



Iranian Journal of Insurance Research (IJIR)

Capital Requirements for Non-Life Insurance of Iran Insurance Company Using the Copula Model

Elham Alizadeh¹, Jafar Haghighat^{2,*}, Hossein Asgharpur³, Zahra Karimitakanlu⁴

¹PhD Candidate, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

²Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

³Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

⁴Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 26 February 2026

Final revision: 12 April 2026

Accepted: 13 June 2026

Early online access: 13 June 2026

Published: 1 October 2026

Keywords:

Capital requirements

Copula

Economic capital

Non-life insurance

R-Vine copula

Value at risk

ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: The deviation between risk capital under standard models and its actual amount can pose multiple challenges for insurers. Although the objective of regulatory requirements is to limit insurer risk, these regulations, due to their general nature, are not always applicable to the specific conditions of every company. The standard formula usually operates conservatively and obligates insurers to hold more risk capital than the actual need, which reduces the potential return on equity (ROE). Therefore, improving the method of calculating the required capital beyond the standard formula to better describe the effect of risk diversification is essential. In other words, designing alternative approaches and quantifying potential deviations from regulatory standard models should be of concern to insurance managers, legislators, and public policymakers. The aim of this article is to provide a structured model for determining the capital requirements of non-life insurance companies using monthly claims data. To this end, an alternative modeling approach for insurance risk aggregation is proposed, considering two main aspects: the ignoring of nonlinear dependencies and company-specific risk parameters. In fact, this model empirically demonstrates the existing gap between the required capital under standard models and capital calculated using alternative approaches. According to this, first, the marginal distribution of each line of business in the insurance portfolio ought to be parametrically specified to reflect the distributional characteristics of each risk factor. Then, the estimated marginal distributions are aggregated considering the dependency structures between risk factors. It is important to note that the presented modeling approach can be interpreted as a sensitivity analysis of the regulatory framework for capital calculation addressing two often-raised criticisms.

METHODS: To calculate insurance risk, which is the main risk factor in insurance companies, the actual portfolio of the insurance company was considered. To avoid computational complexity, among non-life insurance lines, those with the largest share of premium in the year 1402 (Persian Solar Hijri Year) were used, namely: third-party liability, car body, accident, liability, and fire. The data include monthly paid claims for five lines in the actual portfolio of Iran Insurance Company from 1395:1 (Persian Year) to 1402:8 (Persian Year). To estimate the marginal copula functions under the individual risk model, various parametric distributions commonly used in actuarial and operational risk fields were fitted. The appropriate distribution for each claims process was determined based on goodness-of-fit tests and the Akaike information criterion. Dependencies between lines were modeled using different copula functions. Three statistical criteria, including the log-likelihood function, Akaike information criterion, and Bayesian Schwarz criterion, were used to select the best-fitting model among the estimated copulas. Then, based on the selected copula function and its corresponding dependency structure, n pairs of data were simulated. The simulated variables were aggregated to establish the total loss distribution under the multivariate copula. Finally, in the alternative model, the economic capital was calculated using the Value-at-Risk risk measure.

FINDINGS: The analysis of the statistical properties of the data used shows that all insurance lines exhibit right skewness and greater kurtosis compared to the normal distribution, indicating the presence of heavy tails in the examined time series. Therefore, the normal distribution is not a suitable distribution for modeling insurance risk. The parameter estimation results of theoretical distributions indicate that the log-normal distribution is the best fit for the historical claim data in four lines: accident, fire, Car Body, and third-party liability, while the generalized Pareto distribution is the best fit for the liability insurance line. It is observed that the most appropriate copula function, based on the highest maximum likelihood value and the lowest information criteria, for interpreting dependency in the insurance portfolio, is the R-Vine copula, which outperforms other copula functions. The size of insurance risk based on real data for the year 1402 (Persian Solar Hijri Year), according to the risk coefficients in Regulatory Directive No. 69, is approximately 265,235,960 trillion IRR. In the alternative model, which is a combined model of the R-Vine copula with using the Value-at-Risk measure, the results show that the standard model estimates the required insurance risk capital to be on average 25.6% higher than the alternative model at various confidence levels.

CONCLUSION: The overestimation of capital requirements identified in standard models suggests that insurers can significantly reduce their risk capital by taking into account nonlinear dependencies and their own firm-specific risk parameters. Hence, based on empirical observations, it is recommended that regulators incorporate dependency assumptions to reduce discrepancies between the risk capital derived from the standard model and its actual magnitude.

*Corresponding Author:

Email: jhaghighat79@gmail.com

Phone: +98 4133392369

ORCID: 0000-0002-5470-5220

DOI: 10.22056/ijir.2026.04.03





مقاله پژوهشی

الزامات سرمایه برای بیمه غیرزندگی شرکت سهامی بیمه ایران با استفاده از مدل کاپولا

الهام علی‌زاده^۱، جعفر حقیقت^{۲*}، حسین اصغرپور^۳، زهرا کریمی تکانلو^۴

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۲ استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۳ استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۴ استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده:

تاریخ های مقاله:

دریافت: ۷ اسفند ۱۴۰۴

بازنگری نهایی: ۲۳ فروردین ۱۴۰۵

پذیرش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۵

زودآیند: ۲۳ خرداد ۱۴۰۵

انتشار: ۹ مهر ۱۴۰۵

کلمات کلیدی:

بیمه غیرزندگی

الزامات سرمایه

سرمایه اقتصادی

سنجه ارزش در معرض ریسک

کاپولا

کاپولای R-Vine

*نویسنده مسئول:

ایمیل:

Jhaghighat79@gmail.com

تلفن: +۹۸ ۴۱۳۳۳۹۲۳۶۹

ORCID: 0000-0002-5470-5220

DOI: 10.22056/ijir.2026.04.03

پیشینه و اهداف: هدف این مقاله، ارائه مدلی ساختارمند برای تعیین الزامات سرمایه‌ای شرکت بیمه غیرزندگی از طریق داده‌های خسارت ماهانه است. بدین منظور، مدل‌سازی جایگزین برای تجمیع ریسک بیمه‌گری، با توجه به دو جنبه اصلی مطرح‌شده، یعنی عدم توجه به وابستگی‌های غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص شرکت صورت گرفته است. در واقع، این مدل به‌صورت تجربی شکاف موجود بین سرمایه مورد نیاز تحت مدل‌های استاندارد و سرمایه تحت رویکردهای جایگزین را نشان می‌دهد. بر این اساس، ابتدا باید توزیع حاشیه‌ای هر رشته در پرتفوی بیمه‌گری به‌صورت پارامتری مشخص شود تا ویژگی توزیعی هر عامل ریسک را منعکس کند. سپس، حاشیه‌های توزیع برآورده‌شده با در نظر گرفتن ساختارهای وابستگی بین عوامل ریسک تجمیع می‌شود. توجه به این نکته مهم است که رویکرد مدل‌سازی ارائه‌شده را می‌توان به‌صورت تحلیل حساسیت چهارچوب قانونی محاسبه سرمایه الزامی تفسیر کرد که به دو انتقاد مطرح‌شده می‌پردازد.

روش‌شناسی: داده‌ها شامل خسارت پرداختی ماهانه پنج رشته فعالیت در پرتفوی واقعی شرکت سهامی بیمه ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۵:۱-۱۴۰۲:۸ است. به‌منظور برآورد توابع حاشیه‌ای کاپولا تحت مدل ریسک فردی، توزیع‌های پارامتری مختلف که غالباً در زمینه ریسک اکچوئری و عملیاتی استفاده می‌شوند، برازش شد. توزیع مناسب هر فرایند خسارت براساس آزمون خوبی برازش و معیار آکائیک تعیین می‌شود. وابستگی بین رشته‌ها با استفاده از توابع کاپولا مختلف مدل‌سازی شده است. سه معیار آماری شامل تابع حداکثر درست‌نمایی، معیار آکائیک و معیار شوارتز بیزین برای تعیین مناسب‌ترین مدل از میان توابع تخمین‌زده‌شده، مقایسه می‌شود. سپس، با استفاده از تابع کاپولای انتخابی و ساختار وابستگی متناظر با آن، تعداد n جفت داده شبیه‌سازی می‌شود. متغیرهای شبیه‌سازی‌شده تجمیع می‌شود تا توزیع زبان کل تحت کاپولای چندمتغیره ایجاد شود. سرانجام، در مدل جایگزین سرمایه اقتصادی با استفاده از معیار ارزش در معرض ریسک محاسبه می‌شود.

یافته‌ها: فرمول استاندارد بیمه‌گران را ملزم می‌کند که سرمایه‌ای بیش از نیاز واقعی نگهداری کنند. بنابراین، استفاده از این فرمول بازده بالقوه حقوق صاحبان سهام را کاهش می‌دهند. اندازه ریسک بیمه‌گری با داده‌های واقعی سال ۱۴۰۲ براساس ضرایب ریسک آیین‌نامه شماره ۶۹ در حدود ۲۶۵,۲۳۵,۹۶۰ هزار میلیارد ریال است. در مدل جایگزین که مدلی ترکیبی از کاپولای R-Vine با شاخص ریسک ارزش در معرض ریسک محاسبه شد، براساس نتایج حاصل، مدل استاندارد میزان سرمایه الزامی ریسک بیمه‌گری را در سطوح اطمینان مختلف به‌طور متوسط ۲۵,۶ درصد بیش از مدل جایگزین تخمین می‌زند.

نتیجه‌گیری: بیش‌برآورد الزامات سرمایه که در مدل‌های استاندارد شناسایی می‌شود، نشان می‌دهد بیمه‌گران می‌توانند با در نظر گرفتن وابستگی غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص خود، سرمایه ریسک را به میزان قابل توجهی کاهش دهند. از این‌رو، براساس مشاهدات تجربی پیشنهاد می‌شود قانون‌گذار باید مفروضات وابستگی را برای کاهش انحرافات بین سرمایه ریسک تحت مدل استاندارد و اندازه واقعی آن لحاظ کند.

توجه: مدت زمان بحث و انتقاد برای این مقاله تا ۱۱ اکتبر ۲۰۲۶ در وبسایت IJIR در «نمایش مقاله» باز است.

مقدمه

پس از بحران مالی ۲۰۰۸، نظارت بر تأمین سرمایه‌ی الزامی به یکی از وظایف مهم مدیریت مرکزی در صنعت بیمه و بانکداری تبدیل شده است. نوع نظارت نهاده‌های قانون‌گذار، درجه و میزان آن در صنعت بیمه هر کشور به ماهیت سیستم نظارتی آن کشور بستگی دارد (Eling & Jung, 2020) بدین منظور، انواع استانداردهای نظارتی در صنعت بیمه کشورهای مختلف وجود دارند که اخیراً توسعه یافته یا تجدیدنظر شده‌اند.

عملکرد چهارچوب‌های نظارتی بدین‌گونه است که ریسک‌های دارایی و بدهی را تجمیع می‌کنند تا از بیمه‌گر در برابر زیان‌های هم‌زمان در یک موقعیت تنش‌زا محافظت کند و از ورشکستگی آن جلوگیری شود. توزیع چنین ریسک‌هایی، به‌ویژه در میان عوامل ریسک متفاوت است. باین‌حال، با وجود تفاوت‌های قابل توجه در توزیع ریسک‌ها، مدل‌های استاندارد نظارتی از بیمه‌گران می‌خواهند آن‌ها را با فرض وابستگی خطی و استفاده از پارامترهای همبستگی ازپیش‌تعریف‌شده تجمیع کنند. استفاده از ضرایب همبستگی خطی مستلزم فرض‌های توزیعی مطمئنی (فرض توزیع نرمال) است که با ویژگی‌های توزیع ریسک‌های بیمه‌ای همخوانی ندارد (شهریار، ۱۳۹۵). بنابراین، هرچند هدف قوانین نظارتی، محدود کردن ریسک بیمه‌گران است، قوانین یادشده به‌دلیل ماهیت کلی خود، همیشه با شرایط خاص هر شرکت انطباق ندارند (نیاکان و عطاطلب، ۱۴۰۲). این محدودیت‌ها موجب شده است مؤسسات بیمه در کشورهای مختلف به بررسی و مطالعه جایگزین‌هایی برای مدل‌های استاندارد نظارتی، در قالب مدل‌های ریسک داخلی، روی آورند. از این‌رو، بهبود روش محاسبه سرمایه‌ی الزامی برای توصیف اثر تنوع‌بخشی ریسک ضروری است.

به‌طور کلی، ماهیت ریسکی فعالیت مؤسسات بیمه (عملیات بیمه‌گری و سرمایه‌گذاری) باعث شده تخمین دقیق توزیع توأم (تجمیع) ریسک‌ها در مؤسسات بیمه برای قیمت‌گذاری صحیح بیمه‌نامه‌ها، تعیین میزان نگهداری ذخایر فنی و ارزیابی توانگری مالی و دیگر تصمیم‌های مهم مؤسسات، بسیار بااهمیت جلوه کند (میرباقری جم و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین امروزه، بیمه نیز به‌منزله یکی از منابع مهم تأمین مالی و سرمایه‌گذاری نقش مهمی در اقتصاد کشور ایفا می‌کند. به‌این‌ترتیب، سرمایه‌گذاری از محل سرمایه و ذخایر فنی، یکی از وظایف مهم شرکت‌های بیمه است. سرمایه‌گذاری، شرکت‌های بیمه را قادر می‌سازد تا زیان تعهدشده احتمالی خود را پوشش دهند و سود قابل ملاحظه‌ای کسب کنند (سرلک و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین، مدل‌سازی ساختارهای وابستگی ریسک‌ها برای مدیریت ریسک حیاتی است و به‌ویژه در فرایند تجمیع ریسک اهمیت بیشتری دارد. هدف از تجمیع ریسک، محاسبه سرمایه‌ی اقتصادی تجمیعی است. سرمایه اقتصادی، معادل سرمایه‌ای است که یک شرکت (بیمه‌گری) باید نگه دارد تا احتمال ورشکستگی خود را در سطح معینی محدود کند. این سرمایه براساس فرمول استاندارد یا با استفاده از یک مدل داخلی و با به‌کارگیری روش‌های ارزش در معرض خطر^۱ محاسبه می‌شود.

1. Value at risk

روش‌های مختلفی برای تجمیع ریسک وجود دارد. در تجمیع خطی ریسک، تنها اطلاعات مورد نیاز، برآورد سرمایه‌ی اقتصادی هر ریسک و ضریب همبستگی بین جفت ریسک‌هاست. رایج‌ترین رویکرد برای تجمیع خطی ریسک‌ها، رویکرد ماتریس وارپانس-کووارپانس است. اگرچه این رویکرد مفهومی نسبتاً شناخته‌شده و از نظر محاسباتی ساده است، همبستگی‌های خطی نمی‌توانند تمام ویژگی‌های خاص الگوی وابستگی میان ریسک‌ها را مدل‌سازی کنند. روش‌های تجمیع مبتنی بر مدل کاپولا از جمله روش‌های نوینی است که بر توزیع مشترک همه ریسک‌های منفرد وابسته است. توابع کاپولا ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری وابستگی میان ریسک‌های مختلف است و در مقایسه با روش ساده و خطی تجمیع، کاراتر است. از جمله مزایای تجمیع ریسک با توابع کاپولا این است که می‌توان ساختار و میزان وابستگی میان ریسک‌ها را براساس توزیع حاشیه‌ای هر یک از آن‌ها تعیین کرد. همچنین، با تعیین توزیع توأم همه ریسک‌ها، امکان برآورد دقیق‌تر حداقل سرمایه لازم بنگاه در مقایسه با روش تجمیع خطی فراهم می‌شود (میرباقری جم و همکاران، ۱۳۹۴).

در صنعت بیمه ایران، شرکت‌های بیمه طبق «آیین‌نامه شماره ۶۹ شورای عالی بیمه» موظف‌اند نسبت توانگری مالی خود را هر سال محاسبه و همراه صورت‌های مالی، برای اخذ تأییدیه، به بیمه مرکزی جمهوری اسلامی ایران ارسال کنند. براساس پژوهش شهریار (۱۳۹۵)، ایرادات متعددی به مدل توانگری ایران وارد است. روش محاسبه توانگری مالی در ایران با استفاده از روش ضرایب ثابت و روش ساده کامپاین و براساس ضرایب خسارت سالانه و توزیع نرمال انجام می‌شود. در نتیجه این ضوابط، توانگری مالی شرکت‌های بیمه بزرگ و کوچک به‌طور مشابه و با ضرایب ریسک مشابه سنجیده می‌شود که موجب تورش در محاسبات توانگری مالی شرکت‌های بیمه کوچک می‌شود. انحراف بین سرمایه در معرض ریسک براساس مدل‌های استاندارد و میزان واقعی آن می‌تواند چالش‌هایی زیادی برای بیمه‌گران به همراه داشته باشد. فرمول استاندارد محافظه‌کارانه عمل می‌کند و بیمه‌گران را ملزم به نگهداری سرمایه در معرض ریسک بیش از نیاز واقعی می‌کند که این امر موجب کاهش بازده بالقوه سهام می‌شود. بنابراین، طراحی رویکردهای جایگزین و کمی‌سازی انحرافات بالقوه از مدل‌های استاندارد نظارتی باید مورد توجه مدیران بیمه، قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران عمومی قرار گیرد.

این پژوهش بر تجمیع ریسک‌ها در بیمه غیرزندگی تمرکز دارد و سرمایه‌ی اقتصادی متناظر را برای شرکت سهامی بیمه ایران با استفاده از متناسب‌ترین نوع تابع کاپولا، برآورد می‌کند. مدل جایگزین ارائه‌شده برای تجمیع ریسک، که در مدل‌های داخلی قابل استفاده است، با توجه به دو جنبه اصلی مطرح‌شده، یعنی بی‌توجهی به وابستگی‌های غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص بنگاه، محاسبه می‌شود. در واقع، این مدل به‌صورت تجربی شکاف موجود میان سرمایه مورد نیاز براساس مدل‌های استاندارد و سرمایه برآورده‌شده با استفاده از مدل جایگزینی را نشان می‌دهد که وابستگی‌های غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص بنگاه را در نظر می‌گیرد. توجه به این نکته

مهم است که رویکرد مدل‌سازی ارائه‌شده، یک مدل داخلی کامل نیست، بلکه می‌تواند به‌عنوان تحلیل حساسیت چهارچوب قانونی محاسبه سرمایه الزامی تفسیر شود که به دو انتقاد رایج مطرح‌شده درباره این چهارچوب می‌پردازد.

به‌طور کلی، بیمه زندگی و بیمه غیرزندگی دو نوع شناخته‌شده بیمه هستند. با این حال، یکی از مسائل اصلی در تعیین الزامات سرمایه^۱، وجود متغیرهایی با ابعاد بالاست. از این رو، این مقاله عمدتاً بر بیمه غیرزندگی تمرکز دارد، زیرا ماهیت فعالیت بیمه‌ای در این بخش شامل رشته‌های کسب‌وکار متنوعی است که برای مدل‌سازی داده‌های چندبعدی مناسب‌اند. در میان توابع کاپولای مختلف، به‌منظور تعیین وابستگی، از کاپولای با ابعاد بالا استفاده شده است که این امکان را فراهم می‌کند تا الگوهای وابستگی پیچیده با بهره‌گیری از انواع متنوع کاپولای دومتغیره به‌عنوان اجزای سازنده کاپولای و این مدل‌سازی شوند. بنابراین، امکان برآورد سرمایه اقتصادی با دقت بیشتری نسبت به سایر کاپولاهای پارامتری، مانند کاپولاهای بیضوی و ارشمیدسی، فراهم می‌شود و این روش حتی از روش تجمیع خطی نیز دقیق‌تر است.

از این رو، هدف این مقاله، ارائه مدلی ساختارمند برای تعیین الزامات سرمایه‌ای شرکت بیمه غیرزندگی از طریق داده‌های خسارت ماهانه است. بدین منظور، مدل‌سازی جایگزین برای تجمیع ریسک بیمه‌گری، با توجه به دو جنبه اصلی مطرح‌شده، یعنی بی‌توجهی به وابستگی‌های غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص شرکت صورت گرفته است. این پژوهش در پی پاسخ به این پرسش‌هاست که الزامات سرمایه‌ای در شرکت سهامی بیمه ایران چگونه تحت تأثیر این دو انتقاد رایج قرار می‌گیرد؟ در واقع، شکاف موجود میان سرمایه مورد نیاز براساس مدل‌های استاندارد و سرمایه مورد نیاز براساس رویکردهای جایگزین، به‌صورت تجربی، به چه میزان است؟ در این راستا، ادامه مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش‌های بعدی، به‌ترتیب، مبانی نظری، مروری بر پیشینه پژوهش و روش‌شناسی پژوهش ارائه می‌شود. سپس، نتایج و بحث بیان می‌شود. در پایان، جمع‌بندی و پیشنهادها ارائه می‌شود.

مبانی نظری پژوهش

بیمه‌گران معمولاً هم‌زمان در چندین رشته^۲ فعالیت می‌کنند. از این رو، برای در نظر گرفتن اثرات تنوع‌بخشی ریسک‌ها، باید مخزنی از ریسک‌ها تشکیل شود و برای برآورد ریسک کل و سرمایه الزامی، عوامل ریسک مختلف با یکدیگر تجمیع شود. به عبارت دیگر، در فعالیت‌های بیمه‌گری مؤسسات، موضوع تجمیع ریسک^۳ (تخمین توزیع توأم ریسک‌ها) بسیار مهم است. در اینجا، هر رشته فعالیت بیمه‌ای، معادل یک عامل ریسک است. از این رو، نقطه شروع فرایند تجمیع ریسک، تعیین توزیع کل عوامل ریسک منفرد است. در این سطح از تجمیع، هر توزیع حاشیه‌ای باید به‌صورت پارامتری مشخص

1. Capital requirement
2. lines of business (LOB)
3. Risk aggregation

شود تا ویژگی‌های توزیعی هر عامل ریسک را منعکس کند. سپس، حاشیه‌های برآوردشده با در نظر گرفتن ساختارهای وابستگی میان عوامل ریسک با یکدیگر تجمیع می‌شوند. مدل‌های کاپولا براساس نظریه اسکالر (Sklar, 1959)، به‌طور گسترده برای تجمیع ریسک، از طریق تبدیل توزیع‌های ناهمگن به توزیع‌های یکنواخت به کار برده می‌شوند (Eling & Jung, 2020). به‌ویژه، مدل‌های وابستگی با ابعاد بالا که اخیراً توسعه یافته‌اند، در زمینه‌های مختلف مطالعاتی به کار گرفته شده‌اند. در این بخش، ادبیات تجربی درباره کاربرد مدل‌های مختلف توابع کاپولا در برآورد سرمایه مورد نیاز و تحلیل حساسیت مدل‌های استاندارد توانگری بررسی می‌شود.

مروری بر پیشینه پژوهش

نگوین و مولیناری (Nguyen & Molinari, 2011) در مقاله‌ای بررسی کرده‌اند که آیا دستورالعمل جدید توانگری مالی II^۴، مفهوم دقیقی برای در نظر گرفتن وابستگی میان ریسک‌ها ارائه می‌دهد یا باید تعدیل‌های بیشتری انجام شود. بدین منظور روش تجمیع ریسک را از طریق کاربرد نسبت‌های وابستگی پیشنهادی، مانند ضریب همبستگی، همبستگی رتبه اسپیرمن، کاپولا و امثال آن، مورد بحث قرار داده‌اند. آنان بیان کردند که گرچه مفهوم کاپولا به‌صراحت در دستورالعمل مزبور ذکر نشده است، همچنان امکان اعمال آن وجود دارد. از آنجاکه توابع کاپولا امکان مدل‌سازی جداگانه ریسک‌ها و وابستگی‌های بین آن‌ها را فراهم می‌کنند، در صورت استفاده از آن‌ها می‌توان تأثیر ساختارهای وابستگی (متفاوت) بر سرمایه مورد نیاز توانگری را بررسی کرد. همچنین، ساختارهای وابستگی مختلف را می‌توان، از یک سو، از طریق پارامترهای اصلاح‌شده تابع کاپولا و از سوی دیگر، از طریق انتخاب یک خانواده کاپولای کاملاً متفاوت مدل‌سازی کرد.

دایرز و همکاران (Diers et al., 2012) در مقاله‌ای مدل‌سازی ساختار وابستگی ریسک‌های بیمه‌های غیرزندگی را با استفاده از داده‌های ضریب خسارت آلمان در مورد بیمه خسارت طوفان، سیل و آب بررسی کردند. برای ارزیابی تناسب مدل کاپولای برنشتاین در مقایسه با سایر کاپولاهای پرکاربرد (بیضوی پارامتری و ارشمیدسی و همچنین سایر کاپولاهای ناپارامتریک) و نشان دادن امکان استفاده از این توابع در زمینه شبیه‌سازی، تحلیلی برازشی انجام داده‌اند. در نهایت، مقاله تأکید می‌کند که توجه ویژه به مدل‌سازی صحیح وابستگی‌ها در بیمه‌های غیرزندگی، به کاهش سرمایه مورد نیاز برای پوشش ریسک‌ها کمک می‌کند و اهمیت زیادی برای مدیریت ریسک و فرایندهای بیمه‌گری دارد. براساس نتایج این مقاله، استفاده از کاپولای برنشتاین راهکار مناسبی برای مدل‌سازی وابستگی بین خسارات بیمه‌های غیرزندگی است. این مدل می‌تواند با انعطاف‌پذیری بالا، وابستگی‌های پیچیده را به‌خوبی نشان دهد و در نتیجه، به تحلیل دقیق‌تر ریسک و مدیریت بهتر سرمایه در شرکت‌های بیمه کمک کند. بنابراین، کاپولای برنشتاین گزینه مناسبی برای مدل‌سازی

ساختارهای وابستگی در مدل‌های داخلی ریسک است.

الینگ و یونگ (Eling & Jung, 2020)، چهارچوبی جایگزین برای تجمیع ریسک در بیمه‌های غیرزندگی، با لحاظ وابستگی غیرخطی و پارامترهای خاص شرکت از طریق توابع کاپولای واین ارائه داده‌اند و آن را در دو مجموعه داده واقعی (مربوط به یک بیمه‌گر کراهی و یک بیمه‌گر آلمانی) به کار گرفته‌اند. در این مطالعه، بر ریسک بازاری و بیمه‌گری تمرکز کرده‌اند که دو عامل اصلی ریسک در بیمه‌های غیرزندگی هستند. بدین منظور داده‌ها براساس پرتفوی واقعی برای هر دو دارایی و بدهی در نظر گرفته شده است. به‌طور تجربی مدل ریسک جایگزین را با سه مدل استاندارد نظارتی (سرمایه مبتنی بر ریسک کره، توانگری مالی II، آزمون توانگری سوئیس) مقایسه کرده‌اند و نشان داده‌اند که مدل‌های استاندارد به‌طور متوسط بیش از ۵۰ درصد، الزامات سرمایه بالاتری ایجاد می‌کنند. همچنین، بیان شده است که نیمی از بیش‌برآورد مدل‌های استاندارد ناشی از انتخاب پارامتر یکنواخت تحمیل‌شده توسط مقررات و نیمی دیگر ناشی از فرض همبستگی خطی است.

عبد مطلب و همکاران (Abd Mutalip et al., 2024)، در پژوهشی به تعیین سرمایه الزامی مناسب برای شرکت‌های بیمه غیرزندگی پرداخته و یک مدل تجربی مبتنی بر داده‌های واقعی پیشنهاد داده‌اند. این مدل ترکیبی از معیارهای ریسک محبوب مانند VaR و TVaR با مدل کاپولای D-Vine است. برای محاسبه الزامات سرمایه از نسبت‌های خسارت که با استفاده از داده‌های خسارت‌های واقع‌شده و حق بیمه کسب‌شده شرکت‌ها در چهار رشته بیمه‌ای غیرزندگی استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، از طریق ترکیب ریسک‌های مرتبط، ریسک‌های پرتفوی احتمالی بیمه‌گر می‌تواند کاهش یابد.

کشاورز حداد و حیرانی (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای سعی کردند ساختار وابستگی بین دو شاخص قیمتی محصولات شیمیایی و دارویی در بورس تهران را با استفاده از توابع کاپولا مشخص کنند. ارزش در معرض ریسک سید متشکل از این دو شاخص، با توجه به ساختار وابستگی بین آن‌ها، تحت رهیافت Copula-GARCH برآورد و با مدل‌های مشابه مقایسه شد. به عبارتی، در این مقاله توزیع توأم با استفاده از رهیافت کاپولا و مدل‌سازی توزیع‌های حاشیه‌ای با استفاده از مدل واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم‌یافته انجام شده است. در نهایت، نتایج حاصل از برآورد ارزش در معرض ریسک سید دارایی نشان می‌دهد که در برآورد ارزش در معرض ریسک سید دارایی متشکل از دو شاخص، مدل GJR-GARCH-st-Copula-Gumbel بیشترین دقت و کفایت را دارد.

میرباقری جم و همکاران (۱۳۹۴)، ریسک‌های بیمه‌گری در صنعت بیمه ایران را با فرض یک مؤسسه بیمه بزرگ و فعال در همه رشته‌های فعالیت بیمه‌ای، با استفاده از کلاس‌های مختلف توابع کاپولای واین، تجمیع کردند. در این پژوهش از داده‌های نسبت خسارت رشته فعالیت‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۲ منتشرشده در

سایت بیمه مرکزی، استفاده شده است. سرمایه اقتصادی برآوردشده^۱ برای کل صنعت بیمه در میان معیارهای ریسک مختلف و مدل‌های کاپولای واین تفاوت قابل توجهی دارد. نتایج تجمیع و مدل‌سازی ساختار وابستگی ریسک‌های بیمه‌گری با داده‌های ضریب نشان می‌دهد که سرمایه اقتصادی تجمعی برآوردشده در معیارهای ریسک مختلف و مدل‌های متفاوت کاپولای واین، متفاوت است، همچنین، انتخاب مدل کاپولای مناسب در فرایند تجمیع ریسک، اهمیت زیادی دارد. استفاده از روش کاپولای واین در فرایند تجمیع ریسک به برآورد بیش از حد ضریب ریسک RBC منجر می‌شود. در آخر، سرمایه اقتصادی برآوردشده کمتر از مقدار محاسبه‌شده براساس مدل استاندارد آیین‌نامه ۶۹ بیمه مرکزی با داده‌های سال ۱۳۹۲ است.

مظلومی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای که هدف اصلی آن، تعیین سطحی از سرمایه است که بتواند انتظارات متعارض سهام‌داران و نهاد ناظر را برآورده کند، با استفاده از داده‌های آماری ضرایب خسارت در دوره زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ چهار شرکت بیمه، سرمایه الزامی از منظر انتظارات بیمه مرکزی (مدل استاندارد) را با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک (روش پارامتری واریانس-کوواریانس) و به‌صورت مدل‌سازی داخلی محاسبه کردند. در این مقاله، رویکرد محاسبه ضرایب ریسک بیمه‌گری، رویکرد مؤسسه بین‌المللی اکچوئری^۲ است. همچنین، مدل‌سازی ریسک بازار با استفاده از مدل‌های GARCH انجام شده است. به‌دلیل نبود داده‌های کافی، برای دو نوع ریسک اعتبار و نقدینگی، از ضرایب اصلاح‌شده مدل آیین‌نامه شماره ۶۹ شورای عالی بیمه، مندرج در پژوهش **شهریار (۱۳۹۵)** استفاده شده است. بنابراین، برای تعیین مقدار بهینه سرمایه برای شرکت‌های بیمه‌ای، ابتدا با استفاده از معیار var، سرمایه الزامی برای ریسک‌های بیمه‌گری و بازار را برآورد کرده‌ایم. هزینه سرمایه براساس مدل CAPM و برای دستیابی به نتیجه نهایی تحلیل هزینه-فایده استفاده شده است.

شیرکوند و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با عنوان «قیمت‌گذاری محصولات بیمه‌ای و محاسبه حاشیه توانگری مالی شرکت بیمه با استفاده از روش نسبت انحراف بالقوه از میانگین» ضمن محاسبه حق بیمه منصفانه، براساس اصل برابری، به محاسبه توانگری مالی شرکت بیمه به روش جدید نسبت انحراف بالقوه از میانگین پرداخته‌اند. در این روش، ابتدا توزیع آماری واقعی دو متغیر فراوانی و شدت خسارت برآوردشده، سپس بر پایه اصل برابری حق بیمه منصفانه محاسبه شده است. در مرحله بعد، مقدار انحراف بالقوه از میانگین لازم برای افزایش توانگری مالی شرکت بیمه به دست آمده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که برای دستیابی شرکت بیمه به توانگری مالی بیشتر، مقداری که از روش جدید به دست می‌آید، متفاوت با مقداری است که با فرض نرمال بودن داده‌ها این مقادیر محاسبه می‌شوند. این تفاوت‌ها به‌ویژه برای سطوح اطمینان بیشتر، بسیار حیاتی است.

عقیلی‌فر و همکاران (۱۴۰۳)، در مقاله‌ای به بررسی حساسیت سرمایه مورد نیاز به ساختار وابستگی میان خسارت بیمه‌های

1. Economic capital

2. IAA

جدول ۱. مقایسه توابع کاپولا بیضوی، ارشمیدسی و واین
Table 1. Comparison of Elliptical, Archimedean, and Vine Copula

تایع کاپولا	تعداد پارامتر	مزایا	معایب
گوسی	$\frac{d(d-1)}{2}$	کاربرد و تفسیر آن ساده است. دارای توزیع حاشیه‌ای نرمال است.	وابستگی دنباله‌ای ندارد. محدود به وابستگی متقارن و خطی است.
t-استیودنت	$\frac{d(d-1)}{2} + 1$	کاربرد و تفسیر آن ساده است. وابستگی دنباله‌ای دارد.	محدود به وابستگی متقارن است.
ارشمیدسی ساده	1	نحوه ساخت آن ساده است. دارای تنوع زیادی از خانواده کاپولاست.	تفسیر ساختار وابستگی تنها با یک پارامتر، دشوار است. ساختار وابستگی نسبت به جایگشت متغیرها متقارن است.
ارشمیدسی سلسله مراتبی (HAC)	d-1	کاپولای ارشمیدسی ساده است. دارای ساختار وابستگی دقیق‌تری است.	فقط مجاز به استفاده از خانواده توابع کاپولای ارشمیدسی است.
ساختار کاپولای زوجی (PCC)	$\frac{d(d-1)}{2}$	یک ساختار وابستگی با ابعاد بالا دقیق‌تر است. مجاز به استفاده از هر نوع مدل‌های وابستگی است.	دارای تفسیر دشوار و ساختار پیچیده است. تفسیر ساختار وابستگی دشوار است. هیچ تایع توزیع صریحی ندارد.

نسبت توانگری مالی (SMR) طبق فرمول زیر و از طریق تقسیم سرمایه موجود بر سرمایه الزامی کل (RBC) به دست می‌آید:

$$SMR = \frac{\text{مبلغ سرمایه موجود}}{RBC} \times 100 \quad (1)$$

RBC در حقیقت، ذخیره سرمایه‌ای محسوب می‌شود که برای پوشش ریسک‌های اصلی محاسبه می‌شود و هریک از این ریسک‌ها به طبقات پایین‌تر تقسیم می‌شوند. این ذخیره الزاماً باید به دست شرکت‌های بیمه در قالب سرمایه نگهداری شود (شهریار، ۱۳۹۵). مطابق این آیین‌نامه، نهاد ناظر اعلام کرده است که مؤسسات بیمه موظفانند مبلغ RBC خود را طبق فرمول زیر محاسبه کنند:

$$RBC = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + R_4^2 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1, j \neq i}^4 \rho_{ij} R_i^2 R_j^2}$$

که در آن R_1, R_2, R_3, R_4 و به ترتیب سرمایه الزامی ریسک‌های بیمه‌گری، بازار، اعتبار و نقدینگی هستند که از حاصل ضرب ریسک‌نماها در ضرایب ریسکی تعیین شده (ثابت و داده شده) توسط نهاد ناظر و در نهایت، ادغام مقادیر ریسک حاصل، محاسبه می‌شوند. این سرمایه، معادل سرمایه اقتصادی از دیدگاه ناظر است. سنجه مورد استفاده برای تعیین ضرایب ریسک و در نتیجه، سرمایه الزامی شرکت‌های بیمه، VaR است (شهریار، ۱۳۹۵). ρ_{ij} نیز ضریب همبستگی بین ریسک آام و آام است. در خصوص این ضرایب همبستگی باید گفت که براساس قضاوت‌های تجربی یا الگوبرداری می‌توانند تعیین شوند. مدل‌های مبتنی بر ضرایب/ایستا اغلب همبستگی بین طبقات ریسک یا رشته‌های کسب و کار را صفر، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد یا ۱۰۰ درصد در نظر می‌گیرند.

در مدل‌های رایج توانگری مالی، از ضرایب همبستگی خطی برای مدل‌سازی ساختار وابستگی ریسک‌ها در سطوح مختلف استفاده می‌شود. این در حالی است که در مدل استاندارد صنعت بیمه کشور،

غیرزندگی در محیط‌های چندمتغیره پرداختند. در این پژوهش از پایگاه داده مربوط به خسارت‌های ماهانه پنج رشته بیمه غیرعمر در شرکت سهامی بیمه ایران استفاده شده است. برای محاسبه همبستگی میان خسارت‌های ناشی از پنج رشته مورد نظر، از روش D-Vine استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که توجه به وابستگی ضمنی میان زیان‌ها تأثیر زیادی بر کل سرمایه ریسک‌پذیر دارد. در واقع توجه به وابستگی ضمنی میان رشته‌های بیمه‌ای، به کاهش ۵.۱ درصدی سرمایه براساس VaR و ۳.۹ درصدی براساس TVaR منجر می‌شود. مطابق مطالعات انجام گرفته، مدل سازی وابستگی میان ریسک‌ها و خسارات بیمه‌های غیرزندگی یکی از موضوعات مهم در صنعت بیمه و مدیریت ریسک است که نقشی کلیدی در بهبود دقت ارزیابی ریسک و تعیین سرمایه لازم دارد. در این زمینه، کاپولاها به عنوان ابزاری قدرتمند برای توصیف ساختارهای وابستگی چندبعدی معرفی شده‌اند. از این رو، در این پژوهش مدل‌های وابستگی چندمتغیره متنوع مبتنی بر کاپولا در نظر گرفته می‌شوند که امکان شناسایی مناسب‌ترین ابزار تجمیع ریسک را با توجه به داده‌ها فراهم می‌کنند. همچنین، از مجموعه داده‌های واقعی و تجربی شرکت سهامی بیمه ایران برای مقایسه رویکرد جایگزین با چهارچوب نظارتی موجود می‌شود؛ چهارچوبی که وابستگی غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص عوامل را پوشش نمی‌دهد و به بیش‌برآورد سرمایه مورد نیاز شرکت بیمه منجر می‌شود. برای برآورد پارامترهای مدل کاپولا و شبیه‌سازی تابع توزیع خسارت‌های تجمعی، از نرم‌افزار آماری R، نسخه ۴.۴.۲، استفاده شده است.

چهارچوب قانونی: توانگری مالی در صنعت بیمه ایران

شرکت‌های بیمه طبق آیین‌نامه نحوه محاسبه و نظارت بر توانگری مالی مؤسسات بیمه با عنوان «آیین‌نامه شماره ۶۹ شورای عالی بیمه» موظفانند نسبت توانگری مالی خود را به منظور حمایت از بیمه‌گذاران و تضمین ثبات بازارهای مالی و از جمله بازار بیمه هرساله محاسبه و به همراه صورت‌های مالی خود برای اخذ تأییدیه به بیمه مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۰) ارسال کنند.

همبستگی و وابستگی میان انواع مختلف ریسک در فرمول نهایی در نظر گرفته نشده است ($\rho_{ij}=0$) (شهریار، ۱۴۰۳).

همچنین، سرمایه الزامی در مدل استاندارد نظارتی، بدون لحاظ ویژگی‌های خاص شرکت‌ها و با استفاده از ضرایب ریسک ثابت و داده‌شده، محاسبه می‌شود که با توجه به وجود شرکت‌ها و رشته‌های ناهمگن در صنعت بیمه، موجب ایجاد تورش در محاسبات توانگری مالی شرکت‌های بیمه می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل توانگری ایران، رویه پیشنهادی ساده است و از پیچیدگی لازم اجتناب شده است. این امر به محاسبه کم‌دقت و افزایش احتمال ورشکستگی شرکت‌های بیمه منجر می‌شود. همچنین، در نظام توانگری کشور، اجازه استفاده از مدل داخلی به شرکت‌های بیمه داده نمی‌شود و محاسبات با ضرایب ثابت انجام می‌شود؛ در نتیجه، شرکت‌ها واکنش یکسانی نسبت به شوک‌های بیرونی بازار سرمایه و بیمه نخواهند داشت (شهریار، ۱۴۰۳).

روش‌شناسی پژوهش

به‌طور کلی، این مقاله به دنبال نشان دادن شکاف بالقوه میان سرمایه مورد نیاز تحت مدل‌های استاندارد و سرمایه تحت رویکردهای جایگزین، با در نظر گرفتن دو جنبه، یعنی وابستگی غیرخطی و پارامترهای خاص هر شرکت است. از این رو، می‌توان آن را به‌عنوان تحلیل حساسیت چهارچوب قانونی استاندارد نیز تفسیر کرد که به دو انتقاد اغلب مطرح‌شده می‌پردازد.

به زبان ساده کاپولاهای توابعی هستند که توابع توزیع چندمتغیره را به توزیع حاشیه‌ای تک‌متغیره هریک از آن‌ها متصل می‌کنند. این توابع بسیار متنوع‌اند و هریک از آن‌ها بیان‌کننده الگوی خاصی از ساختار وابستگی بین متغیرها هستند. خانواده‌های معروف توابع کاپولا شامل توابع کاپولای ضربی، بیضوی، تک پارامتری ارشمیدسی، ارشمیدسی سلسله‌مراتبی^۱ و توابع کاپولای واین (تاکاوره‌ای)^۲ هستند. دو خانواده اصلی کاپولای بیضوی (گوسی و t -استیودنت) و کاپولای ارشمیدسی را می‌توان برای حالت دومتغیره طبقه‌بندی کرد. زمانی که تعداد متغیرها بیش از دو متغیر شود، دامنه انتخاب تابع کاپولا محدود می‌شود (طیب نیا و همکاران، ۱۳۹۸). وجود چندین محدودیت در مدل‌سازی ساختار وابستگی بین متغیرهای تصادفی با توابع کاپولا بیضوی و ارشمیدسی تک‌پارامتری به ایجاد توابع کاپولای جدیدتر منجر شده است. مدل‌های وابستگی با ابعاد بالا که اخیراً توسعه یافته‌اند، عبارت‌اند از: توابع کاپولای HAC (که براساس الگوی ساخت آن‌ها، توابع کاپولای ارشمیدسی تودرتو^۳ نیز نامیده می‌شوند) و کاپولای زوجی^۴ که در قالب ساختارهای واین نامیده می‌شود.

اخیراً، ساختارهای مبتنی بر ساختارهای سلسله‌مراتبی از کاپولای PCC مورد استقبال قرار گرفته‌اند. کاپولای PCC در قالب ساختارهای واین، به‌عنوان روشی جایگزین برای مدل‌سازی الگوهای وابستگی

چندمتغیره، نخستین بار جو و شو (Joe & Xu, 1996) آن را ارائه کردند. در حقیقت، ساختارهای توابع کاپولای واین از تلاش‌ها برای توسعه و گسترش روش PCC شکل گرفته‌اند. این توابع، یک مدل گرافیکی انعطاف‌پذیر برای توصیف ساختار کاپولاهای چندمتغیره با استفاده از کاپولاهای دومتغیره که ساختار کاپولای PCC نامیده می‌شوند، فراهم می‌آورند. به‌طور کلی، از این روش با جفت کردن مجموعه متغیرها برای کاهش بعد و ایجاد یک ساختار وابستگی انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود (Bedford & Cooke, 2002) و امکان می‌دهد رفتار ساختارهای مختلف جفت متغیرها در فرایند مدل‌سازی، از نظر تقارن و عدم تقارن، میزان وابستگی و وابستگی در دنباله‌ها مورد توجه قرار گیرد (طیب نیا و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین، استفاده از توابع کاپولای واین در مقایسه با دیگر خانواده‌های توابع کاپولا، مانند توابع کاپولای گوسی، ارشمیدسی و HAC برای مدل‌سازی ساختار وابستگی دارای مزیت است.

به عبارت دیگر می‌توان گفت: مدل‌های واین مزیت الگوسازی کاپولای چندمتغیره، یعنی جداسازی الگوسازی حاشیه‌ای و وابستگی و انعطاف‌پذیری کاپولای دومتغیره را با یکدیگر ترکیب می‌کنند. HAC از دو جنبه بسیار محدودتر از PCC است. اولاً، محدودیت شدیدی در درجه وابستگی هر سطح وجود دارد. ثانیاً، همه کاپولاهای دومتغیره در این ساختار باید ارشمیدسی باشند. درحالی‌که PCC به جفت‌های ارشمیدسی محدود نمی‌شود و جفت‌های دومتغیره ممکن است از هر خانواده‌ای باشند. بنابراین، چندین خانواده ممکن است در یک PCC ترکیب شوند (Aas & Berg, 2009). روش PCC از نظر دامنه عملکرد، انعطاف‌پذیرتر از HAC است، درحالی‌که پارامترهای بیشتری برای تخمین زدن دارند.

روش PCC از سه ساختار D-Vine (کاپولای واین قابل رسم)، C-Vine (کاپولای واین کانونی) و R-Vine (کاپولای واین منظم) تشکیل شده است که در بین الگوهای یادشده، R-Vine از قدرت و انعطاف بالایی برخوردار است و در اغلب مطالعات استفاده می‌شود (Dissmann et al., 2013).

D-Vine ها ساختار مسیرمانندی دارند و با انتخاب یک رتبه‌بندی خاص بین متغیرها تشکیل می‌شوند. در درخت اول، وابستگی از متغیر اول به دوم، دوم به سوم، سوم به چهارم و به همین ترتیب تا آخر، با استفاده از جفت کاپولاهای مدل‌سازی می‌شود. در هر درخت، هیچ گرهی نمی‌تواند درجه‌ای بیش از دو داشته باشد. C-Vine ها ساختار ستاره‌ای دارند که در هر درخت آن، یک گره ریشه‌ای به دیگر گره‌ها متصل می‌شود. به عبارتی، یک ساختار وابستگی را توصیف می‌کند که در آن یک عامل ریسک اصلی، بقیه عوامل را به هم متصل می‌کند. R-Vine ها ساختار مشخصی ندارند و عوامل ریسک را با توجه به سطح وابستگی به هم مرتبط می‌کند (Dissmann et al., 2013). R-Vine به‌عنوان یک ساختار کلی‌تر می‌تواند C-Vine و D-Vine را با توجه به ساختار وابستگی متغیرهای تصادفی ترکیب کند (Eling & Jung, 2020).

برای تشکیل تابع چگالی R-Vin، مراحل زیر باید انجام شود (Dissmann et al., 2013):

1. Hierarchical Archimedean Colula (HAC)
2. vine copula
3. NAC
4. PCC

است در اولین درخت، یک مدل کاپولای واین به توزیع یکنواخت $(u_i \in [0, 1], i = 1, \dots, d)$ تبدیل شود. درحالی که برای درختان زیرین، این تبدیل با توجه به تخمین درخت قبلی انجام می‌شود. تبدیل به صورت ناپارامتری و با استفاده از رتبه‌بندی مشاهدات انجام می‌شود که شبه‌مشاهدات^۶ نامیده می‌شوند (Aas & Berg, 2009). از شبه‌مشاهدات برای توابع کاپولای شرطی دومتغیره در تخمین متوالی مراحل بالا استفاده می‌شود و بهینه‌سازی تابع درستنمایی زوجی با استفاده از شبه‌مشاهدات، از طریق حداکثر کردن شبه‌درستنمایی انجام می‌شود. حداکثر تخمین شبه‌درستنمایی^۷، رویکردی نیمه‌پارامتری است که شامل تبدیل ناپارامتری توزیع حاشیه‌ای و تخمین پارامتری متغیرهای وابستگی است.

توابع کاپولای واین، مجموعه‌ای از جفت کاپولاها هستند، ازاین‌رو، باید نوع کاپولا بین متغیرها به صورت دوه‌دو مشخص شود. به‌طور معمول برای انتخاب نوع کاپولا، ابتدا ترکیبات مختلف کاپولا و پارامترهای متناظر آن‌ها از طریق روش MLE تخمین زده می‌شوند و سپس، با استفاده از مجموعه‌ای از ابزارهای تحلیلی، مانند آماره‌های آکائیک^۸، معیار بیزین-شوارتز^۹ و آزمون کلارک و وانگ^{۱۰} (به نقل از الینگ و یونگ، ۲۰۱۸)، بهترین ترکیب جفت کاپولا در ساختار واین مورد نظر انتخاب می‌شود. بنابراین، پس از تخمین پارامترهای توزیع‌های حاشیه‌ای، با استفاده از روش IFM، طیفی از توابع کاپولای پارامتری برای تعیین مناسب‌ترین تابع برای هر جفت کاپولا بین متغیرها در نظر گرفته می‌شود. این توابع شامل کاپولای استقلال، گاوسی، تی-استیودنت، کلایتون، گامبل، فرانک و جو هستند و از میان آن‌ها، کاپولایی که بیشترین مقدار لگاریتم درستنمایی را داشته باشد، به‌عنوان کاپولای برتر انتخاب می‌شود.

همان‌طور که بیان شد، هریک از توابع کاپولا بیان‌کننده الگوی خاصی از ساختار وابستگی بین متغیرها هستند و ویژگی‌های متفاوتی دارند. در **جدول ۱**، ویژگی‌های توابع کاپولای خانواده بیضوی، ارشمیدسی و واین با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مدل‌های کاپولا که در **جدول ۱** ارائه شده‌اند، برای تجمیع ریسک‌ها و با مدل‌سازی حاشیه‌ای در پرتفوی بیمه‌گری استفاده می‌شوند. ساختار وابستگی برآوردشده در پرتفوی، ذاتاً در توزیع تجمعی نهفته است. توزیع تجمعی پرتفوی را می‌توان به صورت زیر توصیف کرد:

$$R_l = \sum_{i=1}^{n_l} X_{i2|Cunderwriting} (underwriting) \quad (6)$$

که $i = 1, 2, \dots, n_l$ اندازه پرتفوی است و R_l توزیع خسارت پرتفوی بیمه‌گری و X_{i2} ، i امین عامل ریسک پرتفوی بیمه‌گری در ساختار وابستگی برآوردشده (Cunderwriting)، در نهایت، این توزیع کل، در برآورد سرمایه اقتصادی ریسک بیمه‌گری استفاده می‌شود. به‌منظور برآورد سرمایه اقتصادی ریسک بیمه‌گری تحت

مرحله ۱: ساختار درختی (ساختار ارتباطی بین متغیرها) برای شناسایی درختان مرتبط تعیین شود.

مرحله ۲: نوع کاپولا بین متغیرها به صورت دوه‌دو مشخص می‌شود.

مرحله ۳: پارامترهای وابستگی کاپولاها برآوردشده در مرحله ۲ تخمین زده شوند.

بنابراین، یکی از مراحل مهم در استفاده از توابع کاپولا، تخمین پارامترهای آن است. تاکنون برای تخمین پارامترهای تابع، روش‌های مختلفی ارائه شده است. روش‌های برآورد پارامتر توابع کاپولا عبارت‌اند از: حداکثر درستنمایی کامل^۱، استنتاج برای حاشیه‌ها^۲ و روش حداکثر درستنمایی استاندارد^۳. در مواردی که ابعاد زیاد باشد، روش حداکثر درستنمایی به محاسبات زیادی نیاز دارد. رویکردی که برای رفع ضعف روش حداکثر درستنمایی استفاده می‌شود، روش IFM است که متداول‌ترین راه برای تخمین پارامترهای کاپولا است.

تخمین پارامتر توسط IFM شامل دو مرحله است که عبارت‌اند از: حداکثرسازی تابع درستنمایی هریک از توابع حاشیه‌ای تک‌متغیره و حداکثرسازی تابع درستنمایی کاپولا برای تخمین پارامتر وابستگی، θ . یک مورد ساده از IFM را می‌توان به صورت زیر نشان داد. تابع احتمال d بعدی برای بردار تصادفی X براساس قضیه اسکالر بدین شکل است:

(3)

$$F(X; \tau_1, \dots, \tau_d, \theta) = C(F_1(\chi_1; \tau_1), \dots, F_d(\chi_d; \tau_d); \theta)$$

در معادله $i=1, \dots, d$ پارامتر تابع حاشیه‌ای F_i است. همچنین، θ مجموعه‌ای از پارامترهای وابستگی تابع کاپولا C است.

تابع چگالی احتمال توأم متغیرهای تصادفی پیوسته (بردار X) را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

(4)

$$f(X; \tau_1, \dots, \tau_d, \theta) = C(F_1(\chi_1; \tau_1), \dots, F_d(\chi_d; \tau_d); \theta) \prod_{i=1}^d f_i$$

که در آن f_j تابع چگالی احتمال مربوط به تابع حاشیه‌ای است. تابع لگاریتم درستنمایی^۴ کاپولای برآوردشده از رابطه بالا عبارت است از:

(5)

$$L(\theta, \tau_1, \dots, \tau_d) = \sum_{i=1}^a \log f(\chi_i; \tau_1, \dots, \tau_d, \theta)$$

با جایگذاری مقادیر تخمین‌زده‌شده برای پارامترهای توابع حاشیه‌ای در رابطه بالا، پارامتر کاپولای تخمینی $\hat{\theta}$ به حداکثر می‌رسد^۵.

در تخمین توابع کاپولا به داده‌هایی از جنس احتمال نیاز است، زیرا این توابع روی توزیع یکنواخت تعریف می‌شوند. ازاین‌رو، لازم

1. the maximum likelihood method
2. the inference function for margins (IFM)
3. Canonical Maximum Likelihood (CML)
4. log-likelihood

۵. محاسبه پارامترها برای مدل‌های واین با استفاده از IFM در مطالعه جزادو و همکاران (Czado et al., 2013) بررسی شده است.

6. Seudo - observations

7. pseudo-likelihood estimation (MPL)

8. AIC

9. BIC

10. the vuong and clarke test

رویکردهای جایگزین و مقایسه آن با سرمایه الزامی در مدل استاندارد، مراحل زیر به ترتیب انجام می‌گیرد:

مرحله ۱- مدل‌سازی حاشیه‌ای: در استفاده از روش کاپولا، دسترسی به توزیع‌های حاشیه‌ای هر یک از متغیرهای تصادفی اهمیت زیادی دارد. در پرتفوی بیمه‌گری، برای مدل‌سازی حاشیه‌ای، در پی استخراج توزیع‌های خسارت کل در پنج رشته فعالیت مختلف هستیم. اغلب توزیع زیان‌های بیمه‌ای دارای چولگی به سمت راست و دم راست بلند هستند که باعث می‌شود توزیع نرمال، توزیع مناسبی برای مدل‌سازی ریسک بیمه‌ای نباشد (باجلان و همکاران، ۱۳۹۶). از این‌رو، تخمین دقیق شکل تابع توزیع زیان برای عملکرد صحیح شرکت‌های بیمه ضروری است. در این راستا، برای تعیین توزیع‌های حاشیه‌ای کاپولا تحت مدل ریسک فردی، توزیع‌های پارامتری مختلف (Frachot et al., 2001) که اغلب از توزیع‌های متداول در اکچوئری هستند، شامل چوله نرمال، تی-استیودنت، تی-استیودنت چوله، لگ‌نرمال، گاما، ویبول، کوشی، بور و پارتوی تعمیم‌یافته^۱ بر روی داده‌های زیان ارزیابی می‌شوند.

مرحله ۲- مدل‌سازی وابستگی: توابع کاپولا ابزاری آماری مؤثر برای مدل‌سازی روابط وابسته بین اجزای ریسک‌های مختلف هستند، بدون آنکه اطلاعات مربوط به برخی ویژگی‌های مهم وابستگی، از جمله وابستگی دم، از دست برود. با این حال، انتخاب کاپولایی که بهترین تناسب را با داده‌ها دارد، حیاتی است، زیرا برآوردهای سرمایه اقتصادی ممکن است بسته به ساختار وابستگی انتخاب‌شده به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد (Shim et al., 2011). همان‌طور که گفته شد، تنوع گسترده‌ای از خانواده کاپولاها وجود دارد. در این مقاله، بر کاپولاهایی از خانواده‌های مختلف بیضوی، ارشمیدسی و زوجی تمرکز شده است.

مرحله ۳- محاسبه سرمایه اقتصادی و روش شبیه‌سازی: سرمایه اقتصادی برای یک بیمه‌گر، ظرفیت مالی اضافی است که برای محافظت از کسب‌وکار بیمه‌ای در صورت بروز زیان‌های تحت نظارت، فراتر از انتظارات، یا کاهش بازده سرمایه‌گذاری‌ها، پایین‌تر از انتظارات، لازم است؛ به‌گونه‌ای که حتی در چنین شرایط نامطلوبی، بیمه‌گر بتواند به فعالیت خود ادامه دهد. سرمایه اقتصادی از سرمایه الزامی قانونی متمایز است، زیرا سرمایه قانونی حداقل سرمایه اجباری است که از سوی نهادهای نظارتی تعیین می‌شود، درحالی‌که سرمایه اقتصادی به پوشش تمام ریسک‌های واقعی که بیمه‌گر متحمل می‌شود، کمک می‌کند (Shim et al., 2011). سرمایه اقتصادی معمولاً با استفاده از معیار VaR محاسبه می‌شود. در یک سطح اطمینان معین، VaR نشان می‌دهد که حداکثر چه مقدار سرمایه برای مدیریت ریسک پرتفوی در یک افق زمانی مشخص لازم است. بنابراین، وقتی VaR نشان می‌دهد که در افق زمانی آینده احتمال α وجود دارد که زیان‌ها از VaR فراتر روند، به این معناست که با احتمال $1 - \alpha$ اطمینان داریم که VaR تمام چیزی است که برای مدیریت زیان‌ها در افق زمانی آینده لازم است (Makubu et al., 2022).

به‌طور کلی، VaR در سطح اطمینان α که در بازه $\alpha \in [0,1]$

قرار دارد، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$VaR_{1-\alpha} = \inf\{x \in R: P(X \leq x) \geq 1 - \alpha\} \quad (7)$$

همچنین، وقتی تابع توزیع تجمعی $F(x)$ پیوسته و صعودی باشد، $VaR(x)$ یک x منحصر به فرد است که معادله زیر را برآورد می‌کند:

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - \alpha, VaR_{1-\alpha}(x) = F_x^{-1}(1 - \alpha) \quad (8)$$

بنابراین، VaR همان صدک K توزیع متغیر تصادفی خسارت X است.

مدل ارائه‌شده، امکان محاسبه سرمایه ریسک را از تجمیع ریسک‌ها تحت محدودیت‌های مختلف کاپولا، فراهم می‌کند. محاسبه VaR از خسارت کل محاسبه‌شده در سطح اطمینان α با ترکیب کاپولاها، بدین صورت انجام می‌شود. همان‌طور که بیان شد، با طی مراحل بالا، کاپولا با بهترین برازش تعیین می‌شود. پس از برآورد ساختار وابستگی بین رشته‌های بیمه‌ای، فرایند شبیه‌سازی خسارت‌های کل پرتفوی بیمه‌گری به‌صورت زیر انجام می‌شود:

- با بهره‌گیری از ساختار وابستگی مشخص‌شده از کاپولای تخمین‌زده‌شده، n بار برای تولید n مجموعه داده تصادفی برای شبه‌مشاهدات یک‌نواخت شبیه‌سازی می‌شود.
- از طریق معکوس‌سازی توابع توزیع استفاده‌شده، صدک‌های متناظر با داده‌های تولیدشده محاسبه می‌شود.
- براساس معادله (۶) معرفی‌شده در بخش روش‌شناسی، متغیرهای شبیه‌سازی‌شده تجمیع می‌شوند تا توزیعی از زیان کل تحت کاپولای چندمتغیره ایجاد شود.
- در نهایت، از تابع توزیع زیان کل برای محاسبه ریسک استفاده می‌شود.

داده‌های پژوهش:

این مطالعه به برآورد الزامات سرمایه در بیمه غیرزندگی با استفاده از مدل استاندارد و مدل جایگزین می‌پردازد، از لحاظ هدف، کاربردی است. از نظر نحوه گردآوری داده‌ها، کتابخانه‌ای و از حیث نحوه اجرا، مدل‌سازی است. برای محاسبه ریسک بیمه‌گری، که عامل اصلی ریسک در شرکت‌های بیمه است، پرتفوی واقعی شرکت بیمه در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که برای پرهیز از پیچیدگی محاسبات، از میان رشته‌های بیمه غیرزندگی، رشته‌هایی با بیشترین سهم از حق بیمه تولیدی در سال ۱۴۰۲ استفاده شده‌اند که به‌ترتیب شامل رشته‌های فعالیت ثالث، بدنه، حوادث، مسئولیت و آتش‌سوزی هستند. این پنج رشته، بیش از ۵۰ درصد از کل حق بیمه تولیدی در سال مزبور را شامل می‌شوند. داده‌های پژوهش شامل خسارت‌های پرداختی ماهانه طی دوره زمانی ۱۳۹۵:۱ تا ۱۴۰۲:۸ (مشمول بر ۹۲ مشاهده) در هر یک از رشته‌های فعالیت است. با توجه به اینکه داده‌های بلندمدت می‌توانند دقت بیشتری در برآورد توابع توزیع و وابستگی‌ها فراهم کنند، محدود بودن داده‌های در دسترس در سطح شرکت بیمه ایران به این دوره یکی

جدول ۲. آمار توصیفی خسارت‌های رشته‌های فعالیت در شرکت بیمه
Table 2. Descriptive Statistics of Claims by Lines of Business

مبالغ به هزار میلیارد ریال amounts to one thousand billion rials							پرتفوی بیمه‌گری Insurance portfolio
حداقل Min	میانه Median	حداکثر Max	کشیدگی Kurtosis	چولگی Skewness	انحراف معیار Sd	میانگین Mean	
0.066	0.340	2.423	11.659	2.468	0.379	0.470	مسئولیت Liability
0.163	0.865	4.187	5.348	1.345	0.760	1.040	حوادث Accident
0.040	0.175	2.003	22.394	3.685	0.269	0.262	آتش‌سوزی Fire
0.227	0.780	2.003	4.675	1.582	1.256	1.299	بدنه Badana
1.015	6.072	37.838	8.439	2.009	6.365	7.769	ثالث Salas

مقایسه می‌کنند. طبق نمودارهای QQ، توزیع‌های برازش‌شده برای پنج متغیر، در انتهای توزیع، دنباله‌های ضخیم‌تری دارند. این نشان می‌دهد که توزیع‌های مناسبی برای همه متغیرها انتخاب شده‌اند. سپس، کیفیت برازش از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف ارزیابی می‌شود. نتایج تخمین پارامترهای توزیع‌های نظری در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج، توزیع لگ‌نرمال بهترین توزیع برای داده‌های خسارت تاریخی در چهار رشته حوادث، آتش‌سوزی، بدنه و ثالث است و توزیع پارتوی تعمیم‌یافته، بهترین توزیع برای رشته بیمه مسئولیت است.

با توجه به اینکه برای تخمین مدل‌های کاپولا به داده‌هایی از جنس احتمال نیاز داریم، با استفاده از روش تبدیل انتگرال احتمال^۱ داده‌ها به شبه‌مشاهدات در بازه [۰،۱] تبدیل می‌شوند که مبنای تخمین و برآورد ساختارهای کاپولا قرار می‌گیرند. با استفاده از توزیع‌های برازش‌شده برای خسارت‌های بیمه‌ای، توزیع‌های حاشیه‌ای توابع کاپولا و همبستگی رتبه‌ای کندانال برآورد می‌شوند.

نخست برای مدل‌سازی توابع کاپولا، باید ضرایب همبستگی میان متغیرها در پرتفوی تعیین شود. در شکل ۲ نمودار پراکندگی زوجی^۲ و ضریب همبستگی رتبه‌ای کندانال^۳ دوبه‌دوی متغیرها با توزیع حاشیه‌ای یکنواخت نشان داده شده است. به‌طوری که نمودار پراکندگی زوجی در مثلث بالایی و معیار تاو کندانال در مثلث پایینی قرار دارد. معیار تاو کندانال برای مرتب‌سازی متغیرهای تصادفی در اولین درخت استفاده می‌شود، زیرا تاو کندانال می‌تواند همبستگی ناپارامتری را به‌طور مستقل از توزیع فرضی تخمین بزند و معیاری جهانی برای خانواده‌های غیرگاوسی ارائه دهد (Dissmann et al., 2013). شایان ذکر است هرچه میزان همبستگی میان متغیرها بیشتر باشد، ارتباط آن‌ها قوی‌تر است و در نتیجه استفاده از تحلیل‌های چندمتغیره به کمک توابع کاپولا به توصیف بهتر آن پدیده منجر خواهد شد. به نظر می‌رسد همبستگی رتبه‌ای برای جفت ریسک بیمه‌ها به ترتیب

از محدودیت‌های پژوهش محسوب می‌شود. با این حال، در مطالعات آینده می‌توان از داده‌های بلندمدت‌تر یا روش‌های تحلیل ساختاری پرتفوی برای افزایش دقت استفاده کرد. در جدول ۲ خلاصه‌ای از ویژگی‌های آمار توصیفی داده‌های مورد استفاده، ارائه شده است.

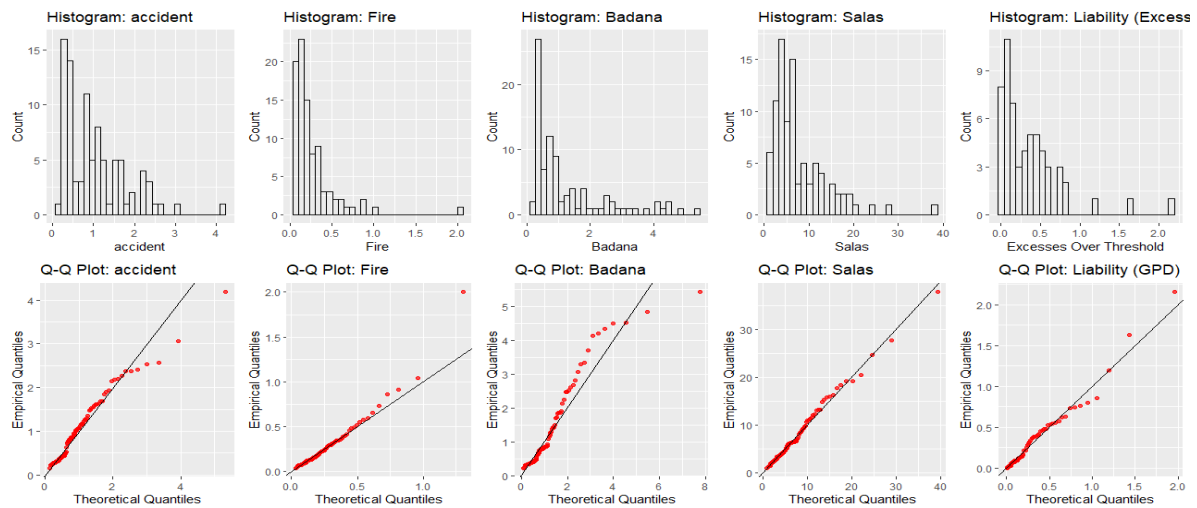
آماره چولگی نشان می‌دهد که داده‌ها متقارن نیستند و برای تمام متغیرها چولگی مثبت (بزرگ‌تر از صفر) مشاهده می‌شود. این بدان معناست که بیشتر داده‌ها در سمت چپ توزیع متمرکزند و دم توزیع به سمت راست امتداد دارد. همچنین، ضریب کشیدگی نشان می‌دهد که توزیع خسارت در تمامی رشته‌ها، به‌ویژه رشته فعالیت آتش‌سوزی، نوک‌تیزتر از توزیع نرمال است و کشیدگی بیشتری دارد. بنابراین، نتایج بیانگر آن است که همه رشته‌های بیمه دارای چولگی به راست و کشیدگی بیشتری از توزیع نرمال هستند که نشان‌دهنده دنباله‌های پهن در سری زمانی مورد بررسی است. افزون‌براین، در مقایسه بین رشته‌ها، بیمه ثالث بیشترین مقدار میانگین (۷.۷۶۹) و همچنین بیشترین انحراف معیار (۶.۳۶۵) را دارد که نشان‌دهنده تنوع وسیع و پراکندگی زیاد در ارزش پرتفوی این رشته است. ضریب کشیدگی (۸.۴۳۹) و چولگی (۲۰۰۹) در رشته ثالث نیز نسبتاً بالاست که بیانگر وجود نمونه‌هایی با مقادیر بسیار بزرگ و تأثیرگذار در داده‌هاست.

نتایج و بحث

در این پژوهش، مدل‌سازی تجمیع ریسک‌های بیمه‌گری (مدل جایگزین) به‌ترتیب زیر انجام می‌شود:

با توجه به اهمیت تعیین توابع حاشیه‌ای در توابع کاپولا، یکی از چالش‌های اساسی انتخاب توزیعی است که بهترین تطابق را با مجموعه داده‌های مورد مطالعه داشته باشد. در ادبیات آماری، آزمون‌ها و روش‌های مقایسه گرافیکی متعددی برای این منظور وجود دارد. در این مطالعه نمایش گرافیکی به نمودارهای هیستوگرام و نمودار QQ محدود می‌شود. نمودارهای هیستوگرام، شکل کلی توزیع داده‌ها را به‌صورت گرافیکی در شکل ۱ ارائه می‌کنند و نمودارهای Q-Q، چندک‌های توزیع‌های برازش‌شده را با چندک‌های توزیع نظری

1. the probability integral transformation(PIT)
2. Pairwise scatter plot
3. Kendall's rank correlations

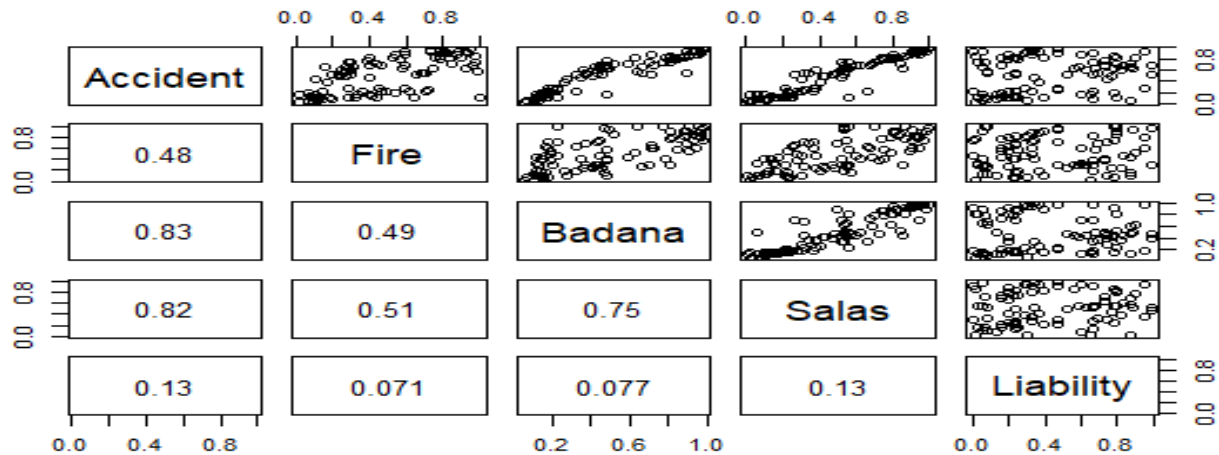


شکل ۱. نمودارهای هیستوگرام خسارت بیمه و نمودارهای QQ با توزیع‌های برازش داده شده
Fig. 1. Histograms of insurance loss and Q-Q-plots with fitted distributions

جدول ۳. نتایج توزیع‌های تعیین‌شده برای خسارت‌های بیمه‌ای
Table 3. Distribution fitting results for insurance losses

مبالغ به هزار میلیارد ریال amounts to one thousand billion rials					پرتفوی بیمه‌گری Insurance portfolio
تالک Salas	بدنه Badana	آتش‌سوزی Fire	حوادث Accident	مسئولیت Liability	رشته فعالیت چوله- نرمال Skew Normal
229.84 (***0.3075)	544.17 (***0.1705)	-52.681 (***0.21832)	165.287 (**0.1502)	31.525 (***0.18669)	
575.493 (***0.401)	272.65 (***0.461)	-45.338 (***0.493)	207.88 (***0.476)	52.817 (***0.486)	تی-استیودنت Student-t
531.599 (0.065066)	20.907 (0.12103)	-89.574 (0.06635)	168.053 (0.1094)	11.370 (0.08164)	لگ‌نرمال Lognormal
542.65 (0.09398)	132.25 (**0.17172)	-55.246 (***0.19585)	171.075 (0.10452)	27.992 (**0.14866)	گاما Gamma
545.1033 (0.1230)	230.55 (***0.16913)	-63.74 (0.12229)	174.097 (0.10859)	30.679 (0.12347)	ویبول Weibull
580.53 (***0.1702)	270.764 (***, ۲۴۹۲)	-42.523 (***0.19139)	229.977 (***0.19145)	54.67 (***0.1784)	کوشی Cauchy
537.12 (***0.9799)	200.30 (***0.865)	-87.35 (***0.99022)	174.613 (***0.0956)	13.956 (***0.0956)	بور Burr
-186.94 (**0.17058)	-124.16 (***0.2216)	62.117 (0.0588)	-57.28 (**0.1883)	5.331 (0.07927)	توزیع پارتوی تعمیم‌یافته GPD

نکته: اعداد داخل پرانتز نتایج آزمون کلموگراف-اسیمرنوف است و *، **، *** به ترتیب به مقدار مقدار بحرانی (p-value) اشاره دارد که در سطح سطح بحرانی کمتر است. شاخص‌های بولدشده، بهترین توزیع تعیین‌شده برای هر رشته نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار پراکندگی و ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال با توزیع‌های حاشیه‌ای یکنواخت

Fig. 2. Pairwise plots and Kendall's correlations of marginal distributions

نرم‌افزاری مرتبط با کاپولاها در نرم افزار R، مانند Vinecopula و Copula استفاده شده است. با توجه به نتایج جدول ۴، می‌توان مشاهده کرد که برای تفسیر وابستگی در پرتفوی بیمه‌گری، کاپولای R-Vine در میان توابع دیگر بهترین عملکرد را دارد. پس از آن، مدل کاپولای Student-t بهترین عملکرد را در پرتفوی بیمه‌گری دارد. در مقابل، کاپولاهای ارشیمیدسی ساده، مانند Gumbel و Clayton در پرتفوی برازش مطلوبی ارائه نمی‌کنند. دلیل این امر ممکن است آن باشد که در تخمین ساختارهای وابستگی با ابعاد بالا با استفاده از این نوع کاپولا، تنها یک پارامتر وجود دارد که محدودیت جدی ایجاد می‌کند. مدل‌های بیضوی^۲ نیز در مدل‌سازی ساختار وابستگی پرتفوی عملکرد قابل قبولی دارند، به‌ویژه مدل Student-t که وجود وابستگی‌های معنادار را نشان می‌دهد و برای شرایطی که داده‌ها دارای چولگی یا کشیدگی هستند، مناسب است.

افق زمانی تعریف‌شده در مقررات یک سال است؛ بنابراین، باید توزیع خسارت‌های ماهانه به توزیع سالانه تبدیل شود. بدین منظور، از روش پنجره غلتان با ۱۲ نقطه پیوسته استفاده می‌شود (Eling & Jung, 2020). روش پنجره غلتان^۳ بدین‌صورت است که بازه‌ای از داده‌ها به طول معین (مثلاً ۱۲ ماه) انتخاب و محاسبات مورد نظر (مثلاً جمع زیان) بر روی همان بازه انجام می‌شود. به‌این‌ترتیب، داده‌های متوالی را به‌گونه‌ای تجمیع می‌کنیم که خسارت ماهانه یک سال در هر مشاهده لحاظ شود. در فرمول زیر اندیس‌های a و m به‌ترتیب به مقادیر سالانه و ماهانه اشاره دارند.

$$X^a = \sum_{i=1}^{12} X_i^m \quad (9)$$

سپس پنجره را یک گام جلو می‌بریم (به‌جای ماه اول، از ماه دوم تا ماه سیزدهم) و محاسبات را دوباره انجام می‌دهیم. این کار موجب

تصادف بدنه، تصادف ثالث و بدنه ثالث قابل توجه است. پس از تعیین توزیع حاشیه‌ای برای داده‌ها، توابع کاپولای معرفی‌شده در بخش پیشین و پارامترهای آن برای پرتفوی بیمه‌گری تخمین زده می‌شود. مناسب‌ترین تابع براساس بیشترین مقدار حداکثر درستمایی و کمترین مقدار معیارهای اطلاعاتی انتخاب می‌شود. در نهایت، برای تشریح ساختار وابستگی میان رشته‌های مختلف بیمه‌گری، تخمین پارامتر در اولین درخت برای تابع کاپولا با بهترین عملکرد ارائه می‌شود. در مدل مبتنی بر درخت، فرد اولین درخت را با متغیرهای تصادفی داده‌شده می‌سازد و به ساختن درخت دیگری با متغیرهای شرطی تخمین‌زده‌شده از درخت قبلی ادامه می‌دهد. در واقع، تابع چگالی کاپولا شرطی هنگام حرکت به سمت درختان بعدی تولید می‌شوند (Aas & Berg, 2009). می‌توان فرض کرد که وابستگی‌های درخت اول قوی‌تر از وابستگی‌های درختان دیگر است، زیرا همبستگی شرطی بین متغیرهایی که به یک متغیر معین داده می‌شود، کوچک‌تر از همبستگی غیرشرطی در درخت است.^۱ به‌طور کلی، در درخت اول، پارامترهای تابع چگالی کاپولای غیرشرطی استخراج می‌شوند که معمولاً وابستگی قوی‌تری نسبت به تابع چگالی کاپولای شرطی در درختان بعدی دارند.

به‌طور کلی، فرایند آماری در مطالعه تجربی به‌گونه‌ای طراحی شده است که مشخص کند آیا مدل‌سازی وابستگی غیرخطی با R-Vine، بهترین برازش را برای ساختار وابستگی داده‌ها دارد یا می‌توان آن را با مدل‌سازی وابستگی خطی (Gaussian یا t-Student) یا با مدل‌سازی ساده وابستگی دم نامتقارن (Gumbel و Clayton) با استفاده از حاشیه‌های یکنواخت توصیف کرد. برای بررسی ساختار وابستگی بین متغیرها با استفاده از کاپولای چندمتغیره از بسته‌های

۱. نگاه کنید به دیزمن و همکاران (Dissmann et al., 2013)، بخش ۳.۱

2. Elliptical

3. Rolling window

جدول ۴. نتایج مدل سازی وابستگی
Table 4. Dependence modeling results

بخش (الف): نتایج خوبی برازش Panel A: Goodness-of-Fit results				
پرتفوی بیمه گری Insurance portfolio			کاپولا Copula	خانواده Family
Log-Like	BIC	AIC		
225.597	-406.086	-431.194	Normal	بیضوی Elliptical
230.075	-410.530	-438.150	t	
40.105	-75.670	-78.210	Gumbel	ارشیمیدسی Archimedean
50.334	-96.158	-98.669	Clayton	
242.11	-461.66	-474.22	R-vine	زوجی PCC
بخش (ب): پارمترهای تخمینی بهترین ساختار کاپولای انتخابی (tree1) Panel B: Parameter Estimations of the Best Fitted Pair Copula Structure (First Tree)				
دم پایین وابستگی Lower-tail dependency	دم بالایی وابستگی Upper-tail dependency	تاو کندال Kendall's tau	پارامتر Parameter	کاپولا Copula
پرتفوی بیمه گری Insurance portfolio				
-	-	•	- / -	(Independence) $\theta_{5,1}$
-	-	0.77	(0.93) / (0.00)	(Gaussian) $\theta_{1,3}$
-	0.83	0.78	(4.47) / (0.00)	(Gumbel) $\theta_{1,4}$
0.66	-	0.46	(1.68) / (0.00)	(Clayton) $\theta_{4,2}$

1 - Maccident, 2 - Mfire, 3 - Mbadana, 4 - Msalas, 5 - Mliability

داده های واقعی سال ۱۴۰۲ را براساس ضرایب ریسک آیین نامه شماره ۶۹ در حدود ۲۶۵.۲۳۵۹۶۰ هزار میلیارد ریال است. مدل استاندارد میزان سرمایه الزامی ریسک بیمه گری را در سطوح اطمینان مختلف به طور متوسط ۲۵.۶ درصد بیش از مدل جایگزین تخمین می زند. برآورد بیش از حد سرمایه اقتصادی که معمولاً در مدل های استاندارد شناسایی می شود، ناشی از دو عامل است: (۱) ویژگی های توزیعی عوامل ریسک فردی به طور دقیق در نظر گرفته نمی شود. بنابراین، پارامترهای داده شده (ضرایب ریسک ثابت در مدل استاندارد) می تواند سرمایه مورد نیاز را افزایش دهد. (۲) مفروضات همبستگی خطی تحمیل شده در مدل های استاندارد است که ساختار وابستگی ذاتی در داده های خاص شرکت را منعکس نمی کند. شایان ذکر است در مدل استاندارد ضرایب همبستگی بین تمامی ریسک ها در همه سطوح صفر در نظر گرفته شده اند. با توجه به اینکه مدل استاندارد ایران مبتنی بر روش ضریب مبتنی بر ریسک ساده است، در این مدل فرض های ساده سازی گسترده لحاظ شده است.

این یافته ها از نتایج مطالعاتی چون الینگ و جونگ (Eling & Jung, 2020) که سرمایه الزامی محاسبه شده با مدل داخلی را با سه مدل استاندارد (K-RBC, SII, SST) ^۱ مقایسه کردند، تایید می شود. نتایج این پژوهش نشان می دهد که سه مدل استاندارد به طور قابل

1. Korean risk-based capital, Solvency II, Swiss Solvency Test

می شود برآوردها ماه به ماه به روز شوند و اطلاعات مربوط به نوسانات زمانی را بهتر منعکس کنند.

حال با استفاده از تابع کاپولای انتخابی و ساختار وابستگی متناظر با آن، تعداد n جفت داده را شبیه سازی می کنیم. به عبارتی، ۱۰۰۰۰۰ نمونه از کاپولای R-Vine برازش شده به مجموعه داده های پنج بعدی تولید می شود. گام بعدی، بدین گونه است که با توجه به توزیع مفروض در تخمین رگرسیون مرحله نخست و با به کارگیری آن، هریک از سری ها را به صدک های متناظر نگاشت می کنیم. در این مرحله داده های حاصل با استفاده از روش پنجره غلطان به داده های سالانه تبدیل می شوند. سپس، مطابق مدل تجمیع ریسک که در بخش روش شناسی ارائه شده بود، متغیرهای حاصل تجمیع می شوند تا توزیع زبان کل تحت کاپولای چندمتغیره ایجاد شود.

در جدول ۵ سرمایه اقتصادی ریسک بیمه گری برآورده شده تحت مدل جایگزین در کنار سرمایه الزامی آن تحت مدل استاندارد در چند سطح ارائه شده است. سطح اطمینان را می توان به عنوان ریسک ورشکستگی در یک دوره زمانی مشخص که مدیریت انتخاب کرده است، در نظر گرفت. هرچه سطح اطمینان انتخابی بالاتر باشد، احتمال ورشکستگی کمتر خواهد بود. مطابق این جدول، اندازه ریسک بیمه گری پنج رشته بیمه غیرزندگی شرکت سهامی بیمه ایران با

جدول ۵. مقایسه سرمایه الزامی مدل جایگزین با مدل استاندارد
Table 5. Comparison of Required Capital of alternative Model and Standard Model

شرکت بیمه Insurance Company		
VaR 99.5%	VaR 99%	VaR 95%
236.917	221.1254	184.6034
مدل جایگزین (مبالغ هزار میلیارد ریال) Alternative Model (Amount in thousand billion Rials)		
مدل استاندارد (مبالغ هزار میلیارد ریال) Standard Model (Amount in thousand billion Rials)		
تفاوت مطلق Absolute Difference		
28.42868963	44.22028963	80.74229
تفاوت نسبی (درصد) Relative Difference (%)		
11.99943018	19.99783464	43.73824642

تعیین شده برای پرتفویهای بیمه‌گری تخمین زده می‌شود. مناسب‌ترین تابع کاپولا براساس بیشترین مقدار درست‌نمایی و کمترین مقدار معیارهای اطلاعاتی انجام می‌شود. حال با استفاده از تابع کاپولای انتخابی و ساختار وابستگی متناظر با آن، ۱۰۰۰۰۰ جفت داده را شبیه‌سازی می‌کنیم. سپس، متغیرهای خسارت شبیه‌سازی شده براساس توزیع‌های به‌کاررفته به صدک‌ها متناظر تبدیل می‌شوند و با استفاده از روش پنجره غلتان، توزیع داده‌های ماهانه به توزیع سالانه تبدیل می‌شود. در نهایت، براساس معادله تجمیع انجام می‌شود تا توزیع زیان کل متغیرها حاصل شود.

مرحله سوم، برای بررسی شکاف بالقوه، الزامات سرمایه در مدل استاندارد و رویکرد جایگزین پرتفوی پنج‌بعدی بیمه‌گری محاسبه شد. مقایسه نتایج سرمایه اقتصادی برآوردشده تحت رویکرد جایگزین درکنار سرمایه الزامی تحت مدل استاندارد در چند سطح اطمینان نشان می‌دهد که مدل استاندارد میزان سرمایه الزامی ریسک بیمه‌گری را به‌طور متوسط ۲۵.۶ درصد بیش از مدل جایگزین تخمین می‌زند. بیش‌برآورد الزامات سرمایه که در مدل‌های استاندارد شناسایی می‌شود، نشان می‌دهد که بیمه‌گران می‌توانند با در نظر گرفتن وابستگی غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص خود، سرمایه ریسک خود را به میزان قابل توجهی کاهش دهند.

براساس نتایج، یک مدل که کاپولای R-Vine را با شاخص ریسک VaR ترکیب می‌کند، معرفی شد. از این مدل برای محاسبه سرمایه اقتصادی پنج رشته فعالیت در حوزه بیمه غیرزندگی استفاده شده است، که تمرکز ما بر پایگاه داده واقعی شرکت است. به‌طور کلی، در این مطالعه تا پنج بعد در نظر گرفته شده است، اما امکان گسترش دامنه مدل به ابعاد بزرگ‌تر نیز وجود دارد. از طریق ترکیب ریسک‌های مرتبط، ریسک کل پرتفوی بیمه‌گذار بالقوه می‌تواند کاهش یابد. بنابراین، نتایج این مطالعه برای مدیریت ریسک ساختارمندتر بسیار مفید خواهد بود.

ادبیات پژوهش، تفاوت‌های بین سرمایه اقتصادی محاسبه‌شده با استفاده از فرمول استاندارد و روش‌های مدل‌سازی جایگزین را مستند کرده است. مانند مطالعات عقیلی‌فر و همکاران (۱۴۰۳)، مظلومی و همکاران (۱۳۹۷) و میرباقری جم و همکاران (۱۳۹۴). این مقاله با تمرکز بر ریسک بیمه‌گری و با ارائه یک مدل خاص بنگاه برای مدیریت بدهی با استفاده از مدل‌های تجمیع اخیراً توسعه‌یافته و با نگاهی به

توجهی میزان سرمایه الزامی را بیش از حد تخمین می‌زنند و کمترین محافظه‌کاری مربوط به مدل استاندارد سرمایه مبتنی بر ریسک کره (IK-RBC) است که کمترین شکاف بین مدل جایگزین و مدل‌های استاندارد را نشان می‌دهد. این ممکن است به این دلیل باشد که در این روش همبستگی بین ریسک‌های بازار را در نظر نمی‌گیرد. همچنین، مازول ریسک بیمه‌گری تفاوت‌ها بین خطوط کسب‌وکار را به‌دقت منعکس نمی‌کند و بنابراین، معیار کمتر محافظه‌کارانه‌ای نسبت به دو مدل دیگر ارائه می‌دهد.

جمع‌بندی و پیشنهادها

این مقاله، تحلیل حساسیتی از چهارچوب مقرراتی با توجه به دو جنبه غالب مطرح‌شده، یعنی بی‌توجهی به وابستگی‌های غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص بنگاه، ارائه می‌دهد. بدین منظور، مدل جایگزینی برای تجمیع ریسک بین خسارات رشته‌های بیمه غیرزندگی در شرکت سهامی بیمه ایران و محاسبه سرمایه اقتصادی متناظر با آن ارائه شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که شکاف قابل توجهی میان سرمایه مورد نیاز براساس مدل استاندارد و مدلی جایگزینی که وابستگی‌های غیرخطی و پارامترهای ریسک خاص بنگاه را در نظر می‌گیرد، وجود دارد.

این تحلیل در سه مرحله انجام می‌گیرد. مرحله اول، به‌منظور استفاده از توابع کاپولا، ابتدا باید توابع حاشیه‌ای هریک از متغیرهای تصادفی موجود در پرتفوی بیمه‌گری تعیین شود. توزیع‌های پارامتری مختلف که اغلب از توزیع‌های متداول در اکچوئری هستند، برای تعیین توزیع‌های حاشیه‌ای کاپولا تحت مدل ریسک فردی، بر روی داده‌های زیان ارزیابی می‌شود. مناسب‌ترین توزیع برای هر فرایند زیان براساس نمودارهای هیستوگرام، نمودار QQ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تعیین می‌شود. سپس، با استفاده از روش PIT، داده‌ها به شبه‌مشاهدات در بازه [۰،۱] تبدیل می‌شوند که مبنای تخمین و برآورد توابع کاپولا قرار می‌گیرند. حال، برای مرتب‌سازی متغیرهای تصادفی در نخستین درخت تابع کاپولا، نمودارهای پراکندگی زوجی و ضرایب همبستگی رتبه‌ای کنдал دوبه‌دوی متغیرها با توزیع حاشیه‌ای یک‌نواخت ارائه می‌شود.

مرحله دوم، توابع کاپولا از خانواده‌های مختلف (بیضوی، ارشمیدسی، زوجی) و پارامترهای آن‌ها، با استفاده از توزیع حاشیه‌ای

منافع وجود ندارد. علاوه‌براین، موضوعات اخلاقی، از جمله سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوءرفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر و همچنین، سیاست مجله در قبال استفاده از هوش مصنوعی از سوی نویسندگان رعایت شده است.

دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها): ©2026 این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 و CC BY اجازه استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوه دقیق دسترسی به مجوز CC و منوط به ذکر تغییرات احتمالی در مقاله می‌داند. از این‌رو، به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا دیگر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب یادشده یا استفاده‌ای فراتر از مجوز فوق، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است. به‌منظور مشاهده مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:

• <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

یادداشت ناشر

ناشر نشریه پژوهشنامه بیمه با توجه به مرزهای حقوقی در نقشه‌های منتشرشده بی‌طرف باقی می‌ماند.

منابع

باجلان، س.، راعی، ر.، و محمدی، ش. (۱۳۹۶). مدل‌سازی تابع توزیع زبان‌های بیمه‌ای با بهره‌گیری از توزیع‌های ترکیبی و مفهوم کاپیولا. *تحقیقات مالی*، ۱۹(۱)، ۲۳-۴۰. <https://doi.org/10.22059/jfr.2015.52896>

بیمه مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۰). *آیین‌نامه شورای عالی بیمه: نحوه محاسبه و نظارت بر توانگری مالی مؤسسات بیمه*. بیمه مرکزی جمهوری اسلامی ایران. <https://www.centinsur.ir/fa-IR/Portal/4927/news/view/15724/1828/Staging>

سرلک، ن.، صفری، الف.، و آلانی، ح. (۱۳۹۲). ارزیابی عملکرد پرتفوی سرمایه‌گذاری شرکت‌های بیمه پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران. *پژوهشنامه بیمه*، ۲(۳)، ۲۴۳-۲۵۳. <https://doi.org/10.22056/ijir.2013.03.05>

شهریار، ب. (۱۴۰۳). *ارتقاء و بازنگری مدل توانگری مالی قانونی بیمه مرکزی ایران (آیین‌نامه شماره ۶۹) مبتنی بر بومی‌سازی مهمترین مدل‌های توانگری در جهان [طرح پژوهشی]* (با همکاری چ. محمدنژادبانه، م. بنویدی، و س. بابایی). پژوهشکده بیمه.

میزان بالقوه شکاف میان مدل‌های استاندارد و مدل‌های داخلی، به این ادبیات کمک می‌کند. انحراف بین سرمایه ریسک تحت مدل‌های استاندارد و اندازه واقعی آن می‌تواند چالش‌هایی برای بیمه‌گران در پی داشته باشد. همان‌طور که مشاهده شد، فرمول استاندارد بیمه‌گران را ملزم می‌کند سرمایه‌ای بیش از آنچه ممکن است در یک مدل داخلی لازم باشد، نگهداری کنند. بنابراین، استفاده از این فرمول، بازده بالقوه حقوق صاحبان سهام را کاهش می‌دهد و بیش‌برآوردی سرمایه اقتصادی می‌تواند بیمه‌گران را مجبور به بازسازی کسب‌وکار خود برای مدیریت سرمایه‌گذاری کند. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود قانون‌گذاران مفروضات وابستگی خود را برای کاهش انحراف بین سرمایه‌های ریسک تحت مدل‌های استاندارد و اندازه واقعی ریسک تنظیم کنند.

مشارکت نویسندگان

الهام علی‌زاده: مسئولیت جمع‌آوری و تفسیر آماری داده‌ها، اجرا و تحلیل کمی و کیفی مدل، تدوین و نگارش پیش‌نویس پژوهش را بر عهده داشته است. جعفر حقیقت، حسین اصغرپور و زهرا کریمی تکانلو: در تمام مراحل تحقیق از طراحی مسئله، تدوین و بازنگری پژوهش همکاری فعالانه داشته‌اند و راهنمایی‌های تخصصی ارائه کرده‌اند.

سپاسگزاری و قدردانی

با تشکر از مدیران و کارشناسان شرکت سهامی بیمه ایران که ما را در این تحقیق یاری فرمودند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در خصوص انتشار این مقاله تضاد

https://www.irc.ac.ir/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?TabID=4944&Site=Irc&Lang=-faIR&mid=16040&ItemID=1681&SearchKeyword=%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86%DA%AF%D8%B1%DB%8C&sarchedmid=divMinMax16040_

شهریار، ب. (۱۳۹۵). *الگوی آیین‌نامه نحوه محاسبه و نظارت بر توانگری مالی مؤسسات بیمه (آیین‌نامه ۶۹ شورای عالی بیمه) [طرح پژوهشی]* (با همکاری ع. صیادزاده، و ف. امدادی). پژوهشکده بیمه. <https://www.irc.ac.ir/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?TabID=4944&Site=Irc&Lang=-faIR&mid=16040&ItemID=84&SearchKeyword=%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86%DA%AF%D8%B1%DB%8C&sarchedmid=->

divMinMax_16040

شیرکوند، س.، مهدوی کلیشمی، غ.، و بازوکی، ن. (۱۳۹۸). قیمت‌گذاری محصولات بیمه‌ای و محاسبه حاشیه توانگری مالی شرکت بیمه با استفاده از روش نسبت انحراف بالقوه از میانگین. *تحقیقات مالی*، ۲۱(۲)، ۱۶۵-۱۸۶. <https://doi.org/10.22056/ijir.2025.01.03>

عقیلی‌فر، ز.، ابطحی، س. ی.، عسگرزاده، غ.، و خواجه محمودآبادی، ح. (۱۴۰۳). مدل‌سازی ریسک‌های بیمه غیرعمر و الزامات سرمایه در شرکت سهامی بیمه ایران: رویکرد کاپولا. *پژوهشنامه بیمه*، ۱۴(۱)، ۳۷-۴۸. <https://doi.org/10.22056/ijir.2025.01.03>

طیب‌نیا، ع.، مهر آراء، م.، و اختری، الف. (۱۳۹۸). پوشش ریسک درآمدهای نفتی ایران: رویکرد پوشش ریسک تجمیع‌یافته. *اقتصاد مالی*، ۱۳(۴۸)، ۳۷-۷۴. <https://sanad.iau.ir/fa/Article1062817/>

کشاورز حداد، غ.، و حیرانی، م. (۱۳۹۳). برآورد ارزش در معرض ریسک با وجود ساختار وابستگی بین بازدهی‌های مالی: رهیافت مبتنی بر توابع کاپولا. *تحقیقات اقتصادی*، ۴۹(۴)، ۸۶۹-۹۰۲. <https://doi.org/10.22059/jte2014.53191>

مظلومی، ن.، باباجانی، ج.، و جعفری، ر. (۱۳۹۷). تعیین سرمایه بهینه در شرکتهای بیمه براساس مدل‌سازی داخلی نسبت توانگری مالی و روش هزینه-فایده. *پژوهشنامه بیمه*، ۸(۱)، ۱-۱۴. https://ijir.irc.ac.ir/article_90025.html?lang=fa

میرباقری‌جم، م.، شهیکی‌تاش، م.، زمانیان، غ.، و صفری، الف. (۱۳۹۴). تجمیع ریسک‌های بیمه‌گری صنعت بیمه ایران با استفاده از توابع مفصل (رویکرد توابع مفصل ارشمیدسی سلسله‌مراتبی). *پژوهشنامه بیمه*، ۴(۴)، ۴۱۲-۴۲۵. <https://doi.org/10.22056/ijir2015.04.02>

نیاکان، ل.، و عطاطلب، ف. (۱۴۰۲). مطالعه تطبیقی وظایف نهاد ناظر بیمه‌ای در ایران و کشورهای منتخب. *دانشنامه حقوق اقتصادی*، ۳۰(۲۳)، ۱۶۳-۱۸۵. <https://doi.org/10.22067/185-163>

economlaw.2023. 81302.1255

Aas, K. & Berg, D. (2009). Models for construction of multivariate dependence: A comparison study. *The European Journal of Finance*, 15(7), 639-659. <https://doi.org/10.1080/13518470802588767>

Abd Mutalip, F. N. N., Ismail, I., & Long, K. S. (2024). Capital requirement for non-life insurance industry using D-vine Copula: An empirical evidence from Malaysia. *IAENG International Journal of Applied Mathematics*, 54(8), 1694-1704. <https://www.proquest.com/openview/e4d3a605787e153d68aa5583928c887d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2049591>

Aghilifar, Z., Abtahi, S. Y., Asgarzadeh, G., & Kha-

jehmahmoudabadi, H. (2024). Modeling non-life insurance risks and capital requirements in Iran's insurance company: Coppola's approach. *Iranian Journal of Insurance Research*, 14(1), 37-48. <https://doi.org/10.22056/ijir.2025.01.03> [In Persian].

Bajlan, S., Raei, R., & Mohammadi, S. (2017). Modeling insurance claim distribution via mixture distribution and Copula. *Financial Research*, 19(1), 23-40. <https://doi.org/10.22059/jfr.2015.52896> [In Persian].

Bedford, T., & Cooke, R. M. (2002). Vines--a new graphical model for dependent random variables. *The Annals of Statistics*, 30(4), 1031-1068. <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1031689016>

Central Insurance of the Islamic Republic of Iran. (2011). *Regulations of the Supreme Insurance Council: How to Calculate and Monitor the Financial Solvency of Insurance Institutions*. Central Insurance of the Islamic Republic of Iran. <https://www.centinsur.ir/fa-IR/Portal/4927/news/view/15724/1828/Staging> [In Persian].

Czado, C., Jeske, S., & Hofmann, M. (2013). Selection strategies for regular vine copulae. *Journal de la Société Française de Statistique*, 154(1), 174-191. https://www.numdam.org/article/JFSF_2013__154_1_174_0.pdf

Diers, D., Eling, M., & Marek, S. D. (2012). Dependence modeling in non-life insurance using the Bernstein Copula. *Insurance: Mathematics and Economics*, 50(3), 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2012.02.007>

Dissmann, J., Brechmann, E. C., Czado, C., & Kuro-wicka, D. (2013). Selecting and estimating regular vine copulae and application to financial returns. *Computational Statistics & Data Analysis*, 59, 52-69. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2012.08.010>

Eling, M., & Jung, K. (2020). Risk aggregation in non-life insurance: Standard models vs. internal models. *Insurance: Mathematics and Economics*, 95, 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2020.09.003>

Frachot, A., Georges, P., & Roncalli, T. (2001). Loss

- distribution approach for operational risk. SSRN. Retrieved June 11, 2024, from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1032523
- Keshavarz Haddad, G., & Heyrani, M. (2014). Estimation of value at risk in the presence of dependence structure in financial returns: A Copula based approach. *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, 49(4), 869-902. <https://doi.org/10.22059/jte.2014.53191> [In Persian].
- Makubu, J. G., Andoh, C., & Mensah, L. (2022). Economic capital determination for non-life insurance using Copulas. *The Journal of Risk Management and Insurance*, 26(1), 19-39. <https://jrmi.au.edu/index.php/jrmi/article/view/241>
- Mazlomi, N., Babajani, J., & Jafari, R. (2018). Determining the optimal capital in insurance companies based on internal modeling of the ratio of financial prosperity and the cost-benefit method. *Iranian Journal of Insurance Research*, 8(1), 1-14. <https://doi.org/10.22056/ijir.2019.01.01> [In Persian].
- Mirbagherijam, M., Shahiki Tash, M., Zamanian, G., & Safari, A. (2015). Aggregation of underwriting risks in insurance industry of Iran using Copulas (Hierarchical Archimedean Copulas approach). *Iranian Journal of Insurance Research*, 4(4), 412-425. <https://doi.org/10.22056/ijir.2015.04.02> [In Persian].
- Niakan, L., & Atatalab, F. (2023). A comparative study of the duties of insurance supervisory in Iran and selected countries. *Encyclopedia of Economic Law Journal*, 30(23), 163-185. <https://doi.org/10.22067/econom-law.2023.81302.1255> [In Persian].
- Nguyen, T., & Molinari, R. D. (2011). Risk aggregation by using Copulas in internal models. *Journal of Mathematical Finance*, 1(3), 50-57. <http://dx.doi.org/10.4236/jmf.2011.13007>
- Joe, H., & Xu, J. J. (1996, October 31). *The Estimation Method of Inference Functions for Margins for Multivariate Models* [Report]. University of British Columbia Library. <http://dx.doi.org/10.14288/1.0225985>
- Sarlak, N., Safari, A., & Alani, H. (2013). Evaluation of the investment portfolio turnovers of Tehran stock market listed companies. *Iranian Journal of Insurance Research*, 2(3), 243-253. <https://doi.org/10.22056/ijir.2013.03.05> [In Persian].
- Shahriar, B. (2024). *Enhancement and Revision of the Central Insurance of Iran's Regulatory Financial Solvency Model (Regulation No. 69) Based on the Localization of the World's Most Important Solvency Models* [Research project]. Collaborators Ch. Mohammadnejad-Baneh, M. Benvidi, & S. Babaei. Thran: Insurance Research Institute (IRC). https://www.irc.ac.ir/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?TabID&4944=Site=Irc&Lang=-faIR&mid&16040=ItemID&1681=SearchKeyword=%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86%DA%AF%D8%B1%DB%8C&sarchedmid=divMinMax16040_ [In Persian].
- Shahriar, B. (2016). *Model of the Regulation for Calculation and Supervision of Financial Solvency of Insurance Institutions (Directive no. 69 of the High Insurance Council)* [Research Project]. Collaborators A. Siyadzadeh, & F. Emdadi. Thran: Insurance Research Institute (IRC). https://www.irc.ac.ir/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?TabID=4944&Site=Irc&Lang=-faIR&mid=16040&ItemID=84&SearchKeyword=%D8%AA%D9%88%D8%A7%D9%86%DA%AF%D8%B1%DB%8C&sarchedmid=divMinMax_16040 [In Persian].
- Shim, J., Lee, S. H., & MacMinn, R. D. (2011). Measuring economic capital: Value-at-risk, expected shortfall and Copula approach, expected shortfall and copula approach. SSRN. Retrieved July 20, 2024, from <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1840124>
- Shirkavand, S., Mahdavi Kalashami, G., & Pazuki, N. (2019). Insurance products ratemaking and insurance company financial solvency ratio calculation via potential deviation ratio method.

- Financial Research*, 21(2), 165-186. <https://doi.org/10.22059/frj2019.270699.1006769>. [In Persian].
- Sklar, M. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. *Annales de l'ISUP* 8(3), 229-231. <https://hal.science/hal-04094463v1>
- Tayebnia, A., Mehrara, M., & Akhtari, A. (2019). Iran oil revenue hedging: Integrated hedging approach. *Journal of Financial Economics (Financial Economics and Development)*, 13(48), 37-74. <https://sanad.iau.ir/en/Article/1062817/>[In Persian].

AUTHOR(S) BIOSKETCHES	معرفی نویسندگان
الهام علی‌زاده (Elham Alizadeh)، دانشجوی دکتری، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. - Email: Alizadeheco3400@gmail.com - ORCID: 0009-0001-6119-6508 جعفر حقیقت (Jafar Haghighat)، استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. - Email: Jhaghighat79@gmail.com - ORCID: 0000-0002-5470-5220 حسین اصغرپور (Hossein Asgharpur)، استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. - Email: AsgharpurH@gmail.com - ORCID: 0000-0002-1440-8977 زهرا کریمی تکانلو (Zahra Karimitakanlu)، استاد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. - Email: Zahra.Karimi.tu@gmail.com - ORCID: 0000-0001-9606-2756	
HOW TO CITE THIS ARTICLE Alizadeh, E., Haghighat, J., Asgharpur, H., & Karimitakanlu, Z. (2026). Capital requirements for non-life insurance of Iran insurance company using the copula model. <i>Iranian Journal of Insurance Research</i>, 15(4), 341-358. DOI: 10.22056/ijir.2026.04.03 URL: https://ijir.irc.ac.ir/article_160377.html	