

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفزیک

گروه مهندسی نفت

پایان نامه کارشناسی ارشد

تهیه مدل سرعت در داده‌های لرزه‌ای پیچیده به روش توموگرافی شبکه‌ای

دانشجو: احسان نظری ولاشانی

اساتید راهنما

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

دکتر امین روشندل کاهو

آذرماه ۱۳۹۴

شماره: ۴۶۹۴۱۵۹۳
تاریخ: ۲۱/۹/۹۴
ویرایش:

باسمه تعالی



فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان نظری ولاشانی به شماره دانشجویی ۹۲۳۲۸۱۴ رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان تهیه مدل سرعت در داده‌های لرزه‌ای پیچیده به روش توموگرافی شبکه‌ای که در تاریخ ۱۳۹۴/۰۹/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: خوب) امتیاز (۱۶/۱۷)
--------------------------------	------------------------------------	--

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

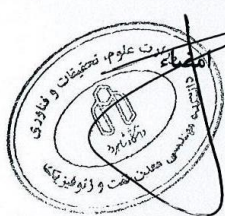
۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	مهرداد سلیمانی منفرد	۱- استاد راهنما
	استادیار	امین روشندل کاهو	۲- استاد راهنما
			۳- استاد مشاور
	استادیار	سوسن ابراهیمی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	علی نجاتی کلاته	۵- استاد ممتحن
	استادیار	ایرج پیروز	۶- استاد ممتحن



رئیس دانشکده: دکتر علیرضا عرب امیری

بلاشک ناچنیر علی است که یارای قدردانی از دستان پر مهرشان را نیست

تقدیم به آنان که

در این روزگاری قرار، قرار داشته تا نداشته ایم هستند؛

پدر و مادر عزیزم

شکر و قدردانی

در راه اعتلای علم و دانش همیشه هستند کسانی که خود را وقف کرده تا دیگران از پرتوی علم و دانش آنان بهره‌برده و چراغ علم را، روز افزون روشن نگاه دارند. در اینجا جادارد از زحمات اساتید گرامی که تقدیرم جناب آقای دکتر مراد سلیمانی متفرد و جناب آقای دکتر این روشندل گاه که راهبانی این پایان نامه را بر عهده گرفته و موجب پیشرفت مادی و معنوی این نوشتار گردیدند، قدردانی نمایم.

در ادامه از همکاری دکتر عبداللّٰهی فردریاست محترم اداره ژئوفیزیک مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران و همچنین مهندس جاویدیان و مهندس زارعی و کلیه پرسنل محترم آن اداره که موجب حضور اینجانب در آن اداره را فراهم نمودند و با کمال آراستگی پرسش‌های اینجانب را پاسخ گفتند، ابراز تشکر می‌نمایم.

در ادامه جادارد از حمایت‌های صادقانه دوستان و عزیزانی که شبانه روز جهت پیشرفت این پایان نامه یاری رسانند، بالخصوص جناب آقایان مهندس فرزانه و مهندس عاصمی تشکر نمایم.

باشد که توانایی قدردانی از زحمات این عزیزان را در پناه خداوند رحمان داشته باشیم.

احسان نظری و لسانی

آذرماه ۱۳۹۴

تعهد نامه

اینجانب احسان نظری ولاشانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت (اکتشاف) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه "تهیه مدل سرعت در داده‌های لرزه‌ای پیچیده به روش توموگرافی شبکه‌ای" تحت راهنمایی دکتر مهرداد سلیمانی منفرد و دکتر امین روشندل کاهو متعهد می‌شوم.

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

امضای دانشجو

تاریخ ۱۳۹۴/۰۹/۲۴

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

- متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد

چکیده

تهیه تصاویر لرزه‌ای نیازمند مدل سرعت لرزه‌ای دقیق است اما به علت اختلاف سرعت بالا در مناطق با ساختار پیچیده، تشکیل بازتابنده‌های لرزه‌ای امری مشکل است. به همین دلیل عموماً تهیه مدل سرعت انتشار موج در داخل زمین فرایندی بسیار پیچیده است. یکی از روش‌های تهیه مدل سرعت در اینگونه داده‌ها، استفاده از توموگرافی لایه‌ای یا شبکه‌ای است. توموگرافی روشی است که برای ارزیابی تطابق مدل سرعت تهیه شده با داده‌های لرزه‌ای برای رسیدن به کیفیت بالاتر مدل سرعت استفاده می‌گردد. این روش به دلیل تکراری بودن مراحل به روز رسانی، دارای دقت بالایی است. دیگر مزیت این روش، بکارگیری در ساختارهای دارای ناهمگونی است. استفاده از روش توموگرافی در داده‌های لرزه‌ای مخصوصاً در نواحی ناهمگن، باعث افزایش قدرت تفکیک میان لایه‌ها و همچنین کاهش خطای عمق می‌گردد. در این تحقیق سعی بر بهبود مدل سرعت تهیه شده با استفاده از روش توموگرافی شبکه‌ای با تکیه بر روش لایه‌ای در ساختارهای دارای ناهمگونی گردیده است. بدین صورت که با بهره‌گیری از روش توموگرافی شبکه‌ای مبتنی بر توموگرافی لایه‌ای، مقطع عمقی پس از برانبارش بهینه شده‌ای حاصل گردیده که دارای محاسن بسیاری در مقایسه با روش‌های دیگر عمقی قبل از به روز رسانی می‌باشد و باعث بهبود کیفیت مقطع حاصله گردیده است.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی لرزه‌ای، مدل سرعت ساختارهای پیچیده، توموگرافی لایه‌ای، توموگرافی شبکه‌ای، توموگرافی ترکیبی

فهرست مطالب

چکیده.....	ز.....
۱-۱- مقدمه.....	۲.....
۱-۲- اهمیت آنالیز سرعت.....	۴.....
۱-۲-۱- تصحیحات روی ردلرزه ها.....	۴.....
۲-۲-۱- تصحیح NMO.....	۵.....
۳-۲-۱- نقاط کنترل.....	۷.....
۳-۱- روش های تهیه مدل سرعت.....	۷.....
۱-۳-۱- تهیه مدل سرعت با استفاده از روش های مبتنی بر کوچ.....	۸.....
۲-۳-۱- تهیه مدل سرعت به روش معکوس سازی زمان سیر یا توموگرافی.....	۹.....
۳-۳-۱- توموگرافی زمان سیر انکساری.....	۱۰.....
۴-۳-۱- توموگرافی زمان سیر با فرکانس محدود.....	۱۱.....
۵-۳-۱- توموگرافی شکل موج.....	۱۱.....
۴-۱- کوچ عمقی پیش از برانبارش.....	۱۱.....
۵-۱- توموگرافی لرزه ای.....	۱۴.....
۱-۵-۱- روش توموگرافی لایه ای.....	۱۵.....
۲-۵-۱- روش توموگرافی شبکه ای.....	۱۵.....
۳-۵-۱- روش هیبریدی.....	۱۵.....
۶-۱- بیان مسأله.....	۱۶.....
۷-۱- ساختار پایان نامه.....	۱۸.....
۱-۲- مقدمه.....	۲۰.....
۲-۲- شرایط زمین شناسی.....	۲۱.....

- ۲۵..... ۳-۲- روش های مختلف PSDM و آنالیز سرعت
- ۲۶..... ۱-۳-۲- آنالیز سرعت کوچک و ساخت مدل سرعت
- ۲۷..... ۱-۱-۳-۲- مدل های لایه ای
- ۲۷..... ۲-۱-۳-۲- مدل های شبکه ای
- ۲۷..... ۳-۱-۳-۲- مدل های ترکیبی
- ۲۹..... ۲-۳-۲- انواع آنالیز سرعت و تکنیک های مدل سازی
- ۲۹..... ۱-۲-۳-۲- استریوتوموگرافی
- ۳۰..... ۳-۳-۲- کوچ عمقی پیش از برانبارش ناهمسانگرد
- ۳۱..... ۴-۳-۲- ابزار تخمین مناسب عمق
- ۳۲..... ۵-۳-۲- شروط لازم برای تخمین بهتر عمق توسط PostSDM
- ۳۳..... ۴-۲- توموگرافی لرزه ای
- ۳۴..... ۱-۴-۲- اصول کار توموگرافی لرزه ای
- ۳۵..... ۵-۲- مبنای مسائل توموگرافی
- ۳۹..... ۶-۲- حل مسأله توموگرافیک
- ۴۱..... ۷-۲- تبدیل زمان به عمق
- ۴۲..... ۸-۲- پردازش
- ۴۶..... ۱-۳- مقدمه
- ۴۶..... ۲-۲- توموگرافی لایه ای
- ۴۶..... ۱-۲-۳- تحقیقات صورت گرفته در روش توموگرافی لایه ای
- ۴۷..... ۲-۲-۳- مزایا و معایب روش توموگرافی لایه ای
- ۴۸..... ۳-۳- توموگرافی شبکه ای
- ۴۹..... ۱-۳-۳- تحقیقات صورت گرفته در روش توموگرافی شبکه ای

۵۰	۲-۳-۳- تفاوت روش های توموگرافی لایه ای و توموگرافی شبکه ای
۵۰	۳-۳-۳- مزایا و معایب روش توموگرافی شبکه ای
۵۱	۴-۳- توموگرافی ترکیبی (هیبریدی)
۵۲	۱-۴-۳- انواع راه های اجرای توموگرافی هیبریدی
۵۲	۲-۴-۳- روش دستی
۵۳	۲-۴-۳- روش خودکار
۵۴	۲-۴-۳- تحقیقات صورت گرفته در روش توموگرافی ترکیبی (هیبریدی)
۵۵	۳-۴-۳- مزایا و معایب توموگرافی ترکیبی
۵۶	۴-۴-۳- تفاوت توموگرافی ترکیبی با روش لایه ای و شبکه ای
۵۶	۵-۳- بررسی روش مهاجرت کیرشهف مورد استفاده در تحقیق
۵۸	۶-۳- مسائل توموگرافی لرزه ای
۶۲	۱-۴- مقدمه
۶۲	۲-۴- بررسی داده ها و منطقه مورد مطالعه
۶۲	۳-۴- اعمال پردازش بر روی داده های لرزه ای
۶۳	۱-۳-۴- مراحل پردازش
۶۳	۱-۳-۴- اعمال موقعیت مکانی داده ها
۶۳	۲-۳-۴- تهیه مدل سرعت اولیه
۶۴	۳-۳-۴- اعمال تصحیح برونراند نرمال و تهیه مقطع برانبارش
۶۶	۴-۳-۴- تهیه مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش
۶۶	۵-۳-۴- اعمال توموگرافی لرزه ای
۷۳	۴-۴- مقایسه با نتایج مراحل اولیه
۷۸	۱-۵- نتایج

- ۵-۲- پیشنهاد ها ۸۰
- منابع فارسی ۸۱
- منابع انگلیسی ۸۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- تأثیر افزایش گیرنده‌ها بر آشکار سازی عناصر زیر سطحی ۳
- شکل ۲-۱- محل منبع و ژئوفون‌های R_1 تا R_5 ، مسیر پرتوها و هذلولی انعکاس حاصل از لرزه‌نگاری ۶
- شکل ۳-۱- گروه لرزه‌نگاشت‌ها قبل و پس از اعمال تصحیح NMO ۶
- شکل ۴-۱- تفاوت بین مقاطع PSTM و PSDM با محدودیت های توموگرافی ۱۴
- شکل ۵-۱- بکارگیری ترکیب دو روش توموگرافی لایه‌ای و شبکه‌ای ۱۷
- شکل ۱-۲- مقایسه نتایج روش‌های PSTM و PSDM در ساختارهای پیچیده زمین شناسی و محدودیت‌های روش PSTM زمانی ۲۴
- شکل ۲-۲- مثالی از انجام تکنیک ردیابی جبهه موج بر روی یک مدل سرعت شبکه بندی شده ۲۶
- شکل ۳-۲- نمایی از مسیر پرتو در یک مسأله توموگرافی دو بعدی ۳۵
- شکل ۴-۲- مسأله دو بعدی سلول بندی شده ۳۸
- شکل ۵-۲- آزمون کیفیت مدل‌های توموگرافی ۴۰
- شکل ۶-۲- مدل سلول بندی شده زمین جهت اجرای توموگرافی شبکه‌ای ۴۲
- شکل ۷-۲- محدوده اجرای کوچ زمانی و عمقی پیش از برانبارش و پس از برانبارش ۴۳
- شکل ۱-۳- مقایسه بین توموگرافی شبکه‌ای و توموگرافی لایه‌ای ۵۰
- شکل ۲-۳- مقطع با دور افت صفر و دامنه نقاط در طول هذلولی پراش ۵۶
- شکل ۱-۴- مراحل اجرای کار پردازش توموگرافی شبکه‌ای ۶۳
- شکل ۲-۴- مدل سرعت زمانی اولیه هموار شده ۶۴
- شکل ۳-۴- مقطع برانبارش زمانی اولیه ۶۴

- شکل ۴-۴- مراحل به روز رسانی مدل سرعت به روش توموگرافی لایه‌ای - شبکه‌ای (ترکیبی) ۶۸
- ادامه شکل ۴-۴- مراحل به روز رسانی مدل سرعت به روش توموگرافی لایه‌ای - شبکه‌ای (ترکیبی) ۶۹
- شکل ۴-۵- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش به روز رسانی شده حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده (شکل ۴-۴ الف)..... ۷۰
- شکل ۴-۶- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش به روز رسانی شده حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده (شکل ۴-۴ ب)..... ۷۰
- شکل ۴-۷- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش به روز رسانی شده حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده (شکل ۴-۴ ج)..... ۷۱
- شکل ۴-۸- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش نهایی حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده نهایی (شکل ۴-۴ د)..... ۷۱
- شکل ۴-۹- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش اولیه..... ۷۴
- شکل ۵-۱- بهبود مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش و نمایش سختارهای بهبود یافته در آن ۷۷
- شکل ۵-۲- مدل سرعت نهایی ۷۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- انواع آنالیز سرعت و تکنیک‌های مدل سازی ۳۰

فصل اول

مقدمه و تعاریف

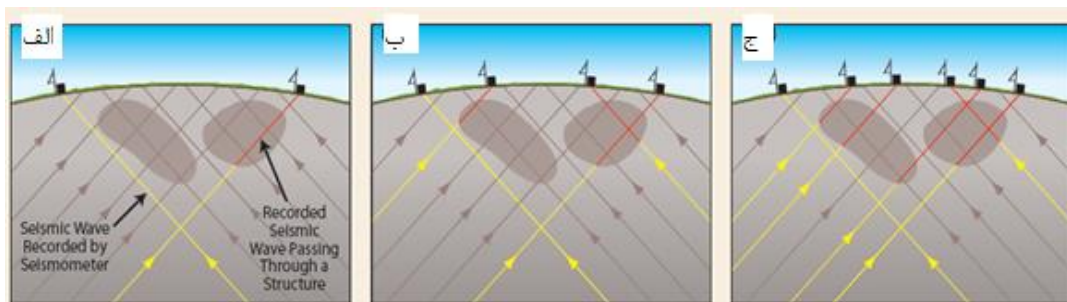
روش لرزه نگاری بازتابی از مهم‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی در شناسایی ساختارها و سنگ‌های تشکیل دهنده زیرسطحی است. موج لرزه‌ای تولید شده در سطح با گذر از عناصر و ساختارهای سازنده زمین و بازتاب از آن‌ها، توسط گیرنده‌هایی (ژئوفون در خشکی و یا هیدروفون در آب) که آن‌ها نیز در سطح زمین قرار دارند، آشکار می‌گردد. با توجه به مسیر پیموده شده از چشمه موج تا گیرنده‌ها، موج زمانی را به نام زمان سیر^۱ طی می‌کند که توسط آن می‌توان به محل حضور ساختارهای زیر سطحی زمین پی برد.

روش‌های لرزه‌ای مختلفی به منظور آشکارسازی ساختارهای زیر سطحی وجود دارد که از این میان می‌توان به روش توموگرافی مدل سرعت لرزه‌ای اشاره کرد که یکی از پرکاربردترین روش‌های مرسوم در تهیه مدل سرعت در داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. توسط این روش می‌توان اطلاعات مربوط به لرزه نگارها را رمزگشایی نمود، به نحوی که باعث بهبود مقاطع عمقی زمین گردد.

مسئله مهم در کیفیت آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی و بهبود مقاطع عمقی توسط این روش‌ها، تعداد امواج گذرنده از ساختار زیر سطحی است، نه تعیین دقیق زمان سیر آن‌ها.

همانگونه که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود، هرچه تعداد امواج گذرنده از ساختارهای زیر سطحی، توسط گیرنده‌های بیشتری ثبت گردد، امکان آشکارسازی این ساختارها افزایش می‌یابد. در شکل (۱-الف)، فقط یک گیرنده در سطح وجود دارد. بنابراین انتظار گذر کمترین تعداد پرتو از ساختارهای زیر سطحی را داریم که توسط این گیرنده آشکار شود. در شکل (۱-ب)، با افزایش تعداد گیرنده‌ها، انتظار آشکار سازی نیز بالا رفته است. در شکل (۱-ج)، با افزایش شش گیرنده در مسیر پرتوها، عناصر زیرین بصورت تقریباً کامل تحت پوشش قرار گرفته‌اند و بنابراین شانس آشکارسازی آن‌ها افزایش یافته است.

^۱ Travel Time



شکل ۱-۱- تأثیر افزایش گیرنده‌ها بر آشکار سازی عناصر زیر سطحی، الف) چگونگی انتشار یک موج لرزه‌ای در داخل زمین و آشکار سازی توده درونی زمین، ب) افزایش محدود تعداد امواج لرزه‌ای عبوری از زمین و در نتیجه افزایش دقت آشکار سازی توده‌های درونی زمین و ج) افزایش نامحدود امواج لرزه‌ای گذرنده از زمین و در نتیجه آشکار سازی کامل توده درونی زمین (Shearer, 1987).

پیداست که این مسأله می‌بایست در مرحله برداشت داده‌ها مد نظر قرار داده شود، که طبیعتاً هرگونه نقص در این مرحله، قابل برگشت در مرحله پردازش داده‌ها نمی‌باشد (البته نه هر نقیصه‌ای). لذا به منظور افزایش دقت آشکار سازی ساختارهای زیر سطحی، باید پارامتر تأثیر گذار دوم، یعنی زمان سیر را مد نظر قرار دارد. لازم به ذکر نمی‌باشد که زمان سیر هر پرتوی موج، وابستگی کامل به سرعت محیطی که پرتو در آن حرکت می‌کند دارد.

بدین منظور می‌بایست در راستای بدست آوردن اطلاعات دقیق و مناسب، در ابتدا، یک مدل سرعت اولیه با صحت بالا تهیه نمود. این مدل سرعت می‌تواند بر مبنای اطلاعات حاصل از لرزه نگاری (یا هر اطلاعات دیگری) در دو حوضه زمان و عمق تهیه گردد. مدل سرعت در حوضه عمق نسبت به حوضه زمان، دارای عملکرد بهتری در داده‌های با اختلاف سرعت بالا می‌باشد. البته تهیه این مقاطع به لحاظ فنی نیز مشکل‌تر از تهیه مدل سرعت زمانی است. صحت مدل سرعت، مسلماً یکی از عناصر بحرانی برای هر تصویر سازی زمانی یا عمقی می‌باشد.

مفهوم پایه‌ای ساخت مدل سرعت، استفاده از زمان سیر امواج لرزه ای در تصویر سازی سطوح زیرین زمین است. بر خلاف دامنه‌ها که با خصوصیات محیط انتشار مرتبط است (چگالی و پارامترهای لامه)، زمان سیر و هندسه پرتوها بین چشمه و گیرنده‌ها، تابعی از سرعت میدان (و ناهمسانگردی^۱) هستند.

۱-۲- اهمیت آنالیز سرعت

پردازش داده به اندازه برداشت داده و حتی بیشتر، دارای اهمیت است. اهمیت این بخش به اندازه‌ای است که در صورت یک پردازش ناصحیح، می‌توان نتیجه یک برداشت با هزینه بسیار سنگین را به مسیر غلط انداخت و حتی کل پروژه را از نظر اقتصادی و فنی، نامناسب توجیه کرد. با توجه به اینکه اساس کار مفسر بر پایه داده‌های پردازش شده از سوی پردازشگر است، بنابراین می‌بایست در یک مسیر پردازش، در هر مرحله از اصول علمی مناسب پیروی کرد.

۱-۲-۱- تصحیحات روی ردلرزه‌ها

در مرحله پردازش از توابع سرعت مختلف استفاده می‌شود که چگونگی این توابع، نتایج حاصل از بسیاری مراحل پردازشی در ادامه کار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. موضوعاتی از جمله افزایش نسبت سیگنال به نوفه و میرایی بازتاب‌های چندگانه^۲ (بیوندی و کاستو، ۱۹۸۹) و یافتن شیب صحیح لایه‌ها (لینر، ۱۹۹۹)، فقط با به کار بردن تحلیل سرعت مناسب صورت می‌پذیرد که منجر به برانبارش صحیح بازتاب‌های اولیه خواهد شد. بنابراین برای تعیین همه تصحیحات برای همه ردلرزه‌ها^۳ با دورافت‌های متفاوت که سرانجام به یک تک ردلرزه برانبارش شوند، لازم است که تحلیل سرعت مناسب و دقیقی برای جابجایی درست رخدادها و جای حقیقی آن‌ها صورت گیرد (تانر و کلا، ۱۹۶۹).

^۱ Anisotropy

^۲ Multiple

^۳ Trace

۱-۲-۲- تصحیح NMO^۱

همانطور که مشخص است، با افزایش دورافت، زمان سیر از چشمه به گیرنده افزایش می‌یابد. این مشخصه تأخیر برای زمان‌های رویدادهای بازتابی به علت افزایش دورافت، برونراند نرمال نامیده می‌شود و به صورت زیر (رابطه ۱-۱) تعریف می‌شود (تانر و کلر، ۱۹۶۹):

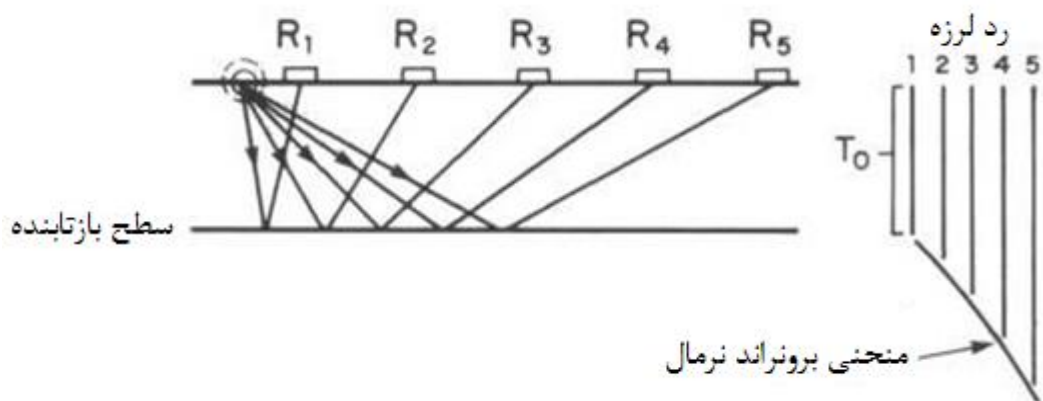
$$\Delta t_{NMO} = t_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{x^2}{v_{NMO}^2 \cdot t_0^2} \right)} - 1 \right] = \frac{x^2}{2v_{NMO}^2 \cdot t_0} \quad (1-1)$$

که در آن Δt_{NMO} مقدار تصحیح برونراند نرمال، t_0 زمان سیر دورافت صفر، v_{NMO} سرعت برونراند نرمال و x فاصله گیرنده و چشمه است.

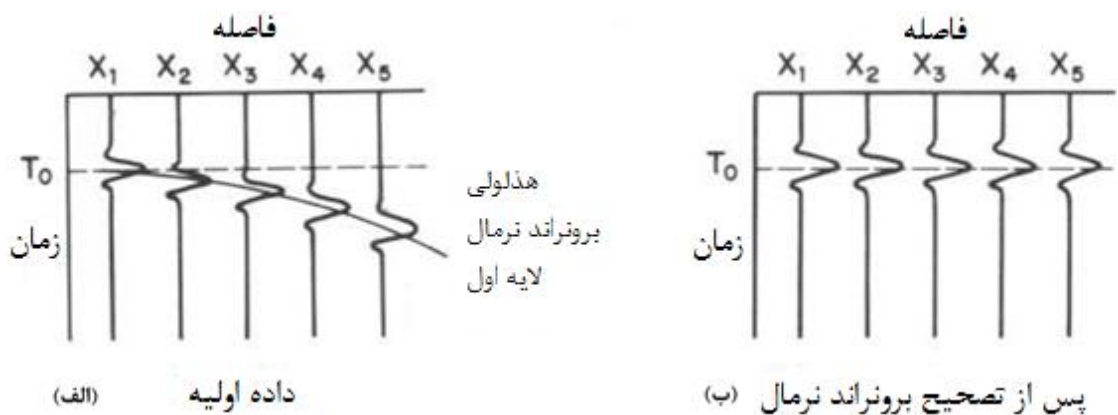
مشاهده می‌شود که تعیین دقیق سرعت، نقش بسیار مهمی در تصحیح برونراند نرمال دارد که این موضوع، روش‌های متفاوت تحلیل سرعت را پوشش می‌دهد. در یک برداشت لرزه‌نگاری، می‌بایست تمامی لرزه‌نگاشت‌های مربوط به ژئوفون‌های یک گروه، در کنار یکدیگر قرار داده شده تا بتوان دامنه نوسان آن‌ها را نظیر به نظیر با هم جمع نمود. از طرفی به دلیل اینکه پرتوهای مختلف تا رسیدن به ژئوفون‌ها، مسیره‌های مختلفی را طی می‌کنند، می‌بایست بر روی آن‌ها عمل تصحیح برونراند نرمال صورت گیرد (شکل ۱-۲).

همانگونه که در شکل (۱-۳الف) مشاهده می‌شود، از کنار هم قرار دادن لرزه‌نگاشت‌های یک گروه از ژئوفون‌ها و اتصال انتهای آن‌ها به یکدیگر، یک هذلولی بازتاب شکل می‌گیرد که بسته به میزان مسیر طی شده توسط پرتوها از منبع تا ژئوفون، انحنای متفاوتی به خود می‌گیرد. در شکل (۱-۳ب)، لرزه-نگاشت‌های اصلاح شده توسط رابطه برونراند نرمال مشاهده می‌شود که همگی لرزه‌نگاشت‌ها بصورت یکسان در یک راستای افقی قرار گرفته‌اند.

^۱ Normal Move Out



شکل ۱-۲- محل منبع و ژئوفون‌های R_1 تا R_5 ، مسیر پرتوها و هذلولی انعکاس حاصل از لرزه‌نگاری (کری و همکاران، ۱۹۹۱)



شکل ۱-۳ (الف) گروه لرزه‌نگاشت‌ها قبل از اعمال تصحیح NMO، (ب) گروه لرزه‌نگاشت‌ها پس از اعمال تصحیح NMO (کری و همکاران، ۱۹۹۱)

آنالیز سرعت از ابزارهای مورد استفاده در تفسیر سرعت‌های برانبارش (NMO) یا برونراند باقیمانده (RMO)^۱ در مجموعه داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش دو و سه بعدی می‌باشد.

روش‌های زیادی در تعیین سرعت‌های مناسب معادله NMO وجود دارد. معمول‌ترین این روش‌ها، فرایند مقایسه یک سری از ردلرزه‌های برانبارش شده می‌باشد که در بازه سرعت‌های مورد قبول NMO قرار دارند.

^۱ Residual Move Out (RMO)

چنانچه تصحیحات مورد نیاز بر روی مقطع برانبارش به خوبی اعمال شده باشد، رخدادهای موجود بر روی ردلرزه‌ها، در امتداد دورافت به بصورت مستقیم خواهند بود. به هر حال ممکن است فرایند تصحیح بیش‌تر یا کم‌تر از میزان مورد نیاز انجام گیرد که در نهایت باعث عدم غیر افقی شدن رخدادها بر روی ردلرزه‌ها می‌گردد. هرگونه انحراف از حالت افقی در این حالت، برونراند باقیمانده نام دارد. برونراند باقیمانده توسط تصحیحی به همین نام برطرف می‌شود.

مفهوم برونراند نرمال دارای ساده سازی‌های بسیاری است، به گونه‌ایی که به اثرات لایه‌های شیب‌دار توجه نمی‌شود و عملاً باعث کاهش دقت محاسبات و عدم تعیین مکان دقیق بازتابنده‌ها می‌گردد.

۱-۲-۳- نقاط کنترل^۱

یکی از دیگر عوامل مهم در تبیین اهمیت مدل سرعت، نقش نقاط کنترلی می‌باشد. این نقاط، نقاطی هستند که بر روی بازتاب‌های مقاطع لرزه‌ای پردازش شده دستچین می‌شوند و می‌توان با انتخاب آن‌ها و مقایسه با نقاط مشابه بوجود آمده در مدل سرعت، میزان انحراف مدل سرعت را تعیین نمود. همچنین به کمک نقاط دستچین شده، می‌توان زمان سیر و هندسه پرتوهای گذرنده از این نقاط را نیز بررسی کرد.

۱-۳- روش‌های تهیه مدل سرعت

عموماً تهیه مدل سرعت انتشار موج در داخل زمین فرایندی بسیار پیچیده است. لذا، تمام روش‌های تهیه مدل سرعت از یک سری فرضیات و ساده سازی‌ها درباره محیط انتشار موج استفاده می‌کنند. از آنجایی که خصوصیات جنبشی انتشار امواج لرزه‌ای، توابعی غیرخطی از سرعت انتشار امواج هستند، بنابراین تمام روش‌های تهیه مدل سرعت، مبتنی بر تکرارند. بدین معنی که با به‌روز کردن مدل سرعت اولیه در هر تکرار و یا با پیش‌رفتن به زیر سطح زمین، بصورت قطعه به قطعه، مدل سرعت تهیه می‌شود.

^۱ Control Point

امروزه از روش‌های مختلفی برای تخمین مدل سرعت استفاده می‌شود که همگی این روش‌ها بر اساس معیار همخوانی با داده‌های لرزه‌ای استوار هستند. با این حال تفاوت آن‌ها، در روش‌های اندازه‌گیری این معیار، میزان انحراف مدل از این معیار و چگونگی انجام اصلاحات بر روی آن است (دیکس، ۱۹۹۵).

باید عنوان کرد که یک روش تخمین مدل سرعت را نمی‌توان به عنوان راه حلی برای تمامی ساختارهای زیرسطحی ارائه کرد. بلکه هر روشی در ساختارهای خاص خود، بهترین تخمین را بدست خواهد داد. به علت تنوع زیاد روش‌های موجود برای تهیه مدل سرعت، طبقه‌بندی آن‌ها مشکل است. اما در روش‌های پرکاربرد، می‌توان آن‌ها را به این صورت دسته بندی کرد (دیکس، ۱۹۹۵):

روش‌های مبتنی بر کوچ، روش‌های مبتنی بر استفاده از اطلاعات زمان سیر (توموگرافی)، توموگرافی زمان سیر انکساری، روش زمان سیر با فرکانس محدود و روش توموگرافی شکل موج. در ادامه به معرفی این روش‌ها و بویژه دو روش اول، بصورت مفصل می‌پردازیم.

۱-۳-۱- تهیه مدل سرعت با استفاده از روش‌های مبتنی بر کوچ

به منظور تهیه مدل سرعت کوچ پیش از برانبارش، داده لرزه‌ای پیش پردازش شده، به مقاطع دورافت مشترک تجزیه می‌شوند. در همین زمان لازم است که یک مدل سرعت اولیه برای انجام اولین مرتبه کوچ عمقی تهیه شود. سپس به کمک این مدل سرعت، داده‌ی مذکور، کوچ داده می‌شود. از داده‌ی کوچ یافته، چند برداشت تصویر مشترک^۱ (CIG) انتخاب می‌شود. انتخاب محل این برداشت‌ها به عواملی مثل وجود آنومالی سرعت در آن ناحیه و یا هدف مطالعاتی خاص در آنجا، بستگی دارد. در این مرحله، معمولاً رخدادهای موجود در برداشت تصویر مشترک تخت نیستند، بدین معنی که دارای برون‌راند می‌باشند. به منظور حذف این انحراف از حالت افقی می‌توان از آنالیز برون‌راند باقیمانده استفاده کرد، اما در صنعت استفاده از روش معکوس برون‌راند نرمال^۲، ترجیح داده می‌شود (روبین، ۲۰۱۰). در

^۱ Common Image Gather (CIG)

^۲ Inverse Normal Move Out

مرحله بعد، CIG مذکور، تحت عمل معکوس برون‌راند نرمال قرار می‌گیرد و همانند روند تهیه مدل سرعت برانبارش، طیف سرعت با استفاده از رابطه‌ی شباهت تهیه می‌شود. سپس در طیف سرعت بدست آمده، نقاط با حداکثر مقدار همدوسی مشخص می‌شوند. پس از انتخاب (دستچین) کردن سرعت‌ها، مدل سرعت جدیدی بوجود می‌آید که با استفاده از این مدل، مجدداً کوچ عمقی روی داده‌ی لرزه‌ای اعمال شده و ورداشت‌های تصویری مشترک جدید استخراج می‌شوند. این مراحل ممکن است، تا رسیدن به افقی‌ترین حالت ورداشت تصویر مشترک، چند بار تکرار شوند و در آخرین تکرار، مدل سرعت به دست آمده را با درونیابی به مدل سرعت نهایی کوچ تبدیل می‌کنند.

۱-۳-۲- تهیه مدل سرعت به روش معکوس‌سازی زمان‌سیر یا توموگرافی

راه دیگر برای ارزیابی همخوانی مدل ایجاد شده نسبت به داده‌های لرزه‌ای، محاسبه زمان‌سیر رخداد‌های بازتابی انتخاب شده است که در داده‌های قبل از برانبارش، دستچین شده‌اند. از مشکلات این روش، تعداد زیاد نقاطی است که برای انجام عمل توموگرافی باید دستچین شوند. این نقاط، به عنوان نقاط تشکیل دهنده بازتابنده در مدل در نظر گرفته می‌شوند. در سال‌های اخیر، سعی بر ترکیب روش توموگرافی معکوس‌سازی زمان‌سیر، با روش آنالیز سرعت بر اساس کوچ شده است (روبین، ۲۰۱۰). در این روش، به دنبال مدلی هستیم که به بهترین وجه زمان‌سیر رخداد‌های بازتابی مشخص شده در داده‌ها را توجیه کند. پس از تهیه مدل سرعت اولیه، باید مرزهای مدل، در عمق پارامتری شوند و همچنین سرعت‌های بازه‌ای توسط توابع اسپلاین بر روی گره‌ها مشخص شوند. در این مرحله، مقاطع دورافت مشترک داده‌های پیش پردازش شده تهیه می‌شود. سپس روی این مقاطع، یک رخداد پیوسته، مشخص و دستچین می‌شود. نقاط دستچین شده داده‌های ورودی این روش را تشکیل می‌دهند. در مرحله بعد، با استفاده از تکنیک دنبال کردن پرتو روی مدل سرعت اولیه، زمان‌سیر رخداد‌ها مدل‌سازی می‌شوند. زمان‌سیرهای حاصله با T_{mod} نشان داده می‌شود. با کمینه‌سازی اختلاف بین زمان‌سیرهای اندازه‌گیری شده و زمان‌سیرهای مدل‌سازی شده، می‌توان مدل اولیه را بهبود بخشید و پس از چند تکرار، به یک

مدل سرعت بهینه دست یافت. در این روش، اگر نسبت سیگنال به نوفه در داده‌ی لرزه‌ای پایین باشد، مشخص کردن و دستچین کردن زمان سیرها به مشکل بر می‌خورد و یا حتی غیر ممکن می‌شود. در این حالت، مدل اولیه نقش مهمی دارد. بدین منظور معمولاً مدل اولیه از منابع اطلاعاتی دیگری مثل نگاره‌های چاه با میزان دقت قابل قبول تعیین می‌شود (روبین، ۲۰۱۰).

جهت پردازش داده‌های توموگرافی دو روش معمول استفاده می‌شود. روش اول، روش بازسازی جبری (ART^1) و تکنیک بازسازی تکرار همزمان ($SIRT^2$) می‌باشد. روش دیگر که مهم‌ترین روش در معکوس سازی داده‌های لرزه‌ای است، روش کم‌ترین مربعات (LSQ^3) است. در این روش، پارامترهای مدل به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که میزان اختلاف بین داده‌های مشاهده شده و محاسبه شده، کمینه گردد. در این روند، ساخت مدل سرعت اولیه و به روزرسانی آن، از طریق یکی از دو روش زیر انجام می‌گیرد: روش مبتنی بر لایه‌بندی^۴ و روش مبتنی بر شبکه‌بندی^۵ (جونز، ۲۰۰۳). در سال‌های اخیر از هر دو روش به‌عنوان روش‌های با اطمینان استفاده می‌شود که خطای باقیمانده سرعت را برای فرایندهای معکوس سطحی، توسط داده‌های ورودی قابل اعتماد، بهبود می‌بخشند.

۱-۳-۳- توموگرافی زمان سیر انکساری

روشی ساده از نظر محاسبات می‌باشد که فقط برای یک ساختار سرعتی کم عمق و دارای کیفیت پایین معتبر است. در این روش، داده‌های مشاهده‌ای بر اساس رابطه ارائه شده (رابطه ۱-۲) عمل می‌کنند (تایلندر و همکاران، ۲۰۱۱).

$$t = L.S \quad (2-1)$$

^۱ Algebraic Reconstruction Technique(s)

^۲ Simultaneous Iterative Reconstruction Technique

^۳ Least Squares Quadratic

^۴ Layer Base Method

^۵ Gridded Base Method

که در این فرمول t اولین زمان رسید، S کندی موج‌ها و L ماتریس مسیر پرتو است.

۱-۳-۴- توموگرافی زمان سیر با فرکانس محدود

به منظور دستیابی به کیفیت بالاتر نسبت به روش توموگرافی زمان سیر انکساری، اثرات انکسار موج نیز می‌تواند وارد محاسبات گردد. بدین ترتیب شبکه‌های با تعیین مقادیر سرعت، به جای تعیین مسیر پرتو و تعیین زمان سیر پرتو، مورد استفاده قرار خواهند گرفت. در نهایت این مسئله اجازه می‌دهد آنومالی‌های زمان سیر و دامنه وابسته به فرکانس باشند که این مسأله، خود کمک می‌کند تا کیفیت افزایش یابد (تیان و همکاران، ۲۰۰۷).

۱-۳-۵- توموگرافی شکل موج

این روش از تمام پتانسیل اطلاعات موجود در داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌کند. بدین صورت که لرزه‌نگاشت‌ها، به عنوان داده‌های مشاهده‌ای قلمداد شده که توسط حل معادله انتشار موج صوتی (به عنوان یک معادله تخمینگر در تعیین بردار کندی یا جهت و زمان سیر انتشار جبهه امواج الاستیک) تخمین زده شده و سپس کنترل می‌شوند.

البته در تهیه مدل سرعت، از روش‌های دیگری نیز استفاده می‌شود که به دو دسته زمانی و عمقی تقسیم می‌شوند. مدلسازی دسته اول بر حسب زمان سیر پرتوها از چشمه تا گیرنده‌های مستقر بر روی سطح می‌باشد. بر این اساس می‌توان هندسه پرتو موج را شناسایی نمود. مدلسازی لرزه‌ای بر پایه عمق، دارای مشکلات فنی بیشتر در مقایسه با نوع زمانی بوده ولی به لحاظ کارایی، دارای مزیت بیشتری می‌باشد.

۱-۴-۱- کوچ عمقی پیش از برانبارش

این روش کلید پردازش داده‌های لرزه نگاری در بهبود تصاویر لرزه‌ای بویژه در ساختارهایی که ناهمگنی‌های زمین شناسی همانند گنبد‌های نمکی و گسل‌های پیچیده وجود دارند، می‌باشد. در حال حاضر، تفسیر مدل‌های زمین شناسی، نقش ضروری را در کیفیت این روش بازی می‌کند.

در مقایسه با فرایند تصویر سازی کوچ زمانی معمولی^۱، این روش بسیار گرانتر و زمانبرتر است. از این روش نه تنها در تصویر سازی گنبد‌های نمکی، بلکه برای ناهمگنی‌های سرعت روباره نیز استفاده می‌شود و امکان تصویر سازی دقیق از مخازن هیدروکربوری و گسل‌ها را فراهم می‌آورد.

اگرچه کوچ عمقی پیش از برانبارش بصورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما ممکن است نتایج مناسبی نیز حاصل نگردد. بدست آوردن نتایج دقیق از این روش، نیازمند مدل سرعت تفسیری صحیح و دقیق علاوه بر تکنولوژی پردازش می‌باشد. به هر حال، یک موضوع همیشگی، ارتباط بین نتایج کوچ عمقی پیش از برانبارش و مدل سرعت استفاده شده است که چگونه و چه مقدار بر روی نتایج کوچ عمقی پیش از برانبارش تاثیرگذار است؟ با توجه به وجود مدل‌های مختلف سرعت، طبیعی است که نتایج مختلفی نیز حاصل گردد. پس لازم است این مدل‌ها را به استفاده از اطلاعات زمین شناسی، اطلاعات لرزه‌ای و داده‌های چاه مقید نمود. بهبود مدل سرعت در روش‌های توموگرافی، توسط کیفیت داده‌های لرزه‌ای، پیچیدگی ساختاری و تغییرات جانبی سرعت و عوامل دیگر، محدود می‌شود.

بدین دلیل معمولاً ساده‌ترین مدل برای انجام فرایند کوچ انتخاب می‌شود. ساده‌ترین آن‌ها، مدل چند لایه‌ای موازی و افقی با سرعت ثابت در هر لایه است. اگرچه این مدل ساده به نظر می‌رسد، اما معمولاً برای فرایند کوچ زمانی پیش برانبارش ساده، استفاده می‌شود.

عموماً مدل‌های واقع گرایانه از دو روش زیر مشتق شده‌اند (روبین، ۲۰۰۳):

- مدل سرعت برانبارش مورد استفاده در کوچ زمانی پیش از برانبارش یا PSTM

^۱ Conventional

- مدل‌های لایه‌ای زمین‌شناسی بر حسب زمان

در مورد روش اول می‌توان گفت که ممکن است نتایج مدل سرعت با ساختارهای زمین‌شناسی رابطه کمی داشته باشد. چرا که مقادیر سرعت در دالان‌های (پنل‌های) همدوسی، به منظور بهبود مقاطع PSTM انتخاب می‌شوند، که الزاماً برابر سرعت واقعی لایه نمی‌باشد.

روش دوم، مدل سرعتی است که از تفسیر افق‌های زمانی و سرعت بدست آمده از اطلاعات چاه تبدیل شده به بازه‌های سرعت، بدست می‌آید. در این روش، تمامی تفسیرها بر حسب زمان است که این مساله به خودی خود به عنوان عیب این روش شناخته می‌شود. بنابراین این روش نمی‌تواند آنومالی‌های سرعت را تصدیق کند. بنا به این دلیل، نیاز به مدل سرعت کوچ عمقی پیش از برانبارش برپایه اطلاعات زمین‌شناسی و استفاده از داده‌های لرزه‌ای احساس می‌شود.

بدین منظور در اولین گام لازم است که فرایندهای زیر و فرضیات آن، انجام شده و برقرار باشند (روبین، ۲۰۱۰):

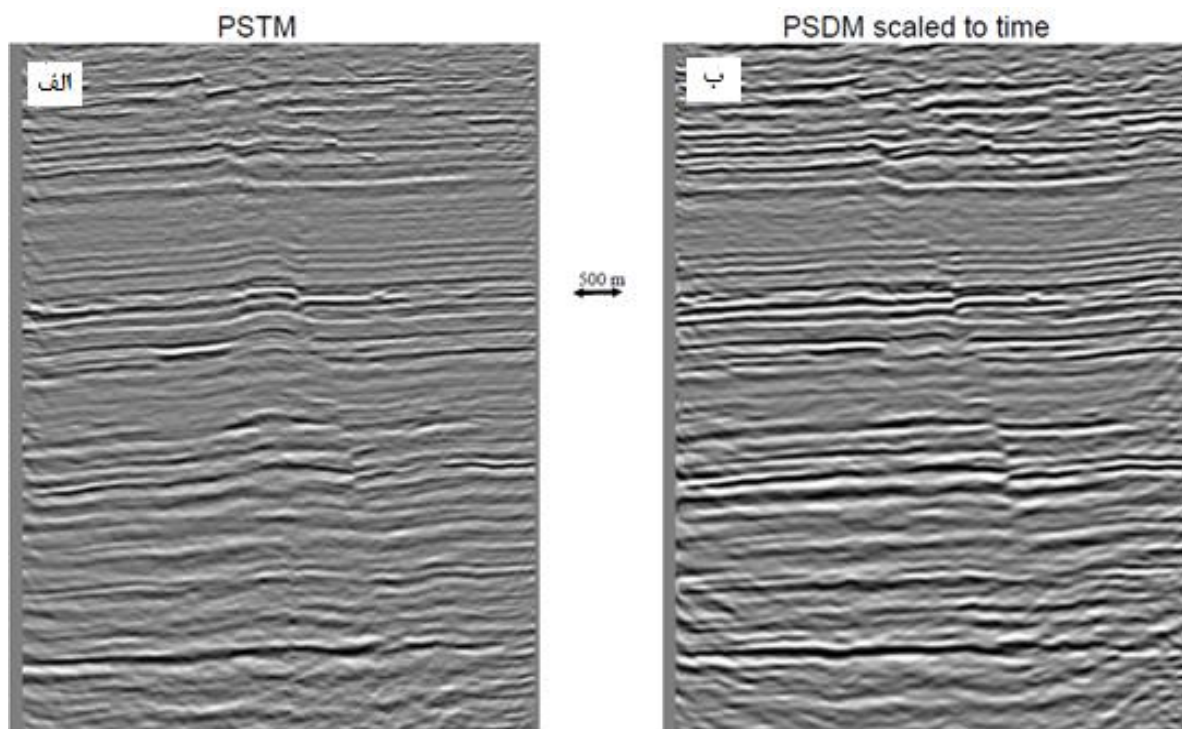
الف- هموار سازی مدل سرعت برای کاهش نوسانات غیر زمین‌شناسی (بیشاپ، ۱۹۸۵). البته این مورد با رسیدن به جزئیات ساختاری در تعارض است، اما اطلاعات بیشتری در تصویر سازی با این مدل سرعت ظاهر می‌شود.

ب- داشتن تصاویر با دقت بالا از افق‌های کم سطح، بسیار مهم است (لاندا، ۱۹۹۸). چرا که خطاهایی مانند خطاهای استاتیک در افق‌های عمیق‌تر، بیشتر رخ می‌دهد.

ج- سرعت در داخل لایه‌ها، تقریباً ثابت در نظر گرفته می‌شود.

در شکل (۱-۴) همانگونه که مشخص است، دو مقطع لرزه‌ای با استفاده از کوچ عمقی پیش از برانبارش عمقی و کوچ عمقی پیش از برانبارش زمانی نمایش داده شده که تفاوت‌های بین این دو مقطع، گویا می‌باشد. شکل (۱-۴الف)، مقطع تهیه شده به روش کوچ زمانی و شکل (۱-۴ب)، مقطع تهیه شده

کوچ عمقی را نشان می‌دهد. وضوح بالایی بازتابنده‌ها در اعماق زیاد و همچنین در کنار گسل‌های موجود و تعیین مکان دقیق تر گسل‌ها در منطقه، از مزایای استفاده از PSDM نسبت به استفاده از PSTM در این مقاطع می‌باشد. همچنین بازتابنده‌های سطحی به صورت آشکارتر به نمایش درآمده‌اند.



شکل ۴-۱- الف) مقطع تهیه شده PSTM و ب) مقطع تهیه شده PSDM سرعت‌های به‌روز شده با محدودیت‌های توموگرافی (سانچز و مارسلو، ۲۰۱۱).

۱-۵- توموگرافی لرزه‌ای

توموگرافی لرزه‌ای در واقع به صورت حل یک مسئله وارون به منظور پی بردن به خصوصیات محیط انتشار موج می‌باشد.

زلزله‌شناس‌ها از توموگرافی لرزه‌ای به منظور پی بردن به ساختارهای زمین‌شناسی و آتشفشان-شناس‌ها، از این روش در تعیین اندازه مخزن ماگما در زیر آتشفشان‌ها استفاده می‌کنند. در لرزه نگاری نیز از توموگرافی برای شناسایی ساختارهای زیر سطحی پیچیده، نظیر گسل‌ها، گنبد‌های نمکی، لایه‌های گچی و ریز شکستگی‌های موجود استفاده می‌شود.

۱-۵-۱- روش توموگرافی لایه‌ای

آنچه در این روش حائز اهمیت است، به‌روز رسانی مدل سرعت به صورت لایه به لایه است. نحوه انجام این روش بدین صورت می‌باشد که پس از تهیه مدل سرعت اولیه، مدل به تعدادی لایه‌های افقی از بالا به پایین تقسیم می‌شود. این تقسیم بندی عموماً بر اساس نرخ افزایش سرعت در هر لایه می‌باشد. بدین مفهوم که نواحی دارای نرخ سرعت یکسان را در یک لایه قرار می‌دهند. بدین صورت لایه‌های سخت و نرم تشکیل می‌گردند. منظور از لایه‌های سخت، لایه‌هایی است که سرعت در آن بسیار زیاد و یا بسیار کم می‌باشد و به روز رسانی در آن به کندی صورت می‌گیرد. وجود این لایه‌ها باعث می‌شود در محدوده‌های با سرعت عادی (لایه‌های نرم)، به روز رسانی اثری نداشته باشد. در شکل ۱-۵، نمونه‌ای از این روش نشان داده شده است.

۱-۵-۲- روش توموگرافی شبکه‌ای

در این روش لازم است که محدوده‌های سرعت ثابت، نه به صورت لازم، که به شکل محدوده‌هایی در مدل سرعت ایجاد شود. همانطور که از نام این روش پیداست، برای انجام عمل توموگرافی، می‌بایست مدل سرعت را به شبکه‌هایی تقسیم نمود تا در آن عمل به‌روز رسانی صورت گیرد. در این روش همانند روش لایه‌ای، پس از هر به‌روز رسانی مدل سرعت، پارامترهایی مانند میزان خطا و انطباق و یا تفاوت با مدل سرعت در تکرار پیشین، محاسبه شده و شرایط توقف و یا ادامه فرایند بررسی می‌شود. این روش در مقایسه با روش لایه‌ای، دارای کیفیت ارائه تصاویر بالاتری می‌باشد که به همین منظور، در این پایان نامه نیز، خروجی نهایی بر حسب این روش در نظر گرفته شده است.

۱-۵-۳- روش هیبریدی

این روش، یکی از جدیدترین روش‌ها در علم توموگرافی لرزه‌ای به شمار می‌رود. به گونه‌ایی که به دلیل مشکل بودن فرایند کار با آن و همچنین محدودیت‌های سخت افزاری و نرم افزاری، پروژه‌های بسیار کمی حتی در سطح جهانی انجام گرفته است.

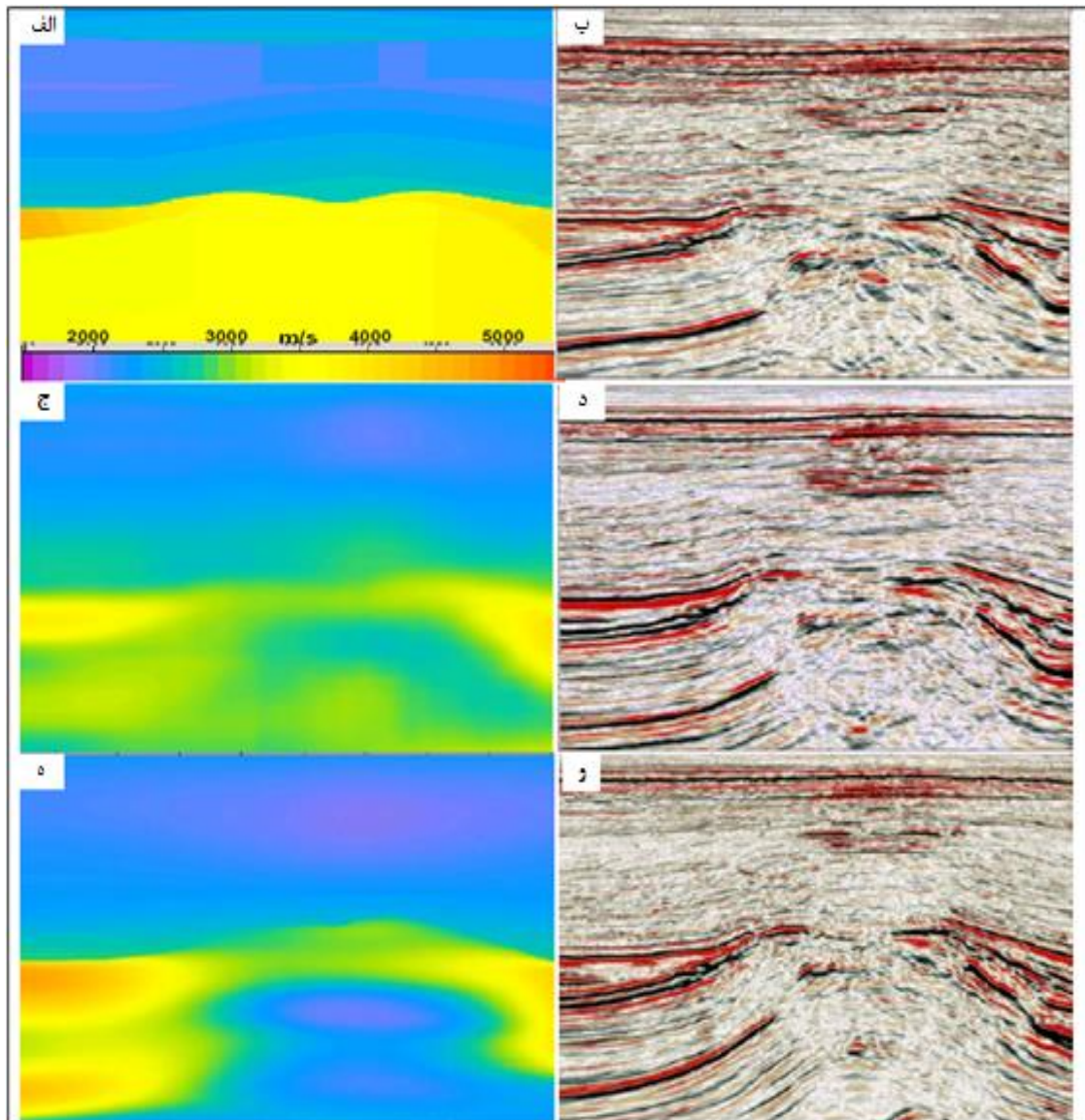
در این روش از ترکیب دو روش لایه‌ای و شبکه‌ای استفاده می‌شود که باعث ارتقای کیفیت^۱ تصویر سازی لرزه‌ای ساختارهای زیر سطحی می‌گردد. بدین صورت که در ابتدا مدل سرعت تحت روش لایه‌ای و سپس تحت روش شبکه‌ای، به روز رسانی می‌شود و در نهایت با ترکیب این دو روش، مدل سرعت نهایی شکل می‌گیرد. این روش در ساختارهای بسیار پیچیده زمین شناسی کاربرد دارد. لازم به ذکر است که در بررسی کارایی روش ذکر شده، لازم است این روش در حوضه عمق بررسی گردد.

۱-۶- بیان مسأله

تهیه مدل سرعت عناصر زیر سطحی، همواره یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل پردازش داده‌های لرزه‌نگاری است. به علت پیچیدگی‌های موجود در زمین و عدم همسانگرد بودن محیط انتشار موج در آن، توسعه روش‌های گوناگون، مشروط به منطقه و شرایط فیزیکی محیط انتشار می‌باشد. همانگونه که معلوم است، در مناطق دارای لایه‌های گچی و نمکی، به دست آوردن بازتاب از بازتابنده‌های زیر آن از طریق لرزه نگاری به دلیل سرعت بالا و ضخامت احتمالی زیاد لایه، امری بسیار کم محتمل و حتی بعید است. در این شرایط برای آگاهی از شرایط زمین، شاید حفاری به عنوان ساده‌ترین راه ممکن در نظر گرفته شود اما این راه دارای هزینه‌های هنگفتی می‌باشد که استفاده از آن را قبل از اطمینان کامل درباره شرایط زمین، غیر معقول می‌کند. پس به ناگزیر باید از روش‌هایی استفاده نمود که علاوه بر هزینه کم‌تر نسبت به حفاری، قابلیت فنی بالایی در ارائه تصاویر با کیفیت بالا داشته باشند. بنابراین، مسأله اصلی در این تحقیق، استفاده از روشی در تهیه مدل سرعت برای داده‌هایی است که دارای ساختارها و یا زون‌های با تباین سرعت و ضخامت بالا می‌باشند. همانگونه که مشخص است، در این گونه داده‌ها، هر

^۱ Resolution

دو روش ذکر شده در تهیه مدل سرعت (روش لایه‌ای و شبکه‌ای)، قابلیت خود را از دست داده و لذا باید به دنبال روشی دیگر برای تهیه مدل سرعت باشیم. به این ترتیب یکی از راهکارها، می‌تواند استفاده از ترکیب دو روش لایه‌بندی و شبکه‌بندی باشد، به گونه‌ای که بتوان باعث بهبود مدل سرعت شد.



شکل ۱-۵- بکارگیری روش توموگرافی لایه‌ای (الف) و (ب) به ترتیب مدل سرعت و تصویر مقطع لرزه‌ای با استفاده از روش لایه‌ای (اعمال توموگرافی لایه‌ای در سال ۲۰۰۲)، (ج) و (د) مدل سرعت و تصویر مقطع لرزه‌ای با استفاده از روش شبکه‌ای (اعمال توموگرافی شبکه‌ای در سال ۲۰۰۴) و (ه) و (و) مدل سرعت و تصویر مقطع لرزه‌ای با استفاده از روش هیبریدی (ترکیب دو روش لایه‌ای و شبکه‌ای در سال ۲۰۰۶) - شکل فاقد مقیاس است (جونز و همکاران، ۲۰۰۷).

۱-۷- ساختار پایان نامه

این پایان نامه به لحاظ ساختاری در پنج فصل تنظیم و نگارش شده است. در فصل اول به بیان مقدمه‌ای از اصول و قواعد به همراه کلیاتی از مبانی کار و تئوری آن‌ها پرداخته شده است. در فصل دوم تئوری و مسائل مربوط به پروژه ذکر گردیده است. در فصل سوم به تفصیل در مورد تهیه مدل سرعت به روش توموگرافی لایه‌ای، شبکه‌ای و ترکیبی (هیبریدی) بحث شده است و همچنین برخی معادلات ریاضی لازم در این مورد نیز اضافه گردیده است.

در فصل چهارم نیز، مشخصات پروژه به همراه مراحل اجرای آن (در قالب نمودار) ارائه گردیده است. در این فصل، تمامی خروجی‌های لازم به منظور مشاهده و مقایسه ضمیمه گردیده و در نهایت در فصل پنجم، نتایج حاصله به همراه پیشنهادهایی جهت بهبود کار ذکر گردیده است.

فصل دوم

مبانی توموگرافی مدل سرعت

در این فصل در ابتدا نگاهی گذرا به شرایط زمین شناسی و برخی پارامترهای لرزه نگاری انعکاسی در تهیه مدل سرعت انداخته شده است. در ادامه به بررسی روش کوچ عمقی پیش از برانبارش (PSDM) داده‌های لرزه‌ای پرداخته می‌شود. از این روش همانگونه که در فصل اول بیان شد، در ساختارهای دارای ناهمگنی ساختاری، بویژه در لایه‌های گچی و نمکی استفاده می‌شود، که قابلیت بالایی در تصویر سازی عمقی از خود نشان می‌دهد. تئوری روش توموگرافی لرزه‌ای به صورت کامل با ارائه مباحث ریاضی، در ادامه متن بیان گردیده است. در هر بخش به معرفی مزایا و معایب روش پرداخته شده که این روش‌ها با توجه به محیط کار و شرایط موجود در آن، می‌توانند یک تصویر بهینه سازی شده از زیر سطح زمین در حوضه عمق^۱ ارائه دهد که باعث افزایش کیفیت مقاطع لرزه‌ای نیز می‌گردد. در انتهای فصل نیز به صورت خلاصه، نگاهی به مبحث تبدیل زمان به عمق انداخته شده که در افزایش کیفیت تصاویر لرزه‌ای، نقش به سزایی دارد.

صنعت اکتشافات لرزه‌ای در اوایل دهه ۱۹۹۰ با انتقال از تصویر سازی دو بعدی به سه بعدی، انتقال از حوضه زمان به عمق^۲ و همچنین کوچ پس از برانبارش به پیش از برانبارش، انقلابی به پا کرد. در طول دهه‌ها این صنعت برای جایگزینی آنالیز سرعت NMO با آنالیزهای مناسب‌تر به منظور افزایش کیفیت و حجم داده‌های بیشتر با چالش مواجه بود. استراتژی اولیه، اسکن مقدار سرعت زمان رسید به روش معکوس یک بعدی هموار و دستیابی به حلقه درگوسکی (درگوسکی، ۱۹۹۰) بود. بعد از دهه ۱۹۹۰، صنعت لرزه، توموگرافی PSDM را به منظور آنالیز سرعت کوچ انجام داد (استورک، ۱۹۹۲؛ وانگ، ۱۹۹۵). بیشتر استراتژی‌های موجود در این روش‌ها، با فرض افقی بودن لایه‌ها و گرادیان سرعت ثابت در آنها پایه ریزی شده بود (بلور، ۱۹۹۸). استراتژی دیگر در این روش‌ها دارای محدودیت‌های کمتری بوده و بر اساس روش شبکه‌ای، داده‌های به دست آمده را تفسیر می‌کردند (وود وارد و همکاران،

^۱ Depth Domain

^۲ Time to Depth Conversion

۱۹۹۸). اصول توموگرافی از اوایل دهه ۱۹۹۰ تعریف شد و مسائلی که توسط آن حل می‌شد روز به روز وسیع‌تر می‌گردید. به همین طریق، انتظار افزایش کیفیت از آن بالا رفت و مدل‌های زمین‌شناسی از حالت همسانگرد به ناهمسانگرد به شکل قابل توجهی ارتقا پیدا نمودند.

۲-۲- شرایط زمین‌شناسی

یکی از بخش‌های مهم در پردازش داده‌های لرزه‌ای، استفاده از مدل سرعت لرزه‌ای است. موج لرزه‌ای از چشمه موج تا محل گیرنده، از بین لایه‌های مختلف عبور می‌کند که هر لایه دارای خصوصیات منحصر بفرد می‌باشد. برخی از این لایه‌ها، دارای ساختارهای ناهمگن با محیط اطراف هستند که باعث تغییر در سرعت، مسیر و در نتیجه زمان رسید موج به گیرنده می‌گردد. تفاوت زمان رسید امواج لرزه‌ای، باعث ایجاد تفاوت میان لایه‌های مختلف می‌گردد. به عبارت دیگر، با توجه به ساختارهای متنوع و تراکم‌پذیری^۱ مختلف در زیر سطح زمین، انتظار افزایش و یا کاهش سرعت امواج لرزه‌ای وجود دارد. به تبع این تفاوت در هر راستا می‌تواند اتفاق بیفتد. اما نکته حائز اهمیت آن است که تفاوت سرعت در جهات مختلف، پدید آورنده لایه‌ها یا سلول‌های تغییرات سرعت مختلف می‌باشد که به‌روز رسانی هر کدام از این لایه یا سلول‌ها، با توجه به سنگ‌شناسی‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. به طور کلی، تفاوت سرعت در هر منطقه می‌تواند در راستای افق یا قائم اتفاق بیفتد. لایه‌های زمین‌شناسی نیز همواره بصورت افقی و به موازات یکدیگر قرار نمی‌گیرند، پس انواع مختلفی از مدل سرعت تولید می‌شود که هر کدام دارای خصوصیات منحصر بفرد می‌باشند. شبیه‌سازی این اختلاف زمان‌ها، همان تهیه مدل سرعت است، به گونه‌ای که باعث ایجاد مدلی از چگونگی انتشار موج درون زمین می‌گردد. با تبدیل زمان به عمق، می‌توان انتظار افزایش دقت در ساختارهای ناهمگن را داشت (ایلماز، ۲۰۰۱).

^۱ Consolidate

یکی از عوامل تأثیرگذار در تهیه مدل سرعت داده‌های لرزه‌ای، خصوصیات برداشت لرزه‌ای است. یکی از این عوامل، میزان دورافت^۱ در داده‌ها است. داده‌های برداشت شده با دورافت بیشتر، به دلیل در بر گرفتن تعداد بیشتری از گیرنده‌ها و مساحت زیادتری از منطقه مورد برداشت، توانایی ارائه سرعت میانگین بهتری دارند که در نتیجه مدل سرعت بهتری به دست می‌دهند. از عوامل دیگر، میزان صحیح فرکانس استفاده شده در حین برداشت در چشمه لرزه‌ای (دینامیت و یا ویبراتور^۲) است. این فرکانس به عواملی نظیر طول موج پرتو لرزه‌ای، عمق مورد نظر برای اکتشاف و همچنین ساختار زیرسطحی بستگی دارد.

از عوامل دیگری که در تهیه مدل سرعت بهینه در ساختار نقش دارند، می‌توان به اعمال اصلاحات حین پردازش داده‌های لرزه‌ای نظیر تصحیح NMO و DMO^۳ اشاره نمود. این تصحیحات باعث بهبود سرعت برانبارش گشته و در نتیجه سرعت بهینه مورد نیاز برای ساخت مدل سرعت نهایی را ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است که تصحیحات ذکر شده بر اساس قرارگیری لایه‌های زمین‌شناسی نسبت به افق، دارای عملکرد متفاوتی می‌باشند که در فصل اول در مورد قرارگیری به حالت افقی بحث شد. در لایه‌های سطحی (عمدتاً تا اعماق ۵۰۰ متری) و همچنین لایه‌های کف دریا، که تراکم‌پذیری سنگ‌ها در آن پایین است، به دست آوردن بازتابنده‌های لرزه‌ای کاری بسیار سخت و تا حدی ناممکن است (روبین، ۲۰۰۳).

همانطور که در فصل اول اشاره شد، بکارگیری کوچ عمقی پیش از برانبارش در صنعت به یکی از پرکاربردترین روش‌های آنالیز سرعت تبدیل شده است. از دلایل بکارگیری این روش، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

^۱ Offset

^۲ Vibrator

^۳ Deep Move Out

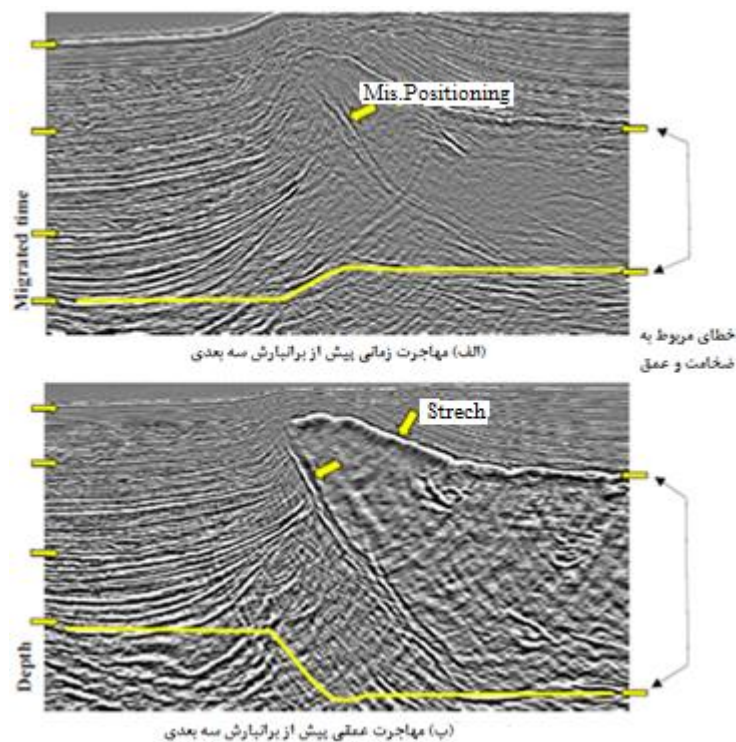
- چندگانه‌ها به دلیل عملکردی که دارند، می‌توانند در مناطق زمین شناسی پیچیده، به جای آشکار سازی بازتابنده‌های اصلی، بازتابنده‌های دیگری را در پایین بازتابنده اصلی نیز آشکار کنند. بدیهی است که تشخیص صحیح چنین بازتابنده‌هایی، کاری دشوار است.
 - منحنی زمان - دورافت مربوط به بازتابنده‌های در زیر توده‌های پیچیده، توسط توابع ساده تحلیلی نمی‌تواند مدل شود. بنابراین می‌بایست از توابعی با دقت بالا استفاده نمود تا قادر به نمایش بازتابنده‌های زیر توده‌های پیچیده باشند.
 - برای تهیه یک برداشت دورافت صفر از داده‌های تصحیح شده (DMO - NMO)، فرض بر این است که منحنی زمان - دورافت یک فصل مشترک، دارای یک شکل منظم است. این فرض در ساختارهای پیچیده با دشواری روبرو است.
- دو مسأله اول گفته شده در بالا، مسائل مربوط به کوچ زمانی پیش از برانبارش است، در حالی که سومین مورد در کوچ عمقی پیش از برانبارش اهمیت پیدا می‌کند.
- کوچ عمقی پیش از برانبارش به یک مدل سرعت عمقی واضح و محاسبه توابع گرین^۱، شامل رسید چندگانه‌ها نیاز دارد. این روش دارای مزایای مخصوصی است که در ادامه به معرفی مزایا و معایب آن پرداخته خواهد شد. هر دو روش فوق در ارائه مدل سرعتی از ساختارهای زیرسطحی دارای مهارت می‌باشند ولی به تناسب شرایط، هر کدام دارای خصوصیتی می‌باشند. از جمله محدودیت‌های PSTM که متخصصان را ملزم به استفاده از روش PSDM و PostSDM نمود، عبارتند از (روبین، ۲۰۰۳):
- PSTM یک فرایند زمانی است که صحت قرارگیری رخدادها در فضای تغییرات جانبی سرعت در زیر زمین را تضمین نمی‌کند.

^۱ Green Functions

- مقاطع زمانی می‌توانند در تفسیر، بخصوص در زیر ساختارهای زمین شناسی با ویژگی‌های بالا کشیدگی و پایین افتادگی^۱، عامل گمراه کننده باشند.

- در کوچ زمانی پیش از برانبارش فرض بر این است که منحنی‌های زمان - دورافت مربوط به بازتابنده‌ها، دارای تغییرات و روند منظمی است و در واقع به شکل یک هذلولی نشان داده می‌شوند. ولی لازم به ذکر نمی‌باشد که این فرض نیز در تصویر سازی بازتابنده‌های ساختارهای پیچیده (همانند گنبد‌های نمکی یا گسل‌های رورانده)، کاملاً نقض می‌شود.

نکات فوق در شکل (۲-۱الف) شرح داده شده است. تنها کوچ عمقی پیش از برانبارش می‌تواند بیشتر این مشکلات را مرتفع سازد (شکل ۲-۱ب).



شکل ۲-۱- مقایسه نتایج روش‌های PSTM و PSDM در ساختارهای پیچیده زمین شناسی و محدودیت‌های روش PSTM زمانی که چندین تباین سرعت جانبی اتفاق می‌افتد. برخی نکات مهم در تصویر سازی با روش PSDM زیر توده نمکی به این شرح است: مکان قرارگیری پایه نمک‌ها، "عمق واقعی" در برابر "زمان-عمق" رخدادها در رسوبات و زیر

^۱ Pull ups & Pull down

نمک‌ها، رخدادهای کشیده که اغلب به تباین سرعت تیز بستگی دارد. مقیاس‌های عمودی و افقی در تصاویر عمقی، متفاوت با مقایسه تصاویر زمانی است (روبین، ۲۰۰۳).

۲-۳- روش‌های مختلف PSDM و آنالیز سرعت

معمول‌ترین روش PSDM در پردازش داده‌ها، کوچ معمول دورافت کیرش‌هف می‌باشد. آخرین بهبود اعمالی بر روی این روش، دسته بندی و پردازش داده‌ها در حیطة زاویه متداول بازتابنده‌هاست که دارای چندین مزیت مخصوصاً در حفظ مقدار واقعی دامنه‌ها است. آنالیز سرعت از بخش‌های جدایی ناپذیر در کوچ عمقی پیش از برانبارش است. کوچ عمقی پیش از برانبارش علاوه بر ساخت مدل سرعت، یک فرایند تکراری است که اغلب با پردازش زمانی شروع می‌شود و توسط محاسبه یک مدل اولیه که به صورت لایه به لایه به روز می‌شود، دنبال می‌گردد. ساختار این مدل اولیه و روش به روز رسانی آن در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد. تکنیک کوچ عمقی پیش از برانبارش کیرش‌هف دارای مزایایی است که تعدادی از آن‌ها عبارتند از (روبین، ۲۰۰۳):

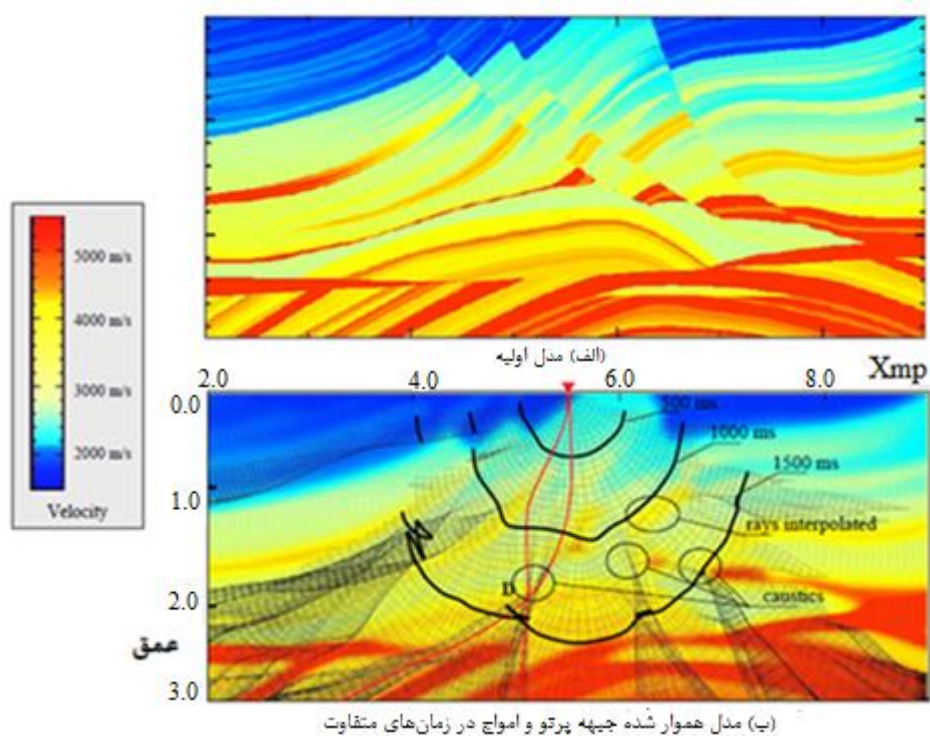
- در این روش نسبت به سایر روش‌ها، کامپیوتر درگیر محاسبات کم‌تری می‌شود.
- این روش اجازه انجام فرایند کوچ تنها بر روی یک بخش از مقطع را می‌دهد، یعنی تنها یک نقطه انتخابی از جنس فضای (x, y, z) می‌تواند تصویر شود.

همچنین این روش دارای معایبی نیز می‌باشد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- تمامی محدودیت‌های ردیابی پرتو در محیط‌های پیچیده، بویژه حساسیت بسیار بالای زمان رسید به مدل، از معایب این روش است. به منظور جلوگیری از این محدودیت‌ها، می‌توان از مدل سرعت هموار استفاده نمود.
- در مسأله رسید چندگانه‌ها در محیط‌های پیچیده، چندین پرتو ممکن است چند نقطه تصویر شده در زیر سطح را به یک چشمه یا گیرنده در سطح متصل کنند. این امر در شکل (۲-۲)

نشان داده شده است. روش ردیابی پرتو^۱ ساده، کوتاه‌ترین مسیر عبوری پرتو از داخل زمین را نشان می‌دهد.

■ جلوگیری از تغییر دامنه‌ها به تخمین صحیحی از وزن‌های انتگرال کیرشلف نیاز دارد که هنوز به عنوان یک مسأله حل نشده باقی مانده است. این اوزان به پرتو عبوری، هندسه برداشت، ناهمسانگردی و غیره بستگی دارد که وزن دهی صحیح آن‌ها یکی از مهم‌ترین بخش‌های تحقیقات است.



شکل ۲-۲- مثالی از انجام تکنیک ردیابی جبهه موج بر روی یک مدل سرعت شبکه بندی شده و ایجاد پدیده چند مقداری برای جبهه موج در یک سلول در یک محیط ناهمگن (روبین، ۲۰۰۳)

۲-۳-۱- آنالیز سرعت کوچ و ساخت مدل سرعت

^۱ Ray Tracing

سؤال اساسی این است که کدام مدل برای کدام ساختار زمین شناسی استفاده می‌شود؟ سه نوع مدل برای پروژه‌های کوچ عمقی پیش از برانبارش استفاده می‌شود که به ترتیب عبارتند از (روبین، ۲۰۰۳):

۲-۳-۱-۱- مدل‌های لایه‌ای^۱

از این نوع مدل، اغلب با عنوان مدل کیک لایه‌ای نام برده می‌شود. این مدل در مناطق دارای لایه‌های با رژیم سرعت و ضخامت بسیار متفاوت که روی یکدیگر را می‌پوشانند، استفاده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به لایه‌های گچ در مقابل شیل یا نمک اشاره نمود.

۲-۳-۱-۲- مدل‌های شبکه‌ای^۲

در این مدل، سرعت در هر گره از شبکه منظم (سلول) تعیین می‌شود. این گره‌ها به خوبی برای محیط‌های نهشته‌های دریایی آواری، جایی که یک گرادیان سرعت (اغلب به صورت خطی) می‌تواند به صورت تغییرات جانبی در این محیط تعریف شود، انطباق یافته‌اند.

۲-۳-۱-۳- مدل‌های ترکیبی^۳

از این مدل در مناطقی که گرادیان سرعت متوسط از رسوبات به دلیل همراهی درصدی از توده‌های نمک یا شیل به یک قالب پیچیده درآمده است، استفاده می‌شود. مرزهای این مدل‌ها معمولاً به شدت ناهموار و دارای اختلاف سرعت بالا می‌باشند. داده‌هایی که از قسمت‌های عمیق خلیج مکزیک به دست می‌آیند، مثال‌های مناسبی برای این مدل می‌باشند.

اولین وظیفه در پروژه‌های کوچ عمقی پیش از برانبارش، تصمیم‌گیری در این باره است که کدام مدل بهترین انطباق را با مسائل تصویر سازی دارد. به کارگیری کوچ عمقی پیش از برانبارش و تحقیق

^۱ Layer Base Models

^۲ Gridded Models

^۳ Hybrid Models

به منظور تعیین مناسب‌ترین مدل سرعت، یک فرایند تکراری طولانی است. پس از هر تکرار، چه داخل هر لایه و چه با اضافه کردن یک لایه جدید، مدل اصلاح می‌شود. به روز رسانی یک لایه در مدل لایه‌ای، نه تنها شامل بهینه کردن مقادیر سرعت در لایه است، بلکه اغلب شامل بهینه سازی هندسه هر سطح مشترکی است که توسط این لایه‌ها تعریف شده است. به علاوه به منظور تکرار بالای محاسبات در تهیه تصاویر لرزه‌ای و پیچیدگی آنالیز ورداشت‌های تصویر^۱، می‌بایست ساده‌ترین راه به منظور کنترل مدل سرعت لایه‌ای بویژه در حالت سه بعدی انتخاب کرد.

در اینجا سؤالی که به نظر می‌رسد، این است که از کدام مدل استفاده شود؟ مدل کیک لایه‌ای یا مدل شبکه‌ای؟ در روش معکوس سازی زمان سیر همانند هر روش دیگر، سرعت به صورت پارامتری در می‌آید. مدل کیک لایه‌ای که در اغلب متون با عنوان مدل بلوکی^۲ نیز نامیده می‌شود، توسط چندین پارامتر تحت عنوان پارامترهای مدل، تعریف شود. در بسیاری از موارد حل معادله تعیین مسیر پرتوها در این مدل ممکن است پایدار نباشد. راهکار مورد استفاده در این حالت شامل نرم کردن^۳ میدان سرعت می‌شود که این مزیت مهم دیگری از کاهش مقدار پارامترهایی است که باید معکوس شوند و در عین حال دارای درجه غیر یکتایی می‌باشند.

به صورت معمول، در تعیین روش بدست آوردن مدل سرعت، آن دسته از راه حل‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که مدل سرعت انتشار در آن دارای کمترین نرخ تغییرات در راستای افق است. مرحله بعد، مدل سرعت تهیه شده توسط الگوریتم کوچ عمقی پیش از برانبارش استفاده می‌شود. اکنون سؤال این است که نرم کردن میدان سرعت چگونه بر روی کیفیت تصاویر لرزه‌ای تأثیر می‌گذارد؟ معمولاً درجه معینی از نرم کردن مدل سرعت به منظور انجام کوچ قابل قبول است (میسپل و هانیتش، ۱۹۹۶). به هر حال مدل نرم (شکل ۲-۲ب) تا زمانی که سطوح مشترک، محو نشوند، با مدل کیک لایه‌ای سازگار است. روش تکراری دیگر در تهیه مدل سرعت، روش شبکه‌ای است. مسیر پرتوها در این روش به سادگی

^۱ Image Gather

^۲ Blocky

^۳ Smoothing

روش لایه‌ای بوده و همچنین این مدل‌ها می‌توانند مواردی از قبیل توابع گرین در کوچ کیرش‌هف و جواب معادله انتشار موج به روش تفاضل محدود^۱ را محاسبه کند. البته از معایب این دسته از روش‌ها، عدم تطابق بالای مدل با شرایط زمین‌شناسی منطقه است. به عبارت دیگر معمولاً مرز تغییرات سرعت در این روش‌ها با افق‌های زمین‌شناسی که در مقاطع زمین‌شناسی دستچین می‌شوند و به صورت نقشه در می‌آید، همخوان نیستند. به علاوه اگرچه انتقال از مدل لایه‌ای به شبکه‌ای به نسبت ساده است، اما فرایند معکوس آن بسیار مشکل است.

۲-۳-۲- انواع آنالیز سرعت و تکنیک‌های مدل سازی

عمده تکنیک‌های آنالیز سرعت بر پایه تکرار هستند، خواه این تکرار به صورت لایه لایه در یک مسیر پایین به بالا و یا به صورت به روز رسانی یک مدل اولیه باشد. امروزه روش‌های متنوع با مزایا و معایب مخصوص خود وجود دارند که می‌توان این روش‌ها را به صورت زیر (جدول ۲-۱) دسته بندی نمود (روبین، ۲۰۰۳). در ادامه به بررسی کلی برخی از این تکنیک‌ها در بحث مدل سازی پرداخته می‌شود.

۲-۳-۲-۱- استریو توموگرافی^۲

این مبحث، گسترشی از هر دو مبحث معکوس زمان سیر و کوچ پرتو است که سرعت را نه تنها به کمک زمان سیر، بلکه توسط شیب رخداد‌های موجود در داده‌های پیش از برانبارش تخمین می‌زند. این تکنیک یک مدل سرعت شبکه‌ای را فراهم می‌کند که متعاقباً به عنوان مدل اولیه سرعت بازتابنده‌ها در نظر گرفته می‌شود. این روش به خانواده روش‌های توموگرافی شیب^۳ متعلق است (ریابینکین، ۱۹۵۷ و اسوارد، ۱۹۸۶).

^۱ Finite Difference

^۲ Stereo tomography

^۳ Slope Tomography Methods

جدول ۲-۱- انواع آنالیز سرعت و تکنیک‌های مدل سازی (روبین، ۲۰۰۳)

تکنیک مورد استفاده	مبنای به روز رسانی مدل
آنالیز یک بعدی تحلیلی (Deregowski loop)	به روز رسانی مدل بر مبنای PSDM
آنالیز نقطه تمرکز مشترک ^۱ (CFP)	
آنالیز تمرکز ^۲ (FA)	
معکوس سازی زمان	به روز رسانی مدل بر مبنای پرتو
استریو توموگرافی	
پیک کردن و معکوس سازی برداشت- های تصویری مشترک	
	به روز رسانی مدل بر مبنای اسکن سرعت
	به روز رسانی مدل بر مبنای روش‌های آماری

۲-۳-۳- کوچ عمقی پیش از برانبارش ناهمسانگرد

کوچ عمقی پیش از برانبارش به عنوان ابزاری جهت تبدیل زمان به عمق به کار گرفته می‌شود. ناهمسانگردی به عنوان پارامتر شاخص مدل سرعت در به دست آوردن ارتباط بین تصویر عمقی و داده‌های چاه، به خصوص شیب و عمق می‌باشد (هاوکینز و همکاران، ۲۰۰۱). ناهمسانگردی را می‌توان در هر دو روش‌های PSTM و PSDM اعمال کرد. ابزار مورد استفاده در اعمال ناهمسانگردی در این

^۱ Common Focal Point (CFP)

^۲ Focus Analysis (FA)

روش‌ها بیشتر شامل محاسبات تابع گرین می‌باشد. این محاسبات به کمک مفهوم مسیر یابی دینامیک پرتو، می‌تواند یک مدل سرعت ناهمسانگرد را بدست دهد.

فارغ از نوع روش بدست آوردن مدل سرعت ناهمسانگرد، چگونگی به‌روز کردن آن نیز مورد سؤال است. پرکاربردترین روش در به‌روز کردن ناهمسانگردی در مدل سرعت، در نظر گرفتن ضرایبی برای هر لایه و تعیین آنها در یک مجموعه واحد از ضرایب است.

معمولاً سه پارامتر برای در نظر گرفتن ناهمسانگردی در هر لایه تخمین زده می‌شود (ϵ و δ یا هر ترکیبی از این‌ها شامل η و جهت محورها). تخمین این مقادیر، کار ساده‌ای نیست. این روش در تهیه مدل اولیه در روش پیش از برانبارش استفاده می‌شود.

۲-۳-۴- ابزار تخمین مناسب عمق

پرسش اصلی در اینجا این است که آیا کوچ عمقی پیش از برانبارش، ابزار مناسبی در تخمین عمق بازتابنده شناخته می‌شود یا خیر؟ بررسی درباره دقت مدل سرعت در کوچ عمقی پیش از برانبارش و بررسی صحت تصویر سازی در تک تک بازتابنده‌ها، یک کار طاقت فرسا و هزینه بر است. بنابراین بهتر است در بسیاری از موارد، از داده‌های چاه در این رابطه کمک گرفته شود. بدین ترتیب می‌توان درستی نتایج PostSDM را بررسی کرد. اکنون می‌توان این سوال را مطرح کرد که آیا نتایج روش PostSDM الزاماً همواره از نتایج روش‌های کوچ پیش از برانبارش بهتر است یا خیر؟ می‌توان بیان کرد که الزاماً روش PostSDM بهترین جواب ممکن را به دست نخواهد داد، با این حال موارد زیر را بایستی به عنوان مزایای بسیار بزرگ این روش بیان نمود (روبین، ۲۰۰۳).

- از مزایای شگفت‌انگیز کوچ عمقی در بخش "تخمین عمق صحیح"، توانایی آشکارسازی بازتابنده-

ها در زیر ساختارهای پیچیده زمین شناسی است که تکنیک‌های معمولی قادر به انجام آن نیستند.

- اهمیت کوچ عمقی نسبت به کوچ زمانی، بررسی مسائلی است که در آن تغییرات جانبی سرعت بسیار بیشتر می‌باشد. چرا که اولاً حوضه زمان به تغییرات سرعت وابسته نیست و ثانیاً تغییرات ساختاری در حوضه عمقی، با قدرت تفکیک بالاتری قابل مشاهده هستند.

- بایستی همواره دقت داشت که چنانچه تغییرات جانبی سرعت در اطراف چاه به خوبی مدل نشده باشد، کوچ عمقی پیش از برانبارش یا پس از برانبارش، دارای سرعتی متفاوت با سرعت بدست آمده از داده‌های چاه می‌باشند، بنابراین می‌بایست خطاهای موقعیت یابی جانبی و عمقی چاه لحاظ گردند.

۲-۳-۵- شروط لازم برای تخمین بهتر عمق توسط PostSDM

مهم‌ترین نکاتی که در مورد کاربرد کوچ عمقی پیش از برانبارش می‌توان در نظر داشت، عبارتند از:

- در صورت انجام آنالیزهای با تعداد شبکه‌های متراکم‌تر، تغییرات جانبی سرعت بهتر می‌تواند سنجیده شود (جونز و همکاران، ۲۰۰۰).
- قابلیت وارد کردن انواع ناهمگنی در مدل سرعت، همیشه جزء مزایای کار محسوب می‌شود.
- اطلاعات چاه‌ها به منظور ارزیابی پارامترهای ناهمسانگردی، لازم و ضروری هستند. در بسیاری موارد، اطلاعات چاه‌ها در مقید نمودن مدل سرعت ناهمسانگرد در عمق و شیب، اضافه می‌گردد.
- متأسفانه پارامترهای ناهمسانگردی تنها به وسیله داده‌های لرزه‌ای و عمق چاه تعیین نمی‌شوند. اطلاعات دیگری نیاز است که توسط اندازه‌گیری‌های درون چاهی، مانند دورافت، محتوای لیتولوژیکی، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی پتروالاستیکی مغزه، داده‌های CVS^۱ با فواصل متفاوت و غیره، می‌تواند به دست آید.
- دورافت‌های بلند در بهبود اندازه‌گیری سرعت و ارزیابی پارامترهای ناهمسانگردی کمک می‌کند.

^۱ Constant Velocity Stack

- دخالت مفسر در روش کوچ عمقی پیش از برانبارش، همیشه مؤثر است. همچنین معلوم است که آشکار شدن یا نشدن بازتابنده‌ها، به مدل سرعت بستگی دارد. ساخت مدل سرعت مقید شده به چاه، یک فرایند تفسیری است و بسیار به نظر مفسر وابسته است.

این وابستگی از طرفی می‌تواند بسیار سودمند باشد، چرا که می‌توان عنوان کرد که کوچ عمقی پیش از برانبارش، مرحله‌ای ایده آل به منظور اضافه کردن اطلاعات تکمیلی حاصل از چاه و دانش زمین شناسی منطقه می‌باشد.

بنابراین می‌توان عنوان نمود که تنها کوچ عمقی پیش از برانبارش سه بعدی و به کار گرفتن تمام اطلاعات ممکن از چاه، می‌تواند به عنوان یک ابزار تصویر سازی واقعی در نظر گرفته شود. عیب اصلی در این روش، هزینه پردازش بالا و تعیین یک مدل یکتا برای سرعت و آنیزوتروپی است.

۲-۴- توموگرافی لرزه‌ای

امروزه روش‌های متعددی در بحث تصویر سازی و بهبود مدل سرعت در صنعت استفاده می‌شود که هر کدام بنابر شرایط موجود منطقه‌ای و موارد مورد تقاضای کارفرما، استفاده می‌گردند. از میان این روش‌ها، شاید توموگرافی لرزه‌ای را بتوان به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در مبحث تصویر سازی دانست. این روش همانند سایر روش‌ها، بنا به تکراری بودن، دارای قابلیت بهبود تصاویر می‌باشد.

تا پیش از این عمدتاً از روش‌های کوچ پیش از برانبارش به عنوان یک ابزار ساخت مدل استاندارد برای تصویر سازی استفاده می‌شد و تا سال ۱۹۹۰ تغییری در پی نداشت. اما پس از آن با اعمال تغییراتی، دو هدف عمده دنبال شد.

هدف اول افزایش کیفیت مدل استاندارد به کم‌تر از یکصد متر بود. این بهبود می‌تواند به دوشکل اعمال گردد. عامل اول، کیفیت بالای پیک کردن داده‌های برونراند باقیمانده با فاصله بین ۲۵ تا ۵۰ متر در راستای افقی و عمودی و عامل دوم، تغییر محتوای فرکانسی داده‌ها از طول موج بلند به کوتاه می‌باشد.

هدف دوم برداشت داده‌های لرزه‌ای در راستای آزمون‌های متفاوت و کامل است. بدین ترتیب می‌توان توموگرافی سرعت را با کیفیت بالا برای تمام آزمون‌های ممکن انجام داد. این امر به افزایش دقت مدل سرعت ناهسانگرد کمک شایانی می‌کند (وود وارد و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۴-۱- اصول کار توموگرافی لرزه‌ای

توموگرافی در هر روش خود، می‌تواند با توجه به تعداد پرتوهای رسیده به لایه یا سلول تعریف شده، یک سرعت میانگین برای همان سلول یا لایه محاسبه نماید. همانگونه که در (شکل ۲-۳) مشاهده می‌شود، یک عملیات برداشت لرزه‌ای^۱ در منطقه‌ای به وسعت کم در حال اجراست. فرض بر این گذاشته می‌شود که پس از تهیه مدل سرعت لرزه‌ای، تباین سرعت به گونه‌ای بوده که سلول‌های نمایش داده شده در این شکل به منظور اجرای توموگرافی، به وجود آمده‌اند. سلولی که با علامت پیکان در شکل نشان داده شده را در نظر بگیرید. به ازای هر پرتویی که به این سلول می‌رسد، یک سرعت محاسبه می‌شود. سپس از همه سرعت‌های محاسبه شده در این سلول، یک سرعت میانگین گرفته می‌شود که این سرعت بیانگر سرعت این سلول می‌باشد. در ادامه سرعت میانگین سلول‌های دیگر نیز به همین شکل محاسبه می‌شود.

در این مرحله همانگونه که در فصل اول به آن اشاره شد، شرایط مورد نظر در توموگرافی، جهت به روز رسانی مدل سرعت، بررسی شده و به روز رسانی انجام می‌گیرد. نکته اساسی و قابل تأمل در این روش این است که هر چه تعداد امواج گذرنده از هر سلول بیشتر باشد، به معنای سرعت میانگین و در نتیجه مدل سرعت دقیق‌تر است. این مسأله با افزایش میزان دورافت در عملیات برداشت انجام می‌گیرد (مثلاً در این شکل به جای ۶ گیرنده از تعداد بیشتری استفاده شود). پس هر چه به سمت گوشه بالایی چپ مدل سرعت حرکت کنیم، مدل دقیق و قابل اعتمادتر است و هر چه در جهت گوشه پایینی راست

^۱ Acquisition

آن حرکت کنیم، مدل به به روز رسانی بیشتری احتیاج دارد زیرا میزان پرتوهای عبوری از آن کم تر است. اصول توموگرافی لایه‌ای نیز به همین شکل است، با این تفاوت که به جای سلول از لایه‌های موازی افق استفاده می‌شود و سرعت میانگین در هر لایه، ملاک کار قرار می‌گیرد.

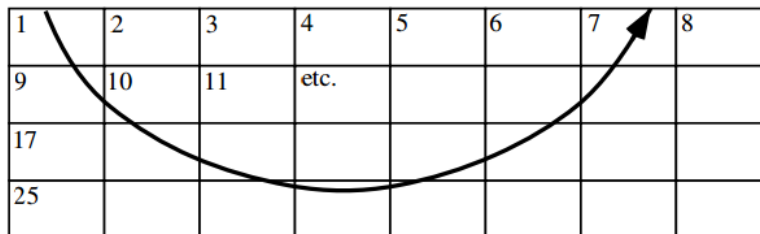
۲-۵- مبنای مسائل توموگرافی

فرض کنید که یک مدل سه بعدی در دسترس است. اولین گام، پارامتری کردن مدل سه بعدی اختلاف سرعت است. این عمل به سادگی از طریق دو راه انجام می‌گیرد:

- مدل سرعت به سلول‌های اختلاف سرعت یکنواخت تقسیم بندی می‌شود.
- توابع هارمونیک کروی می‌توانند به منظور پارامتری کردن اختلاف سرعت جانبی به همراه سایر لایه‌ها یا توابع چند جمله‌ای که به منظور توصیف تباین عمودی استفاده می‌شود، بکتر می‌روند.

شکل زیر (شکل ۲-۳) را در نظر بگیرید. در این شکل، برای هر زمان سیر یک مسیر پرتو وجود

دارد که منبع را به گیرنده متصل می‌کند.



شکل ۲-۳- نمایی از مسیر پرتو در یک مسأله توموگرافی دو بعدی (شیرر، ۲۰۰۹)

یافتن مسیر دقیق این پرتو شامل مسأله ردیابی پرتو است که یک وظیفه کوچک اما با اهمیت است.

به خصوص در روش‌های توموگرافیک که هر پرتو میبایست در یک محیط سه بعدی حرکت کند.

روش‌های حل مسأله ردیابی پرتو شامل موارد زیر می‌شود:

- نمونه برداری از پرتو رها شده از منبع به منظور همگرایی مکان صحیح گیرنده.

- خم شدن پرتو در هر قسمت از مسیر به آرامی صورت می‌گیرد تا به مکان گیرنده برسد. در این میان با توجه به اصل اسنل^۱، سرعت موج لرزه ای کاهش می‌یابد و پس از طی مسیری معین، دوباره افزایش می‌یابد تا به گیرنده برسد.
- تغییرات محدود یا تکنیک‌های تئوری هندسی^۲ نیاز به شبکه‌ای از نقاط دارند. خوشبختانه اصل فرمت^۳ فرض می‌کند که دقیقاً مسیر صحیح پرتو به منظور به دست آوردن زمان سیر صحیح در دسترس نیست. به هر حال در وهله اول، زمان سیر به اختلاف سرعت مسیر پرتو حساس نیست.

در ابتدا می‌بایست هندسه مسیر پرتو تعیین شود. مرحله بعدی، یافتن زمان سیر در هر یک از سلول‌هایی است که پرتو از آن عبور می‌کند. اختلاف زمان سیر کلی در طول مسیر پرتو است که از تجمیع زمان سیر هر سلول با اختلاف سرعت کسری داخل سلول به دست می‌آید. به عبارت دیگر زمان سیر باقیمانده (r) توسط رابطه زیر (رابطه ۱-۲) بیان می‌شود:

$$r = \sum_k b_k V_k \quad (1-2)$$

که b_k زمان سیر پرتو داخل سلول k ام و V_k اختلاف سرعت کسری درون سلول است. فرض بر این است که مسر پرتو و مقادیر b_k به مقادیری که از انتشار پرتو داخل مدل به دست آمده‌اند، ثابت شده‌اند. توجه شود که V_k در هر سلول ثابت است اما میزان سرعت در هر سلول چنانچه دارای تغییرات سرعت باشد، یکسان نیست. در حالی که اختلاف سرعت می‌تواند روی مسیر پرتو اثر گذار باشد، معادله فوق، تخمینی برای مقادیر کوچک V_k ارائه می‌دهد.

اگر زمان سیر پرتو را برای سلول‌ها در نظر بگیریم، زمان باقیمانده برای مسیر پرتو i ام به صورت رابطه (۲-۲) می‌باشد:

$$r_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} V_j \quad (2-2)$$

^۱ Snell law

^۲ Graph theory

^۳ Fermet's principle

که m تعداد کل سلول‌های مدل می‌باشد. نکته مهم این است که بیشتر مقادیر b_{ij} صفر هستند. برای اندازه گیری n زمان سیر، ماتریس زیر (رابطه ۲-۳) به وجود می‌آید.

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & \dots \\ 0 & 0.6 & 0 & 1.3 & 0 & \dots \\ 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ v_m \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

اعداد مثال‌هایی از زمان سیر پرتوهای داخل سلول‌هاست. این ماتریس توسط رابطه (۲-۴) بیان می‌شود.

$$d = Gm \quad (4-2)$$

که d به عنوان بردار داده (data)، m بردار مدل (model) و G عملگر خطی است که داده‌ها را از روی مدل، پیش بینی می‌کند. اعداد ماتریس G زمان سیرهایی برای هر پرتو داخل هر بلوک است. در این نمونه تعداد زمان سیرهای مشاهده‌ای، بیشتر از تعداد سلول‌های مدل است ($n > m$) و در اصل مسأله به منظور راه‌حلی که از تکنیک‌های استاندارد استفاده می‌کنند، مناسب است. رابطه روش حداقل مربعات (LSQR) مشابه رابطه (۲-۵) است.

$$m = (G^T G)^{-1} G^T d \quad (5-2)$$

یک مثال از منظم سازی، روش حداقل مربعات میرا شده است که در رابطه فوق توسط رابطه (۲-۶) جایگزین می‌شود:

$$\begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ \lambda I \end{bmatrix} m \quad (6-2)$$

که I بردار یکه و λ پارامتر وزن دهی است که توسط درجه میرایی^۱ کنترل می‌شود. روش LSQR به صورت رابطه (۲-۷) کمینه می‌گردد:

^۱ Damping

$$\|Gm - d\|^2 + \lambda^2 \|m\|^2 \quad (7-2)$$

که مؤلفه اول، با داده‌ها نامتجانس است و ترم دوم، واریانس مدل است. با اضافه کردن پارامتر λ می‌توان تبادل بین واریانس مدل و غیر متجانس‌ها را کنترل نمود. این محدودیت‌ها، پایداری را به اختلاف اینورژن در سلول‌هایی که توسط پرتوهایی که به سطح می‌رسند، نمونه برداری نشده‌اند، اضافه می‌کند. آنومالی‌ها، کیفیت را در بین سلول‌هایی که با مسیر پرتو معین نمونه برداری شده‌اند، تقسیم می‌کند. به هر حال مسائل حداقل مربعات میرا شده، الزاماً به مدل نرم شده منجر نمی‌شود. بنابراین این اندازه مدل است که کمینه می‌شود. اختلاف سرعت مدل در سلول‌های مجاور می‌تواند کاملاً متفاوت باشد.

یک اندازه معمول از زبری مدل برای مدل شبکه‌ای، پارامتر لاپلاسیین (∇^2) است که قابلیت تخمین آن به وسیله یک عملگر متفاوت در هر دو هندسه دو و سه بعدی وجود دارد. به منظور کمینه سازی لاپلاسیین، L را در رابطه (۶-۲) جایگزین I می‌کنیم، پس رابطه (۸-۲) به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ \lambda L \end{bmatrix} m \quad (8-2)$$

که پارامتر L یک تخمینگر متفاوت محدود برای کاربرد لاپلاسیین در همه مدل‌های شبکه‌ای است. به عنوان مثال در یک مدل دو بعدی (شکل ۴-۲)، لاپلاسیین به صورت زیر (رابطه ۹-۲) عمل می‌کند.

	m_{up}	
m_{left}	m_j	m_{right}
	m_{down}	

شکل ۴-۲- مسأله دو بعدی سلول بندی شده (شیرر، ۲۰۰۹)

$$\nabla^2_j = \left(\frac{1}{4}\right) (m_{left} + m_{right} + m_{up} + m_{down}) - m_j \quad (9-2)$$

که $\nabla^2 z$ لاپلاسیان z امین نقطه مدل است. در این مورد، حداقل مربعات معکوس، به صورت زیر (رابطه ۲-۱۰) کمینه می‌گردد:

$$\|Gm - d\|^2 + \lambda^2 \|Lm\|^2 \quad (۲-۱۰)$$

سلول‌هایی که توسط مسیر پرتو نمونه برداری نشده‌اند، توسط سلول‌های نزدیک آن درونیابی می‌شوند یا هنگامی که در نزدیکی گوشه‌های مدل هستند، برونیابی می‌شوند.

هر دو مسأله حداقل مربعات میرا شده و معکوس زبری میرا شده، مزیت و معایبی دارند. بهترین روش منظم سازی برای استفاده، نوسان بین هر دو مسأله است.

۲-۶- حل مسأله توموگرافی

در مسائل کوچک (تعداد سلول‌های مدل بیش از ۵۰۰)، روش‌های جبر خطی معمولی نظیر کاهش گاوس^۱ یا تجزیه مقادیر تکین^۲ به منظور به دست آوردن حل دقیق معادلات فوق (روابط ۲-۷ و ۲-۸) می‌تواند به کار رود.

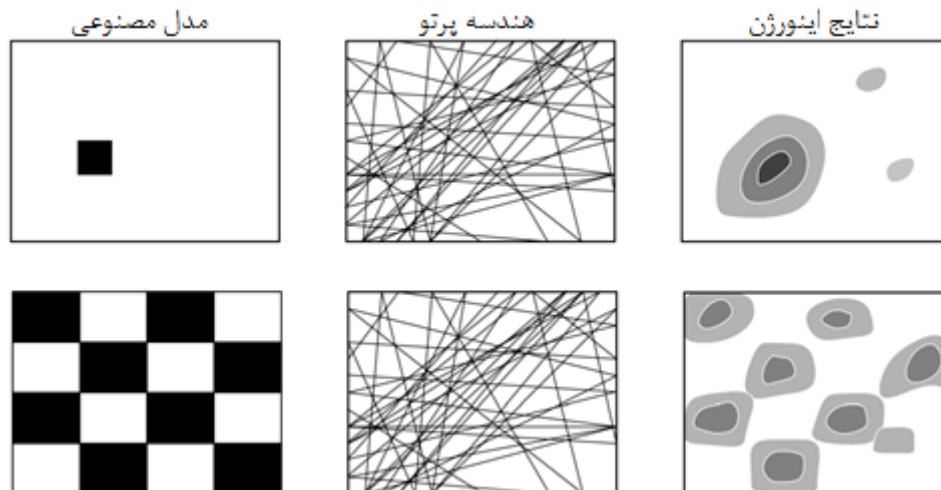
فرض کنید یک مدل سه بعدی شامل ۱۰۰ سلول جانبی و ۲۰ سلول در راستای عمق داریم که مجموعاً دویست هزار سلول را شامل می‌شود. واضح است که یک ماتریس (۲۰۰۰۰۰*۲۰۰۰۰۰) را نمی‌توان با کامپیوتر حل کرد. در حقیقت بایستی از یک روش تکراری برای حل چنین مسأله طراحی شده‌ای استفاده نمود. خوشبختانه چنین طراحی برای حل مسأله توموگرافی آزمایش شده و همگراسس زیادی به حل صحیح مسائل دارد.

^۱ Gauss reduction

^۲ Singular value decomposition

ترجیحاً G را به عنوان یک عملگر خطی که به منظور تخمین در مدل عمل می‌کند، در نظر می‌گیریم. در حالی که تکنیک‌های بر پایه تکرار، تنها از یک ردیف G در یک زمان استفاده می‌کنند که اغلب اوقات به آن‌ها، روش‌های عملگر ردیفی می‌گویند.

عیب اینگونه مسائل، این است که احتمال ندارد کیفیت مدل و ماتریس کواریانس آن محاسبه شود. به عنوان جایگزین این مقادیر، رایج است که آن را به روش معمول برای انجام آزمایش بر روی داده‌های مصنوعی تبدیل کنند. داده‌های مصنوعی با فرض یک مدل معین از اختلاف سرعت و محاسبه آنومالی-های زمان سیر با استفاده از مسیر موج به عنوان داده واقعی، ساخته می‌شوند. سپس داده‌های مصنوعی، معکوس می‌شوند تا مشخص شود که به چه میزان مدل آزمایشی پوشش داده می‌شود؟ یک مثال از این پروسه، آنالیز پاسخ ضربه^۱ است. که در آن یک آنومالی محلی در یک منطقه دلخواه قرار گرفته است. روش دیگر معمول، آنالیز صفحه شطرنجی است که در یک مدل دارای تغییرات منظم از تناوب سرعت زیاد و کم آزمایش گردیده است.



شکل ۲-۵- کیفیت مدل‌های توموگرافیک اغلب توسط آزمون پاسخ ضربه (بالا) یا آزمون صفحه شطرنجی (پایین) اعتبار سنجی می‌شود. در هر یک، یک دسته زمان سیر مصنوعی برای یک مدل سرعت ساده توسط برخی مسیرهای پرتو ارائه شده در داده‌های واقعی ساخته می‌شود. شپش داده‌های مصنوعی زمان، وارونه شده تا میزان پوشش مناسب مدل اندازه‌گیری شود (شیرر، ۲۰۰۹).

^۱ Impulse response test

اینگونه نیست که همیشه این آنالیزها دلالت بر کیفیت مناسب و یکتایی معکوس سرعت باشند. این دو روش می‌توانند عامل گمراه کننده باشند. به دلیل اینکه عموماً فرض می‌کنند دامنه آنومال‌ها، یکسان و کامل است. بدین مفهوم که داده‌ها بدون امواج مزاحم (نویز) هستند. در مسائل واقعی توموگرافی، داده‌های مورد استفاده دارای امواج مزاحم و مدل سرعت نیز دارای آنومالی‌های سرعت با دامنه‌های متفاوت هستند. در اصل، برخی از این مسائل، می‌توانند توسط تکنیک‌هایی که به صورت تصادفی داده‌ها را انتخاب می‌کنند، معرفی گردند (مانند روش Jackknife و روش Bootstrap). به هر حال این مسأله نیازمند تکرار پروسه اینورژن می‌باشد (بیش از ۱۰۰ مرتبه تکرار).

۲-۷- تبدیل زمان به عمق^۱

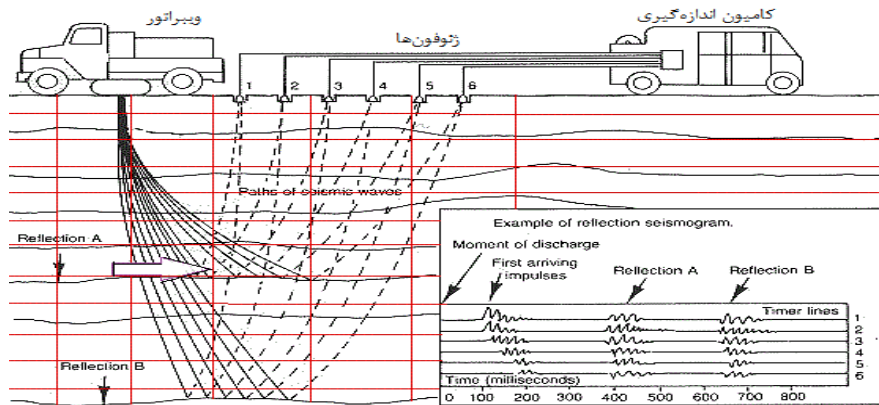
کارایی مدل سرعت تهیه شده از داده‌های لرزه‌ای، در حوضه عمق نسبت به حوضه زمان افزایش چشمگیری دارد. ساختارهای زمین شناسی بر روی مقاطع لرزه‌ای دستچین می‌شوند. به عبارتی، برای ساخت مدل مخزن یا محاسبات حجمی، تبدیل زمان به عمق، ضروری است و در ادامه می‌بایست توسط نشانگرهای چاه، کالیبره گردند. این تبدیل با استفاده از مدل سرعت انجام می‌گیرد. داده‌های ورودی در تبدیل زمان به عمق به دو دسته تقسیم می‌شوند (اف. روزولت، ۱۹۹۶):

- داده‌های نرم که توسط عملیات لرزه نگاری به دست می‌آیند (داده‌های چگال غیر دقیق) مانند افق‌ها، سرعت‌ها، زمان ثبت شده در چاه و غیره.

- داده‌های سخت که مربوط به چاه هستند (داده‌های کم حجم و دقیق).

در فصول بعدی، از داده‌های لرزه‌ای، که از نوع داده‌های نرم شناخته می‌شود، به منظور تهیه مدل سرعت عمقی استفاده خواهد شد.

^۱ Time to Depth Conversion

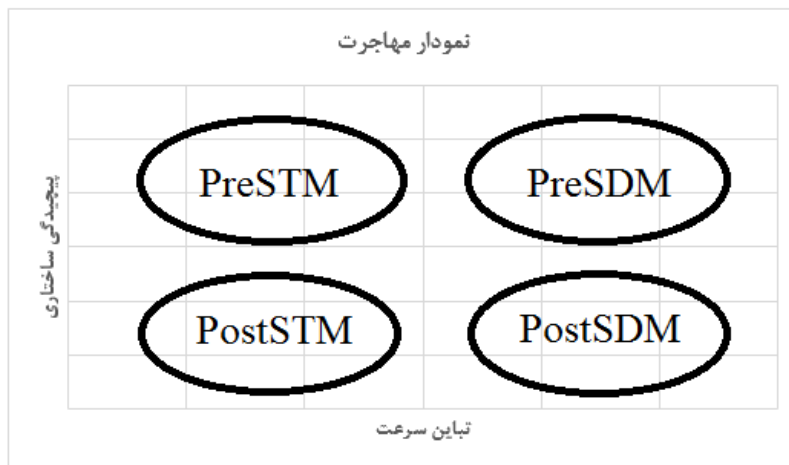


شکل ۲-۶- مدل سلول بندی شده زمین جهت اجرای توموگرافی شبکه‌ای (شیرر، ۱۹۸۷)

۲-۸- پردازش

به منظور اجرای پردازش‌های مورد نظر این پایان نامه، حجم بسیار بالایی از محاسبات مورد نیاز است بنابراین می‌بایست به نرم افزار و سخت افزار با قابلیت انعطاف بالا دسترسی داشت. نرم افزار مورد نظر برای این کار، نرم افزار پرومکس انتخاب گردید که دارای قابلیت خوبی در ارائه پردازش‌های مورد نیاز می‌باشد. همچنین در این پایان نامه از روش کوچ عمقی پس از برانبارش استفاده گردیده که کلیه اهداف مورد نظر کار را ارضا می‌نماید. همانگونه که در شکل (۲-۷) نیز پیداست، تنها تفاوت استفاده از این دو روش در میزان تغییرات ساختار می‌باشد. گرچه در هر پروژه عمقی پردازش‌های زمانی نیز صورت می‌گیرند.

از نظر تئوری هر دوی این روش‌ها مشابه می‌باشند و می‌توان نوشتارهای فوق را برای هر دو روش به کار برد. این دو روش در موارد بسیار جزئی دارای اختلاف می‌باشند. عمده تفاوت این دو روش در اجرایی کردن آن‌هاست. روش کوچ عمقی پس از برانبارش بصورت دورافت صفر می‌باشد. بدین مفهوم که عمل کوچ، تنها در دورافت صفر صورت می‌گیرد ولی روش کوچ عمقی پیش از برانبارش در دورافت-های مختلف اجرایی می‌گردد. بدین مفهوم که از دورافت صفر تا دورافت پایانی برداشت، عمل کوچ در هر دور افت صورت می‌گیرد. به عنوان مثال برای مقطعی با دور افت ۳۸۰۰ متر، می‌توان این عمل را به ازای هر ۱۰۰ متر انجام داد. بنابراین می‌بایست تعداد ۳۸ کوچ در هر تکرار صورت پذیرد.



شکل ۲-۷- محدوده اجرای کوچ زمانی و عمقی پیش از برانبارش و پس از برانبارش (شیرر، ۱۹۸۷)

فصل سوم

تهیه مدل سرعت به روش توموگرافی شبکه‌ای

به منظور تهیه مدل سرعت به روش توموگرافی می‌بایست پارامترهای لازم به منظور اجرای کار، اعم از داده‌ها و لوازم نرم افزاری و سخت افزاری و همچنین اصول روش‌ها در نظر گرفته شود. توموگرافی همانطور که در فصول قبل ذکر شد یکی از روش‌های تهیه مدل سرعت می‌باشد که امروزه به دلیل قابلیت انعطاف بالا و دقت آن مورد استفاده قرار گرفته است. در این فصل به بررسی روش‌های مورد استفاده این روش با ذکر کارهای صورت گرفته شده می‌پردازیم.

۳-۲- توموگرافی لایه‌ای

همانگونه که در فصول قبل آورده شد، توموگرافی لایه‌ای یکی از زیر شاخه‌های علم توموگرافی است که عمدتاً در داده‌های با تباین سرعت قائم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع توموگرافی به عنوان قدیمی‌ترین شاخه این علم مورد استفاده قرار می‌گیرد و فرض بر آن بوده که تمامی لایه‌های زمین به صورت صفحات موازی هم قرار گرفته اند و تباین سرعت بین آن‌ها نیز در حدی قابل قبول است. بنابراین این امر در مدل کردن این گونه لایه‌ها به راحتی به کار می‌رفته است (روبین، ۲۰۰۳). اما آنچه مورد توجه بوده این است که چنین فرضی به منظور ساخت مدل سرعت مناسب، دارای عیب بزرگی است که در بسیاری موارد مشکلات عدیده‌ای ایجاد می‌نماید. فرض کنید بین این لایه‌های موازی، یک لایه متقاطع با سرعت بالا وجود داشته باشد. چنین لایه‌ای با تفاوت سرعتی که ایجاد می‌کند، مسلماً توانایی ساخت یک مدل سرعت بهینه به این روش را ندارد. بنابراین منجر به شکستی بزرگ در پروژه تعریف شده می‌شود. البته با توجه به این مشکلات ذکر شده، باز هم نسبت به دیگر روش‌های تهیه مدل سرعت دارای انعطاف و دقت بالاتر می‌باشد.

۳-۲-۱- تحقیقات صورت گرفته در روش توموگرافی لایه‌ای

افراد زیادی در راستای تهیه مدل سرعت از این روش استفاده نموده و نتایج مناسبی نیز کسب کرده‌اند. علایی (۲۰۰۶) در پروژه‌ای که در مناطق پیچیده ساختاری به اجرا درآمده است سعی در تهیه مدل سرعت لرزه‌ای نموده و نتیجه مناسبی نیز از این روش به دست آمده است. البته لازم به ذکر است که داده ورودی این پروژه مربوط به خروجی روش توموگرافی شبکه‌ای است که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

جونز و همکاران (۲۰۰۳) نیز در پروژه مشابهی به بررسی مدل سرعت تهیه شده توسط روش توموگرافی لایه‌ای در ساختارهای دارای تباين سرعت قائم پرداخته و موفق به تهیه تصاویر لرزه‌ای بهبود یافته از این طریق گردیدند.

آکاینو و همکاران (۲۰۰۵) در اقدامی به بررسی و تهیه مدل سرعت به روش توموگرافی لایه‌ای بر اساس داده‌های لرزه نگاری انکساری پرداختند. آن‌ها در این تحقیق موفق به تهیه مدل سرعت لایه‌ای در ساختار پیچیده گردیدند. نتایج کار با توجه به اجرای توموگرافی شبکه‌ای بر روی این نتایج بسیار قابل قبول‌تر گردید.

در تمام موارد فوق مشکلی که قبلاً ذکر گردید مشاهده می‌شود و آن هم به دلیل وجود ساختارهای پیچیده زمین شناسی با تباين سرعت افقی و قائم می‌باشد که موجب بروز مشکل در راستای بکارگیری این روش شده است. به همین دلیل به سراغ شیوه و روش جدیدتری رفته تا این مشکل نیز رفع شود.

۳-۲-۲- مزایا و معایب روش توموگرافی لایه‌ای

همانگونه که مطرح شد، مهم‌ترین مزیت این روش را می‌توان تهیه مدل سرعت بهینه با به کارگیری در لایه‌های با تباين سرعت بالا و لایه‌های پیچیده زمین شناسی ذکر نمود. اما مهم‌ترین و اصلی‌ترین مشکل این روش، افزایش و کاهش نادرست ضخامت لایه‌ها پس از کوچ با مدل سرعت به دست آمده از این روش است. بدین صورت که چنانچه در یک لایه، سرعت بالا باشد و لایه زیرین آن دارای ضخامت

کم باشد، چون موج لرزه‌ای با سرعت از لایه پر سرعت میگذرد، پس آن لایه را نازک‌تر و لایه زیرین آن را با ضخامت بیشتر نشان می‌دهد (ایلماز، ۱۹۸۷). این مورد در حالت عکس این مطلب نیز صادق است. بنابراین مدل تهیه شده نمی‌تواند معرف لایه‌های زمین‌شناسی منطقه باشد.

۳-۳- توموگرافی شبکه‌ای

اساس کار تمامی روش‌های توموگرافی تقریباً یکسان و همانند است. تفاوت عمده این روش‌ها در بکارگیری آن‌ها در مناطق با تباین سرعت و پیچیدگی ساختاری بالا است. توموگرافی شبکه‌ای به لحاظ کاربرد و گستردگی اجرا، بسیار مهم‌تر از توموگرافی لایه‌ای است. این روش عموماً در مناطق با تباین سرعت قائم و افقی صورت می‌گیرد.

روش توموگرافی شبکه‌ای در مقایسه با روش لایه‌ای دارای قدرت و انعطاف بالاتری در به تصویر درآوردن لایه‌های زمین‌شناسی و رخداد‌های آن است. زیرا در این روش می‌توان به نوعی عیوب روش لایه‌ای را بر طرف نمود. به همین دلیل اکثر پروژه‌های صورت گرفته در ابتدا به گونه‌ای طراحی می‌گردید که بتوان خروجی روش توموگرافی لایه‌ای را به عنوان ورودی توموگرافی شبکه‌ای در نظر گرفت. این عمل باعث می‌شود که در ابتدا لایه‌ها به لحاظ تباین سرعت قائم مرتب شده و سپس در راستای افق نیز مدل سرعت بهبود یابد.

روش توموگرافی شبکه‌ای، مدل سرعت را به صورت یکسری سلول‌های (تقریباً) هم سرعت در می‌آورد. سپس عمل ردیابی پرتو^۱ صورت گرفته و به روز رسانی در هر یک از این سلول‌ها به صورت مجزا صورت می‌گیرد. در حین این به روز رسانی، سایر سلول‌ها قادر به به روز رسانی نیستند. بنابراین به راحتی می‌توانند خود را با سایر سلول‌ها تطبیق دهند. به عبارت دیگر سلول‌های اطراف سلول در حال به روز رسانی، غیر فعال شده و تنها سلول مورد نظر مورد به روز رسانی قرار می‌گیرد (ایلماز، ۱۹۸۷).

^۱ Ray Tracing

آنچه در این روش مهم است، به کارگیری سرعت، تعداد و هندسه مناسب گره‌ها یا سلول‌های سرعتی است. تعیین این سلول‌ها بستگی زیادی به میزان تغییرات سرعت در راستای افق و قائم دارد. بنابراین می‌توان دید که مجموع این سلول‌ها در کنار یکدیگر، قادر به ارائه تصاویر سرعت زیر سطحی می‌گردند.

۳-۳-۱- تحقیقات صورت گرفته در روش توموگرافی شبکه‌ای

در عمل مشاهده می‌شود که زمین به لحاظ ساختاری، پیچیده می‌باشد و کم‌تر پیش می‌آید که زمین دارای ساختار ساده باشد. بنابراین از این روش در مقایسه با روش توموگرافی لایه‌ای استفاده بیش‌تری صورت می‌پذیرد و در عمل کارایی بسیار زیادتری دارد.

علایی (۲۰۰۶) به دنبال یافتن مدل سرعت مناسب در رسوبات با ساختار پیچیده، از این روش استفاده نمود. وی در ابتدا با استفاده از مدل سرعت اولیه تهیه شده به منظور تهیه مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش، روش توموگرافی شبکه‌ای را اجرا نمود. برای گرفتن نتایج مناسب با توجه به اینکه این پروژه در حوضه عمق صورت گرفته بود، تکرارهای زیادی صورت گرفت. در ادامه نیز برای بهتر شدن نتیجه کار و تکمیل مدل سرعت از روش توموگرافی لایه‌ای استفاده نموده که هر دو این روش‌ها در حوضه عمقی و برای تهیه مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش صورت گرفته است. نتایج این کار به خوبی نشان دهنده میزان بهبود کیفیت مقطع می‌باشد.

هروبکووا و همکاران (۲۰۱۳) موفق به ارائه یک مدل سرعت بهینه عمقی با استفاده از روش توموگرافی شبکه‌ای برگشتی در ساختارهای نیمه پیچیده گردیدند. لازم به ذکر است که این تحقیق بر اساس مشاهدات سه تحقیق دیگر که قبل از آن صورت گرفته، انجام شده است.

شاید بتوان معروف‌ترین پروژه صورت گرفته در این بخش را به جونز و همکاران (۲۰۰۳) نسبت داد. وی روش توموگرافی شبکه‌ای را با دقت بسیار زیادی در ساختارهای بسیار پیچیده زمین شناسی به کار

برد. عمده هدف وی و همکارانش از چنین عملی، ترکیب دو روش لایه‌ای و شبکه‌ای به جهت تهیه مدل سرعت بهینه در ساختارهای با تباین سرعت بالا در راستای مختلف بود و در نهایت نیز موفق به کسب نتیجه لازم گردید.

۳-۳-۲- تفاوت روش‌های توموگرافی لایه‌ای و توموگرافی شبکه‌ای

در (شکل ۳-۱)، تفاوت توموگرافی شبکه‌ای با توموگرافی لایه‌ای آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، مسیر موج در مدل سرعت، درون یکسری از سلول‌های منظم و پیوسته حرکت می‌کند و به سطح زمین می‌رسد. مقادیر سرعت سلول‌ها در توموگرافی پیوسته با تکرارهای فراوان، به روز رسانی می‌شود. از این روش عموماً در مهاجرت پیش از برانبارش عمقی استفاده می‌گردد. این روش اولین بار توسط استورک (۱۹۹۲) به کار گرفته شد. البته وی این روش را در کوچ پس از برانبارش عمقی مورد استفاده قرار داد.

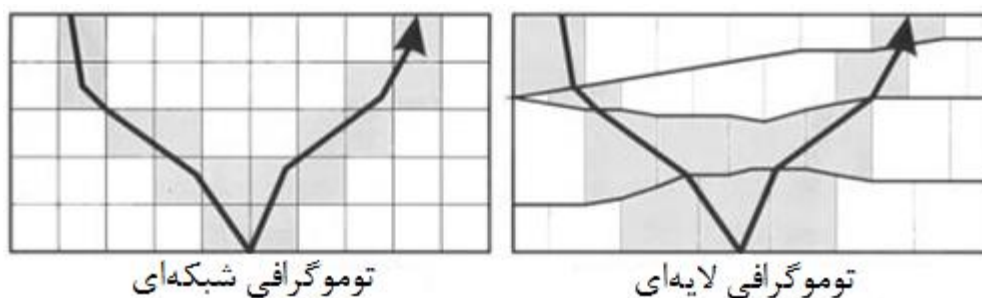
در مقابل، روش توموگرافی لایه‌ای توسط یکسری لایه‌های افقی تعریف می‌شود که هر کدام دارای سرعت‌های یکسان در امتداد افقی می‌باشند. از این روش بیش‌تر به عنوان پایه و ورودی روش توموگرافی شبکه‌ای استفاده می‌گردد.

۳-۳-۳- مزایا و معایب روش توموگرافی شبکه‌ای

مهمترین خصلت در بکارگیری روش توموگرافی شبکه‌ای، تقسیم بندی مدل سرعت به سلول‌های کوچک‌تر با سرعت‌های متفاوت است. در هر یک از گره‌های این سلول‌ها، سرعت تخمین زده شده و یک میانگین سرعت برای آن تعریف می‌شود. بنابراین سرعت بدست آمده یک سرعت میانگین و قابل اعتمادتر نسبت به سایر روش‌های تهیه مدل سرعت می‌باشد.

اما بزرگ‌ترین مشکل این روش، مربوط به روز رسانی آن یا به روز رسانی^۱ یکپارچه می‌باشد. این مسأله بدین گونه مطرح می‌شود که در روش توموگرافی شبکه‌ای به منظور اجرای به روز رسانی مجبور به انتخاب تعداد بسیار زیادی از نقاط (گره‌ها) هستیم که باید دستچین شوند، به گونه‌ای که تشکیل سلول‌های هم سرعت را بدهند. این مسأله باعث افزایش میزان حجم کار شده و احتیاج به سخت افزارهای قدرتمند را دو چندان می‌کند.

مشکل دیگر در این روش، میزان تفاوت سرعت سلول‌ها با سلول‌های اطراف است. بدیهی است که در ساختارهای پیچیده، تباین سرعت در راستای افق و قائم وجود دارد و بنابراین میزان اختلاف سرعت سلول‌های مجاور نیز، ممکن است زیاد شود. بنابراین به منظور حل این مشکل می‌توان سلول‌های با اختلاف زیاد سرعت در اطراف آن را، به صورت کلی مسدود نمود تا به روز رسانی بر روی این سلول‌ها، تأثیری نداشته باشد.



شکل ۳-۱- مقایسه بین توموگرافی شبکه‌ای و توموگرافی لایه‌ای، توموگرافی شبکه‌ای از یکسری سلول‌های منظم جهت تعیین مقادیر سرعت استفاده می‌کند. در صورتی که توموگرافی لایه‌ای بر روی یکسری چند ضلعی، مقادیر سرعت را تعیین می‌کند که هر یک از این لایه‌ها از تعدادی سلول پیوسته برای تعیین تابع سرعت استفاده می‌کند (شیر، ۱۹۸۷).

۳-۴- توموگرافی ترکیبی (هیبریدی)

^۱ Global Updating

همانطور که در بخش‌ها و فصول قبل به آن اشاره شد، علم توموگرافی علم بدست آوردن سرعت بهینه در ساختارها و رخدادهای زمین‌شناسی است، بنابراین جایگاه ویژه‌ای در پروژه‌های تحقیقاتی و صنعتی ایفا می‌کند. همانگونه که از نام این روش پیداست، می‌توان گفت که توموگرافی هیبریدی، ترکیبی از دو روش لایه‌ای و شبکه‌ای است. بگونه‌ای که از ترکیب این دو روش می‌توان یک سرعت بهینه به ساختارهای موجود در منطقه نسبت داد. البته باید توجه داشت که بنا به تغییرات سرعت در هر نقطه از منطقه مورد مطالعه، سرعت نسبت داده شده، دارای مقدار معین و متفاوتی از سایر نقاط می‌باشد. پس انتظار افزایش میزان حجم عملیات محاسباتی معقول می‌باشد.

۳-۴-۱- انواع راه‌های اجرای توموگرافی هیبریدی

این روش معمولاً به دو صورت قابل اجراست. روش اول به صورت دستی^۱ و روش دوم به صورت خودکار^۲ می‌باشد که توضیحات آن در زیر آمده است.

۳-۴-۱-۱- روش دستی

در این روش، توموگرافی توسط خود پردازشگر به اجرا در می‌آید. بدین صورت که ابتدا پس از تهیه مدل سرعت اولیه، با توجه به ساختارهای منطقه و شرایط زمین‌شناسی آن، تغییراتی در سرعت مدل ارائه شده انجام می‌گیرد. این اعمال تغییرات شامل افزایش و یا کاهش میزان سرعت در رخدادهای موجود در منطقه می‌باشد. به عنوان مثال در صورت وجود یک گنبد نمکی در منطقه می‌بایست افزایش سرعت در محدوده‌های مربوطه صورت گیرد.

در این حال با در نظر گرفتن مختصات گنبد نمکی از روی مقاطع برانبارش بدست آمده نظیر مقطع کوچ عمقی پیش از برانبارش، و انتقال این مختصات بر روی مدل سرعت اولیه، سرعت در این نقاط تا

^۱ Manual

^۲ Automatic

حد زیادی افزایش می‌یابد. این افزایش سرعت در بین مختصات ارائه شده باید شکل تقریباً کاملی از رخدادهای مورد نظر (در اینجا گنبد نمکی است) را بدست دهد.

پس از این مرحله، تغییرات ایجاد شده در مدل سرعت، بر روی مدل اعمال می‌گردد و سپس مقطع برانبارش مورد نظر (در اینجا پس از برانبارش) توسط این مدل اجرا می‌شود. چنانچه میزان بهبود این مقطع مناسب بود، کار توموگرافی در این مرحله به پایان می‌رسد. اما نکته مهم در این مورد این است که با توجه به اینکه توموگرافی در حوضه عمقی مورد اجراست، پس در مراحل اولیه نمی‌توان انتظار داشت که جواب مناسب بدست آید. حال چنانچه مدل به اندازه کافی بهبود نیافته باشد، دوباره با استفاده از مدل سرعت به روز شده در مرحله قبل، توموگرافی اجرا می‌گردد.

در این مرحله، دیگر نیازی به تغییر مختصات نیست، بلکه تنها با کم یا زیاد کردن میزان سرعت‌های اعمالی در مرحله قبل (عمدتاً با کاهش سرعت) می‌توان به نتیجه مطلوب‌تر دست یافت. دوباره مقطع برانبارش توسط مدل به روز شده، اجرا می‌گردد و نتیجه را با مقاطع قبلی مورد مقایسه قرار می‌دهند. در کل، می‌بایست این تکرارها آنقدر ادامه داشته باشد که مدل سرعت به روز شده، معرف مقطع مناسب گردد.

در این پایان نامه با توجه به در اختیار نبودن سخت افزارهای مناسب و قوی، از این روش استفاده گردیده است که تقریباً بالای ۴۰ بار تکرار را به منظور به روز رسانی و بدست آوردن مدل سرعت بهینه شامل می‌شود.

۳-۴-۱-۲- روش خودکار

اصول کار این روش نیز دقیقاً مشابه روش دستی است با این تفاوت که در این روش، شخص پردازشگر اعمال نفوذ کم‌تری را در میزان تغییرات به وجود آمده در آن دارد. نرم افزار به گونه‌ای طراحی شده که به صورت خودکار تغییرات سرعت را در مدل سرعت اولیه منطقه به وجود آورده و سپس با اعمال این به روز رسانی در آن، مقطع برانبارش مورد نظر را تهیه می‌کند.

سپس در مرحله بعد با بررسی شرط‌های توقف، میزان تطابق مدل سرعت تهیه شده با میزان سرعت به دست آمده از طریق داده‌های دیگر نظیر داده‌های چاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانچه حداقل تطابق مورد نظر تحقق یافته باشد، در این مرحله کار به اتمام می‌رسد. اما بدیهی است که در مراحل نخست کار، مدل بهینه بدست نمی‌آید پس نیاز به تکرارهای بیش‌تری می‌باشد تا مقطع برانبارش بهینه حاصل گردد.

۳-۴-۲- تحقیقات صورت گرفته در روش توموگرافی ترکیبی (هیبریدی)

این روش عموماً در ساختارهای با پیچیدگی زمین شناسی بسیار بالا نظیر مناطق کوهستانی و مناطق گسل خورده و فعال به کار می‌رود. بیش‌ترین کاربرد این روش در دریای شمال بوده است. علایی (۲۰۰۶) با اجرای توموگرافی شبکه‌ای و سپس اعمال توموگرافی لایه‌ای بر روی آن، نواقص ناشی از روش شبکه‌ای را با ترکیب این دو روش رفع نمود. نتایج حاصل از این روش به حدی مناسب گزارش شد که در پروژه‌های بعدی نیز از این روش و سایر ترکیبات آن استفاده گردید. مهم‌ترین و کاربردی‌ترین پروژه به اجرا درآمده در رابطه با این روش مربوط به جونز و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد. وی در ابتدا اقدام به بررسی نتایج حاصل از دو روش شبکه‌ای و لایه‌ای (۲۰۰۳) نمود. با مشاهده نواقصی که در این روش‌ها صورت گرفته بود، سعی در بهبود نتایج حاصله با استفاده از روش ترکیبی نمود. این روش در رسوبات شمال دریای شمال به اجرا در آمد. در پروژه دیگری نیز، همین روش در رسوبات کربونیفر مربوط به جنوب دریای شمال به اجرا گذاشته شد. همگی نتایج حاصله از این روش، بسیار مناسب و قابل اتکا بودند (جونز و همکاران، ۲۰۰۷).

کمپل و همکاران (۲۰۰۶) در پروژه دیگری نیز، اقدام به بررسی نتایج توموگرافی ترکیبی در دریای سیاه بر پایه روش PSDM نمودند. راولینسون و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله‌ای تحت عنوان "توموگرافی لرزه‌ای، پنجره‌ای رو به عمق زمین"، اقدام به ارائه برخی از خصوصیات و مزایا و محاسن علم توموگرافی توسط مثال‌های واقعی نموده است.

۳-۴-۳- مزایا و معایب توموگرافی ترکیبی

از جمله مزایای این روش می‌توان به شمولیت و در بر گرفتن ساختارهای زمین شناسی متفاوت اشاره داشت. این روش به طور کلی برای تمامی ساختارهای موجود درون زمین می‌تواند به کار گرفته شود. با ترکیب دو روش لایه‌ای و شبکه‌ای با یکدیگر، این روش قادر به رفع نواقص مهم هر دو روش گردیده است. به صورتی که نواقص ناشی از تباین سرعت قائم در روش لایه‌ای توسط روش شبکه‌ای بر طرف گردیده است. همچنین نواقص روش شبکه‌ای نیز توسط ترکیب آن با روش لایه‌ای قابل رفع شدن می‌باشد.

اما آنچه استفاده از این روش را بسیار سخت و طاقت فرسا نموده است، افزایش قابل ملاحظه حجم عملیات محاسباتی است. این امر بدلیل اینکه این روش معمولاً با روش PSDM تکمیل می‌گردد و خود این روش نیز حجم عملیاتی سنگینی دارد، احتیاج مبرمی به استفاده از سخت افزارهای صنعتی بسیار قوی دارد. دیگر نکته مهم در مورد این روش، احتیاج به همکاری همزمان پردازشگران و مفسران به منظور ارائه نتیجه دقیق و قابل استناد صنعتی می‌باشد زیرا اعمال هر تغییری در این راستا باید با نظرات دقیق و کارشناسانه همراه باشد.

روش PSDM یک روش سنگین عملیاتی است. بدین مفهوم که به ازای دور افت‌های مختلف، می‌بایست عملیات کوچ در هر بار تکرار صورت پذیرد. در حالی که روش PostSDM بر خلاف PSDM دارای حجم عملیاتی کم‌تری است و احتیاج به محاسبات و سخت افزار سبک‌تری دارد. این روش به صورت دور افت صفر^۱ عمل می‌کند و نیازی به تکرارهای زمانبر به منظور اعتبار سنجی کار نیست و عمل کوچ، تنها در دور افت صفر به اجرا در می‌آید. پس همراهی توموگرافی ترکیبی (ترکیب روش لایه‌ای با روش شبکه‌ای) با روش PostSDM در این پایان نامه یکی از محاسن کار در جهت کاهش میزان حجم عملیات محاسباتی به حساب می‌آید.

^۱ Zero Offset

۳-۴-۴- تفاوت توموگرافی ترکیبی با روش لایه‌ای و شبکه‌ای

بنابر مطالب گفته شده قبلی، عمده‌ترین تفاوت روش‌های ذکر شده در علم توموگرافی، مربوط به معایب آن‌هاست. بدین ترتیب که ویژگی‌های ساختاری هر کدام تفاوت هر روش را با دیگری مشخص می‌کند. از طرفی توموگرافی ترکیبی که بنا به تعریف، ترکیب دو روش توموگرافی لایه‌ای و شبکه‌ای است، به لحاظ اصول کار به گونه‌ای طراحی شده که هم دارای مزایای روش لایه‌ای و هم دارای مزایای روش شبکه‌ای است. در این روش معایب روش لایه‌ای که نداشتن انعطاف جهت به روز رسانی سرعت در جهت افق می‌باشد را حل کرده است. از طرف دیگر نیز، مشکلات ناشی از به روز رسانی سرعت در روش شبکه‌ای که عمدتاً مربوط به جهت قائم می‌باشد را مرتفع می‌نماید.

به لحاظ ساختاری نیز این روش در همه ساختارهای ممکن، نظیر ساختارهای ساده تا بسیار پیچیده زمین‌شناسی، توانایی مدل‌سازی سرعت را دارد. البته به دلیل صرف انرژی و زمان بسیار زیاد به جهت اجرای چنین پروژه‌هایی، بدیهی است که چنین روشی تنها در ساختارهای بسیار پیچیده زمین‌شناسی به کار می‌رود و در سایر ساختارها از روش‌های دیگر که احتیاج به صرف زمان کم‌تری دارند، استفاده می‌گردد.

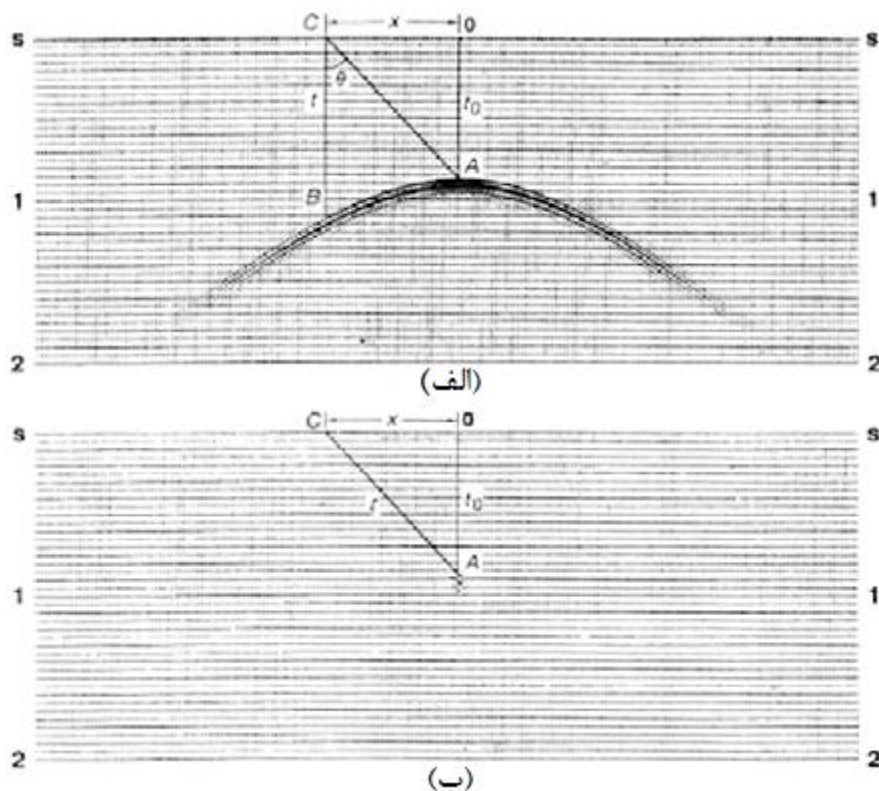
۳-۵- بررسی روش مهاجرت کیرشهف مورد استفاده در تحقیق

مهاجرت فرایندی است که اثرات ناشی از مسیر انتشار موج را بر روی داده‌های لرزه‌ای برطرف می‌کند، در نتیجه بازتابنده‌های شیب‌دار به مکان درست خود کوچانده و امواج پراش فرو نشانده می‌شوند. این روش بر اساس جمع پراش‌ها عمل می‌کند و فرض می‌کند سطح بازتابنده از مجموعه‌ای از نقاط تشکیل شده که هر کدام به صورت یک چشمه عمل می‌کنند. روش جمع پراش‌ها بر پایه جمع دامنه داده‌های موجود در طول منحنی پراش که این منحنی با مدل سرعت تعیین می‌شود، صورت می‌گیرد. این روش با توجه به اصل هویگنس به انجام می‌رسد. اصل هویگنس فرض می‌کند که یک بازتابنده از

مجموعه‌ای از نقاط پراش که در کنار هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. مهاجرت با فرونشاندن هر هذلولی پراش به نقطه آغازین آن حاصل می‌شود و معادله منحنی را می‌توان از شکل (۲-۳) محاسبه نمود. معادله منحنی (معادله ۱-۳) به قرار زیر است (ایلماز، ۱۹۸۷):

$$t^2(x) = t^2(0) + 4x^2/V_{rms}^2 \quad (1-3)$$

با محاسبه زمان ورودی $t(x)$ ، دامنه موقعیت B روی مقطع خروجی، در موقعیت A قرار داده می‌شود که متناظر با زمان خروجی $\tau = t(0)$ در محور هذلولی است. در این روش با هر نقطه به طور مستقل برخورد می‌شود. در کل می‌توان گفت روش جمع پراش‌های کیرشهف دارای عملکرد خوبی در برخورد با سطوح شیب‌دار است ولی در مواجهه با نسبت سیگنال به نوفه پایین، عملکرد ضعیفی دارد (ایلماز، ۱۹۸۷).



شکل ۲-۳- الف) مقطع با دور افت صفر و ب) دامنه نقاط (مانند نقطه B) در طول هذلولی پراش با هم جمع می‌شوند و به نقطه A نسبت داده می‌شوند (ایلماز، ۱۹۸۷).

۳-۶- مسائل توموگرافی لرزه‌ای

توموگرافی لرزه‌ای در محدوده وسیعی از مسائل مانند بررسی‌های بزرگ مقیاس پوسته‌ای تا مسائل مهندسی با ابعاد چند متر کاربرد دارد. از این روش در تکمیل داده‌های حفاری برای تفسیر مناطق نیمه پیچیده و پیچیده زمین شناسی و همچنین در تعیین پراکندگی حفره‌ها و شکستگی‌ها و تعیین دقیق سازندهای تحکیم نیافته (با سرعت کم، عمدتاً بمنظور شناسایی لایه‌های کم عمق کف دریا) و سازندهای تحکیم یافته (با سرعت زیاد) استفاده می‌شود. در بسیاری از روش‌های موجود، توموگرافی از تهیه یک مدل با ابعاد بزرگ شبکه و بسیار نرم شروع شده و در ادامه به تعداد زیادی سلول با پارامترهای متفاوت از یکدیگر می‌رسد. ناهمگنی کندی در داخل سلول‌ها را می‌توان به روش معکوس سازی زمان سیر تعیین کرد. ناهمگنی جانبی زمین توسط زمان رسید d_i (پرتو Δ) نشان داده می‌شود که از طریق رابطه (۲-۳) منتج می‌شود (ولار و همکاران، ۱۹۹۸).

$$d_i = d_i^M + d_i^R + d_i^O \quad (2-3)$$

d_i^M زمان رسید مربوط به قسمتی است که ناهمگنی جانبی در سلول‌ها را پوشش می‌دهد. d_i^R خطای زمان اصلی و موقعیت رخداد است که توسط استفاده از مدل سرعت به جای سرعت واقعی زمین به دست می‌آید و d_i^O زمان رسید مربوط به پرتوهایی است که از سلول‌های ناهمگن عبور نکرده‌اند (روبین، ۲۰۰۳).

در این مرحله، زمان رسید با در نظر گرفتن مدل سرعت و اصل فرما، توسط انتگرال گیری از مسیر پرتو L_i و عبارت تخمینی d_i^M در پارامترهای آنومالی‌های کندی هر سلول، S_i (سلول Δ) توسط رابطه (۳-۳) بدست می‌آید.

$$d_i^M = \sum_{l=1}^M L_{il} S_l \quad (3-3)$$

که در آن L_{il} طول مسیر پرتو در سلول l می‌باشد. اگرچه تعداد کل سلول‌ها (N) بسیار زیاد است، تنها L_{il} غیر صفر خواهد بود. می‌توان d_i^R را به صورت تغییرات زمان رسید که مربوط به یک تغییر

کوچک $\mathbf{g}(\Delta t_0, \Delta \mathbf{r}_s)$ در بردار مرجع $\mathbf{x}_s(t_0, \mathbf{r}_s)$ است، بیان نمود که t_0 زمان چشمه و \mathbf{r}_s بردار مکان چشمه است. در حالت کلی می‌بایست از سیستم مختصات کارترین استفاده نمود، پس $\mathbf{x}_s(t_0, \mathbf{x}_s, y_s, y_z)$. برای رخدادهای زام و پرتو m در اولین تقریب، طبق رابطه (۳-۴) خواهیم داشت:

$$d_i^R = \nabla T_{ij} \cdot g_j = \sum_{m=1}^4 G_{ij}^m g_j^m \quad (4-3)$$

که ∇x شامل مشتقاتی با مؤلفه‌های \mathbf{x}_s و جایی که G_{ij}^m مؤلفه m ام $\nabla x T_{ij}$ در موقعیت چشمه ارزیابی شده است، می‌باشد. توجه به این نکته که هر ترکیبی از m و j یک مجهول را نشان می‌دهد، بنابراین رخداد m چهار مجهول g_j^m ، خطای زمان چشمه و خطای موقعیت چشمه را به رابطه (۳-۲) اضافه می‌کند.

پارامتر دیگر این رابطه، یعنی d_i^0 برای پارامتری شدن، با مشکل مواجه است. زیرا پوششی برای سایر بقیه بخش‌های مدل توسط سلول‌های با پرتوهای زیاد وجود ندارد. با این حال برای تعیین مقدار کندی در اینگونه سلول‌ها، می‌توان حداقل کندی سلول‌های نزدیک را با کندی سلول‌های اطراف، جایگزین نمود. بنابراین خواهیم داشت:

$$d_i^0 = H_{ik} h_k \quad (5-3)$$

که H_{ik} بخشی از مسیر پرتو m ام در سلول k با آنومالی کندی h_k است. تخمین‌های موجود تصحیحات زمان تأخیر در هر سلول، می‌تواند برای تصحیح زمان تأخیر قبل از معکوس سازی استفاده شود (زیوونسکی و اندرسون، ۱۹۸۳). در این صورت، تصحیح تأخیر رابطه (۳-۵) را می‌توان از رابطه (۳-۲) حذف نمود. با ترکیب روابط (۳-۲) تا (۳-۵)، به یک معادله پایه می‌رسیم که برای m پرتو می‌توان نوشت:

$$d_i = \sum_{l=1}^N L_{il} s_l + \sum_{m=1}^4 G_{ij}^m g_j^m + H_{ik} h_k, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6-3)$$

که k و j به صورت یکتا توسط پرتو با اندیس i مشخص می‌شوند. در یک مدل سرعت معمول، تعداد پرتوها (M) به راحتی به 10^6 می‌رسد و این سیستم از معادلات برای $N_T = N + 4N_E + N_S$ حل می‌شود.

پارامترهای مدل، جایی که N_E ، تعداد رخدادها و N_S تعداد سلول‌ها برای هر تصحیح زمان تأخیر سلول باشد، محاسبه می‌شود (ولار و همکاران، ۱۹۹۸).

فصل چهارم

پردازش داده‌ها

در این فصل در ابتدا به بررسی داده‌های مورد استفاده در این پایان نامه پرداخته و سپس پردازش‌های صورت گرفته بر روی داده‌ها بصورت کلی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مرحله کلیات پردازش‌های اعمالی بر روی داده‌ها بصورت فلوجارت به نمایش درآمده تا در درک بهتر مسأله کمک نماید. در نهایت نیز نتایج پردازش صورت گرفته مشاهده می‌گردد.

۴-۲- بررسی داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده جهت اعمال پردازش در این پایان نامه، بصورت دو بعدی ($2D^1$) برداشت گردیده است. هدف از انجام این برداشت، تصویر سازی گنبد نمکی در ساختارهای نیمه پیچیده و پیچیده یکی از میادین نفتی در کشور قزاقستان می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این پایان نامه مربوط به خط ۰۹ (Line 09) این برداشت می‌باشد.

به منظور اجرای پردازش‌های مورد نیاز این پایان نامه، از نرم افزار پرومکس (ProMAX or SeisSpace) استفاده گردید.

۴-۳- اعمال پردازش بر روی داده‌های لرزه‌ای

هدف از انجام این پایان نامه به دست آوردن یک مدل سرعت لرزه‌ای متناسب و بهبود یافته، و سپس تهیه مقطع لرزه‌ای متناسب با این مدل سرعت در حوضه عمق می‌باشد. اجرای چنین عملی بدلیل استفاده در حوضه عمق، در نهایت نمایانگر افزایش بهبود مقطع لرزه‌ای و در نتیجه تفسیر بهتر آن توسط مفسران می‌گردد. البته این کار دارای حجم عملیاتی بسیار بالاتری در مقایسه با پردازش‌های صورت گرفته در حوضه زمان می‌باشد. یکی از اصلی‌ترین موضوعات مورد بررسی در چنین پردازش‌هایی، مسأله تبدیل صحیح زمان به عمق می‌باشد. این عمل نیازمند در دسترس بودن سرعت صحیح در

¹ 2 Dimensional

مکان‌های مختلف در مقطع لرزه‌ای می‌باشد. مقاطع زمانی بدلیل اینکه نسبت به سرعت ورودی، حساس نیستند پس با مشکل جدی در نداشتن سرعت دقیق لایه‌ها و یا شبکه‌های پردازشی مواجه نمی‌شوند. این در حالیست که همین پردازش‌ها در حوضه عمق بدون وجود سرعت دقیق لایه‌ها و شبکه‌های پردازشی امکان‌پذیر نمی‌باشد. روش توموگرافی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند توسط اجرای تناوبی خود بر روی مدل سرعت، سرعت متناسب با لایه‌ها و شبکه‌های مختلف در میداین برداشت شده را بصورت بهبود یافته ارائه دهد. به منظور اجرای این پردازش، فلوچارتی از مراحل اجرای کار در (شکل ۴-۱) به نمایش درآمده است.

۴-۳-۱- مراحل پردازش

مراحل اجرای پردازش بر روی داده‌های لرزه‌ای به صورت زیر می‌باشد.

۴-۳-۱-۱- اعمال موقعیت مکانی داده‌ها

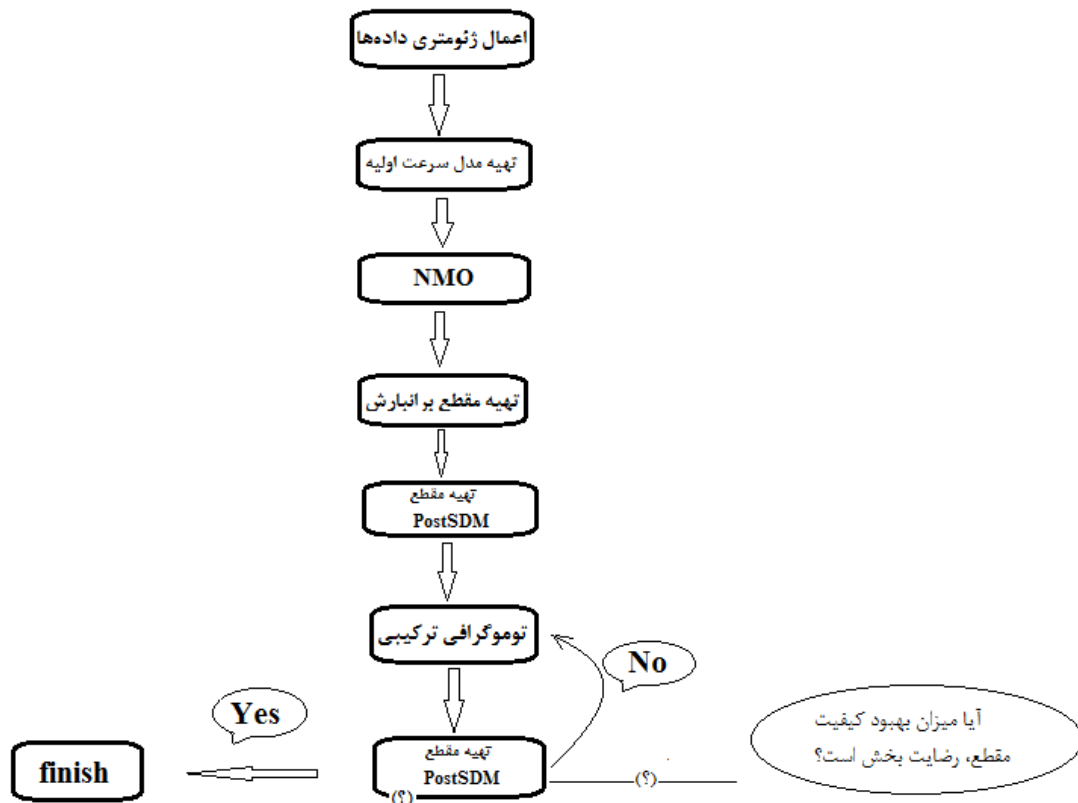
همانگونه که در فلوچارت شکل (۴-۱) مشخص می‌باشد، در ابتدا می‌بایست پس از بارگذاری داده‌ها در نرم افزار، موقعیت مکانی داده‌ها بر روی آن اعمال گردد^۱.

۴-۳-۱-۲- تهیه مدل سرعت اولیه

پس از اجرای صحیح ژئومتری داده‌ها، می‌بایست یک مدل سرعت اولیه جهت به دست آوردن مقطع برانبارش تهیه کرد. این مدل سرعت به صورت زوجی از داده‌ها بصورت (فاصله - زمان) معرفی می‌شود که در نرم افزار به صورت لایه‌هایی که دارای سرعت یکسان هستند، به نمایش در می‌آید. مدل سرعت اولیه به دست آمده در این پایان نامه در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است، مدل تهیه شده نمایانگر سرعت لایه‌ها و توده‌های درونی است که به صورت لایه‌های هم سرعت می‌باشد. در واقع ساده‌ترین مدل سرعتی است که برای این منطقه می‌توان در نظر گرفت.

^۱ Geometry

در نگاه اول عیب بزرگ این مدل سرعت که به وضوح مشخص است، این است که در شکل اثری از گنبد نمکی موجود در منطقه دیده نمی‌شود. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان نمود که پردازش‌های صورت گرفته در حوضه زمانی، به میزان سرعت بستگی ندارند و بنابراین نمی‌توان به خوبی گنبد نمکی موجود در منطقه را در آن مشخص نمود.

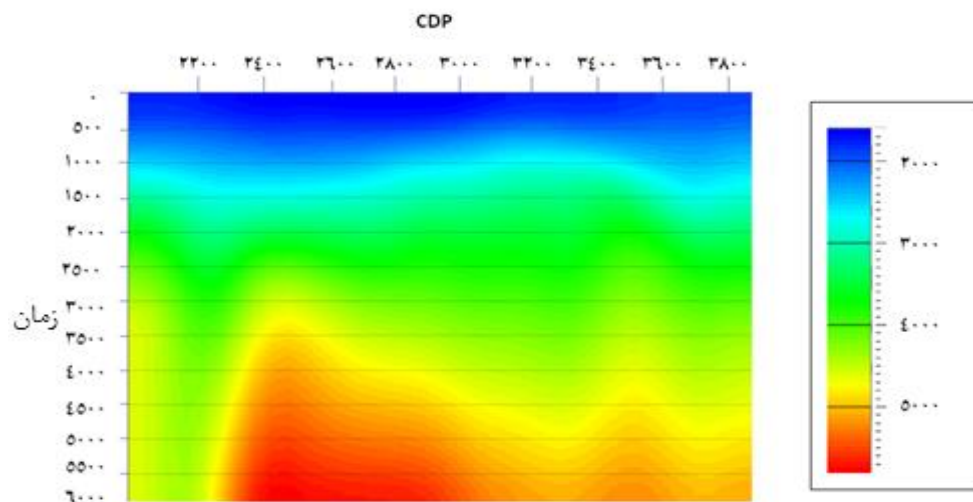


شکل ۴-۱- مراحل اجرای کار پردازش توموگرافی شبکه‌ای

۴-۳-۱-۳- اعمال تصحیح برونراند نرمال و تهیه مقطع برانبارش

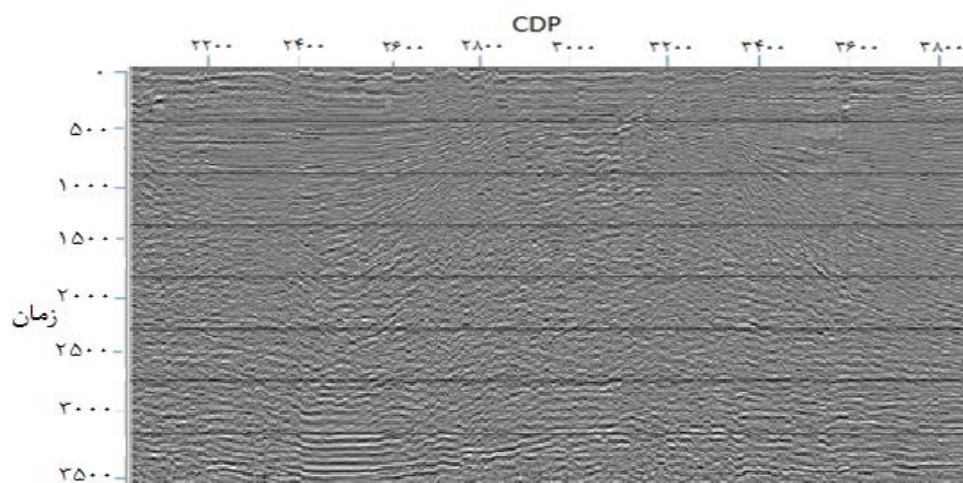
پس از به دست آمدن مدل سرعت اولیه، می‌بایست یک مقطع زمانی برانبارش شده تهیه گردد که این امر مستلزم اعمال یک سری تصحیحات بر روی داده‌های بارگذاری شده است. از جمله مهم‌ترین این تصحیحات می‌توان به تصحیح NMO اشاره نمود. این تصحیح همانگونه که در فصول قبل به آن اشاره شد، باعث هم‌سطح شدن لرزه نگاشت‌ها با یکدیگر می‌گردد که در نتیجه می‌توان آن‌ها را با یکدیگر

جمع و در نتیجه مقطع برانبارش را تهیه نمود. هر چه این تصحیح بصورت کامل و صحیح انجام گیرد، میزان برونراند حاصل از اجرای این تصحیح کاهش یافته و مقطع برانبارش صحیحی بدست می‌آید.



شکل ۲-۴- مدل سرعت زمانی اولیه هموار شده

مقطع برانبارش زمانی بدست آمده طی این پردازش در (شکل ۳-۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل حاصل از این فرایند، می‌توان یک نمای کلی از گنبد نمکی واقع در این میدان را مشاهده نمود. البته این مقطع به دلیل اینکه هنوز پردازش‌های لازم بر روی آن صورت نگرفته، فقط نقش یک راهنمای کلی را بر عهده داشته و نمی‌تواند در مرحله تصمیم‌مورد استفاده قرار گیرد. بازتابنده‌ها در این مقطع به صورت کشیده و باز هستند و نمی‌توان عناصر ساختاری آن را تشخیص داد.



شکل ۳-۴- مقطع برانبارش زمانی اولیه

۴-۳-۱-۴- تهیه مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش

پس از بدست آوردن مقاطع برانبارش زمانی می‌بایست مقاطع زمانی را به مقاطع عمقی تبدیل نمود. بدین منظور احتیاج به مدل سرعت هموار شده اولیه می‌باشد. قبل از اعمال این فرایند^۱ و تبدیل حوضه زمان به عمق می‌بایست در مورد عمق پردازش، بررسی به عمل آورد. پس از بررسی اعماق مختلف، بهترین عمق برای پردازش، عمق ۶۰۰۰ متر در نظر گرفته شد، زیرا پایه‌های گنبد نمکی در این عمق به صورت کامل مشاهده می‌گردد. در ادامه نیز سایر پردازش‌ها بر اساس آن انجام گرفت.

۴-۳-۱-۵- اعمال توموگرافی لرزه‌ای

در مرحله بعد می‌بایست روش توموگرافی بر روی داده‌های پردازش شده اعمال گردد. بدین منظور می‌بایست ابتدا مدل سرعت استفاده شده در تهیه مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش را اجرا نموده و سپس در لایه‌ها و سپس گره‌های شبکه‌های مدل، سرعت را تغییر داده تا بتوان مدل سرعت بهبود یافته‌ای را بدست آورد. این تغییر سرعت باید به گونه‌ای باشد که اولاً کلیه ساختارهای موجود در منطقه را به نمایش در آورد و در مرحله بعد، میزان سرعت مناسب هر منطقه را تعیین کند. پس از هر بار اعمال تغییر در مقدار سرعت مرحله قبل، یک مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش بدست می‌آید که این مقطع می‌بایست بصورت بهبود یافته حاصل گردد. بدین معنی که مقطع تهیه شده حاصل از مدل سرعت بهبود یافته، در مقایسه با مرحله قبل قرار گرفته و تصمیم‌گیری می‌شود که آیا این مقطع ساختارهای مورد نظر را بهتر نمایش می‌دهد و آیا میزان فرکانس داده‌ها بمنظور نمایش بهتر بصورت مناسب در نظر گرفته شده یا نه؟ بعبارت دیگر میزان خطای حاصل از کار سنجیده می‌شود. در حقیقت میزان صحیح فرکانس انتخاب شده جهت از بین بردن امواج مزاحم (نویز) تحت فیلتر Bandpass انتخاب می‌شود. در نتیجه امواج لرزه‌ای مورد نظر تقویت شده و کیفیت مقاطع لرزه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

^۱ Flow

در صورت منفی بودن جواب پرسش مطرح شده در این مرحله، می‌بایست روش توموگرافی دوباره بر روی داده‌ها اعمال گردد. پس از اعمال دوباره این روش، دوباره پرسش فوق مطرح می‌گردد و جواب حاصل سنجیده می‌شود. چنانچه جواب باز هم منفی باشد، باید روش توموگرافی دوباره انجام گیرد تا جایی که جواب پرسش مطرح شده، مثبت شود. این عمل به دلیل اینکه در حوضه عمقی صورت می‌پذیرد، ممکن است تعداد تکرار بسیار بالایی داشته باشد تا به جواب نهایی برسد.

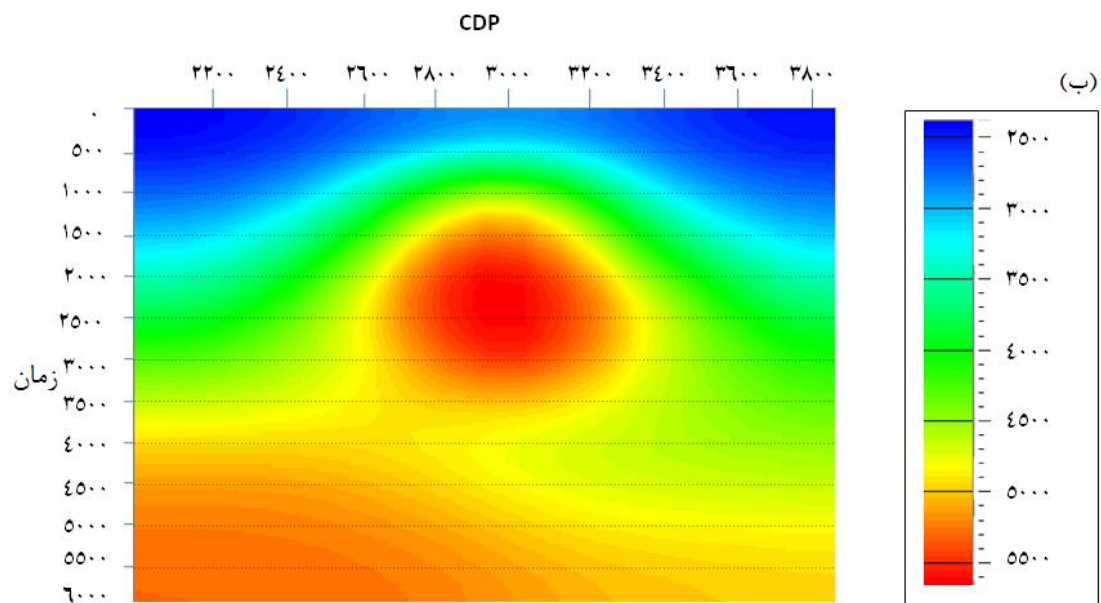
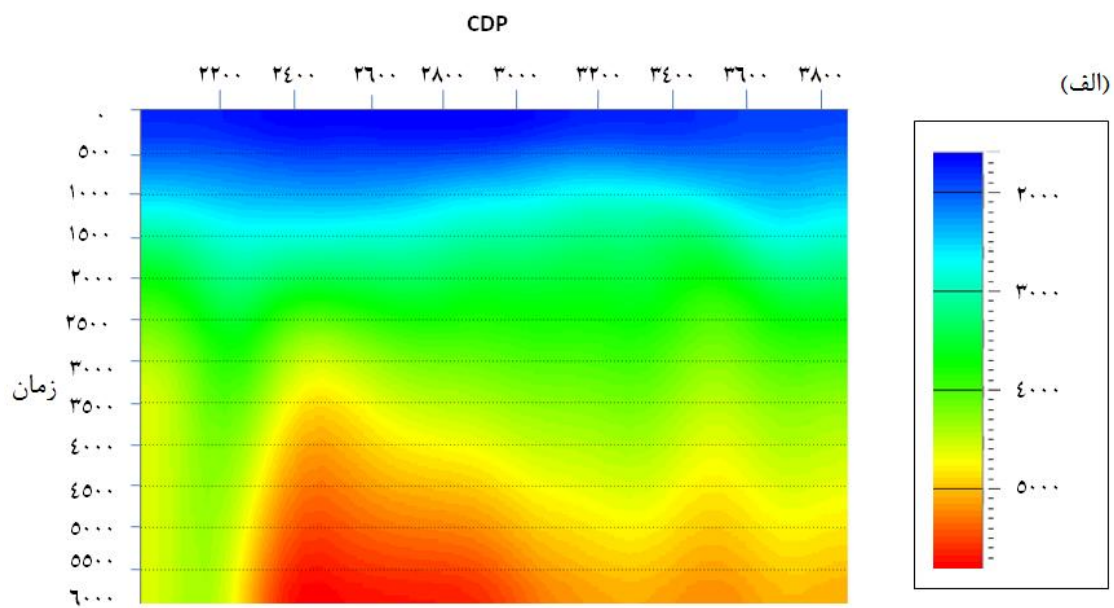
در (شکل ۴-۴) به ترتیب مدل سرعت‌های اولیه و به روز رسانی شده پس از آن و همچنین مقاطع کوچ عمقی پس از برانبارش (اشکال ۴-۵ تا ۴-۸) آورده شده و بخوبی می‌توان نحوه به روز رسانی این مدل‌ها و مقاطع را مشاهده نمود.

شکل (۴-۴الف) همان مدل سرعت اولیه‌ای است که در ابتدا و به منظور تشکیل مقطع PSTM مورد استفاده قرار گرفت و در اینجا نیز به عنوان مدل اولیه به کار برده شده است. در این مدل هیچ نشانی از گنبد نمکی منطقه وجود ندارد پس طبیعی است که مقطع پس از برانبارش حاصل از آن (شکل ۴-۵) نیز ناصحیح خواهد بود. همانگونه که در این مقطع مشخص است هیچ یک از لایه‌های اطراف گنبد به وضوح مشخص نشده‌اند و عناصر ساختاری نیز اصلاً واضح نیست.

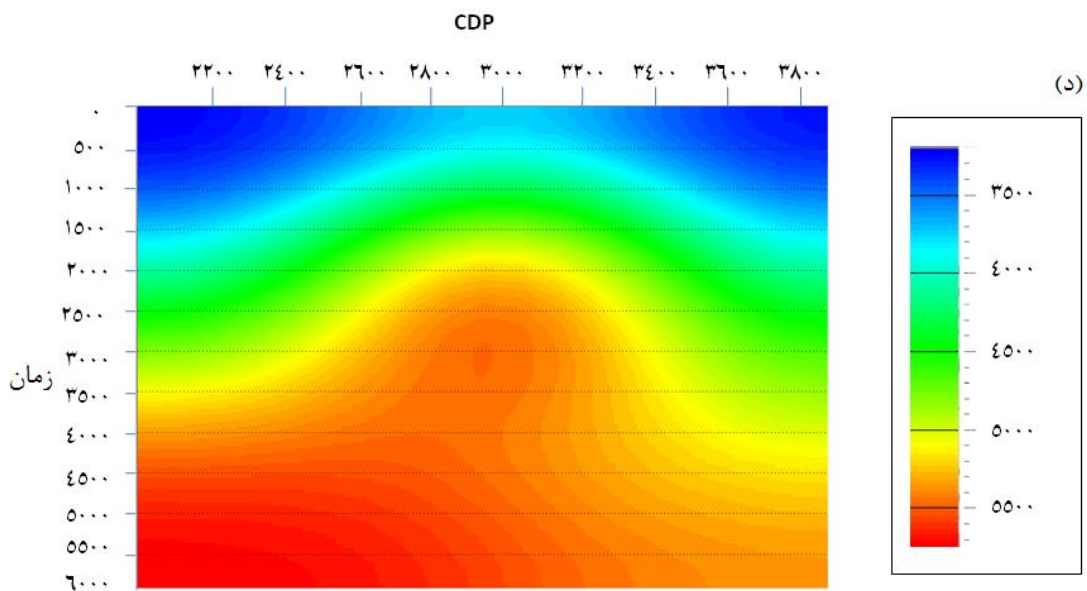
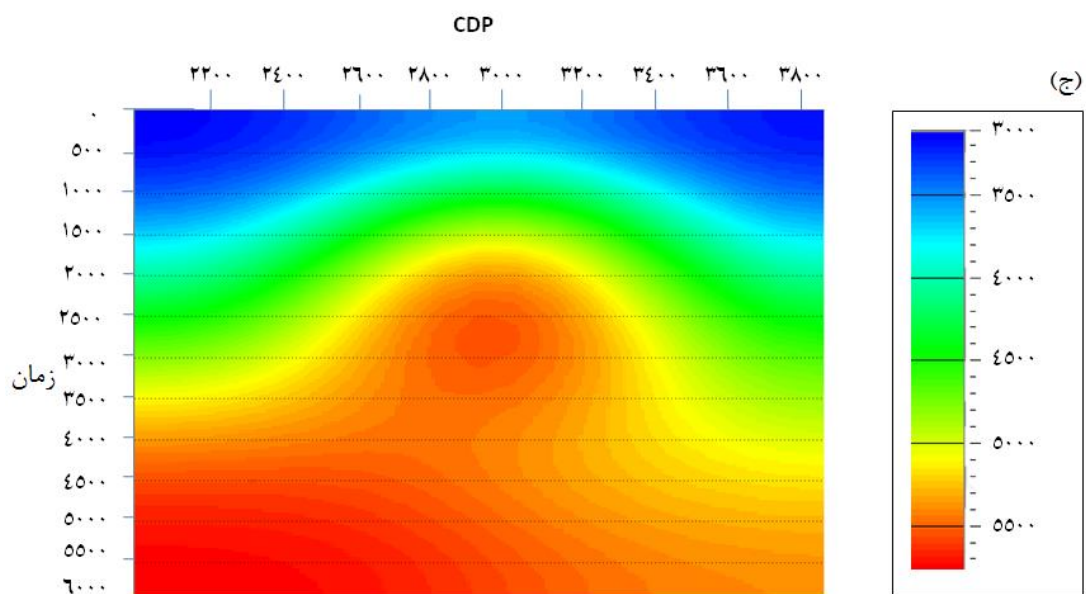
بدین منظور به روز رسانی مدل سرعت، در ابتدا مختصات کلی از گنبد نمکی را تعیین نموده و با بالا بردن سرعت مدل در این بخش‌ها سعی در ایجاد شکل واضحی از گنبد نمکی در منطقه می‌شود (اصول اجرای توموگرافی). پس از بالا بردن سرعت و به روز رسانی مدل، می‌توان بار دیگر مقطع پس از برانبارش عمقی را تهیه نمود و آن را مورد بررسی قرار داد. همانگونه که در شکل (۴-۴ب) مشخص است سرعت در بخش‌هایی از مدل بالا برده شده تا نمایی کلی از گنبد نمکی نشان داده شود. این شکل پس از چندین بار به روز رسانی پس از شکل (۴-۴الف) به دست آمده است. به دلیل تفاوت سرعت بالای اعمال شده بین گنبد نمکی و لایه‌های اطراف آن، مقطع پس از برانبارش حاصله از آن (شکل ۴-۶)

نمایانگر مناسبی از لایه‌ها و بخصوص عناصر ساختاری آن نمی‌باشد. پس باز هم به روند به روز رسانی مدل سرعت ادامه می‌یابد.

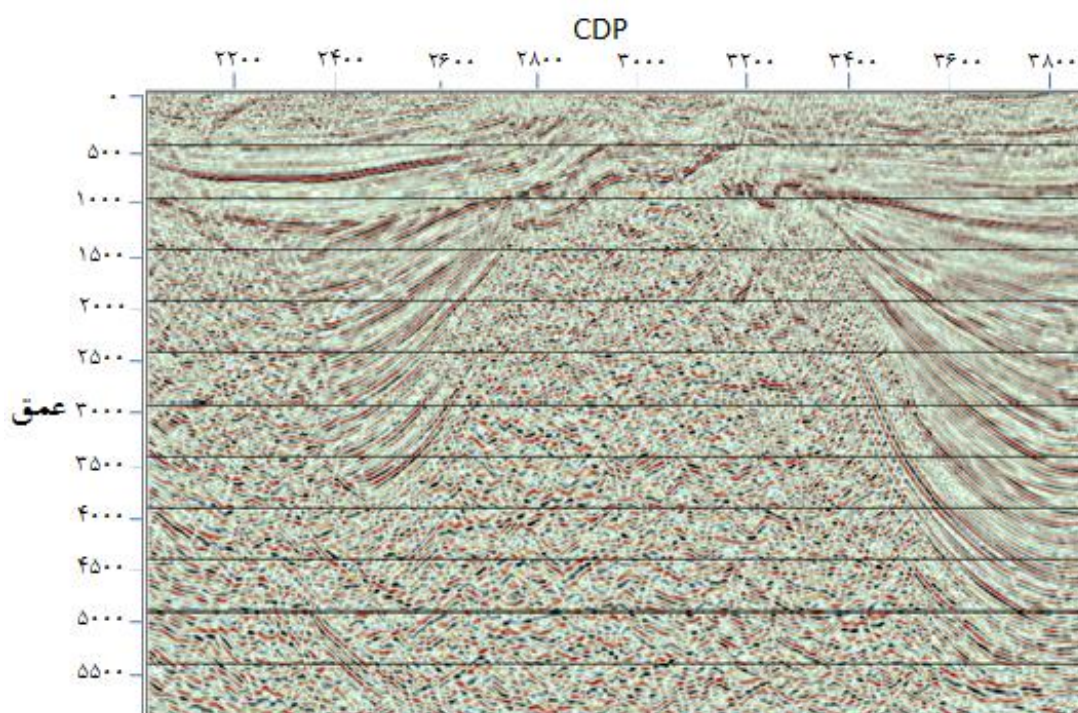
در واقع پس از تکرارهایی که تا این مرحله انجام گردید، مشخص شد که برای اعمال به روز رسانی مناسب در این روش، باید تفاوت سرعت بین لایه‌های اطراف و گنبد نمکی را کاهش داده تا جواب درستی حاصل گردد. پس از اعمال چندین به روز رسانی پس از مرحله قبل، مدل سرعت (۴-۴ج) به دست آمد که تا حد بسیار زیادی نمایانگر گنبد نمکی واقع شده در منطقه است. لایه‌ها در این مدل، پیوستگی مناسب‌تری نسبت به مراحل قبل به خود گرفته و تفاوت سرعت نیز به حد متعارف خود نزدیک شده است. با اعمال فرایند تشکیل مقطع پس از برانبارش عمقی، شکل (۴-۷) حاصل گردیده که نواقص مقاطع حاصله در مراحل قبلی را تا حد بسیار زیادی رفع کرده است. همانگونه که در این شکل مشخص است لایه‌ها دارای پیوستگی مناسب بوده و همچنین عناصر ساختاری نیز مشاهده می‌شوند. اما آن چیزی که موجب ادامه به روز رسانی این مرحله می‌گردد، این است که علی‌رغم نمایش بازتابنده‌ها و عناصر ساختاری، وضوح بالایی در آن وجود ندارد. بنابراین می‌بایست از این به بعد سعی در افزایش وضوح تصاویر نمود. پس کار به روز رسانی سرعت به اتمام رسیده و می‌بایست وضوح تصاویر را از طریق اعمال فرکانس‌های مناسب، جهت از بین بردن امواج مزاحم و تشدید امواج لرزه‌ای مناسب به روز رسانی نمود. پس از چندین بار تغییر فرکانس داده‌ها و به دست آوردن مقاطع مختلف و مقایسه با یکدیگر، بهترین مقطع حاصله، مقطع پس از برانبارش عمقی شکل (۴-۸) خواهد بود که دارای کیفیت بالا (پیوستگی بازتابنده‌ها و عناصر ساختاری) و وضوح بالاتری در تصاویر می‌باشد. فرکانس‌های به کار رفته در این بخش به ترتیب بین ۵ تا ۶۰ هرتز تعیین گردید. در مجموع بالغ بر ۴۰ تا ۵۰ بار تکرار و به روز رسانی به منظور تشکیل تصویر نهایی صورت گرفت.



شکل ۴-۴- مراحل به روز رسانی مدل سرعت به روش توموگرافی لایه‌ای - شبکه‌ای (ترکیبی)، (الف) مدل سرعت اولیه بدست آمده به منظور تهیه مقطع عمقی اولیه، (ب) مدل سرعت به روز رسانی شده حاصل از به روز رسانی مدل سرعت (الف) پس از چند تکرار.

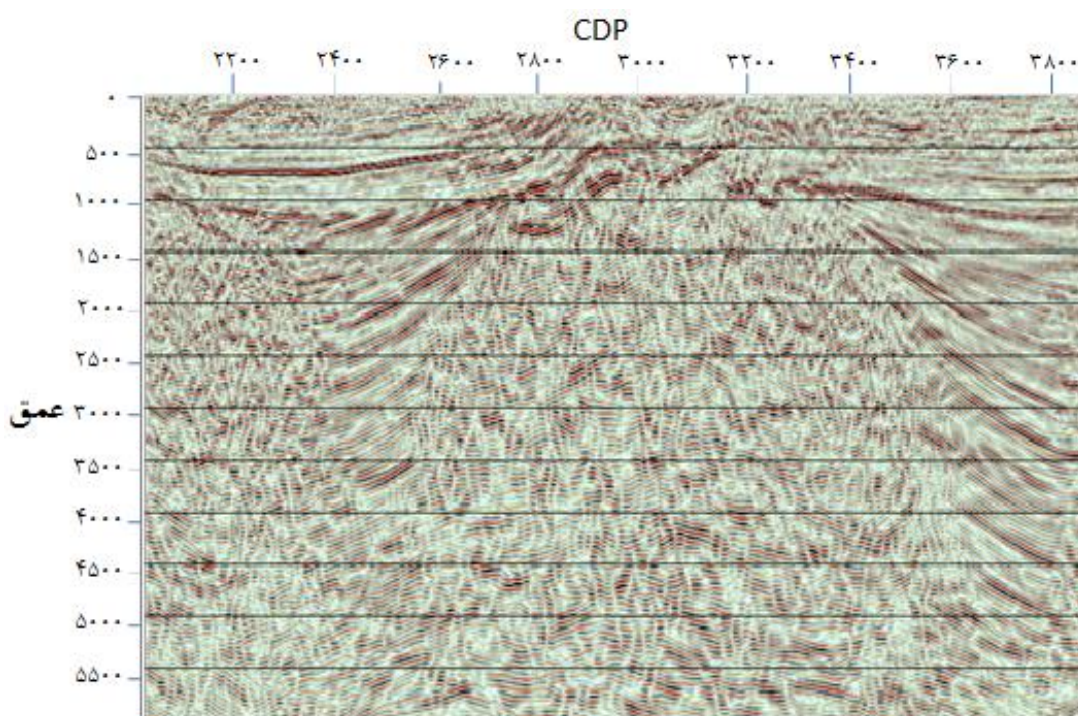


ادامه شکل ۴-۴- مراحل به روز رسانی مدل سرعت به روش توموگرافی لایه‌ای - شبکه‌ای (ترکیبی)، (ج) مدل سرعت به روز رسانی شده حاصل از به روز رسانی مدل سرعت (ب) پس از چند تکرار و (د) مدل سرعت نهایی بدست آمده به منظور تهیه مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش نهایی.



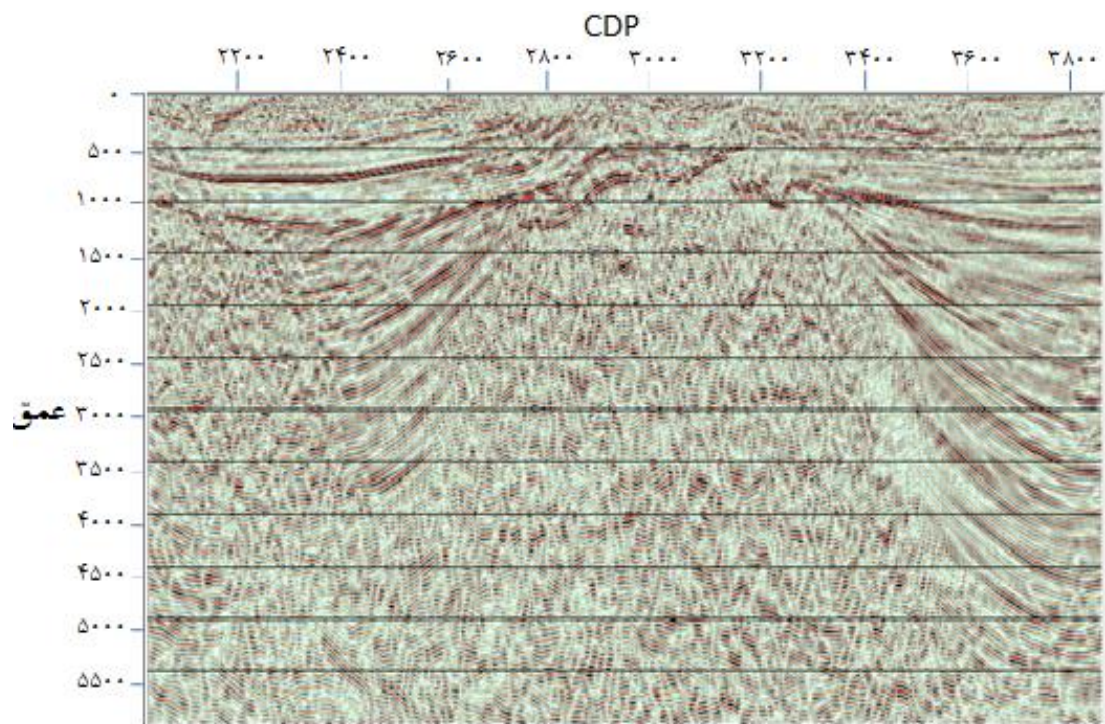
شکل ۴-۵- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش به روز رسانی شده حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده (شکل ۴-۴-)

(الف)



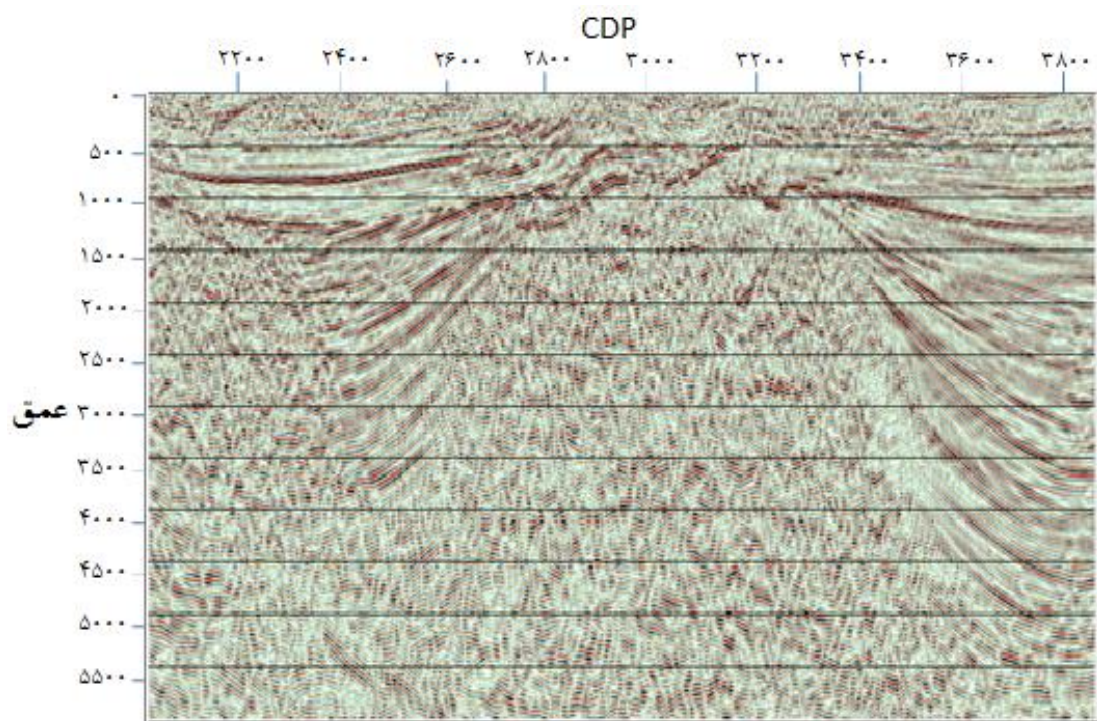
شکل ۴-۶- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش به روز رسانی شده حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده (شکل ۴-۴-)

(ب)



شکل ۴-۷- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش به روز رسانی شده حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده (شکل ۴-۴)

(ج۴)



شکل ۴-۸- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش نهایی حاصل از مدل سرعت به روز رسانی شده نهایی (شکل ۴-۴-د)

به صورت کلی چنین می‌توان گفت که این پایان نامه با استفاده از روشی ابداعی و الهام‌گیری از روشی که علایی (۲۰۰۶) و جونز (۲۰۰۷) به صورت توموگرافی ترکیبی (هیبریدی) انجام دادند، می‌باشد. بدین مفهوم که با استفاده از آنالیز سرعت مهاجرت (MVA)، یک مدل سرعت اولیه در حوضه زمان به دست می‌آید. بنابراین به منظور اینکه میزان تأثیر این مدل در حوضه عمق بدست آید، مجبور به تهیه مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش هستیم. در ادامه، کارهایی که توسط علایی (۲۰۰۶) به صورت روش توموگرافی لایه‌ای انجام گرفت، در اینجا به صورت روش شبکه‌ای انجام داده شد. بدین صورت که با در نظر گرفتن CDP گنبد نمکی از روی مقطع کوچ عمقی اولیه، مرزهای مدل اولیه بهبود داده شد و این دقیقاً همان کاری است که علایی (۲۰۰۶) در ابتدا انجام داد و سپس روش لایه‌ای را به اجرا گذاشت. بدین معنی که در ابتدا مدل سرعت و سپس مرزهای تیز مدل را به دست آورده و اجازه داده تا مرزها نرم شوند. در نتیجه هم ساختارهای مورد نظر و هم مرزهای تیز مدل حفظ می‌گردد.

۴-۴- مقایسه با نتایج مراحل اولیه

به منظور مقایسه نتایج این روش، نتایج حاصله از روش PostSDM در (شکل ۴-۹) به نمایش در آمده است. همانگونه که در این تصاویر (اشکال ۴-۸ و ۴-۹) مشخص است، جابجایی بازتابنده‌ها در جهت قرارگیری در مکان مناسب و همچنین افزایش کیفیت می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان به روز رسانی مناسب‌تر سرعت توجیه کرد که با جابجایی رخدادها مشخص می‌شود. دلیل درست بودن این جابجایی نیز، صحیح بودن روش مورد استفاده است. به عبارت دیگر، روش PostSDM خود عامل اعتبار سنجی کار می‌باشد، زیرا به وضوح می‌توان عناصر مورد نظر ساختاری و کیفیت بالای بازتابنده‌ها در این مقطع را در مقایسه با مراحل اولیه آن مشاهده نمود. به عبارت دیگر می‌توان گفت که معمولاً پس از مهاجرت پس از برانبارش زمانی، تصویری مناسب از بازتابنده‌های زیر سطحی ارائه می‌گردد (جین و رن، ۱۹۸۰). اما چنانچه تغییرات جانبی سرعت داشته باشیم، می‌بایست مهاجرت عمقی صورت پذیرد. بنابراین

تصویری که از مهاجرت عمقی به دست می‌آید، به مراتب دارای کیفیت بهتری می‌باشد، زیرا داده‌ها در طول منحنی پراش واقعی جمع می‌شوند، نه روی هذلولی تقریبی (ایلماز، ۱۹۸۷).

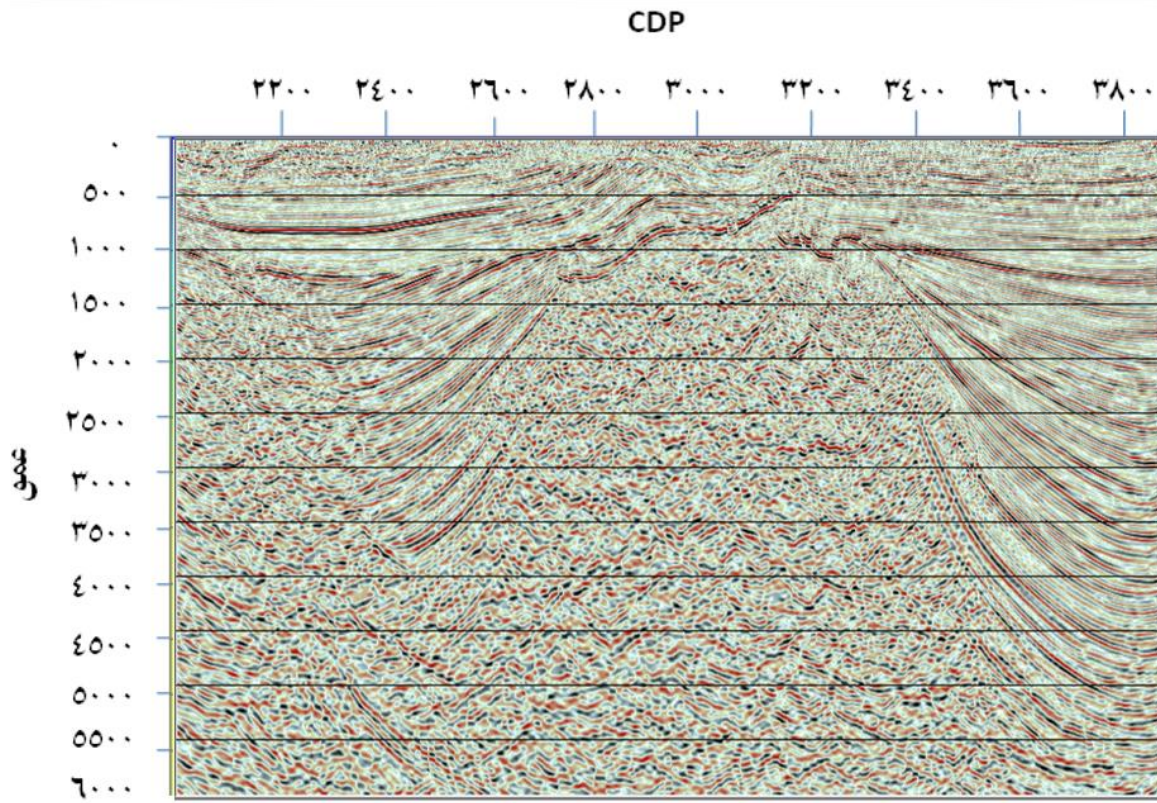
به عنوان مثال وجود گسل نرمال در بالای گنبد نمکی در شکل (۴-۸) به خوبی قابل مشاهده است. همچنین رخدادهای ناودیدی شکل بزرگ بالای آن نیز در مقایسه با شکل (۴-۹) به خوبی با تعیین مرزهای آن مشخص گردیده است.

در کنار گوشه سمت راست گسل نیز، یک رخداد ساختاری ناودیدی شکل کوچک نیز وجود دارد که براحتی در شکل مقطع پس از برانبارش عمقی (۴-۸) دیده می‌شود. پس می‌توان به وضوح تفاوت‌های موجود بین دو مقطع در راستای بهبود مدل سرعت را در این دو شکل مورد بررسی قرار داد.

در حقیقت باید گفت که عامل تمرکز^۱، تعیین کننده کیفیت مقطع بهتر می‌باشد. همانگونه که در مقطع اولیه مشاهده می‌شود، کانال ایجاد شده در بالای مقطع، دارای بازتابنده‌ها با پیوستگی مناسب نیست و با یکدیگر هم‌پوشانی دارند. از طرفی رفلکتور ظاهر شده در گوشه پایین یال گنبد نمکی، به دلیل اینکه در میانه‌های مسیر ضخامت خود را از دست داده و در نهایت از بین رفته و همچنین رفتاری مشابه سایر بازتابنده‌ها از خود نشان نمی‌دهد، می‌توان گفت که مقطع نهایی عامل تمرکز بهتری دارد و در نتیجه کیفیت مقطع اولیه کوچ عمقی، کمتر از مقطع نهایی کوچ عمقی است.

البته لازم به ذکر است که به منظور اعتبار سنجی می‌بایست از نتایج سایر داده‌ها نظیر داده‌های چاه و داده‌های زمین شناسی استفاده نمود.

^۱Focusing



شکل ۴-۹- مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش اولیه

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

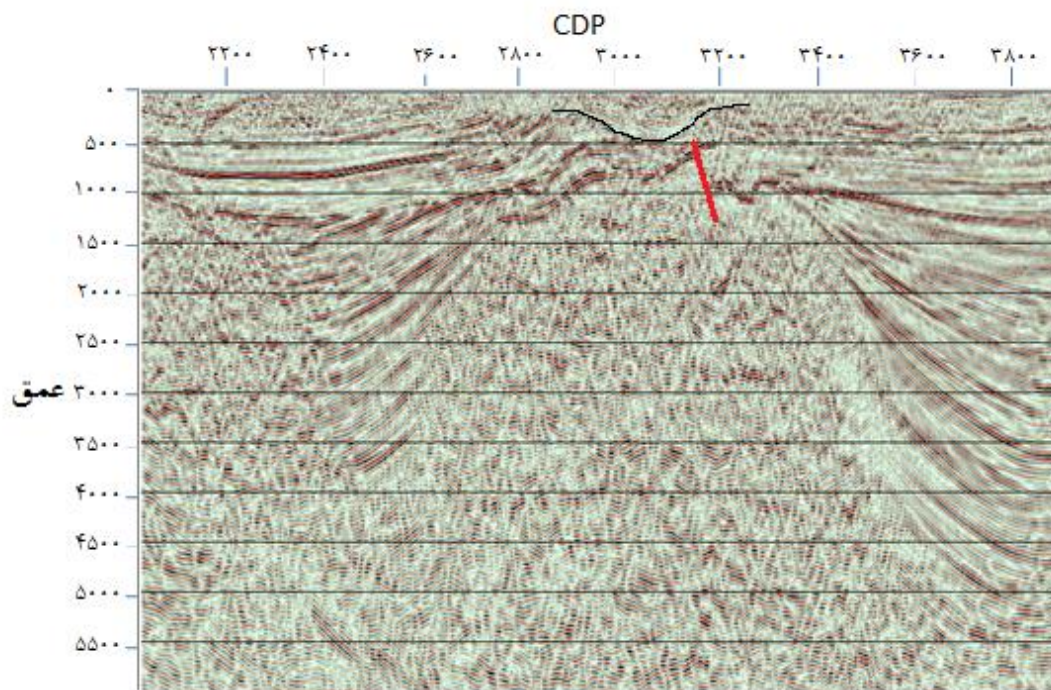
۵-۱- نتایج

روش توموگرافی ترکیبی استفاده شده در طی پردازش‌های صورت گرفته در این پایان نامه، بدلیل انعطاف پذیری بالا در تغییر سرعت لایه و شبکه‌های پردازشی، و همچنین کاربرد آن در حوضه عمقی نتایج متفاوتی را نسبت به روش‌های مرسوم در حوضه زمانی فراهم نموده است.

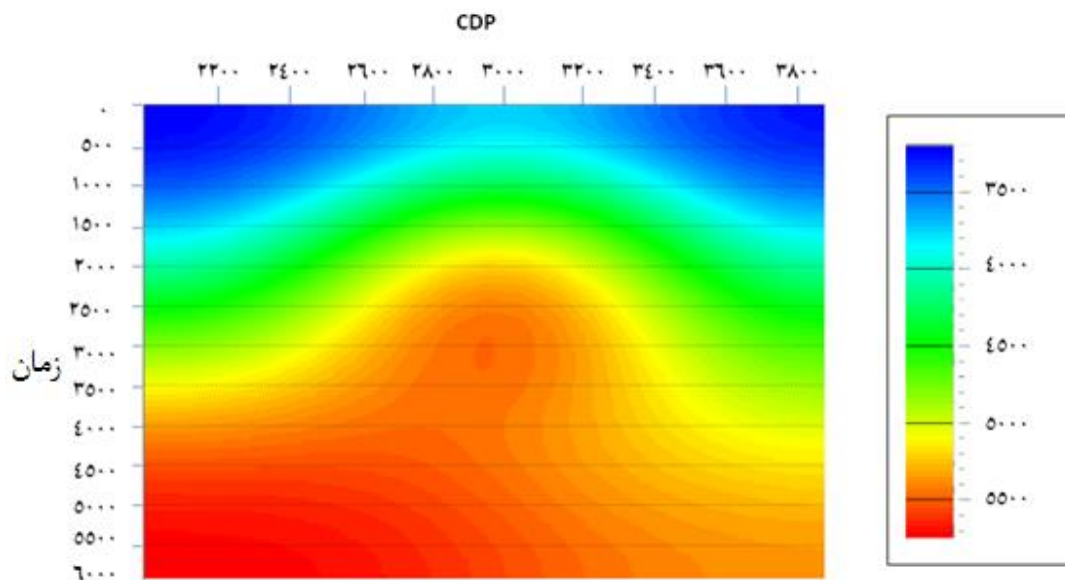
همانگونه که در خروجی‌های به نمایش درآمده در فصل چهارم دیده شد، این مقاطع دارای روند مثبتی در جهت بهبود کیفیت می‌باشند. به گونه‌ای که ساختارهای هدف در این پایان نامه که گسل و مرز گنبد نمکی است، بخوبی در مقطع پایانی تعیین شده و دارای مرزهای معینی نسبت به ساختارهای مجاور خود می‌باشند. همچنین در این مقطع، بازتابنده‌های مورد نظر جهت تفسیر مفسران به نمایش درآمده است و از نمایش سایر بازتابنده‌ایی که مزاحم کار هستند، جلوگیری به عمل آمده است. این موضوع در شکل (۵-۱) به نمایش درآمده است.

در این شکل، گسل ایجاد شده در لایه‌های قرار گرفته بر روی گنبد نمکی به صورت کاملاً واضح به تصویر درآمده است. همچنین ساختار ناودیدی شکل بالای آن نیز در مقایسه با مقاطع در حال به روز رسانی قبلی، با دقت قابل قبول تری در تعیین مکان رخدادها به تصویر درآمده است. مرزهای گنبد نمکی نیز به صورت واضح به نمایش درآمده. علاوه بر تعیین آشکار ساختارهای مورد نظر، جایابی‌های صورت گرفته در آن نیز، یکی از موارد شاخص در این پردازش می‌باشد.

در شکل (۵-۲)، به خوبی میزان تفاوت سرعت در ساختارهای گنبد نمکی با لایه‌های مجاور آن به تصویر کشیده شده است. در نمک‌ها بدلیل افزایش تراکم‌پذیری، سرعت موج لرزه‌ای بیشتر از لایه‌های مجاور آن می‌باشد. البته لازم به ذکر است که این میزان تفاوت تا حد بسیار بالا قابل قبول نیست و باعث خراب شدن نتیجه کار می‌گردد.



شکل ۵-۱- بهبود مقطع کوچ عمقی پس از برانبارش و نمایش ساختارهای بهبود یافته در آن (گسل با رنگ قرمز و ساختار ناودیسی به رنگ مشکی به نمایش درآمده‌اند).



شکل ۵-۲- مدل سرعت نهایی. این مدل سرعت بیان کننده میزان تفاوت بین سرعت در گنبد نمکی و لایه‌های اطراف آن می‌باشد.

همانگونه که در فصل چهارم نیز ذکر شد، مدل سرعت پس از تکرارهای فراوان بدست آمده و باعث به وجود آمدن اختلاف سرعت مناسب و همچنین جایابی مناسب تغییرات سرعت به منظور تشخیص

گنبد نمکی گردیده است. این امر کمک شایان توجهی به تشکیل مقطع پس از برانبارش عمقی و کیفیت بالای آن کرده است.

در حالت کلی می‌توان گفت که با توجه به اشکال و مقایسه‌های موجود در فصل چهارم و همچنین اشکال این فصل، کیفیت و وضوح تصاویر حوضه عمقی نسبت به تصاویر حوضه زمانی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است و می‌توان از این روش به عنوان یک روش در ارائه تصاویر لرزه‌ای با کیفیت و وضوح بالا استفاده نمود.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به جدید بودن موضوع مورد نظر و همچنین مشکلات موجود در این زمینه، پیشنهادات زیر به منظور تسریع، سهولت و افزایش کیفیت کار ارائه می‌گردد.

۱- به دلیل سنگین بودن روش کار و به تبع آن، افزایش حجم کار توصیه می‌گردد از سخت افزارها و نرم افزارهای به روز و با انعطاف بالاتری استفاده گردد که در نهایت موجب افزایش صحت پروژه می‌گردد. از جمله این نرم افزارها، می‌توان به Geodepth و Focus اشاره نمود.

۲- داده‌های مورد استفاده در این روش بسیار حائز اهمیت هستند. مبانی این روش به گونه‌ای است که می‌بایست از داده‌های با ناهمسانگردی و ناهمگونی بالا استفاده نمود. در این پایان نامه به دلیل مشکلات نرم افزاری و سخت افزاری موجود، تنها ناهمگنی بالا مدنظر قرار گرفت. توصیه می‌شود در تحقیقات بعدی، از داده‌های با ناهمسانگردی بالا استفاده گردد.

۳- مسائل جدیدتر این روش در رابطه با تشخیص موارد دیگری در ژئوفیزیک به کار می‌روند که می‌توان به شناخت ریز درزه‌ها در مناطق با عمق کم (عموماً با تراکم پذیری کم) اشاره نمود که قابلیت تحقیق و انجام کار دارند. همچنین در صورت اجرای روش مورد استفاده در این پایان

نامه به صورت سه بعدی^۱ می‌توان انتظار نتایج مثبتی داشت که این مهم بالطبع احتیاج به امکانات نرم افزاری و سخت افزاری قوی و داده‌های مناسب دارد.

۴- مهم‌ترین و شاید اصلی‌ترین موضوع مورد بحث در راستای این پایان نامه، اعمال توموگرافی هیبریدی روی داده‌های لرزه‌ای پیچیده^۲ است. در اینجا پیشنهاد می‌شود در صورت امکان از این روش در تحقیقات آتی استفاده گردد، زیرا این روش نسبت به تمام روش‌های دیگر توموگرافی، در بر گیرنده تمامی خصوصیات مثبت توموگرافی می‌باشد و نتایج حاصل از آن بسیار مورد اعتماد است. البته دو مورد اخیر، بهتر است در راستای تهیه رساله دوره دکتری قرار گیرد، زیرا احتیاج به صرف وقت و انرژی زیاد می‌باشد.

۵- به منظور بررسی میزان صحت کار، بهتر است از داده‌هایی استفاده نمود که در آن منطقه حداقل یک چاه مورد لرزه نگاری قرار گرفته شده باشد^۳. در این صورت بررسی‌های مورد نیاز با دقت بالایی صورت خواهد گرفت و پردازش صورت گرفته شده، دارای اعتبار بالایی خواهد بود.

^۱ 3D gridded tomography

^۲ complex

^۳ Down hole seismic

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- ۱- ک. امامی و م. ع. ریاحی (۱۳۸۳)، "مهاجرت پیش از برانبارش عمقی داده‌های لرزه‌ای یک خط از میدان نفتی جنوب ایران، به روش کیرشسف"، نشریه فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۰، شماره ۱، ص ۱۱-۱۷.
- ۲- م. بشر دوست، س. ترابی و م. نبی بیدهدنی (۱۳۹۱)، "مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سرعت براساس همبستگی در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی"، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۶، شماره ۲، صفحه ۴۰-۵۵.

منابع انگلیسی

- 1- Alaei, Behzad (2006), "An integrated procedure for migration velocity analysis in complex structures of thrust belts", Journal of Applied Geophysics, Vol. 59, pg. 89-105.
- 2- Alan G. Campbell, Emma Evans, Darren Judd², Ian F. Jones, Steve Elam, (2006), "Hybrid Gridded Tomography in the Southern North Sea", SEG, Annual Meeting, New Orleans, pg. 520-524.
- 3- Billette, F. and Lambare, G. (1998), "Velocity macro model estimation by stereotomography", Geophysical journal international, Vol. 135, pg. 671-680.
- 4- Biondi, B. L. and Kostov, C. (1989), "High resolution velocity spectra using Eigen structure methods", Geophysics, Vol. 54, pg. 832-842.
- 5- Bishop, T., Bube, K., Cutler, R., Langan, R., Love, P., Resnick, J., Shuey, R., Spindler, D., and Wyld, H. (1985), "Tomographic determination of velocity and depth in laterally varying media" Geophysics. Vol. 50, No. 1, pg. 903-923.
- 6- Bloor, R. (1998), "Building velocity models using tomography", 68th Annual international meeting, SEG, Expanded Abstract, pg. 1195-1198.
- 7- Chalard, E., Povdin, P., Le Begal, S., Berthet, P. and David, B. (2002), "3D stereotomography inversion on real data set", 72th SEG Annual international meeting, Extended abstracts, pg. 946-948.
- 8- Claerbout, J. F., (1976), "Fundamentals of geophysical data processing", McGraw-Hill Book Co.

- 9- Deregowski, S. (1990), "Common offset migration and velocity analysis", First break. Vol. 6, pg. 225-234.
- 10- Dix, C. H. (1955), "Seismic velocities from surface measurements", Geophysics, Vol. 20(1), pg. 68-86.
- 11- Dziewonski, A. M. and D.L. Anderson, (1983), "Travel-times and station corrections for P waves at teleseismic distances", J. Geophys. Res., Vol. 88, pg. 3295-3314.
- 12- F. Accaino, G. Bohm, G. Brancolini, 2005, "Analysis of Antarctic glaciations by seismic reflection and refraction tomography", Marine Geology, Vol. 216, pg. 145-154.
- 13- F. Roosevelt, (1996), "Time to depth conversion: Geostatistical methods to build a reliable and consistent reservoir model".
- 14- Hawkins, K., Leggott, R., Williams, G., and Kat, H. (2001), "Addressing anisotropy in 3D pre-stack depth migration", A case study from the Southern North Sea, The Leading Edge, Vol. 20, pg. 528-535.
- 15- Ian, F. Jones, et al. (2003), "A review of 3D preSDM velocity model building techniques", first break, Vol. 21, pg. 45-58.
- 16- Ian, F. Jones, et al. (2007), "Hybrid Gridded Tomography", GX Technology, First break. Vol. 25, pg. 15-21.
- 17- Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), (2013), "Earth-Scope Education and Outreach: Seismic Tomography".
- 18- J. Sanchez Littau and Marcelo K. (2011), "PSDM Structural Model Constrains: case studies", CGGVeritas Argentina, pg. 1-7.
- 19- Jain, S. and Wren, A. E., (1980), "Migration before stack-procedure and significance", Geophysics, Vol. 45, pg. 204-213.
- 20- Jones, I., Baud, H. and Adler, F. (2000), "Velocity as an attribute", 70th SEG Annual international meeting, Extended abstracts, pg. 631-634.
- 21- Jones, I.F., (2003), "A review of 3D preSDM velocity model building techniques", first Break, Vol. 21, pg. 45-58.
- 22- Kearey, Philip and Micheal Brooks (1991), "An Introduction to Geophysical Exploration", Blackwell Science, 2nd Ed.
- 23- Key, S. C., and Smithson, S. B. (1990), "new approach to seismic-reflection event detection and velocity determination", Geophysics, Vol. 55, pg. 1057-1069.

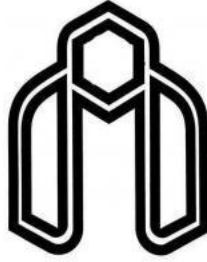
- 24- Landa, E. et al, (1998), "How far is the seismic image correct?", *The Leading Edge*, pg. 919-922.
- 25- Liner, C. L. (1999), "Concepts of normal and dip move-out", *Geophysics*, Vol. 64, pg. 1637-1647.
- 26- M. J., Woodward, D., Nichols, O., Zdraveva, P., Whitfield, and T., Johns (2008), "A decade of tomography", *GEOPHYSICS*, Vol. 73, NO. 5, pg. 5-11.
- 27- M. K. Cameron, (2007), "Seismic velocity estimation from time migration", University of California, Berkeley, Chapter 6, pg. 74-76.
- 28- Mispel, J. and Hanitzsch, C. (1996), "The use of layered or smoothed velocity models for pre-stack Kirchhoff depth migration", 66th SEG Annual international meeting, Extended abstracts, pg. 519-521.
- 29- N. J. Vlaar, G. Nolet, M. J. R. Wortel and S. A. P. L. Cloetingh, (1998), "Mathematical Geophysics, A survey of recent developments in seismology and geodynamics", D. Reidel publishing company, chapter 8, pg. 156-159.
- 30- N. Rawlinsona, S. Pozgaya, S. Fishwickb, (2010), "Seismic tomography: A window into deep Earth" *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol. 178, pg. 101-135.
- 31- Nolet, G. (1987) "Seismic Tomography", Reidel Publishing Company, pg. 1–23.
- 32- P. Hrubcova, P. S. roda, V. Vavryčuk, V. Babuska, M. Grad, (2013) "Comment on the Seismic Method Depth-Recursive Tomography on Grid (DRTG) Developed by Miroslav Novotny' and Recently Published in Three Papers in *Surveys in Geophysics*", *Surv. Geophys*, Vol. 34, pg. 521-529.
- 33- Riabinkin, L. (1957), "Fundamental of resolving power of controlled directional reception(CDR) of seismic waves(translation) in slant stack processing", *Geophysics report series*, Society of exploration geophysicists.
- 34- Robbein, E. (2003), "Velocities, time imaging and depth imaging in reflection seismics-Principles and methods", EAGE publications.
- 35- Robbein, E. (2010), "Seismic imaging. A review of the techniques, their principles, merits and limitations", EAGE publications.
- 36- Sethian, J. A. (1996), "A Fast Marching Level Set Method for Monotonically Advancing Fronts", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 93, pg. 4.

- 37- Sexton, P. and Williamson, P. (1998), "3D anisotropic velocity estimation by model-base inversion of pre-stack travel-times", 68th SEG Annual international meeting, extended abstracts, pg. 1855-1858.
- 38- Shearer, P. M., Orcutt, J. A. (1987), "Surface and near-surface effects on seismic-wave- theory and borehole seismometer results", Bulletin of the seismological society of America, Vol. 77, issue 4, pg. 1168-1196.
- 39- Shearer, P. M. (2009), "Introduction to seismology", Cambridge university, 2nd edition, pg. 118-124.
- 40- Siliqi, R. (2001), "Technological leap in time processing focusses the data throughout anisotropic media", first break, Vol. 19, pg. 612-618.
- 41- Stork, C. (1992), "Reflection tomography in the post migrated domain" Geophysics. 70, pg. 680-692.
- 42- Sword, C. (1986), "Tomographic determination of interval velocities from picked reflection seismic data", 56th SEG Annual international meeting, Extended abstracts, pg. 657-660.
- 43- Taillandier, C., Deladerriere, N. et al. (2011), "First arrival travel-time tomography: when simpler is better", EAGE, Vienna.
- 44- Taner, M. T. and Koehler, F., (1969), "Velocity spectra- digital computer derivation and applications of velocity functions", Geophysics, Vol. 39, pg. 859-881.
- 45- Tian, Yue, Montelli Raffaella, et al. (2007), "Computing travel-time and amplitude sensitivity kernels in finite-frequency tomography", Princeton University, pg. 1-40.
- 46- Woodward, M., P. Farmer, D. Nichols, and S. Charles, (1998), "Automated 3D tomographic velocity analysis of residual move-out in prestack depth migrated common image point gathers", 68th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, pg. 1218–1221.
- 47- Yilmaz, Ö. (1987), "Seismic Data Processing", Society of Exploration Geophysics.
- 48- Yilmaz, Ö. (2001), "Seismic Data Processing", Society of Exploration Geophysics.

Abstract

Seismic images requires detailed seismic velocity model, but due to high speed contrast in areas with complex structure, the seismic reflector is difficult. For this reason, generally within the ground wave propagation velocity modeling process is very complex. A fast modeling techniques such data, use of computed tomography or lattice layer is. Tomography is a method to evaluate compliance with the time taken to achieve quality seismic data in elderly higher screw speed model. This method to replicate the update, with high accuracy. Another advantage of this method is the use of the structure with heterogeneity. Using seismic tomography data, particularly in heterogeneous areas, increased resolution between layers and reduce the depth errors. In this study, we improved the time taken using a network tomographic method based on layered structures has been uneven. That is, by using network tomography based layer tomography deep profile of the resulting stack has been optimized, which has many advantages compared with other methods of depth to update and improve the quality of the resulting profile been sent.

Key words: Seismic modeling, Velocity model of complex structure, Kirchhoff depth migration, Layer tomography, Gridded tomography, Hybrid tomography



University of Shahrood
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
Petroleum Department

Thesis for Master of Science in Petroleum Engineering

**Velocity model building by gridded tomography in complex seismic
data**

Ehsan Nazari Valashani

Supervisors

Dr. M. Soleimani Monfared

Dr. A. Roshandel Kahoo

Dec. 2015

