

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد لرزه شناسی

طراحی و ارزیابی عملیات لرزه نگاری سه بعدی بر روی چند مدل مصنوعی

زمین شناسی

نگارنده: مهشید دهقانیان

اساتید راهنما

دکتر امین روشندل کاهو

دکتر مهرداد سلیمانی

استاد مشاور

دکتر صادق صفارزاده حسینی

اسفند ۱۴۰۰

شماره: ۲۰۴۰۱/۱۰۲
تاریخ: ۱۴۰۱/۲/۵
ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال: ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای مهشید دهقانیان با شماره دانشجویی ۹۷۰۷۴۱۴ رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه‌شناسی تحت عنوان طراحی و ارزیابی عملیات لرزه‌نگاری سه بعدی بر روی چندمدل مصنوعی زمین‌شناسی که در تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۰۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸ ☒ ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹ - ۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹ - ۱۴ ☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐ نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر امین روشندل‌کامو	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر مهرداد سلیمانی منفرد	دانشیار	
۳- استاد مشاور	دکتر صادق صفارزاده		
۴- استاد داور اول	دکتر محمد رداد	استادیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر علی نجانی کلاته	استادیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر یوسف شیرینی	استادیار	

ناد و نام خانوادگی رئیس دانشکده و مدیر فرایند آموزشی

تاریخ: ۱۴۰۱/۲/۵

تقدیم اثر

ماحصل آموختہ ایم را تقدیم می‌کنم بہ آمان کہ مہر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است بہ

استوارترین تکیہ گاہم، دستان پر مہر پدرم

بہ سبزترین نگاہ زندکیم، چشمان سبز مادرم و ہمراہی برادرانم

کہ ہرچہ آموختم در مکتب عشق شما آموختم و ہرچہ بگو شتم قطرہ ای از دریای بی کران مہربانی تان را

سپاس توانم بگویم.

مشکر و قدردانی

سپاس بی کران از پروردگاری که، همواره در طول مسیر زندگی ام حضورش را در کنارم حس کرده ام...
مشکر قلبی و لسانی خود را از استاید عالی قدر جناب آقای دکتر این روشندل کا هو و جناب آقای دکتر
مهر داد سلیمانی متفرد که زحمت راهنمایی این پایان نامه را عهده دار گردیدند ابراز می دارم و توفیقات روز افزون
ایشان را توأم با صحت و سعادت خواستارم. همچنین از جناب آقای دکتر صادق صفارزاده که در امر مشاوره
این پایان نامه مساعدت نمودند و در این امر نهایت مراقبت، توجه و دقت خود را مبذول فرموده اند کمال تشکر و
اتقان را دارم و برای ایشان از خداوند سلامت و سعادت ابدی را خواهانم.
و در نهایت کمال تشکر را دارم از جناب آقای مهندس سعادت نیا که راهنمایی های ایشان کمک شایانی در
جهت ارائه بهترین پایان نامه برای من داشت، و تمامی دوستانی که به نحوی در طول این مسیر باعث دل-
گرمی من بوده اند.

تعمدنامه

اینجانب **مهشید دهقانیان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه‌شناسی دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه «طراحی و ارزیابی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی بر روی چند مدل مصنوعی زمین‌شناسی» تحت راهنمایی دکتر امین روشندل کاهو و دکتر مهرداد سلیمانی منفرد متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «**Shahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

برداشت عملیات سه بعدی لرزه نگاری ابزاری مهم و کاربردی برای مدل سازی و اکتشاف مدل های زیرسطحی زمین می باشد. امروزه به دلیل هزینه های بالای عملیات لرزه نگاری سه بعدی و همچنین محدودیت های مختلف لرزه نگاری، محققان مطالعات مختلفی را در زمینه مدل سازی لرزه نگاری قبل از شروع عملیات انجام داده اند. مدل سازی لرزه ای برای طراحی یک برداشت اطلاعات لرزه ای، به ویژه در سازه ها و مناطق پیچیده، هر روز در حال توسعه است. اگرچه محدودیت های عملیاتی و برداشت با هزینه معقول خود باعث ایجاد محدودیت در انتخاب پارامترها و هندسه برداشت می شود، از سوی دیگر، ضرورت مدل سازی را افزایش می دهد تا بتوان مدلی مناسب با پارامترهای مناسب از یک برداشت لرزه ای طراحی نمود.

برای مدل سازی لرزه نگاری، با استفاده از اطلاعات موجود مانند داده های برداشت لرزه ای قبلی، داده های چاه و اطلاعات زمین شناسی، مدل سرعت قابل قبولی ساخته می شود. همچنین پارامترهای برداشت لرزه ای سه بعدی با استفاده از روش مرسوم از پیش طراحی شده اند. مدل سرعت، هندسه بررسی، و زمین شناسی اطلاعات برای مدل سازی لرزه ای استفاده می شود. نقشه های روشنایی و نمودارهای گل تولید شده توسط مدل را می توان برای تجزیه و تحلیل رابطه بین هندسه برداشت روی سطح و تصویر حاصل از افق هدف از نظر تعداد نقاط برخورد، جهت حداکثر انتشار امواج همچنین کیفیت تصویر مطلوب می توان پارامترهای بهینه را انتخاب کرد.

در این پایان نامه به کمک ساخت مدل های مصنوعی از انواع مدل های پیچیده زمین شناسی به کمک روش ردیابی پرتو به عنوان روشی با دقت بالا و بازدهی قابل قبول برای مدل سازی لرزه نگاری سه بعدی، به طراحی اولیه پارامترهای هندسه برداشت عملیات پرداخته شده است. سپس با تجزیه و تحلیل داده های حاصل شده از مدل سازی انتشار امواج به کمک نقشه های شفافیت و نقشه های گل که در نرم افزار نورسار وجود دارند و

در این پایان نامه از این نرم افزار استفاده شده، پارامترهای کلیدی هندسه برداشت بهینه گردیده است.

در نتیجه تصاویری با پوشش نسبتاً کامل از جهت برخورد موج با لایه هدف بدست آمده است.

کلمات کلیدی: طراحی لرزه‌نگاری سه‌بعدی، ردیابی پرتو، مدل‌سازی انتشار امواج لرزه‌ای، نقشه‌های

گل، نقشه‌های شفافیت، مدل‌های سرعتی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

-۱

-۲

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۰
۱-۱ پیشگفتار.....	۲
۱-۲ تاریخچه.....	۵
۱-۳ ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم: طراحی عملیات سه بعدی و تعریف پارامترهای عملیات.....	۱۱
۱-۲ مراحل و پارامترهای طراحی.....	۱۲
۱-۲-۱ مکان چشمه و گیرنده.....	۱۳
۱-۲-۲ نوع چشمه.....	۱۳
۱-۲-۳ خانک یا سلول واحد.....	۱۴
۱-۲-۴ سلول نقطه میانی مشترک.....	۱۵
۱-۲-۵ قطعه.....	۱۶
۱-۲-۶ جهت‌ها.....	۱۶
۱-۲-۷ پوشش عمقی.....	۱۷
۱-۲-۸ دهانه کوچ.....	۱۸
۱-۲-۹ محدوده مخروطی پوشش عمقی.....	۱۹
۱-۲-۱۰ نقطه میانی مشترک.....	۱۹
۱-۲-۱۱ زاویه پراکنش.....	۲۰
۱-۲-۱۲ نسبت سیگنال به نوفه.....	۲۰
۱-۲-۱۳ دورافت.....	۲۱
۲-۲ نشانگرهای عملیاتی.....	۲۲
۲-۲-۱ توزیع دورافت.....	۲۲
۲-۲-۲ توزیع آزمون.....	۲۴
فصل سوم: مبانی کلی مدل سازی لرزه نگاری.....	۲۷

۲۸	۱-۳ مقدمه.....
۲۹	۳-۲ کاربرد مدل سازی لرزه نگاری.....
۲۹	۱-۲-۳ کاربرد در برداشت لرزه ای
۳۰	۲-۲-۳ کاربرد در پردازش لرزه نگاری
۳۱	۳-۲-۳ کاربرد در تفسیر لرزه ای.....
۳۱	۴-۲-۳ بررسی اثر نوفه
۳۱	۵-۲-۳ انواع مدل های لرزه ای
۳۶	۳-۳ ردیابی پرتو.....
۳۹	۴-۳ ساخت جبهه موج.....
۴۰	۵-۳ مدل سازی لرزه نگاری بر مبنای پرتو.....
۴۳	فصل چهارم: ساخت مدل های سرعتی و طراحی به روش متداول.....
۴۴	۱-۴ مقدمه.....
۴۴	۲-۴ مدل های سرعتی مصنوعی.....
۴۵	۱-۲-۴ ساخت مدل سرعتی
۴۵	۳-۴ ساخت انواع مدل مصنوعی با نرم افزار نورسار.....
۴۷	۲-۳-۴ مدل شیب دار
۴۸	۳-۳-۴ مدل گنبد نمکی
۴۸	۱-۳-۳-۴ نحوه ساخت مدل گنبد نمکی
۵۰	۴-۳-۴ مدل کیک لایه ای
۵۱	۵-۳-۴ مدل واقعی
۵۲	۴-۴ طراحی عملیات لرزه ای به روش متداول.....
۵۶	۴-۴-۱ طراحی متداول برای مدل ساده چندلایه
۵۷	۴-۴-۲ طراحی متداول برای مدل دارای گسل خوردگی
۵۸	۳-۴-۴ طراحی متداول برای مدل گنبد نمکی
۵۹	۴-۴-۴ طراحی متداول برای مدل بالارود
۶۰	۵-۴-۴ طراحی متداول برای مدل کیک لایه ای

۴-۵ ویژگی‌های نرم‌افزار در جهت طراحی عملیات.....	۶۱
۴-۵-۱ پرتوهای شفافیت.....	۶۱
۴-۵-۲ نقشه‌های شفافیت.....	۶۲
۴-۵-۳ نمودار گل.....	۶۴
فصل پنجم: بهینه‌سازی و طراحی عملیات لرزه‌ای سه‌بعدی.....	۶۷
۵-۱ بهینه‌سازی طراحی عملیات با استفاده از نرم‌افزار.....	۶۸
۵-۱-۱ بررسی نقشه شفافیت مدل‌های زمین‌شناسی با استفاده از پرتوهای شفافیت.....	۶۸
۵-۱-۱-۱ بهینه‌سازی با استفاده از نمودار گل.....	۶۹
۵-۱-۱-۲ بهینه‌سازی به کمک نمودار غیر وابسته به هندسه برداشت.....	۷۰
۵-۱-۱-۳ بهینه‌سازی به روش پرتو مستقیم.....	۷۱
۵-۲ مقایسه طراحی عملیات به روش متداول و بهینه.....	۷۲
۵-۲-۱ ارائه طراحی‌های بهینه و مقایسه آن با طراحی متداول.....	۷۲
۵-۲-۱-۱ مدل دارای گسل خوردگی.....	۷۳
۵-۲-۱-۲ مدل دارای گنبد نمکی.....	۷۶
۵-۲-۱-۳ مدل کیک لایه‌ای.....	۸۰
۵-۲-۱-۴ مدل بالارود.....	۸۳
فصل ششم: نتیجه‌گیری.....	۸۷
۶-۱ نتایج.....	۸۸
۶-۲ پیشنهادها.....	۸۹
مراجع.....	۹۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مطالعات پیشین انجام شده در جهت مدل سازی و بهینه سازی برداشت عملیات لرزه ای --- ۷
- جدول ۱-۳: بررسی انواع روش مدل سازی ----- ۳۲
- جدول ۱-۴: جدول معرفی پارامترها در روابط (۴-۱) تا (۴-۶) ----- ۵۵
- جدول ۲-۴: پارامترهای طراحی عملیات سه بعدی لرزه ای برای مدل ساده چهار لایه ----- ۵۶
- جدول ۳-۴: پارامترهای طراحی عملیات لرزه ای برای مدل دارای گسل خوردگی ----- ۵۷
- جدول ۴-۴: پارامترهای طراحی عملیات لرزه ای برای مدل گنبد نمکی ----- ۵۸
- جدول ۵-۴: پارامترهای طراحی عملیات لرزه ای برای مدل بالارود ----- ۵۹
- جدول ۶-۴: پارامترهای طراحی عملیات لرزه ای برای مدل کیک لایه ای ----- ۶۰
- جدول ۱-۵: مقایسه پارامترهای برداشت هندسه عملیات برای مدل دارای گسل خوردگی ----- ۷۶
- جدول ۲-۵: مقایسه پارامترهای برداشت هندسه عملیات برای مدل دارای گنبد نمکی ----- ۷۹
- جدول ۳-۵: مقایسه پارامترهای برداشت هندسه عملیات برای مدل کیک لایه ای ----- ۸۲
- جدول ۴-۵: مقایسه پارامترهای برداشت سه بعدی هندسه عملیات برای مدل بالارود ----- ۸۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: نمایی از خانک [23]..... ۱۴
- شکل ۲-۲: انواع سلول در عملیات سه‌بعدی [22]..... ۱۵
- شکل ۳-۲: اصطلاحات ژئومتریک لرزه‌نگاری سه‌بعدی [22]..... ۱۶
- شکل ۴-۲: نشان‌دهنده جهات چشمه و گیرنده [23]..... ۱۷
- شکل ۵-۲: نمودار رابطه پوشش عمقی با نسبت سیگنال به نوفه [18]..... ۱۸
- شکل ۶-۲: نمایش برخی اصطلاحات لرزه‌نگاری سه‌بعدی [18]..... ۱۹
- شکل ۷-۲: نقطه میانی مشترک [19]..... ۲۰
- شکل ۸-۲: بزرگ‌ترین دورافت حداقل در یک سلول که در خانک قرار دارد [18]..... ۲۱
- شکل ۹-۲: توزیع آزمون و دورافت در یک سلول نقطه میانی مشترک [18]..... ۲۳
- شکل ۱۰-۲: توزیع دورافت [18]..... ۲۴
- شکل ۱۱-۲: توزیع آزمون [20]..... ۲۵
- شکل ۱-۳: مدل‌سازی با استفاده از مدل اول با لبه و گوشه‌تیز، (الف) پرتوهای بازگشتی عمود بر ساختار مدل مصنوعی، (ب) لرزه‌نگاشت با استفاده از ردیابی پرتو، (ج) لرزه‌نگاشت با استفاده از روش اختلاف محدود [22]..... ۳۴
- شکل ۲-۳: مدل‌سازی با استفاده از مدل دوم با لبه و گوشه هموار، (الف) پرتوهای بازگشتی عمود بر ساختار مدل مصنوعی، (ب) لرزه‌نگاشت با استفاده از ردیابی پرتو، (ج) لرزه‌نگاشت با استفاده از روش اختلاف محدود [22]..... ۳۵
- شکل ۳-۳: مقطع مهاجرت یافته زمانی با استفاده از لرزه‌نگاشت ردیابی پرتو، (الف) مدل اول (ب) مدل دوم [22]..... ۳۵
- شکل ۴-۳: تولید لرزه‌نگاشت مصنوعی با استفاده از مدل زمین‌شناسی، ساخت امپدانس صوتی و هم‌آمیخته نمودن با موجک ورودی [35]..... ۴۱
- شکل ۱-۴: کنسول اصلی نرم‌افزار سه‌بعدی نورسار ۲۰۱۸..... ۴۶
- شکل ۲-۴: (الف) مدل چهارلایه ساده (ب) بلوک بندی مدل..... ۴۷
- شکل ۳-۴: (الف) مدل شیب‌دار (ب) بلوک‌بندی مدل شیب‌دار..... ۴۷

- شکل ۴-۴: (الف) مدل گنبد نمکی (ب) بلوک‌بندی لایه‌های مدل ۴۸
- شکل ۵-۴: لایه‌های اصلی مدل گنبد نمکی ۴۸
- شکل ۶-۴: محیط نرم‌افزار در مرحله ساخت مدل ۴۹
- شکل ۷-۴: ساخت مدل سرعتی گنبد نمکی ۴۹
- شکل ۸-۴: مدل نهایی گنبد نمکی ۵۰
- شکل ۹-۴: (الف) مدل کیک لایه‌ای (ب) بلوک‌بندی لایه‌های مدل کیک لایه‌ای ۵۰
- شکل ۱۰-۴: نمایش مدل سرعتی بالارود پس از اضافه کردن لایه‌های مدل در نرم‌افزار ۵۱
- شکل ۱۱-۴: نمایش لایه‌های مدل بالارود ۵۱
- شکل ۱۲-۴: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل ساده ۵۶
- شکل ۱۳-۴: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل دارای گسل خوردگی ۵۷
- شکل ۱۴-۴: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل گنبد نمکی ۵۸
- شکل ۱۵-۴: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل بالارود ۵۹
- شکل ۱۶-۴: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل کیک لایه‌ای ۶۰
- شکل ۱۷-۴: نمای کلی روش کار پرتو شفافیت در نرم‌افزار نورسار ۶۲
- شکل ۱۸-۴: اصول کلی تولید نقشه‌های شفافیت هر نقطه درون سلول مربوط به یک جفت چشمه و گیرنده است [37]. ۶۳
- شکل ۱۹-۴: نقشه شفافیت ۶۴
- شکل ۲۰-۴: پرتوهای تابیده شده از لایه هدف به سمت گیرنده‌های ثابت سطح برای محاسبه نمودار گل [37]. ۶۵
- شکل ۲۱-۴: نمودار نقشه گل ۶۶
- شکل ۲۲-۴: نمایش اطلاعات مربوط به شفافیت در دامنه دورافت - آزمون [37]. ۶۶
- شکل ۱-۵: شکل نمودار گل از مدل بالارود. ۶۹
- شکل ۲-۵: نمودار غیر وابسته به هندسه برداشت مدل گنبد نمکی ۷۰
- شکل ۳-۵: پرتو مستقیم در قسمتی از مدل دارای گسل خوردگی ۷۱

- شکل ۴-۵: موج مستقیم در مدل کیک لایه‌ای ۷۲
- شکل ۵-۵: مدل دارای گسل خوردگی (الف) نشان‌دهنده طراحی عملیات به روش متداول (ب) نشان‌دهنده نقشه شفافیت با هندسه برداشت در قسمت (الف) ۷۳
- شکل ۶-۵: نشان‌دهنده روش نقشه برخورد غیر وابسته به هندسه برداشت ۷۴
- شکل ۷-۵: بهینه‌سازی مدل دارای گسل خوردگی (الف) نقشه شفافیت پیش از بهینه‌سازی هندسه برداشت (ب) نقشه شفافیت پس از بهینه‌سازی هندسه برداشت ۷۵
- شکل ۸-۵: طراحی عملیات به روش متداول برای مدل گنبد نمکی ۷۶
- شکل ۹-۵: نقشه شفافیت از طراحی متداول ۷۷
- شکل ۱۰-۵: روش‌های به‌کاررفته برای بهینه‌سازی نقشه شفافیت مدل دارای گنبد نمکی شکل (الف) از روش پرتو مستقیم استفاده‌شده است شکل (ب) از روش برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی استفاده شده است. ۷۸
- شکل ۱۱-۵: بهینه‌سازی هندسه طراحی عملیات برای مدل دارای گنبد نمکی شکل (الف) طراحی بهینه هندسه برداشت عملیات شکل (ب) نقشه شفافیت به‌دست‌آمده از طراحی بهینه ۷۹
- شکل ۱۲-۵: طراحی سه‌بعدی برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل کیک لایه‌ای ۸۰
- شکل ۱۳-۵: نقشه شفافیت از طراحی سه‌بعدی عملیات لرزه‌نگاری بر روی مدل کیک لایه‌ای ۸۰
- شکل ۱۴-۵: بهبود دریافت اطلاعات از نقشه شفافیت ۸۱
- شکل ۱۵-۵: استفاده از روش برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی ۸۱
- شکل ۱۶-۵: بهبود در نقشه شفافیت شکل (الف) بازطراحی هندسه برداشت جهت بهبود نقشه شفافیت شکل (ب) نقشه شفافیت بهبودیافته ۸۲
- شکل ۱۷-۵ (الف) هندسه طراحی شده به روش متداول (ب) نقشه شفافیت از مدل بالارود با طراحی هندسه برداشت سه‌بعدی به روش متداول ۸۳
- شکل ۱۸-۵: به دست آوردن آزمون مناسب نقاط تعیین‌شده با استفاده از نقشه‌های گل ۸۴
- شکل ۱۹-۵: نقشه برخورد نقاط تعیین‌شده از لایه موردنظر برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی ۸۴
- شکل ۲۰-۵: شکل مقایسه نقشه شفافیت شکل (الف) نقشه شفافیت پیش از طراحی بهینه شکل (ب) نقشه شفافیت پس از طراحی بهینه ۸۵

فصل اول: مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

عملیات لرزه‌نگاری، پردازش اطلاعات حاصل از عملیات لرزه‌نگاری همچنین تفسیر اطلاعات پس از پردازش برای شناسایی وضعیت ساختارهای زیرسطحی زمین بکار می‌روند. با توجه به اینکه ساختارهای زیرسطحی سه‌بعدی هستند لذا ممکن است عملیات و پردازش داده‌های لرزه‌نگاری دوبعدی برای شناسایی آن‌ها کافی نباشد اما عملیات دوبعدی در ساختار ساده می‌توانند تا حد زیادی مفید واقع گردند. ولی در مناطقی که ساختارهای زیرسطحی پیچیده باشند، این اطلاعات کمک چندانی نمی‌کنند و باید در این مناطق از عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی استفاده نمود. یکی از مسائلی که می‌تواند در زمان و هزینه انجام عملیات سه‌بعدی لرزه‌نگاری تأثیر بسزایی داشته باشد، طراحی دقیق و مناسب عملیات لرزه‌نگاری می‌باشد.

هدف از هر طراحی عملیات لرزه‌نگاری، تعیین پارامترهای بهینه عملیات جهت دستیابی به بهترین نتایج در حضور موانع سطحی و زیرسطحی هست. از جمله موانع سطحی موجود می‌توان به وجود جاده‌ها، ساختمان‌ها، کارخانه‌ها، ابنیه شهری و موانع زیرسطحی به کانال‌های انتقال آب زیرزمینی، وجود ساختارهایی همچون گنبد نمکی که مانع دریافت تصویر زیر خود می‌شوند اشاره نمود. به‌طور میانگین ۷۵ درصد هزینه پروژه لرزه‌نگاری در مرحله عملیات، ۱۸ درصد در پردازش و ۷ درصد در تفسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد [1].

یکی از گزینه‌هایی که می‌تواند کمک کند تا با حداقل زمان و هزینه به نتیجه مناسبی دست‌یافت طراحی دقیق مناسب با هدف مورد نظر است. فاکتورهای مالی یکی از عوامل مهم در انجام عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی می‌باشد. گروه اکتشافی باید به‌وسیله چگالی شبکه‌بندی مناسب و استفاده از سازندهای زمین‌شناسی تعیین‌شده توسط چاه‌های موجود یک طراحی مناسب عملیات سه‌بعدی لرزه‌نگاری را ارائه دهند تا هم از نظر اقتصادی و هم از نظر کیفیت داده‌ها مورد قبول قرار گیرند. با توجه به اینکه عملیات لرزه‌نگاری به‌عنوان یک فرآیند برگشت‌ناپذیر تلقی می‌گردد و بیشترین هزینه در یک

پروژه لرزه‌نگاری سه‌بعدی مربوط به این قسمت می‌باشد، بنابراین نیاز است که طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری مناسبی قبل از انجام عملیات صورت گیرد. روش‌های متداول در طراحی پارامترهای عملیات برداشت لرزه‌نگاری در مناطقی که پیچیدگی ساختاری سطحی و زیرسطحی پایینی دارند تا حدی می‌تواند پاسخگو باشد اما در این روش‌ها، طراح عملیات لرزه‌نگاری جهت تعیین پارامترهای عملیات به‌عنوان مثال آزمون برداشت عملیات لرزه‌نگاری، میزان دورافت، دهانه کوچ و سایر پارامترها به دلیل محدودیت در اطلاعات سطحی و زیرسطحی در دسترس، با مشکلات متعددی روبرو است. در روش‌های متداول، طراحی و تجزیه و تحلیل هندسه برداشت بر اساس نقطه میانی مشترک بوده و از یک سری قوانین و فرمول‌ها در حضور فرضیاتی همچون لایه‌های همگن تبعیت می‌کنند [1,2,3].

هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری باید طوری باشد که بتواند هم سیگنال را حفظ کند هم نوفه را به کمترین میزان در داده‌های به‌دست آمده برساند. هدف از دستیابی و پردازش داده‌های لرزه‌ای رسیدن به یک ساختار زیرسطحی درست و دقیق است. اکتشاف لرزه‌ای سه‌بعدی یک روش ژئوفیزیکی است که در صنعت نفت در حال رشد و توسعه قرار گرفته است. این یک فناوری کامل است که توانایی ارائه تصاویر سه‌بعدی دقیق از ساختار زیرسطحی برای بررسی و تفسیر ساختاری و چینه‌شناسی ذخایر را دارد. در کاربردهای نفت و گاز، عملیات لرزه‌ای سه‌بعدی یک فناوری قابل‌اعتماد است که به‌شدت بر همه جنبه‌های اکتشاف تأثیر گذاشته و توسعه یافته است که اولین بار در ۲۵ سال پیش مورد استفاده قرار گرفته است. از مقایسه امواج مهاجرت داده شده در برداشت‌های دوبعدی و سه‌بعدی در یک منطقه می‌توان شاهد اختلافاتی بود که علت آن وجود دقت بیشتر در برداشت سه‌بعدی نسبت به برداشت دوبعدی است. چون در برداشت سه‌بعدی دریافت سیگنال از جهات بیشتری نسبت به برداشت دوبعدی انجام می‌گیرد [4].

اجرای عملیات سه‌بعدی برای یک منطقه دارای مساحت زیاد با هزینه‌های زیادی همراه هست که علت آن افزایش تعداد برداشت و ثبت سیگنال از همه جهات است، البته این نوع برداشت باعث بهبود کیفیت در دریافت داده‌ها می‌شود، انجام بهینه‌سازی طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی برای به دست

آوردن داده‌های باکیفیت با در نظر گرفتن به حداقل رساندن میزان هزینه‌ها انجام می‌گیرد که تعیین میزان هزینه با توجه به بودجه و اهداف پروژه تعیین می‌شود [5].

طراحی عملیات لرزه‌نگاری به بسیاری از داده‌های مختلف بستگی دارد. پارامترها و محدودیت‌های قراردادن خطوط چشمه و گیرنده‌ها باید با نگاه به نتایج مورد انتظار از انجام پروژه تعیین گردد. قبل از شروع یک پروژه طراحی عملیات سه‌بعدی لرزه‌نگاری، باید درک کاملی از پارامترهای کلیدی برداشت عملیات وجود داشته باشد [6].

انواع روش‌های مدل‌سازی شامل اختلاف محدود، المان محدود، المان طیفی و ردیابی پرتو می‌باشد که هر کدام از این روش‌ها با توجه به مزایا و معایب خاص خود دارای کاربرد مشخص خود می‌باشند. روش اختلاف محدود از حل معادله موج صورت می‌گیرد و با انواع امواج بازتابی، تبدیلی، پراشی و موج سر سروکار دارد. این روش اگرچه نتایج خوبی نسبت به واقعیت ارائه می‌دهد اما زمانی که نیاز به مدل‌سازی با حجم اطلاعات بالا باشد به دستگاه‌های پیشرفته محاسباتی نیازمند بوده و جزو روش‌های گران به حساب می‌آید. اعلائی و پترسون، از روش اختلاف محدود به هدف ساخت مقطع محلی دوبعدی در کمربند چین‌خوردگی زاگرس استفاده نموده‌اند. رحیمی دلخانی و همکاران انتشار امواج را با دو روش المان محدود و المان طیفی بررسی نموده‌اند و دقت بازدهی در هر روش را در حیطه فرکانس مورد ارزیابی قرار دادند [7].

روش‌های ردیابی پرتو از جمله روش‌های سریع و با دقت بالا هستند که امروزه به‌عنوان یکی از روش‌های متداول برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس تئوری موج محاسبه زمان سیر و دامنه در مسیر بین چشمه و گیرنده می‌باشد که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد. از روش ردیابی پرتو در طراحی برداشت، وارون‌سازی سرعت و تولید رد لرزه‌های مصنوعی استفاده می‌شود این روش یک پروسه هدف محور است که با استفاده از مدل هموار با بازدهی و انعطاف بالا ساخته می‌شود [8]. قابلیت شبیه‌سازی انتشار موج و همچنین بازدهی محاسباتی بالا دو مزیت اصلی این روش هست [9,10,11].

۲-۱ تاریخچه

سوارز سه هندسه برداشت لرزه‌نگاری سه‌بعدی (عمود بر هم، مثلثی و آجری) را برای منطقه ماکال ونزوئلا طراحی کرد. برای هندسه عمود برهم اندازه سلول را 25×25 مترمربع، پوشش ۳۵ بافاصله خطوط چشمه و خطوط گیرنده ۴۵۰ و ۵۰۰ متر و بیشترین دورافت ۴۰۰۲ متر را در نظر گرفت. بعضی از این پارامترها مانند فاصله خطوط چشمه برای هندسه‌های دیگر متفاوت فرض کرد. او از مدل‌سازی بر مبنای موج برای بهینه‌سازی پارامترهای برداشت بر اساس هدف انجام عملیات لرزه‌نگاری در منطقه موردنظر استفاده نمود و با بررسی‌هایی که انجام گرفته به این نتیجه رسید، الگوی خطوط چشمه و گیرنده عمود بر هم نتایج بهتر و هزینه عملیات کمتری را به دست می‌دهد. امروزه مدل‌سازی برداشت لرزه‌ای نقش مهمی را در تعیین پارامترهای بهینه برداشت لرزه‌نگاری به‌منظور اهداف مختلف ژئوفیزیکی ایفا می‌کند. با این روش یک ژئوفیزیکست می‌تواند با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در پروژه از جمله محدودیت‌های فنی و مالی پارامترهای برداشت مناسب با منطقه مورد مطالعه را تعیین نماید [11].

آلوارز و همکاران با طراحی عملیات برداشت سه‌بعدی از مدل‌سازی ردیابی پرتو استفاده کردند آن‌ها با پرتاب پرتوها از نقاط مختلف به سمت هدف، نشان دادند که می‌توان با کاهش تعداد چشمه‌ها نتایج قابل قبولی را به دست آورد [12].

اولیوریا و همکاران، پارامترها را نسبت به طول استریم $5/7$ و ۸ کیلومتر با دورافت ۱۶ کیلومتر تعیین نمودند. در حالت اول دو چشمه با ۲۵ متر فاصله چشمه‌ها و در حالت دوم چهار چشمه بافاصله چشمه ۵۰ متر و در همان جهت برداشت اول در نظر گرفتند. آن‌ها از نرم‌افزارهای MESA و NORSAR برای تحلیل اثر پارامترهای مختلف روی نقشه برخورد استفاده کردند. نقشه‌های شفافیت عمقی، اطلاعات ارزشمندی در خصوص ارتباط بین هندسه برداشت سطح با تعداد نقاط برخورد بر لایه برخورد در لایه هدف می‌دهد و برای هر جفت چشمه و گیرنده نقطه بازتابی روی لایه هدف را می‌توان مدل کرد. درواقع

این نوع نقشه‌ها با نقاط بازتابی مشترک سروکار دارند. تعداد این نقاط به پوشش سطحی، دورافت و آزمون ارتباط دارد [13].

میرسا و همکاران بیان کردند یک نقشه شفافیت مناسب می‌تواند تصویر دریافت شده از لایه‌های زیرزمین را بهبود بخشیده و هزینه عملیات به دلیل کاهش شوت مجدد را کاست [14].

صفارزاده و همکاران با استفاده از مطالعات نقشه‌های شفافیت و همچنین نقشه گل آزمون بهینه برداشت عملیات لرزه‌نگاری را در یکی از میدان‌های نفتی ایران تعیین کردند. آن‌ها همچنین برخی پارامترهای عملیات برداشت لرزه‌نگاری را با کمک مدل‌سازی بهینه کردند [15]. لکامت و همکاران از تئوری پرتو برای تخمین اپراتور هم‌میخت قبل از برانبارش و استفاده از مدل‌های بازتاب برای تهیه تصویر مهاجرت عمقی قبل از برانبارش استفاده کرده و به بررسی معایب و مزایای استفاده از دو روش مدل‌سازی ردیابی پرتو و تفاضل متناهی پرداخته‌اند [16].

صفارزاده و همکاران به بررسی استفاده از مدل‌سازی لرزه‌نگاری در بهبود تصویر از سطح گسل دریکی از میدان‌ها نفتی ایران پرداختند. در مناطق گسلی اطلاعات برداشت‌شده اغلب کیفیت پایینی دارند و این به دلیل پوشش شفافیت ضعیف در این مناطق است. با انتخاب پارامترهای بهینه برداشت لرزه‌نگاری می‌توان برای هدف خاص شفافیت را افزایش داد که این باعث بهبود کیفیت تصویر از گسل خواهد شد. هدف اصلی از این مطالعه بررسی پاسخ لرزه‌ای امواج در برخورد با افق هدف و تأثیر برخی از پارامترهای مختلف عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی روی نمایش دامنه و قدرت تفکیک لایه هدف با استفاده از مدل-سازی امواج به روش ردیابی پرتو می‌باشد. در جدول (۱-۱) به‌طور خلاصه مطالعات انجام شده و پیشرفت‌های صورت گرفته در خصوص مدل‌سازی و طراحی عملیات لرزه‌نگاری به اختصار بیان‌شده است [17].

جدول ۱-۱: مطالعات پیشین انجام شده در جهت مدل سازی و بهینه سازی برداشت عملیات لرزه ای

اشتون و همکاران، ۱۹۹۴	مقایسه ای بین هزینه برداشت عملیات لرزه نگاری قبل و بعد از طراحی مناسب عملیات لرزه نگاری دریایی داشتند.
اسلاسون و مانک، ۱۹۹۵	روش اساسی برای طراحی عملیات سه بعدی لرزه نگاری بیان کردند.
کوردسن و لاتون، ۱۹۹۶	طراحی آرایش های سه بعدی سه مؤلفه ای را انجام دادند.
ورمیر، ۱۹۹۸	تئوری جامع برای یک هندسه سه بعدی قابل قبول معرفی کرد همچنین گسترش روش دوبعدی معرفی شده توسط ایشان بود
موسر و کاپیوس، ۱۹۹۸	برتری های طراحی آرایش های سه بعدی لرزه نگاری
ورمیر، ۲۰۰۱	اصول اساسی عملیات سه بعدی لرزه نگاری
گیسون و زیمس، ۲۰۰۲	بحث بر روی اندازه گیری های کمی قدرت تفکیک تصویر برای طراحی برداشت لرزه نگاری داشتند.
لکامت و همکاران، ۲۰۰۳	یک روش شبیه سازی مهاجرت عمقی قبل از بر انبارش معرفی کردند که می تواند بدون نیاز به پردازش داده های مصنوعی قدرت تفکیک و شفافیت سه بعدی را به دست دهد
سوارز، ۲۰۰۴	سه هندسه برداشت لرزه نگاری سه بعدی را برای منطقه ماکال ونزوئلا طراحی کرد.
تورابلوس و همکاران، ۲۰۰۸	بهینه سازی طراحی لرزه ای سه بعدی با موانع عمده را بر روی منطقه تونس مرکزی انجام دادند.
سیرلس و همکاران، ۲۰۰۶	بیان کردند که مدل سازی می تواند در حین عملیات لرزه نگاری نیز مورد استفاده قرار گیرد.
لویی شووی و همکاران، ۲۰۰۶	هندسه روشنایی کنترل شده و طراحی عملیات لرزه ای برای تصویربرداری از هدف مورد مطالعه
گویستال و همکاران، ۲۰۰۷	بیان کردند که برای هر طراحی برداشت و مطالعات شفافیت روی پاسخ بازتاب یک بازتابنده از افق هدف، می توان مستقیماً با استفاده از روش ردیابی پرتو نقشه های دامنه مهاجرت یافته شبیه سازی نمود.
اولیوریا و همکاران، ۲۰۰۹	آن ها از نرم افزارهای NORSAR و MESA برای تحلیل اثر پارامترهای مختلف روی نقشه برخورد استفاده کردند.
استورک، ۲۰۱۳	روش های متعددی برای تحلیل شفافیت مطرح نمود و از روش مهاجرت زمان معکوس برای تصویر کردن اطلاعات دریافتی استفاده کرد.
جوش کان، ۲۰۱۴	به مطالعه و بررسی طراحی پارامترهای لرزه نگاری سه بعدی با استفاده از ردیابی پرتو در یکی از گنبد های نمکی تگزاس پرداخته است.
ماهادوا و همکاران، ۲۰۱۷	پارامترهای بهینه برداشت لرزه نگاری را با بررسی نقشه های شفافیت در ساختارهای زیرزمین در یکی از مناطق هند محاسبه نمودند.
صفرزاده و همکاران، ۲۰۱۷	با استفاده از مطالعات نقشه های شفافیت و همچنین نقشه های گل، آزیموت بهینه برداشت عملیات لرزه نگاری را در یکی از میادین نفتی تعیین کردند.
صفرزاده و همکاران، ۲۰۱۸	با استفاده از تجزیه و تحلیل هایی بر مبنای پرتو به بررسی پارامترهای بهینه عملیات لرزه نگاری سه بعدی پرداختند.

۳-۱ ساختار پایان نامه

هدف اصلی از انجام این مطالعه رسیدن به بهترین تصویر از ساختارهای زیرسطحی پیچیده زمین شناسی و مطالعه بررسی پاسخ لرزه‌ای امواج در برخورد با افق هدف و شناسایی آن‌ها به کمک طراحی بهینه پارامترهای مختلف عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی بر روی مدل‌های مصنوعی است تا با رسیدن به این هدف بتوان در جهت صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های انجام عملیات لرزه‌نگاری گامی مؤثر برداشت. در این پایان‌نامه در فصل دوم یک سری از پارامترهای کلیدی طراحی عملیات لرزه‌نگاری در خشکی به تفصیل توضیح داده شده است، همچنین طراحی عملیات سه‌بعدی و نحوه ارزیابی طراحی عملیات با نشانگرهای توزیع آزمون و دورافت بیان می‌گردد. در فصل سوم به کلیاتی در خصوص مدل‌سازی پیشرو در داده‌های لرزه‌ای پرداخته می‌شود. فصل چهارم به معرفی مدل مصنوعی و نحوه تولید آن با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی نورسار و طراحی صورت گرفته به روش متداول با استفاده از روابط موجود در کتاب کوردسن همچنین ارزیابی آن پرداخته شده است.

در فصل پنجم به بیان بازطراحی صورت گرفته بر اساس مدل‌سازی پیشرو و ارزیابی نتایج حاصل شده، پرداخته شده است. سپس سعی بر این است با مدل‌سازی به روش ردیابی پرتو و بررسی نقشه‌های گل، نقشه‌های شفافیت و نمودار موج مستقیم که توسط مدل به کمک نرم‌افزارهای طراحی عملیات لرزه‌ای در عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی حاصل می‌شوند به تجزیه و تحلیل ارتباط بین هندسه برداشت در سطح و تصویر خروجی لایه هدف از جهت تعداد نقاط برخورد، در راستای بیشترین جهت انتشار امواج و همچنین قدرت تفکیک پرداخت. سپس با در نظر گرفتن شرایط انجام پروژه از جمله محدودیت‌های فنی، مالی، زمانی و کیفیت تصویر موردنظر به بهینه‌سازی و انتخاب پارامترها رسید.

همچنین قابل مشاهده است با استفاده از مدل‌سازی در طراحی عملیات لرزه‌نگاری می‌توان به بررسی و تأثیر پارامترها پی برد و در جهت مناسب‌ترین میزان از آن‌ها به نتیجه مطلوبی از کیفیت اطلاعات و

کاهش هزینه‌ها به واسطه کاهش تعداد ایستگاه‌های چشمه دستیافت، و در نهایت در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادها صورت گرفته ارائه شده است.

فصل دوم: طراحی عملیات سه بعدی و تعریف پارامترهای عملیات

۲-۱ مراحل و پارامترهای طراحی

پارامترهایی وجود دارد که باید تخمین زده شوند تا به عنوان ورودی هنگام طراحی عملیات سه بعدی استفاده شوند این مفاهیم فیزیکی تا حدودی بستگی به این که عملیات دوبعدی یا سه بعدی باشند و یا هدف ما از برداشت شناسایی چگونه ساختاری است متفاوت هستند. برای داشتن یک طراحی موفق نیاز است چهار مرحله اصلی طی شود:

مرحله اول مشخص نمودن هدف، محدودیت‌ها، بودجه و زمان وجود دارد. هدف از برداشت لرزه نگاری می‌تواند شناسایی اهداف ساختمانی یا چینه‌ای باشد. قدرت تفکیک مورد نیاز و کیفیت اطلاعات مورد نیاز نسبت به بودجه و محدودیت‌های پیش‌رونده در عملیات، باید بررسی شود. مطالعه و بررسی این موارد می‌تواند در تعیین پارامترهایی همچون دورافت و فواصل چشمه و گیرنده کمک نماید.

مرحله دوم باید تعیین گردد با توجه به این موضوع که منطقه مورد نظر برای اولین بار است که مورد برداشت لرزه نگاری قرار گرفته است یا اینکه برداشت‌های لرزه نگاری قدیمی وجود دارد. اطلاعات لرزه-نگاری قدیمی کمک زیادی در شناخت پاسخ زمین و بهبود کیفیت اطلاعات برداشت شده، همچون نوفه، محتوای فرکانسی و مقدار مورد نیاز انرژی چشمه می‌نماید. بعد از مطالعات گسترده در این مرحله، در مرحله سوم نوبت به طراحی می‌رسد، اطلاعاتی همچون داده‌های لرزه نگاری قبلی، گزارش‌های زمین-شناسی، اطلاعات نمودارهای چاه‌نگاری، عمق هدف، بیشترین شیب، خصوصیات مورد انتظار سیال برای تعیین پارامترهای اولیه عملیات لرزه نگاری مورد نیاز هست.

در مرحله نهایی طراحی، انطباق طراحی انجام شده با واقعیت‌های سطح زمین است. بنا به دلایل مختلف همچون نزدیکی به چاه‌های تولیدی، کانال آب، لوله‌های انتقال نفت و گاز تأسیسات مختلف نیاز است تا با کمترین اثر روی تصویر نهایی پارامترهای مختلف تغییر یابند. برخی از پارامترهای اساسی و مهم در برداشت عملیات لرزه نگاری سه بعدی خشکی در این به اختصار مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱-۱ مکان چشمه و گیرنده

تمامی فاصله گیرنده‌ها، فاصله چشمه‌ها، خطوط چشمه، فاصله خطوط گیرنده جهت خطوط گیرنده از پارامترهای مهمی هستند که به‌طور مستقیم بر محل قرارگیری چشمه و گیرنده مرتبط هستند.

۲-۱-۲ نوع چشمه

انتخاب نوع چشمه مناسب در عملیات لرزه‌نگاری به دلیل ارتباط مستقیم باکیفیت و وضوح تصویر همچنین نسبت سیگنال به نوفه بسیار حائز اهمیت است. انتخاب نوع چشمه بستگی به پنج عامل دارد:

✓ میزان نفوذ به عمق موردنظر

✓ پهنای باند برای وضوح هدف موردنظر

✓ ویژگی سیگنال به نوفه

✓ نوع محیط هدف

✓ در دسترس بودن و هزینه چشمه

به‌طور کلی چشمه‌های متداول در خشکی دو نوع هستند:

✓ انفجاری (دینامیت)

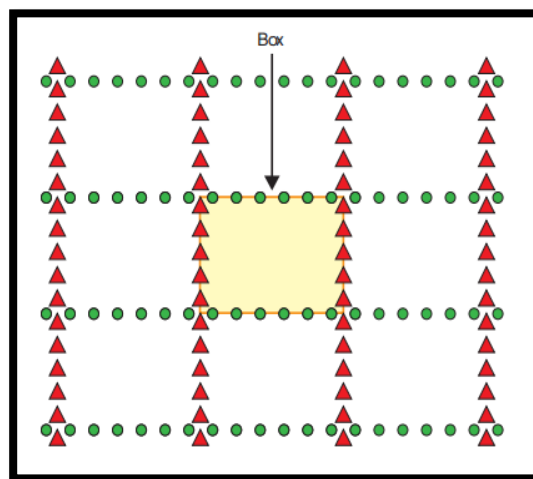
✓ غیر انفجاری (ویبراتور)

چشمه‌های انفجاری هزینه و زمان بیشتری نسبت به غیر انفجاری‌ها دارند اما مناسب‌تر برای مناطق غیر هم‌سطح هستند و کیفیت داده بالاتری دارند. در مقابل، غیر انفجاری‌ها از هزینه و زمان کمتری

در عملیات برخورد دارند البته کیفیت داده نسبتاً ضعیف‌تری دارند و فقط مناسب مناطق هم‌سطح و دشتی هستند.

۲-۱-۳ خانک یا سلول واحد^۱

در زمانی که شبکه‌بندی لرزه‌ای سه‌بعدی به صورت طراحی متعامد^۲ باشد، در این صورت خانک^۳ مربوط به منطقه‌ای است که احاطه شده توسط دو خط گیرنده متوالی (با فاصله Ry) و دو خط چشمه متوالی (فاصله Sx) این منطقه کوچک‌ترین منطقه از یک عملیات سه‌بعدی است (شکل ۱-۲). در یک شبکه-بندی، سلول نقطه میانی مشترک در سلول واحد یا جعبه برای هر جفت گیرنده و فرستنده قرار دارد. در تمام دورافت‌های حداقل در سلول‌های نقاط عمقی مشترک، میزان دورافت حداقل در سلول مرکز جعبه دارای بزرگ‌ترین دورافت می‌باشد [18].



شکل ۱-۲: نمایی از خانک [۲۳].

¹ united-cell box

² Orthogonal

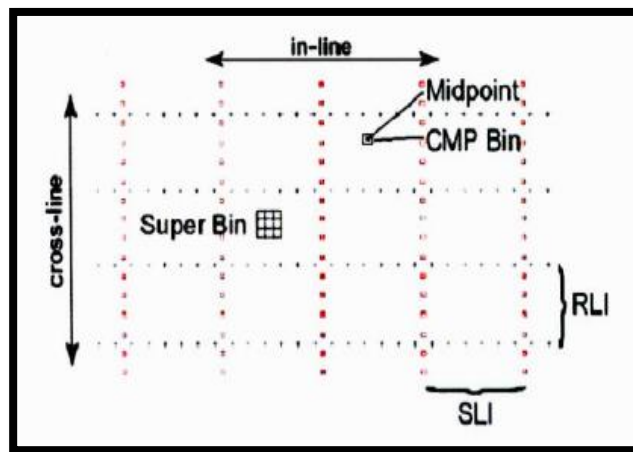
³ Bin

۲-۱-۴ سلول نقطه میانی مشترک^۱

سلول منطقه‌ای مستطیل شکل با ابعاد نصف فاصله چشمه در نصف فاصله گیرنده است، که در مرکز جعبه قرار می‌گیرد. بطوریکه اطلاعات ردلرزه‌های موجود در سلول از برانبارش در یک نقطه میانی مشترک به دست می‌آیند (شکل ۲-۲)، و مجموعاً پوشش عمقی آن سلول را تعیین می‌کند. همچنین اندازه سلول بر روی قدرت تفکیک افقی تأثیر می‌گذارد به همین منظور اندازه سلول باید دقیق محاسبه گردد. اندازه سلول معمولاً با بررسی پارامترهای اندازه هدف، فرکانس ماکزیمم غیرالیاسینگ یا نصف فرکانس نایکوئیست و قدرت تفکیک افقی محاسبه می‌شود. رابطه محاسبه اندازه سلول به صورت زیر است [18]:

$$b = \frac{V_{\min}}{(4 \times f_m \times \sin \theta)}, \quad (۱-۲)$$

که b اندازه سلول، f_m بیشترین فرکانس مورد انتظار، θ بیشترین شی‌ب و $V_{\min}$ کمترین سرعت است.

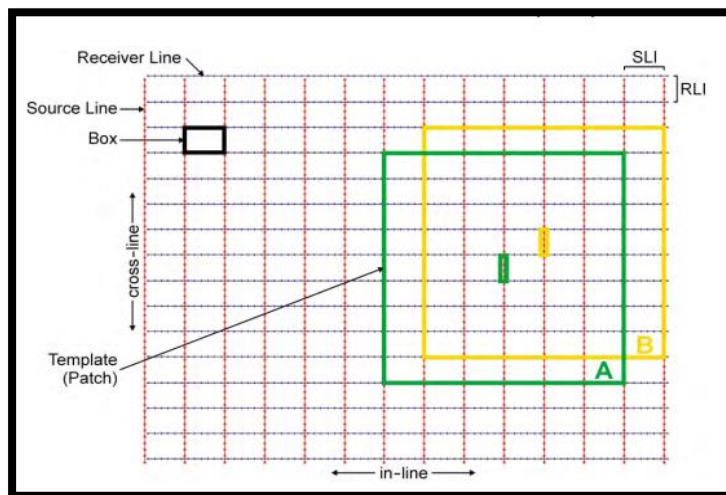


شکل ۲-۲: انواع سلول در عملیات سه بعدی [۲۲].

^۱ Cmp Bin

۲-۱-۵ قطعه^۱

به هندسه تمامی گیرنده‌های فعال که از یک چشمه مشخص در عملیات سه‌بعدی اطلاعات دریافت می‌کنند یک قطعه می‌گویند. معمولاً قطعه‌ها به شکل مستطیل که از چندین خط گیرنده موازی و یک چشمه تشکیل می‌شوند (شکل ۲-۳) به این صورت است که با حرکت بر روی الگوی موردنظر دیگر قسمت‌های الگو را هم در برمی‌گیرد چون مختصات ایستگاه‌های چشمه و گیرنده جابجا می‌شود.



شکل ۲-۳: اصطلاحات ژئومتریک لرزه‌نگاری سه‌بعدی [۲۲].

۲-۱-۶ جهت‌ها

در طراحی عملیات دو جهت در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲-۴):

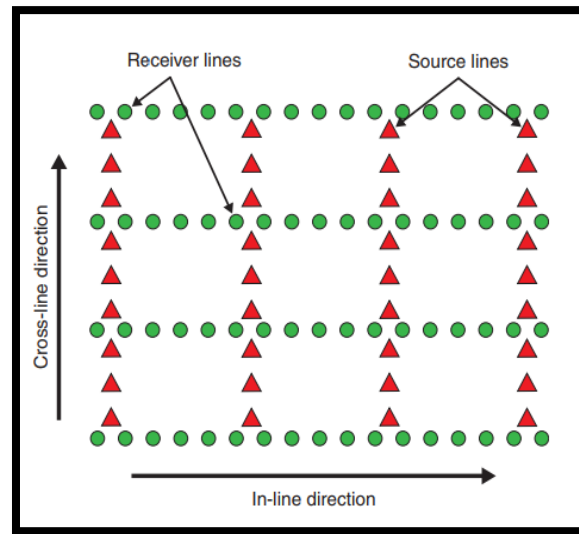
جهت خط گیرنده^۲: این جهت با خطوط گیرنده موازی است نمونه‌های برداشت شده در این جهت دقیق است.

جهت خط چشمه^۳: این جهت عمود بر خطوط گیرنده است.

¹ Patch

² In-line direction

³ Cross-line direction



شکل ۲-۴: نشان‌دهنده جهات چشمه و گیرنده [۲۳].

۲-۱-۷ پوشش عمقی^۱

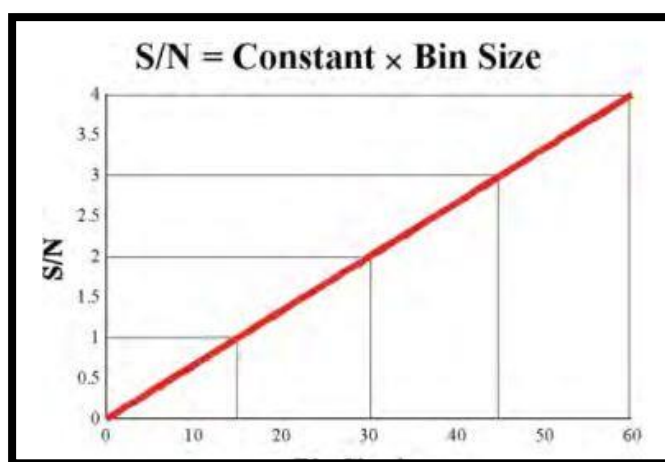
به تعداد نقاطی که در یک سلول نقطه میانی مشترک برانبارش می‌شوند را پوشش عمقی می‌گویند. مقدار پوشش عمقی به بهبود رابطه سیگنال به نوفه کمک می‌کند (شکل ۲-۵). در طراحی عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی معمولاً پوشش نصف تعداد پوشش در حالت دوبعدی در نظر گرفته می‌شود. مقدار پوشش کلی در حالت برداشت سه‌بعدی از حاصل ضرب پوشش در راستای خط و عمود بر آن به دست می‌آید، رابطه (۲-۴) [18].

$$in - line fold = \frac{number\ of\ receivers \times receiver\ interval}{2 \times source\ line\ interval} \quad (2-2)$$

$$cross - line fold = \frac{number\ of\ receiver\ liners \times receiver\ line\ interval}{2 \times receiver\ line\ i\ interval} \quad (3-2)$$

$$total\ fold = in - line\ fold \times cross - line\ fold \quad (4-2)$$

² Fold



شکل ۲-۵: نمودار رابطه پوشش عمقی با نسبت سیگنال به نوفه [18].

۲-۱-۸ دهانه کوچ^۱

دهانه کوچ منطقه‌ای است که به عنوان حاشیه‌ای تعریف شده است، که در عملیات سه‌بعدی باید اضافه شود به منظور مهاجرت صحیح پدیده‌های شیب‌دار (پدیده‌های شیب‌دار را توسط کوچ دادن به موقعیت اولیه خود برمی‌گرداند). (شکل ۲-۶). یکی از برتری‌های عملیات سه‌بعدی نسبت به عملیات دوبعدی همین کوچیدن اطلاعات است که باعث نزدیک شدن به ساختار واقعی زمین می‌شود. امروزه اهمیت محدوده کوچ در الگوریتم‌های مهاجرت پیش از برانبارش بیش از گذشته وجود دارد. محدوده کوچ در سرعت ثابت و لایه‌های همگن به صورت زیر محاسبه می‌گردد [18].

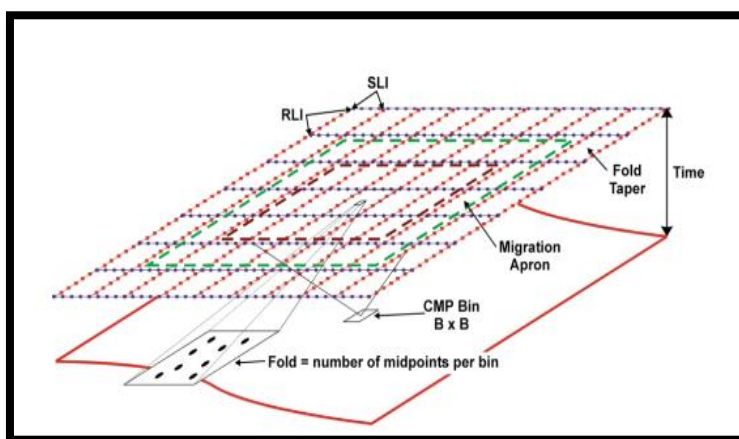
$$MA = z \tan \theta \quad (۲-۵)$$

که در آن MA محدوده کوچ، z عمق و θ زاویه شیب بازتابنده است.

¹ Migration aperture

۲-۱-۹ محدوده مخروطی پوشش عمقی^۱

پهنای منطقه‌ای که لازم است به منطقه سطحی سه‌بعدی لرزه‌نگاری اضافه شود تا میزان پوشش عمقی تکمیل گردد (شکل ۶-۲). در این منطقه مقداری هم‌پوشانی بین محدوده مخروطی پوشش عمقی و محدوده کوچ وجود دارد. پهنای این حاشیه الزاماً در جهت خطوط چشمه و گیرنده یکی نمی‌باشد و می‌توان آن را محاسبه نمود. معمولاً در طراحی برداشت این مقدار را یک‌چهارم ابعاد قطعه در نظر می‌گیرند.



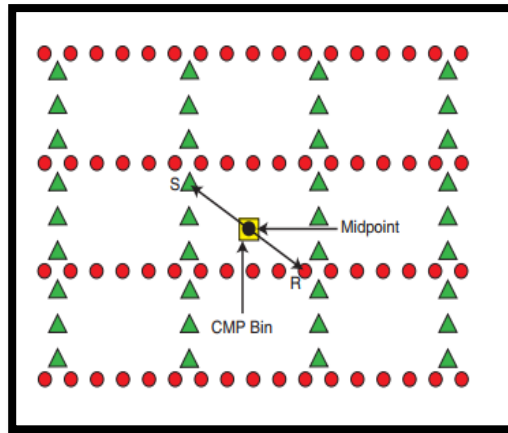
شکل ۶-۲: نمایش برخی اصطلاحات لرزه‌نگاری سه‌بعدی [18].

۲-۱-۱۰ نقطه میانی مشترک^۲

نقاطی که بین (در وسط فاصله) یک گیرنده و یک فرستنده قرار دارند را نقاط میانی گویند (شکل ۷-۲). به عنوان مثال اگر ۴۸۰ گیرنده وجود داشته باشد به ازای هر نقطه چشمه ۴۸۰ نقطه میانی وجود خواهد آمد.

¹ Fold taper

² Midpoint



شکل ۷-۲: نقطه میانی مشترک [19].

۲-۱-۱۱ زاویه پراکنش^۱

اگر نقطه در عمق زمین فرض کنیم قرار داشته باشد و چشمه‌ای روی سطح باشد زاویه بین مسیری که موج به صورت عمودی از آن چشمه به نقطه‌ای در عمق برود و باز به گیرنده‌ای در سطح بازگردد زاویه پراکنش می‌گویند.

۲-۱-۱۲ نسبت سیگنال به نوفه^۲

نسبت انرژی سیگنال به انرژی نوفه را می‌گویند، که به شکل اختصاری S/N نشان می‌دهند برای سلول مربع شکل^۳ این نسبت با طول ضلع مربع شکل رابطه مستقیم دارد (شکل ۲-۵). در نتیجه فقط یک تغییر جزئی در انتخاب اندازه سلول می‌تواند تأثیر بزرگی بر روی پوشش عمقی و نسبت سیگنال به نوفه داشته باشد.

¹ Scattering angel

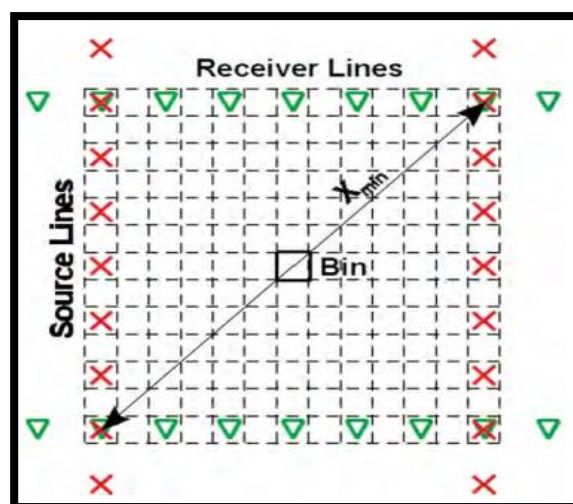
² Signal to noise ratio

³ Bin

۲-۱-۱۳ دورافت^۱

برای تصویربرداری از افق‌های کم‌عمق و افق‌های عمیق نیازمند تعدادی از چشمه و گیرنده به فاصله خاصی از هم می‌باشد (شکل ۲-۹) که به آن دورافت می‌گویند. برای محاسبه طول دورافت موردنیاز کافی است طول دورافت با عمق هدف موردنظر یکسان باشد. در طراحی هندسه برداشت دو نوع دورافت نیاز است که تعیین شود:

- ✓ دورافت بیشینه^۲: حداکثر فاصله ضبط شده که بستگی به استراتژی شوت‌ها و اندازه قطعه دارد که معمولاً اندازه آن به اندازه نصف قطر قطعه می‌باشد و برای ثبت وقایع عمیق‌تر یک دورافت بیشینه بزرگ ضروری است.
- ✓ دورافت کمینه^۳: عبارت است از بزرگ‌ترین دورافت حداقل در یک عملیات سه‌بعدی این نوع دورافت برای ثبت وقایع کم‌عمق ضروری است.



شکل ۲-۸: بزرگ‌ترین دورافت حداقل در یک سلول که در جعبه قرار دارد [18].

¹ Offset

² Maximum offset

³ Minimum offset

۲-۲ نشانگرهای عملیاتی

نشانگرهای عملیاتی پارامترهایی هستند که تعیین مقدار آن‌ها تأثیر قابل توجهی در عملیات برداشت لرزه‌نگاری دارد، به همان میزان که با تعیین درست آن‌ها در عملیات تصاویر زیرسطحی مناسبی خواهیم داشت به همان میزان از انتخاب نامناسب آن‌ها تصاویر زیرسطحی مناسب و درستی نخواهیم داشت. در این قسمت به دو مورد از نشانگرهای مهم و کاربردی عملیات لرزه‌ای اشاره شده است:

۲-۲-۱ توزیع دورافت^۱

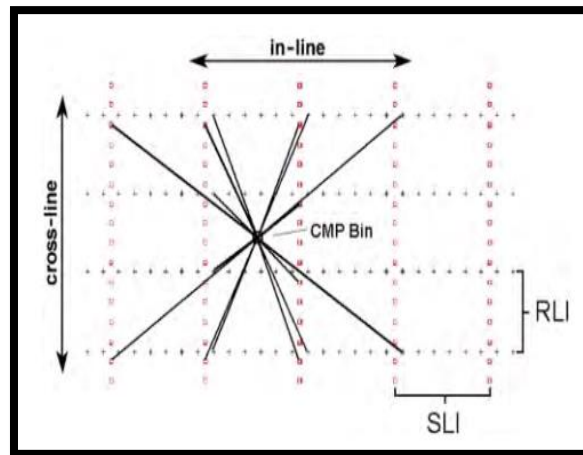
(شکل ۲-۹) ارتباط بین دورافت و آزیموت را نشان می‌دهد. هر سلول نقطه میانی مشترک^۲ معمولاً شامل تعدادی نقاط میانی از جفت‌های گیرنده و چشمه می‌باشد. در این شکل جفت چشمه و گیرنده در داخل سلول نقطه میانی مشترک توزیع یافته‌اند. هر کدام از ردلرزه‌های ایجاد شده دارای یک دورافت (فاصله چشمه تا گیرنده) و یک آزیموت زاویه از شمال و یا زاویه کمپاس از چشمه تا گیرنده می‌باشند. در طراحی عملیات سه‌بعدی یکی از عوامل کلیدی برای بهینه‌سازی طراحی عملیات توجه نمودن به دورافت و آزیموت می‌باشد. توزیع دورافت در یک سلول برانبارشی تأثیر زیادی از پوشش عمقی^۳ می‌گیرد. پوشش‌های عمقی کم دارای توزیع دورافت ضعیف می‌باشند ولی با افزایش پوشش عمقی میزان توزیع دورافت بهبود می‌یابد. اگر توزیع دورافت به صورت نامناسب باشد، در این صورت می‌تواند باعث ایجاد الیاسینگ^۴ سیگنال‌های شیب‌دار و نوفه چشمه و شاید بازتاب‌های اولیه و ثانویه گردد.

^۱ Offset distribution

^۲ CMP Bin

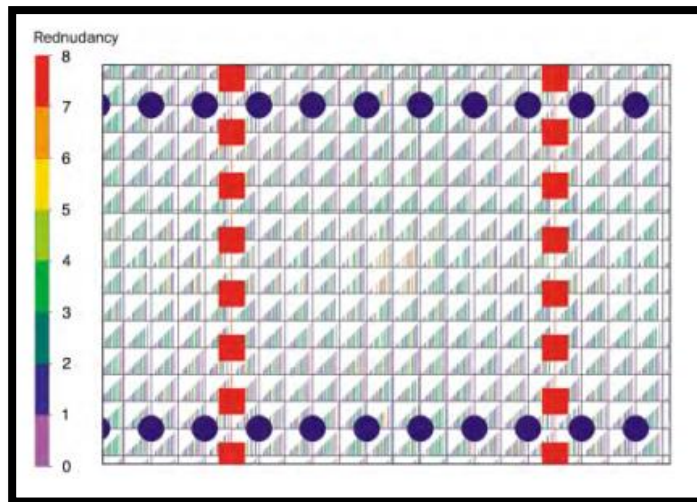
^۳ Fold

^۴ Aliasing



شکل ۲-۹: توزیع آزمون و دورافت در یک سلول نقطه میانی مشترک [18].

(شکل ۲-۱۰) یک روش برای به تصویر کشیدن ترکیب دورافت را در هر سلول نقطه میانی مشترک می باشد و تعداد برجسب هایی در هر مربع برابر با تعداد ردلرزه های برانبارش شده در آن سلول می باشد. محور عمودی در هر مربع مقدار دورافت را نشان می دهد و محور افقی در هر مربع موقعیت ردلرزه ای در یک دورافت مشخص را نشان می دهد. به عبارت دیگر دو مقیاس افقی و عمودی برجسب دورافت می باشند. توزیع مثلثی دورافت از برجسب ها درصد تمام دورافت های ممکن را نشان خواهد داد. دو یا چند ردلرزه های که دارای دورافت یکسان هستند برجسب آن ها به رنگ های مختلفی مشاهده می شوند. در طراحی عملیات سه بعدی طراح باید از توزیع دورافت و آزمون در سلول ها به خوبی مطلع باشد و آن ها را بررسی نماید.



شکل ۲-۱۰: توزیع دورافت [18].

۲-۲-۲ توزیع آزیموت^۱

توزیع آزیموت در یک سلول برانبارشی به مقدار پوشش عمقی بستگی دارد (همانند تأثیر پوشش عمقی بر روی دورافت). اگر نسبت ظاهری^۲ کمتر از ۰/۵ باشد انتظار توزیع آزیموتی ضعیفی را خواهیم داشت. یک ترکیب نادرست از آزیموت ممکن است منجر به مسائل استاتیکی و یک ناتوانی برای شناخت تغییرات وابسته به آزیموت که از یک تغییر شیب و آنیزوتروپی ناشی می‌شوند، می‌گردد. اگر میزان نسبت ظاهری به ۰/۶ تا ۱ افزایش یابد این مسائل را نخواهیم داشت در رابطه (۶-۲) چگونگی محاسبه نسبت ظاهری قابل مشاهده است [20].

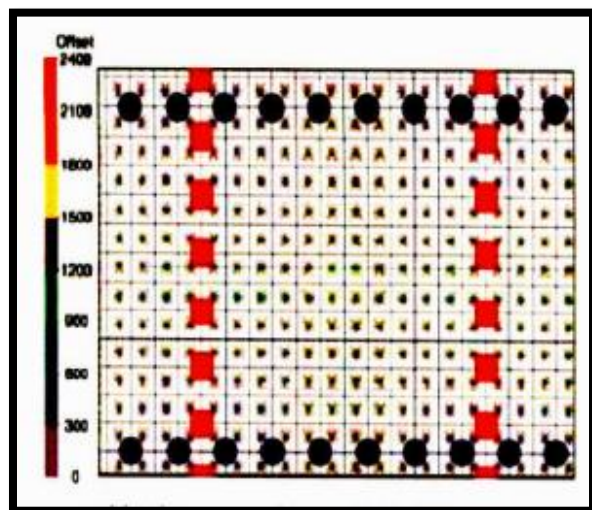
$$\text{Aspect ratio} = \frac{\text{cross line of the depth}}{\text{In line of the depth}} \quad (۶-۲)$$

یک توزیع آزیموت خوب، توزیعی است که شامل اطلاعات از تمام زوایای مجاور سلول‌های برانبارشی شرکت کننده در برانبارش باشد. (شکل ۲-۱۱) یک روش عمومی برای تصویرسازی آزیموت هر ردلرزه‌ای

¹ Azimuth distribution

² Aspect ratio

که به یک سلول نقطه میانی وابسته است می‌باشد. هر شبکه عنکبوتی^۱ مقدار دورافت و آزمون چشمه تا گیرنده را نشان می‌دهد، شبکه‌های عنکبوتی اغلب در مرکز واقعی سلول قرار دارند و لزوماً درروی نقاط میانی قرار نمی‌گیرد. طول خطوط بر اساس بزرگ‌ترین دورافت در آرایش تنظیم‌شده تعیین می‌گردد. که معمولاً برابر با نصف ابعاد سلول می‌باشد [20].



شکل ۲-۱۱: توزیع آزمون [20].

¹ Spider leg

فصل سوم: مبانی کلی مدل سازی لرزه نگاری

۳-۱ مقدمه

مدل‌سازی لرزه‌نگاری و لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی حاصل مدل‌سازی پیشرو از یک پاسخ لرزه‌ای برای یک مدل زمین‌شناسی در یک، دو و یا سه بعد می‌باشد. مدل‌سازی لرزه‌ای به ژئوفیزیکدانان کمک می‌کند تا درک بهتری از تصویر زیرسطحی قبل از انجام عملیات، پردازش و تفسیر لرزه به‌ویژه در ساختارهای پیچیده داشته باشند. در این راستا، از مدل‌سازی عملیات لرزه‌ای برای ساخت مدلی نزدیک به ساختار واقعی همچنین به دست آوردن داده‌های لرزه‌ای مصنوعی بسیار واقع‌گرایانه استفاده شده است. نیاز است قبل از انجام عملیات، طراحی بهینه‌ای از طریق مدل‌سازی لرزه‌نگاری صورت پذیرد. با توجه به امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در دسترس، و همچنین کارایی روش ردیابی پرتو، این روش جهت مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پایان‌نامه تلاش شده است، تعیین بهینه پارامترهای عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی با استفاده از مدل‌سازی به کمک روش ردیابی پرتو انجام شود. بنابراین، یک طراح عملیات می‌تواند اثرات مختلف پارامترهای مؤثر در انجام عملیات لرزه‌ای را بر روی تصویر حاصل از طریق تجزیه و تحلیل‌های روشنایی^۱ و وضوح^۲ در نظر بگیرد و بهترین میزان از پارامتر-هایی که تأثیر قابل‌توجهی در عملیات برداشت را دارند انتخاب کند [21]. به‌طور کلی در استفاده از روش‌های معمول، طراح عملیات لرزه‌نگاری جهت تعیین پارامترهای عملیات به‌طور مثال آزمون برداشت عملیات لرزه‌نگاری، میزان دورافت، دهانه کوچ و سایر پارامترها به دلیل محدودیت در اطلاعات سطحی و زیرسطحی در دسترس، با مشکلات متعددی مواجه است. درحالی‌که با ساخت یک مدل لرزه‌نگاری در یک منطقه، این امکان فراهم می‌شود که بتوان ارتباط بین زمین‌شناسی و پاسخ لرزه‌ای زمین برای پارامترهای مختلف را بررسی نمود و بهینه‌ترین جهت‌گیری در خصوص طراحی و عملیات برداشت را با توجه به محدودیت‌های فنی و مالی ممکن، به دست آورد. در این فصل به‌طور خلاصه

¹ illumination

² resolution

کاربردهای مدل سازی در ژئوفیزیک بیان شده است سپس ردیابی پرتو به عنوان روشی کارآمد با بازدهی بالا به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲ کاربرد مدل سازی لرزه نگاری

مدل سازی لرزه ای در طیف گسترده ای از کاربردها در اکتشاف منابع نفت و گاز همچنین زلزله شناسی بسیار مفید و مورد استفاده قرار می گیرد. مدل سازی تقریباً در همه جنبه های لرزه شناسی اکتشافی همچون برداشت داده های لرزه ای، پردازش، تفسیر و تعیین خصوصیات مخزن نقش مهمی دارد همچنین قابلیت اطمینان تجزیه و تحلیل داده های لرزه ای را افزایش می دهد. در زیر سه کاربرد اصلی مدل سازی در ژئوفیزیک بیان شده است:

۳-۲-۱ کاربرد در برداشت لرزه ای

محاسبه و تعیین پارامترهای برداشت با روش های طراحی متداول به منظور دستیابی به تصاویر زیرسطحی افقی و یا ساختاری با شیب کم کافی و قابل قبول است، اما تعیین پارامترهای طراحی در ساختار دارای پیچیدگی مانند تاقدیس، گسل و گنبدها به علت رفتار پیچیده موج در چنین محیط هایی بسیار مشکل می باشد. مدل سازی لرزه ای یکی از بهترین روش های موجود به منظور ایجاد، توسعه و بررسی پارامترهای برداشت بهینه برای دستیابی به بهترین تصویر روی ساختار پیچیده زمین شناسی می باشد. در برداشت لرزه ای مدل سازی پیشرو لرزه ای در اکتشافات لرزه ای با فراهم آوردن اطلاعات کمی جهت طراحی بهتر سه بعدی، خطا در عملیات را کاهش می دهد در مناطق دارای پیچیدگی ساختاری زمین شناسی مدل های لرزه ای پیشرو می تواند به منظور آزمون پارامترهای مختلف برداشت و مدل های زیرسطحی به راهبرد بهینه دست یافت. همچنین مشکلات پوشش افق های هدف با استفاده از مطالعات مدل سازی دو و سه بعدی می توان تا حد زیادی قبل از برداشت مورد بررسی قرار داد [10,22,23].

در مناطق دارای پیچیدگی ساختاری زمین‌شناسی مدل‌های لرزه‌ای پیشرو می‌تواند به‌منظور آزمودن پارامترهای مختلف برداشت و مدل‌های زیرسطحی به راهبرد بهینه دست یافت. همچنین مشکلات پوشش افق‌های هدف با استفاده از مطالعات مدل‌سازی دو و سه‌بعدی می‌توان تا حد زیادی قبل از برداشت مورد بررسی قرار داد. نتایج مطالعات شفافیت^۱ را می‌توان به‌طور مستقیم برای طراحی برداشت لرزه‌ای استفاده کرد. دو دسته اطلاعات نمایشی جهت امکان‌سنجی اهداف ازجمله رویکرد جهانی^۲ که اطلاعات را در مورد کل هدف فراهم می‌کند و رویکرد محلی^۳ که اطلاعات در یک نقطه در زمان و مکان خاص بررسی می‌شود وجود دارد. سال‌هاست که تصویربرداری از گنبد نمکی چالشی برای لرزه‌شناسی اکتشافی به وجود آورده است که استفاده از مدل‌سازی لرزه‌ای به‌طور قابل‌توجهی طراحی برداشت و درنهایت تصویر مناسب از زیر گنبد نمکی را بهبود بخشیده است. مطالعات مدل‌سازی نشان می‌دهد که برداشت با زاویه آزمون گسترده نمایش بهتری نسبت به ساختارهای زیر گنبد نمکی فراهم می‌کنند [24].

۳-۲-۲ کاربرد در پردازش لرزه‌نگاری

در هنگام عملیات برداشت داده‌های لرزه‌ای اگر برداشت داده‌ها به‌خوبی صورت نگیرد حتی بهترین روش‌های پردازشی هم نتایج قابل قبولی را فراهم نمی‌سازند. برای اطمینان از مرحله پردازش لرزه‌ای صورت گرفته، مقادیر تخمین زده‌شده با پاسخ واقعی مقایسه می‌گردد. در مورد داده‌های لرزه‌نگاشت واقعی حقیقت وقتی حاصل می‌شود که چاه حفر شود. مدل‌سازی لرزه‌ای برای بررسی الگوریتم‌های مختلف پردازشی می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد. یک نقش مهم مدل‌سازی لرزه‌ای کالیبره کردن روش‌های مهاجرت می‌باشد [25]. از این کار می‌توان برای بهینه‌سازی توالی پردازش خصوصاً در شرایط پیچیده استفاده کرد. به دلیل نقش مهم مدل‌سازی لرزه‌ای در پردازش، تعدادی مدل‌های مصنوعی تولید

¹ illumination

² Global

³ Local

شده و به‌طور گسترده‌ای برای بررسی پردازش لرزه‌ای بارها مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال مدل هوسکی [26]، مدل دوبعدی مارموسی [27] و بعضی از این مدل‌ها برای آزمایش جدید تصویرسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲-۳ کاربرد در تفسیر لرزه‌ای

با توجه به این موضوع که می‌توان از روی داده‌های مدل شده شکل کلی موج‌های ثبت را مدنظر داشت. مدل‌سازی پیشرو لرزه‌ای می‌تواند در ارتباط با پاسخ یک مدل زمین‌شناسی تفسیر شده و داده واقعی استفاده شود. یکی از کاربردهای آن توسعه مدل زمین‌شناسی برای بررسی ساختارها و مشکلات چینه-شناسی که در طول تفسیر لرزه‌ای با آن مواجه هستیم باشد. استفاده از مدل لرزه‌ای می‌تواند برای چک کردن اعتبار یک تفسیر بخصوص در شرایط پیچیده مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲-۴ بررسی اثر نوفه

در لرزه‌نگاشت مصنوعی همان‌طور که سیگنال مدل می‌شود نوفه هم قابلیت مدل شدن را دارد. وقتی اعتبار یک روش پردازش و یا وارون‌سازی مورد بررسی قرار گیرد، بسیار ارزشمند است راهی را بتوان یافت که اثر نوفه روی الگوریتم پردازش را بتوان بررسی نمود و آن را بهبود داد.

۳-۲-۵ انواع مدل‌های لرزه‌ای

مدل‌های شبیه‌سازی شده از پدیده‌های واقعی به‌صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی می‌باشند. مدل‌های یک‌بعدی اغلب در مکان چاه برای پیش‌بینی پاسخ لرزه‌ای از روی لایه‌های زمین و درنهایت به‌منظور بررسی ارتباط بین لایه‌های زمین‌شناسی و اطلاعات لرزه‌ای واقعی استفاده می‌شوند (آنالیز تطابق چاه و لرزه). مدل‌های دوبعدی به این صورت است که دقت این مدل‌ها به عواملی همچون پیچیدگی ساختاری

و زمین‌شناسی زیرزمین و همچنین داده‌های در دسترس بستگی دارد. و در مدل‌های سه‌بعدی می‌توان گفت دقت در بالاترین حالت ممکن قرار دارد، به جهت بررسی این نوع مدل‌ها در تمامی جهات هزینه انجام یک مدل‌سازی لرزه‌ای می‌تواند بسته به روش مدل‌سازی متفاوت باشد. انواع روش مدل‌سازی متداول در جدول (۱-۳) به اختصار بیان شده است.

جدول ۱-۳: بررسی انواع روش مدل‌سازی

نوع مدل	مدل ریاضی	عمومیت	هزینه
Normal incidence reflectivity (نرمال عمود)	یک‌بعدی	فقط برای لایه‌های مسطح، حرکت موج به‌صورت عمود در نظر گرفته می‌شود. چندگانه‌ها قابل بررسی می‌باشند.	بسیار ارزان
Ray Tracing (ردیابی پرتو)	از قانون اسنل در دو و سه‌بعد استفاده می‌کند و دامنه می‌تواند به‌صورت تقریبی در نظر گرفته شود.	وقتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقیاس ناهمگنی در مقایسه با زون فرنل بزرگ باشد.	از نظر هزینه متوسط بوده و مسیر موج با هزینه پایین محاسبه می‌گردد اما محاسبات دامنه ممکن است هزینه بیشتری داشته باشد.
حل با استفاده از معادله موج با روش FD, FE	حل عددی در یک، دو و سه‌بعد	FD عموماً از شبکه‌بندی مستطیل استفاده می‌کند در صورتی که FE برای شبکه‌بندی الگوریتم طراحی می‌کند.	بسیار پرهزینه به دلیل جامع بودن
مدل‌سازی فیزیکی	برای یک، دو و سه‌بعد نیاز به مواد فیزیکی مناسب در مقیاس مدل می‌باشد.	بسته به نوع مواد در دسترس جهت مدل‌سازی عمومیت دارد.	ساخت مدل بسیار هزینه‌بر است ولی آزمایش‌های بعد به‌اندازه روش عددی گران نمی‌باشد.

این روش‌ها قادر هستند تا مدل سه‌بعدی زمین را که از افق‌های ساده تشکیل شده مورد استفاده قرار دهند. و هرکدام دارای مزایا و معایبی نسبت به هدف موردنظر ما از بابت مدل‌سازی دارا هستند. در

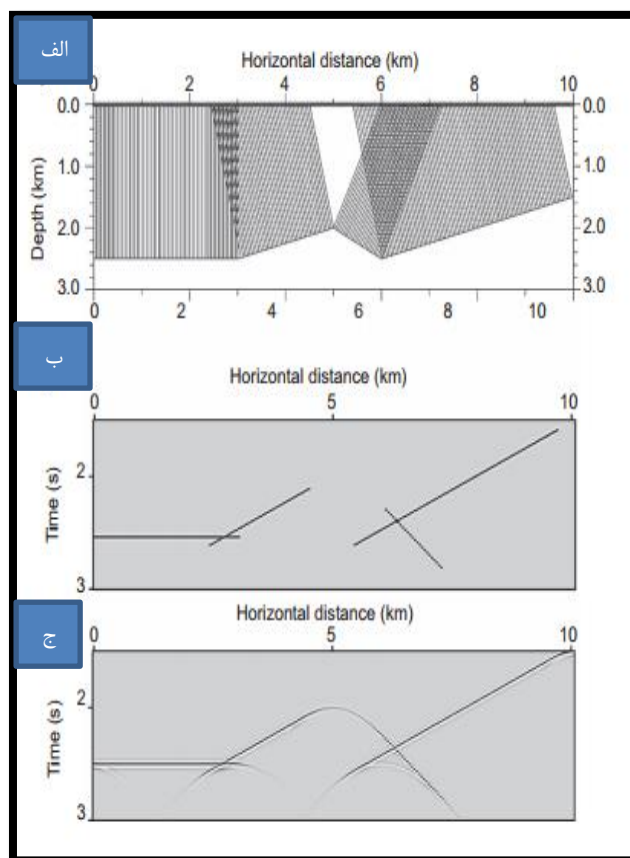
روش اختلاف محدود^۱ مزیت این روش نسبت به ردیابی پرتو، توانایی محاسبه میدان موج کامل حتی برای ساختار پیچیده محلی می باشد که می تواند شامل بازتاب ها، پراش ها، موج های سطحی^۲، موج سر^۳ و دیگر پدیده های موج باشد. همچنین این روش لرزه نگاشت کامل تری در تولید داده های لرزه ای مصنوعی را فراهم می آورد. این اتفاق حتی برای مدل های زمین شناسی پیچیده که تغییرات ناگهانی سرعت هم مورد انتظار است همچون گسل ها و گنبد نمکی قابل قبول است. با این وجود می توان نتیجه گرفت روش اختلاف محدود روش خوبی برای مدل سازی است، اما با توجه به این که هزینه بالا محاسباتی برای شبیه سازی رو پردازش اطلاعات مصنوعی بسیار بالا هست این روش ممکن است برای مدل سازی دوبعدی قابل انجام باشد اما در استفاده از اطلاعات سه بعدی و تهیه مدل جامع برای انتشار امواج واقع بینانه نمی باشد. برای مطالعات طراحی برداشت لرزه نگاری روش ردیابی پرتو برای بدست آوردن اطلاعات جزئی در خصوص پاسخ زمین به طراحی انجام شده یک جهت گیری قابل قبول با دقت و بازدهی مناسب می باشد. در استفاده از روش ردیابی پرتو باید سعی شود حتی الامکان مدل مورد نظر هموار انتخاب شود. گویستال و همکاران در مدل سازی لرزه نگاری دو مدل را باهم مقایسه کردند به طوری که مدل اول دارای لبه های تند و مدل دوم دارای با مقداری هموارسازی مورد بررسی برای دو روش مدل-سازی ردیابی پرتو و اختلاف محدود قرار گرفته اند [22]. (شکل ۱-۳) مسیر پرتوها را در یک مدل مصنوعی با لبه های تند در محل برخورد صفحه های گسل با استفاده از ساخت میدان موج سه بعدی نشان می دهد. (شکل ۱-۳ ب) لرزه نگاشت مصنوعی است که توسط روش ردیابی پرتو انجام شده است و شامل چهار قسمت مجزا که هر یک از آن قسمت یک صفحه افق را نشان می دهند. در این مثال موجک با فاز صفر و با فرکانس ۲۰ هرتز مورد استفاده قرار گرفته است. یک مفسر لرزه نگاری می داند که در عمل حتی برای مدل های ساده، یک میدان موج بازتابی ساده نیست. (شکل ۱-۳ ج) نشان دهنده مدل سازی بر مبنای اختلاف محدود در همان مقطع قبل است. همان طور که در تصاویر مشاهده می شود استفاده

¹ Finite difference

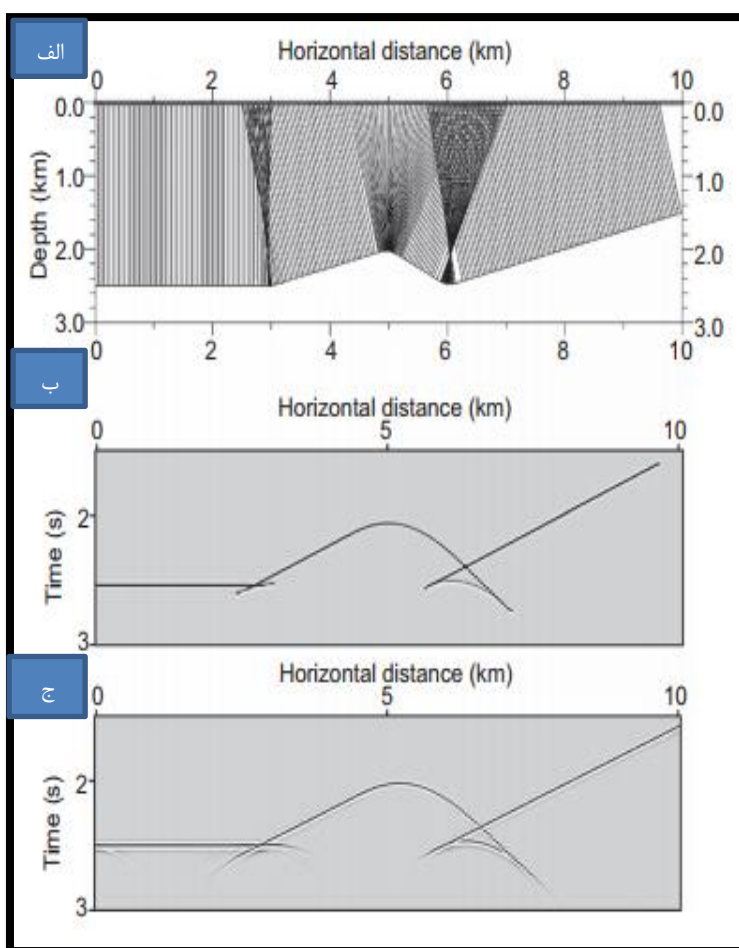
² Surface wave

³ Head wave

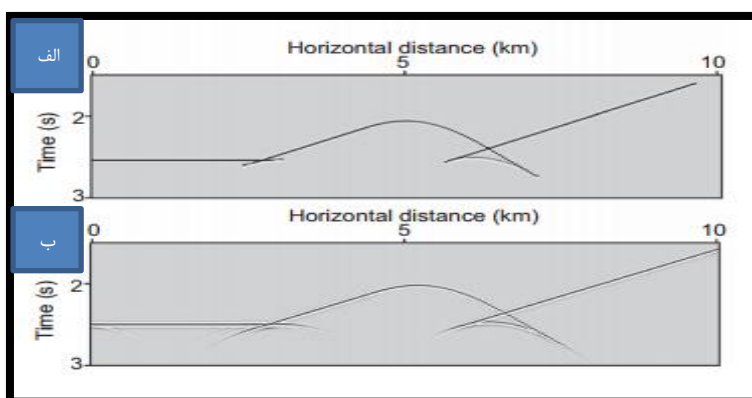
از روش ردیابی پرتو باعث به وجود آمدن یک فاصله بین سطوح برخورد دولایه می‌گردد ولی روش اختلاف محدود تا حدودی قادر است این فاصله را پوشش دهد. مدل دوم (شکل ۳-۲) که محل تقاطع لایه‌ها هموارتر شده است در شکل بعد نمایش داده شده است. در این شکل همان‌طور که مشاهده می‌شود به دلیل انجام هموارسازی در هر دو روش ردیابی پرتو و اختلاف محدود توانسته‌اند به خوبی فاصله‌ای که در تصاویر قبل ایجاد شده بود را پوشش دهند. و در نهایت در (شکل ۳-۳) که مقطع زمانی مهاجرت یافته توسط ردیابی پرتو برای هر دو مدل است را مشاهده می‌کنیم. و مشاهده می‌شود که استفاده از مدل هموار شده می‌تواند نتایج بهتری را در مقطع خروجی حاصل نماید.



شکل ۳-۱: مدل‌سازی با استفاده از مدل اول با لبه و گوشه‌تیز، (الف) پرتوهای بازگشتی عمود بر ساختار مدل مصنوعی، (ب) لرزه‌نگاشت با استفاده از ردیابی پرتو، (ج) لرزه‌نگاشت با استفاده از روش اختلاف محدود [22].



شکل ۳-۲: مدل سازی با استفاده از مدل دوم با لبه و گوشه هموار، (الف) پرتوهای بازگشتی عمود بر ساختار مدل مصنوعی، (ب) لرزه نگاشت با استفاده از ردیابی پرتو، (ج) لرزه نگاشت با استفاده از روش اختلاف محدود [22].



شکل ۳-۳: مقطع مهاجرت یافته زمانی با استفاده از لرزه نگاشت ردیابی پرتو، (الف) مدل اول (ب) مدل دوم [22].

مدل سازی با روش اختلاف محدود بر مبنای حل عددی معادله موج استوار است. مهم ترین مشکل این روش هزینه بر بودن آن است که نیاز به حافظه کامپیوتری زیاد و همچنین CPU بالا بخصوص در پروژه های که سه بعدی کار می شود. همچنین در روش المان محدود برای شبکه بندی از تعداد زیادی المان که بر اساس یک تابع تقریبی تعریف شده اند استفاده می شود که مانند روش اختلاف محدود هزینه بالایی دارد. در روش استفاده از مدل سازی فیزیکی به دلیل هزینه بر بودن ساخت مدل زمین شناسی به خصوص در شرایط محیط های پیچیده و نیاز به مواد فیزیکی در دسترس در دسته روش های گران به حساب می آیند. در نتیجه استفاده از روش ردیابی پرتو علاوه برداشتن نتایج قابل قبول، سرعت بالا و حجم محاسباتی پایینی که دارد بسیار مورد توجه و استفاده در مدل سازی می باشد. همان طور که گفته شد عوامل مختلفی می توان بر هریک از روش های مدل سازی تأثیر داشته باشد که برای انتخاب نوع و روش کار بایستی به امکانات و محدودیت های پیش رو توجه داشت. با توجه به مزیت های روش ردیابی پرتو از جمله بازدهی محاسباتی بالا برای مدل سازی لرزه نگاری به خصوص مدل های سه بعدی در این پایان نامه از این روش استفاده شده است. در ادامه به طور مختصر در مورد این روش گفته شده است.

۳-۳ ردیابی پرتو^۱

در طول بیست سال گذشته، مدل سازی به روش پرتو یابی که یک ابزار تحقیقاتی بوده است، به یک ابزار عملیاتی تر که صنعت نفت علاقه روز افزونی به آن دارد، بهبود یافته است. نظریه پرتوهای لرزه ای جامع ترین روش بررسی را برای رفتار لرزه ای ارائه می دهد. این روش نقش مهمی در زلزله شناسی، اکتشاف لرزه ای و تفسیر اندازه گیری های لرزه ای دارد. ردیابی پرتو با فرض اینکه یک جبهه موج می تواند با تعداد زیادی پرتو از پرتوهای مستقیم باریک نشان داده شده و همراه با موج در مسیر کامل موج ادامه یابد تعریف می شود. فرضیه اساسی این است که در فواصل کوتاه پرتو به صورت خط مستقیم رفتار می کند.

¹ Ray tracing

نتایج وقتی دقیق است که تعداد پرتوهای شبیه‌سازی شده یک جبهه موج به حداکثر ممکن برسد [38]. در هر مکان از مدل نشانگر پرتو^۱ با پارامترهای مرتبط با آن شامل خصوصیات مواد آن نقطه باید فراهم گردد. در مدل‌های مورد استفاده، خواص مواد با خصوصیات چگالی، سرعت و عمق لایه‌های مورد بررسی توصیف می‌گردد. مدل‌های مورد استفاده برای ردیابی پرتو می‌تواند از یک سری لایه‌های غیر همگن که با لایه‌های مختلف از هم جدا شده‌اند تشکیل شده باشد. یکی از ملزومات مهم در رابطه با استفاده از ردیابی پرتو این است که هم مرزهای ساختارهای زمین‌شناسی و هم مدل سرعت باید به‌اندازه کافی هموار باشد. همچنین پدیده‌هایی که پرتو از آن عبور می‌کند بایستی خیلی بزرگ‌تر از طول موج انتشار باشد [28]. ردیابی پرتو به‌عنوان روشی از سری پرتو شناخته شده است که با استفاده از تئوری انتشار به مدل‌سازی و مطالعه انتشار امواج در دو یا سه بعد کمک می‌کند. ردیابی پرتو برای مطالعه پاسخ زمین در ساختارهای زمین‌شناسی همچون گسل و گنبد نمکی به‌منظور تفسیر بهتر ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ابتدا تمرکز استفاده از این روش بیشتر روی محاسبه مسیر پرتو و زمان رسید موج بود که به‌عنوان ردیابی پرتو سینماتیک^۲ نام‌گذاری شده بود ولی در طول سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ روش‌های عددی برای توسعه ردیابی پرتو دینامیک^۳ توسعه یافت که نشانگرهای گسترش هندسی^۴ و منحنی میدان موج را در برمی‌گیرد. در ۲۰ سال اخیر پردازش‌های قابل‌توجهی روی فن‌های ساخت میدان موج و بهبود عملکرد روش ردیابی پرتو صورت پذیرفته است. با ورود دستگاه‌های کامپیوتری پیشرفته در دهه ۱۹۹۰، استفاده از روش ردیابی پرتو محبوبیت قابل‌توجهی پیدا کرد. در سال‌های ۱۹۹۰ توسعه الگوریتم ردیابی پرتو در دو بعد مورد تأکید قرار گرفت. بعد از دهه ۱۹۹۰ رسیدهای چندگانه و توابع گرین^۵ در دو بعد با استفاده از پرتو، زمان رسید و دامنه موردبررسی قرار گرفت پس‌از آن تمرکز روی کاربرد ردیابی پرتو در سه بعد و توسعه نرم‌افزارهای تجاری مرتبط با آن صورت پذیرفت. ردیابی پرتو و

¹ Ray tracer

² kinematic

³ Dynamic

⁴ Geometric spreading

⁵ Green function

مدل سازی اختلاف محدود به عنوان یک راه حل رقابتی و منحصر به فرد دیده می شوند [29]. در حالی که آن ها می توانند به عنوان راه کارهای مکمل و حتی به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گیرد. به طور مثال لکامت و همکاران یک مدل سازی ترکیبی سه بعدی که از روش اختلاف محدود برای ساختار پیچیده و از روش ردیابی پرتو برای ساختارهای ساده تر استفاده می شود پیشنهاد داد [30]. با استفاده از نشانگرهای منحنی میدان موج و گسترش هندسی و اعمال مفروضات ساده سازی برای به دست آوردن معادله دیفرانسیل یک رویکرد عددی به عنوان روش استاندارد پرتو یا ردیابی پرتو به دست می آید. گویسال و همکاران امروزه شرکت های تجاری در تلاش هستند که بسته نرم افزاری کار پسند بر اساس روش ترکیبی را تولید نمایند. در زمینه ردیابی پرتو مطالعات فراوانی انجام شده است و روش های مختلفی برای تعیین مسیر حرکت موج به وجود آمده اند [22]. طرح های مبتنی بر پرتو شامل دو روش خمش¹ و پرتابی² می باشد که به منظور تعیین مسیر حرکت پرتو بین دو نقطه ی معین است. روش پرتابی با حل معادله پرتو در حکم مسئله ی مقدار اولیه و مشخص کردن زاویه تابش اولیه، صورت می گیرد. زاویه ی تابش اولیه در طول محاسبات تا زمان عبور پرتو از موقعیت گیرنده مورد نظر، تغییر داده می شود. روش پرتابی برای پیدا کردن پرتو بین چشمه و گیرنده دارای دقت کافی است، اما در محیط هایی که در آن ها معادله ی پرتو قابل حل نیست و محیط های پیچیده ای که در آن تغییر ناچیز در زاویه تابش سبب ایجاد پرتو کاملاً متفاوت می شود، موفقیت آمیز نیست. در روش خمش دونقطه انتهایی (چشمه و گیرنده) ثابت فرض می شود و مسیر پرتو بین آن ها با توجه به اصل فرما به دست می آید. بعد از این دو روش را باهم مقایسه کردند و دریافتند که روش خمش برای مدل هایی که در نظر گرفته بودند مؤثرتر است [31]. روش خمش در لرزه شناسی به طور گسترده استفاده شده است. این روش را جولیان و همکاران همچنین پرپرا و همکاران مورد استفاده قرار دادند. یانگ به بررسی هر دو روش پرتابی و خمش در ردیابی پرتو پرداخته و به نتیجه ی مشابهی با تحقیقات جولیان و گابینز رسیده است. روش هایی بر اساس ردیابی

¹ Shooting

² Bending

پرتو وجود دارند در محیط‌های دو و سه‌بعدی که دارای پیوستگی یا تغییرات جانبی سرعت هستند، این روش‌ها شامل روش‌های مبتنی بر پرتو و مبتنی بر شبکه هستند که روش‌های پرتابی و خمش بر اساس روش طرح‌های مبتنی بر پرتو هستند و حل معادله آیکونال بر اساس طرح‌های مبتنی بر شبکه است [31,32,33].

۳-۴ ساخت جبهه موج

ساخت جبهه موج در دو بعد توسط وینجه و همکاران معرفی شد، در اواخر قرن نوزدهم روش‌ها توسعه پیدا کردند تا اینکه مدل سه‌بعدی نیز ساخته شده [10]، همچنین روش ساخت جبهه موج بر اساس نظریه پرتو لرزه‌ای که توسط سرونی معرفی شد [34]، در این روش ساخت جبهه موج به‌جای ساخت میدان موج به‌صورت پرتو به پرتو که در روش‌های سابق مورد استفاده قرار می‌گرفت، این روش میدان موج را به‌صورت جبهه به جبهه می‌سازد. انتشار از یک جبهه به دیگری بر اساس ردیابی تعداد زیادی از بخش‌های پرتو کوچک صورت می‌پذیرد. ایده اصلی ساخت جبهه موج در حفظ چگالی یکنواخت بخش‌های پرتو روی جبهه موج در طول انتشار است، بدین‌صورت که کنترل چگالی پرتوها توسط فاصله بین آن‌ها و جدایش میدان موج‌های عمود بر آن صورت می‌گیرد. این کار می‌تواند در صورت نیاز توسط روش‌های درون‌یابی پرتو جدید اضافه نمود. همچنین روش ساخت جبهه موج به‌عنوان یک نتیجه از ردیابی پرتو در دو نقطه که همه مسیرهای مرتبط کننده بین دو نقطه چشمه و گیرنده را ترسیم می‌کند توسعه داده شده. در ده سال اخیر روش ساخت جبهه موج به‌خوبی نشان داد که یک ابزار بسیار قدرتمند در مدل‌سازی لرزه‌ای و تصویرسازی است. در روش مهاجرت کرشلف تخمین توابع گرین با روش‌های پیشرو اغلب پرهزینه است. همچنین در تخمین سرعت و طراحی برداشت عملیات لرزه‌نگاری مدل‌سازی نقش مهمی ایفا می‌کند. مزیت استفاده از روش ساخت جبهه موج این است که مدل‌سازی را در

ساختارهای پیچیده سه‌بعدی با زمان معقول اجرا می‌نماید و قادر است همه و یا بخشی از پدیده‌های بازتابی و یا عبوری را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

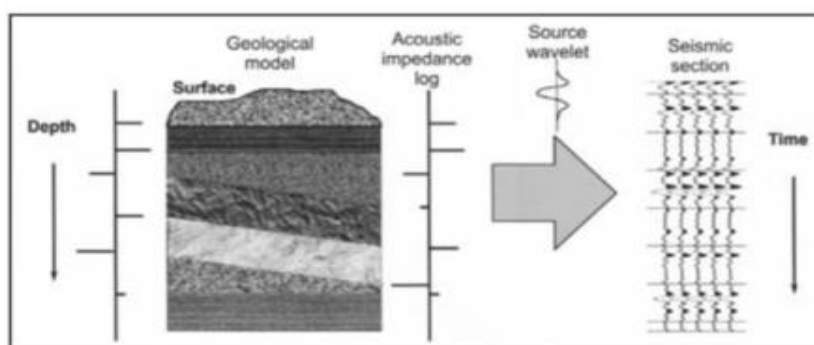
۳-۵ مدل‌سازی لرزه‌نگاری بر مبنای پرتو^۱

استفاده از واژه "بر مبنای پرتو" به جای "ردیابی پرتو" این امکان را فراهم می‌کند تا مفهوم مدل‌سازی وسیع‌تر گردد. واژه "پرتو" به عنوان مترادف تقریب با فرکانس بالا در استفاده از معادله موج می‌باشد که خود شامل مسیر پرتو هم می‌باشد که البته در همه کاربردهای استفاده از روش‌های بر مبنای پرتو ممکن است مورد استفاده قرار نگیرد. به طور مثال استفاده از حل آیکونال به عنوان یک روش با بازدهی و دقت بالا که پیش‌تر مورد بحث قرار گرفت و برای محاسبات زمان رسید کاربرد دارد و در این مورد خاص با مسیر پرتو کاری ندارد. حل تقریب با فرکانس بالا معادله موج در رویکرد بر مبنای پرتو اجازه می‌دهد تا پارامترهای دیگر علاوه بر زمان رسید، همچون دامنه و قطبش و ... را محاسبه نماید. این پارامترها به طور خاص برای لرزه‌نگاشت مصنوعی تولید نمی‌شود بلکه بیشتر آن‌ها برای فهم بهتر انتشار موج و جبهه موج و برخی آنالیزهای مربوطه کاربرد دارند. مفسرین بیشتر از روش‌های بر مبنای پرتو به صورت استاندارد به دلیل سرعت و بازدهی بالا استفاده می‌کنند. مدل‌سازی که نتایج اولیه و سریع می‌دهند بر رویکرد هم‌آمیخت^۲ متکی هستند که از پس از برانبارش زمانی یک‌بعدی شروع می‌شوند و با استفاده از پیش برانبارش مکانی در سه بعد می‌تواند باعث فهم دقیق‌تر تصویرهای لرزه‌ای در عمق شود. ساده‌ترین روش مدل‌سازی هم‌آمیخته نمودن یک تابع یک‌بعدی در موجک می‌باشد. این روش از مدل‌سازی برای دهه‌ها در ژئوفیزیک کاربرد فراوانی داشت این روش از نظر ریاضی ساده بوده و به راحتی قابل فهم و برنامه‌نویسی می‌باشد برای همین بسیار عمومی شده بود.

¹ Ray-based seismic modeling

² Convolution

زمانی یک‌بعدی شامل یک "خار"^۱ در یک زمان خاص می‌باشد که مرتبط با یک پدیده بازتابی یا پراش می‌باشد. قدرت آن متناسب با مقدار دامنه می‌باشد و در حقیقت هم‌آمیخت یک‌بعدی زمانی پایه و اساس تولید لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی بر مبنای پرتو می‌باشد (شکل ۳-۴) [35].



شکل ۳-۴: تولید لرزه‌نگاشت مصنوعی با استفاده از مدل زمین‌شناسی، ساخت امپدانس صوتی و هم‌آمیخته نمودن با موجک ورودی [35].

مدل‌های زمین‌شناسی و مخزنی باید از یک طرف با استفاده از اندازه‌گیری‌های محدود ساخته‌شده و از طرفی دیگر قوانین مربوط به زمین‌شناسی را تأیید کند. این مدل‌ها می‌توانند برای مطالعه و بررسی آن دسته از ویژگی‌هایی که قابل‌دسترسی نیست مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های مختلفی برای ردیابی پرتو معرفی شده است. ساده‌ترین آن‌ها مدل یک‌بعدی با لایه‌های افقی و خصوصیات ثابت برای هر لایه می‌باشد. مدل انعطاف‌پذیرتر هنگامی است که لایه‌ها به صورت کیک در نظر گرفته شود و درون هر لایه خصوصیات تغییر یابد. مدل جامع‌تر لرزه‌ای برای ردیابی پرتو همانند کدکم است [36]. در مدل‌سازی لرزه‌نگاری، پارامترهای کلیدی اغلب توسط تجزیه و تحلیل‌های شفافیت و قدرت تفکیک تعیین می‌شود. در فصل چهارم به‌طور کامل توضیحاتی در خصوص شفافیت و کاربردهای آن داده شده است.

¹ Spike

فصل چهارم: ساخت مدل های سرعتمی و طراحی به روش متداول

۴-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی روش کار انجام شده در این پایان نامه پرداخته شده است، اگر بخواهیم به طور کلی توضیح دهیم ابتدا با استفاده از نرم افزار نورسار به مدل سازی و طراحی مدل های ساده و سپس مدل های پیچیده زمین شناسی پرداخته شده است. هدف از مدل سازی قبل از شروع پروژه با کمک اطلاعات زمین شناسی از قبل تعیین شده در جهت طراحی عملیات مناسب با مدل مصنوعی زمین شناسی مورد نظر به روش مرسوم، سپس طراحی بهینه از نظر هزینه و زمان مورد نیاز پروژه با استفاده از نشانگرهای آزمون و دورافت همچنین تغییراتی در فاصله بین چشمه و گیرنده و تعیین محل مناسب آنها برای دستیابی به تصویری بهتر از زیرسطح زمین و در نهایت مقایسه این دو نوع طراحی عملیات می باشد، که تمامی این موارد با استفاده از نرم افزار نورسار قابل اجرا است البته لازم به ذکر است طبق بررسی صورت گرفته در بین نرم افزارهای امنی، تسرال و نورسار نرم افزار نورسار قابلیت های بهتری از جهت بهینه سازی طراحی عملیات همچنین مدل سازی سه بعدی دارا بود به همین دلیل تمامی مراحل کار در همین نرم افزار صورت گرفته است.

۴-۲ مدل های سرعتی مصنوعی

برای ساخت مدل های مصنوعی نیاز است مدل سرعتی مناسبی تهیه شود مفهوم اصلی در ساخت مدل های سرعتی به کارگیری زمان رسید^۱ امواج صوتی برای تصویرسازی زیرسطحی زمین می باشد. به طور کلی با افزایش عمق در زمین و تغییر لایه سرعت افزایش می یابد که علت آن افزایش فشار در اعماق بیشتر زمین است به طوری که وزن ناشی از لایه های بالایی باعث ایجاد فشار در لایه های زیرین می گردد. انتخاب سرعت مناسب برای لایه های مدل در تعیین تصویر زیرسطحی درست بسیار حائز

¹ Arrival time

اهمیت است، در صورتی که سرعت مناسب تعیین نگردد، در مراحل پردازش پدیده‌های زمین‌شناسی به‌درستی در محل واقعی خود قرار نمی‌گیرند و باعث ایجاد خطا در پردازش داده‌ها می‌شود.

۴-۲-۱ ساخت مدل سرعتی

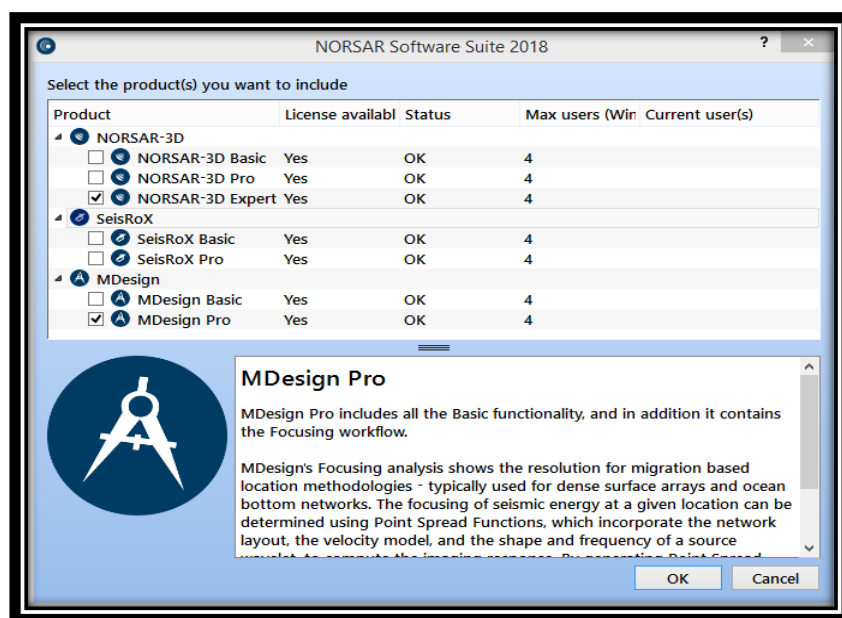
به دست آوردن مدل سرعتی مناسب یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین مراحل طراحی مدل لرزه‌نگاری سه‌بعدی است هرچه مدل سرعتی دقیق‌تر باشد دقت در طراحی پارامترهای برداشت لرزه‌ای هم افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های متنوعی در جهت ساخت مدل سرعتی وجود دارد که انتخاب هر روش بستگی به اطلاعات داده‌های در دسترس دارد. این اطلاعات قابل دستیابی از طریق پروژه‌های لرزه‌نگاری قدیمی، اطلاعات زمین‌شناسی همچنین اطلاعات چاه‌ها است. به‌طور کلی باید تلاش شود تا بهترین مدل سرعتی از محل مورد مطالعه استخراج گردد. از اطلاعات زمین‌شناسی می‌توان به‌طور کلی عمق تدفین رسوبات را تا حدی مشخص نمود و در جهت اعتبار سنجی مدل سرعتی تهیه شده استفاده کرد. از اطلاعات لرزه‌نگاری قدیمی می‌شود سرعت لایه‌ها را به دست آورد و با مدل سرعتی مقایسه نمود در جهت تعیین سرعت دقیق‌تر در مدل، همچنین از اطلاعات چاه‌ها هم می‌توان مانند اطلاعات لرزه‌نگاری از سرعت موجود در این اطلاعات استفاده کرد.

۴-۳ ساخت انواع مدل مصنوعی با نرم‌افزار نورسار

در کاربرد مدل‌سازی لرزه‌نگاری نرم‌افزارهای متعددی وجود دارند اما نرم‌افزار نورسار^۱ یکی از کامل‌ترین پکیج‌های نرم‌افزاری از نظر مدل‌سازی و طراحی عملیات لرزه‌ای است که علاوه بر سرعت بالا در محاسبات، دقت قابل قبولی را دارا می‌باشد. (شکل ۴-۱) کنسول اصلی نرم‌افزار نورسار سه‌بعدی ۲۰۱۸

^۱ NORSAR software

را نشان می‌دهد. این نرم‌افزار از روش ردیابی پرتو و جبهه موج برای برخی از محاسبات خود کمک می‌گیرد.



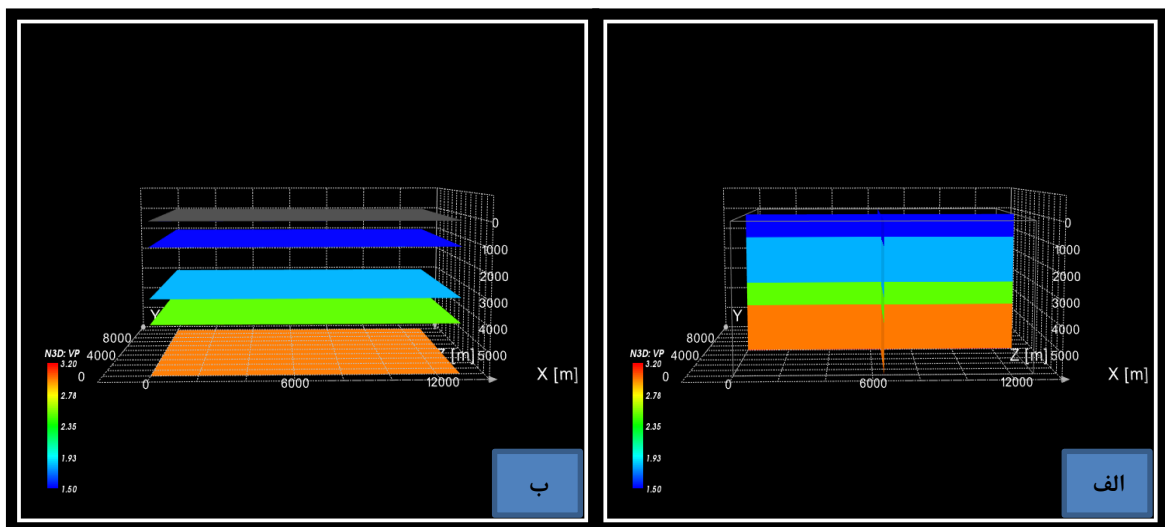
شکل ۴-۱: کنسول اصلی نرم‌افزار سه‌بعدی نورسار ۲۰۱۸.

در قسمت بعد انواع مدل‌ها (ساده و پیچیده) ارائه شده است که برخی از سطوح و شکل هندسی آن‌ها مخصوصاً مدل‌های پیچیده ابتدا به کمک نرم‌افزار پترل^۱ ایجاد شده است و پس از انتقال به نرم‌افزار نورسار و تعیین درست پارامترهای مدل‌سازی مانند سرعت و چگالی برای هر لایه مدل نهایی تهیه می‌شود. این مرحله از کار به علت حائز اهمیت بودن مدل‌سازی، زمان زیادی را نیاز دارد تا مدل مناسبی با توجه به هدف مورد مطالعه تهیه شود. انواع مدل‌های تهیه شده در این فصل ارائه شده است.

۴-۳-۱ مدل ساده

در شکل زیر مدل ۴ لایه ساده ارائه شده است:

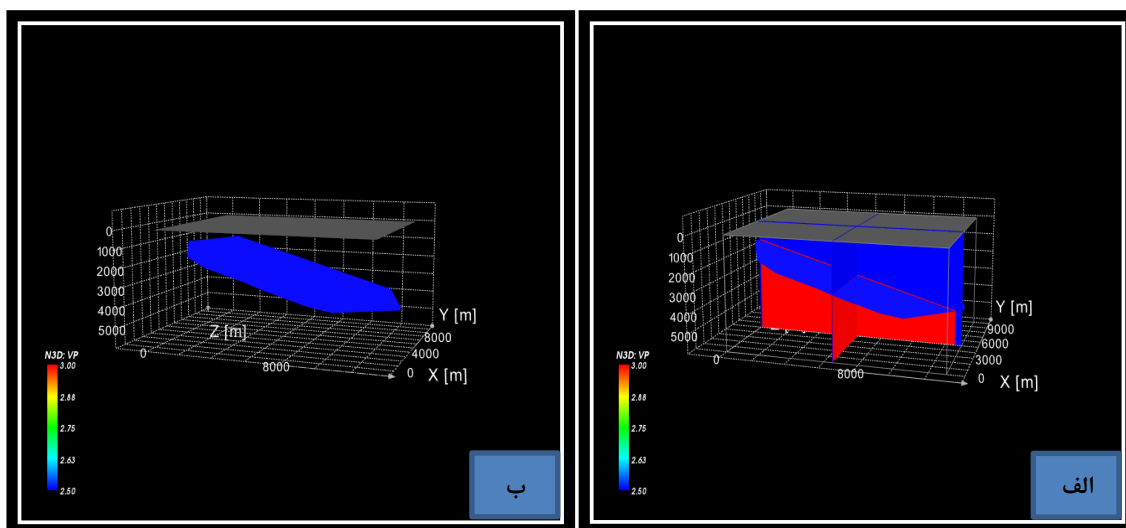
¹ Petrel Software



شکل ۴-۲: (الف) مدل چهارلایه ساده (ب) بلوک بندی مدل

۴-۳-۲ مدل شیب دار

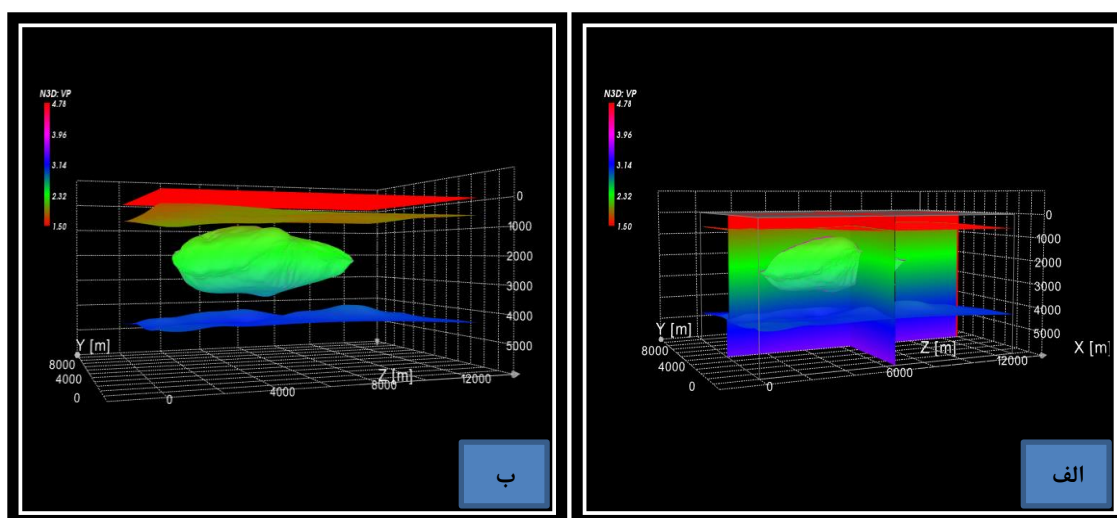
شکل زیر مدل شیب دار را نشان می دهد:



شکل ۴-۳: (الف) مدل شیب دار (ب) بلوک بندی مدل شیب دار

۴-۳-۳ مدل گنبد نمکی

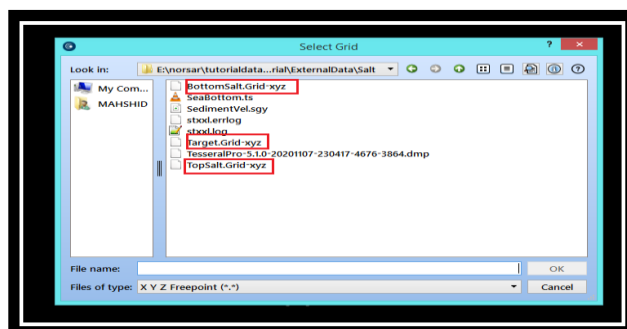
این مدل (۴-۴) توسط خود نرم افزار نورسار در پوشه راهنما معرفی شده است و با خصوصیات ارائه شده از مدل سرعتی آن، می توان به ساخت این مدل در نرم افزار پرداخت که در ادامه به طور مختصر نحوه دستیابی به مدل بیان شده است.



شکل ۴-۴: (الف) مدل گنبد نمکی (ب) بلوک بندی لایه های مدل

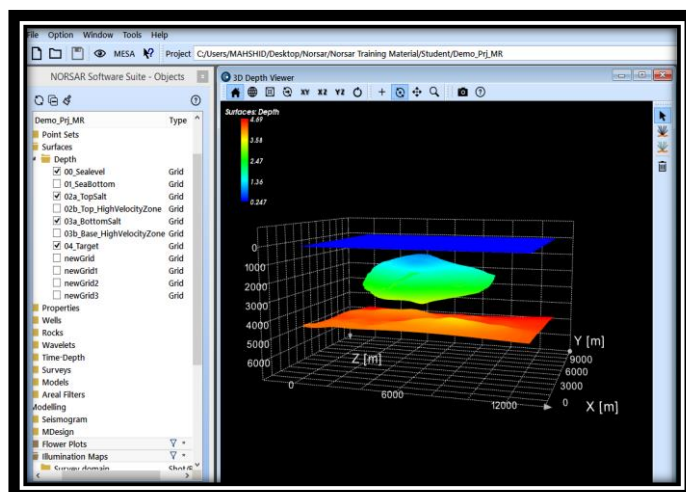
۴-۳-۳-۱ نحوه ساخت مدل گنبد نمکی

ابتدا در نرم افزار برای ساخت مدل جدید باید به سراغ گزینه new project رفت سپس لایه های مورد نیاز جهت ساخت مدل سرعتی را انتخاب نمود (شکل ۴-۵).



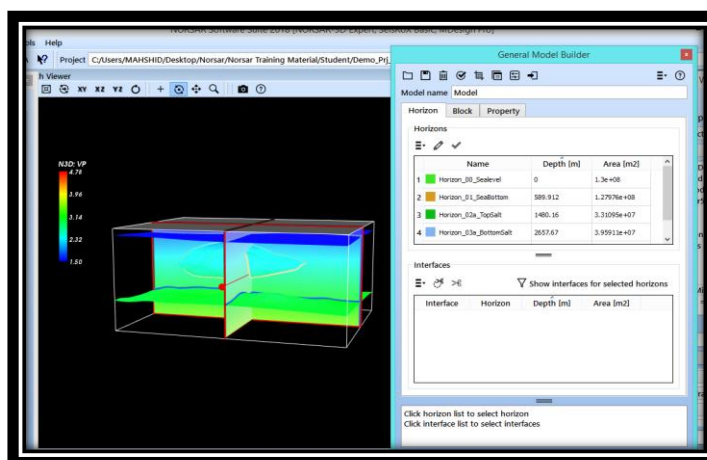
شکل ۴-۵: لایه های اصلی مدل گنبد نمکی

پس از آن قابل مشاهده است که سطح‌های موردنظر در قسمت Surface اضافه شده‌اند و قابل نمایش هستند (شکل ۴-۶).

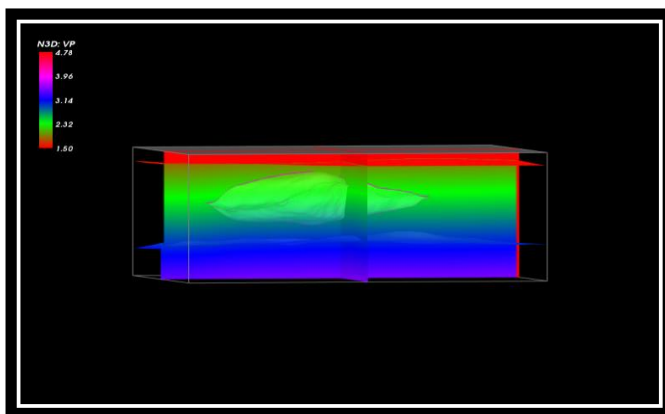


شکل ۴-۶: محیط نرم‌افزار در مرحله ساخت مدل

و در نهایت باید به تهیه مدل سرعتی از سطح‌های موجود پرداخت. ساخت مدل سرعتی از این سطح‌ها خود دارای سه قسمت است (شکل ۴-۷) که با تکمیل پارامترهای خواسته شده مدل نهایی مدنظر تولید خواهد شد (شکل ۴-۸).



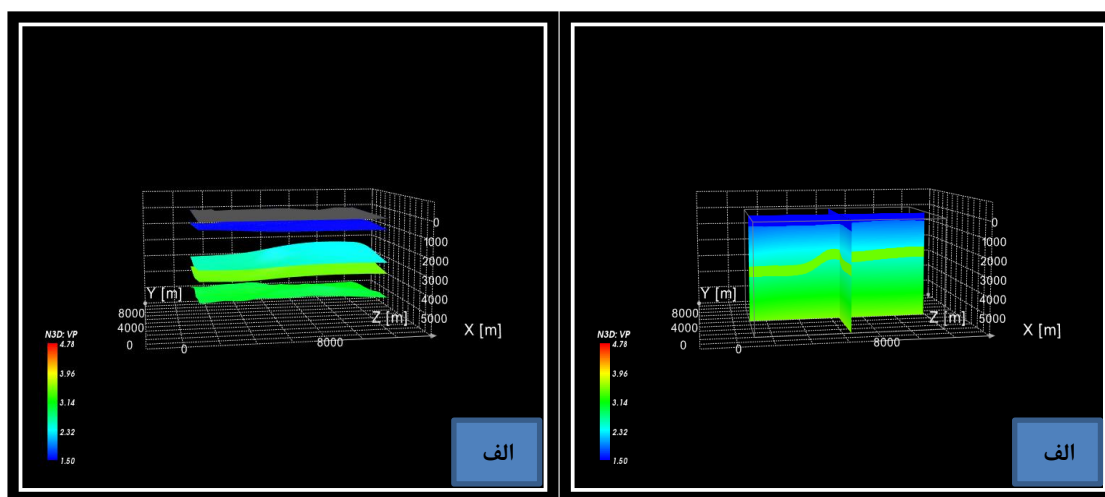
شکل ۴-۷: ساخت مدل سرعتی گنبد نمکی



شکل ۴-۸: مدل نهایی گنبد نمکی

۴-۳-۴ مدل کیک لایه‌ای

مدل کیک لایه‌ای با توجه به یک سری از خصوصیات با مدل‌های دیگر تفاوت‌های دارد این نوع از مدل‌ها دارای لایه‌های موازی با سرعت یکسان می‌باشند به‌طوری‌که سرعت در تمام جهات یکسان است^۱ در نتیجه از مقایسه هندسه برداشت به روش متداول و بهینه مشاهده می‌شود تغییرات آزیموت تأثیر زیادی بر روی تصویر به‌دست آمده پس از بهینه‌سازی هندسه برداشت نخواهد داشت.

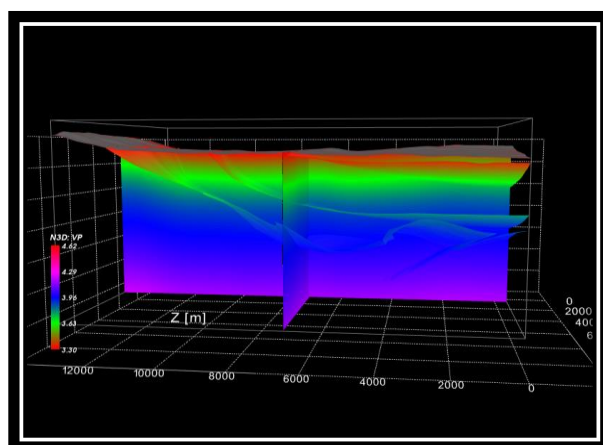


شکل ۴-۹: (الف) مدل کیک لایه‌ای (ب) بلوک‌بندی لایه‌های مدل کیک لایه‌ای

¹ Isotropic

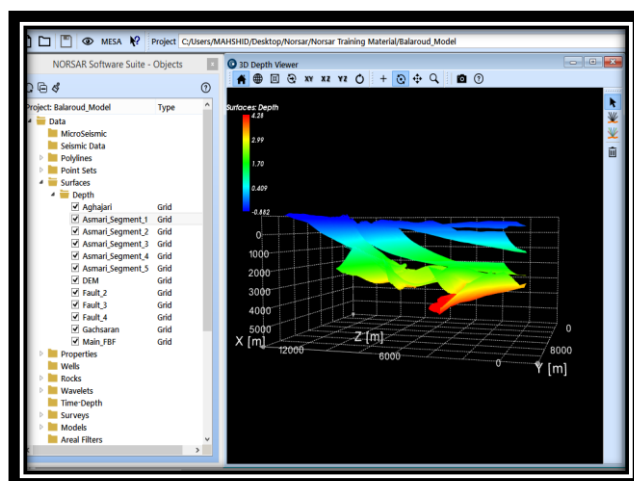
۴-۳-۵ مدل واقعی

این مدل در ابتدا با کمک نرم افزار پترل طراحی شده است به این صورت که لایه ها و سطوح مورد نظر در نرم افزار پترل تهیه می شود سپس لایه ها با فرمت مورد تأیید نرم افزار نورسار به جهت ایجاد مدل سرعتی (شکل ۴-۱۰) و طراحی هندسه عملیات مناسب وارد نرم افزار نورسار می شود.



شکل ۴-۱۰: نمایش مدل سرعتی بالارود پس از اضافه کردن لایه های مدل در نرم افزار

این مدل (شکل ۴-۱۱) دارای نه لایه و سه گسل خوردگی است که برای طراحی عملیات بهینه از لایه آسماری ۲ در این پایان نامه استفاده شده است.



شکل ۴-۱۱: نمایش لایه های مدل بالارود

۴-۴ طراحی عملیات لرزه‌ای به روش متداول

برای ساخت مدل باید با توجه به خصوصیات منطقه مورد مطالعه همچنین مطالعه اطلاعات در دسترس از مدل زمین‌شناسی مورد نظر اقدام کرد، سپس به طراحی پارامترهای عملیاتی با توجه به خصوصیات مدل اعم از، موانع سطحی و زیرسطحی، عمق مورد مطالعه، ابعاد مدل و وجود شیب و دیگر خصوصیات... تمامی این موارد را باید در نظر گرفت سپس با استفاده از رعایت قواعد و اصول کلی طراحی که در کتاب کوردسن بیان شده است، پرداخت. در ابتدا برای طراحی به روش متداول نیاز است که مقدار پوشش عمقی^۱ و ابعاد قطعه^۲ بر اساس ویژگی‌های منطقه از جمله ابعاد منطقه مورد مطالعه یا با توجه به بودجه و زمان در دسترس جهت انجام پروژه توسط کارفرما و طراح عملیات تعیین گردد، به‌طور کلی با افزایش میزان نقاط برخورد^۳ در سلول^۴ تصویر با کیفیت تری از هدف مورد مطالعه خواهیم داشت اما این میزان بستگی به محدودیت‌های فنی و مالی پروژه دارد. با مشخص شدن میزان پوشش عمقی و ابعاد قطعه می‌توان از روابط زیر جهت بدست آوردن پارامترهای دورافت استفاده کرد، لازم به ذکر است که روش‌های متداول^۵ برای سازندهایی که دارای خصوصیات پیچیدگی و تغییرات سرعت در لایه‌ها می‌باشند. پاسخ قابل قبولی نخواهند داشت، زیرا در این روش فرض شده است که لایه‌های سازند مورد مطالعه دارای سرعت یکسان، بدون پیچیدگی زمین‌شناسی و مسطح می‌باشند، به‌طور کلی بدون در نظر گرفتن هندسه سازند^۶ منطقه به ابداع این روش پرداخته شده است. در این قسمت برخی از روابط جهت تعیین پارامترهای دورافت به روش متداول ارائه شده است [20].

$$in - line fold = \frac{numbers\ of\ receivers \times receiver\ interval}{2 \times source\ line\ interval} \quad (۱-۴)$$

¹ Total fold

² Patch size

³ Midpoint

⁴ Bin

⁵ Conventional method

⁶ geometry

$$cross - line fold = \frac{numbers\ of\ receiver\ lines \times receiver\ line\ interval}{2 \times receiver\ line\ interval} \quad (2-4)$$

$$Total\ fold = in - line\ fold \times cross - line\ fold \quad (3-4)$$

$$Total\ fold = \frac{patch\ size}{4 \times (SLI \times RLI)} \quad (4-4)$$

$$Total\ fold = \frac{patch\ size}{4 \times (Box\ size)} \quad (5-4)$$

همان‌طور که در روابط (۴-۱) و (۴-۲) مشاهده می‌شود در روابط از پارامترهای کلیدی دورافت استفاده شده است، با دانستن دقیق میزان پوشش عمقی در رابطه (۴-۳) می‌توان به تعیین پارامترهای مورد نیاز دورافت پرداخت. با توجه به‌صورت کسر در روابط (۴-۱) و (۴-۲) می‌توان مقدار قطعه را هم به دست آورد، که در رابطه (۴-۴) قابل مشاهده است. همچنین با دانایی از این رابطه که اندازه جعبه برابر است با حاصل‌ضرب دو مقدار فاصله خطوط چشمه در فاصله خطوط گیرنده ($SLI \times RLI$) می‌توان به رابطه (۴-۵) دست یافت. تمامی پارامترها استفاده شده در روابط بالا، در جدول (۴-۱) معرفی شده است. در این پایان‌نامه میزان پوشش عمقی و ابعاد قطعه با توجه به صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های پروژه همچنین داشتن تصویر زیرسطحی مناسب از مختصات منطقه مورد بررسی از مدل، انتخاب شده است سپس اقداماتی برای تعیین میزان پارامترهای دیگر جهت طراحی هندسه برداشت عملیات سه-بعدی لرزه‌نگاری صورت گرفته است، برای مثال در مدل گنبد نمکی به ابعاد 11×13 کیلومتر (شکل ۴-۵) میزان پوشش عمقی ۸۱ و ابعاد قطعه 5×2 کیلومتر تعیین شده است سپس به کمک روابط بالا میزان پارامترهای دورافت محاسبه و در جدول (۵-۴) ارائه شده است.

$$Total\ fold = \frac{(in\ line\ patch\ dimention \times cross\ line\ dimention)}{4 \times (SLI \times RLI)} \quad (6-4)$$

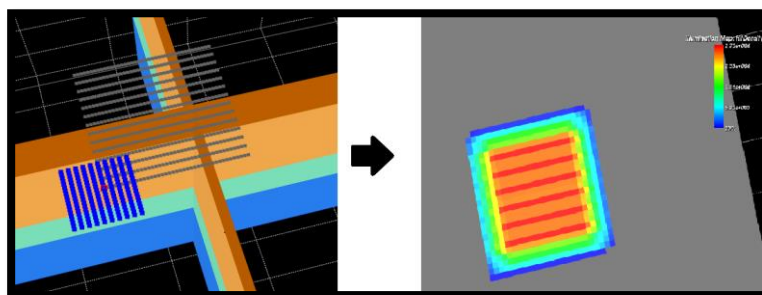
با توجه به اطلاعات در دسترس می‌توان به کمک رابطه (۴-۶) [20]، مقادیر فاصله خطوط چشمه و فاصله خطوط گیرنده را به دست آورد و به دنبال آن مقادیر فاصله چشمه‌ها و گیرنده‌ها و دیگر پارامترهای دورافت قابل تعیین می‌باشد. در قسمت بعد به کمک روابط (۴-۱) تا (۴-۶) به همین ترتیب طراحی هندسه برداشت به روش متداول در یک مدل ساده و چهار مدل پیچیده صورت گرفته است، تمامی پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی برداشت به روش متداول تعیین شده و در جداول قابل مشاهده است.

جدول ۴-۱: جدول معرفی پارامترها در روابط (۴-۱) تا (۴-۶)

معرفی	پارامترها
پوشش عمقی در جهت گیرنده	<i>in – line fold</i>
پوشش عمقی در جهت چشمه	<i>cross – line fold</i>
پوشش عمقی کل	<i>Total fold</i>
تعداد گیرنده‌های فعال در دورافت	<i>numbers of receivers</i>
فاصله گیرنده‌ها از یکدیگر	<i>receiver interval</i>
فاصله خطوط چشمه	<i>(SLI) source line interval</i>
تعداد خطوط گیرنده	<i>numbers of receiver lines</i>
فاصله خطوط گیرنده	<i>(RLI) receiver line interval</i>
اندازه قطعه	<i>patch size</i>
اندازه جعبه	<i>Box size</i>
فاصله خطوط چشمه در فاصله خطوط گیرنده	<i>SLI × RLI</i>

۴-۴-۱ طراحی متداول برای مدل ساده چندلایه

(شکل ۴-۱۲) به علت همگن بودن و سرعت در انجام کار مختصات کوچکی از مدل مورد بررسی قرار گرفته است و قابل مشاهده است روش متداول به خوبی برای مدل ساده که بدون هیچ پیچیدگی زمین‌شناسی می‌باشد قادر به پاسخگویی در جهت ارائه تصویر کامل زیرسطحی از مدل است.

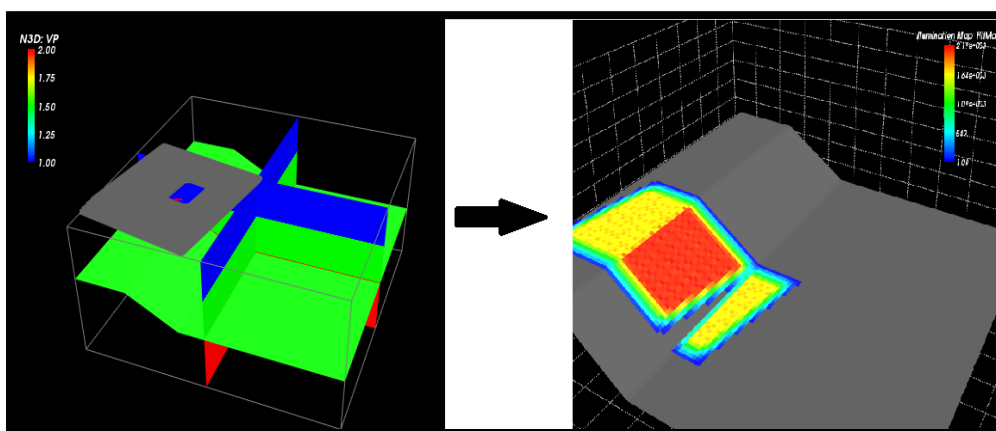


شکل ۴-۱۲: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل ساده

جدول ۴-۲: پارامترهای طراحی عملیات سه‌بعدی لرزه‌ای برای مدل ساده چهار لایه

میزان (متر)	پارامترهای کاربردی در نرم‌افزار
۴۰۰	فاصله بین خطوط چشمه
۴۰۰	فاصله بین خطوط گیرنده
۵۰	فاصله بین هر چشمه
۵۰	فاصله بین هر گیرنده
۵۵۰	فاصله بین اولین چشمه از گیرنده (minimum offset)
۲۰۰۰	طول خطوط چشمه
۹۰۰	طول خطوط گیرنده
۰ درجه	آزیموت
10	تعداد خطوط چشمه
7	تعداد خطوط گیرنده

۴-۴-۲ طراحی متداول برای مدل دارای گسل خوردگی

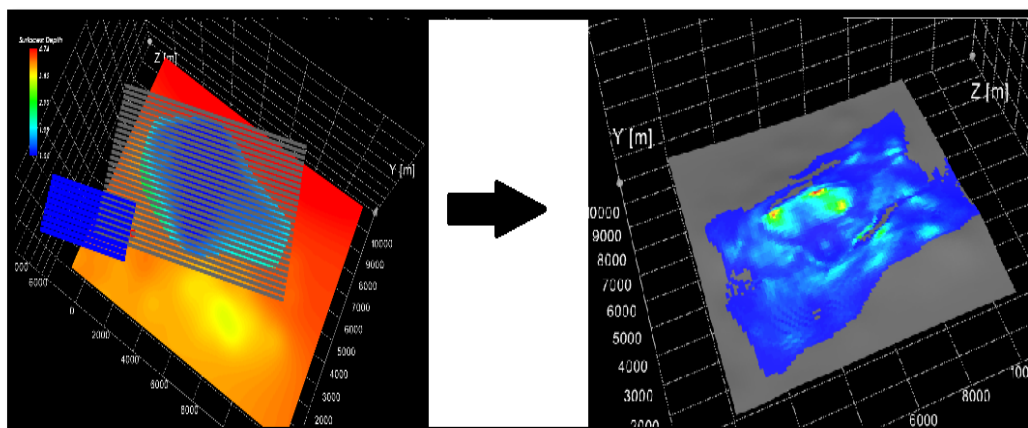


شکل ۴-۱۳: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل دارای گسل خوردگی

جدول ۴-۳: پارامترهای طراحی عملیات لرزه‌ای برای مدل دارای گسل خوردگی

پارامترهای کاربردی در نرم‌افزار	میزان (متر)
فاصله بین خطوط چشمه	300
فاصله بین خطوط گیرنده	300
فاصله بین هر چشمه	40
فاصله بین هر گیرنده	40
فاصله بین اولین چشمه از گیرنده (minimum offset)	420
طول خطوط چشمه	5000
طول خطوط گیرنده	1000
آزیموت	260 درجه
تعداد خطوط چشمه	50
تعداد خطوط گیرنده	10

۳-۴-۴ طراحی متداول برای مدل گنبد نمکی

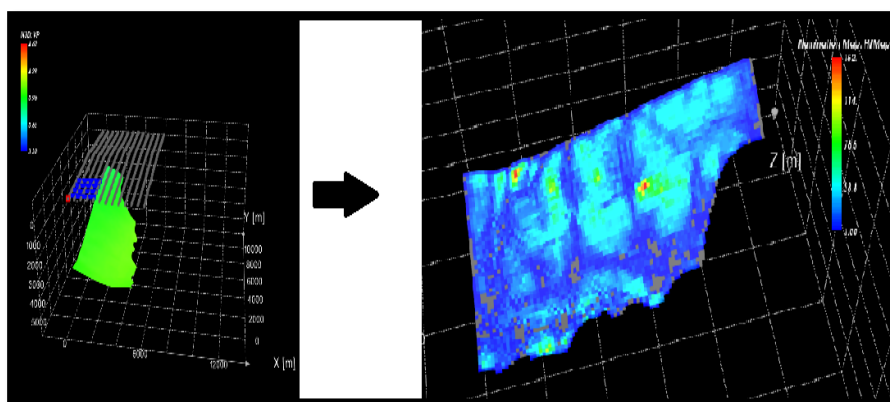


شکل ۳-۴-۱۴: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل گنبد نمکی

جدول ۳-۴-۴: پارامترهای طراحی عملیات لرزه‌ای برای مدل گنبد نمکی

میزان (متر)	پارامترهای کاربردی در نرم‌افزار
۲۰۰	فاصله بین خطوط چشمه
۲۰۰	فاصله بین خطوط گیرنده
۵۰	فاصله بین هر چشمه
۵۰	فاصله بین هر گیرنده
۲۵۰	فاصله بین اولین چشمه از گیرنده (minimum offset)
۸۰۰۰	طول خطوط چشمه
۴۰۰۰	طول خطوط گیرنده
۳۵۵ درجه	آزیموت
۲۶	تعداد خطوط چشمه
۱۳	تعداد خطوط گیرنده

۴-۴-۴ طراحی متداول برای مدل بالارود

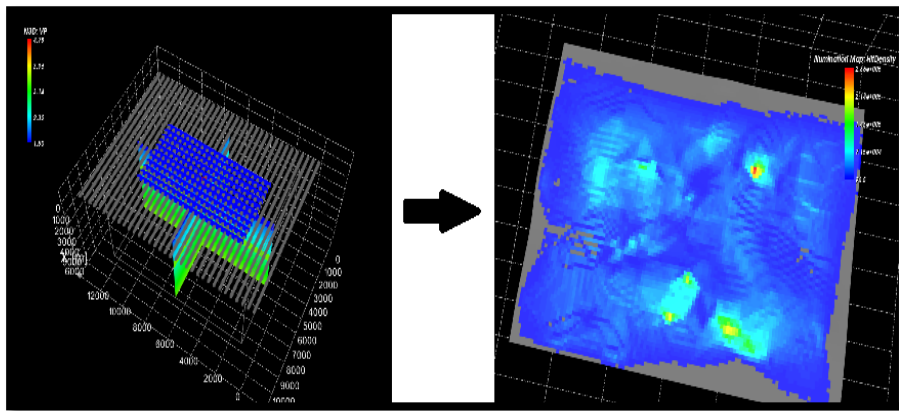


شکل ۴-۱۵: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل بالارود

جدول ۴-۵: پارامترهای طراحی عملیات لرزه‌ای برای مدل بالارود

میزان (متر)	پارامترهای کاربردی در نرم‌افزار
۵۰۰	فاصله بین خطوط چشمه
۶۰۰	فاصله بین خطوط گیرنده
۶۰	فاصله بین هر چشمه
۶۰	فاصله بین هر گیرنده
۷۵۰	فاصله بین اولین چشمه از گیرنده (minimum offset)
۶۰۰۰	طول خطوط چشمه
۴۲۰۰	طول خطوط گیرنده
۰ درجه	آزیموت
۱۳	تعداد خطوط چشمه
۸	تعداد خطوط گیرنده

۵-۴-۴ طراحی متداول برای مدل کیک لایه‌ای



شکل ۴-۱۶: نقشه برخورد طراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل کیک لایه‌ای

جدول ۴-۶: پارامترهای طراحی عملیات لرزه‌ای برای مدل کیک لایه‌ای

میزان (متر)	پارامترهای کاربردی در نرم‌افزار
۵۰۰	فاصله بین خطوط چشمه
۵۰۰	فاصله بین خطوط گیرنده
۱۰۰	فاصله بین هر چشمه
۱۰۰	فاصله بین هر گیرنده
۷۰۰	فاصله بین اولین چشمه از گیرنده (minimum offset)
۱۲۰۰۰	طول خطوط چشمه
۷۰۰۰	طول خطوط گیرنده
۲۷۵ درجه	آزیموت
۲۸	تعداد خطوط چشمه
۸	تعداد خطوط گیرنده

۴-۵ ویژگی‌های نرم‌افزار در جهت طراحی عملیات

در نرم‌افزار نورسار سه بعدی پس از طراحی به روش متداول به کمک امکانات موجود در نرم‌افزار نتایج به دست آمده به جهت بهینه‌سازی و بهبود تصاویر زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نقشه-های شفافیت اطلاعات ارزشمندی را در خصوص ارتباط بین هندسه برداشت با تصاویر به دست آمده از افق‌های سطح مورد مطالعه را به دست می‌دهد. روش کار این نرم‌افزار بر اساس ردیابی پرتو می‌باشد که تعدادی از موارد کاربردی ردیابی پرتو که در این پایان‌نامه در جهت بهینه‌سازی هندسه برداشت کار شده است، در این فصل بیان شده است که این موارد از کارهای مفید و کاربردی نرم‌افزار می‌باشد که در جهت بهینه‌سازی آزمون و دورافت همچنین بهترین مکان قرارگیری گیرنده بسیار مفید واقع شده است.

۴-۵-۱ پرتوهای شفافیت^۱

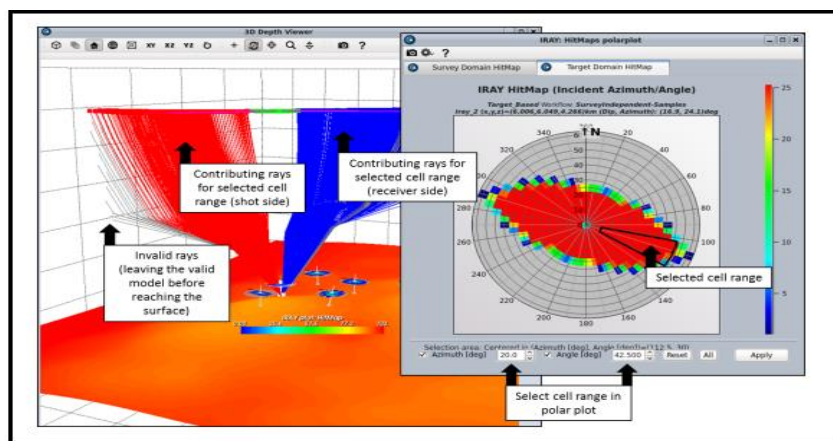
در این قسمت می‌توان با تعیین محل دقیق مکان مورد بررسی در مدل به بررسی مسیر حرکت پرتو از چشمه و بازگشت آن به سطح پرداخت به این گونه که با تعیین پارامترهایی در این قسمت نتیجه حاصل به ما اطلاعاتی از آزمون، دورافت و زاویه برخورد می‌دهد در نتیجه با کسب اطلاعات از این موارد می‌توان بهترین آزمون به عنوان زاویه‌ای که از شمال نشان داده می‌شود، و دورافت به عنوان فاصله از مرکز اندازه‌گیری می‌شود، را با توجه به نقطه‌ای خاص تعیین کرد. بنابراین نیاز است، نقاطی که نیاز به بررسی دارند (مجموعه نقطه^۲) بر روی سطح مورد مطالعه^۳ انتخاب شوند (شکل ۴-۱۷)، تا بتوان از همان

^۱ Illumination ray

^۲ Point set

^۳ Target

نقاط اطلاعاتی را به دست آورد. البته قابل تأمل است که زمان پردازش با تعداد نقاط مورد بررسی افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۱۷: نمای کلی روش کار پرتو شفافیت در نرم‌افزار نورسار

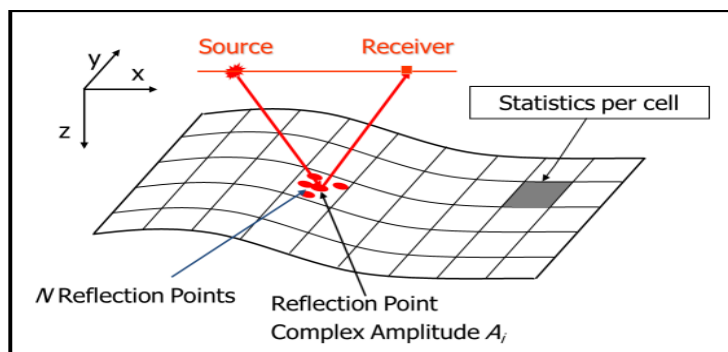
۴-۵-۲ نقشه‌های شفافیت^۱

یکی از کاربردهای کلیدی روش ردیابی پرتو، تولید نقشه‌های شفافیت است. نقشه‌های شفافیت یک نتیجه کلی به شکل نقشه از ارتباط بین هندسه برداشت با تصویر افق‌های هدف به دست می‌دهد. همانطور که در (شکل ۴-۱۸) قابل مشاهده است تعریف ساده‌ای از مفهوم شفافیت، اینگونه است که برای هر جفت چشمه و گیرنده در سطح نقطه بازتاب کننده در افق موردنظر مدل می‌شود. به منظور انجام نقشه‌برداری، سطح هدف مورد مطالعه معمولاً به سلول‌های شبکه‌ای تقسیم می‌شوند که می‌توانند به اندازه سلول‌های جعبه باشند اما معمولاً بزرگ‌تر هستند. به این صورت است که برای ایجاد یک نقشه برخورد از پرتوها (تعداد نقاط بازتاب در هر سلول شبکه)، تمام پرتوهایی که دارای یک نقطه بازتاب^۲ در یک سلول شبکه خاص هستند، خلاصه می‌شوند. تعداد نقاطی که درون هر سلول قرار می‌گیرند

^۱ Illumination map

^۲ Reflection point

نشان‌دهنده میزان کیفیت تصویر حاصل از عملیات لرزه‌نگاری می‌باشد. (شکل ۴-۱۸) به‌طور کلی این روش را نشان می‌دهد [14] و هرچه تعداد این نقاط در هر سلول بیشتر باشد، می‌توان گفت کیفیت تصویر بهتر خواهد بود.



شکل ۴-۱۸: اصول کلی تولید نقشه‌های شفافیت هر نقطه درون سلول مربوط به یک جفت چشمه و گیرنده است [37].

تفاوت این روش با روش محاسبات نقطه میانی مشترک^۱ در این است که تجزیه و تحلیل‌ها به‌جای اینکه توسط پارامترهای سطحی بررسی گردد، با در نظر داشتن لایه‌های مختلف شیب آن‌ها و شکل آن‌ها در عمق محاسبه می‌شود، که این بسیار می‌تواند کمک کند به نزدیک شدن جواب به‌دست آمده به واقعیت در نتیجه نقشه شفافیت به‌دست آمده می‌توان به بهبود تصویر و کاهش هزینه به‌منظور جلوگیری از انفجار چشمه مجدد کمک گردد [8]، رنگ‌های موجود در نقشه‌های شفافیت به‌دست آمده با توجه به تعداد همین نقاط می‌باشد که در (شکل ۴-۱۹) قابل رؤیت است. اطلاعات به‌دست آمده از نقشه‌های شفافیت برای هر جفت چشمه و گیرنده از طراحی عملیات برداشت لرزه‌نگاری بر روی مدل شامل موارد زیر است:

✓ میزان پوشش عمقی برای هدف مورد مطالعه

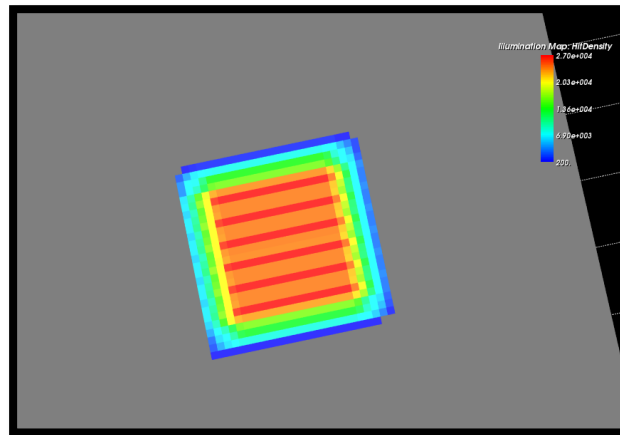
✓ توزیع دامنه روی هدف مورد مطالعه

¹ Common Midpoint

✓ کمترین و بیشترین زاویه برخورد روی هدف مورد مطالعه

✓ بیشترین زمان ثبت^۱ برای هر شوت

✓ بیشترین میزان فاصله بین چشمه و گیرنده



شکل ۴-۱۹: نقشه شفافیت

با توجه به نقشه‌های به‌دست آمده (شکل ۴-۱۹)، می‌توان دید در برخی مناطق که پوشش عمقی کافی در نتیجه تعداد برخورد پرتوها به هدف همچنین توزیع دامنه بیشتر بوده است رنگ قرمز را نشان می‌دهد.

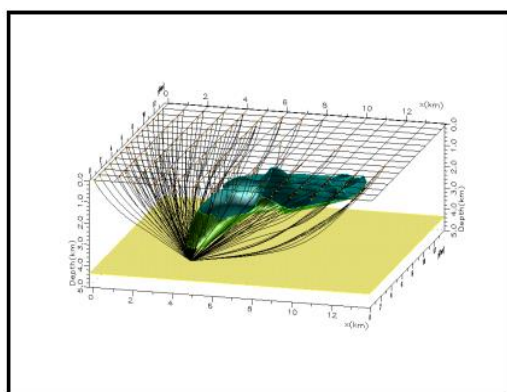
۴-۵-۳ نمودار گل^۲

نمودارهای گل را می‌توان در طراحی برداشت عملیات لرزه‌نگاری برای یافتن سریع دورافت‌ها آزمایش‌ها و زمان‌های ثبت و دریافت مربوط به نقاط خاص که تعیین شده در زیر سطح استفاده کرد. این روش یک جمع‌آوری از نقطه میانی مشترک را محاسبه می‌کند که در آن نقطه بازتابی روی سطح هدف قرار می‌گیرد. پرتو از یک مکان خاص در زیر سطح (عمدتاً در موقعیت CRP) به سطح مدل پرتاب می‌شود. تمامی جفت‌های چشمه و گیرنده‌ای که محل خاص و موردنظر ما را در زیرزمین نمایش می‌دهند،

^۱ listening time

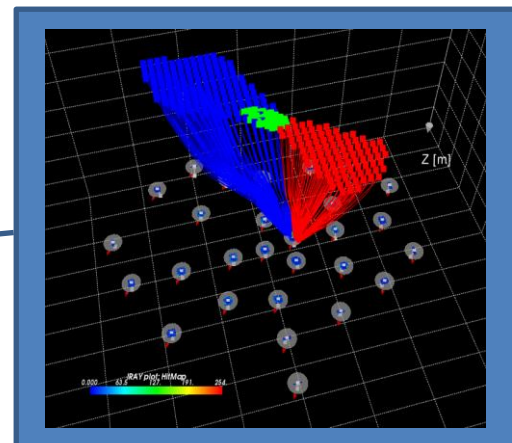
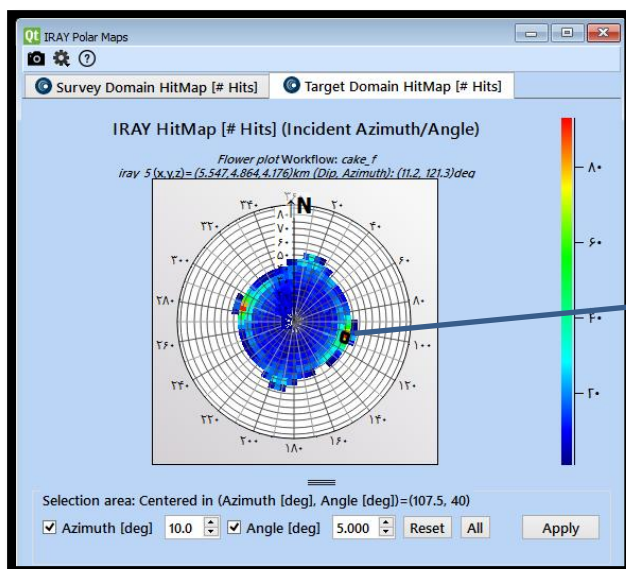
^۲ Flower plot

دسته‌بندی می‌شوند که تمام آن‌ها از قانون اسنل پیروی می‌کنند. زوج‌های چشمه و گیرنده با بالاترین دامنه انتخاب و برای طراحی هندسه برداشت بررسی می‌شوند. این روش برای طراحی بهینه هندسه برداشت بسیار کاربردی و حائز اهمیت است، اهمیت آن در جهت توجه به شرایط افق هدف همچنین لایه‌های روباره تعیین می‌گردد. (شکل ۴-۲۰) مدل پیشرو برای نمودار گل از نقطه بازتابی روی لایه هدف به سمت گیرنده‌های ثابت روی زمین نشان می‌دهد.



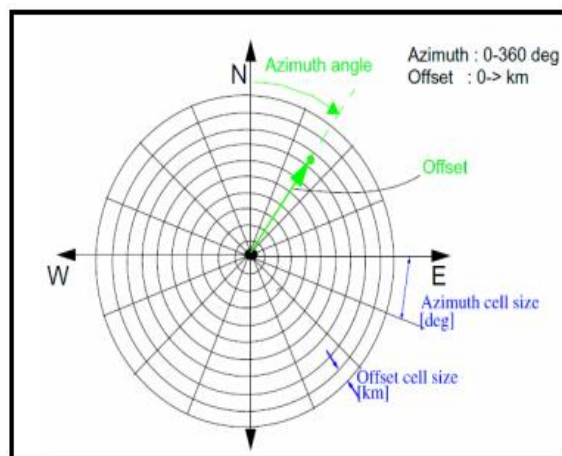
شکل ۴-۲۰: پرتوهای تابیده شده از لایه هدف به سمت گیرنده‌های ثابت سطح برای محاسبه نمودار گل [37].

نمودار گل نوعی نقشه شفافیت است که بیانگر دامنه دورافت و آزمون است که برای هر نقطه بازتابی یک گروه نقشه تولید می‌کند و تمام اطلاعات مربوط به آن را در یک نقشه نمایش می‌دهد (شکل ۴-۲۱) مربوط به نمودار گل می‌باشد.



شکل ۴-۲۱: نمودار نقشه گل

در آخر می‌توان با توجه به نقشه برخورد^۱ که در آن برای هر سلول مشخص است، بهترین دورافت و آزمون را برای طراحی عملیات لرزه‌نگاری مشخص کرد. (شکل ۴-۲۲) نمونه‌ای از نمودار گل است که میزان برخورد و راستای آزمون و دورافت را به خوبی نمایش داده است.



شکل ۴-۲۲: نمایش اطلاعات مربوط به شفافیت در دامنه دورافت - آزمون [37].

¹ hit map

فصل پنجم: بهینه‌سازی و طراحی عملیات لرزه‌ای

سه بعدی

۵-۱ بهینه‌سازی طراحی عملیات با استفاده از نرم‌افزار

در این پایان‌نامه با استفاده از نرم‌افزار نورسار و مطالعه اطلاعات اولیه از طراحی عملیات به کمک کتاب کوردسن شروع به طراحی عملیات برداشت شده است، سپس به کمک مدل‌سازی و دیگر امکاناتی که در نرم‌افزار موجود است، پارامترهای بهینه طراحی عملیات تعیین شده است و در نهایت هندسه برداشت طراحی عملیات متداول بهبود گردیده است. هدف اولیه از بهینه‌سازی هندسه طراحی عملیات سه‌بعدی لرزه‌ای، داشتن برخورد موج در تمامی قسمت‌های سطح هدف مورد مطالعه جهت دریافت اطلاعات زیرسطحی، سپس صرفه‌جویی در زمان و هزینه پروژه مورد مطالعه به کمک کاهش تعداد چشمه‌ها بوده است. برای مشاهده نقشه‌های برخورد موج حاصل از برداشت عملیات لرزه‌نگاری از نقشه‌های شفافیت استفاده شده به این صورت که می‌توان با مشاهده نقشه‌های حاصل شده پی‌برد در کدام قسمت‌ها برخورد موج با لایه هدف صورت نگرفته است و نیاز بهبود پارامترهای هندسه طراحی عملیات می‌باشد، سپس می‌توان نقشه‌های برخورد را به کمک نقشه‌های پرتو شفافیت و موج مستقیم^۱ از جهت تعیین میزان آزمون مناسب و میزان گسترش هندسی دورافت، مورد بررسی قرار داد در ادامه به‌طور کامل در مورد نمودارهای پرتو شفافیت توضیح داده شده است.

۵-۱-۱ بررسی نقشه شفافیت مدل‌های زمین‌شناسی با استفاده از

پرتوهای شفافیت

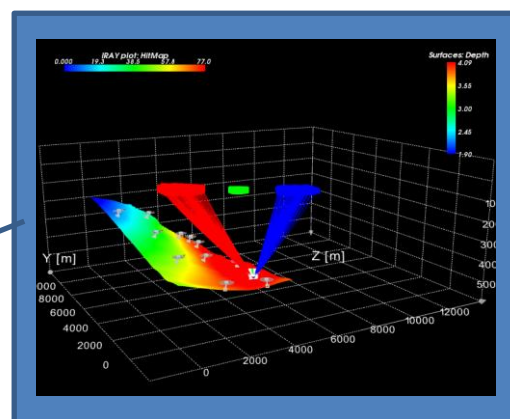
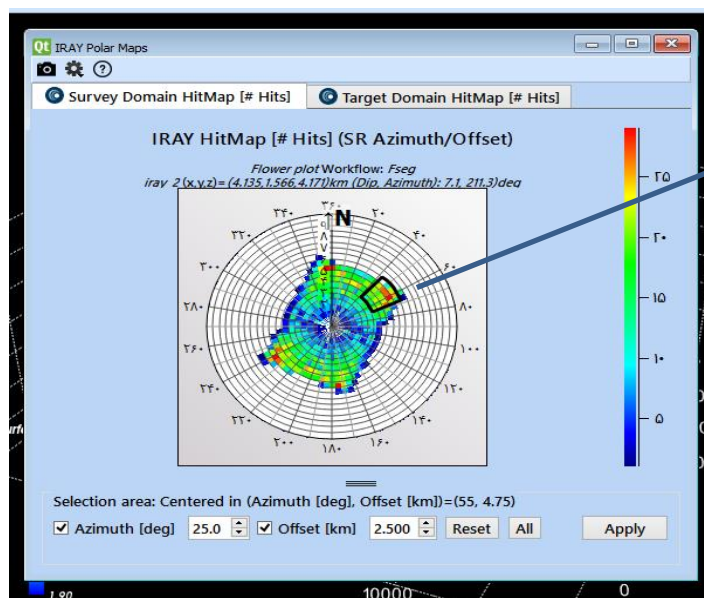
نقشه‌های پرتو شفافیت خود دارای دو ویژگی کاربردی در نرم‌افزار نورسار جهت کمک به بهبود تصاویر زیرسطحی می‌باشند که می‌توان از آن ویژگی‌ها جهت بهبود نقشه‌های برخورد استفاده کرد، آن دو

^۱ Direct ray

ویژگی که نقشه‌های گل و نقشه‌های غیر وابسته به هندسه برداشت^۱ هستند بسیار کاربردی و مفید واقع شده‌اند

۵-۱-۱-۱ بهینه‌سازی با استفاده از نمودار گل

نمودار گل نقشه‌ای است که قادر است بهترین آزمون و دورافت را برای نقاط تعیین شده به ما نشان دهد.



شکل ۵-۱: شکل نمودار گل از مدل بالارود.

در این نمونه از مدل با بررسی نقشه‌ی شفافیت لایه 1-segment مشاهده شده است در برخی از قسمت‌ها در نقشه شفافیت برخوردی صورت نگرفته است، سپس با انتخاب آن نقاط^۲ یا هر ناحیه‌ای که هدف مطالعه است به همراه دیگر پارامترها، به عنوان اطلاعات ورودی جهت بررسی در قسمت نمودار گل وارد شده، و بعد از انجام بررسی با ارائه نموداری آزمون‌های مناسب را جهت تعیین بهترین آزمون در اختیار محققان قرار می‌دهد (شکل ۵-۱). همان‌طور که در نقشه گل مشاهده می‌شود نوار سمت

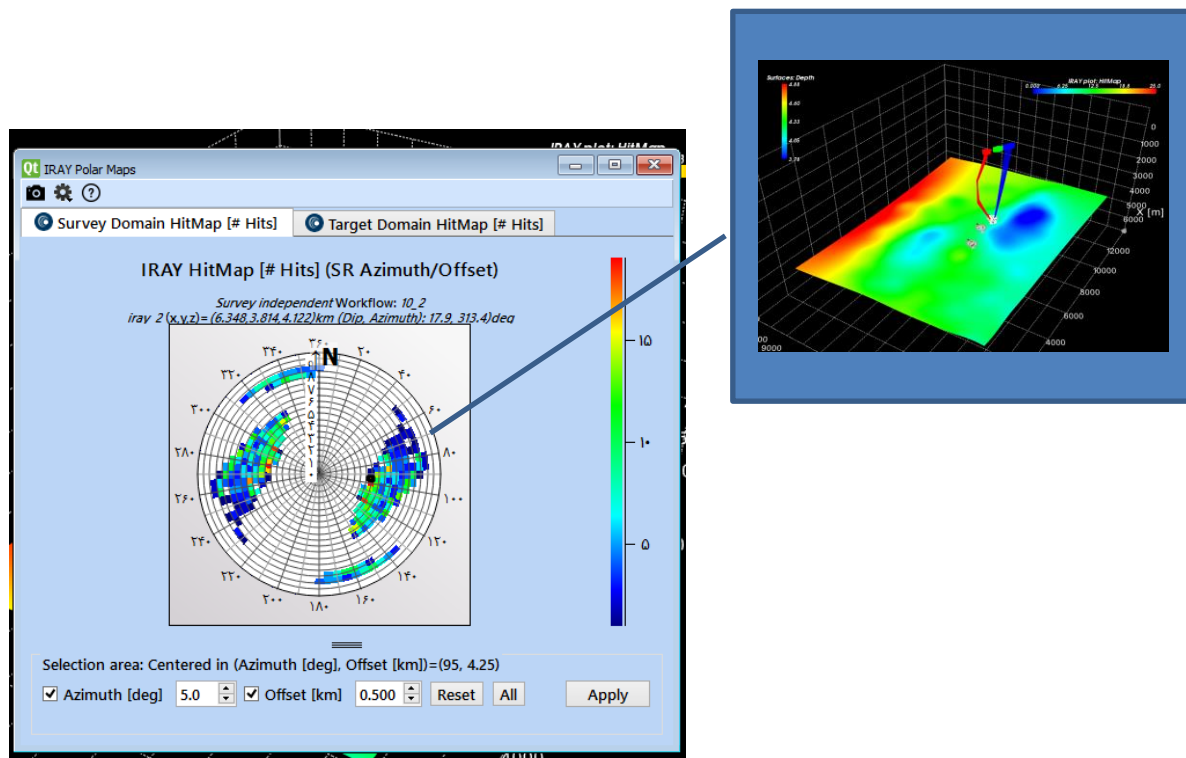
^۱ Survey independent

^۲ Point set

راست شکل که بارنگ‌های مختلف، نمایان است تعداد برخورد موج به هدف موردنظر را نشان می‌دهد، به‌طور مثال، رنگ قرمز بیشترین تعداد برخورد را داراست که می‌توان بهترین آزمون و دورافت را در آن قسمت مشاهده کرد.

۵-۱-۱-۲ بهینه‌سازی به کمک نمودار غیر وابسته به هندسه برداشت^۱

این ویژگی از نرم‌افزار این امکان را برای طراحان هندسه برداشت عملیات فراهم می‌کند که بدون وابستگی به هندسه دورافت همچنین با فرض وجود چشمه و گیرنده در تمام جهات و نقاط منطقه مورد مطالعه، آزمون و دورافت مناسب را برای نقاط تعیین شده نشان دهد (شکل ۵-۲).

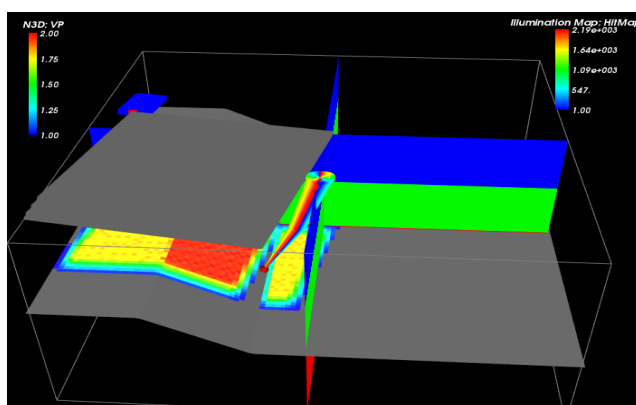


شکل ۵-۲: نمودار غیر وابسته به هندسه برداشت مدل گنبد نمکی

¹ Survey independent

۵-۱-۱-۳ بهینه‌سازی به روش پرتو مستقیم^۱

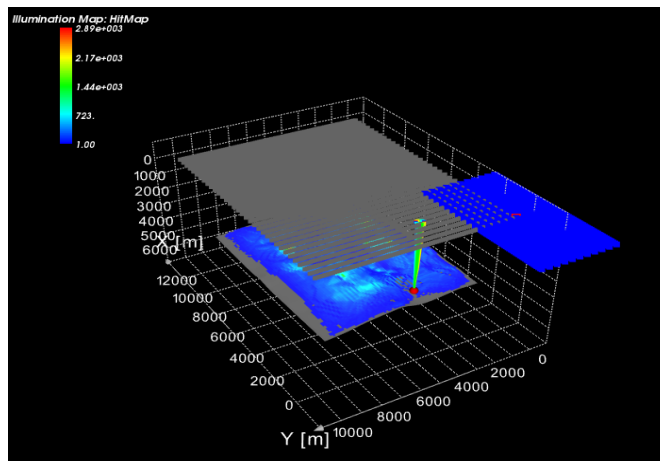
این روش با ارائه مسیر بازتاب پرتو فرودی به سطح توانسته است، تشخیص محل مناسب را برای قرارگیری چشمه و گیرنده برای طراحان هندسه برداشت سهل کند. این روش به‌نوعی عیب‌یابی در هندسه برداشت هم می‌تواند باشد به این‌گونه که پس از طراحی هندسه برداشت و مشاهده نقشه برخورد آن می‌توان قسمت‌هایی که هیچ برخوردی نداشته را شناسایی و با استفاده از این روش هندسه برداشت را اصلاح کرد. این روش بسیار کاربردی است برای مدل‌های دارای گسل خوردگی به علت زاویه‌ای که بازتاب پرتو در قسمت پایین لایه دارای گسل دارد.



شکل ۵-۳: پرتو مستقیم در قسمتی از مدل دارای گسل خوردگی

در مدل دارای گسل خوردگی مشاهده می‌شود، قسمتی از پایین سطح مورد بررسی که دارای گسل خوردگی است، هیچ برخوردی ندارد اما بر روی سطح افقی بعد از آن برخورد موج به‌خوبی صورت گرفته است، پس این موضوع صحت طراحی هندسه برداشت عملیات به روش متداول را تصدیق می‌کند. و پوشش کافی را جهت تصویرسازی زیرسطحی دارا می‌باشد اما قسمت پایین گسل به علت تغییر زاویه در پرتو بازتابی و عدم دریافت پرتو فرودی در آن قسمت، بازتابی از آن محل وجود نخواهد داشت (شکل ۵-۳). لازم به ذکر است این روش به‌تنهایی قادر به بهینه‌سازی هندسه برداشت نمی‌باشد، اما می‌توان در کنار دیگر روش‌ها در جهت بهینه‌سازی کمک‌کننده باشد.

¹ Direct ray



شکل ۵-۴: موج مستقیم در مدل کیک لایه‌ای

به‌طور مثال در (شکل ۵-۴) که از روش موج مستقیم استفاده شده است، مشاهده می‌شود، باوجود اینکه گسترش هندسی دورافت تمام قسمت‌های مدل را از جهت ارسال و دریافت موج به کلیه مناطق سطح مورد مطالعه را دربرگرفته است. با این‌وجود قابل مشاهده است عدم برخورد موج در برخی مناطق وجود دارد که باید از روش‌های دیگر مورد بررسی قرار گیرد. به‌طورکلی در انجام بهینه‌سازی پارامترهای هندسه برداشت بهتر است تمامی روش‌ها باهم مورد بررسی قرار گیرد تا نتیجه بهتری حاصل شود.

۵-۲ مقایسه طراحی عملیات به روش متداول و بهینه

درنهایت پس از استفاده و بررسی تمامی روش‌های بهینه‌سازی در این قسمت به بازگویی و مقایسه نتایج هندسه متداول و بهینه پرداخت شده است.

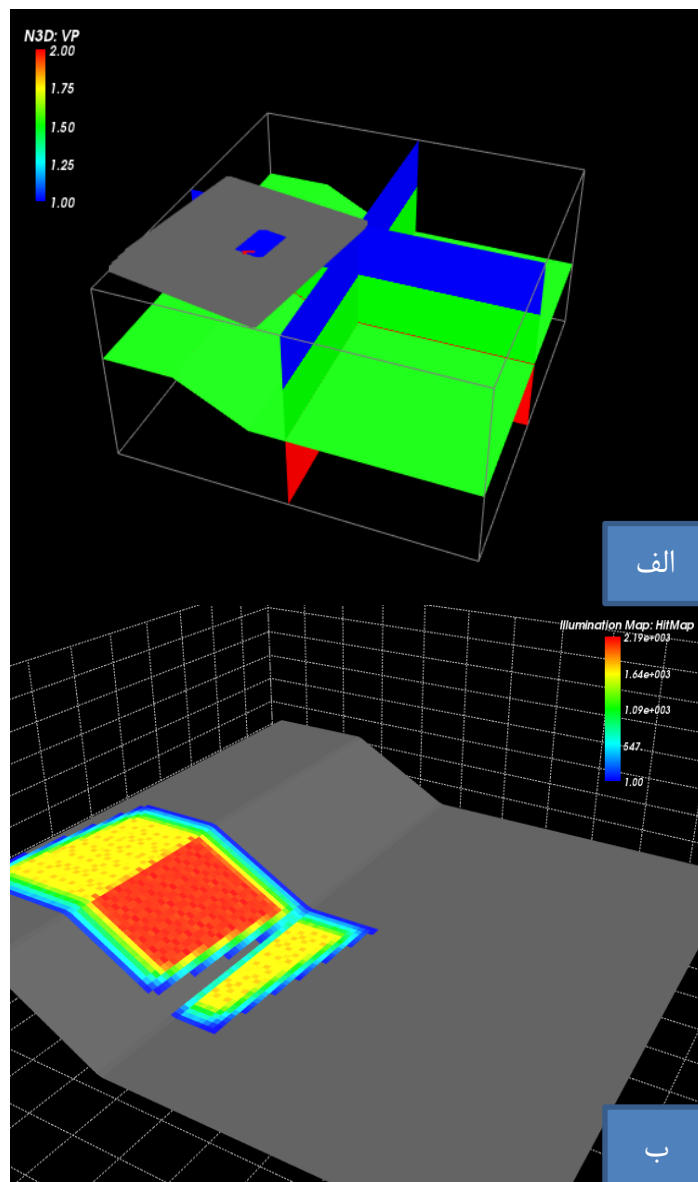
۵-۲-۱ ارائه طراحی‌های بهینه و مقایسه آن با طراحی متداول

در این قسمت تمامی مدل‌های پیشرو^۱ ایجادشده به کار گرفته شده است، به‌منظور طراحی عملیات لرزه‌ای متداول سپس بهینه‌سازی آن‌ها، که تمامی این موارد در این قسمت ارائه شده است.

^۱ Forward modeling

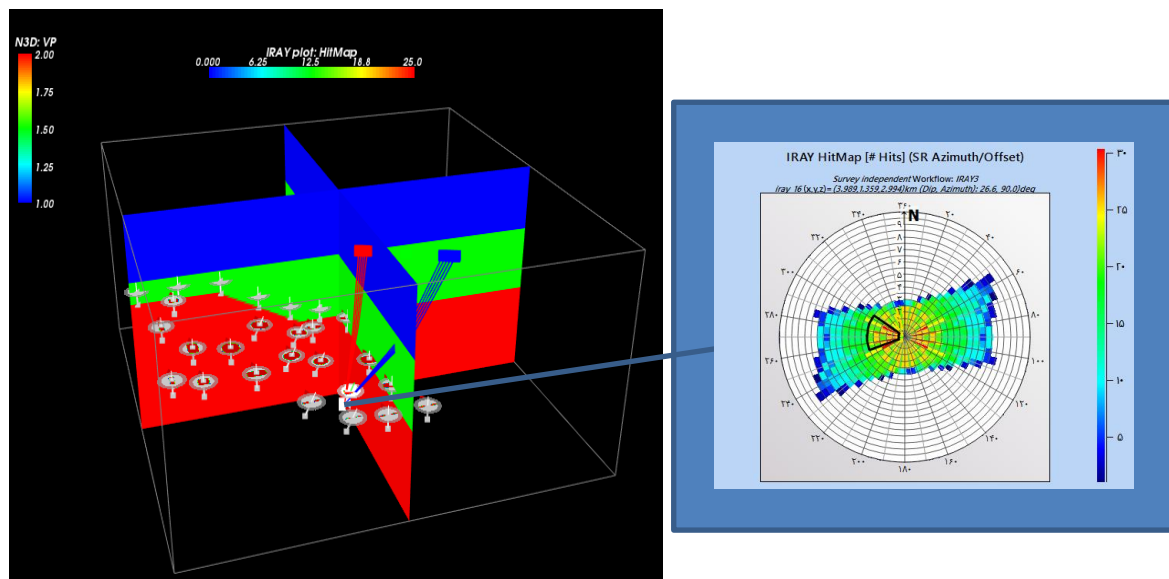
۵-۲-۱-۱ مدل دارای گسل خوردگی

در این نوع مدل‌ها که دارای گسل خوردگی می‌باشند، چالش برای دریافت اطلاعات در قسمت پایین گسل می‌باشد. زیرا در آن قسمت پرتو بازتابی با انحراف زیادی بازتاب می‌شود که در (شکل ۵-۵). قابل مشاهده می‌باشد.



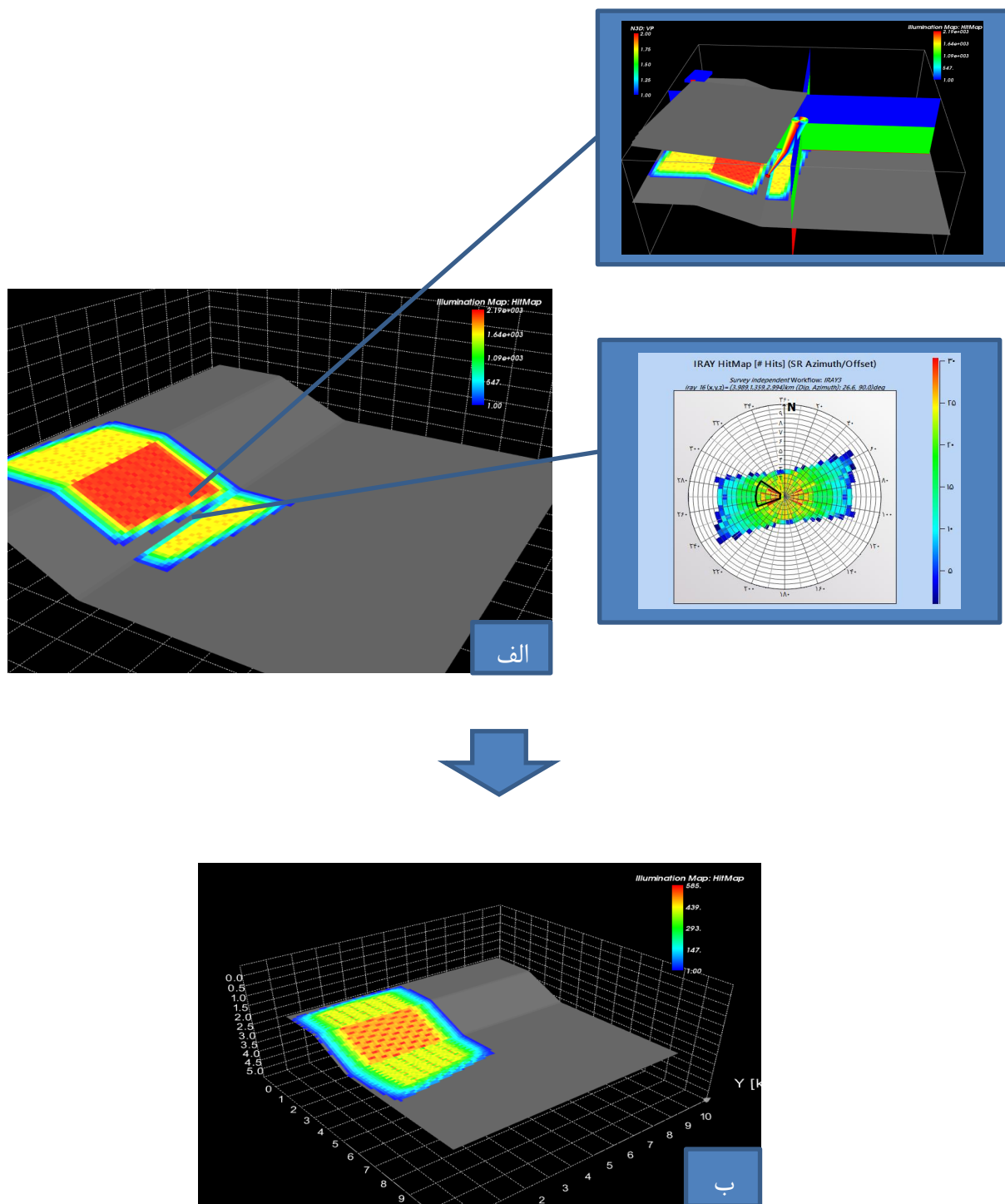
شکل ۵-۵: مدل دارای گسل خوردگی (الف) نشان‌دهنده طراحی عملیات به روش متداول (ب) نشان‌دهنده نقشه شفافیت با هندسه برداشت در قسمت (الف)

همان‌طور که در (شکل ۵-۵) قابل مشاهده است، قسمت پایین گسل خوردگی مدل در نقشه شفافیت عدم برخورد پرتو وجود دارد (شکل ۵-۵ ب). هدف از بهینه‌سازی هندسه برداشت در ابتدا برخورد در تمامی قسمت‌های سطح مورد مطالعه سپس کاهش چشمه‌ها به منظور کاهش هزینه‌های پروژه است.



شکل ۵-۶: نشان‌دهنده روش نقشه برخورد غیر وابسته به هندسه برداشت

برای بهینه‌سازی طراحی هندسه برداشت نیاز به دانستن آزمون و دورافت مناسب وجود دارد. که با استفاده از روش‌های بیان شده در قسمت قبل می‌توان این موارد را به دست آورد. برای مدل دارای گسل خوردگی در قسمتی که برخوردی انجام نشده بود، آزمون بهینه همچنین محل بازتاب موج به کمک روش‌های غیر وابسته به هندسه برداشت (شکل ۵-۶) و پرتو مستقیم تعیین شده است و در نهایت پس از تعیین میزان پارامترهای عملیات برداشت که در (جدول ۵-۱) ارائه و با پارامترهای قبل بهینه‌سازی مقایسه گردیده است به بازطراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌ای پرداخته شده و نتیجه به دست آمده در نقشه شفافیت قابل مشاهده است (شکل ۵-۷).



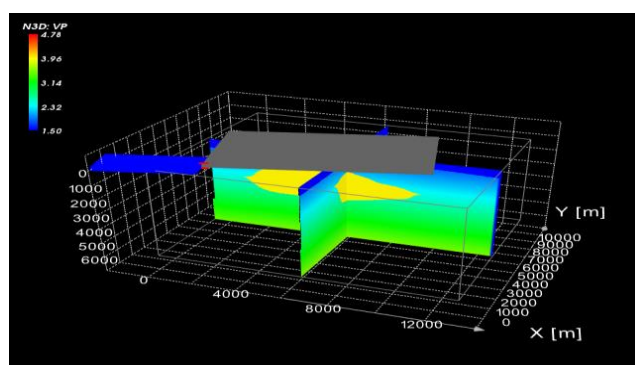
شکل ۵-۷: بهینه‌سازی مدل دارای گسل خوردگی (الف) نقشه شفافیت پیش از بهینه‌سازی هندسه برداشت (ب) نقشه شفافیت پس از بهینه‌سازی هندسه برداشت

جدول ۵-۱: مقایسه پارامترهای برداشت هندسه عملیات برای مدل دارای گسل خوردگی

پارامتر	متداول	بهینه
تعداد چشمه	۶۲۵۰	۳۳۰۰
تعداد گیرنده	۲۵۰	۴۰۰
آزیموت	۲۶۰ درجه	۲۸۰ درجه

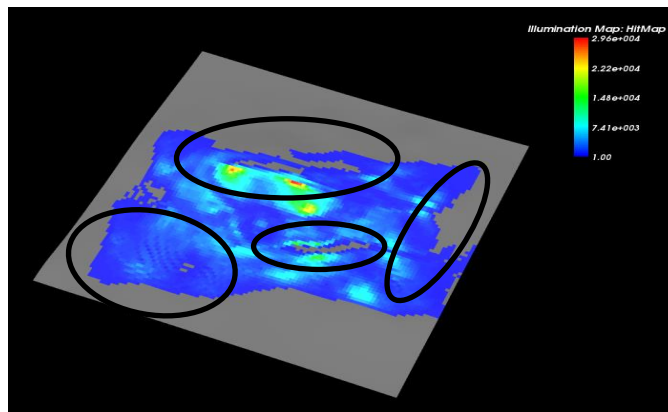
۵-۲-۱-۲ مدل دارای گنبد نمکی

با توجه به اینکه در مدل‌های دارای گنبد نمکی همیشه گرفتن اطلاعات از سطح زیرین گنبد نمکی با چالش همراه بوده است. در این پایان‌نامه تلاش شده است با بهینه‌سازی نشانگرهای عملیاتی به تصویری مناسب از سطح زیرین گنبد نمکی دست یافت. در این مدل ابتدا به روش متداول هندسه برداشت عملیات طراحی شده است (شکل ۵-۸).



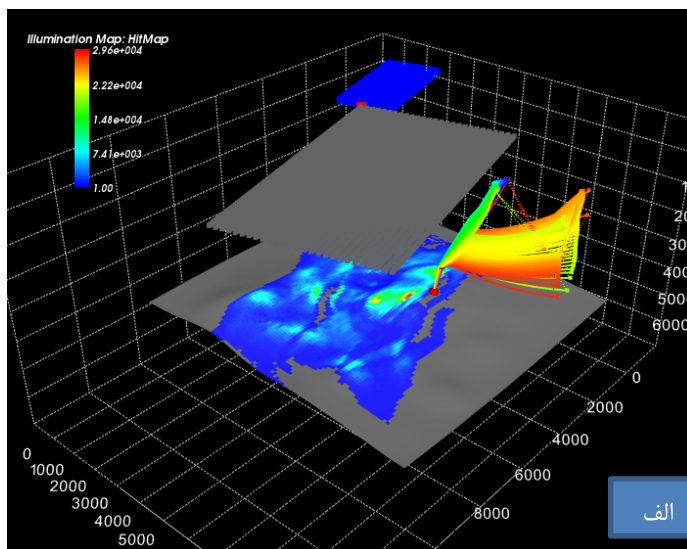
شکل ۵-۸: طراحی عملیات به روش متداول برای مدل گنبد نمکی

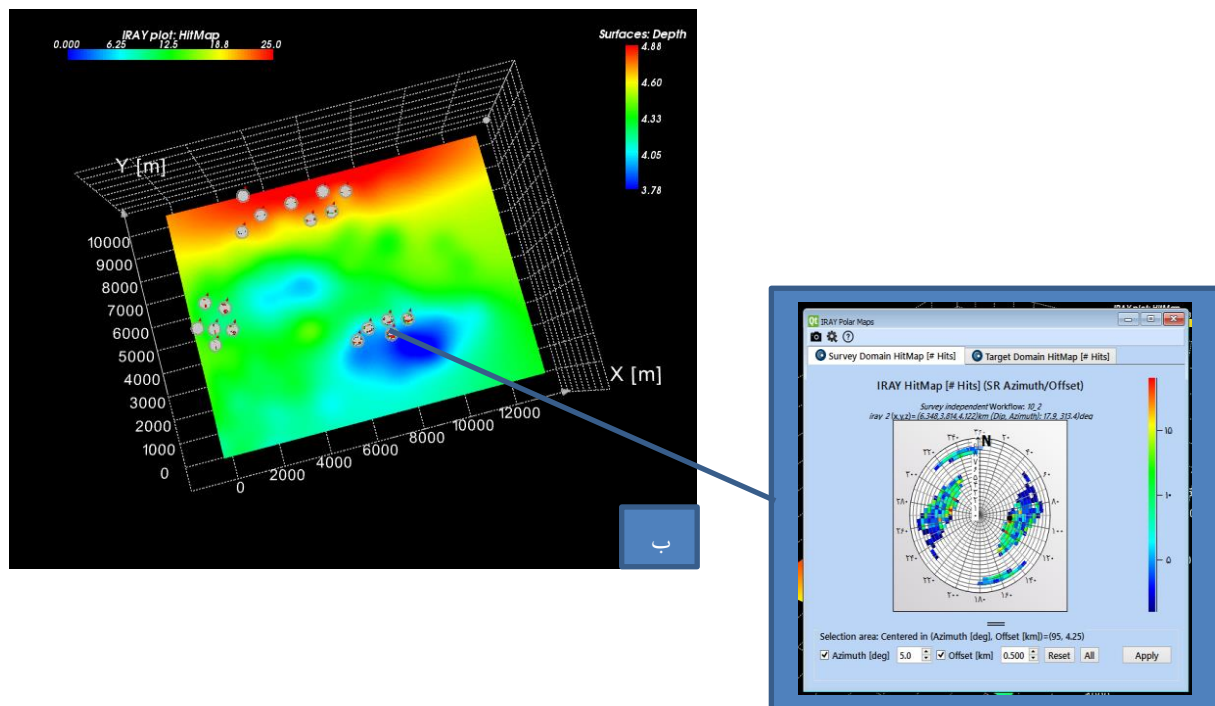
سپس با توجه به نقشه شفافیت به دست آمده از روش متداول مشاهده می‌شود، در برخی از قسمت‌های نقشه شفافیت که اطراف گنبد نمکی هستند برخوردی وجود ندارد (شکل ۵-۹) تلاش شده است از قسمتهایی از مدل که عدم دریافت اطلاعات وجود دارد، به کمک روش‌های بهینه‌سازی هندسه طراحی برداشت عملیات دریافت اطلاعات صورت گیرد.



شکل ۵-۹: نقشه شفافیت از طراحی متداول

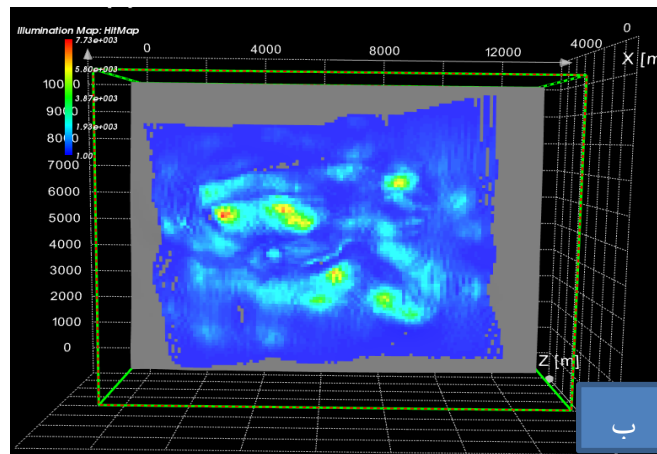
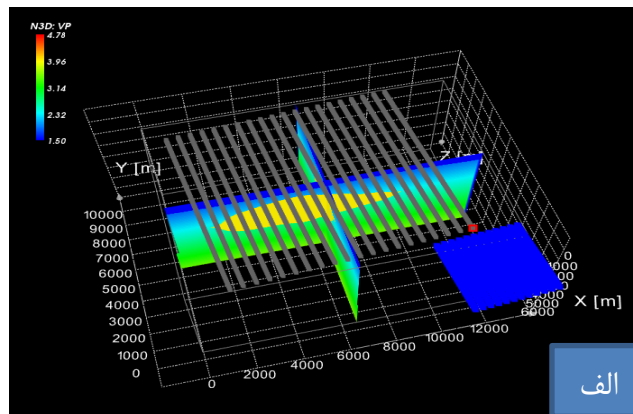
در (شکل ۵-۹) قسمت‌های که نیاز به بهبودی وضعیت دارند توسط دایره‌های مشکی احاطه شده‌اند. در طراحی بهینه برای مدل گنبد نمکی هدف در ابتدا داشتن اطلاعات از قسمت‌های مشخص شده در شکل می‌باشد، سپس کاهش هزینه به کمک کاهش در تعداد چشمه‌ها است. که در ادامه ارائه شده است.





شکل ۵-۱۰: روش‌های به‌کاررفته برای بهینه‌سازی نقشه شفافیت مدل دارای گنبد نمکی شکل (الف) از روش پرتو مستقیم استفاده شده است شکل (ب) از روش برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی استفاده، شده است.

(شکل ۵-۱۰) بیانگر روش‌های بهینه‌سازی برای گنبد نمکی می‌باشد که از دو روش پرتو مستقیم (شکل ۵-۱۰ الف) و دریافت نقشه برخورد غیر وابسته به هندسه طراحی عملیات (شکل ۵-۱۰ ب) استفاده شده است سپس آن‌ها را بررسی نموده و آزمون مناسب قسمت‌های مورد نظر از نقشه برخورد غیر وابسته به هندسه طراحی همچنین میزان گیرنده‌های فعال بر روی سطح را از روش پرتو مستقیم به‌دست آمده است در (جدول ۵-۲) ارائه و با پارامترهای برداشت عملیات قبل از بهینه‌سازی مقایسه گردیده است و درنهایت بهترین هندسه برداشت عملیات لرزه‌ای به‌منظور بهبودسازی آن طراحی شده است، (شکل ۵-۱۱) نقشه شفافیت تولید شده از طراحی بهینه می‌باشد.



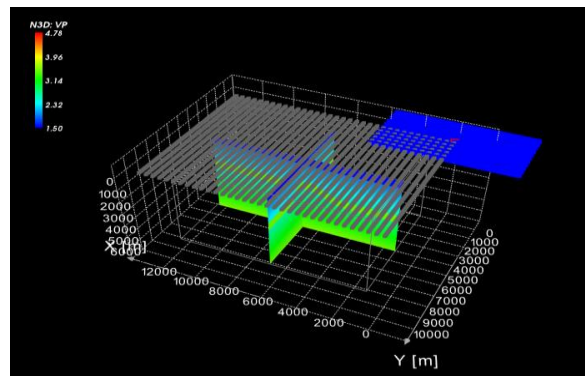
شکل ۵-۱۱: بهینه‌سازی هندسه طراحی عملیات برای مدل دارای گنبد نمکی شکل (الف) طراحی بهینه هندسه برداشت عملیات شکل (ب) نقشه شفافیت به‌دست‌آمده از طراحی بهینه

جدول ۵-۲: مقایسه پارامترهای برداشت هندسه عملیات برای مدل دارای گنبد نمکی

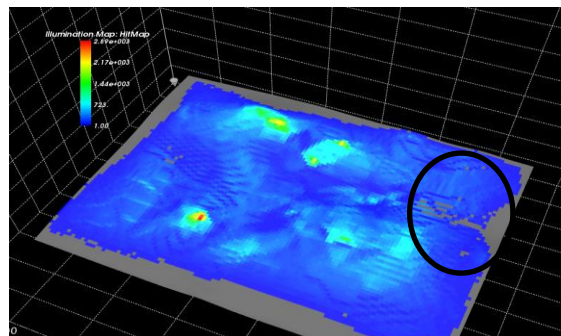
پارامتر	متداول	بهینه
تعداد چشمه	۴۱۶۰	۳۶۰۰
تعداد گیرنده	۱۰۴۰	۱۱۵۰
آزیموت	۳۵۵ درجه	۳۳۵ درجه

۵-۲-۱-۳ مدل کیک لایه‌ای

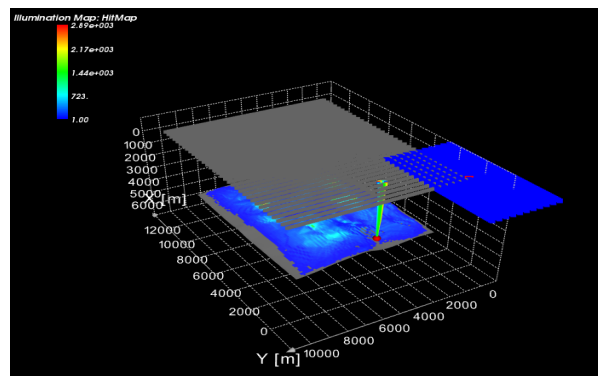
با توجه به خصوصیات بی‌ان شده از این مدل قابل مشاهده است که پس از طراحی هندسه عملیات به روش متداول و پوشش کامل هندسه برداشت بر روی مدل (شکل ۵-۱۲) و دریافت نقشه شفافیت مشاهده می‌شود در قسمتی از نقشه دارای عدم برخورد موج وجود دارد اما به‌طور کلی نقشه به‌دست آمده از روش متداول نسبت به نقشه شفافیت مدل‌های دی‌گر مناسب می‌باشد (شکل ۵-۱۳)، که نیازمند بررسی و بهبود در هندسه برداشت عملیات می‌باشد.



شکل ۵-۱۲: طراحی سه‌بعدی برداشت عملیات لرزه‌نگاری به روش متداول برای مدل کیک لایه‌ای

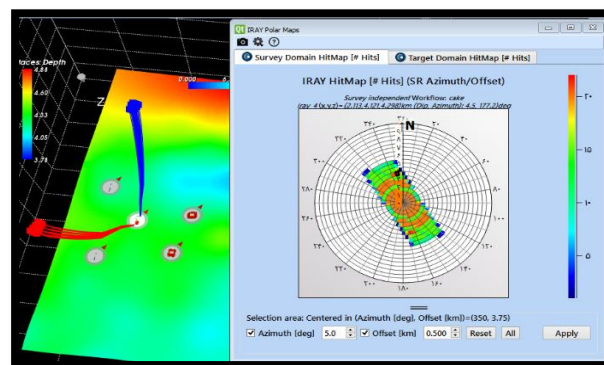


شکل ۵-۱۳: نقشه شفافیت از طراحی سه‌بعدی عملیات لرزه‌نگاری بر روی مدل کیک لایه‌ای



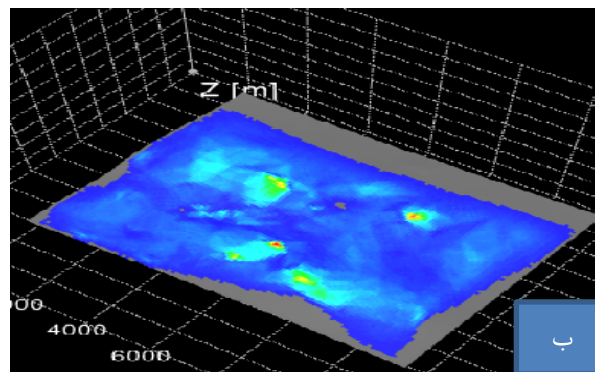
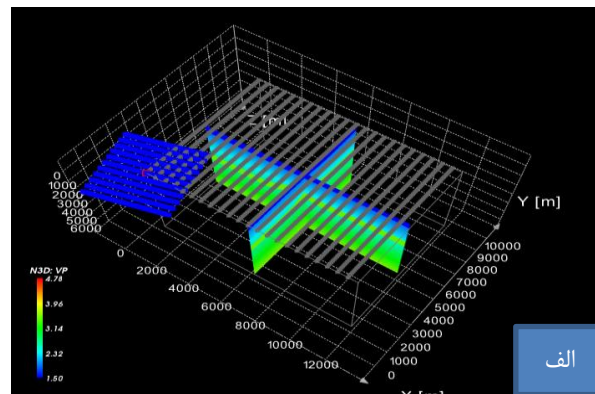
شکل ۵-۱۴: بهبود دریافت اطلاعات از نقشه شفافیت

در (شکل ۵-۱۴) مشاهده می‌شود پرتو مستقیم از آن قسمت که مشکل عدم دریافت اطلاعات داریم توسط هندسه برداشت سه‌بعدی متداول تحت پوشش قرار گرفته است اما همان‌طور که قبل از این بیان شده بود این روش به‌تنهایی جهت بررسی هندسه برداشت قادر به بهبود نخواهد بود، بنابراین جهت بررسی از دیگر روش‌ها هم استفاده شده است.



شکل ۵-۱۵: استفاده از روش برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی

با توجه به (شکل ۵-۱۵) مشاهده می‌شود. ابتدا نقاط مورد بررسی بر روی سطح مورد مطالعه را تعیین کرده سپس با کمک روش برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی برداشت، آزمون بهینه را می‌توان تعیین کرد که تغییرات میزان آزمون نسبت به قبل از بهینه‌سازی در (جدول ۵-۳) ارائه شده است که با تعیین این مقدار به بازطراحی هندسه برداشت عملیات پرداخته شده است و قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۶) که با تغییراتی در نشانگرهای عملیاتی می‌توان مشکل عدم دریافت اطلاعات را حل نمود.



شکل ۵-۱۶: بهبود در نقشه شفافیت شکل (الف) بازطراحی هندسه برداشت جهت بهبود نقشه شفافیت شکل (ب) نقشه شفافیت بهبودیافته

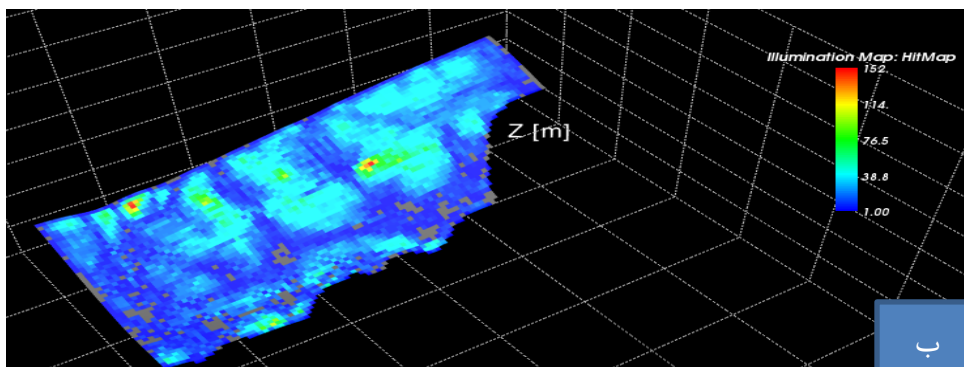
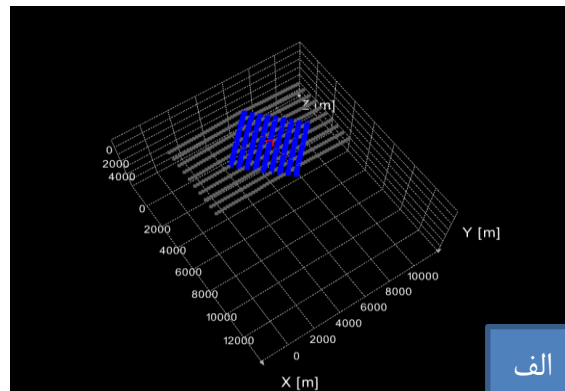
درنهایت با مقایسه نقشه شفافیت به دست آمده از روش متداول و بهبود یافته قابل مشاهده است به علت خصوصیات مدل کیک لایه‌ای تغییر قابل توجهی در مقایسه با نقشه‌های به دست آمده پس از بهینه‌سازی نشانگرهای عملیاتی در نقشه‌های شفافیت مدل‌های دیگر وجود ندارد.

جدول ۵-۳: مقایسه پارامترهای برداشت هندسه عملیات برای مدل کیک لایه‌ای

پارامتر	اولیه	بهینه
تعداد چشمه	۳۳۶۰	۱۷۸۲
تعداد گیرنده	۵۶۰	۴۵۱
آزیموت	۳۶۰ درجه	۳۴۵ درجه

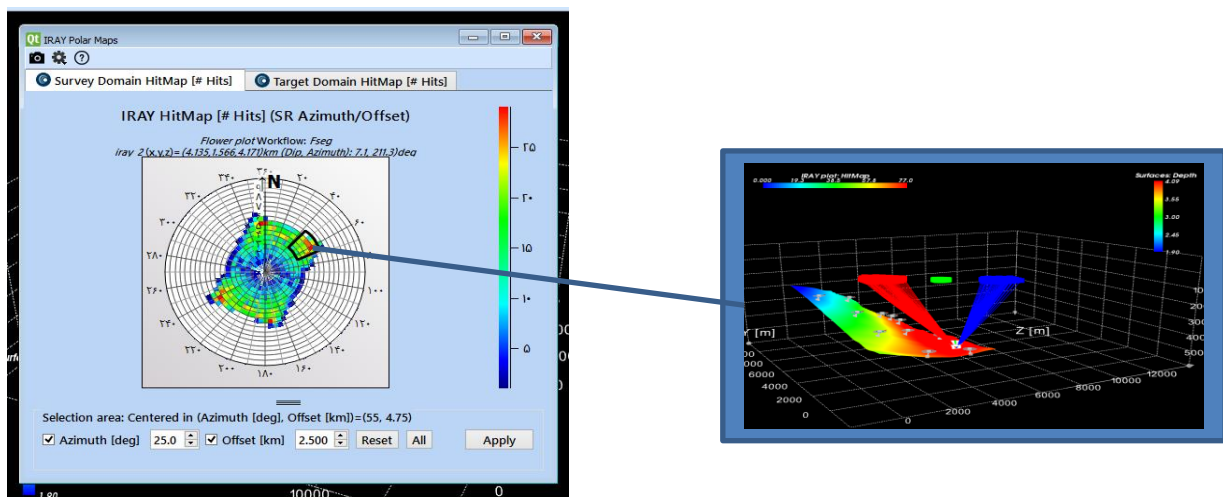
۵-۲-۱-۴ مدل بالارود

مدل بالارود دارای پیچیدگی‌هایی است که تمامی لایه‌های آن از جهت تعیین هندسه برداشت مناسب قابل بررسی است در این پایان‌نامه نقشه شفافیت لایه افقی Asmari_segment1 ابتدا با طراحی هندسه برداشت سه‌بعدی به روش متداول مورد بررسی قرار گرفته است.



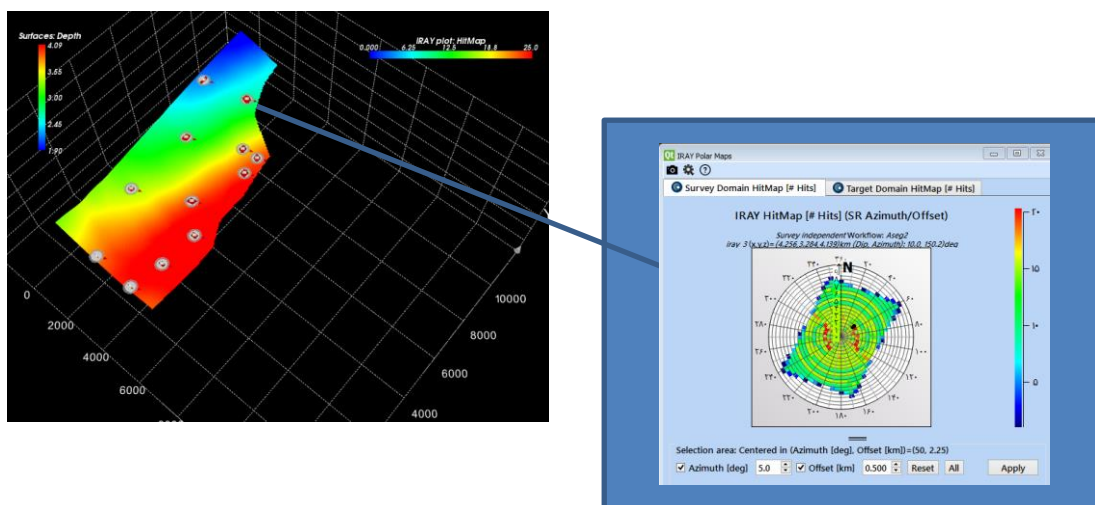
شکل ۵-۱۷ (الف) هندسه طراحی شده به روش متداول (ب) نقشه شفافیت از مدل بالارود با طراحی هندسه برداشت سه‌بعدی به روش متداول

در نقشه به‌دست‌آمده از این لایه (شکل ۵-۱۷) مشاهده می‌شود که قسمت پایینی این لایه دچار ضعف در دریافت موج می‌باشد که با استفاده از نقشه‌های گل از نقاط به‌دست‌آمده (شکل ۵-۱۸) می‌توان آزمون مناسب را در این قسمت از سطح مورد بررسی شناسایی و در جهت بهبود هندسه برداشت به کار گرفت.



شکل ۵-۱۸: به دست آوردن آزمون مناسب نقاط تعیین شده با استفاده از نقشه‌های گل

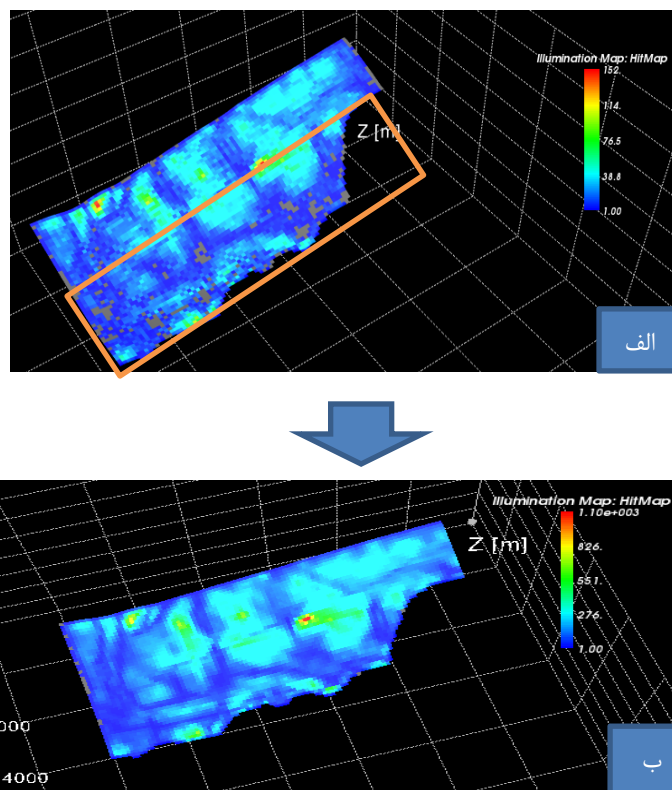
همچنین می‌توان از نقشه‌های برخورد برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی هم آزمون و دورافت مناسب نقاط تعیین شده را به دست آورد که در ادامه به نمایش گذاشته شده است (شکل ۵-۱۹).



شکل ۵-۱۹: نقشه برخورد نقاط تعیین شده از لایه موردنظر برداشت غیر وابسته به هندسه طراحی

پس از بررسی انجام گرفته از دو روش بازطراحی هندسه برداشت عملیات لرزه‌نگاری برای افق تعیین شده از مدل بالارود، می‌توان نقشه شفافیت آن را از نظر بهبود در دریافت اطلاعات مطالعه کرد و مشاهده کرد که پارامترهای تعیین شده به درستی عمل کرده‌اند و دریافت اطلاعات از افق موردنظر انجام شده

است (شکل ۵-۲۰) میزان پارامترهای استفاده شده در طراحی هندسه عملیات قبل از بهینه‌سازی و پس از بهینه‌سازی هندسه برداشت در (جدول ۵-۴) مقایسه و ارائه شده است.



شکل ۵-۲۰: شکل مقایسه نقشه شفافیت شکل (الف) نقشه شفافیت پیش از طراحی بهینه شکل (ب) نقشه شفافیت پس از طراحی بهینه

جدول ۵-۴: مقایسه پارامترهای برداشت سه‌بعدی هندسه عملیات برای مدل بالارود

پارامتر	متداول	بهینه
تعداد چشمه	۱۳۰۰	۱۱۵۰
تعداد گیرنده	۵۶۰	۷۲۰
آزیموت	۲۰ درجه	۴۵ درجه

فصل هشتم: نتیجه گیری

در پروژه‌های لرزه‌ای، طراحی پارامترهای عملیات لرزه‌نگاری دو و سه‌بعدی یکی از قسمت‌های مهم پروژه است زیرا در صورت تعیین نامناسب پارامترها و انجام پروژه همچنین صرف زمان و هزینه در پروژه ممکن است نتیجه قابل قبولی دریافت نشود. بنابراین نیاز به تعیین دوباره پارامترها می‌باشد، این نشان-دهنده برگشت‌ناپذیر بودن فرآیند تعیین پارامترهای عملیاتی است. در این پایان‌نامه سعی شده است، ابتدا با انجام مدل‌سازی از انواع مدل‌های زمین‌شناسی و طراحی هندسه برداشت عملیات به روش متداول به نتایجی از طریق نقشه‌های برخورد دست یافت، سپس به کمک نقشه‌های گل و نقشه‌های پرتو به بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی رسید.

۶-۱ نتایج

با بررسی صورت گرفته از طریق نرم‌افزار و استفاده از مقالات و رساله‌های مرتبط با این موضوع نتایج زیر حاصل گردید:

۱- با توجه به پیشرفت امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری موجود روش‌های قدیمی و معمول به‌تنهایی قادر به پاسخگویی در مورد انتخاب پارامترهای عملیات لرزه‌نگاری نمی‌باشند، مخصوصاً برای مدل‌هایی که دارای پیچیدگی می‌باشند، نمی‌توان تأثیر پارامترها را روی تصویر خروجی بررسی نمود.

۲- از بررسی‌های صورت گرفته در نقشه‌های شفافیت می‌توان نتیجه گرفت از روش‌های متداول نباید انتظار داشت تا کیفیت تصویر خروجی قابل قبولی از مدل مورد مطالعه دریافت نمود، به‌طور مثال برای گسل و گنبد نمکی این موضوع بسیار صادق است و در فصل قبل مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- به کمک امکانات در نرم افزار نورسار و انجام مدل سازی می توان بهترین آزمون را شناسایی و از آن در جهت بازطراحی هندسه برداشت عملیات دو و سه بعدی به کار گرفت.

۴- با استفاده از نمودارهای گل و پرتو شفافیت در نرم افزار می توان هم خروجی مناسب و کاملی از تصاویر زیرسطحی دریافت کرد هم تعداد چشمه های فعال را کاهش داد که این موضوع کمک بسزایی در جهت کاهش هزینه های پروژه دارد.

۵- با بررسی صورت گرفته از تمامی امکانات نرم افزار این نتیجه حاصل شد که تمامی امکانات موجود مکمل هم هستند و هرکدام به تنهایی قادر به تعیین نشانگرهای عملیاتی نمی باشند و نیاز است تمامی روش های نرم افزاری بهینه سازی پارامترهای هندسه برداشت بررسی شود.

۲-۶ پیشنهادها

در ادامه پیشنهادهایی مطرح شده است:

۱- با توجه مهم بودن برداشت عملیات لرزه نگاری پیشنهاد می شود تمامی پروژه های لرزه نگاری قبل از شروع عملیات به کمک نرم افزارهای در دسترس ابتدا مدل سازی شوند سپس با توجه به هدف مورد نظر طراحی عملیات و بهبود هندسه عملیات به کمک نرم افزار صورت گیرد و نتیجه را مشاهده نمود.

۲- ابتدا باید تعیین شود هدف از طراحی عملیات چه می باشد اگر کیفیت تصویر اولویت انجام پروژه است و محدودیت در هزینه و زمان وجود ندارد پیشنهاد می شود از طراحی عملیات سه بعدی استفاده شود و ایستگاه های چشمه را افزایش داد

۳- با توجه به وجود نوفه در برداشت عملیات لرزه‌نگاری به‌خصوص در ساختمان‌های پیچیده زمین‌شناسی بهتر است اثر نوفه به‌طور مجزا مدل شود، تا بتوان آن‌ها را ۱ تا حد امکان از روی دیتا برداشت واقعی حذف گردد.

مراجع

- [1] J. Zhang, E. Lavelly, and M. N. Toksoz, "Rapid 3-D Raytracing For Optimal Seismic Survey Design," Massachusetts Institute of Technology. Earth Resources Laboratory, 1997.
- [2] G. J. O. Vermeer, *3-D seismic survey design*. Society of Exploration Geophysicists, 2002.
- [3] M. Galbraith, "A new methodology for 3D survey design," *Lead. Edge*, vol. 23, no. 10, pp. 1017–1023, 2004.
- [4] K. K. Talagapu, "2D and 3D land seismic data acquisition and seismic data processing," *Dep. Geophys. Coll. Sci. Technol. Andhra Univ. Andhra Pradesh*, 2005.
- [5] P. Moczo, J. Kristek, and M. Gális, "Simulation of the planar free surface with near-surface lateral discontinuities in the finite-difference modeling of seismic motion," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2004, doi: 10.1785/0120030051.
- [6] L. Gallé, L. Körmöczy, E. Hornung, and J. Kerekes, "Structure of ant assemblages in a Middle-European successional sand-dune area," *Tiscia*, vol. 31, pp. 19–28, 1998.
- [7] A. Rahimi Dalkhani, A. Javaherian, and H. Mahdavi Basir, "Frequency domain finite-element and spectral-element acoustic wave modeling using absorbing boundaries and perfectly matched layer," *Waves in Random and Complex Media*, vol. 28, no. 2, pp. 367–388, 2018.
- [8] I. Lecomte, T. Kaschwich, H. Gjøystdal, and E. Iversen, "Use ray-based modeling methods to plan, analyze, and control subsalt imaging," in *EAGE Subsalt Imaging Workshop Cairo 2009*, 2009, p. cp-145.
- [9] V. Vinje, K. Åstebøl, E. Iversen, and H. Gjøystdal, "3-D ray modeling by wavefront construction in open models," *Geophysics*, vol. 64, no. 6, pp. 1912–1919, 1999.
- [10] R. Laurain, L. J. Gelius, V. Vinje, and I. Lecomte, "A review of 3D illumination studies," *J. Seism. Explor.*, vol. 13, no. 1, pp. 17–38, 2004.
- [11] L. R. Lines and R. T. Newrick, *Fundamentals of geophysical interpretation*. Society of Exploration Geophysicists, 2004.
- [12] G. Alvarez, V. Pereyra, and L. Carcione, "Model-based 3-D seismic survey design as an optimization problem," in *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004*, Society of Exploration Geophysicists, 2004, pp. 63–66.
- [13] A. M. C. De Oliveira, B. R. Meireles, D. C. Garcia, and R. D. Chaves, "Seismic Modeling as a tool for designing 3D seismic surveys," in *11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 2009, p. cp-195.
- [14] A. Misra, A. K. Dubey, V. Vuppala, B. Kandpal, and Y. N. Singh, "Ray Trace Modeling for Survey designing, Seismic Imaging and defining Processing strategies in structurally complex areas," 2008.
- [15] S. Saffarzadeh, A. Javaherian, H. Hasani, and M. A. Talebi, "Optimizing 3D seismic survey design to improve fault image by ray trace modeling, A case study of the Iranian oilfields," in *79th EAGE Conference and Exhibition 2017*, 2017, vol. 2017, no. 1, pp. 1–3.
- [16] I. Lecomte, P. L. Lavadera, I. Anell, S. J. Buckley, D. W. Schmid, and M. Heeremans, "Ray-based seismic modeling of geologic models: Understanding and analyzing seismic images efficiently," *Interpretation*, vol. 3, no. 4, pp.

- SAC71–SAC89, 2015.
- [17] S. Saffarzadeh, A. Javaherian, H. Hasani, and M. A. Talebi, “Improving fault image by determination of optimum seismic survey parameters using ray-based modeling,” *J. Geophys. Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 668–680, 2018.
 - [18] A. Cordsen, M. Galbraith, and J. Peirce, *Planning land 3-D seismic surveys*. Society of Exploration Geophysicists, 2000.
 - [19] A. Chaouch and J. L. Mari, “3-D Land Seismic Surveys: Definition of Geophysical Parameter,” *Oil Gas Sci. Technol. l’IFP*, vol. 61, no. 5, pp. 611–630, 2006.
 - [20] A. Cordsen, M. Galbraith, and J. Peirce, *Planning Land 3-D Seismic Surveys*. 2000.
 - [21] S. Saffarzadeh, A. Javaherian, H. Hasani, and M. Sadri, “PSDM simulation in seismic survey design of fault plane,” in *Proceedings of the 18th Iranian Geophysical Conference*, 2018, pp. 746–749.
 - [22] H. Gjøystdal, E. Iversen, I. Lecomte, T. Kaschwich, Å. Drottning, and J. Mispel, “Improved applicability of ray tracing in seismic acquisition, imaging, and interpretation,” *Geophysics*, vol. 72, no. 5, pp. SM261–SM271, 2007.
 - [23] J. O. Robertsson, B. Bednar, J. Blanch, C. Kostov, and D.-J. van Manen, “Introduction to the supplement on seismic modeling with applications to acquisition, processing, and interpretation,” *Geophysics*, vol. 72, no. 5. Society of Exploration Geophysicists, pp. SM1–SM4, 2007.
 - [24] B. Alaei, “Seismic forward modelling of two fault-related folds from the Dezful Embayment of the Iranian Zagros Mountains,” *J. Seism. Explor.*, vol. 14, no. 1, p. 13, 2005.
 - [25] S. H. Gray, J. Etgen, J. Dellinger, and D. Whitmore, “Seismic migration problems and solutions,” *Geophysics*, vol. 66, no. 5, pp. 1622–1640, 2001.
 - [26] C. Stork, C. Welsh, and A. Skuce, “Demonstration of processing and model building methods on a real complex structure data set,” in *SEG workshop*, 1995, no. 6.
 - [27] R. Versteeg, “The Marmousi experience: Velocity model determination on a synthetic complex data set,” *Lead. Edge*, vol. 13, no. 9, pp. 927–936, 1994.
 - [28] H. Gjøystdal, E. Iversen, R. Laurain, I. Lecomte, V. Vinje, and K. Åstebøl, “Review of ray theory applications in modelling and imaging of seismic data,” *Stud. Geophys. Geod.*, vol. 46, no. 2, pp. 113–164, 2002.
 - [29] V. Vinje, E. Iversen, K. Åstebøl, and H. Gjøystdal, “Estimation of multivalued arrivals in 3d models using wavefront construction—part i 1,” *Geophys. Prospect.*, vol. 44, no. 5, pp. 819–842, 1996.
 - [30] I. Lecomte and L.-J. Gelius, “Have a look at the resolution of prestack depth migration for any model, survey and wavefields,” in *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1998*, Society of Exploration Geophysicists, 1998, pp. 1112–1115.
 - [31] B. R. Julian and D. Gubbins, “Three-dimensional seismic ray tracing,” *J. Geophys.*, vol. 43, no. 1, pp. 95–113, 1977.
 - [32] V. Pereyra, W. K. Lee, and H. Keller, “Solving two-point seismic-ray tracing problems in a heterogeneous medium: Part 1. A general adaptive finite difference method,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 70, no. 1, pp. 79–99, 1980.
 - [33] W. Yang, “A Basical Study on Two-point Seismic Ray Tracing,” *Geophysics*, 2003.

- [34] V. Cervený, *Seismic ray theory*, vol. 110. Cambridge university press Cambridge, 2001.
- [35] E. A. Robinson and S. Treitel, "The fine structure of the normal incidence synthetic seismogram," *Geophys. J. Int.*, vol. 53, no. 2, pp. 289–309, 1978.
- [36] H. Gjøystdal, J. E. Reinhardsen, and K. Åstebøl, "Computer representation of complex 3-D geological structures using a new 'solid modeling' technique," *Geophys. Prospect.*, vol. 33, no. 8, pp. 1195–1211, 1985.
- [37] Guide NORSAR Software. Version 5.7.2. 2015.
- [38] صفارزاده حسینی، صادق، "تعیین پارامترهای مطلوب عملیات لرزه‌نگاری سه‌بعدی در ساختارهای زمین‌شناسی با استفاده از مدل‌سازی انتشار امواج" رساله دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۹۷.

Abstract

Three-dimensional seismic operation perception is an important and practical tool for modeling and exploration of subsurface models of the earth. In designing a 3D seismic survey, the parameter selection must take into account a wide range of geophysical, operational and cost constraints.

Today, because of the high cost of 3D seismic operations and also different limitations of seismic surveying, researchers have done a variety of studies on seismic survey modeling before the real operation. Seismic modeling for designing a seismic survey, especially at complex structures and areas, is being developed every day. Although operational limitations and survey with reasonable cost cause restrictions in choosing parameters and geometry of a survey, on the other hand, increases the necessity of modeling so that a proper model with appropriate parameters of a seismic survey could be designed .

For seismic survey modeling, using available information such as the previous seismic survey data, well data and geological information the reliable velocity model is constructed. Also, the 3D seismic survey parameters are pre-designed using a conventional method. The velocity model, survey geometry, and geological information are used for seismic modeling. Illumination maps

and flower plots produced by the model can be used to analyze the relationship between the geometry of the survey on the surface and the resulting image of the target horizon in terms of the number of hit points, the direction of the maximum propagation of waves and the resolution. Then, considering the technical and financial constraints and the desired image quality, the optimal parameters can be chosen.

In this thesis, by constructing synthetic models from a variety of complex geological models using the ray-tracing method as a method with high accuracy and acceptable efficiency for 3D seismic survey modeling, the initial design of parameters for Geometry of acquisition is discussed. Then, by analyzing data obtained from wave propagation modeling with the help of illumination maps and flower maps that are available in Norsar software and this software is used in this thesis, the key parameters of geometry were collected Optimized. As a result, relatively full-coverage images are obtained in terms of the wave hitting the target layer.

Keywords: Three-dimensional seismic planning, ray tracing, Seismic wave propagation modeling, illumination maps, Flower plots, velocity models



Shahrood University of Technology
School of Mining Petroleum Geophysical Engineering

M.Sc Thesis.

Planning validation of 3D seismic data acquisition on some syntethic geological model

By: Mahshid dehghanian

Supervisor:

Dr. Amin Roshandel kahoo
Dr. Mehrdad Soleimani Monfared

Advisor:

Dr. Sadegh Saffarzadeh Hoseini

February 2022