





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل خوشه‌ای و آنالیز پیش‌لرزه‌ها جهت پیش‌بینی زلزله با استفاده از

تکنیک‌های داده‌کاوی

پویان رضانی بشلی

استاد راهنما :

دکتر رمضان رضانی اومالی

اساتید مشاور:

دکتر مهدی زارع

پروفسور غلامرضا نخعی زاده

بهمن ۱۳۹۱




دانشگاه صنعتی شاهرود




دانشکده: علوم زمین

گروه: تکتونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / پویان رضانی بشلی

تحت عنوان: تحلیل خوشه ای و آنالیز پیش لرزه ها جهت پیش بینی زلزله با استفاده از تکنیک های داده کاوی  
در تاریخ ۹۱/۱۱/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه .....  
مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر مهدی زارع		نام و نام خانوادگی : دکتر رمضان رضانی اومالی
	نام و نام خانوادگی : دکتر غلامرضا نخعی زاده		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر عزیزا... طاهری		نام و نام خانوادگی : دکتر اسلامی
			نام و نام خانوادگی : دکتر کاکائی



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

### فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای پویان رضائی بشلی رشته زمین شناسی گرایش تکتونیک تحت عنوان تحلیل خوشه ای و آنالیز پیش لرزه ها جهت پیش بینی زلزله با استفاده از تکنیک های داده کاوی که در تاریخ ۹۱/۱۱/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> قبول ( با درجه : _____ امتیاز _____ )	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
--	------------------------------------	--------------------------------

۱- عالی ( ۲۰-۱۹ )

۲- بسیار خوب ( ۱۸-۱۷/۹۹ )

۳- خوب ( ۱۶-۱۷/۹۹ )

۴- قابل قبول ( ۱۴-۱۵/۹۹ )

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر رمضان رضائی	استاد یار	
۳- استاد مشاور	دکتر مهدی زارع	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر غلامرضا نخعی زاده	استاد	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عزیز ا. طاهری	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر اسلامی	استاد یار	
۵- استاد ممتحن	دکتر کاکایی	استاد	

رئیس دانشکده :

پیشش می‌کنم به:

کسی که غم خورد و غمش را کسی نخورد، مادرم

دست محبتی که مستدام باد، پدرم

و

غزالی که استوار راه را نشانم می‌دهد، شریک زندگیم

## سپاس و قدردانی

قبل از هر چیز باید از زحمات خانواده دلسوزم سپاسگذار باشم که در تمامی مراحل زندگی یاریم کردند و از هیچ تلاشی برایم فرو گذار نبودند. مراتب سپاس خود را از جناب آقای دکتر رضانی به عنوان استاد راهنمای این تحقیق اعلام می‌دارم همچنین از جناب آقای دکتر زارع که با وجود مشغله فراوان قبول زحمت فرمودند و مشاوره بنده را بر عهده گرفتند کمال تشکر را دارم که به جرأت راهنمایی‌های داهیانہ ایشان همیشه گره گشای کار تحقیق بوده. کسب مشاوره از جناب آقای پروفیسور نخعی زاده از دانشگاه کارلسروهه آلمان مایه مباحثات بنده بوده و این طریق ممکن نبود اگر دوست عزیزم جناب آقای مهندس روزبه راه را برایم هموار نمی‌ساخت و در تمام طول انجام تحقیق با نظرات ارزنده اش همواره همراهیم نمی‌کرد.

از جنابان آقای دکتر اسلامی و آقای دکتر کاکایی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند نیز تشکر می‌نمایم.

مراتب سپاس خود را از پرسنل محترم دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود به ویژه سرکار خانم مهندس فارسی و جناب آقای مهندس خانعلیزاده اعلام میدارم. همچنین از اساتید و پرسنل پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله که به بنده در انجام این تحقیق یاری رساندند کمال سپاس را دارم. از مدیریت و پرسنل شرکت دایکه به جهت تامین نرم افزار های تخصصی داده کاوی و مشاوره های تخصصی نیز قدر دانی می‌نمایم.

به پاس قدر دانی نام دوستان ارجمندم که همگی پیشنوذهای مهندس و دکتر را یدک می‌کشند می‌آورم که در انجام مراحل مختلف این کار دلسوزانه برایم زحمت کشیدند. **محمد شاهوار، علی سلطون، محسن حسینی، محمد غربی، مهدی رضایی، نسیمه حسن جانی، متین، زینب کارگر، میثم دریجاست، علی روزبه، دانیال رئیسی، شقایق احمدی، محمد شنگولی، نیما عزیزی، فهیمه عمادی، الهه طاهری، اکبر نورافکن، علی حسین حبیبی، ژوان ژیار، حاج بابا شیروی، جیمی زعفرانی و دیگر دوستانی که شاید از قلم افتاده باشند.**

## تعهد نامه

اینجانب پویان رضانی بشلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی / تکتونیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل خوشه‌ای و آنالیز پیش‌لرزه‌ها جهت پیش‌بینی زلزله با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی تحت راهنمایی دکتر رضانی اومالی متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

### تاریخ

۹۲/۱/۲۰

• امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها 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 مه‌عهد در پایان نامه بدون ذکر منبع مجاز نباشد.
- \* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده:

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند زلزله خیز آلپ هیمالیا، زمین لرزه‌ها به عنوان مخرب‌ترین حادثه طبیعی، عامل تلفات بشری و خسارات اقتصادی قابل توجه در کشور محسوب می‌شوند. در طول تاریخ، زمین لرزه‌های ویرانگری مناطق مختلف کشورمان را لرزانده و باعث مرگ و میر تعداد زیادی از هم‌وطنانمان گردیده‌اند، از همین رو در این تحقیق به بررسی مسائل مرتبط با پیش‌بینی زلزله با استفاده از پیش‌نشانگر پیش لرزه پرداخته شد. برای انجام این کار ابتدا با استفاده از داده‌های لرزه‌ای موجود در کاتالوگهای زلزله یک بانک اطلاعاتی برای پیش لرزه‌های کشور تهیه شد. پس از پالایش کاتالوگها و جداسازی پیش لرزه‌ها از لرزه‌های اصلی با اعمال عملیات دیپکلاسترینگ به روش گاردنر و نوپوف ۱۹۷۴ بر روی داده‌ها نقشه پیش لرزه‌های کشور را برای لرزه‌های بزرگتر از ۵ تهیه گردید. سپس عملیات خوشه بندی بر روی داده‌های پیش لرزه‌ای اجرا گشت. برای این بخش ابتدا از الگوریتم خود سازمان دهنده (SOM) کوهونن برای تعیین اعداد اولیه تعداد خوشه‌ها و سپس الگوریتم خوشه بندی K-Means برای ۵ تا ۱۵ خوشه اجرا گشت و با توجه به میزان شاخص سیلوئت تعداد ۶ خوشه را برای داده‌های پیش لرزه‌ای کشور تعیین شد. سپس خوشه‌های بدست آمده با استفاده از آزمونهای دانکن و توکی گروه بندی و با توجه به نتایج خوشه بندی و گروه بندی، نقشه زون بندی پیش لرزه‌های ایران تهیه گشت و زون انتقالی زاگرس - مکران به عنوان اصلیتترین زون پیش لرزه‌ای ایران معرفی شد.

پس از مشخص شدن زون اصلی پیش لرزه‌ای به سراغ مدلسازی جهت پیش‌بینی زلزله با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی رفته و مدلسازی برای دو حالت پیش‌بینی<sup>۱</sup> و طبقه بندی<sup>۲</sup> انجام شد. نتایج پیش‌بینی

---

<sup>۱</sup> prediction

<sup>۲</sup> classification



نسبتاً ضعیف و با ضریب همبستگی در حدود ۶۵ درصد بود ولی نتایج طبقه بندی از صحت بسیار بالایی برخوردار بود.

پس از انجام مدلسازی به معرفی زون انتقالی زاگرس – مکران از لحاظ وضعیت تکتونیکی پرداخته و گسله‌های اصلی منطقه را معرفی شدند. در نهایت پارامترهای لرزه خیزی این زون مورد بررسی قرار گرفت. مقدار های a، b و بزرگای کاملی برای این منطقه برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ محاسبه و نقشه آنها تهیه گشت. مقدار بدست آمده برای مقدار b در حدود ۰/۸ مقدار a ۵/۶ و بزرگای کاملی ۳/۲ محاسبه شده است. مقدار a سالانه در حدود ۴/۸ بدست آمده است. تغییرات پارامترهای لرزه خیزی وجود پریودهای شبه تناوبی ۲ ساله را برای این منطقه نشان می دهند.

## مقالات مستخرج از این تحقیق:

۱. پویان رضانی بشلی، رمضان رضانی اومالی، "ارائه ماتریس کاربردی برخی از روش های آماری در

داده کاوی برای پیش بینی زلزله"، سی امین گردهمایی علوم زمین کشور، سازمان زمین شناسی

کشور، تهران، ۱۳۹۰

۲. پویان رضانی بشلی، رمضان رضانی اومالی، مهدی زارع، غلامرضا نخعی زاده، "خوشه بندی پیش

لرزه های کشور و تهیه مدل پیش بینی برای منطقه هرمزگان"، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین

کشور، سازمان زمین شناسی کشور، تهران، ۱۳۹۱

3. P.Ramezani Besheli, R.Ramezani omali, M.Zare, Gh.Nakhaeezadeh” *Zoning of Iran in Terms of Importance of Earthquake Precursor and Introduction of Main Zone Using Data Mining Process* “Natural. Hazards Earth Syst. Sci.,submitted in Dec. 2012

# فهرست

۱	فصل اول: مقدمه و کلیات.....	۱
۱-۱	مقدمه .....	۲
۲-۱	تاریخچه .....	۴
۳-۱	کلیات: فرضیات و اهداف طرح .....	۹
۱-۳-۱	فرضیات .....	۱۰
۲-۳-۱	اهداف .....	۱۰
۴-۱	بخشهای پژوهش .....	۱۱
۲	فصل دوم: ادبیات نظری .....	۱۲
۱-۲	روشهای پیش بینی و پیش نشانگرها .....	۱۳
۱-۱-۲	پیش بینی بلند مدت .....	۱۳
۲-۱-۲	پیش بینی میان مدت .....	۱۳
۳-۱-۲	پیش بینی کوتاه مدت-آنی .....	۱۳
۲-۲	مطالعات پیش بینی کوتاه مدت و آنی زمین لرزه .....	۱۴
۱-۲-۲	مقدمه .....	۱۴
۲-۲-۲	پیش نشانگرهای لرزه شناختی .....	۱۴
۳-۲-۲	ارزیابی پیش نشانگرهای زمین لرزه .....	۱۸

۲۴	..... داده کاوی	۳-۲
۲۵	..... توصیف و خلاصه سازی داده ها:	۱-۳-۲
۲۵	..... دسته بندی	۲-۳-۲
۲۵	..... توصیف کلاسها	۳-۳-۲
۲۶	..... طبقه بندی	۴-۳-۲
۲۶	..... پیش بینی	۵-۳-۲
۲۷	..... تحلیل وابستگی	۶-۳-۲
۲۷	..... استاندارد کریسپ	۴-۲
۲۷	..... درک موضوع	۱-۴-۲
۲۸	..... درک داده ها	۲-۴-۲
۲۸	..... آماده سازی داده ها	۳-۴-۲
۲۸	..... مدل سازی	۴-۴-۲
۲۸	..... ارزیابی	۵-۴-۲
۲۹	..... استفاده	۶-۴-۲
۲۹	..... دیکلاسترینگ	۵-۲
۲۹	..... روش گاردنر نوپوف (۱۹۷۴)	۱-۵-۲
۳۲	..... توزیع پواسون	۲-۵-۲
۳۳	..... تکنیک خوشه بندی K-means	۶-۲
۳۷	..... شبکه عصبی مصنوعی	۷-۲

۳۷	تعریف شبکه عصبی مصنوعی	۱-۷-۲
۳۷	تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی	۲-۷-۲
۳۸	مدل ریاضی یک نرون	۳-۷-۲
۴۰	توابع محرک یا انتقال [۳۹]	۴-۷-۲
۴۳	انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی	۵-۷-۲
۴۵	الگوریتم‌های آموزش شبکه عصبی MLP [39]	۶-۷-۲
۴۷	پارامترهای لرزه خیزی	۸-۲
۴۸	Error! Bookmark not defined. توزیع توانی	۱-۸-۲
۴۸	روش محاسبه بزرگای کاملی $M_c$ و مقدار $b$	۲-۸-۲
۴۹	برآورد درست‌نمایی بیشینه	۳-۸-۲
۵۱	Error! Bookmark not defined. فصل سوم: روش تحقیق	۳
۵۲	مقدمه	۱-۳
۵۲	جریان کلی تحقیق	۲-۳
۵۳	جمع آوری داده ها	۳-۳
۵۳	پیش پردازش داده ها	۴-۳
۵۳	یکپارچه سازی	۱-۴-۳
۵۳	حذف داده های معیوب	۲-۴-۳
۵۳	دیکلاسترینگ داده ها	۵-۳
۵۴	خوشه بندی	۶-۳

۵۴	استفاده از شبکه خود سازمان دهنده SOM	۱-۶-۳
۵۴	استفاده از الگوریتم K-means و شاخص سیلوئت	۲-۶-۳
۵۵	آزمون آماری	۳-۶-۳
۵۵	تهیه نقشه	۴-۶-۳
۵۵	مدلسازی	۷-۳
۵۶	مطالعات لرزه زمین ساختی و بررسی پارامترهای لرزه خیزی زون اصلی	۸-۳
۵۷	فصل چهارم: مدلسازی	۴
۵۸	مقدمه	۱-۴
۵۸	آماده سازی داده ها	۲-۴
۵۸	یکپارچه سازی داده ها	۱-۲-۴
۵۹	تعریف و جداسازی پیش لرزه ها	۲-۲-۴
۶۱	خوشه بندی	۳-۴
۶۱	تعیین تعداد کلاستر با استفاده از شبکه های خود سازمان دهنده	۱-۳-۴
۶۲	خوشه بندی با استفاده از الگوریتم K-means و شاخص سیلوئت	۲-۳-۴
۷۰	آزمونهای آماری	۳-۳-۴
۷۱	مدلسازی جهت پیش بینی	۴-۴
۷۱	آنالیز آماری داده ها	۱-۴-۴
۷۲	مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی	۲-۴-۴
۷۴	مدلسازی برای حالت اول (پیش بینی)	۳-۴-۴

۷۹	مدلسازی برای حالت دوم (طبقه بندی)
۸۴	فصل پنجم: بررسی پارامترهای لرزه‌خیزی
۸۵	۱-۵ پیشگفتار
۸۸	۲-۵ گسله‌های مهم و اصلی گستره مورد مطالعه
۸۸	۱-۲-۵ گسل زاگرس مرتفع (HZF)
۸۹	۲-۲-۵ گسل پیشانی کوهستان (MFF)
۹۱	۳-۲-۵ گسل پیش‌رئرفای زاگرس (ZFF)
۹۲	۴-۲-۵ گسل میناب- زندان
۹۳	۵-۲-۵ گسل فراغون
۹۴	۶-۲-۵ گسل خورگو
۹۵	۷-۲-۵ گسل کوشکو
۹۶	۸-۲-۵ گسل پالامی
۹۸	۳-۵ لرزه‌خیزی در گستره مورد مطالعه
۹۸	۱-۳-۵ تاریخچه لرزه‌خیزی گستره زاگرس
۹۹	۲-۳-۵ زمین‌لرزه‌های تاریخی گستره مورد مطالعه
۱۰۰	۳-۳-۵ زمین‌لرزه‌های دستگاهی
۱۰۷	۴-۵ پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه شده از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ برای زون ۱
۱۰۸	۱-۴-۵ تهیه نقشه‌های لرزه‌خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران
۱۱۰	۲-۴-۵ نمودارهای تجمعی تعداد و گشتاور لرزه‌ها

۳-۴-۵	محاسبه بزرگای کاملی و مقدارهای $a$ و $b$ به روش بیشینه درست نمایی.....	۱۱۱
۴-۴-۵	بررسی تغییرات مقدار $b$ در زون انتقالی زاگرس - مکران .....	۱۱۲
۵-۴-۵	تهیه نقشه های مقدارهای $a$ و $b$ برای منطقه مورد مطالعه .....	۱۱۴
۶-۴-۵	بررسی کمی تعداد لرزه ها .....	۱۱۶
۷-۴-۵	بررسی عمقی لرزه های زون مورد مطالعه .....	۱۱۷
۸-۴-۵	نشان دادن لرزه های اصلی منطقه .....	۱۱۸
۶	فصل ششم: نتیجه گیری .....	۱۲۰
۱-۶	نتایج .....	۱۲۱
۲-۶	پیشنهادات .....	۱۲۴
۷	فهرست منابع .....	۱۲۵



## فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱A) فرکانس پیش لرزه های جمع آوری شده برای تعداد بزرگی از رشته ها به عنوان تابعی از زمان قبل از شوک اصلی. B) داده منحنی A بر حسب مشتق آن [۱۴]..... ۱۶
- شکل ۲-۲ اختلاف توزیع بزرگا بین شوک اصلی و پیش لرزه ..... ۱۸
- شکل ۲-۳ فرآیند داده کاوی..... ۲۴
- شکل ۲-۴ مدل ریاضی نرون [۴۰]..... ۳۹
- شکل ۲-۵ تابع محرک خطی [۴۱]..... ۴۱
- شکل ۲-۶ تابع محرک تانژانت هایپربولیک [۴۱]..... ۴۱
- شکل ۲-۷ تابع محرک سیگموئیدی [۴۱]..... ۴۱
- شکل ۲-۸ تابع محرک شعاعی [۴۱]..... ۴۲
- شکل ۲-۹ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه [۴۳]..... ۴۴
- شکل ۲-۱۰ تغییرات خطای شبکه در مراحل آموزش و آزمایش در صورت وجود پدیده overtraining..... ۴۶
- شکل ۵-۱ پنجره های زمانی -مکانی متغیر به کار رفته برای تعیین رویدادهای وابسته به زمان a) بر اساس روش گرونال b) بر اساس روش اورهایمر c) طبق روش گاردنر و نوپوف d) مقایسه سه روش ..... ۶۰
- شکل ۵-۳ نقشه دیکلاسترینگ لرزه های کشور به روش گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) براساس میزان نرمال شده پیش لرزه ها ..... ۶۱
- شکل ۵-۴ نتایج خوشه بندی SOM..... ۶۲
- شکل ۵-۵ نتایج خوشه بندی به روش k-means برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه ..... ۶۴

- شکل ۵-۶ اندازه شاخص سیلوئت برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه..... ۶۵
- شکل ۵-۷ خروجی عملیات کلاسترینگ پیش لرزه های کشور با شش خوشه..... ۶۶
- شکل ۵-۸ نقشه تهیه شده برای زون بندی پیش لرزه های کشور به همراه نشان دادن گسلهای اصلی ..... ۶۷
- شکل ۵-۹ آخرین نقشه لرزه خیزی ایران تهیه شده توسط توکلی و غفوری ۱۳۸۸ ..... ۶۹
- شکل ۵-۱۰ الف) نشان دادن زون تعیین شده در نقشه گسلهای فعال ایران ب) محدوده معرفی شده برای زون انتقالی زاگرس مکران توسط ریگارد و همکاران ۲۰۰۶..... ۶۹
- شکل ۵-۱۱ نمودار خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف با ۱ لایه ..... ۷۶
- شکل ۵-۱۲ نمودار خطا برای مرحله آموزش برای شبکه با یک لایه میانی ..... ۷۷
- شکل ۵-۱۳ نمودار خطا برای مرحله ارزیابی برای شبکه با یک لایه میانی ..... ۷۷
- شکل ۵-۱۴ نمودار ضریب همبستگی مدل ..... ۷۸
- شکل ۵-۱۵ نمودار نشان دهنده خطا برای توابع انتقال مختلف در مرحله آموزش برای شبکه با ۵ نرون در لایه اول ..... ۸۱
- شکل ۵-۱۶ نمودار نشان دهنده خطا برای توابع انتقال مختلف در مرحله ارزیابی برای شبکه با ۵ نرون در لایه اول ..... ۸۲
- شکل ۶-۱ تقسیم بندی استانهای لرزه زمین ساختی فلات ایران (بربریان، ۱۹۷۶)..... ۸۷
- شکل ۶-۲ نقشه راندگیهای فعال پیسنگی (کور)، گسلهای راستالغز عرضی فعال پیسنگی و گسل فعال اصلی زاگرس، به همراه راهحل سازوکارهای کانونی و پهنههای مهلرزه‌های زمینلرزه‌هایی با بزرگای متوسط تا بزرگ در گستره کمربند چینخورده- رانده زاگرس [۵۵]..... ۹۰
- شکل ۶-۳ تمرکز کانون زمینلرزه‌ها در مجاورت نبود بینقطعه‌هایی گسل پیشانی کوهستان [۵۵]..... ۹۰
- شکل ۶-۴ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل پیش‌ژرفای زاگرس..... ۹۱

- شکل ۶-۵ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک ۳۰ متر نشان دهنده موقعیت مکانی گسل‌های میناب، زندان  
 ۹۲ .....
- شکل ۶-۶ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل فراغون. .... ۹۴
- شکل ۶-۷ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل خورگو. .... ۹۵
- شکل ۶-۸ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل کوشکو. .... ۹۶
- شکل ۶-۹ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل پالامی. .... ۹۷
- شکل ۶-۱۰ برش عرضی کوه زندان که ساختار گل سرخی مثبت را برای آن پیشنهاد می‌کند [۵۶]. .... ۹۷
- شکل ۶-۱۱ فراوانی رومرکز زمین‌لرزه‌های زاگرس در مقایسه با سایر نواحی ایران (زلزله‌های با بزرگای بیش  
 از ۵، IIEES). .... ۹۸
- شکل ۶-۱۲ نقشه هم‌شدت زمین‌لرزه ۲۷ نوامبر ۲۰۰۵ جزیره قشم با  $M_w = 5/9$ . حل صفحه گسل و رومرکز  
 زمین‌لرزه از سایت USGS گرفته شده است. نقطه‌چین قرمز موقعیت شکستگی سطحی مشاهده شده در  
 سطح جزیره را نشان می‌دهد [۶۳]. .... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۳ نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران با توجه به موقعیت گسلها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲  
 ..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۴ نقشه لرزه خیزی منطقه براساس بزرگی و عمق لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲. .... ۱۰۹
- شکل ۶-۱۵ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها ..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۶ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها ..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۷ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی) ..... ۱۱۱
- شکل ۶-۱۸ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب بزرگی ..... ۱۱۲
- شکل ۶-۱۹ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب عمق ..... ۱۱۳

- شکل ۶-۲۰ نمودار سری زمانی تغییرات مقدار b برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ ..... ۱۱۳
- شکل ۶-۲۱ نقشه نشانگر میزان مقدار b برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ ..... ۱۱۴
- شکل ۶-۲۲ نقشه نشانگر میزان مقدار a برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ ..... ۱۱۵
- شکل ۶-۲۳ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان  
شکل ۶-۲۴ هیستوگرام تعداد لرزه ها
- بر حسب بزرگی ..... ۱۱۶
- شکل ۶-۲۵ تصویر سه بعدی نشان دهنده عمق لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ ..... ۱۱۷
- شکل ۶-۲۶ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان ..... ۱۱۸
- شکل ۶-۲۷ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها (اشکال نشان دهنده لرزه های اصلی می باشند) ..... ۱۱۸
- شکل ۶-۲۸ نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران با نشان دادن لرزه های اصلی منطقه بزرگتر از ۵ ..... ۱۱۹

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- توزیع بزرگای مختلف زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران بین سالهای ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از پایگاه ملی داده‌ها)..... ۴
- جدول ۲-۱- تقسیم‌بندی پیش‌بینی زمین‌لرزه از نظر مقیاس مکانی و زمانی [۱۱] ..... ۷
- جدول ۲-۲- فهرست اولیه پیش‌نشانگرهای مهم مورد تأیید IASPEI (۱۹۹۴ میلادی) ..... ۲۲
- جدول ۳-۲- دومین فهرست پیش‌نشانگرهای مهم پیشنهادی IASPEI (۱۹۹۷ میلادی)..... ۲۳
- جدول ۴-۲- پیش‌نشانگرهای تصمیم‌گیری نشده (۱۹۹۴ میلادی) ..... ۲۳
- جدول ۵-۲- طول مدت پنجره‌های زمانی و مکانی [۳۵]..... ۳۰
- جدول ۶-۲- طول مدت پنجره‌های زمانی و مکانی [۳۳]..... ۳۱
- جدول ۱-۴- اندازه شاخص سیلوئت برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه ..... ۶۵
- جدول ۲-۴- رتبه بندی کلاسترهای تعیین شده از لحاظ اهمیت..... ۶۸
- جدول ۳-۴- نتایج آزمون آماری توکی و دانکن برای گروه بندی خوشه ها ..... ۷۰
- جدول ۴-۴- خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف با ۱ لایه ..... ۷۴
- جدول ۵-۴- نتایج نهایی مدل ..... ۷۸
- جدول ۶-۴- خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف ۱ و ۲ لایه ..... ۷۹
- جدول ۷-۴- نتیجه کلی مدل ..... ۸۳
- جدول ۱-۵- فراوانی زمین‌لرزه‌ها در زونهای مختلف ساختمانی ایران ..... ۱۰۱
- جدول ۲-۵- فراوانی زمین‌لرزه‌های با بزرگای بین ۴ تا ۷/۵ ریشتر در گستره زاگرس ..... ۱۰۱

# مقدمه و کلیات

## ۱-۱ مقدمه

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند زلزله خیز آلپ هیمالیا، زمین لرزه‌ها به عنوان مخرب‌ترین حادثه طبیعی، عامل تلفات بشری و خسارات اقتصادی قابل توجه در کشور محسوب می‌شوند. در طول تاریخ، زمین لرزه‌های ویرانگری مناطق مختلف کشورمان را لرزانده و باعث مرگ و میر تعداد زیادی از هم‌وطنانمان گردیده‌اند؛ از مهم‌ترین زمین لرزه‌های مخرب اخیر می‌توان به زمین لرزه‌های ۱۰/۵ / ۱۳۸۲ بم، ۱۳۸۳/۳/۸ فیروزآباد (کجور) و ۱۳۸۳/۱۲/۴ داهوئییه زرنند و همچنین زلزله های دوگانه ۹۱/۵/۲۱ اهر-ورزقان اشاره کرد.

پیش‌بینی زمین لرزه در میان سایر اقدامات کاهش تأثیرات مخرب زمین لرزه نظیر آمادگی، از مدت زمان طولانی در جوامع علمی مورد بحث قرار گرفته است. پیش‌بینی زمین لرزه تنها زمانی می‌تواند مفید واقع شود که زمان، بزرگا و محل یک زمین لرزه قریب‌الوقوع را مشخص سازد؛ در غیر این صورت فاقد تأثیرات مطلوب اجتماعی و اقتصادی است.

هرچند دانش زلزله‌شناسی<sup>۳</sup> پیشرفت قابل توجهی در چند سال اخیر داشته است، اما تاکنون علیرغم تلاش‌های فراوان محققان و هزینه‌های صرف شده در زمینه پیش‌بینی زمین لرزه، نتایج مطلوبی به دست نیامده است. به‌رحال، در این زمینه همواره دو گروه در مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند، گروهی که به پیش‌بینی علمی زلزله خوش‌بین هستند و گروهی که با توجه به پیچیدگی‌های زمین لرزه، پیش‌بینی آن را غیرممکن می‌دانند. از دیدگاه آماری نیز از آنجائی که مقیاس زمانی در چنین فرایندی بسیار طولانی و مدت زمان مشاهدات ما بسیار محدود است، مطالعه پیش‌بینی زمین لرزه بسیار مشکل است. از طرف دیگر، الگوسازی زمین لرزه به شناخت کامل اجزای فیزیکی آن وابسته است که در زمان حاضر قابل دسترسی نیست. استفاده از پیش‌نشانگرهای زمین لرزه در پیش‌بینی زمین لرزه‌ها، به‌عنوان پدیده‌هایی ناشی از تجمع تنش‌های زمین‌ساختی در سنگ‌کره زمین، فعلا یکی از بهترین روش‌های پیش‌بینی زلزله بوده است. اگر چه جدا کردن

---

<sup>۳</sup> seismology

علائم پیش‌نشانگر از ثبت منظم و بلندمدت یک پیش‌نشانگر مطمئن تاکنون امکان‌پذیر نبوده است. به‌هرحال، پیش‌بینی زمین‌لرزه یکی از چالش‌های علمی با ارزش است که اگر به نتایج موفق و علمی نائل شود یک پیشرفت ماندگار محسوب می‌شود. به‌عبارت دیگر، پیش‌بینی زمین‌لرزه می‌تواند در حفظ جان انسان‌ها و کاهش تأثیرات منفی بر فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه مفید باشد.

پیش‌بینی زمین‌لرزه در چهار قالب زمانی بلندمدت، میان‌مدت، کوتاه‌مدت و آنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. پیش‌بینی بلندمدت شامل یک قالب زمانی ده ساله یا بیشتر است. پیش‌بینی میان‌مدت در محدوده زمانی چند سال تا چند هفته قرار می‌گیرد و می‌تواند در کاهش خسارات زمین‌لرزه‌های محتمل با آمادگی و مقاوم‌سازی سازه‌ها ارزشمند باشد. پیش‌بینی کوتاه‌مدت می‌تواند اطلاعات ویژه‌ای در مورد زمان و مکان یک زمین‌لرزه در چند روز، چند هفته یا چند ماه به‌دست دهد که در جهت تأمین امنیت عمومی مفید واقع شود. بر اساس آمار پایگاه ملی داده‌ها ۱/۳۳ درصد از فلات ایران زمین در مناطق با خطر پایین زمین‌لرزه و ۱۶/۱۸ درصد در مناطق با خطر متوسط، ۵۴/۹۱ درصد در مناطق با خطر بالا و ۲۷/۵۷ درصد در مناطق با خطر خیلی بالا واقع شده است. بر این اساس، ایران به‌عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین کشورها در برابر زمین‌لرزه‌ها معرفی شده است. این آسیب‌پذیری بالا از دو عامل ساخت و سازه‌های غیر مقاوم در برابر زلزله و جایگیری شهرها و روستاها در مناطق زلزله‌خیز کشور ناشی می‌شود.

جدول ۱-۱- توزیع بزرگای مختلف زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از پایگاه ملی داده‌ها) فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، ۱۳/۷ درصد از زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران دارای بزرگای بیشتر از ۶ در مقیاس ریشتر می‌باشند که به‌طور متوسط هر یک سال، دو زلزله بالای ۶ ریشتر در کشور رخ می‌دهد.



جدول ۱-۱- توزیع بزرگای مختلف زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از پایگاه ملی داده‌ها)

بزرگای امواج سطحی	تعداد	میزان نسبی رویداد زمین‌لرزه (%)
۳/۵-۴	۱۲۱	۷/۵
۴-۵	۶۷۲	۴۱/۸
۵-۶	۵۹۴	۳۷
۶-۷	۱۸۹	۱۱/۸
>۷	۳۰	۱/۹

پیش‌بینی زمین‌لرزه تعیین‌کننده احتمال وقوع زمین‌لرزه در یک گستره مکانی، زمانی و بزرگای با دقت کافی جهت ارزیابی آن است. برای ارزیابی نیاز است که تعداد کافی از موفقیت‌ها و شکست‌ها با ثبت دقیق تجزیه و تحلیل شوند تا بتوان سطح اعتماد به پیش‌بینی را تعیین نمود. میزان موفقیت‌ها باید به اندازه‌ای باشد که پژوهشگران را متقاعد سازد یک حدس اتفاقی نبوده است؛ به‌ویژه مقدار دقت بزرگا-زمان-مکان مورد نظر برای اعلام هشدار باید متناسب با نیازهای جامعه باشد تا مسئولین را قادر سازد برای یک زمین‌لرزه قریب‌الوقوع اقدامات لازم را به‌عمل آورند.

کمیته پیش‌بینی زمین‌لرزه متعلق به تیم تحقیقاتی ملی ایالات متحده آمریکا پیش‌بینی زمین‌لرزه را به‌صورت زیر تعریف کرده است: " یک پیش‌بینی زمین‌لرزه باید قادر باشد محدوده بزرگا، محدوده جغرافیایی که زمین‌لرزه در آن رخ می‌دهد و نیز بازه زمانی را که در آن امکان رخداد زمین‌لرزه وجود دارد را با دقت کافی تعیین کند، به‌صورتی که بتوان موفقیت و یا شکست پیش‌بینی انجام شده را به‌طور مستقیم و در زمان کوتاه

ارزیابی کرد". [۱]

## ۲-۱ تاریخچه

تحقیقات پیش‌بینی زمین‌لرزه بر اساس مشاهدات پیش‌نشانگرها سال‌ها پیش اوج گرفت و به‌علت مشاهدات

منفی در بسیاری از کشورها کم‌رنگ شد. با وجود این در سال‌های اخیر مجدداً فعالیت جدیدی در این زمینه آغاز شده است. یکی از دلایل افزایش علاقه به پیش‌بینی زمین‌لرزه آن است که داده‌های کافی جهت آزمایش اعتبار بعضی از روش‌های پیش‌بینی و فرضیات پایه آنها در حال جمع‌آوری است. به‌عنوان مثال

کاگان و جکسون ۱۹۹۴ نظریه نبود لرزه‌ای برای پیش‌بینی بلندمدت زمین‌لرزه را ارزیابی نمودند [۲].

بروک و همکاران ۱۹۸۹ نیز روش پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه را در اتحاد جماهیر شوروی سابق و با استفاده از بانک داده‌های زمین‌لرزه‌ها انجام دادند [۳]

هیلی و همکاران ۱۹۹۲ و مینستر و ویلیام ۱۹۹۳ دانشمندان آمریکایی روش‌های پیشنهادی بروک و همکاران را مورد بررسی مجدد قرار داده و مورد آزمایش قرار دادند [۴, ۵].

علاوه بر این، زیر کمیته پیش‌بینی زلزله IASPEI<sup>f</sup> ادعاهای مربوط به پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه را ارزیابی کرد [۶].

جهت اطلاع رسانی عمومی، در اسنادی که اخیراً منتشر می‌شود به‌جای پیش‌بینی زمان، مکان و بزرگای یک زمین‌لرزه محتمل در آینده، تلاش بر آن است که احتمال وقوع زمین‌لرزه در یک پنجره زمانی، مکانی و بزرگای مشخصی تخمین زده شود. برای مثال می‌توان به:

گزارش‌های گروه کاری احتمالات زمین‌لرزه کالیفرنیا (۱۹۸۸، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴)

براساس رخدادهای زمین‌لرزه‌های مختص روی قطعات گسلی مهم سن آندریاس در کالیفرنیا اشاره کرد [۷].

در گزارشی که در سال ۱۹۹۵ توسط مرکز زلزله کالیفرنیا جنوبی ارائه شد، ویژگی چشمه‌های زمین‌لرزه با

ادغام داده‌های زمین‌شناسی روی گسل‌ها، بانک داده‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی و داده‌های سامانه

موقعیت‌یابی جهانی (GPS) در خصوص واتنش پوسته تعیین شده است [۸]. در واقع این روش کاربرد دیگری

از تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی است.

---

<sup>f</sup> Internationa Association of Seismology and Physics of the Earth Interior

از دیگر عوامل افزایش علاقه به پیش‌بینی زمین‌لرزه، امکان شبیه‌سازی رفتار پیچیده زمان-مکان-بزرگای زمین‌لرزه با الگوسازی فیزیکی است. یک چالش مهم در این رابطه آن است که آیا رفتار پیچیده لرزه‌خیزی از دینامیک غیرخطی ذاتی گسیختگی زمین‌لرزه ناشی می‌شود یا از اندرکنش گسیختگی با ناهمگنی‌های ساختار پهنه گسلی. بنابراین ادغام زمین‌شناسی (ناهمگنی زمین) و فیزیک (دینامیک غیرخطی گسیختگی گسل) جهت توسعه صحیح نظریه فیزیکی پیش‌بینی زمین‌لرزه مورد توجه قرار گرفته است [۹].

اولین پیش‌بینی موفق زمین‌لرزه در ۴ فوریه سال ۱۹۵۷ در شهر هایچنگ چین صورت گرفت که با تخلیه شهر از کشته شدن بیش از صدها هزار نفر جلوگیری شد. پس از آن زمان نیز چندین پیش‌بینی موفق و ناموفق زمین‌لرزه صورت پذیرفت. مهمترین آنها پیش‌بینی ناموفق زمین‌لرزه پارکفیلد در آمریکا توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) در سال ۱۹۸۴ بود که طی آن اعلام شد زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۶ ریشتر در این منطقه تا سال ۱۹۹۳ اتفاق خواهد افتاد. در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ فعالیت لرزه‌ای این منطقه افزایش یافت ولی هیچ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای پیش‌بینی شده رخ نداد، تا اینکه زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۶ ریشتر در ۲۸ سپتامبر ۲۰۰۴ به‌وقوع پیوست [۱۰].

پژوهشگران متعددی پیش‌بینی زلزله را از نظر مقیاس مکانی و زمانی تقسیم‌بندی کرده‌اند کیلیس-بروک و سلوویف پیش‌بینی مقیاس مکانی و زمانی زلزله را ارایه نمودند که در جدول ۱-۲ ارائه شده است [۱۱].

جدول ۱-۲- تقسیم‌بندی پیش‌بینی زمین‌لرزه از نظر مقیاس مکانی و زمانی [۱۱]

مقیاس مکانی	مقیاس زمانی
(ضریب طول چشمه لرزه از Km)	(بر حسب سال)
محدوده بزرگ (۱۰۰)	بلندمدت (۱۰)
محدوده متوسط (۵-۱۰)	میان‌مدت (۱)
محدوده باریک (۳-۲)	کوتاه‌مدت (۰/۰۱-۰/۱)
دقیق	آنی (۰/۰۰۱)

با نگاهی به فعالیت‌های تحقیقاتی مراکز علمی دنیا در زمینه پیش‌بینی زمین‌لرزه متوجه می‌شویم که در حال حاضر بیشتر این فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه فرابینی پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه، بررسی و الگوسازی رفتار گسل‌های فعال و دگرشکلی جنبای پوسته همراه الگوسازی عددی، آزمایشگاهی و صحرایی شکست مواد و چرخه زمین‌لرزه با تلفیق مطالعات زمین‌شناسی، ژئودزی، دورکاوی، لرزه‌شناسی، الکترومغناطیسی، مغناطیسی و زمین‌آب‌شناختی متمرکز شده است. طی جستجوهای انجام شده موارد زیر از مهمترین این مراکز تحقیقاتی می‌باشند.

در ایالات متحده آمریکا سازمان زمین‌شناسی آمریکا، دانشگاه‌های کالیفرنیا و استنفورد،<sup>۵</sup> JPL و ناسا طی برنامه تحقیقاتی EarthScope به این موضوع پرداخته اند.

در آژانس فضایی ملی اوکراین نیز دو برنامه تحقیقاتی در ارتباط با پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه با اندازه‌گیری پارامترهای پلاسمای محلی و تشعشعات الکترومغناطیسی در دست مطالعه است.

در مرکز تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی وابسته به اداره زلزله‌شناسی چین به‌عنوان یکی از معتبرترین مراکز تحقیقات پیش‌بینی زمین‌لرزه، مطالعات گسترده‌ای در زمینه لرزه‌خیزی و چکانش لرزه‌خیزی، تغییر شکل

<sup>۵</sup> Jet Propulsion Laboratory

جنبای پوسته و پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی و زمین‌آب‌شناختی در چین انجام شده است. از برنامه‌های تحقیقاتی کشور روسیه در زمینه پیش‌بینی زمین‌لرزه می‌توان به فعالیت‌های تحقیقاتی مؤسسه بین‌المللی تئوری پیش‌بینی زمین‌لرزه و ژئوفیزیک ریاضی وابسته به آکادمی علوم روسیه اشاره کرد. این مؤسسه در زمینه پیش‌بینی زمین‌لرزه، کاربرد مفهوم بی‌نظمی در دینامیک سنگ‌کره، توسعه الگوریتم‌های پیش‌بینی زمین‌لرزه و به‌ویژه تشخیص نواحی بالای لرزه‌ای فعالیت می‌کند. در ژاپن، دانشگاه‌های توکیو، کیوتو و توکایی روی فیزیک تشکیل نطفه و انتشار گسیختگی‌های لرزه‌ای، فرآینبی تغییر شکل جنبای پوسته و بررسی نشانگرهای لرزه‌ای، الکترومغناطیس، الکتریکی و گرانی به‌منظور پیش‌بینی زمین‌لرزه فعالیت می‌کنند. مرکز محاسبات علمی سامانه‌های زمین (ESSCC)<sup>۶</sup> در دانشگاه کوینزلند استرالیا در زمینه فیزیک زمین‌لرزه و دینامیک پوسته با استفاده از شبیه‌سازی و روش‌های سیال ژئوفیزیکی و مکانیک جامدات فعالیت دارد. کاهش خطر زمین‌لرزه به پیش‌بینی قابل اعتماد سطح و تغییرپذیری زمانی-مکانی خطر زمین‌لرزه نیاز دارد. در یونان، پژوهشگاه کاربردهای فضا و دورکاوی مرکز مشاهدات آتن و مرکز زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی روی پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی و الکتریکی فعالیت می‌کند. به‌طور خلاصه، براساس مطالعات انجام شده در مراکز تحقیقاتی جهان، پیش‌بینی‌های میان‌مدت گسترده متوسط (چند سال با ابعاد ده برابر چشمه لرزه‌ها) با بررسی احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ها با استفاده از مطالعات دیرینه لرزه‌شناختی، روش انتقال و چکانش تنش کولمب، تلفیق مطالعات ژئودزی و دورکاوی، الگوسازی لغزش در چشمه‌های لرزه‌زا، بررسی توزیع مکانی پس‌لرزه‌ها و مطالعه الگوهای لرزه‌ای همراه با مطالعات آزمایشگاهی، عددی و صحرایی مکانیک گسلش و فیزیک زمین‌لرزه در اولویت قرار گرفته‌اند. اخیراً نیز بی-هنجاری‌های مشاهده شده قبل از وقوع چند زمین‌لرزه در علایم مغناطیسی تواتر کم و مادون قرمز ثبت شده

---

<sup>۶</sup> The Earth Systems Science Computational Centre

توسط ماهواره‌ها توجه محققین را برای استفاده از ماهواره‌ها برای آشکارسازی زمین‌لرزه‌ها جلب کرده است.

### ۳-۱ کلیات، فرضیات و اهداف طرح

وقوع زمین‌لرزه‌ها در اغلب موارد همراه با یکسری بی‌هنجاری در ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری محیط می‌باشد. ارائه مدل‌های مختلفی که تا اندازه‌ای پدید آمدن این گونه بی‌هنجاری‌ها را توجیه می‌کنند پژوهشگران را بر آن داشته تا در مناطقی که احتمال وقوع زمین‌لرزه می‌رود، اقدام به تحت نظر گرفتن تغییر ویژگی‌های تکتونیکی، ژئوفیزیکی و زیست‌شناختی نمایند. اگر چه این مشاهدات تاکنون نتوانسته‌اند نشانه‌هایی قطعی از رویداد زمین‌لرزه‌ها را در اختیار قرار دهند، ولی این امکان را فراهم آورده‌اند تا پس از وقوع رویداد اصلی، با بازبینی داده‌های مربوطه شناخت بهتری از پیش‌نشانگرها بدست آید و امکان استفاده از آن‌ها را در مرزهای پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها میسر شود.

تغییر بی‌هنجار در سرشت لرزه‌خیزی یک منطقه می‌تواند نشانه‌ای از در پیش بودن زمین‌لرزه‌ای قوی باشد. افزایش بی‌هنجار در تعداد زمین‌لرزه‌های کوچک می‌تواند به رویداد یک زمین‌لرزه بزرگ تعبیر گردد. بنابراین اگر بتوان الگوی نهفته در این بی‌نظمیها و ناهنجاریها را شناسایی نمود می‌توان از آن در پیشگویی زلزله‌های قریب‌الوقوع بهره جست. در این تحقیق جهت دستیابی به این الگوها استفاده از فرآیند داده‌کاوی در دستور کار قرار گرفت. برای بیان فرآیند داده‌کاوی می‌توان گفت داده‌کاوی مجموعه‌ای از روش‌ها در فرآیند کشف دانش می‌باشد که برای تشخیص الگوها و روابط نامعلوم در داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌کاوی یک رشته نسبتاً "جدید علمی می‌باشد که حاصل انجام تحقیقات در رشته‌های آمار، یادگیری ماشین، علوم رایانه‌ای، به‌ویژه مدیریت پایگاه داده‌ها است [۱۲]. البته مرزهای این رشته‌ها در داده‌کاوی مبهم می‌باشد، اما می‌توان آمار کلاسیک را مهمترین این رشته‌ها دانست. در مجموع می‌توان سوال اصلی این تحقیق را اینگونه بیان نمود که، آیا می‌توان با استفاده از فرآیندهای کشف دانش از میان داده‌های مربوط به پیش‌لرزه‌ها با توجه به مشخصات ساختاری زون خاص، به الگویی مناسب جهت پیشگویی زلزله

دست یافت ؟

### ۱-۳-۱ فرضیات

- میزان وقوع پیش لرزه ها در زونهای مختلف متفاوت می باشد.
- برخی الگوهای لرزه خیزی از مهمترین پیش نشانگرهای قبل از وقوع زلزله های بزرگ هستند .
- الگوهای لرزه خیزی در زونهای مختلف، متفاوت می باشد، چرا که این الگوها در ارتباط با ویژگی های زمین شناسی و تکتونیکی هر منطقه می باشند.

### ۱-۳-۲ اهداف

پس از جدا سازی پیش لرزه ها از میان کاتولگ زمین لرزه ها، با استفاده از تحلیل خوشه ای زون مناسب جهت آنالیز و تهیه مدل را شناسایی می نماییم. و در صورت امکان رتبه بندی زون های مختلف از لحاظ اهمیت پیش نشانگر پیش لرزه صورت می پذیرد.

با توجه به اینکه هدف پیش بینی زلزله در مناطق مختلف لرزه خیز جهان، براساس اطلاعات کسب شده، تعیین قطعی رخداد و یا برآورد احتمالی وقوع زلزله بوده است، در این تحقیق سعی بر این خواهد بود که با توجه به نتایج به دست آمده بتوان احتمال رخداد زلزله را با استفاده از الگوی پیش لرزه ها با توجه به زون ساختاری مورد مطالعه پیش بینی کرد. از سوی دیگر پس از تعیین زون اصلی پیش لرزه ای کشور مهمترین پارامترهای لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه قرار خواهد گرفت تا با مشخصات و رفتارهای لرزه ای منطقه آشنا شویم.

همچنین ارائه مشخصات و شاخص های ساختاری و زمین شناختی که مدل منتج آن را پشتیبانی می نماید از دیگر اهداف مورد نظر این پژوهش می باشد. در نهایت به طور خلاصه می توان اهداف این تحقیق را به صورت موردی اینگونه معرفی نمود:

- رتبه بندی زونهای مختلف از لحاظ وقوع پیش لرزه تهیه نقشه پیش لرزه ای
- قابلیت پیش بینی زمین لرزه با دقتی قابل قبول
- توسعه استفاده کاربردی روش های هوشمند در مباحث زمین شناسی
- بررسی پارامترهای لرزه خیزی برای منطقه مورد مطالعه
- ارائه تصویری عددی از فعالیت گسلهای منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۱ بخشهای پژوهش

در این تحقیق پس از توضیح کلی و مقدماتی و تاریخچه طرح و نشان دادن فرضیات و اهداف و نتایج مورد انتظار آن در بخش نخست، به ادبیات موضوع در بخش دوم می پردازیم. در این بخش روش های به کار رفته در تحقیق حاضر را شرح داده و تئوری های مربوط به آنها را بیان می کنیم. در بخش سوم روش انجام کار را به ترتیب انجام آنها بیان می کنیم تا روند شکل گیری تحقیق مشخص شود. در بخش چهارم نتایج کار را برای مراحل دیکلاسترینگ، خوشه بندی و مدلسازی با شبکه های عصبی مصنوعی نشان می دهیم. در بخش پنجم به بررسی مشخصات زمین ساختی منطقه پرداخته و پارامترهای لرزه خیزی آن را محاسبه می کنیم. در آخرین بخش نیز نتیجه گیری کلی تحقیق را بیان کرده و نتایج بدست آمده را تفسیر می نماییم.



# ادبیات نظری

و

# تئوریهای به کار رفته

## ۱-۲ روش‌های پیش‌بینی و پیش‌نشانگرها

پژوهشگران متعددی پیش‌بینی زلزله را از نظر مقیاس مکانی و زمانی تقسیم‌بندی کرده‌اند. با توجه به ارزش اجتماعی تعیین محدوده زمانی رویداد یک زمین‌لرزه، در زیر به انواع پیش‌بینی‌های زمین‌لرزه از نظر زمانی اشاره می‌شود [۱۱]:

### ۱-۱-۲ پیش‌بینی بلند مدت

در صورتی که زمین‌لرزه‌ای طی چندین سال آینده پیش‌بینی شود، در قالب این گروه پیش‌بینی قرار می‌گیرد. از کاربرد این نوع پیش‌بینی می‌توان به مقاوم‌سازی سازه‌ها، انتشار آیین‌نامه‌های جدید ساختمانی و تنظیم طرح‌های کمک‌رسانی و امداد اشاره کرد. کارایی دیگر این نوع پیش‌بینی شناسایی مناطق با خطرپذیری زیاد و احداث ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری جهت شناسایی و فرایینی پیش‌نشانگرهای کوتاه‌مدت زمین‌لرزه است.

### ۲-۱-۲ پیش‌بینی میان‌مدت

پیش‌بینی‌های این گروه شامل پیش‌بینی زمین‌لرزه در بازه زمانی چند هفته تا یک سال است. این نوع پیش‌بینی از اهمیت بیشتری نسبت به انواع کوتاه‌مدت و بلندمدت برخوردار است، زیرا نه آنقدر دور است که مورد بی‌توجهی مسئولان و مردم قرار گیرد و نه آنقدر نزدیک است که فرصت انجام اقدامات مؤثر را از مسئولان و مردم بگیرد.

### ۳-۱-۲ پیش‌بینی کوتاه‌مدت-آنی

پیش‌بینی‌های زمین‌لرزه در بازه زمانی چند ساعت تا چند هفته در این دسته قرار می‌گیرند. این پیش‌بینی به‌منظور از کار انداختن صنایع خطرناک (نظیر راکتورها، نیروگاه‌های برق، پالایشگاه‌ها و ...)، بسیج امکانات کمک‌رسانی و آماده‌باش نیروهای انتظامی و ... صورت می‌گیرد. این نوع پیش‌بینی می‌تواند باعث نجات جان

بسیاری از افراد جامعه شود [۱۳].

## ۲-۲ مطالعات پیش‌بینی کوتاه‌مدت و آنی زمین‌لرزه

### ۱-۲-۲ مقدمه

پیش‌نشانگرهای کوتاه‌مدت ناهنجاری‌هایی هستند که در فاصله زمانی کمتر از یک ماه قبل از وقوع بعضی از زمین‌لرزه‌های بزرگ مشاهده شده‌اند. پیش‌نشانگرهای مورد توجه در پیش‌بینی زمین‌لرزه، تغییرات در فعالیت لرزه‌ای؛ تغییرات در سرعت و محتوای طیفی امواج لرزه‌ای؛ تغییر شکل مرتبط با تغییرات تجمع تنش در پوسته؛ ناهنجاری در میدان‌های زمین‌الکتریکی، زمین‌مغناطیسی و الکترومغناطیسی؛ ناهنجاری در سطح آب-های زیرزمینی و ترکیبات فیزیکی و شیمیایی آنها؛ ناهنجاری در رفتار هواکره، یون کره و دمای زمین هستند. به عبارت بهتر، پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه شامل:

(الف) پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی (پیش‌لرزه‌ها، و الگوهای لرزه‌خیزی)

(ب) پیش‌نشانگرهای زمین‌آب‌شناختی (پیش‌نشانگرهای گازی آب و خاک، پیش‌نشانگرهای تغییرات فیزیکی-شیمیایی آب)

(ج) پیش‌نشانگرهای زمین‌فیزیکی (پیش‌نشانگرهای زمین‌مغناطیسی، زمین‌الکتریکی و الکترومغناطیسی)

(د) پیش‌نشانگرهای ژئودتیک

### ۲-۲-۲ پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی

در زیر پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی مشتمل بر پیش‌لرزه‌ها، رشد و کاهش فعالیت لرزه‌ای و الگوهای لرزه‌خیزی مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۱-۲-۲-۲ پیش‌لرزه‌ها

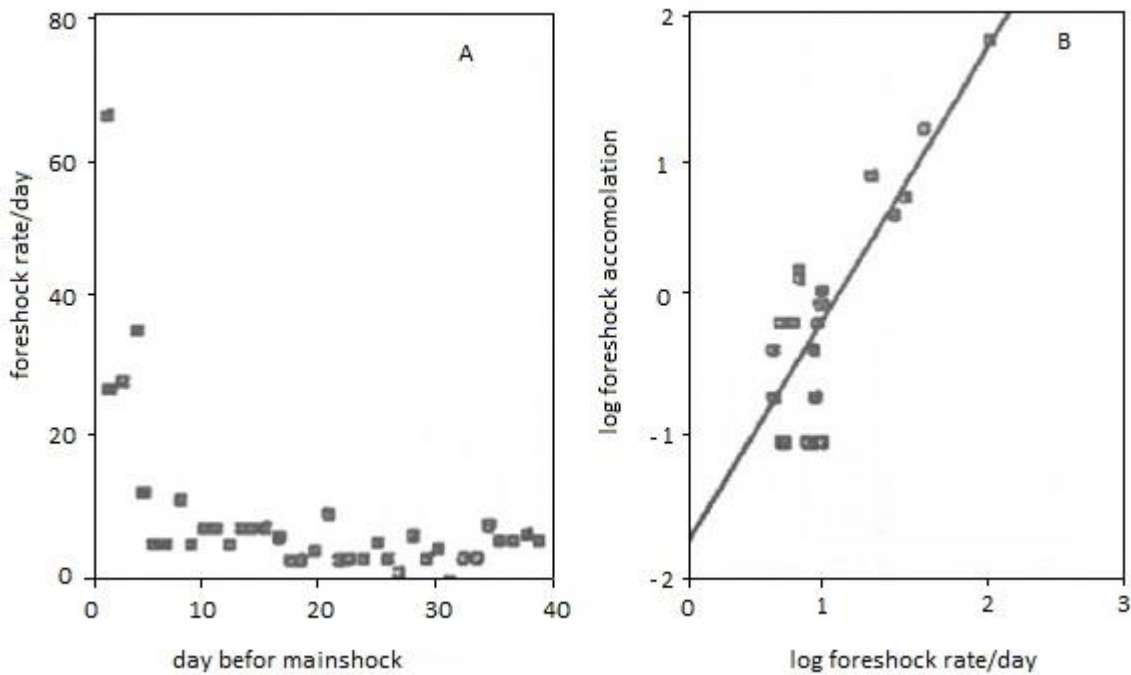
تعدادی از زمین‌لرزه‌ها بعد از افزایش چشمگیر تعداد زمین‌لرزه‌های کوچک در ناحیه رومرکزی و در یک

فاصله کوتاه زمانی رخ داده‌اند، به‌طوریکه در نامیدن آنها به‌عنوان پیش‌لرزه (ساعت تا ماه) ابهام وجود دارد. این ابهام ناشی از تعداد بسیار کم رویدادهای کوچک و یا فاصله زمانی پراکنده رخدادها است. در هر صورت این وقایع نمی‌توانند با واقعه اصلی ارتباط داشته باشند و پیش‌لرزه نامیده شوند. گاهی اوقات زمین‌لرزه‌های کوچکی که قبل از زمین‌لرزه اصلی روی گسیختگی رویداد اصلی یا اطراف آن رخ می‌دهند، "قبل‌لرزه" (ماه‌ها تا سال‌ها) نامیده می‌شوند. در برخی موارد، تجمع خوشه‌ای بسیار متراکمی از فعالیت‌های لرزه‌ای قبل از رویداد اصلی یا فعالیت لرزه‌ای به‌صورت تجمع خوشه‌ای دور از رومرکز یک زمین‌لرزه بزرگ مشاهده شده است. به‌طور کلی، مطالعه تواتر ساعتی پیش‌لرزه‌ها قبل از وقوع زمین‌لرزه نقش مهمی در پیش‌بینی کوتاه‌مدت یا قریب‌الوقوع ایفا می‌کند. روند تغییرات مشاهده شده معمولاً به‌صورتی است که تعداد و بزرگای وقایع روز به روز افزایش می‌یابد و بعد از یک کاهش ناگهانی قبل از وقوع رویداد اصلی، زمین‌لرزه اصلی رخ می‌دهد.

پیش‌لرزه‌ها واضح‌ترین پدیده هشداردهنده‌ای هستند که قبل از زمین‌لرزه رخ می‌دهند. رخداد آنها در تعداد کمی از حالات مانند زمین‌لرزه هایچنگ چین ۱۹۷۵ ( $M_w=7/3$ ) به پیش‌بینی موفق زمین‌لرزه منجر شده است. در بسیاری موارد ثبت شده در تاریخ، مردم به دلیل هشدار که پیش‌لرزه‌ها داده‌اند، خانه‌های خود را ترک کرده و نجات یافته‌اند. پیش‌نشانگرها قوی‌ترین شاهد نشان‌دهنده فاز شتاب‌یافته تغییر شکل هستند که بلافاصله قبل از ناپایداری زمین‌لرزه پدیدار می‌شوند.

پیش‌لرزه‌ها توسط جونز و مولینار (۱۹۷۹) به‌طور جهانی بررسی شده‌اند [۱۴]. آنها به این نتیجه رسیدند که از سال ۱۹۵۰ که شبکه‌های لرزه‌نگاری جهانی کارا شده‌اند، ۶۰ تا ۷۰ درصد تمامی زمین‌لرزه‌های با بزرگی  $M \geq 7$  با پیش‌لرزه‌ها همراه بوده‌اند (به‌عنوان وقایع داخل ۱۰۰ کیلومتری با یک آهنگ سریع‌تر از زمینه). فعالیت پیش‌لرزه‌ها (از یک واقعه تا فوج) بسیار متغیر بوده است. با این حال، آنها در مجموع یک علامت زمانی واضح نشان می‌دهند (شکل ۱-۲). فعالیت پیش‌لرزه‌ها ۵ تا ۱۰ روز قبل از شوک اصلی ظاهر شده و به سرعت تا رخداد آن شتاب گرفته‌اند. بررسی کاتالوگ‌های جهانی نشان داده است که بین بزرگای شوک اصلی

و فعالیت پیش‌لرزه‌ها ارتباطی وجود ندارد. [۱۵].



شکل ۱۲-۲ (A) فرکانس پیش‌لرزه‌های جمع‌آوری شده برای تعداد بزرگی از رشته‌ها به عنوان تابعی از زمان قبل از شوک اصلی. (B) داده منحنی A برحسب مشتق آن [۱۴]

از آنجائی که تشخیص یک توالی پیش‌لرزه‌ای از دیگر فعالیت‌ها مسئله مهمی در پیش‌بینی کوتاه‌مدت زمین‌لرزه محسوب می‌شود، بررسی جدایش آماری پیش‌لرزه‌ها از دیگر لرزه‌های موجود در خوشه‌ها به‌منظور تشخیص پیش‌لرزه‌ها، نشان می‌دهد که پیش‌لرزه‌ها در یک پنجره زمانی نسبت به پس‌لرزه‌ها و فوج‌های لرزه‌ای در فاصله نزدیک‌تری از یکدیگر قرار گرفته‌اند و بزرگای پیش‌لرزه‌ها در ترتیب زمانی افزایش بیشتری را نسبت به دیگر رخدادها نشان می‌دهد [۱۶].

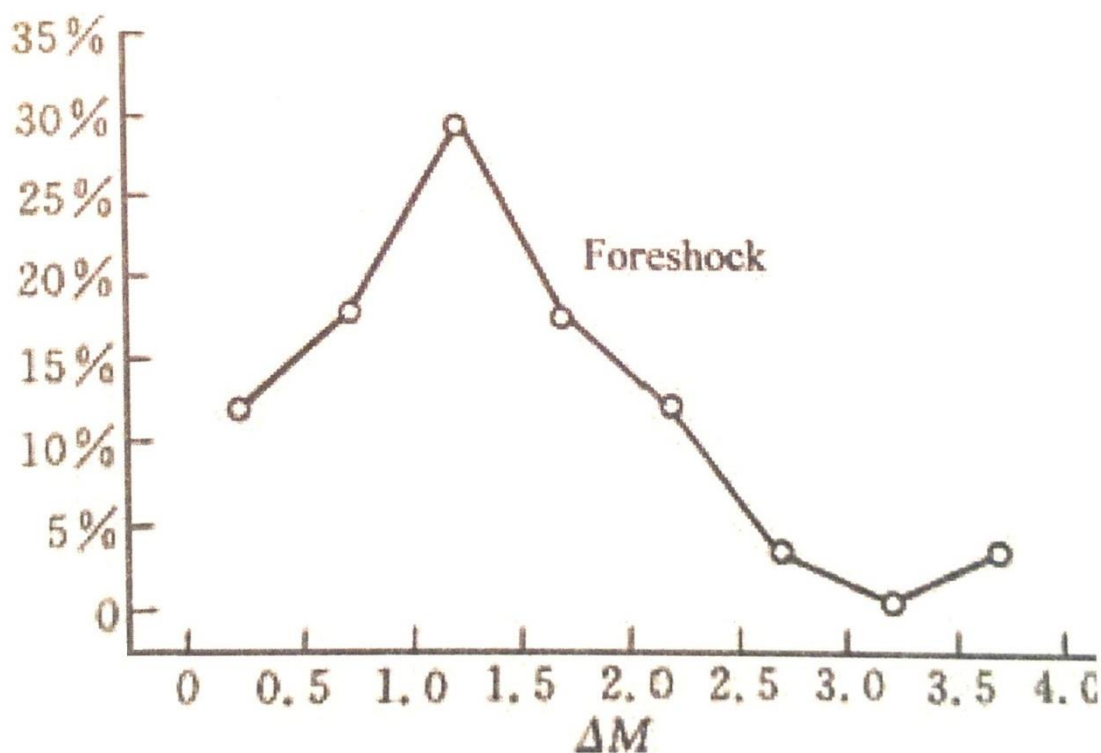
در مورد اختلاف بزرگای بین شوک اصلی و پیش‌لرزه تفاوت نظر وجود دارد. مطالعه آماری پیش‌لرزه‌های چین نشان می‌دهد که اختلاف بزرگای بین شوک اصلی و پیش‌لرزه تقریباً بین ۱/۵-۱ است و اختلاف بزرگای کمتر از یک بیشتر مشابه با فوج‌های لرزه‌ای است

شکل ۲-۲) [۱۷]. جونز و مولینار ارتباطی بین اندازه بزرگ‌ترین پیش‌لرزه و بزرگای شوک اصلی مشاهده

نکردند (به غیر از آنکه بزرگای پیش‌لرزه کمتر باشد) [۱۴]. آنها زمین‌لرزه‌های مرکب را در این تحلیل جدا نکرده یا تعریف محدودتر پیش‌لرزه را به کار برده‌اند. این محققان گزارش کردند که رشته زمانی پیش‌لرزه‌ها می‌تواند با رابطه تجربی  $n=at-\omega$  بیان شود، که در آن  $t$  زمان قبل از زمان وقوع شوک اصلی،  $n$  فرکانس پیش‌لرزه‌ها و  $a$  و  $\omega$  مقادیر ثابت هستند. مقدار  $\omega$  نزدیک به یک است. جونز و مولینار (۱۹۷۹) شواهدی برای یک کاهش در فعالیت پیش‌لرزه‌ها، ۴ تا ۷ ساعت قبل از شوک اصلی پیدا کردند که در معادله  $n=at-\omega$  به حساب نیامده است [۱۴]. چنین سکوت کوتاه‌مدتی به ویژه وقتی فوج پیش‌لرزه‌ها رخ می‌دهد، آشکار است. یک حالت قابل توجه، زمین‌لرزه هایچنگ ۱۹۷۵ بود.

بررسی‌های انجام شده با اطمینان بالا نشان می‌دهند که نرخ رخداد پیش‌لرزه‌ها قبل از وقوع شوک‌های اصلی تراستی با بزرگای  $M \geq 6$  در کاتالوگ هاروارد حدود دو برابر نرخ رخداد پیش‌لرزه‌های مرتبط با شوک‌های اصلی راستالغز است. در میان زمین‌لرزه‌هایی با مکانیسم کانونی تراستی، آنهایی که دارای منشأ زون فرورانش کم عمق هستند نسبت بالاتری از پیش‌لرزه‌ها را به آنهایی که دارای منشأ کمر بند قاره‌ای هستند، نشان می‌دهند [۱۸]. برخی از مطالعات نشان دادند که پیش‌لرزه‌ها دارای  $b$ -value کوچکتر نسبت به زمین‌لرزه‌ها هستند ولی مکانیسم فیزیکی آنها هنوز شناخته نشده است [۱۹, ۲۰]. در تحقیق دیگری گزارش شده است که با نزدیک شدن به زمان رخداد شوک اصلی، نرخ لرزه‌ای افزایش می‌یابد در حالی که مقدار  $b$ -value قبل از شوک اصلی و تا زمان رسیدن به آن کاهش می‌یابد و بعد از رخداد شوک اصلی افزایش می‌یابد [۲۱].

مشکل کاربرد پیش‌لرزه‌ها برای پیش‌بینی زمین‌لرزه این است که زمین‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها از یکدیگر قابل تشخیص نیستند. مشاهدات تجربی نشان داده است که مقدار  $b$  خروج‌های صوتی قبل از شکست سنگ کاهش پیدا می‌کند [۲۲, ۲۳] و نشان‌دهنده این است که با نزدیک شدن به یک شکست بزرگ، متوسط اندازه شکست افزایش می‌یابد. با وجود این هنوز یک ویژگی برای شناسایی پیش‌لرزه‌ها ارائه نشده و در حال بررسی است.



شکل ۲-۲ اختلاف توزیع بزرگا بین شوک اصلی و پیش لرزه

### ۳-۲-۲ ارزیابی پیش‌نشانگرهای زمین لرزه

پیش‌نشانگرهای زمین لرزه به‌عنوان پدیده‌های ناشی از تجمع تنش در سنگ‌کره، همچنان با ابهامات زیادی همراه هستند. دلایل این پیچیدگی جدا کردن این علایم از دیگر آشفستگی‌های طبیعی و فقدان ثبت منظم آنها با مدت زمان کافی است. به همین دلیل تاکنون علی‌رغم علائم مشاهده شده، هیچ پیش‌نشانگر کوتاه‌مدتی به تنهایی در جامعه علمی دنیا برای اعلام هشدار پذیرفته نشده است، هر چند از ترکیب آنها نتایج مناسبی به‌دست می‌آید.

همان‌طور که اشاره شد، برای ارزیابی پیش‌نشانگرها تجزیه و تحلیل تعداد کافی موفقیت‌ها و شکست‌ها با ثبت دقیق به‌منظور تعیین سطح اعتماد به پیش‌بینی مورد نیاز است. میزان موفقیت‌ها باید به‌اندازه‌ای باشد که پژوهشگران را متقاعد کند که یک حدس اتفاقی نبوده است. همچنین مقدار بزرگا-زمان-مکان مورد نظر برای

اعلام هشدار باید متناسب با نیازهای جامعه باشد، تا مسئولین فرصت کافی داشته باشند که برای یک زمین‌لرزه قریب‌الوقوع اقدامات لازم را به‌عمل آورند. با توجه به اهمیت پیش‌بینی زمین‌لرزه از نظر روحی-روانی و واقعیت‌های علمی موجود، باید جامعه و مسئولین را به این حقیقت آگاه کرد. گروهی از متخصصان برجسته گروه علوم زمین وابسته به IASPEI ارزیابی پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه را تا سال ۱۹۹۷ به‌عهده داشتند. این گروه نتایج ارزیابی و معیارهای خود را در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۷ میلادی به‌شرح زیر اعلام کردند [۲۴]:

- بی‌هنجاری مشاهده شده باید به سازوکاری که به وقوع زمین‌لرزه منجر می‌شود، ارتباط داده شود؛
- بی‌هنجاری باید به‌طور همزمان در بیش از یک ایستگاه مشاهده شود؛
- تعریف بی‌هنجاری و قواعد همراه آن با زمین‌لرزه‌های بعدی باید دقیق باشد؛
- هر دو مورد بی‌هنجاری و قواعد باید از یک مجموعه مستقل داده نتیجه شوند، تا اینکه برای فقط یک مورد بی‌هنجاری ادعا شوند.

براساس ارزیابی این گروه در سال ۱۹۹۷ میلادی، پنج پیش‌نشانگر شامل سه پیش‌نشانگر لرزه‌ای و دو پیش‌نشانگر غیرلرزه‌ای در فهرست پیش‌نشانگرهای با اهمیت قرار گرفتند. پیش‌نشانگرهای لرزه‌ای شامل "پیش‌لرزه‌ها" (ساعت تا ماه)، "قبل‌لرزه‌ها" (ماه‌ها تا سال‌ها) و "سکون‌لرزه‌های" قبل از پس‌لرزه‌های بزرگ می‌باشند. پیش‌نشانگرهای غیرلرزه‌ای وابسته به شیمی آب‌های زیرزمینی هستند، که غلظت گاز رادون و کاهش دمای آب را دربرمی‌گیرد. آخرین پیش‌نشانگر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در اثر تغییر شکل پوسته است.

۲-۳-۱ ارزیابی پیش‌نشانگرهای پیشنهادی زمین‌لرزه توسط زیرکمیته پیش‌بینی زمین‌لرزه IASPEI

زیرکمیته پیش‌بینی زلزله پیشنهاد داد که چنین فهرستی باید طی دهه کاهش بلایای طبیعی توسعه داده



شود. هدف کمیته IASPEI از کاربرد کلمه پیش‌نشانگرهای مهم بیان نیاز به نوعی غربالگری و تأکید بر لزوم شواهد بیش از یک پیش‌نشانگر است. برای آنکه یک پیش‌نشانگر در فهرست پیش‌نشانگرها قرار داده شود، باید داده‌ها مستدل و مستند باشند، همراهی آنها با زمین‌لرزه ثابت شود، توضیح جایگزینی برای آن بی‌هنجاری با یک احتمال بالا رد شود و روش تجزیه و تحلیل کامل باشد. جهت پذیرفته شدن یک پیش‌نشانگر پیشنهادی، باید برای تمامی انتقادات پاسخی وجود داشته باشد، به طوری که آزمایش پیوسته این پیش‌نشانگر داوطلب در سال‌های متمادی به پذیرش پیش‌نشانگر پیشنهادی منجر شود [۲۴].

در دومین مجمع IASPEI در سال ۱۹۹۷، پنج پیش‌نشانگر برای ارزیابی مطرح شدند جدول ۱-۲-۱- فهرست اولیه پیش‌نشانگرهای مهم مورد تأیید IASPEI (۱۹۹۴ میلادی) را نشان می‌دهد. از این پنج پیش‌نشانگر، دو مورد تأیید مجدد شده و در (جدول ۲-۲) قرار داده شدند؛ دو پیش‌نشانگر دیگر جز پیش‌نشانگرهای تصمیم‌گیری نشده (جدول ۳-۲) و پیش‌نشانگرهای پیشنهادی دیگر مورد قبول قرار نگرفتند. پیشنهاد پیش‌نشانگر کج‌شدگی سطح زمین [۲۴]، به دلیل عدم ارائه تمامی اطلاعات قابل استناد برای این حالت، در دوره اول مجمع در گروه تصمیم‌گیری نشده‌ها قرار داشت؛ اما بعدها این پیش‌نشانگر برای زمین‌لرزه ۱۹۴۴ تونکائی با بزرگای ۸/۱ [۲۴] و با شواهد اضافی به اندازه کافی مستند بود تا گروه ارزیابی را متقاعد کند و در گروه پیش‌نشانگرهای مورد تأیید قرار گیرد. فرضیه سکون‌لرزه‌ای قبل از رویداد اصلی که در دور دوم این مجمع مورد بررسی قرار گرفت نیز جز گروه حالات تصمیم‌گیری نشده است [۲۵]. در حقیقت گروه حالات تصمیم‌گیری نشده فقط یک مکان موقت نگهداری برای حالاتی است که بعدها با توجه به شواهد بیشتر در گروه حالات پذیرفته‌شده یا رد شده قرار می‌گیرند. گروه پیش‌نشانگرهای تصمیم‌گیری نشده در جدول ۳-۲ جدول ۲-۲ ارائه شده است. هیچ پژوهشگری در دوره دوم مجمع پیش‌نشانگری را برای ارزیابی به زیرکمیته پیش‌بینی زلزله ارائه نکرد.

همان‌گونه که ذکر شد، براساس ارزیابی پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه تا سال ۱۹۹۷ میلادی، ۵ پیش‌نشانگر در

فهرست مقدماتی پیش‌نشانگرهای مهم IASPEI قرار گرفتند (جدول ۲-۱). سه تا از این پیش‌نشانگرها الگوی لرزه‌خیزی (پیش‌لرزه‌ها، قبل‌لرزه‌ها و سکون‌لرزه‌ای) هستند. دو پیش‌نشانگر دیگر براساس شیمی و دمای آب‌های زیرزمینی و اندازه‌گیری تغییر شکل پوسته با کنترل سطح آب‌های زیرزمینی است. باید توجه کرد که قرارگیری یک پیش‌نشانگر در این فهرست به معنای درست بودن و خروج از آن نیز ضرورتاً به معنای اشتباه بودن آن نیست.

پیش‌لرزه‌ها قبل از بعضی زمین‌لرزه‌های بزرگ رخ می‌دهند و در واقع نشانگر قسمتی از فرایند آماده‌سازی گسیختگی در زمین‌لرزه‌های اصلی هستند. در زمین‌لرزه ۱۹۷۵ هاپینگ چین ( $MW=7/3$ ) وقوع پیش‌لرزه‌ها موجب آگاهی مردم از رخداد اصلی شدند و به همین سبب ناهنجاری‌های پیشنهاد شده در فهرست پیش‌نشانگرها قرار گرفت [۲۶]. اگرچه محققان هنوز نمی‌دانند که چگونه پیش‌لرزه‌ها را تشخیص داده و برای پیش‌بینی زمین‌لرزه به‌کار ببرند، اما وجود پیش‌لرزه‌ها ثابت می‌کند که گاهی اوقات شروع گسیختگی و گسلش در زمین‌لرزه‌های مهم، با یک فرایند آماده‌سازی دنبال می‌شود. ممکن است پارامترهای قابل اندازه‌گیری دیگری طی دوره آماده‌سازی تغییر کنند و بتوانند برای تشخیص پیش‌لرزه‌ها به‌کار روند. وجود پیش‌لرزه‌ها از دلایل اصلی مطالعه فرایند گسلش است که سرانجام به توانایی پیش‌بینی زمین‌لرزه منجر خواهد شد [۲۷].

کلمه "قبل‌لرزه‌ها"<sup>۷</sup> اصطلاحی است که برای لرزه‌خیزی که حدود یک سال قبل از زمین‌لرزه اصلی تنانت گریک استرالیا آغاز شد، به‌کار رفته است [۲۷]. علاوه‌براین، قبل‌لرزه‌ها به‌عنوان پیش‌نشانگر معرفی شده‌اند [۲۸]. این پیش‌نشانگر به همان دلیلی که پیش‌لرزه در فهرست پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه وارد شد، پذیرفته شد. عدم وجود ارتباط بین یک فوج زمین‌لرزه در سپر قاره‌ای پایدار استرالیا، جاییکه برای مدت طولانی زمین‌لرزه‌ای در آن ثبت نشده است، با زمین‌لرزه‌هایی که در یک سال بعد دنبال شده غیرممکن است.

---

<sup>۷</sup> Before shock

بنابراین، فرایند آماده‌سازی در این حالت در مقایسه با دوره زمانی معمول پیش‌لرزه‌ها (چند روز) حدود یک سال طول کشیده است. انتخاب کلمه متفاوت قبل‌لرزه با پیش‌لرزه، برای وقایع تنانت گریک، بیانگر یک فرایند متفاوت با پیش‌لرزه‌هاست. می‌توان تصور نمود که همان فرایندی که سرانجام به گسیختگی منجر می‌شود، می‌تواند در ثابت‌های زمانی متفاوتی در امتداد یک سامانه گسل توسعه یابد.

سکون‌لرزه‌ای مشاهده شده قبل از پس‌لرزه‌های اصلی یک زمین‌لرزه بزرگ یک حالت خاص پیش‌بینی زمین‌لرزه است [۲۹]. اگرچه زمانی از کشف این پدیده و اندازه‌گیری آن می‌گذرد، اما پیش‌رفتی برای تعیین کمی آن در زمان حقیقی و به‌کارگیری آن برای پیش‌بینی زمین‌لرزه حاصل نشده است.

جدول ۱-۲- فهرست اولیه پیش‌نشانگرهای مهم مورد تأیید IASPEI (۱۹۹۴ میلادی)

ردیف	پیش‌نشانگر	زمین‌لرزه مرتبط با پیش‌نشانگر
۱	الف- الگوهای لرزه‌ای پیش‌لرزه‌ها (چندین ساعت تا چندین ماه)	۴ فوریه ۱۹۷۵ هیچینگ چین با بزرگای ۷/۳
۲	قبل‌لرزه‌ها (چندین ماه تا چندین سال)	۲۲ ژانویه ۱۹۸۸ تنانت گریک استرالیا با بزرگای ۶/۷
۳	سکون‌لرزه‌ای قبل از پس‌لرزه‌های بزرگ	چندین زمین‌لرزه در ژاپن
۴	ب- خصوصیات آبهای زیرزمینی تجمع رادون و کاهش دما در آب‌های زیرزمینی	۱۴ ژانویه ۱۹۸۷، شبه‌جزیره اوشیما-کینکایی با بزرگای ۷/۰
۵	ج- دگرریختی پوسته‌ای خیزش آب‌های زیرزمینی	۴ اگوست ۱۹۸۵ کتلن هیلز کالیفرنیا با بزرگای ۶/۱

جدول ۲-۲- دومین فهرست پیش‌نشانگرهای مهم پیشنهادی IASPEI (۱۹۹۷ میلادی)

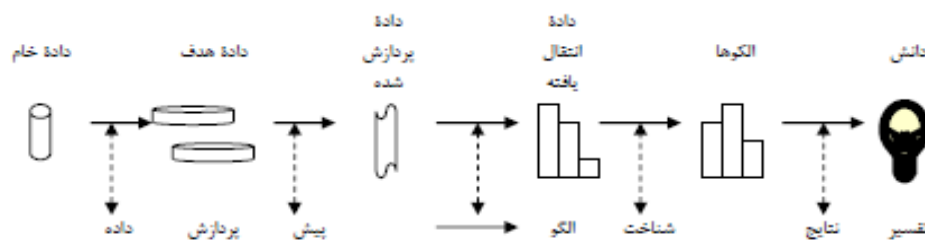
ردیف	مؤلف	عنوان پیش‌نشانگرهای پیشنهادی
۱	روئولوفز و کوئیلتی	تغییرات سطح آب قبل از رخداد زمین‌لرزه ۱۹۸۵ کتلمن هیلز
۲	باومن	یک پیش‌نشانگر لرزه‌ای برای توالی زمین‌لرزه‌های میان‌صفحه‌ای در استرالیا با بزرگای ۶/۷-۶/۳
۳	ویس	پیش‌نشانگرهای سکون لرزه‌ای
۴	ساتو	ارزیابی مجدد پیش‌نشانگر کج‌شدگی سطح زمین مرتبط با زمین‌لرزه ۱۹۴۴ تونانکایی ژاپن
۵	فوجی و ناکان	ارزیابی مجدد ناهنجاری‌های جابجایی قائم پیوسته مرتبط با زمین‌لرزه ۱۹۶۴ نیگاتای ژاپن
۶	زاویالو و هبرمن	کاربرد پارامتر هم‌مرکز گسل‌های لرزه‌ای فعال کالیفرنیا جنوبی
۷	یوشینو	امکان انتشار امواج الکترومغناطیسی در ارتباط با زمین‌لرزه‌های ژاپن
۸	کوانگ زو و همکاران	پیش‌نشانگر ناهنجاری حرارتی مادون قرمز مرتبط با زمین‌لرزه‌های قریب‌الوقوع
۹	یولین و کی آن	ارتباط بین پیش‌نشانگرهای مقاومت ویژه زمین و دگرریختی پوسته‌ای

جدول ۲-۳- پیش‌نشانگرهای تصمیم‌گیری نشده (۱۹۹۴ میلادی)

ردیف	پیش‌نشانگر	زمین‌لرزه مرتبط با پیش‌نشانگر
۱	کرنش	۱ سپتامبر ۱۹۲۳ کنتو با بزرگای ۷/۹
۲	کج‌شدگی	۷ دسامبر ۱۹۴۴ تونانکایی با بزرگای ۸/۱
۳	جابه‌جایی پوسته‌ای	۲۶ می ۱۹۸۳ دریای ژاپن با بزرگای ۷/۷
۴	کرنش و کج‌شدگی	۲۶ می ۱۹۸۳ دریای ژاپن با بزرگای ۷/۷
۵	سکون لرزه‌ای	چندین زمین‌لرزه

## ۲-۳ داده کاوی

داده کاوی تلاش برای استخراج دانش از انبوه داده های موجود است. داده کاوی به کمک مجموعه ای از روش های آماری و مدلسازی، می تواند الگوها و روابط پنهان موجود در پایگاه های داده را تشخیص دهد. تاکنون ابزارها و روش های مختلف برای پردازش اطلاعات ساخت یافته، توسعه داده شده است که در نتیجه آنها ساخت پایگاه های اطلاعاتی و ایجاد انبارهای داده به سادگی صورت می گیرد [۳۰]. با توجه به اینکه در قرن اخیر میلیونها داده لرزه ای در تمام دنیا به ثبت رسیده است، استفاده از فرآیند داده کاوی برای استخراج و کشف دانش از میان این داده ها ناگزیر می نماید. با تعریف داده کاوی به صورت فرایند کشف و تحلیل داده متعلق به مجموعه های بزرگ با استفاده از ابزار خودکار و بر اساس الگوها و قوانین معنادار، درمی یابیم که داده کاوی استفاده از ابزار تحلیل داده برای کشف ناشناخته ها، الگوهای معتبر و روابط مجموعه های بزرگ داده است [۳۱]. این ابزار شامل مدل های آماری، الگوریتم های ریاضی و روش های یادگیری ماشین، الگوریتم هایی که عملکردشان را به صورت خودکار و با نظر به تجربه ها بهبود می دهند مانند شبکه های عصبی یا درخت های تصمیم گیری است. پس داده کاوی چیزی بیش از جمع آوری و اداره داده است و تحلیل و پیش بینی داده را نیز شامل می شود (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳ فرآیند داده کاوی

معمولا پروژه های داده کاوی شامل ترکیبی از انواع مختلف مسائل است، که با هم مسئله ای مورد نظر را حل می

کنند.

### ۲-۳-۱ توصیف و خلاصه سازی داده ها:

هدف توصیف و خلاصه سازی، توصیف دقیق خصوصیات داده‌ها، عموماً به صورت ابتدایی و تجمعی است؛ و به کاربر دید کلی‌ای از ساختار داده‌ها می‌دهد. این مسئله اغلب از اهداف فرعی فرایند است. در آغاز فرایند داده کاوی، کاربر معمولاً هدف دقیق تحقیق و ماهیت دقیق داده‌ها را نمی‌داند. تحلیل اولیه‌ی داده‌ها به درک طبیعت داده‌ها و فرضیه‌های بالقوه در مورد اطلاعات پنهان کمک می‌کند. خلاصه‌های آماری و تصویر سازی داده‌ها دید اولیه‌ای در مورد داده‌ها به دست می‌دهد. توصیف و خلاصه سازی با سایر انواع مسائل داده کاوی ترکیب می‌شود؛ همچنین نقش اساسی در ارائه‌ی نتایج نهایی ایفا می‌کند.

### ۲-۳-۲ دسته بندی

هدف دسته بندی به زیرگروه‌های جالب و معنی دار است. تمام اعضای یک زیرگروه خصوصیات مشترکی دارند. دسته بندی را می‌توان به صورت دستی یا اتوماتیک انجام داد. تحلیل گر می‌تواند با توجه به دانش قبلی در باره‌ی مسئله و یا بر اساس اطلاعات حاصل از توصیف و خلاصه سازی تعداد مشخصی زیرگروه را انتخاب کند. گرچه، تکنیک‌های خوشه بندی اتوماتیکی موجودند که می‌توانند ساختارهای پنهان موجود در داده‌ها را که به دسته بندی کمک می‌کنند کشف کنند.

تکنیک‌های مناسب برای دسته بندی تحلیل خوشه‌ای، شبکه‌های عصبی، و تصویرسازی هستند.

### ۲-۳-۳ توصیف کلاس‌ها

هدف این نوع مسئله توصیف قابل فهم کلاس‌هاست. بر خلاف طبقه بندی، هدف، ایجاد مدل‌های کامل با دقت پیش‌بینی بالا نیست، و نیاز نیست تمام رکوردها پوشش داده شوند. روش‌های استقرای قواعد و خوشه‌بندی مفهومی از تکنیک‌های مناسب برای اینکار هستند.

## ۲-۳-۴ طبقه بندی

طبقه بندی جزو روش‌های پیش‌بینی است. در این روش ابتدا تعدادی کلاس تعریف می‌شود. سپس با استفاده از چنین رکورد داده که مشخص است به چه کلاسی تعلق دارند، تابعی ساخته می‌شود که رکوردها را به کلاس مرتبط آن‌ها تخصیص دهد. این تابع بر رکوردهای جدید اعمال می‌شود تا آن‌ها را در کلاس متناظرشان قرار دهد.

تکنیک‌های مناسب برای طبقه بندی:

- تحلیل تفکیکی
- روش‌های استقرای قواعد
- درخت تصمیم
- شبکه‌های عصبی
- کای نزدیکترین همسایه
- الگوریتم ژنتیک

## ۲-۳-۵ پیش‌بینی

پیش‌بینی شباهت زیادی به طبقه‌بندی دارد. تنها تفاوت آن‌ها این است که در پیش‌بینی متغیر هدف (کلاس) کیفی و گسسته نیست، بلکه پیوسته است. هدف پیش‌بینی یافتن مقداری عددی برای متغیر هدف برای رکوردهای جدید است.

تکنیک‌های مناسب برای پیش‌بینی:

- تحلیل رگرسیون
- درخت‌های رگرسیون
- شبکه‌های عصبی

- کای نزدیکترین همسایه

- الگوریتم ژنتیک

## ۲-۳-۶ تحلیل وابستگی

تحلیل وابستگی یافتن مدلی است که وابستگی‌های معنی‌دار بین ارقام داده‌ها را توصیف کند. از وابستگی می‌توان برای پیش‌بینی مقدار یک قلم داده با استفاده از اطلاعات سایر داده‌ها استفاده کرد.

تکنیک‌های مناسب:

- تحلیل همبستگی

- تحلیل رگرسیون

- قواعد پیوند

- شبکه‌های بیزین

- تکنیک‌های مصورسازی

## ۲-۴ استاندارد کریسپ

برای انجام روشمند داده کاوی باید از یک فرایند مشخص تبعیت کرد. چند فرایند استاندارد برای داده کاوی وجود دارد که پرکاربردترین آن‌ها استاندارد کریسپ است [۳۲]. این استاندارد شامل شش مرحله است که به صورت گردشی انجام می‌شوند. این مراحل عبارتند از:

### ۲-۴-۱ درک موضوع

درک موضوع شامل تعیین اهداف، سنجش موقعیت موجود، تعیین اهداف داده کاوی، و ایجاد طرح پروژه می‌باشد.



#### ۲-۴-۲ درک داده‌ها

پس از تعیین اهداف و طرح پروژه درک داده‌ها به بررسی داده‌های مورد نیاز می‌پردازد. این مرحله می‌تواند شامل جمع‌آوری داده، توصیف داده‌ها و ارزیابی کیفیت داده‌ها باشد. می‌توان در انتهای این مرحله با مشاهده‌ی خلاصه‌ی آماری داده‌ها به بررسی داده‌ها پرداخت. تکنیک‌هایی مانند خوشه‌بندی نیز ممکن است برای تشخیص الگوهای موجود در داده‌ها به کار روند.

#### ۳-۴-۲ آماده‌سازی داده‌ها

مرحله‌ی آماده‌سازی داده‌ها تمام فعالیت‌هایی که برای ساخت مجموعه داده‌ی نهایی از داده‌های خام اجرا می‌شوند را در بر می‌گیرد. فعالیت‌های این مرحله ممکن است چندین بار انجام شوند و ترتیب دقیقی ندارند. این فعالیت‌ها شامل انتخاب رکوردها و صفات، پاکسازی، و تبدیل داده‌ها است. هدف آماده‌سازی، پاکسازی داده‌ها برای افزایش کیفیت است. ممکن است بعضی داده‌ها به این علت که از منابع مختلفی جمع‌آوری شده‌اند فرمت‌های مختلفی داشته باشند؛ این داده‌ها باید به فرمت مورد نظر درآیند. در این مرحله باید در مورد مقادیر از دست رفته و مقادیر دورافتاده تصمیم‌گیری شود. داده‌های دور افتاده فاصله‌ی زیادی با سایر داده‌ها دارند. علت وجود داده‌های دور افتاده ممکن است خطاهای انسانی یا تکنیکی و یا رخدادهای غیرعادی در سیستم باشد.

#### ۴-۴-۲ مدل‌سازی

در این مرحله، تکنیک‌های مختلف مدل‌سازی انتخاب و استفاده می‌شوند و پارامترهای آن‌ها کالیبره می‌شود. برای یک نوع مسئله‌ی داده‌کاوی چندین روش وجود دارد. بعضی روش‌ها به فرم خاصی از داده‌ها نیاز دارند. بنابراین، بازگشت به مرحله‌ی آماده‌سازی اغلب لازم است.

#### ۵-۴-۲ ارزیابی

تا اینجا مدل‌هایی ساخته شده‌اند که از لحاظ تحلیل داده‌ها کیفیت بالایی دارند. قبل از استفاده‌ی نهایی از

این مدل ها، ارزیابی دقیق تر مدل و مرور مراحل انجام شده، اهمیت دارد.

## ۲-۴-۶ استفاده

ساخت مدل معمولا آخرین مرحله ی پروژه نیست. مدل باید به صورتی در آید که برای کاربر قابل استفاده باشد.

## ۲-۵ دیکلاسترینگ

دیکلاستر کردن لرزه ها به معنای جداسازی و مشخص کردن پیش لرزه ها، لرزه اصلی و پس لرزه ها است که به صورت گسترده ای در زلزله شناسی به خصوص در مباحث تحلیل خطر لرزه ای و تهیه مدل‌های پیش‌بینی به کار می رود. روش‌های متعددی برای دیکلاسترینگ داده های لرزه ای پیشنهاد شده است که تا به امروز پرکاربردترین این روش‌ها، الگوریتم‌های گاردنر ونوپوف (۱۹۷۴) و ریزنبرگ (۱۹۸۵) بوده اند [۳۳, ۳۴]. از مهمترین دلایل استفاده از این الگوریتم‌ها در دسترس بودن کدهای آنها و سادگی استفاده از این الگوریتم‌ها می باشد.

## ۲-۵-۱ روش گاردنر نوپوف (۱۹۷۴)

این روش به الگوریتم پنجره ای<sup>۸</sup> موسوم می باشد. پیش لرزه ها توالی لرزه های رخ داده برای هر لرزه با بزرگای M می باشند که در بازه زمانی T(M) قبل از لرزه اصلی و در فاصله L(M) رخ داده باشند. پس لرزه ها نیز از رفتاری مشابه پیش لرزه ها تبعیت می کنند و به صورت لرزه های رخ داده در بازه های زمانی و مکانی T(M) و L(M) پس از رخداد اصلی معرفی می شوند. در نتیجه پنجره های زمان-مکان براساس بزرگترین لرزه رخ داده طی توالی لرزه ها می باشند. اساس این روش بر پواسونی بودن توزیع داده می باشد. معمولا این الگوریتم پس لرزه های مستقیم یعنی پس لرزه های ایجاد شده در اثر لرزه اصلی را از پس لرزه

---

<sup>۸</sup> Window method

های غیر مستقیم یعنی پس لرزه های ایجاد شده توسط پس لرزه های مستقیم، متمایز نمی کند. بدین ترتیب فهرست خام زمین لرزه ها را اغلب می توان به دو بخش تقسیم کرد. یک بخش پیش زمینه پواسونی مستقل از زمان و بخش دیگر وابسته به زمان است. در (جدول ۲-۴) و (جدول ۲-۵) طول و مدت این پنجره ها را بر اساس نوپوف و گاردنر (۱۹۷۲) [۳۵] و گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) [۳۳] ارائه شده است. رابطه ۱ نیز نحوه محاسبه این پنجره های زمانی و مکانی بر اساس گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) نشان می دهد. (رابطه ۲-۲) و (رابطه ۲-۳) نیز رابطه های پیشنهاد شده توسط گروناتال (۱۹۹۱) و اورهامر (۱۹۸۶) را نشان می دهند [۳۶].

(جدول ۲-۴) طول مدت پنجره های زمانی و مکانی [۳۵]

M	L(km)	T(days)
≤ 4.99	20	100
5.0-5.49	40	150
5.5-5.99	70	200
6.0-6.49	100	280
6.5-6.99	180	400
7.0-7.49	300	650
7.5-7.99	400	1000
8.0-8.49	700	1000
8.5-8.99	900	1000

جدول ۵-۲ طول مدت پنجره های زمانی و مکانی [۳۳]

M	L(km)	T(days)
2.5	19.5	6
3	22.5	11.5
3.5	26	22
4	30	42
4.5	35	83
5	40	155
5.5	47	290
6	54	510
6.5	61	790
7	70	915
7.5	81	960
8	94	985

$$d = 10^{0.1238*M + 0.983} [km] \quad , \quad t = \begin{cases} 10^{0.032*M + 2.7389} & , \text{ if } M \geq 6.5 \\ 10^{0.5409*M - 0.547} & , \text{ else} \end{cases} \quad [days] \quad (\text{رابطه ۱-۲})$$

$$d = e^{1.77 + (0.037 + 1.02M)^2} [km] \quad , \quad t = \begin{cases} e^{3.95 + (0.62 + 17.32M)^2} & , \text{ if } M \geq 6.5 \\ 10^{2.8 + 0.024M} & , \text{ else} \end{cases} \quad [days] \quad (\text{رابطه ۲-۲})$$

$$d = e^{-1.024 + 0.804*M} [km] \quad , \quad t = e^{-2.87 + 1.235*M} [days] \quad (\text{رابطه ۳-۲})$$

## ۲-۵-۲ توزیع پواسون

در آمار و احتمال توزیع پواسون (یا قانون پواسون اعداد کوچک) یک توزیع احتمالی گسسته است که احتمال اینکه یک حادثه به تعداد مشخصی در فاصله زمانی یا مکانی ثابتی رخ دهد را شرح می دهد؛ به شرط اینکه این حوادث با نرخ میانگین مشخصی و مستقل از زمان آخرین حادثه رخ دهند. (توزیع پواسون همچنین برای تعدادی از حوادث در فاصله های مشخص دیگری مثل مسافت، مساحت یا حجم استفاده شود) این توزیع برای اولین بار توسط پواسون معرفی و به ضمیمه تئوری احتمال او در سال ۱۸۳۸ در یکی از کتابهایش بنام (جستاری در احتمال قضاوت ها در مسائل کیفری و حقوقی) چاپ شد [۳۷]. این اثربیشتر بر متغیرهای تصادفی خاصی تاکید می کند مانند متغیر تصادفی  $N$  که تعداد ظهورها (یا ورودهای) گسسته را که در فاصله زمانی مشخصی اتفاق می افتند را می شمارد.

اگر امید ریاضی ظهورها در این بازه  $\lambda$  باشد، احتمال اینکه دقیقا  $k$  ظهور داشته باشیم  $k$  عدد صحیح نامنفی است، ( $k=0,1,2,3,\dots$ ) برابر است با [۳۷]:

$$f(k; \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (\text{رابطه ۲-۴})$$

بطوریکه

- پایه لگاریتم طبیعی است ( $e=2.71828$ )
- $K$  تعداد ظهورهای یک حادثه است که احتمالش با تابع فوق داده شده است.
- $\lambda$  یک عدد مثبت حقیقی و برابر با امید ریاضی ظهورها در طول بازه داده شده است. برای مثال اگر بطور میانگین در هر دقیقه ۴ حادثه اتفاق بیفتد و احتمال اتفاق افتادن یک حادثه در فاصله زمانی ۱۰ دقیقه ای را بخواهیم، باید از توزیع پواسون با  $\lambda = 10 \times 4 = 40$  استفاده کنیم.

تابع فوق به عنوان تابعی از  $k$  یک تابع جرم احتمال است. توزیع پواسون می تواند بعنوان تقریبی از توزیع دو جمله ای در نظر گرفته شود. توزیع پواسون می تواند برای سیستم هایی بکار برده شود که دارای تعداد وقایع بسیار زیاد هستند و احتمال وقوع هر واقعه بسیار کم است. داده های لرزه ای دارای یک بخش پواسونی می باشند.

## ۶-۲ تکنیک خوشه بندی K-means

الگوریتم خوشه بندی K-Means یکی از ساده ترین و البته مشهورترین الگوریتم های یادگیری بدون نظارت است. این الگوریتم از روش خوشه بندی افزایی استفاده می کند. در K-Means عملاً مجموعه داده ها به تعداد خوشه های از پیش تعیین شده تقسیم می شوند. ایده اصلی در این الگوریتم تعریف  $K$  مرکز برای هر یک از خوشه هاست. بهترین انتخاب برای مراکز خوشه ها در الگوریتم K-Means قرار دادن آنها (مراکز) در فاصله هر چه بیشتر از یکدیگر است. پس از آن هر رکورد در مجموعه داده به نزدیک ترین مرکز خوشه تخصیص می یابد. مراحل مختلف الگوریتم خوشه بندی K-Means در ادامه مطلب ارائه شده است [۳۷].

ابتدا  $K$  به صورت تصادفی به عنوان مراکز خوشه ها انتخاب می شود.

هر رکورد در مجموعه داده به خوشه ای که مرکز آن خوشه کمترین فاصله تا آن رکورد را دارا است، نسبت داده می شود. معیار محاسبه فاصله در این مرحله هر معیاری می تواند باشد. این معیار با ماهیت مجموعه داده ارتباط تنگاتنگی دارد. مشهورترین معیارهای محاسبه فاصله رکوردها در روش های خوشه بندی معیارهای فاصله اقلیدسی و فاصله همینگ هستند که به ترتیب در روابط (رابطه ۵-۲) و (رابطه ۶-۲) ارائه شده اند.

$$d_E(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} \quad (\text{رابطه ۵-۲})$$

$$d_H(x, y) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k| \quad (\text{رابطه ۶-۲})$$

در روابط فوق  $n$  بیانگر تعداد ابعاد مسأله خوشه‌بندی یا همان تعداد ویژگی‌هاست. همچنین  $x_k$  و  $y_k$  هم به ترتیب مبین  $k$ امین ویژگی‌های هر دو رکورد  $x$  و  $y$  هستند.

پس از تخصیص تمام رکوردها به یکی از خوشه‌های تشکیل شده، برای هر خوشه یک نقطه جدید به‌عنوان مرکز محاسبه می‌شود (میانگین نقاط متعلق به هر خوشه).

مشکلات الگوریتم خوشه‌بندی K-Means را می‌توان به‌صورت ذیل برشمرد:

جواب نهایی به انتخاب مراکز اولیه خوشه‌ها وابستگی بسیاری دارد.

روالی مشخص برای محاسبه مراکز اولیه خوشه‌ها وجود ندارد.

اگر در تکراری از الگوریتم، تعداد اعضای خوشه‌ای صفر شد (البته به‌جز مرکز خوشه) راهی برای تغییر و بهبود این وضعیت وجود ندارد.

در این روش فرض شده است که تعداد خوشه‌ها از ابتدا مشخص است. اما معمولاً در بسیاری از مسائل کاربردی تعداد خوشه‌ها مشخص نیست.

اهمیت انتخاب مقدار اولیه مراکز خوشه‌ها در موفقیت الگوریتم K-Means بسیار کلیدی است. حالتی را متصور شوید که در آن تعداد ده خوشه وجود دارند که به‌صورت دو به دو در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. در این اجرای الگوریتم K-Means در دو حالت توضیح داده می‌شود. در حالت اول مراکز ابتدایی خوشه‌ها به‌گونه‌ای تعیین شده‌اند که برای هر جفت خوشه دو مرکز در نظر گرفته شده است. در این حالت با وجود اینکه نیمی از خوشه‌ها، مرکزی در ابتدای کار ندارند اما در تکرارهای بعدی الگوریتم K-Means برای هر کدام از ده خوشه مجموعه داده، یک نقطه به‌عنوان مرکز آن خوشه تعیین شده است. در حالت دوم مقداردهی مراکز ابتدایی به‌گونه‌ای دیگر صورت پذیرفته است. همچنین می‌توان برای برخی از جفت خوشه‌ها تا سه نقطه به‌عنوان نقاط آغازین در نظر گرفت (توجه کنید که در نظر گرفتن نقاط ابتدایی در K-Means به‌صورت تصادفی انجام می‌شود). می‌توان تصور نمود که الگوریتم K-Means در یافتن مراکز خوشه‌های مجموعه داده

کاملاً ناموفق عمل خواهد کرد. آنچه در این مثال جالب توجه است این است که منطق اجرایی الگوریتم K-Means در دو مثال مذکور کاملاً با یکدیگر مشابه است و فقط بخشی که در دو مثال متفاوت است مراکز ابتدایی است که در آغاز الگوریتم K-Means به صورت تصادفی تعیین شده‌اند.

یکی از راه‌های رفع مشکل انتخاب مراکز ابتدایی الگوریتم K-Means پیشنهاد می‌شود، اجرای چندباره الگوریتم است. همچنین برای تعیین مقدار اولیه مراکز خوشه‌ها می‌توان از نمونه‌برداری و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده کرد. راه حل دیگر مشکل انتخاب نقاط آغازین، یافتن بیش از K مقدار اولیه برای مراکز خوشه‌ها و سپس انتخاب مرکز خوشه‌ها در امتداد مرکز خوشه‌ای یافته شده است. راهکار دیگر حل مشکل نقاط آغازین این است که مقداری را انتخاب کنیم که بیشترین حالت جداکنندگی را دارد. یکی دیگر از مشکلات الگوریتم K-Means امکان تولید خوشه‌های خالی توسط این الگوریتم است. در ادامه تعدادی از استراتژی‌های برخورد با این مشکل ارائه شده‌اند:

نقطه‌ای که دورترین نقطه از مرکز خوشه جاری است را به‌عنوان خوشه جدید انتخاب کنید. یکی از نقاط خوشه‌ای را که مجموع فاصله نقاطش تا مرکزش از سایر خوشه‌ها بیشتر است، (کم‌کیفیت‌ترین خوشه) به‌عنوان مرکز جدید خوشه انتخاب نمایید.

اگر چندین خوشه خالی وجود داشته باشد، روش‌های بالا چندین بار تکرار خواهند شد. در الگوریتم K-Means برای بهبود کیفی خوشه‌های تولیدشده، در پایان اجرای الگوریتم اقدام به انجام عملیات‌های پس‌پردازش ذیل می‌نماییم:

حذف خوشه‌های کوچک که ممکن است ارائه‌دهنده نقاط پرت باشند. شکستن خوشه‌های سست (خوشه‌هایی که مجموع فواصل نقاطشان تا مرکزشان از سایر خوشه‌های دیگر بیشتر است).

ادغام خوشه‌های مشابه یا نزدیک (خوشه‌هایی که مجموع فواصل نقاطشان تا مرکزشان از سایر خوشه‌های



دیگر کمتر است).

مراحل فوق را می‌توان طی فرایند خوشه‌بندی انجام داد.

پس از رفع مشکل نحوه انتخاب نقاط آغازین باید محدودیت‌های الگوریتم K-Means را در خوشه‌بندی نقاط

مورد توجه قرار دهیم. این محدودیت‌ها در دو وضعیت رخ می‌دهند:

هنگامیکه خوشه‌ها متفاوت هستند، الگوریتم دچار مشکل خواهد شد. تفاوت خوشه‌ها در سه حالت می‌تواند

رخ دهد که عبارتند از:

- اندازه‌های متفاوت خوشه‌ها
- تراکم‌های گوناگون خوشه‌ها
- اشکال غیرکروی خوشه‌ها

برای حل این مشکلات پارامتر K را در الگوریتم بزرگ‌تر از تعداد واقعی خوشه‌ها در نظر می‌گیریم. این کار

سبب برطرف شدن سه مشکل ذکر شده مرتبط با شکل خوشه‌ها می‌شود.

وقتی در مجموعه داده‌ها رکوردهای پرت وجود داشته باشد، الگوریتم با مشکل مواجه خواهد شد. جهت رفع

این مشکل از الگوریتم K-Medoids استفاده می‌شود.

## ۷-۲ شبکه عصبی مصنوعی

### ۱-۷-۲ تعریف شبکه عصبی مصنوعی

هوش محاسباتی<sup>۹</sup> به معنای استخراج هوش، دانش، الگوریتم یا نگاشت از دل محاسبات عددی بر اساس ارائه به روز داده‌های عددی است. شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع از ساختار درهم و توده‌ای مغز پستانداران الهام گرفته شده است که در آن میلیون‌ها سلول عصبی (نرون) از طریق ارتباطاتی که با هم دارند (سیناپس‌ها) به حل مسائل یا ذخیره اطلاعات می‌پردازند. این شبکه‌ها مجموعه‌ای از مدل‌های متفاوتند که توسط ریاضیدانان و مهندسين برای شبیه سازی بخشی از عملکرد مغز پیشنهاد شده‌اند. ساختار اصلی شبکه‌های عصبی مصنوعی بر اساس دو جزء اصلی گره‌ها (نرون‌ها) و ارتباطات وزن دار (سیناپس‌ها) می‌باشد [۳۸].

### ۲-۷-۲ تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی

دیدگاه جدید شبکه‌های عصبی در دهه ۴۰ قرن بیستم شروع شد. زمانیکه والتر پیتز<sup>۱۰</sup> و وارن مک کلوج<sup>۱۱</sup> نشان دادند که شبکه‌های عصبی در اصل می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه نمایند. کار این افراد را می‌توان نقطه شروع حوزه علمی شبکه‌های عصبی مصنوعی نامید. این موضوع را دونالد هب<sup>۱۲</sup> ادامه داد و عمل شرط‌گذاری مکانیسمی<sup>۱۳</sup> را جهت یادگیری نرون‌های بیولوژیکی ارائه نمود. نخستین کاربرد علمی شبکه‌های عصبی مصنوعی در اواخر دهه ۵۰ قرن بیستم مطرح شد؛ زمانیکه فرانک روزنبلات<sup>۱۴</sup> در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون را معرفی نمود. روزنبلات و همکارانش شبکه‌ای ساختند که قادر بود الگوها را از هم

<sup>۹</sup> - Computational Intelligence (CI)

<sup>۱۰</sup> - Walter Pitts

<sup>۱۱</sup> - Warren McCulloch

<sup>۱۲</sup> - Donald Hebb

<sup>۱۳</sup> - Conditioning

<sup>۱۴</sup> - Frank Rosenblatt

تشخیص دهد. در همین زمان بود که برنارد ویدرو<sup>۱۵</sup> در سال ۱۹۶۰ شبکه عصبی تطبیقی آدلاین را با قانون یادگیری جدید مطرح نمود که از لحاظ ساختار شبیه شبکه پرسپترون می‌باشد. پیشرفت شبکه‌های عصبی مصنوعی تا دهه ۷۰ قرن بیستم ادامه یافت. در سال ۱۹۷۲ تئو کوهنن<sup>۱۶</sup> و جیمز اندرسون به طور مستقل و بدون اطلاع از هم شبکه‌های جدید را معرفی نمودند که قادر بودند به عنوان ذخیره‌ساز عمل نمایند. سپس در دهه ۸۰ و با ظهور مجدد شبکه‌های عصبی مصنوعی دو نگرش جدید قابل تامل می‌باشد. نخست استفاده از مکانیسم تصادفی جهت توضیح یک طبقه وسیع از شبکه‌های برگشتی<sup>۱۷</sup> که می‌توان آن‌ها را جهت ذخیره‌سازی اطلاعات بکار برد. دومین نکته مهم که کلید شبکه‌های عصبی مصنوعی در دهه ۸۰ شد الگوریتم پس انتشار خطا بود که توسط دیوید راملهارت<sup>۱۸</sup> و جیمز مک‌کلند<sup>۱۹</sup> در سال ۱۹۸۶ مطرح گردید. با بروز این دو ایده شبکه‌های عصبی مصنوعی متحول شدند [۳۸].

### ۳-۷-۲ مدل ریاضی یک نرون

نرون کوچکترین واحد یک شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد که عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. بدنه هر سلول عصبی از دو قسمت تشکیل یافته است. بخش اول را تابع ترکیب می‌گویند. وظیفه این تابع ترکیب، ترکیب تمام ورودی‌ها و تولید یک عدد می‌باشد. در بخش دوم سلول، تابع انتقال قرار دارد که به آن تابع تحریک نیز می‌گویند. در واقع تا زمانیکه ورودی‌های ترکیب شده و وزن‌دار شده به یک حد آستانه‌ای خاص نرسند مقدار خروجی متناسبی تولید نمی‌گردد [۳۹].

بردار ورودی به شبکه با  $P$  نمایش داده می‌شود. اسکالره‌های  $p_i$  (که  $i = 1, 2, \dots, R$ ) عناصر بردار  $P$  هستند. مجموعه اوزان  $w_i$ ، عناصر بردار وزنی  $W$  را تشکیل می‌دهند. در نوع خاصی از شبکه عصبی هر عنصر از بردار

---

<sup>۱۵</sup> - Bernard Widrow

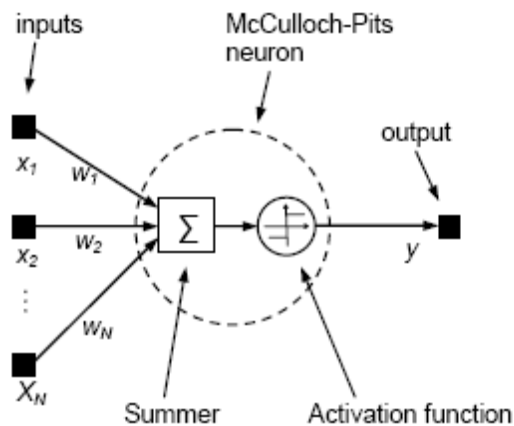
<sup>۱۶</sup> - Teo Kohonen

<sup>۱۷</sup> - Recurrent

<sup>۱۸</sup> - Daivid Rummelhart

<sup>۱۹</sup> - Jams Mcland

P در عنصر متناظر با آن از بردار W ضرب می‌شود. هر نرون یک جمله بایاس b دارد که با حاصل ضرب بردار وزن w در بردار p جمع می‌شود.



شکل ۴-۲ مدل ریاضی نرون [۴۰]

ورودی خالص n (یا همان net) مطابق فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$a = f(n) = n \quad (\text{رابطه ۷-۲})$$

$$n = \sum_{i=1}^R p_i w_i + b = W.P + b \quad (\text{رابطه ۸-۲})$$

$$P = [p_1, p_2, \dots, p_R]^T \quad (\text{رابطه ۹-۲})$$

$$W = [w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1R}] \quad (\text{رابطه ۱۰-۲})$$

در نهایت خروجی نرون به صورت زیر خواهد بود

$$a = f(W.P + b) \quad (\text{رابطه ۱۱-۲})$$

تعداد عناصر بردار ورودی از صورت مسأله تعیین می‌گردند. به بیان دیگر R دقیقاً برابر تعداد متغیرهای

مستقل موثر در تعیین متغیر وابسته می‌باشد.

## ۴-۷-۲ توابع محرک یا انتقال [۳۹]

تابع محرک  $f$  می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد. تابع محرک براساس نیاز خاص حل یک مسأله-مسأله‌ای که قرار است به وسیله شبکه عصبی حل گردد- انتخاب می‌شود. هر تابع محرک دامنه خروجی نرون را محدود می‌سازد به این علت به این توابع، توابع محدودساز<sup>۲۰</sup> یا فشرده ساز<sup>۲۱</sup> نیز می‌گویند. در عمل هنگام توسعه شبکه‌های عصبی مصنوعی تعداد محدودی از توابع محرک مورد استفاده قرار می‌گیرند چهار نمونه از معمول‌ترین توابع مورد استفاده در حوزه شبکه عصبی مصنوعی عبارتند از: purelin, tansig, logsig, radbas که در زیر شرح داده شده است:

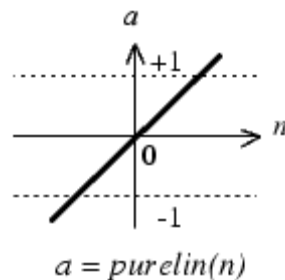
۱-۴-۷-۲ تابع محرک خطی purelin

خروجی این تابع برابر ورودی آن است.

$$a = f(n) = n$$

(رابطه ۲-۱۲)

که در اینجا  $n$  همان ورودی خالص نرون یا net می‌باشد. تابع خطی در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. نرون‌های خروجی شبکه‌های بکار رفته معمولاً دارای این نوع تابع انتقال می‌باشند.



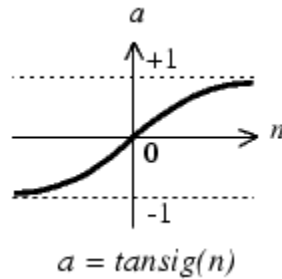
<sup>۲۰</sup> - Limiter

<sup>۲۱</sup> - Squashing

شکل ۵-۲ تابع محرک خطی [۴۱]

۲-۴-۷-۲ تابع محرک تانژانت هایپربولیک tansig

دامنه این تابع تمامی اعداد را شامل و در خروجی مقادیر بین -۱ تا ۱ را ایجاد می نماید. (شکل ۶-۲)



شکل ۶-۲ تابع محرک تانژانت هایپربولیک [۴۱]

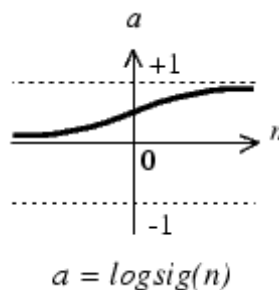
$$a = f(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1$$

(رابطه ۱۳-۲)

تابع محرک سیگموئیدی logsig

شکل کاربردی خاصی که اغلب برای تابع محرک سیگموئیدی لگاریتمی استفاده می گردد به صورت زیر است که حاصل آن  $a \in [0, 1]$

است. (شکل ۷-۲)

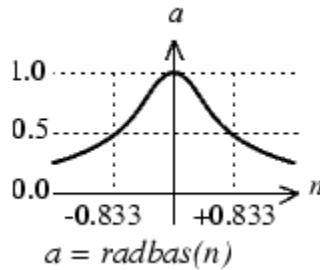


شکل ۷-۲ تابع محرک سیگموئیدی [۴۱]

$$a = f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$$

(رابطه ۱۴-۲)

تابع گوسین شعاعی در شکل زیر نشان داده شده است (شکل ۲-۸). دامنه این تابع تمامی اعداد را شامل و در خروجی مقادیر بین ۰ تا ۱ را ایجاد می نماید.



شکل ۲-۸ تابع محرک شعاعی [۴۱]

$$a = f(n) = \exp(-n^2)$$

(رابطه ۲-۱۵)

توابع انتقال سیگموئیدی و تانژانت هایپربولیک در شبکه‌های عصبی موارد استفاده زیادی دارد. به عنوان مثالی از این کاربردها می توان به شبکه‌های عصبی چند لایه با قانون یادگیری پس انتشار خطا (BP) اشاره کرد. این تابع انتقال به دلیل مشتق پذیر بودنش عموماً در شبکه‌های پس انتشار خطا بکار می‌رود. اما کاربر می تواند این تابع را با سایر توابع مشتق پذیر جایگزین نماید. شیب تابع تانژانت هایپربولیک بیشتر از تابع سیگموئیدی است بنابراین نسبت به تغییرات کوچک در مقادیر ورودی حساس است و این یکی از مزیت هایش نسبت به تابع سیگموئیدی است. تابع انتقال شعاعی نیز برای شبکه عصبی شعاعی استفاده می‌شود. اکنون که مدل ریاضی نرون مصنوعی معین گردید نوبت به بررسی چگونگی ارتباط میان نرون‌ها در قالب ساختار شبکه می‌باشد. تعداد ساختارهای پیشنهاد شده شبکه‌های عصبی مصنوعی بسیار زیاد می‌باشد و نمی‌توان انتظار داشت کسی با تمام آن‌ها آشنایی داشته باشد.

## ۵-۷-۲ انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی به دو دسته پیش‌خور<sup>۲۲</sup> و برگشتی<sup>۲۳</sup> تقسیم بندی می‌گردند

### ۱-۵-۷-۲ شبکه‌های پیش‌خور

در یک شبکه پیش‌خور، نرون‌ها به صورت لایه‌ای گروه‌بندی می‌شوند. سیگنال‌ها از لایه ورودی به طرف لایه خارجی با اتصالات تک‌جهته جریان پیدا می‌کنند. نرون‌ها از یک لایه به لایه بعدی در داخل خود لایه، متصل می‌شوند. شبکه‌های پیش‌خور بیشتر به صورت نقشه کشی استاتیکی بین یک فضای ورودی و یک فضای خروجی استفاده می‌شوند. خروجی در یک لحظه فقط یک تابعی از ورودی در همان لحظه است [۴۲].

#### • شبکه چند لایه پروسپترون

MLP شاید شناخته شده‌ترین نوع شبکه‌های پیش‌خور می‌باشند. در اکثر کارهای انجام شده در حوزه سیستم‌های غیرخطی از سیستم‌های پیش‌خور مثل MLP استفاده شده است. این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلول‌های عصبی که اغلب زیاد هم نیستند یک نگاشت غیرخطی را با دقت دلخواه انجام دهند. شکل ۹-۲ یک MLP را نشان می‌دهد. این شبکه یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا بیشتر لایه مخفی یا میانی دارد. شبکه‌های آدلاین<sup>۲۴</sup> و مادالاین<sup>۲۵</sup> از جمله شبکه‌های پیش‌خور هستند [۴۲].

---

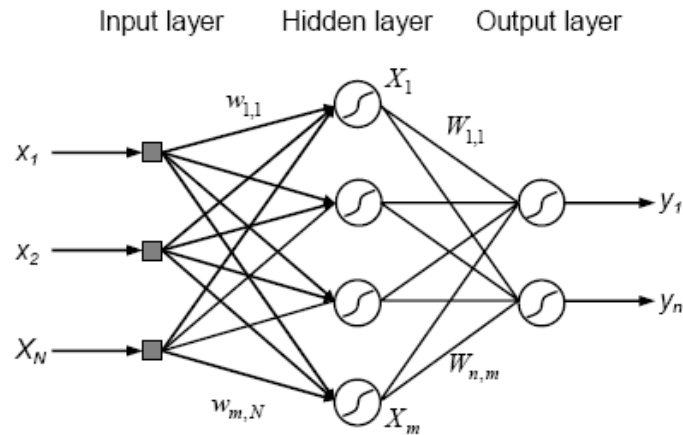
<sup>۲۲</sup> - Feed Forward

<sup>۲۳</sup> - Feed Back

<sup>۲۴</sup> - Adaline

<sup>۲۵</sup> - Madaline





شکل ۹-۲ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه [۴۳]

## ۲-۵-۷-۲ شبکه‌های برگشتی

در شبکه‌های برگشتی حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون‌های همان لایه یا لایه قبل وجود دارد. شبکه‌های برگشتی بهتر می‌توانند رفتار مربوط به ویژگی‌های زمانی و پویایی سامانه را نشان دهند. در این شبکه‌ها که با توجه به ماهیت پویایی مسأله مطرح می‌گردند بعد از مرحله یادگیری شبکه هم پارامترها تغییر کرده تصحیح می‌شوند. نوع خاصی از شبکه‌های برگشت پذیر شبکه هاپفیلد<sup>۲۶</sup> می‌باشد [۴۴].

### • روش پس انتشار خطا (BP) [۴۴]

روش یادگیری پس انتشار خطا<sup>۲۷</sup> خطا مبتنی بر قانون یادگیری اصلاح خطا<sup>۲۸</sup> می‌باشد. از قانون یادگیری پس انتشار خطا برای آموزش شبکه‌های عصبی چند لایه پیش‌خور استفاده می‌کنند. قانون پس انتشار خطا از دو مسیر اصلی تشکیل می‌گردد، مسیر اول به مسیر رفت (Forward path) موسوم می‌باشد که در آن بردار

<sup>۲۶</sup> - Hopfield

<sup>۲۷</sup> - Back Propagation

<sup>۲۸</sup> - Error Correction Learning Rule

ورودی به شبکه MLP اعمال شده و تاثیراتش از طریق لایه‌های میانی به لایه‌های خروجی انتشار می‌یابد. بردار تشکیل یافته در لایه خروجی، پاسخ واقعی شبکه MLP را تشکیل می‌دهد. در این مسیر پارامترهای شبکه عصبی ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند. مسیر دوم به مسیر برگشت موسوم می‌باشد. در این مسیر برعکس مسیر رفت، پارامترهای شبکه تنظیم می‌گردند. این تنظیم مطابق قانون اصلاح خطا انجام می‌گیرد. سیگنال خطا در لایه خروجی شبکه تشکیل می‌گردد.

## ۶-۷-۲ الگوریتم‌های آموزش شبکه عصبی MLP [39]

بعد از مقداردهی اولیه به وزن‌ها و بایاس‌ها، شبکه آماده آموزش می‌باشد. شبکه می‌تواند برای تقریب تابع (رگرسیون غیرخطی)، ارتباط بین الگوها و طبقه‌بندی بکار رود. فرآیند آموزش به مجموعه‌ای از مثال‌های مناسب رفتار شبکه (ورودی‌ها و هدف‌ها) نیاز دارد. در طول مدت آموزش وزن‌ها و بایاس‌ها طوری تنظیم می‌شوند که تابع عملکرد شبکه مینیمم گردد.

از جمله‌ی آن‌ها گرادیان نزولی و گرادیان نزولی با مومنتم می‌باشد. این دو روش معمولاً برای مسائل عملی کند می‌باشند. الگوریتم‌های سریعتر عبارتند از: گرادیان مرکب<sup>۲۹</sup>، شبه نیوتن<sup>۳۰</sup> و لونبرگ-مارکوات<sup>۳۱</sup>.

در کل می‌توان گفت برای مسائل تقریب تابع الگوریتم لونبرگ-مارکوات همگرایی سریعتری را ایجاد می‌کند. این مزیت زمانی قابل توجه می‌گردد که آموزش خیلی دقیق نیاز باشد. در بسیاری از حالات این الگوریتم قادر است به کمترین مربع میانگین خطا در میان سایر الگوریتم‌ها دست یابد. اگرچه با افزایش تعداد نرون‌ها در شبکه مزیت الگوریتم مذکور کاهش می‌یابد. در مجموع عملکرد الگوریتم لونبرگ-مارکوات در مسائل تشخیص الگو بسیار ضعیف می‌باشد. الگوریتم گرادیان مرکب نسبت به سایر الگوریتم‌ها به حافظه کمتری نیاز دارد. الگوریتم شبه نیوتنی نیز مشابه الگوریتم لونبرگ-مارکوات بوده، اما نسبت به آن به حافظه بیشتری نیاز

<sup>۲۹</sup> - Conjugate Gradient

<sup>۳۰</sup> - Qusi-Newton

<sup>۳۱</sup> - Levenberg-Marquat

دارد. محاسبات مورد نیاز نیز با افزایش شبکه افزایش می‌یابد. روش الگوریتم یادگیری متغیر نسبت به دیگر روش‌ها کندتر، اما حافظه مورد نظر در آن مشابه به الگوریتم تطبیقی پس‌انتشار می‌باشد.

۲-۷-۶-۱ تعمیم پذیری

یک شبکه عصبی طراحی شده از قدرت تعمیم خوبی برخوردار است، اگر نگاشت ورودی-خروجی از صحت خوبی برخوردار باشد، و برای حالتی که ورودی شبکه از الگوی ورودی یادگیری، انحراف جزئی داشته باشد درست عمل کند. یک شبکه مطلوب داده‌های یادگیری را آن قدر یاد می‌گیرد که بتواند از عهده عمل درونیابی برآید، نه اینکه حفظ نماید (overtraining). طوری که در مورد خطاهای کوچک آن قدر حساس باشد که نتواند به خوبی عمل تعمیم را انجام دهد. با استفاده از روش‌های زیر می‌توان از پدیده overtraining اجتناب نمود [۴۰].

- استفاده از داده‌های کافی و متناسب با تعداد پارامترهای (وزن‌ها و بایاس‌ها) مدل
- انتخاب مدل مناسب با حداقل تعداد وزن‌های ممکن
- آموزش شبکه برای تعدادی از دوره‌های تکرار بهینه.

آموزش بیش از حد مدل با افزایش تعداد دوره‌های تکرارپذیری<sup>۳۳</sup>، خطای شبکه را در مرحله آموزش کاهش و برعکس در مرحله آزمایش افزایش می‌دهد. (شکل ۲-۱۰)



شکل ۲-۱۰ تغییرات خطای شبکه در مراحل آموزش و آزمایش در صورت وجود پدیده overtraining

<sup>۳۳</sup> - Epoch

## ۸-۲ پارامترهای لرزه خیزی

لرزه خیزی هر منطقه را می توان با بررسی پراکندگی تعداد لرزه هایی که در یک دوره مشخص زمانی در هر گستره لرزه خیز رخ می دهد نشان داد. برای این منظور استفاده از بسامد وقوع زمین لرزه ها به شکل تابعی از بزرگی آنها برای پژوهشهای زلزله شناسی بسیار مورد توجه و کارا بوده است. این پراکندگی به صورت توانی می باشد که بر طبق رابطه گوتنبرگ-ریشتر (۱۹۴۴) اینگونه تعریف می شود (رابطه ۲-۱۶):

$$\log N = a - bm$$

(رابطه ۲-۱۶)

که در آن  $N$  عدد تجمعی زمین لرزه های با بزرگی برابر یا بیش از  $m$  و ضرایب ثابت  $a$  و  $b$  مشهور به پارامترهای لرزه خیزی هستند. پارامتر اول یعنی ثابت رابطه یا مقدار  $a^{۳۳}$  سطح لرزه خیزی یا باروری لرزه ایی گستره را نشان می دهد. پارامتر دوم یا مقدار  $b^{۳۴}$  مرتبط با رژیم های تکتونیکی منطقه است که تغییرات آن می تواند نشانگر ناهمگنی ساختاری یا پخش مکانی تنش در منطقه باشد [45]. شکل ارتباط مقدار  $b$  را با رژیم های تکتونیکی مختلف، می توان از مقایسه مقدارهای کم آن در در مناطق مانند ریفیت های قاره ایی یا در مناطق با زلزله های عمیق و مقدارهای زیاد آن در پشته های میان اقیانوسی، آتشفشان ها و توفان های زلزله، دریافت. مقدار  $b$  معمولاً بین ۱/۴ تا ۰/۸ تغییر می کند و میانگین جهانی آن در حدود یک است. بررسی مقدار  $b$  از نظر آماری نشان دهنده فراوانی نسبی زلزله های بزرگ و کوچک است به طوری که مقدار  $b$  بزرگ تر نشانگر رخداد بیشتر زلزله های کوچک تر و مقدار  $b$  کوچک تر نشانگر رویداد بیشتر زلزله های بزرگ تر است. در مناطق آتشفشانی مقدار آن را تا ۲/۵ نیز برای توفان های زلزله محاسبه کرده اند. تفسیری که برای این رفتار ارائه شده است پخش رویدادهای کوچک در ارتباط با مهاجرت سیالات آذرین یا گسترش کالدرها

---

<sup>۳۳</sup> - a-value

<sup>۳۴</sup>-b-value

است. از سوی دیگر مشاهدات آزمایشگاهی نشان داده که در تنش های زیاد مقدار  $b$  کم و در تنش های کم مقدار  $b$  زیاد است. این مشاهدات با بیشتر محاسباتی که در مناطق گوناگون صورت گرفته است همخوانی دارد. ناگفته نماند به عقیده بیشتر زلزله شناسان، مقدار  $b$  با زمان، مکان و عمق تغییر می کند. مثلاً تغییر مقدار  $b$  روی قطعات گوناگون یک گسل احتمالاً نشانگر تنشگاه یا انباشت های متفاوت تنش در آنها و در نتیجه دوره های بازگشت متفاوت روی آنها است. در ضمن برای این پارامتر تغییرات مشخصی در دوره های معینی پیش از زلزله های بزرگ گزارش شده است [۴۶].

## ۱-۸-۲ روش محاسبه بزرگای کاملی $M_c$ و مقدار $b$

### ۱-۱-۸-۲ محاسبه بزرگای کاملی ( $M_c$ ) از روش نیکویی برازش

نیکویی برازش برای محاسبه بزرگی -بسامد مشاهداتی را با همین پراکندگی اما از نوع مصنوعی<sup>۳۵</sup> آن مقایسه می کند. این روش پارامتر نیکویی برازش را به صورت رابطه زیر تعریف کرده است [۴۷] (رابطه ۲-۱۷):

$$R(a, b, M_i) = 100 - \left\{ \frac{\sum |O_i - P_i|}{\sum N_i} \times 100 \right\} \quad (\text{رابطه ۲-۱۷})$$

که در آن  $O_i$  و  $P_i$  عدد تجمعی رویدادهای رخ داده و تولید شده در هر بازه (bin) بزرگی ( $i$ )،  $N_i$  تعداد همه رخ دادهای به کار رفته ( $O_i$ ) و  $R$  نیکویی برازش می باشد. جهت یافتن بزرگای کاملی که دارای درصدی از نیکویی برازش باشد باید رابطه را نرمال کنیم بدین صورت که آن را بر تعداد همه رخ دادهای تقسیم کنیم. در این صورت  $M_c$  اگر از  $M_c$  کوچکتر باشد نیکویی برازش کمتری را خواهد داشت و برعکس.

<sup>۳۵</sup> synthetic

برای محاسبه مقدار b روش‌های زیادی وجود دارد که از آن میان می‌توان به روش‌های کمینه مربع‌های وزن دار و حداکثر درستی اشاره کرد. روش اول خطی به منحنی پراکندگی بسامد-بزرگی برازش می‌کند. این خط از نقطه‌هایی که منحنی بیشینه انحنای خود را دارد آغاز و تا رویدادی با بیشترین بزرگی ادامه می‌یابد. روش دوم که روشی قدرتمند و متداول برای محاسبه مقدار b است را آکی (۱۹۶۵) و اتسو (۱۹۹۹) پیشنهاد کرده‌اند [۴۷] که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (رابطه ۲-۱۸):

$$b = \frac{\log(e)}{M_m - \left\{ \frac{M_c - dm}{2} \right\}} \quad (\text{رابطه ۲-۱۸})$$

که در آن  $M_m$  بزرگی متوسط،  $M_c$  بزرگی کاملی و  $dm$  بازه (bin) مورد استفاده برای محاسبه برای مقدار b است. در این روش مقدار b برای رخداد‌های بزرگتر از بزرگی کاملی محاسبه می‌شود.

## ۲-۸-۲ برآورد درست‌نمایی بیشینه

در علم آمار برآورد درست‌نمایی بیشینه که به طور خلاصه به آن MLE<sup>۳۶</sup> نیز گفته می‌شود، روشی است برای برآورد کردن پارامترهای یک مدل آماری. وقتی بر مجموعه‌ای از داده‌ها عملیات انجام می‌شود یک مدل آماری به دست می‌آید آنگاه درست‌نمایی بیشینه می‌تواند تخمینی از پارامترهای مدل ارائه دهد. روش درست‌نمایی بیشینه به بسیاری از روش‌های شناخته شده تخمین آماری شباهت دارد. در حالت کلی روش MLE در مورد یک مجموعه مشخص از داده‌ها عبارتست از نسبت دادن مقادیری به پارامترهای مدل که در نتیجه آن توزیعی تولید شود که بیشترین احتمال را به داده‌های مشاهده شده نسبت دهد یعنی مقادیری از پارامتر که تابع درست‌نمایی را بیشینه کند. یک سازو کار مشخص را برای تخمین ارائه می‌دهد که در مورد

<sup>۳۶</sup> maximum likelihood estimation

توزیع نرمال و بسیاری توزیع‌های دیگر به طور خوش‌تعریف عمل می‌کند. با این حال در بعضی موارد مشکلاتی پیش می‌آید از قبیل اینکه برآوردهای درست‌نمایی بیشینه نامناسب اند یا اصلاً وجود ندارند [۴۷].

# روش تحقیق



## ۳-۱ مقدمه

در این بخش به چگونگی انجام تحقیق به صورت مرحله به مرحله می پردازیم. در هر یک از مراحل روش های مورد استفاده را نام برده و چگونگی استفاده از آنها را نیز بیان می کنیم. تئوری های مربوط به هر یک از این روش ها در بخش پیشین شرح داده شدند و نتایج بدست آمده نیز در بخشهای آینده مورد بررسی قرار خواهند گرفت. ابتدا جریان کلی تحقیق را تیتروار اشاره و به چگونگی آنها اشاره می کنیم.

## ۳-۲ جریان کلی تحقیق

- جمع آوری داده ها
- پیش پردازش داده ها
- دیکلاسترینگ
- خوشه بندی
- مدلسازی
- بررسی پارامترهای لرزه خیزی
- مطالعات لرزه زمین ساختی
- بازدید صحرایی زون اصلی

### ۳-۳ جمع آوری داده ها

جهت انجام این تحقیق از کاتالوگهای تهیه شده در شبکه لرزه نگاری باند پهن کشور واقع در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله [۴۸] و بولتن های موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ برای ایران استفاده شد [۴۹]. همچنین در مواردی از بانک اطلاعاتی سازمان زمین شناسی آمریکا USGS نیز استفاده نمودیم [۵۰].

### ۳-۴ پیش پردازش داده ها

از آنجایی که از منابع گوناگون داده ای در این کار استفاده کرده ایم بر اساس استاندارد CRISP-DM مراحل مختلفی را برای پاکسازی و آماده سازی داده ها جهت ادامه کار انجام دادیم [32]

#### ۳-۴-۱ یکپارچه سازی

بدلیل آنکه منابع مختلف فرمت های متفاوتی برای ثبت داده ها داشتند باید در ابتدا داده ها در یک فرمت واحد آماده می کردیم از مهمترین این موارد تفاوت در ثبت بزرگی لرزه ها بود. برای انجام این کار تمامی واحدهای ثبت شده را (مانند Ml, Mn, Mb) واحد های مختلف ثبت بزرگی زلزله که در رابطه تعیین بزرگی زلزله متفاوت هستند) به صورت Mn یا بزرگای ناتلی در آوردیم.

#### ۳-۴-۲ حذف داده های معیوب

در مواردی که داده های ثبت شده دارای مقدارهای غیر واقعی بودند یا مقداری برایشان ثبت نشده بوده از بانک داده ای حذف شدند. در مواردی که نبود داده داشتیم با میانبایی جایگزین شدند.

### ۳-۵ دیکلاسترینگ داده ها

از میان روش های بسیاری که برای جدا کردن پیش لرزه ها از لرزه های اصلی و پس لرزه ها بودند روش

معتبر گاردنر نوپوف ۱۹۷۴ انتخاب شده و داده ها دیکلاستر گردیند. این کار با استفاده از کدهای نوشته شده توسط وسنر و همکاران ۲۰۱۲ در دانشگاه ETH زوریخ<sup>۳۷</sup> در برنامه متلب<sup>۳۸</sup> انجام شد [۵۱]. بانک پیش لرزه های کشور برای لرزه های با بزرگی بیشتر از ۵ جهت ادامه کار تهیه شد. همچنین نقشه این پیش لرزه ها تهیه گردید.

### ۳-۶ خوشه بندی

#### ۳-۶-۱ استفاده از شبکه خود سازمان دهنده SOM

برای اینکار ابتدا به سراغ شبکه خود سازمان دهنده کوهونن رفتیم تا به تعداد خوشه های مناسب جهت خوشه بندی برسیم چرا که در روش خوشه بندی K-means نیاز به عدد دقیق برای خوشه بندی داشتیم اما از آنجا که شبکه کوهونن نیازمند عدد دقیق ورودی برای تعداد خوشه نیست ابتدا برای تعیین اعداد اولیه از این الگوریتم استفاده کردیم. برای اینکار از نرم افزار SPSS Clementine استفاده کردیم که یکی از پر قدرت ترین نرم افزارهای داده کاوی می باشد.

#### ۳-۶-۲ استفاده از الگوریتم K-means و شاخص سیلوئت

بعد از دریافت تعداد خوشه های مناسب عملیات خوشه بندی را برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه توسط الگوریتم K-means انجام دادیم. در هر مرحله یعنی با هر یک از تعداد خوشه های تعیین شده شاخص سیلوئت را ارزیابی کردیم تا ببینیم کدامیک از خوشه بالاترین مقدار سیلوئت را دارا می باشد و در نهایت تعداد خوشه مناسب را بدست آوردیم. برنامه این کار در نرم افزار متلب نوشته و اجرا شد.

---

<sup>۳۷</sup> Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

<sup>۳۸</sup> MATLAB

### ۳-۶-۳ آزمون آماری

پس از آنکه تعداد خوشه مناسب را بدست آوردیم خوشه اصلی را از لحاظ بیشترین ارتباط پیش لرزه ها با لرزه اصلی معرفی نمودیم. سپس برای بدست آوردن اصلیتترین زون پیش لرزه ای کشور نتایج خوشه بندی را مورد آزمون های آماری دانکن و توکی قرار دادیم تا گروه بندی خوشه ها از لحاظ بزرگی پیش لرزه ها صورت گیرد.

در نهایت اصلیتترین خوشه پیش لرزه ای کشور را نشان دادیم و میزان اهمیت دیگر خوشه را نیز ارزیابی نمودیم.

### ۳-۶-۴ تهیه نقشه

با استفاده از نتایج خوشه بندی، کشور را از لحاظ اهمیت پیش لرزه ها یعنی میزان ارتباط پیش لرزه ها با لرزه اصلی و همچنین بزرگای آنها زون بندی نمودیم و اولین نقشه پیش لرزه های کشور را تهیه نمودیم و موقعیت هر خوشه را نشان دادیم.

### ۳-۷ مدل سازی

پس از مشخص شدن زون اصلی پیش لرزه ای کشور به سراغ تهیه مدل پیش بینی با استفاده از پیش نشانگر پیش لرزه رفتیم. برای اینکار به سراغ شبکه های عصبی مصنوعی رفتیم. برای این کار ابتدا داده را نرمال و عملیات کد نویسی را در نرم افزار متلب انجام دادیم. شبکه را برای حالت پیش بینی و طبقه بندی اجرا نمودیم و نتایج آنها را با یکدیگر مقایسه کردیم و در نهایت شبکه بهینه را معرفی نمودیم. از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی بزرگی لرزه های بالای ۵ و تعیین هفته های پر خطر استفاده کردیم.

### ۳-۸ مطالعات لرزه زمین ساختی و بررسی پارامترهای لرزه خیزی زون اصلی

در این مرحله منطقه هرمزگان یعنی اصلیتترین بخش زون انتقالی زاگرس-مکران را مورد مطالعه قرار دادیم و شرایط تکتونیکی آن را معرفی نمودیم. برای این کار از نقشه گسلهای ایران، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه، تصاویر ماهواره ای لندست ۷ منطقه استفاده کردیم. با استفاده از نرم افزار z-map به محاسبه پارامترهای لرزه خیزی زون اصلی یعنی بخشهای منطبق با دنباله انتهایی زون زاگرس پرداختیم. ابتدا برای هر سال از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ این پارامترها را مورد بررسی قرار دادیم و سپس این عمل را برای تمام سالهای مورد بررسی انجام دادیم و نتایج آنها را مورد مقایسه قرار دادیم. در نهایت نیز تفسیری از شرایط لرزه ای منطقه مورد بررسی ارائه نمودیم و پارامترهای اصلی منطقه را برشمردیم.

# مدلسازی

## ۱-۴ مقدمه

جهت انجام این تحقیق از کاتالوگهای تهیه شده در شبکه شتاب نگاری کشور واقع در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله و بولتن های موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ برای ایران استفاده شد [۴۸, ۴۹]. از آنجایی که از منابع گوناگون داده ای در این کار استفاده شده بر اساس استاندارد CRISP-DM مراحل مختلفی برای پاکسازی و آماده سازی داده ها جهت ادامه کار انجام گرفت [۳۲]. آماده سازی داده ها یکی از مهمترین بخش های این استاندارد جهت فرآیند داده کاوی است. در آخرین مرحله از آماده سازی داده ها بانک اطلاعاتی پیش لرزه های کشور برای زلزله های  $M_n > 5$  تهیه شد و در ادامه کار بر روی این پایگاه داده صورت گرفت. پس از تهیه داده های نهایی مدلسازی آغاز شد. برای انجام عملیات خوشه بندی ابتدا به سراغ شبکه خود سازمان دهنده SOM کوهونن رفته تا ارزیابی مناسبی از تعداد خوشه های مناسب صورت گیرد.

پس از آن الگوریتم k-means برای تعداد خوشه های مختلف اجرا گشت و بر طبق اندازه شاخص سیلوئت بهترین تعداد خوشه انتخاب شد.

و در نهایت الگوریتم k-means برای تعداد ۶ خوشه نهایی شده و خروجی های آن مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام خوشه بندی از لحاظ تعداد پیش لرزه ها برای هر لرزه خوشه ها با توجه به پارامتر بزرگی با استفاده از آزمونهای دانکن و توکی گروه بندی شدند تا مقایسه ای بین خوشه های مختلف از لحاظ بزرگی انجام شود. پس از تعیین زون اصلی مدلسازی جهت پیش بینی بر اساس پیش لرزه ها انجام شد.

## ۲-۴ آماده سازی داده ها

### ۱-۲-۴ یکپارچه سازی داده ها

تفاوت در ثبت بزرگی لرزه ها بدلیل اختلاف در فرمت های استفاده شده در هر یک از منابع داده ایجاب می

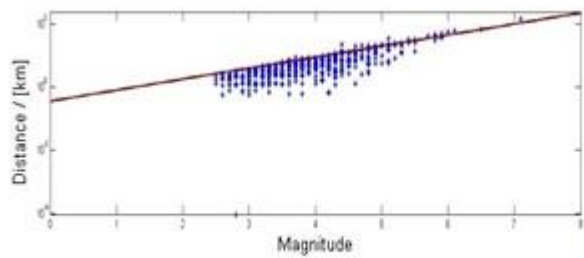
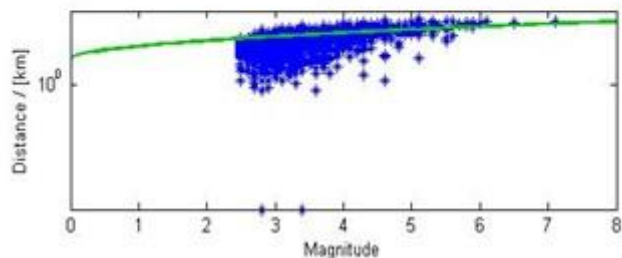
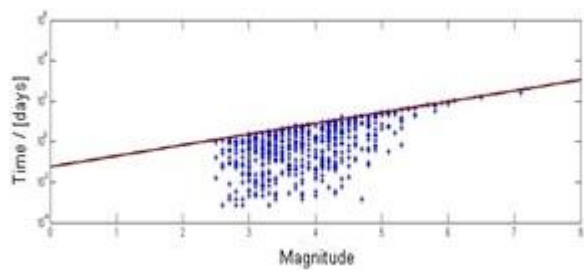
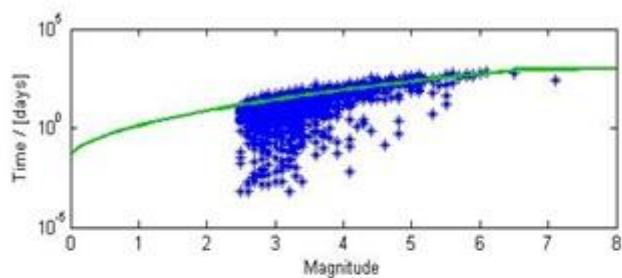
نماید که داده‌ها در یک فرمت یکسان آماده شوند. برای انجام این کار تمامی واحدهای ثبت شده (مانند MI, Mn, Mb) واحدهای مختلف ثبت بزرگی زلزله که در رابطه تعیین بزرگی زلزله متفاوت هستند) به صورت Mn یا بزرگای ناتلی در آمدند.

#### ۲-۲-۴ تعریف و جداسازی پیش لرزه‌ها

این مرحله مهمترین قسمت کار پیش پردازش داده‌ها بود. در این مرحله ابتدا لرزه‌های بزرگتر از  $Mn=5$  از مجموعه کل داده‌ها با تعریف فیلتر جداسازی شدند. پیش لرزه‌ها بر اساس نظر جونز و مولنار ۱۹۷۶ تعریف شدند [۱۴]. جونز و مولنار پیش لرزه‌ها را به صورت لرزه‌های رخ داده در شعاع تا ۱۰۰ کیلومتری رومرکز با توجه به گسل مولد لرزه اصلی در بازه ۹۰ روزه قبل از لرزه اصلی معرفی کردند. در ابتدا باید عملیات جداسازی پیش لرزه‌ها را بر روی کاتالوگ تهیه شده پیاده شود. دو الگوریتم اصلی و عملی برای جداسازی پیش لرزه‌ها را گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) و ریزنبرگ (۱۹۸۵) پیشنهاد کرده اند [۳۳, ۳۴]. اساس روش اول بر بررسی فرض پواسونی بودن رویدادها و روش دوم بر وابستگی آماری داده‌ها با استفاده از تابع هم‌میخت است. این تحقیق بر اساس روش اول یعنی تغییرهای گرونتال و همکاران (۱۹۹۱) انجام شده است، چون امکان استفاده از پنجره‌های حذف با طول زمانی -مکانی متغیر را ممکن می‌سازد. از مزایای روش پنجره‌ای متغیر آن است که: الف) نامتقارن بودن در حوزه زمان، امکان تعیین پیش‌لرزه‌ها فراهم می‌کند، ب) تغییر گستره زمانی -مکانی پنجره حذف و دو طرفه بودن زمانی آن نسبت به بزرگی زلزله اصلی پ) انعطاف پذیری ابعاد پنجره‌ها در دستیابی به پراکندگی پواسونی، ت) اطمینان بیشتر به تعیین همه پیش‌لرزه‌ها با توجه به ابعاد پنجره‌ها. برای انجام این کار از نرم افزار z-map با استفاده از کدهای تهیه شده توسط وسنر و همکاران در دانشگاه ETH زوریخ انجام شد [۵۱]. بدین ترتیب همانگونه که در شکل ۴-۱ و شکل ۴-۲ نشان داده شده بانک پیش لرزه‌ای و همچنین نقشه پیش لرزه‌های کشور تهیه شد. نقشه نشانگر چگالی

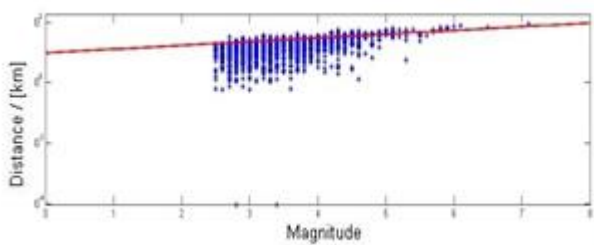
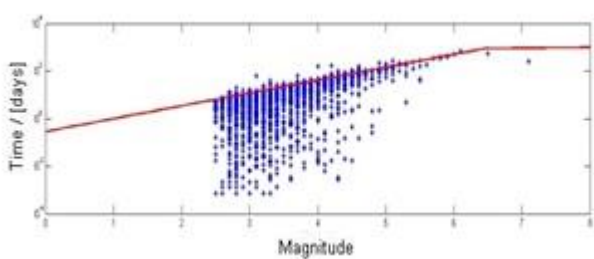


پیش‌لرزه‌ها برای مناطق مختلف می‌باشد.

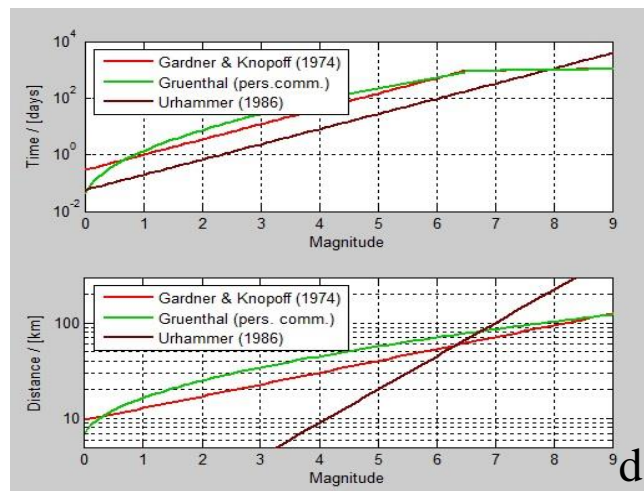


a

b

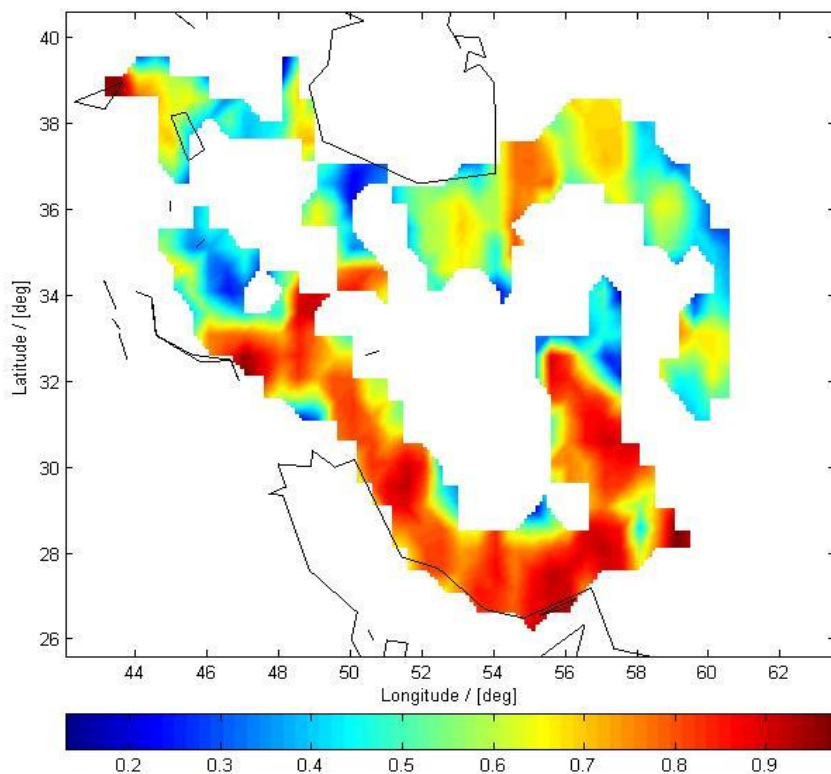


c



d

شکل ۴-۱ پنجره‌های زمانی-مکانی متغیر به کار رفته برای تعیین رویدادهای وابسته به زمان (a) بر اساس روش کرونتال (b) بر اساس روش اورهایمر (c) طبق روش گاردنر و نوپف (d) مقایسه سه روش.

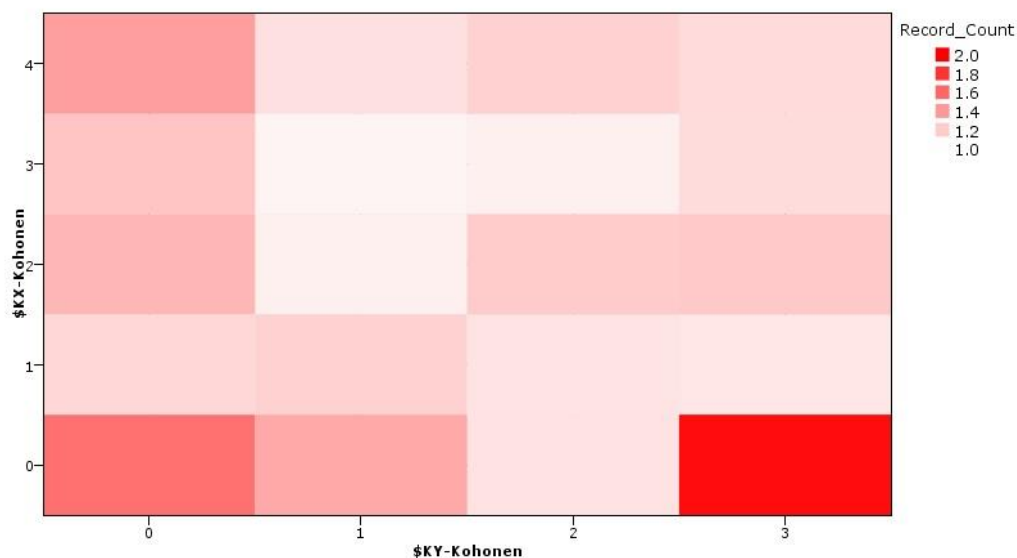


شکل ۴-۲ نقشه دیکلاسترینگ لرزه های کشور به روش گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) براساس میزان نرمال شده پیش لرزه ها

### ۳-۴ خوشه بندی

۳-۴-۱ تعیین تعداد کلاستر با استفاده از شبکه های خود سازمان دهنده

برای ارزیابی تعداد خوشه های مناسب جهت خوشه بندی در اولین مرحله از شبکه خود سازمان دهنده کوهونن استفاده شد. بر اساس نتایج SOM نشان میدهد که حداقل ۵ خوشه مهم وجود دارد و نشان داد اکثر داده ها تا ۱۵ خوشه تحت پوشش قرار می گیرند (شکل ۳-۴) و برای تعیین تعداد بهینه خوشه ها نیز از الگوریتم k-means با تعداد خوشه های ۵ تا ۱۵ استفاده شد.

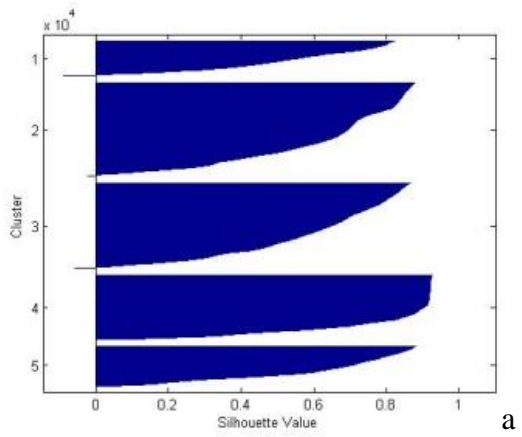


شکل ۳-۴ نتایج خوشه بندی SOM

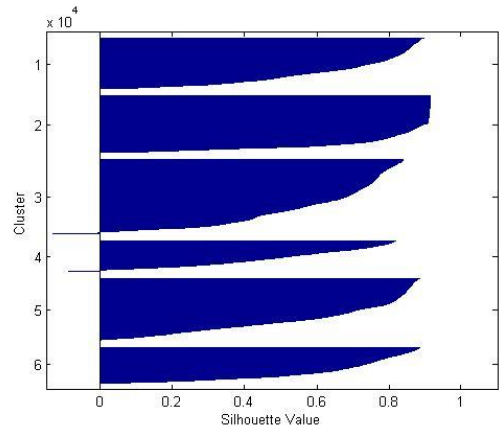
همانگونه که از شکل ۳-۴ پیداست در حدود ۵ خوشه اصلی به صورت مجزا و شاخص وجود دارند و همچنین تقریباً حجم بالایی از داده ها با حدود ۱۵ خوشه پوشش داده می شود این نتیجه می تواند عدد ورودی تعداد خوشه را برای الگوریتم خوشه بندی k-means که نیازمند عدد دقیق برای ورودی می باشد مهیا کند.

#### ۲-۳-۴ خوشه بندی با استفاده از الگوریتم K-means و شاخص سیلوئت

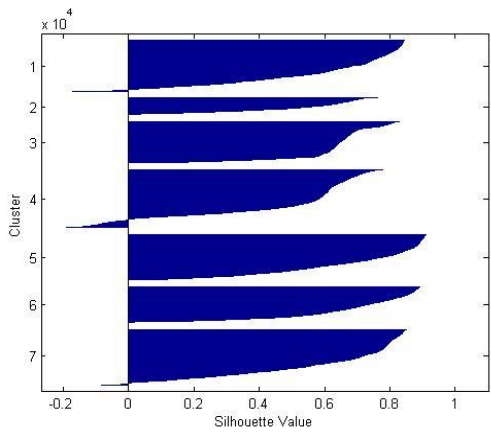
در این مرحله با استفاده از الگوریتم خوشه بندی K-Means داده ها با تعداد خوشه های ۵ تا ۱۵ خوشه بندی گشته و بر طبق اندازه شاخص سیلوئت بهترین تعداد خوشه را انتخاب می شود. خروجی های هر کدام از تعداد خوشه بندی در شکل ۴-۵ موجود می باشد. نتایج بدست آمده از اندازه های شاخص سیلوئت برای هر تعداد خوشه در جدول ۴-۱ آمده و همچنین نمودار آن نیز در شکل ۴-۴ رسم شده است.



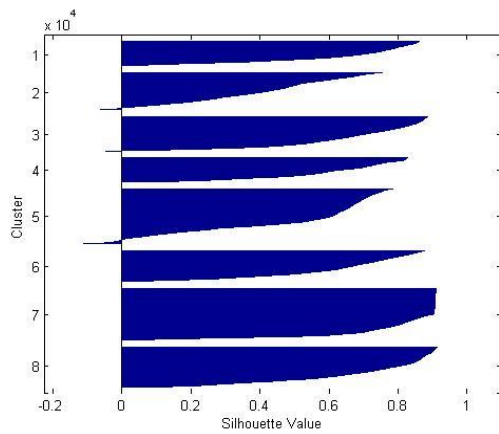
a



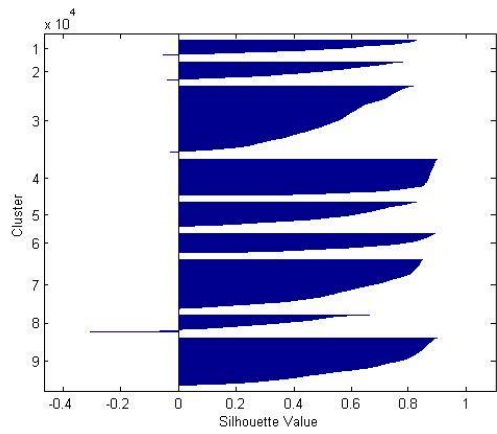
b



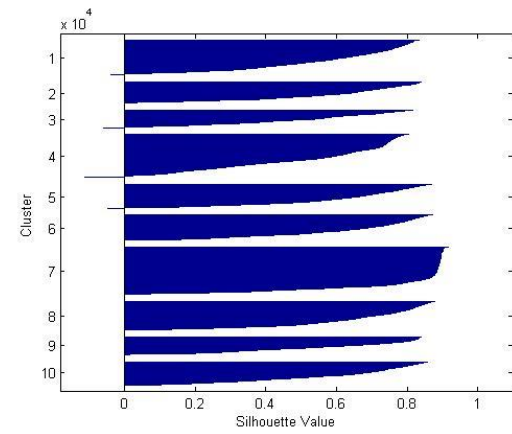
c



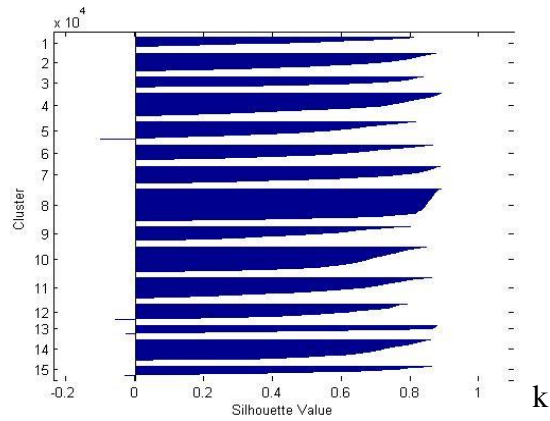
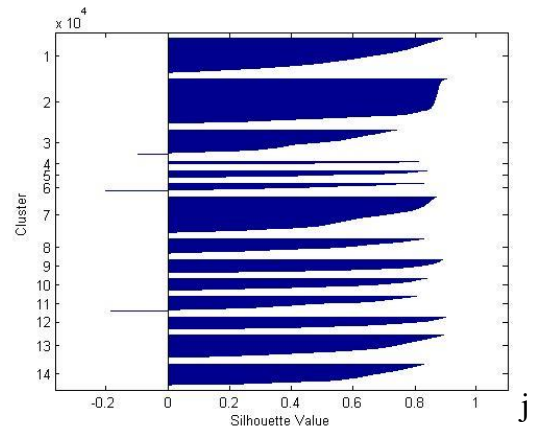
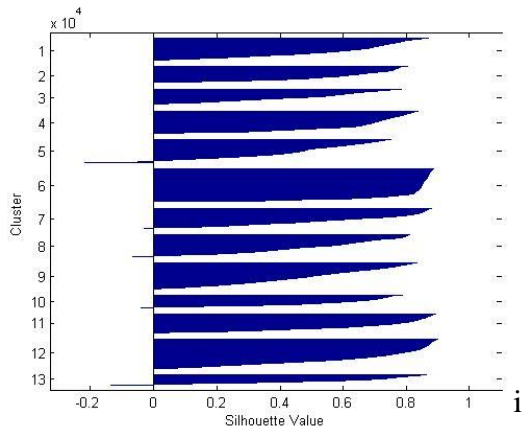
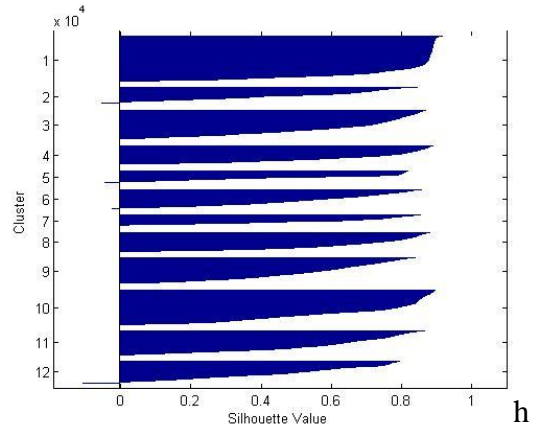
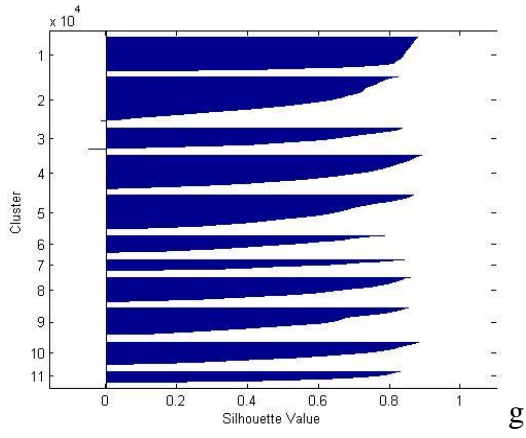
d



e



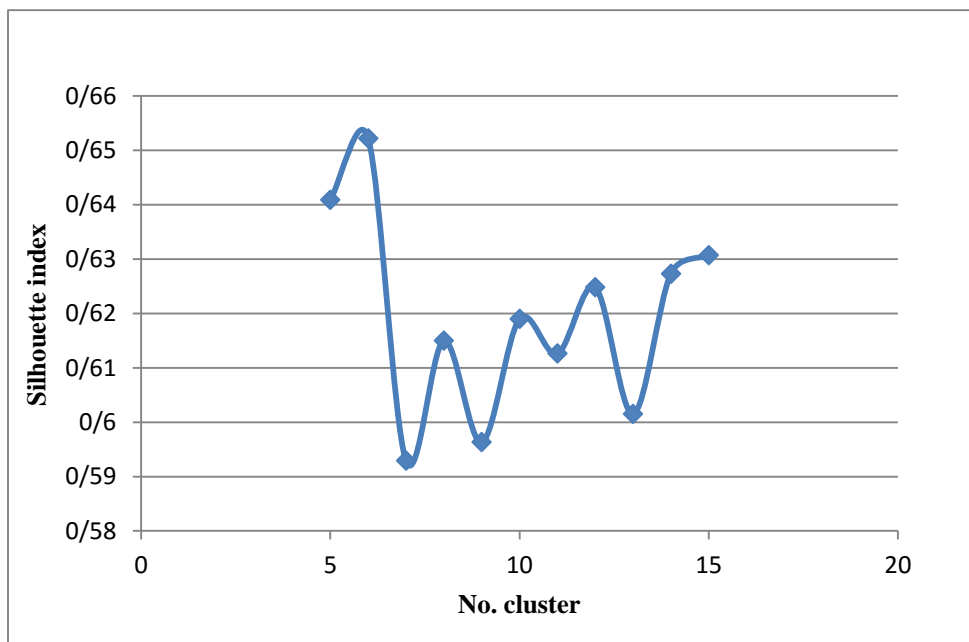
f



شکل ۴-۴ نتایج خوشه بندی به روش k-means برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه

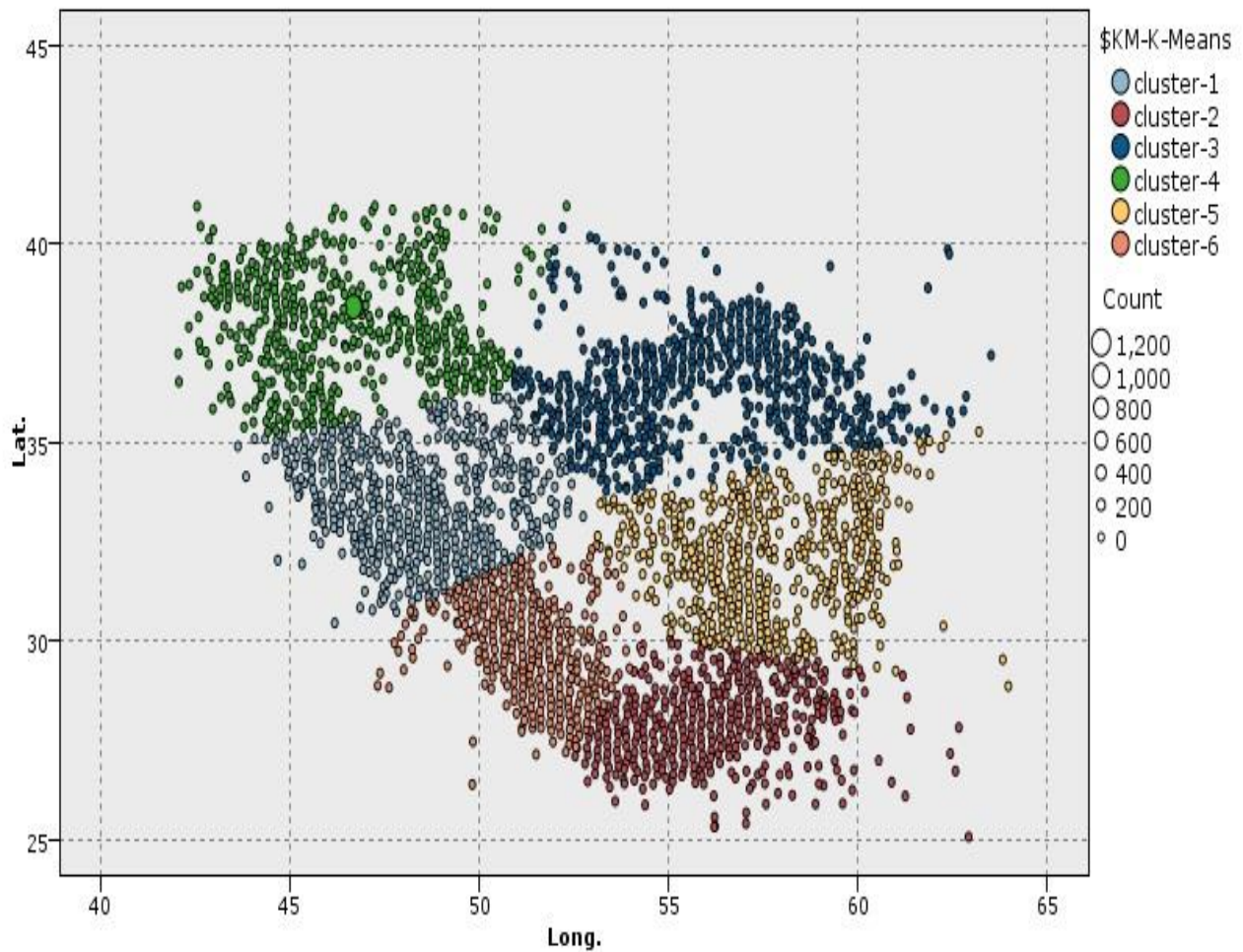
جدول ۱-۴ اندازه شاخص سیلوئت برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه

Chart name	NO cluster	silhouette NO
a	5	0.6409
b	6	0.6522
c	7	0.5929
d	8	0.615
e	9	0.5963
f	10	0.619
g	11	0.6126
h	12	0.6248
i	13	0.6015
j	14	0.6273
k	15	0.6307



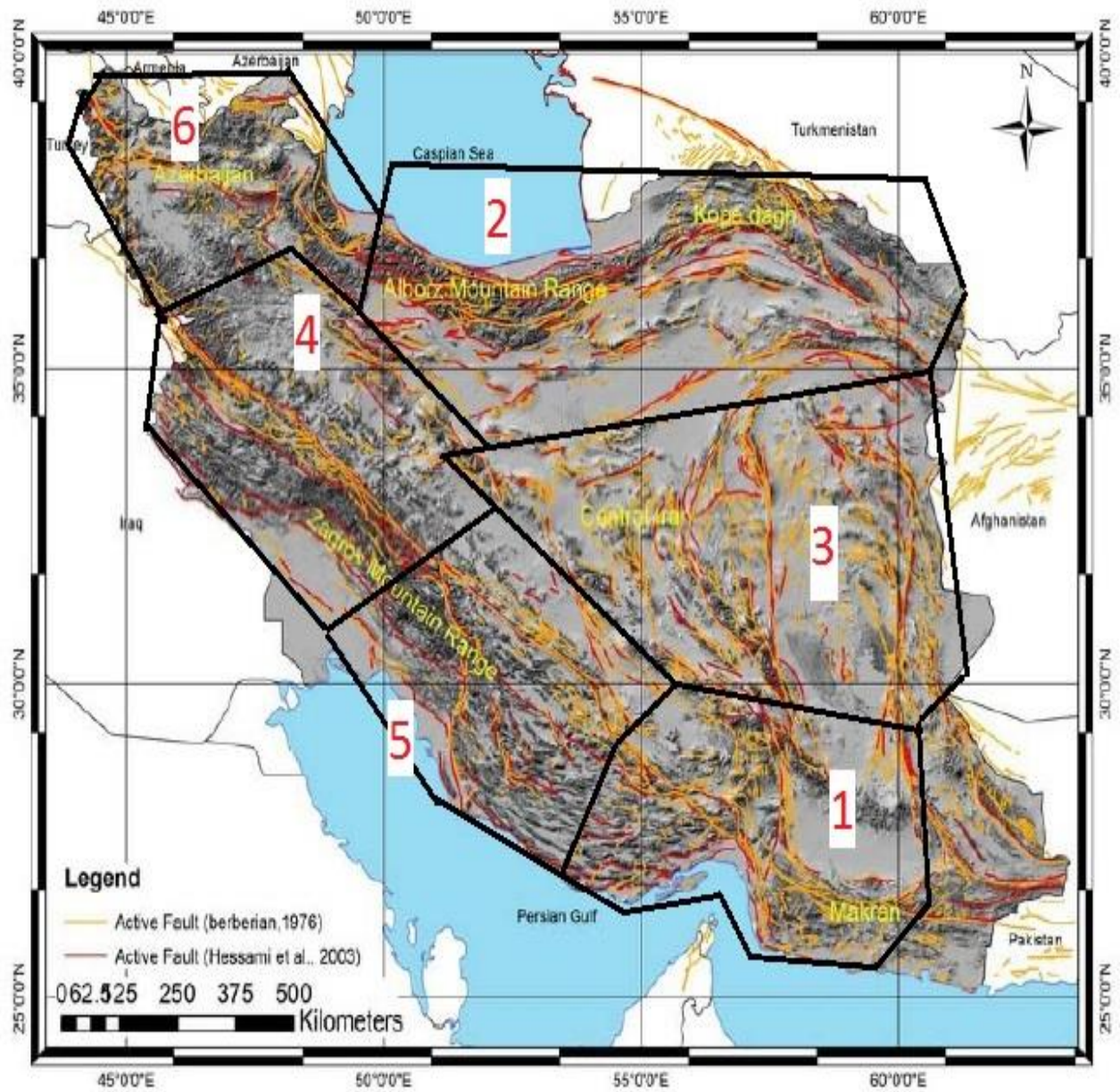
شکل ۵-۴ اندازه شاخص سیلوئت برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه

همانگونه که از جدول ۴-۱ و شکل ۴-۵ پیداست بالاترین میزان اندازه شاخص سیلوئت مربوط به خوشه ۶ خوشه می باشد و در ادامه الگوریتم k-means برای ۶ خوشه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خوشه بندی با شش خوشه به صورت خروجی نرم افزار و نقشه تهیه شده بر اساس آن به ترتیب در شکل‌های ۴-۶ و ۴-۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶ خروجی عملیات کلاسترینگ پیش لرزه های کشور با شش خوشه.





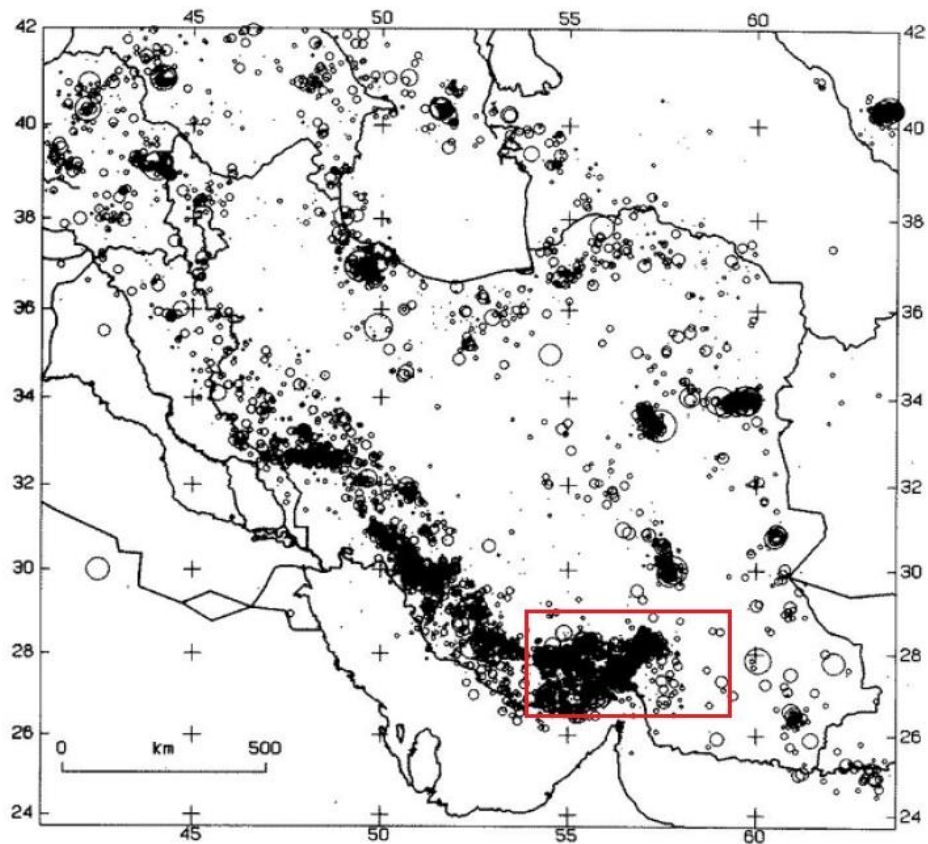
شکل ۴-۷ نقشه تهیه شده برای زون بندی پیش لرزه های کشور به همراه نشان دادن گسلهای اصلی



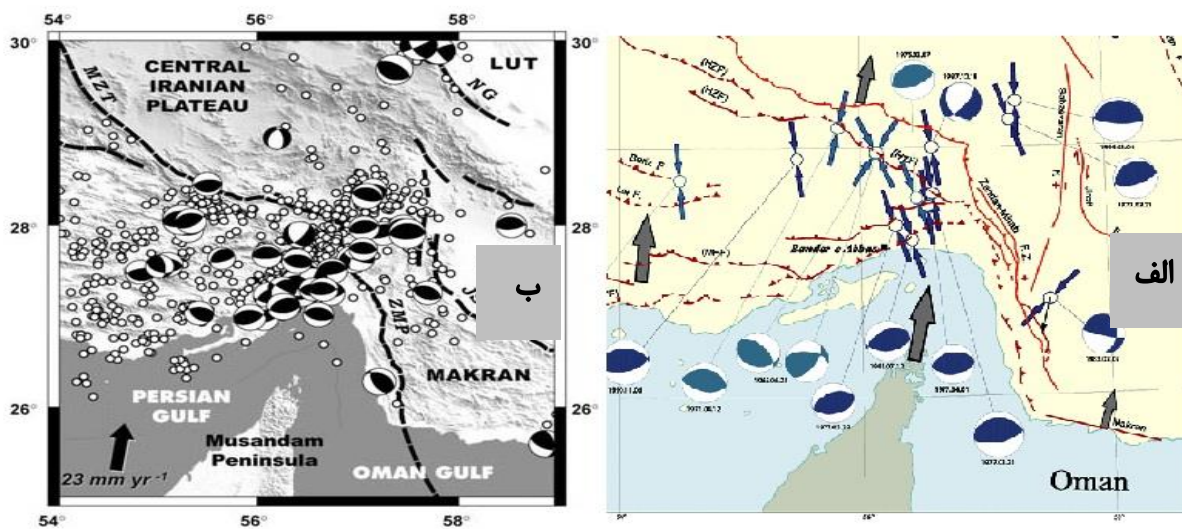
جدول ۲-۴ رتبه بندی کلاستر های تعیین شده از لحاظ اهمیت

Zone rank	Cluster number
1	Cluster 2
2	Cluster 3
3	Cluster 5
4	Cluster 1
5	Cluster 6
6	Cluster 4

شکل ۴-۶ نشان دهنده پیش لرزه های کشور است که در ۶ خوشه اصلی جای گرفتند . نتایج نشان داد که بیشترین میزان تعداد پیش لرزه های کشور در cluster-2 وجود دارد که زون اصلی یعنی زون ۱ معرفی می-شود. این خوشه تقریبا منطبق بر بخش انتهایی زاگرس و بخشهایی از زون ساختاری مکران می باشد و به زون انتقالی زاگرس – مکران موسوم است. استان هرمزگان به طور کامل در این محدوده قرار می گیرد. همچنین این منطقه در آخرین نقشه تهیه شده لرزه خیزی ایران جزو مناطق با لرزه خیزی بسیار بالا در ایران به شمار می رود. پس طبق نتایج خروجی از عملیات خوشه بندی زون انتقالی زاگرس – مکران را می توان اصلی ترین زون پیش لرزه ای کشور ایران معرفی نمود و می توان این منطقه را از لحاظ پیش نشانگر پیش لرزه مورد بررسی های جدی تری قرار داد.



شکل ۴-۸ آخرین نقشه لرزه خیزی ایران تهیه شده [۴۸]



شکل ۴-۹ الف) نشان دادن زون تعیین شده در نقشه گسلهای فعال ایران ب) محدوده معرفی شده برای زون انتقالی زاگرس مکران [۵۶]

### ۳-۳-۴ آزمونهای آماری

پس از انجام خوشه بندی از لحاظ تعداد پیش لرزه ها برای هر لرزه، و معرفی زون پراهمیت پیش لرزه ای هرزمگان با داشتن بیشترین میزان پیش لرزه برای لرزه های اصلی، خوشه ها با توجه به پارامتر بزرگی گروه بندی شد تا مقایسه ای بین خوشه های مختلف از لحاظ بزرگی انجام شود (جدول ۳-۴).

جدول ۳-۴ نتایج آزمون آماری توکی و دانکن برای گروه بندی خوشه ها

		Subset for alpha = 0.05				
\$KM-K-Means		1	2	3	4	5
Tukey HSD	4	2.79187				
	5		2.83910			
	3		2.87062			
	1			2.93055		
	6			2.95186		
	2				3.26609	
	Sig.	1.000	.162	.591	1.000	
Duncan	4	2.79187				
	5		2.83910			
	3			2.87062		
	1				2.93055	
	6				2.95186	
	2					3.26609
	Sig.	1.000	1.000	1.000	.107	1.000

طبق نتایج جدول ۳-۴ همانگونه که می بینیم در هر دو آزمون توکی و دانکن خوشه ۲ یعنی همان زون انتقالی زاگرس-مکران که منطقه هرزمگان در آن واقع شده، بیشترین بزرگی را در میان دیگر خوشه ها دارا بوده است و طبق نتایج آزمون توکی می توان خوشه های ۱ و ۶ یعنی دو بخش میانی زاگرس زونهای ۴ و ۵ را از لحاظ بزرگی پیش لرزه ها در یک گروه قرار داد و خوشه های ۳ و ۵ یعنی زونهای ساختاری البرز و کپه داغ در زون ۲ و ایران مرکزی در زون ۳ را نیز با هم در یک گروه قرار می دهد. همچنین آزمون دانکن نیز هم گروهی بزرگی پیش لرزه ها را در دو بخش میانی زاگرس تایید می کند اما خوشه های ۳ و ۵ را دارای اختلافی معنا دار نشان می دهد.

## ۴-۴ مدلسازی جهت پیش‌بینی

در این مرحله مدلسازی داده‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شد. مدلسازی داده‌ها یک بار جهت پیش‌بینی میزان بزرگای لرزه‌ها و یک بار جهت تعیین هفته‌ها پرخطر انجام شد و توانایی پیش‌بینی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهایی که بر اساس آنها مدلسازی صورت گرفت بزرگای پیش‌لرزه‌ها و تعداد آنها در ۱۱ هفته پیشین و بر اساس بزرگترین لرزه هر هفته و تعداد تمام لرزه‌های هفته بوده است. برای پیش‌بینی هفته‌ها پرخطر طبق تعریف هفته‌هایی که لرزه‌های اصلی بزرگتر از ۵ داشتند هفته‌ها پرخطر تعیین شد. در نتیجه مدل در حالت اول برای پیش‌بینی و در حالت دوم برای طبقه‌بندی تهیه شد.

### ۱-۴-۴ آنالیز آماری داده‌ها

انجام مدلسازی با استفاده از شبکه‌های عصبی نیازمند یک مرحله پیش‌فرآیند داده‌ها می‌باشد. این مرحله برای رسیدن به مدل موفق ضروری است. هر چقدر روش‌های مدلسازی شبکه‌های عصبی قدرتمند باشند باز هم از این قاعده مربوط به مدل‌های جعبه سیاه که "ورودی نامناسب خروجی نامناسب ایجاد می‌نماید" پیروی می‌کنند. به همین دلیل داده‌ها را قبل از ورود به شبکه آماده‌سازی می‌نماییم. مراحل آماده‌سازی داده‌ها برای هر دو حالت مدلسازی انجام شد.

### ۱-۴-۴ نرمالیزه کردن داده‌ها

در این مرحله باید داده‌ها را برای ورود به شبکه و انجام فرآیند آموزش آماده نمود. به عبارتی باید ورودی و خروجی شبکه را نرمال نمود تا همگی دارای اندازه بزرگی یکسانی گردند. اگر اندازه داده‌های ورودی و خروجی یکسان نباشد برخی متغیرها ممکن است اهمیت بیشتری از آنچه دارند نشان دهند. بنابراین نرمال‌سازی یکی از مراحل کلیدی در مدلسازی با شبکه‌های عصبی است.

روش‌های مختلف برای نرمال‌سازی وجود دارد. در روش مورد استفاده در این پروژه داده‌ها با استفاده از رابطه

۱-۴ بین صفر و یک نرمال شدند [۵۲].

$$x_{i,norm} = \frac{x_i - x_{i,min}}{x_{i,max} - x_{i,min}} \quad (\text{رابطه ۴-۱})$$

#### ۲-۱-۴-۴ تقسیم بندی بانک داده‌ها

داده‌های مورد استفاده برای مدلسازی، به ۳ بخش آموزش، ارزیابی و آزمایش تقسیم می‌شوند. مرحله آموزش جهت یادگیری شبکه بکار می‌رود. در این مرحله خروجی مطلوب جهت کمک به شبکه بکار می‌رود تا اوزان بین نرون‌ها یا واحدهای پردازشگر را تطبیق و سازگار نماید. مجموعه‌ی داده‌های ارزیابی جهت دستیابی به یک مدل بهینه در پیش‌بینی داده‌های جدید بکار رفته و پس از اتمام مرحله آموزش و یافتن مدل نهایی، مجموعه داده‌های آزمایش به منظور تایید و تصدیق کارایی و دقت مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نحوه‌ی تقسیم بندی داده‌ها باید به گونه‌ای باشد که هر گروه نماینده واقعی کل داده‌ها باشند. معمولاً در تقسیم بندی مجموعه داده‌ها جهت رسیدن به پاسخ قابل قبول باید تعداد داده‌های مورد استفاده در فاز آموزش از تعداد داده‌های مربوط به فاز ارزیابی و آزمایش بیشتر باشد. در این راستا عقیده اکثر متخصصین بر این است که داده‌ها به نسبت ۶۰، ۲۰، ۲۰ درصد تقسیم می‌گردند. در انتخاب تصادفی داده‌ها در فازهای مختلف بهتر است داده‌های آموزشی به نحوی انتخاب گردند که تمام نقاط مرزی (بیشترین و کمترین داده) را دربرگیرد.

#### ۲-۴-۴ مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی

مدل‌های ریاضی بسیار پیچیده بوده، در شرایط خاص کاربرد دارند و بررسی آن‌ها اصولاً دشوار است. در شرایط واقعی فقط داده‌های ورودی و خروجی در دسترس می‌باشند. از آنجایی که تکنیک شبکه عصبی مصنوعی برای مدل کردن سامانه‌های غیرخطی پیچیده بسیار موثر می‌باشد، در این پروژه از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بزرگای هر لرزه با توجه به بزرگترین لرزه‌های ۱۱ هفته پیشین و تعداد لرزه

های هر هفته استفاده شده است.

در مدلسازی مورد نظر از شبکه عصبی پیش‌خور MLP استفاده شد. در طراحی شبکه عصبی پارامترهای مختلفی وجود دارند که تعیین بهینه آن‌ها در راندمان شبکه تاثیر گذار می‌باشد. این پارامترها باید با دقت زیادی تنظیم گردند.

#### ۱-۲-۴-۴ شبکه عصبی MLP

برای شبکه عصبی پیش‌خور MLP از روش آموزش انتشار معکوس (BP) استفاده می‌شود. برای ایجاد شبکه بهینه الگوریتم آموزشی، تعداد لایه‌ها، تعداد نرون در هر لایه، توابع انتقال در هر لایه و دوره‌های تکرار پذیری باید بهینه شوند.

#### ۲-۲-۴-۴ انتخاب الگوریتم آموزشی مناسب

الگوریتم‌های متفاوتی در فصل دوم ارائه شدند. در کل می‌توان گفت برای مسائل تقریب تابع الگوریتم لونیبرگ-مارکوات همگرایی سریعتری را ایجاد می‌کند. این مزیت زمانی قابل توجه می‌گردد که آموزش خیلی دقیق نیاز باشد. در بسیاری از حالات این الگوریتم قادر است به کمترین مربع میانگین خطا در میان سایر الگوریتم‌ها دست یابد. اگرچه با افزایش تعداد نرون‌ها در شبکه مزیت الگوریتم مذکور کاهش می‌یابد. الگوریتم گرادیان مرکب نسبت به سایر الگوریتم‌ها به حافظه کمتری نیاز دارد. الگوریتم شبه نیوتنی نیز مشابه الگوریتم لونیبرگ مارکوات بوده، اما نسبت به آن به حافظه بیشتری نیاز دارد. محاسبات مورد نیاز نیز با افزایش پیچیدگی شبکه (تعداد لایه‌ها و نرون‌ها در هر لایه) افزایش می‌یابد. روش الگوریتم یادگیری متغیر نسبت به دیگر روش‌ها کندتر، اما حافظه مورد نظر در آن مشابه به الگوریتم تطبیقی پس‌انتشار می‌باشد [۳۹]. با توجه به توضیحات بیان شده الگوریتم لونیبرگ مارکوات جهت استفاده در این مطالعه مناسب به نظر می‌رسد.

#### ۳-۲-۴-۴ انتخاب تعداد لایه‌های پنهان

تعیین تعداد لایه‌های پنهان یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی شبکه عصبی است که به پیچیدگی شبکه

بستگی دارد. برای تعیین بهینه تعداد لایه‌ها ابتدا شبکه را آموزش داده و سپس بهترین ساختاری که با تعداد لایه‌های کمتر زودتر به مینیمم خطای مورد نظر رسیده باشد انتخاب می‌گردد.

اگر چه شبکه‌های یک لایه برای حل اکثر مسائل تقریب تابع کفایت می‌نماید، اما در برخی موارد استفاده از شبکه با دو لایه پنهان آسان‌تر حل می‌شود. افزودن لایه دوم بدون اینکه تاثیر زیان باری بر روی عمومیت بخشی داده‌های مربوط به آزمایش داشته باشد، می‌تواند توانایی پیش‌بینی شبکه را افزایش می‌دهد ولی افزودن لایه سوم توانایی پیش‌بینی را چندان افزایش نداده و به دلیل ایجاد ساختار پیچیده زمان لازم برای حل افزایش می‌یابد افزودن بیش از حد لایه میانی سبب آموزش دیدن بیش از حد شبکه شده و پدیده over training رخ می‌دهد. [۵۲, ۵۳].

#### ۳-۴-۴ مدل‌سازی برای حالت اول (پیش‌بینی)

۱-۳-۴-۴ انتخاب تعداد نرون در لایه میانی

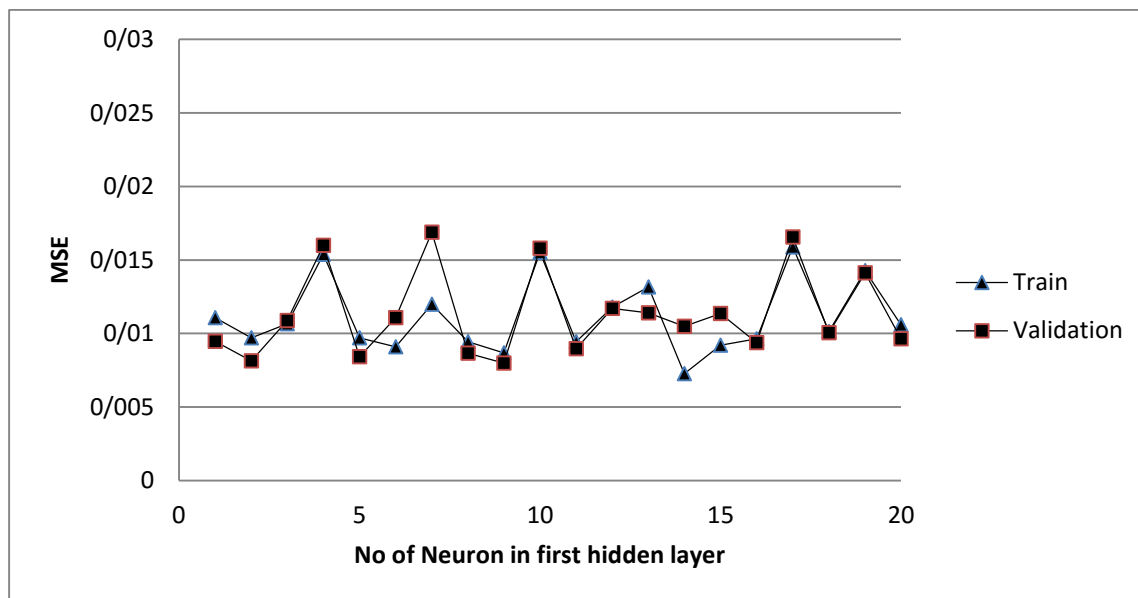
جدول ۴-۴ خطای شبکه در آموزش و ارزیابی را برای شبکه با یک و دو لایه میانی و تعداد نرون‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که افزایش دومین لایه تاثیری در بهبود عملکرد شبکه نداشته است. به همین جهت شبکه با یک لایه میانی انتخاب گردید.

جدول ۴-۴ خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف با ۱ لایه

توپولوژی شبکه	خطای آموزش	خطای ارزیابی
۱-۰-۱	۰/۰۱۱۰۷۹۸۷	۰/۰۰۹۴۶۶۷۹۶
۲-۰-۱	۰/۰۰۹۶۹۲۷۱۷	۰/۰۰۸۱۳۶۴۷۱
۳-۰-۱	۰/۰۱۰۶۶۴۵۹۳	۰/۰۱۰۸۷۸۳۳۳

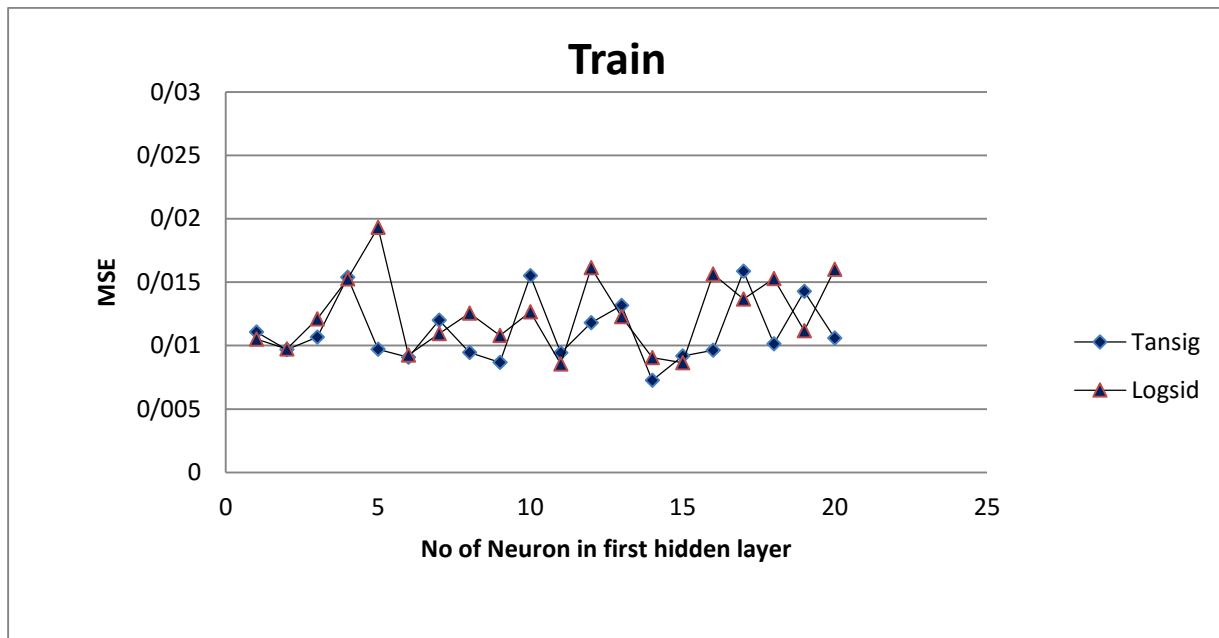
4--1	./0.15392.55	./0.15914563
5--1	./0.097.6682	./0.08427949
6--1	./0.09.88389	./0.11.7.562
7--1	./0.11992161	./0.16889477
8--1	./0.09445618	./0.0844377
9--1	./0.08668721	./0.0799.747
10--1	./0.155167.3	./0.158.0.821
11--1	./0.09439.34	./0.08962658
12--1	./0.118.0.417	./0.117.6513
13--1	./0.13167894	./0.11395.33
14--1	./0.07255657	./0.1.485331
15--1	./0.09191689	./0.11355235
16--1	./0.09631598	./0.09368111
17--1	./0.15871257	./0.16563955
18--1	./0.1.136414	./0.1.0.5.538
19--1	./0.14268.67	./0.14126919
20--1	./0.1.6.1692	./0.09628253



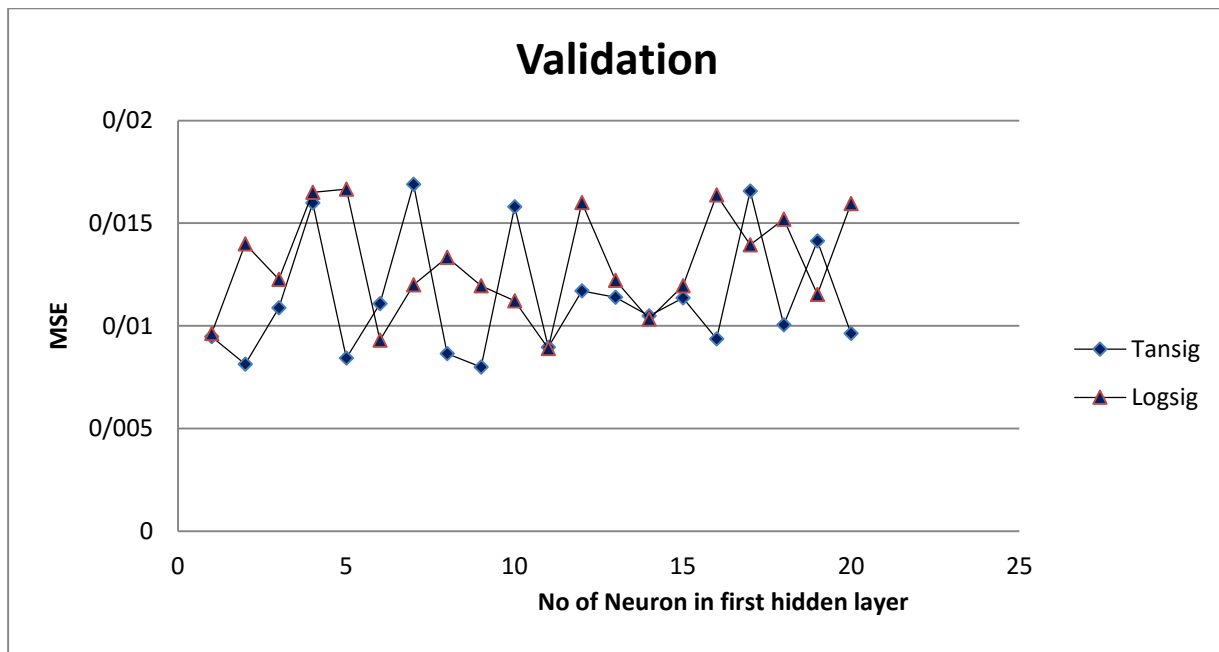


شکل ۴-۱۰ نمودار خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف با ۱ لایه

در مرحله آموزش شبکه با توپولوژی ۱-۰-۱۴ کمترین خطا را داده است و در قسمت ارزیابی شبکه با توپولوژی ۱-۰-۹ بهترین جواب را داده است. در شبکه با توپولوژی ۱-۰-۱۴ با وجود پایین بودن خطا در فاز آموزش در فاز ارزیابی خطای بالایی دارد که قابل قبول نیست. در مجموع شبکه با توپولوژی ۱-۰-۹ بدلیل پایین بودن نسبی خطا در دو مرحله ارزیابی و آموزش شبکه بهینه معرفی می شود.



شکل ۴-۱۱ نمودار خطا برای مرحله آموزش برای شبکه با یک لایه میانی

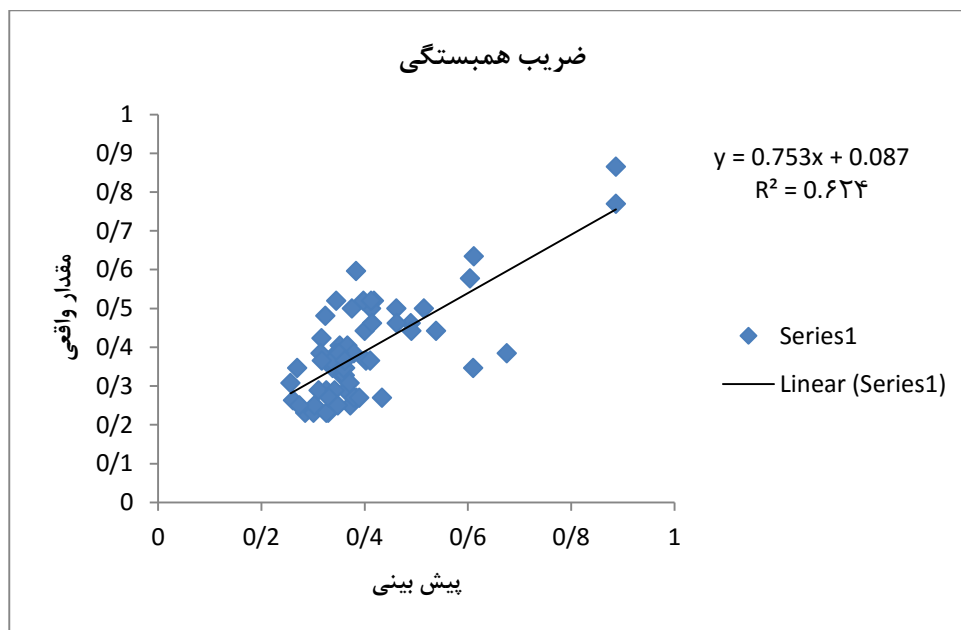


شکل ۴-۱۲ نمودار خطا برای مرحله ارزیابی برای شبکه با یک لایه میانی

با توجه به شکل ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۲ در هر دو مرحله آموزش و ارزیابی، شبکه با تابع انتقال Tansig نتایج بهتری نشان داده است.

نتایج نشان داده شده اعتبار مدل را تایید می کند. مقدار ضریب همبستگی از (رابطه ۴-۲) محاسبه شده است [۵۴]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_{\text{exp}} - Y_{\text{Sim}})^2}{\sum (Y_{\text{exp}} - \bar{Y}_{\text{Sim}})^2} \quad (\text{رابطه ۴-۲})$$



شکل ۴-۱۳ نمودار ضریب همبستگی مدل

جدول ۴-۵ نتایج نهایی مدل

	آموزش	ارزیابی	آزمون
R2 ضریب همبستگی	۰/۷۹	۰/۶۵	۰/۶۲
mse	۰/۰۰۷۹۹۱	۰/۰۰۸۶۶۹	۰/۰۰۸۵۴

#### ۴-۴-۴ مدل‌سازی برای حالت دوم (طبقه بندی)

##### ۱-۴-۴-۴ انتخاب تعداد نرون در لایه میانی

هرچه پیچیدگی مسئله بیشتر باشد تعداد نرون‌های بیشتری نیاز می‌باشد. ساختارهای مختلف شبکه با دو لایه و تعداد نرون‌های متغیر در هر لایه بررسی گردید. جدول (۴-۱) خطای شبکه در آموزش و ارزیابی را برای شبکه با یک و دو لایه میانی و تعداد نرون‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که افزایش دومین لایه تاثیر مستقیمی در بهبود عملکرد شبکه داشته است. به همین جهت شبکه با دو لایه میانی انتخاب گردید.

جدول ۴-۶ خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف ۱ و ۲ لایه

خطای ارزیابی	خطای آموزش	توپولوژی شبکه
۰/۰۹۹	۰/۰۶۱۶	۱-۰-۱
۰/۰۶۸	۰/۰۷۱۴	۲-۰-۱
۰/۰۴۹	۰/۰۷۲۴	۳-۰-۱
۰/۰۵۸	۰/۰۷۲۰	۴-۰-۱
۰/۰۶۹	۰/۰۴۱۶۶	۵-۰-۱
۰/۶۹	۰/۰۷۱۴۲	۶-۰-۱
۰/۰۷۸	۰/۰۳۵	۷-۰-۱
۰/۰۶۸	۰/۰۵۳	۸-۰-۱
۰/۰۹۸	۰/۰۷۱	۹-۰-۱
۰/۰۶۸	۰/۰۷۱	۱۰-۰-۱

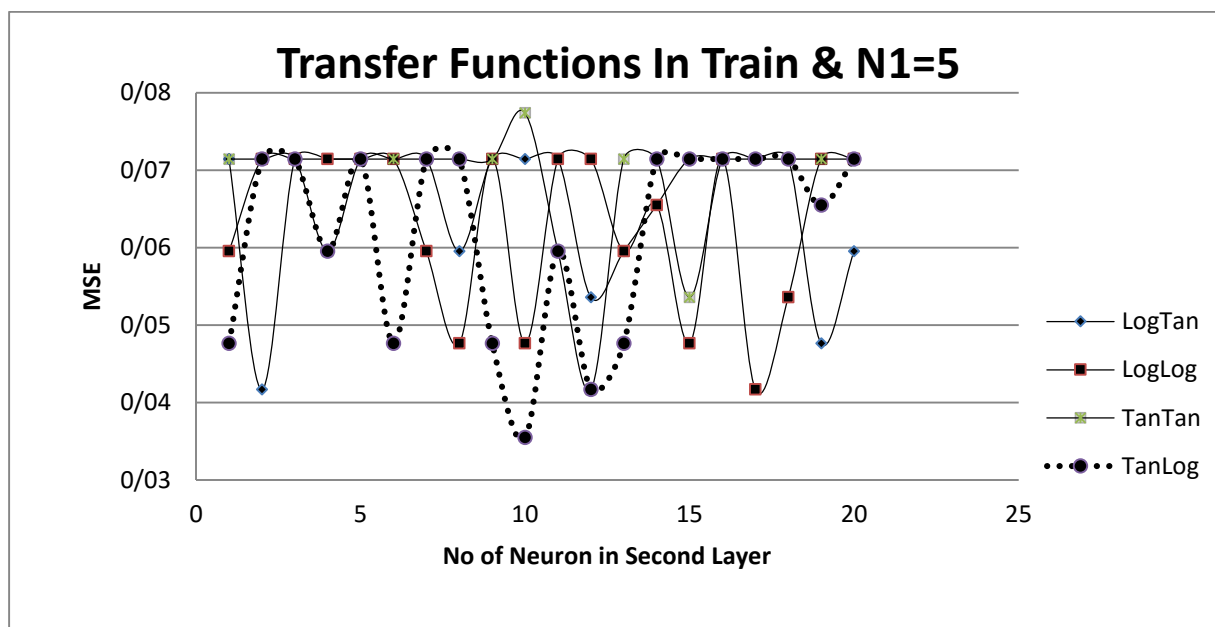
۱-۱-۱	۰/۰۵۳	۰/۰۴۹
۲-۱-۱	۰/۰۷۱۴	۰/۰۴۹
۲-۲-۱	۰/۰۴۷	۰/۰۳۹۲
۳-۲-۱	۰/۰۷۱۴	۰/۰۳۱۶
۵-۱-۱	۰/۰۴۷	۰/۰۴۹
۵-۲-۱	۰/۰۷۱۴	۰/۰۶۸
۵-۴-۱	۰/۰۵۹	۰/۰۶۸
۵-۱۰-۱	۰/۰۳۵۴	۰/۰۲۹۴
۵-۱۵-۱	۰/۰۷۱۴	۰/۰۷۱۴
۲۵-۱-۱	۰/۰۷۱۴	۰/۰۴۹
۲۵-۴-۱	۰/۰۴۱۶	۰/۰۶۸
۲۵-۱۰-۱	۰/۰۵۳	۰/۰۵۸
۲۵-۱۵-۱	۰/۰۱۱۹	۰/۰۶۸
۲۵-۲۰-۱	۰/۰۴۱	۰/۰۳۲

همانطور که در جدول نشان داده شده در مرحله آموزش شبکه با توپولوژی ۱-۱۵-۲۵ کمترین خطا را داده است و در قسمت ارزیابی شبکه با توپولوژی ۱-۱۰-۵ بهترین جواب را داده است. در مجموع شبکه با توپولوژی ۱-۱۰-۵ بدلیل پایین بودن نسبی خطا در دو مرحله ارزیابی و آموزش شبکه بهینه معرفی می شود چرا که هم از لحاظ تعداد نرون در هر لایه از شبکه ۱-۱۵-۲۵ بهینه تر است و هم از لحاظ میزان خطا تفاوت چشمگیری با آن ندارد. پس به طور خلاصه می توان اینگونه بیان نمود که شبکه با دولایه پنهان و با

توپولوژی ۱-۱۰-۵ یعنی ۵ نرون در لایه اول و ۱۰ نرون در لایه دوم به عنوان شبکه بهینه معرفی می شود.

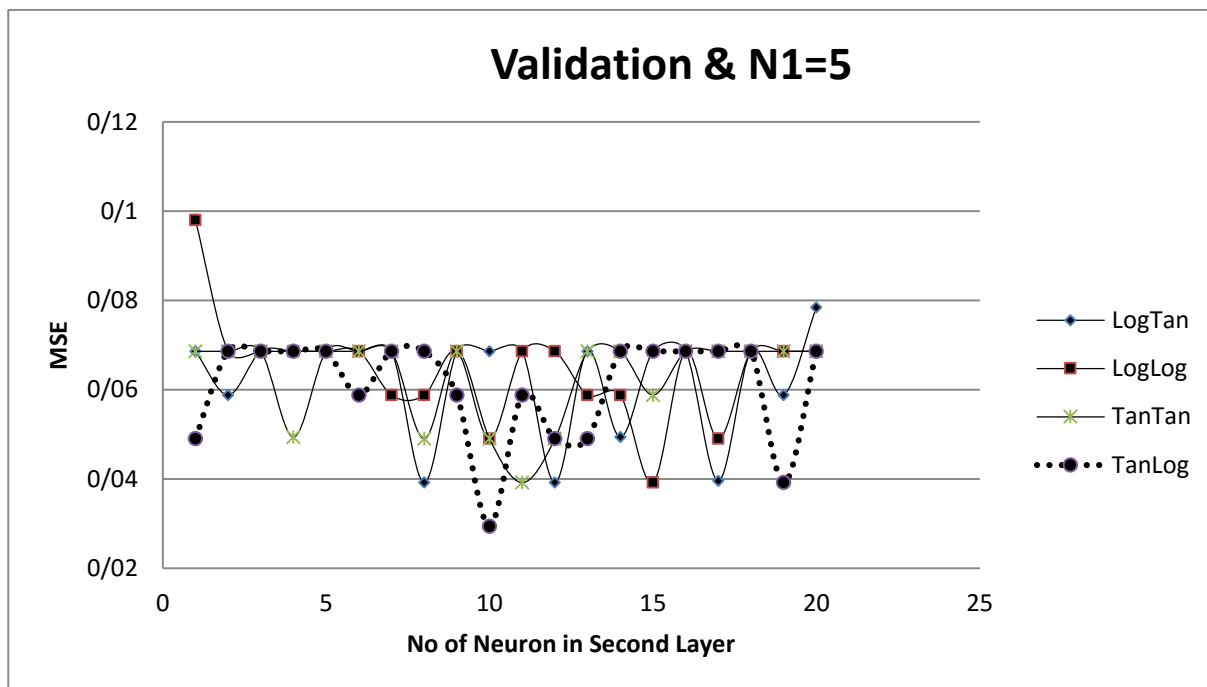
۲-۴-۴-۴ انتخاب تابع انتقال مناسب

انتخاب تابع انتقال بر مبنای کاربرد شبکه صورت می گیرد. بر اساس مطالب بیان شده در فصل دوم برای لایه میانی توابع انتقال سیگموئیدی و تانژانت هایپربولیک و برای لایه خارجی تابع Pureline مناسب می باشند. با توجه به شبیه سازی های انجام شده تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی برای لایه اول و لاگ سیگموئید برای لایه دوم انتخاب گردید. نتایج حاصل در شکل های ۵-۱۵ و ۵-۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴ نمودار نشان دهنده خطا برای توابع انتقال مختلف در مرحله آموزش برای شبکه با ۵ نرون در لایه اول

طبق شکل برای شبکه در مرحله آموزش در حالتی که در لایه اول ۵ نرون و در لایه دوم ۱۰ نرون باشد تابع انتقال تانژانت سیگموئید و لاگ سیگموئید کمترین میزان خطا را دارا می باشد که مقدار آن ۰,۰۳۵ است.



شکل ۴-۱۵ نمودار نشان دهنده خطا برای توابع انتقال مختلف در مرحله ارزیابی برای شبکه با ۵ نرون در لایه اول

بر طبق شکل برای شبکه در مرحله ارزیابی در حالتی که در لایه اول ۵ نرون و در لایه دوم ۱۰ نرون باشد تابع انتقال تانژانت سیگموئید و لاگ سیگموئید کمترین میزان خطا را دارا می باشد که مقدار آن ۰/۰۲۹ است.

با توجه به بررسی‌های انجام شده شبکه عصبی با دو لایه میانی و توابع انتقال Tansig و Logsig و تعداد ۵ نرون در لایه اول و تعداد ۱۰ نرون در لایه دوم به عنوان شبکه مناسب انتخاب شد. برای بررسی توان عمومیت بخشی شبکه از سری سوم داده‌ها که داده‌های آزمایش نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود. شبکه با استفاده از شرایط بهینه تعیین شده و داده‌های آزمایش که هیچ وقت در پروسه یادگیری ارائه نشده است آزمایش می‌شود. شبکه‌ای از تعمیم پذیری خوبی برخوردار است که به ازای ورودی آزمایش خروجی صحیحی ارائه نماید.

نتیجه کلی با ورود داده‌های بخش آزمون به صورت جدول زیر ارائه شده است جدول ۴-۷.

جدول ۴-۷ نتیجه کلی مدل

آزمون	ارزیابی	آموزش	
۰/۰۳۹۱	۰/۰۲۹۴	۰/۰۳۵۴	mse
۲۰	۲۹	۴۷	درصد هفته‌های خطرناک که خطرناک تشخیص داده شد.
۰	۰	۰	درصد هفته‌های بی‌خطر که خطرناک تشخیص داده شد.

همانگونه که از جدول ۴-۷ پیداست برای مرحله طبقه بندی هر چند دقت مدل بسیار پایین بود ولی از صحت بالایی برخوردار بوده است. این بدان معنی است که مدل هیچ هفته پر خطری را کم خطر تشخیص نداده است پس می‌توان با درصد بسیار بالایی هفته‌ای را که مدل پر خطر معرفی می‌کند پر خطر دانست از آنجایی که تعداد هفته‌های پر خطر نسبت به هفته‌های کم خطر پایین تر بود مدل نتوانست تعداد زیادی از آنها را تشخیص دهد با این حال نکته اساسی که به آن اشاره شد درست بودن تمام پیش‌بینی‌ها برای هفته پرخطر بوده است.



# بررسی زمین ساختی و پارامترهای لرزه خیزی

## ۵-۱ پیشگفتار

کشور ایران به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیا همواره از لرزه‌خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است. به‌طوریکه در بخش‌های مختلف کشور زمین‌لرزه‌های ویرانگر فراوانی رخ داده است. این پدیده طبیعی، به‌عنوان مهمترین بلای طبیعی تلفات و خسارات سنگینی در کشور به‌بار آورده است.

زمین‌لرزه بازتاب یک رویداد زمین‌شناختی است که به‌صورت جنبش در سطح زمین بروز می‌یابد. این پدیده حاصل آزادسازی انرژی تنجیدگی<sup>۳۹</sup> انباشته‌ای است که در پی گسیختگی برشی ناگهانی پوسته جامد زمین رخ می‌دهد. این انرژی آزادشده به‌صورت امواج لرزه‌ای درون زمین حرکت کرده و سبب جنبش در سطح زمین می‌شود.

تنش‌های فشارشی ناشی از بازشدگی دریای سرخ و حرکت ورقه آفریقا-عربستان در راستای شمال-شمال‌خاوری و همچنین حرکت ورقه هند در راستای شمال-شمال‌باختری موجب حرکت و جابجایی نسبی متفاوت در پوسته‌ها و قطعات گوناگون قاره‌ای و اقیانوسی شده و عامل فراوانی زمین‌لرزه‌ها در ایران است. براساس زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی دو نوار لرزه‌خیز اصلی در ایران قابل شناسایی است: نوار لرزه‌خیزی جنوبی (کوه‌های زاگرس) با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری و نوار لرزه‌خیزی شمالی (کوه‌های البرز و کپه-داغ) در منتهی‌الیه شمالی کشور.

مطالعه تاریخچه لرزه‌خیزی زاگرس نشان می‌دهد که رویداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر تاریخی و دستگاهی متعددی مناطق بسیاری را در این گستره از کشور ویران کرده است. حضور گسل‌های بنیادی جنوب و کواترنر باعث شده است که گستره زاگرس به‌عنوان لرزه‌خیزترین گستره ایران، از خطر لرزه‌خیزی<sup>۴۰</sup> بالایی برخوردار باشد. علاوه بر این، پیشینه لرزه‌خیزی زاگرس، حکایت از رویداد زمین‌لرزه‌های مخربی در مجاورت شهرهای پرجمعیت این بخش از کشور مانند اهواز، شیراز، بهبهان، کازرون، جزیره هرمز، جزیره کیش و جزیره هنگام

---

<sup>۳۹</sup> Strain

<sup>۴۰</sup> Seismic Hazard

دارد، که نشان‌دهنده خطرپذیری لرزه‌ای<sup>۴۱</sup> بالای گستره رسوبی-ساختاری زاگرس است.

لرزه‌خیزی کنونی زاگرس متأثر از حرکت رو به شمال ورقه عربی و برخورد آن با ورقه ایران در راستای شمال خاوری-جنوب باختری است. رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی در گستره رسوبی-ساختاری زاگرس و قرارگیری روندهای ساختاری جنبا در این گستره نمایانگر لرزه‌خیزی بالای این بخش از کشور است. لرزه-خیزی زاگرس نتیجه فعالیت دو دسته گسل اصلی در گستره رسوبی-ساختاری زاگرس است:

دسته اول شامل راندگی‌های طولی هستند که به موازات روند کلی زاگرس، دارای امتداد شمال باختری-جنوب خاوری هستند، مانند گسل‌های پیشانی کوهستان و زاگرس مرتفع. اکثر راندگی‌های طولی در زاگرس از قطعات گسلی ناپیوسته‌ای تشکیل شده‌اند، که با توجه به عوارض نوزمین‌ساخت نشان‌دهنده فعالیت کواترنر این قطعات است.

دسته دوم شامل گسل‌های راستالغز عرضی فعالی هستند که روند کلی کمربند چین‌خورده زاگرس را قطع می‌کنند، مانند گسل‌های فعال کازرون و برازجان.

زمین‌لرزه‌های زاگرس معمولاً بزرگی کمتر از ۷ دارند و به‌ندرت بزرگی زمین‌لرزه‌ها در این گستره از ۷ بزرگتر می‌شود. زمین‌لرزه‌های رویداده در این گستره معمولاً کم‌ژرفا هستند و بیشتر آنها در ژرفای حدود ۲۰ کیلومتر متمرکزاند.

به‌دلیل حضور کمپلکس نمکی هرمز در گستره رسوبی-ساختاری زاگرس، که باعث جدایش پوشش رسوبی رویی از پی سنگ فعال-لرزه‌زای زیرین می‌شود، به‌جز بعضی مناطق، تظاهرات سطحی قابل شناسایی برای لرزه‌خیزی زاگرس وجود ندارد و برای گسلش سطحی در زاگرس به یکی از دو عامل، زمین‌لرزه‌های کم‌ژرفا و یا زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای بیش از ۷ نیاز است.

بررسی تاریخچه لرزه‌خیزی زاگرس نشان‌دهنده دوره بازگشت طولانی زمین‌لرزه‌های بزرگ رویداده در طول

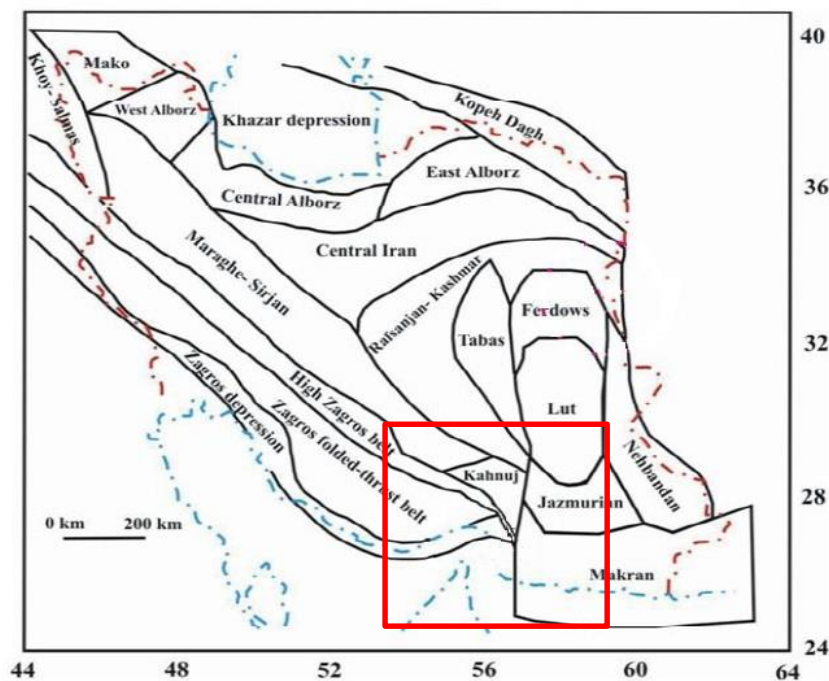
---

<sup>۴۱</sup> Seismic Risk

راندگی‌های اصلی طولی این گستره است و بیشترین زمان سپری شده از رویداد یک زمین‌لرزه- بیش از ۱۱۶۸ سال- در طول قطعه‌ای از گسل پیش‌ژرفای زاگرس، از زمان رویداد زمین‌لرزه سال ۸۴۰ میلادی در اهواز (I~ VIII, Ms~6.5) ثبت شده است.

کوتاهترین دوره بازگشت در گستره زاگرس نیز در طول گسل‌های راستالغز عرضی کازرون و سبزویشان مشاهده می‌شود. مکانیسم زمین‌لرزه‌ها و پتانسیل لرزه‌خیزی گسل اصلی جوان زاگرس کاملاً متمایز از زمین-لرزه‌هایی است که در این گستره روی می‌دهند. زمین‌لرزه‌های رویداده در طول این گسل دارای بیشترین بزرگا در بین زمین‌لرزه‌های رخ داده در زاگرس هستند.

بر اساس تقسیم بندی لرزه زمین ساختی منطقه مورد مطالعه در استان لرزه زمین ساختی کمر بند چین خورده زاگرس و مکران واقع شده است (شکل ۵-۱) [۵۹].



شکل ۵-۱ تقسیم بندی استانهای لرزه زمین ساختی فلات ایران [۵۹]

## ۵-۲ گسله‌های مهم و اصلی گستره مورد مطالعه

### ۵-۲-۱ گسل زاگرس مرتفع (HZF)

گسل زاگرس مرتفع جداکننده کمربند راندگی زاگرس مرتفع (در شمال خاوری) از کمربند چین خورده ساده (در جنوب باختری) است. کمربند زاگرس مرتفع در طول قطعات ناپیوسته این گسل به سمت جنوب باختری رانده شده است (شکل ۵-۲). براساس موقعیت فعلی سنگ‌های پالئوزوئیک در امتداد این گسل، میزان جابجایی شاغولی در طول آن بیش از ۶ کیلومتر تخمین زده می‌شود. نفوذ نمک‌های سازند هرمز در امتداد قطعات مختلف گسل زاگرس مرتفع، نمایانگر گسلش عمیق این گسل است. این گسل با برش پوشش رسوبی فانروزوئیک رویی تا افق نمک‌های کامبرین زیرین هرمز، باعث تظاهر گنبد‌های نمکی در سطح شده است. در منطقه خورگو در شمال بندرعباس، گسل زاگرس مرتفع به گسل پیشانی کوهستان می‌رسد [۵۵]. گسل فراغون و گسل کوشکو از قطعات جنوب خاوری گسل زاگرس مرتفع در شمال بندرعباس هستند.

بربریان<sup>۴۲</sup> (۱۹۹۵) زمین‌لرزه ۶ نوامبر ۱۹۹۰ فورگ هرمزگان با بزرگای  $M_s = 5/7$  را به فعال شدن گسل زاگرس مرتفع نسبت داده است. به نظر والکر و همکاران<sup>۴۳</sup> (۲۰۰۵) زمین‌لرزه فورگ در اثر فعالیت دوباره در طول زمین درز مهم زمین‌شناسی بین صفحه ایران - عربی رویداده است.

به‌استثنای زمین‌لرزه‌های ۱۸۶۵ و ۱۸۹۴ میلادی، از زمین‌لرزه ۱۹۹۰/۱۱/۶ فورگ ( $M_s = 5/7$ ) در جنوب خاوری تا زمین‌لرزه‌های ۱۹۳۴/۳/۱۳ ( $M_s = 5/3$ )، ۱۹۷۵/۵/۹ ( $M_s = 4/9$ ) و ۱۹۸۹/۱۰/۱ ( $m_b = 5/2$ ) که در نتیجه فعالیت قطعه گسلی دنا در جنوب باختری گسل زاگرس مرتفع رویداده‌اند، یک نبود لرزه‌ای در طول حدود ۴۴۰ کیلومتر از گسل زاگرس مرتفع دیده می‌شود [۵۵].

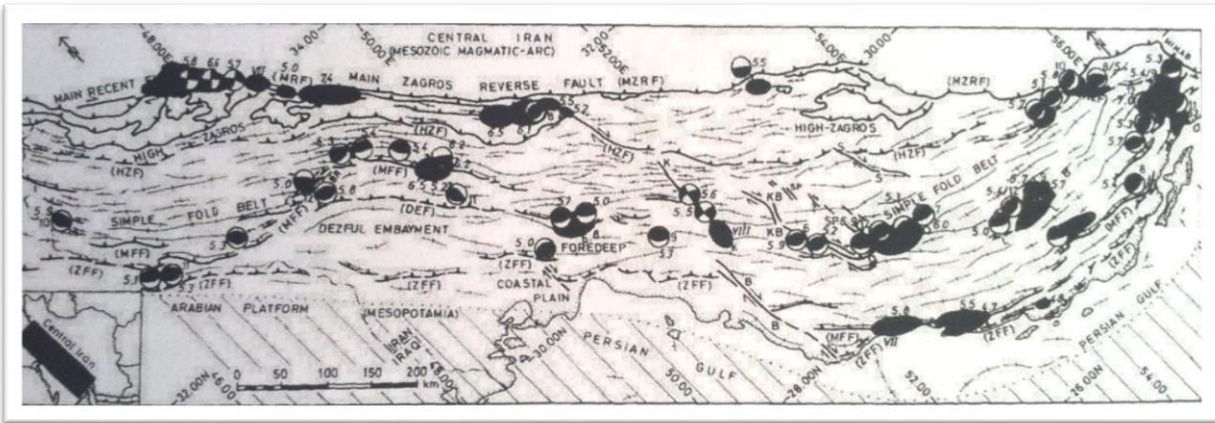
<sup>۴۲</sup> Berberian

<sup>۴۳</sup> Walker et al.

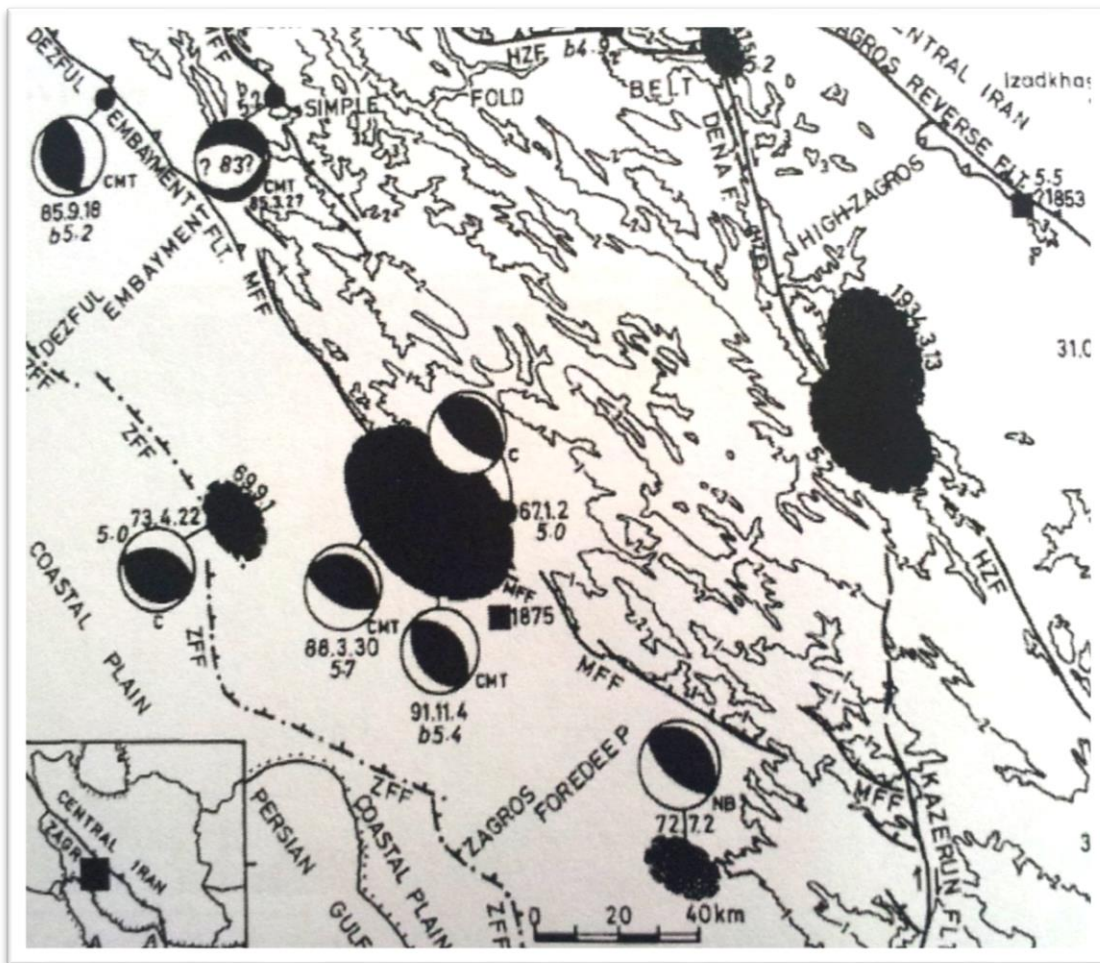
## ۵-۲-۲ گسل پیشانی کوهستان (MFF)

گسل پیشانی کوهستان به عنوان مرز زاگرس چین خورده ساده با کوهپایه‌ها و دشت ساحلی خلیج فارس تشکیل دهنده حد جنوبی برونزد سنگ آهک‌های ائوسن-الیگوسن آسماری است که با شواهد ساختاری، توپوگرافی، ریخت‌زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی مشخص می‌شود. گسل رانده پوشیده پیشانی کوهستان با درازای بیش از ۱۳۵۰ کیلومتر در ایران از قطعات رانده متعددی با طول‌های ۱۵ تا ۱۱۵ کیلومتر تشکیل شده است. میزان جابجایی شاغولی در امتداد این گسل بیش از ۶ کیلومتر تخمین زده می‌شود. گسل پیشانی کوهستان توسط گسل فعال کازرون-برازجان بیش از ۱۴۰ کیلومتر به صورت راستگرد جابجا شده است [۵۵] (شکل ۵-۲).

این میزان جابجایی با ۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع در طول گسل پیشانی کوهستان همراه بوده است (۵۰۰ متر در شرق و ۱۰۰۰ متر در غرب گسل کازرون-برازجان). مطالعه پهناهای مه‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های رویداده با بزرگای متوسط تا زیاد در طول قطعات گسلی سازنده گسل پیشانی کوهستان، نشانگر تمرکز رومرکز زمین-لرزه‌ها در محل انقطاع اثر محوری چین‌ها در سطح زمین است. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که کانون زمین‌لرزه‌ها در مجاورت نبوده‌های بین قطعه‌ایی، قطعات گسلی پی‌سنگی سازنده گسل پیشانی کوهستان قرار دارند. به طور مثال، رومرکز زمین‌لرزه‌های ۱۰۲۵ میلادی با بزرگای  $M_s \sim 5/8$ ، ۱۹۲۹/۷/۵ میلادی با بزرگای  $M_b = 6/5$ ، ۱۹۵۰/۱/۱۹ میلادی با بزرگای  $M_s = 5/5$ ، ۱۹۵۴/۸/۲۰ میلادی با شدت  $I_0 = VII$ ، ۱۹۷۸/۱/۱۴ میلادی با بزرگای  $M_s = 6/2$ ، ۱۹۸۸/۳/۳۰ میلادی با بزرگای  $M_s = 5/7$  و ۱۹۹۱/۱۱/۰۴ میلادی با بزرگای  $M_b = 5/4$  تأییدکننده این مطلب هستند. بنابراین شاید این نبوده‌ها نامزد محل وقوع حوادث آینده باشند. سازوکار این زمین‌لرزه‌ها عمدتاً یک راندگی را نشان می‌دهد [۵۵] (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۲ نقشه راندگی‌های فعال پی‌سنگی (کور)، گسل‌های راست‌الغز عرضی فعال پی‌سنگی و گسل فعال اصلی زاگرس، به همراه راه‌حل سازوکارهای کانونی و پهنه‌های مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای متوسط تا بزرگ در گستره کمربند چین-خورده-رانده زاگرس [۵۵].



شکل ۵-۳ تمرکز کانون زمین‌لرزه‌ها در مجاورت نبود بین‌قطعه‌ای گسل پیشانی کوهستان [۵۵].



### ۳-۲-۵ گسل پیش‌ژرفای زاگرس (ZFF)

گسل پیش‌ژرفای زاگرس جداکننده کمربند پیش‌ژرفای زاگرس (در شمال و شمال خاوری) از دشت ساحلی زاگرس (در جنوب و جنوب باختری) است. این گسل حد شمال خاوری آبرفت‌های دشت ساحلی خلیج فارس را مشخص می‌کند و گسلی معکوس با مؤلفه راستالغز است. گسل پیش‌ژرفای زاگرس مانند گسل پیشانی کوهستان از قطعات گسلی مختلفی تشکیل شده است و نشان‌دهنده جابجایی ۱۵۰ کیلومتری راستگرد در امتداد گسل فعال کازرون- برازجان است [۵۵] (شکل ۲-۵). این گسل در گستره مورد مطالعه شامل ۴ قطعه است، سه قطعه آن روند شرقی- غربی و قطعه چهارم روند شمالی- جنوبی دارد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل پیش‌ژرفای زاگرس. بربریان (۱۹۹۵) رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی زیر را به فعال شدن این گسل نسبت می‌دهد [۵۵]؛

زمین‌لرزه ۱۴۹۷ میلادی هرمز با بزرگای  $M_w = 6.4$  و شدت  $I_0 = VIII$

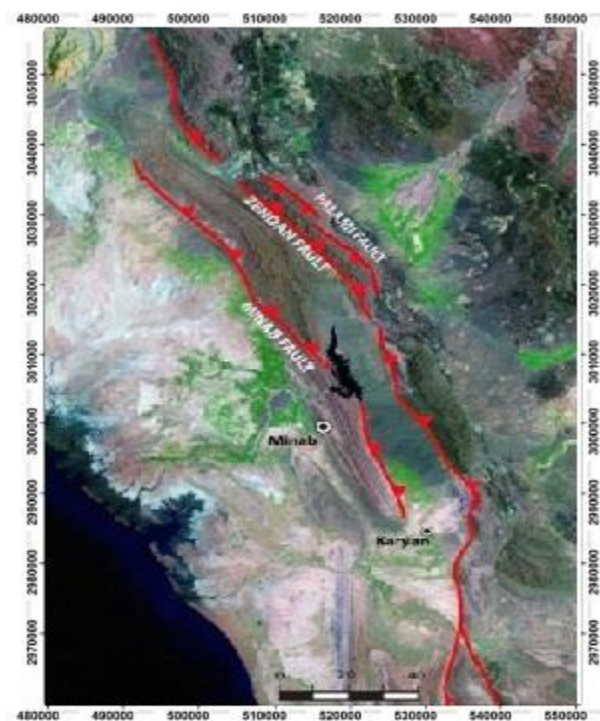


زمین لرزه ۴ اکتبر میلادی بندرعباس با بزرگای  $M_w < 5/5$  و شدت  $IO > VII$

#### ۵-۲-۴ گسل میناب- زندان

سامانه گسلی میناب- زندان با روند شمال شمال باختری و با شیب به سمت شرق یک مرز سنگ‌شناختی اصلی بین زون تصادم زاگرس در غرب و فرورانش در شرق است (شکل ۵-۵).

این گسل با طول تقریبی ۲۵۰ کیلومتر از گسل معکوس اصلی زاگرس در شمال تا دریای عمان در جنوب امتداد دارد. گسل زندان از قطعات گسلی متعددی تشکیل شده است که در ۵۰ کیلومتر شمالی آن این قطعات دارای طرح پلکانی<sup>۴۴</sup> هستند [۵۶].



شکل ۵-۵ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک ۳۰ متر نشان دهنده موقعیت مکانی گسلهای میناب، زندان و پلامی.

براساس مطالعات انجام شده توسط ریگارد و همکاران<sup>۴۵</sup> (۲۰۰۴)، سرعت جابجایی در پهنه سامانه گسلی

<sup>۴۴</sup> en echelon

<sup>۴۵</sup> Regard et al.

میناب- زندان براساس اندازه‌گیری میزان جدایش رویداده حاصل از فعالیت این سامانه گسلی در رسوبات کواترنری و سن لغزش برابر  $1/3 \pm 5/1$  mm/yr تا  $1/5 \pm 6/6$  محاسبه شده است. با توجه به داده‌های زمین‌شناسی، تفسیر عکس‌های هوایی، داده‌های لرزه‌شناسی، باور بر آنست که زون گسلی میناب، راستالغز است و بلوک خاوری آن به‌سوی جنوب حرکت کرده است [۵۷].

به عقیده فالکون<sup>۴۶</sup> (۱۹۶۷)، حرکت افقی راستگرد این گسل احتمالاً در کرتاسه پسین- ترشیری پیشین صورت گرفته است. اما، وجود گنبد‌های نمکی در زاگرس و خلیج فارس و نبود آنها در ناحیه مکران، باعث شده بعضی از زمین‌شناسان، سن این گسل را ۵۰۰ میلیون سال بدانند.

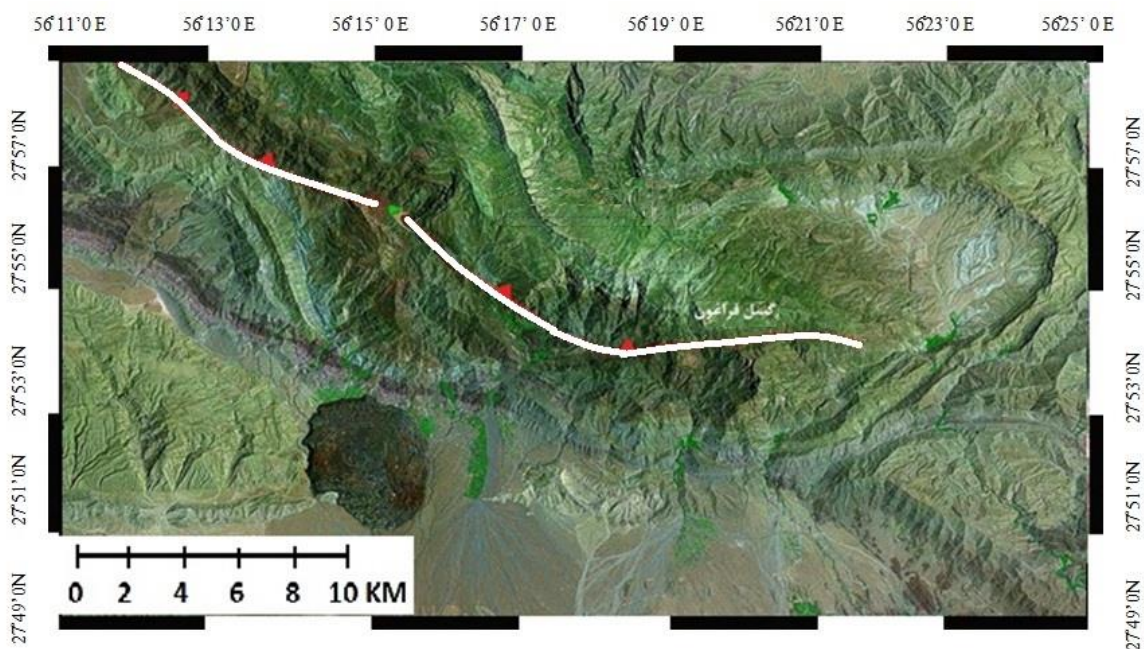
به نظر بربریان (۱۹۹۵)، رویداد زمین‌لرزه ۱۸ فوریه ۱۴۸۳ میلادی هرمز با بزرگای  $Mw = 7/7$  ممکن است بر اثر فعالیت گسل میناب رویداده باشد [۵۹].

#### ۵-۲-۵ گسل فراغون

گسل فراغون به‌عنوان یکی از قطعات جنوب خاوری گسل زاگرس مرتفع، دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری است. این گسل باعث رانده شدن آهک و شیل کرتاسه روی دولومیت و تبخیری‌های پرمین- تریاس شده است. شیب گسل فراغون به سمت شمال شرق بوده و دارای مؤلفه راستالغز راست‌بر است (شکل ۵-۶).

---

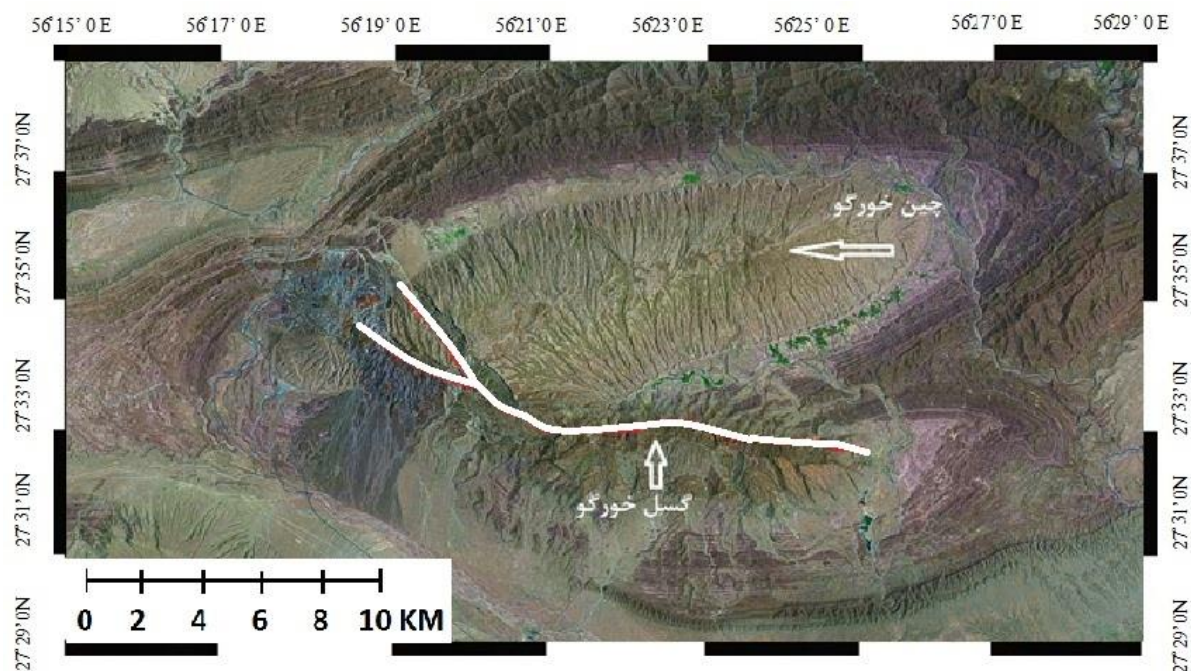
<sup>۴۶</sup> Falcon



شکل ۵-۶ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل فراغون.

#### ۵-۲-۶ گسل خورگو

گسلی شرقی- غربی با ۲۲ کیلومتر طول که تا ۳ کیلومتری جنوب روستای شهرو ادامه دارد و بخش جنوبی تاقدیس خورگو را از کوه خورگو جدا می‌کند (شکل ۵-۷). گسل خورگو یک گسل نرمال با شیب زیاد است و سازندهای آسماری و میشان را قطع می‌کند و بخش جنوبی آن فرازش دارد. در طول این گسل سازند آسماری (در جنوب) در کنار سازند میشان (در شمال) قرار گرفته است. این گسل به سمت خاور، کم کم در سازند میشان محو می‌شود و مرز شمالی آن کوه نمک در باختر- شمال است. به عقیده بربریان (۱۹۷۸)، این گسل در رخداد زمین‌لرزه ۲۲ مارس ۱۹۷۷ خورگو با بزرگی  $M_s = 7.0$  نقشی نداشته است [۵۸].

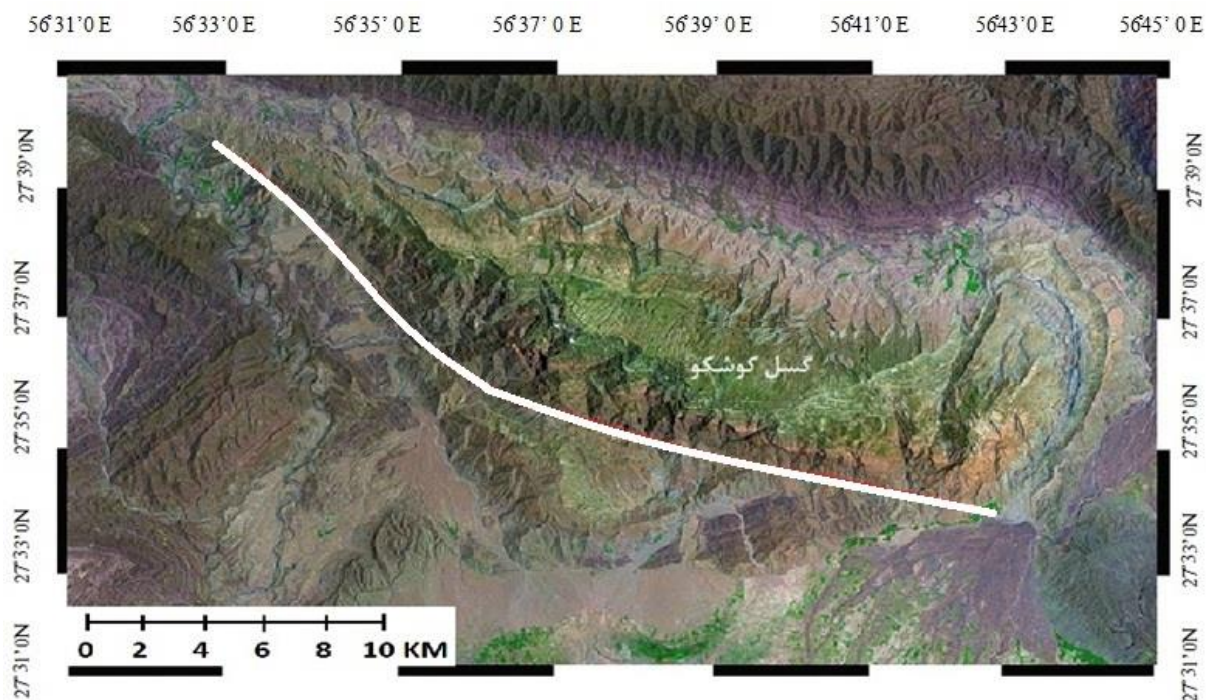


شکل ۷-۵ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل خورگو.

#### ۷-۲-۵ گسل کوشکو

گسلی است معکوس با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی و در حدود ۳۰ کیلومتر طول. در طول این گسل سازند سورمه (ژوراسیک) روی امتداد گورپی (مائستریشین) رانده شده است. در طول بخش غربی آن یک شاخه خطی از نمک هرمز بیرون زدگی دارد. در جنوب شرق، گسل توسط رسوبات آبرفتی کواترنر پوشیده شده است و به سمت شمال غرب کم کم در سازند آجاجاری (میو- پلیوسن) پنهان می‌شود. این گسل نیز در رخدادهای زمین‌لرزه ۲۱ مارس ۱۹۷۷ نقشی نداشته است [۵۵] (شکل ۷-۵).



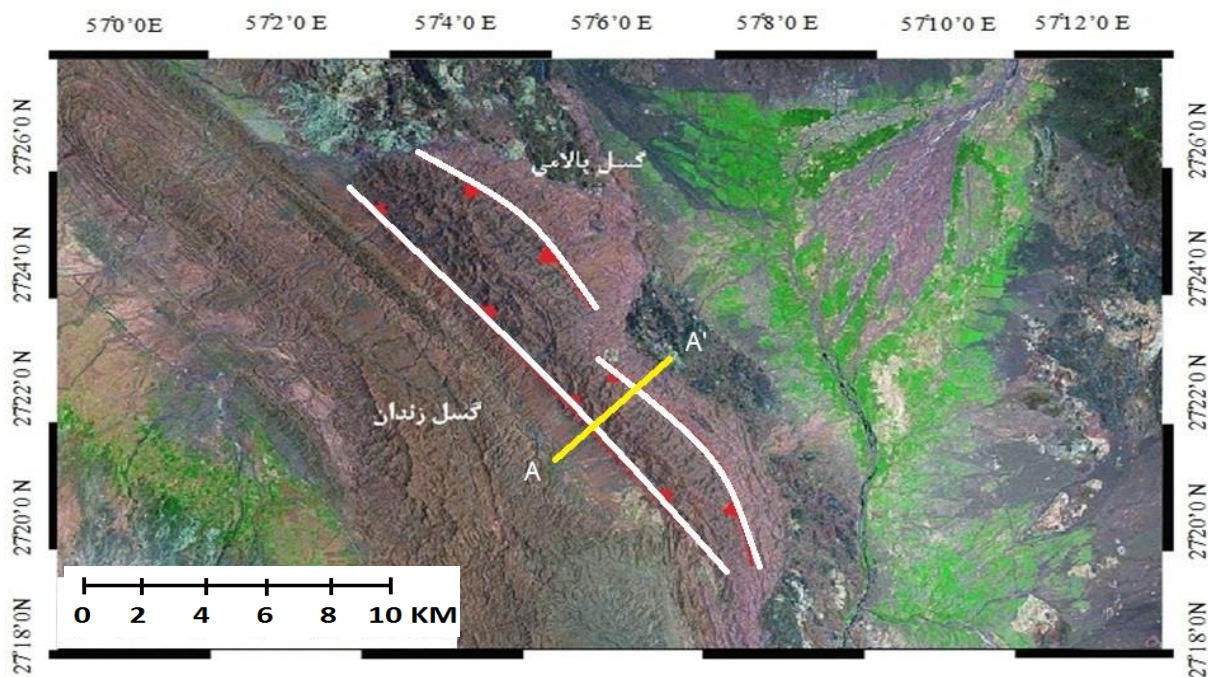


شکل ۸-۵ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل کوشکو

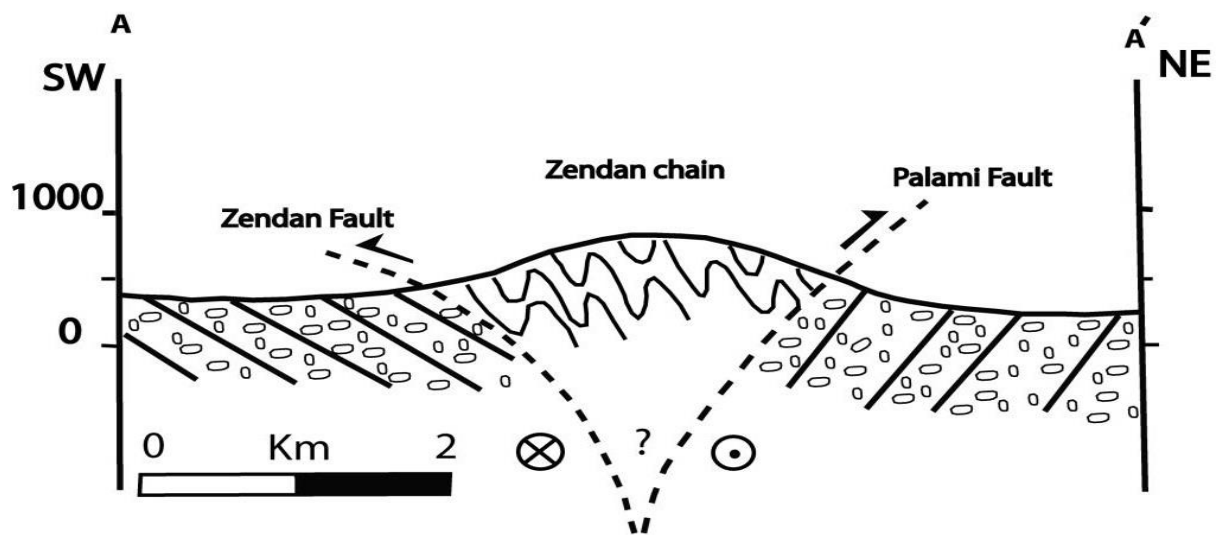
#### ۸-۲-۵ گسل پالامی

گسل پالامی گسلی اریب لغز با مؤلفه راندگی و تقریباً به موازات گسل زندان است. این گسل در شمال و نزدیک راندگی اصلی زاگرس به وضوح دیده نمی‌شود. در نزدیکی میناب، گسل پالامی در ۵ کیلومتری شرق گسل زندان قرار دارد و به سمت جنوب، این گسل در فاصله ۲۰ کیلومتری گسل زندان واقع شده است (شکل ۸-۵).

این گسل نسبت به گسل زندان دارای قطعات کمتری بوده و طول میانگین قطعات آن حدود ۲۵ است و بیشترین طول قطعات به ۴۱ کیلومتر می‌رسد. گسل پالامی مخروط افکنه‌های کواترنر را تحت تأثیر قرار داده است. این گسل، گسلی بزرگ زاویه با شیب به سمت غرب- جنوب غرب است که به طرف جنوب به دو پهنه گسلی تقسیم می‌شود، که یکی رسوبات ساحلی اطراف جاسک را می‌برد و دیگری به منشور دگرریختی مکران متصل می‌شود [۵۶].



شکل ۵-۹ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل پالامی. با توجه به هندسه گسل‌های زندان و پالامی و همچنین در نظر گرفتن حرکت راستالغز راستگرد برای این زون گسلی، برش عرضی کوه زندان، یک ساختار گل سرخی مثبت<sup>۴۷</sup> را پیشنهاد می‌کند [۵۶] (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰ برش عرضی کوه زندان که ساختار گل سرخی مثبت را برای آن پیشنهاد می‌کند [۵۶]

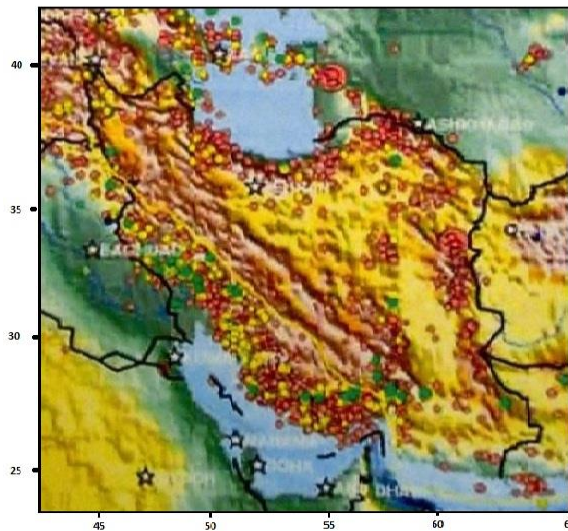
<sup>۴۷</sup> positive flower structure

## ۵-۳ لرزه‌خیزی در گستره مورد مطالعه

### ۵-۳-۱ تاریخچه لرزه‌خیزی گستره زاگرس

مطالعه تاریخچه لرزه‌خیزی گستره زاگرس حکایت از رویداد زمین‌لرزه‌های ویرانگری دارد که بارها باعث ویرانی و تخریب شهرها و روستاهای این گستره شده است. وجود گسل‌های بنیادی جنب‌و‌بزرگ در این پهنه مانند گسل‌های زاگرس جوان، زاگرس مرتفع، پیشانی کوهستان، کازرون، برازجان، اردل و بسیاری گسل‌های فعال پوشیده دیگر باعث لرزه‌خیزی بالای این پهنه شده‌اند و در طول تاریخ ضمن جنبش مجدد خود عامل زمین‌لرزه‌های خسارت‌باری در بخش‌های مختلف این گستره بوده‌اند به‌طوری‌که شهرهای اهواز، همدان، شیراز، جزیره هرمز، بندرعباس، دشت سیلاخور (دورود، بروجرد)، شهرهایی از استان کردستان، حاجی‌آباد، فیروزآباد و نواحی بسیار دیگری، بارها طی زمین‌لرزه‌های تاریخی و سده اخیر لرزیده و خسارت دیده‌اند. مطالعه تاریخچه لرزه‌خیزی زاگرس نشان‌دهنده تمرکز بالای رومرکز زمین‌لرزه‌های رویداده در این پهنه است به‌گونه‌ای که در مقایسه با سایر نواحی ایران دارای بیشترین فراوانی بوده و در تمام سطح این گستره پراکنده

هستند(شکل ۵-۱۱)



شکل ۵-۱۱ فراوانی رومرکز زمین‌لرزه‌های زاگرس در مقایسه با سایر نواحی ایران (زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵، IIEES).

### ۵-۳-۲ زمین‌لرزه‌های تاریخی گستره مورد مطالعه

در این بخش به منظور ترسیم سیمای کلی شدت و میزان خسارات و تلفات جانی زمین‌لرزه‌های تاریخی گسترده مورد مطالعه، مهمترین رخداد زمین‌لرزه‌های تاریخی ارئه می‌شود:

#### ۵-۳-۱-۱ زمین‌لرزه ۱-۱۳۶۰ میلادی، جزیره قشم:

رازانی و لی (۱۹۷۳) از سامی نقل کرده‌اند که جزیره قشم در ۷۶۲ هجری قمری تخریب شد [۵۹]

#### ۵-۳-۲-۲ زمین‌لرزه ۱۸ فوریه ۱۴۸۳ میلادی، مکران باختری:

در ۲۱ رمضان ۸۸۷، ۳ نوامبر ۱۴۸۲، رشته‌ای از پیش‌لرزه‌ها آغاز شد که سه ماه بعد در ۱۰ محرم ۸۸۸، ۱۸ فوریه ۱۴۸۳ با زمین‌لرزه ویرانگری در تنگه هرمز به اوج خود رسید. در جرون زمین‌لرزه برخی ساختمان‌های بلند، مناره‌های مسجدها و بادگیرهای خانه‌ها را انداخت و یا به آنها آسیب رساند. در حدود همین زمان شمال خاور عمان نیز در اثر زمین‌لرزه‌ها آسیب دید. از جزئیات اثرات زمین‌لرزه در هرمز می‌توان به این نتیجه رسید که زمین‌لرزه‌ای با بزرگای زیاد روی داده و منطقه رومرکزی آن قدری از جزیره دور بوده است (آمبرسیز و ملویل، ۱۳۷۰).

#### ۵-۳-۲-۳ زمین‌لرزه ۱۴۹۷ میلادی، هرمز:

سراسر یک شهر در همسایگی هرمز، به احتمال زیاد گامبرون، به کلی ویران شد و ساکنان آن در زیر ویرانه‌ها جان باختند [۶۰].

#### ۵-۳-۲-۴ زمین‌لرزه ۱۴ اکتبر ۱۶۲۲ میلادی، بندرعباس:

زمین‌لرزه ویرانگری در بندرعباس و جزیره هرمز خانه‌های بسیاری را ویران کرد و باعث فرو ریختن یک برج دژ شد. لرزه‌های پیاپی که به مدت دو روز ادامه داشت بر شدت آسیب افزود [۶۰].

#### ۵-۳-۲-۵ زمین‌لرزه ۴-۱۸۸۳ و ۴-۱۷۰۳ میلادی، جزایر هنگام و کیش:

رازانی و لی (۱۹۷۳) از سامی نقل کرده‌اند که جزایر هنگام و کیش در سال ۱۱۱۵ A.H ویران شدند (۱۷ می



۱۷۰۳ تا ۵ می ۱۷۰۷ میلادی). همچنین آنها ذکر کرده‌اند که سامی گفته این جزایر در سال ۱۳۱۰ A.H نیز تخریب شده‌اند (۲ نوامبر ۱۸۸۳ تا ۲۰ اکتبر ۱۸۸۴ میلادی) [۵۹].

۵-۳-۶ زمین‌لرزه ۱۹-۲۰ می ۱۸۸۴ میلادی، جزیره قشم:

به عقیده کبابی (۱۹۶۳) زمین‌لرزه‌های بزرگ در جزیره قشم رخ داد که ۷۱ نفر را در بندر لافت، ۲ نفر را در ساحلی، ۷ نفر را در تنبان، ۷۰ نفر را در دیرستان، یک نفر را در بندر سوزا، ۸ نفر را در بندر حاج علی، ۱۶ نفر را در رمکان، ۱۰ نفر را در کوشان، ۲۰ نفر را در گوربدان و سورقان، ۷ نفر را در کاروان، ۱۱ نفر را در زیمابی، ۱۸ نفر را در پی‌پشت، ۴ نفر را در مجیان و ۱۳ نفر را در گیاهدان کشت. آمار کل کشته‌شدگان ۲۱۸ نفر بود و روستاهای زیادی تخریب شدند. زمین‌لرزه در شهر قشم خرابی و خساراتی بر جای نگذاشت. زمین‌لرزه در بندر لنگه احساس شد و پس‌لرزه‌ها تا چندین روز ادامه داشت [۵۹].

۵-۳-۷ زمین‌لرزه ۱۱ ژانویه ۱۸۹۷ میلادی، جزیره قشم:

به نظر کبابی (۱۹۶۳) زمین‌لرزه اصلی در طول شب رخ داده است. شهر قشم با خاک یکسان شد و ۷۵۰ نفر جان باختند. به‌نظر می‌رسید فقط دو مسجد و ۳ یا ۴ خانه پا بر جا ماندند. بعضی از مردم جزیره لارک خسارت دیدند و زلزله در بندر لنگه احساس شده است (روزنامه خلیج فارس ۲۲/۸ P)، زمین‌لرزه به‌وسیله آگامنون<sup>۴۸</sup> (۱۸۹۷)، ویلسون (۱۹۳۰)، و رازانی و لی<sup>۴۹</sup> (۱۹۷۳) هم گزارش شده است [۵۹].

### ۵-۳-۳ زمین‌لرزه‌های دستگاهی

مطالعه زمین‌لرزه‌های دستگاهی (از سال ۱۹۹۰ میلادی) گستره زاگرس نشان می‌دهد که این بخش از کشور در طول سده اخیر بارها توسط زمین‌لرزه‌های ویرانگری به‌شدت لرزیده است. وقوع بیش از ۳۰۰ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۵ در این گستره، نشان‌دهنده لرزه‌خیزی بالای این پهنه از کشور است، زمین‌لرزه‌های مخربی

<sup>۴۸</sup> Agamennone

<sup>۴۹</sup> Lee

که بارها باعث ویرانی شهرها و روستاهای این بخش از کشور شده و خسارات مالی و جانی شدیدی را بر جا گذاشته‌اند.

مطالعه زمین‌لرزه‌های دستگاهی ایران در بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۸۱ توسط سازمان انرژی اتمی ایران نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی رخداد زمین‌لرزه‌ها متعلق به گستره زاگرس است. به‌طوریکه ۵۰/۸۳ درصد از ۸۴۲ زمین‌لرزه‌هایی که در این مطالعه بررسی شده‌اند، در پهنه زاگرس رویداده‌اند جدول ۵-۱. براساس این تحقیق بیشترین فراوانی زمین‌لرزه‌های گستره زاگرس از نظر بزرگا متعلق به زمین‌لرزه‌های با بزرگای ۴/۵ تا ۵ ریشتر و کمترین فراوانی متعلق به زمین‌لرزه‌های با بزرگای بین ۶/۵ تا ۷/۵ ریشتر است، که به ترتیب ۳۸/۸ درصد و ۰/۸ درصد از کل زمین‌لرزه‌های زاگرس را تشکیل می‌دهند جدول ۵-۲.

جدول ۵-۱ فراوانی زمین‌لرزه‌ها در زون‌های مختلف ساختمانی ایران

زون	فراوانی (درصد)
زاگرس	۵۰/۸۳
ایران مرکزی	۱۳/۹۴
لوت	۱۱/۹۳
البرز	۱۰/۴۳
کپه داغ	۴/۸۵
سنندج سیرجان	۴/۲۸
مکران و شرق ایران	۳/۷۴

جدول ۵-۲ فراوانی زمین‌لرزه‌های با بزرگای بین ۴ تا ۷/۵ ریشتر در گستره زاگرس

بزرگا (ریشتر)	فراوانی (درصد)
۴-۴/۵	۲۳/۷
۴/۵-۵	۳۸/۸
۵-۵/۵	۲۳/۳
۵/۵-۶	۹
۶-۶/۵	۲/۹
۶/۵-۷	۰/۴
۷-۷/۵	۰/۴

۱-۳-۳-۵ زمین‌لرزه جزیره قشم (۹ جولای ۱۹۰۲):

به عقیده روزنامه‌نگار روزنامه خلیج فارس، در ژوئن ۱۹۰۲ قشم و بندرعباس تحت تأثیر ناآرامی لرزه‌ای بوده است که از روز ۹ ژوئن شروع شده و به مدت چندین روز ادامه داشته است و میزان خسارت وارده در قشم از هر جای دیگری بیشتر بوده است [۶۱]. ویلسون گزارش کرده است که زمین‌لرزه ۹ ژوئن ۱۹۰۲ با بزرگای  $M_s = 6.4$  در جزیره قشم ۱۰ کشته داد. تایمز از لندن در ۲۶ جولای ۱۹۰۲ گزارش داده است که شوک‌های زمین‌لرزه در بندرعباس به صورت یک رویداد روزانه درآمد بود و ساکنان شهر در آن هوای گرم در بیرون از شهر اردو زدند. دیگر شهرهای نزدیک بندرعباس هم خسارت دیدند، قلعه پرتغالی‌ها در هرمز ویران شد و قشم به یک ویرانه تبدیل شد. اطلاعات مفیدی که توسط  $B.S.^5$  ارائه شده است نشان می‌دهد که زمین‌لرزه در نهم جولای، ساعت ۰۳:۳۸ دقیقه بامداد رویداده است و موقعیت کانون سطحی زمین‌لرزه  $27^{\circ}N$  و  $56^{\circ}E$  تعیین شده است، اما بزرگی و عمق کانون زمین‌لرزه محاسبه نشده است [۵۹].

۲-۳-۳-۵ زمین‌لرزه ۲۵ آوریل ۱۹۰۵ میلادی، بندرعباس:

براساس گزارش روزنامه خلیج فارس در ۲۵ آوریل ۱۹۰۵ جنبش و تکان‌هایی در جزیره هرمز و در ۲۷ آوریل جنبش‌هایی در جزیره قشم احساس شد. در همین زمان در حوالی بندرعباس حرکاتی رخ داد که باعث لغزش زمین و تخریب خانه در کوه گنو و روستای ایسین شد. متأسفانه اطلاعات سودمندی در رابطه با این زمین‌لرزه ثبت نشده است [۵۹].

۳-۳-۳-۵ زمین‌لرزه ۴ جولای ۱۹۰۷ میلادی، بندرعباس:

کنسول روسیه در بندرعباس گزارش داده است که در ساعت ۰۹:۰۵ دقیقه صبح به وقت محلی زمین‌لرزه‌ای به مدت ۳۰ ثانیه شهر بندرعباس را لرزاند. جنبش با صدای ناچیزی همراه بوده است. تنها اطلاعات مفید ثبت شده توسط  $B.S.$  در ساعت ۰۹:۲۱ دقیقه صبح به وقت GMT گزارش شده است که کانون سطحی زمین‌لرزه

<sup>50</sup> British Assoc. Adv. Sci.

را در  $27^{\circ}\text{N}$  و  $55^{\circ}\text{E}$  مشخص می‌کند [۵۹].

۴-۳-۳-۵ زمین‌لرزه ۲۴ آوریل ۱۹۴۹ میلادی، نخل ناخدا:

این زمین‌لرزه در ساعت ۸ صبح به وقت محلی در مختصات جغرافیایی  $22^{\circ}$  عرض شمالی و  $42^{\circ}$  طول شرقی با بزرگای تخمینی  $6/5-6$  و در ژرفای کنونی  $50-100$  کیلومتر (ISS) رویداد. بر اثر این زمین‌لرزه یک روستا به‌طور کامل ویران شد و به بندرعباس و ۱۲ روستای دیگر خسارت وارد شد. در روستای نخل ناخدا ۸۰ خانه از ۱۷۰ خانه روستا ویران شد و مابقی نیز آسیب دیدند. این روستا پس از این زمین‌لرزه‌ها در مکان دیگری بنا شد. در بندرعباس تقریباً تمام خانه‌ها ترک برداشتند و بعضی نیز فرو ریختند، بازار شهر نیز آسیب دید. پس‌لرزه‌ها تا سه روز ادامه داشت. در نونگ<sup>۵۱</sup> حسینیه روستا فرو ریخت و مابقی خانه‌ها ترک برداشتند. در باغو خانه‌ها ترک برداشته و بعضی از درختان نخل بر زمین افتادند [۵۹].

۵-۳-۳-۵ زمین‌لرزه ۱۹ دسامبر ۱۹۷۱ میلادی، سرخون:

زمین‌لرزه اصلی در ساعت  $05:15$  بامداد به وقت محلی رخداد و اطلاعات سه زمین‌لرزه ثبت شد:

01h 42m 30.7s GMT: 27.2 N, 56.4 E, mb= 5.3, F.D= 15Km (NOAA)

02h 36m 12s GMT: 27.3 N, 56.4 E, mb= 4.9, F.D= N, (NOAA)

02h 53m 59s GMT: 27.3 N, 56.4 E, mb= 4.5, F.D= 35Km (NOAA)

تأثیرات این زمین‌لرزه در :

سرخون: بیشتر خانه‌ها ترک برداشت و چاه‌های آب تخریب شد؛ تونگ: مدرسه ترک برداشت و حسینیه ویران شد؛ باغو: خانه‌ها ترک برداشتند و آب چشمه کاهش یافت؛ دشر خورگو: گزارش شده که یک شکاف در زمین ایجاد شد که از آن آب خارج می‌شده است؛ بندرعباس: ساختمان‌ها خسارت دیدند، دفاتر ppt و ایستگاه آتش‌نشانی خسارت دیدند، برج فرودگاه کج شده و شیشه پنجره‌های زیادی شکسته شد. زمین‌لرزه در میناب و بندرلنگه احساس شد و پس‌لرزه‌ها تا چندین روز ادامه داشته است [۵۹].

<sup>۵۱</sup> Nong

۵-۳-۳-۶ زمین‌لرزه ۷ مارس ۱۹۷۵ میلادی، سرخون:

زمین‌لرزه سرخون در ساعت ۷ و ۲ دقیقه و ۶ ثانیه (GMT) (۱۰:۵۵:۲۲) به وقت محلی) با بزرگای ۵/۸-۶/۱ و ژرفای کانونی تخمینی ۲۷ کیلومتر رویداد. جنبش زمین که به مدت ۴۰ ثانیه ادامه داشت باعث کشته شدن هفت نفر، مجروح شدن ۲۰۰ تن و آواره شدن ۲۰۰۰ نفر شد [۵۹]

۵-۳-۳-۷ زمین‌لرزه ۲۱ مارس ۱۹۷۷ میلادی، خورگو:

زمین‌لرزه ویرانگر خورگو با بزرگای  $M_s = 7/0$  در ساعات اولیه روز سه‌شنبه، دوم فروردین‌ماه ۱۳۵۶ در چهل کیلومتری شمال بندرعباس رویداد. این زمین‌لرزه ۱۵۲ کشته، ۵۵۶ نفر زخمی به جای گذاشت و در مساحتی برابر ۵۵۰ کیلومتر مربع خرابی به بار آورد. حدود ۱۵۰۰ واحد مسکونی به کلی از بین رفت. بیشترین شدت زمین‌لرزه در حدود  $V$  III بر پایه مقیاس مرکالی تخمین زده شد. این زمین‌لرزه با تشکیل گسل تازه و یا تجدید فعالیت گسل‌های موجود در سطح زمین همراه نبود. لغزش‌های کوچک و بزرگ فراوانی در زمین‌های این ناحیه به وقوع پیوست. سنگ لغزش بزرگی یک دهکده را به کلی ویران کرد. سطح و میزان آبدهی در چشمه‌ها و چاه‌ها تغییر کرد و آب یک چشمه در ناحیه شورتر شد. پیش‌لرزه‌ای که تقریباً ده ثانیه قبل از زلزله اصلی ویرانگر رویداد، همانند زنگ خطری بود که به بیداری مردم از خواب و خروج سریع آنها از خانه‌ها کمک کرد و باعث شد تلفات انسانی کاهش یابد [۵۸].

این زمین‌لرزه در یک منطقه کوهستانی رویداد و محدوده آن تقریباً در طول محور طاق‌دیس خورگو مشخص شد. زمین‌لرزه ویرانگر خورگو مثال دیگری از زمین‌لرزه‌های نوع زاگرس است که تجدید فعالیت لایه‌های سنگی دگرگون شده پرکامبرین در عمق را نشان می‌دهد. زمین‌لرزه‌های نوع زاگرس معمولاً در سطح زمین فاقد اثرات زمین‌ساختی هستند [۵۸].

۵-۳-۳-۸ زمین‌لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ شمسی، جزیره قشم

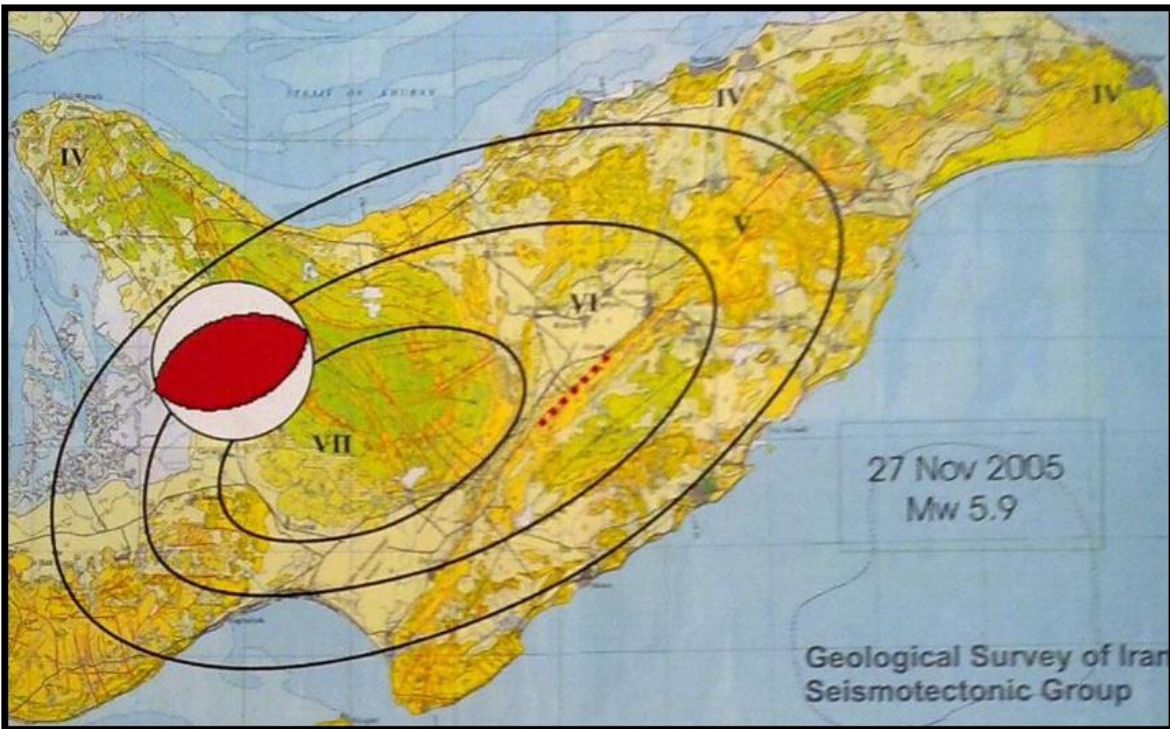
زمین‌لرزه‌های با بزرگای  $M_w = 6/0$  در ششم آذرماه هجری خورشیدی (۲۷ نوامبر ۲۰۰۵ میلادی) در ساعت

۱۰:۲۲:۱۹ به وقت UTC و در ساعت ۱۳:۵۲:۱۹ به وقت محلی، جزیره قشم را لرزاند. بر اثر این زمین‌لرزه روستای تنبان در مرکز جزیره تخریب شد و چندین روستای مجاور آن مانند گاورزین و جیجان به شدت آسیب دیدند. در کل ۱۳ نفر کشته و بیش از ۱۰۰ نفر دیگر هم زخمی شدند [۶۲].

بیشینه شدت زمین‌لرزه در روستاهای گورزین و تنبان و به میزان حدود VII در مقیاس اصلاح شده مرکالی برآورد شد، اگرچه ساختگاه می‌تواند یکی از عوامل تشدیدکننده میزان ویرانی روستاها باشد. (شکل ۵-۱۲) نقشه هم‌شدت این زمین‌لرزه را نشان می‌دهد.

درز و شکاف‌هایی با درازای حدود ۵ کیلومتر در جنوب بیمارستان خلیج فارس روستای جی‌جیان روی زمین به چشم می‌خورد که با توجه به رویداد آن در رسوبات سست و وجود نشانه‌هایی از روان‌گرایی خاک در آن محل، چگونگی زایش و ارتباط ساختاری آن با زمین‌لرزه نیازمند بررسی‌های بیشتر است. علاوه بر این، درز و شکاف‌های دیگری نیز در سایر نقاط جزیره و با روستاهای متفاوت دیده شد. زمین‌لرزه سبب ریزش‌های فراوانی در دامنه‌های بلندی‌ها شد که در یک مورد باعث کشته شدن ۲ نفر در حوالی روستای زیرانگ شد

[۶۳]



شکل ۵-۱۲ نقشه هم‌شدت زمین‌لرزه ۲۷ نوامبر ۲۰۰۵ جزیره قشم با  $M_w = 5.9$ . حل صفحه گسل و رومرکز زمین‌لرزه از سایت USGS گرفته شده است. نقطه چین قرمز موقعیت شکستگی سطحی مشاهده شده در سطح جزیره را نشان می‌دهد [۶۳]

۵-۳-۳-۹ زمین‌لرزه ۲۰ شهریور ۱۳۸۷ شمسی، جزیره قشم:

در روز ۱۳۸۷/۰۶/۲۰، ساعت ۱۵:۳۰:۳۵ (به وقت محلی) زمین‌لرزه‌ای با بزرگای  $mb = 6/2$  در مقیاس امواج پیکری و  $ML = 5/8$  در مقیاس محلی، در ۵۴ کیلومتری باختر شهر قشم و ۶۲ کیلومتری جنوب باختری بندرعباس به وقوع پیوست. سازوکار کانونی این زمین‌لرزه که توسط مراکز علمی USGS و HARV گزارش شده است، راندگی با مؤلفه فرعی امتداد لغز است که با سازوکار گسل‌های منطقه مطابقت دارد. در اثر این زمین‌لرزه ۱۰۰ واحد مسکونی در جزیره قشم خسارت دیدند. همچنین ۷ نفر کشته و ۵۳ مجروح شدند. سقف و دیوارهای ساختمان‌های روستاهای گربدان، تنبان، گورزین، کوشه، کووه‌ای، زینبی، تم سنتی، توریان، جی جیان، خالدین، پی‌پشت، باغ بالا و بنگلی دچار ترک خوردگی و ریزش شد [۶۴].

۴-۵ پارامترهای لرزه خیزی محاسبه شده از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ برای زون ۱ ( cluster )

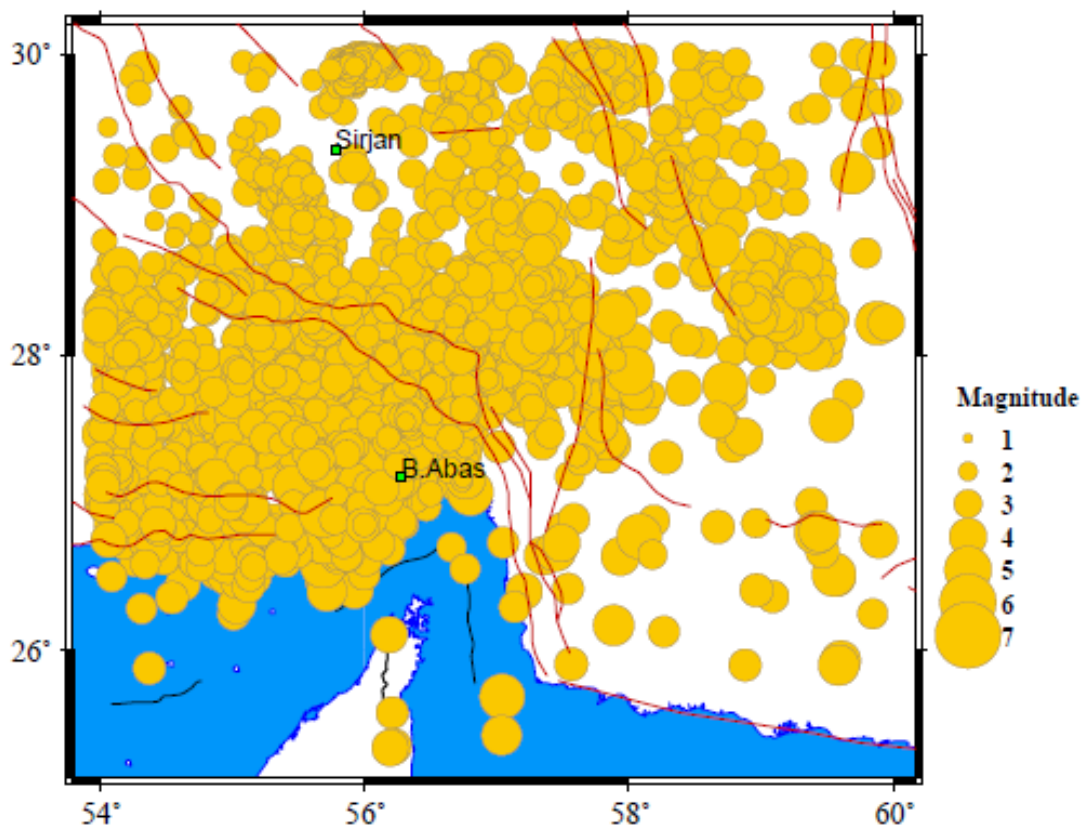
## 2)، زون انتقالی زاگرس - مکران

پس از تعیین زون اصلی پیش لرزه ای در ایران بررسی‌های بیشتری برای مشخص شدن پارامترهای لرزه خیزی در این منطقه انجام شد. پارامترهای اصلی لرزه خیزی که مورد بررسی قرار گرفتند در بخش سوم معرفی شدند و در این قسمت نتایج استخراج شده از داده های لرزه ای این منطقه از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۲ ارائه می‌شود. در ابتدا این پارامترها برای هر سال به صورت جداگانه محاسبه شده و سپس این پارامترها برای دوره ۶ ساله بررسی شدند. از سوی دیگر محاسبه چند ساله این پارامترها امکان بررسی تغییرات و تعیین روند های صورت گرفته را برای مشخص نمودن پویایی تکتونیکی منطقه فراهم می آورد. نتایج محاسبات پارامترهای لرزه خیزی برای هر سال در پیوست آمده است. محاسبات این پارامترها با استفاده از نرم افزار Z-map در محیط MATLAB 2009 صورت گرفته. در ادامه نتایج محاسبات پارامترهای لرزه خیزی را برای زون ۱ ( cluster 2 ) یعنی زون انتقالی زاگرس- مکران برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ ارائه می گردد.



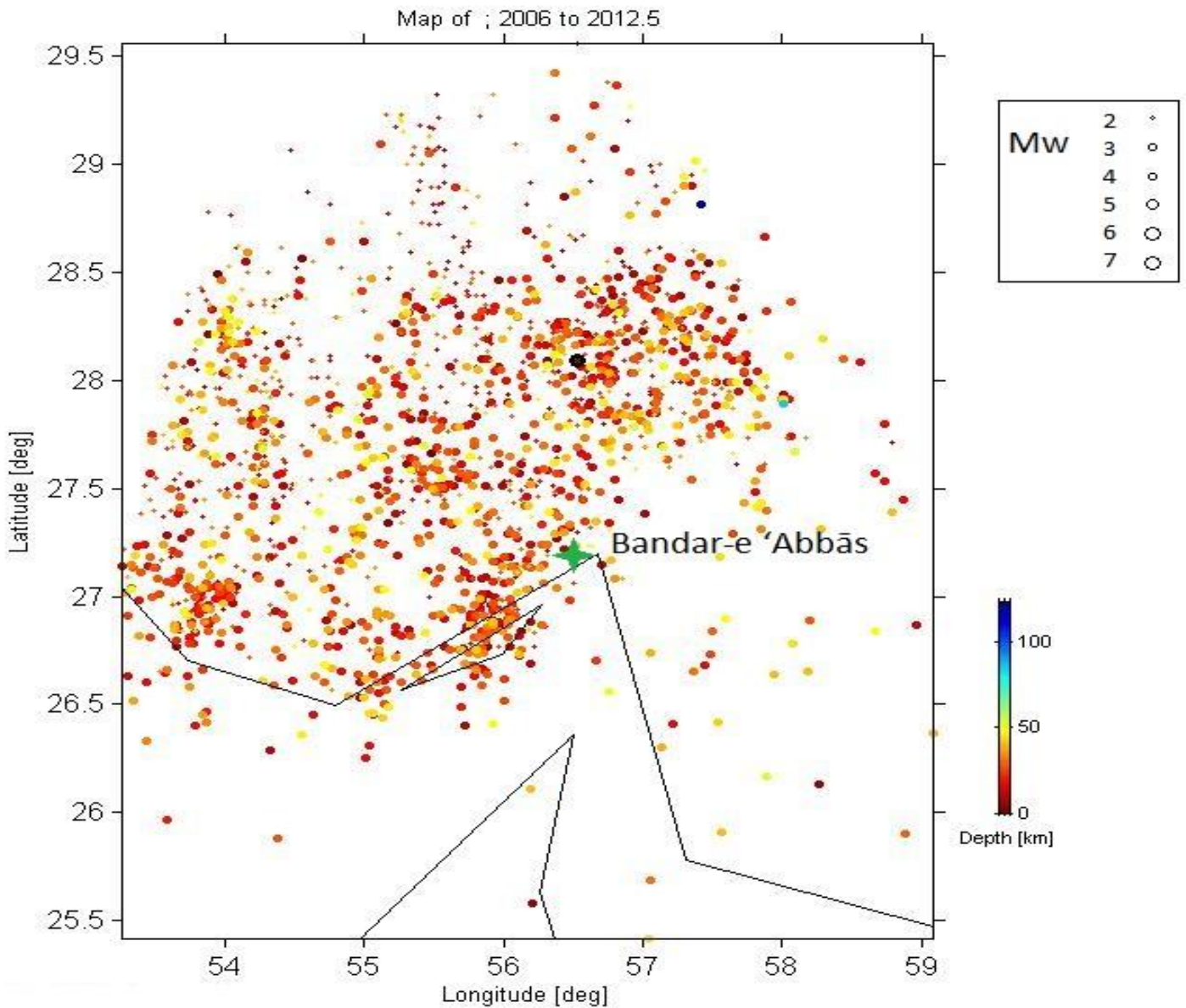
#### ۱-۴-۵ تهیه نقشه های لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران

شکل ۱۳-۵ نشان دهنده پراکندگی لرزه های رخ داده در زون انتقالی با توجه به موقعیت گسلهای اصلی منطقه می باشد. همانطور که در شکل مشاهده می شود سامانه گسلی میناب - زندان دارای لرزه خیزی بالا می باشد همچنین در محدوده تغییر فاز ساختاری در این منطقه تعداد لرزه های بسیار زیادی مشاهده می شود. با توجه به شکل مشاهده می شود هر چه از فاز ساختاری رو راندگی به سمت فرو رانشی پیش می رویم از میزان لرزه ها کاسته می شود که خود موید لرزه خیزی بالاتر مکانیسم روراندگی نسبت به فرو رانش می باشد.



شکل ۱۳-۵ نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران با توجه به موقعیت گسلها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲

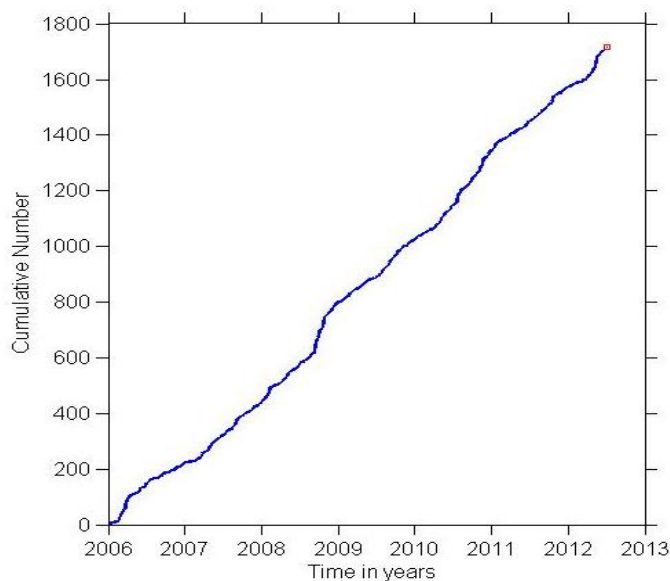
نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران برای سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ طبق شکل ۵-۱۴ تهیه گردید و پارامترهای اصلی لرزه خیزی برای آن محاسبه شد. در ادامه به بررسی این پارامترها می پردازیم.



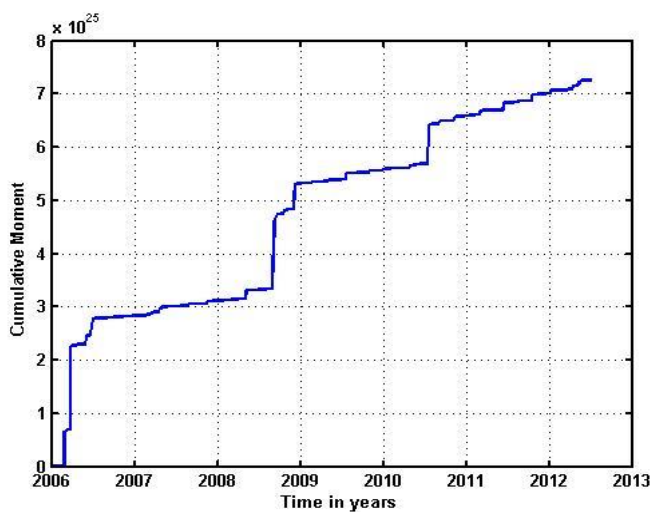
شکل ۵-۱۴ نقشه لرزه خیزی منطقه براساس بزرگی و عمق لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲

#### ۲-۴-۵ نمودارهای تجمعی تعداد و گشتاور لرزه ها

شکل ۱۵-۵ نشان دهنده تعداد تجمعی لرزه های رخ داده در زون انتقالی زاگرس مکران از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ می باشد. نمودار نشان دهنده نرخ ثابت افزایش لرزه ها برای سالهای محاسبه شده می باشد. نکته قابل توجه افزایش نرخ رشد تعداد لرزه ها قبل و بعد از وقوع لرزه های مهم در سالهای ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، و ۲۰۱۰ می باشد.



شکل ۱۵-۵ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



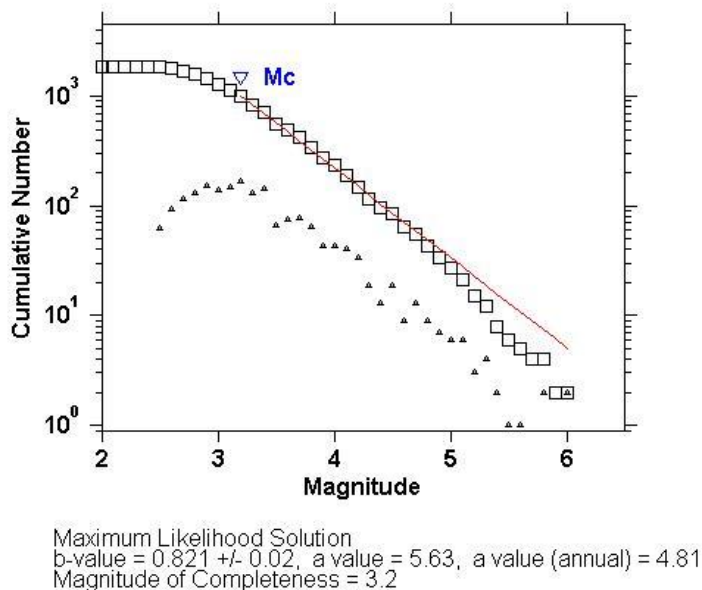
شکل ۱۶-۵ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها

نمودار نشان دهنده افزایش چشم گیر فعالیت های لرزه ای در زمان وقوع لرزه های بزرگ است که این خود بدلیل بالا بودن تعداد پیش لرزه ها و پس لرزه ها در این زون انتقالی می باشد.

نمودار تجمعی گشتاور لرزه ای نیز در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است. این نمودار نشان دهنده گشتاور های لرزه ای ایجاد شده توسط زلزله ها را نشان می دهد. همان گونه که در نمودار مشخص است افزایش چشمگیر گشتاورها برای لرزه های سال ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، و ۲۰۱۲ مشاهده می شود. می توان نتیجه گیری نمود که افزایش شبه تناوبی برای هر دو سال در نرخ گشتاوری لرزه وجود دارد. آخرین پرش نمودار در سال ۲۰۱۰ رخ داده است و طبق نتیجه گیری می توان برای سال جاری یک پرش در نرخ گشتاور لرزه ای این زون انتقالی متصور بود.

#### ۵-۴-۳ محاسبه بزرگای کاملی و مقدارهای $a$ و $b$ به روش بیشینه درست نمایی

پارامترهای اصلی لرزه خیزی یعنی مقدار  $b$  و  $a$  و بزرگای کاملی برای زون انتقالی زاگرس مکران محاسبه شد.



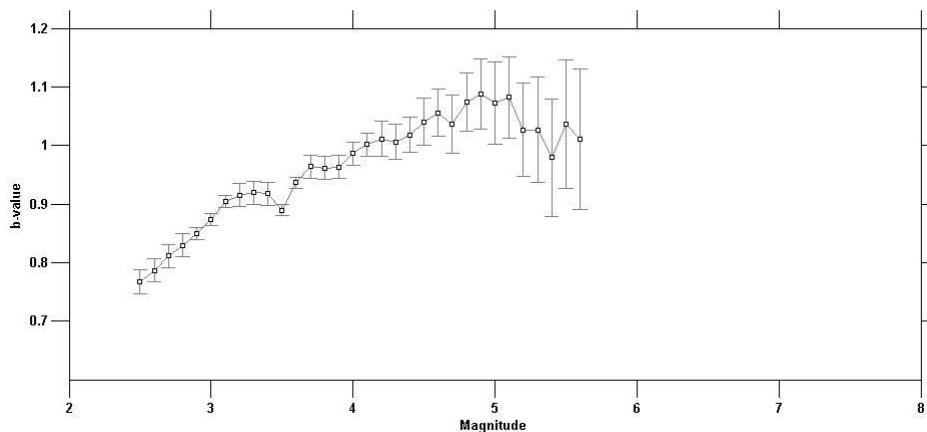
شکل ۵-۱۷ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی)

برای محاسبه از روش بیشینه درست نمایی استفاده شد که در بخش سوم به آن اشاره شد. مقدار بدست آمده

برای مقدار  $b$  در حدود  $0/8$  مقدار  $a$   $5/6$  و بزرگای کاملی  $3/2$  محاسبه شده است. مقدار  $a$  برای هر سال در حدود  $4/8$  بدست آمده است. نتایج و نمودار محاسبه این پارامترها در شکل ۵-۱۷ نشان داده شده است.

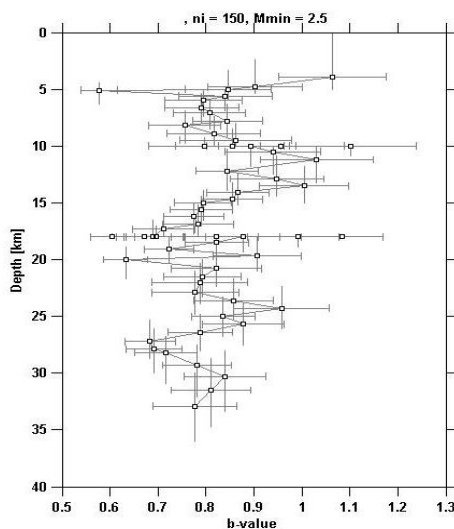
#### ۵-۴-۴ بررسی تغییرات مقدار $b$ در زون انتقالی زاگرس - مکران

نمودار تغییرات مقدار  $b$  بر اساس بزرگی آنها در شکل ۵-۱۸ آمده است. این نمودار نشان دهنده میزان تغییرات این پارامتر با توجه بزرگی آنها می باشد. همان گونه که در شکل مشخص است پایین ترین میزان خطای مقدار  $b$  مربوط به بزرگایی در حدود  $3,5$  می باشد. با بالاتر رفتن میزان بزرگی ها مقدار خطای مقدار  $b$  نیز بیشتر می شود که این بدلیل کاهش تعداد رکوردهای ثبت شده برای این بزرگی ها می باشد. همچنین تغییرات مقدار  $b$  با توجه به تغییرات عمق نیز محاسبه گردید (شکل ۵-۲۱). نتایج نشان می دهند مقدار  $b$  با افزایش عمق به صورتی شبه تناوبی نرخ نزولی از خود نشان می دهد.

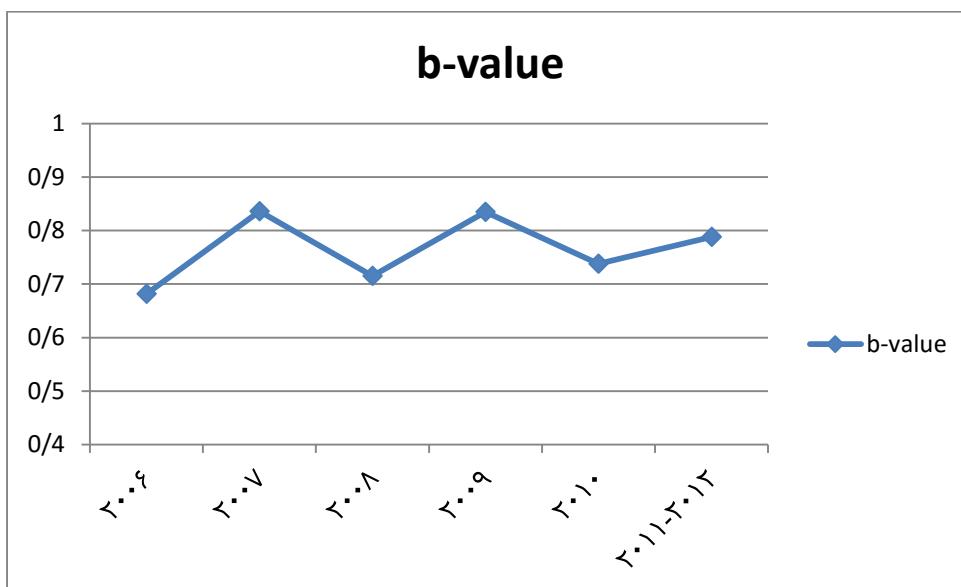


شکل ۵-۱۸ نمودار تغییرات مقدار  $b$  بر حسب بزرگی

روند تغییرات مقدار  $b$  در شکل ۵-۲۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل می توان کاهش میزان مقدار  $b$  با رخداد لرزه های بزرگ رابطه تقریباً مستقیم دارد و با توجه تغییرات مقدار  $b$  می توان پیش بینی تقریبی از میزان خطر رخداد لرزه های بزرگ را داشت.



شکل ۵-۱۹ نمودار تغییرات مقدار  $b$  بر حسب عمق

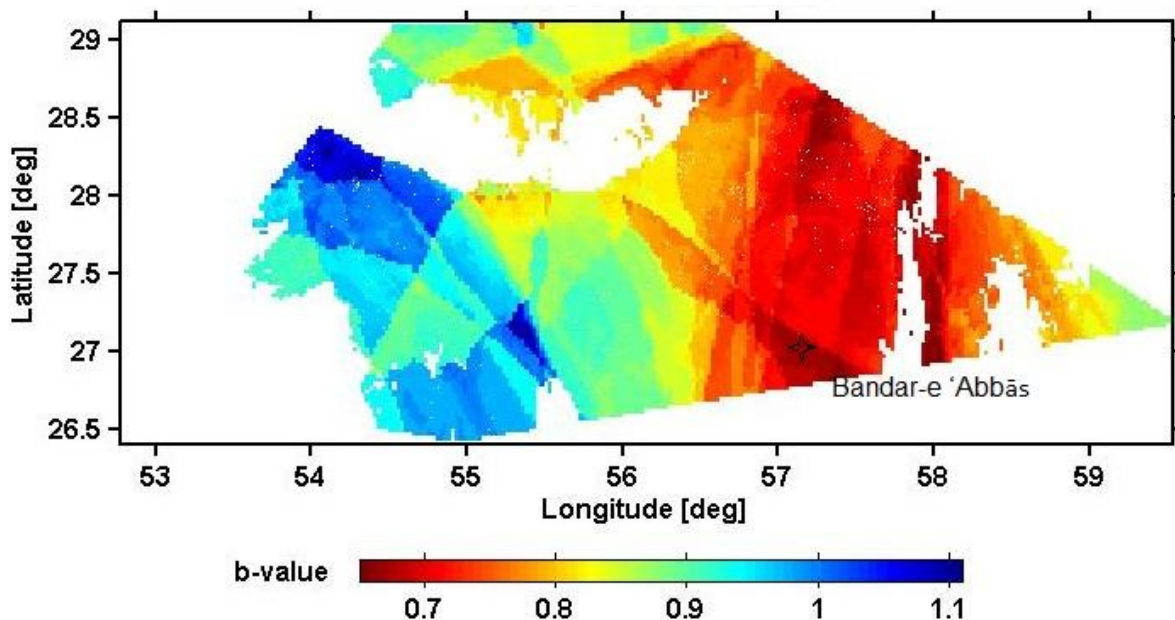


شکل ۵-۲۰ نمودار سری زمانی تغییرات مقدار  $b$  برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲

. با توجه به نمودار مشاهده می شود مقدار  $b$  پس از رخداد زلزله ای با بزرگای ۶ در تاریخ ۲۵ مارس ۲۰۰۶ افزایش یافته و بالاتر از  $0/8$  رسیده است همچنین روند افزایش میزان مقدار  $b$  را بعد از زلزله های با بزرگای ۶ در ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۸ و ۳۱ جولای ۲۰۱۰ نیز شاهد هستیم. همچنین نیز نمودار کاهش میزان مقدار  $b$  قبل از وقوع لرزه های یاد شده را نشان می دهد.

#### ۵-۴-۵ تهیه نقشه های مقدارهای $a$ و $b$ برای منطقه مورد مطالعه

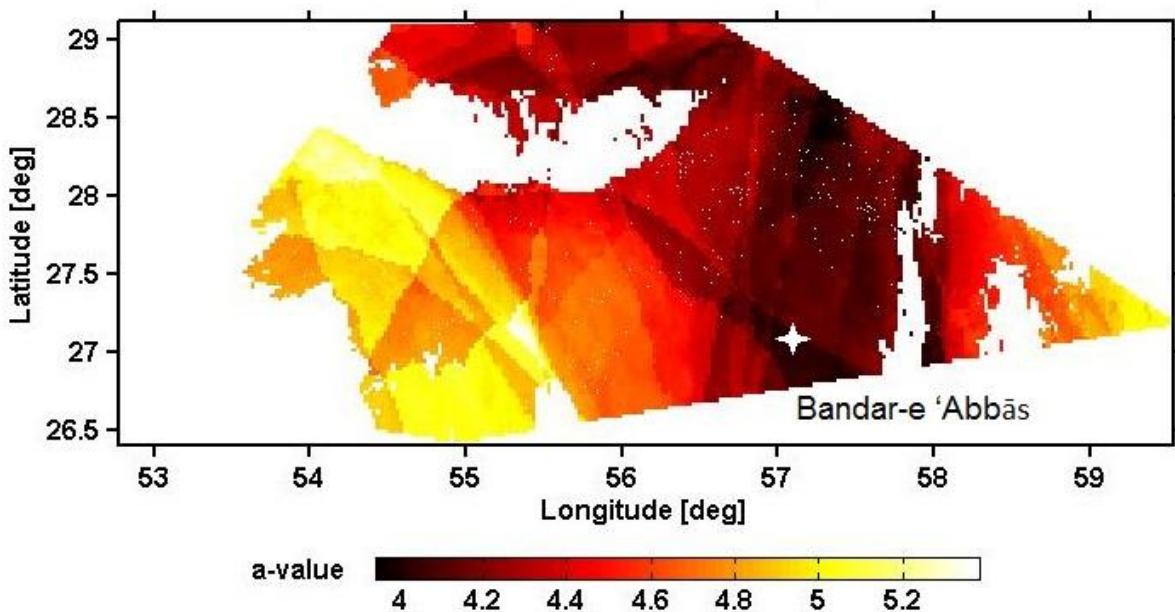
چنانکه در شکل ۵-۲۱ مشاهده می شود مقدار غالب در حدود  $0/9$  است. مطابق شکل می توان نقشه را به دو قسمت شرقی و غربی حوالی طول  $56$  درجه تقسیم کرد. بخش شرقی مقدار  $b$  کمتری از بخش غربی گزارش می کند. کاهش مقدار  $b$  در شرق نقشه می تواند حکایت از فراوانی نسبی زلزله های بزرگ تر، ناشی از چگونگی پخش تنش منطقه ای داشته باشد. پراکندگی این مقدار در بخش شمالی- جنوبی تقریباً مشابه است. بدین ترتیب می توان گفت در بخش گذار از زون زاگرس به مکران تراکم نسبی زلزله های بزرگ تر، بیش از زلزله های کوچک تر است.



شکل ۵-۲۱ نقشه نشانگر میزان مقدار  $b$  برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲



مقدار  $a$  در رابطه گوتنبرگ-ریشتر بیانگر توان لرزه خیزی است و تعداد زلزله های بزرگ تر از صفر را نشان می دهد. این مقدار به عواملی مانند شمار رویدادها، اندازه منبع لرزه زا و شمار سال های مورد محاسبه بستگی دارد. شکل ۲۲-۵ پراکندگی تغییر مقدار  $a$  در این گستره را نشان می دهد. دیده می شود که مقدار غالب ناحیه ایی بیش از ۴ و بیانگر میزان زیاد لرزه خیزی در آن است. نکته جالب توجه تغییر مقدار  $a$  حوالی طول ۵۶ درجه است که قبلاً در شکل ۲۱-۵ هم مشاهده شده بود.

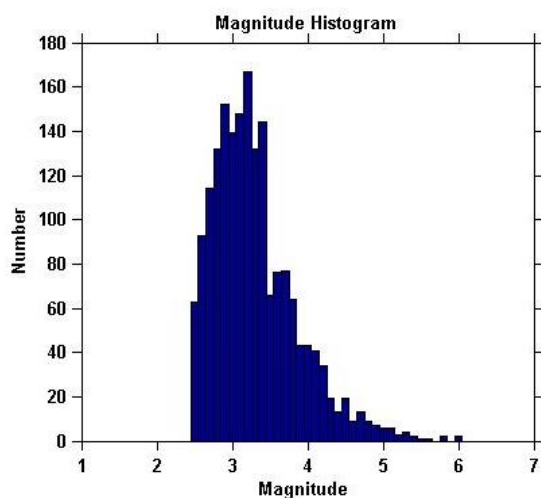


شکل ۲۲-۵ نقشه نشانگر میزان مقدار  $a$  برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲

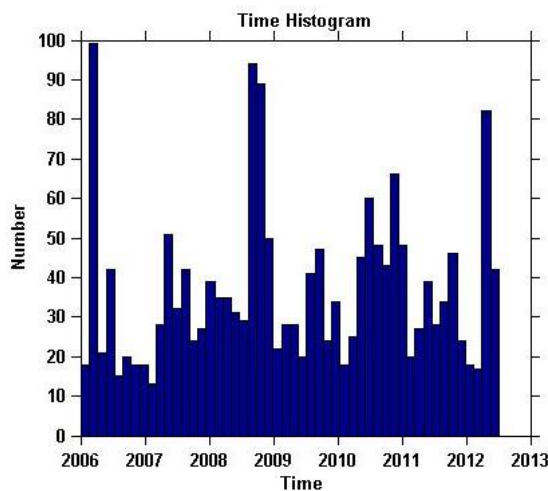


#### ۵-۴-۶ بررسی کمی تعداد لرزه ها

همانگونه که در شکل ۵-۲۳ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان شکل ۵-۲۴ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی می شود تعداد هر لرزه بر اساس بزرگی آن نشان داده شده است. با توجه به هیستوگرام می توان بیان نمود بیشترین تعداد لرزه های رخ داده مربوط به بزرگی  $M_n=3/2$  است هر چه از این بزرگا دور می شویم از تعداد لرزه ها کاسته می شود. این کاهش به سمت لرزه های بزرگتر از  $M_n=3/5$  بسیار چشمگیر تر از لرزه های کوچکتر از  $M_n=3/5$  می باشد. همچنین تعداد لرزه ها در سری زمانی نیز بررسی شدند. هیستوگرام نشان داده شده در شکل ۵-۲۳ بیانگر سه اوج لرزه ای برای سالهای ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ می باشد. این افزایش چشمگیر مرتبط با بالا رفتن فعالیت های لرزه منطقه مربوط به ۳ لرزه اصلی این زون در سالهای مورد بررسی می باشد. همچنین طبق پیش بینی براساس پیوند های تعیین شده در نمودار گشتاور جمعی لرزه ها شبه تناوب های دو ساله برای این منطقه تعیین شده بود که با توجه به تعداد لرزه ها در اواخر سال ۲۰۱۲ شاید بتوانیم یک پرش برای نمودار گشتاورهای لرزه ای این منطقه متصور شویم.



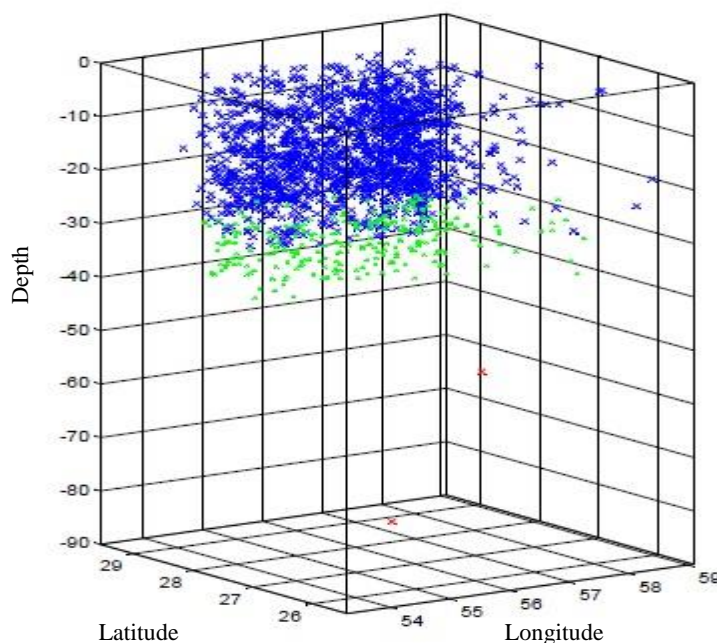
شکل ۵-۲۴ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی



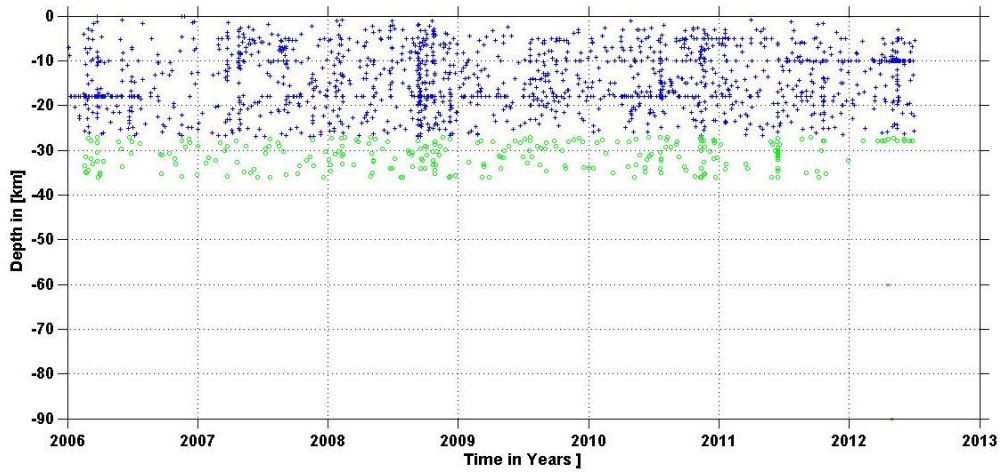
شکل ۵-۲۳ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان

#### ۷-۴-۵ بررسی عمقی لرزه های زون مورد مطالعه

لرزه های زون انتقالی زاگرس - مکران برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ از لحاظ عمقی مورد بررسی قرار گرفتند و بر اساس موقعیت و سری زمانی آنها نشان داده شده. با توجه به شکل ۵-۲۵ می توان بیان نمود لرزه های این منطقه از لحاظ موقعیتی اختلاف مهمی در عمق ندارند و اکثرا لرزه هایی کم عمق محسوب می شوند. اکثر لرزه های رخ داده در این منطقه در عمقی کمتر از ۴۰ کیلومتر رخ داده اند و به غیر از چند مورد خاص لرزه ای با عمق بیش از ۵۰ کیلومتر برای این منطقه ثبت نشده است. با بررسی عمق لرزه ها بر اساس سری زمانی آنها نیز نتایج مشابهی بدست آمد (شکل ۵-۲۶). نکته قابل توجه در بررسی زمانی عمق لرزه مربوط به لرزه های مهم این منطقه بوده است که نشان می دهد در زمان رخداد لرزه اصلی سال ۲۰۰۶ بیشترین فعالیت لرزه ای مربوط به عمق ۲۰ کیلومتر بوده است ولی برای لرزه اصلی سال ۲۰۰۸ فعالیت لرزه ای در تمام عمق ها افزایش چشمگیری از خود نشان داده اند.



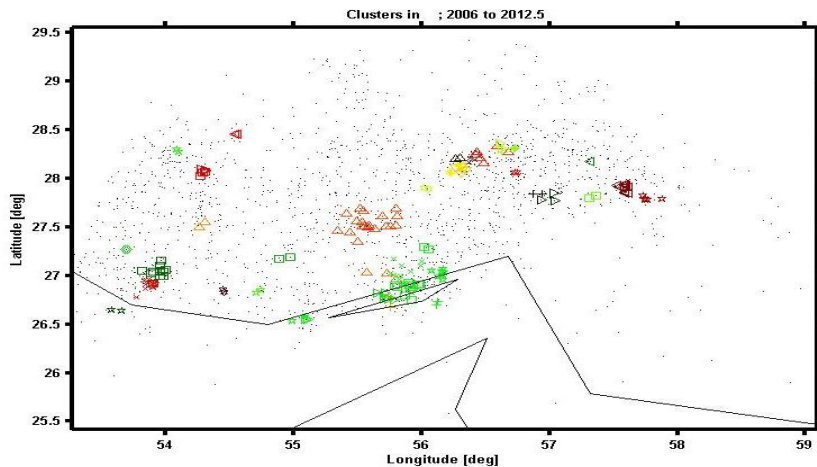
شکل ۵-۲۵ تصویر سه بعدی نشان دهنده عمق لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲



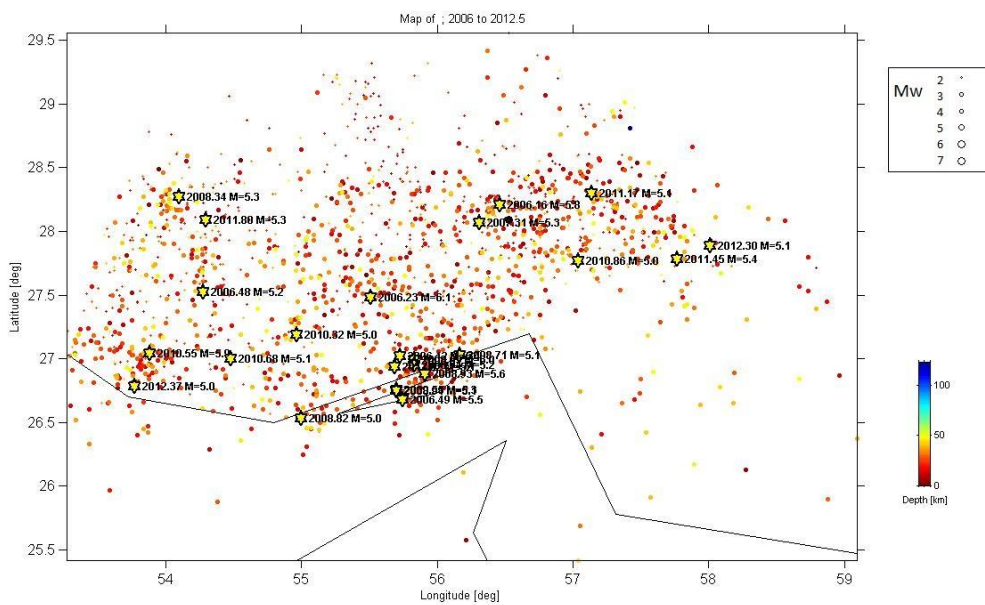
شکل ۲۶-۵ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان

#### ۸-۴-۵ نشان دادن لرزه های اصلی منطقه

در آخرین مرحله لرزه های اصلی منطقه که با استفاده از روش گاردنر و نوپوف ۱۹۷۴ دیکلاستر شدند با رخداد های ثبت شده مطابقت داده شد و لرزه های اصلی منطقه در نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ نشان داده شد (شکل ۲۷-۵ و شکل ۲۸-۵).



شکل ۲۷-۵ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها (اشکال نشان دهنده لرزه های اصلی می باشند)



شکل ۵-۲۸ نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران با نشان دادن لرزه های اصلی منطقه بزرگتر از ۵

# نتیجه گیری

## ۱-۶ نتایج

نتایج این تحقیق در سه بخش اصلی مورد بررسی قرار گرفته و به صورتی موردی برای هر قسمت ارائه می‌گردد.

### ۱- خوشه بندی

- دیکلاسترینگ داده های لرزه ای کشور با روش گاردنر و نوپوف ۱۹۷۴ و تهیه بانک پیش لرزه ای برای لرزه های بزرگتر از ۵.
- خوشه بندی پیش لرزه های کشور در شش خوشه اصلی با استفاده از الگوریتمهای SOM و K-Means و گروه بندی شش خوشه بدست آمده بر اساس پارامتر بزرگی پیش لرزه ها به چهار و پنج گروه با استفاده از آزمون های توکی و دانکن و تعیین زون انتقالی زاگرس - مکران به عنوان زون اصلی پیش لرزه ای کشور از لحاظ تعداد و بزرگی پیش لرزه های قبل از لرزه های بزرگتر از  $M_n=5$ .
- تهیه نقشه پیش لرزه ای کشور با استفاده از نتایج خوشه بندی پیش لرزه ها بر اساس اهمیت زونها طبق نتایج خوشه بندی و گروه بندی.

### ۲- مدلسازی

- نتایج استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بزرگی زلزله ها با استفاده از اطلاعات پیش لرزه ها چندان رضایت بخش نبوده به طوری که ضریب همبستگی مدل در بخش آزمون در حدود ۶۲ درصد بود که برای پیش‌بینی زلزله نتیجه خوبی محسوب نمی‌شود. برای حالت پیش‌بینی در مرحله آموزش شبکه با توپولوژی ۱-۰-۱۴ کمترین خطا را داده است و در قسمت ارزیابی شبکه با توپولوژی ۱-۰-۹ بهترین جواب را داده است. در شبکه با توپولوژی ۱-۰-۱۴ با وجود پایین بودن خطا در فاز آموزش در فاز ارزیابی خطای بالایی دارد که قابل قبول نیست. در مجموع شبکه با توپولوژی ۱-۰-۹ بدلیل پایین بودن نسبی خطا در دو مرحله ارزیابی و آموزش شبکه بهینه معرفی

می شود . همچنین در هر دو مرحله آموزش و ارزیابی، شبکه با تابع انتقال Tansig نتایج بهتری نشان داده است.

- برای مرحله طبقه بندی هر چند دقت مدل بسیار پایین بود ولی از صحت بالایی برخوردار بوده است. این بدان معنی است که مدل هیچ هفته پرخطری را کم خطر تشخیص نداده است پس می توان با درصد بسیار بالایی هفته ای را که مدل پر خطر معرفی می کند پر خطر دانست از آنجایی که تعداد هفته های پر خطر نسبت به هفته های کم خطر پایین تر بود مدل نتوانست تعداد زیادی از آنها را تشخیص دهد با این حال نکته اساسی که به آن اشاره شد درست بودن تمام پیش بینی ها برای هفته پرخطر بوده است. دقت مدل برای این حالت در بخش آزمون ۲۰ درصد و صحت آن در هر سه بخش ۱۰۰ درصد بوده است. شبکه بهینه برای حالت طبقه بندی شبکه عصبی با دو لایه میانی و توابع انتقال Tansig و Logsig و تعداد ۵ نرون در لایه اول و تعداد ۱۰ نرون در لایه دوم به عنوان شبکه مناسب انتخاب شد.

### ۳- پارامترهای لرزه خیزی

- زون انتقالی زاگرس مکران بدلیل داشتن زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی زیاد، منطقه ای بسیار لرزه خیز و پویا و دارای تحولات تکتونیکی فراوان می باشد. از زمین لرزه های تاریخی مهم این منطقه می توان به زمین لرزه ۱۴۸۳ میلادی جزیره هرمز با بزرگای  $M_w=7/7$  اشاره کرد همچنین زلزله ۲۰ شهریور ۱۳۸۷ جزیره قشم با بزرگای  $M_w=6/1$  نشان از پایداری میزان لرزه خیزی بالای این منطقه دارد.

- علاوه بر تهیه نقشه های لرزه خیزی منطقه که نشان از فعالیت بالای گسلهای منطقه دارد به بررسی پارامترهای لرزه خیزی منطقه پرداختیم.

- بررسی نمودار تجمعی لرزه ها نشان دهنده افزایش چشم گیر فعالیت های لرزه ای در زمان وقوع لرزه

های بزرگ است که این خود بدلیل بالا بودن تعداد پیش لرزه ها و پس لرزه ها در این زون انتقالی می باشد.

- بررسی نمودار تجمعی گشتاور های لرزه ای نشان دهنده افزایش چشمگیر گشتاورها برای لرزه های سال ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، و ۲۰۱۲ می باشد. می توان نتیجه گیری نمود که افزایش شبه تناوبی برای هر دوسال در نرخ گشتاوری لرزه وجود دارد. آخرین پرش نمودار در سال ۲۰۱۰ رخ داده است و طبق نتیجه گیری می توان برای سال جاری یک پرش در نرخ گشتاور لرزه ای این زون انتقالی متصور بود.

- مقادیر لرزه خیزی  $a$  و  $b$  و بزرگای کاملی در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ محاسبه شد که مقدار بدست آمده برای مقدار  $b$  در حدود  $0/8$  مقدار  $a$   $5/6$  و بزرگای کاملی  $M_c = 3/2$  محاسبه شده است. مقدار  $a$  سالانه در حدود  $4/8$  بدست آمده است.

- بررسی ها حاکی از آن است که مقدار  $b$  با افزایش عمق به صورتی شبه تناوبی نرخی نزولی از خود نشان می دهد. همچنین پایین ترین میزان خطای مقدار  $b$  مربوط به بزرگایی در حدود  $M_n = 3/5$  می باشد. نتایج نشان می دهند که کاهش میزان مقدار  $b$  با رخداد لرزه های بزرگ رابطه تقریباً مستقیم دارد و با توجه تغییرات مقدار  $b$  می توان پیش بینی تقریبی از میزان خطر رخداد لرزه های بزرگ را داشت. در حقیقت مقدار  $b$  همچون تنش سنجی عمل کرده و ما را از میزان تجمع تنش در منطقه با خبر می کند. با توجه به تغییرات مقدار  $b$  برای سالهای مورد بررسی مشاهده می شود مقدار  $b$  پس از رخداد زلزله ای با بزرگای  $M_n = 6$  در تاریخ ۲۵ مارس ۲۰۰۶ افزایش یافته و بالاتر از  $0/8$  رسیده است. همچنین روند افزایش میزان مقدار  $b$  را بعد از زلزله های با بزرگای  $M_n = 6$  در ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۸ و ۳۱ جولای ۲۰۱۰ نیز شاهد هستیم. همچنین نیز نمودار کاهش میزان مقدار  $b$  قبل از وقوع لرزه های یاد شده را نشان می دهد.

- با توجه به نقشه پراکندگی مقدار  $b$  در منطقه می توان تجمع تنش را در بخش انتقالی یعنی محل



برخوردی دو زون برخوردی و فرو رانشی مشاهده کرد از سوی دیگر پایین بودن مقدار a نیز حاکی از کم تعداد بودن رویدادهای لرزه این در این بخش است. در بخش های شرقی منطقه مورد مطالعه مقدار b افزایش داشته است. شاید بتوان این افزایش را به انباشت نسبی کمتر تنش در آن ناحیه ها در نتیجه پخش آن بین تعدادی بیشتر از گسلهای کوچک و متوسط نسبت به نقاط اطراف و در نتیجه افزایش زلزله های کوچکتر ارتباط داد. بررسی های عمقی نیز نشان دهنده کم عمق بودن اکثر لرزه های رخ داده در این منطقه می باشند.

## ۲-۶ پیشنهادات

- تهیه نقشه های دیگر پیش نشانگرها و تلفیق آنها جهت بررسی امکان پیش بینی کوتاه مدت با دقت های بالاتر
- تقویت نقشه پیش لرزه های کشور با تعیین نرخ فعالیت گسلهای موجود در هر بخش و بررسی پتانسیل های لرزه خیزی آنها
- استفاده از الگوریتمهای هوشمند دیگر تهیه مدل های فرا ابتکاری جهت بررسی پیش بینی زلزله
- پژوهش هایی با روش ها دیگر؛ چون اندازه گیری های مشخص کننده کمی تغییر تنش برای اطمینان از آنکه تغییرات مقدار b با انباشت تنش ناحیه ای وابستگی کامل دارد .

## فهرست منابع

- ١ Allen, C.R., W.Edwads, W.j.Hall, L.Knopoff, C.B.Raleigh, C.H.Savit, M.N.Toksoz., R.H.Turner, 1976 "Predicting Earthquakes: A Scientific and Technical Evaluation-with Implications for Society". Panel on Earthquake Prediction of the Committee on Seismology, Assembly of Mathematical and Physical Sciences, National Research Council, US National Academy of Sciences, Washington DC,.
- ٢ Kagan, Y. and D. Jackson, 1994, Long-term probabilistic forecasting of earthquakes. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ALL SERIES-,. 99: p. 13-13.
- ٣ Keilis-Borok, V., 1988, Intermediate-term prediction of occurrence times of strong earthquakes. Nature,. 335(6192): p. 690-694.
- ٤ Healy, J.H., V.G. Kossobokov, and J.W. Dewey, 1992, A test to evaluate the earthquake prediction algorithm, M8. Vol. 92.: US Geological Survey.
- ٥ Minster, J.B. and N. Williams. 1993, A Systematic approach to assess intermediate-term earthquake prediction algorithms based on seismicity pattern. in Annual Report , Southern California Earthquake CenterA29.
- ٦ Wyss, M., 1991, Evaluation of proposed earthquake precursors. Eos, Transactions American Geophysical Union,. 72(38): p. 411-411.
- ٧ Schwartz, D.P. and K.J. Coppersmith, 1984, Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. Journal of geophysical research,. 89(B7): p. 5681-5698.
- ٨ Ward, S.N., 1994, A multidisciplinary approach to seismic hazard in southern California. Bulletin of the Seismological Society of America,. 84(5): p. 1293-1309.
- ٩ RICE, J., 1993, Spatio-temporal complexity of slip on a fault. Journal of Geophysical Research,. 98: p. 9885-9907.

- ١٠ <http://www.scec.org/education/040930parkfield.html>.
- ١١ Keilis-Borok, V. and A.A. Soloviev, 2003, Nonlinear dynamics of the lithosphere and earthquake prediction.: Springer.
- ١٢ Mărginean, F., 2003, Computational aspects of data mining. Computational Science and Its Applications—ICCSA : p. 968-968.
- ١٣ Freund, F.T., 2003, Rocks that crackle and sparkle and glow: strange pre-earthquake phenomena. Journal of Scientific Exploration,. 17(1): p. 37-71.
- ١٤ Jones, L.M. and P. Molnar, 1979, Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on faults. Journal of Geophysical Research,. 84(B7): p. 3596-3608.
- ١٥ Felzer, K.R., R.E. Abercrombie, and G. Ekström, 2004, A common origin for aftershocks, foreshocks, and multiplets. Bulletin of the Seismological Society of America,. 94(1): p. 88-98.
- ١٦ Ogata, Y., T. Utsu, and K. Katsura, 1995, Statistical features of foreshocks in comparison with other earthquake clusters. Geophysical Journal International,. 121(1): p. 233-254.
- ١٧ Wang, L., 2005, Characteristics of foreshock and its identification. Acta Seismologica Sinica,. 18(2): p. 180-188.
- ١٨ Reasenberg, P.A., 1999, Foreshock occurrence before large earthquakes. Journal of geophysical research,. 104: p. 4755-4768.
- ١٩ Knopoff, L., Y. Kagan, and R. Knopoff, 1982, b Values for foreshocks and aftershocks in real and simulated earthquake sequences. Bulletin of the Seismological Society of America,. 72(5): p. 1663-1676.
- ٢٠ Molchan, G., T. Kronrod, and A. Nekrasova, 1999, Immediate foreshocks: time variation of the  $b$ -value. Physics of the earth and planetary interiors,. 111(3): p. 229-240.
- ٢١ Ziv, A., 2003, Foreshocks, aftershocks, and remote triggering in quasi-static fault models.

Journal of geophysical research,. 108(B10): p. 2498.

- २२ Mogi, K., 1981, Seismicity in western Japan and long-term earthquake forecasting. Maurice Ewing Series,. 4: p. 43-51.
- २३ Scholz, C., 1968, The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America,. 58(1): p. 399-415.
- २४ Wyss, M., & Booth, D. C. (1997). The IASPEI procedure for the evaluation of earthquake precursors. Geophysical Journal International, 131(3), 423-424.
- २५ Sato, H., 1977, Precursory land tilt prior to the Tonankai earthquake of 1944. In some precursors prior to recent great earthquakes along the Nankai trough. J. Phys. Earth,. 25: p. S115-S121.
- २६ Charlet, J., P. Doremus, and Y. Quinif, 1995, Radon methods used to discover uranium mineralizations in the lower Devonian of the Ardenne Massif (Belgium). Gas Geochemistry,: p. 1-18.
- २७ Wu, K.A.I.T., 1976, Certain characteristics of Haicheng earthquake (M= 7.3) sequence. Chinese Journal of Sinica,. 2: p. 003.
- २८ Wyss, M., R. Habermann, and P. Bodin, 1992, Seismic quiescence: a test of the hypothesis and a precursor to the next Parkfield, California, earthquake. Geophysical journal international,. 110(3): p. 518-536.
- २९ Wyss, M. and R. Dmowska, 1997, Earthquake Prediction--state of the Art. Vol. 124.: Birkhauser.
- ३० Matsu'ura, R.S. and I. Karakama, 2005, A point-process analysis of the Matsushiro earthquake swarm sequence: the effect of water on earthquake occurrence. Pure and Applied Geophysics,. 162(6): p. 1319-1345.
- ३१ Reinartz, T., 1999, Focusing solutions for data mining: analytical studies and experimental results in real-world domains.: Springer-Verlag.

- ۳۱ Van Someren, M. and T. Urbančič, 2005, Applications of machine learning: matching problems to tasks and methods. *The Knowledge Engineering Review*,. 20(4): p. 363-402.
- ۳۲ P.C. al,e., 2000, *CRISP-DM 1.0 Step by Step Data Mining Guide*, ..: SPSS Inc.
- ۳۳ Gardner, J. and L. Knopoff, 1974, Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian. *Bull. Seismol. Soc. Am.*,. 64(5): p. 1363-1367.
- ۳۴ Reasenber, P., 1985, Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982. *Journal of Geophysical Research*,. 90(B7): p. 5479-5495.
- ۳۵ Knopoff, L. and J. Gardner, 1972, Higher seismic activity during local night on the raw worldwide earthquake catalogue. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*,. 28(3): p. 311-313.
- ۳۶ Uhrhammer, R., 1986, Characteristics of northern and southern California seismicity. *Earthq. Notes*,. 57: p. 21.
- ۳۷ Poisson, S.D. and C.H. Schnuse, 1841, *Recherches sur la probabilité des jugements en matière criminelle et en matière civile.*: Meyer.
- ۳۷ Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651-666.
- ۳۸ Murty, B. and R. Rao, 2004, Global optimization for prediction of blend composition of gasolines of desired octane number and properties. *Fuel processing technology*,. 85(14): p. 1595-1602.
- ۳۹ Demuth, H. and M. Beale, 1998, *Neural network toolbox for use with MATLAB: User's guide*. Vol. 3.: MathWorks, Incorporated.
- ۴۰ Hsu, K., H.V. Gupta, and S. Sorooshian, 1995, Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. *Water resources research*,. 31(10): p. 2517-2530.
- ۴۱ MATLAB, User Guides. 2009

۴۲. صیادی، ۱۳۸۹.۱، گزارش پژوهشی آزمایشگاه پردازش سیگنال های حیاتی و تصاویر پزشکی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، دانشگاه صنعتی شریف.

۴۳ Inal, F., 2006., artificial neural network predictions of polycyclic aromatic hydrocarbon formation in premixed  $n$ -heptane flames. Fuel processing technology, 87(11): p. 1031-1036.

۴۴، منهاج، م.ب.، ۱۳۸۱ مبنای شبکه های عصبی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴۵ Nanjo, K. and H. Nagahama, 2004, Fractal properties of spatial distributions of aftershocks and active faults. Chaos, Solitons & Fractals,. 19(2): p. 387-397.

۴۶ Smith, W.D., 1981, The b-value as an earthquake precursor. Nature,. 289: p. 136-139.

۴۷ Aki, K., 1965, Maximum likelihood estimate of bin the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits, Bull. Earthq. Res. I. Tokyo, 43, 237-239.

۴۷ Ross, S.M., 1992, Applied probability models with optimization applications.: Dover Publications.

۴۸ [www.iiees.ac.ir](http://www.iiees.ac.ir).

۴۹ [www.irsc.ut.ac.ir](http://www.irsc.ut.ac.ir).

۵۰ [www.usgs.org](http://www.usgs.org).

۵۱ Van Stiphout, T., J. Zhuang, and D. Marsan, 2012, Seismicity declustering. Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis,. 10.

۵۲ Al-Shayji, K.A.M., 1998, Modeling, simulation, and optimization of large-scale commercial desalination plants, Virginia Polytechnic Institute and State University.

۵۳ Baughman, D. and Y. Liu, 1995, Neural Networks in Bioprocessing and Chemical Engineering, Academic Press, San Diego.

۵۴ Howlett, R.J. and L.C. Jain, 2001, Radial basis function networks 1: recent developments

in theory and applications. Vol. 1.: Physica-Verlag HD.

۵۵ Berberian, M., 1995, Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*,. 241(3): p. 193-224.

۵۶ Regard, V., et al. 2004, Accommodation of Arabia-Eurasia convergence in the Zagros-Makran transfer zone, SE Iran: a transition between collision and subduction through a young deforming system. *Tectonics*,. 23(4): p. TC4007.

۵۷. آقناباتی, س.ع., ۱۳۸۳: زمین شناسی ایران انتشارات سازمان زمین شناسی کشور. ۵۸۶ صفحه.

۵۸ Berberian, M. and D. Papastamatiou, 1978, Khurgu (North Bandar Abbas, Iran) earthquake of March 21, 1977; a preliminary field report and a seismotectonic discussion. *Bulletin of the Seismological Society of America*,. 68(2): p. 411-428.

۵۹ Berberian, M. and J. Tchalenko, 1976, Earthquakes of the southern Zagros (Iran): Bushehr region. *Geol. Surv. Iran Mem.*,. 39: p. 343-370.

۶۰ آمبرسیز ، ن . ن . ملویل ، چ . پ . ۱۳۷۰. تاریخ زمین لرزه های ایران . ترجمه ی ابوالحسن رده . موسسه انتشارات آگاه . چاپ اول .

۶۱ Lorimer, J.G., 1908, *Gazetteer of the Persian Gulf: Geographical and Statistical* (2v.). Vol. 2.: Superintendent Government Printing.

۶۲ Nissen, E., 2007, The 2005 Qeshm Island earthquake (Iran)—a link between buried reverse faulting and surface folding in the Zagros Simply Folded Belt? *Geophysical Journal International*,. 171(1): p. 326-338

۶۳ قرشی, م. ، م. طالبیان, ۱۳۸۴, گزارش مقدماتی زمین لرزه ششم آذر ماه ۱۳۸۴ جزیره قشم, سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

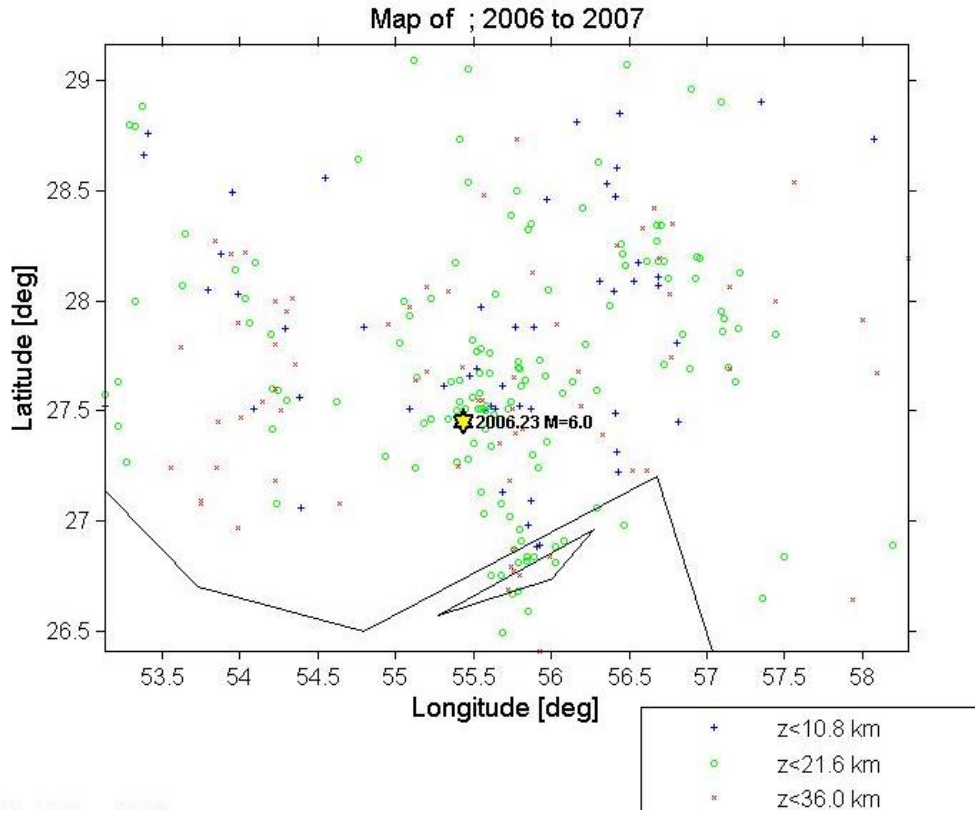
۶۴ اسلامی, آ., ع. اشعری, ۱۳۸۷, گزارش زمین لرزه ۲۰ شهریور ۱۳۸۷, جزیره قشم..

پیوست

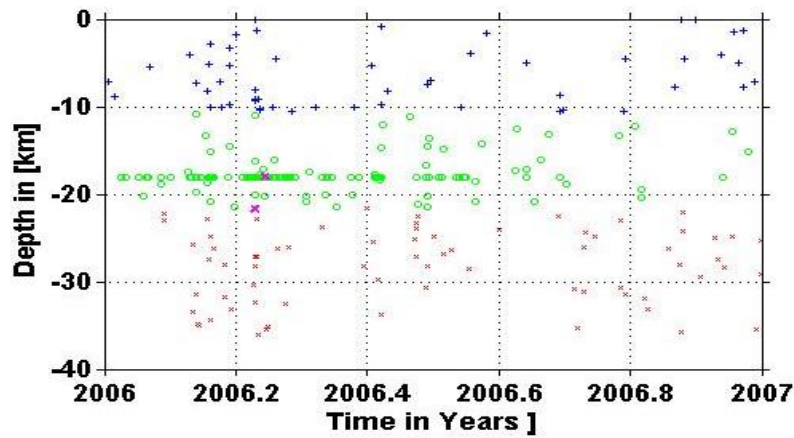


# ۱-۸ نتایج محاسبه پارامترهای لرزه خیزی برای هر سال

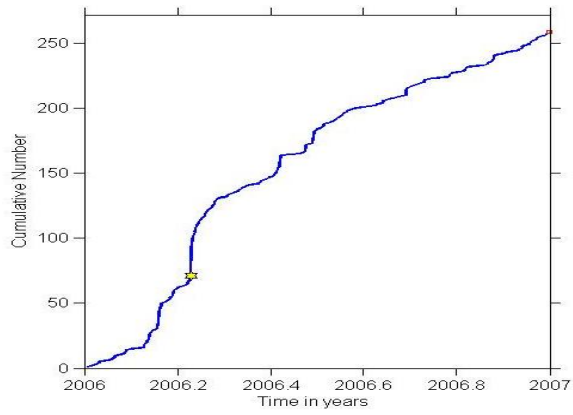
۱-۱-۸ پارامترهای لرزه خیزی سال ۲۰۰۶



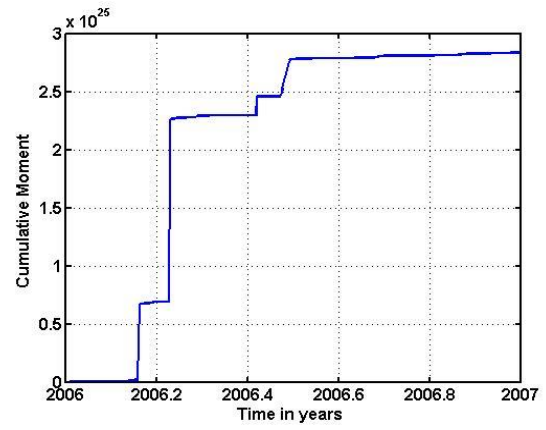
شکل ۱-۰۰ نقشه لرزه خیزی منطقه در سال ۲۰۰۶



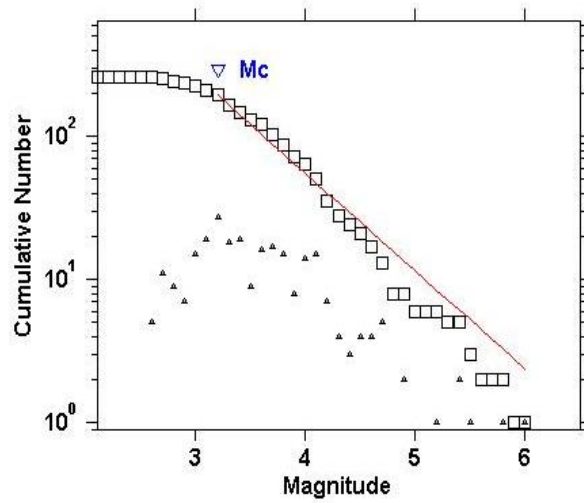
شکل ۲-۰۰ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان



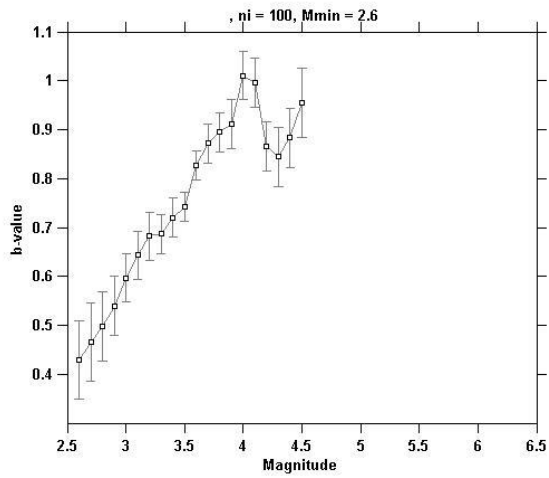
شکل ۴-۰ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



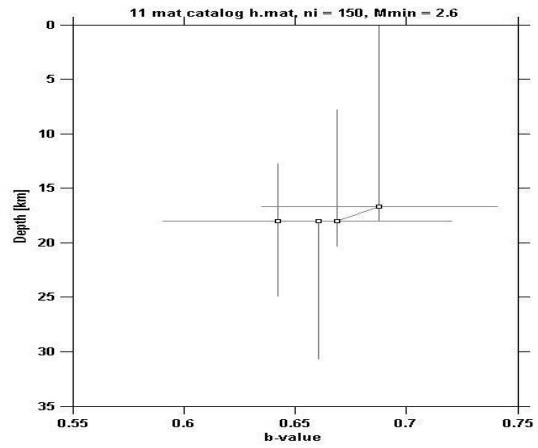
شکل ۳-۰ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها



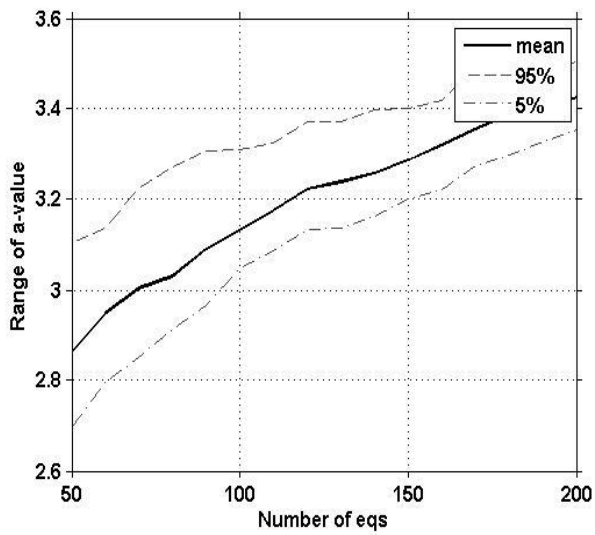
شکل ۵-۰ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی)



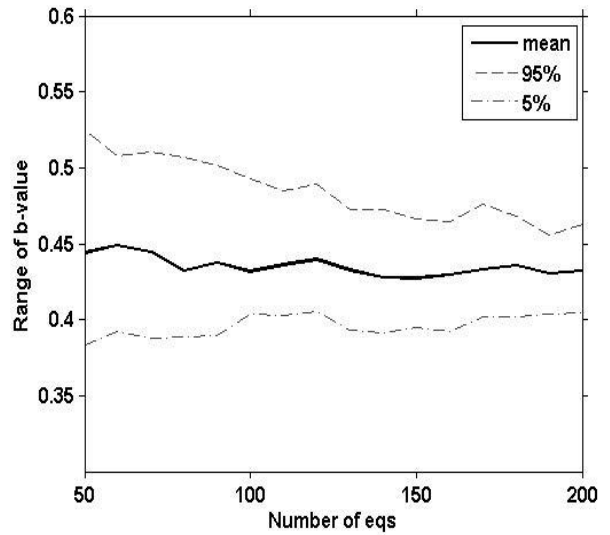
شکل ۷-۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب بزرگی



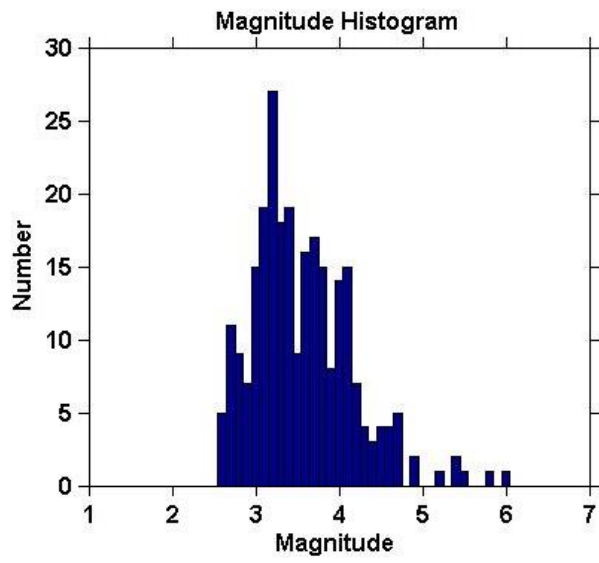
شکل ۸-۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب عمق



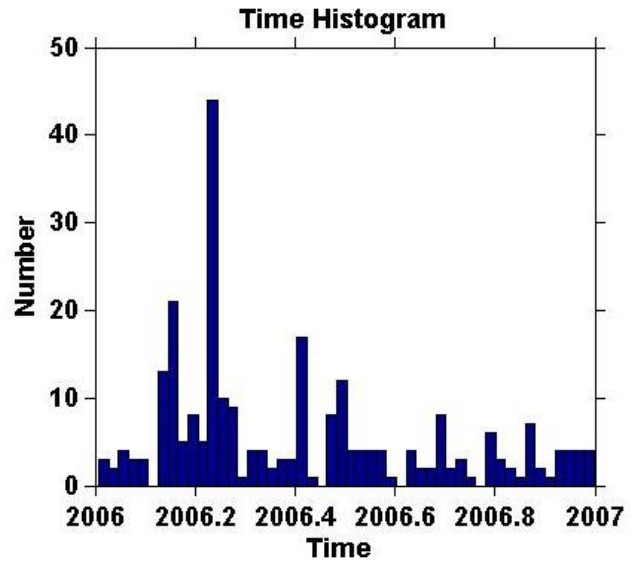
شکل ۹-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار a



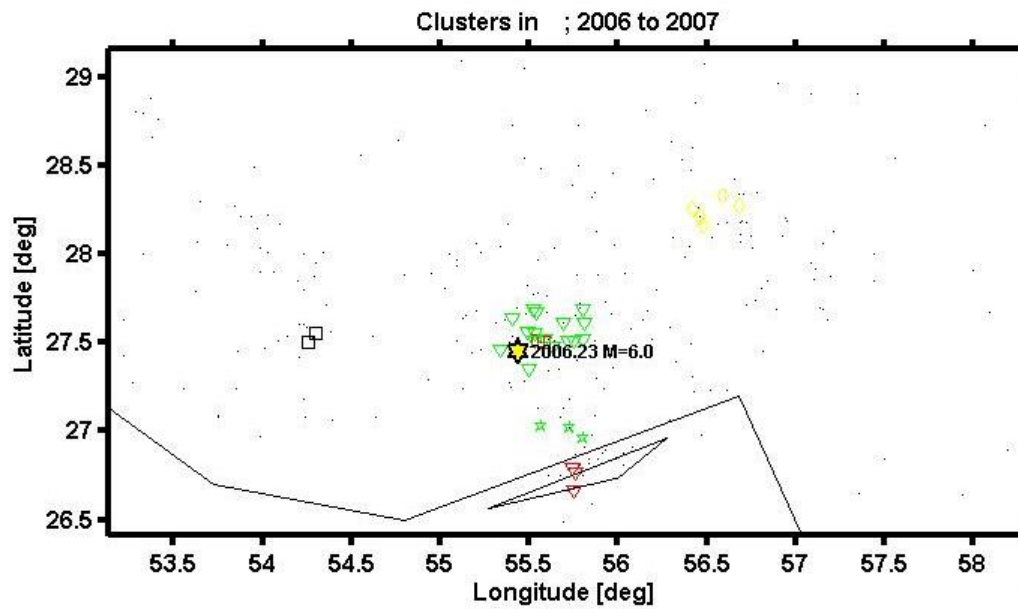
شکل ۱۰-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار b



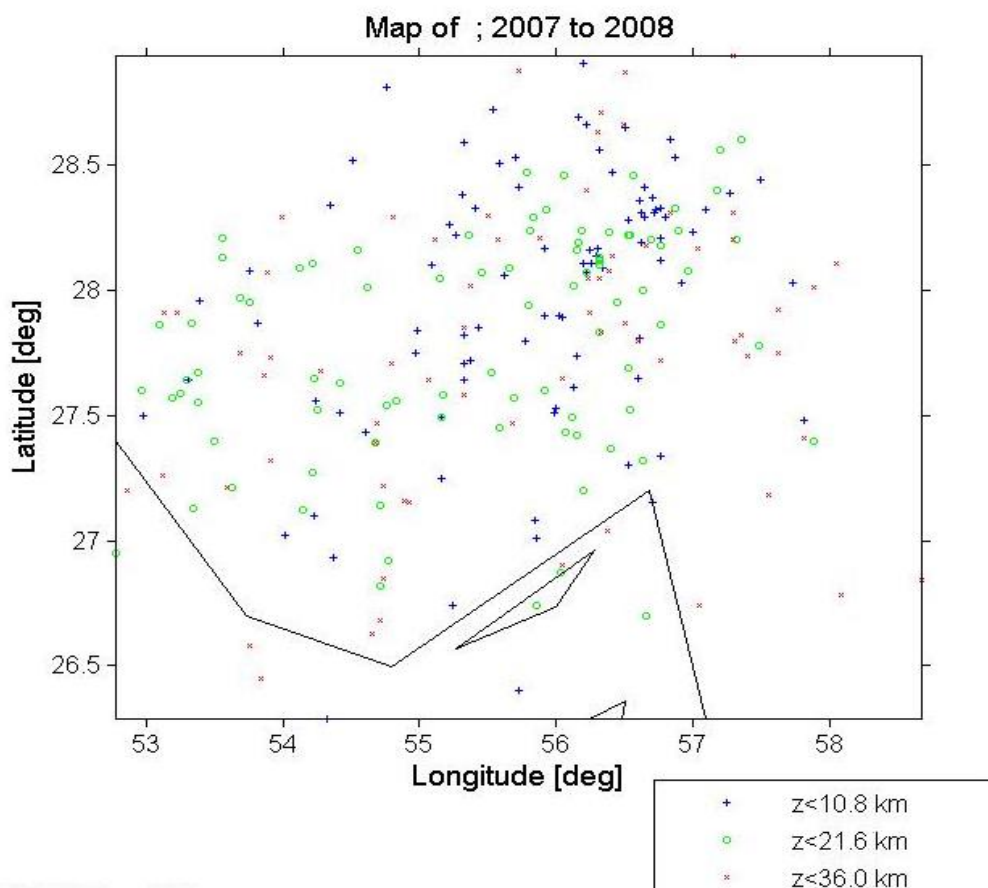
شکل ۱۱-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی



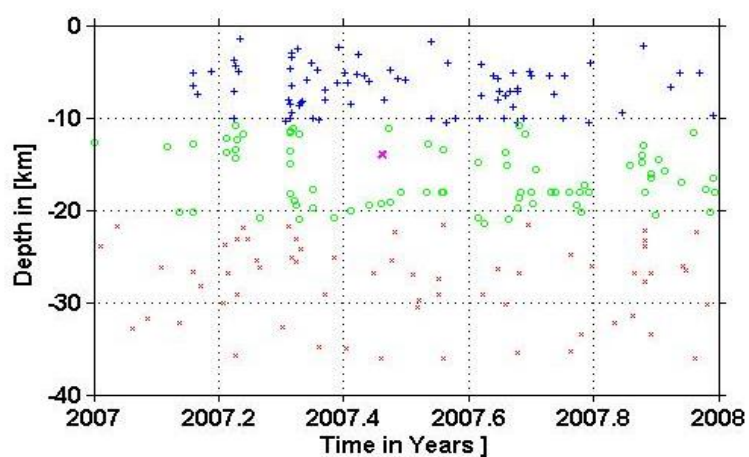
شکل ۱۰-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان



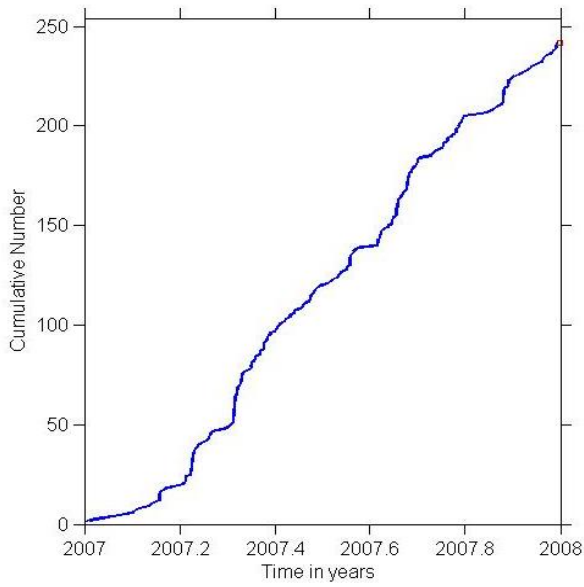
شکل ۱۲-۰ نقشه دیکلاستریک لرزه های سال ۲۰۰۶ برای زون ۱



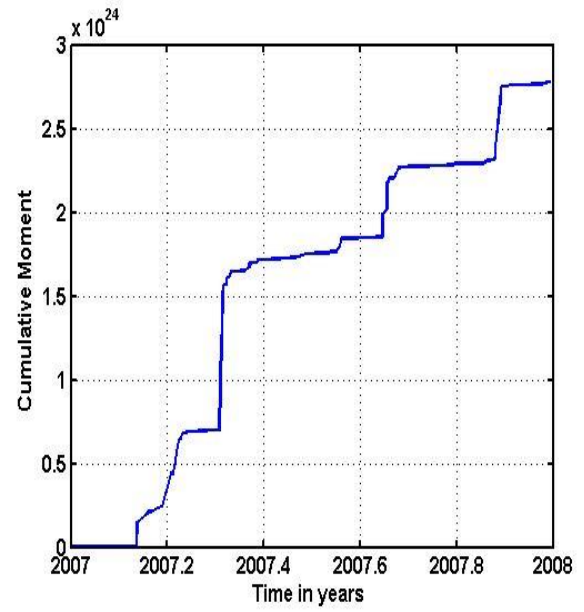
شکل ۱۳-۰ نقشه لرزه خیزی زون ۱ سال ۲۰۰۷



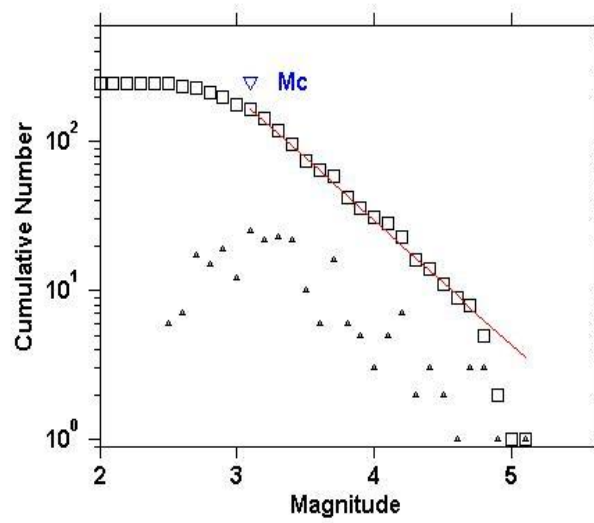
شکل ۱۴-۰ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان



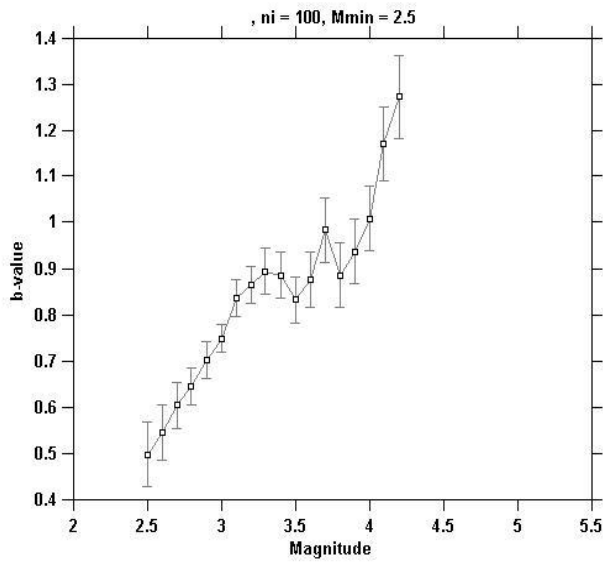
نمودار ۱۶-۰۰ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



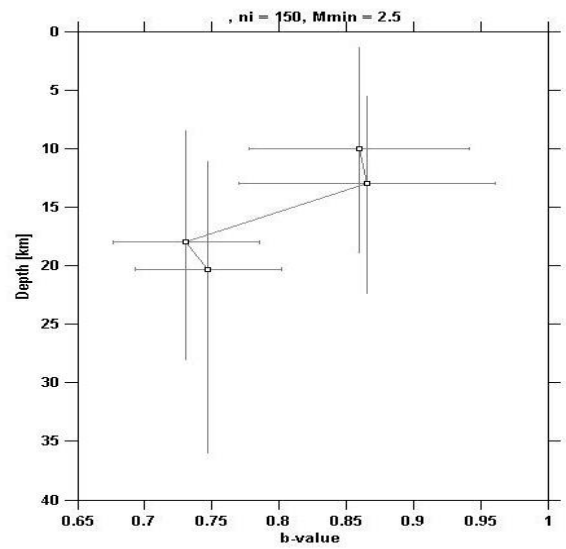
شکل ۱۵-۰۰ تجمعی گشتاور لرزه ها



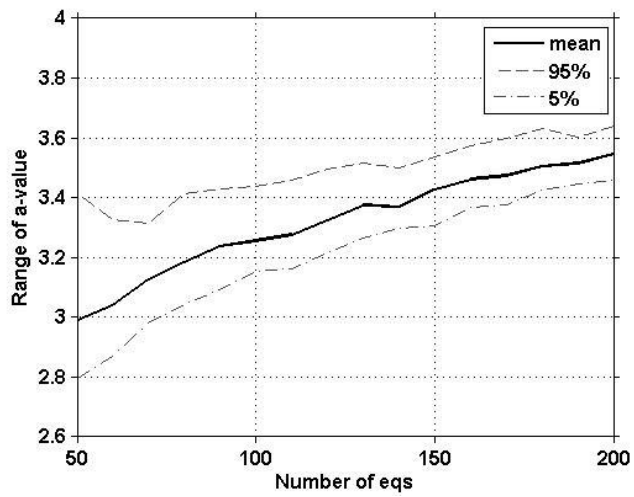
شکل ۱۷-۰۰ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی)



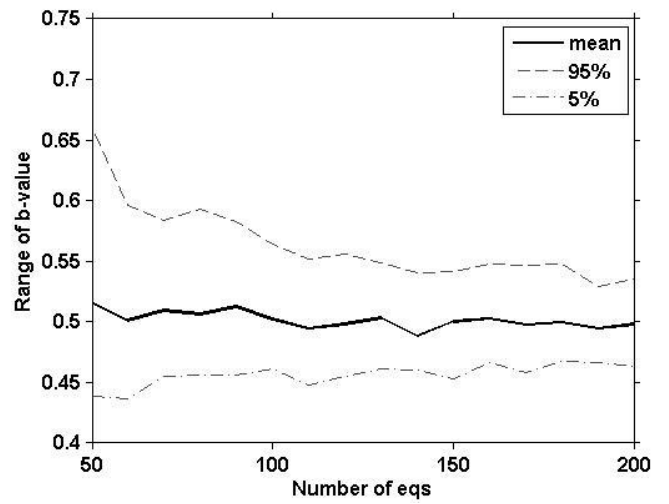
شکل ۱۹-۰۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب بزرگی



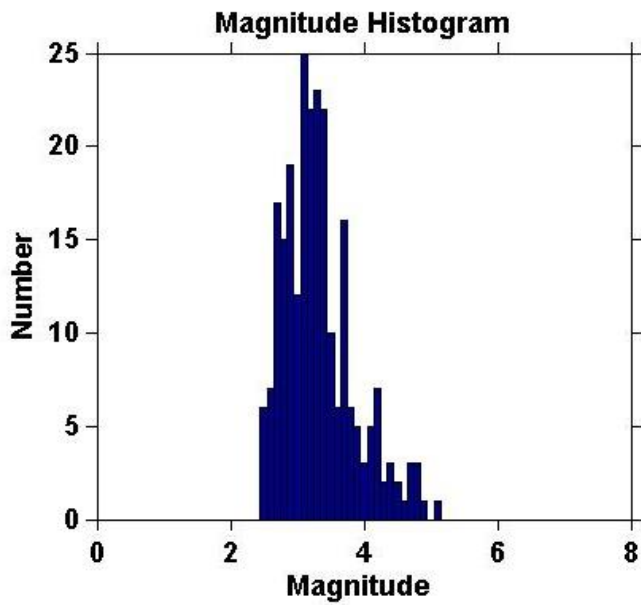
شکل ۱۸-۰۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب عمق



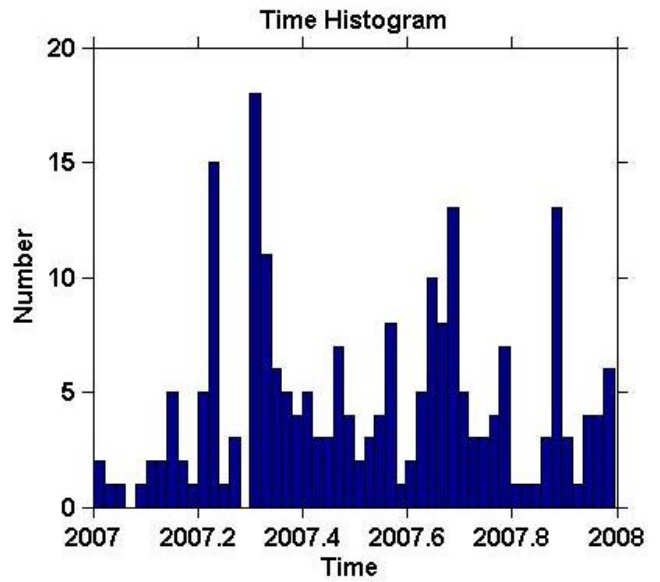
شکل ۲۱-۰۰ محدوده تغییرات مقدار a



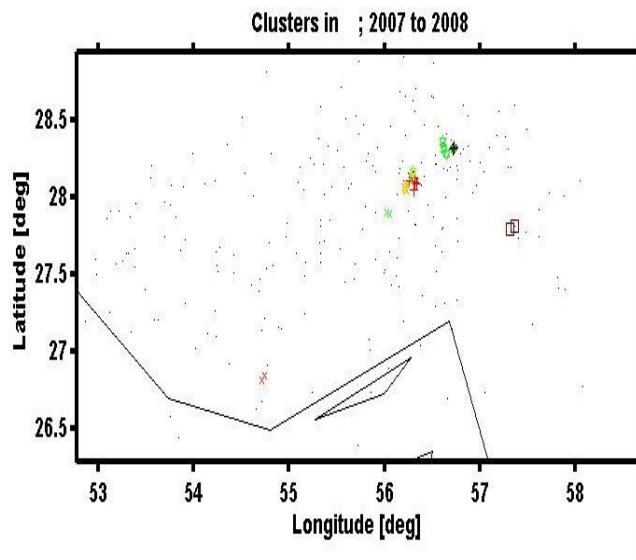
شکل ۲۰-۰۰ محدوده تغییرات مقدار b



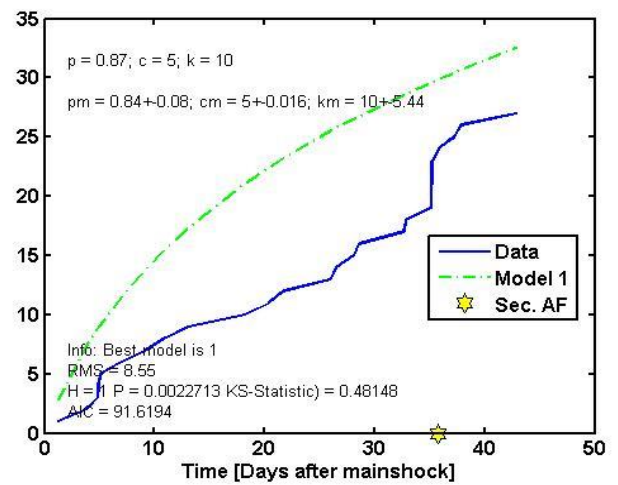
شکل ۲۳-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی



شکل ۲۲-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان

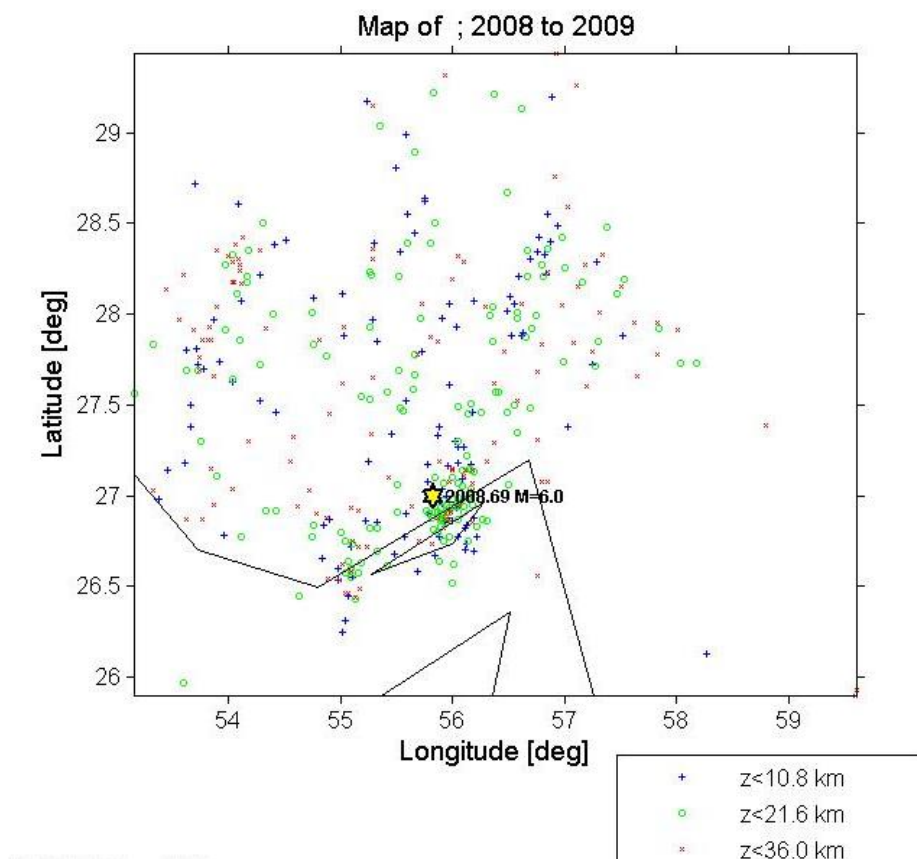


شکل ۲۵-۰ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها

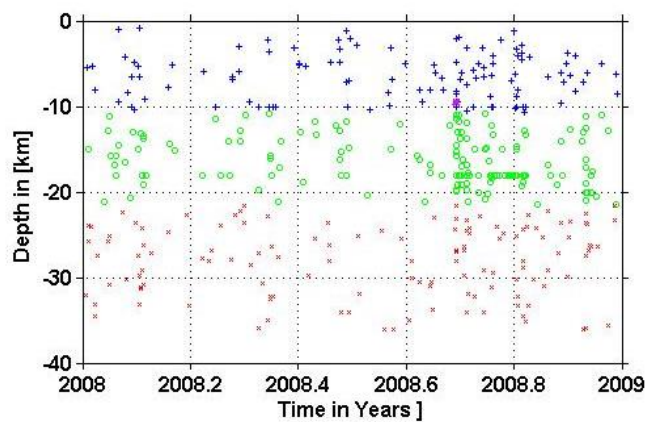


شکل ۲۴-۰ برآورد پس لرزه ها طبق قانون امری

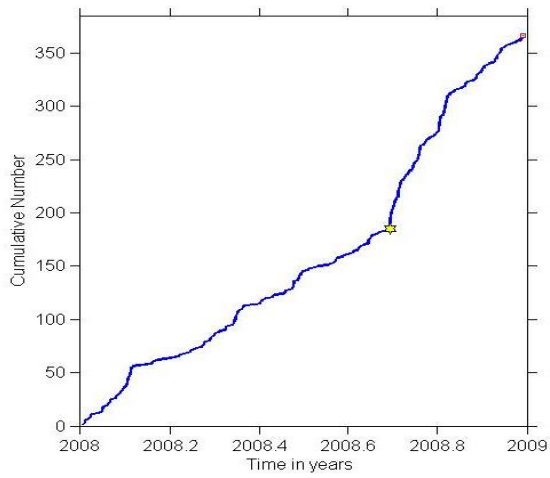




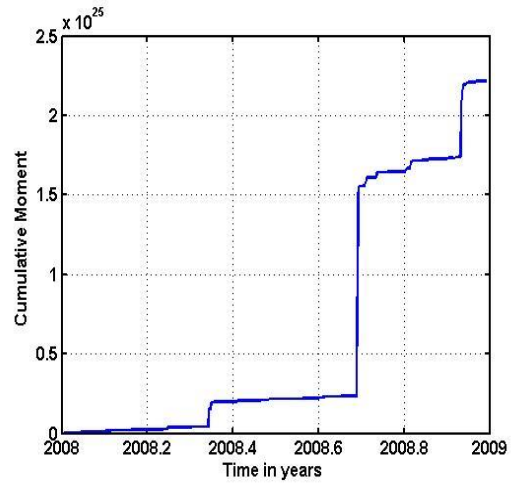
شکل ۲۶-۰ نقشه لرزه خیزی منطقه در سال ۲۰۰۸



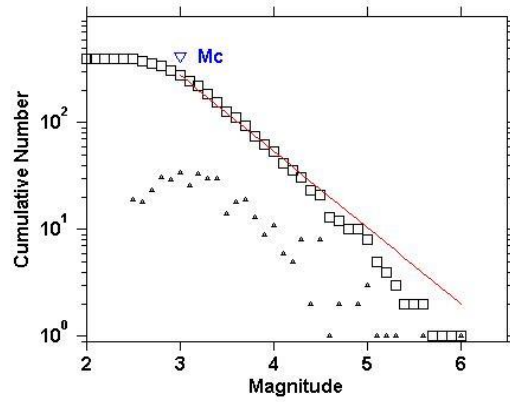
شکل ۲۷-۰ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان



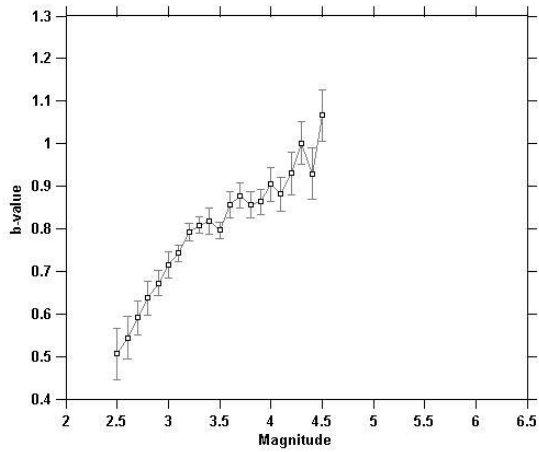
شکل ۲۹-۰ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



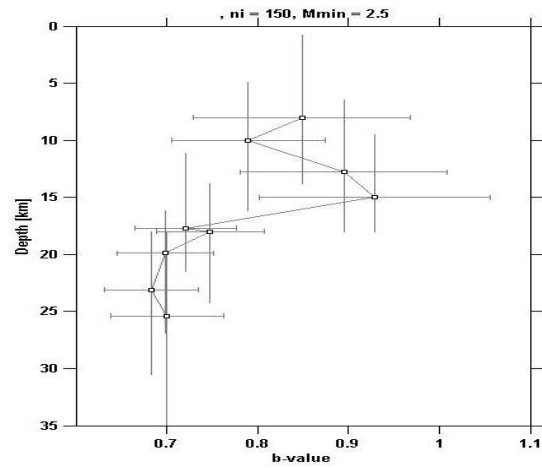
شکل ۲۸-۰ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها



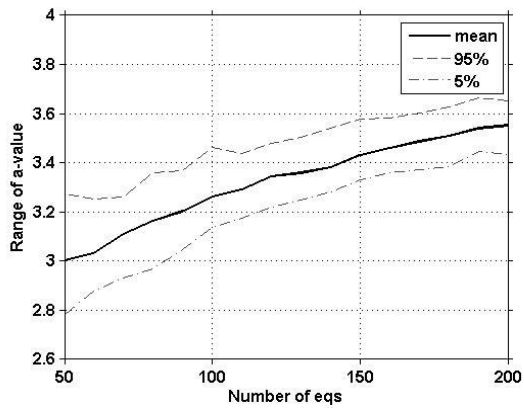
شکل ۳۰-۰ نمودار FMD (پراکنندگی تعداد-بزرگی)



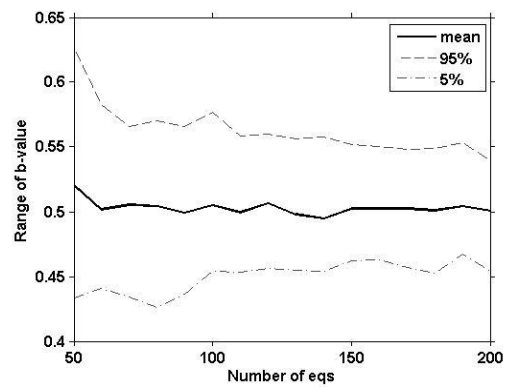
شکل ۳۲-۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب بزرگی



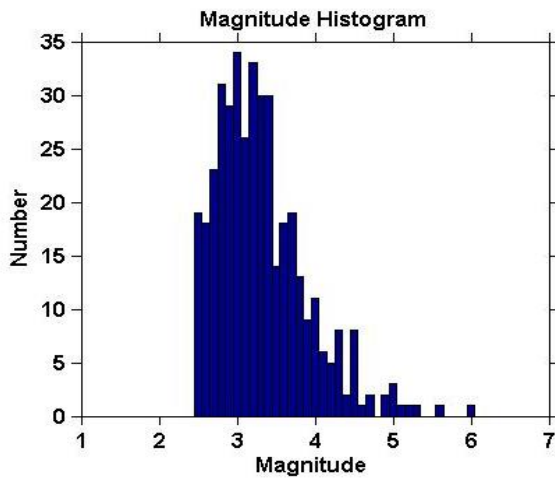
شکل ۳۱-۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب عمق



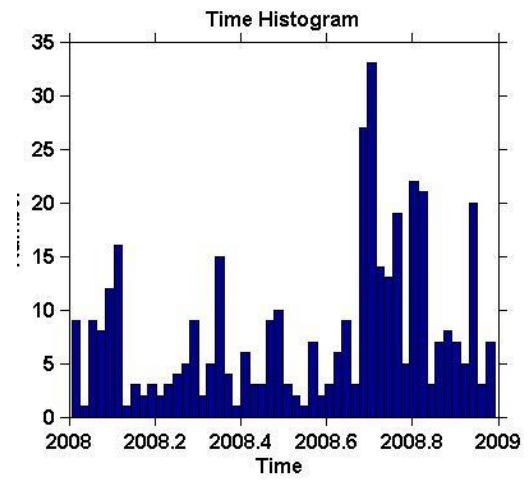
شکل ۳۴-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار a



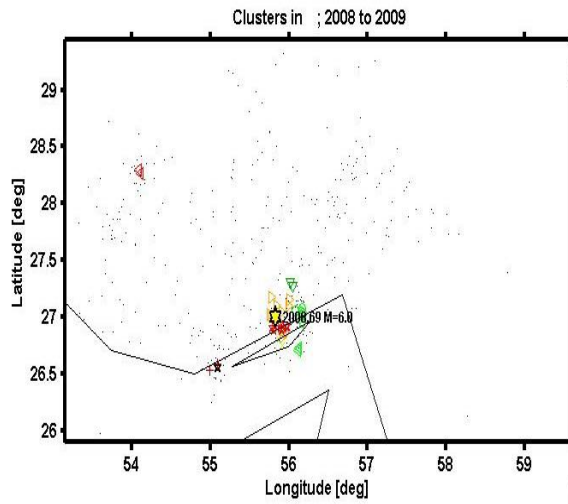
شکل ۳۳-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار b



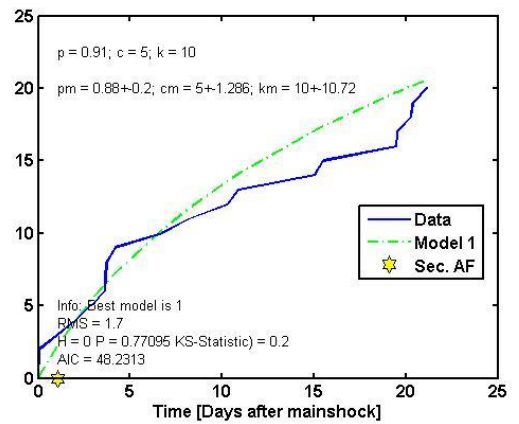
شکل ۳۶-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی



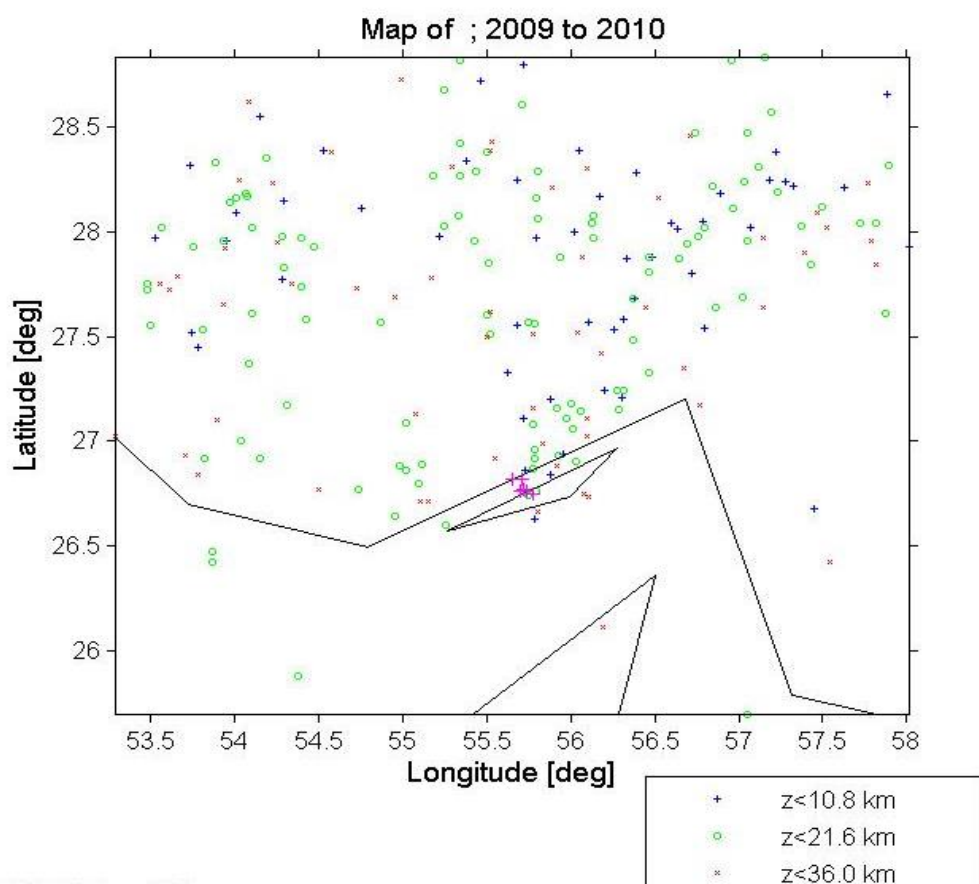
شکل ۳۵-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان



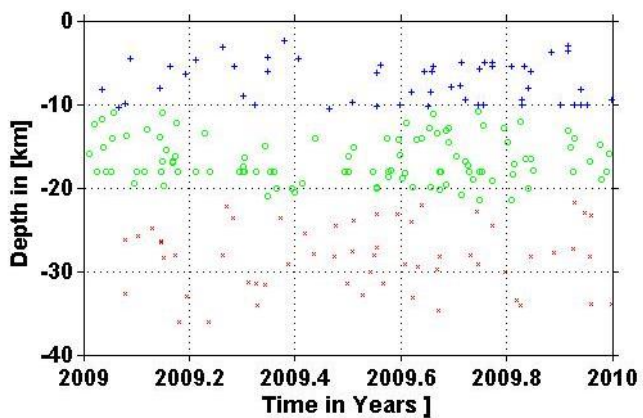
شکل ۳۸-۰ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها



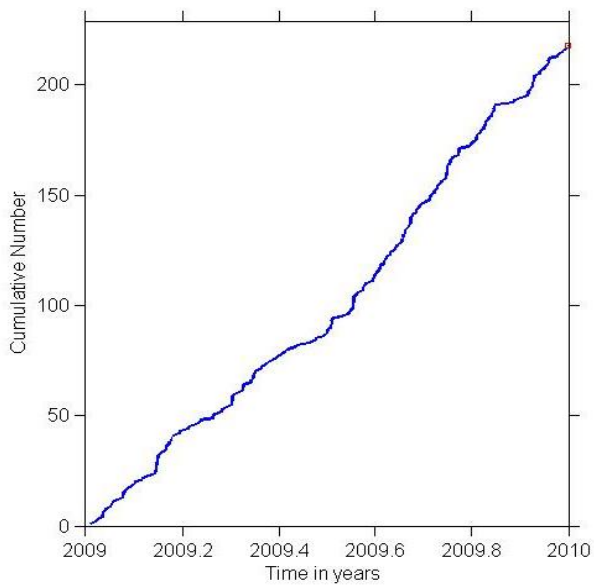
شکل ۳۷-۰ برآورد پس لرزه ها طبق قانون امری



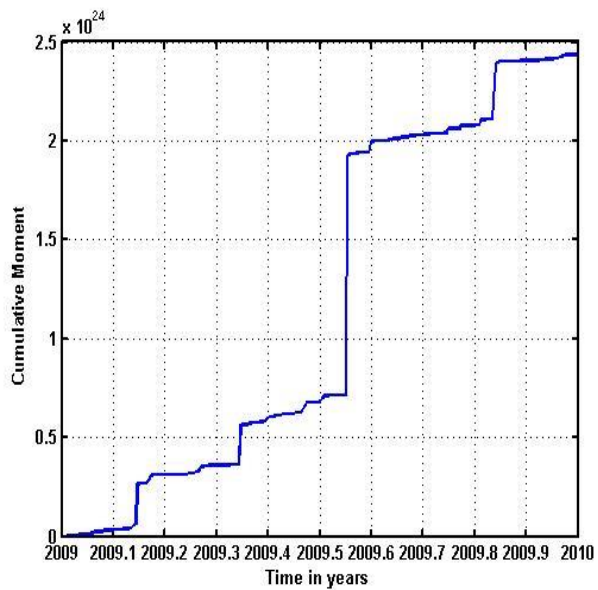
شکل ۳۹-۰۰ نقشه لرزه خیزی منطقه در سال ۲۰۰۹



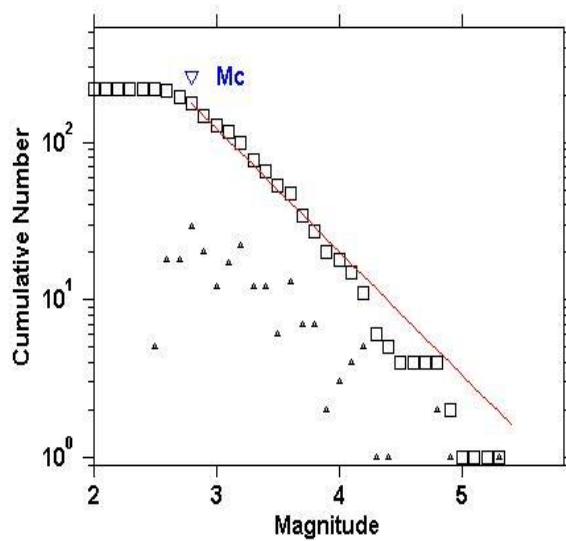
شکل ۴۰-۰۰ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان



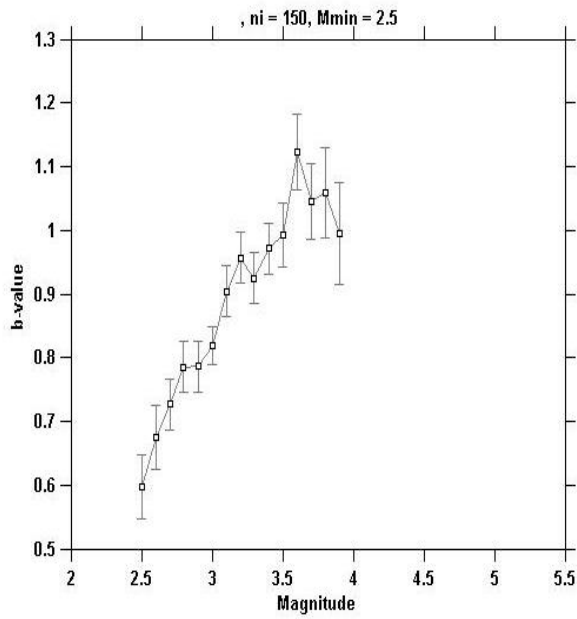
شکل ۴۲-۰ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



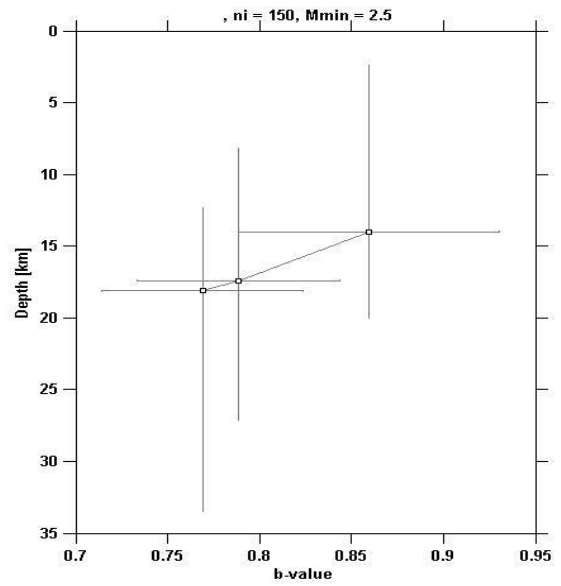
شکل ۴۱-۰ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها



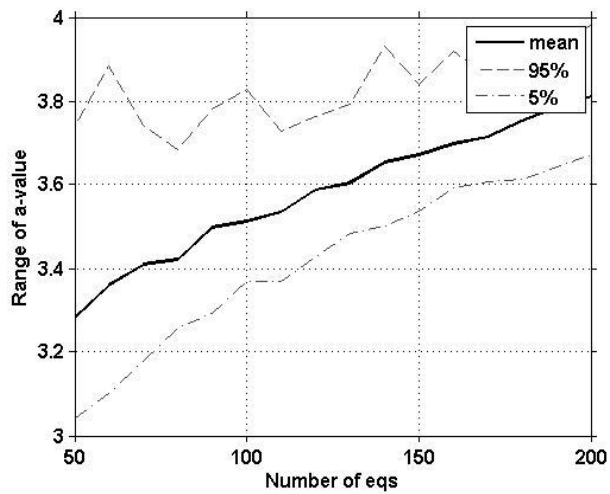
شکل ۴۳-۰ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی)



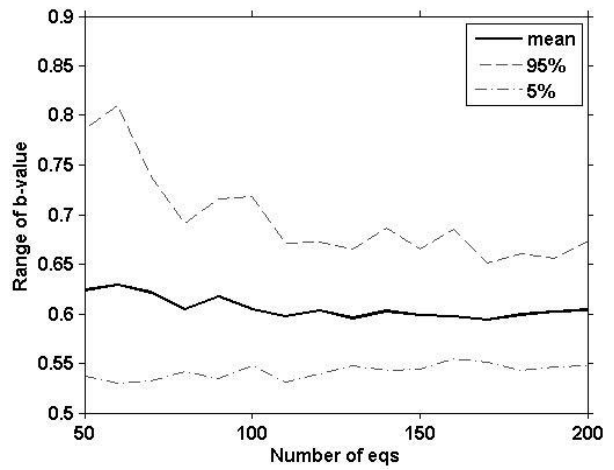
شکل ۱۵-۰ نمودار تغییرات مقدار  $b$  بر حسب بزرگی



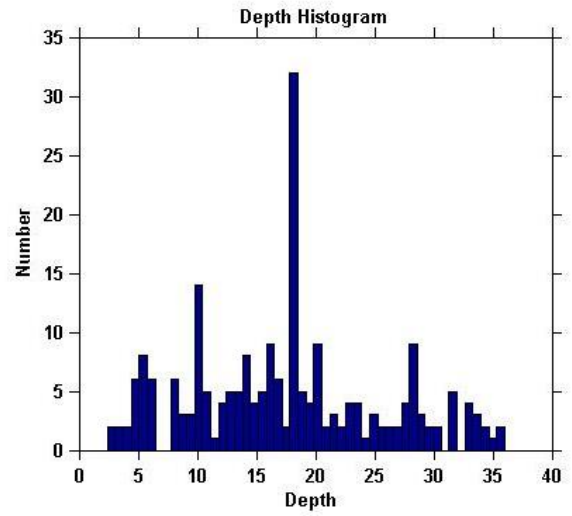
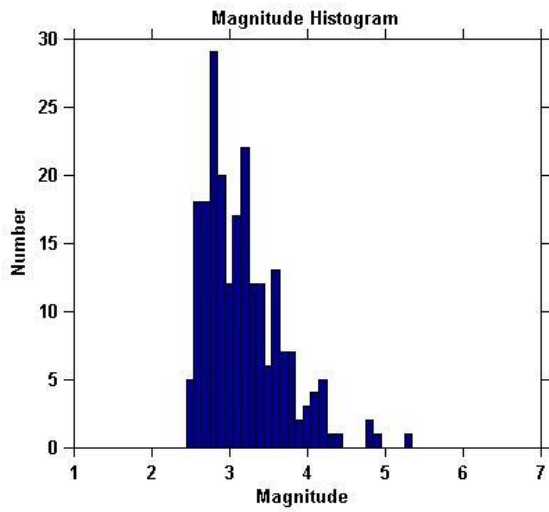
شکل ۱۶-۰ نمودار تغییرات مقدار  $b$  بر حسب عمق



شکل ۱۷-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار  $a$

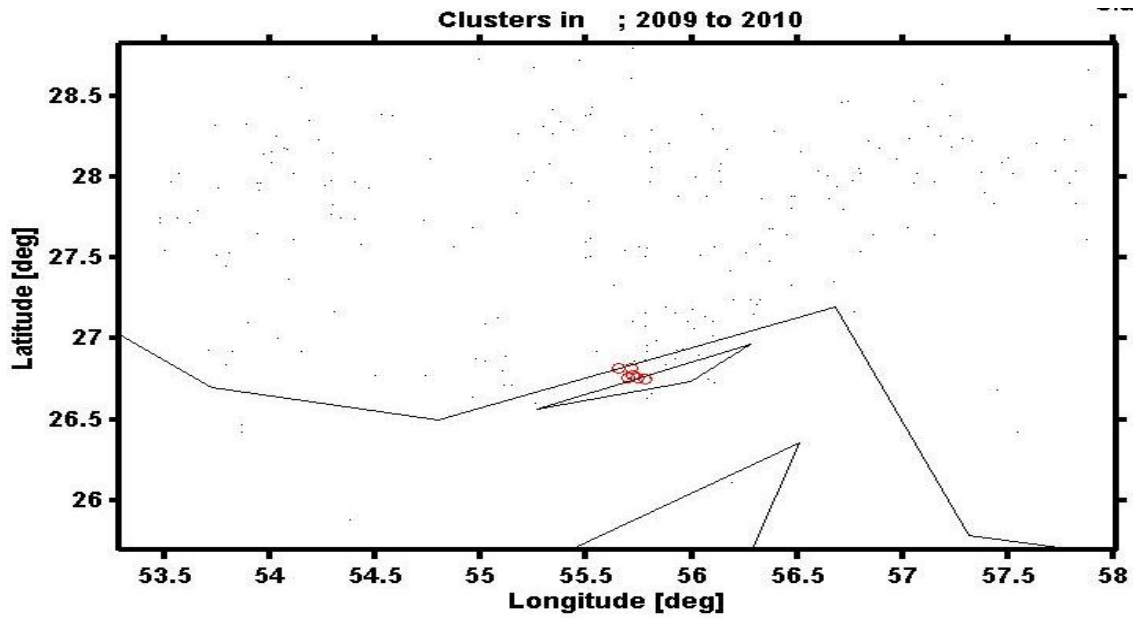


شکل ۱۸-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار  $b$



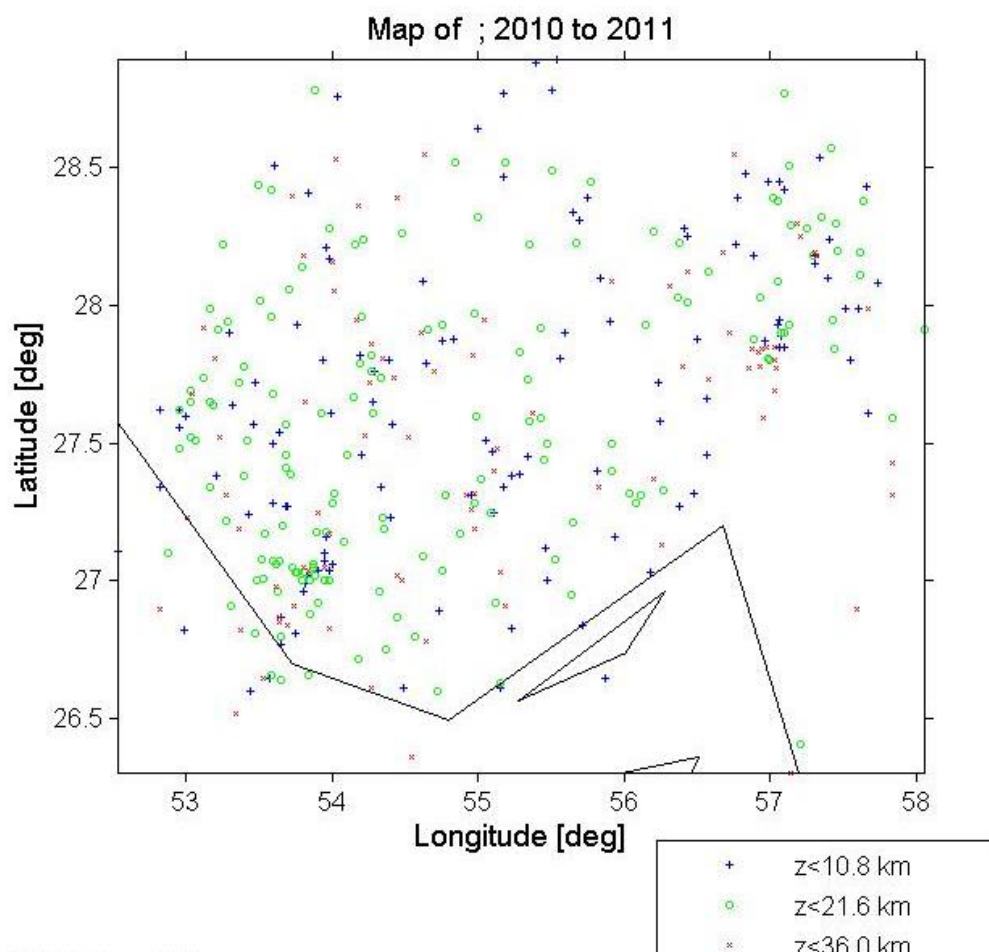
شکل ۴۹-۰۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی

شکل ۴۸-۰۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان

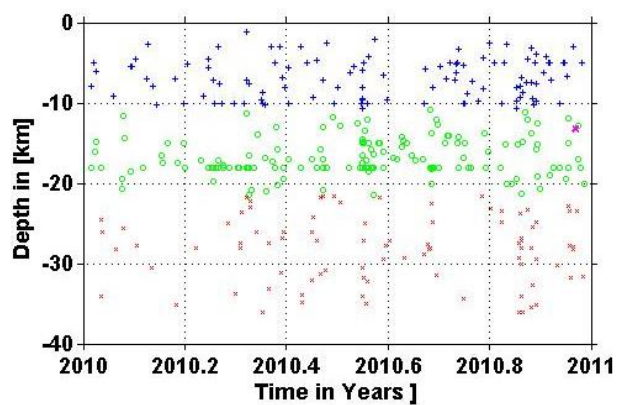


شکل ۵۰-۰۰ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها

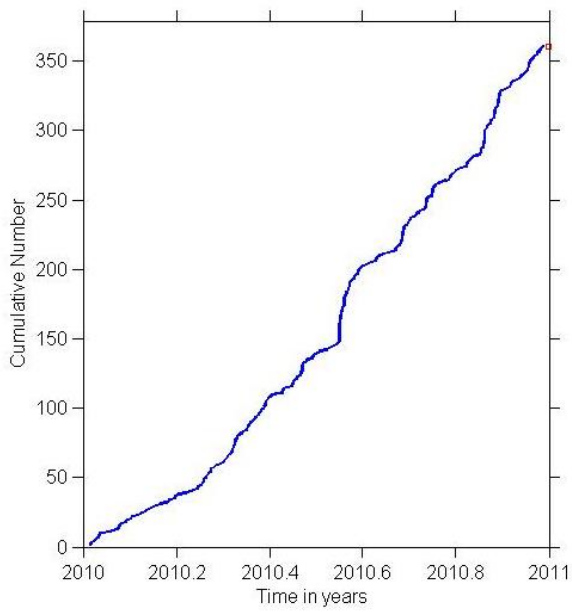




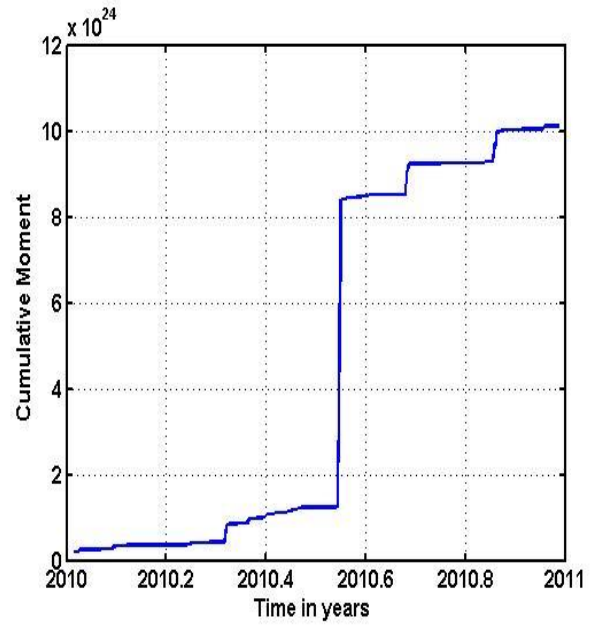
شکل ۵۱-۰ نقشه لرزه خیزی منطقه در سال ۲۰۱۰



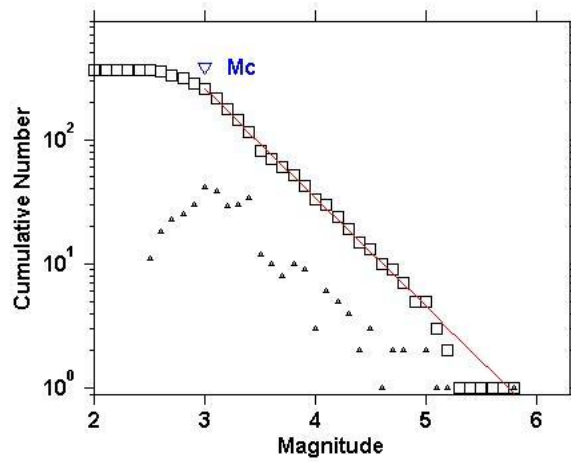
شکل ۵۲-۰ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان



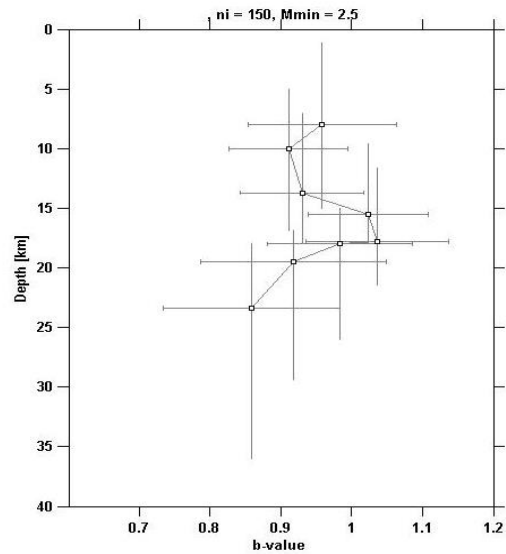
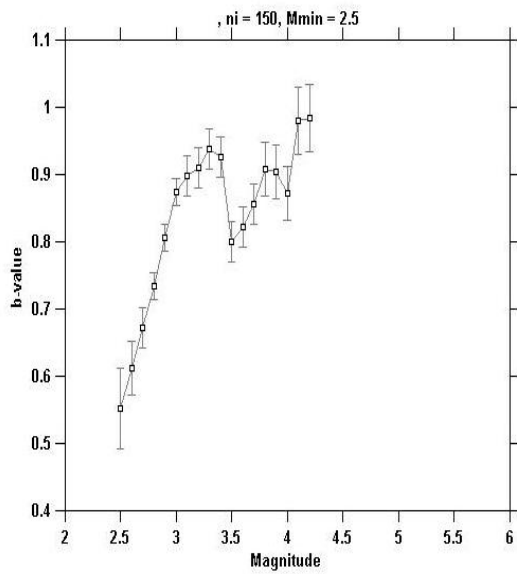
شکل ۵۴-۰ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



شکل ۵۳-۰ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها

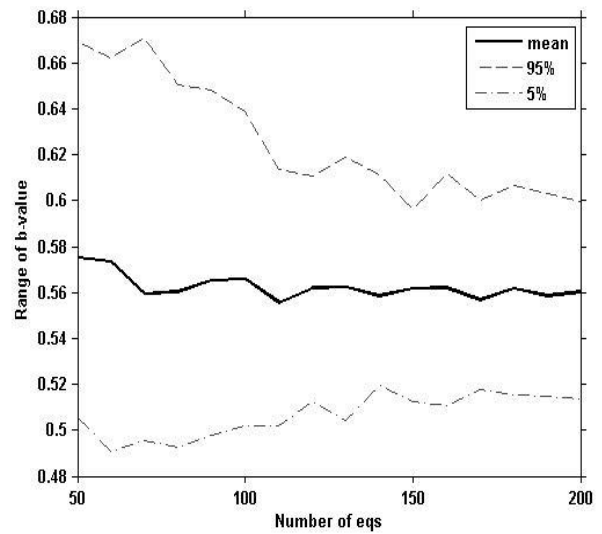
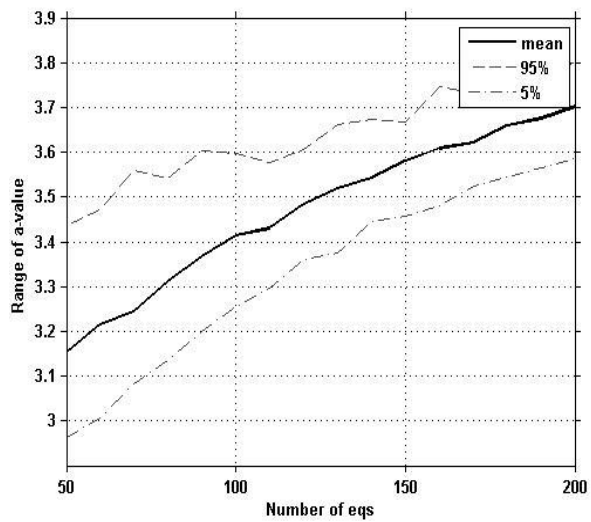


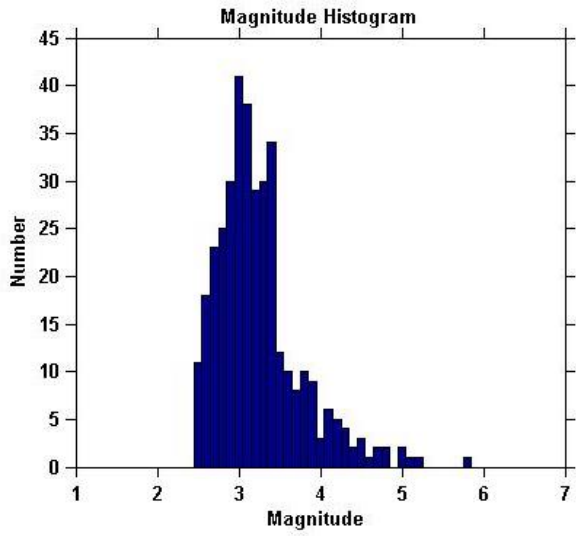
شکل ۵۵-۰ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی)



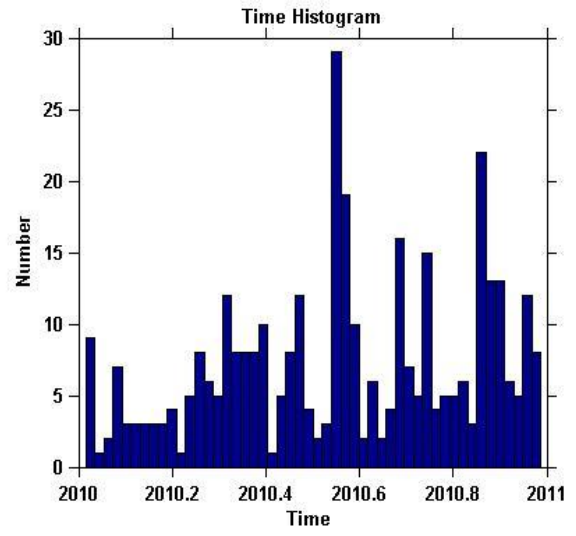
شکل ۵۷-۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب بزرگی

شکل ۵۶-۰ نمودار تغییرات مقدار b بر حسب عمق

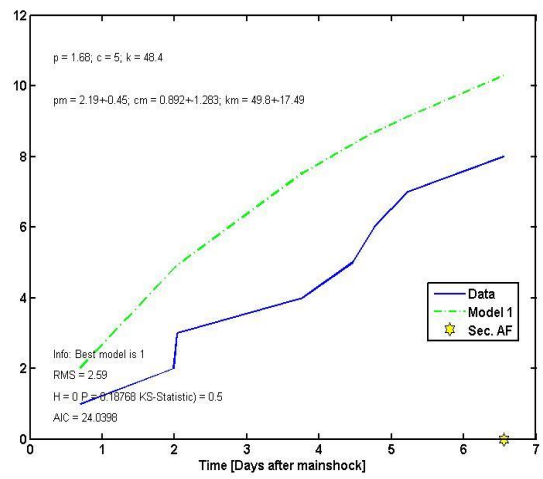
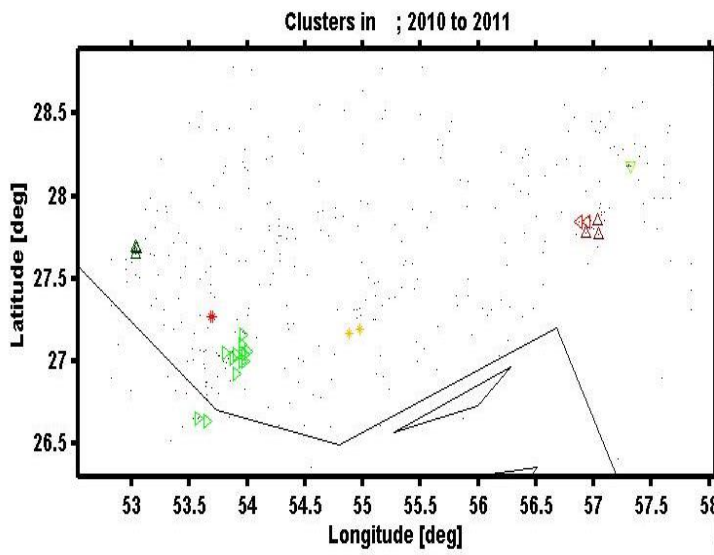




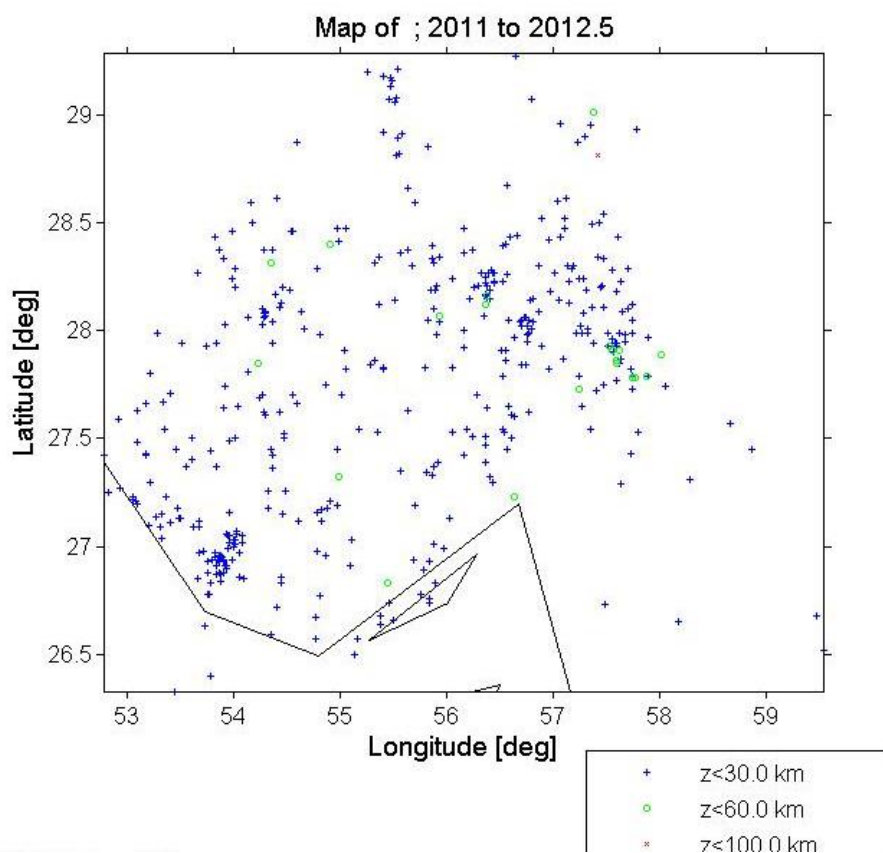
شکل ۶۱-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی



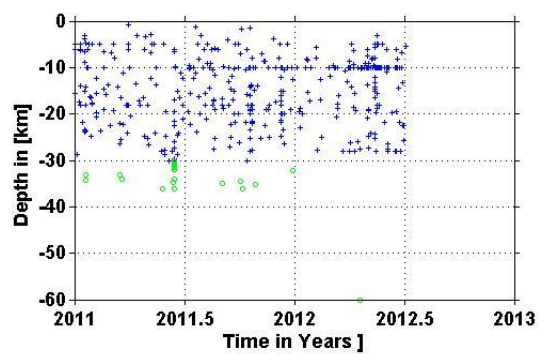
شکل ۶۰-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان



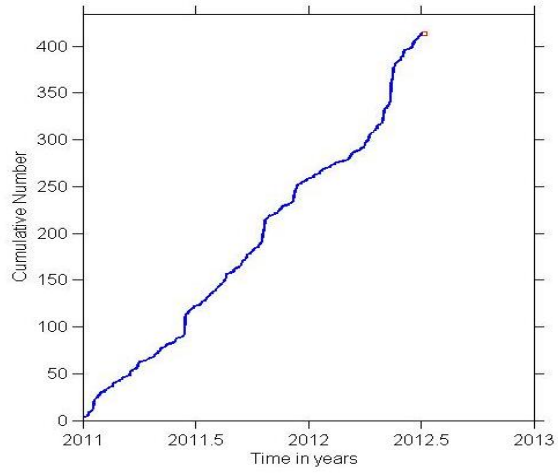
شکل ۶۲-۰ برآورد پس لرزه ها طبق قانون امری



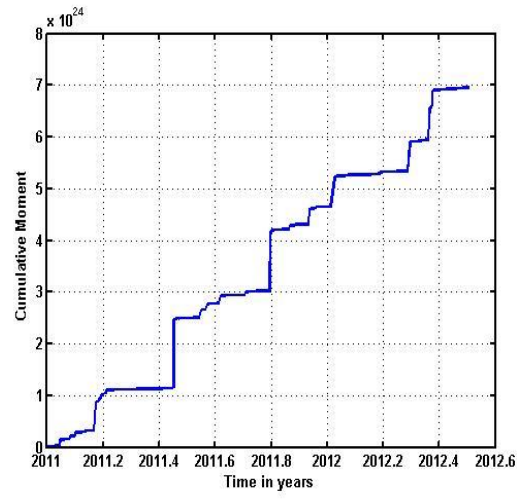
شکل ۶۴-۰ نقشه لرزه خیزی منطقه در سال ۲۰۱۱



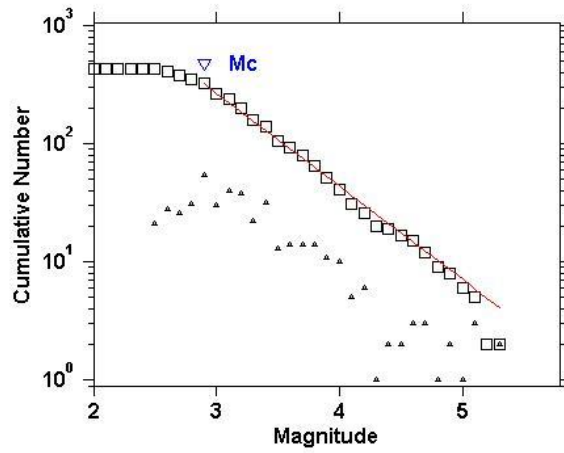
شکل ۶۵-۰ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان



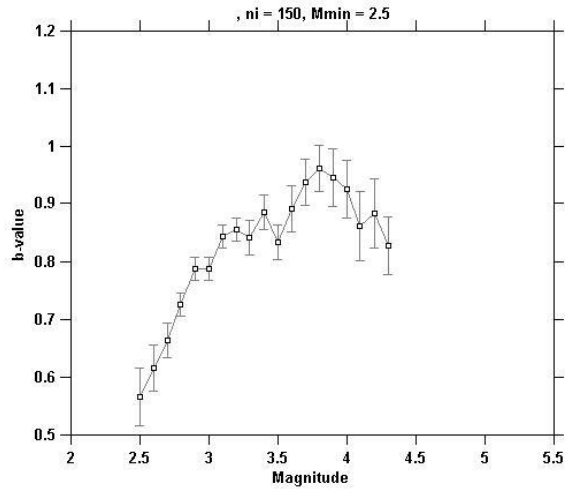
شکل ۶۷-۰۰ نمودار تجمعی تعداد لرزه ها



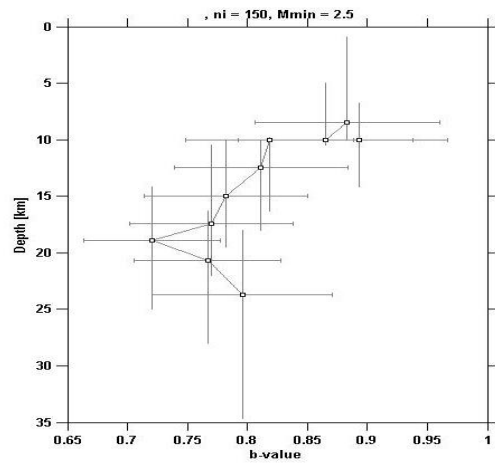
شکل ۶۶-۰۰ نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها



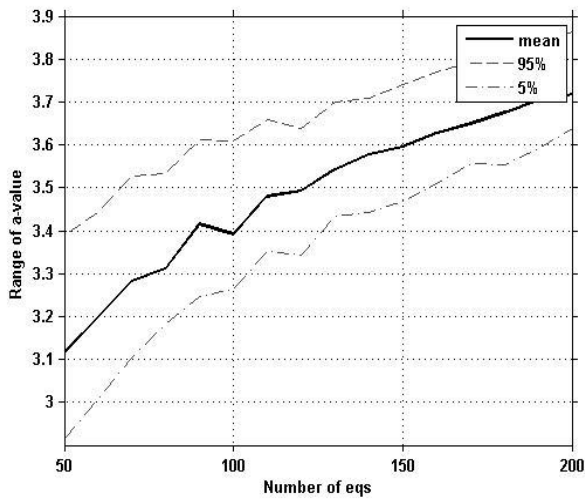
شکل ۶۸-۰۰ نمودار FMD (پراکندگی تعداد-بزرگی)



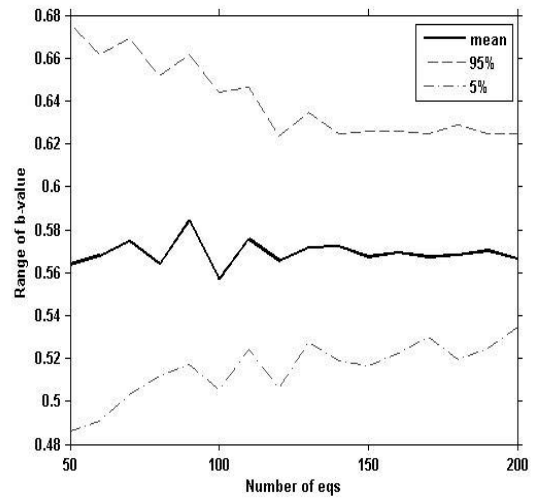
شکل ۷۰-۰ نمودار تغییرات مقدار b برحسب بزرگی



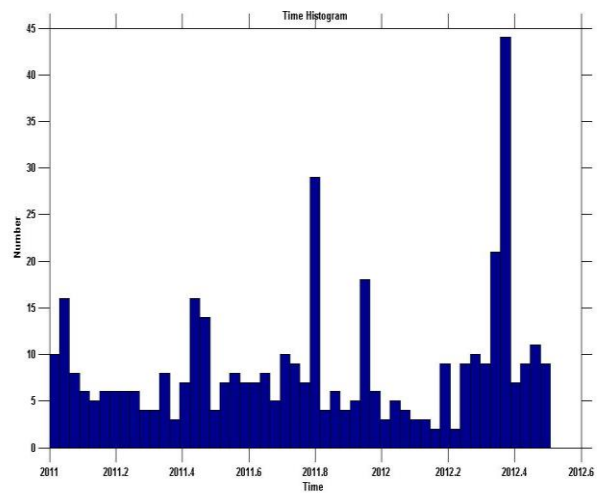
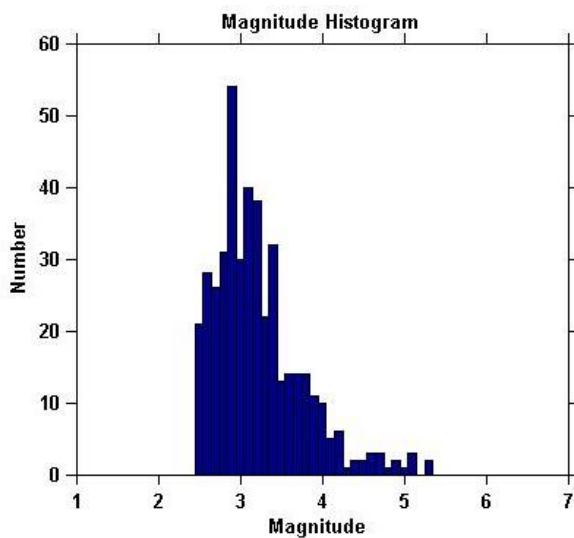
شکل ۶۹-۰ نمودار تغییرات مقدار b برحسب عمق



شکل ۷۲-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار a

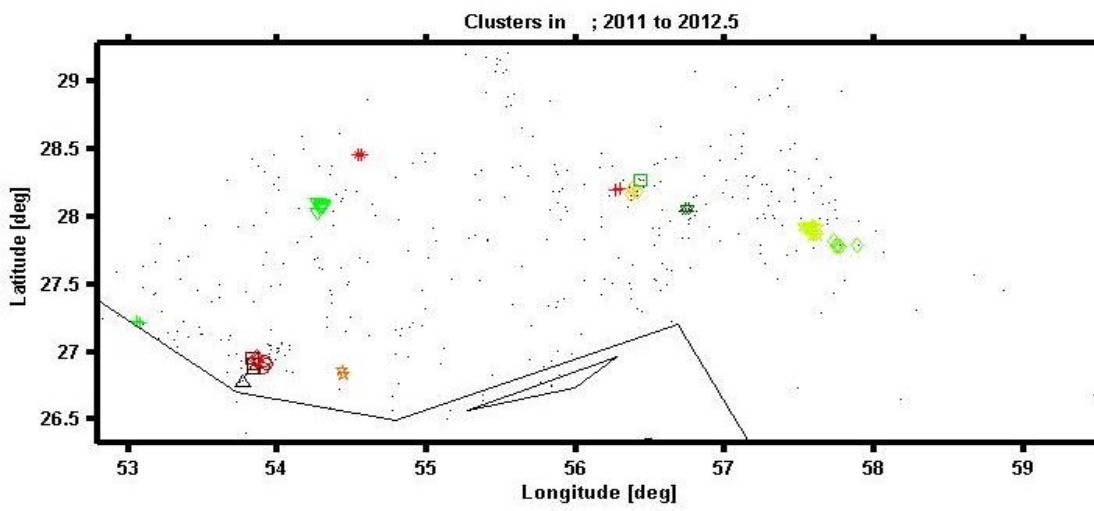


شکل ۷۱-۰ نمودار محدوده تغییرات مقدار b



شکل ۷۴-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب بزرگی

شکل ۷۳-۰ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان



شکل ۷۵-۰ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها



## ۲-۸ کدهای نوشته شده برای تهیه مدل شبکه عصبی

```
clear all
clc
in=xlsread('C:\Users\pooyan\Desktop\net.xls', 'A2:E356');
out=xlsread('C:\Users\pooyan\Desktop\net.xls', 'j2:j356');

%*****Train Data*****
int1=in(90:120, :);
int2=in(120:200, :);
int3=in(300:355, :);
int123=[int1; int2; int3];
int= int123';
outt1=out(90:120, :);
outt2=out(120:200, :);
outt3=out(300:355, :);
outt123=[outt1; outt2; outt3];
outt=outt123';

%*****Validation Data*****

inv1=in(40:90, :);
inv2=in(200:250, :);
inv12=[inv1; inv2];
inv= inv12';
outv1=out(40:90, :);
outv2=out(200:250, :);
outv12=[outv1; outv2];
outv=outv12';

%*****Test Data*****
intest1=in(1:40, :);
intest2=in(250:299, :);
intest12=[intest1; intest2];
intest= intest12';
outtest1=out(1:40, :);
outtest2=out(250:299, :);
outtest12=[outtest1; outtest2];
outtest=outtest12';

msetmin=1000000;
msevmin=1000000;
n11=30;
n12=20;
tf1=2;
tf2=2;
MSEt_Valuef_tantansig=ones(n11,1);
MSEt_Valuef_logtansig=ones(n11,1);
MSEt_Valuef_loglogsig=ones(n11,1);
MSEt_Valuef_tanlogsig=ones(n11,1);
```

```

MSEt_Values_logtansig=ones(nl1,nl2);
MSEt_Values_loglogsig=ones(nl1,nl2);
MSEt_Values_tantansig=ones(nl1,nl2);
MSEt_Values_tanlogsig=ones(nl1,nl2);

MSEv_Valuef_logtansig=ones(nl1,1);
MSEv_Valuef_loglogsig=ones(nl1,1);
MSEv_Valuef_tantansig=ones(nl1,1);
MSEv_Valuef_tanlogsig=ones(nl1,1);

MSEv_Values_logtansig=ones(nl1,nl2);
MSEv_Values_loglogsig=ones(nl1,nl2);
MSEv_Values_tantansig=ones(nl1,nl2);
MSEv_Values_tanlogsig=ones(nl1,nl2);

R2t_Values_tantansig=ones(nl1,nl2);
R2t_Values_tanlogsig=ones(nl1,nl2);
R2t_Values_logtansig=ones(nl1,nl2);
R2t_Values_loglogsig=ones(nl1,nl2);

R2t_Valuef_tantansig=ones(nl1,1);
R2t_Valuef_tanlogsig=ones(nl1,1);
R2t_Valuef_logtansig=ones(nl1,1);
R2t_Valuef_loglogsig=ones(nl1,1);

R2v_Values_tantansig=ones(nl1,nl2);
R2v_Values_tanlogsig=ones(nl1,nl2);
R2v_Values_logtansig=ones(nl1,nl2);
R2v_Values_loglogsig=ones(nl1,nl2);

R2v_Valuef_tantansig=ones(nl1,1);
R2v_Valuef_tanlogsig=ones(nl1,1);
R2v_Valuef_logtansig=ones(nl1,1);
R2v_Valuef_loglogsig=ones(nl1,1);

transfer={'tansig' 'logsig' 'hardlim' 'poslin' 'satlin' 'satlins' 'radbas'
'tribas'};

#####
%
% #####
for nf=1:nl1 %Loop For Neuron in First layer

    for ns=0:nl2 %Loop for Neuron in Second layer

        for tff=1:tff1 %Loop For Transfer Function in Firs Layer

            for tfs=1:tff2 %Loop For Transfer Function in Second
Layer

                net.layers{1}.transferFcn = transfer{tff};
                net.layers{3}.transferFcn = 'purelin';
                net.trainParam.epochs = 50;

```

```

    if ns==0
        net = newff(int, outt, [nf 1]);
    else net = newff(int, outt, [nf ns 1]);
        net.layers{2}.transferFcn = transfer{tfs};
    end

%***** Train *****

    net = train(net, int, outt);
    yt = sim(net, int);
    for i=1:length(yt)
        if yt(1,i)<0.576923077
            yt(1,i)=0;
        else yt(1,i)=1;
        end
    end
    mset= mse(yt-outt);
    R2t=1- ( ((yt-outt).^2) / ((mean(yt)-outt).^2) );

    if mset<msetmin
        msetmin=mset;
        neuron1t=nf;
        neuron2t=ns;
        TransFunc1t=net.layers{1}.transferFcn;
        R2tmin=R2t;

        if ns==0

        else TransFunc2t=net.layers{2}.transferFcn;
        end

        bestnett=net;

    end
    msetmin;
    msettotal(1,nf)=mset;
%***** Validation *****

    yv = sim(net, inv);
    for i=1:length(yv)
        if yv(1,i)<0.576923077
            yv(1,i)=0;
        else yv(1,i)=1;
        end
    end
    msev= mse(yv-outv);
    R2v=1- ( ((yv-outv).^2) / ((mean(yv)-outv).^2) );

    if msev<msevmin
        msevmin=msev;
        neuron1v=nf;
        neuron2v=ns;

```

```

        TransFunc1v=net.layers{1}.transferFcn;
        R2Vmin=R2v;

        if ns==0

        else TransFunc2v=net.layers{2}.transferFcn;
        end

        bestnetv=net;
        ytest=sim(bestnetv,intest);
    for i=1:length(ytest)
        if ytest(1,i)<0.576923077
            ytest(1,i)=0;
        else ytest(1,i)=1;
        end
    end
        msetest= mse(ytest-outtest);
        R2test=1- ( ((ytest-outtest).^2) ) /
((mean(ytest)-outtest).^2) );

    end

    msevmin;
    neuron1v;
    msevotal(1,nf)=msev;

%*****Saving in Matrix*****

if tff==1 && tfs==1    %TF1=Tansig    TF2=Tansig
    if ns==0
        MSEt_Valuef_tantansig(nf, 1)=mset;
        R2t_Valuef_tantansig(nf, 1)=R2t;
        MSEv_Valuef_tantansig(nf, 1)=msev;
        R2v_Valuef_tantansig(nf, 1)=R2v;

    else
        MSEt_Values_tantansig(nf, ns)=mset;
        R2t_Values_tantansig(nf, ns)=R2t;
        MSEv_Values_tantansig(nf, ns)=msev;
        R2v_Values_tantansig(nf, ns)=R2v;

    end
end

if tff==1 && tfs==2    %TF1=Tansig    TF2=Logsig

    if ns==0
        MSEt_Valuef_tanlogsig(nf, 1)=mset;
        R2t_Valuef_tanlogsig(nf, 1)=R2t;
        MSEv_Valuef_tanlogsig(nf, 1)=msev;
        R2v_Valuef_tanlogsig(nf, 1)=R2v;

```

```

else
MSEt_Values_tanlogsig(nf, ns)=mset;
R2t_Values_tanlogsig(nf, ns)=R2t;
MSEv_Values_tanlogsig(nf, ns)=msev;
R2v_Values_tanlogsig(nf, ns)=R2v;

end
end

if tff==2 && tfs==2 %TF1=Logsig TF2=Logsig

if ns==0
MSEt_Valuef_loglogsig(nf, 1)=mset;
R2t_Valuef_loglogsig(nf, 1)=R2t;
MSEv_Valuef_loglogsig(nf, 1)=msev;
R2v_Valuef_loglogsig(nf, 1)=R2v;
else
MSEt_Values_loglogsig(nf, ns)=mset;
R2t_Values_loglogsig(nf, ns)=R2t;
MSEv_Values_loglogsig(nf, ns)=msev;
R2v_Values_loglogsig(nf, ns)=R2v;
end

end

if tff==2 && tfs==1 %TF1=Logsig TF2=Tansig
if ns==0
MSEt_Valuef_logtansig(nf, 1)=mset;
R2t_Valuef_logtansig(nf, 1)=R2t;
MSEv_Valuef_logtansig(nf, 1)=msev;
R2v_Valuef_logtansig(nf, 1)=R2v;

else
MSEt_Values_logtansig(nf, ns)=mset;
R2t_Values_logtansig(nf, ns)=R2t;
MSEv_Values_logtansig(nf, ns)=msev;
R2v_Values_logtansig(nf, ns)=R2v;

end

end
end

end %end of Loop For Transfer Function in Second
layer

end %end of Loop For Transfer Function in First layer

end %end of Loop For Neuron in Second layer

end %end of Loop For Neuron in First layer

```

```

%write to excel
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Valuef_tantansig,
'MSEt_Valuef_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Valuef_logtansig,
'MSEt_Valuef_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Valuef_loglogsig,
'MSEt_Valuef_loglogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Valuef_tanlogsig,
'MSEt_Valuef_tanlogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Values_logtansig,
'MSEt_Values_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Values_loglogsig,
'MSEt_Values_loglogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Values_tantansig,
'MSEt_Values_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEt_Values_tanlogsig,
'MSEt_Values_tanlogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Valuef_logtansig,
'MSEv_Valuef_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Valuef_loglogsig,
'MSEv_Valuef_loglogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Valuef_tantansig,
'MSEv_Valuef_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Valuef_tanlogsig,
'MSEv_Valuef_tanlogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Values_logtansig,
'MSEv_Values_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Values_loglogsig,
'MSEv_Values_loglogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Values_tantansig,
'MSEv_Values_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', MSEv_Values_tanlogsig,
'MSEv_Values_tanlogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Values_tantansig,
'R2t_Values_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Values_tanlogsig,
'R2t_Values_tanlogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Values_logtansig,
'R2t_Values_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Values_loglogsig,
'R2t_Values_loglogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Valuef_tantansig,
'R2t_Valuef_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Valuef_tanlogsig,
'R2t_Valuef_tanlogsig');

```

```

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Valuef_logtansig,
'R2t_Valuef_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2t_Valuef_loglogsig,
'R2t_Valuef_loglogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Values_tantansig,
'R2v_Values_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Values_tanlogsig,
'R2v_Values_tanlogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Values_logtansig,
'R2v_Values_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Values_loglogsig,
'R2v_Values_loglogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Valuef_tantansig,
'R2v_Valuef_tantansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Valuef_tanlogsig,
'R2v_Valuef_tanlogsig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Valuef_logtansig,
'R2v_Valuef_logtansig');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', R2v_Valuef_loglogsig,
'R2v_Valuef_loglogsig');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', neuron1t, 'neuron1t');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', neuron2t, 'neuron2t');

xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', neuron1v, 'neuron1v');
xlswrite('C:\Users\pooyan\Desktop\Results.xls', neuron2v, 'neuron2v');

```

### ۸-۳ قسمتی از داده‌های مورد استفاده جهت مدل‌سازی

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
1	\$TI_Timelider	\$TI_Timelabe	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	\$TI_Count	Mag_1	Mag_2	Mag_3	Mag_4	Mag_5	Mag_6	Mag_7	Mag_8	Mag_9	Mag_10
2	11	13-Jan-2006	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	4	2	2.7	2	2	2	4	2	2	3.5	
3	12	14-Jan-2006	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	2	4	2	2.7	2	2	2	4	2	2	
4	13	15-Jan-2006	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	2	2	4	2	2.7	2	2	2	4	2	
5	14	16-Jan-2006	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	2	2	2	4	2	2.7	2	2	2	4	
6	15	17-Jan-2006	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	2	2	2	2	4	2	2.7	2	2	2	
7	16	18-Jan-2006	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	2	2	2	2	4	2	2.7	2	2	
8	17	19-Jan-2006	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	2	2	2	2	2	2	4	2	2.7	2	
9	18	20-Jan-2006	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2.7	2	2	2	2	2	2	4	2	2.7	
10	19	21-Jan-2006	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2.7	2	2	2	2	2	2	4	2	
11	20	22-Jan-2006	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2.7	2	2	2	2	2	2	4	
12	21	23-Jan-2006	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.6	2	2	2.7	2	2	2	2	2	2	
13	22	24-Jan-2006	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	3.6	2	2	2.7	2	2	2	2	2	
14	23	25-Jan-2006	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3.5	2	3.6	2	2	2.7	2	2	2	2	
15	24	26-Jan-2006	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	3.1	3.5	2	3.6	2	2	2.7	2	2	2	
16	25	27-Jan-2006	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	2	3.1	3.5	2	3.6	2	2	2.7	2	2	
17	26	28-Jan-2006	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	3.7	2	3.1	3.5	2	3.6	2	2	2.7	2	
18	27	29-Jan-2006	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	2	3.7	2	3.1	3.5	2	3.6	2	2	2.7	
19	28	30-Jan-2006	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	2	2	3.7	2	3.1	3.5	2	3.6	2	2	
20	29	31-Jan-2006	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	2	2	2	3.7	2	3.1	3.5	2	3.6	2	
21	30	01-Feb-2006	3	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	2	2	2	2	3.7	2	3.1	3.5	2	3.6	
22	31	02-Feb-2006	1	3	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3.9	2	2	2	2	3.7	2	3.1	3.5	2	
23	32	03-Feb-2006	1	1	3	0	0	0	0	1	0	1	1	4	3.9	2	2	2	2	3.7	2	3.1	3.5	
24	33	04-Feb-2006	0	1	1	3	0	0	0	0	1	0	1	3.4	4	3.9	2	2	2	2	3.7	2	3.1	
25	34	05-Feb-2006	0	0	1	1	3	0	0	0	0	1	0	2	3.4	4	3.9	2	2	2	2	3.7	2	
26	35	06-Feb-2006	3	0	0	1	1	3	0	0	0	0	1	2	2	3.4	4	3.9	2	2	2	2	3.7	
27	36	07-Feb-2006	0	3	0	0	1	1	3	0	0	0	0	4.4	2	2	3.4	4	3.9	2	2	2	2	
28	37	08-Feb-2006	1	0	3	0	0	1	1	3	0	0	0	2	4.4	2	2	3.4	4	3.9	2	2	2	
29	38	09-Feb-2006	0	1	0	3	0	0	1	1	3	0	0	2.9	2	4.4	2	2	3.4	4	3.9	2	2	
30	39	10-Feb-2006	0	0	1	0	3	0	0	1	1	3	0	2	2.9	2	4.4	2	2	3.4	4	3.9	2	
31	40	11-Feb-2006	0	0	0	1	0	3	0	0	1	1	3	2	2	2.9	2	4.4	2	2	3.4	4	3.9	
32	41	12-Feb-2006	0	0	0	0	1	0	3	0	0	1	1	2	2	2	2.9	2	4.4	2	2	3.4	4	
33	42	13-Feb-2006	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	1	2	2	2	2	2.9	2	4.4	2	2	3.4	
34	43	14-Feb-2006	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	2	2	2	2	2	2.9	2	4.4	2	2	
35	44	15-Feb-2006	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	2	2	2	2	2	2	2.9	2	4.4	2	
36	45	16-Feb-2006	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	2	2	2	2	2	2	2.9	2	4.4	
37	46	17-Feb-2006	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3.7	2	2	2	2	2	2	2	2.9	2	
38	47	18-Feb-2006	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3.7	2	2	2	2	2	2	2	2.9	
39	48	19-Feb-2006	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3.5	2	3.7	2	2	2	2	2	2	2	
40	49	20-Feb-2006	2	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	3.8	3.5	2	3.7	2	2	2	2	2	2	
41	50	21-Feb-2006	4	2	2	1	0	3	0	0	0	0	0	4.4	3.8	3.5	2	3.7	2	2	2	2	2	
42	51	22-Feb-2006	1	4	2	2	1	0	3	0	0	0	0	4.1	4.4	3.8	3.5	2	3.7	2	2	2	2	
43	52	23-Feb-2006	1	1	4	2	2	1	0	3	0	0	0	3.3	4.1	4.4	3.8	3.5	2	3.7	2	2	2	
44	53	24-Feb-2006	0	1	1	4	2	2	1	0	3	0	0	3.2	3.3	4.1	4.4	3.8	3.5	2	3.7	2	2	
45	54	25-Feb-2006	0	0	1	1	4	2	2	1	0	3	0	2	3.2	3.3	4.1	4.4	3.8	3.5	2	3.7	2	
46	55	26-Feb-2006	1	0	0	1	1	4	2	2	1	0	3	2	2	3.2	3.3	4.1	4.4	3.8	3.5	2	3.7	
47	56	27-Feb-2006	3	1	0	0	1	1	4	2	2	1	0	4.3	2	2	3.2	3.3	4.1	4.4	3.8	3.5	2	
48	57	28-Feb-2006	11	3	1	0	0	1	1	4	2	2	1	4.2	4.3	2	2	3.2	3.3	4.1	4.4	3.8	3.5	
49	58	01-Mar-2006	3	11	3	1	0	0	1	1	4	2	2	5.8	4.2	4.3	2	2	3.2	3.3	4.1	4.4	3.8	
50	59	02-Mar-2006	3	3	11	3	1	0	0	1	1	4	2	3.8	5.8	4.2	4.3	2	2	3.2	3.3	4.1	4.4	
51	60	03-Mar-2006	0	3	3	11	3	1	0	0	1	1	4	4	3.8	5.8	4.2	4.3	2	2	3.2	3.3	4.1	



## **Abstract:**

In regarding with the location of country of Iran in the earthquake potential of Alpine-Himalayan the earthquakes are as most destructive natural phenomena which cause humanistic economical and damages in this country. In the past periods, the destructive earthquakes were quaked different areas of our country and were the cause of many of our fellows, which highlights the importance of research in this area. This research investigates the earthquake prediction issues using the foreshocks indexes. In this purpose, first using the available quake data in the earthquake catalogs, we prepared databases of foreshocks of the country of Iran. After refining the catalogs and separating the foreshocks from main shocks, we performed the declustering operation algorithm using the Gardner and Noprof (10974) method on the foreshocks of country for foreshocks more than 5. After then we performed the clustering on the foreshocks more than 5 have been performed. For this section, first the self organizer algorithm of Kohonen (SOM) was used to determine the number of clusters and then the K-Means algorithm for 5-15 algorithms have been implemented and regarding the Silhouette index, 6 categories were determined for the foreshocks of country. Then the resulted categories, were grouped using the Cunkan and Tuks tests and the zoning area of Iran were determined and the Zagros - Makran transition Zone were introduces as the main foreshocks of Iran.

After determining the main foreshocks, we preceded the research using artificial neural networks for two states of prediction and category. The prediction results were relative weak and with the correlation coefficient were almost 65% but the results are valid with high validity.

After the modeling, we introduced the transited zone of Zagros – Makran from tectonical status view and the main Faults were introduced. After all, the earthquake parameters of this zone were investigated. The value a and b and the value of magnitude scale were 5.6, 0.8 and 3.2 respectively. The annual value of „a” was about 4.8. The investigations show the 2 years period variations of earthquake parameters for this zone.

Keyword: Earthquake prediction, Foreshocks, Declustering, SOM, Data mining, Artificial neural networks, Transited zone of Zagros – Makran



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Earth Sciences**

**Tectonic Group**

**M. Sc. Thesis**

**Clustering and analyzing foreshocks for earthquake prediction using  
data mining methods**

**Pooyan Ramezani Besheli**

**Supervisor(s):**

**Ramezan Ramezani Umali**

**Advisor(s):**

**Mehdi Zare**

**Gholamreza Nakhaeezadeh**

**Date: 20/Feb/2013**