

## محاسبه احتمال ورشکستگی شرکتهای بیمه

### با استفاده از تقریب تیمز

سعید باجلان<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۶

مصطفی نامدار<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۷

#### چکیده

احتمال ورشکستگی برای شرکتهای بیمه، عاملی کلیدی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق با به کار بردن روش تقریب تیمز، احتمال ورشکستگی نهایی پرتفوی بیمه‌های شخص ثالث یک شرکت بیمه ایرانی برآورد شد. به همین منظور، ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های خسارتی تعدیل‌شده برحسب تورم سالهای ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲، تابع مازاد پرتفوی شرکت به‌عنوان یک فرایند تصادفی پواسون مرکب مدل‌سازی شده است. بر طبق مطالعات، بهترین توزیع برای مدل‌سازی توزیع شدت خسارت، از بین توزیعهای مختلف بررسی شده، توزیع گاماست. سپس ضریب تعدیل به‌عنوان یک پارامتر مهم ورودی تقریب تیمز با استفاده از الگوریتم دکر برآورد شده است. درنهایت، احتمال ورشکستگی با استفاده از تقریب تیمز تحت سناریوهای مختلف در خصوص مقدار مازاد اولیه برآورد شده است. نتایج تحقیق مؤید احتمال نسبتاً بالای ورشکستگی نهایی شرکت است که نشان‌دهنده لزوم اتخاذ سیاستهای مدیریتی به منظور کاهش این احتمال است.

**واژگان کلیدی:** تقریب تیمز، فرایند پواسون مرکب، فرمول ورشکستگی مجانبی کرامر، ورشکستگی.

۱. استادیار دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، saeedbajalan@ut.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مالی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)، mostafa.namdar68@gmail.com

## ۱. مقدمه

در خصوص محاسبه احتمال ورشکستگی<sup>۱</sup> و نکول مخصوصاً در مورد شرکتهایی که اقدام به اخذ تسهیلات بانکی کرده‌اند، تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. با این حال در خصوص محاسبه احتمال ورشکستگی شرکتهای بیمه ایرانی به‌عنوان خریداران اصلی ریسک تاکنون تحقیق جدی انجام نشده است. همین مسئله باعث شده است که ادبیات موضوع چندان در این خصوص در داخل کشور موجود نباشد و متأسفانه چه در سطح آکادمیک و چه در سطح صنعت آشنایی چندان با مدل‌های سنجش احتمال ورشکستگی شرکتهای بیمه وجود نداشته باشد. این در شرایطی است که محاسبه احتمال ورشکستگی شرکتهای فعال در این صنعت به دلیل ماهیت تعهدات آنها بسیار مهم و حیاتی است. لازم به ذکر است که در کشورهای پیشرفته دنیا ملاک تعیین توانگری مالی همین احتمال ورشکستگی است و حداقل سرمایه تخصیص داده‌شده به هر رشته نیز براساس این معیار محاسبه می‌شود. چنین ارزیابی‌هایی می‌تواند در سطح کل شرکت انجام گیرد و یا در سطح یک پرتفوی مشخص (نظیر یک رشته بیمه‌ای به‌خصوص) اجرا شود.

این نکته را باید در نظر داشت که هیچ‌گونه معنی مطلقی را نمی‌توان به این احتمال نسبت داد زیرا در واقع معرف احتمال اینکه بیمه‌گر در آینده نزدیک ورشکسته شود نیست. اول از همه باید دقت کرد که ممکن است قرن‌ها طول بکشد تا ورشکستگی واقعاً رخ دهد. دخالت واضح بیمه‌گر در فرایندهایی نظیر حق‌بیمه و خسارت در تعریف این احتمال نادیده گرفته می‌شود. به‌علاوه فرض می‌شود که اثر تورم و بازدهی سرمایه یکدیگر را دقیقاً خنثی می‌کنند. احتمال ورشکستگی صرفاً ریسک بیمه‌ای را در نظر می‌گیرد و سوء مدیریتهای احتمالی را لحاظ نمی‌کند. سرانجام تعریفی که از ورشکستگی ارائه می‌شود صرفاً یک انتزاع ریاضی است و مسلماً در دنیای واقعی،

بیمه‌گر با سرمایه ۱- ورشکسته نمی‌شود و با سرمایه ۱+ هم به‌سختی می‌تواند توانگری مالی خود را حفظ کند. در نتیجه، مقدار دقیق این احتمال خیلی حیاتی نیست و تقریب خوبی از آن نیز کفایت می‌کند.

با این حال، این احتمال یک ابزار مدیریتی بسیار پرکاربرد است، زیرا نمایانگر میزان سلامت ترکیب فرایندهای حق‌بیمه و خسارت در رابطه با سرمایه اولیه در دسترس<sup>۱</sup> است. احتمال بالای ورشکستگی معرف عدم ثبات وضعیت شرکت است و نشان می‌دهد که به کارگیری ابزارهای مدیریتی نظیر بیمه‌های اتکایی و یا افزایش حق-بیمه‌ها باید مدنظر قرار گیرند و یا اینکه بیمه‌گر باید اقدام به جذب سرمایه در گردش بیشتر کند (Kaas et al., 2008). از همین رو، در این تحقیق سعی شده است ضمن معرفی روش تقریب احتمال ورشکستگی تیمز، به این سوال پاسخ داده شده که آیا اساساً چنین مدلی امکان به کارگیری در ایران را دارد و می‌توان از آن برای تعیین احتمال ورشکستگی یک شرکت بیمه ایرانی یا پرتفویهای بیمه‌ای تحت مدیریت وی استفاده کرد؟

## ۲. ادبیات موضوع

### ۲-۱. مبانی نظری تحقیق

منظور از احتمال ورشکستگی این است که سرمایه شرکت منفی شود، با فرض اینکه فرایند حق‌بیمه سالانه و فرایند خسارت بدون تغییر باقی بمانند. از آنجا که در محاسبه احتمال ورشکستگی متغیر تصادفی خسارت را در طی زمان بررسی می‌کنیم، باید از فرایندهای تصادفی برای مدل‌سازی آن استفاده کرد. دو دسته مدل معمولاً برای مدل‌سازی فرایندهای تصادفی در بیمه و مالی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ فرایند پواسون مرکب و فرایند وینر. فرایند پواسون مرکب، فرایندی استاندارد برای مدل‌سازی نحوه حرکت در طی زمان در حوزه اکچوئری است، در حالی که فرایند وینر بیشتر در

مسائل مالی مورد استفاده قرار گرفته است. از همین رو مدلی که در این مقاله برای مدل‌سازی پرداخت خسارتها مورد استفاده قرار می‌گیرد، فرایند پواسون مرکب است که تعریف آن به صورت زیر است:

**تعریف ۱.** فرض کنید فرایند تعداد خسارتها  $\{N_t; t \geq 0\}$  یک فرایند پواسون باشد. همچنین فرض کنید خسارتهای  $\{X_1, X_2, \dots\}$ ، متغیرهای تصادفی مثبت باشند که به صورت مستقل و یکسان با توزیع تجمعی  $F(x)$  و میانگین  $\mu < \infty$  توزیع شده‌اند و از  $N_t$  هم مستقل هستند. لذا  $X_j$  بیانگر مقدار خسارت  $j$ ام است. از سوی دیگر، فرض کنید  $S_t$  معرف خسارت کل در بازه  $(0, t]$  باشد. اگر  $N_t = 0$ ، این متغیر به صورت  $S_t = 0$  و اگر  $N_t > 0$

$$S_t = \sum_{j=1}^{N_t} X_j,$$

تعریف می‌شود. بنابراین به ازای یک  $t$  ثابت،  $S_t$  دارای توزیع پواسون مرکب است. از آنجا که  $\{N_t; t \geq 0\}$  دارای نموهای مستقل و ماناست، بنابراین  $\{S_t; t \geq 0\}$  هم دارای نموهای مستقل و ماناست، و همچنین

$$E(S_t) = E(N_t)E(X_j) = (\lambda t)\mu = \lambda\mu t \quad (1)$$

است، که در آن  $\lambda$  پارامتر توزیع پواسون و  $\mu$  خسارت مورد انتظار است. معمولاً فرض می‌شود که حق‌بیمه‌ها به صورت پیوسته و با نرخ ثابت  $c$  برای هر واحد زمانی قابل پرداخت هستند. این بدین معنی است که حق‌بیمه خالص در بازه  $(0, t]$  برابر  $ct$  است. از بهره دریافتی نیز برای سادگی محاسبات معمولاً صرف‌نظر می‌شود. به‌علاوه فرض کنید که حق‌بیمه دارای سربار مثبت است یعنی،  $ct > E(S_t)$ ، که به طور ضمنی بیانگر این موضوع است که  $c > \lambda\mu$ ، بنابراین

$$c = (1 + \theta)\lambda\mu \quad (2)$$

است، که در آن  $\theta > 0$  است و سربار ایمنی نسبی<sup>۱</sup> یا عامل سربار حق بیمه<sup>۲</sup> نام دارد (Klugman et al., 2004). بعد از مشخص شدن فرایندهای خسارت و حق بیمه، فرایند

مآزاد به صورت

$$U_t = u + ct - S_t, \quad t \geq 0 \quad (۳)$$

خواهد بود، که در آن  $u = U_0$  مآزاد اولیه است. منظور از مآزاد اولیه، همان سرمایه‌ای است که شرکت در هنگام شروع کسب‌وکار خود یا راه‌اندازی یک پرتفوی جدید به آن تخصیص می‌دهد. اگر  $U_t$  منفی شود، ورشکستگی رخ می‌دهد و در غیر این صورت بقاء برقرار خواهد بود. بنابراین احتمال بقای زمان نامتناهی به صورت

$$\phi(u) = \Pr(U_t \geq 0, \quad t \geq 0 \mid U_0 = u) \quad (۴)$$

است و ورشکستگی زمان نامتناهی به صورت

$$\psi(u) = 1 - \phi(u) \quad (۵)$$

تعریف می‌شود.

هدف این مقاله برآورد  $\phi(u)$  و یا  $\psi(u)$  است که به آن احتمال ورشکستگی نهایی<sup>۳</sup> نیز گفته می‌شود. لازم به ذکر است که نوع دیگر ورشکستگی، ورشکستگی زمان متناهی است که در آن احتمال ورشکستگی در یک بازه زمانی مشخص برآورد می‌شود. با این حال در این تحقیق، هدف محاسبه همان احتمال ورشکستگی نهایی (زمان نامتناهی) است که احتمال ورشکستگی را بدون در نظر گرفتن بازه زمانی محدودی برای رخ دادن آن محاسبه می‌کند (Tse, 2009). در ادامه یک کمیت خاص تعریف می‌شود که می‌تواند برای تعیین کرانه‌ای<sup>۴</sup> برای مقدار  $\psi(u)$  به کار رود.

1. Relative Security Loading
2. Premium Loading Factor
3. Ultimate Ruin
4. Bound

## ۲-۲. ضریب تعدیل<sup>۱</sup>

مشخص کردن انگیزه تعریف ضریب تعدیل از دیدگاه فیزیکی کار مشکلی است لذا از این کار صرف نظر شده و صرفاً به بیان آن پرداخته می شود. لازم به ذکر است که از نماد  $X$  برای نمایش متغیر تصادفی اندازه خسارت استفاده خواهد شد.

تعریف ۲. فرض کنید  $t = k$  کوچکترین جواب مثبت معادله

$$1 + (1 + \theta)\mu t = M_X(t) \quad (6)$$

باشد، که در آن  $M_X(t) = E(e^{tX})$ ، تابع مولد گشتاور متغیر تصادفی شدت خسارت  $X$  است. در صورتی که چنین مقداری برای  $t$  یافت شود به آن ضریب تعدیل گفته می شود (Gray and Pitts, 2012). به طور کلی نمی توان همواره  $k$  را به طور صریح به دست آورد. در این گونه مواقع به طور طبیعی باید به روشهای عددی متوسل شد که اکثر آنها نیازمند یک حدس اولیه در خصوص مقدار  $k$  هستند. برای یافتن ضریب تعدیل با استفاده از روشهای عددی، روش زیر پیشنهاد می شود.

$H(t)$  را به صورت

$$H(t) = 1 + (1 + \theta)\mu t - M_X(t) \quad (7)$$

تعریف کنید، با توجه به تعریف، ضریب تعدیل  $k > 0$  باید در رابطه  $H(k) = 0$  صدق کند. برای حل این معادله از الگوریتم نیوتن-رافسون

$$k_{j+1} = k_j - \frac{H}{H'(k_j)}$$

استفاده کنید، که در آن

$$H'(t) = (1 + \theta)\mu - M'_X(t)$$

از آنجا که  $H(0) = 0$  است، باید به این مسئله که جواب معادله به سمت صفر میل نکند، توجه کرد.

۲-۳. فرمول ورشکستگی جانبی کرامر و تقریب تیمز<sup>۱</sup>

ضریب تعدیل ( $k$ ) حاوی اطلاعات بسیار مفیدی در خصوص احتمال ورشکستگی است. قضیه بعد که بدون اثبات بیان می‌شود به نتیجه‌ای منجر می‌شود که به فرمول ورشکستگی جانبی کرامر معروف است. لازم به ذکر است که نماد

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{a(x)}{b(x)} = 1 \text{ که به این معنی است که } a(x) \sim b(x) \text{ به } x \rightarrow \infty$$

قضیه ۱. فرض کنید  $k > 0$ ، در رابطه (۶) صدق کند، آنگاه احتمال ورشکستگی در رابطه

$$\psi(u) \sim Ce^{-ku}, u \rightarrow \infty \quad (۸)$$

صدق خواهد کرد، که در آن

$$C = \frac{\mu\theta}{M'_X(k) - \mu(1+\theta)} \quad (۹)$$

است (Klugman et al., 2004). احتمال ورشکستگی نظیر یک تابع نمایی به ازای مقادیر بزرگ  $u$  رفتار می‌کند. دقت کنید برای اینکه نامعادله لاندبرگ برقرار باشد لازم است که  $C \leq 1$  باشد. همچنین اگرچه رابطه (۸) یک تقریب جانبی است اما دقت آن حتی در صورتی که مقدار  $u$  خیلی هم بزرگ نباشد بسیار خوب است مخصوصاً اگر عامل سربار نسبی ( $\theta$ ) نسبتاً کوچک باشد.

در حالتی که  $X$  دارای توزیع نمایی نیست، به دست آوردن جواب دقیق برای  $\psi(u)$  پیچیده است. برای حل این گونه مسائل یک تقریب تحلیلی ساده توسط تیمز ارائه شده است که از مزیت فرمول ورشکستگی جانبی کرامر به ازای مقادیر بزرگ  $u$  بهره می‌گیرد (Tijms, 1994). ایده اصلی این تقریب این است که یک جزء نمایی به رابطه (۸) افزوده شود تا دقت آن را برای مقادیر کوچک  $u$  افزایش دهد. بر این اساس، تقریب تیمز به صورت

$$\psi_T(u) = \left(\frac{1}{1+\theta} - C\right)e^{-u/\alpha} + Ce^{-ku}, \quad u \geq 0 \quad (10)$$

تعریف می شود (Dickson, 2006)، که در آن

$$\alpha = \frac{E(X^2)/(2\mu\theta) - C/k}{1/(1+\theta) - C}. \quad (11)$$

است. تقریب تیمز علاوه بر اینکه یک تقریب تحلیلی ساده است که دقت خوبی نیز دارد، در برخی موارد دقیقاً مقدار واقعی  $\psi(u)$  را تولید می کند. به طور خاص می توان نشان داد که اگر تابع چگالی احتمال اندازه خسارت  $X$  از فرم

$$f(x) = p(\beta^{-1}e^{-x/\beta}) + (1-p)(\beta^{-2}x e^{-x/\beta})$$

پیروی کند، که  $0 \leq p < 1, x \geq 0$  باشد، آنگاه  $\psi_T(u) = \psi(u)$  است.

## ۲-۴. پیشینه مطالعات انجام شده

در زمینه توسعه مدل‌هایی برای اندازه‌گیری احتمال ورشکستگی شرکتهای بیمه در خارج از کشور، تاکنون تحقیقات متعددی صورت گرفته است و تقریباً هیچ کتابی در حوزه اکچوئری وجود ندارد که حداقل یک فصل را به طور مبسوط به این موضوع اختصاص ندهد. از جمله تحقیقاتی که در سالهای اخیر در خصوص این موضوع شده است می توان به موارد زیر اشاره کرد.

آلبرچر و بوکسما<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) در تحقیق خود سعی در تعمیم مدل ورشکستگی کلاسیک با استفاده از فرایندهای مارکوف کردند. آنها یک عبارت دقیق برای تبدیل لاپلاس احتمال ورشکستگی ارائه کردند.

بودرالت<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود فرض کردند که توزیع شرطی مقادیر خسارت، آمیخته‌ای از دو تابع چگالی باشد. آنها بر این اساس توانستند تبدیل لاپلاسی برای زمان و احتمال ورشکستگی برای رده بزرگی از توابع توزیع به دست آورند.



آلبرچر و تئوگلز<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، مدل‌های ریسک با ساختار وابستگی میان مقادیر خسارت را با استفاده از تابع مفصل توصیف کردند. آنها یک برآورد نمایی برای احتمال ورشکستگی زمان منتهای و زمان نامتناهی به دست آوردند.

کاسیته<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، مدل ریسکی که در آن ساختار وابستگی با استفاده از مفصل فارلی-گامبل-مورگن-اشترن تعریف می‌شد را مطالعه کردند. حاصل کار این محققان عبارتی صریح برای تبدیل لاپلاس زمان ورشکستگی و مقدار کمبود<sup>۳</sup> در زمان رخ دادن آن با فرض تبعیت اندازه خسارتها از توزیع نمایی بود.

آمباگاسپیتیا<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)، فرض استقلال خسارتها را نادیده گرفت و از یک مدل ریسک که بر پایه توزیع گامای دومتغیره بود، استفاده کرد. بر این اساس او توانست فرمولی برای احتمال ورشکستگی ارائه کند.

چادجی کانستانتیندیس و ورونتر<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) در مقاله خود فرض کردند که زمان میان خسارتها دارای توزیع ارلانگ باشد و از این طریق توانستند عبارتی صریح برای احتمال ورشکستگی و تبدیل لاپلاس زمان آن در مواقعی که توزیع اندازه خسارتها نمایی است، ارائه کنند.

هیلپرن<sup>۶</sup> (۲۰۱۴) در مقاله خود فرض استقلال اندازه خسارت و فاصله زمانی میان رخ دادن خسارتها را نادیده گرفت و ساختار وابستگی میان این متغیرهای تصادفی را با استفاده از مفصل اسپیرمن مدل‌سازی کرد. وی در تحقیق خود عبارتی صریح برای محاسبه احتمال ورشکستگی زمانی که توزیع اندازه خسارت نمایی است، به دست آورد.

- 
1. Teugels
  2. Cossette
  3. Shortage
  4. Ambagaspitiya
  5. Chadjiconstantindis and Vrontos
  6. Heilpern

### ۳. روش شناسی پژوهش

#### ۳-۱. جامعه آماری و نمونه تحقیق

جامعه آماری تحقیق، همه داده‌های خسارت مربوط به بیمه‌نامه شخص ثالث صادره توسط یکی از شرکتهای بیمه ایرانی است<sup>۱</sup>. به منظور گردآوری و پایش داده‌ها، در ابتدا داده‌های خسارت مربوط به بیمه‌نامه‌های شخص ثالث صادره این شرکت که اطلاعات آنها در سامانه سنهاب موجود است، گردآوری شد. این اطلاعات بازه زمانی سالهای ۱۳۸۶-۱۳۹۲ را پوشش می‌دهد. در گام بعد، از آنجا که در برخی موارد به ازای یک شماره بیمه‌نامه مشخص بیش از یک خسارت رخ داده بود همه این خسارتهای تجمیع شدند تا مشخص شود به ازای هر بیمه‌نامه صادره، خسارت جانی پرداختی و خسارت مالی پرداختی چه میزان بوده است. بعد از انجام این اصلاحات در مجموع ۲۰۱۱۷ زوج مشاهده از خسارتهای جانی و مالی به دست آمد.

با توجه به تغییرات نرخ دیه و همچنین تغییرات اجرت تعمیر اتومبیل و قیمت خودرو لازم بود که بر روی میزان خسارت جانی و مالی که مربوط به سالهای قبل از ۱۳۹۲ هستند، تعدیل صورت گیرد. به منظور انجام این تعدیلات ابتدا مبلغ دیه و شاخص هزینه حمل و نقل برای دوره زمانی تحقیق استخراج و سپس نرخ رشد آنها مشخص شد. از نرخ رشد محاسبه شده، به عنوان عامل تعدیل خسارت جانی و مالی در سالهای قبل از ۱۳۹۲ استفاده شد.

#### ۳-۲. مراحل انجام تحقیق

با توجه به موارد بحث شده در قسمت ادبیات موضوع، به منظور تقریب احتمال ورشکستگی پرتفوی بیمه‌های شخص ثالث شرکت بیمه نمونه، براساس روش تیمز، ابتدا لازم است که فرایند مازاد شرکت بیمه مدل سازی شود. همان گونه که قبلاً گفته شد در این تحقیق، مازاد به صورت یک فرایند پواسون مرکب مدل سازی خواهد شد.

---

۱. با توجه به اینکه در این تحقیق احتمال ورشکستگی محاسبه شده، از ذکر نام شرکت خودداری شده است.

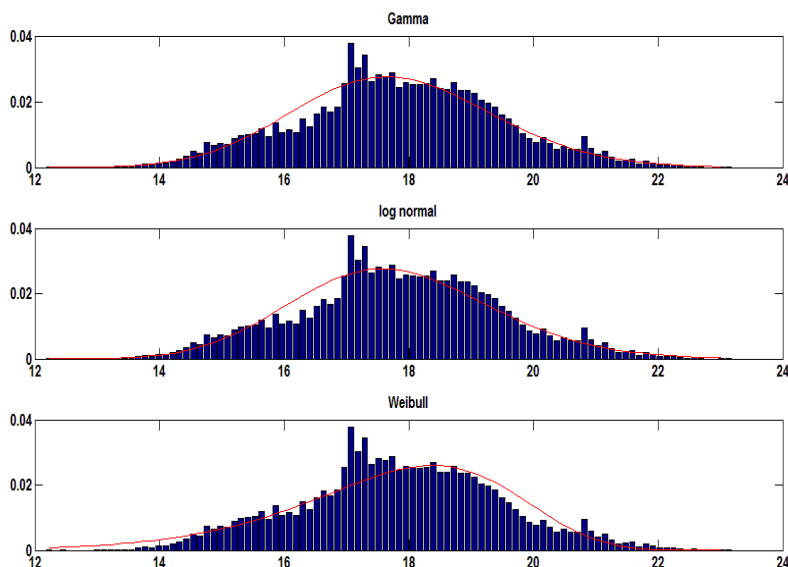
بنابراین ابتدا تواتر خسارتها به صورت یک متغیر تصادفی پواسون و سپس شدت خسارتها مدل سازی می شود. به این منظور مجموعه ای از توزیعهای آماری برای مدل سازی شدت خسارتها انتخاب می شوند و از طریق مقایسه آنها به کمک شکل تابع چگالی و آزمونهای آماری مختلف شامل؛ آزمون نیکویی برازش خی دو، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، و مقدار لگاریتم تابع درستنمایی بهترین توزیع برای مدل سازی شدت خسارت انتخاب می شود. سپس با استفاده از اطلاعات مالی شرکت در سالهای گذشته عامل سربار حق بیمه برآورد می شود. در ادامه به کمک الگوریتمهای عددی، مقدار ضریب تعدیل محاسبه و در نهایت، با استفاده از این ضریب تعدیل و معادلات مربوطه، احتمال ورشکستگی شرکت تحت سناریوهای مختلف در خصوص میزان مازاد اولیه برآورد می شود. لازم به ذکر است که کلیه محاسبات از طریق برنامه نویسی در نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۴ انجام می شود.

#### ۴. یافته های پژوهش

##### ۴-۱. مدل سازی تواتر و شدت خسارتها

از آنجا که فرایند تصادفی استفاده شده در تحقیق از نوع پواسون مرکب است؛ برای مدل سازی تواتر خسارتها از توزیع پواسون استفاده شده است. پارامتر این توزیع ( $\lambda$ ) با استفاده از روش ماکسیمم درستنمایی<sup>۱</sup> برآورد شده است. نتایج برآورد به کمک نرم افزار متلب نشان می دهد که برآوردگر ماکسیمم درستنمایی این پارامتر  $2873/9$  است. برای مدل سازی شدت خسارت، در گام اول از طریق برازش توزیعهای مختلف بر روی مشاهدات در دسترس و رسم شکل تابع چگالی توزیع برازش داده شده و مقایسه آن با بافت نگار خسارتها، سه توزیع گاما، لگ نرمال و وایبول به عنوان توزیعهای منتخب برای مدل سازی شدت خسارتها تعیین شدند. شکل ۱، تابع چگالی توزیعهای سه گانه فوق در مقایسه با چگالی تجربی مشاهدات را نمایش می دهد.

شکل ۱. چگالی تابع توزیعهای برازش داده شده (منحنی رسم شده) در مقایسه با شکل تابع چگالی توزیع تجربی خسارتها (ستونهای رسم شده)



در گام بعد، از طریق آزمون نیکویی برازش خی دو پیرسون، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، و مقدار ماکسیمم تابع لگاریتم درستنمایی این سه توزیع مقایسه شدند که از بین آنها توزیع گاما براساس هر سه آزمون به عنوان توزیع برتر برای مدل سازی شدت خسارت انتخاب شد. مقادیر پارامترهای توزیع برازش داده شده به همراه نتایج آزمونهای فوق در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱. توزیعهای برازش داده شده و مقایسه برازندگی آنها

نام توزیع	توزیع برازش داده شده	آماره خی دو	آماره کولموگروف-اسمیرنوف	مقدار منفی ماکسیمم لگاریتم تابع درستنمایی
گاما	$Gamma(124.493, 0.1434)$	۳۱۰/۰۳۷	۰/۰۳۲۳	۳۷۹۴
لگ نرمال	$Logn(2.8778, 0.090)$	۳۸۹/۵۳	۰/۰۳۶۴	۳۷۹۹
وایبول	$Wbl(18.577, 11.882)$	۱۶۷۱/۶	۰/۰۴۵۸	۳۸۷۶

۴-۲. محاسبه ضریب تعدیل و تعیین احتمال ورشکستگی بر مبنای تقریب تیمز  
 به منظور تعیین عامل سربار حق بیمه، درآمدهای شرکت و خسارتهای پرداختی آن  
 برای سالهای ۱۳۹۰-۱۳۹۲ بر مبنای صورتهای مالی مشخص شد و عامل سربار  
 خسارت برای هر سه سال محاسبه شد. با توجه به تغییرات رخ داده در عامل سربار،  
 برای برآورد دقیقتر از اعداد به دست آمده برای سه سال میانگین گیری شد که  
 در نهایت، عامل سربار حق بیمه ۳۰/۷٪ تعیین شد. بعد از تعیین عامل سربار حق بیمه  
 ضریب تعدیل با توجه به رابطه (۶) محاسبه شد. برای حل این معادله از الگوریتم  
 دکر<sup>۱</sup> استفاده شده است که ترکیبی از الگوریتمهای تنصیف، سکانت و روش درونیابی  
 معکوس درجه دوم است. در واقع با استفاده از این الگوریتم معادله

$$(1+\theta)\mu t - (1-\beta t)^{-\alpha} + 1 = 0$$

حل شده است، در معادله فوق  $\mu$  میانگین توزیع گاما است که برابر  $\mu = \alpha\beta$  است،  $\alpha$   
 و  $\beta$  پارامترهای شکل و مقیاس توزیع گاما هستند که قبلاً برآورد شده اند. ریشه  
 غیرصفر این معادله براساس الگوریتم دکر که در نرم افزار متلب پیاده سازی شد،  
 ۰/۰۲۸۵ برآورد شد که همان ضریب تعدیل ( $k$ ) است.

به منظور محاسبه احتمال ورشکستگی، ابتدا مقدار پارامتر  $C$  طبق رابطه (۹)  
 محاسبه شده است. مقدار این پارامتر طبق محاسبات انجام شده توسط نرم افزار،  
 ۰/۸۴۱۷ تعیین شده است. در گام بعد، مقدار امید ریاضی مربع خسارتها ( $E(X^2)$ ) با  
 توجه به اینکه  $X$  دارای توزیع گاما است، براساس فرمول

اگر  $r$  عدد صحیح باشد  $E(X^r) = \beta^r (\alpha + r - 1) \dots \alpha$

$$E(X^r) = \frac{\beta^r \Gamma(\alpha + r)}{\Gamma(\alpha)}, r > -\alpha$$

تعیین و سپس طبق رابطه (۱۱) مقدار پارامتر  $\alpha$  توسط نرم افزار مشخص شد. براساس  
 محاسبات نرم افزار مقدار پارامتر  $\alpha$  برابر با ۲/۹۸۲ است.

در گام آخر، با استفاده از رابطه (۱۰) احتمال ورشکستگی نهایی شرکت برآورد شد. با توجه به اینکه شرکت مورد بررسی استراتژی خاصی برای تخصیص سرمایه به پرتفویهای خود ندارد، مقدار مازاد اولیه تخصیص داده شده به این پرتفوی از ۱۰ میلیارد تا ۲۰۰ میلیارد ریال با گام ۱۰ میلیارد در نظر گرفته شد و تحت هر یک از این سناریوها احتمال ورشکستگی نهایی شرکت محاسبه شد، که خلاصه نتایج آن در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲. تقریب احتمال ورشکستگی به ازای مقادیر مختلف مازاد اولیه

مقدار مازاد	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
احتمال ورشکستگی	٪۴۰/۸۹	٪۴۰/۰۹	٪۳۹/۶۳	٪۳۹/۳۰	٪۳۹/۰۶
مقدار مازاد	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
احتمال ورشکستگی	٪۳۸/۸۵	٪۳۸/۶۸	٪۳۸/۵۴	٪۳۸/۴۱	٪۳۸/۲۹
مقدار مازاد	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
احتمال ورشکستگی	٪۳۸/۱۹	٪۳۸/۰۹	٪۳۸/۰۱	٪۳۷/۹۳	٪۳۷/۸۵
مقدار مازاد	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰
احتمال ورشکستگی	٪۳۷/۷۸	٪۳۷/۷۲	٪۳۷/۶۶	٪۳۷/۶۰	٪۳۷/۵۴

از جدول ۲ مشاهده می شود که احتمال ورشکستگی نهایی شرکت در حالتی که مقدار مازاد اولیه تخصیص داده شده به پرتفوی ۱۰ میلیارد باشد، حدود ۴۰/۸۹ درصد است که به موازات افزایش در مقدار مازاد اولیه تخصیص داده شده، کاهش می یابد. با این حال همان گونه که اعداد به دست آمده نشان می دهند حتی با افزایش این عدد به ۲۰۰ میلیارد باز هم احتمال ورشکستگی نهایی بسیار قابل ملاحظه است که احتمالاً نشانه ای از انتخاب بد پرتفوی و یا متناسب نبودن حق بیمه دریافتی با ریسک پذیرفته شده است.

##### ۵. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها

در این تحقیق احتمال ورشکستگی نهایی پرتفوی شخص ثالث یک شرکت بیمه ایرانی با فرض سناریوهای مختلف در خصوص مقدار مازاد اولیه تخصیص داده شده به این پرتفوی، با استفاده از روش تقریب تیمز محاسبه شد. به این منظور در ابتدا فرایند

مازاد با استفاده از مدل تصادفی پواسون مرکب مدل سازی شد. همان گونه که مشاهده شد، نتایج تحقیق نشان داد که توزیع گاما بهترین مدل برای مدل سازی شدت خسارتهاست. سپس ضریب تعدیل با استفاده از الگوریتم دکر محاسبه و در نهایت، با استفاده از روش تیمز احتمال ورشکستگی تقریب زده شد.

اگرچه همان گونه که در مقدمه مقاله گفته شد، هیچ گونه معنی مطلقی را نمی توان به این احتمال نسبت دارد، اما به هر حال احتمال نسبتاً زیاد به دست آمده مؤید عدم ثبات پرتفوی شخص ثالث این شرکت است و بیانگر این موضوع است که شرکت باید در خصوص سیاستهای فعلی خود تجدیدنظر و در خصوص حق بیمه های اعمالی بازنگری کند و در صورتی که چنین چیزی مقدور نیست (بنا به دلایل قانونی) حداقل از طریق به کارگیری رویه های دقیق تر سنجش ریسک مشتریان، از تواتر و شدت خسارتهای بکاهد. به کارگیری پوششهای اتکایی بیشتر و یا استفاده از سرمایه در گردش بالاتر نیز دو راهکار دیگر برای حل این مشکل است.

لازم به ذکر است اگرچه مدل پواسون مرکب متداول ترین مدل برای مدل سازی فرایند مازاد در مباحث بیمه ای است، با این حال مدل های دیگری نیز وجود دارند که در برخی موارد دقت بیشتری نسبت به مدل پواسون مرکب دارند، لذا محققین علاقمند می توانند با استفاده از سایر مدلها، فرایند مازاد را مدل سازی و جواب را با مدل پواسون مرکب مقایسه کنند.

### منابع

1. Albrecher, H. and Boxma, O.J., 2004. A ruin model with dependence between claim sizes and claim intervals. *Insurance: Mathematics and Economics*, 35(2), pp. 245–254.
2. Albrecher, H. and Teugels, J., 2006. Exponential behavior in the presence of dependence in risk theory. *Journal of Applied Probability*, 43(1), pp.265–285.
3. Ambagaspitaya, R.S., 2009. Ultimate ruin probability in the Sparre Andersen model with dependent claim sizes and claim occurrence times. *Insurance: Mathematics and Economics*, 44, pp.464–472.

4. Boudreault, M., Cossette, H., Landriault, D. and Marceau, E., 2006. On a risk model with dependence between interclaim arrivals and claim sizes. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2006(5), pp.301–323.
5. Chadjiconstantinidis, S. and Vrontos, S., 2014. On a renewal risk process with dependence under Farlie–Gumbel–Morgenstern copula. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2014(2), p.p125–158.
6. Cossette, H., Marceau, E. and Marri, F., 2010. Analysis of ruin measures for the classical compound Poisson risk model with dependence. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2010(3), pp.221–245.
7. Dickson, D.C.M., 2006. *Insurance Risk and Ruin*. Cambridge: Cambridge University Press.
8. Gray, R. J. and Pitts, S. M., 2012. *Risk Modeling in general insurance: from principle to practice*. 1st ed, New York: Cambridge University Press.
9. Heilpern, S., 2014. Ruin measures for a compound Poisson risk model with dependence based on the Spearman copula and the exponential claim sizes. *Insurance: Mathematics and Economics*, 59, pp.251-257.
10. Kaas, R., Goovaerts, M., Dhaene, J. and Denuit, M., 2008. *Modern Actuarial Risk Theory Using R*. 2nd ed, Berlin: Springer.
11. Klugman, A.S., Panjer, H.H. and Willmot, G.E., 2004. *Loss Models: From Data to Decisions*. 2nd ed, New Jersey: John Wiley and Sons.
12. Tijms, H., 1994. *Stochastic Models.–An Algorithmic Approach*. Chichester: Wiley.
13. Tse, Y.K., 2009. *Non life Actuarial Models: Theory, Methods and Evaluation*. 1st ed, New York: Cambridge University Press.