

به نام خداوند جان و خرد



گزارش مدیریتی (مستخرج از طرح پژوهشی)

محاسبات ریسک و تعیین نرخ بیمه زلزله ساختمان‌های مسکونی برای صندوق
بیمه حوادث طبیعی کشور

گزارش مدیریتی مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۱۴۶
تابستان ۱۴۰۰

پژوهشکده بیمه

گروه پژوهشی بیمه اموال و مسئولیت/میز تخصصی بیمه حوادث فاجعه‌آمیز و خسارت‌های بزرگ

شناسنامه عمومی طرح پژوهشی پشتیبان	
عنوان طرح	محاسبات ریسک و تعیین نرخ بیمه زلزله ساختمان‌های مسکونی برای صندوق بیمه حوادث طبیعی کشور
شماره قرارداد	۷۰۷۴/ق پ ب مورخ ۱۳۹۹/۱/۱۸
کارفرما	پژوهشکده بیمه
مجری طرح	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
همکاران طرح	به ترتیب حروف الفبا: دکتر انوشیروان انصاری، دکتر مرتضی بسطامی، دکتر اسماء حمزه، مهندس مهدی رحمانی، مهندس مهدی رحمتی، مهندس معصومه رخشنده، مهرداد رستمی، دکتر مرتضی عباس نژاد فرد، مهندس الهام علومی، دکتر عرفان فیروزی، حسین فهیمی، دکتر احسان کرکوتی، دکتر علیرضا گرکانی نژاد
ناظران طرح	به ترتیب حروف الفبا: دکتر مریم اثنی‌عشری، دکتر علی بیت‌الهی، دکتر کیارش دولتشاهی، آقای حسن‌رضا عباسیان‌فر
زمان شروع طرح	فروردین ۱۳۹۹
زمان اتمام طرح	خرداد ۱۴۰۰

پیشگفتار

ایران، همانند بسیاری از کشورهای دیگر، در معرض مجموعه‌ای از مخاطرات طبیعی قرار گرفته است که وقوع آنها در طول تاریخ موجب خسارات و تلفات زیادی در سکونتگاه‌های انسانی شده است. با شتاب گرفتن روند شهرنشینی، به خصوص از میانه قرن گذشته تا به امروز، مراکز شهری به محل انباشت جمعیت، سرمایه و فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی تبدیل شده‌اند که بیش از پیش توسط مخاطرات طبیعی مانند زلزله، سیل و توفان مورد تهدید قرار گرفته‌اند. رویکرد دولت‌ها در مقابل این تهدیدات، تا به حال، به صورت واکنشی بوده و در هنگام بروز خسارات در سوانح عمده گذشته مانند زلزله رودبار-منجیل (۱۳۶۹)، زلزله بم (۱۳۸۳)، زلزله سرپل ذهاب کرمانشاه (۱۳۹۶) و سیلاب‌های گسترده (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) به عنوان جبران‌کننده خسارات وارد میدان شده و بودجه عمومی را صرف بازسازی زیرساخت‌های عمومی و مسکن خصوصی کرده است. این رویکرد اگرچه تا مدتی پیامدهای اقتصادی و اجتماعی سوانح را چاره نموده است، ولی به دلیل افزایش نرخ شهرنشینی، کاهش درآمدهای نفتی و افزایش نرخ سوانح مرتبط با تغییر اقلیم، در حال از دست دادن کارآمدی خود است. بر این اساس، بر پایه تجربیات موفق سایر کشورهای سانحه‌خیز در استفاده از سازوکار بیمه برای جبران خسارات مالی ناشی از رخداد سوانح طبیعی، قانون تأسیس صندوق بیمه همگانی حوادث طبیعی پس از طی مراحل مختلف بررسی و اصلاح، در آذرماه ۱۳۹۹ به تصویب مجلس شورای اسلامی و تأیید شورای نگهبان رسید و توسط رییس جمهور ابلاغ گردید. طرح پژوهشی که گزارش مدیریتی حاضر مستخرج از آن ارائه شده است، به منظور پشتیبانی فنی-علمی صندوق بیمه همگانی در ارائه پوشش بیمه زلزله برای کلیه ساختمان‌های مسکونی کشور توسط پژوهشکده بیمه و با همکاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله با هدف ارزیابی ریسک ساختمان‌های مسکونی کشور در برابر خطر زلزله و تهیه سازوکار قیمت‌گذاری بیمه برای ساختمان‌های مسکونی متداول در کشور انجام شده است. در این پروژه، مدل محاسباتی ریسک زلزله و همچنین نتایج عددی شامل نقشه‌های ریسک زلزله، نرخ خالص بیمه و شاخص عدم قطعیت نرخ خالص بیمه در مقیاس کشوری برای هر دسته ساختمانی متداول در کشور ارائه شده است. همچنین نرخ خالص متوسط بیمه برای شش دسته ساختمانی در قالب جدول فراهم شده است. درنهایت، انجام محاسبات ریسک و تعیین پارامترهای مربوط به قیمت‌گذاری بیمه زلزله در کشور، از طرق سامانه‌ای وب-پایه با استفاده از جدیدترین معیارهای توسعه و مدیریت پایگاه داده فراهم شده است.

تکمیل پروژه، در حدود یک سال به درازا انجامیده و بر اساس جدیدترین و معتبرترین روش‌های ارزیابی خطر و ریسک در صنعت بیمه و با اتکاء به توان و دانش فنی داخلی انجام شده است. مدل ریسک و سامانه قیمت‌گذاری توسعه داده شده در این طرح، اولین مدل رسمی برای ریسک زلزله در کشور بوده و موجب افزایش ظرفیت فنی صندوق بیمه همگانی حوادث طبیعی کشور می‌گردد و برای اولین بار ارائه پوشش ریسک-پایه را برای مخاطرات طبیعی در کشور فراهم می‌سازد. در حال حاضر سامانه طراحی شده، بر روی وب‌سایت پژوهشکده بیمه، بخش پایگاه آماری و محاسباتی بیمه قابل دسترسی است.

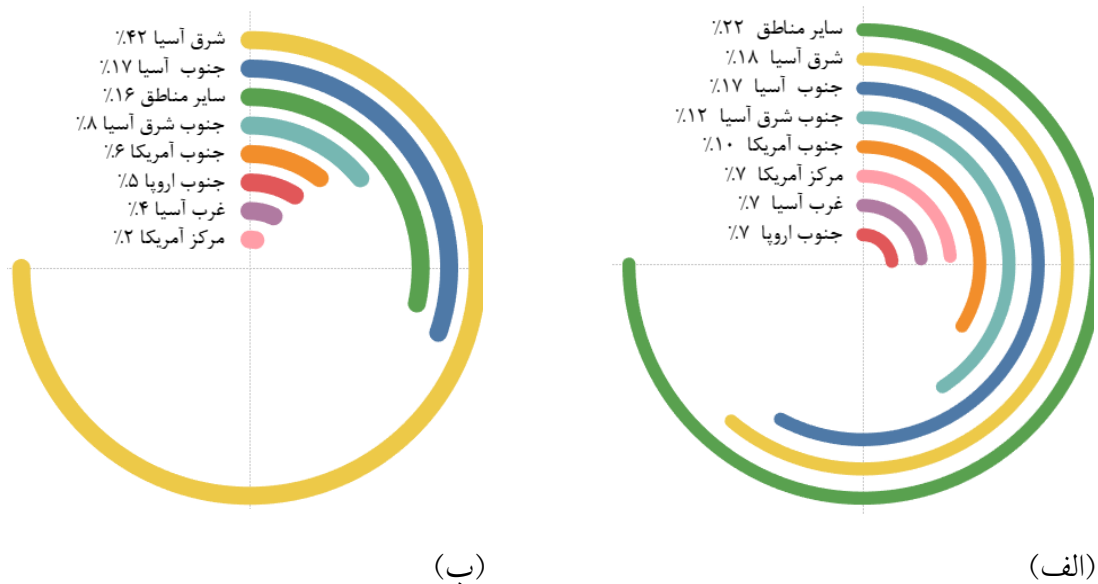
از مشارکت و همکاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، به ویژه جناب آقای دکتر بسطامی و همکاران ایشان در اجرای پروژه کمال تشکر و قدردانی را دارم. تیم نظارت و شورای راهبری پروژه نیز نقشی بی‌بدیل در ارتقای آن داشتند که همراهی ایشان را نیز ارج می‌نهم.

حمید کردبچه

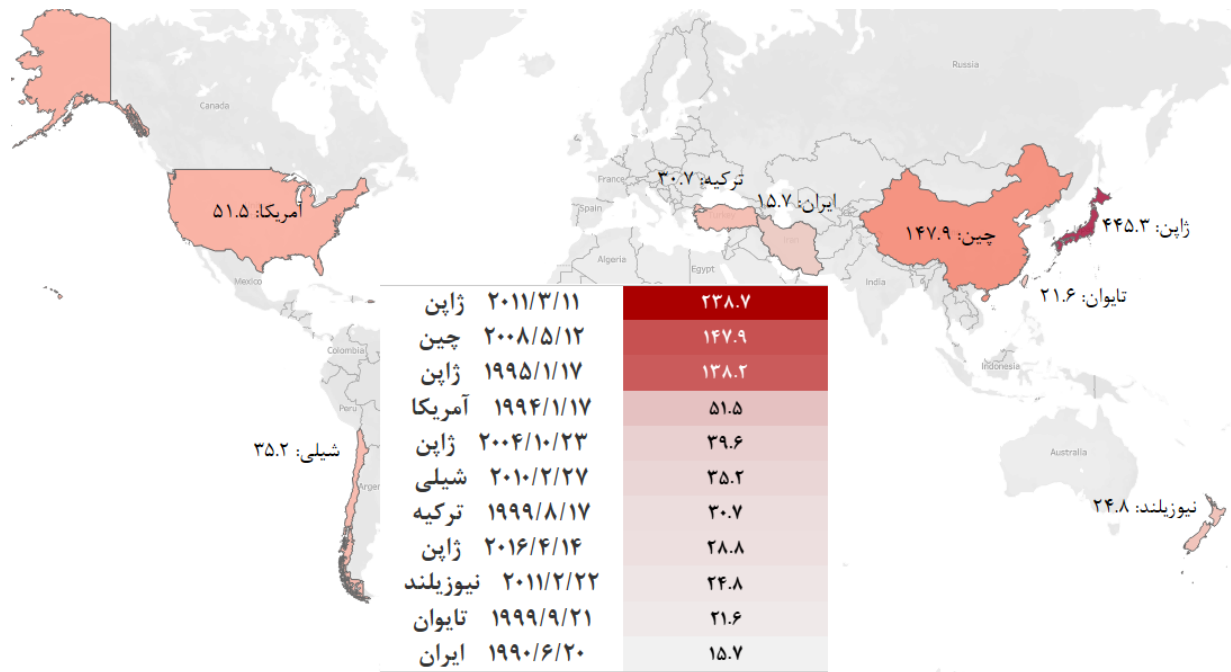
رئیس پژوهشکده بیمه

● مقدمه

خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی در چند دهه اخیر افزایش چشم‌گیری داشته است که در این میان وقوع زلزله‌های متعدد در ایران و جهان خسارات جانی و مالی زیادی به همراه داشته است. سازمان‌های جهانی، موسسات بین‌المللی، دولت‌ها و همچنین شرکت‌های بیمه در قالب پروژه‌های متعدد خسارات فیزیکی، اقتصادی و میزان مرگ‌ومیر ناشی از این رخداد را براساس سیاست‌های خود جمع‌آوری و ارزیابی می‌کنند. شکل‌های ۱ و ۲ براساس داده‌های این مراکز تهیه شده است که طبق آنها شرق آسیا بیشترین مرگ‌ومیر و رخداد زلزله را ثبت کرده است (شکل ۱). همچنین زلزله ۱۹۹۰ منجیل و ۲۰۰۳ بم در ایران از جمله زیان‌بارترین و مرگبارترین زلزله‌ها در جهان هستند (شکل ۲).



شکل ۱: پراکندگی زلزله‌ها و مرگ‌ومیر ناشی از زلزله در نقاط مختلف جهان. الف) پراکندگی زلزله‌ها (درصد)، ب) مرگ‌ومیر زلزله‌ها (درصد)



شکل ۲: زلزله‌ها با بیشترین خسارات از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ برحسب میلیارد دلار ۲۰۱۹

بازگشت به شرایط عادی پس از وقوع یکی از بلایای طبیعی و بازسازی آسیب‌های وارده به بخش‌های مختلف مسکونی، اداری، اجتماعی و اقتصادی مستلزم صرف هزینه کلانی است. با این حال، رویکرد دولت‌ها در مقابل مخاطرات طبیعی، تا به حال، به صورت واکنشی بوده و دولت در هنگام بروز خسارات در سوانح عمده گذشته مانند زلزله رودبار-منجیل (۱۳۶۹)، زلزله بم (۱۳۸۳)، زلزله سرپل ذهاب کرمانشاه (۱۳۹۶) و سیلاب‌های گسترده (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) و سایر سوانح طبیعی رخ داده در کشور به عنوان جبران‌کننده خسارات به بار آمده وارد میدان شده و بودجه عمومی را صرف بازسازی زیرساخت‌های عمومی و مسکن خصوصی کرده است. این رویکرد اگر چه تا مدتی پیامدهای اقتصادی و اجتماعی سوانح را چاره نموده است، ولی به دلیل افزایش نرخ شهرنشینی، کاهش درآمدهای نفتی و افزایش نرخ سوانح مرتبط با تغییر اقلیم، در حال از دست دادن کارآمدی خود است.

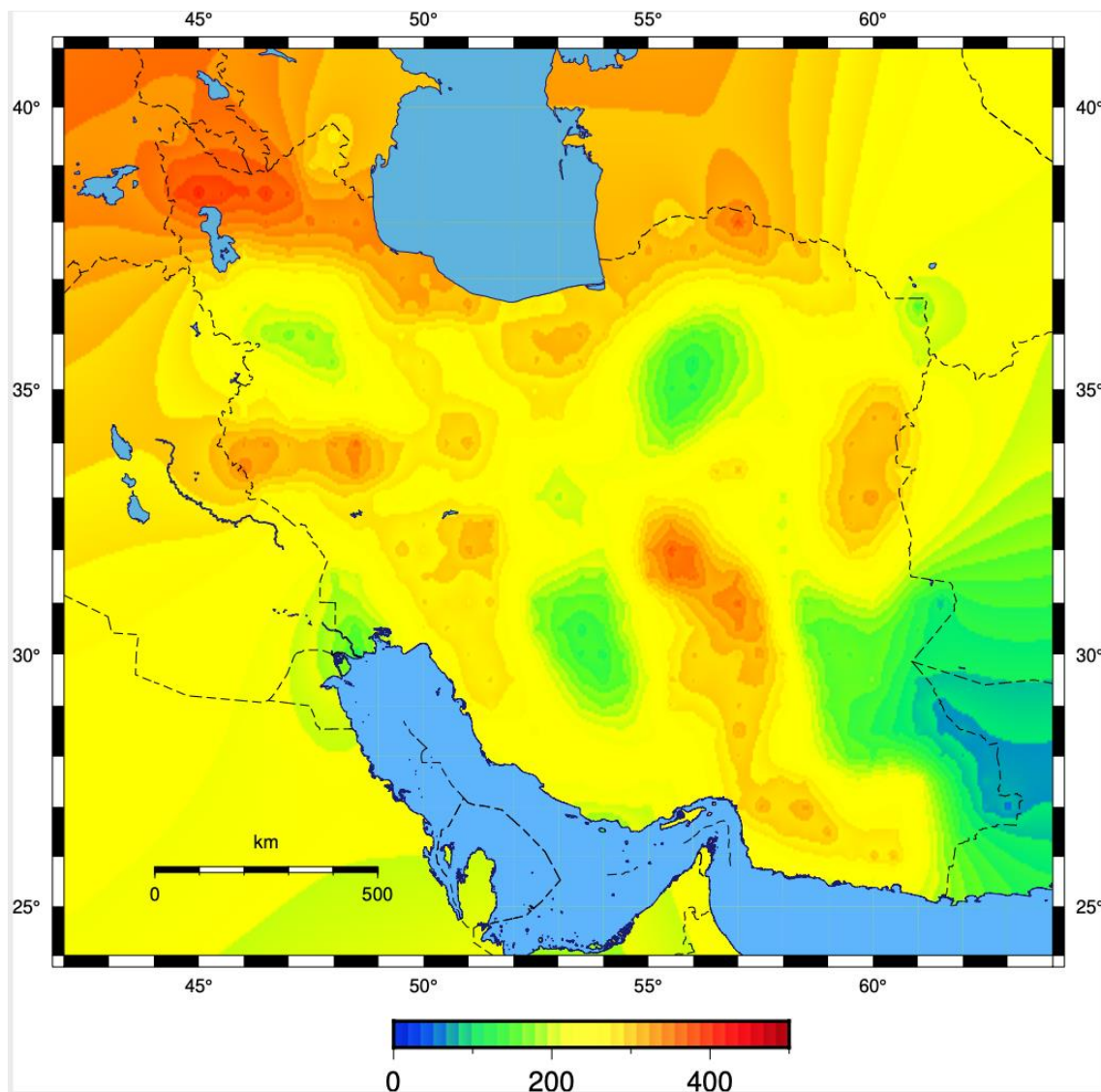
• یافته‌ها

در طرح پژوهشی محاسبات ریسک و تعیین نرخ بیمه زلزله ساختمان‌های مسکونی برای صندوق بیمه حوادث طبیعی کشور، ابتدا و در فصل اول، تأثیرات زلزله در ایران و جهان مورد بررسی قرار گرفته است و توزیع خسارات اقتصادی و تلفات انسانی در اثر جنبش نیرومند زمین و پدیده‌های ثانویه زلزله مانند زمین‌لغزش،

سونامی، روانگرایی و آتش‌سوزی پس از زلزله مورد بحث قرار گرفته است. در ادامه، تجربیات موفق بین‌المللی در زمینه بیمه زلزله، فواید صندوق‌های بیمه همگانی حوادث طبیعی با محوریت زلزله تشریح شده و جزئیات فنی و محاسباتی مربوط به صندوق بیمه همگانی زلزله در کشورهای توسعه یافته مانند ژاپن، ایالات متحده آمریکا، نیوزیلند و کشورهای در حال توسعه مانند ترکیه ارائه شده است که شامل نرخ بیمه زلزله در این کشورها بر اساس نوع ساختمان، سال ساخت و سطح خطر، ساختار بیمه‌نامه و عملکرد این صندوق‌ها در برابر زلزله‌های بزرگ بوده است. در پایان این فصل نیز چارچوب کلی مدل‌سازی ریسک زلزله بر اساس توسعه مولفه‌های خطر، دارایی و آسیب‌پذیری توضیح و نحوه ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها بیان شده است.

در فصل دوم طرح، مراحل مختلف توسعه مدل خطر زلزله به عنوان یکی از مهم‌ترین مولفه‌های مدل‌سازی ریسک زلزله شرح داده شده است. در این فصل اصول روش تحلیل خطر مونته کارلو تشریح گردیده و نتایج تحلیل خطر زلزله برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله تشریح گردیده است. روش شبیه‌سازی مونته‌کارلو، روشی غیر پارامتریک می‌باشد که می‌تواند باعث کنترل و یا حذف بسیاری از عدم قطعیت‌های موجود در روش‌های مرسوم تحلیل خطر لرزه‌ای گردد. بزرگترین مزیت روش مونته کارلو آن است که امکان محاسبه اثر هر زلزله بر نتایج خطر و ریسک قابل محاسبه است. این مزیتی است که در انجام محاسبات نرخ بیمه بسیار حائز اهمیت است.

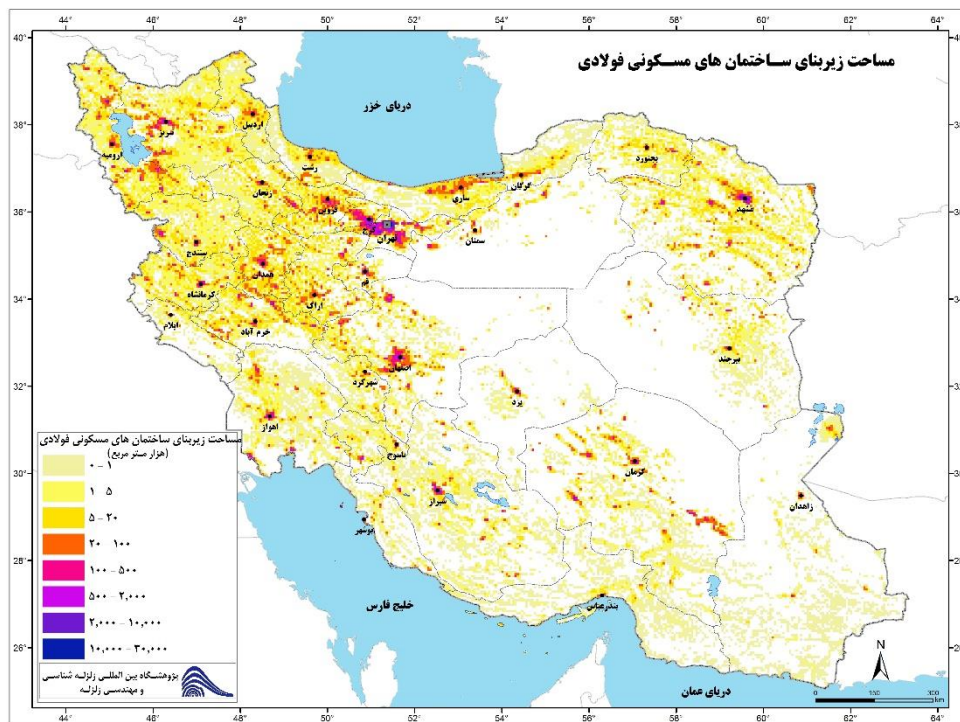
تکمیل کاتالوگ زلزله‌های ایران بر اساس آخرین اطلاعات ثبت شده توسط پایگاه‌های داده داخلی و بین‌المللی، بازتعریف چشمه‌های لرزه سطحی و خطی بر اساس زلزله‌های اخیر (سرپل ذهاب و ترکمانچای)، انتخاب توابع کاهندگی مناسب برای نواحی لرزه‌ای مختلف کشور بر اساس جدیدترین توابع موجود، انتخاب وزن مناسب برای توابع کاهندگی بر اساس مطالعات اخیر، در نظر گرفتن عدم قطعیت ذاتی و شناختی توسط روش درخت منطقی و توسعه مدل سرعت موج برشی برای کشور، از جمله فعالیت‌های انجام شده در این فصل می‌باشند. در انتهای فصل برون‌داد مدل خطر با استفاده از نقشه‌های خطر ۴۷۵ ساله زلزله در کشور نشان داده شده است (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال به روش شبیه‌سازی مونت کارلو بر حسب سانتیمتر بر مجذور ثانیه

فصل سوم این طرح به توضیح چگونگی توسعه مدل دارایی‌های در معرض خطر می‌پردازد. از طریق جمع اطلاعات ساختمانی مربوط به آمار نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰ در مقیاس شهرستان، این داده‌ها با استفاده از نقشه‌های توزیع دقیق جمعیت در کشور و استفاده از تحلیل‌های مکانی به پایگاه داده ساختمانی با دقت جغرافیایی ۰/۰۵ درجه (شبکه نقاط با فاصله ۵ کیلومتر از هم) تبدیل شده‌اند. سپس ساختمان‌های کشور با استفاده از اطلاعات مربوط به مصالح ساختمانی، سال ساخت به شش دسته اصلی ساختمان‌های فولادی، بتن آرمه، بنایی، خشتی-گلی، چوبی و نامشخص تقسیم شده‌اند. توزیع این دسته‌های ساختمانی در قالب نقشه‌های کشوری با

مقیاس ۰/۰۵ درجه نمایش داده شده و تفسیرهای فنی لازم نیز ارائه شده است. در شکل ۴ نمونه‌ای از این نقشه‌ها برای ساختمان‌های فولادی نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین مساحت ساختمان‌های فولادی و بتنی مربوط به استان تهران می‌باشد، استان فارس نیز بیشترین مساحت ساختمان‌های بتنی را به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین مساحت ساختمان‌های خشت و گلی و چوبی به ترتیب مربوط به استان‌های اصفهان و آذربایجان شرقی می‌باشد. در انتها، نحوه توزیع دسته‌های مختلف ساختمان‌های مسکونی در نواحی خطر تعریف شده، توسط استاندارد ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، بیش از نیمی از ساختمان‌های کشور در مناطق با خطر نسبی زیاد قرار دارند. یک چهارم ساختمان‌های کشور نیز در پهنه با خطر بسیار زیاد ساخته شده‌اند. لذا، به نظر می‌رسد که توسعه سکونتگاه‌ها در ایران بیشتر در مناطق با سطح خطر بسیار زیاد و زیاد بوده است. این مسأله به طور سیستماتیک ریسک ساختمان‌های مسکونی در برابر خطر زلزله را افزایش داده است.

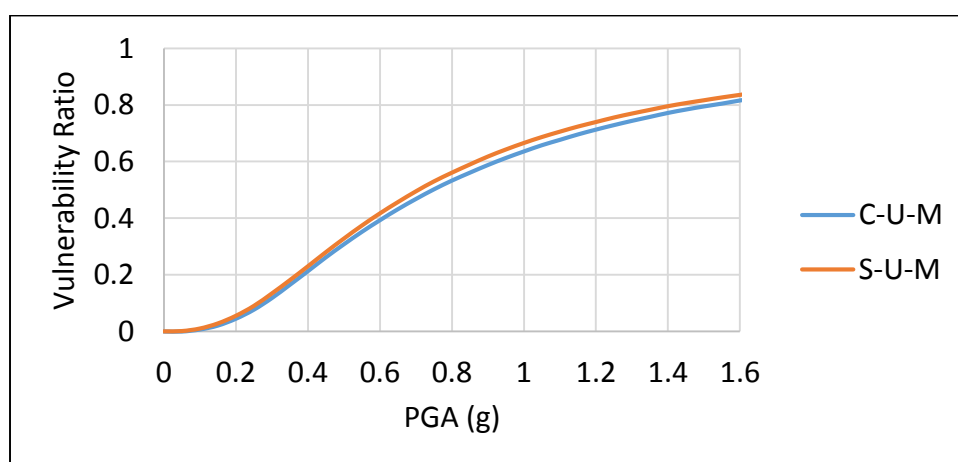


شکل ۴: توزیع مکانی مساحت زیربنای ساختمان‌های مسکونی فولادی

در فصل چهارم، با استفاده از دسته‌بندی ساختمانی تعیین شده در فصل سوم، توسعه توابع آسیب‌پذیری برای این دسته‌ها در دستور کار قرار گرفته است. به این منظور، ابتدا پنج مدل آسیب‌پذیری بر اساس جدیدترین پژوهش‌های انجام شده در مورد ساختمان‌های متداول در ایران انتخاب شده‌اند که این مدل‌ها شامل موارد زیر می‌باشند:

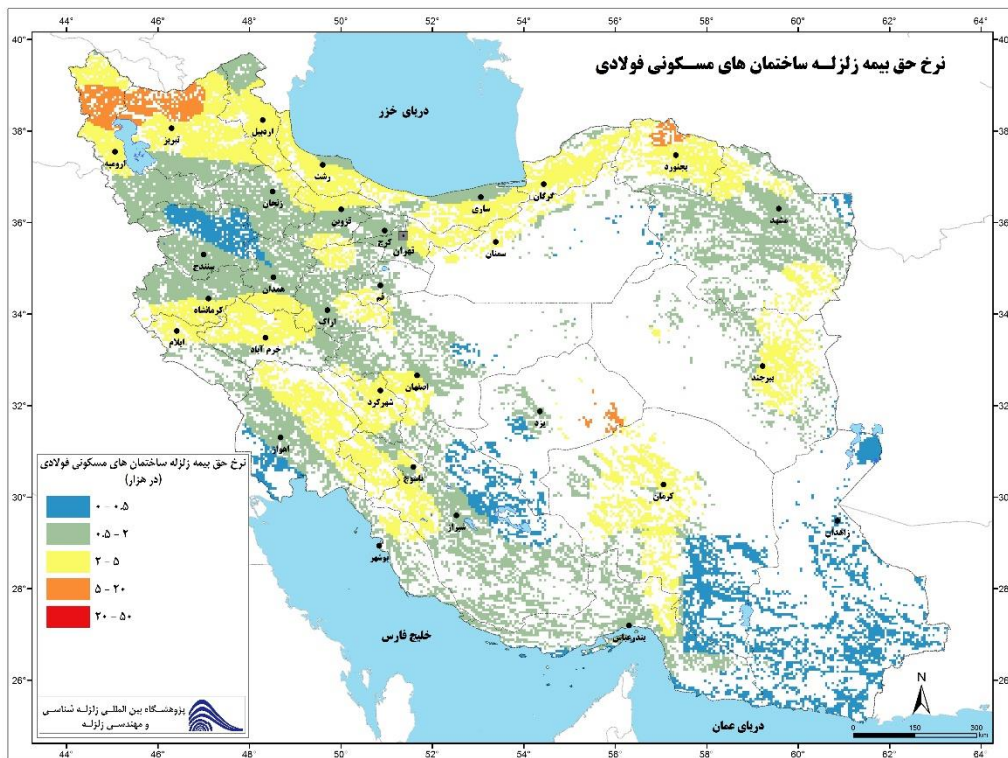
- مدل صادقی و همکاران
- مدل فلاح و همکاران
- مدل معتمد و همکاران
- مدل EMME
- مدل کوواتا و همکاران

پس از استخراج مدل‌های آسیب‌پذیری از هر یک از این مطالعات، این مدل‌ها با در نظر گرفتن روش مطالعه (تحلیلی، تجربی و بر اساس قضاوت مهندسی) با وزن‌های مختلفی با یکدیگر ترکیب شده‌اند و توابع آسیب‌پذیری که پارامتر شدت زمین لرزه (شتاب روی سطح زمین) را برای هر دسته ساختمانی به درصد خسارات تبدیل می‌کنند، به وجود آورده‌اند که در قالب نمودار ارائه شده است. در حقیقت، برای هر دسته ساختمانی تعیین شده در فصل سوم، یک تابع آسیب‌پذیری ارائه شده است که در محاسبات ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال نمودار مدل‌های آسیب‌پذیری فولادی و بتنی مورد استفاده در پروژه‌ی حاضر در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۵: مدل‌های آسیب‌پذیری فولادی و بتنی مورد استفاده در پروژه‌ی حاضر

فصل پنجم این طرح پژوهشی به نحوه محاسبات ریسک و تعیین پارامترهای لازم برای قیمت‌گذاری بیمه زلزله اختصاص یافته است. در این فصل مولفه‌های مدل‌سازی ریسک زلزله که در فصل‌های دوم، سوم و چهارم توسعه یافته‌اند، در یک مدل محاسباتی که به این منظور توسعه یافته است، با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا پارامترهای مربوط به ریسک زلزله تعیین گردد. نتایج عددی این فصل شامل نقشه‌های ریسک زلزله، نرخ خالص بیمه و شاخص عدم قطعیت نرخ خالص بیمه، در قالب نقشه‌هایی با مقیاس کشوری برای هر دسته ساختمانی متداول در کشور ارائه شده است که برای مثال شکل ۶ نرخ بیمه زلزله ساختمان‌های فولادی کشور را نشان می‌دهد. همچنین نرخ خالص متوسط بیمه برای شش دسته ساختمانی در قالب جدول فراهم شده است (جدول ۱).



شکل ۶: نرخ بیمه زلزله ساختمان‌های مسکونی فولادی در کشور

جدول ۱: مقادیر میانگین نرخ حق بیمه برای گونه‌های متداول ساختمان‌های مسکونی در ایران						
گونه ساختمانی	خشتی-گلی	بنایی	بتن آرمه	فولادی	چوبی	نامشخص
نرخ میانگین حق بیمه (در هزار)	۶/۹	۴/۲	۱/۸	۱/۹	۵/۵	۴/۲

نتایج ریسک حاکی از آن است که بیشترین میزان ریسک زلزله در استان‌های تهران، البرز، اصفهان، آذربایجان شرقی، خراسان رضوی و آذربایجان غربی قرار گرفته است. در رده دوم استان‌های گیلان، مازندران، خراسان شمالی، کرمان و خوزستان دارای بیشترین ریسک در برابر زمین‌لرزه هستند. در طرف مقابل، در استان‌های سمنان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و شرق استان اصفهان، ساختمان‌های مسکونی دارای کمترین ریسک هستند. در زمینه نرخ حق بیمه خالص، الگوی فضایی تا حدی متفاوت است و بیشتر تحت اثر لرزه‌خیزی مناطق قرار دارد به این شکل که بیشترین حق بیمه مربوط به ساختمان‌های مسکونی قرار گرفته در قسمت شمالی استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، جنوب استان اردبیل و بخش‌های قابل توجهی از استان‌های گلستان و خراسان شمالی در ناحیه البرز؛ بخش‌هایی از استان‌های کرمانشاه، ایلام، همدان، لرستان، خوزستان و فارس در ناحیه زاگرس؛ و قسمت‌هایی از استان کرمان و شرق خراسان جنوبی در ناحیه ایران مرکزی واقع شده است. کمترین میزان حق بیمه هم مربوط به ناحیه لرزه‌ای مکران، استان البرز، بخش‌هایی از کردستان، جنوب آذربایجان شرقی و زنجان و همچنین قسمت‌های مرکزی استان اصفهان است. نرخ متوسط حق بیمه خالص برای کلیه ساختمان‌های مسکونی کشور برابر با ۲/۹ در هزار تخمین زده شده است.

پس از آماده‌سازی مولفه‌های ریسک، انجام محاسبات ریسک و تعیین پارامترهای مربوط به قیمت‌گذاری بیمه زلزله در کشور، لازم است این اطلاعات از طریق سامانه قیمت‌گذاری بیمه زلزله در اختیار دست‌اندرکاران صندوق بیمه همگانی حوادث طبیعی کشور قرار گیرد. به این منظور، سامانه‌ای وب-پایه با استفاده از جدیدترین معیارهای توسعه و مدیریت پایگاه داده ایجاد شده است. مدیران قیمت‌گذاری صندوق با استفاده از این سامانه و پایگاه داده پشتیبان آن، قادر به تعیین قیمت خالص و فنی پوشش بیمه برای دسته‌های مختلف ساختمانی در مناطق مختلف کشور بر اساس ریسک زلزله خواهند بود. همچنین پس از توسعه مدل ریسک برای سایر مخاطرات عمده کشور مانند سیل و توفان، می‌توان از این سامانه برای قیمت‌گذاری پوشش کلی سوانح طبیعی استفاده نمود.