



پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

ژئوفیزیک - زلزله‌شناسی

تعیین ساختار سه بعدی پوسته در منطقه بیم به روش توموگرافی زمین لرزه های محلی

دانشجو:

زینب جدی

استاد راهنما:

دکتر محمد تاتار

تابستان ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

گوزل آنا و مهربان آتاما سونویوروم

سپاسگزاری

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکراندرش مزید نعمت.

پس از سپاس به درگاه ایزد یکتا، بر خود لازم می دانم که از زحمات استاد راهنمای پایان نامه آقای دکتر محمد تاتار که در این پایان نامه با صبر و شکیبایی، راهنماییهای بی دریغ خود را در اختیار من قرار دادند، تشکر نمایم.

از جناب آقای دکتر شمالی استاد محترم موسسه ژئوفیزیک بخاطر راهنمایی های ارزنده اشان طی این پایان نامه نهایت سپاس و تشکر را دارم.

نسبت به استادان محترم داور آقای دکتر یمینی فر و آقای دکتر قیطانچی که قبول زحمت فرموده و این پایان نامه را مطالعه نموده اند، مراتب ارادت و سپاسگزاری خود را اعلام می دارم.

از کلیه کارکنان پژوهشکده زلزله شناسی که زحمت برداشت داده ها را پس از وقوع زلزله ۵ دیماه ۱۳۸۲ بجا انجام داده اند، قدردانی می نمایم.

در نهایت از خانواده ام که شرایط تحصیل و پیشرفت مرا فراهم نمودند و همواره حامی من در مسیر زندگی و تعلیم و تربیت بوده اند و تمامی کسانی که در به پایان رساندن این پایان نامه به گونه ای مرا همراهی نموده اند، صمیمانه تشکر می نمایم.

اعضاء محترم هيئت داوران

امضاء

استاد راهنما: دكتور محمد تاتار

امضاء

–

استاد مشاور:

امضاء

استاد مدعو داخلي: دكتور فرزام يميني فرد

امضاء

استاد مدعو خارجي: دكتور محمد رضا قيطانچي

امضاء

مدیر تحصیلات تکمیلی: دكتور حميد زعفرانی

چکیده

مسائل توموگرافی نوع خاصی از مسائل معکوس می باشند، بطوریکه در آن، نخست اندازه گیری هایی از انتشار نوعی انرژی درون محیط، صورت می گیرد، آنگاه ویژگی دریافت شده این انرژی (دامنه موج، شکل موج، زمان سیر) جهت پی بردن به پارامترهای درونی محیط که با این ویژگی ارتباط دارند، مورد استفاده قرار می گیرند. توموگرافی بازسازی تصویری پارامترهای فیزیکی یک جسم در مقطعی از آن جسم با انجام اندازه گیری هایی در سطح خارجی جسم می باشد.

توموگرافی لرزه ای در گستره وسیعی از مطالعه درون زمین در مقیاس جهانی تا مطالعات با قدرت تفکیک بالا در ژئوفیزیک اکتشافی، بکار گرفته شده است. در مقیاس جهانی، هدف، بررسی ساختارهای هسته، جبه و پدیده های تکتونیکی بزرگ مقیاس می باشد. در مقیاس کوچکتر، هدف بررسی ساختار های محلی می باشد.

باید اشاره کرد که یکی از وظایف زلزله شناسان مطالعات دقیق تعیین نقاط تهدید و جلوگیری از خطرات احتمالی می باشد. تعیین محل زمین لرزه های رویداده در هر منطقه در شناسایی پتانسیل لرزه خیزی و گسل های پنهان و تحلیل های خطر پذیری در آن منطقه کمک شایان توجهی می نماید و یکی از عوامل مهم برای تعیین محل زمین لرزه ها شناخت ساختار سرعتی زمین بخصوص پوسته زمین می باشد.

با انجام توموگرافی محلی در یک منطقه، سعی داریم ساختار سرعتی آنجا را به دست آوریم. با کنار هم قرار دادن نتایج حاصل از توموگرافی و مطالعات زمین شناسی انجام شده در منطقه، ساختار زمین شناسی، تکتونیکی و... منطقه به تصویر کشیده می شود و این تصاویر می تواند محل دقیق رویدادها و نحوه لرزه خیزی منطقه و روندهای گسلی و ... را برای مطالعات زلزله شناسی و جنس سنگ ها و ... را برای اهداف زمین شناسی و مهندسی به دست دهد.

در این تحقیق تعیین تصویر سه بعدی ساختار سرعتی منطقه بم مد نظر است. نتایج این تحقیق می تواند در به نقشه در آوردن و به تصویر کشیدن گسل بم-بروات و بویژه چگونگی ادامه آن در عمق مؤثر باشد. با توجه به وجود این پرتگاه گسلی در مجاورت شهر بم و ابهامات زیادی که علیرغم انجام مطالعات گسترده در نسبت دادن لرزه خیزی به این گسل فعال وجود دارد، در تحقیق حاضر سعی بر این است تا با به نقشه در آوردن تصویر سه بعدی ساختار سرعتی منطقه، تصویر این گسل در عمق و در صورت امکان نقش آن در ایجاد زمین لرزه دی ماه ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گیرد.

برای این منظور از داده های مربوط به مطالعه پس لرزه های زمین لرزه بم، که شبکه ای متشکل از ۲۳ ایستگاه ۳ مؤلفه ای در اطراف ناحیه رو مرکزی زمین لرزه بم در هشتم دی ماه، سه روز پس از زمین لرزه اصلی و برای حدود یک ماه توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIEES) و لابراتوار تکتونیک و ژئوفیزیک ژوزف فوریه فرانسه (LGIT) بر پا گردید، استفاده شده است.

برای تعیین ساختار سه بعدی منطقه و هندسه گسل فعال بم، داده های زمان سیر پس لرزه های زمین لرزه بم بطور همزمان برای ساختار سرعت سه بعدی و کانون زمین لرزه ها با استفاده از نرم افزار simulps14 وارون سازی شده اند.

تغییرات سرعت سه بعدی موج P برای اعماق کمتر از ۲۰ کیلومتر در این مطالعه بدست آمده است، زیر اعماق ۱۰ کیلومتر سرعت کمی در منطقه حاکم است و در عمق ۱۴ کیلومتری در قسمت غربی یک آنومالی با سرعت بالا دیده می شود. تفاوت در سرعت مشاهده ای در دو طرف گسل بم در اعماق ۱۰-۲۰ کیلومتری در تصاویر توموگرافی و مقاطع عرضی ترسیمی بطور واضح دیده می شود. این تفاوت سرعتی به گسل معکوس بم-بروات نسبت داده می شود. به نظر می رسد گسل بم-بروات ساختار فعال اصلی منطقه طی زمین لرزه مخرب ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بوده است.

واژه های کلیدی:

توموگرافی محلی، بم، ساختار سه بعدی، پس لرزه

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده.....ح	
مقدمه..... ۱	
فصل اول: زمین شناسی، لرزه زمین ساخت و بررسی ساختارهای منطقه شرق ایران..... ۳	
۱-۱- مقدمه..... ۴	
۱-۲- زمین شناسی و لرزه زمین ساخت منطقه شرق ایران..... ۵	
۱-۳- زون گسلی بم..... ۸	
۱-۴- جایگاه و ویژگی های زمین شناسی گستره مورد مطالعه..... ۱۰	
۱-۵- لرزه خیزی تاریخی و دستگاہی منطقه..... ۱۱	
۱-۶- زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم..... ۱۳	
۱-۷- مروری بر مطالعات انجام شده در منطقه..... ۱۳	
فصل دوم: تاریخچه مطالعه ساختمان پوسته در ایران..... ۲۰	
۱-۲- تاریخچه مطالعه پوسته در ایران..... ۲۱	
فصل سوم: مطالعه ساختار سه بعدی پوسته به روش توموگرافی زمین لرزه های محلی (تاریخچه و تئوری روش)..... ۲۷	
۱-۳- مقدمه..... ۲۸	
۲-۳- کلیات توموگرافی..... ۲۹	
۳-۳- توموگرافی رادیولوژی..... ۳۱	
۴-۳- تئوری مقطع مرکزی..... ۳۲	
۵-۳- مراحل عملیات توموگرافی..... ۳۴	
۶-۳- اصول اولیه..... ۳۵	
الف) توموگرافی خطی..... ۳۶	
ب) توموگرافی غیر خطی بازگشتی..... ۳۶	
ج) توموگرافی غیر خطی..... ۳۶	
۷-۳- پارامتر بندی سرعتی مدل (انتخاب مدل اولیه)..... ۳۸	
۸-۳- محاسبه مستقیم..... ۴۱	
۱-۸-۳- روش های پرتویابی..... ۴۱	

- ۴۱.....۳-۸-۱-۱- روش مقدار اولیه.....
- ۴۱.....۳-۸-۱-۲- روش مقدار مرزی.....
- ۴۲.....الف- روش خمشی.....
- ۴۲.....ب- روش پرتابی.....
- ۴۳.....ج- روش پیوسته.....
- ۴۴.....۳-۸-۲- روش های جبهه موج.....
- ۴۴.....۳-۸-۲-۱- روش تفاضل متناهی.....
- ۴۵.....۳-۸-۳- تئوری شبکه.....
- ۴۵.....۳-۹- معکوس سازی داده ها.....
- ۵۱.....۳-۱۰- روش تولید داده های مصنوعی.....
- ۵۱.....الف) روش نگاشت به عقب.....
- ۵۲.....ب) روش گرادیان.....
- ۵۵.....۳-۱۱- انتخاب بهترین برازش.....
- ۵۷.....۳-۱۲- تجزیه و تحلیل کیفیت جواب مسئله.....
- ۵۷.....۳-۱۲-۱- ماتریس های کواریانس و دقت.....
- ۵۷.....الف) ماتریس تحلیل داده ها.....
- ۵۸.....ب) ماتریس تحلیل مدل.....
- ۵۸.....ج) ماتریس کواریانس واحد.....
- ۵۹.....۳-۱۲-۲- آزمون های مصنوعی.....
- ۶۰.....۳-۱۳- توموگرافی زمین لرزه های محلی.....
- ۶۲.....۳-۱۴- تئوری پایه توموگرافی زمین لرزه های محلی.....
- ۶۴.....۳-۱۵- تعیین همزمان ساختار سرعت - کانون.....
- ۶۶.....۳-۱۶- روش های معکوس سازی در توموگرافی محلی.....
- ۶۷.....۳-۱۷- بررسی کیفیت داده ها.....
- ۶۸.....۳-۱۸- استفاده از امواج برشی و محاسبات V_P/V_S
- ۶۹.....۳-۱۹- مراحل انجام توموگرافی زمین لرزه های محلی.....
- ۷۰.....۳-۱۹-۱- چرا از مدل های سه بعدی استفاده می کنیم؟.....
- ۷۰.....۳-۱۹-۲- کنترل روند عملیات.....
- ۷۰.....۳-۱۹-۲-۱- راه اندازی.....
- ۷۲.....۳-۱۹-۲-۲- هدایت معکوس سازی ها.....

۷۲.....	۳-۱۹-۳- پارامتر میرایی.....
۷۴.....	۳-۱۹-۴- تفسیر و نمایش.....
۷۵.....	۳-۲۰- مقایسه با سایر تکنیک ها.....
۷۹.....	۳-۲۱- تفاسیر لرزه زمینساختی از روی سرعت و لرزه خیزی.....
۸۲.....	فصل چهارم: مطالعه ساختار سه بعدی پوسته در منطقه گسلی بم.....
۸۳.....	۴-۱- مقدمه.....
۸۳.....	۴-۲- نرم افزار Simulps14.....
۸۳.....	۴-۳- داده های مورد استفاده.....
۸۵.....	۴-۴- برآورد مدل اولیه.....
۸۶.....	۴-۵- مدلسازی ساختار پوسته با معکوس سازی سه بعدی زمان سیر زمین لرزه های محلی.....
۸۸.....	۴-۶- نتایج معکوس سازی زمان سیر ها.....
۹۵.....	۴-۷- تحلیل وضوح مدل.....
۱۰۵.....	فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری.....
۱۱۰.....	مراجع.....
۱۱۸.....	پیوست الف: نرم افزار Simulps14.....
۱۳۴.....	پیوست ب: پرتویابی.....
۱۴۴.....	چکیده انگلیسی.....

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- فصل اول: زمین شناسی، لرزه زمین ساخت و بررسی ساختارهای منطقه شرق ایران..... ۳
- شکل ۱-۱- توزیع لرزه خیزی در ایران از روی کاتالوگ لرزه خیزی دستگاهی..... ۴
- شکل ۱-۲- نقشه نشان دهنده زون برخوردی ایران واقع میان دو صفحه همگرای عربی در جنوب و اوراسیا در شمال..... ۶
- شکل ۱-۳- نقشه شماتیک میزان کوتاه شدگی در نقاط مختلف ایران بر اساس نتایج حاصل از اندازه گیری های GPS..... ۶
- شکل ۱-۴- گسل های اصلی امتدادلغز راستگرد با روند شمال- جنوبی در شرق ایران..... ۷
- شکل ۱-۵- جایگاه زون گسلی بم در شرق شهرستان بم..... ۹
- شکل ۱-۶- نقشه زمین شناسی و ژئومورفولوژی ناحیه بم. سمت راست بالا- نقشه موقعیت منطقه را شامل کمان ماگمایی ارومیه- دختر و بلوک لوت نمایش می دهد. ۱- رسوبات رودخانه ای و آبرفتی، ۲- تراس های کوتاه و لبه مرزی دشت، ۳- رسوبات دریاچه ای، ۴- سنگ های آتشفشانی، ۵- گسل اصلی، ۶- گسل فرعی، ۷- رودخانه، ۸- مخروط افکنه، ۹- شهر..... ۱۱
- شکل ۱-۷- نقشه لرزه خیزی منطقه بم. زمین لرزه های تاریخی به صورت شش گوش براساس کاتالوگ امبرسیز و ملویل و بربریان و بیتز و لرزه خیزی دستگاهی به صورت دایره بر اساس کاتالوگ EHB نشان داده شده اند..... ۱۲
- شکل ۱-۸- مدلسازی فانینگ و همکاران. (a, b) اینترفروگرام های مشاهده شده، (c, d) اینترفروگرام های مدلسازی شده برای توزیع لغزش، e توزیع لغزش روی گسل اصلی (چپ) و روی هردو گسل (راست)..... ۱۵
- شکل ۱-۹- نقشه لرزه خیزی ۲۸۶ پس لرزه دوباره تعیین محل شده با استفاده از تفاضل دوگانه و نقشه مقاطع مشخص شده. مقطع های جنوبی صفحه ای با شیب کم به سمت غرب را نشان می دهد. توزیع پس لرزه ها تا عمق ۸ کیلومتری می باشد که مرز پائینی لایه کم سرعت محاسبه شده در این مطالعه می باشد. مقاطع نشان میدهد که گسل به شکست های ایجاد شده (نقطه چین) ارتباط دارد یا به اسکارپ بم- بروات (خط چین)..... ۱۸

شکل ۱-۱۰-۱) نقاط قرمز توزیع رومرکز پس لرزه ها را نشان می دهد. مثلث های زرد ایستگاه های موقت نصب شده در منطقه می باشد. دایره ایستگاه نصب شده در محل ارگ بم را نشان می دهد. خط چین مربوط به گسل بم می باشد. (b) مقطع کشیده شده در امتداد $N2W$ از نقطه رفرنس (علامت + در a) به موازات گسل بم، (c) مقطع کشیده شده در جهت $N88W$ عمود بر گسل بم..... ۱۸

فصل دوم: تاریخچه مطالعه ساختمان پوسته در ایران..... ۲۰

شکل ۲-۱- توموگرافی موج P و مدل های سرعت موج S محلی برای پروفیل زاگرس (a) پروفیل توپوگرافی و محل ایستگاه های لرزه ای، سه خط قائم مرز واحدهای مورفولوژی را نشان می دهد. (b) پسماند نسبی زمان رسید موج P برای هر ایستگاه روی پروفیل میانگین. (c) مقطع عمقی در طول پروفیل میانگین مدل سه بعدی پیچیدگی های سرعت موج P حاصل از معکوس سازی پسماندها، خطوط سیاه در عمق موهو از داده های تابع گیرنده بدست آمده است و خط چین های قائم محدوده ناحیه ای را که در آن از پاشندگی موج سطحی استفاده شده نشان می دهد. (d) مدل عمقی سرعت موج S گوشته حاصل از معکوس سازی پاشندگی موج سطحی..... ۲۲

شکل ۲-۲- تعیین عمق موهو با استفاده از معکوس سازی همزمان سرعت های گروه موج های ریلی و توابع گیرنده. تصویر پایین مقطع عرضی پوسته ای مربوط به پروفیل نشان داده شده A و مقاطع عمقی سرعتی در گمانه های مختلف می باشد..... ۲۳

شکل ۲-۳- مقاطع قائم نشان دهنده آنومالی های سرعتی حاصل از معکوس سازی امواج پیکری..... ۲۴

شکل ۲-۴- مقطع سه بعدی سرعت در پروفیل AB نتایج برای تابع $spread$ زیر ۵ قابل بحث است. عمق کانونی زلزله ها هم مشخص می باشد..... ۲۵

شکل ۲-۵- پروفیل های مربوط به منطقه البرز مرکزی. سمت راست: آنومالی کم سرعت در جنوب تهران. سمت چپ: آنومالی کم سرعت در شمال و شرق تهران. دوایر تو خالی کانون زلزله ها را نشان می دهد..... ۲۶

فصل سوم: مطالعه ساختار سه بعدی پوسته بروش توموگرافی زمین لرزه های محلی (تاریخچه و

تئوری روش)..... ۲۷

شکل ۳-۱- شمایی از عملیات توموگرافی رادیولوژی..... ۳۱

شکل ۳-۲- شمایی از تصویر سازی رادیولوژی با استفاده اشعه X ۳۳

شکل ۳-۳- انتشار پرتو در محیطی با سرعت $v(x)$ در مسیر غیر خطی. مدت زمان t از طریق انتگرال گیری روی

مسیر پرتو بدست می آید..... ۳۶

شکل ۳-۴- a - بلوک هایی با سرعت ثابت، b - شبکه ای از گره های سرعتی، c - شبکه گرهی مثلث بندی شده برای بلوک های با گرادیان ثابت، d - لایه های با سرعت ثابت در قائم..... ۴۰

شکل ۳-۵- a - تکه های قطعه ای خطی، b - قطعه ای با درونیایی مکعب، c - یک سطح موزائیکی با قطعات مثلثی، d - سطحی موزائیکی با قطعاتی با درونیایی مکعبی..... ۴۰

- شکل ۳-۶- روش خمشی..... ۴۲
- شکل ۳-۷- روش پرتابی..... ۴۲
- شکل ۳-۸- وجود لایه کم سرعت باعث ایجاد ناحیه خالی از پرتو شده است..... ۴۳
- شکل ۳-۹- یکی از عناصر شبکه در روش تفاضل متناهی..... ۴۴
- شکل ۳-۱۰- گره بندی های مختلف برای روش SPR ، a - گره ها در طول مرز بلوک های با سرعت ثابت، b - گره هایی که منطبق بر گره های سرعتی است..... ۴۵
- شکل ۳-۱۱- a برازش خط مستقیم به روش حداقل مربعات بر نقاط $[z, d]$. b خطای e_i برای هر نقطه برابر با اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده می باشد: $e_i = d_i^{obs} - d_i^{pre}$ ۴۷
- شکل ۳-۱۲- تعداد بیشمار خط می توانند از یک نقطه عبور کنند. خطای پیش بینی هریک برابر، $E=0$ می باشد..... ۴۸
- شکل ۳-۱۳- a مسئله تعیین سرعت در این سلول از نوع بیش تعیین شده می باشد. b مسئله تعیین سرعت در این سلول از نوع کم تعیین شده می باشد. c مساله تعیین سرعت میانگین دو سلول از نوع بیش تعیین شده می باشد ولی تعیین سرعت بطور مجزا در هر سلول از نوع کم تعیین شده می باشد..... ۴۹
- شکل ۳-۱۴- نمایش شماتیکی از مسیر پرتو در یک مدل کندی سلول..... ۵۲
- شکل ۳-۱۵- تصویر شماتیک از منحنی های توازن که برای انتخاب مقادیر مناسب میرایی یا همواری برای معکوس سازی بکار می روند. در این مثال ۸ معکوس سازی با مقادیر متفاوت \mathcal{E} یا η برای تهیه این منحنی ها بکار رفته است. a برازش داده ها بر اساس تغییرات مدل برای مقادیر مختلف \mathcal{E} . b برازش داده ها بر اساس ناهمواری مدل برای مقادیر مختلف η ۵۵
- شکل ۳-۱۶- تصویر شماتیکی از یک مدل سازی شطرنجی برای یک توموگرافی محلی. چشمه ها (نقاط سیاه با حاشیه سفید) و گیرنده ها (مثلث های خاکستری) عین مطالعه حقیقی قرار داده شده اند و پرتوها از طریق ساختار مصنوعی تعقیب شده اند. سپس زمان رسیدهای مصنوعی برای بدست آوردن الگوی شطرنجی، با شروع از یک اولیه معین معکوس شده اند..... ۶۰
- شکل ۳-۱۷- a - هندسه توموگرافی دور، امواج بصورت تخت در نظر گرفته می شود. b - هندسه توموگرافی محلی. مدل شامل چشمه ها و ایستگاه ها می باشد..... ۶۱
- شکل ۳-۱۸- مدل فرضی یک بعدی با ناپیوستگی سرعت در اطراف گسل ($X=0$)، ۴ ایستگاه لرزه ای وجود دارد و یک زمین لرزه روی گسل روی می دهد..... ۶۵
- شکل ۳-۱۹- منطقه پارکفیلد، شبکه بندی برای معکوس سازی سرعت؛ زمین لرزه ها (نقطه ها)؛ چشمه های کنترلی- شکست (ستاره ها)؛ ایستگاه ها (مثلث برای چشمه های کنترلی)؛ و لوزی برای شبکه $HRSN$ ؛ مثلث و مربع برای شبکه $CALNET$ با اعمال تصحیحات..... ۷۲

- شکل ۳-۲۰- نمودار واریانس مدل در برابر واریانس داده ها پس از یک مرحله تکرار. عددهای نمودار مقدار پارامتر میرایی می باشد که عدد ۵۰ برای این مرحله مناسب به نظر می رسد.....۷۳
- شکل ۳-۲۱- مقطع مدل سه بعدی کولینگا؛ a - سرعت، b - تغییرات نسبی سرعت۷۵
- شکل ۳-۲۲- نمونه ای از تانسور چگالی پرتو.....۷۶
- شکل ۳-۲۳- مقایسه حل سرعت سه بعدی با مدل شکست. a - مدل شکست والتر ، هاشورها نماینده منطقه کم سرعت می باشند. b - مدل سه بعدی.....۷۷
- شکل ۳-۲۴- نقشه چگالی منطقه کولینگا، فاصله کانتورها ۲ میلی گال می باشد. a - آنومالی چگالی بوگه؛ b - چگالی محاسبه شده از روی مدل سرعت برای عمق ۱۳/۵-۰ کیلومتری. c - برای عمق ۵/۵-۰ کیلومتری. d - برای عمق ۷/۵-۱۳/۵ کیلومتری.....۷۸
- شکل ۳-۲۵- نقشه چگالی برای منطقه پارکفیلد. فاصله کانتورها ۲ میلی گال می باشد. (چگالی بوگه از مطالعات اشنايدر).....۷۹
- شکل ۳-۲۶- مقطع تغییرات لرزه خیزی و ساختار سرعتی در طول تاقدیس کولینگا ، a - ناحیه شمالی، b - ناحیه مرکزی، c - ناحیه جنوبی محل پس لرزه ها.....۸۰
- شکل ۳-۲۷- مقایسه تغییرات سرعت و شکست. مقطع مدل سرعت سه بعدی در طول گسل. کانون ها(نقاط سفید)، کانون رویداد اصلی(ستاره) . فاصله کانتورها سرعت 0.5 km/s می باشد. a - شمال شرقی گسل سن آندریاس در منطقه لوما پریتا، b - شمال شرقی گسل سن آندریاس در منطقه پارکفیلد.....۸۱
- فصل چهارم: مطالعه ساختار سه بعدی پوسته در منطقه گسلی بم.....۸۲**
- شکل ۴-۱- موقعیت مکانی ایستگاه های لرزه نگاری شبکه موقت نصب شده در منطقه بم جهت مطالعه پس لرزه ها.....۸۴
- شکل ۴-۲- Vp/Vs محاسبه شده برای ۹۳۰۰ زمین رسید موج P و S۸۵
- شکل ۴-۳- مدل واحد سه لایه حاصل از همگرایی برگردان مدل های اولیه ساده.....۸۶
- شکل ۴-۴- شبکه بندی افقی طراحی شده برای انجام معکوس سازی ها. (دوایر توخالی=گره های شبکه، مثلث=ایستگاه های نصب شده در منطقه، دوایر قرمز= پس لرزه های ثبت شده، خط ممتد= گسل بم، مربع آبی= موقعیت شهر بم).....۸۷
- شکل ۴-۵- نمودار واریانس داده ها در مقابل واریانس مدل برای انتخاب پارامتر میرایی مناسب.....۸۸
- شکل ۴-۶- مقاطع افقی از سطح تا عمق ۳۰ کیلومتری با فاصله ۵ کیلومتر. سمت راست=سرعت مطلق، سمت چپ=سرعت نسبی.....۸۹-۹۰-۹۱
- شکل ۴-۷- موقعیت مقاطع عرضی ترسیمی عمود بر روند لرزه خیزی.....۹۳

شکل ۴-۸- سمت چپ=مقاطع عرضی شرقی - غربی ترسیم شده بصورت عمود بر روندگسلی برای سرعت نسبی. سمت راست=مقاطع عرضی شرقی - غربی ترسیم شده بصورت عمود بر روند گسلی برای سرعت مطلق.....۹۴

شکل ۴-۹- تصویری از پوشش پرتوی منطقه. خطوط ممتد= پرتوها، مثلث=ایستگاه های نصب شده در منطقه، داوایر قرمز=پس لرزه های ثبت شده، داوایر توخالی=گره های شبکه بندی اعمالی در منطقه مورد مطالعه.....۹۵

شکل ۴-۱۰- مقدار پارامتر DWS در مقاطع افقی تشریح شده برای سرعت مطلق و نسبی.....۹۶

شکل ۴-۱۱- مقدار پارامتر RDE در مقاطع عرضی و افقی تشریح شده برای سرعت مطلق و نسبی.....۹۸-۹۹

شکل ۴-۱۲- مقدار تابع $Spread$ در مقاطع افقی و عرضی تشریح شده برای سرعت مطلق و نسبی.....۱۰۰-۱۰۱

شکل ۴-۱۳- سمت چپ=مقطع افقی مدل مصنوعی مورد نظر در عمق ۱۰ کیلومتری (برای اعماق ۱۵ و ۲۰ نیز مدل مصنوعی به همین صورت طراحی شده است)، سمت راست=مقطع عرضی از مدل مصنوعی طراحی شده.....۱۰۲

شکل ۴-۱۴- مقاطع افقی و مقطع عرضی مربوط به سرعت نسبی حاصل از مدل ورودی مصنوعی.....۱۰۳-۱۰۴

فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری.....۱۰۵

شکل ۵-۱- بالا: توزیع کانون پس لرزه ها تعیین محل شده با استفاده از مدل سه بعدی و محل مربوط به مقاطع عرضی ترسیمی. پائین: مقاطع عرضی ترسیمی در سه نشان داده شده برای سرعت موج P و S و۱۰۷

پیوست ب: پرتویابی.....۱۳۴

شکل ۱- اساس درونیابی $b-spline$ مکعبی. a نقاط مربوط به درونیابی. b منحنی $b-spline$ درونیابی شده (خط ممتد) از روی مجموعه نقاط (خط چین درونیابی خطی می باشد).....۱۴۱

شکل ۲- طرح سه بعدی درونیابی $b-spline$ مکعبی. (داوایر توپر سیاه=نقاط کنترلی شبکه، داوایر توپر خاکستری=نقطه مورد نظر)، (۱) درونیابی در طول محور z ، (۲) درونیابی در طول محور y ، (۳) درونیابی در طول محور x۱۴۱

شکل ۳- درونیابی $x-spline$ و درونیابی خطی. داوایر توپر=نقاط ورودی اصلی، داوایر تو خالی=نقاط حاصل از درونیابی خطی. خط ممتد حاصل از درونیابی $b-spline$ و خط چین حاصل از درونیابی خطی می باشد. در تصویر بزرگنمایی شده تفاوت میان درونیابی مشاهده می شود که خط ممتد منطبق بر پرتویابی RKP و خط چین منطبق بر پرتویابی $ART-PB$ می باشد.....۱۴۲

شکل ۴- a تفاوت زمان سسر پرتویابی برای RKP و $ART-PB$ در دقت مشابه پرتوهای طولانی نتیجه بهتری با روش RKP نشان می دهند. b تفاوت پرتویابی معکوس و مستقیم برای RKP و $ART-PB$ برای پرتوهای طولانی، پرتویابی RKP زمان سیر سریع تری دارد.....۱۴۳

فهرست جداول

صفحه	عنوان
تئوری	فصل سوم: مطالعه ساختار سه بعدی پوسته بروش توموگرافی زمین لرزه های محلی (تاریخچه و
۲۷	روش).....
۳۴	جدول ۱-۳- مقایسه توموگرافی رادیولوژی و توموگرافی لرزه ای.....
۸۲	فصل چهارم: مطالعه ساختار سه بعدی پوسته در منطقه گسلی بم.....
۸۶	جدول ۱-۴- ساختار سرعتی حاصل از برگردان یک بعدی زمان های رسید.....



مقدمه

از دیر باز بشر با پدیده های مخرب طبیعی روبرو بوده است. یکی از مهمترین این پدیده ها بی شک زمین لرزه می باشد که همواره علاوه بر بیار آوردن زیان های اقتصادی فراوان، جان هزاران نفر را نیز در سراسر دنیا مورد تهدید قرار می دهد. کشور ما ایران با قرار گرفتن در کمربند لرزه ای آلپ-همالیای، یکی از مناطق زلزله خیز جهان بشمار می رود.

در تاریخ ۵ ماه ۱۳۸۲ (۲۶ دسامبر ۲۰۰۳) زمین لرزه ای با بزرگای گشتاوری ۶/۶ بخش وسیعی از جنوب استان کرمان را به لرزه در آورد و شهر بم را ویران ساخت و بنای تاریخی ۲۰۰۰ ساله ارگ بم نیز طی این زمین لرزه ویران شد. با توجه به تلفات زیاد (۲۶۰۰۰ نفر طبق آمار رسمی) زلزله بم توجه زیادی را به خود جلب کرد و مطالعات زیادی روی آن انجام شد. از جمله مطالعات انجام گرفته به بررسی داده های دورلرز (یاگی (۲۰۰۳) و جکسون و همکاران (۲۰۰۶))، مطالعه پس لرزه ها (تاتار و همکاران (۲۰۰۵) و ناکامورا و همکاران (۲۰۰۵))، بررسی جنبش نیرومند زمین (بوشون و همکاران (۲۰۰۴))، مطالعات دورسنجی (فیالکو و همکاران (۲۰۰۵))، فانینگ و همکاران (۲۰۰۵) و متقی و همکاران (۲۰۰۶))، مطالعه زمین شناسی (حسامی و همکاران (۲۰۰۶))، مطالعات توموگرافی (صادقی و همکاران (۲۰۰۶)) و...

نتایج بدست آمده طی مطالعات متفاوت و حتی کارهای مشابه کماکان با ابهامات زیادی همراه بوده و یا سئوالات بی جوابی را به جای گذاشته است. عدم وجود اتفاق نظر در خصوص تعیین گسل مسبب زمین لرزه از جمله ابهامات باقیمانده در این زمین لرزه می باشد.

علیرغم وجود پرتگاه گسلی بم-بروات بعنوان یک گسل در مجاورت شهر بم، ابهامات زیادی صرف نظر از مطالعات گسترده انجام گرفته در نسبت دادن لرزه خیزی به این گسل فعال وجود دارد. در تحقیق حاضر سعی بر این است تا با به نقشه در آوردن تصویر ساختار سه بعدی منطقه با روش توموگرافی سه بعدی، تصویر این گسل در عمق و در صورت امکان نقش آن در ایجاد زمین لرزه دی ماه ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گیرد.

لازم به ذکر است کار مشابه تحقیق حاضر (توموگرافی سه بعدی) توسط صادقی و همکاران (۲۰۰۶) در این منطقه صورت گرفته است که با توجه به تفاوت در کیفیت داده های استفاده، نیاز به انجام یک مطالعه توموگرافی سه بعدی دیگر در منطقه ضروری به نظر می رسد.

مسائل توموگرافی نوع خاصی از مسائل معکوس می باشند، که در آن، نخست اندازه گیری هایی از انتشار نوعی انرژی درون محیط، صورت می گیرد، آنگاه ویژگی در یافت شده این انرژی (دامنه موج، شکل موج، زمان سیر) جهت پی بردن به پارامترهای درونی محیط که با این ویژگی ارتباط دارند، مورد استفاده قرار می گیرند. در بسیاری از موارد، این ویژگی در یافت شده، بصورت یک انتگرال (نگاشت پارامترهای درونی محیط) قابل بیان است. در این حالت یک مسئله توموگرافی یافتن انتگرالده از مقدار انتگرال هایش می باشد.

به عبارت دیگر توموگرافی بازسازی تصویری پارامترهای فیزیکی یک جسم در مقطعی از آن جسم با انجام اندازه گیری هایی در سطح خارجی جسم می باشد. توموگرافی از واژه یونانی "تومو" به معنای



برش(مقطع) گرفته شده است. بخش عمده ای از کاربرد چنین تکنیک هایی در تصویر برداری پزشکی است و اصول و الگوریتم های پایه ای توموگرافی ژئوفیزیکی برگرفته از توموگرافی پزشکی می باشد.

توموگرافی لرزه ای در گستره وسیعی از مطالعه درون زمین در مقیاس جهانی تا مطالعات با قدرت تفکیک بالا در ژئوفیزیک اکتشافی، بکار گرفته شده است. در مقیاس جهانی، منابع انرژی زلزله های بزرگ یا انفجارات هسته ای هستند و گیرنده ها شبکه های گسترش یافته لرزه نگاری در سراسر جهان می باشند. در چنین مطالعاتی هدف، بررسی ساختارهای هسته، جبه و پدیده های تکتونیکی بزرگ مقیاس می باشد. در مقیاس کوچکتر، زلزله های محلی مورد استفاده قرار می گیرد و گیرنده ها پایگاه های محلی ثبت زلزله ها بوده و هدف بررسی ساختار های محلی می باشد.

باید اشاره کرد که یکی از وظایف زلزله شناسان انجام مطالعات دقیق، تعیین نقاط تهدید و جلوگیری از خطرات احتمالی می باشد. تعیین محل زمین لرزه های رویداده در هر منطقه در شناسایی پتانسیل لرزه خیزی و گسل های پنهان و تحلیل های خطر پذیری در آن منطقه کمک شایان توجهی می نماید و یکی از عوامل مهم برای تعیین محل زمین لرزه ها شناخت ساختار سرعتی زمین بخصوص پوسته زمین می باشد.

با انجام توموگرافی محلی در یک منطقه، سعی داریم ساختار سرعتی آنجا را به دست آوریم. با کنار هم قرار دادن نتایج حاصل از توموگرافی و مطالعات زمین شناسی انجام شده در منطقه، ساختار زمین شناسی، تکتونیکی و... منطقه به تصویر کشیده می شود و این تصاویر می تواند محل دقیق رویدادها و نحوه لرزه خیزی منطقه و روندهای گسلی و ... را برای مطالعات زلزله شناسی و جنس سنگ ها و ... را برای اهداف زمین شناسی و مهندسی به دست دهد.

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل است. در فصل اول زمین شناسی لرزه زمینساخت و لرزه خیزی شرق ایران تشریح گردیده است.

در فصل دوم، تاریخچه مختصری از مطالعه ساختمان پوسته در ایران آورده شده است.

فصل سوم مشتمل بر مطالعه ساختار سه بعدی پوسته به روش توموگرافی زمین لرزه های محلی می باشد.

فصل چهارم مطالعه ساختار سه بعدی پوسته در منطقه گسلی بم و نتایج حاصله را در بر دارد.

فصل پنجم، بحث و نتیجه گیری پیرامون مطالعه انجام شده می باشد.



فصل اول

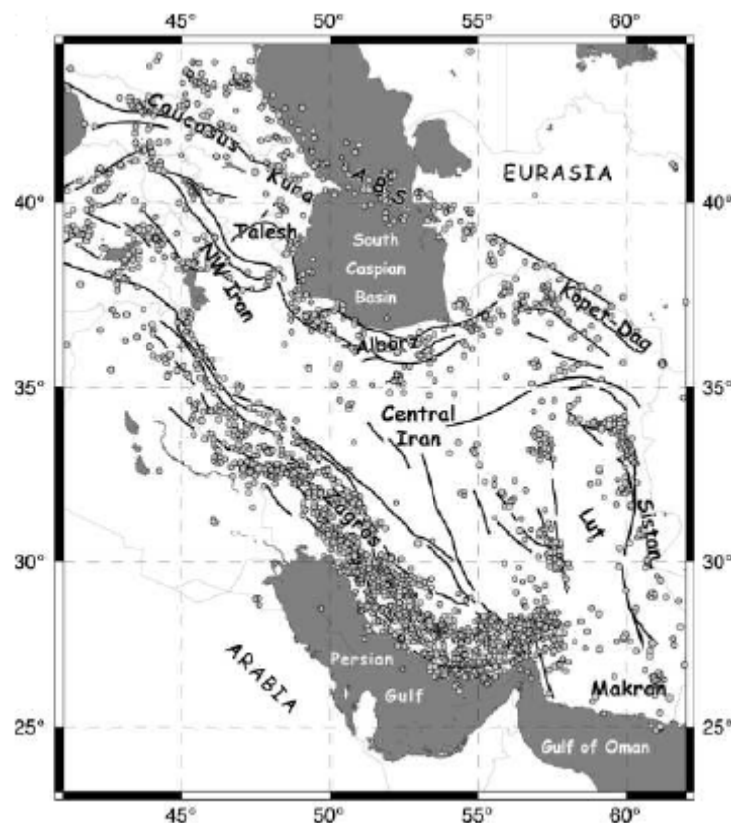
زمین شناسی، لرزه زمین ساخت

و بررسی ساختارهای منطقه شرق ایران



۱-۱- مقدمه

فلات ایران با گسلش و چین خوردگی فعال و فعالیت های اخیر آتشفشانی، مناطق کوهستانی و ضخامت پوسته ای مختلف توصیف شده است و با قرار گرفتن در کمربند لرزه ای، یکی از مناطق لرزه خیز جهان بشمار می رود (شکل ۱-۱) و همواره با زلزله های مخربی درگیر بوده که تلفات زیادی داشته است.



شکل ۱-۱- توزیع لرزه خیزی در ایران از روی کاتالوگ لرزه خیزی دستگامی [۱].

در طول قرن بیستم، مردم ایران هر هفت سال یکبار تجربه یک زلزله با بزرگای ۷ و هر دو سال یکبار تجربه حداقل یک زلزله با بزرگای ۶/۹-۶ که منجر به کشته شدن ۱۵۷۷۰ نفر بازای هر سال شده است را داشته است [۲].

شهر کویری بم و ساکنانش واقع در جنوب استان کرمان و شرق فلات ایران، در طی فقط چند ثانیه در اثر وقوع زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ با بزرگای گشتاوری ۶/۶، که یکی از مخرب ترین زمین لرزه های سال های اخیر ایران می باشد، در زیر خاک مدفون گردید. در این فصل وضعیت تکتونیکی و لرزه زمینساختی گستره مورد مطالعه واقع در شرق ایران، مورد بررسی قرار می گیرد.