

تحلیل خطر لرزه‌ای با رهیافت احتمالی و با استفاده از مدل کرایسس در شهر زرین شهر

امین عیدیوندی*، کارشناس ارشد، گروه مخاطرات محیطی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

قاسم خسروی، استادیار گروه مخاطرات محیطی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

عبدالله واعظ شوشتری، استادیار گروه عمران، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۰

چکیده: زمین لرزه به عنوان یکی از شاخص‌ترین مخاطرات محیطی زمینی، اغلب مناطق ایران را مورد تهدید قرار می‌دهد. اهمیت خطر زلزله در کشور به واسطه گسترش سریع شهرها و تمرکز جمعیت و سرمایه در سال‌های اخیر بیشتر شده است. شهر زرین شهر به عنوان مرکز بخش شهرستان لنجان در استان اصفهان از حیث جمعیت، زیر ساخت‌های اقتصادی-اجتماعی و از سویی به واسطه قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و نزدیک به آن از ریسک بالایی در برابر خطر لرزه‌ای برخوردار است، بر این اساس بررسی‌های مربوط به تحلیل خطر لرزه‌ای این شهر و یافتن مناطق پر خطر یکی از ضروریات مدیریت شهری می‌باشد. لذا از اهداف این تحقیق استفاده از روش احتمالی جهت تحلیل و پهنه بندی خطر زمین لرزه در شهر زرین شهر با استفاده از مدل کرایسس^۱ بوده است. روش انجام تحقیق توصیفی - تحلیلی بوده و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای (اسناد، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، مدل رقومی زمین^۲، کاتالوگ داده‌های لرزه‌ای، تصاویر گوگل ارث) اقدام به تحلیل شده است. نتایج حاصل از این پژوهش گواه آن است که بیش از هفده هزار هکتار از اراضی شهری در محدوده با خطر بالا قرار می‌گیرد و لذا با توجه به جمعیت پانزده هزار نفری ساکن در این بخش لزوم توجه به طراحی و اجرای سازه‌های مقاوم در برابر خطر لرزه‌ای و همچنین مقاوم‌سازی بخش‌های فرسوده تر کمک قابل توجهی به کاهش خسارات احتمالی ناشی از زلزله می‌نماید.

کلمات کلیدی: تحلیل خطر لرزه‌ای، رهیافت احتمالی، مدل کرایسس، زلزله، زرین شهر

Seismic Risk Analysis with a Probabilistic Approach Using the CRISIS Model for Zarinshahr City

Amin Eidivandi, Master of Science (MSc) GIS and Natural hazards grope, Lenjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, amineidivandi@yahoo.com

Ghasem Khosravi, Assistant Professor of GIS and Natural hazards grope, Lenjan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, khghasem@yahoo.com

Abdullah Vaez Shoostari, Assistant Professor of Civil Engineering, Lenjan Branch, Islamic Azad, University, Isfahan, Iran, vsabdollah@gmail.com

Abstracts: Earthquake as one of the most significant environmental hazards of the earth, threatens most regions of Iran. in recent years the importance of earthquake hazards in the country has increased due to the rapid expansion of cities and the population and capital concentration. Zarin Shahr City as the center of Lenjan city in Isfahan province has a high risk of seismic hazard, in terms of population, socioeconomic infrastructure, and on the other hand, due to the presence of several active faults in and around of it. Accordingly, studies on seismic risk analysis of this city and recognizing high risk areas are one of the requirements of urban management. Therefore, the purpose of this study was to use a probabilistic method for analyzing and zoning the earthquake hazard in Zarrin Shahr city by using the Crisis model. The research method was descriptive-analytical and it has been analyzed by using library studies (documents, geological and topographic maps, digital elevation model, seismic data catalog, genealogy images). The results of this study show that more than 17,000 hectares of urban land are in high-risk areas and therefore, considering to the fifteen thousand of population which are inhabitants in this area, attention to the design and implementation of resistant structures to seismic hazard and also the strengthening of the worse parts will significantly help to reduce the possible damage which is caused by the earthquake.

Keywords: Seismic Risk Analysis, Probabilistic Approach, Crisis Model, Earthquake, Zarinshahr

نویسنده مسئول: امین عیدیوندی، کارشناس ارشد، گروه مخاطرات محیطی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، amineidivandi@yahoo.com

1. Crisis
2. Digital Elevation Model

مقدمه

مخاطرات محیطی^۱ طبیعی نظیر زلزله از پدیده‌های است که بسیاری از شهرها را در معرض ریسک ناشی از آن قرار داده است لذا شمار تلفات قربانیان ناشی از آن در جهان در حال افزایش است (Bilham 2004). مقادیر متفاوت ریسک به عواملی نظیر موقعیت مکانی و نوع گسل‌ها، شرایط فیزیکی محل زندگی و رفتارهای انسان در محیط بستگی دارند. وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین برنامه زیربنایی برای کاهش خطرات و آسیب‌های ناشی از آن باشد. از سویی ویژگی‌های زمین ساخت کشور، زلزله را به عنوان یکی از مخرب‌ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است. بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهد که مناطق وسیعی از کشور توسط این حادثه طبیعی متحمل آسیب‌های جانی و مالی گردیده است. براساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افراد کشته شده در اثر این مخاطره، داشته است. بر اساس همین گزارش، در کشور ایران زلزله وجه غالب را در بین مخاطرات طبیعی دارا است. زلزله به عنوان پدیده‌ای طبیعی، زمانی مخاطره آمیز و بحران‌آفرین است که جامعه واقع در معرض آن، نسبت به آن آسیب پذیر باشد. زلزله یکی از مخاطرات طبیعی است که همواره احتمال رخ دادن آن خصوصا با وجود گسل‌های متعدد فعال فراهم می‌باشد. بسیاری از شهرهای کشور به علت همجواری با گسل‌ها، آسیب فراوانی دیده و یا همواره در معرض آسیب می‌باشند. بنابراین به سادگی می‌توان دریافت که بررسی توانایی شهر در مقابله با مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی مناسب جهت پیشگیری یا کاهش آثار مخرب آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم شهر زرین شهر در خطر نسبی زلزله‌ی زیاد قرار گرفته است، لذا باتوجه به مقیاس ملی آیین‌نامه مذکور لزوم مطالعه در مقیاس محلی در مدیریت شهری احساس می‌گردد و

جهت انجام آن از مدل کرایسس استفاده شده است. مدل کرایسس کارایی لازم جهت انجام ارزیابی تحلیل زلزله را دارد.

پیشینه تحقیق

تحقیقاتی که قبلا در این زمینه با روش‌های مختلفی صورت گرفته است که لیلا گلی مختاری و همکاران در سال ۱۳۹۵ در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی میزان آسیب‌پذیری محدوده شهری کاشان در برابر خطر زلزله با استفاده از مدل IHPW پرداخته شد که نتایج این تحقیق نشان داد که ۳۰ درصد از محدوده شهری کاشان با خطر آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا مواجه است. پرستو قانعی در سال ۱۳۹۲ در مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی استان کردستان به روش احتمالاتی کار شده است که در این پژوهش پارامترهای لرزه خیزی مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت با مدل کرایسس تحلیل خطر تجزیه و تحلیل گردید و نقشه پهنه‌بندی خطر در دوره بازگشت‌های متفاوت ترسیم شد. ابو ال‌از و همکاران (۲۰۱۵) در ارزیابی خسارت ناشی از زلزله در شهر کبک کاندا از مدل توابع شکنندگی لرزه‌ای استفاده کردند، نتایج نشان می‌دهد که حدود ۶۱ درصد ساختمان‌های در نظر گرفته شده تا درجه معینی از آسیب را تحمل می‌کنند در این پژوهش اثر عدم قطعیت در پیش‌بینی زلزله برای تخمین خسارت ارزیابی شده است. محمود محسنی و احسان جهانی در سال ۱۳۹۵ تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای با در نظر گرفتن مفاهیم احتمالاتی برای شهرستان بابلرس پرداخته شد که جنبش نیرومند زمین از طریق انواع روش‌های موجود در تحلیل خطر محاسبه شده و سپس با هم و در انتها با استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شد. پرستو قانعی و احمد شوشتری در سال ۱۳۹۱ با موضوعی تحت عنوان آنالیز حساسیت روابط کاهندگی در تحلیل خطر زمین لرزه در استان خراسان در گستره‌ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتری کاشمر پرداختند که در این پژوهش نقشه پهنه‌بندی مربوط به چهار رابطه کاهندگی برای ده درصد احتمال افزایش خطر در طول عمر مفید پنجاه سال یعنی دوره بازگشت ۴۷۵ سال رسم نمودند.

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه ترسیم شد. سید علی المدرسی و سید احمد میر دهقان در سال ۱۳۹۵ در مقاله‌ای تحت عنوان تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS و GIS منطقه مورد مطالعه شهرستان اشکذر پرداختند که در نتایج حاصل در این پژوهش نشان می‌دهد که خسارت ناشی از زلزله در دو سناریوی احتمالی وقوع زلزله در منطقه مورد مطالعه ناچیز است، به گونه‌ای که در سناریو گسل جنوب غرب خسارت اندکی وارد می‌شود و در سناریوی گسل شرقی میزان خسارت صفر است. وانو و دیگران (۲۰۰۲) به منظور نواحی لغزشی زلزله، سیستم فازی را برای شمال شرقی فلات تبت به کار برده‌اند. پوکورادی نیز در همین سال با انتشار مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی خطر بر مبنای فازی، نشان داد که یکی از راه‌های قابل اطمینان جهت ارزیابی خطر زلزله استفاده از منطق فازی است. تانگ و ون (۲۰۰۹) در تحقیقی هوش مصنوعی برای ارزیابی خطر زلزله در شهر دیانگ در کشور چین را مبنی بر توسعه GIS و شبکه مصنوعی مورد استفاده قرار دادند. با توجه به بیان مسئله و پیشینه مطالعات انجام شده، در این مطالعه سعی در بررسی اهدافی چون، برآورد میزان خطر پذیری لرزه‌ای شهر زرین شهر، ارائه روش‌های مناسب جهت ارزیابی تحلیل خطر لرزه و شناسایی مناطق پرخطر زرین شهر و کسب آمادگی لازم برای رویارویی با مخاطرات طبیعی می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

محدود مورد مطالعه با مساحت ۵۳۶۸۳/۲۴ هکتار در شهرستان لنجان در فاصله ۳۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان به طول جغرافیایی "۳۶' ۲۷' ۵۱" تا "۳۶' ۰۸' ۵۱" و عرض جغرافیایی "۰۵' ۳۲' ۳۲" تا "۳۶' ۱۲' ۳۲" قرار دارد. شهر زرین شهر تا اواسط دهه چهل شمسی ریز نامیده می‌شد این محدوده در واحد هیدرولوژیک موسوم به شور و دهقان یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبخیز زاینده‌رود و به شکل عمومی نامنظم تا مستطیلی با جهت کلی شمال - شمال شرق و جنوب - جنوب غرب در منتهی‌الیه منطقه ساختاری سندانج - سیرجان واقع گردیده است. زهکش اصلی حوضه، رودخانه زاینده‌رود است و از مهمترین ارتفاعات محدوده می‌توان به کوه قورقورک، کوه آستانه، کوه

که در برآورد خطر زمین لرزه از درجه استفاده شده است و از نظر خطر نسبی زمین لرزه می‌توان گستره خراسان را یک درصد با کرایسس ۲۰۰۷ برای شبکه‌ای از نقاط با فاصله به پهنه‌های با میزان خطر نسبی متفاوت تقسیم‌بندی نمود که در نهایت جهت بررسی تاثیر روابط کاهندگی بر نتایج تحلیل خطر یک، نقشه‌ی انحراف معیار استاندارد از این چهار رابطه کاهندگی رسم شده است. فریبا کرمی و همکاران در سال ۱۳۹۵ در بررسی مخاطرات ناشی از زلزله اهر و رزقان در حوضه سرنده‌چای و پیرامون آن پرداختند که با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری دستگاهی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و بازدیدهای میدانی نقشه لرزه خیزی را ترسیم نمود که در صورت وقوع زلزله‌ای با قدرت ۶/۴ ریشتر، ۷ درصد مساحت منطقه در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد قرار دارد. حسین معماریان و همکاران در سال ۱۳۸۶ مقاله‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی و ریز پهنه‌بندی خطر زلزله در منطقه شهرکرد پرداختند که در این پژوهش با محور تعیین خطر لرزه‌ای در منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های تاریخی و اطلاعات گسل‌های لرزه‌زا، ساز و کار ژرفی و چشمه لرزه‌زا معرفی گشته‌اند و سپس نقشه پهنه‌بندی با دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ترسیم گردید. سیدناصر هاشمی در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی با عنوان استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در بررسی و تحلیل توزیع مکانی خطر لرزه خیزی و تراکم جمعیت در ایران پرداختند که نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای را بر اساس چهار عنوان مشخص کردند و همچنین موقعیت مکانی قرارگیری شهرها نسبت به گسل‌های فعال نیز مورد بررسی قرار گرفت.

یحیی سلطانی و زهره سادات ریاض راد در سال ۱۳۹۳ مقاله‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی در گستره خراسان جنوبی برای شعاع ۱۵۰ کیلومتری از شهر بیرجند در گستره خراسان جنوبی انجام گرفته است که در این پژوهش پس از شناسایی پارامترهای مربوط به تحلیل خطر با استفاده از مدل کرایسس برای این شبکه مقادیر شتاب افقی مورد انتظار رویداد زمین‌لرزه و چشمه‌های بالقوه زمین لرزه برای ده درصد احتمال افزایش در پنجاه سال و برای شصت و سه درصد احتمال افزایش در پنجاه سال محاسبه گردید و

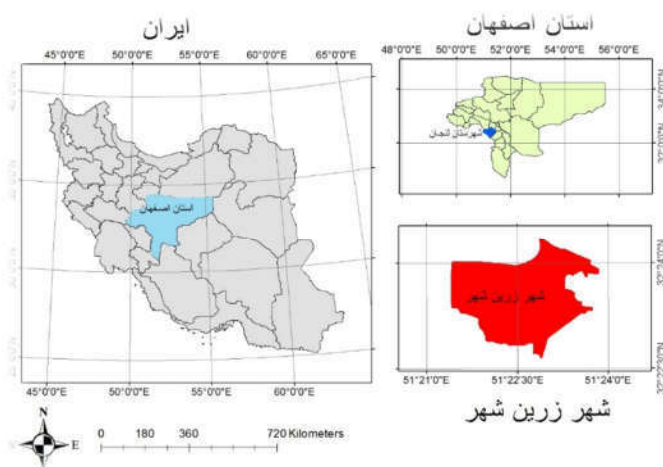
می‌گردد. مهم‌ترین و اصلی‌ترین جریان سطحی دائمی محدوده، رودخانه زاینده رود است که عامل اصلی ایجاد و توسعه کار و فعالیت در منطقه می‌باشد و تکیه ساکنین منطقه بر این جریان می‌باشد. مهم‌ترین مرکز شهری واقع در این محدوده زرین شهر است که در پنج کیلومتری شرق خروجی محدوده قرار دارد.

داده‌ها و روش‌ها

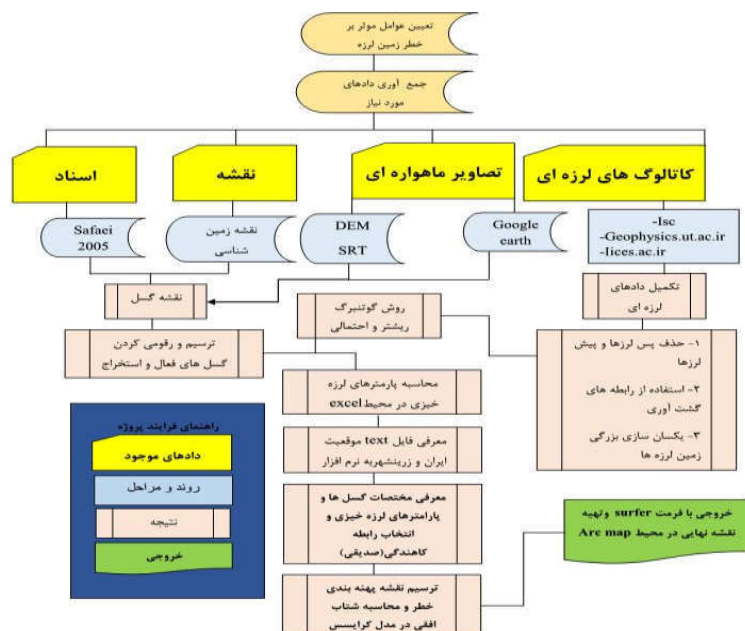
الف- کاتالوگ زمین لرزه

با توجه به رهیافت ارزیابی خطر لرزه‌ای که دو رهیافت عمده وجود دارد در این پژوهش از روش احتمالی که مراحل اصلی آن به شرح شکل (۲) می‌باشند استفاده گردیده است.

بوک بوک و کوه بر آفتاب برج در جنوب، کوه کاریز در جنوب محدوده صنایع دفاع، کوه سرخ کوچک و کوه سینه خش سفید در شمال غرب، کوه پنجه، کوه گزستون، کوه قلعه بزی و کوه دره چنگ در شمال، کوه گاو پیسه در شمال شرق، کوه نم توک کوچک و بزرگ و کوه آب سنجد در شرق اشاره نمود. شیب عمومی محدوده از جنوب به شمال به سمت مرکز محدوده و نهایتاً غرب به شرق افزایش یافته و کلیه روان آب‌های جاری سطح محدوده توسط شبکه آبراهه‌های شمالی و جنوبی خصوصاً دو شاخصه اصلی شمالی در سطح محدوده، زهکشی شده و با ورود به رودخانه زاینده‌رود، از شرق محدوده خارج



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل (۲): فرایند انجام پژوهش

مدل‌های تضعیف شده توسط کاربر یا ساخته شده در کرایسس ارائه شده از انعطاف پذیری زیادی برای محاسبات برخوردار می‌باشد. در این پژوهش از ورژن ۲۰۱۵ مدل مذکور استفاده گردید. در این پژوهش برای ارزیابی تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه، عوامل موثر بر خطر زمین لرزه بصورت زیر شناسایی و پردازش لازم بروی آنها جهت آماده‌سازی در نرم‌افزار صورت می‌گردد. ابتدا فهرست زمین لرزه‌ها در گستره‌ی زرین شهر، تا سال ۲۰۱۴ میلادی گردآوری شد. به منظور تهیه فهرست زمین لرزه‌ها، از کاتالوگ ارائه شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ISC و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران منابع مکتوب موجود معتبر لرزه‌نگاری استفاده شده است. اطلاعات داده شده برای هر زمین لرزه شامل تاریخ و زمان وقوع، مختصات جغرافیایی رومرکز، ژرفای کانونی و بزرگای می‌باشد. در ارائه‌ی این فهرست تلاش شده است تا مناسب‌ترین اطلاعات پس از مقایسه مراجع مختلف معرفی گردد. با این وجود مشاهده شده که بسیاری از پارامترها برای هر زمین لرزه ارائه نشده و اطلاعات به صورت ناقص در دسترس قرار می‌گیرد. که در این مطالعه سعی شده است داده‌ها یکسان‌سازی و از وجود پس لرزه‌ها و پیش لرزه‌ها پاکسازی شود.

ب- یکسان سازی بزرگی زمین لرزه‌ها

چنانچه مشخص است بزرگی گزارش شده از زلزله‌ها به صورت‌های مختلف M_b , M_S , M_L , M_w می‌باشد. در مطالعه‌ی آماری لازم است این داده‌ها هم ارز و یکسان‌سازی شوند. در بین انواع مقیاس بزرگی M_w مناسب‌ترین مقیاس است که مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری بوده و در مقادیر زیاد نیز اشباع نمی‌گردد. در حالی که سایر مقیاس‌ها در محدوده‌ی خاصی اشباع می‌شوند. بعلاوه تجهیزات لرزه‌نگاری نیز دارای محدودیت مربوط به خود هستند و حداکثر دامنه‌های که بوسیله‌ی آن‌ها ثبت می‌شود محدود است. لذا مناسب‌ترین روش یکسان‌سازی، تبدیل سایر مقیاس‌ها به مقیاس بزرگی گشتاوری M_w است. در این مطالعه مقادیر M_b و M_L به M_S تبدیل شده است و برای M_w به همان مقدار واقعی محاسبه شده است. روابط تجربی مختلفی بین بزرگی بر اساس امواج سطحی و

۱- تعیین چشمه‌های لرزه‌ای یا مؤثرترین چشمه لرزه‌ای در ایجاد خطر و مدل‌سازی آنها به صورت خطی و یا سطحی ۲- تعیین تابع چگالی احتمال فاصله ساختگاه از چشمه لرزه‌ای، $FR(t)$ ۳- تعیین تابع چگالی احتمال بزرگی زلزله محتمل در پهنه یا ساختگاه موردنظر، $FM(m)$ ۴- انتخاب روابط کاهندگی مناسب و سازگار با لرزه زمین ساخت منطقه ۵- برآورد احتمالی خطر با منظور نمودن عدم قطعیت‌های ذاتی و تصادفی و محاسبه منحنی خطر (پارامتر شتاب طیفی زلزله برحسب احتمال وقوع سالیانه در پریرودهای مختلف) ۶- تعیین پارامتر شتاب حداکثر زمین (PGA) در سطح خطر مدنظر و نیز طیف خطر یکنواخت ۷- تهیه طیف‌های طراحی با در نظر داشتن طبیعت احتمالی توابع کاهندگی، تابع توزیع بزرگا برای هر چشمه، توزیع احتمال فاصله نقطه آغاز گسل زمین تا محل ساختگاه و بهره‌گیری از تئوری احتمال کل می‌توان برهم‌نهی نظام‌مندی از آثار گسل‌های مختلف ترتیب داد و در نهایت احتمال فراگذشت سالیانه پارامترهای جنبش زمین را در هر سطح دلخواه محاسبه و به صورت "منحنی خطر" ترسیم نمود. سپس با مدل کرایسس که مدلی می‌باشد که جهت انجام تحلیل خطر و تهیه نقشه خطر زلزله از آن استفاده گردیده است. این مدل دارای دقت بسیار بالا می‌باشد. از مدل لرزه‌خیزی کرایسس می‌توان برای پیدا کردن شتاب مبنای طرح و همین طور طیف‌های خطر یکنواخت استفاده کرد و با استفاده از نتایج آن سازه‌ها را طرح نمود. این مدل بسیار کاربردی برای مهندسین مشاور نیز می‌باشند که برای کارهای تحلیلی و لرزه‌ای می‌توانند از آن بهره‌برند. نسخه جدید کرایسس یک محیط دوستانه برای محاسبه خطر لرزه‌ای فراهم می‌کند. خطرات لرزه‌ای را با استفاده از یک مدل احتمالی محاسبه می‌کند که نرخ وقوع، ویژگی‌های کاهش و توزیع جغرافیایی زمین لرزه‌ها را در نظر می‌گیرد. برخی از ویژگی‌های اصلی کرایسس عبارتند از: وقوع زلزله می‌تواند به عنوان یک فرآیند پوآسونی یا به عنوان یک فرآیند زلزله مشخص شود، منابع خطر را می‌توان به عنوان مناطق، خطوط و یا نقاط در نظر گرفت. کرایسس با یک روش ادغام پویا عمل می‌کند که به سرعت محاسبه خطر در مناطق توسعه‌یافته را امکان می‌دهد و

فرض بر این است که رخداد وقایع در بازه زمان فاقد حافظه است. به عبارت دیگر رخداد زمین‌لرزه مستقل از زمان سپری شده از آخرین رویداد و بزرگی آن نسبت به سایر رویدادها در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این مسئله لازم است، پس لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌ها که فرایندهای وابسته محسوب می‌شوند، از فهرست زمین‌لرزه‌ها حذف شوند. متداول‌ترین روش برای حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها استفاده از پنجره‌های زمانی و مکانی می‌باشد (گاردنر و نوپف، ۱۹۷۴) پس از انجام عملیات یکسان‌سازی و حذف پس‌لرزه و پیش‌لرزه‌ها، کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها به دست آمد که برای انجام برآوردها از آن استفاده گردیده است.

بزرگی امواج درونی ارائه شده است. از جمله روابطی که برای ایران ارائه شده و در مطالعات مختلف لرزه خیزی مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به روابط زیر اشاره کرد:
الف) آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)

$$M_b = 0.62M_s + 2.3$$

ب) ریدر و میرز (۱۹۸۵) برای خاور میانه

$$M_b = 0.623M_s + 2.1$$

ج- حذف پس لرزه‌ها و پیش لرزه‌ها

در تحلیل خطر زمین‌لرزه از یک مدل آماری جهت پیش‌بینی رخداد زمین‌لرزه استفاده می‌شود. در حال حاضر یکی از پرکاربردترین مدل‌ها، مدل پواسون می‌باشد. در مدل پواسون

جدول (۱): داده‌های لرزه‌ای زرین شهر به شعاع ۵۰ کیلومتر از سه منبع ISC، ژئوفیزیک دانشگاه تهران و کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی لرزه و مهندسی زلزله

EVENTID.AUTHOR	DATE	TIME	LAT	LON	DEPTH	TY	MAG	MS	MW
۷۱۹۹۷, ISC	۱۲/۲/۱۹۷۵	۰۷:۱۵:۳	۳۲.۰۴۲۴	۵۱.۲۴۵۹	۱۴۶۶	M	۴.۵		۴.۵
۶۹۸۹۸۵, ISC	۵/۲۶/۱۹۷۷	۴۹:۰۹:۴	۳۲.۱۷۸۷	۵۱.۶۸۷۷	۳۳	M	۴.۵		۴.۵
۴۰۱۵۶۲, ISC	۶/۹/۱۹۸۹	۱۳:۳۲:۱	۳۲.۰۹۰۴	۵۱.۷۲۲۴	۳۳	Mb	۴.۵		۴.۴
۳۵۲۴۹۶۹, KISR	۵/۲۱/۲۰۰۱	۲۴:۰۲:۷	۳۲.۱۴	۵۰.۹۷	۳۳	ML	۳.۲	۲.۷	۴.۰
۶۱۳۳۱۲۵, KISR	۱۱/۱۴/۲۰۰۲	۵۷:۵۳:۹	۳۲.۲۹	۵۱.۰۱۸	۴۰.۲	ML	۲.۸	۲.۲	۳.۶
۶۱۴۲۹۷۵, KISR	۱۱/۲۹/۲۰۰۲	۹۰:۰۳:۴	۳۱.۹۶۸	۵۱.۴۳۹	۳۳	ML	۳.۴	۲.۹	۴.۰
۷۲۴۳۳۹۴, ISC	۱/۲۸/۲۰۰۴	۱۸:۱۴:۰	۳۲.۲۳۳۷	۵۱.۴۸۰۸	۲۵.۸	Mb	۳.۹		۳.۵
۸۰۰۹۲۳۶, ISC	۶/۲۸/۲۰۰۵	۰۰:۳۱:۶	۳۲.۱۱۳۱	۵۱.۱۳۶۱	۱۰	ML	۳.۱	۳.۵	۳.۸
۸۰۱۰۶۱۵, ISC	۱۰/۱۰/۲۰۰۵	۱۴:۲۱:۲	۳۲.۱۲۲۳	۵۱.۱۱۷۲	۱۲.۱	ML	۳.۱	۲.۵	۳.۸
۱۴۰۱۰۹۹۰, TEH	۸/۲۵/۲۰۰۸	۳۵:۴۲:۷	۳۲.۷۹۶	۵۱.۳۷۸	۳.۲	M	۴		۴
۶۰۲۰۰۴۶۹۳, TEH	۷/۲/۲۰۱۱	۲۸:۰۶:۷	۳۲.۴۳۴	۵۱.۵۱۳	۱۱	ML	۲.۶	۱.۹	۳.۴
۶۰۲۰۱۰۳۱۹, TEH	۱۲/۲/۲۰۱۱	۰۴:۲۲:۳	۳۲.۴۵۲	۵۱.۳۴۱	۷.۴	ML	۲.۶	۱.۹	۳.۴
۶۰۲۰۱۱۳۴۳, TEH	۱۲/۲۴/۲۰۱۱	۵۶:۵۴:۳	۳۲.۴۰۴	۵۱.۵۱۹	۶.۷	ML	۳	۲.۴	۳.۷
۶۰۴۸۴۶۷۳۹, TEH	۶/۲۸/۲۰۱۲	۰۵:۱۷:۶	۳۲.۴۱۶	۵۱.۳۴۹	۱۰	ML	۲.۶	۱.۹	۳.۴
۶۰۷۸۳۵۱۲۵, THR	۴/۲۳/۲۰۱۳	۳۴:۵۵:۳	۳۲.۰۹	۵۱.۰۲	۱۸	ML	۲.۵	۱.۸	۳.۳
۶۰۸۷۹۴۳۰, TEH	۱/۳/۲۰۱۴	۲۵:۱۱:۴	۳۲.۴۶۴	۵۱.۶۹۶	۱۴.۴	ML	۲.۵	۱.۸	۳.۳
۶۰۹۸۵۱۹۳۰, TEH	۱۲/۷/۲۰۱۴	۲۳:۱۹:۸	۳۲.۴۶۳	۵۱.۵۸	۷.۲	ML	۲.۶	۱.۹	۳.۴

کیچکو و سلول استفاده شده است. بررسی فراوانی زمین لرزه‌ها در ارتباط با بزرگای آن‌ها در بازه‌های مختلف زمانی و مکانی رابطه‌ای لگاریتمی بین بزرگا و فراوانی را پیشنهاد می‌نماید. چنین رابطه‌ای توسط گوتنبرگ^۳ و ریشتر^۴ به صورت زیر بیان شده است:

$$\log(N) = a - bM$$

در این رابطه N فراوانی تجمعی زمین لرزه‌ها در یک بازه‌ای از زمان و مکان، a ضریب لرزه خیزی متناسب با آهنگ کلی رویداد و b ضریب لرزه خیزی نسبی هستند.

مدل چشمه‌های لرزه زا

پارامتر β و یا b که به پارامتر لرزه خیزی چشمه لرزه‌زا^۱ معروف است چرا که کاهش مقدار b در طول یک دوره زمانی مشخص، نشانه افزایش درجه بزرگی زلزله قابل رویداد به همان نسبت می‌باشد. پارامتر a ضریب ثابتی است که با تغییر دامنه زمان جمع‌آوری داده‌ها تغییر می‌کند. پارامتر λ یا همان نرخ رویداد^۲ پارامترهای لرزه‌خیزی نقش بسزایی در تخمین جنبش نیرومند زمین و خصوصیات لرزه زمین ساختی منطقه دارند، لذا تعیین دقیق و منطقی آن‌ها و نسبت دادن صحیح آن‌ها به زون‌های لرزه زمین ساختی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این بخش جهت برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها در گستره ساختگاه از روش توزیع نمایی گوتنبرگ- ریشتر و روش

1. Seismic Source Permefer
2. Occurrence Rate
3. Gutenberg
4. Richter

مطالعه در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۷۵ مورد استفاده قرار گرفته است. طبق مراحل گفته شده پارامترهای لرزه خیزی منطقه با در نظر گرفتن بزرگای بیشتر و مساوی از ۳ محاسبه گردید. پارامترهای محاسبه شده لرزه خیزی منطقه:

$$\beta = 1.548488$$

$$\lambda = 0.5936$$

بنا و لاندای محاسبه شده با توجه به اینکه تعداد کاتالوگ‌های لرزه‌ای منطقه کم بوده است برای پنج گسل موجود در منطقه لحاظ گردیده است.

بعد از مشخص و محاسبه پارامترهای لرزه خیزی منطقه جهت محاسبه شتاب افقی منطقه و تولید نقشه خطر در نرم افزار CRISIS با توجه به گسل‌های فعال در منطقه که پنج گسل به شعاع ۱۵۰ کیلومتری از تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج گردیده است مورد استفاده قرار گرفته است.

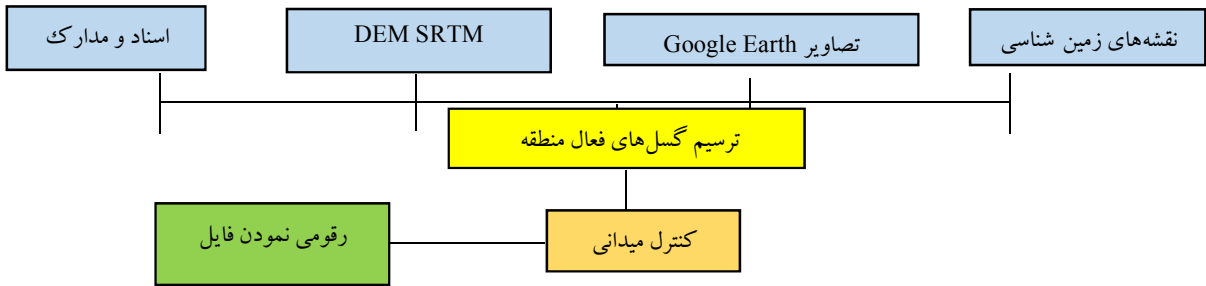
ضرایب a و b به راحتی با برازش رابطه خطی بین لگاریتم فراوانی تجمعی و بزرگای قابل محاسبه هستند. در عمل با توجه به کاربرد وسیع این رابطه در توابع آماری و احتمالی از لگاریتم طبیعی برای بیان این رابطه استفاده می‌شود:

$$N = e^{a-\beta M}$$

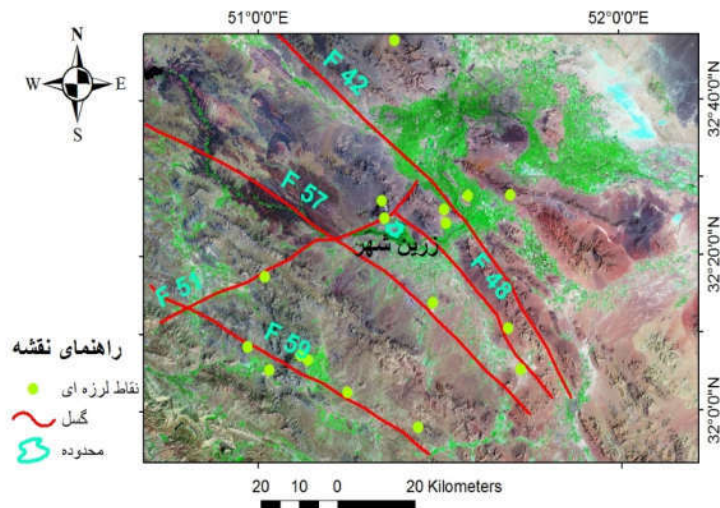
$$a = 10^a$$

$$\beta = \ln 10$$

در این مطالعه زمین لرزه‌های با بزرگی $M_w \geq 3$ برای یک دوره ۳۹ ساله از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ مشخص گردید. سپس با محاسبه $\log N$ و ترسیم آن بر حسب M_w بهترین پردازش خطی انجام گرفته است و طبق روابط فوق پارامترهای لرزه خیزی جهت تحلیل خطر و ترسیم نقشه آن در مدل کرایسس منطقه یعنی a و b به دست آمد. از این رو در این مطالعه مجموع هفده زمین لرزه دستگامی در شعاع پنجاه کیلومتری از مرکز منطقه مورد



شکل (۳): فرایند استخراج گسل‌های منطقه



شکل (۴): نقاط لرزه‌ای منطقه بر روی گسل‌های فعال منطقه

معادله پیش بینی جنبش زمین

انرژی و دامنه جنبش زمین نسبت به فاصله از چشمه لرزه‌ای می‌باشد. این روابط پارامترهای جنبش نیرومند زمین را به توان لرزه‌زایی یک گسل و فاصله ساختگاه از گسل مرتبط می‌سازد. به طور کلی روابط کاهیدگی به دو صورت نظری و تجربی بدست می‌آیند. روابط کاهیدگی توابعی هستند که پارامتر جنبش نیرومند زمین را به متغیرهایی که وابسته به رویداد یک زمین لرزه هستند مرتبط می‌سازد (زارع، ۱۳۸۷).

بر اساس طبقه‌بندی‌های انجام شده برای سراسر جهان، لرزه‌خیزی در فلات ایران در گروه ناحیه زمین‌ساختی فعال و همراه با زمین لرزه‌های کم عمق رویداده در پوسته، تقسیم‌بندی می‌شود که روابط کاهیدگی زیادی نیز برای آن معرفی شده است. لذا استفاده از روابط تجربی برای تخمین پارامترهای جنبش نیرومند زمین مهم‌ترین راهکار و روش مورد انتخاب برای این مطالعه می‌باشد. بر این اساس در این مطالعه از روابط کاهیدگی تجربی ارائه شده توسط صدیقی و همکاران^۲ در سال ۱۹۹۷ استفاده شده است رابطه مربوطه در زیر آمده است.

جهت تعیین مقدار جنبش نیرومند زمین در یک نقطه از منطقه، لازم است شتاب و شدت حاصل از چشمه‌های لرزه‌ای برآورد شود. از آنجا که بزرگای زمین‌لرزه کمیته است که بیان‌کننده میزان انرژی آزاد شده در کانون زمین لرزه می‌باشد و با فاصله گرفتن از کانون زمین‌لرزه این انرژی کم می‌شود، باید به گونه‌ای ارتباط بین بزرگی زمین‌لرزه و شتاب ناشی از آن در سایت مورد نظر را برقرار کرد. در واقع هنگامی که زلزله روی می‌دهد یا به عبارت دیگر قسمتی از یک گسل فعال می‌شود اثر لرزه‌های آن تا فاصله‌های دور احساس می‌شود ولی رفته رفته از شدت آن کاسته می‌شود و یا به اصطلاح میرا می‌شود. مقدار این فاصله در همه جا یکسان نیست و به عواملی همچون نوع سنگ‌شناسی، ویژگی‌های زمین ساخت ناحیه و نوع ساختارهای زمین‌ساختی و روند آن‌ها و ژرفای کانونی زلزله و رها شدن انرژی، مقدار بزرگی و انرژی آن بستگی دارد (دانشجو، ۱۳۷۸).

روشی که برای این منظور استفاده می‌شود استفاده از معادله پیش‌بینی جنبش زمین^۱ می‌باشد که مشخص‌کننده میزان کاهش

جدول (۲): رابطه کاهیدگی صدیقی و همکاران ۱۹۹۷

TABLE 2 Attenuation Relationships of Horizontal Response Spectral Accelerations (5% Damping) for Rock Sites							
$\ln(a) = C_1 + C_2M + C_3(8.5M)^{2.5} + C_4 \ln(r_{rup}) + \exp(C_5 + C_6M) + C_7 \ln(r_{rup} + 2)$							
Period(s)	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
For M ≤ 6.5							
PGA	-0.624	1.0	0.000	-2.100	1.29649	0.250	0.0
0.07	0.110	1.0	0.006	-2.128	1.29649	0.250	-0.082
0.10	0.275	1.0	0.006	-2.148	1.29049	0.250	-0.041
0.20	0.153	1.0	-0.004	-2.080	1.29649	0.250	0.0
0.30	-0.057	1.0	-0.017	-2.028	1.29649	0.250	0.0
0.40	-0.298	1.0	-0.028	-1.990	1.29649	0.250	0.0
0.50	-0.588	1.0	-0.040	-1.945	1.29649	0.250	0.0
0.75	-1.208	1.0	-0.050	-1.865	1.29649	0.250	0.0
1.00	-1.705	1.0	-0.055	-1.800	1.29649	0.250	0.0
1.50	-2.407	1.0	-0.065	-1.725	1.29649	0.250	0.0
2.00	-2.945	1.0	-0.070	-1.670	1.29649	0.250	0.0
3.00	-3.700	1.0	-0.080	-1.610	1.29649	0.250	0.0
4.00	-4.230	1.0	-0.100	-1.570	1.29649	0.250	0.0
For M > 6.5							
PGA	-1.274	1.1	0.000	-2.100	-0.48451	0.524	0.0
0.07	-0.540	1.1	0.006	-2.128	-0.48451	0.524	-0.082
0.10	-0.375	1.1	0.006	-2.148	-0.48451	0.524	-0.041
0.20	-0.497	1.1	-0.004	-2.080	-0.48451	0.524	0.0
0.30	-0.707	1.1	-0.017	-2.028	-0.48451	0.524	0.0
0.40	-0.948	1.1	-0.028	-1.990	-0.48451	0.524	0.0
0.50	-1.238	1.1	-0.040	-1.945	-0.48451	0.524	0.0
0.75	-1.858	1.1	-0.050	-1.865	-0.48451	0.524	0.0
1.00	-2.355	1.1	-0.055	-1.800	-0.48451	0.524	0.0
1.50	-3.057	1.1	-0.065	-1.725	-0.48451	0.524	0.0
2.00	-3.595	1.1	-0.070	-1.670	-0.48451	0.524	0.0
3.00	-4.350	1.1	-0.080	-1.610	-0.48451	0.524	0.0
4.00	-4.880	1.1	-0.100	-1.570	-0.48451	0.524	0.0

Note: Relationships for reverse/thrust faulting are obtained by multiplying the above strike-slip amplitudes by 1.2.

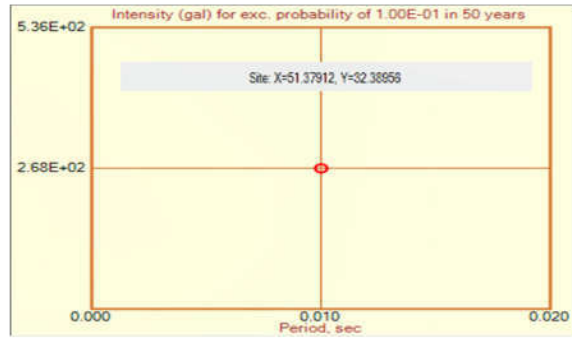
میزان شتاب افقی (شکل ۵) و نقشه پهنه‌بندی خطر (شکل ۶) تهیه گردید.

مدل کرایسس

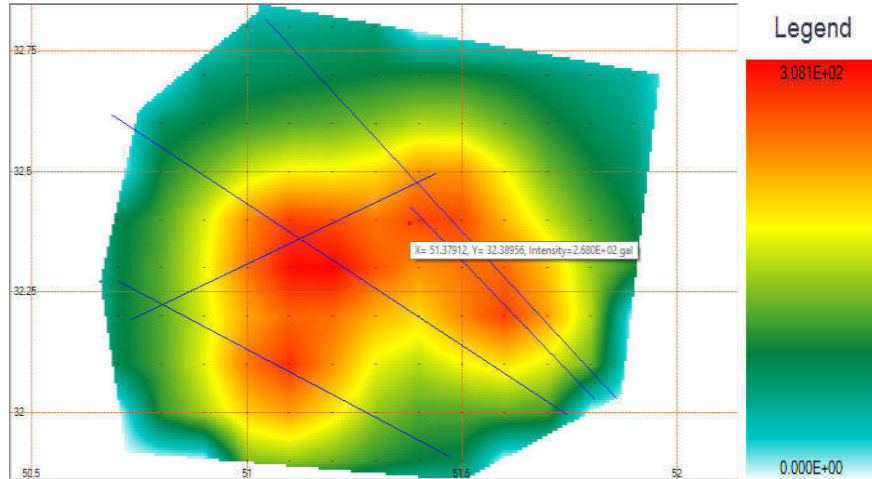
پس از مشخص کردن گسل‌های فعال به شعاع ۱۵۰ منطقه مورد مطالعه و محاسبه پارامترهای لرزه‌ای و انتخاب نمودن رابطه کاهیدگی و وارد نمودن data ها در مدل crisis نمودار خطی

1. Grond- Mtion Prediction Equations
2. Sadighi et. Al. 1997

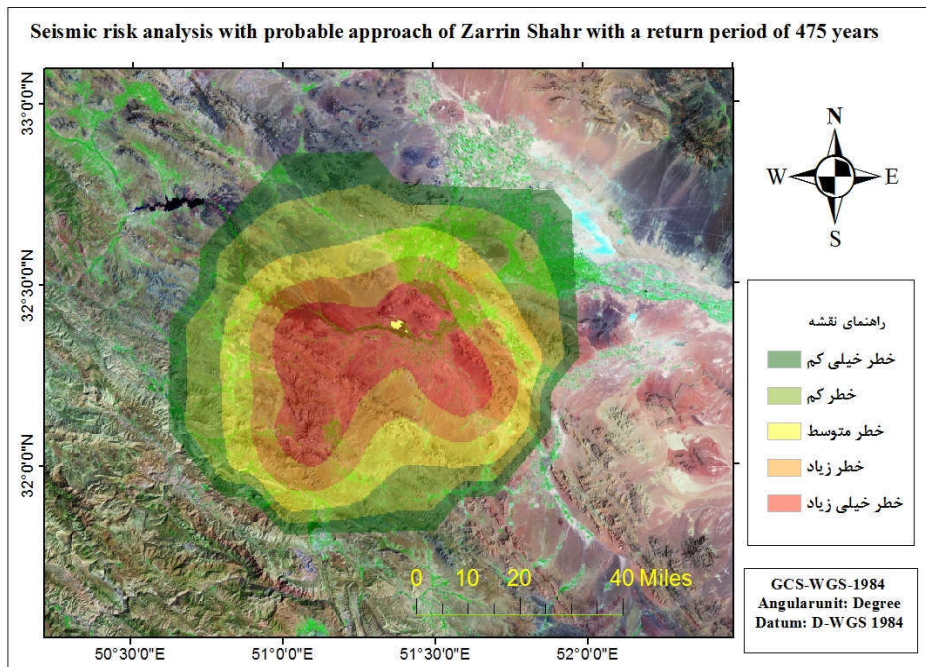
شکل (۶) پهنه بندی خطر زمین لرزه شهر زرین شهر با استفاده از مدل کرایسس به روش احتمالی با شتاب افقی ۲۶۸ گال و با دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای عمر مفید سازه در ۵۰ سال را نشان می‌دهد. و در راهنمای شکل نیز کمترین و بیشترین شتاب افقی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۵): میزان شتاب افقی منطقه مورد مطالعه در مدل crisis بر حسب gal



شکل (۶): به روش احتمالی تهیه شده است که شتاب افقی (۲۶۸ gal) و با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل (۷): تصویر زمینه لندست ۱۹۹۰، مناطق پر خطر

منابع

۱. المدرسی سید علی و همکاران، (۱۳۹۵) تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل Radius و GIS مطالعه موردی شهرستان اشکذر، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، سال ۱۳۹۷، صص ۱۰۴-۸۹.
۲. آمبرنیر، ملویل، (۱۹۸۲)، تاریخ زمین لرزه‌های ایران، انتشارات دانشگاه کمبریج.
۳. امینی جمال، (۱۳۸۹)، تحلیل آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه شهرداری تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به راهنمایی منوچهر فرج‌زاده اصل، دانشگاه تربیت مدرس تهران، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.
۴. حاتمی‌نژاد حسین، (۱۳۸۸)، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر نمونه مورد مطالعه: منطقه ۱۰ شهرداری تهران، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره ۶۸، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۵. حیدری مهدی و همکاران، (۱۳۸۰)، مطالعات لرزه‌خیزی، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه، استان خراسان.
۶. زارع مهدی، (۱۳۸۷)، مبانی تحلیل خطر زمین لرزه، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۷. دانشجو فرهاد، (۱۳۷۸)، مبانی مهندسی زلزله و ریسک، انتشارات دانش فردا.
۸. سلطانی یحیی؛ سادات ریاض راد زهره، (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی در گستره استان خراسان جنوبی، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
۹. قانع پرسیو؛ شوشتری احمد، (۱۳۹۱)، آنالیز حساسیت روابط کاهندگی در تحلیل خطر زمین لرزه خراسان، وزارت علوم و تحقیقات فناوری دانشگاه فردوسی مشهد دانشکده علوم.
۱۰. قانع پرسیو، (۱۳۹۲)، تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی استان کردستان، وزارت علوم و تحقیقات فناوری، دانشگاه کردستان.
۱۱. کرمی فریبا و همکاران، (۱۳۹۵)، بررسی مخاطرات ناشی از زلزله اهر ورزقان در حوضه سرندچای و پیرامون آن، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ششم، شماره ۱۴، زمستان ۱۳۹۶، صص ۱۶۸-۱۵۳.
۱۱. گلی مختاری لیلا و همکاران (۱۳۹۵)، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری محدوده شهری کاشان در برابر خطر زمین لرزه با استفاده از

در شکل ۷ نقشه پهنه‌بندی خطر شهر زرین شهر بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست و همچنین منحنی‌های ایجاد شده از نقشه پهنه‌بندی خطر زرین شهر نمایش داده شده است.

نتایج و بحث

نقشه پهنه‌بندی خطر با حداقل شتاب افقی ۲٫۶۸ گال با دوره بازگشت چهارصد و هفتاد و پنج سال بر روی سنگ بستر با توجه به روش خطر احتمالی تهیه شده است که نزدیک به ۳۰۰ gal معادل ۰٫۳ g می‌باشد و حاکی از خطر لرزه‌ای نسبتاً زیاد منطقه می‌باشد. در نهایت جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر به شعاع ۵۰ کیلومتری، از کل مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۷٫۰۲۲۵ هکتار از اراضی شهری در معرض خطر خیلی زیاد و ۳۸٫۴۰۵۰ هکتار از اراضی شهری در معرض خطر خیلی کم قرار دارد، همچنین در جدول ۳ وضعیت و درصد طبقات عوامل پهنه‌بندی خطر آورده شده است. و با توجه به جمعیت ساکن در منطقه با خطر بالا که جمعیتی پانزده هزار نفری می‌باشد و با توجه شرایط صنعتی منطقه و جمعیت نسبتاً زیاد این شهر که مرکز شهرستان لنجان می‌باشد، لزوم توجه به امر مدیریت و ایمنی ساخت و سازها، مقاوم‌سازی بافت‌های فرسوده و همچنین تعیین مناطقی جهت اسکان موقت در زمان وقوع زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. اهمیت امر توجه به مقاوم‌سازی، اجراء تدابیر مهندسی در ساخت و ساز شهری و لحاظ نمودن آن در طراحی‌های تفضیلی شهر جهت احداث ساختمان‌های مهم و ضروری حائز اهمیت بوده و می‌تواند خسارات احتمالی ناشی از زلزله را تا حد زیادی کاهش دهد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در سطح کلان، در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها جهت کاهش خطرات زلزله و آمادگی برای مقابله با این خطر طبیعی سودمند باشد.

جدول (۳): توزیع وضعیت نقشه ریسک نهایی زرین شهر

ردیف	طبقات عوامل پهنه‌بندی خطر	وضعیت	درصد مساحت
۱	خطر خیلی کم	قابل قبول	۱۹٫۵۵٪
۲	خطر کم	بسیار مناسب	۲۴٫۹۵٪
۳	خطر متوسط	مناسب	۱۹٫۹۳٪
۴	خطر زیاد	نامناسب	۱۶٫۵۷٪
۵	خطر خیلی زیاد	بسیار نامناسب	۱۸٫۹۹٪

21. Bonico, p. Galli, p. Naso, G. Pizzi, A. (2012). Zoning surface rapture hazard a long normal fault: Insight from the 2009, Mw1 Aqnila, central Italy, Balleting of the seismological society of America, 102(3): 918-935.
22. Ghafory-Ashtiany, Mohsen, 2007: EARTHQUAKE RISK REDUCTION ACHIEVEMENT, "Iranian Experience", International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. Tehran.
23. Gutenberg B, Richter CF (1956). Magnitude and energy earthquakes. Ann Geoff's 9:1-15.
24. Knopoff, L. and J.K. Gardner (1972). Higher seismic activity during local night on the raw worldwide earthquake catalog Geophys.
25. Mehmet, Servi. 2004: Assessment of Vulnerability to Earthquake Hazards Using Spatial Multicriteria Analysis, MSc Thesis in Middle East Technical University, Turkey.
26. Safaei, H. (2005) 'identify and evaluate the seismic potential of faults around Isfahan. 'Final report of the research project, university of Isfahan, 116p.
27. Sadigh, K. et al., 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. Seismological Research Letters, 68(1), pp.180-189.
28. Shoushtari, A.V., 2016. Seismic Hazard Assessment of Peninsular Malaysia Based on New Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. Doctoral Dissertation, Universiti Teknologi Malaysia.
29. Tang, A., and Wen, A. (2009): (an intelligent simulation system for earthquake disaster assessment, Computers & Geosciences 35, 871-879.
30. UNDP (2004), Reducing Disaster Risk, A Challenge for Development.
- WebReferences**
31. www.iiees.ac.ir
32. www.geophysics.ut.ac.ir
33. www.isc.ir
- مدل JHPW، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۷، صص ۱۰۵-۱۲۶.
۱۲. مرکز تحقیقات راه و مسکن شهرسازی، آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم.
۱۳. مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و گروه مطالعات ژاپنی (۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹)، تحت قرار داد آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) با عنوان ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ.
۱۴. معماریان حسین و همکاران (۱۳۸۶)، با عنوان پهنه بندی و ریز پهنه بندی خطر زلزله در منطقه شهرکرد، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، تهران، قطب علمی مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
۱۵. محسنی محمود؛ جهانی احسان (۱۳۹۵)، با عنوان تحلیل خطر لرزه ای با در نظر گرفتن مفاهیم احتمالاتی، وزارت علوم و تحقیقات فناوری دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی.
۱۶. وانو و همکاران، (۲۰۰۲)، منطقه بندی نواحی لغزشی زلزله، با استفاده از سیستم فازی (مطالعه موردی شمال شرقی فلات تبت).
۱۷. هاشمی سید ناصر (۱۳۹۵)، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در بررسی و تحلیل توزیع مکانی خطر لرزه خیزی و تراکم جمعیت در ایران، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۷، صص ۱۷۴-۱۶۱.
18. Abo EL EZZ, Ahmad, Nollet, Marie-jose, Naster, miroslav(2015). Assessment of earthquake-induced damage in Quebec city, Canada, International journal of Disaster Risk Reduction. Volume 12, pp 16-24.
19. Allen, M.G.H., Khapp, B. (1988). Environmental Hazards, Earth surface processes, and landforms, 13(3): 193-292.
20. Aramas, I, Gavris, A. (2013). Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model) a case study for Bucharest, Romania, Natural Hazards and Earth System Sciences, Volume 13, issue 6, pp 1481-1499.

