



## تهیه نقشه زون‌های لرزه‌ای گستره اصفهان با استفاده از داده‌های سجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

مجتبی رحیمی شهید<sup>۱\*</sup>، فریبا کارگران<sup>۲</sup>، نیما رحیمی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه یزد

۲. استادیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تهران

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۵ آذر ۱۳۹۳

پذیرش: ۱۴ شهریور ۱۳۹۴

دسترسی اینترنتی: ۲۶ دی ۱۳۹۴

واژه‌های کلیدی:

لرزه‌زمین‌ساخت

مغناطیس‌هوایی

زمین‌شناسی

لرزه‌خیزی

سجش از دور

اصفهان

### چکیده

اصفهان یکی از شهرهای مهم کشور از نظر اقتصادی، صنعتی، تاریخی و گردشگری می‌باشد. به علت اهمیت این شهر مطالعات لرزه‌خیزی و شناسایی گسل‌های فعال در این منطقه ضروری است. در این مطالعه وضعیت لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. گستره مورد مطالعه از طرف شمال شرق به طرف جنوب غرب شامل زون ایران مرکزی، زون سندانج - سیرجان و زون زاگرس مرتفع می‌باشد. به کمک تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی و نقشه مغناطیس‌هوایی، گسل‌های بنیادی و فعال منطقه مشخص گردید و لرزه‌خیزی ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اطلاعات موجود، نقشه لرزه‌زمین‌ساخت منطقه تهیه گردید که چهار زون لرزه‌ای در آن مشخص شد. نتایج نشان داد که لرزه‌خیزی منطقه از جهت شمال شرق به طرف جنوب غرب افزایش می‌یابد. تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه با استفاده از روش گوتنبرگ - ریشتر احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۵/۵ تا ۶ ریشتر را در منطقه در ۱۰۰ سال آینده ۱/۱۰۰٪، زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۶/۵ ریشتر را ۸۴٪ و زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۷ ریشتر را ۴۶٪ پیش‌بینی کرده است.

\*mr619htt@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

## مقدمه

ایران از نظر لرزه‌خیزی در منطقه فعال جهان قرار دارد و به گواهی اطلاعات مستند علمی و مشاهدات قرن بیستم از خطرپذیرترین مناطق جهان در اثر زمین‌لرزه‌های پر قدرت محسوب می‌شود. در حال حاضر ایران در صدر کشورهای است که وقوع زلزله در آن با تلفات جانی بالا همراه است. گرچه جلوگیری کامل از خسارات ناشی از زلزله‌های شدید بسیار دشوار است، لیکن با افزایش سطح اطلاعات در رابطه با لرزه‌خیزی کشور می‌توان تا حد مطلوب تلفات و خسارات ناشی از زلزله‌های آتی را کاهش داد. دهقان منشادی و همکاران (۵) با بررسی لرزه‌خیزی منطقه اصفهان، دریافتند که بیشینه بزرگی زمین‌لرزه قابل انتظار برای زون ایران مرکزی و ۷/۸ و برای زون زاگرس ۷/۴ می‌باشد. ریاضی و همکاران (۶) با استفاده از زمان رسید امواج، لرزه‌خیزی و سرعت امواج پیکری و افزایش آهنگ لرزه‌خیزی منطقه اصفهان را تعیین کردند. مطالعات مشابهی در مورد پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای در سایر نقاط کشور از جمله در شهر کرمان، تبریز، اردبیل، استان مرکزی و لرستان تاکنون صورت گرفته است، که در این مطالعات مناطق مختلف از نظر خطر لرزه‌خیزی تفکیک شده‌اند (۱، ۳، ۸، ۱۱ و ۱۲). علی و همکاران (۱۶)، احمد و سعید (۱۵)، کادینسکی و برزنگی (۲۲)، پیراسته و همکاران (۲۴) و پیراسته (۲۵) میزان لرزه‌خیزی منطقه زاگرس متأثر از زمین‌شناسی و زمین‌ساخت را مورد بررسی قرار داده‌اند.

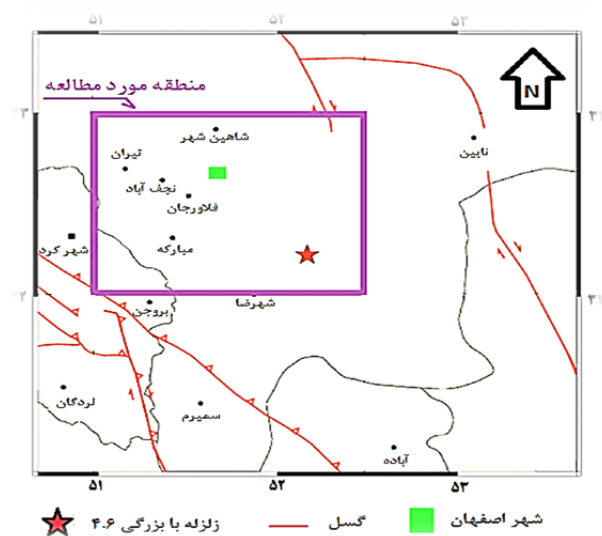
اسفندیاری و همکاران (۱) به بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهر اردبیل پرداختند. همچنین با استفاده از روش کویرن تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله در شرایط مختلف زمانی و امدادسانی تعیین گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که وضعیت وقوع زلزله در شب، بدون هیچ گونه امدادسانی، شدیدترین تلفات را موجب می‌گردد. در این حالت، ۷۴۹۴۵ از ساکنان یا حدود ۵۵/۱۷٪ کل جمعیت اردبیل کشته خواهند شد.

عابدینی و فتحی (۱۰) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با

استفاده از مدل‌های چند معیاره پرداختند. در این مطالعه از ترکیب مدل منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی (Fuzzy-AHP) در پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز خلخال چای استفاده شد و با استفاده از مدل‌های چندمعیاره، عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش را شناسایی کرده و نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد خطر وقوع زمین لغزش را تهیه کردند. نتایج نشان داد که شیب، لیتولوژی، ارتفاع، بارش، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل و جهت شیب به ترتیب اولویت به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در لغزش در منطقه می‌باشند. یافته‌های تحقیق نشانگر آن است که حدود ۲۱/۸٪ از زمین لغزش‌ها با مساحتی در حدود ۴۶/۳ کیلومترمربع در زمره مناطق با لغزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد و در مناطق شرق و شمال شرق حوضه واقع شده‌اند. مناطق با خطر متوسط با مساحت ۴۱/۳ کیلومترمربع بیشتر در منطقه شرق و جنوب غرب حوزه آبریز واقع شده است. مناطق با حساسیت کم و خیلی کم نیز با مساحت ۱۲۴/۵ کیلومترمربع در واقع ۵۸/۷٪ از سطح حوزه را به خود اختصاص داده‌اند.

مهدویان (۱۳) به شناخت گسل‌های لرزه‌ای و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه بر پایه بیشینه مقادیر شتاب جنبش نیرومند زمین پرداخت. نتایج حاصل گویای این مطلب است که استان گلستان به ۴ پهنه لرزه‌ای تقسیم می‌شود؛ مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) بیش از ۰/۳۵ g با نام نواحی با خطر لرزه‌ای بسیار زیاد، که بخش‌هایی از جنوب استان را دربر می‌گیرد. مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) بین ۰/۳۰ g تا ۰/۳۵ g با نام مناطق با خطر لرزه‌ای زیاد، که بخش‌های جنوبی، خاوری و شمال خاوری استان را در بر می‌گیرد، مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) بین ۰/۲۵ g تا ۰/۳۰ g با نام نواحی با خطر لرزه‌ای متوسط و مناطق با بیشینه مقادیر شتاب (PGA) کمتر از ۰/۲۵ g با نام نواحی با خطر لرزه‌ای پایین که بیشتر بخش‌های باختری و شمال باختری استان را دربر می‌گیرد.

قسمت‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی قرار گرفته است. در غرب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه گسل اصلی زاگرس قرار دارد که برخی از زمین‌لرزه‌های رخ داده در این قسمت متأثر از این گسل می‌باشد. بیشتر گسل‌ها روند شمال غربی- جنوب شرقی دارند. زمین‌لرزه‌های ثبت شده در منطقه اغلب بزرگی کمتر از ۵ ریشتر را دارا می‌باشند و از بزرگ‌ترین زمین‌لرزه ثبت شده دستگاهی به زمین‌لرزه ۴/۶ ریشتری سال ۱۳۵۶ در جنوب شرق شهر اصفهان (۳۴ کیلومتری شرق مهیار) می‌توان اشاره کرد (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت بزرگ‌ترین زمین‌لرزه دستگاهی ثبت شده در منطقه مورد مطالعه

### روش تحقیق

در این تحقیق جهت بررسی لرزه‌خیزی و ارائه زون‌های لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه از تجزیه، تحلیل و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار ArcGIS®9.3 استفاده گردید. بدین منظور نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گستره در محیط نرم‌افزار ArcGIS®9.3 قرار گرفت و سپس گسل‌های مشخص شده در روی نقشه زمین‌شناسی مشخص گردید. همچنین بطور مشابه موقعیت گسل‌های پنهان با استفاده از نقشه مغناطیس هوایی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش اصفهان مشخص و لایه اطلاعاتی دیگری از موقعیت گسل‌ها ایجاد گردید. همچنین تصاویر

رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و سده بیستم در گستره اصفهان و همچنین روندهای بنیادی گسل‌ها و ساختارهای جنبی در این پهنه نمایانگر میزان لرزه‌خیزی نسبتاً بالای این ناحیه است. بنیادی‌ترین گسل‌های محدوده مورد مطالعه گسل زاگرس و گسل زفره می‌باشد (۹). لذا با توجه به اهمیت این استان، در این تحقیق به تهیه نقشه زون‌های لرزه‌ای اصفهان با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه شهر اصفهان و شهرستان‌های اطراف آن می‌باشد که در طول جغرافیایی ۵۱° تا ۵۲° ۳۰' و عرض جغرافیایی ۳۲° تا ۳۳° واقع شده است (شکل ۱). از نظر لرزه زمین‌ساختی از شمال شرق به طرف جنوب غرب در زون ایران مرکزی، سندانج- سیرجان و زاگرس مرتفع واقع شده است که زون‌های متفاوت از نظر لرزه‌خیزی پتانسیل‌های متفاوت دارند. بیشترین رخنمون سنگی مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد (۷).



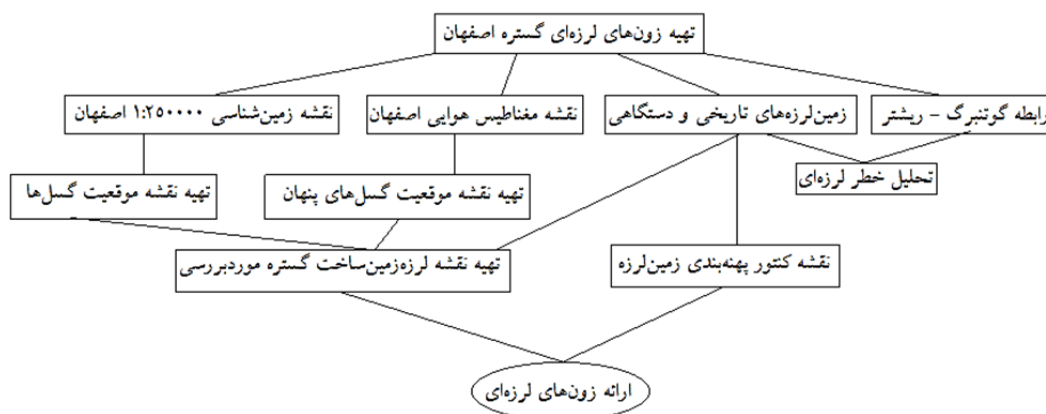
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

#### لرزه زمین‌ساخت منطقه

ایران از نظر لرزه زمین‌ساخت به قسمت‌های مختلف تقسیم‌بندی شده است که بر اساس جایگاه زمین‌ساختی و ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی گستره مورد مطالعه عمدتاً در

لرزه‌ای گستره مورد مطالعه روش گوتنبرگ - ریشتر مورد استفاده قرار گرفت. سپس موقعیت تمامی گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها نسبت به هم در یک نقشه ارائه گردید و منطقه از نظر لرزه‌خیزی زون‌بندی شد. مراحل انجام تحقیق در شکل ۳ ارائه شده است.

ماهواره‌ای لندست ۸ جهت بررسی گسل‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی لرزه‌خیزی گستره مورد مطالعه، از اطلاعات موسسه بین‌المللی مهندسی زلزله و لرزه‌شناسی (۲۱) (IIEES) از سال ۱۹۷۵ تا سال ۲۰۱۴ استفاده شد. موقعیت تمامی زمین‌لرزه‌ها در گستره شناسایی و در محیط نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup>9.3 ثبت گردید. جهت تحلیل خطر



شکل ۳. مراحل انجام تحقیق

### لرزه‌خیزی منطقه

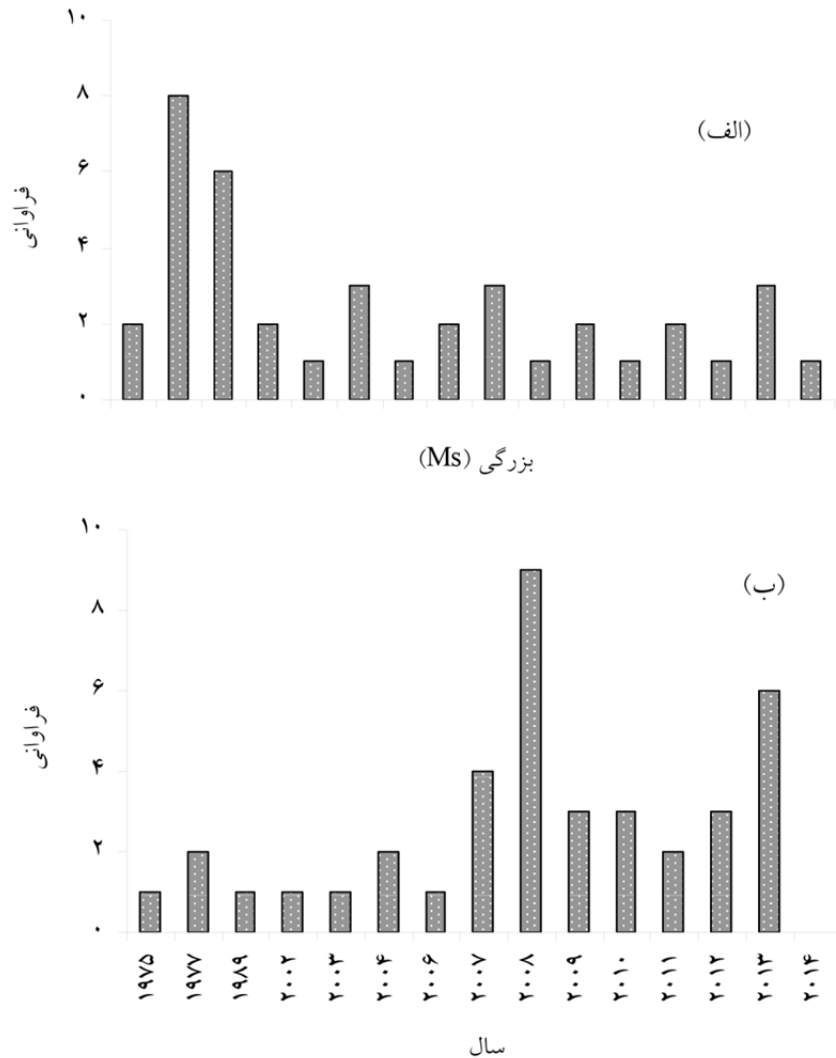
احساس شده است و مقایسه با اطلاعات مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های دستگاهی برآورد شده است (۱۴). مختصات مرکز زمین‌لرزه‌ها نیز بر اساس اطلاعات مه‌لرزه‌ای و همچنین بررسی‌های صحرائی تعیین گردید. زمین‌لرزه تاریخی گستره مورد بررسی دارای بزرگی سطحی (Ms) ۵/۷ ریشتر می‌باشد. بزرگی امواج سطحی (Ms) که فقط بزرگی تعیین شده برای زمین‌لرزه‌های قدیمی‌تر است، مقیاس مناسبی برای برآورد خطر زمین‌لرزه در ایران است. بنابراین در این تحقیق برای تبدیل مقادیر بزرگی امواج درونی (Mb) به بزرگی امواج سطحی (Ms) از رابطه ۱ استفاده شد (۵).

$$Ms = 1.36Mb - 2.00 \quad [1]$$

برای مطالعه فراوانی رخداد زمین‌لرزه به اطلاعات زمین‌لرزه‌های دستگاهی نیاز می‌باشد. اطلاعاتی از زمین‌لرزه‌های قدیمی در دست نیست به گونه‌ای که تا سال ۱۹۷۵ هیچ زمین‌لرزه دستگاهی در این گستره به ثبت نرسیده است. با

برای بررسی لرزه‌خیزی منطقه، در ابتدا با استفاده از منابع اطلاعات جهانی و محلی فهرست یکنواختی از زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره مورد بررسی از سال ۱۹۷۵ تا انتهای سال ۲۰۱۴ تهیه شد. فهرست موجود شامل یک زمین‌لرزه تاریخی و ۳۹ زمین‌لرزه مربوط به دوره جدید دستگاهی است. فراوانی بازه‌های متفاوت بزرگی زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بزرگ‌ترین زمین‌لرزه دستگاهی ثبت شده در تاریخ ۱۹۷۷/۱۰/۲۹ به بزرگی سطحی (Ms) ۴/۶ ریشتر با ساز و کار معکوس در فاصله رو مرکزی ۳۶ کیلومتر از شمال شرق شهرضا و در قسمت جنوب شرقی ناحیه مورد بررسی روی داده است (شکل ۲). اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران از مطالعات آمبرسیز و ملویل (۱۷) با بررسی مدارک تاریخی و همچنین، تحقیقات صحرائی تهیه گردید. بزرگی این زمین‌لرزه‌ها بر اساس اطلاعات مه‌لرزه‌ای، یعنی بیشینه شدت و شعاعی که زمین‌لرزه در آن

رشد ایستگاه‌های لرزه‌نگاری به ویژه از سال ۱۹۹۶ که زمان نصب شبکه‌های لرزه‌نگاری محلی در ایران است، اوج داده‌ها را در گستره مورد بررسی مشاهده می‌کنیم (شکل ۴).



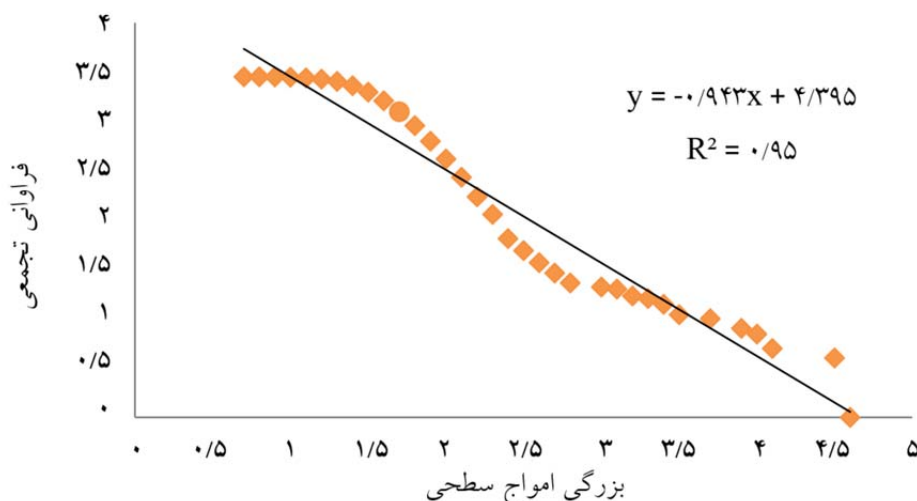
شکل ۴. نمودار فراوانی- بزرگی زمین لرزه‌های گستره مورد بررسی در دوره دستگامی (الف)، نمودار فراوانی- زمان زمین لرزه‌های روی داده در گستره مورد بررسی از سال ۱۹۷۵ تا انتهای ۲۰۱۴ (ب)

جدول ۱. فراوانی بازه‌های متفاوت بزرگی زمین لرزه‌های دستگامی در گستره مورد بررسی (IIIES)

بازه بزرگی ( $\Delta M$ )	فراوانی
$2/5 \leq Ms < 3$	۱۸
$3 \leq Ms < 3/5$	۱۰
$3/5 \leq Ms < 4$	۴
$4 \leq Ms < 4/5$	۳
$4/5 \leq Ms < 5$	۴

برحسب  $M_s$  و  $\text{Log}N_c$  (فرآوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها) در مقابل هم رسم گردید. سپس بهترین خط ممکن بین نقاط برازش شده است (شکل ۵) و فرمول خط با ضریب همبستگی ۹۵/۱۷٪ به دست آمده است.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، به دلیل اهمیت و کاربرد بزرگی امواج سطحی ( $M_s$ ) در روابط میرایی پارامترهای حرکت زمین، همان‌طور که ذکر شد تمامی بزرگی‌ها به بزرگی امواج سطحی تبدیل گردید. پس از کنترل داده‌ها، فرآوانی و فرآوانی تجمعی هر دسته مشخص گردید و در نموداری بزرگی زمین‌لرزه



شکل ۵. نمودار بزرگی امواج سطحی زمین‌لرزه‌ها ( $M_s$ ) و فرآوانی تجمعی آنها ( $\text{Log}N_c$ )

با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود در مورد زمین لرزه‌های سده بیستم، می‌توان احتمال رویداد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی مشخص را برای دوره بازگشت‌های مختلف به دست آورد. بدین منظور با استفاده از رابطه خطی گوتنبرگ-ریشتر، احتمال وقوع زمین‌لرزه در طول عمر مفید سازه به دست می‌آید (روابط ۴ و ۵).

$$N = 10^{(a-bM_s)} \quad [4]$$

$$P = 1 - [\text{EXP}(-T \times N)] \quad [5]$$

در این روابط؛  $P$  احتمال وقوع زمین‌لرزه،  $M_s$  بزرگی زمین‌لرزه و  $T$  طول عمر مفید سازه بر حسب سال می‌باشد. با استفاده از رابطه ۵ احتمال وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵ و ۸ ریشتر برای دوره‌های زمانی ۱۰ تا ۱۰۰ سال محاسبه گردید.

بزرگی و فرآوانی زمین‌لرزه‌ها با استفاده از رابطه ۲ که توسط گوتنبرگ-ریشتر ارائه گردیده است، به دست می‌آید.

$$\text{Log} N_c = a - bM_s \quad [2]$$

در این رابطه؛  $N_c$  فرآوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها،  $a$  ضریب ثابت که با تغییر طول دوره آماری تغییر می‌کند،  $b$  ضریب لرزه‌خیزی است که افزایش اندازه  $b$  در یک دوره زمانی مشخص نشان‌دهنده افزایش بزرگی زمین‌لرزه قابل رویداد می‌باشد، و  $M_s$  بزرگی زمین‌لرزه‌ها بر اساس امواج سطحی می‌باشد (۲ و ۴). نهایتاً در روش آماری، کمترین مربعات ضرایب  $a$  و  $b$  به ترتیب ۴/۳۹۵۳ و ۰/۹۴۳۳ به دست آمده است و در نتیجه رابطه گوتنبرگ - ریشتر به این صورت محاسبه می‌شود.

$$\text{Log} N_c = 4.3953 - 0.9433M_s \quad [3]$$

## نتایج و بحث

می‌دهند. همچنین مشاهده شد، احتمال روی دادن زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۸ ریشتر، در ۱۰۰ سال آینده در گستره مورد مطالعه خیلی ضعیف است (جدول ۲).

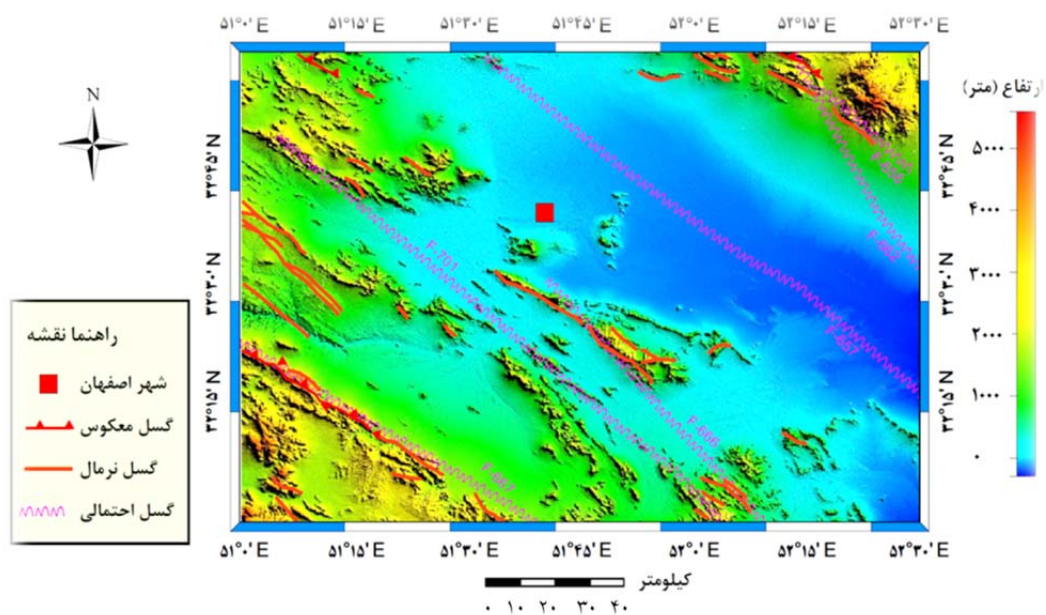
تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه با روش آماری- احتمالی نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵ و ۵/۵ ریشتر بیشتر از زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیش از ۶ ریشتر رخ

جدول ۲. احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ها با بزرگی‌های مختلف در گستره مورد مطالعه (بر حسب درصد)

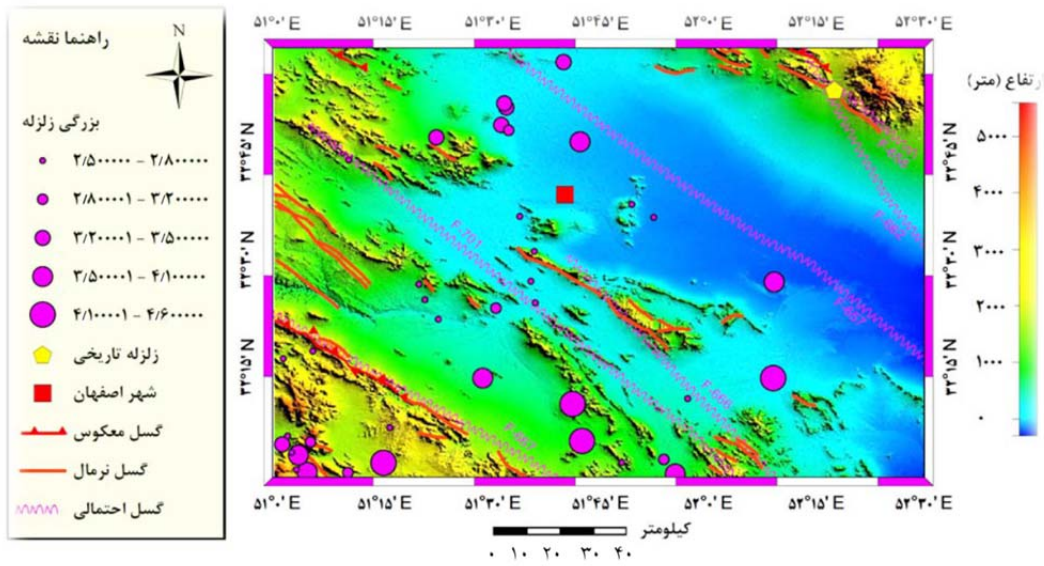
Ms سال	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷	۷/۵	۸
۱۰	۹۷/۱۵	۸۰/۰۳	۴۱/۹۵	۱۶/۷۷	۶/۰۱	۲/۰۷	۰/۷
۲۰	۹۹/۹۹	۹۶/۰۱	۶۶/۳	۳۰/۷۳	۱۱/۶۶	۴/۱	۱/۴
۳۰	۹۹/۹۹	۹۹/۲	۸۰/۴۴	۴۲/۳۵	۱۶/۹۶	۶/۱	۲/۱
۴۰	۹۹/۹۹	۹۹/۸۴	۸۰/۶۴	۵۲/۰۲	۲۵/۹۱	۸/۰۳	۲/۷۸
۵۰	۱۰۰	۹۹/۹۶	۹۳/۴۱	۶۰/۰۷	۲۶/۶۴	۹/۹۳	۳/۴۷
۶۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۶/۱۷	۶۶/۷۶	۳۱/۰۵	۱۱/۷۹	۴/۱۵
۷۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۷/۷۸	۷۲/۳۴	۳۵/۲	۱۳/۶۲	۴/۸۲
۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۷۱	۷۶/۹۸	۳۹/۰۹	۱۵/۴۶	۵/۴۹
۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۲۵	۸۰/۸۴	۴۲/۷۵	۱۷/۱۶	۶/۱۶
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۵۶	۸۴/۰۵	۴۶/۱۹	۱۸/۸۸	۶/۸۲

نقشه لرزه‌زمین‌ساخت گستره مورد مطالعه بر اساس بزرگی، عمق و شدت (I) زمین‌لرزه‌ها تهیه گردید (شکل‌های ۷، ۸ و ۹).

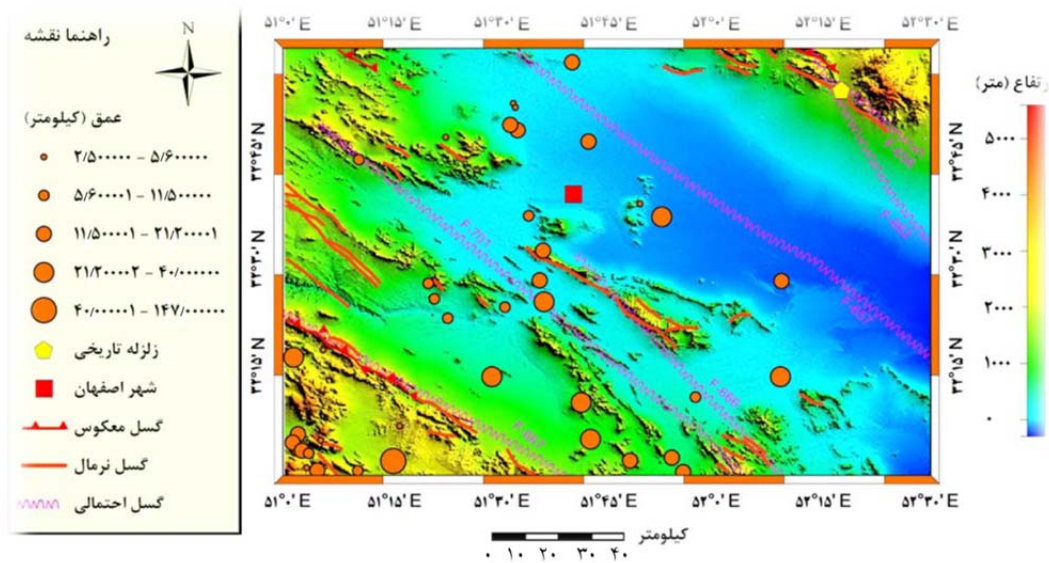
حال با استفاده از اطلاعات زمین‌لرزه‌های ذکر شده و نقشه‌های تهیه شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup>9.3 (شکل ۶)،



شکل ۶. نقشه گسل‌های منطقه همراه با تصویر توپوگرافی SRTM گستره مورد مطالعه



شکل ۷. موقعیت زمین لرزه‌ها و تقسیم‌بندی بر اساس بزرگی در نقشه لرزه‌زمین ساخت ( $M_s \geq 2/5$ )

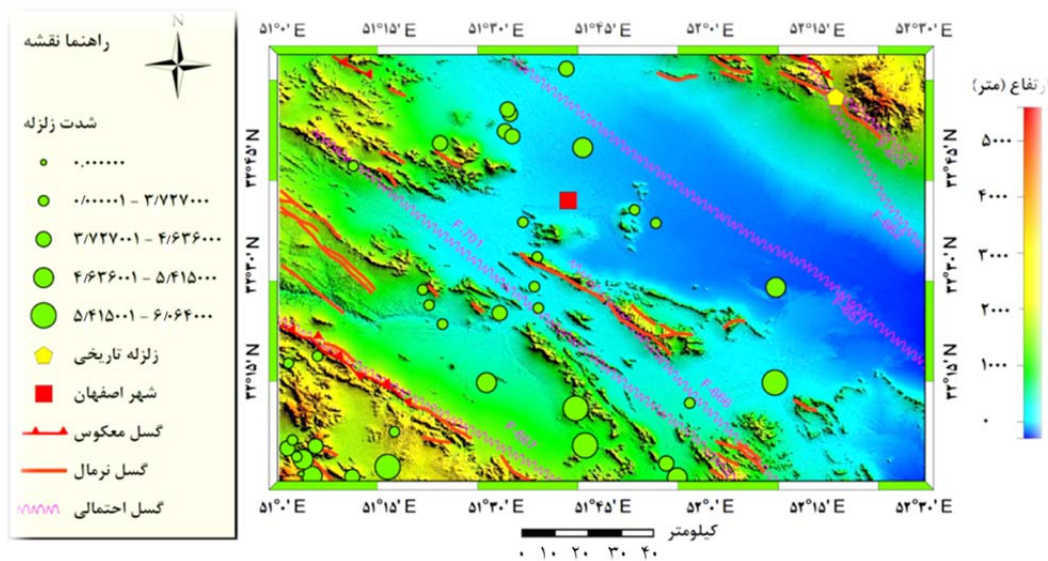


شکل ۸. موقعیت زمین لرزه‌ها و تقسیم‌بندی بر اساس عمق در نقشه لرزه‌زمین ساخت

رخ داده است و بقیه زمین‌لرزه‌ها عمق کم‌تر از ۷۰ کیلومتر دارند و از نوع کم‌عمق می‌باشند (شکل ۸)، همچنین قابل ذکر است شدت زمین لرزه‌های نیمه جنوبی منطقه بیشتر از نیمه شمالی است (شکل ۹).

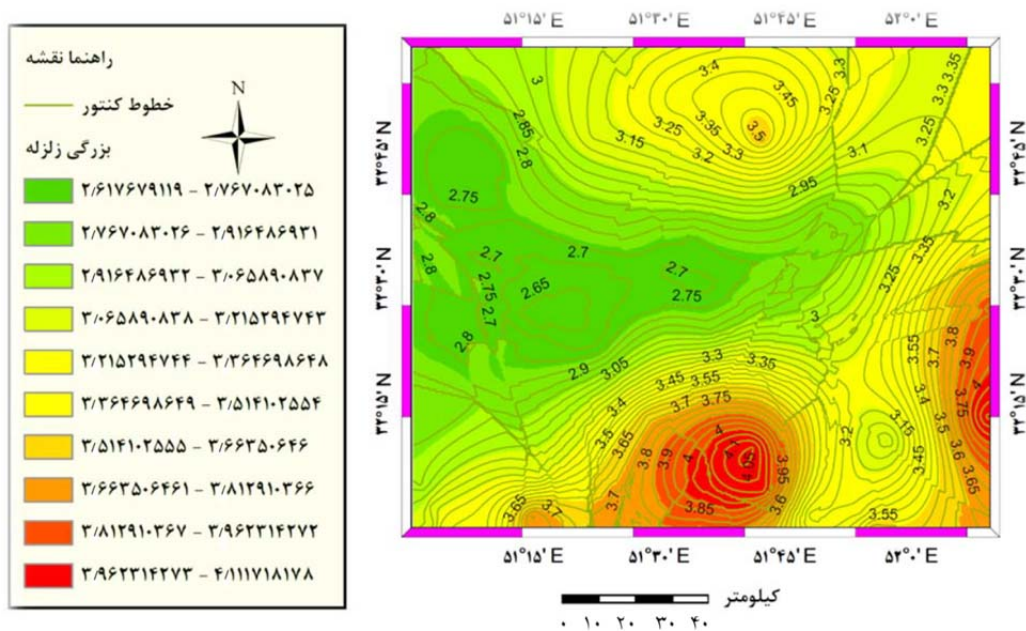
همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود اکثر زمین‌لرزه‌های ثبت شده در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه رخ داده است و به سمت شمال شرق از تعداد زمین‌لرزه‌های روی داده کاسته می‌شود. فقط یک زمین‌لرزه با عمق ۱۴۷ کیلومتری در منطقه





شکل ۹. موقعیت زمین لرزه‌ها و تقسیم‌بندی بر اساس شدت در نقشه لرزه‌زمین ساخت

همچنین به منظور تعیین دقیق‌تر زون‌های لرزه‌ای گستره (بزرگی Ms) در گستره مورد مطالعه ارائه شده است. مورد مطالعه، در شکل ۱۰ نقشه پهنه‌بندی زمین لرزه (بر حسب



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی زمین لرزه در گستره مورد مطالعه

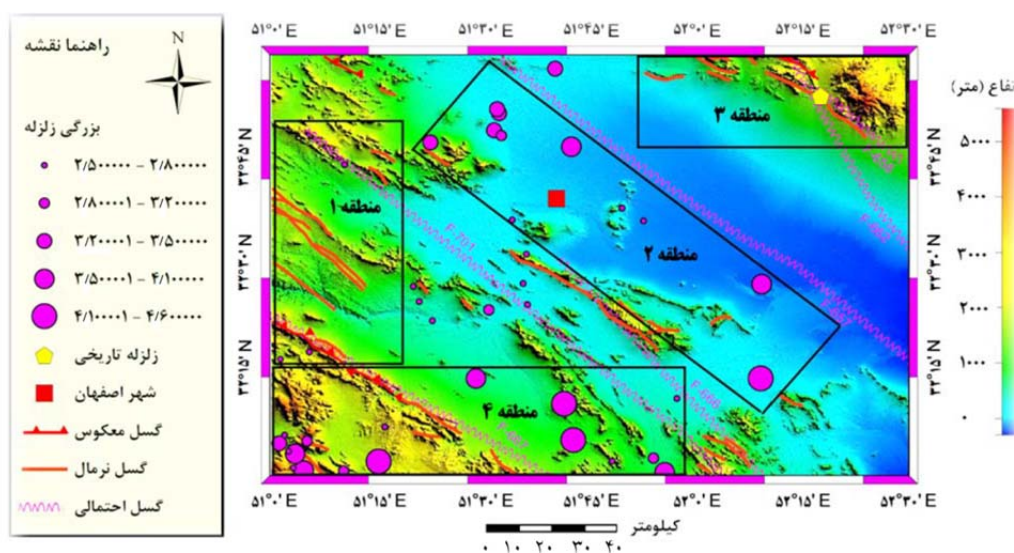
چن و همکاران (۱۸) در جزیره میندورو در فیلیپین، چولیاراس و همکاران (۱۹) در منطقه ریفت غرب کرینس، مطالعه کایال (۲۳) در مورد لرزه‌زمین ساخت کوه‌های هیمالیا و مطالعه فلد و

در دنیا خصوصاً در کشورهای پیشرفته مطالعات لرزه‌خیزی دقیقی برای تهیه نقشه لرزه‌زمین ساخت با مقیاس‌های کوچک و بزرگ صورت می‌گیرد. از مطالعات جدید می‌توان به مطالعه

مقیاس بزرگتر لرزه خیزی منطقه بررسی می‌گردد. در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه هیچ زمین‌لرزه‌ای ( $M_s \geq 2/5$ ) ثبت نشده است (شکل ۷، ۸ و ۹).

بر پایه مطالعات صورت گرفته و بر اساس پارامترهایی مانند دوری و نزدیکی زمین‌لرزه‌ها به گسل‌ها، تعداد گسل‌ها در هر منطقه، بررسی دقیق مراکز سطحی زمین‌لرزه‌ها، پهنه کانونی زمین‌لرزه‌های تاریخی، زمین‌لرزه‌های دستگاهی و گسل‌های پنهان، در منطقه مورد مطالعه، ۴ زون لرزه‌ای مشخص گردید (شکل ۱۱).

همکاران (۲۰) منطقه فرگانا در جنوب قرقیزستان اشاره نمود. در این مطالعات سعی شده است مناطق لرزه‌زا و شرایط غالب تکتونیکی آن‌ها مشخص گردد. در کشور ایران نقشه لرزه‌زمین‌ساخت کل ایران تهیه شده است، اما این نقشه کوچک مقیاس برای مطالعات دقیق لرزه‌ای کافی نمی‌باشد. در بعضی شهرها و استان‌های کشور مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت به صورت دقیق‌تری انجام شده است (۱، ۳، ۸، ۱۱ و ۱۲). برای منطقه اصفهان بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و ساختار سرعتی در مقیاس کوچک صورت گرفته است (۵ و ۶). در این مطالعه تمرکز روی شهر اصفهان و شهرستان‌های نزدیک آن است که در یک



شکل ۱۱. مناطق گستره لرزه‌ای تشخیص داده شده در منطقه مورد مطالعه

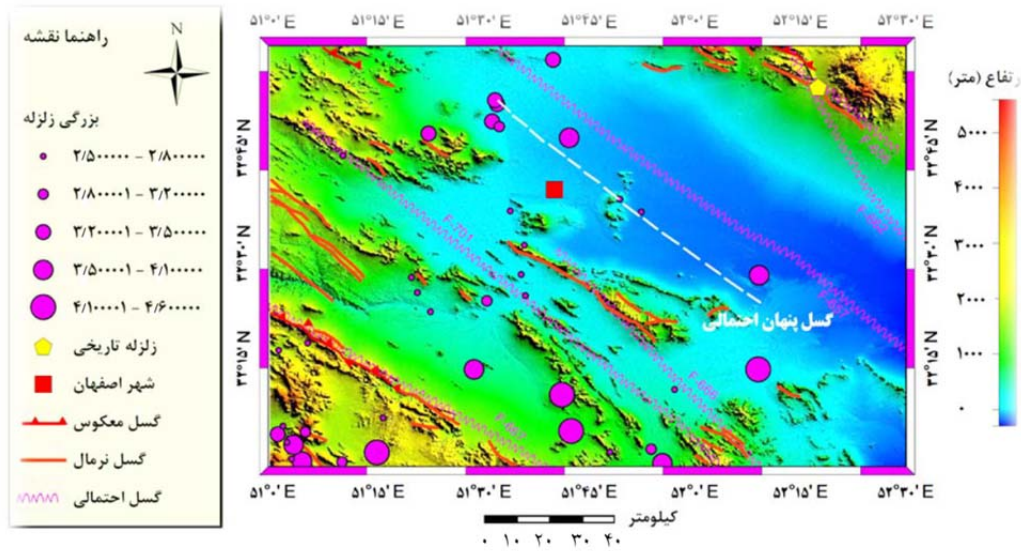
پنهان (F) ۶۶۶ و ۶۵۷ واقع شده است و به دلیل اینکه شهر اصفهان را نیز دربر می‌گیرد، لرزه‌خیزی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. زمین‌لرزه‌های نسبتاً فراوانی با بزرگی بیش از ۲/۵ ریشتر و با عمق نسبتاً زیاد (شکل ۸) در این زون به وقوع پیوسته است. زمین‌لرزه‌های روی داده تقریباً دارای بزرگی و عمق کانونی یکسانی می‌باشند و با توجه به وجود رسوبات تراس‌های کواترنری در این ناحیه، وجود یک گسل پنهان در شرق و شمال شرق شهر اصفهان، محتمل است. موقعیت گسل پنهان احتمالی (Fp) در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود گسل پنهان احتمالی

زون لرزه‌ای ۱ در غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده است. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود این ناحیه فاقد زمین‌لرزه بزرگ می‌باشد، ولی به دلیل وجود گسل‌های متعدد در آن، به عنوان یک زون لرزه‌ای در نظر گرفته شده است که در سکون لرزه‌ای بوده و در آینده‌ای نزدیک احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۵ ریشتر در آن وجود دارد. همچنین وجود گسل اصلی معکوس زاگرس در قسمت جنوب غربی این زون، احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۵ ریشتر را قوت می‌بخشد.

زون لرزه‌ای ۲ در مرکز منطقه مورد مطالعه و بین دو گسل

است. بررسی زمین‌لرزه‌های با بزرگی کمتر از ۲/۵ ریشتر در زون لرزه‌ای ۲ نیز وجود یک گسل پنهان را تأیید می‌کند.

تشخیص داده شده در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد و تقریباً به موازات گسل‌های پنهان موجود در منطقه



شکل ۱۲. موقعیت گسل پنهان احتمالی در نقشه لرزه‌زمین ساخت منطقه مورد مطالعه

روند شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند. تحلیل خطر لرزه‌ای گستره مورد مطالعه با روش آماری- احتمالی نشان داد که زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ۵ تا ۶ ریشتر بیشتر از زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیش از ۶ ریشتر رخ می‌دهند. در این مطالعه درصد رخداد زمین‌لرزه‌های با بزرگی ۶ ریشتر در صد سال آینده ۹۹/۵٪، ۶/۵ ریشتر ۸۴٪، ۷ ریشتر ۴۶٪، ۷/۵ ریشتر ۱۸/۸٪ و زمین‌لرزه با بزرگی ۸ ریشتر ۶/۸٪ تخمین زده شد. در نتیجه احتمال رخداد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بالاتر از ۷ ریشتر در منطقه مورد مطالعه ضعیف می‌باشد.

### منابع مورد استفاده

۱. اسفندیاری، ف.، ع. غفاری گیلانده و خ. لطفی. ۱۳۹۳. بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر اردبیل). مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۴): ۱۷-۳۶.
۲. برگی، خ. ۱۳۸۴. اصول مهندسی زلزله، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۲ صفحه.
۳. حسن‌زاده، ر.، ا. عباس‌نژاد، ا. علوی و ا. شریفی تشنیزی. ۱۳۹۰.

زون لرزه‌ای ۳ در شمال شرق منطقه مورد مطالعه واقع است. تنها زمین‌لرزه تاریخی با بزرگی ۵/۷ ریشتر در این ناحیه روی داده است. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود این ناحیه مانند ناحیه یک فاقد زمین‌لرزه بزرگی می‌باشد ولی به دلیل وجود گسل‌های متعدد در آن، به عنوان یک زون لرزه‌ای در نظر گرفته شده است که در سکون لرزه‌ای بوده و در آینده‌ای نزدیک احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۵ ریشتر در آن وجود دارد. زون لرزه‌ای ۴ در جنوب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه واقع است و بیش‌ترین تعداد زمین‌لرزه، در این ناحیه رخ داده است (شکل ۱۱). همچنین وجود سه گسل پنهان ۶۶۶، ۷۰۱ و ۶۶۷ در این ناحیه، نشان می‌دهد که این ناحیه توان لرزه‌ای بالاتری از سایر نواحی دارد. یکی از دلایل اصلی وقوع تعداد بالای زمین‌لرزه‌ها در این زون، نزدیکی آن با گسل‌های تراستی زاگرس، به ویژه گسل اصلی معکوس زاگرس می‌باشد. در کل بیش‌ترین تعداد زمین‌لرزه‌ها در زون لرزه‌ای ۴ رخ داده‌اند که نشان‌دهنده توان لرزه‌ای بالای این زون می‌باشد. در بررسی و تفسیر نقشه مغناطیس هوایی حدود شش گسل با طول نسبتاً زیاد مشخص گردید، که اغلب آن‌ها دارای

- Mapper (ETM) data and GIS: mapping and structural interpretation in southwest Iran ZSB. *International Journal of remote Sensing*, 25(21): 4715-4727.
16. Ali SA, Rangzan K, Pirasteh S. 2003. Use of digital elevation model for study of drainage morphometry and identification stability and saturation zones in relations to landslide assessments in parts of the Shahbazan area, SW Iran. *Cartography*, 32(2): 71-76.
17. Ambraseys NN, Melville CP. 1982. A History of Persian earthquakes, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 223 pp.
18. Chen P-F, Olavere EA, Wang C-W, Bautista BC, Solidum RU, Liang W-T. 2015. Seismotectonics of Mindoro, Philippines. *Tectonophysics*, 640: 70-79.
19. Chouliaras G, Kassaras I, Kapetanidis V, Petrou P, Drakatos G. 2015. Seismotectonic analysis of the 2013 seismic sequence at the western Corinth Rift. *Journal of Geodynamics*, 90: 42-57.
20. Feld C, Haberland C, Schurr B, Sippl C, Wetzel H-U, Roessner S, Ickrath M, Abdybachaev U, Orunbaev S. 2015. Seismotectonic study of the Fergana Region (Southern Kyrgyzstan): distribution and kinematics of local seismicity. *Earth, Planets and Space*, 67(1): 1-13.
21. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES). 2014. Earthquake Data from Esfahan Station.
22. Kadinsky-Cade K, Barazangi M. 1982. Seismotectonics of southern Iran: the Oman line. *Tectonics*, 1(5): 389-412.
23. Kayal J. 2014. Seismotectonics of the great and large earthquakes in Himalaya. *Current science*, 106(2): 188-197.
24. Pirasteh S, Ziaian H, Rizvi S. 2005. Comparative Study of OIF and Crosta Methods on ETM<sup>+</sup> 2002: Using Remote Sensing Techniques in Arid and Semi-arid Environment Esfahan Iran. *Indian Journal of Petroleum Geology*, 14(1): 67
25. Pirasteh S. 2006. Channel profile for identification of unstable zones in Zagros mountain: Application of remote sensing and GIS. *International Journal of Geoinformatics*, 1(1): 69-78.
- تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با تأکید بر کاربرد GIS در ریز پهنه‌بندی مقدماتی درجه ۲. فصلنامه علوم زمین. ۲۱(۸۱): ۲۳-۳۰.
۴. دانشجو، ف. ۱۳۷۸. مبانی مهندسی زلزله و آنالیز ریسک، انتشارات دانش فردا، ۲۰۰ صفحه.
۵. دهقان منشادی، س. ه.، ن. میرزایی و م. اسکندری قادی. ۱۳۹۱. بررسی لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی منطقه اصفهان. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۸(۴): ۱-۲۲.
۶. ریاضی‌راد، ز. و غ. جوان دولویی. ۱۳۸۷. بررسی لرزه‌خیزی و ساختار سرعتی ناحیه اصفهان بر اساس امواج پیکری. فصلنامه زمین، ۳(۴): ۲۵-۴۰.
۷. زاهدی، م. ۱۳۵۷. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اصفهان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی ایران.
۸. ساسانی، ب.، م. میرزایی و م. ر. قیطانچی. ۱۳۸۸. برآورد خطر لرزه‌ای استان مرکزی (ایران). فصلنامه زمین، ۴(۴): ۵۷-۶۵.
۹. شاهپسند زاده، م. ۱۳۸۳. زلزله‌خیزی و لرزه زمین‌ساخت گسترده استان گلستان، شمال خاور ایران. کنفرانس بین‌المللی زلزله، ۸ تا ۱۰ دی ماه، دانشگاه شهید باهنر. کرمان.
۱۰. عابدینی، م. و م. ح. فتحی. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۴): ۷۱-۸۵.
۱۱. قائد رحمتی، ص.، ا. خادم‌الحسینی و ط. سیاوشی. ۱۳۹۲. تحلیل میزان ریسک‌پذیری سکونت‌گاه‌های شهری استان لرستان از خطر زلزله. مجله جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، ۳(۹): ۱۴-۱.
۱۲. محمودزاده، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی و پهنه‌بندی درجه تناسب توسعه فیزیکی شهر تبریز با استفاده از GIS، همایش ژئوماتیک ۸۵، ۱ تا ۲ اردیبهشت ماه. تهران، سازمان نقشه برداری کشور.
۱۳. مهدویان، ع. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان. نشریه علوم زمین، ۲۳(۸۹): ۱۶۵-۱۷۴.
۱۴. میرزائی، ن. ۱۳۸۱. پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌های ایران، چاپ اول، انتشارات دانش نگار، ۱۸۴ صفحه.
15. Ahmad AS, Saied P. 2004. Geological applications of Landsat Enhanced Thematic



## Using remote sensing data and GIS tools for preparation seismic zones map of Isfahan, Iran

M. Rahimi Shahid <sup>1\*</sup>, F. Kargaran <sup>2</sup>, N. Rahimi <sup>3</sup>

1. MSc. student of Geology Engineering, Yazd University

2. Assis. Prof. College of Basic Science, Yazd University

3. MSc. student of Economic Geology, University of Tehran

### ARTICLE INFO

#### *Article history:*

Received 26 November 2014

Accepted 5 September 2015

Available online 16 January 2016

#### *Keywords:*

Seismotectonics

Aeromagnetic

Geological

Seismicity

Remote sensing

Isfahan

### ABSTRACT

Isfahan is one of the major cities in Iran in terms of population, economic and industrial growth, history, and tourism. Thus, seismicity and active fault identity are essential in this region. The current study examined the seismotectonics framework and earthquake hazard in 1:250000 scale map of Isfahan. The study area included the Northeast to the Southwest region, the Central Iran zone, the Sanandaj-Sirjan zone and the high Zagros zone. Using satellite images, historical and instrumental earthquake data, geological and tectonic maps and aeromagnetic map, the fundamental faults of the area and active seismic area were evaluated. Based on the available information, the seismotectonics map of the area was prepared and four seismic zones were distinguished. The results showed a significant intensification of seismicity from the Northeast to the Southwest direction. Seismic risk analysis in the study area using the Gutenberg-Richter law predicted the probability for an earthquake with a magnitude of 5.5 up to 6 on the Richter scale in the area during the next 100 years, 100 percent. The risk analysis of earthquakes with a magnitude of 6.5 on the Richter scale was 84 percent and the risk analysis of earthquakes with a magnitude of 7 on the Richter scale was 46 percent.

\* Corresponding author e-mail address: [mr619htt@gmail.com](mailto:mr619htt@gmail.com)