

به نام خداوند جان و خرد

کز این برتر اندیشه برنگذرد



پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله  
پژوهشکده زلزله شناسی

رساله دکترا

عنوان:

# **مطالعه لرزه خیزی و لرزه زمینساخت در زون زاگرس شرقی**

دانشجو:

عباس غلامزاده

پایان نامه برای دریافت درجه دکترا  
در رشته ژئوفیزیک گرایش زلزله شناسی

اساتید راهنما:

دکتر فرزام یمینی فرد

دکتر خالد حسامی آذر

استاد مشاور:

دکتر محمد تاتار

خردادماه ۱۳۸۸

تقدیم بہ

پدر و مادر مہربانم

ہمسر صبور و عزیزم

و فرزند ان دلہندم: یاسمین و بزرگمہر

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات بی شائبه استاد محترم جناب آقای دکتر فرزام یمینی-فرد و استاد گرامی آقای دکتر خالد حسامی آذر که زحمت راهنمایی و هدایت اینجانب در انجام این رساله را بر عهده داشتند و بدون مساعدت ایشان این رساله به سرانجام نمی رسید، نهایت امتنان و سپاسگزاری را دارم.

از داوران محترم آقایان دکتر محمدرضا قیطانچی، دکتر مرتضی طالبیان، دکتر محمد رضا عباسی و دکتر غلام جوان به خاطر نظرات سودمندشان که سبب افزایش کیفیت این پایان نامه گردید، سپاسگزارم

از آقای دکتر جوان ریاست محترم پژوهشکده زلزله شناسی و آقایان مهندس حیدری مقدر، محمد یوسف، قاسمی، مسعودی و ذولفقاری پرسنل زحمت کش پژوهشگاه بین المللی که در نصب ایستگاههای شبکه لرزه نگاری و جمع آوری داده ها متحمل زحمات طاقت فرسایی شدند، سپاسگزارم

از آقایان دکتر معهود ، مهندس دزواره، رحیمی، متقی، غلامی، امین عباسی و حبیب اله حقی به خاطر کمکها و همفکریهایشان کمال تشکر را دارم. از مدیریت محترم بخش اکتشاف وزارت نفت به خاطر داده‌های چاه‌های نفت و گاز حفر شده در منطقه تشکر می نمایم

از معاونت عمرانی استانداری هرمزگان، مدیریت منطقه آزاد قشم و مردم خونگرم و مهمان نواز روستاهای جزیره قشم، بخش فین و بخش احمدی استان هرمزگان به خاطر کمکهای بیدریغشان سپاسگزارم.

اعضا هیات داوران:

امضاء                      دکتر فرزام یمینی فرد                      استاد راهنما:

امضاء                      دکتر خالد حسامی آذر                      استاد راهنما:

امضاء                      دکتر محمد تاتار                      استاد مشاور:

امضاء                      دکتر محمد رضا قیطانچی                      استاد مدعو خارجی:

امضاء                      دکتر مرتضی طالبیان                      استاد مدعو خارجی:

امضاء                      دکتر محمد رضا عباسی                      استاد مدعو داخلی:

امضاء                      دکتر غلام جوان                      استاد مدعو داخلی:

امضاء                      دکتر حسین حمزه لو                      مدیر تحصیلات تکمیلی:

## چکیده

در این رساله لرزه خیزی و لرزه زمینساخت منتهی الیه جنوب شرق زاگرس مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور از داده‌های شبکه موقت متراکم محلی که از ۱۲ آذر ۱۳۸۴ تا ۲۵ خرداد ۱۳۸۵ در منطقه نصب شده، استفاده گردیده است. در طی این مدت زمینلرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم با بزرگی  $M_b=6.0$ ، زمینلرزه ۹ اسفند ۱۳۸۴ تیاب با بزرگی  $M_b=5.9$  و نیز زمینلرزه ۵ فروردین ۱۳۸۵ فین با بزرگی  $M_b=6.0$  در این منطقه روی داده است. در این پژوهش پس‌لرزه‌های دو زمینلرزه قشم و تیاب به همراه خرد زمینلرزه‌های منطقه خورگو واقع در شمال بندر عباس مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج کار ما بیانگر این است که ساختار پوسته فوقانی لبه جنوبی زاگرس در جزیره قشم شامل لایه‌ای رسوبی به ضخامت ۱۰ کیلومتر و با سرعت نسبتاً کم  $4/4$  کیلومتر بر ثانیه که بر روی پی‌سنگ بلورین با سرعت حدود  $6/6$  کیلومتر بر ثانیه قرار گرفته، می‌باشد. در منطقه خورگو در شمال بندر عباس این ساختار شامل لایه‌ای رسوبی با همان ضخامت ۱۰ کیلومتر اما با سرعت  $5/62$  کیلومتر بر ثانیه است. این لایه رسوبی بر روی دو لایه دیگر قرار دارد که اولی به ضخامت ۸ کیلومتر و سرعت  $5/84$  کیلومتر بر ثانیه و دومی با ضخامت ۴ کیلومتر و با سرعت  $5/94$  کیلومتر بر ثانیه است، این سه لایه بر روی لایه نیم فضایی با سرعت  $6/66$  کیلومتر بر ثانیه قرار می‌گیرند.

در شمال گسل MZRF و در منطقه رخداده زمینلرزه ۹ اسفند تیاب، ساختار سرعتی پوسته فوقانی شامل لایه‌ای به ضخامت ۱۶ کیلومتر و سرعت  $6/02$  کیلومتر بر ثانیه است که بر روی لایه نیم فضا با سرعت  $6/54$  کیلومتر بر ثانیه قرار گرفته است.

یکسانی سرعت لایه نیم فضا دلالت بر این دارد که این منطقه بر روی پی سنگ بلورین مشابهی قرار گرفته است.

عمق رویدادهای لرزه‌ای در این ناحیه از جنوب به سمت شمال متفاوت است. پس‌لرزه‌های زلزله ۶ آذر ۱۳۸۴ قشم، دارای گستره عمقی ۷ تا ۱۸ کیلومتر هستند. در حالی که در شمال گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF) پس‌لرزه‌های زلزله ۹ اسفند ۱۳۸۴ تیاب اعماقی بین ۱۲ تا ۲۳ کیلومتر دارند. در منطقه خورگو واقع در شمال بندر عباس، خرد زمینلرزه‌ها دارای عمق‌هایی بین ۵ تا ۲۵ کیلومتر هستند. اعماق

کمتر از ۱۰ کیلومتر برای رویدادهای لرزه‌ای قشم و خورگو بیانگر این واقعیت است که بخشی از این رویدادها در لایه رسوبی قرار می‌گیرند.

در منطقه خورگو، مطالعه خرد زمینلرزه‌ها، روند پلکانی رویدادها در اطراف قطعات گسل جبهه کوهستان (MFF) بسیار واضح را نشان می‌دهد. امتداد این روند پلکانی به سمت شمال شرق است و می‌توان ادامه آن را با عبور از گسل زاگرس مرتفع (HZF) در منطقه مثلثی شکل واقع در شمال گسل زاگرس مرتفع دنبال نمود. پیشتر این روند پلکانی رویدادها به صورت کاذب به عنوان لرزه‌خیزی به سمت شمال شرق تصور شده است (کادینسکی-کد و برازنگی، ۱۹۸۲).

مطالعه ما بر روی پس‌لرزه‌های زلزله ۶ آذر جزیره قشم حاکی از وجود دو سازوکار گسلی امتداد لغز و معکوس است. این دو سازوکار در فاصله نزدیکی از یکدیگر قرار دارند. آزمون متوسط محورهای P برای رویدادهای با سازوکار امتداد لغز تقریباً موازی جهت همگرایی بین صفحه عربی و اوراسیا که توسط اندازه‌گیری‌های GPS بدست آمده می‌باشد.

بطور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده پیچیدگی سازوکار تغییر شکل در منتهی‌الیه شرقی زاگرس می‌باشد. مولفه قابل توجه امتداد لغز در انتهای سیستم گسلی زندان-میناب-پالامی (ZMP) در بین پس‌لرزه‌های زمین لرزه تیاب نشانگر ادامه حرکت امتداد لغز سیستم گسلی زندان-میناب-پالامی (ZMP) به شمال محل تلاقی با گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF) می‌باشد.

همچنین در غرب سیستم گسلی زندان-میناب-پالامی (ZMP) تا گسل زاگرس مرتفع (HZF) رویدادهایی با مولفه حرکت امتداد لغز مشاهده شده است که مولفه امتداد لغز آنها می‌تواند تحت تاثیر حرکت راستگرد سیستم گسلی زندان-میناب-پالامی (ZMP) باشد.

## فهرست مطالب

فصل اول؛ مقدمه	ف
مقدمه .....	۱

### فصل دوم؛

Error! Bookmark not defined.

### چهارچوب کلی منطقه

۱-۲ مقدمه .....	۸
۲-۲ زاگرس .....	۸
۱-۲-۲ چینه شناسی زاگرس .....	۱۰
۲-۲-۲ واحدهای مرفوتکتونیکي زاگرس .....	۱۳
۳-۲-۲ لرزه خیزی زاگرس .....	۱۴
۴-۲-۲ سینماتیک زاگرس .....	۱۷
۵-۲-۲ منشاء کمان فارس .....	۱۸
۶-۲-۲ ساختار پوسته و لیتوسفر در زاگرس .....	۱۹
۷-۲-۲ ساختار پوسته و لیتوسفر در مکران .....	۲۲
۳-۲ منطقه الحاق سه گانه زاگرس-مکران-ایران مرکزی .....	۲۲
۱-۳-۲ ساختار زمین شناسی شمال بندر عباس .....	۲۳
۲-۳-۲ مدل‌های تکتونیکي ارائه شده برای منطقه زاگرس شرقی .....	۲۷
۳-۳-۲ ژئومغناطیس منطقه .....	۲۹
۴-۳-۲ سینماتیک مدرن منطقه .....	۳۰
۵-۳-۲ مقاطع عرضی موازنه شده .....	۳۳
۶-۳-۲ لرزه خیزی منطقه زاگرس شرقی .....	۳۵

### فصل سوم؛

### روش های انجام مطالعه

۱-۳ مقدمه .....	۴۲
۲-۳ طراحی و نصب شبکه .....	۴۳
۳-۳ جمع آوری داده ها .....	۴۴
۴-۳ آماده سازی داده ها .....	۴۵
۵-۳ قرائت فاز رویدادها .....	۴۸
۶-۳ محاسبه نسبت $V_p/V_s$ برای هر منطقه .....	۴۹
۷-۳ تعیین ساختار سرعتی پوسته فوقانی .....	۴۹
۸-۳ تصحیح ایستگاهی .....	۵۱
.....	۵۴



۵۴	..... Double Difference	۹-۳ تعیین محل به روش
۵۵	.....	۱۰-۳ تعیین لرزه خیزی
۵۵	.....	۱۱-۳ تعیین سازوکار کانونی رویدادها

### فصل چهارم؛

۵۷	.....	زمینلرزه ۷ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم
۵۸	.....	مقدمه
۶۱	.....	۲-۴ داده ها
۶۲	.....	۳-۴ تعیین نسبت $V_P/V_S$
۶۴	.....	۴-۴ تعیین مدل پوسته
۶۸	.....	۵-۴ تعیین محل نسبی رویدادها
۶۹	.....	۶-۴ لرزه خیزی در سطح
۷۳	.....	۷-۴ توزیع عمقی رویدادها
۷۹	.....	۸-۴ سازوکارهای کانونی
۸۰	.....	۹-۴ بحث
۸۳	.....	۱۰-۴ نتایج

### فصل پنجم؛

۸۹	.....	زمین لرزه ۹ اسفند ۱۳۸۴ تیاب
۹۰	.....	۱-۵ مقدمه
۹۱	.....	۲-۵ زمین شناسی منطقه
۹۲	.....	۳-۵ داده‌ها
۹۶	.....	۴-۵ لرزه‌خیزی پس‌لرزه‌ها
۱۰۰	.....	۵-۵ سازوکار کانونی
۱۰۶	.....	۶-۵ بحث
۱۰۷	.....	۷-۵ نتایج

### فصل ششم؛

۱۰۹	.....	خردلرزه های منطقه خورگو
۱۱۰	.....	۱-۶ مقدمه
۱۱۲	.....	۲-۶ داده‌ها
۱۱۲	.....	۳-۶ تعیین مدل پوسته
۱۱۷	.....	۴-۶ لرزه‌خیزی رویدادها
۱۲۶	.....	۵-۶ سازوکار کانونی

۱۲۹.....	۶-۶ بحث
۱۲۹.....	۶-۶-۱ روند لرزه خیزی
۱۳۱.....	۶-۶-۲ عمق زمین لرزه ها و زیر راندگی صفحه عربی
۱۳۲.....	۶-۶-۳ ارتباط لرزه خیزی با گسلها

## فصل هفتم؛

۱۴۱	<b>نتایج</b>
۱۴۲.....	۷-۱ ساختار سرعتی پوسته فوقانی در جنوب شرق زاگرس
۱۴۵.....	۷-۲ لرزه خیزی
۱۴۵.....	۷-۲-۱ عمق رویدادها
۱۴۵.....	۷-۲-۲ لرزه خیزی سطحی
۱۴۸.....	۷-۳ سازوکارهای کانونی
۱۴۹.....	۷-۴ مقایسه آزمون محورها P با آزمونهای سرعت GPS

۱۵۲	<b>مراجع</b>
۱۶۳	<b>پیوست الف</b>
۱۷۱	<b>پیوست ب</b>
۱۷۴	<b>پیوست ج</b>

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ موقعیت ایران در کمربند آلپ- هیمالیا، لرزه خیزی بر اساس کاتالوگ انگدال (۲۰۰۶) رسم شده است. سرعت‌های GPS بر مبنای ورنانت (۲۰۰۴) می‌باشد ۱
- شکل ۲-۱ نقشه لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه واقع در جنوب شرق زاگرس. دواير محل زلزله های ثبت شده توسط شبکه‌های جهانی و تعیین محل شده توسط (انگدال و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۴
- شکل ۱-۲ نقشه توپوگرافی انتهای جنوب شرق زاگرس و مناطق مجاور آن در ایران مرکزی و مکران. روند ساختارهای عمان نیز نمایش داده شده است. .... ۹
- شکل ۲-۲ نمودار چینه شناختی و رویدادهای مهم تکتونیکی در جنوب شرق زاگرس و شمال عمان و سطوح محتمل جدایش برای این دو ناحیه. مقیاس عمودی تقریبی است (مولینارو و همکاران، ۲۰۰۴)..... ۱۲
- شکل ۳-۲ نقشه گسل‌های فعال پی سنگی معکوس طولی (دندانه دار)، امتداد لغز عرضی پی سنگ- سطحی و گسل جوان زاگرس ، به همراه حل‌های مکانیسم کانونی..... ۱۳
- شکل ۴-۲ لرزه خیزی ایران (1909-2004)، بر اساس بانک داده‌های انگدال ، موقعیت و عمق رویدادها به همراه روند ساختارهای مهم در شکل نمایش داده شده است (مولینارو، ۲۰۰۴)..... ۱۵
- شکل ۵-۲ توزیع عمقی رویدادها در (a) زاگرس و (b) خط عمان (منطقه انتقالی زاگرس-مکران) (مگی و همکاران، ۲۰۰۰)..... ۱۶
- شکل ۶-۲ مقطع عرضی ساده شده از عرض کمربند چین و تراست زاگرس که نشان دهنده واحدهای مورفوتکتونیکی اصلی است. حل صفحات گسل به همراه بزرگای امواج سطحی مربوطه، نیز اضافه شده است..... ۱۶
- شکل ۷-۲ کمربند چین و تراست زاگرس، پیکانهای سیاه سرعت‌های افقی GPS به همراه بیضوی ۹۵٪ اطمینان آنها را نشان می‌دهد که نسبت به نقطه مرجع واقع در ایران مرکزی محاسبه شده است..... ۱۷
- شکل ۸-۲: مقطع عرضی لیتوسفر در زاگرس، مطابق مدل اشنایدر و برازنگی (۱۹۸۶) بر اساس داده های گرانی. گوشته فوقانی در امتداد موهو به زیر پوسته زیرین می‌لغزد و به زیر ایران رانده می‌شود (اشنایدر و برازنگی، ۱۹۸۶)..... ۲۰
- شکل ۹-۲ مقطع لایه ای توموگرافی نواحی ایران و هند در عمق ۶۰ کیلومتر (بیجوارد و اسپاکمن، ۲۰۰۰)..... ۲۱
- شکل ۱۰-۲ نقشه زمین شناسی کمربند چین و تراست زاگرس در ناحیه شمال بندر عباس. ZSFB: کمربند چین خورده ساده زاگرس؛ HZB: کمربند زاگرس مرتفع؛ خط AA' موقعیت پروفیلی است که در مقطع موازنه شده، نمایش داده شده است (مولینارو ۲۰۰۴)..... ۲۶
- شکل ۱۱-۲ مدل‌های تکتونیکی ممکن برای ناحیه خط عمان. لبه پوسته بالائی بلوک تقریباً نزدیک گسل اصلی معکوس زاگرس؛ رسوبات پوششی زاگرس و مکران نمایش داده نشده است..... ۲۸
- شکل ۱۲-۲ مجموعه مطالعات مغناطیس روی کمان فارس و غرب مکران (اُبرگ و همکاران، ۲۰۰۴)..... ۲۹
- شکل ۱۳-۲ سرعت های افقی GPS و بیضوی قابل اطمینان ۹۵٪ در دوره زمانی ۲۰۰۲-۲۰۰۰ هنگامی که عربستان ثابت فرض شود (بایر و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۳۱
- شکل ۱۴-۲ ترکیب مطالعات انجام شده در منطقه با استفاده از روشهای حساسیت مغناطیسی، GPS و تکتونیک. اندازه وجهت

سرعت‌های GPS مربوط به حالتی است که ایران مرکزی ثابت در نظر گرفته شده است (ریگارد و همکاران، ۲۰۰۹)..... ۳۲

شکل ۲-۱۵ مقطع عرضی موازنه شده و بازگردانده AA' در جنوب شرق کمر بند چین و تراست زاگرس. مقاطع بازگشتی (restoration) نشان دهنده ۴۵ کیلومتر کوتاه‌شدگی در رسوبات پوششی است..... ۳۴

شکل ۲-۱۶ توزیع عمقی رویدادها در منطقه موسوم به «خط عمان». سفید نتایج حاصل از مدلسازی امواج حجمی را نشان می‌دهد. خاکستری عمق‌های بدست آمده از کاتالوگ انگدال می‌باشد (انگدال و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۴۰

شکل ۲-۱۷ حل صفحات گسل در نواحی جنوب شرق زاگرس و خط عمان به همراه عمق مرکزوار (centroid) مربوطه در صورتی که وجود داشته است..... ۴۱

شکل ۳-۱ موقعیت ایستگاه‌های شبکه موقت نصب شده در جنوب شرق زاگرس..... ۴۴

شکل ۳-۲ روند کار در وارون یابی یک بعدی (کیسلینگ ۱۹۹۵)..... ۵۳

شکل ۴-۱ لرزه خیزی منطقه با استفاده از کاتالوگ انگدال (Engdahl et. al., 2004)، ستاره صورتی در جزیره قشم موقعیت زلزله ۲۷ آذر و ستاره زرد موقعیت بزرگترین پس‌لرزه با بزرگای  $M_b=5.4$  را نشان می‌دهد..... ۵۸

شکل ۴-۲ تصویر ماهواره ای (RGB742) بخش میانی جزیره قشم. ساختار زمین شناسی بخش مرکزی جزیره قشم به همراه حل صفحات گسل بدست آمده از روش مدلسازی امواج حجمی (قرمز) و CMT (خاکستری) (نیسن و همکاران، ۲۰۰۷)..... ۶۰

شکل ۴-۳: موقعیت ایستگاه‌های شبکه موقت محلی نصب شده جهت ثبت پس‌لرزه های زلزله ۲۷ نوامبر ۲۰۰۵ جزیره قشم..... ۶۲

شکل ۴-۴ نسبت VP/VS محاسبه شده برای ۸۴۵ رویداد..... ۶۳

شکل ۴-۵ نتایج حاصل از برگردان یک بعدی روی ۵۵۰ رویداد انتخابی با معیارهای: خطای تعیین محل افقی و عمودی کمتر ۳ Km، پوشش آزیموتی کمتر از ۱۸۰ درجه، ثبت در دست کم ۶ ایستگاه و rms کمتر از ۰/۲ ثانیه..... ۶۵

شکل ۴-۶ نتایج حاصل از برگردان یک بعدی روی ۲۱۱ رویداد انتخابی که دارای بیش از ۸ پلاریته بوده و بنابر این در بیش از ۸ ایستگاه ثبت گردیده‌اند سمت چپ: مدل‌های اولیه ورودی و سمت راست مدل‌های خروجی را نشان می‌دهد..... ۶۶

شکل ۴-۷ نتایج حاصل از برگردان یک بعدی زمان‌های رسید ۲۱۱ رویداد انتخابی و مدل‌های سرعت ورودی گرادایانی. شکل‌های بالا مرحله اول اجرای برنامه و پایین مرحله دوم می‌باشد سمت چپ: مدل‌های ورودی و سمت راست مدل‌های خروجی می‌باشد..... ۶۷

شکل ۴-۸. توزیع رو مرکز تمامی ۱۸۳۹ رویداد آنالیز شده. که توسط Hypocenter تعیین محل شده‌اند..... ۶۹

شکل ۴-۹. توزیع رو مرکز ۱۰۹۴ رویداد انتخابی تعیین محل شده با Hypocenter..... ۷۰

شکل ۴-۱۰. توزیع رو مرکز ۱۰۹۴ رویداد انتخابی تعیین محل شده با Hypo71..... ۷۱

شکل ۴-۱۱. توزیع رو مرکز ۱۰۹۴ رویداد انتخابی دوباره تعیین محل شده با HypoDD..... ۷۲

شکل ۴-۱۲ فراوانی رویدادها با عمق. رنگ سفید برای تمام رویدادها و قرمز برای ۱۰۹۴ رویداد انتخابی. سمت چپ نتایج Hypo71 و سمت راست نتایج HypoDD. بیشتر رویدادها دارای عمقی حدود ۱۰ کیلومتر هستند..... ۷۳

شکل ۴-۱۳ لرزه‌خیزی منطقه با ۴۲۰ پس‌لرزه دوباره تعیین محل شده (قرمز) بوسیله متد اختلاف دوگانه و ۲۷۱ رویداد انتخابی (ثابت در بیش از ۱۰ ایستگاه)..... ۷۴

شکل ۴-۱۴ مقطع AA' با پهنای ۱۰ کیلومتر عمود بر روند لرزه‌خیزی. مقطع با پهنای ۱۰ km رویدادها را در بر می‌گیرد. (a)..... ۷۵

شکل ۴-۱۵ رویداد انتخابی با معیار:..... ۷۵

شکل ۴-۱۵ مقطع BB' در بخش میانی روند لرزه‌خیزی. سایر مشخصات همانند مقطع AA' است..... ۷۶

- شکل ۴-۱۶ مقطع 'CC' در بخش میانی روند لرزه‌خیزی. سایر مشخصات همانند مقطع 'AA' است..... ۷۷
- شکل ۴-۱۷ مقطع 'DD' موازی با روند لرزه‌خیزی. سایر مشخصات همانند مقطع 'AA' است..... ۷۸
- شکل ۴-۱۸ سازوکارهای کانونی محاسبه شده با کیفیت A نمایش دهنده وجود دو نوع سازوکار امتداد لغز و معکوس در منطقه پس‌لرزه‌ها می‌باشند..... ۸۰
- شکل ۴-۱۹ رز دیاگرام فراوانی آزمون‌های محور p که از حل صفحات گسل بدست آمده است..... ۸۲
- شکل ۴-۲۰ سازوکار پیشنهادی برای دگرشکلی در لبه غربی تنگه هرمز در جنوب شرق زاگرس..... ۸۳
- شکل ۵-۱. لرزه خیزی در انتهای شرقی زاگرس از ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۴ (Engdahl et al., 2006) موقعیت زلزله ۹ اسفند ۱۳۸۴ تیاب بر اساس گزارش IIEES با ستاره مشخص شده است..... ۹۰
- شکل ۵-۲ پیکره بندی شبکه موقت محلی نصب شده از ۹ اسفند ۱۳۸۴ تا ۱۲ فروردین ۱۳۸۵ در منطقه با هدف ثبت پس‌لرزه‌های زلزله تیاب. مثلث‌ها نشانه ایستگاه‌های لرزه نگاری می‌باشند..... ۹۲
- شکل ۵-۳. نسبت VP/VS محاسبه شده برای منطقه تیاب با استفاده از ۸۷۷۷ زمان رسید..... ۹۳
- شکل ۵-۴ محاسبه ساختار سرعتی منطقه بر اساس برگردان یک بعدی زمان-سیر رویدادها. ۱۰۰ مدل کاتوره‌ای به عنوان ورودی (سمت چپ) که به مدل‌های (سمت راست) همگرا شده‌اند..... ۹۵
- شکل ۵-۵ نمایش رومرکز تمام ۵۰۸ رویداد که حد اقل توسط ۳ ایستگاه ثبت شده است..... ۹۶
- شکل ۵-۶ توزیع سطحی ۳۵۴ رویداد انتخابی  $erh, erz < 2 \text{ km}, gap < 270$  و ثبت در بیش از ۵ ایستگاه..... ۹۷
- شکل ۵-۷ فراوانی عمقی پس‌لرزه‌ها، رنگ قرمز ۲۳۴ رویداد انتخابی، رنگ سفید مربوط به ۴۶۴ رویداد دوباره تعیین محل شده بوسیله HypoDD..... ۹۸
- شکل ۵-۸ توزیع عمقی پس‌لرزه‌ها در مقاطع عرضی 'AA' (سمت چپ)، 'BB' (وسط) و 'CC' (راست). از بالا به پایین: ۳۵۴ رویداد تعیین محل شده..... ۹۹
- شکل ۵-۹ سازوکارهای کانونی محاسبه شده. رنگ سیاه: کیفیت A، خاکستری: کیفیت B و CMT حل زلزله اصلی می‌باشد ۱۰۰
- شکل ۵-۱۰ سازوکارهای کانونی نشانگر سازوکار تراستی، مشابه سازوکار زلزله اصلی. شماره سازوکار مطابق جدول ۵-۲ و کیفیت هر حل بالای آن آمده است..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۱ سازوکارهای کانونی نشانگر مکانیسم امتداد لغز، شماره سازوکار مطابق جدول ۵-۲ و کیفیت هر حل بالای آن آمده است..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۲ رز دیاگرام فراوانی آزمون محور P برای سازوکارهای کانونی حل شده (جدول ۲ را ببینید)..... ۱۰۳
- شکل ۵-۱۳ آزمون محور P که از سازوکارهای کانونی با کیفیت A و B بدست آمده است. بردار سبز رنگ متوسط کل آزمون‌ها می‌باشد..... ۱۰۴
- شکل ۶-۱ لرزه‌خیزی در منطقه شمال بندر عباس. رویدادهای با بزرگای بیش از ۵ از سال ۱۹۶۳ تا ۲۰۰۴ بر اساس کاتالوگ انگدال (انگدال و همکاران، ۲۰۰۶) ترسیم شده است. تمرکز لرزه‌خیزی در منطقه شمال بندر عباس کاملاً آشکار است..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲ نسبت VP/VS محاسبه شده برای منطقه با استفاده از ۳۷۲۷ زمان رسید..... ۱۱۳
- شکل ۶-۳ a: ۱۰۰ مدل کاتوره‌های با لایه‌های به ضخامت ۲ کیلومتر و سرعت‌هایی بین ۵/۵ تا ۶/۵ کیلومتر بر ثانیه، سمت چپ مدل‌های ورودی و سمت راست خروجی حاصل از برگردان می‌باشد..... ۱۱۴

- شکل ۳-۶ c: ۱۰۰ مدل کاتوره‌های که ضخامت لایه اول ۱۰، لایه دوم ۸ و پس از آن ضخامت هر لایه ۴ کیلومتر است. شکل ۳-۶ d: ۱۰۰ مدل کاتوره‌های که ضخامت لایه اول ۱۰، لایه دوم ۸ و لایه سوم ۴ کیلومتر است. .... ۱۱۵
- شکل ۳-۶ E: ساختار سرعتی منطقه خورگو بر اساس برگردان یک بعدی زمان-سیر رویدادها. ۱۰۰ مدل کاتوره‌ای به عنوان ورودی (سمت چپ) که به مدل‌های (سمت راست) همگرا شده‌اند. .... ۱۱۶
- شکل ۴-۶ توزیع رومرکز تمامی ۵۳۰ رویداد تعیین محل شده با برنامه Hypo71. .... ۱۱۷
- شکل ۵-۶ لرزه‌خیزی ۲۲۴ رویداد تعیین محل شده بوسیله Hypo71 که با شرایط زیر (Erh, Erz < 2 Km; Gap < 270; rms < 0.3 S ; No. of phase > 7) ..... ۱۱۸
- شکل ۶-۶ توزیع رومرکز ۲۰۴ رویداد انتخابی با تعیین محل دوباره به روش HypoDD ..... ۱۱۹
- شکل ۶-۷ فراوانی عمق رویدادهای انتخابی تعیین محل شده توسط HYPO71 (رنگ قرمز) و HypoDD (رنگ سبز). ۱۲۰
- شکل ۸-۶ موقعیت پروفیل‌های عمقی و رومرکز ۲۰۴ رویداد انتخابی تعیین محل شده به روش اختلاف دوگانه HypoDD ..... ۱۲۱
- شکل ۹-۶ تصویر زمین لرزه‌های انتخابی بر روی صفحه قائم در امتداد AA' به سمت شمال شرق عمود بر راستای گسل زاگرس مرتفع با پهنای ۱۰۰ کیلومتر به همراه محل گسلها (شکل ۸-۶). .... ۱۲۲
- شکل ۱۰-۶ تصویر زمین لرزه‌ها بر روی صفحه قائم در امتداد A1A'1 به سمت شمال شرق عمود بر راستای گسل زاگرس مرتفع با پهنای ۱۰ کیلومتر به همراه محل گسلها (شکل ۸-۶). .... ۱۲۳
- شکل ۱۱-۶ تصویر زمین لرزه‌ها بر روی صفحه قائم در امتداد A2A'2 به سمت شمال شرق عمود بر راستای گسل زاگرس مرتفع با پهنای ۱۰ کیلومتر به همراه محل گسلها (شکل ۸-۶). .... ۱۲۳
- شکل ۱۲-۶ تصویر زمین لرزه‌ها بر روی صفحه قائم در امتداد B1B'1 به سمت شمال شرق عمود بر راستای گسل MFF با پهنای ۲۰ کیلومتر به همراه محل گسلها ..... ۱۲۴
- شکل ۱۳-۶ تصویر زمین لرزه‌ها بر روی صفحه قائم در امتداد B2B'2 به سمت شمال شرق عمود بر راستای گسل MFF با پهنای ۳۰ کیلومتر به همراه محل گسلها (شکل ۸-۶). .... ۱۲۵
- شکل ۱۴-۶ تصویر زمین لرزه‌ها بر روی صفحه قائم در امتداد B3B3' به سمت شمال غرب، عمود بر راستای لرزه خیزی مشاهده شده در شمال HZF با پهنای ۲۰ کیلومتر. .... ۱۲۵
- شکل ۱۵-۶ تصویر پس‌لرزه‌های زمین لرزه فین بر روی صفحه قائم در امتداد C2C'2 به سمت شمال عمود بر راستای لرزه خیزی مشاهده شده با پهنای ۴۰ کیلومتر به همراه محل گسلها (شکل ۸-۶). .... ۱۲۶
- شکل ۱۶-۶ سازوکارهای حل شده در انتهای شرقی زاگرس بر اساس داده‌های محلی. سازوکارهای با کیفیت A با رنگ سیاه، کیفیت B با رنگ خاکستری و کیفیت C با رنگ قرمز نمایش داده شده است. .... ۱۲۷
- شکل ۱۷-۶: توزیع رومرکز زمین لرزه‌های انتخابی تعیین محل شده در این مطالعه شامل پس‌لرزه‌های زمین لرزه‌های فین و تیاب، سازوکارهای محاسبه شده و محل مقاطع بلند نمایش داده شده در شکل‌های (۶-۱۹) و (۶-۲۴). .... ۱۲۹
- شکل ۱۸-۶ مقایسه لرزه خیزی از کاتالوگ انگدال (دوایر سیاه رنگ) و خرد زمین لرزه‌های تعیین محل شده در این مطالعه (دوایر سفید رنگ). .... ۱۳۰
- شکل ۱۹-۶ توزیع عمق ۴۷۲ زمین لرزه و پس‌لرزه انتخابی تعیین محل شده با HYPODD در راستای جنوب غرب شمال شرق (شکل ۱۷-۶). .... ۱۳۳

شکل ۶-۲۰: جزئیات نقشه زمین شناسی چین نمک و Backthrust شمال بندر عباس (مولینارو وهمکاران، ۲۰۰۴). ..... ۱۳۴

شکل ۶-۲۱: مقطع عمود بر چین نمک و Backthrust سیاه. سازوکار زمین لرزه ۲۱ مارس ۱۹۷۷ خورگو نیز در مقطع نمایش داده شده است (مولینارو وهمکاران، ۲۰۰۴). ..... ۱۳۵

شکل ۶-۲۲: توزیع عمق ۴۷۲ زمین لرزه و پس لرزه انتخابی تعیین محل شده با HYPODD در راستای جنوب شرق شمال غرب و سازوکارهای محاسبه شده (شکل ۶-۱۷). بزرگترین سازوکار مربوط به زمین لرزه ۲۱ مارس ۱۹۷۷ خورگو است. .... ۱۳۶

شکل ۶-۲۴: سازوکارهای کانونی زمین لرزه های دستگاهی (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۴). برای رسم رو مرکز زمین لرزه ها از کاتالوگ انگدال استفاده شده است. .... ۱۳۸

شکل ۷-۱: ساختارهای سرعتی پوسته فوقانی محاسبه شده برای انتهای جنوب شرق زاگرس. رنگ سیاه: قشم، آبی: تیاب و قرمز: خورگو. .... ۱۴۳

شکل ۷-۲: مقایسه لرزه خیزی از کاتالوگ انگدال (دوایر سیاه رنگ) و خرد زمین لرزه های تعیین محل شده در این مطالعه (دوایر سفید رنگ). پس لرزه های زلزله ۷ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم به رنگ قرمز نشان داده شده است. .... ۱۴۶

شکل ۷-۹: مقایسه آزمون محورهای P سازوکارهای محاسبه شده در این مطالعه (کیفیت A و B) شمال بندر عباس (رنگ قرمز) و جهت بردارهای سرعت ایستگاههای GPS (بایر و همکاران، ۲۰۰۶). .... ۱۵۰

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ زمین‌لرزه‌های تاریخی (پیش از قرن ۲۰) منطقه (آمبراسیز و ملویل، ۱۹۸۲)..... ۳۶
- جدول ۲-۲ زمینلرزه‌های دستگاهی رخ داده در منطقه مورد مطالعه با بزرگای بیش از ۶..... ۳۹
- جدول ۱-۳ موقعیت ایستگاههای شبکه..... ۴۷
- جدول ۱-۴: مدل پوسته ارائه شده برای زاگرس مرکزی (هاتزفلد و همکاران، ۲۰۰۳)..... ۶۱
- جدول ۲-۴ مدل پوسته محاسبه شده برای منطقه قشم..... ۶۴
- جدول ۳-۴ مدل پوسته محاسبه شده برای منطقه..... ۶۸
- جدول ۴-۴ پارامترهای سازوکارهای کانونی، Lat, Lon و Depth مختصات رویداد، Mag بزرگا، Az, R, de به ترتیب آزیموت، ریک و شیب صفحه گسل ۱ و ۲ هستند، AzP و deP آزیموت و شیب محور P و AzT و deT آزیموت و شیب محور T است..... ۸۵
- جدول ۱-۵. مشخصات ساختار سرعتی منطقه..... ۹۴
- جدول ۲-۵ پارامترهای سازوکارهای کانونی، Lat, Lon و Depth مختصات رویداد، Mag بزرگا، Az, R, de به ترتیب آزیموت، ریک و شیب صفحه گسل ۱ و ۲ هستند، AzP و deP آزیموت و شیب محور P و AzT و deT آزیموت و شیب محور T است..... ۱۰۵
- جدول (۱-۶): مشخصات ساختار سرعتی منطقه..... ۱۱۳
- جدول (۲-۶): پارامترهای سازوکارهای کانونی، Lat, Lon و Depth مختصات رویداد، Mag بزرگا، Az, R, de به ترتیب آزیموت، ریک و شیب صفحه گسل ۱ و ۲ هستند، AzP و deP آزیموت و شیب محور P و AzT و deT آزیموت و شیب محور T است..... ۱۳۹

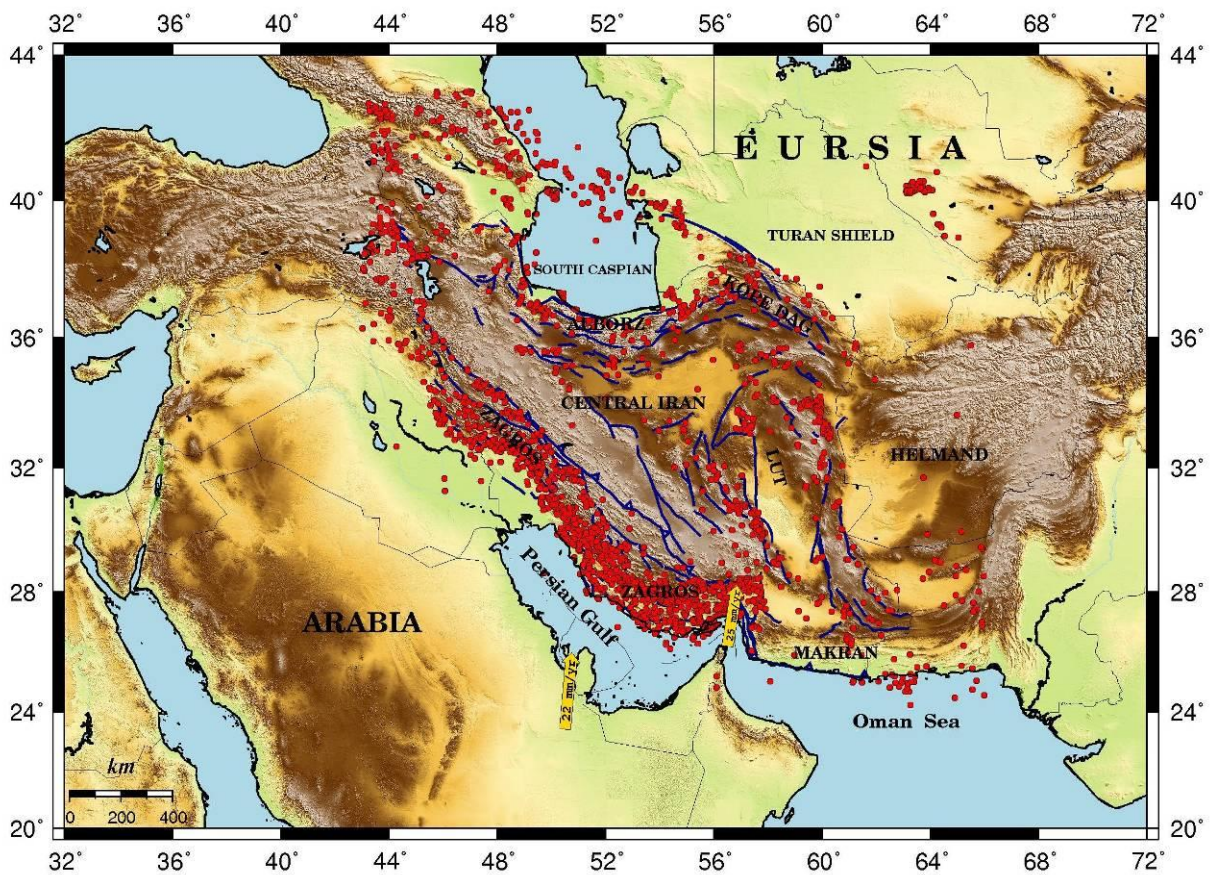


# فصل اول

## مقدمه

## مقدمه

در چهارچوب کمربند آلپ-همیالیا، سراسر ایران در مرز همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا قرار دارد. صفحه عربی نسبت به اوراسیا براساس اندازه گیری های GPS، با سرعت  $22 \pm 2 \text{ mmyr}^{-1}$  (ورنانت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴) به سمت شمال حرکت می کند (شکل ۱-۱). سرعت همگرایی عربی- اوراسیا از غرب به



شکل ۱-۱ موقعیت ایران در کمربند آلپ-همیالیا، لرزه خیزی بر اساس کاتالوگ انگدال (۲۰۰۶) رسم شده است. سرعت های GPS بر مبنای ورنانت (۲۰۰۴) می باشد

شرق افزایش می‌یابد به این صورت که در طول جغرافیایی  $48^{\circ}$  این سرعت برابر  $2 \pm 18 \text{ mmyr}^{-1}$  (مک کلاسکی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰) در طول  $50/5^{\circ}$  برابر  $2 \pm 22 \text{ mmyr}^{-1}$  و در طول  $58/5^{\circ}$  برابر  $1 \text{ mmyr}^{-1}$  (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴؛ ماسون<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) می‌باشد. علت این تغییر سرعت این است که قطب اولر حرکت غربی-اوراسیا در شمال شرق افریقا تقریباً در  $18/4^{\circ} \text{E}$ ,  $27/4^{\circ} \text{N}$  قرار دارد (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴؛ مک کلاسکی و همکاران، ۲۰۰۰).

همگرایی غربی-اوراسیا در ایران به دو صورت روی می‌دهد: در غرب طول جغرافیایی  $58^{\circ}$  درجه یک زون برخورد قاره‌ای شکل گرفته است در حالی که در شرق آن منطقه فرورانش مکران بوجود آمده است (بیرنه<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۲؛ مک کال<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۷؛ کوپ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). لرزه خیزی تاریخی (آمبراسیز<sup>۶</sup> و ملویل<sup>۷</sup>، ۱۹۸۲) و دستگاهی (انگدال<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۶) دلالت بر این دارد که دگرشکلی درون قاره‌ای در کمربندهایی که بلوکهای نسبتاً غیر لرزه‌ای (ایران مرکزی، لوت و جنوب خزر، شکل ۱-۱) را احاطه کرده‌اند، متمرکز است.

کمر بند کوهستانی زاگرس که در بین بلوکهای ایران مرکزی و صفحه غربی قرار دارد حدود یک سوم همگرایی غربی-اوراسیا را جذب می‌کند (تاتار و همکاران، ۲۰۰۲؛ حسامی و همکاران، ۲۰۰۶). به علت تفاوت جهت این همگرایی با ساختارهای زمین شناسی در شمال غرب زاگرس تقسیم شدگی حرکت به صورت حرکت در امتداد گسل جوان زاگرس و کوتاه شدگی در ساختارهای موازی با آن صورت می‌گیرد در حالی که در جنوب و جنوب شرق زاگرس جهت همگرایی بر ساختارها عمود بوده و کوتاه شدگی محض اتفاق می‌افتد (طالبیان و جکسون<sup>۹</sup>، ۲۰۰۴). روند لرزه خیزی زاگرس در یک پهنه نسبتاً وسیع از سواحل خلیج فارس تا گسل معکوس اصلی زاگرس گسترش داشته و از روند عمومی ساختارهای منطقه

---

McClusky<sup>۱</sup>  
 Masson<sup>۲</sup>  
 Byrne<sup>۳</sup>  
 McCall<sup>۴</sup>  
 Kopp<sup>۵</sup>  
 Ambraseys<sup>۶</sup>  
 Melville<sup>۷</sup>  
 Engdahl<sup>۸</sup>  
 Jackson<sup>۹</sup>

یعنی شمال غرب-جنوب شرق تبعیت می‌نماید، این روند در غرب گسل زندان-میناب-پالامی تغییر کرده و در راستای شمال شرق-جنوب غرب امتداد یافته و حتی به آنسوی گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF) نیز گسترش می‌یابد در حالی که در سایر قسمت های زاگرس فعالیت لرزه ای در شمال گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF) مشاهده نشده است.

منطقه مورد مطالعه در این رساله که در منتهی الیه جنوب شرق زاگرس قرار دارد، دارای فعالیت لرزه-ای نسبتاً بالایی است (شکل ۱-۲) و از جنبه‌های مختلفی تحت بررسی قرار گرفته است (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۴؛ مولینارو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵؛ ریگارد<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹؛ اُبرگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

این منطقه که درون کمربند چین و تراست زاگرس قرار دارد در همسایگی زون مکران و بلوک ایران مرکزی واقع است و در بر گیرنده گسله‌های اصلی زاگرس از قبیل گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF) (یا در بعضی متون (MZT)، گسل زاگرس مرتفع (HZF)، گسل جبهه کوهستان (MFF) و گسل پیش‌گودال زاگرس (ZFF) می‌باشد که در فاصله کمی از یکدیگر قرار دارند. فاصله کم گسلها و قرار داشتن در مجاورت بلوک ایران مرکزی و زون فرورانش مکران سبب ایجاد پیچیدگی در این ناحیه شده است. تفاوت روند لرزه خیزی و عمق زمینلرزه‌های این ناحیه از زاگرس که بر اساس داده‌های دورلرزه‌ای مشاهده شده است (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۴؛ انگدال و همکاران، ۲۰۰۶) در مقایسه با سایر نقاط زاگرس از موارد جالب توجه است.

در این رساله لرزه خیزی، لرزه زمین ساخت و ساختار پوسته فوقانی این ناحیه بر اساس داده‌های شبکه متراکم موقت محلی، مورد بررسی قرار گرفته است. کار بر روی داده های شبکه متراکم محلی از دو نظر نسبت به شبکه‌های منطقه‌ای و جهانی دارای مزیت است: اول از نظر دقت تعیین محل رویدادهای لرزه‌ای بخصوص عمق آنها و دوم از نظر ثبت رویدادهای نسبتاً کوچکتر. دقت تعیین محل رویدادهای متوسط و کوچک با استفاده از شبکه های جهانی بقدری کم است که نسبت دادن آنها به گسل خاص اغلب با دشواری همراه است. اهمیت موضوع در مناطقی مانند این ناحیه که از تعداد زیادی گسله‌های

<sup>۱</sup> Molinaro  
<sup>۲</sup> Regard  
<sup>۳</sup> Aubourg