

DOI: 0.48303/bese.2024.2011452.1136

## نوع مقاله: علمی - ترویجی

## چکیده

در این مقاله عملکرد تعدادی از شرکت‌های بیمه در زلزله‌های چند سال اخیر کشور با تأکید بر زلزله آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب در استان کرمانشاه با استفاده از روش‌های دیداری‌سازی و آمار فضایی که همبستگی فضایی میان مشاهدات را در نظر می‌گیرد با دقتی بالاتر از روش‌های کلاسیک بررسی می‌شود. خسارات زمین‌لرزه‌ها و خسارات پرداختی ۱۹ شرکت بیمه برای این زمین‌لرزه‌ها در بیش از یک دهه گذشته به خصوص زلزله سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب کرمانشاه جمع‌آوری و توزیع پرداخت‌ها بر اساس روش‌های دیداری‌سازی در سال‌ها، استان‌ها و شرکت‌های بیمه استخراج می‌گردد؛ برای زلزله سرپل ذهاب، بر اساس اطلاعات یک شرکت بیمه مورد مطالعه، احتمال پرداخت به بیمه‌گذاران ساختمان در موقعیت‌های فضایی با استفاده از پیشگوی فضایی کریگیدن پیش‌بینی می‌شود. بررسی عملکرد شرکت‌های بیمه نشان می‌دهد برخی شرکت‌های بیمه پرداخت‌های قابل توجهی در یک زلزله دارند؛ در برخی سال‌ها تعدادی زیادی زلزله خسارت‌بار رخ داده و پرداخت‌های زیادی از طرف شرکت‌های بیمه انجام شده است. سهم شرکت‌های بیمه در جبران خسارات زمین‌لرزه‌ها در حال افزایش است. در زمین‌لرزه سرپل ذهاب، بیشترین احتمال پرداخت خسارت شرکت بیمه مورد مطالعه در شهرستان‌های غرب استان کرمانشاه است. بیمه‌گذاران ساختمان‌ها در مرکز این شهرستان‌ها و اطراف آن‌ها پرداخت بیشتری دریافت می‌کنند.

**واژگان کلیدی:** صنعت بیمه، ساختمان، همبستگی فضایی، رگرسیون لوزستیک، پیشگوی فضایی کریگیدن، زلزله.

## ارزیابی عملکرد صنعت بیمه زلزله با روش‌های آمار فضایی: مطالعه موردی زلزله سرپل ذهاب

### مرتضی بسطامی (نویسنده مسئول)

دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، [m.bastami@iiees.ac.ir](mailto:m.bastami@iiees.ac.ir)

### مهدی رحمانی قرانقیه

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

### اسماء حمزه

استادیار، پژوهشکده بیمه، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

( Grace et al., 2003; Kajitani et al., 2013; Goda et al., 2014).

به دلیل اختیاری بودن بیمه، نرخ وقوع پایین رخداد، عدم وجود بیمه‌نامه‌های متنوع، عدم تبلیغ کافی شرکت‌ها و وقوع اکثر زلزله‌ها در مناطق روستایی، مردم و حتی دولت‌ها توجه چندانی به بیمه زلزله ندارند. در نتیجه افزایش نرخ نفوذ و حق بیمه کار آسانی برای شرکت‌های بیمه نیست ( Bastami, 2012; Palm, 1995; Kunreuther & Pauly, 2004; Pothon et al., 2019; Goda et al., 2020).

بررسی عملکرد صنعت بیمه در زلزله‌های پیشین یک راه‌حل

زلزله یک ریسک سیستمیک است؛ منطقه وسیع و تعداد زیادی از اموال و دارایی‌ها و ساختمان‌ها را به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر قرار می‌دهد. زلزله‌های با شدت تخریب بالا شرکت‌های بیمه را تحت بار مالی سنگینی قرار می‌دهند (Pakdel-Lahiji et al., 2015). این شرکت‌ها می‌توانند با سیاست‌های خود ریسک مالی را کاهش دهند. بالا بردن تعرفه بیمه، تعیین سقف پرداخت، تعیین تعرفه بیمه بر اساس ریسک لرزه‌ای، گسترش نفوذ در مناطق با ریسک پایین لرزه‌ای و انتقال این خطرات از سبد سهام خود به بیمه‌گران اتکایی، از جمله اقدامات شرکت‌ها برای مقابله با خطراتی همچون زلزله است

2021a; Abbasnejadfar et al., 2021b; Zafarani et al., 2020; Markhvida et al., 2018; Wang & Du, 2013; Loos et al., 2020; Lallemand & Kiremidjian, 2013; Garakaninezhad & Bastami, 2019) و عملکرد صنعت بیمه در رخدادهای طبیعی (Zhou et al., 2018) دارای همبستگی فضایی است.

گرکانی نژاد و بسطامی (Garakaninezhad & Bastami, 2019) همبستگی فضایی میدان تصادفی شدت زمین لرزه مختلف را بررسی کردند. آنها دریافتند که بین همبستگی فضایی سرعت موج برشی خاک و شتاب پیشینه زمین لرزه ارتباط وجود دارد. عباس نژادفرد و همکاران (Abbasnejadfar et al., 2020) با بررسی زمین لرزه‌های مختلف، با به کارگیری مدل کوواریانس تفکیک‌ناپذیر بر پایه روش ابعاد مجازی<sup>۷</sup>، پیشینه شتاب زمین لرزه را بر اساس همبستگی فضایی سرعت موج برشی تعیین کردند. لالمانت و کرمیجیان (Lallemand & Kiremidjian, 2013) آسیب زمین لرزه را بر اساس تصاویر سنجش از راه دور با پیشگوی فضایی کریگیدن<sup>۸</sup>، که یک روش میان‌یابی است، محاسبه کردند.

لوس و همکاران (Loos et al., 2020) آسیب زمین لرزه را برای ترکیبی از چند منبع داده با پیشگوی فضایی کریگیدن تعیین کردند.

شریف‌زادگان و فتحی (Sharifzadegan & Fathi, 2008) چگونگی استفاده ترکیبی از روش دلفی و مدل تحلیلی سلسله‌مراتبی و همچنین سیستم اطلاعات مکانی را در یک مدل یکپارچه تلفیقی بیان کردند. همچنین آن‌ها شیوه ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای و انسانی را در یک سکونتگاه انسانی را بررسی و به اجرا گذاشتند.

پوراحمد و همکاران (PourAhmad et al., 2018) شاخص‌های برگزیده اسکلت ساختمان، جنس مصالح، قدمت ساختمان و کیفیت ابنیه را برای کشف روند الگوها استخراج کردند. آنها برای وزندهی به لایه‌ها در داده‌های فضایی از روش خودهمبستگی فضایی<sup>۹</sup>، برای تعیین نوع توزیع تاب‌آوری

مناسب برای تعیین سیاست آتی شرکت‌های بیمه است. هر یک از این شرکت‌ها می‌توانند بر اساس عملکرد خود در گذشته و به کارگیری آن در مدل‌های تحلیل ریسک لرزه‌ای از زیان‌های آینده جلوگیری و سودآوری خود را تضمین کند.

عملکرد صنعت بیمه در جبران خسارات زلزله توسط مؤسسات، دولت‌ها و محققین بررسی می‌شود. شرکت‌های بیمه اتکایی (Munich Re Institute; Swiss Re Institute) سالانه گزارش‌های این‌گونه حوادث طبیعی را منتشر می‌کنند. کشور ژاپن از کشورهای لرزه‌خیز و پیشرو در صنعت بیمه زلزله در دنیا است و گزارش‌های سالانه برای بخش بیمه زلزله ارائه می‌دهد (Japan Earthquake Reinsurance).

در مقالات علمی نیز عمدتاً بر اساس روش‌های شبیه‌سازی و تحلیل ریسک لرزه‌ای به بررسی بایدها و نبایدهای تعیین تعرفه، گسترش نفوذ برای صنعت بیمه در آن کشور می‌پردازند (Tsubokawa, 2004). در ایران گزارش‌های مختصری در این رابطه در قالب اخبار رسانه‌ها، طرح‌های پژوهشی و مقالات وجود دارد. گزارش عملکرد صنعت بیمه در زلزله‌های اهر-ورزقان از جمله آنهاست (Bastami, 2013). گاهی در کنار روش‌های تعیین تعرفه، عملکرد صنعت بیمه در قالب جداولی بیان می‌شود (Pakdel-Lahiji et al., 2015).

با توجه به سابقه کم بیمه سوانح طبیعی در ایران، متأسفانه مطالعات جامعی بر اساس این سطح اطلاعات از شرکت‌های بیمه انجام نشده است. همین امر اهمیت این مطالعه را نمایان می‌کند. علاوه بر این‌ها تنها از روش‌های آمار کلاسیک<sup>۲</sup> برای تحلیل استفاده می‌شود که در آن مشاهدات مستقل<sup>۴</sup> فرض می‌شوند؛ درحالی‌که تحلیل داده‌های آماری مختلف نشان می‌دهد که مجموعه داده‌های محیطی<sup>۵</sup> دارای همبستگی فضایی<sup>۶</sup> هستند که همبستگی آنها تابعی از موقعیت قرارگیری آنهاست. داده‌های نزدیک به هم شباهت بیشتری نسبت به داده‌های دورتر دارند (Mohammadzadeh, 2012).

بر اساس مطالعات انجام شده، شدت و آسیب زمین لرزه (Abbasnejadfar et al., 2020; Abbasnejadfar et al., )

کشور با تأکید بر زلزله سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب کرمانشاه ارائه می‌شود.

در بخش سوم، روش‌شناسی تحقیق شامل روش دیداری‌سازی، مدل‌بندی احتمال پرداخت خسارت و توزیع فضایی پرداخت‌ها با مدل‌های آمار فضایی تشریح می‌گردد. در بخش چهارم، نتایج عملکرد شرکت‌های بیمه و در نهایت در بخش آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه می‌شود.

## ۲- داده‌ها

برای تحلیل و بررسی عملکرد صنعت بیمه زلزله، اطلاعات ۱۹ شرکت بیمه و میزان خسارت وارد بر بخش ساختمان جمع‌آوری شد. این داده‌ها در دو سطح تقسیم و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. سطح اول تحلیل‌ها بر اساس زلزله‌های یک دهه گذشته و خسارات پرداخت ۱۹ شرکت بیمه در کل کشور است. سپس در سطح دوم عملکرد یک شرکت بیمه به دلیل ارائه اطلاعات با جزئیات بیشتر در مورد زلزله سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب کرمانشاه مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بنابراین داده‌های به صورت زیر تشریح می‌شوند.

### ۲-۱- کل کشور

از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ تعداد زیادی زلزله در کمربند البرز، زاگرس و کپه‌داغ رخ داده است. خسارت این زلزله مطابق شکل (۱) جمع‌آوری و به صورت لگاریتمی نمایش داده شده است.

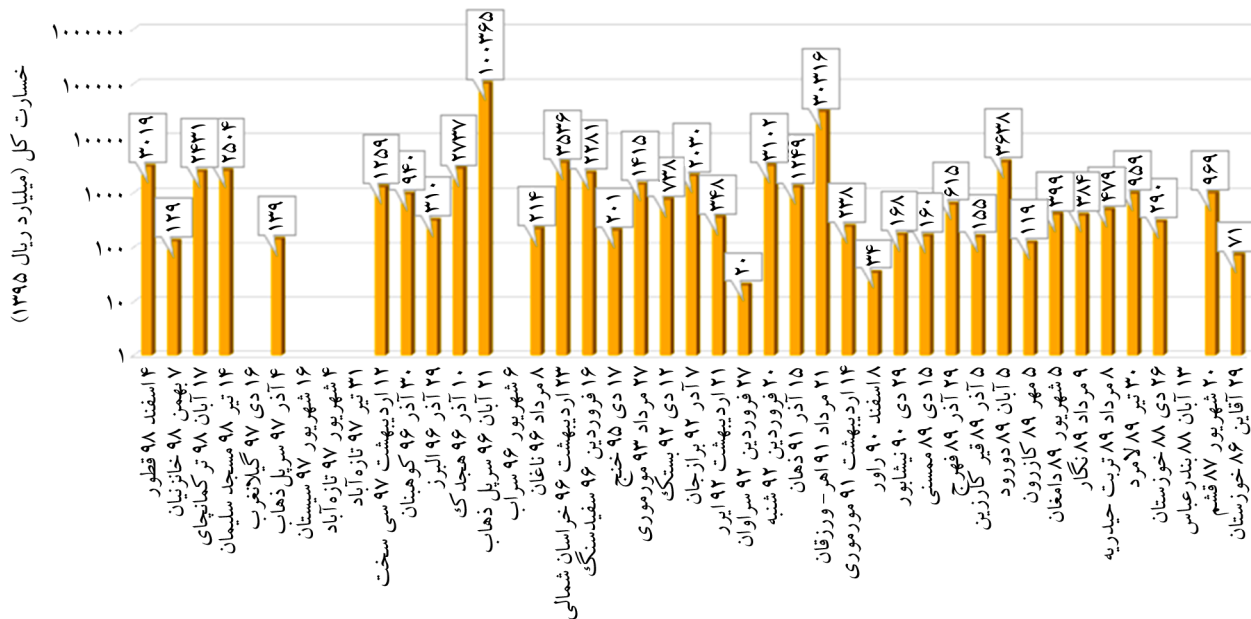
از آمار رسمی دولتی، آمارهای اعلامی مسئولان و اعلام رسمی استانداری‌ها در خبرگزاری‌ها در جمع‌آوری این آمار استفاده شده است (Islamic Republic News Agency; Housing Foundation of Islamic Revolution). شرکت‌های بیمه پرداخت‌هایی در جبران خسارت این زلزله‌ها انجام دادند. مبلغ پرداختی تعدادی از این شرکت‌ها جمع‌آوری گردید و مبالغ پرداختی توسط ۱۹ شرکت بیمه برای این زلزله‌ها در شکل (۲) ارائه شده است.

کالبدی از ابزار موران<sup>۱۰</sup> و برای بررسی توزیع فضایی اولویت‌بندی تاب‌آوری بافت مسکونی از ابزار موران محلی<sup>۱۱</sup> استفاده کردند. قویدل و همکاران (Ghavidel Rahimi et al., 2014) داده‌های ماهانه فراوانی وقوع توفان‌های تندری ۲۵ ایستگاه سینوپتیک کشور در طی بازه‌ی زمانی ۵۱ ساله از ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ را با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی وارد کردند و روش کریگیدن برای طبقه‌بندی و شناسایی مکان‌های اصلی رخداد مخاطره‌ی توفان‌های تندری فصل بهار در ایران را تحلیل کردند.

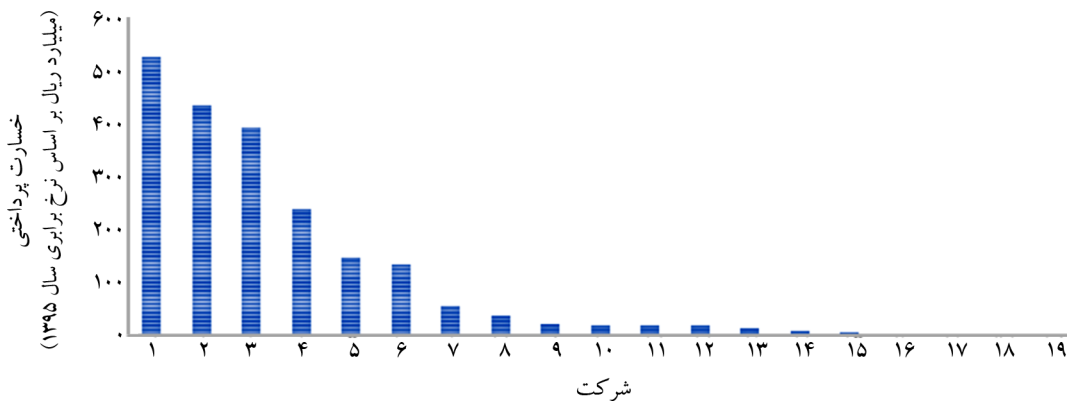
ژو و همکاران (Zhou et al., 2018) با تأیید همبستگی فضایی ریسک بازدهی محصولات کشاورزی ناشی از خشک‌سالی، تعیین نرخ بیمه برای موقعیت‌های مکانی مختلف یک استان را ضروری دانستند؛ بنابراین در این مطالعه با توجه به وجود داده‌های فضایی، با استفاده از بانک اطلاعاتی جامع شرکت‌های بیمه در یک دهه گذشته در بخش خسارات پرداختی زلزله به ساختمان و با استفاده از روش‌های دیداری‌سازی<sup>۱۲</sup> و آمار فضایی<sup>۱۳</sup> که همبستگی فضایی را در میان مشاهدات صنعت بیمه در نظر می‌گیرد تحلیل‌هایی انجام می‌شود.

میزان پرداخت خسارات و تعداد پرونده‌های خسارتی ۱۹ شرکت بیمه و همچنین تعداد واحدهای آسیب‌دیده در یک دهه گذشته در اثر زلزله جمع‌آوری و سپس عملکرد صنعت بیمه در زلزله‌های یک دهه اخیر بر اساس روش‌های دیداری‌سازی در بعد زمان و مکان استخراج و به تصویر کشیده می‌شود. علاوه بر این مدل‌بندی احتمال پرداخت خسارت به بیمه‌گذار<sup>۱۴</sup> بخش ساختمان با استفاده از رگرسیون لوژستیک<sup>۱۵</sup> بر اساس متغیرهای مختلف شدت زمین‌لرزه برای زلزله سال ۱۳۹۶ سرپل ذهاب انجام می‌شود. سپس بر اساس مدل‌بندی انجام شده با پیشگوی فضایی کریگیدن پرداخت خسارت را در موقعیت‌های جغرافیایی برای شرکت بیمه مورد مطالعه تعیین می‌شود.

در بخش دوم داده‌های زلزله‌ها و پرداخت‌های ۱۹ شرکت بیمه در جبران خسارت زمین‌لرزه‌های سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ در کل



شکل (۱): خسارت کل زلزله‌های ایران از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ (آمار رسمی دولت و خبرگزاری‌ها).

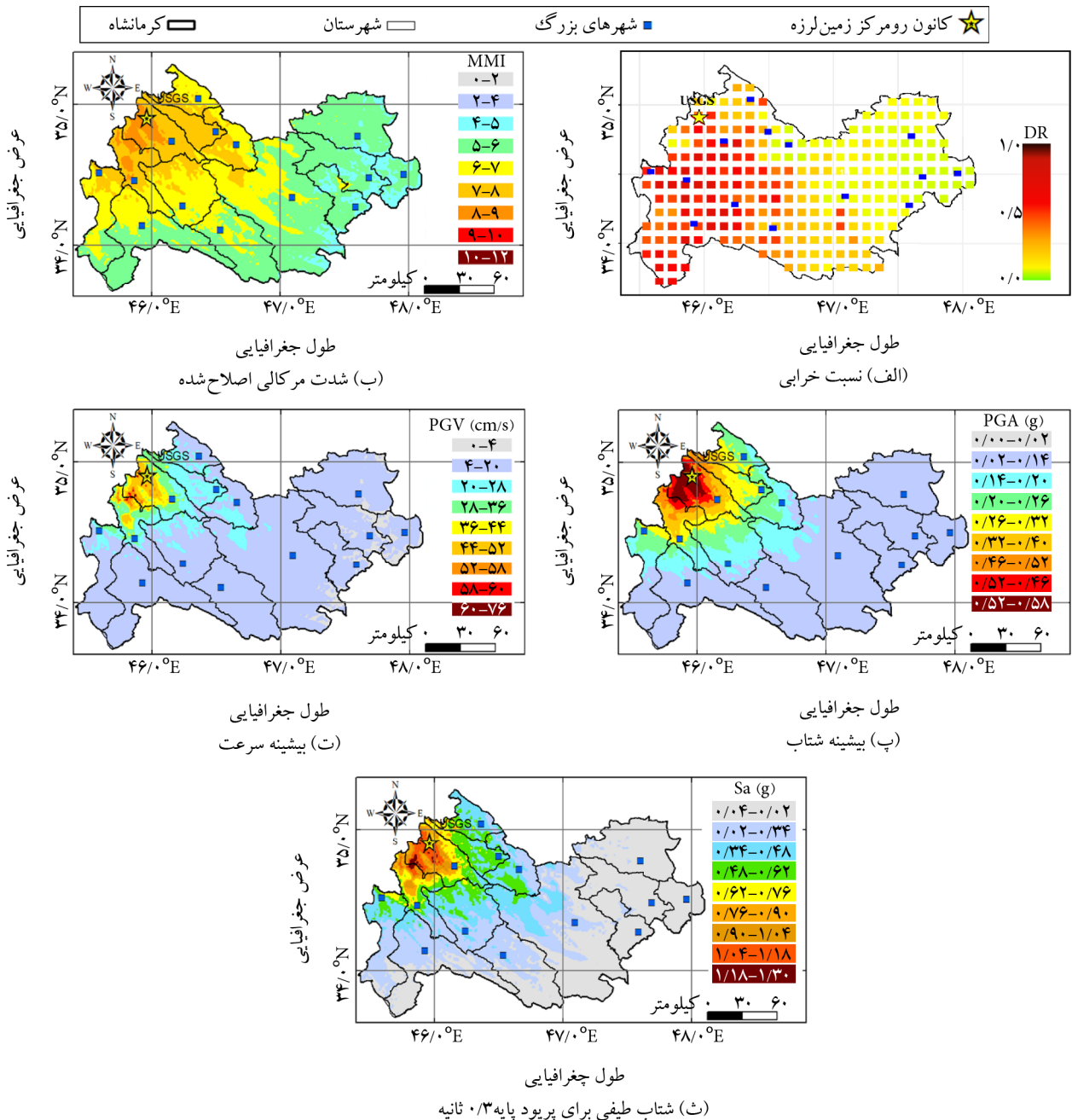


شکل (۲): خسارت پرداختی ۱۹ شرکت بیمه در جریان خسارت زلزله (میلیارد ریال بر اساس نرخ برابری سال ۱۳۹۵) (۱۹ اطلاعات دریافتی از شرکت‌های بیمه).

## ۲-۲- زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ سرپل ذهاب کرمانشاه

بیشتر بود. شکل (۳-الف) نسبت خرابی (تعداد ساختمان‌های آسیب‌دیده به کل ساختمان‌ها) در ۲۴۳ محدوده را نشان می‌دهد (Management and Planning Organization, 2018). همچنین سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS, 2017)، شدت زمین‌لرزه را مطابق متغیرهای مختلف ارائه کرد. شکل (۳-ب) شدت مرکالی اصلاح شده (MMI) با درجه‌بندی ۱ تا ۱۲، شکل (۳-پ) بیشینه شتاب زمین‌لرزه (PGA)، شکل (۳-ت) بیشینه سرعت زمین‌لرزه (PGV)، شکل (۳-ث) شتاب طیفی برای پریرود پایه ساختمان ((Sa (T)) ۰/۳ ثانیه را نشان می‌دهد.

۲۱ آبان ۱۳۹۶ زلزله‌ای با بزرگای ۷/۳ در غرب ایران در استان کرمانشاه رخ داد. کانون این زمین‌لرزه مطابق شکل (۳) در شمال غرب استان کرمانشاه و در مرز ایران و عراق بود. بیشترین شدت زمین‌لرزه و خسارت زمین‌لرزه در جنوب و جنوب شرقی کانون زمین‌لرزه بود. شدت شتاب زمین‌لرزه در ایستگاه شتاب‌نگاری سرپل ذهاب ۶۸۴ سانتی‌متر بر معذور ثانیه و از سایر ایستگاه‌های شتاب‌نگاری بیشتر گزارش شد (Farzanegan et al., 2017). در این شهرستان بیشترین تعداد ساختمان آسیب دیدند و شدت آسیب‌ها از سایر مناطق استان



شکل (۳): نسبت خرابی و شدت زمین‌لرزه سال ۱۳۹۶ سرپل‌ذهاب کرمانشاه.

به دلیل اینکه بیشتر ساختمان‌های استان کرمانشاه ساختمان‌های یک یا دو طبقه و از نوع مصالح بنایی و خشتی هستند (Statistical Center of Iran, 2016)، شتاب طیفی ۰/۳ ثانیه انتخاب شده است. خسارت این زلزله حدود ۱۰۰ هزار میلیارد ریال برآورد شد که حدود ۲ هزار میلیارد ریال خسارت توسط شرکت‌های بیمه پرداخت شد (Niakan, 2018). در این زلزله تعداد زیادی

ساختمان خسارت دیدند. شکل (۴-الف) تعداد کل واحدها (۴-ب) تعداد واحدهای آسیب‌دیده (Statistical Center of Iran, 2016) را در ۱۴ شهرستان استان کرمانشاه نمایش می‌دهد. اطلاعات دریافتی از شرکت‌های بیمه اغلب کلی بود و به تفکیک شهرستان ارائه نشده بود. تنها یک شرکت که از شرکت‌های مهم بیمه کشور است، اطلاعات را با جزئیات و به

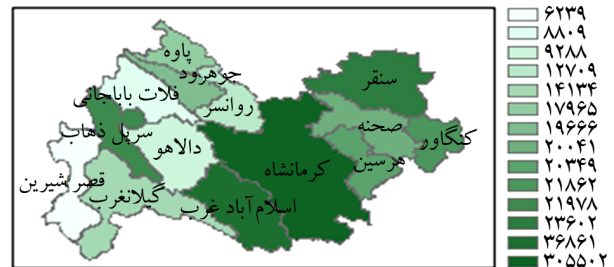
پرونده‌های خسارتی شرکت مورد مطالعه (تعداد خسارات منجر به پرداخت) در سطح استان کرمانشاه را به تصویر کشیده است. شرکت بیمه مذکور در شهرستان سرپل ذهاب بیشترین میزان خسارتی برای شهرستان کرمانشاه است که بیانگر نفوذ بالای شرکت بیمه در مرکز استان است اما به دلیل خسارت پایین زلزله در شهرستان کرمانشاه میزان پرداخت کمتر از سرپل ذهاب است.

### ۳- روش شناسی

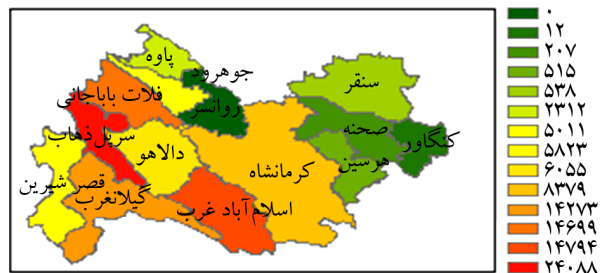
بررسی عملکرد صنعت بیمه در زلزله‌های گذشته کشور نقش مهمی در تعیین سیاست‌های شرکت‌های بیمه دارد. با توجه به حجم، پراکندگی و خطاهای موجود داده‌ها استفاده از روش‌ها بر پایه مدل‌های ریاضی چندان ساده نیست. از این‌رو استفاده از روش دیداری‌سازی داده‌ها می‌تواند بررسی خسارات زمین‌لرزه و عملکرد ۱۹ شرکت بیمه در مقیاس کشوری در یک دهه گذشته را تسهیل کند. در این روش داده‌ها به یک زمینه تصویری مانند نقشه یا نمودار برای آسان کردن آن بر مغز انسان برای درک و استخراج بینش انتقال می‌یابد (Ustjanzew et al., 2022).

علاوه بر روش‌های دیداری‌سازی، برای داده‌های فضایی استفاده از روش‌های آماری فضایی می‌تواند فرآیند بررسی را تکمیل و مدل‌های ریاضی عملکرد این شرکت‌ها را توسعه دهد. در تعیین پرداخت خسارت بیمه‌گر به بیمه‌گذار ساختمان در زمین‌لرزه سرپل ذهاب با روش‌های آمار فضایی از روش پیشگوی فضایی کریگیدن می‌توان استفاده کرد. این روش بر اساس حاصل جمع میانگین احتمال پرداخت‌ها شرکت بیمه به بیمه‌گذار و باقیمانده (خطاهای فضایی) انجام می‌شود. از این‌رو با استفاده از رگرسیون لوژستیک احتمال پرداخت خسارت به بیمه‌گذار ساختمان به‌عنوان میانگین احتمال پرداخت مدل‌بندی و پارامترهای آن با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی برآورد می‌شود. سپس باقیمانده‌ها (خطاها) مدل احتمال پرداخت شرکت بیمه بر اساس پارامترهای همبستگی فضایی با روش کریگیدن در موقعیت‌های فضایی تعیین می‌شود. باقیمانده‌های فضایی با

تفکیک در اختیار قرار داد. شکل (۴-پ) تعداد بیمه‌نامه‌های صادره، شکل (۴-ت) میزان پرداخت و شکل (۴-ث) تعداد



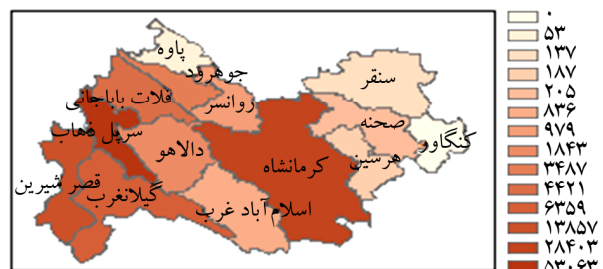
(الف) تعداد کل واحدها در سال ۱۳۹۵



(ب) تعداد کل واحدهای آسیب‌دیده در زلزله سرپل ذهاب



(پ) تعداد بیمه‌نامه‌های صادره شرکت بیمه مورد مطالعه



(ت) خسارت پرداختی شرکت بیمه مورد مطالعه (میلیون ریال ۱۳۹۵)



(ث) تعداد پرونده‌های خسارتی شرکت بیمه مورد مطالعه

شکل (۴): تعداد کل واحدها، تعداد واحدهای آسیب‌دیده و اطلاعات دریافتی از شرکت بیمه مورد مطالعه.

اگر  $Z_i$  تعداد پرداخت خسارت از  $n$  بیمه‌نامه صادره باشد،  $\mu_i$  احتمال پرداخت خسارت به بیمه‌گذار ساختمان در شدت زمین‌لرزه  $i$ ام که در آن  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$  و  $m$  تعداد سطوح شدت زمین‌لرزه باشد،  $Z_i$  دارای توزیع دو جمله‌ای است. بر این اساس،  $p$  توزیع احتمال پرداخت خسارت به بیمه‌گذاران در شدت زمین‌لرزه  $i$ ام و مدل دو جمله‌ای به صورت رابطه (۱) است.

$$p(Z_i | n_i, \mu_i) = \binom{n_i}{Z_i} \mu_i^{Z_i} (1 - \mu_i)^{n_i - Z_i} \quad (1)$$

تابع لجوجیت برای اتصال لگاریتم طبیعی نسبت بخت (احتمال پرداخت به عدم پرداخت خسارت به بیمه‌گذار) به متغیر پیشگوی شدت زمین‌لرزه  $im_i$  در سطح  $i$ ام استفاده می‌شود. مدل رگرسیون لوژستیک به صورت رابطه (۲) مدل‌بندی می‌شود؛ که در آن  $\beta_0$  و  $\beta_1$  ضرایب رگرسیونی هستند که توسط روش ماکزیمم درست‌نمایی برآورد می‌شوند.

$$\text{logit}(\mu_i) = \log\left(\frac{\mu_i}{1 - \mu_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 im_i \quad (2)$$

این روش پارامترهای رگرسیونی  $\beta_0$  و  $\beta_1$  را طوری برآورد می‌کند که لگاریتم تابع درست‌نمایی (رابطه ۳) حداکثر شود. پس از تعیین پارامترهای رگرسیون لوژستیک یعنی  $\beta_0$  و  $\beta_1$  احتمال پرداخت خسارت  $\mu_i$  به ازای شدت  $im_i$  بر اساس رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$L(\beta_0, \beta_1) = \prod_{i=1}^m p(Z_i | im_i, n_i, \beta_0, \beta_1) = \prod_{i=1}^m \binom{n_i}{Z_i} \left( \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 im_i)} \right)^{Z_i} \times \left( 1 - \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 im_i)} \right)^{n_i - Z_i} \quad (3)$$

### ۳-۳- توزیع فضایی احتمال پرداخت

داده‌های محیطی در گستره جغرافیایی دارای همبستگی فضایی هستند. این داده‌ها شامل انواع شدت، آسیب و خسارات وارد بر دارایی‌ها و همچنین تعداد و میزان پرداخت خسارت ناشی از رویدادهای طبیعی از جمله زمین‌لرزه می‌شود. استفاده از

میانگین جمع و میزان احتمال پرداخت در موقعیت‌های فضایی کل استان کرمانشاه با دقت بیشتری نسبت به مقدار میانگین تعیین شده پیش‌بینی می‌شود.

### ۳-۱- دیداری‌سازی داده‌ها

دیداری‌سازی داده‌ها به فونونی مربوط می‌شود که به دانشمندان و مهندسان اجازه می‌دهد، دانش را از داده‌ها، نتایج شبیه‌سازی و محاسبات استخراج کنند. پیشرفت‌ها در جمع‌آوری اطلاعات، شبیه‌سازی ریاضی و محاسبات علمی موجب پیچیدگی آن‌ها می‌شود. این پیشرفت‌ها منجر به تقریب نزدیک به واقعیت می‌شود و امکان کسب دانش و درک جدید افزایش می‌یابد؛ اما مشکل این است که همه این اطلاعات قابل انتقال و درک برای ذهن انسان نیستند تا بتوانند توانایی‌های خلاقانه و تحلیلی انسان استفاده کنند. این نیاز به یک روش ارتباطی و یک رابط مؤثر دارد (Bonneau et al., 2006). دیداری‌سازی داده‌ها با نرم‌افزارهای رایانه‌ای از جمله آن‌هاست. با توجه به جمع‌آوری حجم انبوه اطلاعات مربوط به صنعت بیمه زلزله در یک دهه گذشته امکان بررسی عملکرد این صنعت با روش‌های ریاضی ساده نیست. از این رو دیداری‌سازی داده‌ها عملکرد صنعت بیمه را برای درک و خلاقیت انسان فراهم می‌کند. نرم‌افزار TABLEAU یک از ابزارهای دیداری‌سازی است که در آن امکان دسته‌بندی و الگوی داده‌ها را به صورت تصویری می‌دهد. در این مطالعه داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به خسارات زمین‌لرزه و پرداخت‌های ۱۹ شرکت بیمه در یک دهه گذشته در ایران در بعد زمان و مکان استخراج و به تصویر کشیده می‌شود.

### ۳-۲- احتمال پرداخت خسارت

تعیین میانگین احتمال پرداخت خسارت با استفاده از رگرسیون لوژستیک (Dobson & Barnett, 2018) انجام می‌شود. متغیر پاسخ این مدل دارای توزیع دو جمله‌ای است که در آن مقدار ۰ نشان‌دهنده عدم پرداخت و مقدار ۱ نشان‌دهنده پرداخت خسارت به بیمه‌گذار برای یک بیمه‌نامه صادره است.

کرده بود. بنابراین موقعیت فضایی سایت‌های مشاهده شده، مرکز سطح هر شهرستان در نظر گرفته شد. در نتیجه با توجه به اینکه استان کرمانشاه دارای ۱۴ شهرستان است، ۱۴ موقعیت فضایی برای مشاهدات در استان کرمانشاه خواهد بود.

در رابطه (۵)،  $\alpha_i$  وزن‌های کریگیدن برای مقادیر میدان تصادفی در  $n$  مکان مشاهده شده است که می‌توان با استفاده از رابطه (۸) و با در نظر گرفتن  $\sum \alpha_i = 1$  تعیین کرد که در آن ضریب لاگرانژ  $\tau$  است.

$$A = \Gamma_0^{-1} \gamma_0 \quad (۸)$$

$\gamma_0 = [\gamma(h_{01}), \gamma(h_{02}), \dots, \gamma(h_{0n}), 1]_{1 \times (n+1)}^T$  بردار مقادیر نیم‌تغییرنگار<sup>۱۷</sup> در محل موقعیت  $s_0$  است که در آن  $\gamma(h_{ij})$  مقدار نیم‌تغییرنگار نقاط  $i$  و  $j$  است. مدل‌های معتبر متفاوتی در ادبیات فنی برای نیم‌تغییرنگار تعریف می‌شود که در میان آنها مدل‌نمایی مطابق رابطه (۹) است (Sharifzadegan & Fathi, 2008; PourAhmad et al., 2018).

$$\gamma(h_{ij}) = \sigma^2 [1 - \exp(-\theta \|h_{ij}\|)] \quad (۹)$$

در رابطه (۹)،  $h_{ij}$  فاصله اقلیدسی بین سایت  $i$  و  $j$ ،  $\sigma^2$  ازاره<sup>۱۸</sup> که واریانس باقیمانده‌ها و  $1/\theta$  دامنه<sup>۱۹</sup> مدل (در فواصل بیشتر،  $e(s_i)$  و  $e(s_j)$  بدون همبستگی فضایی در نظر گرفته می‌شوند) است. همچنین ماتریس  $\Gamma_0$  به صورت رابطه (۱۰) است.

$$\Gamma_0 = \begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(h_{n1}) & \dots & \gamma(h_{nn}) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}_{(n+1) \times (n+1)} \quad (۱۰)$$

در نهایت با جایگذاری متغیرها در رابطه (۴)، احتمال پرداخت خسارت توسط شرکت بیمه به بیمه‌گذار ساختمان در موقعیت  $s_0$  به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. برای جزئیات بیشتر به منابع (Banerjee et al., 2014; Cressie, 1993; Le & Zidek, 2006) مراجعه شود.

$$P(s_0) = \mu(s_0) + \sum_{i=1}^n \alpha_i (P(s_i) - \mu(s_i)) \quad (۱۱)$$

روش‌های آمار فضایی که در آن همبستگی فضایی میان داده‌های محیطی زمین‌لرزه را در مدل‌ها در نظر می‌گیرد موجب افزایش دقت ارزیابی‌ها می‌شود. روش کریگیدن از جمله روش‌های آمار فضایی برای پیش‌بینی احتمال پرداخت خسارت از سوی شرکت بیمه به بیمه‌گذاران ساختمان با در نظر گرفتن همبستگی فضایی با دقتی بالاتر از روش‌های آمار کلاسیک است. این روش از یک اثر میانگین  $\mu(s_0)$  و یک فرآیند گاوسی  $e(s_0)$  به‌عنوان باقیمانده (Banerjee et al., 2014; Cressie, 1993; Le & Zidek, 2006) برای پیش‌بینی احتمال پرداخت خسارت به بیمه‌گذار  $P(s_0)$  در محل موقعیت  $s_0$  مطابق رابطه (۴) تشکیل شده است.

$$P(s_0) = \mu(s_0) + e(s_0) \quad (۴)$$

مقدار  $\mu(s_0)$  از رابطه (۲) محاسبه و  $e(s_0)$  باقیمانده (خطای) مدل رگرسیون لوژستیک است که بر اساس ترکیب خطی وزن‌دار مجموعه باقیمانده‌ها  $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  در مکان‌ها  $e(s) = \{e(s_1), e(s_2), \dots, e(s_n)\}$  به صورت رابطه (۵) در موقعیت  $s_0$  با استفاده از حداقل خطای پیش‌بینی تعیین می‌شود (Banerjee et al., 2014; Cressie, 1993; Le & Zidek, 2006).

$$e(s_0) = \sum_{i=1}^n \alpha_i e(s_i) \quad (۵)$$

$e(s_i)$  باقیمانده در سایت مشاهده شده  $s_i$  است که به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$e(s_i) = P(s_i) - \mu(s_i) \quad (۶)$$

احتمال پرداخت خسارت در سایت مشاهده شده  $s_i$  با مختصات  $s_i$  است و بر اساس توزیع دو جمله‌ای به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$Z(s_i) \sim \text{Bin}(n(s_i), P(s_i)) \quad (۷)$$

$Z(s_i)$  تعداد پرداخت‌های شرکت بیمه به بیمه‌گذار ساختمان و  $n(s_i)$  تعداد بیمه‌نامه‌های صادره در سایت مشاهده شده  $s_i$  با مختصات  $s_i$  است. در این مطالعه شرکت بیمه اطلاعات پرداخت‌ها را به‌طور کلی در مقیاس شهرستان ارائه

#### ۴- نتایج

استان کرمانشاه، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، خراسان شمالی، خراسان رضوی، ایلام، بوشهر، کرمان و هرمزگان است. در این شکل، مسئله مهمی دیده می‌شود. درصد بالایی از مبالغ پرداختی یک شرکت در یک استان مشخص انجام شده است. شرکت شماره ۳ در استان کرمانشاه حدود ۱۶/۳ درصد پرداخت‌های کل شرکت‌های بیمه در کل استان‌های زلزله‌زده در طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ را پرداخته است و در سایر استان‌ها پرداخت قابل توجهی ندارد؛ یعنی نفوذ این شرکت در میان استان‌های زلزله‌زده، تنها در استان کرمانشاه است. شرکت شماره ۲ نیز حدود ۱۰ درصد پرداخت‌ها را در استان آذربایجان غربی دارد. مطابق شکل (۶) بیشترین درصد خسارات پرداختی برای سال‌ها و استان‌های مختلف، برای زلزله سال ۱۳۹۶ سرپل‌ذهاب در کرمانشاه، زلزله سال ۱۳۹۱ اهر-ورزقان در استان آذربایجان شرقی، زلزله سال ۱۳۹۸ قطور خوی در آذربایجان غربی،

در این بخش عملکرد صنعت بیمه زلزله در کل کشور در یک دهه گذشته با استفاده از روش‌های دیداری‌سازی و همچنین عملکرد یک شرکت بیمه مورد مطالعه در زلزله سرپل‌ذهاب با روش‌های آماری فضایی تحلیل و نتایج آن ارائه می‌شود.

#### ۴-۱- ارزیابی پرداخت‌های شرکت‌های بیمه

بررسی توزیع درصد خسارات پرداختی ۱۹ شرکت بیمه در استان‌های کشور می‌تواند عملکرد صنعت بیمه را در این چند سال به خوبی نمایش دهد و تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری را تسهیل نماید. برای بررسی صحیح، ارقام شکل‌ها، جداول و محاسبات آن به نرخ برابری سال ۱۳۹۵ تبدیل شده است. شکل (۵) توزیع درصد خسارات پرداختی را برای کل کشور ارائه می‌کند. بیشترین پرداخت خسارت ۱۹ شرکت بیمه مورد مطالعه به ترتیب برای

بیمه‌گر (شرکت شماره)

| استان (درصد)        | ۱    | ۲   | ۳    | ۴   | ۵   | ۶   | ۷   | ۸   | ۹   | ۱۰  | ۱۱  | ۱۲  | ۱۳  | ۱۴  | ۱۵  | ۱۶  | ۱۷ | ۱۸  | ۱۹  |
|---------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| ایران               | ۰/۳  | ۴/۹ |      | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ۰/۰ |     |     |    |     |     |
| آذربایجان شرقی      | ۴/۷  | ۰/۲ | ۰/۱  | ۲/۱ | ۰/۲ | ۴/۱ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۰/۰ | ۰/۴ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۰ |    |     | ۰/۰ |
| آذربایجان غربی      | ۰/۶  | ۹/۸ | ۰/۰  | ۰/۲ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| اردبیل              | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۱ | ۰/۰ |     |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| اصفهان              | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ |     |     | ۰/۰ |     |     | ۰/۰ |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| البرز               | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| ایلام               | ۰/۴  | ۱/۵ | ۰/۵  | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۱ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| بوشهر               | ۱/۲  | ۰/۰ | ۰/۴  | ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    | ۰/۶ | ۰/۰ |
| تهران               | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| چهارمحال و بختیاری  | ۰/۰  | ۰/۱ |      | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| خراسان جنوبی        | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| خراسان رضوی         | ۰/۵  | ۱/۱ |      | ۰/۹ | ۰/۲ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| خراسان شمالی        | ۰/۷  | ۱/۳ | ۱/۹  | ۰/۷ | ۰/۰ | ۰/۴ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۲ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| خوزستان             | ۰/۸  | ۰/۰ | ۰/۱  | ۰/۱ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| زنجان               | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| سمنان               | ۰/۰  | ۰/۳ |      | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     | ۰/۶ |     |     | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| سیستان و بلوچستان   | ۰/۱  |     |      | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     | ۰/۰ |
| فارس                | ۰/۰  | ۰/۲ | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| قزوین               | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     |     | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| قم                  | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| کردستان             | ۰/۰  | ۰/۰ | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| کرمان               | ۰/۲  | ۰/۰ | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| کرمانشاه            | ۱۶/۲ | ۱/۷ | ۱۶/۳ | ۵/۵ | ۵/۱ | ۰/۲ | ۲/۲ | ۱/۳ | ۰/۶ | ۰/۸ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۱ |    |     | ۰/۰ |
| کهگیلویه و بویراحمد | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| گلستان              | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| گیلان               | ۰/۰  | ۰/۰ | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| لرستان              | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| مازندران            | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۱ |     |     |     | ۰/۰ |     | ۰/۰ |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| مرکزی               | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    |     | ۰/۰ |
| هرمزگان             | ۰/۱  | ۰/۰ | ۰/۰  | ۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۰ | ۰/۱ |     | ۰/۱ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |    | ۰/۱ | ۰/۰ |
| همدان               | ۰/۰  | ۰/۰ |      | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     |     | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |    |     | ۰/۰ |
| یزد                 |      | ۰/۰ |      | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     | ۰/۰ |

شکل (۵): توزیع درصد پرداخت ۱۹ شرکت بیمه مورد مطالعه در استان‌های کشور از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹.

| استان محل وقوع      | سال  |      |      |      |      |       |      |      |      |      |       |       |       |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
|                     | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۷ | ۱۳۸۸ | ۱۳۸۹ | ۱۳۹۰ | ۱۳۹۱  | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ | ۱۳۹۶  | ۱۳۹۷  | ۱۳۹۸  | ۱۳۹۹ |
| ایران               |      |      |      |      | ۰/۰۲ |       | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰  | ۴/۸۷  |       | ۰/۰۵  | ۰/۰۶ |
| آذربایجان شرقی      | ۰/۱  | ۰/۰۰ |      |      | ۰/۰۰ | ۱۰/۸۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰  | ۰/۱۱  | ۰/۰۰  | ۱/۴۰  | ۰/۰۰ |
| آذربایجان غربی      | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ |      |      | ۰/۰۷ | ۰/۰۳  | ۰/۰۴ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰  | ۰/۱۷  | ۰/۰۲  | ۱۰/۲۵ | ۰/۰۰ |
| اردبیل              | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۸  | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰  | ۰/۰۵  | ۰/۰۰  | ۰/۰۵  | ۰/۰۰ |
| اصفهان              |      |      |      |      |      |       | ۰/۰۰ |      |      |      | ۰/۰۰  | ۰/۰۲  | ۰/۰۰  |      |
| البرز               |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ |      |      | ۰/۰۰  |      |      |      | ۰/۰  | ۰/۰۵  | ۰/۰۰  |       | ۰/۰۰ |
| ایلام               |      |      |      |      |      | ۰/۰۷  | ۰/۰۱ | ۲/۱۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰  | ۰/۵۷  | ۰/۰۵  | ۰/۰۲  | ۰/۰۱ |
| بوشهر               |      |      |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰  | ۲/۵۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۰  | ۰/۰۲  | ۰/۰۱  | ۰/۰۵  | ۰/۰۰ |
| تهران               |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ |      |       | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰  | ۰/۱۶  | ۰/۰۷  | ۰/۰۱  | ۰/۱۵ |
| چهارمحال و بختیاری  |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۸  | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰  | ۰/۰۵  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۱ |
| خراسان جنوبی        | ۰/۰۱ |      |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۲  |      | ۰/۰۰ |      |      | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  |      |
| خراسان رضوی         |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۴۱ | ۰/۷۴ | ۰/۲۶  | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۱۷ | ۰/۰  | ۱/۵۷  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ |
| خراسان شمالی        |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۱ | ۰/۰  | ۵/۱۱  | ۰/۰۰  | ۰/۰۱  |      |
| خوزستان             |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰  | ۰/۵۱  | ۰/۰۳  | ۰/۵۳  | ۰/۰۱ |
| زنجان               |      |      |      |      |      |       |      |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ |       |       | ۰/۰۱  |      |
| سمنان               |      |      |      | ۰/۰۱ |      |       |      | ۰/۰۴ | ۰/۰۰ | ۰/۳۳ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ |
| سیستان و بلوچستان   |      |      |      | ۰/۰۰ |      |       | ۰/۱۱ |      |      |      |       |       |       |      |
| فارس                |      |      |      | ۰/۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳  | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |      | ۰/۲۵ | ۰/۰۱  | ۰/۰۰  | ۰/۰۱  | ۰/۰۱ |
| قزوین               |      | ۰/۰۰ |      |      |      |       |      |      |      |      | ۰/۰۰  |       | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ |
| قم                  |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      | ۰/۰۰  |       | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ |
| کردستان             |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰ |      |       |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ | ۰/۱۰  | ۰/۰۲  | ۰/۰۰  |      |
| کرمان               | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ |      | ۰/۷۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱  | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۴۷  | ۰/۰۱  |       | ۰/۰۰ |
| کرمانشاه            |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۲۴ | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ | ۳۷/۸۰ | ۱۱/۷۹ | ۰/۱۶  | ۰/۰۳ |
| کهگیلویه و بویراحمد |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۴۹  | ۰/۰۲  | ۰/۰۲  | ۰/۳۲ |
| گلستان              |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  | ۰/۰۲ |
| گیلان               |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۸  | ۰/۰۲  | ۰/۰۶  | ۰/۰۰ |
| لرستان              |      |      |      | ۰/۰۰ |      | ۰/۲   |      | ۰/۰۰ |      |      | ۰/۰۳  | ۰/۰۰  |       | ۰/۰۶ |
| مازندران            |      | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱  | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۱  | ۰/۱۱  | ۰/۰۰  | ۰/۰۳ |
| مرکزی               |      |      |      | ۰/۰۰ |      |       | ۰/۰۰ |      |      | ۰/۰۰ | ۰/۰۲  | ۰/۰۰  |       |      |
| هرمزگان             |      | ۰/۱۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱  | ۰/۴۸ | ۰/۲۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰  | ۰/۱۷  | ۰/۰۳  | ۰/۰۰ |
| همدان               |      |      |      |      |      | ۰/۰۰  |      |      |      |      | ۰/۰۰  | ۰/۰۰  |       | ۰/۰۰ |
| یزد                 |      |      |      |      |      |       | ۰/۰۰ |      |      |      | ۰/۰۱  | ۰/۰۰  |       | ۰/۰۰ |

شکل (۶): توزیع درصد پرداخت شرکت‌های بیمه از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ در کشور.

#### ۲-۴- تعیین احتمال پرداخت خسارت شرکت بیمه مورد

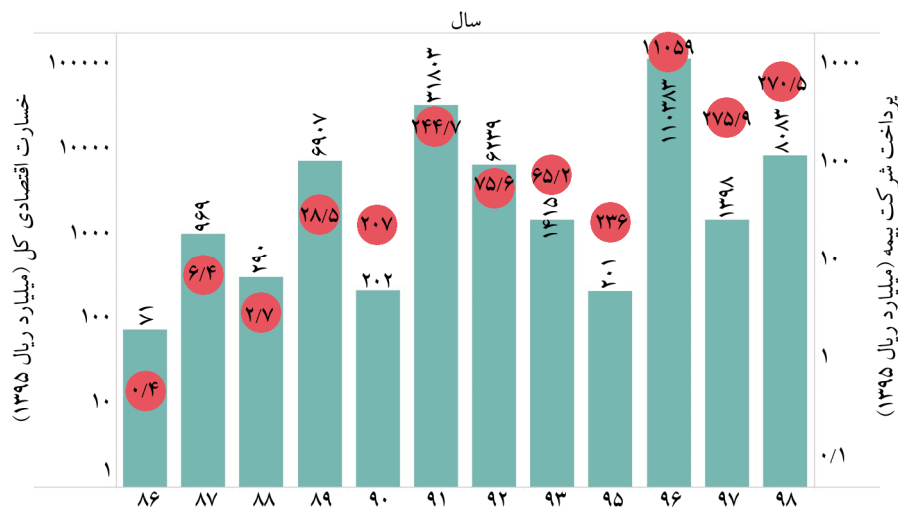
##### مطالعه در زلزله سرپل ذهاب

در این بخش احتمال پرداخت خسارت توسط شرکت بیمه به بیمه‌گذار ساختمان در موقعیت‌های فضایی در سطح استان کرمانشاه پیش‌بینی می‌گردد.

ابتدا میانگین احتمال پرداخت خسارت بر اساس شدت زمین‌لرزه محاسبه می‌شود. سپس باقیمانده‌ها در موقعیت‌های فضایی در نقاط مشاهده شده تعیین و با برازش تابع نیم‌تغییرنگار نمایی به تغییرنگار باقیمانده‌ها، پارامترهای همبستگی فضایی به دست می‌آید. در نهایت با داشتن باقیمانده‌ها در موقعیت‌های مشاهده شده و پارامترهای همبستگی فضایی، توزیع فضایی احتمال پرداخت خسارت بر اساس همبستگی فضایی و متغیرهای مختلف شدت زمین‌لرزه در پنج مدل مختلف پیش‌بینی می‌شود.

زلزله سال ۱۳۹۶ خراسان شمالی، زلزله‌های شنبه و برازجان سال ۱۳۹۲ بوشهر، زلزله سال ۱۳۹۳ مورموری ایلام و زلزله سال ۱۳۹۶ سفیدسنگ در خراسان رضوی است. در این شکل وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد در سال‌های متوالی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ و پرداخت‌های سنگین از سوی شرکت‌های بیمه را نشان می‌دهد. بی‌توجهی به این موارد موجب انباشتگی زیان و ورشکستگی شرکت‌های بیمه خواهد شد.

با مقایسه خسارات پرداخت شده توسط ۱۹ شرکت بیمه مورد مطالعه با خسارات اقتصادی کل زلزله در سال‌های مختلف مطابق شکل (۷)، روند روبه‌رشد خسارات زلزله‌ها با رشد مضاعف پرداخت شرکت‌های بیمه مواجه شده است. در واقع صنعت بیمه سهم بیشتری نسبت به سال‌های قبل در ارتباط با جریان خسارات زلزله داشته است اما هنوز فاصله زیادی با کشورهای توسعه‌یافته دارد.



شکل (۷): خسارت اقتصادی کل و پرداخت شرکت بیمه از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۸.

است، برازندگی بهتری به داده دارد. هرچه مقادیر AIC کمتر باشد برازندگی مدل به داده‌ها بهتر است. پس از آن مدل رگرسیون ۴ که در آن از بیشینه سرعت زمین لرزه به‌عنوان متغیر توضیحی استفاده شده برازندگی بهتری دارد.

#### ۴-۲-۲- پیش‌بینی احتمال پرداخت با روش کریگیدن

تعیین عملکرد شرکت بیمه مورد مطالعه در موقعیت‌های فضایی برابر حاصل جمع میانگین احتمال پرداخت و باقیمانده (خطا) است.

میانگین احتمال پرداخت در بخش قبل محاسبه شد. برای محاسبه باقیمانده در نقاط مختلف باید باقیمانده مدل رگرسیون لوژستیک در نقاط مشاهده شده را محاسبه و سپس پارامترهای همبستگی فضایی یعنی دامنه و آزاره را تعیین کرد.

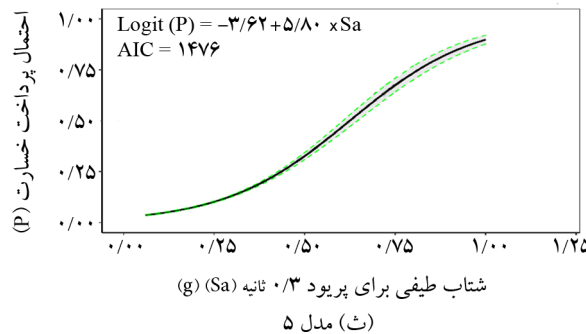
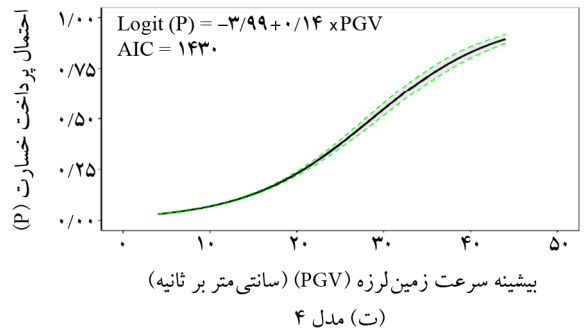
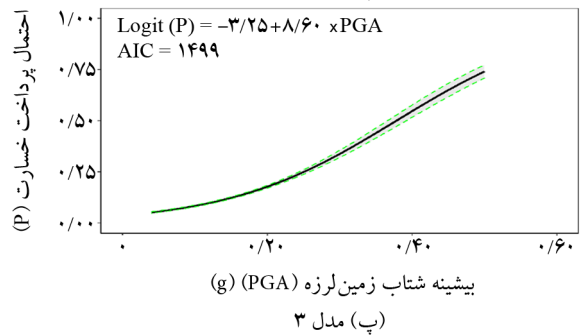
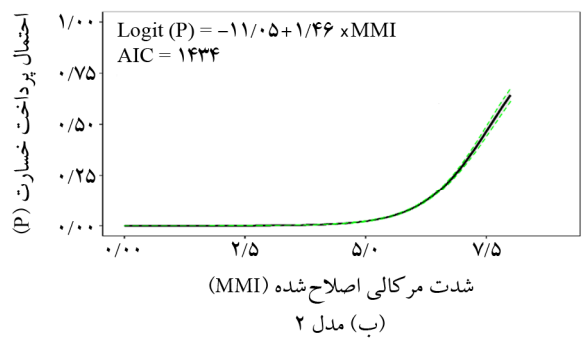
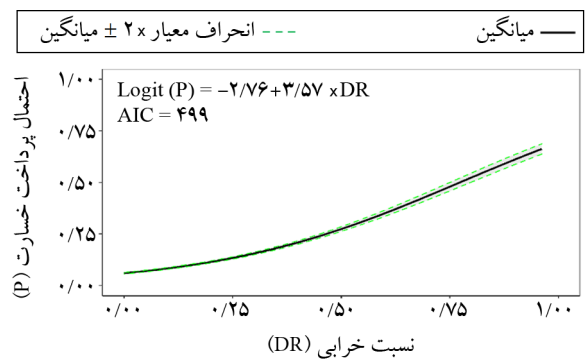
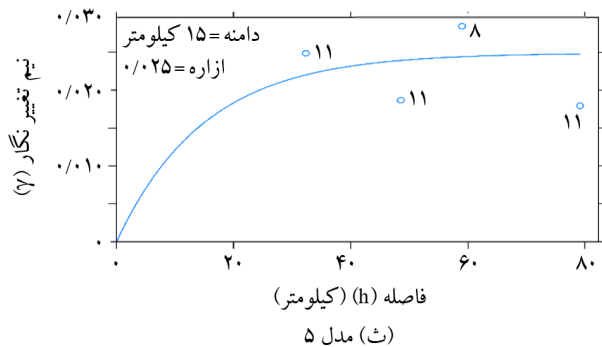
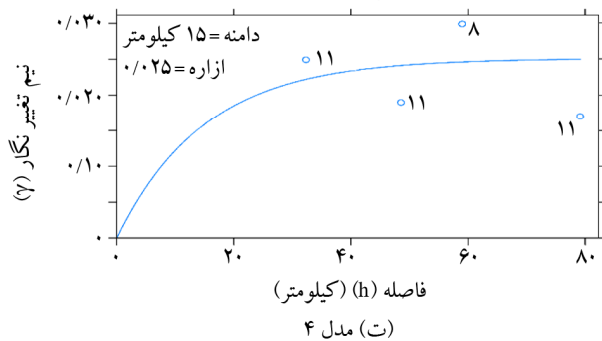
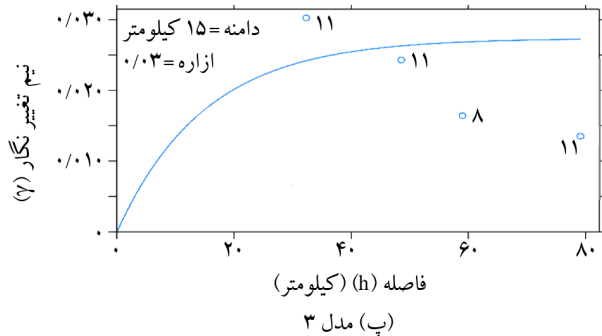
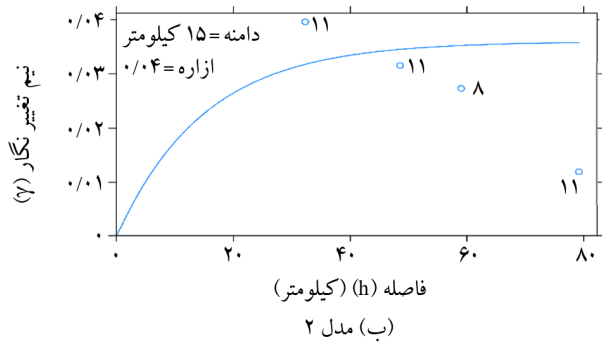
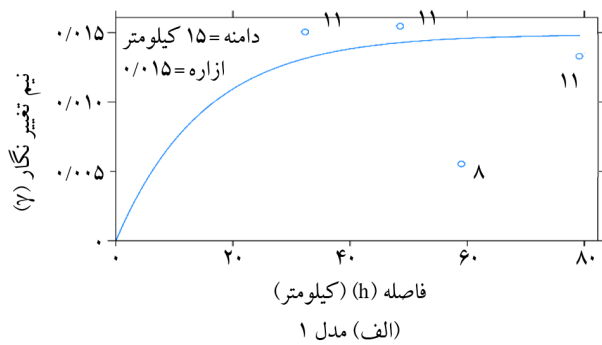
در شکل (۹) پارامترهای همبستگی فضایی بر اساس برآزش تابع نیم تغییر نگار نمایی به نیم تغییرنگار باقیمانده‌ها بر اساس پنج مدل با متغیرهای مختلف شدت زمین لرزه برآورد می‌شود. با توجه به تعداد کم مشاهدات، دامنه همبستگی فضایی بر اساس مطالعات پیشین (Loos et al., 2020) و نظر متخصصان ۱۵ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه بر اساس روش کمترین خطاها آزاره برای پنج مدل رگرسیون تعیین می‌شود.

#### ۴-۲-۱- برآورد پارامترهای رگرسیون لوژستیک

برای تعیین میانگین احتمال پرداخت برای بررسی عملکرد شرکت‌های بیمه در موقعیت‌های فضایی، بر اساس متغیرهای مختلف شدت زمین لرزه، پنج مدل رگرسیون لوژستیک به داده‌های شرکت بیمه مورد مطالعه برآزش داده و برازندگی مدل‌ها به داده ارزیابی می‌شود.

شکل (۸)، احتمال پرداخت خسارت به بیمه‌گذار ساختمان از سوی بیمه‌گر ۲۰ را بر اساس پنج مدل رگرسیون لوژستیک نمایش می‌دهد. مطابق این شکل احتمال پرداخت به افزایش شدت زمین لرزه افزایش دارد. در محدوده شدت‌های کم، احتمال پرداخت توسط شرکت بیمه با شیب کمی افزایش می‌یابد. در واقع در مناطقی که میزان آسیب در کل آن منطقه فراگیر نیست، احتمال پرداخت توسط شرکت‌های بیمه کمتر است. در محدوده شدت متوسط تا زیاد، احتمال پرداخت به شدت افزایش می‌یابد. هرچند که در برخی از این متغیرهای شدت (بیشینه سرعت زمین لرزه و شتاب طیفی ۰/۳ ثانیه)، شیب تند مدل‌های احتمال پرداخت خسارت برای سطوح شدت بالا به‌طور نسبی کاهش می‌یابد.

علاوه بر این، معیار AIC<sup>۲۱</sup> که برازندگی مدل‌ها به داده‌ها را بررسی می‌کند، نشان می‌دهد که مدل رگرسیون ۱ که در آن از نسبت خرابی ساختمان‌ها به‌عنوان متغیر توضیحی استفاده شده



شکل (۹): برازش توابع نیم تغییرنگار به تغییرنگار باقیمانده‌ها احتمال پرداخت خسارت برای مدل‌های مختلف.

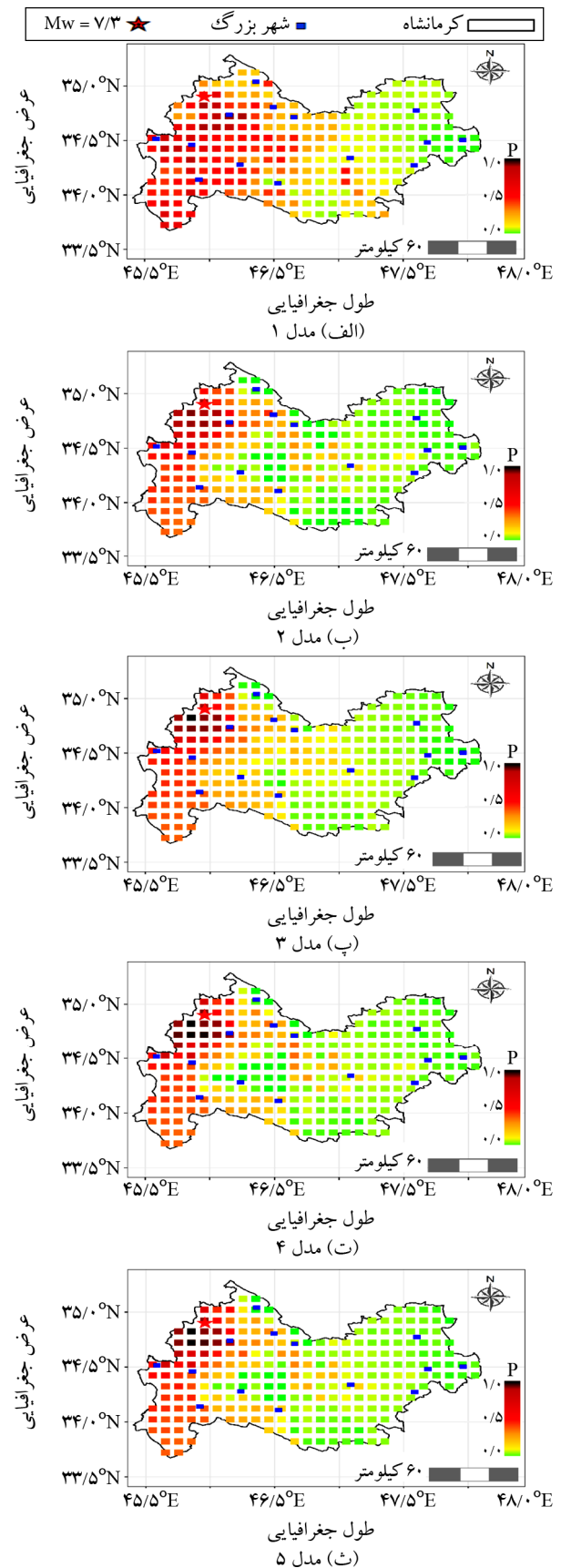
شکل (۸): مدل‌های رگرسیون لوژیستیک برای متغیرهای مختلف شدت زمین‌لرزه.

پس از تعیین باقیمانده‌ها در ۱۴ موقعیت در مرکز سطح شهرستان و پارامترهای همبستگی فضایی، احتمال پرداخت خسارت از طرف شرکت بیمه مورد مطالعه به بیمه‌گذاران در ۲۴۳ موقعیت فضایی در استان کرمانشاه مطابق شکل (۱۰) بر اساس پنج مدل پیش‌بینی می‌شود. احتمال پرداخت‌های شرکت بیمه به بیمه‌گذاران ساختمان در غرب استان کرمانشاه و در جنوب کانون زمین‌لرزه (شمال غربی استان کرمانشاه) متمرکز است. این مدل‌ها احتمال پرداخت خسارت در شهرهای بزرگ و اطراف آنها بیشتر تعیین می‌کنند. در تازه‌آباد، سرپل‌ذهاب، قصر شیرین و گیلان غرب احتمال پرداخت‌ها به نسبت بیمه‌نامه‌های صادره بیشتر است. در واقع نشان می‌دهد شرکت‌های بیمه در مراکز شهری نفوذ بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند. این مسئله در مرکز استان کرمانشاه، یعنی شهر کرمانشاه، با توجه به فاصله زیاد از کانون زمین‌لرزه با شدت بیشتری صدق می‌کند. علاوه بر این، مدل ۱ نسبت به سایر مدل‌ها احتمال پرداخت را با مقدار بیشتر و متمرکزتر در شهرهای بزرگ نشان می‌دهد. متغیر مستقل نسبت خرابی منطقه این مدل از مشاهدات میدانی به دست آمده است، در نتیجه پیش‌بینی آن با واقعیت تطابق بهتری دارد.

#### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه شرکت‌های بیمه به خوبی دریافته‌اند که موفقیت آنها در گرو شناسایی دقیق بازارهای هدف و عرضه خدمات و محصولات به مشتریان با قیمت مناسب است. در این راستا، یک مؤلفه بسیار مهم، مؤلفه موقعیت جغرافیایی یا مکان است. استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در صنعت بیمه مزیت‌های بسیاری می‌تواند به همراه داشته باشد. از مدیریت مکانی بیمه‌گذاران گرفته تا تشخیص مکان‌های پرریسک و تحلیل مکانی مدعیان خسارت. با تحلیل‌های مکانی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌توان به چالش‌هایی مانند تعهدات، فروش و بازاریابی، مدیریت ادعای خسارت و افزایش کیفیت خدمات مشتری پاسخ داد.

در تحلیل ریسک، دانستن اینکه دارایی‌ها در کجا واقع



شکل (۱۰): توزیع فضایی پیش‌بینی احتمال پرداخت خسارت برای مدل‌های مختلف.

Abbasnejadfar, M., Bastami, M., & Fallah, A. (2021a). Investigating the spatial correlations in univariate random fields of peak ground velocity and peak ground displacement considering anisotropy. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1), 24. doi: 10.1186/s40677-021-00196-w

Abbasnejadfar, M., Bastami, M., & Fallah, A., Garakaninezhad, A. (2021b). Analyzing the effect of anisotropic spatial correlations of earthquake intensity measures on the result of seismic risk and resilience assessment of the portfolio of buildings and infrastructure systems. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(14), 5791-5817. doi: 10.1007/s10518-021-01203-z

Banerjee, S., Carlin, B.P., & Gelfand, A.E. (2014). *Hierarchical Modeling and Analysis for Spatial Data*. Chapman and Hall/CRC. doi: 10.1201/b17115

Bastami, M. (2012). *Drafting an Earthquake Insurance Policy in the Housing Sector and Providing a Practical Model to Investigate the Role of Insurance in Improving the Quality of Buildings in Iran*. Research Project, Insurance Research Center (in Persian).

Bastami, M. (2013). *Investigating the Performance of Buildings and Infrastructure Facilities, and the Performance of the Insurance Industry in the 2012 East Azerbaijan Earthquakes*. Research Project, Insurance Research Center (in Persian).

Bonneau, G.P., Ertl, T., & Nielson, G.M. (2006). *Scientific Visualization: The Visual Extraction of Knowledge from Data*. 1. Springer, Berlin. doi: 10.1007/3-540-30790-7

Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. John Wiley & Sons, doi: 10.1002/9781119115151

Dobson, A.J., & Barnett, A.G. (2018). *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman and Hall/CRC.

Farzanegan, E., Pourmohammad Shahvar, M., Eshaghi, A., Mirsanjari, M., Abdollahi, H., & Mirzaee, H. (2017). *Report of the November 12, 2017 Sarpol-e Zahab, Kermanshah Province Earthquake*. Iran Strong Motion Network.

Garakaninezhad, A., & Bastami, M. (2019). Intra-event spatial correlation model for the vertical component of response spectral accelerations. *Journal of Seismology*,

شده‌اند و تا چقدر در معرض آسیب و خطر قرار دارند و همچنین استفاده از هوش مکانی بسیار حیاتی است. مهم‌ترین کاربرد آمار فضایی در صنعت بیمه، فراهم آوردن ابزارهای دقیقی است تا متخصصین بتوانند با تلفیق داده‌های مکان محور و تحلیل آنها، در زمان مقتضی به تصمیمات درست دست یابند. در این مطالعه اطلاعات خسارات زمین‌لرزه‌ها و پرداخت‌های ۱۹ شرکت بیمه در بیش از یک دهه گذشته جمع‌آوری و تحلیل‌هایی با روش‌های دیداری‌سازی و آمار فضایی همچون پیشگوی فضایی کریگیدن انجام شد.

پس از بررسی پرداخت‌های ۱۹ شرکت بیمه مورد مطالعه در زلزله‌های گذشته با روش‌های دیداری‌سازی، نفوذ نامتعادل شرکت‌های بیمه و تحمیل بار مالی زیاد در مناطق نفوذ آن‌ها را در پی وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب و پر تعداد نشان داد؛ بنابراین شرکت‌های بیمه باید بخشی از سود خود را تحت عنوان ذخیره ریسک، ذخیره و در صورت وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب در مناطق بیمه‌شده از آن استفاده کنند. علاوه بر این وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد خسارت‌بار در سال ۹۶ لزوم توجه بیش از پیش به صندوق بیمه حوادث طبیعی را به خوبی نشان می‌دهد تا در مواقع این چنین به تعهدات عمل شود.

نتایج بررسی تعداد پرداخت‌های شرکت بیمه مورد مطالعه در زلزله سرپل‌ذهاب با روش پیشگوی فضایی کریگیدن نشان داد، پرداخت‌ها در غرب استان کرمانشاه جایی که خسارات بیشتری به بخش ساختمان وارد شده متمرکز است. علاوه بر این در مرکز شهرهای بزرگ و اطراف آن پرداخت‌های بیشتری صورت گرفته است. مدل‌های فضایی به خوبی توزیع پرداخت‌ها در استان کرمانشاه را تعیین کرده است.

## References

## مراجع

Abbasnejadfar, M., Bastami, M., & Fallah, A. (2020). Investigation of anisotropic spatial correlations of intra-event residuals of multiple earthquake intensity measures using latent dimensions method. *Geophysical Journal International*, 222(2), 1449-1469. doi: 10.1093/gji/ggaa255

*Spectra*, 36(4), 1695-1718. doi: 10.1177/8755293020926190

Management and planning organization. (2018). *The 12 November 2017 Sarpol-e Zahab Earthquake "Lessons Learned"*. Kermanshah (In Persian).

Markhvida, M., Ceferino, L., & Baker, J.W. (2018). Modeling spatially correlated spectral accelerations at multiple periods using principal component analysis and geostatistics. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 47(5), 1107-1123. doi: 10.1002/eqe.3007

Mohammadzadeh, M. (2012). *Spatial Statistics and its Applications*. Tarbiat Modares University Press, Tehran (in Persian).

Munich Re Institute, [www.munichre.com](http://www.munichre.com).

Niakan, L. (2018). *The Role of the Insurance Industry in Earthquake Risk, with an Emphasis on the Sarpol Zahab Earthquake in Kermanshah Province*. The first meeting to review the reconstruction process of the earthquake-affected areas of Kermanshah. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (in Persian). [http://www.iiees.ac.ir/fa/wp-content/uploads/2018/11/Niyakan\\_Sarpol\\_1397\\_08\\_21\\_n.pdf](http://www.iiees.ac.ir/fa/wp-content/uploads/2018/11/Niyakan_Sarpol_1397_08_21_n.pdf)

Pakdel-Lahiji, N., Hochrainer-Stigler, S., Ghafory-Ashtiany, M., & Sadeghi, M. (2015). Consequences of financial vulnerability and insurance loading for the affordability of earthquake insurance systems: Evidence from Iran. *The Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice*, 40(2), 295-315. doi: 10.1057/gpp.2014.35

Palm, R. (1995). *Earthquake Insurance: A Longitudinal Study of California Homeowners*. 1<sup>st</sup> ed. Routledge, New York. doi: 10.4324/9780429046827

Pothon, A., Gueguen, P., Buisine, S., & Bard, P.Y. (2019). California earthquake insurance unpopularity: the issue is the price, not the risk perception. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(8), 1909-1924. doi: 10.5194/nhess-19-1909-2019

PourAhmad, A., Ziyari, K., & Sadeghi, A. (2018). Spatial analysis of physical resilience components of urban attrited/beaten tissues against earthquakes (Case study: district 10 of Tehran municipality). *Spatial Planning*, 8(1), 111-130. (In Persian). doi: 10.22108/sppl.2018.109941.1178

23(4), 853-867.

Ghavidel Rahimi Y., Baghebanan P., & Farajzadeh M. (2014). The spatial analysis of hazard of spring thunderstorms in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 1(3):59-70. (in Persian). URL: <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2348-fa.html>

Goda, K., Wenzel, F., & Daniell, J. (2014). 'Insurance and Reinsurance Models for Earthquake.' In: *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, Beer, M., Kougoumtzoglou, I., Patelli, E., and Au, IK. (ed.) Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-36197-5\_261-1

Goda, K., Wilhelm, K., & Ren, J. (2020). Relationships between earthquake insurance take-up rates and seismic risk indicators for Canadian households. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101754. doi: 10.1016/j.ijdrr.2020.101754

Grace, M.F., Klein, R.W., Kleindorfer, P.R., & Murray, M.R. (2003). *Catastrophe Insurance Consumer Demand, Markets and Regulation*. Springer, Boston. doi: 10.1007/978-1-4419-9268-0

Housing Foundation of Islamic Revolution. <https://en.bonyadmaskan.ir/SitePages/Home.aspx>

Islamic Republic News Agency (IRNA). <https://en.irna.ir/>

Japan Earthquake Reinsurance, [www.nihonjishin.co.jp](http://www.nihonjishin.co.jp)

Kajitani, Y., Chang, S.E., & Tatano, H. (2013). Economic impacts of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake and Tsunami. *Earthquake Spectra*, 29(1), 457-478. doi: 10.1193/1.400010

Kunreuther, H., & Pauly, M. (2004). Neglecting disaster: why don't people insure against large losses? *Journal of Risk and Uncertainty*, 28, 5-21. doi: 10.1023/B:RISK.0000009433.25126.87

Lallemant, D., & Kiremidjian, A. (2013). Rapid post-earthquake damage estimation using remote-sensing and field-based damage data integration. In: *11<sup>th</sup> International Conference on Structural Safety & Reliability*.

Le, N.D., & Zidek, J.V. (2006). *Statistical Analysis of Environmental Space-Time Processes*. Springer.

Loos, S., Lallemant, D., Baker, J., et al. (2020). G-DIF: A geospatial data integration framework to rapidly estimate post-earthquake damage. *Earthquake*

|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| Environmental Data                 | ۵- داده‌های محیطی       |
| Spatial Correlation                | ۶- همبستگی فضایی        |
| Latent Dimension                   | ۷- ابعاد مجازی          |
| Kriging Spatial Prediction         | ۸- پیشگوی فضایی کریگیدن |
| Autocorrelation                    | ۹- خودهمبستگی فضایی     |
| Moran                              | ۱۰- موران               |
| Local Moran                        | ۱۱- موران محلی          |
| Data Visualization                 | ۱۲- دیداری‌سازی داده‌ها |
| Spatial Statistics                 | ۱۳- آمار فضایی          |
| Policyholder                       | ۱۴- بیمه‌گذار           |
| Logistic Regression                | ۱۵- رگرسیون لوژیستیک    |
| Lagrange Multiplier                | ۱۶- ضریب لاگرانژ        |
| Semivariogram                      | ۱۷- نیم‌تغییرنگار       |
| Sill                               | ۱۸- ازاره               |
| Range                              | ۱۹- دامنه               |
| Insurer                            | ۲۰- بیمه‌گر             |
| Akaike Information Criterion (AIC) | ۲۱- معیار AIC           |

Sharifzadegan, M.H., & Fathi, H. (2008). Application of seismic risk assessment models in urban planning and design. *Soffèh*, 17(1), 109-124.

Statistical Center of Iran (2016). *Population and Housing Censuses*. [Online]. <https://www.amar.org.ir/english/Population-and-Housing-Censuses> [2022, September 10].

Swiss Re Institute, <https://www.swissre.com/>

Tsubokawa, H. (2004). Japan's Earthquake Insurance System. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, 4(3), 154-160. doi: 10.5610/jaee.4.3\_154

USGS (Published 2017). *ShakeMap, M 7.3 - 29 Km S of Halabja, U.S. Geol. Surv., Iraq*. [Online]. Available: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us2000bmcg> [2022, September 22]

Ustjanzew, A., Preussner, J., Bentsen, M., Kuenne, C., & Looso, M. (2022). i2dash: creation of flexible, interactive, and web-based dashboards for visualization of omics data. *Genomics Proteomics Bioinformatics*. 20(3), 568-577. doi: 10.1016/j.gpb.2021.01.007

Wang, G., & Du, W. (2013). Spatial cross-correlation models for vector intensity measures (PGA, IA, PGV, and SAs) considering regional site conditions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(6), 3189-3204. doi: 10.1785/0120130061

Zafarani, H., Ghafoori, S.M.M., Soghrat, M., & Shafiee, M. (2020). Spatial correlation of peak ground motions and pseudo-spectral acceleration based on the Sarpol-e-Zahab Mw 7.3, 2017 earthquake data. *Annals of Geophysics*, 63(4), SE439-SE439. doi: 10.4401/ag-8349

Zhou, X.H., Pu, L.I.A.O., & Ke, W.A.N.G. (2018). Is the "One Province One Rate" premium policy reasonable for Chinese crop insurance? The case in Jilin Province. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(8), 1900-1911.

## واژه‌نامه

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Systemic Risk        | ۱- ریسک سیستمیک |
| Exposures            | ۲- دارایی‌ها    |
| Classical Statistics | ۳- آمار کلاسیک  |
| Independent          | ۴- مستقل        |

## Assessment of Earthquake Insurance Industry's Performance Using Spatial Statistics Methods: A Case Study of the 2017 Sarpol-e Zahab Earthquake

Morteza Bastami<sup>1\*</sup>, Mahdi Rahmani-Qeranqayeh<sup>2</sup> and Asma Hamzeh<sup>3</sup>

1. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, \*Corresponding Author, email: m.bastami@iiees.ac.ir
2. Ph.D. Student, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
3. Assistant Professor Insurance Research Center, Tehran, Iran

Earthquakes are a systemic risk, simultaneously affecting large geographic areas and multiple assets, thereby imposing substantial financial burdens on insurance companies. Understanding the insurance industry's performance in past earthquakes is crucial for shaping future insurance policies and ensuring financial sustainability. By analyzing historical data and integrating it into advanced risk models, insurance companies can enhance their ability to mitigate future losses while maintaining profitability. The role of the insurance industry in compensating earthquake-induced losses has been a focal point of studies conducted by researchers, governments, and institutions worldwide. However, in Iran, the relatively short history of natural disaster insurance has resulted in a scarcity of comprehensive reports and studies. In addition, existing analyses primarily rely on classical statistical methods, which assume independence among observations. This assumption is often violated in the context of earthquake impacts, where spatial autocorrelation—where geographically proximate observations are more similar—plays a significant role. To address this limitation, spatial statistical methods, which explicitly account for spatial autocorrelation, provide a more robust analytical framework. This study investigates economic losses from earthquakes and the insurance industry's response between 2007 and 2020 across seismic regions of Iran. Data on economic losses were collected from official government statistics, statements by authorities, provincial government announcements, and news reports. Concurrently, data on insurance payouts and the number of payouts were gathered from 19 insurance companies over the same period. A focused analysis of the 2017 Sarpol-e Zahab earthquake in Kermanshah province was also conducted, examining regional losses and the payout distribution of a specific insurance company. The study employed a two-tiered analysis approach. First, a comprehensive analysis of earthquake losses and insurance payouts was conducted using data visualization techniques to manage the complexity and volume of data. This exploration spanned temporal (annual) and spatial (provincial) dimensions over the past decade. Second, for the Sarpol-e Zahab earthquake, spatial prediction techniques, specifically kriging, were used to predict the probability of insurance payouts. Logistic regression models provided baseline probability prediction, which were refined using spatial residuals to achieve higher accuracy compared to classical statistical methods. The refined spatial models enabled a detailed mapping of insurance payouts at the provincial level. The analysis revealed significant insights into the performance of insurance companies. Over the past decade, certain companies faced substantial financial burdens due to payouts for single, high-impact earthquakes. In years marked by multiple damaging earthquakes, the cumulative payouts by the insurance sector were notably high. Encouragingly, the insurance industry's contribution to compensating earthquake losses has shown a growing trend. In the case of the Sarpol-e Zahab earthquake, the analyzed insurance company demonstrated the highest probability of payouts in the western counties of Kermanshah province. Higher payouts were observed in central parts of these counties and surrounding areas, reflecting variations in policyholder distribution and building types. The spatial models effectively captured these regional payout distributions with greater accuracy than classical methods. This study underscores the importance of integrating spatial statistics into the analysis of earthquake losses and insurance industry performance. Such approaches not only provide deeper insights into loss distribution and payout patterns but also enhance the precision of risk modeling, paving the way for more resilient insurance frameworks in the face of natural disasters.

**Keywords:** Insurance Industry, Building, Spatial Correlation, Logistic Regression, Kriging Spatial Prediction, Earthquake