

ارائه مدل تهیه نقشه خطر لرزه‌ای در سیستم اطلاعات مکانی با در نظرگیری عدم قطعیت

محمد اسکندری*: دکتری عمران - نقشه برداری، گرایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Eskandarim@mut.ac.ir
بابک امیدوار: دانشیار، گروه مدیریت در سوانح طبیعی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
مهدی مدیری: دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
محمدعلی نکویی: استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
علی اصغر آل شیخ: استاد، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵

چکیده

کشور پهناور ایران در منطقه‌ای از پوسته‌ی زمین قرار گرفته که از دیر باز در اثر آزاد شدن انرژی‌های انباشته شده در آن، همیشه شاهد لرزش‌های بزرگ و مخربی بوده است. از این رو تحلیل مخاطرات طبیعی همواره لازم و ضروری است؛ زیرا بر اساس آن می‌توان در تصمیم‌گیری‌ها و اولویت بندی اقدامات مدیریت بحران، گام‌های اساسی برداشت. هدف اصلی از این مقاله ارائه‌ی مدلی به منظور تحلیل خطر لرزه‌ای بر اساس هر دو خطر اصلی لرزش و شکست زمین است. بر این اساس با توجه به حجم وسیع داده‌های توصیفی و مکانی، سامانه‌ی نرم‌افزاری با قابلیت‌های تحلیل و استنتاج مکانی و بر مبنای سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) طراحی و توسعه یافت. در این مدل به منظور تحلیل خطر لرزش زمین، از ۲ رابطه‌ی کاهندگی موجود برای کشور استفاده می‌گردد، که با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در وقوع زلزله (شامل اندازه‌ی بزرگای زلزله، عمق کانونی و موقعیت کانون زلزله)، این عملیات به صورت تصادفی در هر بار انجام تحلیل انتخاب می‌گردد. خروجی‌ها شامل مقادیر بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان حداکثر زمین محاسبه می‌گردد. در مدل ارائه شده به منظور تحلیل خطر شکست زمین، بر اساس نوع منطقه و الگوریتم‌های ارائه شده، ۳ خطر ثانویه‌ی زلزله (روان‌گرایی، زمین لغزش و گسلش) مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مرحله با توجه به استعداد روان‌گرایی و استعداد زمین لغزش می‌توان تغییر مکان دائمی ناشی از خطرات روان‌گرایی و زمین لغزش را برای هر جزء و در هر تکرار شبیه‌سازی محاسبه نمود. تمامی این گام‌ها بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو، برای لحاظ نمودن عدم قطعیت‌ها ده هزار بار تکرار می‌شوند و از خروجی‌های موجود در پایگاه داده، میانگین‌گیری می‌شود تا تمامی حالات خرابی در نظر گرفته شود. مدل موجود می‌تواند نقشه‌ی خطر لرزش زمین و شکست زمین را برای هر منطقه تهیه نماید. در این مقاله به منظور نمایش بهتر این پژوهش، مدل موجود برای شهر نیشابور، پیاده‌سازی و مورد تحلیل واقع گردید که با توجه به سناریوی منتخب، مقادیر PGA برای کل شهرستان بین ۰.۳۷g تا ۰.۴۸g محاسبه گردید. استعداد روان‌گرایی شهرستان عمدتاً بین ۲ طبقه استعداد کم و متوسط برآورد گردید که استعداد زیاد در شمال غربی شهرستان وجود داشت. استعداد زمین لغزش شهرستان، عمدتاً در طبقه‌ی بدون استعداد ارزیابی گردید. بیشترین تغییر مکان در اثر روان‌گرایی مربوط به خطر پخش جانبی بود که عمدتاً بین ۱ تا ۹ اینچ برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی، تحلیل خطر لرزه‌ای، روان‌گرایی، زمین لغزش

Providing a model to prepare map of seismic hazard analysis by using spatial information systems with consideration of uncertainty

Mohammad Eskandari^{1*}, Babak Omidvar², Mahdi Modiri³, Mohammad Ali Nekooie⁴, Aliasghar Alesheikh⁵

Abstract

Iran is a vast country that has long been an area of the Earth's crust caused by the release of energy accumulated in it, always large and destructive shake occurs. Therefore, the analysis of natural hazards is essential because it can make decisions and prioritization of actions in crisis management, essential steps to be taken. The main purpose of this paper is to provide a model for seismic hazard analysis based on both main hazard of ground shaking and ground failure. Therefore, due to the large descriptive and location data, Software system designed and developed based on Geo-spatial information system and the ability to analyze the spatial data. This model to analyze the hazard analysis of ground shaking, in two attenuation relationship is used for the country, which according to the uncertainties involved in earthquake (magnitude of earthquake, focal depth and location of epicenter of the earthquake), this operation is selected at random each time and after each hazard analysis, the output of ground shaking (Peak ground acceleration, Peak ground velocity and peak ground displacement) is calculated. In the proposed model to analyze the hazard analysis of ground failure, based on area and proposed algorithms, three secondary hazard of earthquake (liquefaction, landslides and faulting) is analyzed. At this stage, given the liquefaction and landslide susceptibility can be calculated permanent displacement caused by liquefaction and landslide hazards for each component and each iteration of the simulation. All these steps are based on Monte Carlo simulation to considering the uncertainties are repeated 10 thousand times. Then averaging available outputs in the database, so that all failure modes be considered. This model could provide map of ground shaking and ground failure hazard for each parameter. In this paper, in order to get a better view this research, models was implemented and analyzed for the city of Neyshabour. That according to the selected scenario, the values of between 0.037 g to 0.48g PGA was calculated for the city. Liquefaction susceptibility in this city is mostly between 2 category of low and medium susceptibility. There was high susceptibility in the northwestern city. Landslide susceptibility in this city was evaluated mostly on the none susceptibility. Most displacement caused by liquefaction is related to the hazard of lateral spread that was evaluated mostly between 1 and 9 inches.

Keywords: spatial information systems, seismic hazard analysis, liquefaction, landslide

1 Ph.D in GIS (Geographic Information System), Department of Civil Engineering Surveying, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran; Email: Eskandarim@mut.ac.ir

2 Associate Professor, Department of Natural Disaster Management, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

3 Associate professor, Malek ashtar University of technology, Tehran, Iran

4 Assistance professor, Malek ashtar University of Technology, Tehran, Iran

5 Professor, Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

۶۵

شماره چهاردهم

پاییز و زمستان

۱۳۹۷

دوفصلنامه علمی و پژوهشی



ارائه مدل تهیه نقشه خطر لرزه‌ای در سیستم اطلاعات مکانی با در نظرگیری عدم قطعیت

گرفتن از اطلاعات و ارزش حاصل از تصمیمات بهتر، منجر به ایجاد یک سیستم پشتیبان برای تحلیل خطر می‌گردد.

در این مقاله ابتدا مروری بر تحقیقات پیشین در این حوزه صورت می‌گیرد. سپس در قالب روش‌شناسی پژوهش، تمامی الگوریتم‌ها برای تهیه نقشه‌ی خطر لرزش زمین و نقشه‌ی شکست زمین در قالب گام‌های مختلف ارائه می‌گردد. سپس برای پیاده‌سازی مدل و اجرای سامانه‌ی نرم‌افزاری ارائه شده، نقشه‌های تحلیل خطر لرزه‌ای ۳ مؤلفه‌ی لرزش زمین (حداکثر شتاب زمین، حداکثر سرعت زمین و تغییر مکان دائمی زمین) و ۵ مؤلفه‌ی شکست زمین (استعداد روان‌گرایی، استعداد زمین‌لغزش، تغییر مکان دائمی زمین ناشی از نشست قائم، تغییر مکان دائمی زمین ناشی از پخش جانبی و تغییر مکان دائمی زمین ناشی از زمین‌لغزش) برای شهر نیشابور تهیه می‌گردد.

مروری بر مطالعات پیشین

آژانس فدرال مدیریت اضطراری آمریکا (FEMA)، زلزله را به‌منزله‌ی یک «لرزش ناگهانی و سریع زمین با شکسته شدن و جابه‌جایی پوسته‌ی تحتانی سطح زمین» تعریف می‌کند. این شکستن ناگهانی می‌تواند سبب ریزش ساختمان‌ها و پل‌ها، قطع شبکه‌ی آب، سرویس تلفن، برق و گاز، گاهی ایجاد زمین‌لغزش، سیل برق‌آسا و موج‌های مخرب برآمده از اقیانوس (سونامی) گردد. به عبارتی دیگر زلزله عبارت است از لرزش زمین در اثر آزادسازی سریع انرژی که اغلب موارد در اثر لغزش در امتداد یک گسل در پوسته‌ی زمین اتفاق می‌افتد. انرژی آزاد شده از محل آزاد شدن آن، به صورت امواج در همه‌ی جهت‌ها منتشر می‌شود. از طرفی زلزله‌ها از چندین جهت با سایر سوانح طبیعی تفاوت دارند، از جمله می‌توان به غیرقابل پیش‌بینی بودن و اثرات ناگهانی آن‌ها که این امکان را دارند در هر زمانی از سال یا حتی در هر لحظه به وقوع بپیوندند، اشاره کرد [۳].

حسن‌زاده و عباس‌نژاد در سال ۱۳۸۵ به تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با روش‌های احتمالاتی و تحلیلی پرداختند. در این پژوهش با بررسی خطر زلزله با روش آماری برای شهر کرمان احتمال وقوع و دوره‌ی برگشت زلزله‌های با ابعاد مختلف برآورد شد. بر اساس ارزیابی خطر زلزله با روش تحلیلی، شتاب ناشی از ۱۵ قطعه گسل ۰.۲g است. شدت ناشی از گسل‌های کرمان - زنگی‌آباد، شمال کرمان و اختیارآباد می‌تواند به بیش از ۹ مرکالی در شهر کرمان احساس شود که منجر به تخریب بخش اعظم شهر خواهد شد [۴].

گوپتا در سال ۲۰۰۷ به تشریح روش تحلیل خطر لرزه‌ای پرداخت تا بر اساس این روش بتواند نقشه‌ی دامنه‌ی طیفی و سایر پارامترهای کمی که بر سازه‌ها می‌تواند مؤثر باشد را مورد بحث و بررسی قرار دهد. این پارامترها شامل حداکثر شتاب، حداکثر پاسخ دامنه‌ی طیفی، مدت زمان وقوع زلزله، کرنش حداکثر، احتمال شروع روان‌گرایی، حداکثر تغییر مکان در اطراف گسل است. این پژوهش به‌طور مختصر ولی کامل روش تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی را تشریح می‌کند. همچنین راه‌حل‌های ساده و عملی

در چند دهه‌ی گذشته، در سراسر جهان تلفات ناشی از سوانح طبیعی رو به افزایش بوده است. بر اساس مطالعات انجام شده در جهان، به‌طور متوسط هر ساله ۳۳۵ هزار نفر کشته و ۳۶ میلیارد دلار خسارات اقتصادی بر اثر بلایای طبیعی پدید می‌آید؛ ۹۵٪ از کشته‌شدگان و ۷۵٪ از خسارات اقتصادی مربوط به کشورهای در حال توسعه است. این مطلب بیانگر لزوم مدیریت صحیح بلایای طبیعی در کشورهای در حال توسعه است [۱]. زمین‌لرزه یکی از بلایای طبیعی است که بی‌توجهی به آن، خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت [۲]. در ایران نیز به علت موقعیت جغرافیایی و گسل‌های فراوان، همواره زلزله‌های با تلفات بالا همچون زلزله‌ی رودبار و بم رخ داده است.

بر این اساس با توجه به تعدد وقوع زلزله‌های مختلف در کشور و لزوم توجه به کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله بر ساختمان‌ها، تأسیسات زیربنایی، تحلیل خطر و تعیین طیف طرح در سطوح مختلف، بسیار ضروری و حیاتی است. از طرفی به‌منظور تحلیل خسارت‌های وارده بر مجموعه سازه‌ها و زیرساخت‌های یک منطقه، دانستن پارامترهای خروجی انرژی زمین‌لرزه در برآورد آسیب‌پذیری‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحلیل خطر لرزه‌ای به معنی تبدیل اطلاعات و مشخصات لرزه‌خیزی منطقه به پارامترهای خروجی انرژی زمین‌لرزه است [۱]. از این رو بهترین راه برای شناخت ویژگی‌های جنبش نیرومند زمین، به دست آوردن نمودار حرکت زمین از جمله شتاب نیرومند زمین در هنگام رویداد زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ است؛ این امر به وسیله‌ی دستگاه شتاب‌نگار موجود در محل و رخداد زمین‌لرزه در گستره‌ی نزدیک میسر می‌شود. با توجه به اینکه برای تحلیل خسارت منطقه‌ی مورد نظر یا حتی طراحی سازه‌های جدید در مناطق لرزه‌خیز، نمی‌توان برای هر محل، دستگاه شتاب‌نگار مستقر نمود و در انتظار رویداد زمین‌لرزه‌ای در گستره‌ی نزدیک به آن باقی ماند تا یک رکورد مناسب از جنبش نیرومند زمین فراهم شود، زیرا فلسفه‌ی تحلیل خسارت سازه‌ها و شریان‌های یک منطقه، پیش‌گیری و کاهش اثرات سوانح آبی است. از این رو به‌منظور پیش‌بینی انرژی زلزله‌های آینده، احداث سازه‌های مهم و همچنین تحلیل ریسک لرزه‌ای نیازمند تحلیل خطر لرزه‌ای است.

فرایند تحلیل خطر لرزه‌ای بسیار نیازمند اطلاعات مکان‌مند در سطوح مختلف همانند نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) است. از طرفی حجم داده‌های مورد نیاز برای تحلیل خطر بیشتر از آن حدی است که بتوان با روش‌های دستی به‌طریقه‌ای مؤثر و زمان‌مند از آن‌ها بهره‌برداری کرد. بر این اساس با بهره‌گیری از علم اطلاعات مکانی و مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روشی برای سازماندهی کامپیوتری داده‌های مکانی فراهم می‌گردد. این علم، با سرعت بخشیدن و بالا بردن بازدهی مدیریت، به‌کارگیری، تجزیه و تحلیل، خروجی

برای برخی از مشکلات مواجهه در اجرای روش تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی موجود در کاربردهای واقعی را پیشنهاد می‌کند [۵].

علمی‌زاده و هدائی در سال ۱۳۸۸ در پژوهشی با عنوان «مدیریت بحران در ارتباط با خطر گسلش و زمین‌لرزه (مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی دشت سیلاخور)»، به خطر گسلش ناشی از زمین‌لرزه پرداختند. روش بررسی بر پایه‌ی مطالعه‌ی دیرینه‌ی لرزه‌شناسی منطقه و داده‌های ژئوتکنیکی و لرزه‌ی زمین‌ساخت و عملیات میدانی انجام گرفته است. در ادامه لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از GIS، تهیه و به بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی منطقه اقدام شده است و در نهایت نتایج حاصله در ارتباط با تحلیل خطرپذیری منطقه، تجزیه و تحلیل شدند و مشخص شد که وقوع زمین‌لرزه‌های اخیر در نزدیکی گسل دورود که با وقوع پدیده‌های ژئوتکنیکی متعددی از جمله اثرات ساختگاهی، روان‌گرایی و زمین‌لغزش همراه بوده است، سبب فعال شدن مجدد این گسل می‌گردد [۶].

رفیعه و همکاران در سال ۱۳۹۰، به پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لرزه در گستره‌ی استان لرستان با محوریت پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای با استفاده از دو رهیافت تعیینی و احتمالی در گستره‌ی استان پرداختند. در این پژوهش بر اساس داده‌های تاریخی و سده‌ی بیستم، اطلاعات گسل‌های لرزه‌زا، سازوکار ژرفی محدوده و ساختار زمین‌شناسی، مدل لرزه‌ی زمین‌ساخت منطقه ارائه شده و چشمه‌های لرزه‌زا معرفی گشته‌اند. پس از حذف پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها (برای تصدیق فرض توزیع پواسون داده‌ها)، پارامترهای لرزه‌خیزی را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های متناسب با زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها و با فرض حداقل بزرگای ۴ ریشتر، محاسبه نمودند. اطلاعات حاضر برای چندین مورد از روابط کاهندگی مورد پردازش قرار گرفته و در نهایت بیشینه شتاب افقی مورد انتظار برای ساختگاه (شهر خرم‌آباد) حاصل از هر قطعه به دست آمده است. در انتها پیشنهاداتی در راستای کاهش آسیب به مناطق شهری ارائه شده است. بر اساس بررسی‌های حاضر، می‌توان گسل‌های موجود در پهنه‌ی گسل زاگرس مرتفع و سپس گسل دورود (در پهنه‌ی گسل اصلی زاگرس) را به‌عنوان گسل‌های مسبب رویداد احتمالی زمین‌لرزه برای شهر خرم‌آباد در نظر گرفت [۷].

رجبی و همکاران در سال ۱۳۹۱ بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو به تحلیل خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه در منطقه‌ی منجیل پرداختند، زیرا با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین اثرات زمین‌لرزه‌ی منجیل ایجاد و تحریک زمین‌لغزش‌های بی‌شمار در مناطق زلزله‌زده بود، شناخت مناطق مستعد زمین‌لغزش، در این منطقه برای زمین‌لرزه‌های آینده اهمیت بالایی داشت. در این مطالعه با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو محدوده‌ای شامل چهارگوش‌های چلکاسر و چهار محل (منطقه‌ای در نزدیکی رومرکز زمین‌لرزه‌ی منجیل) مورد بررسی احتمالاتی برای پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه قرار گرفت. از نتایج این پژوهش به همپوشانی قابل ملاحظه بین نتایج این پژوهش با زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ی منجیل در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌توان اشاره کرد [۸].

نجفی و همکاران در سال ۱۳۹۲ به تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی در شهر خورموج و بررسی گسل‌های مهم شهر خورموج و حومه‌ی آن واقع در استان بوشهر، شامل گسل کازرون، برازجان، پیشانی کوهستان و پیش ژرفای کوهستان پرداختند. در ادامه برای مشخص نمودن منابع لرزه‌ای، زلزله‌های بالای ۴ ریشتر از سال ۱۱۱۳ تا اکنون جمع‌آوری و زلزله‌های تاریخی بزرگ در محاسبات اعمال شد. با توجه به نظریه‌ی روش‌های تحلیل خطر زلزله و موقعیت گسل‌های ذکر شده، برآورد خطر لرزه‌ای شهر خورموج صورت پذیرفت [۹].

عبدالله‌زاده و همکاران در سال ۱۳۹۲ به ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیده‌ی روان‌گرایی خاک مطالعه‌ی موردی، شهرستان گرگان در استان گلستان با پیش‌بینی سناریوهای بروز خطر و خسارت پدیده‌ی روان‌گرایی، آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر پرداختند. این رویکرد در منطقه‌ی گرگان در استان گلستان مورد ارزیابی و توصیف قرار گرفت. همچنین نقشه‌های خاک (طبقات بافت رسوب)، عمق آب زیرزمینی (اطلاعات چاه‌های پیژومتری) و شتاب زلزله (داده‌های بیشترین شتاب لرزه‌ای تاریخی ثبت شده) تهیه شد. وقوع روان‌گرایی خاک بر اساس متغیرهای مذکور و مدل تجربی سه فاکتوره برای شرایط موجود در چهار رتبه‌ی خطر تهیه گردید. بر اساس ترکیب‌های احتمالی توانایی وقوع شتاب بیشینه‌ی لرزه‌ای و تغییرات عمق آب زیرزمینی، وضعیت بروز خطر مشخص گردید. با در نظر گرفتن ارتباط عوامل تأثیرگذار، پهنه‌های مختلف وقوع خطر روان‌گرایی با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار Arc GIS 9.3، محاسبه گردید. در نهایت طبقات حساسیت روان‌گرایی برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد [۱۰].

تفاوت پژوهش حاضر با سایر پژوهش‌ها در این است که:
۱. تحلیل خطر لرزه‌ای در پژوهش‌های دیگر بر اساس روش‌های احتمالاتی منجر به تهیه‌ی یک نقشه‌ی خطر لرزه‌ای می‌شود و این روش صرفاً برای ساخت و احداث سازه‌های مهم در مناطق مختلف استفاده می‌شود؛ در حالی که پژوهش حاضر تنها بر اساس اصول سناریو محور مدیریت بحران و پس از انتخاب یک سناریوی زلزله، منجر به تهیه‌ی نقشه‌های خطر می‌شود. ۲. پژوهش‌های مختلفی که به اثر روان‌گرایی و زمین‌لغزش پرداخته‌اند، به‌طور عام به تحلیل ریسک تمامی عواملی که منجر به روان‌گرایی یا زمین‌لغزش می‌شود، عموماً پرداخته‌اند؛ در حالی که در این پژوهش به روان‌گرایی و زمین‌لغزشی که تنها در صورت بروز زلزله به‌منزله‌ی خطرات ثانویه‌ی رخداد زلزله ایجاد می‌شوند، پرداخته می‌شود. ۳. در این پژوهش برعکس سایر پژوهش‌ها که به بررسی یک خطر می‌پردازند، به بررسی تمامی خطرات ناشی از زلزله در قالب یک الگوریتم جامع در یک سیستم نرم‌افزاری پرداخته شده است. ۴. در این پژوهش برای در نظرگیری عدم قطعیت‌های مختلف، از روش مونت کارلو با تعداد دفعات تکرار زیاد برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها استفاده شده است.

روش شناسی

خطر عبارت است از پتانسیل تهدیدکننده‌ای که هر لحظه احتمال وقوع آن وجود دارد. این حادثه می‌تواند به صورت پدیده‌ای طبیعی باشد و یا توسط بشر ایجاد گردد. در مدیریت سوانح طبیعی، از خطر به منزله‌ی سانحه یاد می‌شود که شایع‌ترین سوانح طبیعی شامل زلزله، سیل، خشکسالی، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی است [۱۱]. خسارت‌های وارد آمده به اجزای سازه‌ها و شریان‌ها در اثر خطرات زلزله، در دو دسته‌ی کلی مطابق تصویر ۱ طبقه‌بندی می‌شوند. فرایند تحلیل خطر لرزه‌ای گام اول در تحلیل خسارت لرزه‌ای در ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی است. به بیان ساده در این مرحله تعیین می‌شود چه انرژی‌ای توسط زلزله (برای سناریو زلزله ارائه شده)، آزاد می‌شود. به منظور برآورد خطر لرزه‌ای به طور خلاصه می‌توان از ۲ روش استفاده کرد:

۱. تهیه‌ی نقشه‌ی خطر لرزه‌ای برای منطقه‌ی مورد نظر: این نقشه‌ها برای نشان دادن خطر زمین‌لرزه و پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای با به‌کارگیری روش‌های احتمالاتی متداول تهیه می‌شود [۲]. در این روش به منظور برآورد ویژگی‌های لرزه‌خیزی گستره‌ی مورد مطالعه از اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌ها و روش‌های آماری ویژه‌ای استفاده می‌گردد. به این منظور لازم است تا فهرست زمین‌لرزه‌ها در پهنه‌های سرچشمه‌ی لرزه‌ای در برگزیده‌ی ناحیه‌ی مورد مطالعه، انتخاب و پردازش گردند. سپس با به‌کارگیری روابط و روش‌های آماری مناسب نظیر روش بیشینه‌ی درست‌نمایی، پارامترهای لرزه‌خیزی، دوره‌ی بازگشت و احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ها بر حسب بزرگای آن‌ها محاسبه گردد. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و پردازش آماری داده‌های موجود، نقشه‌های پهنه‌بندی بیشینه‌ی مؤلفه‌های افقی و قائم شتاب برای دوره‌های بازگشت مورد نظر، توسعه داده می‌شوند. از این نقشه‌ها عموماً در اجرای سازه‌های مهم و مهندسی استفاده می‌کنند، ولی در مطالعات مدیریت بحران که سناریو محور هستند از روش دوم که بر اساس روابط کاهندگی است، استفاده می‌گردد [۱۲].

۲. تحلیل خطر لرزه‌ای به کمک روابط کاهندگی: در این روش بر اساس یک سری روابط کاهندگی و همچنین مشخصات زلزله و زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد نظر، پارامترهای خروجی همچون حداکثر شتاب زمین ارزیابی می‌شود. این پژوهش بر اساس رویکرد دوم به ارزیابی هر ۲ نوع خطر ناشی از زلزله که در تصویر به آن اشاره شد، می‌پردازد.

تحلیل خطر لرزش زمین

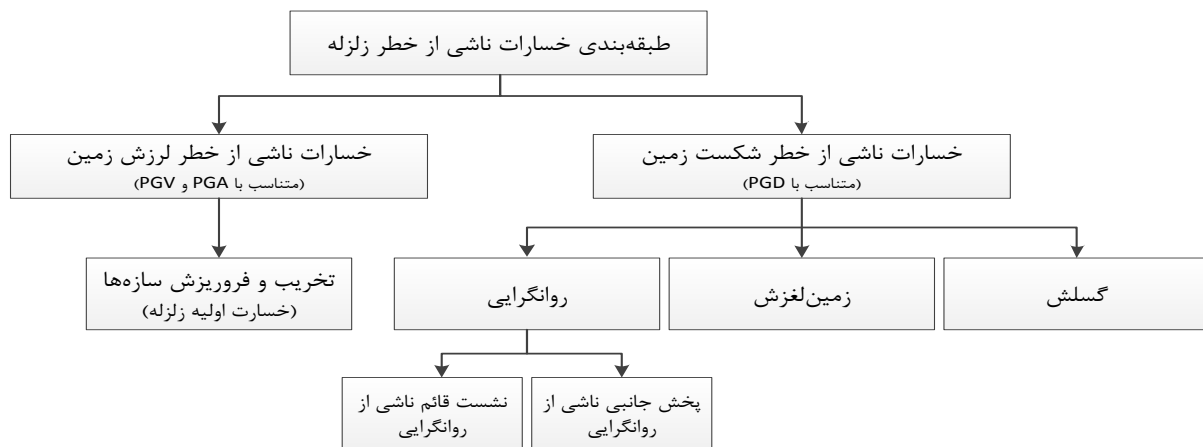
در این روش بر اساس الگوریتم تصویر ۲، نیاز است که با تعیین زمین‌لرزه‌ی سناریو، تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه برای سطح خطر مورد نظر انجام شود تا پارامترهای خروجی لرزه‌ای خطر (PGD^۱، PGV^۲، PGA^۳) در سطوح مورد نظر به دست آید. بر این اساس لازم است مطابق الگوریتم تصویر ۲ گام‌های زیر طی شود:

- انتخاب سناریوی زلزله؛
- انتخاب رابطه‌ی کاهندگی مناسب؛
- تشدید یا تقلیل پارامترهای خروجی در اثر اثرات ساختگاه.

تعیین سناریوی زلزله

با توجه به الگوریتم فوق، برای تعیین پارامترهای خروجی باید سناریوی زلزله تهیه گردد. سناریوها در حقیقت تصویر روشنی از آینده‌اند که برنامه‌ریزی به کمک آن‌ها می‌تواند مسائل، چالش‌ها و فرصت‌های محیط را به روشنی ببیند و بشناسد [۱۳]. سناریوی زلزله نیازمند در اختیار داشتن، بزرگا، عمق کانونی و محل وقوع زلزله است. به منظور تعیین سناریوهای محتمل برای تعیین محل زلزله می‌توان به صورت ذیل عمل نمود:

- یک سناریو را در محل گسل‌های نزدیک منطقه‌ی مورد مطالعه لحاظ نمود؛ زیرا رابطه‌ی گسل و زلزله، رابطه‌ای دوطرفه است.
- سناریوی دیگر را نیز می‌توان در محل زلزله‌های تاریخی نزدیک به منطقه که شدت بالایی در زمان وقوع داشته‌اند انتخاب نمود؛ چون زلزله‌ای که سابقه‌ی وقوع در محلی را دارا است، احتمال تکرار مجدد آن نیز می‌رود.



تصویر ۱: نمودار معرفی خطرات ناشی از زلزله

رابطه‌ی کاهندگی دکتر زارع

رابطه‌ی دکتر زارع بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی داده‌های شتاب‌نگاری سراسر ایران به دست آمده است. این رابطه با انتخاب ۴۹۸ نگاشت سه مؤلفه‌ای و اصلاح آن‌ها، بررسی بر روی این داده‌ها برای به دست آوردن مدل‌های جدید کاهندگی برای ایران به عمل آمده است [۱۴]. مدل کاهندگی ارائه شده در رابطه‌ی ۱ در این پژوهش به کار گرفته شده است.

رابطه‌ی ۱:

$$\text{Log } A = a * M + b * X - \text{Log } X + C_i * S_i + \bar{6} * P$$

رابطه‌ی ۲:

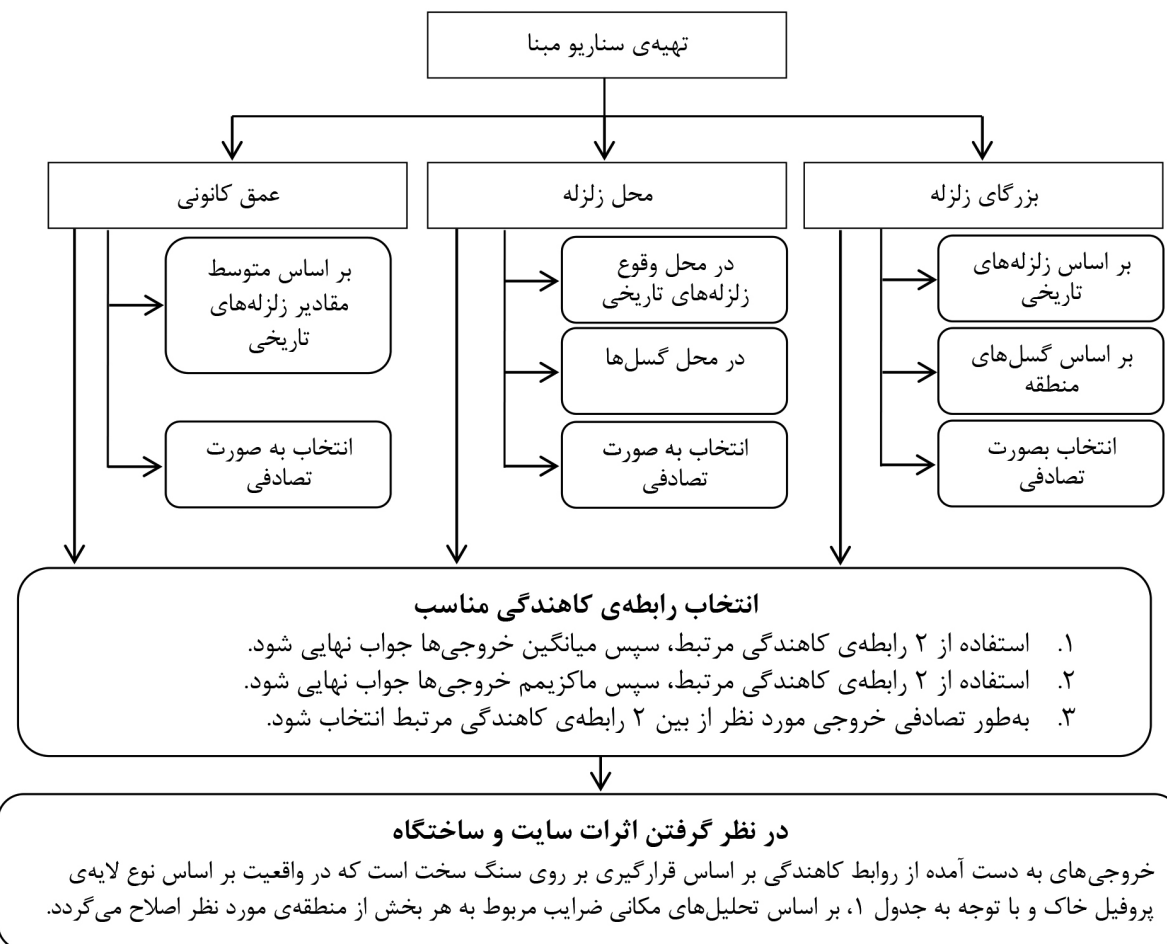
$$X = \sqrt{L^2 + h^2}$$

- اگر از ضرایب مربوط به حداکثر شتاب زمین (g) استفاده شود؛ A برابر با PGA است.
- اگر از ضرایب مربوط به حداکثر سرعت زمین (Cm/S) استفاده شود؛ A برابر با PGV است.
- اگر از ضرایب مربوط به حداکثر تغییر مکان زمین (Cm) استفاده شود؛ A برابر با PGD است.
- X: فاصله‌ی کانونی اجزا تا مرکز زلزله (Km)؛
- L: فاصله‌ی سطحی اجزا تا مرکز زلزله (Km)؛
- h: عمق کانونی زلزله (Km)؛
- C_i: ثابتی وابسته به جنس زمین ساختگاه؛

با توجه به اینکه یک سناریو، تنها پیش‌بینی یک آینده‌ی خاص نیست، بلکه توصیف همه‌ی احتمالات است. به همین دلیل میزان دقت و درستی از ویژگی‌های یک سناریوی خوب به شمار می‌رود [۱۰]. بر این اساس به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها، می‌توان پارامترهای ورودی سناریو را به صورت کاملاً تصادفی انتخاب نمود. به نحوی که در زمان پیاده‌سازی مدل بر روی شهرستان نیشابور، نحوه‌ی انتخاب سناریوهای زلزله برای منطقه‌ی مورد نظر تشریح می‌گردد.

انتخاب رابطه‌ی کاهندگی

روابط کاهندگی کاربرد وسیعی در مطالعات زلزله‌شناسی، مهندسی زلزله و تحلیل خطر لرزه‌ای چه به روش احتمالی و چه به روش قطعی دارد. روابط کاهندگی یکی از پارامترهای اساسی در پیش‌بینی جنبش نیرومند زمین و تحلیل خطر زلزله است. روابط کاهندگی بر اساس پارامترهای زلزله و همچنین پارامترهای زمین‌شناسی منطقه، می‌تواند میزان انرژی زلزله را در مناطق مختلف برآورد نماید. در این روابط پارامتر مورد بررسی (همانند PGV، PGA و PGD)، به صورت تابعی از بزرگی زلزله، فاصله از منبع تا سایت، شرایط ساختگاه و نوع گسل‌های منطقه بیان می‌شود. در این پژوهش از رابطه‌ی کاهندگی دکتر زارع و دکتر قدرتی امیری استفاده شد که معادلات مربوط به آن در برنامه‌ی تهیه‌شده به طور کامل کدنویسی شد.



تصویر ۲: الگوریتم موجود به منظور تعیین پارامترهای خروجی تحلیل خطر ناشی از لرزش زمین

- i: رده ساختگاه (بین ۱ تا ۴ تغییر می‌کند)؛
- S: نوع ساختگاه؛
- Pi: احتمال (۰ یا ۱)؛
- σ: انحراف معیار.

نحوه‌ی تنظیم ورودی‌های روابط کاهندگی به سامانه همانند تصویر ۳ است.
رابطه‌ی ۳:

$$\ln Y = C_1 + C_2 * M + C_3 * \ln [R + C_4 * \exp(M)] + C_5 * R$$

- C_1, C_2, C_3 : ضرایب ثابت وابسته به نوع خاک و نوع منطقه
- R: فاصله‌ی کانونی اجزا تا مرکز زلزله (Km)
- M: بزرگا
- Y: مؤلفه‌ی خروجی زمین به صورت PGA برحسب Cm/s^2 و PGV برحسب Cm/s

همه‌ی روابط کاهندگی ارائه شده دارای عدم قطعیت‌های متفاوتی هستند. این عدم قطعیت‌ها از کمبود اطلاعات، عدم ثبت صحیح زلزله‌ها در گذشته، کمبود دانش و تفاوت بین روابط کاهندگی و مدلینگ آن‌ها به وجود می‌آید.

ضرائب مربوط به رابطه‌ی ۱، برای تعیین حداکثر مؤلفه‌ی افقی و قائم شتاب زمین (PGA)، حداکثر مؤلفه‌ی افقی و قائم سرعت زمین (PGV) و حداکثر مؤلفه‌ی افقی و قائم تغییر مکان زمین (PGD) برای ۳ منطقه‌ی زاگرس، البرز و کل ایران قابل استخراج است.

رابطه‌ی کاهندگی قدرتی امیری [۱۵]

رابطه‌ی کاهندگی دکتر قدرتی امیری برای ۲ منطقه‌ی زاگرس، البرز و کل ایران قابل استخراج است [۱۲]. از این رو با توجه به اینکه مطالعه‌ی موردی شهر نیشابور است، از ضرائب مربوط به البرز و ایران مرکزی مطابق جدول ۱ استفاده می‌شود.

جدول ۱: ضرائب تشدید شتاب حداکثر زمین و سرعت حداکثر زمین با توجه به نوع خاک زمین [۳]

Site Class B	Site Class				
	سنگ سخت A	سنگ معمولی B	خاک سخت C	خاک نرم D	خاک رس E
PGA (g)	فاکتور تشدید پروود کوتاه F (A)				
≤ 0.10	0.8	1	1.2	1.6	2.5
0.10 < -- < 0.30	0.8	1	1.2	1.4	1.7
0.30 ≤ -- < 0.40	0.8	1	1.1	1.2	1.2
0.40 ≤ -- < 0.50	0.8	1	1	1.1	0.9
≥ 0.50	0.8	1	1	1	0.9
PGV (Cm/s)	فاکتور تشدید پروود ثانویه F (V)				
≤ 10	0.8	1	1.7	2.4	3.5
10 < -- < 30	0.8	1	1.6	2	3.2
30 ≤ -- < 40	0.8	1	1.5	1.8	2.8
40 ≤ -- < 50	0.8	1	1.4	1.6	2.4
≥ 50	0.8	1	1.3	1.5	2.4

تصویر ۳: نحوه‌ی ورود اطلاعات خاص روابط کاهندگی به مدل

اصلاح پارامترهای خروجی روابط کاهندگی برای در نظرگیری اثرات ساختگاه

شرایط خاک محلی در زلزله‌ها بسیار اهمیت دارد و نیازمند آن است که لایه‌های خاک به خوبی آنالیز گردد. سرعت موج زلزله در هر لایه از خاک، سطح آب زیرزمینی، شاخص خمیری در تمام لایه‌های خاک، نرخ و ضریب تحکیم لایه‌های خاک و جنس خاک از مواردی هستند که بررسی می‌شوند. فاکتورهای خاک محلی در NEHRP در سال ۲۰۰۳ برای بررسی تأثیر شرایط خاک محلی در زلزله آنالیز شدند و لایه‌های زمین در ۵ دسته طبقه‌بندی شدند [۳]. این مطالعات توسط NEHRP و بر اساس اطلاعات زمین‌لرزه‌ای کالیفرنیا و اطلاعات ثبت‌شده‌ی کشور آمریکا انجام شده است. در روابط ذیل با کمک ضرایب جدول ۱، شتاب و سرعت زمین در زمین مورد نظر اصلاح می‌گردد. نحوه‌ی اعمال این ضرایب بر اساس روابط زیر است:

$$\text{PGA}_{\text{Surface}} = \text{PGA}_{\text{Base}} * F_A \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

$$\text{PGV}_{\text{Surface}} = \text{PGV}_{\text{Base}} * F_V \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

در طول مدت رخداد یک زمین‌لرزه، خطرات لرزه‌ای همواره به صورت قابل انتشار است، که باید به منظور یک تحلیل جامع در تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه هر دو خطرات در نظر گرفته شود و میزان خسارت آن‌ها با یکدیگر ترکیب گردد [۳].

الف. خطرات لرزه‌ای ناشی از لرزش زمین (Ground Shaking)
ب. خطرات لرزه‌ای ناشی از شکست زمین (Ground Failure)
تا این گام، تنها به خطرات ناشی از لرزش زمین پرداخته شد. در ادامه باید به منظور در نظرگیری خطرات ناشی از شکست زمین نیز قدم‌هایی برداشته شود. مطابق تصویر ۱، خطر ناشی از شکست زمین به ۳ دسته‌ی اصلی روان‌گرایی، زمین‌لغزش و گسلش تقسیم می‌شود.

تحلیل خطر شکست زمین در اثر روان‌گرایی

پدیده‌ی روان‌گرایی^۴، کاهش مقاومت برشی خاک در برابر بار وارده است و خاک مقاومت و سختی خود را به طور کامل از دست می‌دهد و مانند یک مایع رفتار می‌کند. به عبارتی دیگر روان‌گرایی خاک، زمانی روی می‌دهد که تنش مؤثر خاک تا مرز صفر کاهش یافته باشد و در بسیاری از موارد خود را با جوشش ماسه نمایان می‌سازد، علاوه بر اینکه می‌تواند باعث کج شدگی^۵ سازه‌ها گردد، می‌تواند به واسطه‌ی جوشش ماسه و خاک شویی بستر خطوط لوله‌ها، موجبات شکستگی و یا تغییر شکل لوله‌ها را فراهم آورد [۱۶].

خطرات ناشی از روان‌گرایی، پس از زمین‌لرزه‌های ۱۹۶۴ نیگاتا و ۱۹۶۴ آلاسکا مورد توجه مهندسان قرار گرفت. همچنین روان‌گرایی عامل اصلی ویرانی‌های سان‌فرانسیسکو در زمین‌لرزه‌ی ۱۹۸۹ لوماپریتا و بندر کوبه در زمین‌لرزه‌ی بزرگ هانشین در سال ۱۹۹۵ بود. همچنین ویرانی‌های شدیدی که در منطقه‌ی مسکونی و حومه‌ای کرایست چرچ در زلاندنو در طول زمین‌لرزه ۲۰۱۰ کنتبری

و شدیدتر آن در زمین‌لرزه‌ی ۲۰۱۱ زلاندنو اتفاق افتاد، همگی ناشی از روان‌گرایی خاک بود [۱۷].

به منظور در نظر گرفتن خرابی ناشی از روان‌گرایی خاک، باید گام‌های زیر برداشته شود.

- **گام اول:** ترسیم نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه: در این بخش نقشه‌های زمین‌شناسی بر اساس فاکتورهای زیر ترسیم می‌شود:
 - نوع خاک منطقه‌ی مورد مطالعه;
 - سن رسوبات;
 - نوع محیط رسوبی به تفکیک قاره‌ای، ساحلی و جزیره‌ی مصنوعی.
- **گام دوم:** تعیین استعداد روان‌گرایی بر اساس جدول ۲: در این گام استعداد هر یک از بخش‌های منطقه در قالب ۶ دسته تقسیم می‌شود [۱۸].
- **گام سوم:** محاسبه‌ی احتمال روان‌گرایی: در این مرحله بر اساس رابطه‌ی زیر این احتمال تعیین می‌شود [۳].

$$P [\text{Liquefaction SC}] =$$

$$P [\text{Liquefaction SC} | \text{PGA}=a] * P_{m1}$$

$$K_m * K_w$$

- $P [\text{Liquefaction}_{sc}]$: احتمال روان‌گرایی در یک منطقه;
- $P [\text{Liquefaction}_{sc} | \text{PGA}=a]$: احتمال روان‌گرایی شرطی برای طبقه‌ی استعداد داده شده در یک سطح مشخص;
- K_m : ضریب اصلاح بزرگا با توجه به رابطه‌ی زیر [۱۹، ۲۰، ۲۱]:

$$K_m = 0.0027M^3 - 0.0267M^2 - 0.2055M + 2.9188$$

- P_{m1} : نسبتی از مساحت منطقه که دچار روان‌گرایی شده است (بر اساس جدول ۳):
- M : بزرگای زلزله;
- K_w : ضریب اصلاح عمق آب زیرزمینی بر اساس رابطه‌ی زیر [۱۹، ۲۰، ۲۱]:

$$K_w = 0.022d_w + 0.93$$

- **گام چهارم:** تعیین تغییر مکان دائمی زمین در اثر خطرات متأثر از روان‌گرایی؛
الف. پخش جانبی: تغییر شکل‌های جانبی زمین که بر اثر روان‌گرایی ایجاد می‌شود و در زمین‌های متشکل از خاک‌های ماسه‌ای اشباع به وقوع می‌پیوندد و یکی از مهم‌ترین علل ایجاد خسارت در زمان زلزله یا مدتی پس از آن است. این تغییر شکل‌ها به صورت دائمی بوده و میزان آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چندین متر در موارد مختلف متفاوت بوده است. گسترش جانبی معمولاً در نزدیکی

جدول ۲: استخراج استعداد روان‌گرایی مناطق مختلف [۱۸]

	سن زمین‌شناسی				
	دوره‌ی مدرن (کمتر از ۵۰۰ سال)	دوره‌ی هولوسن (کمتر از ۱۱ هزار سال)	دوره‌ی پلیستوسن (بین ۱۱ هزار تا ۲ میلیون سال)	دوره‌ی قبل از پلیستوسن (بیش از ۲ میلیون سال)	
نوع رسوبات	الف: محیط‌های رسوبی در نواحی قاره‌ای				
	River channel	Very High	High	Low	Very Low
	Flood plain	High	Moderate	Low	Very Low
	Alluvial fan and plain	Moderate	Low	Low	Very Low
	Marine terraces & plains	Noun	Low	Very Low	Very Low
	Delta and fan-delta	High	Moderate	Low	Very Low
	Lacustrine and playa	High	Moderate	Low	Very Low
	Colluvium	High	Moderate	Low	Very Low
	Talus	Low	Low	Very Low	Very Low
	Dunes	High	Moderate	Low	Very Low
	Loess	High	High	High	Noun
	Glacial till	Low	Low	Very Low	Very Low
	Tuff	Low	Low	Very Low	Very Low
	Tephra	High	High	Noun	Noun
	Residual soils	Low	Low	Very Low	Very Low
	Sebka	High	Moderate	Low	Very Low
	ب: محیط‌های رسوبی در نواحی ساحلی				
	Delta	Very High	High	Low	Very Low
	Estuarine	High	Moderate	Low	Very Low
	Beach - High Wave Energy	Moderate	Low	Very Low	Very Low
	Beach - Low Wave Energy	High	Moderate	Low	Very Low
	Lagoonal	High	Moderate	Low	Very Low
	Fore shore	High	Moderate	Low	Very Low
	پ: محیط‌های رسوبی در جزیره‌ی مصنوعی				
	Uncompacted Fill	Very High	Noun	Noun	Noun
	Compacted Fill	Low	Noun	Noun	Noun

جدول ۳: تعیین Pml و احتمال روان‌گرایی شرطی بر اساس نوع استعداد منطقه [۲۲، ۲۳]

نوع استعداد	P _{ml}	P [PGA = a]
Very High	0.25	0 ≤ 9.09 a - 0.82 ≤ 1.0
High	0.2	0 ≤ 7.67 a - 0.92 ≤ 1.0
Moderate	0.1	0 ≤ 6.67 a - 1.0 ≤ 1.0
Low	0.05	0 ≤ 5.57 a - 1.18 ≤ 1.0
Very Low	0.02	0 ≤ 4.16 a - 1.08 ≤ 1.0
None	0	0

- E [PGD_{SC}]: مقدار میانگین تغییر مکان دائمی مورد انتظار

- K_Δ: ضریب اصلاح تغییر مکان بر اساس رابطه‌ی زیر [۱۸]:
رابطه‌ی ۱۰:

$$K_{\Delta} = 0.0086M^3 - 0.0914M^2 + 0.4698M - 0.983$$

E [PGD] (PGA / PLSC): میزان میانگین تغییر مکان دائمی

زمین برای یک طبقه‌ی آسیب‌پذیری مشخص تحت یک تکان نرمال شده نسبت به آستانه‌ی شتاب زمین (PGA (t) (مطابق جدول ۴) که آستانه‌ی بروز روان‌گرایی است. میزان میانگین این مقدار با (PGA/PGA (t) مطابق جدول ۵ معادل شده است.

مرزهای آزاد زمین مثل رودخانه‌ها، و یا دیوارهای ساحلی اتفاق می‌افتد. این بدین دلیل است که در این مکان‌ها سطح آب بالا است و شرایط مرزی مطلوب هستند. وقوع این پدیده تاکنون خسارت‌های زیادی به پی ساختمان‌ها، پل‌ها، خاکریزها، خطوط لوله‌ی مدفون در زمین و سایر شریان‌های حیاتی وارد کرده است. محاسبه‌ی تغییر مکان دائمی زمین در اثر روان‌گرایی به وسیله‌ی رابطه‌ی زیر است [۲۴]:

رابطه‌ی ۹:

$$E [PGD_{SC}] = K_{\Delta} * E [PGD] (PGA / PL_{SC})$$

جدول ۴: تعیین آستانه‌ی شتاب زمین

نوع استعداد	PGA (t)
Very High	0.09g
High	0.12g
Moderate	0.15g
Low	0.21g
Very Low	0.26g
None	0

جدول ۵: تعیین میزان تغییر مکان معادل بر اساس مقدار میانگین تغییر مکان دائمی [۲۵، ۱۸]

میزان تغییر مکان معادل به اینچ	میزان حداکثر شتاب به آستانه‌ی شتاب زمین
12x-12	اگر $1 < x < 2$
18x-24	اگر $2 < x < 3$
70x-180	اگر $3 < x < 4$

(PGA/PGA (t))=x

ب. نشست زمین: نشست نتیجه‌ای از روان‌گرایی در خاک دانه‌ای اشباع است. نشست ارتباط مستقیم به جمع ضخامت لایه‌های خاک نرم و یا مستعد روان‌گرایی دارد. در محلی که میزان نشست ناهموار شدید باشد؛ صدمه مربوط به فونداسیون سازه‌ها و خطوط لوله بسیار بالا است [۲۶]. دومین خرابی که در اثر زلزله ایجاد می‌شود نشست زمین است. برای تخمین تغییر مکان دائمی زمین ناشی از این خطر، ۲ فرض اساسی شده است:

- نشست متناسب با استعداد روان‌گرایی در منطقه است. بر همین اساس، میزان تغییر مکان در اثر نشست زمین را با توجه به جدول ۶ می‌توان تخمین زد.

جدول ۶: میزان نشست زمین بر اساس استعداد روان‌گرایی [۲۶]

ردیف	استعداد روان‌گرایی	میزان نشست زمین (اینچ)
۱	بدون روان‌گرا	۰
۲	خیلی کم	۰
۳	کم	۱
۴	متوسط	۲
۵	زیاد	۶
۶	خیلی زیاد	۱۲

- هر چه ضخامت خاکی که در منطقه دچار روان‌گرایی شده است، بیشتر باشد؛ نشست نیز به همان نسبت بیشتر خواهد بود. هر چند در بدترین حالت، میزان نشست نباید بیش از ۱/۰ ضخامت خاکی که دچار روان‌گرایی شده تخمین زده شود.

- گام پنجم: ماکزیمم تغییر مکان ناشی از پخش جانبی و تغییر مکان ناشی از نشست زمین به منزله‌ی میزان تغییر مکان دائمی زمین ناشی از روان‌گرایی در آنالیزها مورد استفاده قرار خواهد گرفت.
- اعمال تمامی گام‌های فوق برای در نظرگیری روان‌گرایی در سامانه‌ی موجود به کمک تصویر ۴ صورت می‌گیرد.



تصویر ۴: پنجره‌ی ورود اطلاعات در داخل مدل برای در نظرگیری روان‌گرایی ناشی از زمین‌لرزه

در نظرگیری خطرات ناشی از زمین‌لغزش

زمین‌لغزش، به پدیده‌ی گسیختگی و ناپایداری شیب‌های خاکی و سنگی در اثر فزونی مؤلفه‌های جابه‌جایی در راستای شیب بر نیروی ثقل، اطلاق می‌گردد. گاهی اوقات با خزش^۷ که حرکت آهسته‌ی توده‌ی زیادی از خاک است، به شکل مترادف به کار می‌رود. وقوع خزش و یا زمین‌لغزش آثار تقریباً مشابهی را بر شبکه‌ها وارد می‌آورند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به شکستگی خطوط انتقال و یا تخریب سازه‌های در مجاورت زمین‌لغزش اشاره نمود. اگرچه زمین‌لغزش‌ها معمولاً در ارتباط با مناطق کوهستانی شکل می‌گیرند، اما در مناطق کم‌ارتفاع نیز امکان رخداد آن‌ها وجود دارد. لرزیدن زمین به تنهایی خود می‌تواند عامل لغزش باشد. نحوه‌ی محاسبه‌ی میزان تغییر مکان دائمی زمین در اثر زمین‌لغزش مطابق گام‌های زیر است:

- گام اول: تهیه‌ی نقشه‌ای از منطقه با توجه به فاکتورهای زیر:
 - میزان مرطوب بودن یا خشک بودن منطقه مشخص شود؛
 - میزان شیب منطقه برحسب درجه مشخص شود؛
 - نوع رسوبات منطقه بر حسب مقاومت آن‌ها.

جدول ۷: تعیین استعداد لغزش منطقه‌ی مورد نظر [۲۷]

		میزان شیب زمین بر حسب درجه					
		0-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40 >
حالت اول - خاک خشک DRY							
نوع زمین و خاک منطقه	A) Strongly Cemented Rocks: صخره‌ی سخت	None	None	1	2	4	6
	B) Weakly Cemented Rocks and Soils: صخره‌ی ضعیف و نرم	None	3	4	5	6	7
	C) Argillaceous Rocks: صخره‌ی رسی	5	6	7	9	9	9
حالت دوم - خاک مرطوب Wet							
نوع زمین و خاک منطقه	A. Strongly Cemented Rocks: صخره‌ی سخت	None	3	6	7	8	8
	B) Weakly Cemented Rocks and Soils: صخره‌ی ضعیف و نرم	5	8	9	9	9	10
	C) Argillaceous Rocks: صخره‌ی رسی	7	9	10	10	10	10

گسلش سطحی

گسلش سطحی ممکن است به موجب تولید گسل توسط زمین‌لرزه یا حرکات القایی در گسل‌های مجاور پدید آید. شکستگی گسل معمولاً در منطقه‌ای که دارای بیشترین حرکت است به منزله‌ی اثر اصلی و شکستگی‌های دیگر ناشی از تکان در فواصل دورتر از اثر اصلی اتفاق می‌افتد. میزان میانه ماکزیمم تغییر مکان (متر) از رابطه‌ی زیر بر اساس بزرگای زلزله به دست می‌آید [۳۰].

رابطه‌ی ۱۳:

$$\text{Log (MD)} = -5.26 + 0.79 * M$$

نتایج و بحث

به منظور اجرای مدل و پیاده‌سازی سامانه‌ی طراحی شده، نقشه‌ی خطر لرزه‌ای برای شهر نیشابور تهیه می‌گردد تا بر روی خروجی‌های موجود بتوان به نحو مناسب تری بحث و بررسی کرد. نیشابور (با حدود ۲۰۰ هزار نفر جمعیت) در جنوب رشته کوه‌های بینالود، در شمال خاوری ایران واقع شده است. این شهرستان در طول جغرافیایی بین ۵۸ تا ۵۹ درجه و عرض جغرافیایی بین ۳۵ تا ۳۷ درجه، واقع شده است؛ که از شمال به شهرستان‌های چناران و قوچان، از جنوب به شهرستان‌های کاشمر و تربت حیدریه، از شرق به شهرستان مشهد و از غرب به شهرستان‌های اسفراین و سبزوار محدود شده است. این شهر دست کم چهار بار توسط زلزله‌هایی تاریخی (در سال‌های ۱۲۰۹، ۱۲۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۵ میلادی) تخریب و گاه نابود شده است. در اطراف نیشابور سه گسل فعال وجود دارد: گسل بینالود، گسل شمال نیشابور و گسل نیشابور. گسل‌های شمال نیشابور و بینالود در دامنه‌ی رشته کوه بینالود، در شمال نیشابور، قرار دارند. گسل نیشابور، در باختر نیشابور، قرار دارد. گسل نیشابور که در ۱۰ کیلومتری جنوب گسل شمال نیشابور قرار دارد، یک گسل راندگی به طول ۵۰ کیلومتر است. در هر انتهای گسل، دو قطعه جوان و راندگی به طول ۱۰ کیلومتر وجود دارد. این گسل نزدیک شهر نیشابور و یک چشمه‌ی احتمالی برای زمین‌لرزه‌های ۱۲۰۹ و ۱۴۰۵ میلادی است [۳۱]. انتخاب سناریوی زمین‌لرزه نقش بسیار زیادی در خروجی‌های تحلیل دارد. از این رو باید مقادیر سناریوی زلزله بسیار محتمل و قدری بدبینانه در نظر

- گام دوم: تعیین استعداد لغزش زمین بر اساس جدول ۷: در این بخش استعداد هر یک از بخش‌های منطقه در قالب ۱۱ طبقه تعیین می‌گردد [۲۸].
- گام سوم: تعیین شتاب بحرانی بر اساس استعداد لغزش منطقه [۲۷].
- گام چهارم: تعیین درصد مساحت نقشه حائز زمین لغزش بر اساس استعداد لغزش منطقه [۲۸].
- گام پنجم: تعیین تغییر مکان دائمی زمین: بر اساس رابطه‌ی ۱۱ می‌توان میزان حداکثر تغییر مکان دائمی زمین را محاسبه نمود.

رابطه‌ی ۱۱:

$$E[\text{PGD}] = E[d/a_{is}] * a_{is} * n$$

- $E[\text{PGD}]$: میزان تغییر مکان دائمی مورد انتظار بر حسب cm

- $E[d/a_{is}]$: فاکتور تغییر مکان مورد انتظار بر اساس تصویر ۵

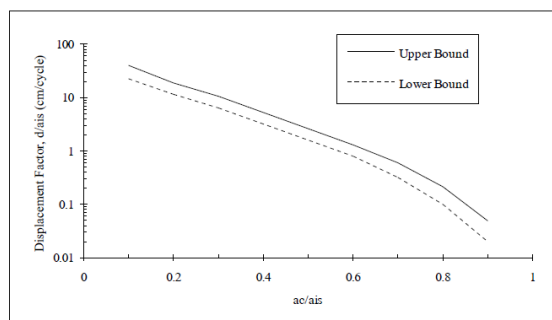
- a_{is} : تعیین شتاب تحریک شده

- n : تعداد سیکل‌ها بر اساس رابطه‌ی زیر [۱۹]:
رابطه‌ی ۱۲:

$$n = 0.3419M^3 * 5.5214M^2 * 33.6154M * 70.7692$$

- m : بزرگای زلزله

اعمال تمامی گام‌های فوق برای در نظرگیری زمین‌لغزش در سامانه‌ی موجود صورت می‌گیرد.



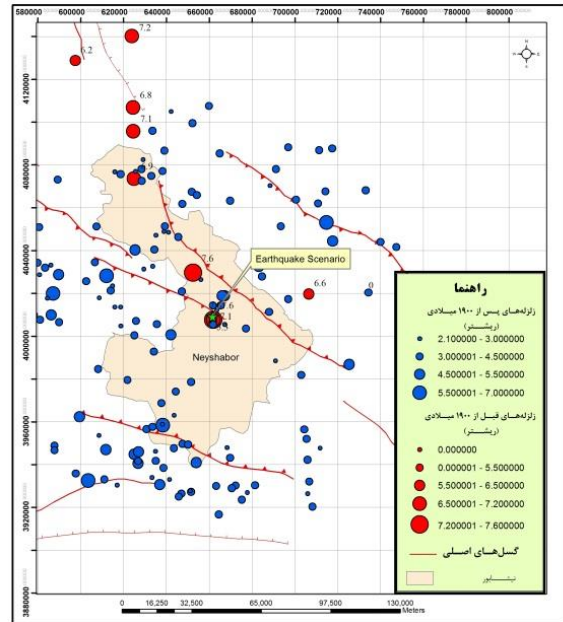
تصویر ۵: تعیین میزان $E[d/a_{is}]$ بر اساس a_c/a_{is} [۲۹]

۳. مختصات محل وقوع زلزله: محل وقوع زلزله را با توجه به نقشه‌ی موقعیت زلزله‌های گذشته اطراف شهرستان نیشابور (تصویر ۶)، در یکی از زلزله‌های تاریخی که بر روی گسل نیشابور با مختصات ۶۶۱۵۷۱ و ۴۰۰۹۰۰۱ در مقیاس UTM واقع شده است، انتخاب گردیده است.

مدل ارائه شده با احتساب سناریوی زلزله‌ی فوق برای شهر نیشابور در سامانه‌ی نرم‌افزاری موجود با ۱۰ هزار بار تکرار پیاده‌سازی گردید. بر این اساس مطابق تصویر ۷، نقشه‌ی خروجی تحلیل خطر لرزش زمین بر اساس حداکثر شتاب زمین، حداکثر سرعت زمین، حداکثر تغییر مکان زمین قابل مشاهده است؛ همچنین در تصویر ۸، میانگین ۱۰ هزار بار تکرار سایر پارامترهای ورودی مدل برای تحلیل خطر لرزش زمین قابل مشاهده است.

نقشه‌ی پراکندگی حداکثر شتاب زمین برای سناریوی زلزله‌ی معلوم (تصویر ۷، الف)، نشان از تغییر مقادیر PGA برای کل شهرستان بین $0.037g$ تا $0.48g$ دارد؛ و همان‌طور که در تصویر قابل مشاهده است، مقادیر بالای PGA در نزدیکی محل سناریوی زلزله است. این مسئله نشان از درستی مدل در ارائه‌ی خروجی دارد. گفتنی است در برخی مناطق در نقشه‌ی فوق گاه مشاهده می‌شود که یک محدوده، تغییرات PGA آن در یک طبقه‌ی خاص (برای مثال سبزرنگ) است ولی در داخل همان محدوده، یک لکه (برای مثال آبی‌رنگ) که نشان از تغییر PGA دارد، مشاهده می‌شود؛ این مسئله نشانه‌ی اشتباه در محاسبات سامانه نیست، بلکه این مسئله مؤید این است که احتمالاً در آن لکه سایر خصوصیات (به جز بزرگای زلزله‌ی ورودی، محل وقوع زلزله و عمق کانونی زلزله)، از جمله نوع خاک منطقه، میزان شیب منطقه و ... سبب تغییر در مقادیر PGA آن لکه می‌مورد نظر شده‌اند.

نقشه‌ی پراکندگی حداکثر سرعت زمین برای سناریوی زلزله‌ی معلوم (تصویر ۷، ب)، نشان از تغییر PGV برای کل شهرستان بین 2.11 Cm/s تا 26 Cm/s دارد. همان‌طور که در تصویر قابل مشاهده است، نقشه‌ی PGV برخلاف نقشه‌ی PGA، پخشایش مقادیر PGV در ۵ طبقه‌ی مورد نظر، با فاصله از محل سناریوی زلزله منظم نیست؛ که این مسئله نشان از این دارد که مقادیر

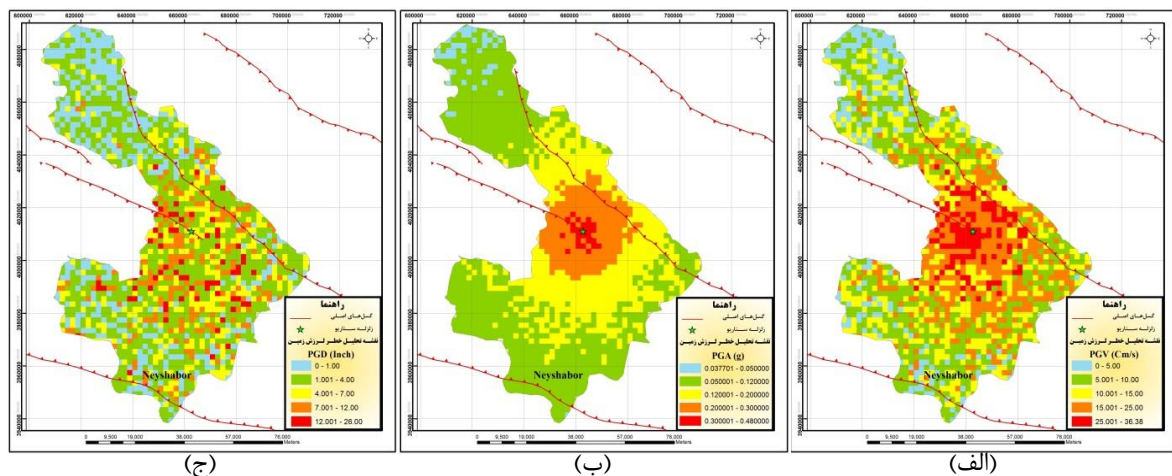


تصویر ۶: موقعیت سناریوی زلزله بر روی شهر نیشابور

گرفته شود [۳۲]. مقادیر سناریوی زمین‌لرزه در این پژوهش به صورت زیر است:

۱. بزرگای زمین‌لرزه: با توجه به اینکه پیشینه‌ی تاریخی گویای زلزله‌های با بزرگای بالا در دوران مختلف در داخل و اطراف شهرستان نیشابور است؛ به طوری که دست‌کم ۴ لرزه‌ی تاریخی با بزرگای بیش از ۷ ریشتر در کمتر از ۲۰۰ سال (۱۲۰۹ تا ۱۴۰۵ میلادی) نزدیک نیشابور در شمال خاوری ایران زمین اتفاق افتاده است [۳۳]. بزرگای زمین‌لرزه‌ی احتمالی را به طور تصادفی در بازه‌ی بین ۶ تا $7/5$ ریشتر انتخاب می‌گردد.

۲. عمق کانونی زمین‌لرزه: با توجه به اینکه زلزله‌های قبلی در این منطقه بیش از ۸۰٪ آن [۳۳] در عمق بین ۵ تا ۲۵ کیلومتری واقع شده‌اند، میزان عمق کانونی زمین‌لرزه به طور تصادفی در بازه‌ی بین ۵ تا ۲۵ کیلومتر انتخاب می‌گردد.



تصویر ۷: نقشه‌ی تحلیل خطر لرزش زمین شهر نیشابور برای سناریوی زلزله‌ی مفروض

PGV برای هر نقطه‌ی خاص بیشتر از آنکه به پارامترهای ورودی (بزرگای لرزه و ورودی، محل وقوع زلزله و عمق کانونی زلزله) وابسته باشند؛ به خصوصیات ژئولوژی منطقه‌ی مورد نظر از جمله نوع خاک منطقه، میزان شیب منطقه و... وابسته است.

نقشه‌ی پراکندگی حداکثر تغییر مکان زمین برای سناریوی زلزله‌ی معلوم (تصویر ۷، ج)، نشان از تغییر PGD برای کل شهرستان بین ۰.۱۳ in تا ۲۶ in دارد. همان‌طور که در تصویر قابل مشاهده است، نقشه‌ی PGD نیز همانند PGV بیشتر به خصوصیات ژئولوژی منطقه‌ی مورد نظر از جمله نوع خاک منطقه، میزان شیب منطقه و... وابسته است.

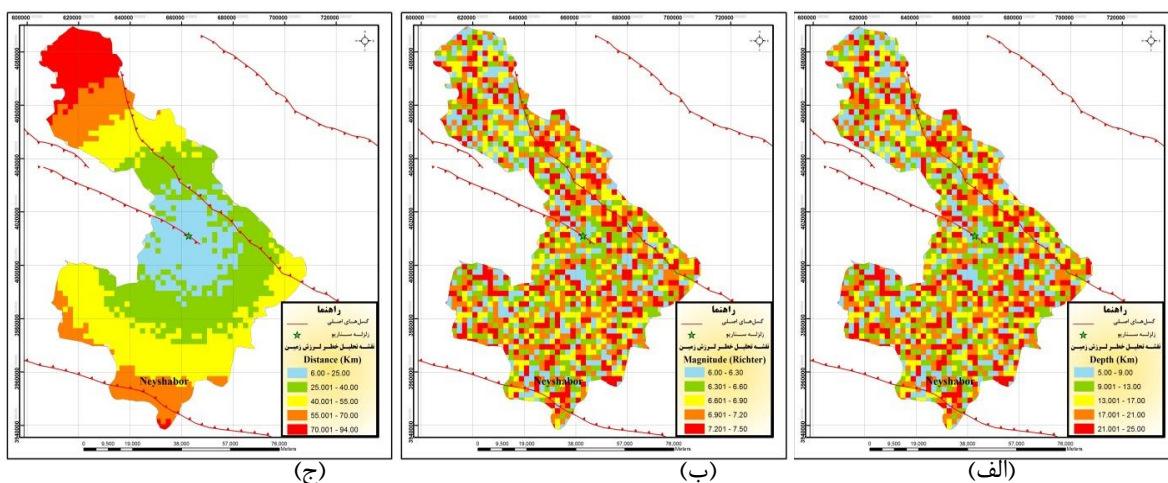
در نقشه‌ی پراکندگی بزرگای زمین‌لرزه (تصویر ۸، الف) و پراکندگی عمق کانونی زمین‌لرزه (تصویر ۸، ب)، هر دو بین محدوده‌هایی که در سناریوی زلزله مشخص شده بودند در حال تغییر است، با توجه به اینکه برای هر بار آنالیز برای هر نقطه یک مقدار تصادفی برای بزرگا و عمق کانونی انتخاب می‌شده است، در تصاویر هم این پراکندگی و نامنظم بودن قابل مشاهده است، که نشان از درستی مدل در اطلاعات ورودی دارد.

نقشه‌ی پراکندگی فاصله‌ی کانونی زمین‌لرزه تا محل وقوع زلزله (تصویر ۸، ج)، نشان از تغییر این فاصله برای کل شهرستان

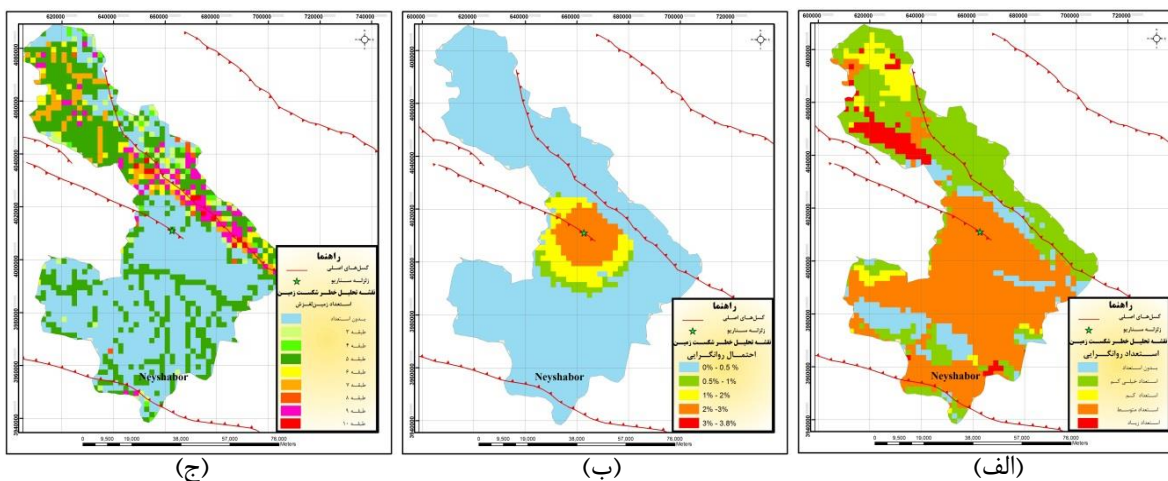
بین ۶ تا ۹۳ کیلومتر دارد. گفتنی است در برخی مناطق در نقشه‌ی ۸ مشاهده می‌شود که محدوده‌ای، تغییرات فاصله‌ی آن در یک طبقه‌ی خاص (برای مثال آبی رنگ) است ولی در داخل همان محدوده، یک لکه (برای مثال سبز رنگ) که نشان از تغییر غیرمنظم فاصله دارد، مشاهده می‌شود؛ این مسئله نشان از اشتباه در محاسبات سامانه نیست، بلکه فاصله‌ی کانونی از برآیند فاصله‌ی افقی و عمق کانونی به دست می‌آید و در آن مناطق تأثیر عمق کانونی بر رابطه، سبب تغییر در مقادیر فاصله برای آن لکه‌ی مورد نظر شده است.

در تصویر ۹، نتایج اولیه‌ی تحلیل خطر شکست زمین که شامل استعداد روان‌گرایی، احتمال روان‌گرایی و استعداد زمین‌لغزش است، قابل مشاهده است و در تصویر ۱۰، نقشه‌ی تحلیل خطر شکست زمین برای ۲ خطر ثانویه‌ی ناشی از زلزله (روان‌گرایی و زمین‌لغزش) قابل مشاهده است.

نقشه‌ی پراکندگی استعداد روان‌گرایی (تصویر ۹، الف)، نشان از تغییر این مقدار بین ۵ طبقه استعداد مشخص (از بدون استعداد تا استعداد زیاد) دارد. استعداد روان‌گرایی همان‌طور که در الگوریتم آن در مبحث روش‌شناسی به آن اشاره شد، به ۳ مشخصه‌ی نوع خاک و رسوبات منطقه، سن زمین‌شناسی و نوع محیط رسوبی



تصویر ۸: سایر خروجی‌های سامانه‌ی نرم‌افزاری برای سناریوی زلزله‌ی مفروض



تصویر ۹: نتایج اولیه‌ی تحلیل خطر شکست زمین شهر نیشابور برای سناریوی زلزله‌ی معلوم

وابسته است. با توجه به تصویر فوق، بخش عمده‌ی شهرستان بین ۲ طبقه‌ی استعداد کم و متوسط واقع شده است و استعداد بسیار زیاد روان‌گرایی در شهرستان وجود ندارد و استعداد زیاد روان‌گرایی در شمال غربی شهرستان وجود دارد.

نقشه‌ی پراکندگی احتمال روان‌گرایی (تصویر ۹، ب)، نشان از تغییر این مقدار بین ۰ تا ۴٪ دارد. احتمال روان‌گرایی بسیار به مناطقی که توأمًا مقادیر PGA بالا و طبقه‌ی استعداد بالا دارند، وابسته است. با توجه به اینکه مقادیر بالای استعداد روان‌گرایی در مناطقی واقع شده است که از میزان PGA پایین‌تری برخوردار است، از این رو احتمال روان‌گرایی در اکثر مناطق شهرستان صفر و در مناطق دیگر بسیار پایین است.

نقشه‌ی پراکندگی استعداد زمین‌لغزش (تصویر ۹، ج)، نشان از تغییر این مقدار بین ۹ طبقه استعداد مشخص دارد. استعداد زمین‌لغزش همان‌طور که در الگوریتم آن در مبحث روش شناسی به آن اشاره شد، به ۳ مشخصه‌ی نوع خاک و رسوبات منطقه، میزان شیب زمین و میزان رطوبت زمین وابسته است. با توجه به تصویر ۹، بخش عمده‌ی شهرستان در طبقه‌ی بدون استعداد واقع شده است و استعداد بالای زمین‌لغزش در نواحی شرقی و شمال شرقی شهرستان وجود دارد.

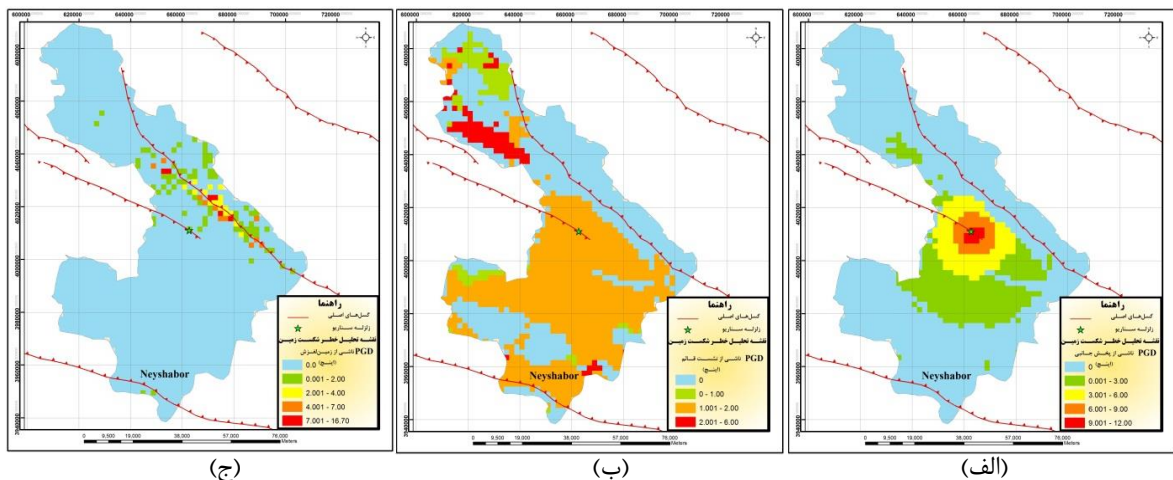
همان‌طور که در مبحث روش شناسی به آن اشاره شد، روان‌گرایی ناشی از زمین‌لرزه خود را به صورت ۲ خطر نشست قائم و پخش جانبی نشان می‌دهد. از این رو نقشه‌ی پراکندگی تغییر مکان ناشی از نشست قائم (تصویر ۱۰، الف)، نشان از تغییر این مقدار بین ۰ تا ۶ اینچ دارد. مقادیر تغییر مکان ناشی از نشست قائم بسیار به استعداد روان‌گرایی وابسته است و مقادیر PGD بالا بیشتر در شمال غربی شهرستان وجود دارد. از طرفی دیگر نقشه‌ی پراکندگی تغییر مکان ناشی از پخش جانبی (تصویر ۱۰، ب)، نشان از تغییر این مقدار بین ۰ تا ۱۲ اینچ دارد. مقادیر تغییر مکان ناشی از پخش جانبی علاوه بر استعداد روان‌گرایی به مقادیر PGA در هر نقطه بستگی دارد، از این رو این مقادیر بسیار به نزدیکی به محل سناریوی زلزله بستگی دارد.

نقشه‌ی پراکندگی تغییر مکان ناشی از زمین‌لغزش (تصویر ۱۰، ج)، نشان از تغییر این مقدار بین ۰ تا ۱۷ اینچ دارد. مقادیر تغییر مکان ناشی از زمین‌لغزش هم علاوه بر استعداد زمین‌لغزش به مقادیر PGA در هر نقطه بستگی دارد، مقادیر بالای تغییر مکان ناشی از زمین‌لغزش در نواحی شرقی و شمال شرقی شهرستان که به صورت توأمًا از مقادیر بالای PGA و استعداد بالای زمین‌لغزش برخوردار است، واقع شده است.

نتیجه‌گیری

زلزله به منزله‌ی پدیده‌ای طبیعی، پیوسته در طول تاریخ باعث خرابی‌ها و از بین رفتن جان انسان‌های زیادی شده است. برنامه‌ریزی مناسب برای پیش‌گیری یا کاهش آثار مخرب این پدیده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و شناسایی و پیش‌بینی نحوه‌ی عمل و نوع تأثیرگذاری آن به مدیران کمک می‌کند تا به نوشتن سناریوهای دقیق‌تری از روند بحران و نیز کنترل آن اقدام نمایند و در نتیجه سرعت عملکرد خود را در مهار بحران در حد زیادی بالا ببرند. نقشه و نتایج پیش‌بینی محدوده‌ی خطر اولیه و ثانویه‌ی زلزله (از جمله روان‌گرایی خاک و زمین‌لغزش) در قالب سناریوی آینده در چهارچوب تحلیل احتمال خطر می‌تواند ابزار مناسبی در مدیریت خطر و کاهش خسارت ناشی از این پدیده گردد. رویکرد ارزیابی مورد استفاده می‌تواند با در نظر گرفتن شدت و محدوده‌ی خطر و عناصر حساس در گرفتن تصمیماتی برای کاهش خطر مورد استفاده قرار گیرد.

برای برنامه‌ریزی فازهای مختلف مدیریت بحران نیاز به در دست داشتن برآوردی از تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه‌ی مورد نظر و محل‌های بحرانی آن است. برای به‌دست آوردن این برآورد نیاز به تهیه‌ی یک مدل است. مدل ارائه شده با احتساب سناریوی زلزله‌ی فوق برای شهر نیشابور در سامانه‌ی نرم‌افزاری موجود پیاده‌سازی گردید و با استفاده از تئوری مونت کارلو، تمامی گام‌ها تا رسیدن به خروجی به صورت تصادفی، ۱۰ هزار بار تکرار شد و پس از میانگین‌گیری، خروجی‌های تحلیل تهیه گردید. مدل در نظر گرفته شده دارای سه بخش ورودی، پردازش و خروجی خواهد



تصویر ۱۰: نقشه‌ی تحلیل خطر شکست زمین شهر نیشابور ناشی از زلزله، سناریو برای ۲ خطر روان‌گرایی و زمین‌لغزش

۳. حسن زاده، رضا؛ عباس نژاد، احمد (۱۳۸۵). تحلیل خطر لرزه‌ای شهر کرمان با روش‌های احتمالاتی و تحلیلی، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، <http://www.civilica.com/Paper-SGSI10-SGSI10-256.html>.

۴. علمی‌زاده، هیوا؛ هدائی، علی اصغر (۱۳۸۸). مدیریت بحران در ارتباط با خطر گسلش و زمین‌لرزه (مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی دشت سیلاخور). *فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی امداد و نجات*، شماره‌ی چهارم، زمستان.

۵. رفیعه، زهرا؛ زارع، مهدی؛ قیطانچی، محمدرضا؛ ملکی، زهرا (۱۳۹۰). پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لرزه در گستره‌ی استان لرستان. *نشریه‌ی زمین، بهار ۱۳۹۰*، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۱۹، ۵۱-۶۳.

۶. نجفی، محسن؛ مهرجردی، احمد علی؛ عابدینی، حمیدرضا (۱۳۹۲). تحلیل خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی در شهر خورموج، اولین همایش ملی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۷. عبدالله‌زاده، علی؛ اونق، مجید؛ مصطفی‌زاده، رؤف (۱۳۹۲). ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیده‌ی روان‌گرایی خاک، مطالعه‌ی موردی: شهرستان گرگان در استان گلستان، *دوفصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، شماره‌ی چهارم، پاییز و زمستان.

۸. ناطق‌الهی، فریبرز (۱۳۷۸). مدیریت بحران زمین‌لرزه در ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

9. Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J., (2003). Crisis 2003. Program for computing seismic Hazard, Ver. 3.01.

10. National Planning Scenarios (March, 2006). Created for use in National, Federal State and Local Homeland Security Preparedness Activities.

11. Zaré, M., Bard, P-Y. (1999). Attenuation of Peak Ground Acceleration in Iran, 5th National Conference, France.

12. Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A., Manouchehri Dana, F., (2007). Attenuation Relationships for Iran, *Journal of Earthquake Engineering*, 11:4, 469-492, DOI:10.1080/13632460601034049.

13. Federal Emergency Management Agency: FEMA (1999). HAZUS 97 Technical Manual. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.

14. Bray J.D., Sancio, R.B (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility of fine grained soils ASCE *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 132(9), 1165-1177.

15. Juang, C.H, Yang, S.H, Yuan, H., Fang, S.Y. (2005). Liquefaction in the Chi-Chi earthquake – effect of fines and capping non-liquefiable layers *Journal of the Japanese Geotechnical Society of Soils and Foundations*, Vol. 45 No. 6 pp 89-101.

16. Youd, T. L., Perkins, D. M., (1978). Mapping of Liquefaction Induced Ground Failure Potential, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, vol. 104, no. 4, 433-446.

17. Liao, S.S., Veneziano, D., R.V. Whitman, (1988). Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability. *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 114, No. 4, April.

18. Seed, H. B., Idriss, I. M. (1982). *Ground Motions and*

بود. در این مدل تلاش شده که از مناسب‌ترین روابط موجود برای محاسبه‌ی برآورد خطر لرزه‌ای استفاده شود. از طرفی با توجه به حجم بالای محاسبات ریاضی و آنالیزهای مکانی و همچنین حجم بالای داده‌های ورودی (که عمدتاً داده‌ها از نوع مکانی هستند)، مدلی در بستر سیستم اطلاعات مکانی (GIS) طراحی گردید. نتایجی که از تهیه‌ی این مدل می‌توان گرفت عبارتند از:

- با توجه به اینکه در طراحی مدل از پارامترهای متعدد و همچنین از بستر سیستم اطلاعات مکانی استفاده شده است، جامعیت مدل تا حد قابل قبولی بالا است و اجرای این مدل محدود به منطقه‌ی خاصی نیست و در صورت در اختیار بودن داده‌های مورد نیاز برای سایر نقاط کشور نیز قابل اجرا و پیاده‌سازی است.

- با توجه به اینکه پارامترهای ورودی زمین‌لرزه‌ها قابل پیش‌بینی نیست، عموماً تحلیل‌های زلزله از عدم قطعیت‌های بالایی برخوردارند. در این روش با توجه به اینکه از تعداد دفعات تکرار زیاد (مطابق با شبیه‌سازی مونت کارلو) استفاده می‌شود، تا حد قابل قبولی میزان عدم قطعیت‌ها کاهش یافته و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود.

- انواع خروجی‌های این مدل در بخش تحلیل خطر لرزه‌ای شامل ۳ گروه زیر است که برای نمونه این خروجی‌ها برای شهر نیشابور پیاده‌سازی گردید:

۱. در بخش تحلیل خطر لرزه‌ای در اثر لرزش زمین، ۳ خروجی اصلی حداکثر شتاب زمین، حداکثر سرعت زمین و حداکثر تغییر مکان زمین در منطقه‌ی مورد نظر در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی قابل مشاهده است.

۲. در بخش تحلیل خطر لرزه‌ای در اثر شکست زمین و خطر روان‌گرایی، ۴ خروجی اصلی نقشه‌ی پراکندگی استعداد روان‌گرایی، احتمال روان‌گرایی، تغییر مکان ناشی از نشست قائم و مکان ناشی از پخش جانبی در منطقه‌ی مورد نظر در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی قابل مشاهده است.

۳. در بخش تحلیل خطر لرزه‌ای در اثر شکست زمین و خطر زمین‌لغزش، ۲ خروجی اصلی نقشه‌ی پراکندگی استعداد زمین‌لغزش و تغییر مکان ناشی از زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد نظر در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی قابل مشاهده است.

پی‌نوشت

1. Peak Ground Displacement
2. Peak Ground Velocity
3. Peak Ground Acceleration
4. Liquefaction
5. Tilting
6. Landslide
7. Creep

منابع

1. World Disaster Report (2002). 185.
2. Bhatia S., M.R. Kumar, H.K. Gupta (1999). A proba-

- (2000). Probabilistic earthquake scenarios: extending risk analysis methodologies to spatially distributed systems. *Earthquake Spectra*, 16(3), 557-572.
31. Berberian, M., Yeats, R., (1999), Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 120-139.
- Soil Liquefaction During Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, Monograph Series, p. 13.
19. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Chung, R. M., (1985). Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, vol. 111, no. 12, p. 1425-1445.
20. National Research Council, (1985). Liquefaction of Soils During Earthquakes, Committee on Earthquake Engineering, Commission on Engineering and Technical Systems, National Academy Press, Washington, DC.
21. Power, M. S., Dawson, A.W. Streiff, D.W. Perman, R.G., Haley, S. C., (1982). Evaluation of Liquefaction Susceptibility in the San Diego, California Urban Area. Proceedings 3rd International Conference on Microzonation, II, pp. 957-968.
22. Joyner, W.B., D.M. Boore, (1988). Measurement, Characterization, and Prediction of Strong Ground Motion. *Proceedings of Earthquake Engineering & Soil Dynamics II*, pp. 43- 102. Park City, Utah, 27 June 1988. New York: Geotechnical Division of the American Society of Civil Engineers.
23. Sadigh, K., Egan, J. A., Youngs, R. R., (1986). Specification of Ground Motion for Seismic Design of Long Period Structures. *Earthquake Notes*, vol. 57, no. 1, p. 13, relationships are tabulated in Joyner and Boore (1988) and Youngs and others (1987).
24. Tokimatsu, A. M., Seed, H. B., (1987). Evaluation of Settlements in Sands Due to Earthquake Shaking. *Journal of the Geotechnical Division, American Society of Civil Engineers*, vol. 113, no. 8, pp. 681-878.
25. Wilson, R. C., Keefer D. K., (1985). Predicting Areal Limits of Earthquake Induced Landsliding. *Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region*, U.S. Geological Survey Professional Paper, Ziony, J. I., Editor, pp. 317-493.
26. Wiczeorek, G. F., Wilson, R. C. Harp, E. L., (1985). Map of Slope Stability During Earthquakes in San Mateo County, California, U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigations Map I-1257-E, scale 1:62,500.
27. Makdisi, F.I., Seed, H.B., (1978). Simplified Procedure for Estimating Dam and Embankment Earthquake-Induced Deformations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, vol. 104, No. GT7, July, pp. 849-867.
28. Wells, D. L. Coppersmith, K. J., (1994). New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v 84, pp. 974-1002.
۲۹. فتاحی، مرتضی؛ رستمی مهربان، سمیه؛ طالبیان، مرتضی؛ بحرودی، عباس؛ هالینگورث، جیمز؛ والکر، ریچارد (۱۳۸۸). بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان. *مجله علوم زمین*، بهار ۹۰، سال بیستم، شماره ۷۹، ۵۵ - ۶۰.
30. Chang, S.E.; Shinozuka, Masanobu, Moore, James E.,

