

## کاربرد مدل‌های تخمین خسارت در مدیریت بهینه پرتفوی بیمه زلزله

محمد رضا ذوالفقاری

دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
mrzolfaghari@hotmail.com

سینا نعیمی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
sinanaeimi@yahoo.com

کلید واژه‌ها: بهینه‌سازی، زلزله، تخمین خسارت

### چکیده

در دو دهه اخیر تلاش‌های فراوانی برای توسعه و افزایش دقت مدل‌های تخمین خسارت لرزه‌ای در کنار شناسایی بهتر عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند وقوع زلزله و دیگر فاکتورها، در کنار گسترش کاربردهای آن انجام پذیرفته است. مدل‌های تخمین خسارت لرزه‌ای ابزار قابل استفاده‌ای برای ارزیابی اثر متغیرهای بیمه‌نامه‌های زلزله بوده و کمک موثری به طیف بزرگی از مدیران تا سیاست‌گذاران منطقه‌ای و دولتی می‌دهد؛ اما استفاده از این مدل‌ها باعث ایجاد روند آزمون و خطای زیادی خواهند شد. فرانشیز، حداکثر پوشش بیمه‌ای، درصد پوشش بیمه‌ای در هر منطقه و حدود لایه‌های بیمه‌اتکایی از ابزارهای مهم مدیریت ریسک بیمه‌ای می‌باشد. در این مقاله چارچوبی برای مدل‌های ترکیبی ارائه خواهد شد که طی آن ضمن استفاده از نتایج مدل‌های تخمین خسارت لرزه‌ای به تخمین خسارت بیمه از طریق شبیه‌سازی روابط بین بیمه‌گذار، بیمه‌گر و بیمه‌اتکایی با بهره‌مندی از متدهای ابتکاری به صورت منطقی و روشمند به بهینه‌سازی پارامترهای دخیل در مدیریت ریسک بیمه پرتفوی بیمه بپردازد. مطالعه موردی پیرامون بهینه‌سازی پارامترهای بیمه در تهران انجام پذیرفته است که طی آن شرایط لرزه‌خیزی منطقه‌ای که شهر تهران در آن قرار گرفته، اطلاعات ساختمان‌ها و شرایط شکنندگی آنها در مدل توسعه داده شده اعمال گشته و نهایتاً شروط بیمه‌نامه بهبود یافته منتج شده است.

### مقدمه

زلزله از خسارات‌بارترین سوانح طبیعی در دهه‌های اخیر می‌باشد که می‌تواند موجبات خسارات شدید مالی و جانی شده و معیارهای اقتصادی را تحت شعاع قرار دهد. از میان ابزارهای معمول مدیریت ریسک زلزله بیمه به عنوان مهمترین ابزار اشتراک ریسک، بیشتر از سایر موارد استفاده می‌شود، اما بیمه به عنوان یک فعالیت اقتصادی که با هدف سودآوری اداره می‌شود، خود در خطر ورشکستگی ناشی از خسارت سنگین سوانح طبیعی بزرگ می‌باشد. بیمه حوادث معمول را با استفاده از قانون «تعداد زیاد» مدیریت می‌کنند که بر اساس آن هر چه تعداد ریسک‌های تحت پوشش بیمه بیشتر باشد، احتمال وقوع خسارات‌های بزرگ همزمان، کمتر خواهد شد. برای مثال در صورتی که یک میلیون خودرو تحت پوشش یک بیمه‌گر باشند، خسارت دیدن روزانه تا ۱۰ خودرو تاثیر چندانی در سرمایه شرکت ندارد. اطلاعات آماری زیادی که در مورد خسارات ریسک حوادث معمول وجود دارد در کنار تعدد وقوع زیاد و کم بودن خسارات و تبعات آنها به تخمین ریسک پرتفوی تحت پوشش کمک و بیمه پذیری ریسک‌های معمول را تسهیل می‌کند. لهنذا تعداد سوانح زلزله در هر مکان و نتیجتاً اطلاعات مربوط به خسارت آن کم می‌باشد و حتی در صورت وجود چنین اطلاعاتی، گسترش پیوسته و تغییر بافت شهرها و سرمایه‌ها موجب بی‌اعتباری آنها خواهد شد. در صورت وقوع چنین حوادثی بخش زیادی از پرتفوی پوشش داده شده توسط بیمه‌گر، تحت تاثیر قرار می‌گیرند که موجب تجمع ناگهانی خسارات شده و در نتیجه بازپرداخت تعهدات آن برای بیمه‌گر می‌تواند بسیار سنگین بوده و شرکت را به شرایط ناتوانی در پرداخت دیون<sup>۱</sup> برساند. پس از طوفان اندرو<sup>۲</sup> و زلزله نورث‌ریج

<sup>1</sup> Insolvency

<sup>2</sup> Andrew



در نیمه اول دهه ۹۰ میلادی که باعث ایجاد خسارت‌های شدید بیمه‌ای شدند، کاربرد مدل‌های تخمین خسارت در مدیریت بیمه‌ای به شکل وسیعی مورد توجه قرار گرفت و تحقیقات پیرامون توسعه، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و گسترش کاربرد آن‌ها شتاب پیدا کرد. سه شرکت AIR، RMS و EQECAT مدل‌های تخمین خسارت سوانح طبیعی از جمله زلزله و طوفان را جهت مدلسازی خسارات و اعمال عدم قطعیت‌ها ارائه کرده‌اند. HAZUS توسط آژانس مدیریت حوادث غیر مترقبه آمریکا (FEMA) با استفاده از منابع بخش عمومی و خصوصی برای شرایط لرزه‌ای و ساختمانی آمریکا توسعه داده و در سال ۱۹۹۷ ارائه شد و بعد از آن در بخش‌های مختلفی در رابطه با مدل، متدولوژی، نرم افزار و اطلاعات به روزرسانی‌هایی داشته است (Grossi & Kunreuther 2005). در بخش تحقیقات موردی مدل‌های تخمین لرزه‌ای مختلفی برای تخمین خسارت شهرها و کشورها با کاربردهای مختلف ارائه شد که از جمله آن مدل‌ها با کاربرد بیمه‌ای می‌توان به مدل‌های (Cardenas et al. 2007) برای مکزیک، (Kuzak et al. 2004) و (Bommer et al. 2002) برای ترکیه، (Asprone et al. 2013) برای ایتالیا و (Zolfaghari 2010) برای ایران اشاره کرد. این مدل‌های غالباً خسارت بیمه‌ای را در قالب منحنی‌های احتمال فراگذشت خسارت که در مدیریت منابع و ریسک پرتفوی بیمه و مطالعه تاثیر شروط بیمه‌نامه کاربرد وسیع دارند، به دست می‌آورند. در صورتی که هدف از مطالعه خسارت بیمه‌ای ناشی از زلزله، بهینه‌سازی شروط بیمه‌نامه و بیمه‌ها اتکایی باشد، استفاده از مدل‌های تخمین خسارت لرزه‌ای در کنار مدل‌های بیمه‌ای تعداد زیادی موارد آنگاه-اگر<sup>۳</sup> ایجاد می‌کند که هزینه محاسباتی زیاد در پی داشته و موجب می‌شود که نتوان به صورت کاربردی از آن استفاده کرد. همچنین به دلیل استفاده از عملگرهای  $\max$  و  $\min$  در روند محاسبه لایه‌های خسارت بیمه‌ای نمی‌توان از مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی استفاده کرد (Ermoliev et al. 2000). ارمولیو و همکارانش مدلی بر مبنای آنالیز مونت کارلو اصلاح شده برای بهینه‌سازی شروط بیمه‌نامه ارائه کرده‌اند (Ermoliev et al. 2001). کست و همکارانش نیز مدلی احتمالاتی دینامیک برای بهینه‌سازی شروط بیمه‌نامه و بیمه اتکایی برای زلزله سیل توسعه داده‌اند (Kesete et al. 2014). در این تحقیق مدلی برای تخمین خسارت لرزه‌ای تهران با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها موجود در وقوع و بزرگی زلزله، شدت زلزله و وقوع خسارت، توسعه داده خواهد شد. پس از آن مدلی برای بیمه و بیمه اتکایی ارائه و با ترکیب این دو مدل با مدل بهینه‌سازی سعی در بهینه‌سازی متغیرهای مورد نظر یعنی فرانشیز، حداکثر پوشش بیمه‌ای و درصد پوشش بیمه‌ای در هر مکان و هر گونه ساختمانی خواهد شد.

## مدل تخمین خسارت

مدل تخمین خسارت دارای دو بخش اساسی تحلیل خطر و تخمین خسارت می‌باشد. در مدل تحلیل خطر، زلزله‌ها و احتمال وقوع و بزرگی آنها بر حسب لرزه‌خیزی و شرایط تکتونیک لرزه‌ای منطقه حساب و تاثیر شدت زلزله در نقاط مورد نیاز در غالب پارامترهای جنبش قوی زلزله (PGA، Sd و ...) بدست آورده می‌شود. سناریوهای زلزله به صورت ترکیبی یا تعداد معدودی از آنها در مطالعات تخمین خسارت به منظور مدل‌سازی لرزه‌خیزی به شکل تعیینی کاربرد دارد. سناریوهای زلزله که بیشتر شامل زلزله‌های خسارت‌بار تاریخی می‌باشند به منظور مطالعه آثار بالقوه سناریوهای فوق در صورت وقوع مجدد، در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از سناریوهای زلزله به صورت تعیینی در مدل‌های تخمین خسارت، با دید احتمالاتی که مورد نیاز مدل‌های تخمین خسارت با کاربرد بیمه‌ای می‌باشند همخوانی ندارد، لذا استفاده از روش‌های احتمالاتی بیشتر توجیه شده می‌باشند؛ لهذا استفاده از روش PSHA کلاسیک به منظور به دست آوردن جنبش زمین در بازه‌ای از دوره‌های بازگشت و ترکیب نمودارهای خطر با سرمایه‌های در خطر و میزان آسیب‌پذیری آنان برای هر مکان به عنوان روش جایگزین پیشنهاد (Cao et al. 1999) و استفاده (Campbell et al. 2000a; Campbell et al. 2000b) شده است. در عین حال استفاده از PSHA برای مطالعات تخمین خسارت توسط محققان زیادی به دلیل در نظر نگرفتن همبستگی‌ها زیر سوال رفته است (Chang et al. 2000; Taylor et al. 2001; Crowley & Bommer 2006). گزینه دیگر استفاده از نتایج جداسازی شده<sup>۴</sup> تحلیل خطر می‌باشد، اما تعداد زیاد محاسباتی که برای هر دوره بازگشت نیاز است، استفاده از این روش را در مدل‌های بزرگ از حیز ارتفاع خارج می‌سازد. گزینه دیگر استفاده از کاتالوگ اطلاع شده زلزله‌های تاریخی به عنوان سناریو می‌باشند؛ هر چند که به دلیل کم بودن زمانی که دستگاه‌ها قادر به ثبت دقیق زلزله‌ها هستند، تعداد زلزله‌های دستگاهی کم بوده و نشان‌دهنده‌ی کاملی از شرایط لرزه‌خیزی محل نمی‌باشند که این موضوع در کنار عدم قطعیت‌هایی که زلزله‌های تاریخی دارند، استفاده از آنها را توجیه ناپذیر می‌کند. بر خلاف آن می‌توان زلزله‌های را در بازه سال‌های زیادی (حداقل ۱۰۰۰ سال) با کمک مقادیر پارامترهای لرزه‌خیزی (مقادیر  $a$  و  $b$  در رابطه گوتنبرگ-ریشر) به وسیله شبیه‌سازی مونت کارلو تولید نمود (Crowley & Bommer 2006). هر چند که در این روش همبستگی‌های بین و درون حادثه‌ای حفظ می‌شود اما تعداد زیادی از حوادث تولید خواهند شد و این خود باعث به وجود آمدن مشکل بزرگ شدن بیش از حد ابعاد مساله در مدل احتمالاتی خواهد شد. از این رو است که می‌توان با استفاده از کاتالوگ‌های کاهش یافته یا OPS<sup>۵</sup> بر این مشکل فائق آمد. چنین کاتالوگ‌هایی با تغییر احتمال وقوع زلزله‌ها تولید می‌شوند به گونه‌ای که با تعداد کمتری زلزله برای یک یا چند دوره

<sup>3</sup>If-Then

<sup>4</sup> Disaggregated

<sup>5</sup> Optimization-based Probabilistic Scenario



بازگشت تولید شتاب فراگذشت یکسان (یا نزدیک به آن) کنند (Vaziri et al. 2009)؛ و یا در بعضی از دیگر مدل‌های ارائه شده برای کاتالوگ‌های OPS تغییر احتمال‌ها با در نظر گرفتن نمودار گوتنبرگ-ریشتر می‌باشد. (Vaziri et al. 2012) چنین کاتالوگ‌هایی تا حد زیادی همبستگی درون حادثه‌ای را حفظ می‌کنند اما ممکن است همبستگی‌ها بین حادثه‌ای تا مقداری از بین رود. (Vaziri et al. 2012) مشکل دیگر این کاتالوگ‌ها این است که تنها چند شتاب دوره بازگشت به عنوان منابعی که کاتالوگ جدید باید به آن میل کند، در نظر گرفته می‌شود و به این ترتیب زلزله‌های آن کاتالوگ‌ها نماینده شتاب‌های مربوط به دیگر احتمال فراگذشت‌ها نیستند. چنین کاتالوگ‌هایی به دلیل کمتر بودن تعداد زلزله‌های درونشان می‌تواند به طرز موثری از تعداد سناریوها و در نتیجه بزرگ شدن ابعاد مسئله بکاهند اما در عین حال جواب‌های خسارت را از واقعیت دور خواهند کرد. در مبحث تخمین خسارت لرزه‌ای با کاربرد بیمه‌ای، زلزله‌ها با احتمال‌های کم (زلزله‌های خسارت بار با دوره بازگشت زیاد) و زلزله با احتمال زیاد (زلزله‌های کوچک با دوره بازگشت کم) تاثیر بسزایی در تخمین حق بیمه، خسارت شدید بیمه‌ای و احتمال قرارگیری در شرایط ناتوانی دارند. در راستای در نظر گرفتن تمامی زلزله‌ها و بالا بردن دقت در این تحقیق از کاتالوگ بدست آمده به وسیله شبیه سازی مونت کارلو برای تهران استفاده شده است و به منظور جلوگیری از بزرگ شدن بیش از حد مدل، از مدل‌های احتمالاتی یکساله استفاده شده است.

بخش مربوط به تحلیل خسارت خود شامل دو بخش می‌شود. بخش اول اطلاعات مربوط به ساختمان‌ها، کاربری‌ها و پارامترهای مهندسی آن که در ایجاد خسارت موثر است و بخش دیگر منحنی‌های خسارت متناظر با آن اطلاعات می‌باشد. در بخش اول آن یعنی اطلاعات ساختمانی، هر چه که اطلاعات ریزتر (بزرگنمایی<sup>۶</sup> بیشتر باشد) باشد، دقت تخمین خسارت بالاتر می‌رود؛ بر خلاف اینکه در ایران خسارت ناشی از زلزله زیاد اتفاق افتاده است اما توابع خسارت چندانی برای ساختمان‌های ایران توسعه داده نشده‌اند. توکلی و توکلی با استفاده از اطلاعات خسارت مربوط به زلزله ۱۳۶۹ منجیل نمودارهای خسارت را به دست آوردند. (Tavakoli & Tavakoli 1993) بعد از آن جایکا (Japan International Cooperation Agency (JICA) 2000) برای تخمین خسارت لرزه‌ای تهران نمودارهای توسعه داده شده توسط توکلی و توکلی را که بیشتر برای ساختمان‌های نیمه مهندسی بود طبق دستور العمل (ATC-13 (Applied Technology Council 1985) برای استفاده در موارد دیگر گونه‌بندی‌های ساختمانی موجود در دیتابیس آنها، اصلاح نمود. منصوری و آشتیانی نیز برای تخمین خسارت منطقه ۱۷ تهران علاوه بر استفاده از نمودارهای جایکا، از نمودارهای (ATC-13 (Applied Technology Council 1985)، نمودارهای توسعه داده شده برای کشور کاستاریکا و نمودارهای HAZUS اطلاع شده، منطبق با پهنه‌بندی لرزه‌ای آیین‌نامه ۲۸۰۰ استفاده کرده‌اند. (منصوری & آشتیانی ۱۳۸۹)

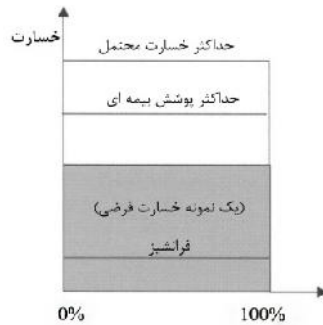
اطلاعات ساختمانی که محاسبات تخمین خسارت و بهینه‌سازی پیرامون آن انجام می‌گیرد به تفکیک ۱۱۴ ناحیه شهری تهران بر اساس گونه‌بندی ساختمانی جایکا توسط (پیغاله ۱۳۹۳) دسته‌بندی شده است، می‌باشد. از آنجا که متغیر دانستن شروط بیمه برای هر واحد آماری کوچک در شهر بزرگی مانند تهران از لحاظ مدیریت بیمه‌ای معقول نیست، دسته‌بندی شهر به ۱۱۴ ناحیه به منظور توسعه مدل‌های تخمین خسارت لرزه‌ای با کاربرد بیمه‌ای بسیار مناسب می‌باشد. در این مطالعه از نمودارهای HAZUS اصلاح شده برای گونه‌های ۱ تا ۶ منطبق بر گونه‌بندی جایکا و برای مابقی آنها از نمودارهای جایکا استفاده شده است. استفاده از نمودارهای HAZUS از این جهت نسبت به نمودارهای جایکا ارجحیت دارد که خسارت‌های کم، معمولی و زیاد را در کنار خسارت‌های کامل در نظر می‌گیرد اما نمودارهای جایکا فقط مربوط به خسارت‌های شدید و کامل می‌شود. در توسعه مدل تخمین خسارت لرزه‌ای با کاربرد بیمه‌ای، سطوح خسارت کم و متوسط می‌تواند با ترکیب اثر تاثیر فرانشیز و دیگر پارامترها در خسارت بیمه‌ای نهایی در هر زلزله تفاوت قابل توجه ایجاد کند. با توجه به کم بودن تعداد ساختمان‌هایی که در گونه بندی ۷ تا ۹ جایکا قرار می‌گیرند، انتظار می‌رود استفاده از نمودارهای جایکا تاثیر چندانی در خروجی‌های کلی نداشته باشد.

## مدل تخمین خسارت اقتصادی بیمه

پس از بدست آوردن توزیع خسارات خالص برای هر مکان و هر گونه‌ی ساختمانی، ناشی از هر زلزله با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های آن می‌توان به تخمین خسارت بیمه‌ای با توجه به شروط بیمه‌نامه مبادرت نمود تا بتوان از این منظر فرایندهای و تراکنش‌های بین بیمه‌کننده، بیمه‌گر و بیمه اتکایی را شبیه سازی کرد. در هر زلزله، قسمتی از خسارت که قبل از حد فرانشیز و قسمت دیگر که بعد از حداکثر پوشش بیمه‌ای می‌باشد توسط بیمه‌گذار و خسارتی که بین حد فرانشیز و حداکثر پوشش قرار می‌گیرند، توسط بیمه‌گر تقبل خواهد شد (شکل ۱). فرمول ۱ محاسبه خسارت بیمه‌ای را با توجه به فرانشیز و حداکثر پوشش بیمه‌ای و فرمول ۲ محاسبه حق بیمه را که از خسارت بیمه‌ای و درصد پوشش برای هر مکان به دست می‌آیند، نشان می‌دهد.

<sup>6</sup> Resolution



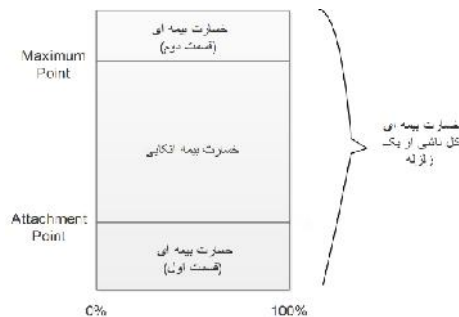


شکل ۱: نمونه ای از نحوه اعمال شروط بیمه نامه

$$L_{m,i,j} = \min\{\max(0, L_{m,i,j} - B_{m,i,j}), \min(E_{m,i,j}, L_{m,i,j} - B_{m,i,j})\} \quad \forall i, j, m \quad (1)$$

$$\pi_{i,j} = P_m \times C_{i,j} \times L_{i,j} \quad \forall i, j \quad (2)$$

در فرمول های بالا  $i, j$  و  $m$  به ترتیب شمارنده های مکان، گونه ساختمانی و سال،  $L_{i,j}$  و  $l_{i,j}$  به ترتیب نشانگر خسارت بیمه ای و خسارت کامل و  $\pi_{i,j}$  حق بیمه مکان  $i$  و  $j$  می باشد.  $P_m$  نیز احتمال وقوع خسارت  $L_{i,j}$  در هر سال و  $C_{i,j}$  درصد پوشش بیمه ای می باشد. بیمه گر می تواند قسمتی از خسارت ریسک تحت پوشش خود را در ازای پرداخت مبلغی که وابسته به میزان ریسک است به بیمه اتکایی انتقال دهد. قسمتی از این خسارت بیمه گر که زیر مقدار نقطه اتصال و قسمتی دیگری از آن که بیشتر از مقدار نقطه حداکثر بیمه نامه اتکایی است توسط بیمه گر و حد فاصل این دو نقطه به وسیله بیمه اتکایی تقبل خواهد شد (شکل ۲). بیمه اتکایی می تواند قسمتی از خسارت هر کدام از ریسک ها<sup>۷</sup> یا خسارات کل را (پیمانی<sup>۸</sup>) پوشش دهد؛ در مدل کنونی نیز از بیمه اتکایی پیمانی استفاده می شود. نحوه محاسبه خسارتی که بیمه اتکایی متقبل شده و به بیمه گر پرداخت می کند در فرمول ۴ و نحوه محاسبه مبلغ حق بیمه مربوط به بیمه اتکایی که مشابه محاسبه حق بیمه بیمه گر بعلاوه ضریبی (g) از انحراف از معیار خسارت بیمه اتکایی (ReinsuredLoss) است، در فرمول ۵ آمده است.



شکل ۲: نمونه ای از لایه های توزیع ریسک بین بیمه گر و بیمه اتکایی

$$L_m^{\text{Reinsured}} = \min\{\max(0, L_m - AP), \min(MP, L_m - AP)\} \quad (3)$$

$$\text{Reinsured} = (1 + \lambda) \sum_m P_m \times L_m^{\text{Reinsured}} + g \times \text{ReinsuredLoss} \quad (4)$$

فرض می شود که بیمه گر مایل است حداکثر خسارتی که پرداخت می کند به اندازه مجموع حق بیمه هایی باشد که دریافت کرده است و ریسک پس از آن را به بیمه اتکایی منتقل می کند. در این حالت نقطه اتصال بیمه اتکایی از حق بیمه ها به دست آمده و نقطه حداکثر می تواند ۱ و یا هر عدد دیگری باشد. پس از به دست آمدن خسارات هر کدام از اشخاص در مدل، میزان سرمایه بیمه گر در انتهای هر سال برابر خواهد بود است با میزان سرمایه اولیه بعلاوه درآمدها و منهای هزینه ها در آن سال (فرمول ۵).  $R_0$  سرمایه در سال اول می باشد در صورتی که در هر سال  $R < 0$  اتفاق بیافتد آنگاه شروط ناتوانی در پرداخت دیون یا ورشکستگی ایجاد خواهد شد که در اینصورت احتمال وقوع چنین سناریویی به احتمال ناتوانی کل اضافه خواهد شد.

<sup>7</sup> Per Risk

<sup>8</sup> Treaty

$$R = R_0 + \sum_i \sum_j i_{ij} - C_{i,j} \times L_{i,j} - \text{Reinsured} + L_{\text{Reinsured}} \quad (5)$$

## مدل احتمالاتی

وقوع یا عدم وقوع زلزله در هر سال بر نحوه تصمیم‌گیری پیرامون متغیر بهینه‌سازی اثر گذار است، لذا نیاز است که به وسیله مدلی احتمالاتی<sup>9</sup> عدم قطعیت وقوع یا عدم وقوع زلزله‌ها را مدلسازی نمود. در یک کاتالوگ، تعداد زیادی سناریو زلزله وجود دارد که در صورت وقوع هر کدام تعداد زیادی تصمیم (شروط بیمه‌نامه و ...) بهینه مرتبط با آن سناریو ها وجود خواهد داشت؛ مدل های تصمیم‌گیری احتمالاتی به فرآیند تصمیم‌گیری بهینه برای تمام سناریوها کمک می‌کند. مدل‌های احتمالاتی دو و یا چند مرحله‌ای دارای روش‌های حل، پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های فراوان از جمله بزرگ شدن بیش از حد مدل می‌باشند. برای مثال در صورتی که مدل دو مرحله‌ای و تعداد زلزله‌های کاتالوگ n باشد، سناریو نیازمند محاسبه می‌باشد و در صورتی که تعداد مراحل مدل احتمالاتی زیاد شود تعداد سناریوها به شکل نمایی زیاد خواهند شد. چنین روندی باعث می‌شود که تعداد کاتالوگ‌های زلزله را با استفاده از کاتالوگ‌های کاهش یافته (OPS) پایین نگه داشت اما همانطور که توضیح داده شد چنین کاتالوگ‌هایی برای مدل‌های تخمین خسارت با کاربرد بیمه‌ای مناسب نمی‌باشند و ترجیح بر استفاده از کاتالوگ‌های تولید شده به وسیله شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد. سالانه بودن فرآیند بیمه‌ای به این معنی که در انتهای هر سال بیمه‌گر سود و زیان خود را بین سهام‌داران توزیع کرده و فرآیند را در سال جدید دوباره شروع خواهد کرد، در کنار بزرگ بودن کاتالوگ ورودی مدل تخمین خسارت، الزام به استفاده از مدل‌های احتمالاتی یک مرحله‌ای را ایجاد خواهد کرد. طی این مدل مقدار متوسط پارامترهای مورد نیاز مانند سرمایه نهایی (فرمول 6) و احتمال فراگذشت ناتوانی (فرمول 7) محاسبه خواهد شد.

$$E[R] = ASF = \sum_i P_i^{\xi_i} \times R_i^{\xi_i} \quad (6)$$

$$P_{\text{Insolvency}} = \sum_i P_i^{\xi_i} \times iB_i^{\xi_i} \quad (7)$$

## مدل بهینه‌سازی

روند کلی مدل‌های بهینه‌سازی به روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری به این ترتیب است که در هر گام از عملیات بهینه‌سازی، مقادیر جدیدی به متغیرهای بهینه‌سازی اختصاص می‌یابد تا به وسیله آنها مقدار تابع هدفی که به عنوان معیار بهینه‌گی مساله تعریف شده، بهبود پیدا کند و این روند تا زمانی که مقدار تابع هدف به مقدار حداکثری به عنوان مقدار بهینه میل کند، ادامه پیدا خواهد کرد. در این حالت متغیرهای بهینه‌سازی که در این مدل فرانشیز، حداکثر پوشش بیمه‌ای و درصد پوشش بیمه‌گر در هر مکان و هر گونه ساختمانی است، در حالت بهینه خواهد بود. گرچه مدل‌های ابتکاری و فرا ابتکاری به هیچ وجه تضمین نخواهند کرد که مقدار تابع هدف بدست آمده، مقدار بهینه کلی باشد؛ چرا که امکان میل کردن جواب به نقاط بهینه محلی در این مدل‌ها زیاد است؛ با این حال استفاده از این مدل‌ها در برنامه‌ریزی‌های غیرخطی و برنامه‌ریزی‌هایی که به دلیل استفاده از عملگرهای min و max، مانند برنامه‌ریزی که در این تحقیق داریم، پیچیده می‌شوند ضروری می‌باشد.

بهینه‌سازی موضوع گسترده در زمینه هوش مصنوعی و روش‌های عددی می‌باشد. تاکنون انواع مختلفی از روش‌ها ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به الگوریتم ژنتیک، الگوریتم پرندگان، الگوریتم مورچه در کنار سایر روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری دیگر نام برد. روش‌های مبتنی بر مونت‌کارلو اصلاح شده، شبیه‌سازی تبرید، تقریب تصادفی اجزای محدود<sup>10</sup> و تقریب تصادفی با درهم‌ریزی همزمان از جمله روش‌های فرا ابتکاری می‌باشند که به شکل گسترده‌ای در مسائل بهینه‌سازی کاربرد دارند. در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی پارامترهای بیمه‌ای از روش تقریب تصادفی با برهم‌ریزی تصادفی استفاده شده است. روش SPSA<sup>11</sup> یا تقریب تصادفی با برهم‌ریزی همزمان (FDSA<sup>12</sup>)، روشی شبه‌گرادیان است که اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط Spall ارائه شد (Spall 1987). از هم خانواده‌های این روش می‌توان به روش تقریب تصادفی اجزای محدود و یا روش RMSA<sup>13</sup> اشاره کرد. با توجه به اینکه در روش SPSA بر خلاف روش FDSA بدون در نظر گرفتن تعداد متغیرها تنها دو بار نمونه‌گیری در هر گام به منظور به دست آوردن متغیرهای جدید بهینه‌سازی نیاز است و همچنین سرعت بالای میل کردن به جواب در آن، در این مدل استفاده می‌شود.

<sup>9</sup> Stochastic Models

<sup>10</sup> Finite-Difference Stochastic Optimization

<sup>11</sup> Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation

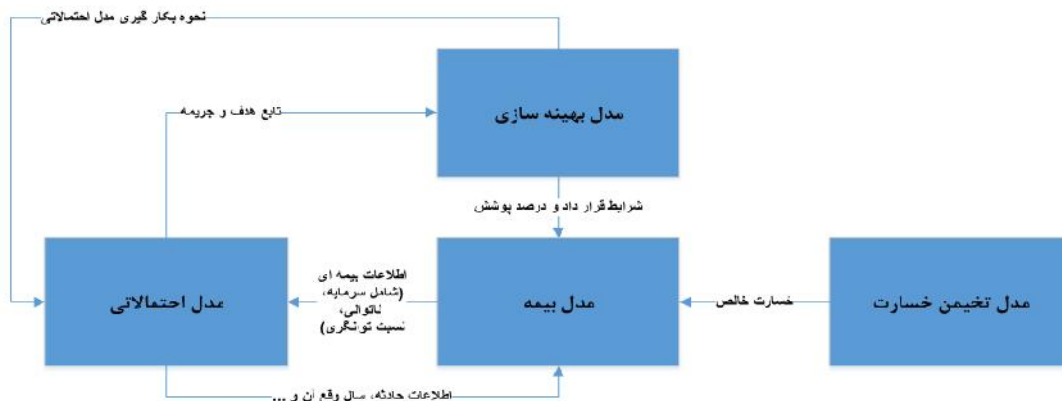
<sup>12</sup> Finite-Difference Stochastic Approximation

<sup>13</sup> Robbins-Monro Stochastic optimization



## ارتباط اجزای مدل

تاکنون اجزای مختلف مدل توضیح داده شده است و در ادامه به توضیح ارتباط اجزای مختلف با یکدیگر در جهت بهینه‌سازی متغیرهای بهینه‌سازی می‌پردازیم. بهینه‌سازی خارجی‌ترین لایه مدل می‌باشد و ابتدای آن با تخصیص دادن مقادیر اولیه به متغیرهای تصمیم‌گیری شروع می‌شود که می‌تواند مقادیر مشخص شده و یا تصادفی باشند. سپس مدل احتمالاتی یک سناریو را در نظر گرفته و اطلاعات آن را به مدل بیمه‌ای می‌دهد. مدل بیمه‌ای اطلاعات خسارات خالص بیمه‌ای محتمل را از بخش تخمین خسارت لرزه‌ای گرفته و بعد از محاسبه خسارت بیمه‌ای بیمه‌گر و بیمه اتکایی، حق بیمه خود و بیمه اتکایی با توجه شروط بیمه‌نامه بیمه و بیمه اتکایی به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری، مجموع سرمایه‌ها را در هر سال تخمین می‌زند. پس از آن، اطلاعات به مدل احتمالاتی برگردانده می‌شود تا اطلاعات جدید مربوط به یک سناریو دیگر را به مدل بیمه بدهد تا مدل بیمه بتواند خسارت را حساب کند. پس از پایان کار مدل احتمالاتی، تابع هدف حساب شده و نتایج نهایی به مدل بهینه‌سازی برگردانده می‌شود تا اطلاعات جدید مربوط به شروط بیمه‌نامه و درصد پوشش و همچنین بیمه اتکایی در گام بعدی محاسبه شوند. این عمل تا جایی که مدل به جواب نهایی همگرا شود و یا بودجه محاسباتی به اتمام برسد، اجرا خواهد شد. در شکل ۳ ارتباط اجزا به شکل گرافیکی دیده می‌شود.



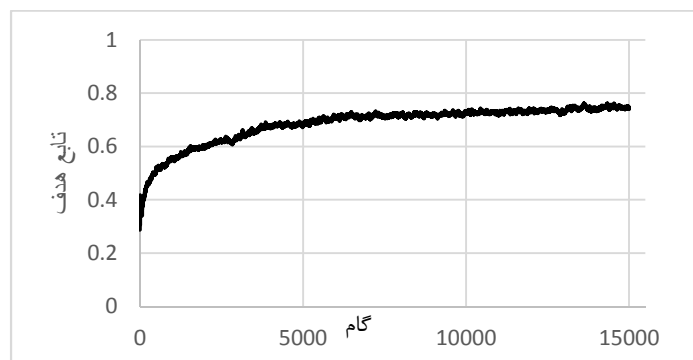
شکل ۳: نحوه ارتباط اجزای مدل پیشنهادی

## نتایج

در این بخش به بررسی نتایج حاصله از مدل ارائه شده برای تهران می‌پردازیم. شکل ۴ یک نمونه خروجی مدل بهینه‌سازی شروط بیمه‌نامه و بیمه اتکایی به کمک مدل تخمین خسارت و روش SPSA می‌باشد. مقادیر این نمودار مربوط به تابع خطی حاصل از سرمایه نهایی و احتمال ناتوانی (فرمول ۸) است و صرفاً نشانگر مقدار مربوط به تابع هدف می‌باشد؛ لذا بزرگتر شدن آن به معنا بهبود شروط کلی که در تابع هدف مشخص شده می‌باشد.

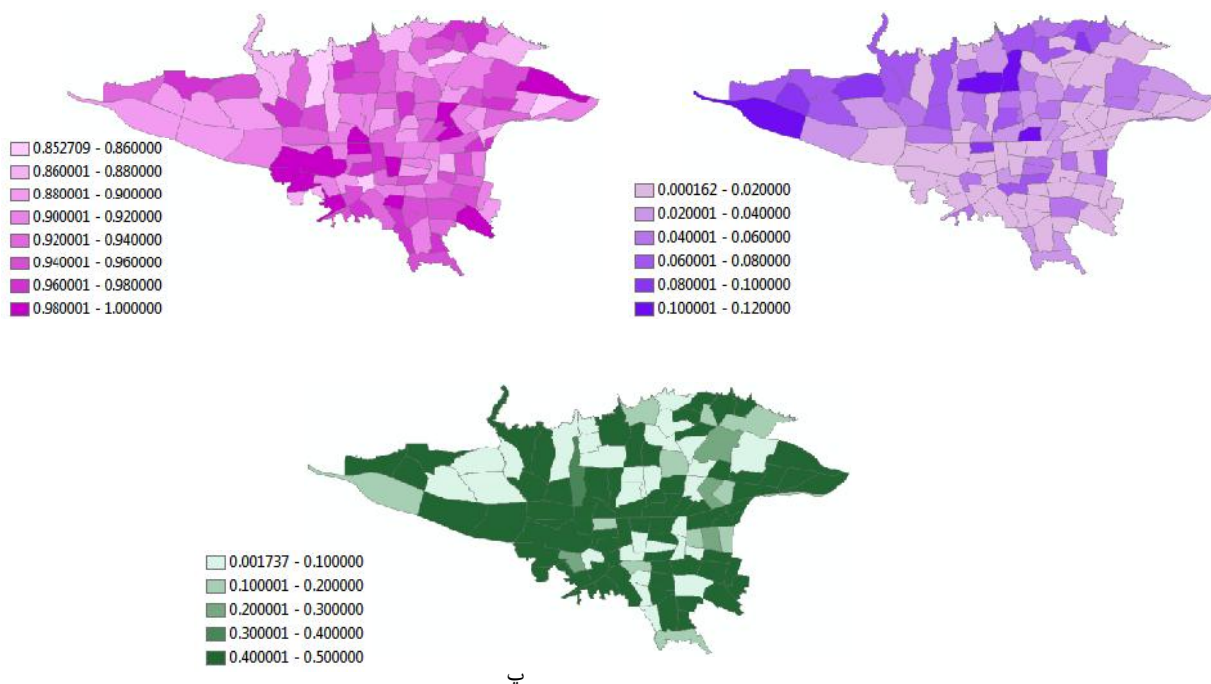
$$F = \alpha_1 E[R] - \alpha_2 E[P_{\text{insolvency}}] \quad (8)$$

در فرمول بالا  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  ضرایب اهمیت در تابع هدف می‌باشند.



شکل ۴: تابع هدف

شکل ۵ بازه مقادیر اختصاص داده شده به پارامترهای بهینه‌سازی اختصاص داده شده در گام نهایی عملیات بهینه‌سازی به گونه ساختمان‌های آجری و فلزی را در قالب نقشه تهران که به ۱۱۴ ناحیه تفکیک شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۵: بازه مقادیر متغیرهای بهینه‌سازی (الف) فرانسویز (ب) حداکثر پوشش (پ) درصد پوشش بیمه‌ای در گام ۱۵ هزار

مقادیر اختصاص داده شده مدل به صورت عدد دقیق می‌باشد و تنها به دلیل سادگی در شکل ۵ به صورت بازه نمایش داده شده‌اند. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود تنها برای یک گونه ساختمانی، ۳۴۲ متغیر وجود خواهند داشت که باید مقادیر آنها در کنار متغیرهای مربوط به دیگر گونه‌بندی‌ها بهینه شود، از این رو استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی شرایط بیمه‌ای که در ارتباط با مدل‌های تخمین خسارت به بهبود شرایط تعریف شده می‌پردازند ضروری می‌باشد. در این پروژه یک مدل تخمین خسارت برای تهران ساخته شد که با استفاده از آن در کنار یک مدل بیمه‌ای، مدل تخمین خسارت بیمه‌ای ایجاد و با استفاده از مدل احتمالاتی و مدل بهینه‌سازی تابع هدف بهبود داده شد.

## مراجع

پیغاله ا (۱۳۹۳) /ارایه مدل بهینه‌سازی اختصاص منابع اقتصادی به منظور کاهش ریسک لرزه‌ای. دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

منصوری و آشتیانی (۱۳۸۹) برآورد آسیب‌های ناشی از زلزله در شهرها با استفاده از ماهواره های اپتیک و راداری، تهران

Applied Technology Council, 1985. *ATC 13: Earthquake Damage Evaluation Data for California*, Redwood

Asprone D et al. (2013) Seismic insurance model for the Italian residential building stock. *Structural Safety*, 44, pp.70–79

Bommer J et al. (2002) Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance. *Journal of Seismology*, 6, pp.431–446

Campbell KW et al. (2000) a. Seismic hazard model for loss estimation and risk management in Japan. In *6th International Conference on Seismic Zonation*. Palm Springs, US

Campbell KW et al. (2000) b. Seismic hazard model for loss estimation and risk management in the United States. In *6th International Conference on Seismic Zonation*. Palm Springs, US



- Cao T et al, (1999) The calculation of expected loss using probabilistic seismic hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(4), pp.867–876
- Cardenas V et al., (2007) Sovereign financial disaster risk management: The case of Mexico. *Environmental Hazards*, 7(1), pp.40–53
- Chang, SE, Shinozuka M and Moore JE (2000) Probabilistic Earthquake Scenarios: Extending Risk Analysis Methodologies to Spatially Distributed Systems. *Earthquake Spectra*, 16(3), pp.557–572
- Crowley H and Bommer JJ (2006) Modelling Seismic Hazard in Earthquake Loss Models with Spatially Distributed Exposure. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4(3), pp.249–273
- Ermoliev YM et al. (2000) A system approach to management of catastrophic risks. , 122, pp.452–460
- Ermoliev YM et al. (2001) Stochastic Optimization of Insurance Portfolios. , pp.207–225
- Grossi P and Kunreuther H (2005) *Catastrophe modeling: a new approach to managing risk*
- Japan International Cooperation Agency (JICA), 2000. *The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran. Final Report, Main Report.*, Tehran, Iran
- Kesete Y et al. (2014) Modeling Insurer-Homeowner Interactions in Managing Natural Disaster Risk. *Risk analysis* : an official publication of the Society for Risk Analysis
- Kuzak D, Campbell K and Khater M (2004) The use of probabilistic earthquake risk models for managing earthquake insurance risks: example for Turkey. In E. Gurenko, ed. *Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective*. London: Risk Books, pp. 41–64
- Spall JC (1987) A Stochastic Approximation Technique for Generating Maximum Likelihood Parameter Estimates. In *American Control Conference*. Minneapolis, MN, USA: IEEE, pp. 1161–1167
- Tavakoli B and Tavakoli A (1993) Estimating the vulnerability and loss functions of residential buildings. *Natural Hazards*, 7(2), pp.155–171
- Taylor CE, Werner SD and Jakubowski S (2001) Walkthrough method for catastrophe decision making. *Natural Hazards Review*, 2(4), pp.193–202
- Vaziri P et al. (2012) Identification of Optimization-Based Probabilistic Earthquake Scenarios for Regional Loss Estimation Identification of Optimization-Based Probabilistic Earthquake Scenarios for Regional Loss Estimation. *Journal of Earthquake Engineering*, 16(May 2012), pp.296–315
- Vaziri P et al. (2009) Resource allocation for regional earthquake risk mitigation: a case study of Tehran, Iran. *Natural Hazards*, 53(3), pp.527–546
- Zolfaghari MR (2010) Application of catastrophe loss modelling to promote property insurance in developing countries. *Disasters*, 34(2), pp.524–41