدست نخواهد داد. بنابراین در این گونه مواقع، انجام کوچ در حوزه عمق برای بدست آوردن تصویری درست از ساختارهای زیر سطحی اجتناب ناپذیر می‌باشد. در مواردی که ساختارهای زیر سطحی بسیار پیچیده باشد، استفاده از کوچ پیش از برانبارش در حوزه زمان، به رفع مشکلات تصویر سازی در ساختارهای پیچیده بسیار کمک خواهد کرد. شکل ۵-۲ نشان می‌دهد که روش کوچ عمقی پس از برانبارش می‌تواند در بسیاری موارد به عنوان جواب نهایی قابل قبول ارائه شود.

1- Straight ray



شکل ۵-۱، کوچ پیش و پس از برانبارش. در حالی که کوچ پس از برانبارش از مقطع دورافت صفر به عنوان ورودی استفاده می‌کند، روش کوچ پیش از برانبارش بر روی دسته داده‌های دارای همپوشانی عمل می‌کند، (هرتوک، ۲۰۰۴).

در این فصل، کوچ عمقی پیش از برانبارش به روش کیرشیف نیز انجام می‌شود. بررسی کامل همراه با تمام جزئیات در انواع روش‌های کوچ را می‌توان در ایلماز (۲۰۰۱) مشاهده کرد. برای انجام کوچ، جدول توابع گرین نیز به کمک برنامه حل معادله آیکونال بدست آمد و عملیات کوچ نیز به کمک برنامه Uni 3D انجام شد. از نقطه نظر ریاضی، تابع گرین که در تصویرسازی لرزه نگاری از آن استفاده می‌شود، تابعی است که انتشار موج از یک نقطه بر روی سطح بسته فرضی را به نقطه‌ایی دیگر در داخل همان سطح و با در دست داشتن مدل سرعت، بررسی می‌کند. در این حالت، تابع گرین به عنوان یک تابع انتقال بین این دو نقطه در تصویر سازی عمل می‌کند. شکل ۵-۳ اصول اولیه تئوری گرین را بیان می‌کند. در شکل ۵-۳، میدان موج در نقطه M در داخل سطح بسته Σ می‌تواند از جمع اثرات تمام چشمه‌های فرضی که بر روی این سطح بسته قرار گرفته‌اند، بدست آید.



شکل ۵-۲، حوزه‌های متفاوت کاربرد روش‌های مختلف کوچ زمانی/عمقی - پیش/پس از برابارش، (هرتوک، ۲۰۰۴).

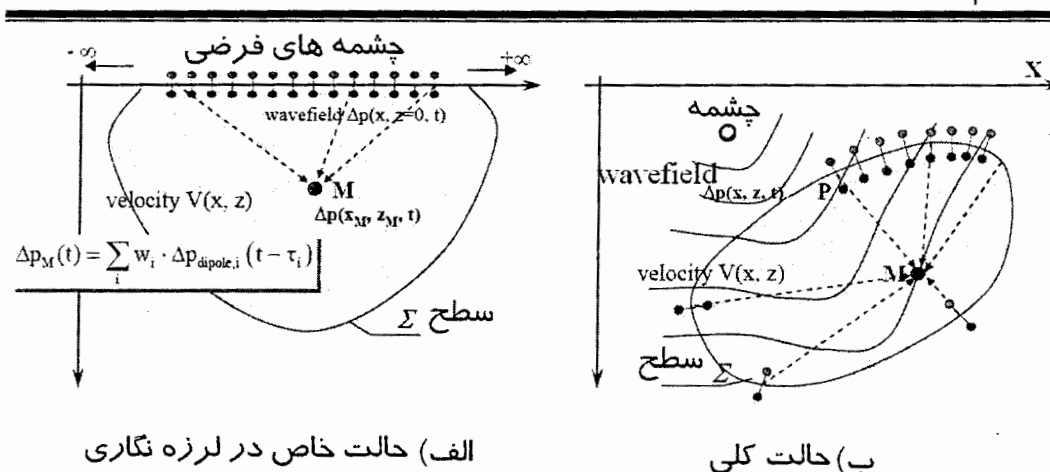
جمع تاثیر این چشمه‌های فرضی بر روی میدان موج در نقطه M به کمک انتگرال کیرشهف امکان پذیر است. صورت ساده این جمع به شکل زیر نوشته می‌شود (روبین، ۲۰۰۳):

$$\Delta P_M(t) = \sum_i w_i \cdot \Delta P_i(t - \tau_i) \quad (1-5)$$

که در آن w_i فاکتور وزن دهی، ΔP_M میدان موج در نقطه M ، ΔP_i میدان موج در چشمه‌های فرضی و $(t - \tau_i)$ اختلاف زمان سیر بین چشمه فرضی i و نقطه M است. فاکتورهای وزن دهی توسط تابع گرین محاسبه می‌شوند. شکل پیشرفته معادله (۱-۵) به شکل انتگرال کیرشهف به صورت زیر نوشته می‌شود (روبین، ۲۰۰۳):

$$P(x_M, t_M) = - \int_0^{t_M} dt \iint_{\Sigma} P(x_i, t_i) \frac{\partial G(x_i, t_i | x_M, t_M)}{\partial n} d\Sigma \quad (2-5)$$

که در آن G بیانگر تابع گرین و n تعداد چشمه‌های فرضی بر روی سطح بسته Σ و x و t نیز تعیین کننده مختصات نقاط i و M هستند.



شکل ۵-۳، اصول کوچ کیرشهف و تابع گرین، (روبین، ۲۰۰۳).

مسئله اصلی در کوچ به روش کیرشهف، محاسبه جدول توابع گرین است. محاسبه تابع گرین به دو

گونه می‌تواند انجام گیرد:

- محاسبه زمان سیر و
- محاسبه کامل تابع گرین به کمک تئوری پرتو.

در اغلب موارد از روش دوم، یعنی به کمک تئوری پرتو و با تکنیک دنبال کردن پرتو، این توابع محاسبه می‌شوند. روش اول بیشتر به عنوان روش جنبشی^۱ و روش دوم به عنوان روش پویا^۲ نام برده می‌شود. به عنوان گزینه دیگر نیز می‌توان از انتگرال گیری تابع آیکونال (معادله ۲-۱۰) استفاده کرد. روش‌های حل معادله آیکونال را می‌توان در کتاب‌هایی که با مباحث مشتقات جزئی سر و کار دارند دنبال کرد، به عنوان مثال (بلیشتین، ۱۹۸۴).

میزان دقت محاسبه توابع گرین و همچنین دقت مدل سرعتی که برای این محاسبات استفاده می‌شود، مستقیماً بر روی کیفیت مقطع نهایی تاثیر می‌گذارد. کاملاً واضح است که بدست آوردن یک مدل سرعت $v(x, z)$ پیچیده و با دقت بالا بسیار زمان بر و مشکل خواهد بود و در پی آن محاسبه توابع

1- Kinematic
2- Dynamic

گرمین نیز زمان بر خواهد شد. همانگونه که قبلاً نیز بدان اشاره شد، برای کوچ عمقی و بدست آوردن تصویری صحیح از ساختارهای زیر سطحی، به یک مدل سرعت با دقت کافی نیاز است. بنابراین کیفیت مدل سرعتی که پیش از انجام عمل کوچ بدست می‌آید، به شدت بر کیفیت مقطع نهایی کوچ تاثیر گذار می‌باشد. یکی دیگر از مشکلاتی که ممکن است در کوچ به روش کیرشلف با آن برخورد کنیم، پدیده جابجایی^۱ است. پدیده جابجایی همواره در پردازش‌های لرزه‌نگاری به چشم می‌خورد. این پدیده ماهیتاً بدین دلیل است که داده‌های لرزه‌نگاری به صورت پیوسته برداشت می‌شوند ولی به صورت گسسته با آنها رفتار می‌شود. برخی از انواع جابجایی، مانند جابجایی در داده‌ها را می‌توان با طراحی هندسه درست در برداشت داده‌ها، برطرف نمود. ولی در کوچ کیرشلف با دو نوع دیگری از پدیده جابجایی برخورد می‌کنیم،

• جابجایی تصویری^۲

• جابجایی عملگر^۳

پدیده جابجایی در تصویر در مقاطع خروجی رخ می‌دهد و آن هنگامی است که نمونه برداری از یک مقطع به گونه‌ای در فواصل زیاد انجام گیرد که عملگر تصویر سازی قادر به جانمایی مناسب رخدادهای با شیب بسیار تند نباشد. پدیده جابجایی عملگر در کوچ کیرشلف مربوط به عملگری است که بین حوزه داده‌ها و حوزه تصویر ارتباط برقرار می‌کند. اگر این عملگر به خوبی تعریف نشده باشد، رخدادهای غیرواقعی در تصویر نهایی ایجاد می‌شود که مربوط به داده‌هایی است که به خوبی در مسیر برانبارش و جمع کردن قرار نگرفته‌اند. پدیده جابجایی تصویری در کوچ کیرشلف به سادگی و تنها با انتخاب یک شبکه نمونه برداری متراکم قابل جلوگیری است. ولی رفع مشکل جابجایی عملگر تا حدودی با دشواری همراه است. این جابجایی بیشتر در قسمت‌های با شیب تند در عملگر رخ می‌دهد. در این گونه مواقع موجک مربوط به رد کناری ممکن است مورد نمونه برداری واقع نگردد و این عمل

1- Aliasing

2- Image aliasing

3- Operator aliasing

رخدادهای غیر واقعی را تولید می‌کند که به آنها نویز کوچ^۱ و یا نویز جابجایی^۲ گویند، (هرتوک، ۲۰۰۴) در اینگونه موارد استفاده از فیلترهای باند گذر ضد جابجایی به عنوان تابعی از شیب عملگر بر روی داده‌ها می‌تواند مشکل را برطرف نماید. البته این روش چندان نیز آسان نخواهد بود، چرا که اگر فیلتر به خوبی تعریف نشود، زمان و هزینه زیادی را خواهد برد. روش‌های دیگری برای غلبه بر این مشکل وجود دارد که می‌توان در نوشته (هرتوک، ۲۰۰۴) پیدا کرد. این روش‌ها بیشتر در زمان‌هایی مورد نیاز هستند که یا اطلاعات کاملی از ساختارهای زیرسطحی در دسترس نباشد و یا با شیب‌های بسیار تندی در مقاطع سروکار داشته باشیم، مانند دامنه‌های گنبد نمکی که در داده مصنوعی Sigsbee 2A مشاهده می‌شوند. ولی روش معمول در اغلب موارد استفاده از فیلتر ضد جابجایی^۳ (AAF) است. در عین حال حتی مواقعی که با پدیده جابجایی به صورت جدی برخورد نداریم نیز می‌توان از این فیلتر برای بهبود کیفیت مقطع نهایی استفاده کرد. بنابراین تمام برنامه‌های موجود برای کوچ کیرشلف، این فیلتر را به عنوان ابزاری در درون خود به همراه دارند.

۳-۵ نگاهی به کلیات روش تصحیح DMO

تصحیح DMO دارای سه ویژگی بارز است. اول آنکه تصحیح DMO برای داده‌های دورافت صفر، $h = 0$ ، فارغ از شیب لایه، هیچگونه تاثیری ندارد. دیگر آنکه برونراند جانبی^۴ در تصحیح DMO با افزایش دورافت، افزایش می‌یابد. در نهایت آنکه هر مقطع دورافت مشترک پس از تصحیح NMO و DMO، خود به شکل یک مقطع دورافت صفر است. تصحیح NMO اولیه، به کمک سرعت برانبارشی انجام می‌شود که تحت تاثیر شیب قرار دارد. بنابراین برای حذف اثر شیب در آنالیز سرعت، در عمل، مراحل زیر را به ترتیب انجام می‌دهند: تصحیح NMO، تصحیح DMO، NMO معکوس، آنالیز سرعت

1- Migration noise
 2- Aliasing noise
 3- Anti-aliasing filter, AAF
 4- Lateral moveout

و در انتها تصحیح مجدد NMO بدون تاثیر شیب. برخلاف کوچ، روش DMO دارای یک تفاوت است که در آن با افزایش عمق، میزان تصحیح بیشتر خواهد شد. در کوچ هرچه رخداد عمیق‌تر باشد، عملگر کوچ، نیز صاف‌تر خواهد شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پدیده جابجایی عملگر در اعماق زیاد، کمتر رخ می‌دهد.

همچنین چون روش تصحیح DMO خود نوعی روش کوچ می‌باشد، بنابراین باعث می‌شود که انرژی از یک برداشت CMP به برداشت کناری در جهت بالای شیب منتقل شود. بدین ترتیب در برداشت‌های CMP دورتر از نقطه میانی مرکزی، کمبود انرژی دیده می‌شود، زیرا در کنار اولین و آخرین برداشت CMP، طبیعتاً CMP دیگری وجود ندارد که انرژی به آن منتقل شود.

۴-۵ مدل مصنوعی گنبدی شکل

برای انجام دادن پردازش CDS بر روی دسته داده‌های قبل از برانبارش در این مدل، از بخشی از پارامترهایی که در پردازش CRS نیز تعیین شده بود، استفاده گردید (جدول ۵-۱). البته به دلیل وجود تفاوت‌هایی در استراتژی جدید ارائه شده با استراتژی‌های قبلی، پارامترهای مربوط به برانبارش خودکار CMP و برانبارش دورافت صفر و بهینه سازی، استفاده نشده‌اند. مقدار بازه، همانند بازه پردازش CRS تعیین شده است. در مورد پارامتر زاویه بهینه نیز همانگونه که در فصل قبل به آن اشاره شد، این پارامتر به صورت بازه زاویه مورد جستجو و همچنین گام افزایش زاویه، توسط کاربر تعیین می‌شود. در این مدل بازه زاویه بین -45 درجه تا $+45$ درجه با گام افزایش یک درجه در نظر گرفته شده است. در الگوریتم برانبارش CDS، آنالیز همدوسی و برانبارش برای هر زاویه در هر نمونه انجام می‌گیرد، به زبان دیگر تمام صفحات برانبارش در این فرایند دخالت می‌کند. از نظر محاسباتی نیز، نشانگر R_{CDS} به صورت ضمنی برای هر زاویه محاسبه می‌شود. در ادامه سطح برانبارش CDS نیز توسط معادله عملگر (معادله ۴-۴) محاسبه می‌شود. زمان محاسبات به میزان بازه تعیین شده برای

زاویه و گام‌های افزایش زاویه da نیز بستگی دارد. بزرگتر انتخاب کردن گام افزایش زاویه باعث کاهش تعداد سطوح برانبارش در حجم عملگرها و در پی آن موجب کاهش زمان محاسبات خواهد شد. کاهش تعداد عملگرها در فضای (x_m, t, h) باعث کاهش تعداد سطوح شرکت کننده در فرایند برانبارش خواهد شد و بنابراین تعداد رخدادهای کمتری در مقطع دورافت نهایی مشاهده می‌شود. در حالت کلی این واقعیت که تمام سطوح موجود در حجم عملگرها در فرایند برانبارش شرکت می‌کنند، زمان محاسبات را به میزان چشمگیری افزایش می‌دهند. به دلیل زمان بالای محاسبات توصیه می‌شود که قبل از آغاز پردازش، داده‌ها را از نظر وجود هر گونه نویز در آنها بررسی گردد. چون عملگر CDS تمام زوایای ممکن برای یک نمونه را در نظر می‌گیرد، و به این دلیل که تمام سطوح برانبارش در انجام فرایند دخالت می‌کنند، لذا رفتار عملگر باعث جمع‌آوری و تقویت نویز زمینه در داده‌ها خواهد شد. بنابراین از نقطه نظر نسبت سیگنال به نویز، برانبارش CRS مقطع بهتری نسبت به برانبارش CDS بدست می‌دهد. بنابراین در داده‌های با نسبت سیگنال به نویز پایین و میزان بالای نویز زمینه، در صورتی که به دنبال مقطع با نسبت سیگنال به نویز بهتری باشیم، روش CRS گزینه مطلوب‌تری می‌باشد. ولی اطلاعات جزئی‌تر از رخدادهای بویژه رخدادهای پراش، در پردازش CDS به مراتب بیشتر و بهتر نسبت به پردازش CRS آشکار می‌شوند.

۵-۴-۱ نتیجه برانبارش CDS بر روی مدل گنبدی شکل

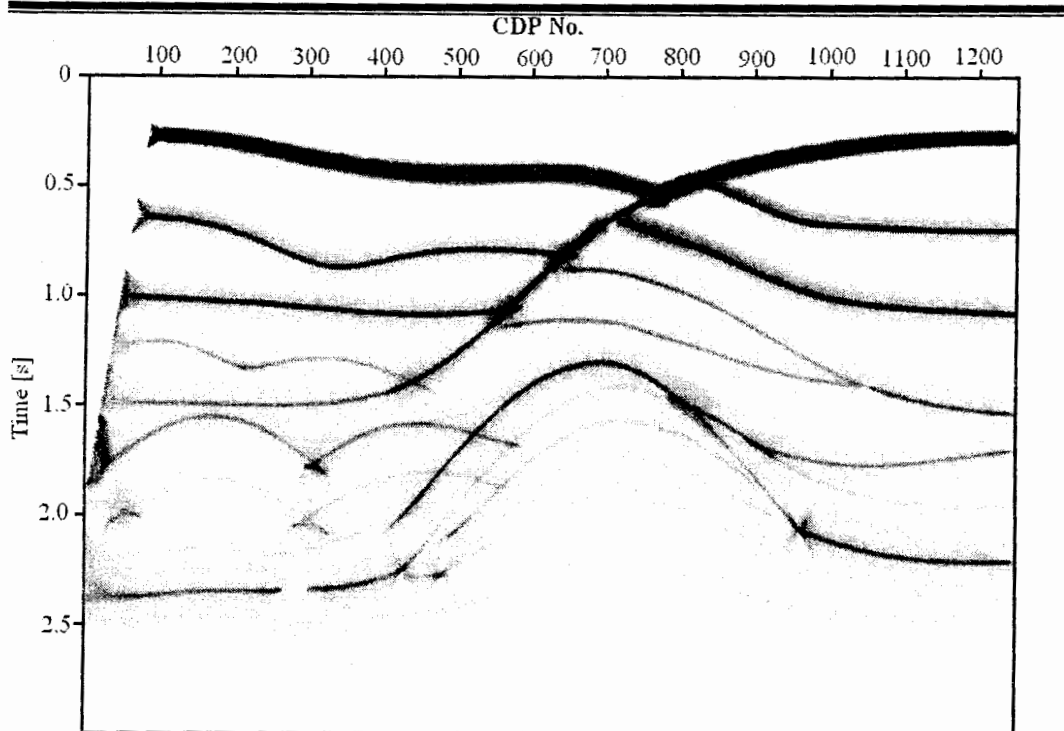
شکل ۵-۴ نتیجه برانبارش CDS بر روی مدل گنبدی شکل را نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود، علاوه بر آنکه رخدادهای بازتابی به خوبی تصویر شده‌اند، رخدادهای پراش نیز تقویت شده‌اند. پیچیدگی ساختاری و میزان نویز زمینه در مدل چندان بالا نمی‌باشد که تفاوت چشمگیری بین مقطع حاصل از روش CRS و مقطع CDS دیده شود.

پردازش داده‌های مصنوعی و واقعی با CDS

جدول ۵-۱، پارامترهای مورد استفاده در شبیه سازی مقطع ZO در مدل گنبدی شکل به روش برانبارش CDS.

نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۳۰ هرتز
	معیار همدوسی	شبیه بودن
	داده‌های مورد استفاده در آنالیز همدوسی	ردهای اصلی
	عرض نوار همدوسی	۵۶ میلی ثانیه
سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه	سرعت نزدیک سطح	۲۰۰۰ متر بر ثانیه
	سرعت برانبارش تحت جستجو	۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	۰ تا ۳ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۴ میلی ثانیه
	تعداد ردهای شبیه سازی شده در ZO	۵۷۶۰۰
	فاصله بین ردها در شبیه سازی ZO	۲۰ متر
بازه جستجوی بین ردها	حداقل بازه ZO	۱۰ متر در ۰/۱ ثانیه
	حداکثر بازه ZO	۵۰۰ متر در ۲ ثانیه
	حداقل بازه CMP	۱۰۰ متر در ۰/۱ ثانیه
	حداکثر بازه CMP	۲۰۱۰ متر در ۲ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	۳۰٪
پارامترهای CDS	زاویه تعیین شده برای بازه	۴۵- تا ۴۵+ درجه
	گام افزایش زاویه در بازه	۱ درجه
	فرکانس جستجو در برداشت انفجاری	۲ میلی ثانیه
	زمان پردازش	۶۴/۷ ساعت

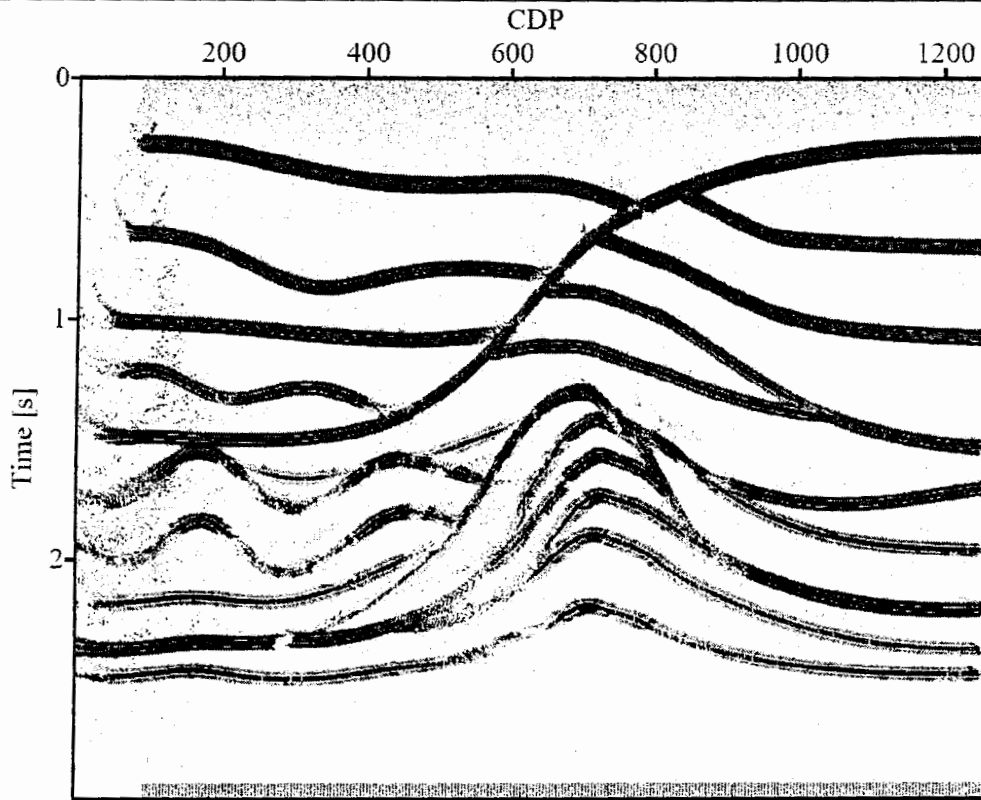
تنها نقاطی که در آنها می‌توان انتظار تفاوت در این دو مقطع را داشت، نقاط تداخل رخدادهای گنبدی شکل با رخدادهای افقی می‌باشد که مساله تداخل شیبها را بوجود می‌آورند. این نقاط در مقطع جدید (شکل ۵-۴) به خوبی تصویر شده‌اند. در سمت چپ مقطع نیز رخداد مربوط به کاسه وارونه به خوبی تصویر شده است. با این حال رخدادهای در عمق، همانند مقطع CRS چندان قوی نیستند. مقطع کوچ پیش از برانبارش مدل گنبدی شکل نیز در شکل ۵-۵ دیده می‌شود. همانگونه که در مقطع مربوطه دیده می‌شود، گنبد، ساختار ناودیدی و سایر ساختارها به خوبی تصویر شده‌اند. پایین گنبد و یال‌های آن نیز به خوبی دیده می‌شوند.



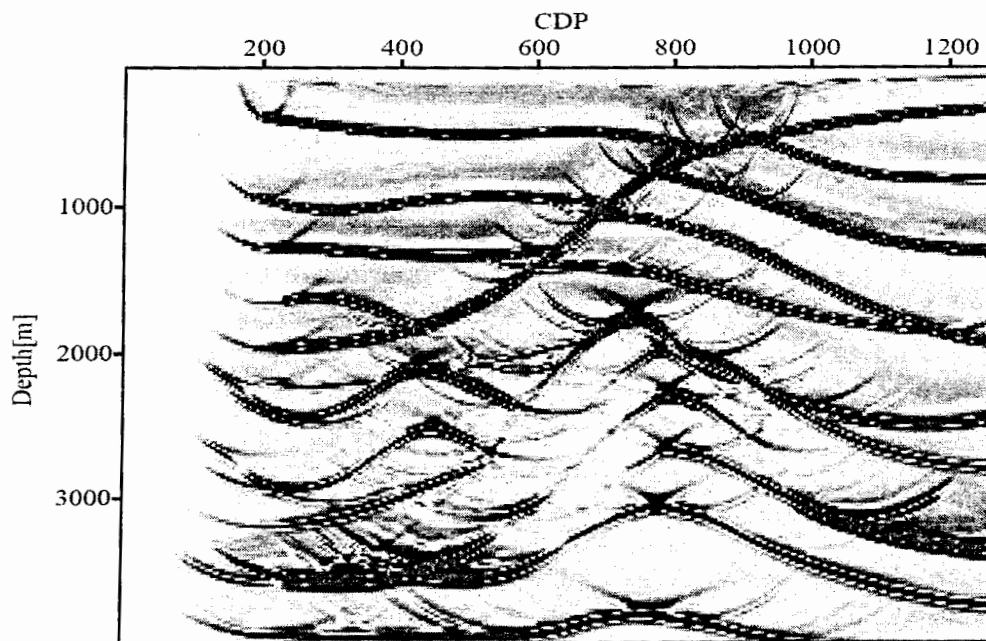
شکل ۴-۵، نتیجه برانبارش CDS بر روی مدل گنبدی شکل.

با چنین مقطع کوچ داده شده‌ای، شاید نیازی به انجام کوچ عمقی وجود نداشته باشد، زیرا همانگونه که در ابتدای فصل نیز به آن اشاره شد، در چنین محیط‌هایی مقطع کوچ زمانی کافی به نظر می‌رسد. با این حال رخدادهای زیر گنبد نمکی به دلیل حضور کم انرژی در آن منطقه، هنوز به خوبی تصویر نشده‌اند. به این دلیل کوچ عمقی نیز بر روی آن انجام گرفته است. برای مشاهده تفاوت‌ها، مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش در شکل ۵-۶ نشان داده شده است.

رخدادهای غیر واقعی و کشیدگی‌ها که اغلب مواقع در اینگونه مقاطع دیده می‌شوند، در این شکل نیز به صورت بارزی مشاهده می‌شوند. قسمت سفید رنگ در سمت چپ مقطع نیز به دلیل کمبود انرژی در آن محل می‌باشد. پیوستگی بازتابنده‌ها در مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش به خوبی حفظ شده‌اند.



شکل ۵-۵، مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش در مدل گنبدی شکل.



شکل ۵-۶، مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش در مدل گنبدی شکل.

در محل‌هایی که بازتابنده حالت منحنی شکل به خود گرفته مانند محل ناودیس‌ها و یا گوشه‌های گنبد، مقطع کوچ زمانی تصویر مناسبی از خود ارائه نداده بود در حالی که در این شکل این بازتابنده‌ها به خوبی آشکار شده‌اند. با این حال مزایای خوب روش CDS در این مدل ساده به خوبی آشکار نگردید. بنابراین به دلیل پیچیدگی ساختاری در مدل Sigsbee 2A، انتظار تفاوت‌های بیشتری در بین نتایج مختلف می‌رود.

۵-۵ داده Sigsbee 2A

برای انجام پردازش CDS بر روی دسته داده‌های قبل از برانبارش در داده مصنوعی Sigsbee 2A، از بخشی از پارامترهایی که در پردازش CRS نیز تعیین شده بود، استفاده گردید (جدول ۵-۲). البته به دلیل تفاوت‌هایی که در استراتژی جدید ارائه شده با استراتژی‌های قبلی وجود دارد، پارامترهای مربوط به برانبارش خودکار CMP و برانبارش دورافت صفر استفاده نشده است و همچنین از گام بهینه سازی نیز صرفنظر گردیده است. مقدار بازه نیز همانند بازه پردازش CRS تعیین شده است. پارامترهای مهم، پارامترهایی هستند که در ارتباط با بازه زاویه و گام افزایش زاویه هستند. پارامتر زاویه با توجه به میزان شیب رخدادها در داده‌های قبل از برانبارش تعیین می‌شوند. برای داده Sigsbee 2A بازه زاویه بین -40 درجه تا $+40$ درجه با گام افزایش یک درجه در نظر گرفته شده است. چون تمام عملگرها در این حالت در برانبارش دخالت می‌کنند و به دلیل زمان بالای برداشت در این داده، گمان می‌رفت که زمان پردازش به صورت چشمگیری افزایش یابد. برای جلوگیری از این مساله، پروفیل داده به دو دسته جداگانه تقسیم شد. یک دسته، قسمت لایه‌ایی شکل موجود در سمت چپ پروفیل را تشکیل می‌دهد که از ابتدا تا CDP شماره ۳۵۰ ادامه دارد و آنرا قسمت چپ می‌نامیم. این قسمت شامل رخدادهای بازتابی قوی می‌باشد که رخدادهای پراش ضعیف‌تر را می‌پوشانند.

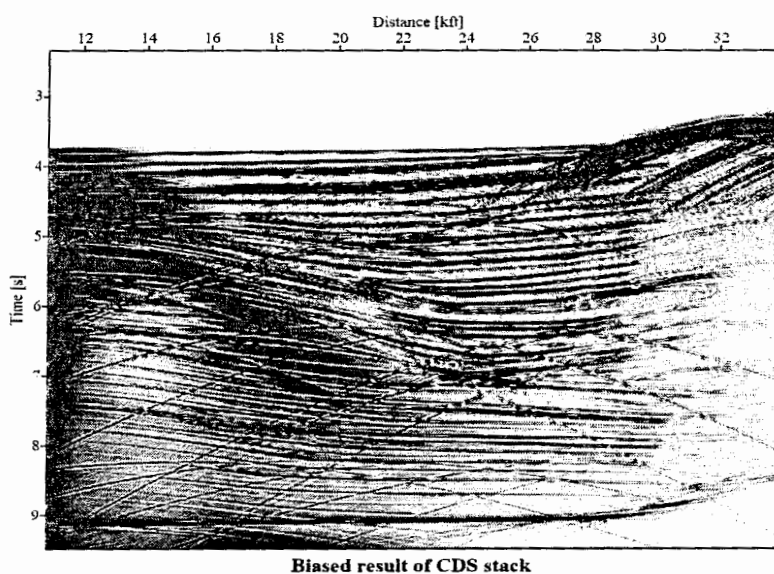
پردازش داده‌های مصنوعی و واقعی با CDS

جدول ۵-۲، پارامترهای مورد استفاده در پردازش داده Sigsbee 2A به روش CDS.

نوع پارامتر	پارامتر پردازش	مقدار
پارامترهای عمومی	فرکانس غالب	۳۰ هرتز
	معیار همدوسی	شبیه بودن
	داده‌های مورد استفاده در آنالیز همدوسی	رده‌های اصلی
	عرض نوار همدوسی	۵۶ میلی ثانیه
سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه	سرعت نزدیک سطح	۴۹۲۰ فوت بر ثانیه
	سرعت برانبارش تحت جستجو	۴۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ فوت بر ثانیه
منطقه هدف	زمان سیر شبیه سازی ZO برای قسمت چپ	۲ تا ۹/۵ ثانیه
	زمان سیر شبیه سازی ZO برای قسمت بالا	۲ تا ۶/۲ ثانیه
	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	۸ میلی ثانیه
	تعداد رده‌های شبیه سازی شده در ZO	۲۰۵۳
	فاصله بین رده‌ها در شبیه‌سازی ZO	۳۷/۵ فوت
بازه جستجوی بین رده‌ها در قسمت چپ و بالا	حداقل بازه ZO در سمت چپ	۱۷۰۰ فوت در ۲ ثانیه
	حداکثر بازه ZO در سمت چپ	۱۰۰۰۰ فوت در ۹ ثانیه
	حداقل بازه CMP در سمت چپ	۶۰۰۰ فوت در ۲/۳ ثانیه
	حداکثر بازه CMP در سمت چپ	۲۵۰۰۰ فوت در ۹ ثانیه
	حداقل بازه ZO در سمت بالا	۱۷۰۰ فوت در ۲ ثانیه
	حداکثر بازه ZO در سمت بالا	۱۰۰۰۰ فوت در ۶ ثانیه
	حداقل بازه CMP در سمت بالا	۶۰۰۰ فوت در ۲/۳ ثانیه
	حداکثر بازه CMP در سمت بالا	۲۵۰۰۰ فوت در ۶ ثانیه
	ابعاد تعمیم بازه	۳۰٪
پارامترهای CDS	بازه زاویه مورد جستجو	-۴۰ تا +۴۰ درجه
	گام افزایش زاویه‌های مورد جستجو	۱ درجه
	فرکانس جستجو در برداشت انفجاری	۲ میلی ثانیه
	زمان پردازش برای قسمت چپ	۳۶۵/۲۰۳ ساعت
	زمان پردازش برای قسمت بالا	۲۲۹/۳۷۶ ساعت

قسمت دیگر، شامل باقی مانده پروفیل می‌باشد و آنرا قسمت بالا می‌نامیم که دارای گنبدی‌های نمکی، ناودیس‌ها و تعدادی لایه‌های افقی در سطح می‌باشند. تا زمان ۲ ثانیه در داده تنها ستون آب حضور دارد که مورد پردازش قرار نگرفته است. در برانبارش CRS، بازه زمانی برای کل داده از ۲ ثانیه تا ۱۱ ثانیه در نظر گرفته شده است. در برانبارش CDS، بازه زمانی برای قسمت چپ تا ۹/۵ ثانیه در

نظر گرفته شده است. پارامترهای مورد استفاده و زمان محاسبه برای این قسمت در جدول ۵-۲ آورده شده است. همچنین بازه زمانی در قسمت بالا بیشتر رخ داده‌ها تا زمان ۶ ثانیه دیده می‌شوند. بنابراین در قسمت چپ تنها از ۲ ثانیه تا زمان ۶/۲ ثانیه برای پردازش در نظر گرفته شده است. این عمل باعث کاهش زمان محاسبات و همچنین جلوگیری از پردازش در مناطقی می‌شود که اطلاعات چندانی در آنها وجود ندارند. اگرچه تعداد ردهایی که در قسمت بالا مورد پردازش قرار می‌گیرند از تعداد ردهایی که در قسمت چپ مورد پردازش واقع می‌شوند بیشتر است، ولی به دلیل بزرگتر شدن بازه در عمق و زمان طولانی برداشت، زمان لازم برای پردازش در قسمت چپ به صورت چشمگیری بیشتر می‌باشد. به دلیل همین زمان طولانی است که توصیه می‌شود قبل از آغاز پردازش مجدداً داده‌ها از نظر وجود نویز در آنها بررسی شوند. در اولین تلاش برای پردازش CDS بر روی داده Sigsbee 2A، یک انحراف بزرگ در مقطع نهایی برانبارش شده در قسمت چپ در دامنه داده‌ها مشاهده گردید (شکل ۵-۷). این انحراف بزرگ ابتدا با مقادیر مثبت دیده شد که کاملاً شکل موجک را تحت تاثیر قرار می‌دادند.



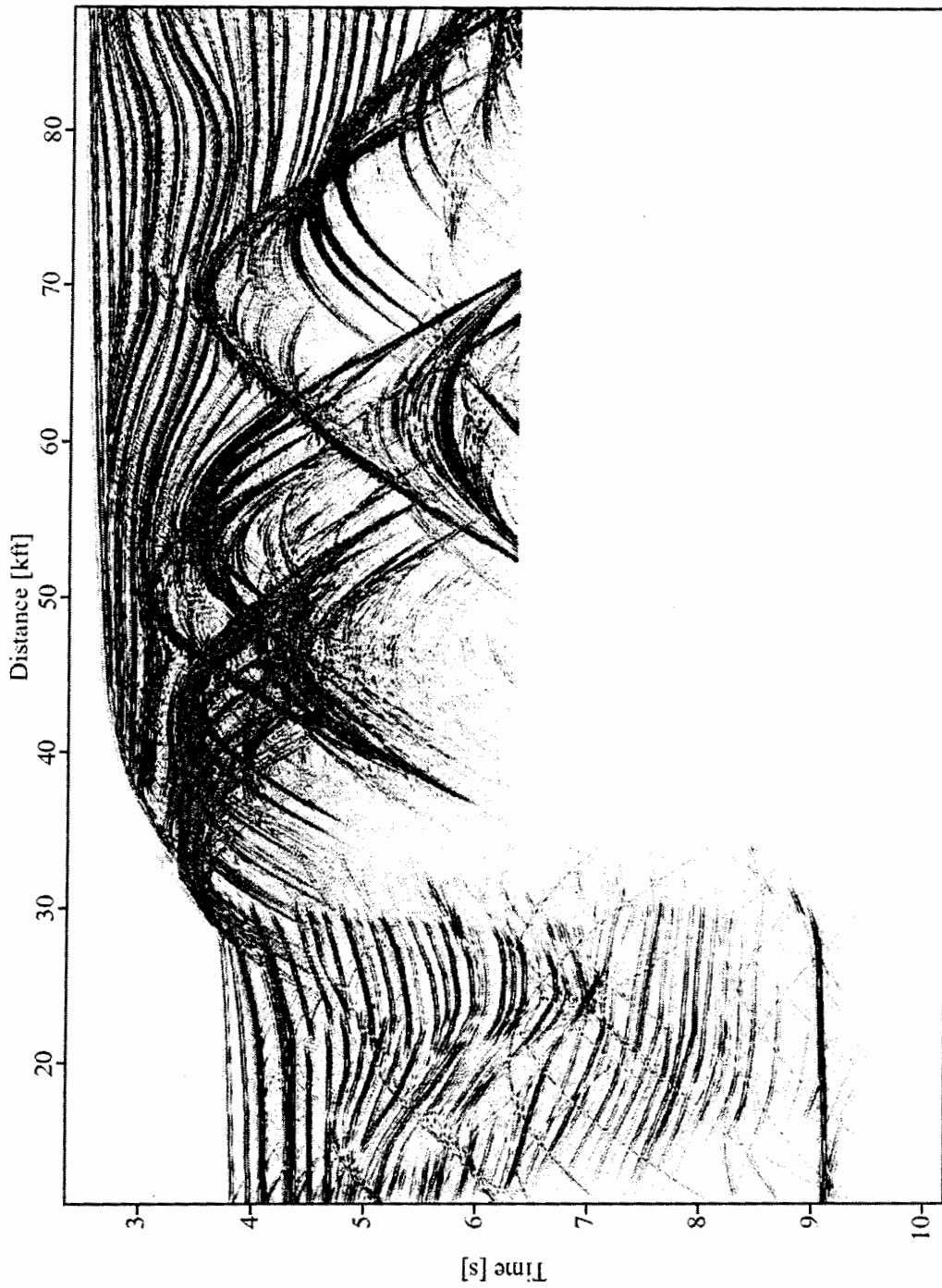
شکل ۵-۷، نویز فرکانس پایین و همچنین انحراف ضعیف زمینه در دامنه رخ داده‌ها، این چنین انحراف بزرگی را در برانبارش به وسیله عملگر CDS ایجاد کرد.

در ادامه به سمت راست، انحراف مذکور دوبار تغییر علامت داد و سپس ناپدید شد. در ابتدا گمان می‌رفت که این انحراف در دامنه در اثر مسائل مرزی مدل باشد، ولی این پدیده در قسمت بالایی مدل مشاهده نشد. در ادامه مشخص شد که این انحراف در دامنه مربوط به نویز فرکانس پایینی است که در زمان سیر کوتاه در داده‌های پیش از برانبارش وجود داشته است. ماهیت عملگر CDS به گونه‌ای بود که این انرژی‌ها را جمع کرده و آنها را تقویت می‌کند، بنابراین این انحراف بزرگ پدید آمده است. در ادامه با حذف این نویز فرکانس پایین توسط فیلتر باند گذر، پردازش به روش CDS آغاز شد. در ابتدا باید امواج مستقیم نیز حذف شوند که نتایج فیلتر را تحت تاثیر خود قرار ندهند.

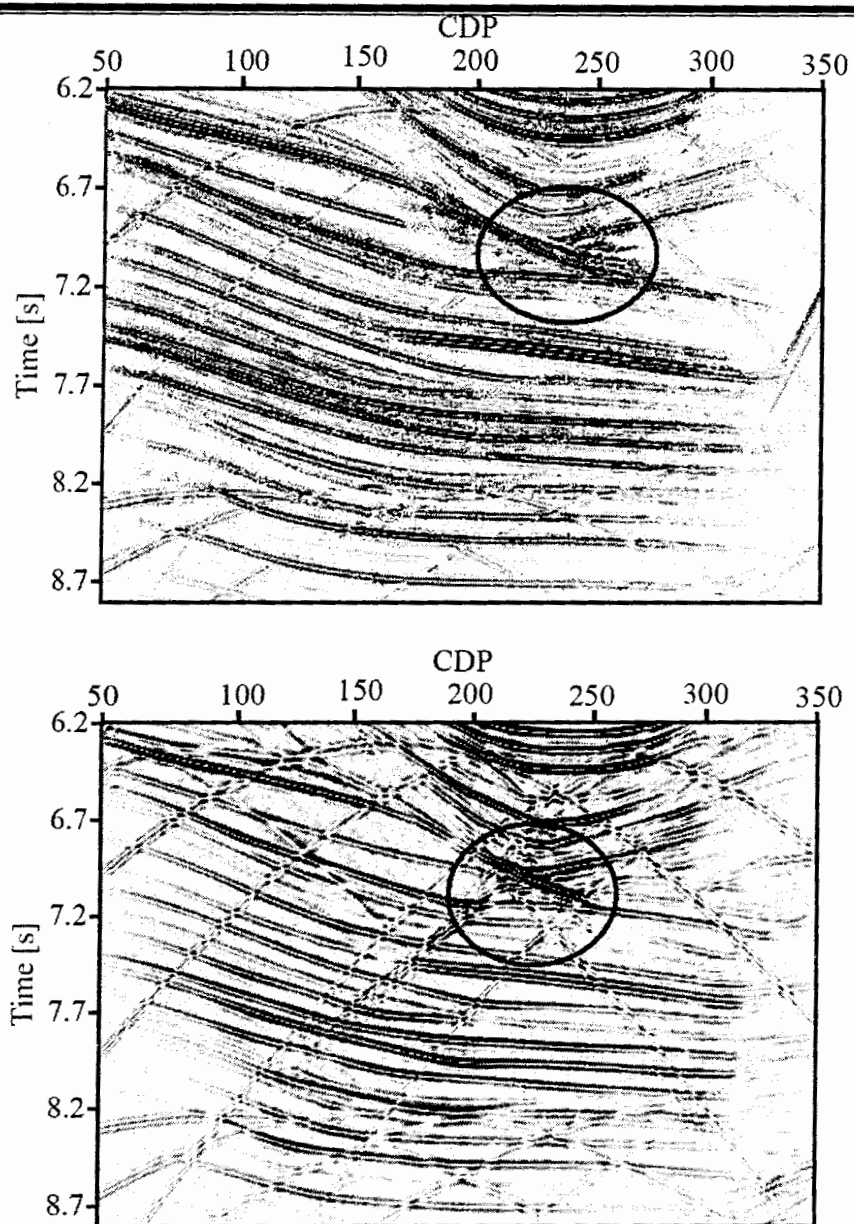
۵-۵-۱ نتیجه برانبارش CDS در داده Sigsbee 2A

قسمت چپ و بالایی داده Sigsbee 2A توسط استراتژی جدید ارائه شده مورد پردازش قرار گرفت. اگرچه این دو بخش به صورت جداگانه مورد پردازش قرار گرفتند، ولی در نهایت مقاطع برانبارش شده آنها دوباره به هم متصل شدند. مقطع نهایی برانبارش شده Sigsbee 2A به روش CDS در شکل ۵-۸ نشان داده شده است. در مقایسه با مقطع برانبارش شده به روش CRS (شکل ۳-۲۰)، در نگاه اول مشاهده می‌شود که در مقطع جدید، رخدادهای پراش در تمام سطح مقطع به خوبی آشکار شده‌اند. بویژه در بخش لایه‌های رسوبی افقی شکل در قسمت چپ، رخدادهای پراش که قبلاً توسط رخدادهای قوی بازتاب پوشیده شده بودند، این بار به صورت کامل در مقطع حضور دارند. در قسمت بالایی نیز رخدادهای قوی پراش به خوبی دیده می‌شوند. رخدادهای پراش و رخداد کاسه وارونه در زیر محل تاقدیس‌ها، سایر رخدادهای بازتابی را قطع کرده‌اند. با دقت کردن و استخراج مقاطع کوچکتر از مقطع اصلی، بهتر می‌توان تاثیر روش برانبارش CDS و بهبود مقطع نهایی در اثر حل مساله تداخل شیب‌ها را درک کرد. شکل ۵-۹ یک بخش کوچک از مقطع برانبارش نهایی توسط دو روش CRS و CDS را نشان می‌دهد. در شکل ۵-۹ (بالا)، که از پردازش CRS بدست آمده است، رخدادهای پراش

را می‌توان مشاهده کرد، ولی این رخدادها در اغلب نقاط، بویژه نقاطی که با رخداد‌های بازتابی تداخل پیدا کرده‌اند، از بین رفته و یا به عبارت دیگر توسط رخداد‌های قوی بازتابی پوشیده شده‌اند. در مقطع مذکور، علاوه بر رخداد‌های اصلی در هر نقطه، دو رخداد دیگر مربوط به ماکزیمم‌های محلی نیز تصویر شده‌اند. شکل ۵-۹ (پایین)، قسمت کوچکی از همان بخش از مقطع برانبارش شده CDS را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، پیوستگی رخدادها در این مقطع به خوبی حفظ شده و رخداد‌های پراش دیگر توسط رخداد‌های بازتابی پوشیده نشده‌اند، حتی هنگامی که با رخداد‌های دیگر تداخل کرده‌اند. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، بیشتر این رخداد‌های پراش ناشی از نقاط پراشی است که در داخل مدل به صورت منظم تعبیه شده‌اند. اکنون چون رخداد‌های پراش مربوط به این نقاط در مقطع حضور دارند، بنابراین می‌توان ادعا کرد که در صورت انجام کوچ، این نقاط پراش به خوبی تصویر خواهند شد. یک پدیده تداخل شیب بارز در این مقطع در زمان نزدیک ۷ ثانیه و زیر CDP شماره ۲۲۵ دیده می‌شود. این تداخل شیب به خوبی در مقطع برانبارش شده CDS برطرف شده در حالی که در مقطع مربوط به CRS، این بخش به خوبی تصویر نشده است.



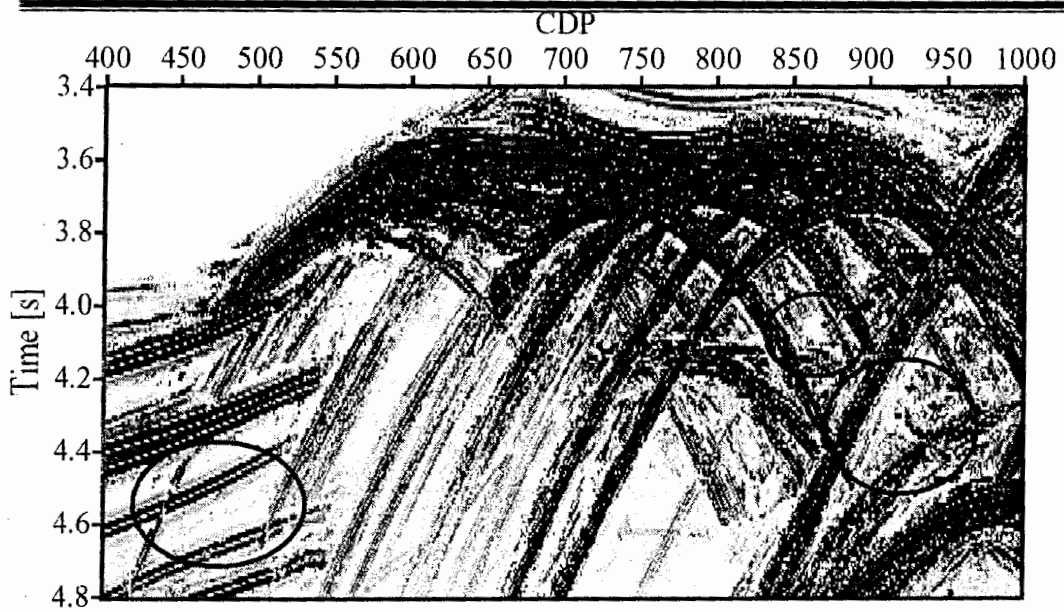
شکل ۵-۸، نتیجه برانبارش به روش CDS بر روی داده Sigsbee 2A.



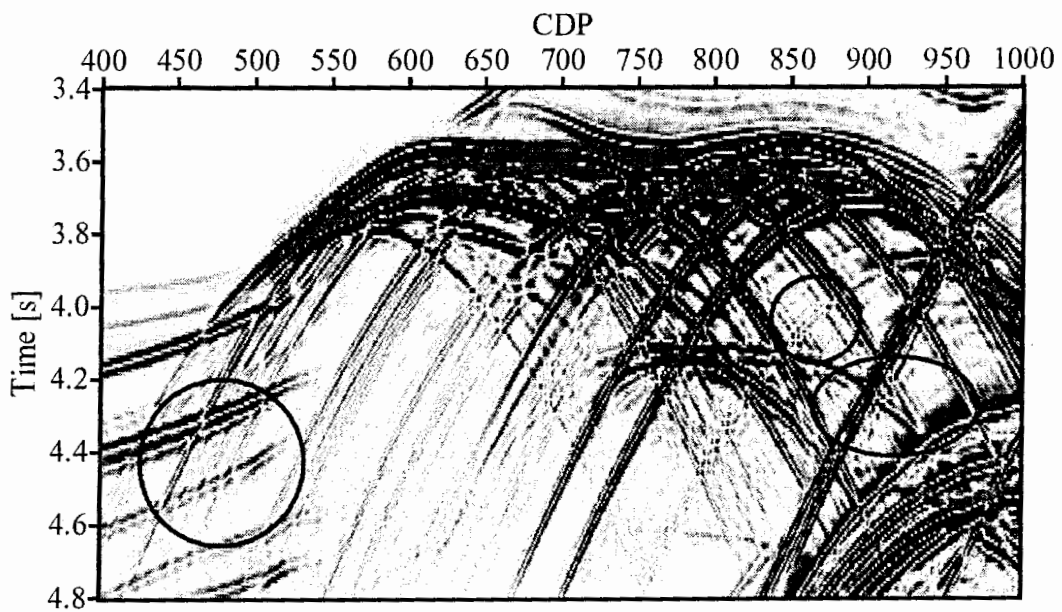
شکل ۵-۹، داده Sigsbee 2A، بالا) مقطع کوچکی از برانبارش به روش CRS، پایین) مقطع کوچکی از برانبارش به روش CDS.

مقطع کوچک دیگر برای مقایسه، مربوط به محلی است که رخدادهای پراش بزرگ ناشی از گنبد‌های نمکی، رخدادهای بازتابی افقی قسمت لایه‌ای شکل را قطع می‌کنند که در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده‌اند. در کناره چپ این مقطع، رخدادهای بازتابی قوی، انتهای رخدادهای پراش یا به اصطلاح دم آنها را پوشانده‌اند. در مقطع بدست آمده به روش CRS، (شکل ۵-۱۰، بالا)، بیشتر رخدادهای پراش توسط رخدادهای بازتابی قوی پوشیده شده‌اند. در مقطع برانبارش شده به روش CDS (شکل ۵-۱۰، پایین)، برخی از رخدادهای بازتابی چنان قوی هستند که در این مقطع نیز رخدادهای پراش را پوشانده‌اند ولی رخدادهای قوی پراش نیز دیده می‌شوند. با قدری افزایش عمق و ضعیف‌تر شدن رخدادهای بازتابی، رخدادهای پراش نیز به خوبی آشکار شده‌اند. در سمت راست مقطع (شکل ۵-۱۰ پایین) رخدادهای پراش یکدیگر را قطع کرده و مساله تداخل شیب‌ها را ایجاد کرده‌اند. دایره‌های ترسیم شده بر روی مقاطع، برخی از تفاوت‌های بین دو مقطع را نشان می‌دهند. در مقطع برانبارش شده CDS، دم رخدادهای پراش به خوبی آشکار شده‌اند.

شکل ۵-۱۱ نیز یکی دیگر از مزایای روش CDS را بر روی داده Sigsbee 2A نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود، یک رخداد پراش بزرگ با بسیاری از رخدادهای بازتابی در طول مقطع تداخل کرده‌است. شکل ۵-۱۱ (بالا) مقطع مربوط به پردازش CRS است. در مناطقی که با دایره در این شکل مشخص شده‌اند، مساله تداخل شیب‌ها برطرف نشده و به همین دلیل رخدادهای در این محل به خوبی تصویر نشده‌اند. شکل ۵-۱۱ (پایین) مقطع مربوط به پردازش CDS است. همان دایره‌ها در محل‌های قبلی نیز در این مقطع، محل وجود مساله تداخل شیب‌ها را نشان می‌دهند. مشخصاً این مشکل در مقطع برانبارش مربوط به CDS برطرف شده و مشاهده می‌شود که رخدادهای چگونه به خوبی تصویر شده‌اند.

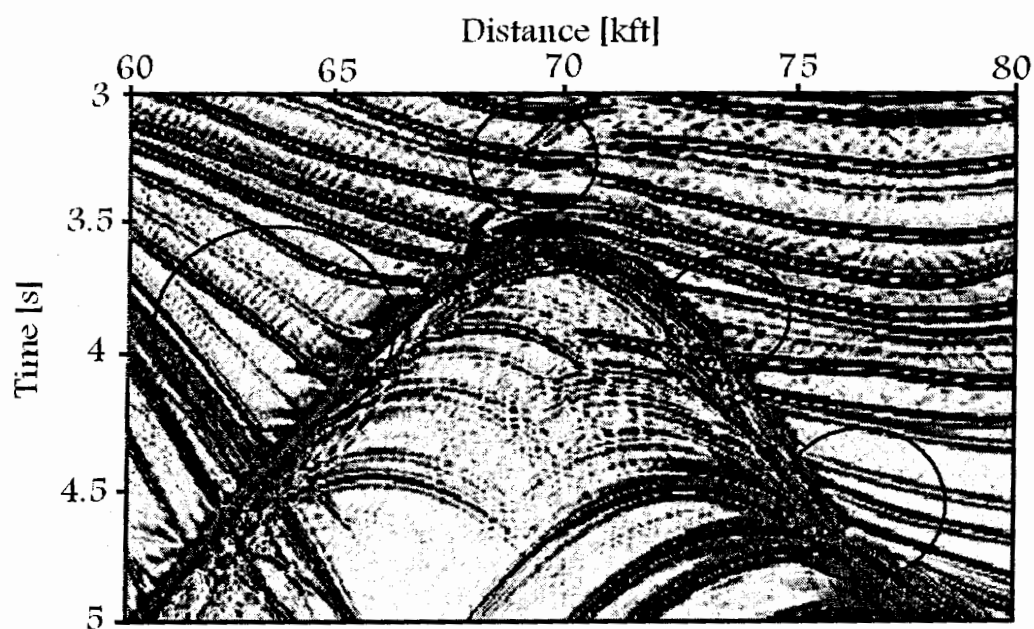
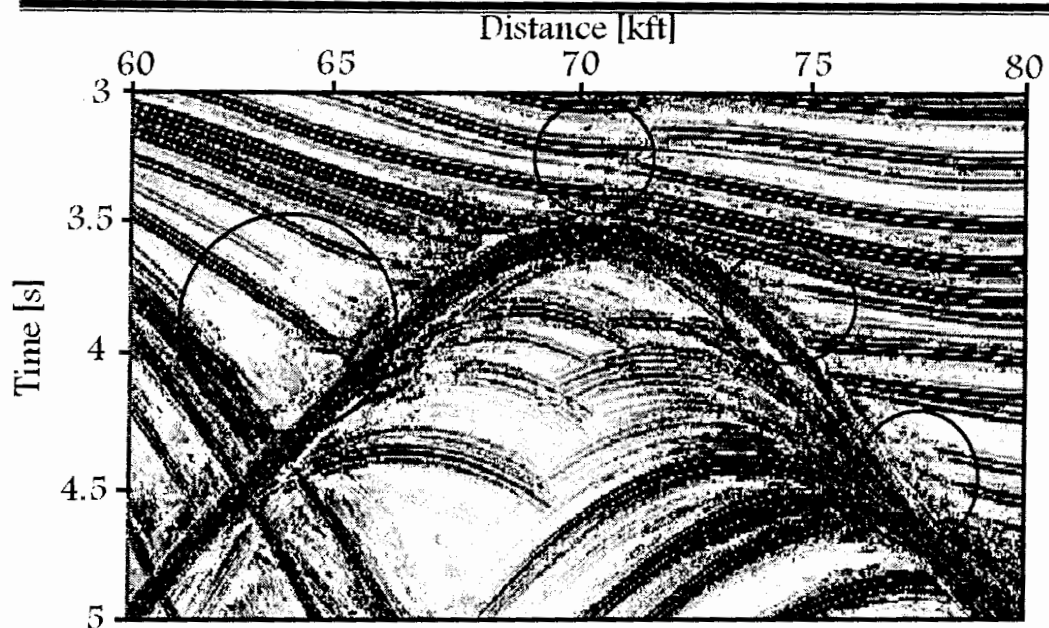


CRS subset stacked section



CDS subset stacked section

شکل ۵-۱۰، داده Sigsbee 2A، بالا) مقطع کوچکی از برانبارش به روش CRS، پایین) مقطع کوچکی از برانبارش به روش CDS.



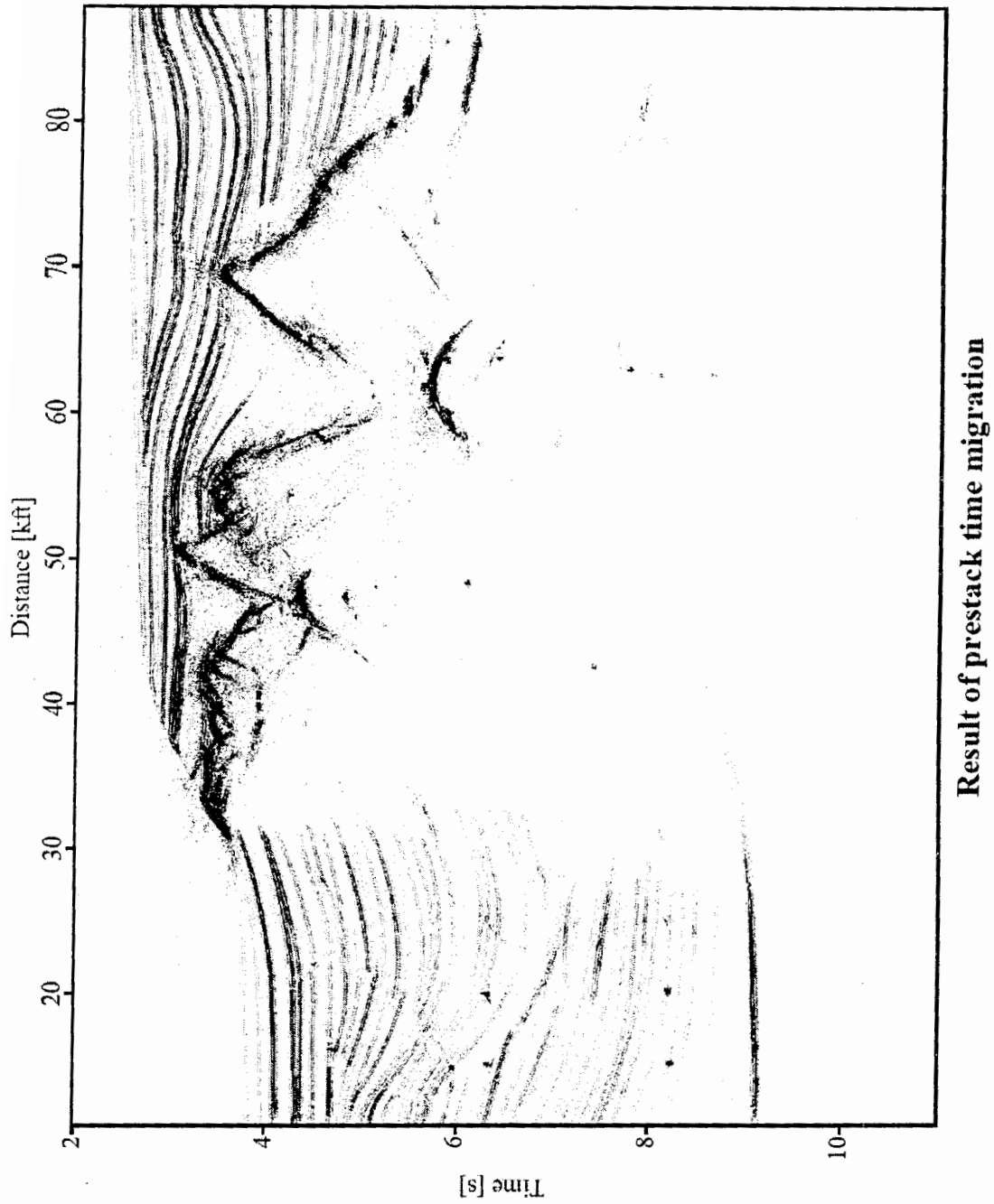
شکل ۵-۱۱، داده Sigsbee 2A، بالا) مقطع کوچکی از برانبارش به روش CRS، پایین) مقطع کوچکی از برانبارش به روش CDS.

۵-۵-۲ کوچ زمانی پیش از برانبارش

شکل ۵-۱۲ مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش در داده Sigsbee 2A را نشان می‌دهد. بالای گنبد‌های نمکی در این شکل به خوبی آشکارسازی شده است، ناودیس‌ها به خوبی مشاهده می‌شوند. رخداد کاسه وارونه در فرایند کوچ به حالت اصلی خود برگشته ولی به دلیل بسیار قوی بودن این پدیده هنوز اثراتی از این پدیده در زیر ناودیس مشاهده می‌شود. نقاط پراش تعبیه شده در قسمت لایه‌ایی شکل به خوبی آشکار شده‌اند، همچنین گسل‌های کوچکی که باعث تولید رخداد‌های پراش شده بودند نیز در تصویر کاملاً مشخص‌اند. بازتابنده قوی که در زمان ۹ ثانیه حضور دارد نیز در این شکل به خوبی دیده می‌شود. در مقایسه با مقطع کوچ به روش استولت با سرعت ثابت (شکل ۳-۱۳)، نقاط تداخل در یال‌های گنبد بهتر آشکار شده‌اند. می‌توان ادعا کرد که در صورت انجام کوچ عمقی کیرشلف بر روی مقطع برانبارش شده CDS، مقطع عمقی بسیار خوبی از این داده بدست آید.

۵-۶ داده واقعی زمینی

همانگونه که قبلاً نیز بدان اشاره شد، هدف اصلی از برداشت این داده، بدست آوردن محل دقیق گسل‌های کوچک و بزرگ در منطقه به منظور مطالعات ژئوترمال بوده است. در پردازش CRS، تعیین محل دقیق گسل‌ها و مرزهای آنها به دلیل ماهیت نرم‌کنندگی روش CRS و همچنین به دلیل وجود مساله تداخل شیب‌ها در رخداد‌های پراش حاصل از نوک گسل، دشوار است. بنابراین این داده‌ها برای بررسی روش کار استراتژی جدید انتخاب شده‌اند تا معلوم شود که آیا مقطع بهتری نسبت به مقطع بدست آمده از روش CRS تهیه خواهد شد یا خیر.



شکل ۵-۱۲، مقطع کوچ زمانی پیش از برانبارش در داده Sigsbee 2A.

جدول ۵-۳، پارامترهای مورد استفاده در پردازش داده واقعی زمینی به روش CDS.

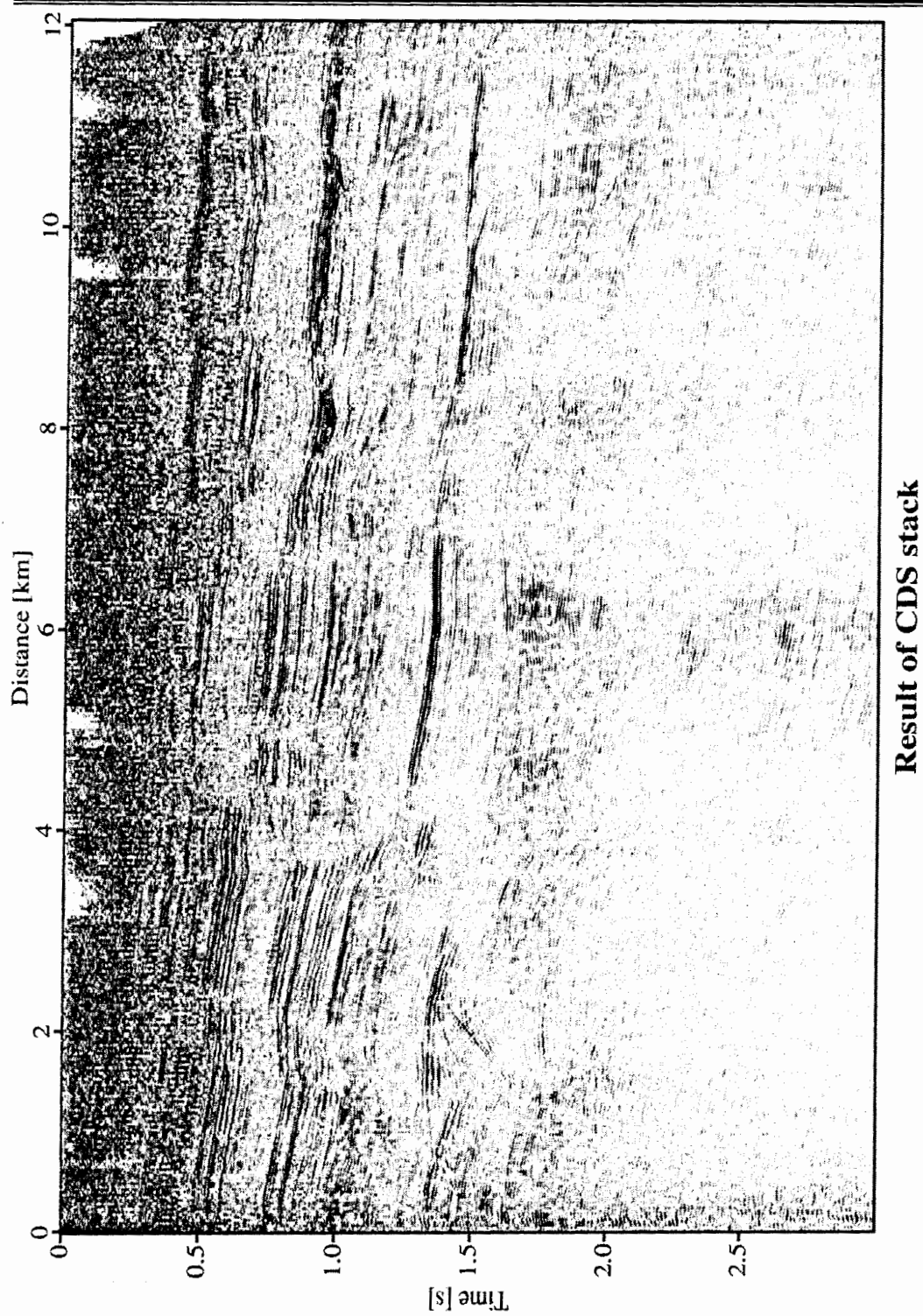
مقدار	پارامتر پردازش	نوع پارامتر
۳۰ هرتز	فرکانس غالب	پارامترهای عمومی
شباهت	معیار همدوسی	
ردهای اصلی	داده‌های مورد استفاده در آنالیز همدوسی	
۵۶ میلی ثانیه	عرض نوار همدوسی	
۱۷۰۰ متر بر ثانیه	سرعت نزدیک سطح	سرعت و مرزهای جستجوی سرعت بهینه
۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر بر ثانیه	سرعت برانبارش تحت جستجو	
۰ تا ۳ ثانیه	زمان سیر شبیه سازی شده در ZO	منطقه هدف
۸ میلی ثانیه	فاصله نمونه برداری در شبیه سازی	
۲۰۵۳	تعداد ردهای شبیه سازی شده در ZO	
۳۳ متر	فاصله بین ردها در شبیه سازی ZO	
۵۰ متر در ۰/۲ ثانیه	حداقل بازه ZO	بازه جستجوی بین ردها
۵۰۰ متر در ۱/۲ ثانیه	حداکثر بازه ZO	
۲۰۰ متر در ۰/۲ ثانیه	حداقل بازه CMP	
۲۰۰۰ متر در ۱/۲ ثانیه	حداکثر بازه CMP	
۳۰٪	ابعاد تعمیم بازه	
۳	مراتب تکرار در بهینه کردن جستجو	پارامترهای CDS
۲۰- تا ۲۰+ درجه	بازه زاویه مورد جستجو	
۱ درجه	گام افزایش زاویه‌های مورد جستجو	
۲ میلی ثانیه	فرکانس جستجو در برداشت انفجاری	
۱۴۳/۶۴۷ ساعت	زمان پردازش برای قسمت چپ	

۵-۶-۱ نتیجه پردازش CDS بر روی داده واقعی زمینی

اگرچه طول پروفیل داده واقعی زمینی طولانی می‌باشد، ولی ساختار آن در سرتاسر طول پروفیل تغییرات چندانی ندارد. علاوه بر آن زمان ثبت نیز ۳ ثانیه می‌باشد که زمان محاسبات را چندان طولانی نمی‌کند. در داده‌های واقعی زمینی، تمام طول برداشت زمانی، مورد پردازش قرار گرفت، هرچند در زمان‌های بیشتر از ۲ ثانیه، عملاً رخدادهای خاصی انتظار نمی‌رفت. بیشتر بازتابنده‌های زیرسطحی به شکل تقریباً افقی هستند و شیب کمی به سمت راست مقطع دارند. بنابراین می‌توان از

بازه زاویه کوچکتری برای مقادیر زاویه ورود پرتوی مرکزی استفاده کرد. در پردازش CDS بازه زاویه بین -20 درجه و $+20$ درجه انتخاب شده است. گام افزایش زاویه نیز مانند داده Sigsbee 2A 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 ۳-۵ آورده شده‌اند.

شکل ۳-۵ نتیجه برانبارش به روش CDS بر روی داده‌های زمینی واقعی را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، رخدادهای پراش بهتر آشکار شده‌اند و همچنین اثر گسل‌ها بر روی رخدادهای بهتر دیده می‌شوند. البته مقطع برانبارش نمی‌تواند به عنوان تنها مقطع شاهد استفاده شود. مناطق سفید خالی در زمان سیرهای کم در برخی از نقاط در مقطع دیده می‌شوند که به دلیل کمبود پوشش انرژی در آن مناطق است. در طول مقطع نیز رخدادهایی دیده می‌شوند که از دامنه کوچکی برخوردارند که احتمالاً به دلیل پراش انرژی در اثر گسل و کمبود پوشش انرژی در آن محل‌ها می‌باشند. اگرچه نسبت به داده Sigsbee 2A تعداد پراش کمتری در مقطع به چشم می‌خورد، ولی وجود گسل‌ها باعث شده که پیوستگی رخدادهای در برخی نقاط از بین رفته و همچنین رخدادهای در برخی محل‌ها شکستگی پیدا کنند. در مقطع برانبارش شده به روش CRS (شکل ۳-۲۶) نسبت سیگنال به نویز بالا بود، به گونه‌ایی که به راحتی می‌توانستیم ردها را در آن مقطع دنبال کنیم، با این حال در نقاط زیادی مساله تداخل شیب‌ها، رخدادهای دچار تغییر می‌کرد. در مقطع برانبارش شده به روش CRS، نویز زمینه در زمان سیرهای کمتر از $0/2$ ثانیه به خوبی به چشم می‌خورد، ولی همین نویز در مقطع برانبارش شده به روش CDS قوی شده و تا نزدیک $0/5$ ثانیه آشکارا دیده می‌شود. بنابراین به آسانی می‌توان عنوان کرد که نسبت سیگنال به نویز در مقطع برانبارش شده به روش CRS، از این نسبت در مقطع برانبارش شده به روش CDS بیشتر است.



Result of CDS stack

شکل ۵-۱۳، نتیجه برانبارش CDS بر روی داده واقعی زمینی.

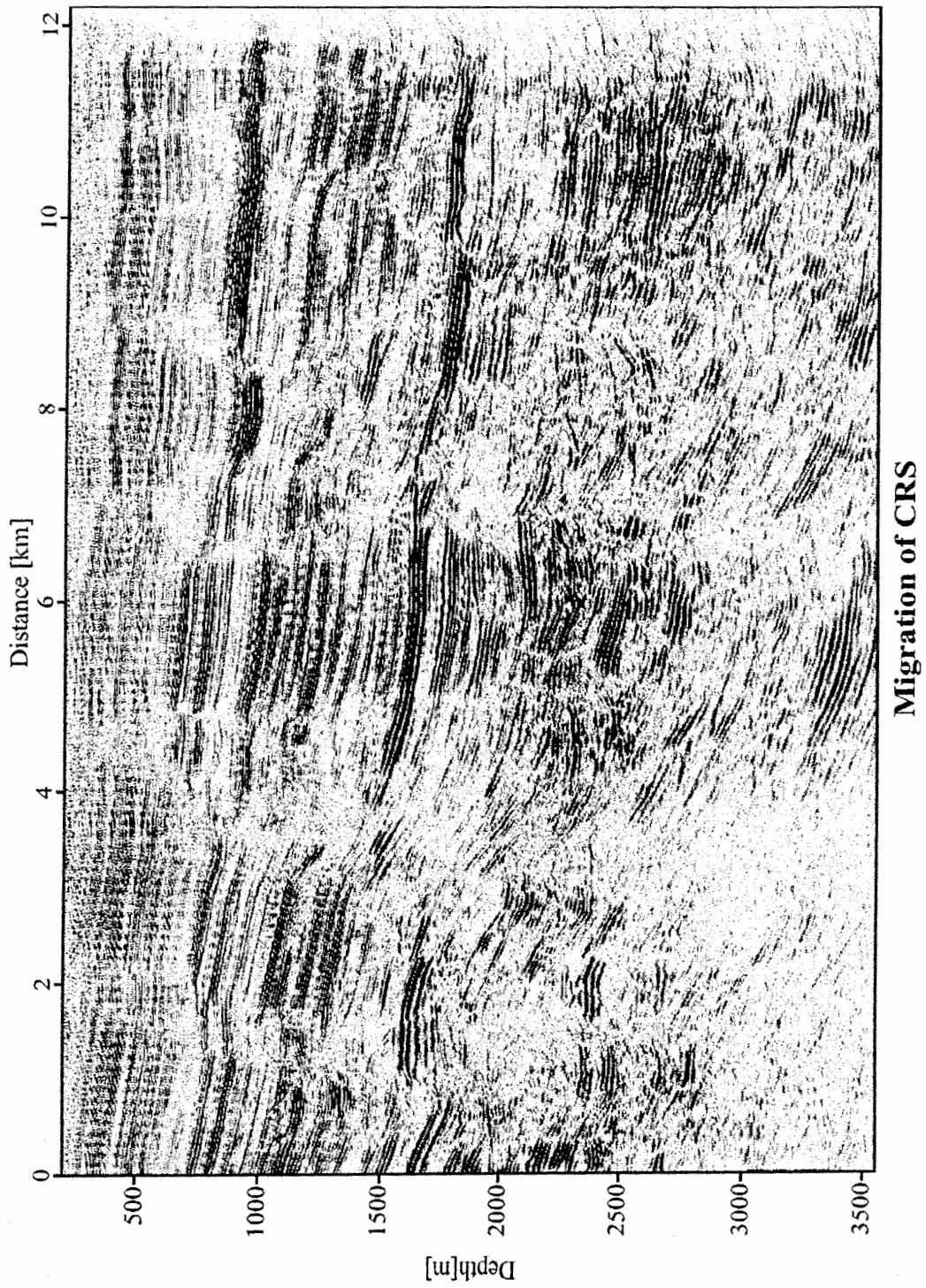
در زیر این قسمت نويز دار، رخدادهای تقریباً افقی دیده می‌شوند که دارای شیب اندکی به سمت راست هستند. رخدادهای زیرسطحی تا حد زیادی تحت تاثیر گسل‌ها قرار گرفته‌اند که با دنبال کردن قسمت‌های مخدوش شده رخدادهای، می‌توان آنها را مشاهده کرد. در بین آنها، یک رخداد بسیار بارز در بین زمان‌های ۱/۳ تا ۱/۴ ثانیه که در تمام طول مقطع امتداد دارد، به آسانی دیده می‌شود. در فواصلی مانند ۱ کیلومتر، ۴ کیلومتر و ۸ کیلومتر، ناپیوستگی‌هایی در این رخداد به چشم می‌خورد که در این نقاط می‌توان انتظار وجود مساله تداخل شیب‌ها را داشت.

این مقطع بیشتر توسط رخدادهای بازتابی پوشیده شده است تا رخدادهای پراش. بنابراین تفاوت‌های بین مقاطع برانبارش CRS و برانبارش CDS چندان بارز نمی‌باشد. به این دلیل فرایند کوچ پس از برانبارش بر روی داده‌ها انجام گرفت تا تفاوت‌ها بهتر دیده شوند.

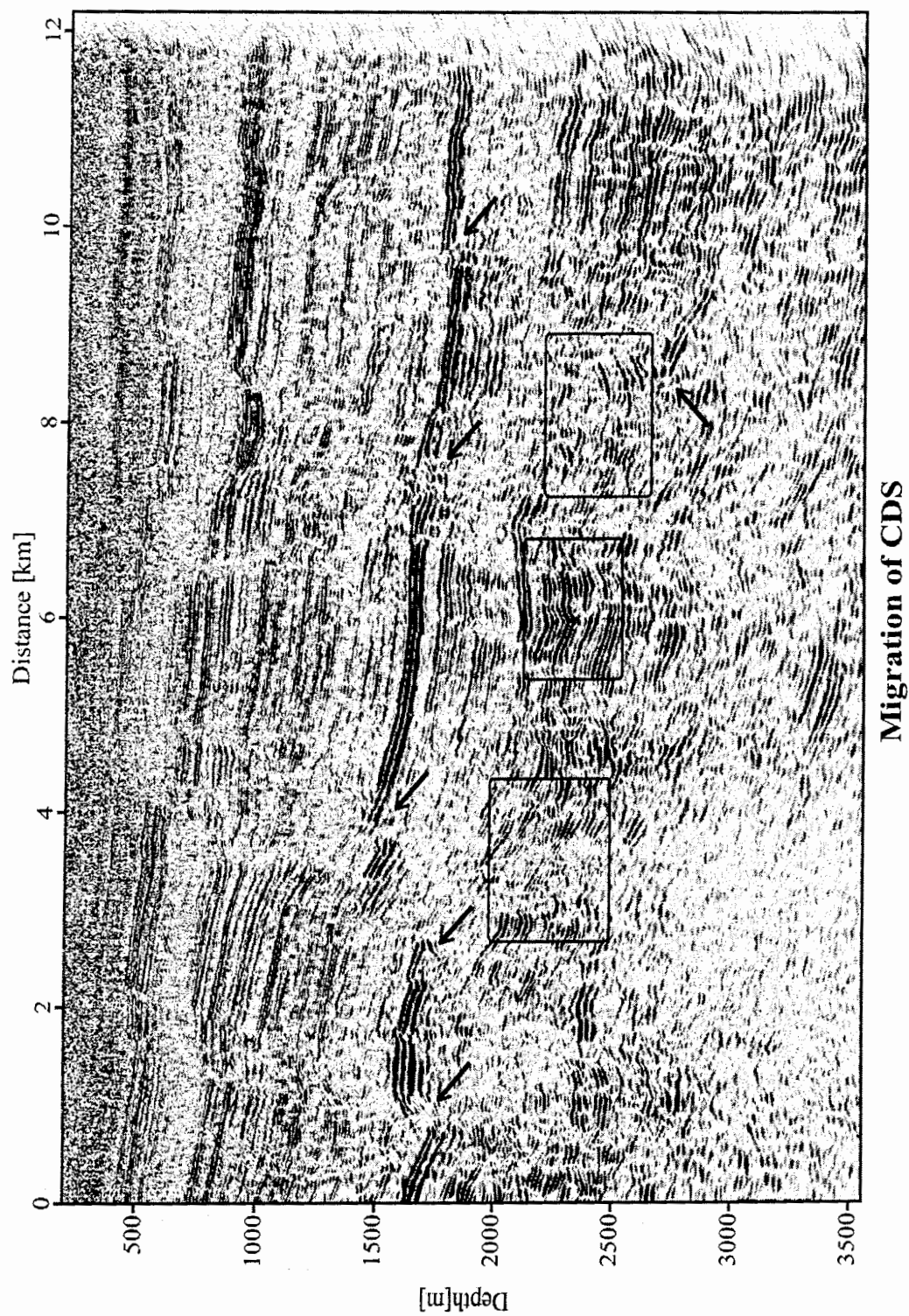
۵-۷ نتایج کوچ

مدل سرعت (شکل ۳-۲۷) داده‌های واقعی زمینی در دسترس می‌باشد (هرتوک، ۲۰۰۴) که این امکان را فراهم می‌نمود تا کوچ عمقی پس از برانبارش بر روی نتایج برانبارش شده انجام شود. همچنین کوچ بر روی مقطع برانبارش شده CRS و روش پردازش مرسوم NMO/DMO/Stack نیز بر روی داده واقعی انجام گرفت تا مقایسه بهتری بین نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف صورت گیرد. روش کوچ کیرشسف بر روی تمام مقاطع برانبارش شده به صورت یکسانی انجام شد.

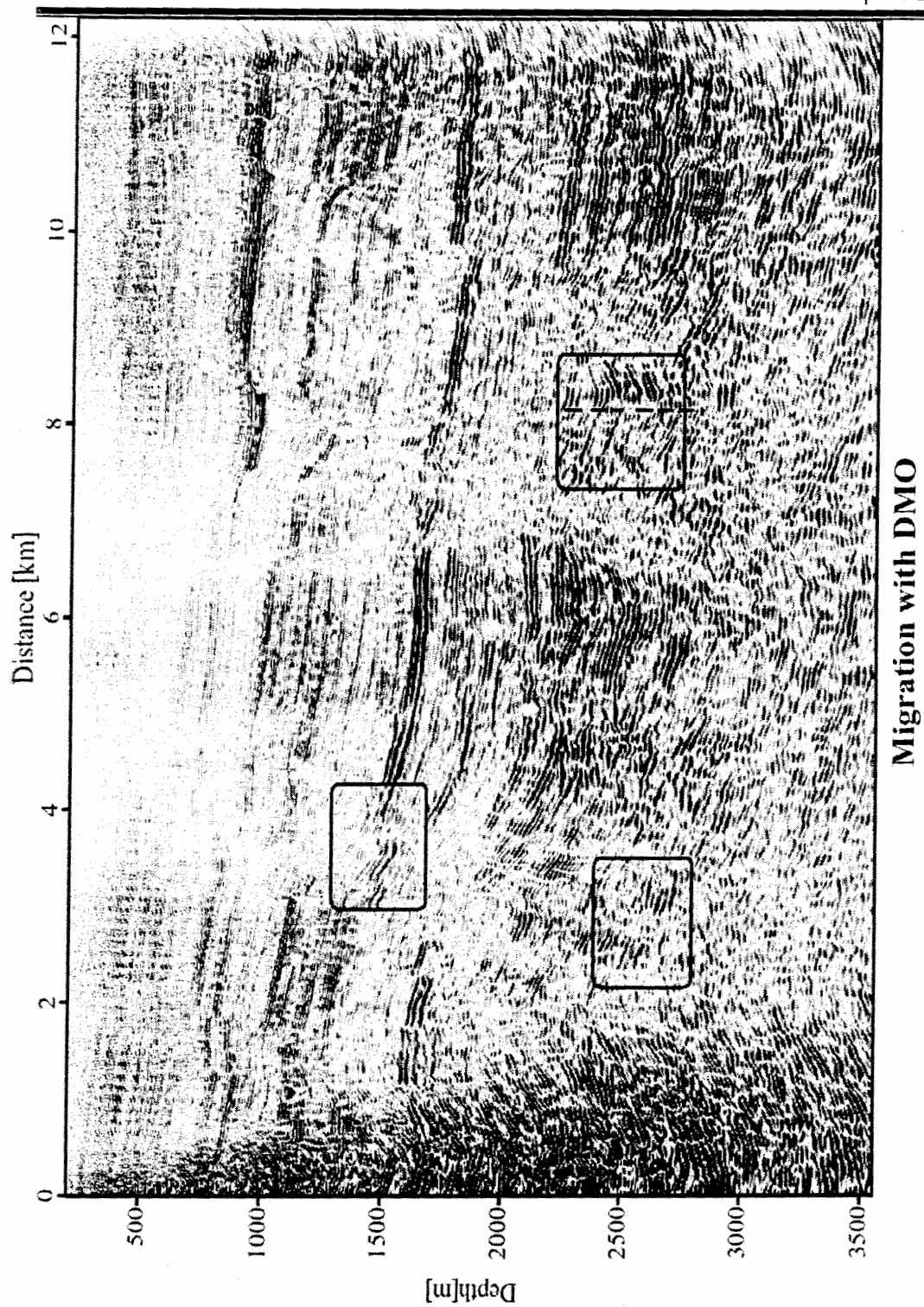
شکل ۵-۱۴ نتیجه انجام کوچ عمقی پس از برانبارش بر روی مقطع برانبارش شده به روش CRS را نشان می‌دهد. شکل ۵-۱۵ نیز نتیجه همین روش کوچ ولی بر روی مقطع بدست آمده به روش برانبارش CDS را نشان می‌دهد و در نهایت نتیجه پردازش مرسوم NMO/DMO/Stack نیز در شکل ۵-۱۶ آورده شده است.



شکل ۵-۱۴، نتیجه کوچ بر روی مقطع دورافت صفر بدست آمده به روش برانبارش CRS.



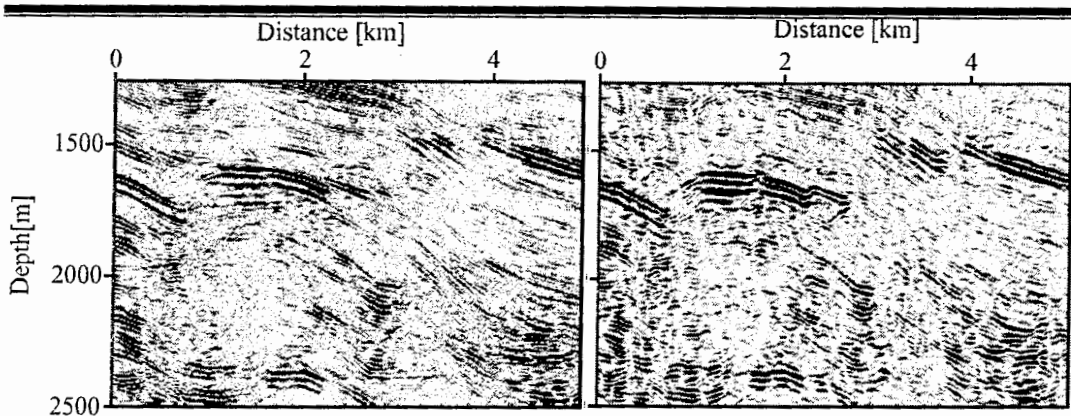
شکل ۵-۱۵، نتیجه کوچ بر روی مقطع دورافت صفر بدست آمده به روش برانبارش CDS.



شکل ۵-۱۶، نتیجه کوچ بر روی مقطع دورافت صفر بدست آمده به روش برانبارش مرسوم.

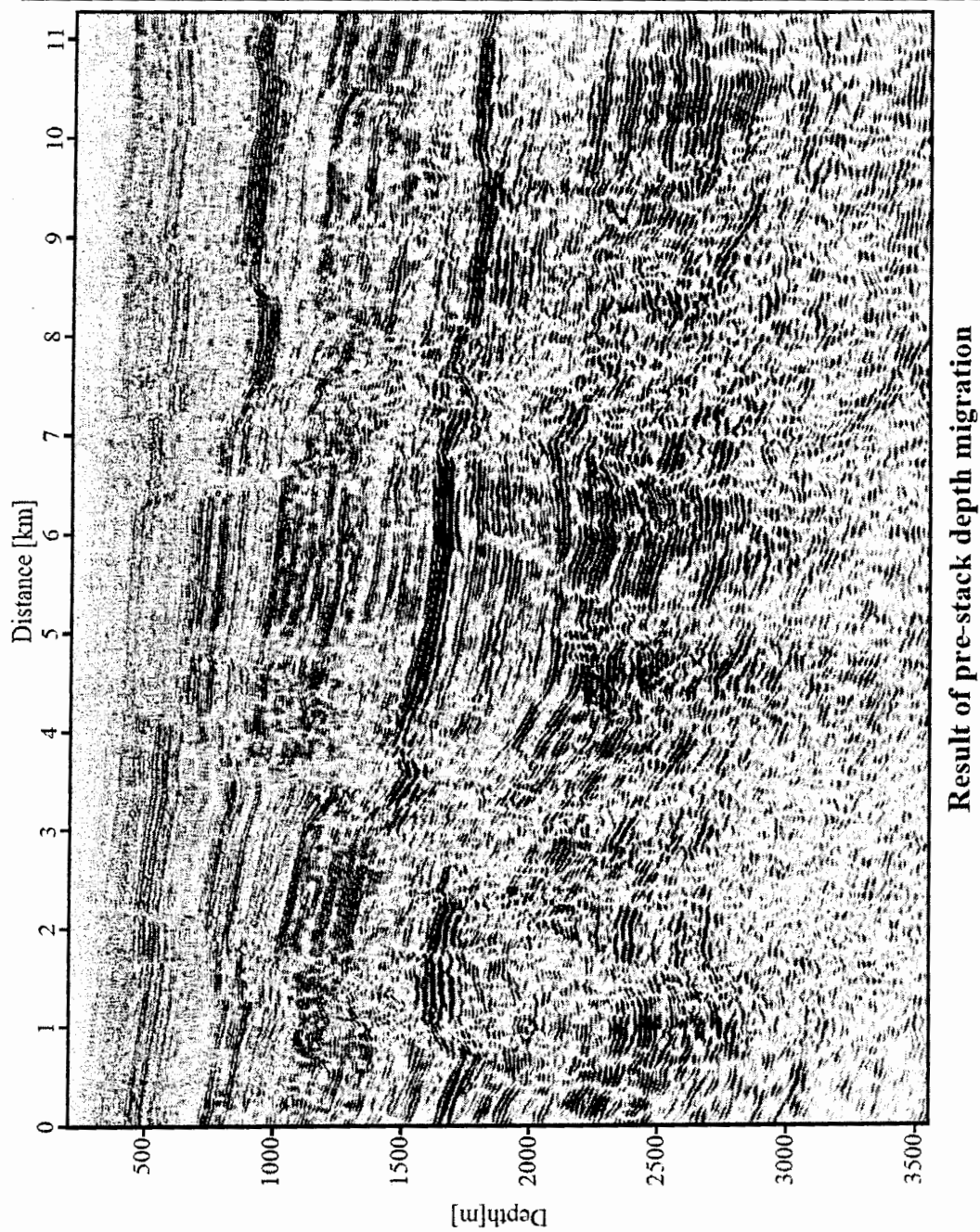
در ابتدا دیده می‌شود که نتایج کوچ بر روی مقاطع بدست آمده از هر دو روش CRS و CDS، نسبت سیگنال به نویز بیشتری در مقایسه با نتیجه کوچ بر روی مقطع بدست آمده از پردازش مرسوم NMO/DMO/Stack دارند. در دو مقطع اول، پیوستگی بازتابنده‌ها و همچنین جانمایی محل گسل‌ها با کیفیت بهتری نسبت به مقطع سوم انجام شده است. در کوچ‌های عمقی، بازتابنده‌های غیرواقعی بیضی شکلی در مقطع ایجاد شده‌اند که این اثرات غیرواقعی را در مقطع کوچ داده شده سوم بیشتر می‌توان مشاهده کرد. اثر مرزی در مقاطع کوچ داده شده شایع است. این اثر در هر سه مقطع به مقداری در نزدیکی محور چپ مقطع دیده می‌شود ولی در مقطع کوچ سوم با شدت بیشتری حضور دارد. به همین شکل نیز با افزایش عمق، شعاع ایزوکرون دورافت صفر نیز افزایش می‌یابد که به همین دلیل این اثرات مرزی در عمق بیشتر، بزرگتر دیده می‌شوند، بویژه در مقطع کوچ بدست آمده بر روی داده حاصل از پردازش مرسوم NMO/DMO/Stack. در رابطه با پیوستگی بازتابنده‌ها، هر دو مقطع کوچ انجام گرفته بر روی مقاطع برانبارش شده CDS و CRS، پیوستگی خوبی در بازتابنده‌ها دیده می‌شود. در مورد نسبت سیگنال به نویز نیز، مقطع کوچ بر روی نتیجه برانبارش CRS، کیفیت بالاتری را نسبت به دو مقطع دیگر از خود نشان می‌دهد. در نهایت مقطع برانبارش شده DMO، کمترین نسبت سیگنال به نویز را دارد. در مقطع برانبارش شده بر روی نتیجه پردازش مرسوم، به نظر می‌رسد که مراحل پردازش نتوانسته بازتابنده‌های نزدیک سطح و در فواصل بین ۴ کیلومتر تا ۸ کیلومتری را به درستی تصویر کند که گمان می‌رود به دلیل کمبود پوشش انرژی در آن منطقه و یا اثرات دیگری باشد. در تمام مقاطع، انتظار می‌رود بیشترین تفاوت‌ها در محل‌هایی مشاهده شود که مساله تداخل شیب‌ها در آنجا وجود دارد. محل این تفاوت‌ها با پیکان در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده‌اند. بیشترین تفاوت‌ها همانگونه که انتظار می‌رفت بر روی همان بازتابنده‌ایی که در بخش قبل به آن اشاره شد و در فواصل بین ۱۵۰۰ متری تا ۲۰۰۰ متری در عمق و در طول پروفیل از صفر تا ۱۲ کیلومتر دیده می‌شود. این بازتابنده در نقاط زیادی دستخوش تغییر شده‌اند. این محل‌های آشفته در

دو مقطع کوچ انجام گرفته بر روی مقاطع برانبارش شده CRS و پردازش مرسوم DMO یا دیده نمی- شوند و یا به خوبی آشکار نشده‌اند. با این حال تنها یک نقطه در عمق ۱۵۰۰ متری و فاصله ۴ کیلومتری در مقطع پردازش مرسوم آشکار شده که با کادر مربع شکل مشخص شده ولی سایر نقاط در مقطع کوچ شده DMO به خوبی تصویر نشده‌اند. پیکان نشان داده شده در فاصله نزدیک ۸ کیلومتری و عمق تقریبی ۱۷۰۰ متر، محلی را نشان می‌دهد که بازتابنده‌های زیادی در یک ساختار شبیه ناودیس با یکدیگر برخورد می‌کنند. در شکل ۵-۱۵، مناطقی نیز با مربع‌هایی نشان داده شده است که در آنها بازتابنده‌ها حالت منحنی شکل پیدا کرده‌اند. جدای از اینکه این بازتابنده‌ها در این مقطع به عنوان نویز شناخته می‌شوند یا خیر، این بازتابنده‌ها در مربع سمت چپ مقطع کوچ انجام گرفته و بر روی برانبارش CDS به خوبی دیده می‌شوند در حالی که در مقطع کوچ برانبارش CRS و یا DMO به خوبی تصویر نشده‌اند. دو مربع دیگر نیز در واقع همین حالت را نشان می‌دهند با این تفاوت که این محل‌ها در دو مقطع دیگر به صورت مرز تیز دیده می‌شوند. در مقطع حاصل از پردازش مرسوم DMO، یک سمت از این بازتابنده‌ها آشکار شده در حالی که سمت دیگر آن به خوبی تصویر نشده است. برای آنکه بهتر بتوان این تفاوت‌ها را مشاهده کرد، مقاطع کوچکتری از آنها برای مقایسه استخراج شده است. شکل ۵-۱۷ مقاطع کوچک حاصل از دو نتیجه کوچ را نشان می‌دهد. نرم شدگی بازتابنده‌ها در مقطع کوچ بر روی مقطع CRS به خوبی دیده می‌شود. بازتابنده‌ها در شکل ۵-۱۷ (چپ)، بیشتر به صورت منحنی دیده می‌شوند تا در شکل ۵-۱۷ (راست). بنابراین در جاهایی که بازتابنده‌ها گسله شده‌اند، امتداد بازتابنده را در مقطع کوچ انجام گرفته بر روی مقطع برانبارش شده CDS، بهتر می‌توان دنبال کرد تا بر روی سایر مقاطع. یکی دیگر از مقاطعی که می‌توان آنرا با مقطع کوچ نهایی مقایسه کرد، مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش است. این مقطع در شکل ۵-۱۸ نشان داده شده است. اگرچه ساختار زیرسطحی چندان پیچیده نیست و همچنین تغییرات جانبی سرعت و ناهمگنی نیز آنچنان بزرگ نمی‌باشد، ولی می‌توان انتظار داشت که مقطع کوچ عمقی پیش از



شکل ۵-۱۷، دو مقطع کوچک از نتایج کوچ عمقی بر روی دو مقطع برانبارش شده به دو روش متفاوت. چپ) کوچ بر روی مقطع برانبارش CRS و راست) کوچ بر روی مقطع برانبارش CDS.

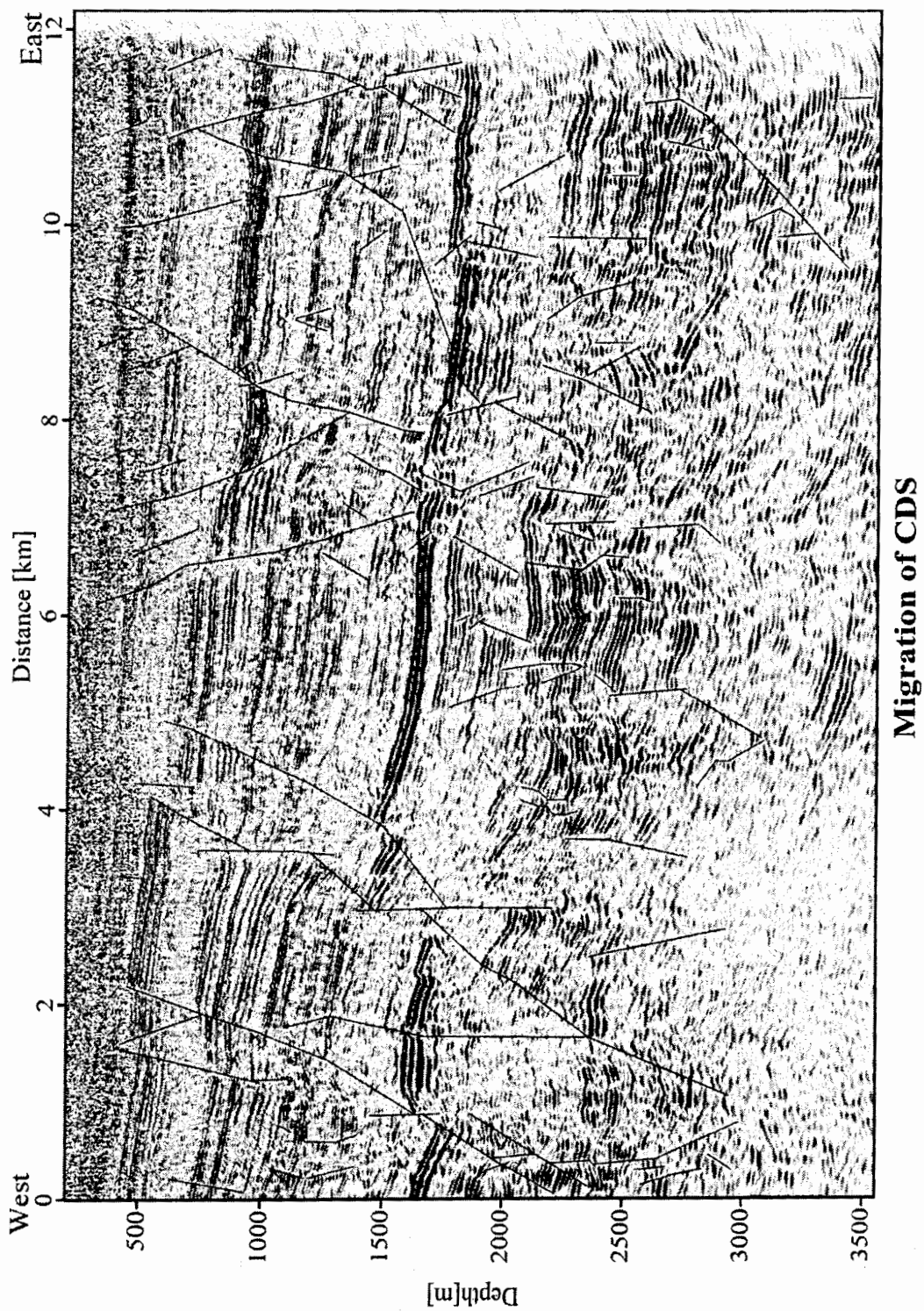
برانبارش نیز تصویر خوبی از ساختارهای زیرسطحی ارائه دهد. تفاوت‌های این مقطع و مقطع بدست آمده از کوچ عمقی پس از برانبارش بر روی نتایج برانبارش CDS را می‌توان در نقاطی که بازتابنده‌ها گسله شده‌اند، دنبال کرد. به دلیل آنکه تنها تفاوت‌های کوچکی بین این دو مقطع دیده می‌شود، در نگاه اول نمی‌توان عنوان کرد که کدام مقطع بهتر است. برخی از تفاوت‌هایی که بین این دو مقطع دیده می‌شود، در طول محل گسل‌ها است. بازتابنده‌ها در مقطع پیش از برانبارش، نرم شده‌اند در حالی که در مقطع پس از برانبارش، بازتابنده‌ها تیزتر تغییر شیب داده‌اند. تفسیر بر روی مقطع پس از برانبارش نشان می‌دهد که این مقطع بازتابنده‌ها را به صورت بارزتری آشکار کرده است. به عنوان مثال گرابن بزرگی در مقطع پس از برانبارش دیده می‌شود که شاخه‌های آن در طول ۶ کیلومتر و ۱۱ کیلومتر در سطح آغاز شده و در طول ۸/۲ کیلومتری و عمق ۲۸۰۰ متری به هم می‌رسند. این گرابن در مقطع پیش از برانبارش دیده نمی‌شود. البته تفاوت‌های بارزتر بین این دو روش باید در مناطقی با پیچیدگی ساختاری بالاتری مورد بررسی قرار گیرد. مزیت دیگر این روش این است که مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش که بر روی نتایج بدست آمده از برانبارش CDS حاصل شده است، از یک مدل هموار شده و ساده سرعت استفاده شده است و نتیجه بهتری را نیز بدست آورده است.



Result of pre-stack depth migration

شکل ۵-۱۸، مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش. در این مقطع مساله تداخل شیبها برطرف شده است. بازتابندهها در این مقطع قدری نسبت به بازتابندهها در شکل ۵-۱۵، هموارتر هستند.

بنابراین هیچگونه نیازی به داشتن یک مدل سرعت با دقت بالا و به روز رسانی چندباره آن وجود ندارد. کاربرد دیگر این روش، تعیین دقیق محل گسل‌های کوچک و بزرگ در مقطع عمقی است. شکل ۵-۱۹ گسل‌هایی را نشان می‌دهد که از تفسیر مقطع شکل ۵-۱۵ نتیجه شده‌اند. در چند لایه نزدیک سطح، تعداد زیادی گسل‌های کوچک دیده می‌شوند. این گسل‌ها دارای شیب تندی بوده و جابجایی‌های کوچکی را در لایه‌ها بوجود آورده‌اند. این گسل‌ها را تا عمق ۱۰۰۰ متری می‌توان دنبال کرد. لایه‌های موجود بین عمق‌های ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و در فاصله ۴ کیلومتر نیز توسط یک گسل قائم دستخوش تغییر شده‌اند. بازتابنده بارز بین عمق ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر که در تمام طول مقطع (شکل ۵-۱۹) نیز کشیده شده است، در نقاط زیادی گسله شده که بدین ترتیب می‌توان به راحتی اغلب گسل‌ها را تا عمق ۲۰۰۰ متری دنبال کرد. تاکنون تعداد پنج گسل بزرگ در مقطع شناسایی شده است. اولین آنها در فاصله ۲ کیلومتری و عمق ۵۰۰ متری شروع می‌شود که با شیب تندی به سمت چپ رو به پایین امتداد دارد و تا عمق ۲۳۰۰ متری در انتهای سمت چپ مقطع دیده می‌شود. دو گسل بزرگ دیگر نیز در عمق نزدیک ۵۰۰ متر و فواصل تقریبی ۴ کیلومتر و ۵ کیلومتر آغاز می‌شوند که شیب و جهت شیب آنها تقریباً با گسل قبلی مشابه است. آن گسلی که در فاصله ۴ کیلومتری واقع شده است، در امتداد رو به پایین خود، دو گسل قائم دیگر را قطع کرده و نهایتاً تا عمق ۳۰۰۰ متری در مقطع دیده می‌شود. گسلی که در فاصله ۵ کیلومتری نزدیک سطح قرار دارد، در عمق ۲۰۰۰ متری با گسل قبلی برخورد می‌کند. دو گسل بزرگ دیگر، گسل‌هایی هستند که تشکیل یک گرابن را داده و تقریباً V شکل هستند. این دو گسل به خوبی در مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش قابل مشاهده نمی‌باشند. این دو گسل در فواصل تقریباً ۶ و ۱۱ کیلومتری و نزدیک سطح قرار دارند و تا عمق تقریباً ۲۸۰۰ متری امتداد یافته‌اند. تعداد زیادی گسل کوچک تا عمق نزدیک ۲۰۰۰ متری دیده می‌شوند که در نزدیک سطح شیب تندی به سمت راست دارند و در برخی از آنها در عمق حالت قائم پیدا می‌کنند.



Migration of CDS

شکل ۵-۱۹، تفسیر و جانمایی گسل‌ها بر روی مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش در شکل ۵-۱۵.

فصل هشتم
خلاصه، نتیجه گیری
و کارهای آینده

فصل ششم

خلاصه، نتیجه گیری و کارهای آینده

۱-۶ خلاصه و نتیجه گیری

در دنیای پردازش داده‌های لرزه‌نگاری، مشکلات و مسائل حل نشده فراوانی وجود دارد که تلاش‌های زیادی در سرتاسر جهان به منظور مقابله با این مسائل در حال انجام است. برخی از این مشکلات در ارتباط با افزایش کیفیت و نسبت سیگنال به نویز در مقاطع و برخی از آنها در ارتباط با مساله شیب‌های متداخل است. روش برانبارش سطح بازتاب مشترک (CRS) یکی از روش‌های تصویر سازی است که توسط هوبرال و همکاران (۱۹۹۶)^۱ ارائه شد که نسبت سیگنال به نویز در مقطع برانبارش نهایی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. این مزیت، در کنار سایر مزایای این روش مانند زمان پردازش کم، آنچنان قابل توجه است که می‌تواند به صورت کامل جایگزین روش پردازش مرسوم NMO/DMO/Stack شود. علاوه بر آن، مزیت اصلی دیگر این روش تصویر سازی، مستقل بودن آن از مدل سرعت است. این روش تنها نیاز به دانستن مقدار سرعت سطحی دارد. ولی مساله تداخل شیب‌ها در این روش همچنان حل نشده باقی مانده بود.

در یک تلاش، مان (۲۰۰۲) استراتژی برای برطرف کردن این مشکل به صورت جزئی ارائه کرد. وی روش جستجوی معمول مولر (۱۹۹۸) در پیدا کردن نشانگرهای CRS را به گونه‌ای توسعه داد که

1- Hubral et al. (1996)

می‌توانست تا حداکثر تعداد پنج شیب متفاوت را در یک نمونه در نظر بگیرد. برای تعیین این زوایا، وی معیارهایی را برای انتخاب آنها در طیف زاویه قرار داد، آستانه‌های همدوسی مطلق و نسبی. آن زوایایی که میزان مشخصی از آستانه‌ها را ارضاء می‌کردند، به عنوان زاویه بهینه انتخاب می‌شدند. طبیعتاً برای هر کدام از این زوایا، یک مقدار برای شعاع موج نرمال، R_N ، و یک مقدار برای شعاع موج عمود در نقطه ورود، R_{NIP} وجود دارد. اکنون برای هر کدام از این زوایا، یک دسته نشانگرهای جنبشی در دست است. با هر دسته از این نشانگرها، یک سطح برانبارش تولید شده، سپس عمل برانبارش بر روی هر کدام از این سطوح به صورت جداگانه انجام می‌گیرد و نتیجه نهایی، حاصل جمع تمام این برانبارش‌ها برای نقطه مذکور است. با این روش جستجو، تنها تعداد پنج شیب متداخل در یک نمونه مد نظر قرار می‌گرفت و علاوه بر آن برانبارش‌ها نیز به صورت جداگانه برای هر کدام از صفحات صورت می‌گرفت که در نتیجه مقاطع جداگانه‌ایی برای نشانگرهای جنبشی میدان موج ارائه می‌کرد. بدین ترتیب نمی‌توان اطمینان کامل داشت که مقطع نهایی، مقطعی است که تمام شیب‌های ممکن را در برانبارش دخالت داده باشد.

در روش پردازش مرسوم، روش تصحیح برونراند شیب (DMO) مقطع برانبارش شده‌ایی بدست می‌آمد که در آن تمام شیب‌های ممکن در نظر گرفته شده بودند. بنابراین ایده شکل گرفته در این تحقیق، استفاده از ایده و روش ارائه شده توسط هیل (۱۹۸۴) در مبحث پردازش به روش CRS می‌باشد. در این تحقیق، استراتژی معمول جستجوی مولر (۱۹۹۸) و استراتژی توسعه داده شده مان (۲۰۰۲) با ایده تصحیح DMO ترکیب شده و استراتژی جستجوی جدیدی برای برطرف کردن مساله تداخل شیب‌ها ارائه شده است. در این استراتژی جدید، نه تنها زوایایی که معیارهای تعیین شده بر اساس آستانه همدوسی را ارضاء می‌کنند، بلکه تمام زوایای ممکن در یک بازه در نظر گرفته شده در تشکیل سطح برانبارش دخالت داده می‌شوند. بنابراین با این ایده جدید، تعداد بیشماری سطح برانبارش برای نمونه واقع در دورافت صفر در نظر گرفته می‌شود. در این استراتژی جدید، نشانگرهای جنبشی میدان موج مربوط به شعاع موج NIP و شعاع موج نرمال با هم ترکیب شده، و از ترکیب آنها

نشانگر جدیدی حاصل می‌شود. این نشانگر جدید را می‌توان RCDS نامید. مقدار نشانگر مربوط به زاویه نیز که قبلاً در یک بازه معین شده است. این سطح برانبارش جدید رخدادهای پراش را نسبت به رخدادهای بازتاب تقویت می‌کند. جستجو برای نشانگر RCDS نیز در یک گام و در حجم کل داده‌ها انجام می‌شود. برای مشاهده نتایج کاربرد این روش جدید، که می‌توان آنرا برانبارش سطح پراش مشترک (CDS) نامید، این استراتژی بر روی دو سری داده مصنوعی و یک سری داده واقعی به کار برده شد. نتایج استفاده از این روش جدید 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 رخدادهای پیوستگی بهتری برخوردار می‌باشند.

استفاده از این استراتژی جدید در مدل مصنوعی گنبدی شکل نشان داد که مساله تداخل لایه‌های افقی با یال‌های گنبد می‌تواند برطرف شود. اگرچه این استراتژی جدید بیشتر بر رخدادهای پراش تکیه دارد، ولی رخدادهای بازتابی نیز در این مدل به خوبی نشان داده شده‌اند. با این حال، رخدادهایی که در انتهای پایین مدل قرار دارند، به دلیل کمبود انرژی در آن ناحیه به خوبی تصویر نشده‌اند.

داده مصنوعی Sigsbee 2A به دلیل وجود چند گنبد نمکی و همچنین گسل‌هایی که در قسمت لایه‌ای شکل این داده قرار دارند، دارای رخدادهای پراش بیشتری می‌باشند. مقطع نهایی بدست آمده نشان می‌دهد که استراتژی جدید به خوبی می‌تواند تمام رخدادهای پراشی که در قسمت لایه‌ای شکل در اثر وجود گسل‌های کوچک ایجاد شده است را آشکار کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عملگر جدید (برانبارش CDS)، مقدار بیشتری انرژی را در ردها جمع‌آوری می‌کند که بخشی از آنها در عملگرهای دیگر ممکن است از دست برود. در قسمت دیگر مدل که شامل گنبد‌های نمکی و ناودیس و لایه‌های افقی است، مزیت روش جدید را می‌توان در محل تداخل یال‌های گنبد نمکی با لایه‌های افقی مشاهده کرد. به کمک این عملگر جدید، تداخل پراش‌های حاصل از گنبد نمکی با رخدادهای ناشی از لایه‌های بازتابی به خوبی برطرف می‌شود و یال‌های گنبد نمکی را نیز به سادگی می‌توان تشخیص داد.

داده واقعی زمینی مثال دیگری از کاربرد روش جدید معرفی شده در نشان دادن محل دقیق گسل خوردگی‌ها در لایه‌های افقی است. این مثال واقعی دارای چندین لایه تقریباً افقی است که در بسیاری نقاط گسل خورده می‌باشند. در این صورت رخدادهای پراش زیادی نیز در مقطع انتظار می‌رود. منطقه دارای ساختار بسیار پیچیده‌ایی نمی‌باشد، بنابراین از مقطع برانبارش شده نیز می‌توان برای تفسیر کمک گرفت. مدل سرعت مربوط به این داده‌ها نیز در دسترس بود، بنابراین عمل کوچ عمقی پس از برانبارش نیز بر روی آن انجام گرفت. نتیجه فرایند کوچ نشان داد که مقطع برانبارش شده به روش CDS می‌تواند به عنوان ورودی مناسب‌تری نسبت به سایر مقاطع برانبارش شده برای کوچ پس از برانبارش باشد. همانگونه که قبلاً نیز بدان اشاره شد، این عملگر جدید انرژی بیشتری را از داده‌ها جمع می‌کند. بنابراین در محل‌های ناپیوستگی رخدادهای و قسمت‌های گسل خورده، کیفیت مقطع کوچ نهایی بسیار بهتر شده و به سادگی می‌توان تفسیر ساختاری را انجام داد. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که در واقع روش برانبارش CDS تکمیل کننده روش برانبارش CRS می‌باشد.

روش کوچ پیش از برانبارش، روشی است که به عنوان یکی از راهکارهای اصلی در مناطقی که ساختار پیچیده‌ایی دارند، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت کوچ پس از برانبارشی که در این تحقیق به کمک مقطع برانبارش شده CDS بدست آمد، علاوه بر زمان پردازش بسیار کوتاه، عدم نیاز آن به مدل سرعتی با دقت بالا می‌باشد. تنها یک مدل هموار شده سرعت که از دقت چندان بالایی نیز برخوردار نباشد برای این منظور کافی خواهد بود. در عین حال، مقطع کوچ بدست آمده به خوبی محل گسل‌ها را نشان داده و از این نظر بر مقطع کوچ پیش از برانبارش برتری دارد. بنابراین می‌توان عنوان کرد که مقطع برانبارش CDS یک ورودی مناسب برای فرایند کوچ است.

۶-۲ کارهای آینده

همانند هر روش جدید ارائه شده دیگری، روش برانبارش CDS نیز دارای معایبی می‌باشد. به عنوان مثال چون عملگر جدید تمایل به جمع آوری انرژی بیشتری در داده‌ها دارد، بنابراین بخشی از

این انرژی می‌تواند مربوط به نویزها باشد. در این صورت اگر نویز زمینه در داده‌ها موجود باشد، عملگر این نویزها را نیز تقویت کرده و در نهایت مشاهده می‌شود که نسبت سیگنال به نویز در مقطع نهایی، قدری نسبت به مقاطع CRS کاهش می‌یابد. لذا نسبت سیگنال به نویز در مقطع برانبارش CRS، بالاتر می‌باشد. بنابراین می‌توان عنوان کرد در مناطقی که از ساختار بسیار پیچیده‌ایی برخوردار هستند، می‌توان با صرفنظر کردن از نسبت سیگنال به نویز بسیار بالا، با استفاده از عملگر جدید، ساختارهای بیشتری را آشکار نمود. در عوض در مناطقی با ساختارهای نرم و پیچیدگی کمتر، شاید روش CRS بتواند گزینه قابل قبول‌تری باشد. روش برانبارش جدید همچنین به زمان پردازش زیادی نیاز دارد. البته این افزایش زمان بدین دلیل است که برای هرکدام از زوایا در بازه زاویه، یک سطح برانبارش تشکیل می‌شود و فرایند برانبارش بر روی هرکدام از آنها باید صورت گیرد که خود نیازمند وقت زیادی است.

در مناطق با رخدادهای با شیب تند، لازم است که بازه وسیعی از زاویه استفاده شود که این امر خود زمان محاسبات را نیز افزایش می‌دهد. به عنوان مثال بازه زاویه برای داده Sigsbee 2A برابر ۴۵- درجه تا ۴۵ تعیین گردید در حالی که این بازه برای داده واقعی زمینی برابر ۲۰- تا ۲۰+ درجه در نظر گرفته شد. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که در محیط‌های با ساختار پیچیده، باید از بازه زاویه بزرگتری استفاده کرد و در محیط‌های با پیچیدگی کم، بازه کوچکتری در نظر گرفت. زمان پردازش همچنین با افزایش زمان برداشت، افزایش می‌یابد. این افزایش برای زمان برداشت، از میزان افزایش زمان محاسبات به ازای افزایش طول پروفیل، بیشتر می‌باشد. زیرا که در زمان سیرهای بالا، بازه کامل شده و زمان محاسبات طبیعتاً با کامل‌تر شدن بازه، افزایش می‌یابد.

مطالعات آینده و پیشرفت‌های این روش می‌تواند در تغییر این روش به گونه‌ایی باشد که زمان پردازش کمتری را نیاز داشته باشد. مطالعه دیگر همچنین می‌تواند در اصلاح این روش به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز در مقطع نهایی آن باشد. اگر این دو مساله در روش پردازش جدید برطرف شود، می‌توان عنوان کرد که این روش که تکمیل کننده روش برانبارش CRS است، می‌تواند

جایگاه مناسبی در پردازش داده‌های بازتابی در آینده داشته باشد.

البته لازم به ذکر است که بر خلاف استراتژی‌های معمول و توسعه یافته در CRS، این استراتژی جدید (CDS)، مقاطعی از نشانگرهای جنبشی میدان موج و همچنین مقطع همدوسی ارائه نمی‌دهد. بنابراین امکان استفاده از روش NIP توموگرافی برای تهیه مدل سرعت در این روش وجود ندارد و تنها خروجی قابل کاربرد آن، مقطع برانبارش نهایی است. البته این امر نمی‌تواند عیب چندان بزرگی باشد، چرا که مقطع برانبارش بدست آمده از این روش، ورودی بسیار مناسبی برای فرایند کوچ در مناطق پیچیده می‌باشد و به تفسیر بهتر کمک خواهد کرد.

Bibliography

- Bergler, S. (2001). The Common-Reflection-Surface Stack for Common Offset - Theory and Application. Master's thesis, University of Karlsruhe.
- Bleistein, N. (1984). *Mathematical methods for wave phenomena*. Academic Press Inc., San Diego.
- Cerveny, V. (2001). *Seismic ray theory*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Chapman, C., H. (2004). *Fundamentals of seismic wave propagation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Deregowski, S. M. (1986). What is DMO? *First Break*, 4(7):7–24.
- Deregowski, S. M., Rocca, F., (1986). Geometrical optics and wave theory for constant offset sections in layered media. *Geophys. Prosp.*, 29:374–387
- Dürbaum, H. (1954). Zur Bestimmung von Wellengeschwindigkeiten aus Reflexions-Seismischen Messungen. *Geophys. Prosp.*, 2(2):151–176.
- 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.
- Goertz, A. (2002). *True amplitude multicomponent migration of elastic wavefields*. Logos Verlag, Berlin.
- Hale, D. (1984). Dip-moveout by fourier transform. *Geophysics*, 49(6):741-757.
- Hale, D. (1991). *Dip moveout processing*. Society of Exploration Geophysics, Tulsa.
- Heilmann, Z. (2007). *CRS-stack-based seismic reflection imaging for land data in ime and depth domain*. Logos Verlag, Berlin.
- Hertweck, T. (2004). *True-amplitude Kirchhoff migration: analytical and geometrical considerations*. Logos Verlag, Berlin.
- Hertweck, T., Jäger, C., Goertz, A., and Schleicher, J. (2003). Aperture effects in 2.5D Kirchhoff migration: a geometrical explanation. *Geophysics*, 68(5):1673–1684.
- 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. *Journal of Applied Geophysics*, 42(3-4).
- Hubral, P., Schleicher, J., and Tygel, M. (1993). of Fresnel zones from travelttime measurement. *Geophysics*, 58(3):703–712
- 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.
- Jäger, R. (1999). The Common Reflection Surface stack - theory and application. Master's thesis, University of Karlsruhe.
- Mann, J. (1997) *Image Wave Theory and its application to seismic reflection data*. Logos Verlag, Berlin.
- 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.
- Mann, J., Höcht, G., Jäger, R., and Hubral, P. (1999). Common Reflection Surface stack – an attribute analysis. In *Extended abstracts, 61st Conf. Eur. Assn. Geosci. Eng. Session P140*.
- Mayne, W. H. (1962). Common reflection point horizontal data stacking techniques. *Geophysics*, 27(6):927–938.
- Müller, T. (1998). Common Reflection Surface stack versus NMO/stack and NMO/DMO/stack. In *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.
- 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.
- Perroud, H., Hubral, P., Höcht, G., and de Bazelaire, E. (1997). Migrating around in circles - part III. *The Leading Edge*, 16(6):875–883.
- Robein, E. (2003). *Velocities, time imaging and depth imaging in reflection seismic, principles and methods*. Eur. Assn. Geosci. Eng. Press. Netherlands.
- Schleicher, J., Hubral, P., Tygel, M., and Jaya, M. S. (1997). Minimum apertures and Fresnel zones in migration and demigration. *Geophysics*, 62(1):183–194.
- 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.*

Slawinski, M., A. (2003). *Seismic waves and rays in elastic media*. Pergamon, Canada.

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.

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

Abstract

In the literature of reflection seismic data processing, the aim is to obtain the best section of the under surface structure. A suitable section could be valued from different points of views. In the view point of resolution, a high quality section is a section with high signal to noise ratio. In the other words, the data are processed in a way so that the unwanted waves are removed and only the wanted waves according to the processor exist in the processed data. However, in the view point of interpretation, a suitable section is a section which shows as more subsurface structures as possible like as their appearance in the subsurface. Therefore the final goal is to obtain a section which shows more subsurface structure with high quality. Reaching this aim needs a chain of processing done on the data. The main steps of this conventional chain of processing that is carrying on in the industry are deconvolution, NMO correction, DMO correction, stacking and migration. This conventional processing is simply named NMO/DMO/Stack which its stacking is called common mid-point (CMP) stacking. Besides the advantage of this method, it also suffers from some drawbacks. To overcome some of these drawbacks, e. g. to increase signal to noise ratio in the final section, independence of the velocity analysis and making velocity model and easy use in complex structures, a new method called common reflection surface (CRS) stack, introduced. As comes from its name, the CRS stack is the general form of the CMP stack. Against the CMP stack which uses the traces that fit to a certain trajectory, the CRS stack uses the traces that make a surface in time domain. Thus it could be understood that by removing more random noise in this method, the signal to noise ratio will increase. Therefore the CRS stack method selected as the main processing chain here. As it was mentioned, the aim is to obtain the best possible section, so the goal of this research is to overcome some of the problems of CRS stack method. One of the problem of this method, is neglecting the conflicting dips problem in the section. 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. Thus by handling this problem, the location of faults, the flanks of salt domes or anticlines and diffractor points would be imaged well. In conventional processing, the problem of conflicting dips was handled by the DMO correction. So, the same idea of DMO was used in the theory of CRS. By introducing this idea in CRS, a new search strategy and new travel time equation with new attributes to define the radius of the wave, were created. The nature and the work flow of the new operator in CRS were changed in a way that it could be called the common diffraction surface (CDS) stack. To prove the ability of the new operator to handle the problem of conflicting dips, two synthetic and one real land data was processed with all three methods. Either in the stacked section and either in the migrated section, it was proved that the CDS operator will image more structures than the others methods. In synthetic data, the location and the flanks of the anticlines and salt domes and the location of faults were well imaged while in the real land data the distortions of the layers due to faulting were well imaged. The other advantage of this method, is obtaining the post stack migrated section with a simple and smooth velocity model in a short computation time. This migrated section was better in many cases than the prestack depth migrated section.

Key word: CRS, CDS, PSDM, smoothed velocity model, conflicting dips.