



Pricing Catastrophe Insurance-Linked Securities for Earthquake Risk in Iran

Laleh Dastmalchi

Ph.D. Candidate, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: lalehastmalchi96@gmail.com

Kiumars Shahbazi *

*Corresponding Author, Prof., Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: k.shahbazi@urmia.ac.ir

Hossein Gholami

Associate Prof., Department of Statistics, Statistics, Faculty of science, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: gh.gholami@urmia.ac.ir

Abstract

Objective

Given the importance of insurance-linked securities (ILS) as effective instruments for the development of financial markets, the main objective of this study is to price catastrophe reinsurance securities related to earthquake risks in Iran. Unlike most previous studies—especially in the Iranian context—that have primarily focused on theoretical frameworks and preliminary feasibility analyses, the present research addresses one of the most challenging aspects of the topic by emphasizing the practical pricing of these instruments. Relying on real-world data, this study examines the pricing of catastrophe bonds under various conditions, including single-period and multi-period structures. Additionally, the impact of different levels of risk premiums is analyzed, considering the heterogeneity in investors' risk preferences.

Methods

This research is classified as applied research in terms of its objectives and as analytical research in terms of its analysis methods. The study utilizes real data from the Seismology

Citation: Dastmalchi, Laleh; Shahbazi, Kiumars & Gholami, Hossein (2026). Pricing Catastrophe Insurance-Linked Securities for Earthquake Risk in Iran. *Financial Research Journal*, 28(3), 716-741. <https://doi.org/10.22059/frj.2025.388962.1007697> (in Persian)



Center of the Geophysics Institute at the University of Tehran, covering the years 2006 to 2018 (considering data accessibility limitations). Additionally, to calculate the bond prices, a standard risk-neutral pricing tool suitable for Iran's infrastructure has been employed, with the analysis conducted using R software.

Results

In this study, we aimed to calculate the prices of catastrophe bonds related to earthquakes in both a single-period (one year) and a multi-period (five years) framework using equilibrium pricing theory. The results indicate that as the frequency of repetitions within the pricing model structure increases, the price variance decreases significantly, suggesting that the model is both consistent and computationally efficient. It is worth noting that although the decline in bond prices with increasing maturity is a theoretically predictable phenomenon, the findings of this study, based on real-world data, indicate that this decline is significantly more pronounced and meaningful over longer-term horizons than what is merely suggested by theory. This insight serves as an important warning for financial instrument designers in the insurance industry and potential investors, emphasizing the need for greater caution in selecting bond maturities to avoid a substantial reduction in expected returns. Additionally, bond prices are also reduced when the risk-reward ratio component increases. In other words, the lower the risk-reward ratio, the more willing buyers are to pay a higher price for the bonds.

Conclusion

The results of this research enabled the precise calculation of the prices of catastrophe bonds specifically for earthquakes. By comparing the one-period and multi-period models, as well as considering various risk premiums, the findings align with existing theories on security pricing. Given the necessity of this discussion, especially in light of Iran's earthquake risk, this model presents an effective approach for pricing catastrophe insurance securities related to earthquakes. It allows for the transfer of earthquake insurance risk from the insurance market to the capital market, capitalizing on the potential to attract risk-seeking investors who are looking for appealing investment opportunities. Overall, the issuance of insurance securities not only helps address liquidity challenges faced by insurance companies but can also contribute to reducing excess liquidity in the economy, thereby supporting inflation control.

Keywords: Insurance-linked securities, Pricing of securities, Risk-neutral valuation, Risk transfer.

قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی فاجعه‌آمیز رشته زلزله در ایران

لاله دستمالچی

دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: lalehdestmalchi96@gmail.com

کیومرث شهبازی*

* نویسنده مسئول، استاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: k.shahbazi@urmia.ac.ir

حسین غلامی

دانشیار، گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: gh.gholami@urmia.ac.ir

چکیده

هدف: با توجه به اهمیت اوراق بهادار به‌عنوان ابزاری مناسب برای توسعه بازارهای مالی، هدف اصلی این پژوهش، قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی فاجعه‌آمیز رشته زلزله در ایران است. برخلاف اغلب مطالعات پیشین، به‌ویژه در ایران که به‌طور عمده به بررسی‌های نظری و امکان‌سنجی‌های اولیه در زمینه اوراق بهادار بیمه‌ای پرداخته‌اند، مطالعه حاضر با تمرکز بر قیمت‌گذاری عملی این اوراق، به یکی از بخش‌های بسیار چالش‌برانگیز چنین موضوعی ورود کرده است. در این پژوهش، با تکیه بر داده‌های واقعی، قیمت اوراق بهادار فاجعه‌آمیز مرتبط با ریسک زلزله در شرایط مختلف، شامل ساختارهای یک‌دوره‌ای و چنددوره‌ای، بررسی شده و در این میان، تأثیر سطوح مختلف پاداش ریسک نیز با توجه به تفاوت سلیقه‌ای میان سرمایه‌گذاران تحلیل شده است.

روش: این پژوهش از لحاظ هدف، از نوع پژوهش‌های کاربردی و از لحاظ روش تجزیه و تحلیل، از نوع پژوهش‌های تحلیلی است. در این مطالعه، از داده‌های واقعی مرکز لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ (با در نظر گرفتن محدودیت در دسترسی به داده‌ها) استفاده شده است. همچنین برای محاسبه قیمت اوراق، از ابزار قیمت‌گذاری استاندارد ریسک - خنثی متناسب با زیرساخت‌های کشور ایران استفاده شده است.

یافته‌ها: در این مطالعه با استفاده از تئوری قیمت‌گذاری تعادلی، به محاسبه قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز رشته زلزله‌ها در حالت یک‌دوره‌ای (یک ساله) و چنددوره‌ای (پنج ساله) اقدام شده است، نتایج حاکی از آن است که با افزایش تعداد دفعات تکرار موجود در ساختار مدل قیمت‌گذاری مورد استفاده در پژوهش، واریانس قیمت به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد؛ بنابراین مدل قیمت‌گذاری مذکور سازگار و از لحاظ محاسباتی کارآمد است. شایان ذکر است که اگرچه در چارچوب مبانی نظری، کاهش قیمت اوراق با افزایش زمان سررسید، موضوعی پیش‌بینی‌پذیر است؛ اما نتایج این پژوهش با استفاده از داده‌های واقعی نشان می‌دهد که این کاهش در بازه‌های بلندمدت، به‌مراتب ملموس‌تر و معنادارتر از آن چیزی است که فقط در تئوری بیان می‌شود. این یافته، هشدار مهمی برای طراحان ابزارهای مالی در صنعت بیمه و سرمایه‌گذاران بالقوه است که در انتخاب زمان‌بندی اوراق، دقت بیشتری به خرج دهند تا بازدهی مورد

استناد: دستمالچی، لاله؛ شهبازی، کیومرث و غلامی، حسین (۱۴۰۵). قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی فاجعه‌آمیز رشته زلزله در ایران. *تحقیقات مالی*، ۲۸(۳)، ۷۱۶ - ۷۴۱.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۹

doi: <https://doi.org/10.22059/frj.2025.388962.1007697>

تحقیقات مالی، ۱۴۰۵، دوره ۲۸، شماره ۳، صص. ۷۱۶ - ۷۴۱

ناشر: دانشکده‌گان مدیریت دانشگاه تهران

نوع مقاله: علمی پژوهشی

© نویسندگان

انتظارشان دچار افت محسوس نشود. همچنین قیمت اوراق با افزایش مؤلفه نسبت ریسک به پاداش کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، هرچه نسبت ریسک به پاداش کمتر باشد، خریداران اوراق حاضرند قیمت بیشتری برای آن پرداخت کنند.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش به محاسبه قیمت دقیق اوراق قرضه فاجعه‌آمیز در رشته زلزله منجر شد. با مقایسه قیمت مدل یک‌دوره‌ای و مدل چنددوره‌ای و همچنین، برای پاداش ریسک‌های مختلف، نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش با تئوری‌های موجود در زمینه قیمت‌گذاری اوراق بهادار سازگاری دارد؛ از این رو با توجه به ضرورت بحث و با در نظر گرفتن زلزله‌خیز بودن کشور ایران، این مدل راه‌حل مناسبی است برای قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای فاجعه‌آمیز رشته زلزله، به‌منظور انتقال ریسک بیمه زلزله از بازار بیمه به بازار سرمایه؛ زیرا این بازار برای جذب سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیری که به دنبال فرصت‌های مناسب و جذاب برای سرمایه‌گذاری هستند، پتانسیل‌های مناسبی دارد. به‌طور کلی، انتشار اوراق بهادار بیمه‌ای، نه تنها مشکل تأمین نقدینگی برای شرکت‌های بیمه‌ای را رفع می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای کاهش نقدینگی در سطح جامعه و کنترل تورم به‌کار رود.

کلیدواژه‌ها: اوراق بهادار مبتنی بر بیمه، انتقال ریسک، قیمت‌گذاری اوراق بهادار، قیمت‌گذاری ریسک - خنثی.

مقدمه

شرکت‌های بیمه در انجام رسالت حیاتی خود برای پوشش ریسک‌های طبیعی مانند سیل، زلزله و بلایای مشابه و همچنین ریسک‌های مصنوعی نظیر تصادف‌ها و آتش‌سوزی، با چالش‌های جدی مواجهند که مهم‌ترین آن تأمین بودجه لازم برای جبران خسارات است (شائو، پاپایوانو و پانتلوس^۱، ۲۰۱۷). این چالش به‌ویژه در حوادث فاجعه‌آمیز با شدت خسارت بالا و فراوانی کم برجسته‌تر است (ما و ما^۲، ۲۰۱۳).

با وجود آنکه شرکت‌های بیمه اتکایی حتی در برابر حوادث فاجعه‌آمیز نیز تعهدهای جبران خسارت خود را ایفا می‌کنند، انتقال ریسک به بازار سرمایه، به‌جای نگهداری آن در صورت وضعیت مالی شرکت‌های بیمه، راه‌کاری منطقی‌تر و کارآمدتر به نظر می‌رسد (زیمبیدیس، فرانگوس و پانتلوس^۳، ۲۰۰۷). در این چارچوب، «اوراق بهادارسازی ریسک‌های بیمه‌ای» به‌عنوان یکی از نوآوری‌های مهم مالی مطرح شده است. اوراق بهادارسازی، فرایندی است که در آن تعهدها و ریسک‌های بیمه‌ای (مانند خسارت‌های ناشی از زلزله یا طوفان) در قالب ابزارهای مالی ساختاریافته، تجمع و به اوراقی قابل خرید و فروش در بازار سرمایه تبدیل می‌شوند. این ابزارها امکان می‌دهند که سرمایه‌گذاران، در ازای دریافت بازده، بخشی از ریسک را برعهده گیرند و در نتیجه، ریسک از شرکت بیمه به بازار سرمایه منتقل شود (کارانایوپولوس و کالیمپالی^۴، ۲۰۰۳).

با توجه به وضعیت حادثه‌خیز ایران، به‌ویژه از نظر زلزله، اوراق بهادار بلایای طبیعی می‌تواند ابزار مناسبی برای جبران خسارت‌های حوادث شدید، همچون زلزلهٔ بم در سال ۱۳۸۲ باشد. این اوراق علاوه بر کمک به رفع مشکلات مالی صنعت بیمه، می‌توانند به توسعهٔ بازار سرمایه کشور نیز کمک کنند (دهقان، فهیمی و فرنی، ۱۳۹۷).

اگرچه اوراق بهادارسازی بیمه‌ای بیش از چند دهه در بازارهای مالی جهان مطرح است، مطالعات کاربردی در ایران محدود است. یکی از چالش‌های اصلی، قیمت‌گذاری این اوراق است که در این پژوهش با استفاده از مدل قیمت‌گذاری ریسک‌خشی و توزیع GEV خسارت‌ها، اوراق بهادار بیمه‌ای زلزله بررسی شده است (شائو و همکاران، ۲۰۱۷).

در سال‌های اخیر، تحقیقات بین‌المللی جدیدی با تمرکز بر توسعه بازار اوراق بهادار ریسک بیمه‌ای انجام شده است که نشان می‌دهد بازار این اوراق رشد چشمگیری داشته است (کیم، لی و چو^۵، ۲۰۲۵). همچنین، مطالعات داخلی در سال‌های اخیر بر لزوم تقویت زیرساخت‌های قانونی و مقرراتی برای توسعه اوراق بیمه‌ای تأکید کرده‌اند (پورابراهیمی، ساده‌وند و بابالویان، ۱۴۰۴).

در ادامه، مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش مرور و فرضیه‌های پژوهش ارائه می‌شود. سپس روش‌شناسی، مدل‌ها و تعاریف عملیاتی بیان خواهد شد. پس از آن، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج ارائه می‌شود و در نهایت، پژوهش با ارائه یافته‌ها و پیشنهادها کاربردی جمع‌بندی می‌شود.

1. Shao, Papaioannou & Pantelous
2. Ma & Ma
3. Zimbidis, Frangos & Pantelous
4. Carayannopoulos & Kalimipalli
5. Kim, Lee & Cho

پیشینه نظری پژوهش

بیمه همواره به عنوان ابزاری کارآمد در کاهش ریسک و نااطمینانی در زندگی انسان‌ها و فعالیت‌های اقتصادی شناخته شده است و در نظام‌های اقتصادی سابقه‌ای دیرینه دارد. با این حال، شرکت‌های بیمه از آغاز شکل‌گیری تاکنون و به‌ویژه در دهه‌های اخیر با چالش‌هایی اساسی مواجه بوده‌اند؛ از جمله نیاز مستمر به تأمین منابع مالی، تشکیل پرتفوی بهینه بیمه‌ای و ایجاد ظرفیت کافی برای نگهداری و پوشش ریسک‌ها، به‌خصوص در برابر ریسک‌های بزرگ و فاجعه‌آمیز نظیر زلزله، سیل و همه‌گیری‌ها. این مسائل سبب شده‌اند که صنعت بیمه به‌سوی راه‌کارهای نوآورانه‌ای همچون انتقال ریسک به بازارهای مالی و بهره‌گیری از ابزارهای مالی نوین از جمله اوراق بهادار بیمه‌ای حرکت کند (کامینزو ویز، ۲۰۰۹).

از ابتدای پیدایش بیمه، همگرایی صنعت بیمه با بازار سرمایه به شیوه‌های مختلف مطرح بوده است؛ اما برخی از تلاش‌های به عمل آمده در این راستا نسبت به بقیه موارد موفق‌تر بوده است. اوراق بهادار مبتنی بر بیمه (ILS)^۲، یکی از موارد موفق این همگرایی است که به چگونگی کاربرد فناوری‌های بازار سرمایه در صنعت بیمه و نحوه انتقال ریسک مربوط به صنعت بیمه به بازار سرمایه مرتبط است. علاوه بر این، در طی دهه گذشته، بازار به دلیل حضور وسیع‌تر و عمیق‌تر مشارکت‌کنندگان، غنی‌تر و قوی‌تر شده است؛ به طوری که بازار اوراق بهادار مبتنی بر بیمه بعد از یک دهه رشد، با وجود بحران‌های اخیر بازار سرمایه، در مرحله جدیدی برای تثبیت و تقویت موفقیت‌های پیشین و توسعه هرچه بیشتر، قرار دارد. با این حال، ممکن است عده‌ای بر این باور باشند که اندازه واقعی بازار بیمه هنوز در مقایسه با پتانسیل بالقوه آن کوچک است. در این راستا، بحث درباره ابعاد مختلف این بازار و معرفی آن به سرمایه‌گذاران برای درک، شفافیت و دسترسی هرچه بیشتر به این بازار، ضروری است (لیو، تانگ و یوان^۳، ۲۰۲۱؛ براون، اشمایسر و شریبر^۴، ۲۰۲۳).

در ادامه این روند، اوراق بهادارسازی بیمه‌ای به عنوان یکی از روش‌های نوآورانه تأمین مالی و انتقال ریسک در صنعت بیمه مطرح شده است. در این فرایند، تعهدها و ریسک‌های بیمه‌ای از صورت وضعیت مالی شرکت‌های بیمه خارج شده و از طریق انتشار اوراق بهادار قابل معامله، به سرمایه‌گذاران منتقل می‌شوند (باریو، براون و ماکاریو^۵، ۲۰۲۴). اوراق بهادارسازی مبتنی بر بیمه، معمولاً بر اساس وقوع رویدادهای خاصی همچون بلایای طبیعی یا خسارت‌های بزرگ طراحی شده و می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در افزایش نقدینگی، مدیریت بهینه ریسک و ارتقای توان مالی شرکت‌های بیمه ایفای نقش کند. همچنین، این اوراق با فراهم کردن فرصت سرمایه‌گذاری در دارایی‌هایی با هم‌بستگی پایین نسبت به سایر بازارها، به سرمایه‌گذاران امکان متنوع‌سازی پرتفوی سرمایه‌گذاری را می‌دهد. به‌طور کلی، اوراق بهادارسازی بیمه‌ای چارچوبی فراهم می‌آورد که طی آن، ریسک‌های بیمه‌ای زندگی و غیرزندگی به بازارهای مالی منتقل شده و در قالب اوراق ساختاریافته در بازار ثانویه معامله می‌شوند (براون و همکاران، ۲۰۲۳).

فرایند اوراق بهادارسازی ریسک بیمه در دو وضعیت مختلف، متفاوت است. وضعیت اول، حالتی است که پیش از

1. Cummins & Weiss

2. Insurance linked securities

3. Liu, Tang & Yuan

4. Braun, Schmeiser & Schreiber

5. Barriou, Braun & Makariou

به دنبال عقد قرارداد، مؤسسه بیمه یا بانی حق بیمه تعیین شده را مطابق شرایط قرارداد به نهاد واسط پرداخت می کند. در صورت وقوع هرگونه خسارت و ادعای خسارت توسط مؤسسه بیمه، نهاد واسط مبالغ خسارت را به مؤسسه بیمه بانی پرداخت می کند. برای انتشار اوراق بهادار ریسک بیمه ای، نهاد واسط بعد از دریافت مجوزهای لازم، اوراق را منتشر کرده و مبالغ اصل سرمایه به ارزش اسمی مندرج در ورقه بهادار را دریافت می کند. نهاد واسط بیمه ای مجموع مبلغ حق بیمه های دریافتی، به علاوه مبلغ اصل سرمایه دریافتی را مطابق مقررات، سرمایه گذاری می کند و ضمن دریافت سود سرمایه گذاری، اصل سرمایه گذاری را نیز در موعد مقرر دریافت می کند. پس از پرداخت کلیه خسارت ها به مؤسسه بیمه بانی و دریافت سود (زیان) سرمایه گذاری و اصل سرمایه گذاری، باقی مانده هرچه باشد (سود یا زیان) به عنوان اصل مبلغ سرمایه گذاری (در صورت عدم زیان) و سود طبق شرایط اوراق بهادار، به سرمایه گذار پرداخت شده و نهاد واسط بیمه ای منحل می شود (لاتوییری^۱، ۲۰۰۷).

حالت فوق حالتی ساده است. در حالت پیچیده تر، سایر نهادهای ذی ربط در این سازوکار می توانند حسب نیاز و در صورت وجود، حضور یافته و ضمن ایفای نقش، هزینه ها و منافع خود را تحمیل یا در این سازوکار ایجاد کنند. این نهادها شامل، امین دارایی ها، متعهد پذیرهنویسی، مشاور عرضه، ضامن، بازارگردان، عامل پرداخت، مؤسسه رتبه بندی اوراق و... است. نهادهای نظارتی از قبیل بیمه مرکزی ایران و عامل فروش سازمان بورس و اوراق بهادار نیز به طور غیر مستقیم در این ساختار حضور دارند.

گسترش ابزارهای انتقال ریسک به بازار سرمایه با وقوع یکسری حوادث فاجعه آمیز مهم در اوایل دهه نود میلادی تا اواسط آن تسریع پیدا کرد (مورانا و اسبرانا^۲، ۲۰۱۹)، حوادثی که باعث کمبود ظرفیت اتکایی جهانی و متعاقب آن، افزایش قیمت قراردادهای بیمه ای اتکایی شدند. وقوع طوفان اندرو^۳ در سال ۱۹۹۲ و زلزله نورتریج^۴ در سال ۱۹۹۴، موجب دو برابر شدن نرخ حق بیمه شد که زیان های ناشی از این حوادث به قدری زیاد بود که شرکت های بیمه اتکایی نتوانستند به ایفای تعهدهایشان بپردازند. این وضع صنعت بیمه را بر آن داشت که منابع جایگزینی برای افزایش ظرفیت بیمه اتکایی پیدا کند؛ از اینجا فکر استفاده از ظرفیت های بازار سرمایه و انتقال سهمی از ریسک های بیمه ای به این بازار پیدا شد و اوراق بهادار بیمه ای بستر این کار را فراهم کرد که علاوه بر انتقال ریسک، دارای فوایدی نظیر کاهش هزینه های تأمین مالی وام گیرندگان، تغییر کارآمد نسبت بدهی های ثابت به بدهی های با نرخ شناور، افزایش بازده دارایی ها، تعدیل سریع ساختار جریان نقدی دارایی ها برای انطباق بیشتر با وضعیت بازار، گریز از مالیات و... است (زیمبیدیس و همکاران، ۲۰۰۷).

واضح است که ارائه ابزار مالی جدید، روندی پیچیده دارد که قیمت گذاری درست، یکی از مرحله های چالش برانگیز

1. Latuillierie
1. Morana & Sbrana
2. Hurricane Andrew
3. Northridge earthquake

آن برای دستیابی به بازار ثانویه کارا به‌منظور معاملات این ابزار مالی است تا در چنین بازار کارایی، اوراق بهادار بیمه‌ای بتواند با قیمت رقابتی، صادر شده و معامله شود، پایه سرمایه گسترده باشد، نقدینگی وجود داشته باشد و ریسک حوادث فاجعه‌آمیز بتواند بین سرمایه‌گذاران زیادی تنوع مؤثر ایجاد کند (شائو و همکاران، ۲۰۱۵).

پیشینه تجربی پژوهش

کاکس و پدرسن^۱ (۲۰۰۰)، در مقاله‌ای تحت عنوان «اوراق قرضه فاجعه‌آمیز» مدل قیمت‌گذاری دو مرحله‌ای در بازار ناقص ارائه داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که با توجه به چالش‌های موجود، ایجاد یک نظریه قیمت‌گذاری دقیق برای این اوراق دشوار است.

لی و یو^۲ (۲۰۰۲)، در پژوهش خود، اوراق قرضه فاجعه‌آمیز را با مدل قیمت‌گذاری ادعای احتمالی، ریسک نکول، مخاطره اخلاقی و ریسک پایه در یک مدل اعتبار ساختاری با نرخ بهره تصادفی قیمت‌گذاری کرده‌اند. با توجه به نتایج حاصل شده، خطر اخلاقی و ریسک پایه موجب کاهش قیمت اوراق بیمه‌ای می‌شوند و تأثیر آن‌ها نباید در قیمت‌گذاری اوراق بیمه‌ای نادیده گرفته شود. ز

مبمدیس و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی، با گسترش روش قیمت‌گذاری کاکس و پدرسن (۲۰۰۰) قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز را برای ریسک زلزله یونان با نرخ بهره پویا برای یک دوره زمانی محاسبه کرده‌اند و نشان داده‌اند که قیمت این اوراق به تغییرات نرخ بهره بسیار حساس است.

ما و ما (۲۰۱۳)، در پژوهشی با ترکیب مدل لی و یو (۲۰۰۲) و خسارت پوآسون غیرهمگن، به این نتیجه رسیده‌اند که عدم قطعیت نرخ بهره، شدت ضرر، سطح آستانه وقوع و انتخاب توزیع مناسب، تأثیر زیادی بر مدل قیمت‌گذاری اوراق قرضه فاجعه‌آمیز دارد.

شائو و همکاران (۲۰۱۵)، در مقاله‌ای، فرایند قیمت‌گذاری اوراق قرضه فاجعه‌آمیز را با استفاده از تئوری قیمت‌گذاری تعادلی برای ساختاری از n ریسک مالی و m ریسک فاجعه‌آمیز مستقل برای زلزله کالیفرنیا مطالعه کرده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مدل ارائه شده با فرض مستقل بودن ریسک‌های بازار بیمه و بازار سرمایه، برای قیمت‌گذاری اوراق زلزله مناسب و قابل قبول است.

شائو و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهش خود، قیمت‌گذاری اوراق قرضه فاجعه‌آمیز را طی یک مدل ریسک - خنثی برحسب چهار تابع عایدی متفاوت در یک محیط تصادفی نرخ بهره و در یک بازار بدون آربیتراژ انجام داده‌اند. آن‌ها با ارائه یک مثال عددی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو^۳ به نتایجی کاملاً منطبق بر انتظارات دست یافته‌اند.

تروتیرو گودین^۴ (۲۰۱۹)، در مقاله‌ای، به ارائه رویکرد مبتنی بر یک مدل قیمت‌گذاری پرداخته‌اند که صرفاً چولگی،

1. Cox & Pedersen

3. Lee & Yu

4. Monte Carlo method

4. Trottier & Godin

همبستگی خودکار بازده و همچنین اثرهای ARCH (G)، فصلی بودن و تأثیر ناگهانی بلایای طبیعی را محاسبه می‌کند. نتایج تخمین، مفید بودن مدل تصادفی بازده اوراق قرضه CAT توسعه یافته را تأیید می‌کند.

ژائو و یو^۱ (۲۰۲۰)، در پژوهشی، از یک چارچوب قیمت‌گذاری تجربی برای به‌دست آوردن حق بیمه اضافی CAT Bonds به‌منظور نمایش پیش‌بینی‌های مبتنی بر بازار استفاده می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که زیان‌های واقعی CAT در دوره‌های آتی می‌تواند اسپردهای اضافی اوراق قرضه CAT را در بازار اولیه توضیح دهد و هنگام قیمت‌گذاری ریسک اوراق فاجعه‌آمیز تحت مدل ارائه شده، از کارایی بازار پشتیبانی کند.

هرمان و هیبِلن^۲ (۲۰۲۱)، در پژوهشی، یک چارچوب مفهومی برای قیمت‌گذاری اوراق قرضه فاجعه‌آمیز با استفاده از مدل اقتصادسنجی فصلی ارائه کرده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تا ۴۷ درصد از نوسان‌های بازار در اسپرد بازده اوراق قرضه طوفان تک‌خطر (طوفانی که به بلایای طبیعی دیگر منجر نشود) را می‌توان با این مدل توضیح داد.

لیو و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهش خود، با فرض استقلال ریسک بیمه از ریسک بازار مالی، از رویکرد قیمت‌گذاری بی‌تفاوتی با تابع عایدی نمایی برای به‌دست آوردن قیمت‌های درخواستی و پیشنهادی برای اوراق بهادار بیمه‌ای برای یک دوره استفاده کرده‌اند، سپس با استفاده از استقرا به عقب، آن را به یک مدل چند دوره‌ای گسترش داده‌اند. پس از اجرای مدل روی یک مثال تاریخی از اوراق زلزله، نتایج به‌دست آمده نشان دهنده همگرایی قیمت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل به قیمت‌های واقعی اوراق در بازار تحت شرایط مختلف زمانی و وقوع یا عدم وقوع حادثه است.

میستری و لومباردی^۳ (۲۰۲۲)، طی یک مطالعه تجربی با استفاده از مدل ریسک-خنثی، اقدام به قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای رشته زلزله با داده‌های واقعی کرده‌اند.

گرگانی، حداد و شهریار (۱۳۹۱) نرخ بهره بهینه اوراق قرضه فاجعه‌آمیز رشته بیمه آتش‌سوزی را با استفاده از نظریه مقدار کرانی برآورد کرده و به‌عنوان ابزاری برای مدیریت مؤثر ریسک‌های مرتبط با آتش‌سوزی به‌کار برده‌اند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد که با به‌کارگیری این رویکرد، می‌توان نرخ بهره‌ای را تعیین کرد که برای سرمایه‌گذاران جذاب باشد و در عین حال شرکت‌های بیمه را در برابر ریسک‌های فاجعه‌آمیز محافظت کند.

دهقان و همکاران (۱۳۹۷)، در یک پژوهش توصیفی نشان داده‌اند که، با توجه به ظرفیت‌های خوب موجود در بازار سرمایه و ارکان‌های فعال در حوزه انتشار اوراق با درآمد ثابت و همچنین نیاز صنعت بیمه برای دستیابی به بازارهای جدید جهت تأمین منابع مالی و انتقال ریسک، امکان طراحی و انتشار اوراق بلایای طبیعی در ایران وجود دارد.

حسنقلی‌پور، چیرانی، میربرگ‌کار و خردیار (۱۴۰۱)، در مقاله‌ای به بررسی چگونگی مدیریت ریسک حوادث فاجعه‌بار از طریق ابزارهای مالی انتقال ثانویه ریسک، مانند اوراق بهادار بیمه‌ای، پرداخته‌اند. در مطالعه آن‌ها یک چارچوب برای کاهش اثرهای مالی این حوادث بر شرکت‌های بیمه و سایر نهادهای مالی ارائه شده است. همچنین به نقش بازارهای مالی در توزیع بهتر ریسک و افزایش تاب‌آوری اقتصادی در برابر خسارات بزرگ پرداخته شده است.

1. Zhao & Yu

2. Herrmann & Hibbeln

3. Mistry & Lombardi

منتظری شورکچالی، حسینی، نصیری‌ا قدم و محمدی (۱۴۰۳) با هدف طراحی اوراق بهادار بیمه‌ای متناسب با شرایط بازار ایران، به بررسی امکان انتشار اوراق مازاد ضریب خسارت در رشته آتش‌سوزی پرداختند. آنان با استفاده از رهیافت‌های مارکوف - سوئیچینگ، سناریوسازی و محاسبه ارزش در معرض ریسک (VaR)، نشان دادند که طراحی این اوراق، می‌تواند ضمن تضمین اصل سرمایه خریداران (در جهت تطابق با ملاحظات فقهی)، بازدهی انتظاری بیشتری نسبت به نرخ بدون ریسک فراهم کند و با نرخ حق بیمه جذاب، زمینه‌ساز ورود ابزارهای ILS به بازار سرمایه ایران شود. این مطالعه همچنین به خلأ استفاده از ابزارهای انتقال ریسک در صنعت بیمه ایران به‌ویژه پس از تحریم‌ها و خروج بیمه‌گران اتکایی اشاره دارد.

در راستای جمع‌بندی مطالعات تجربی در زمینه قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی، به‌طور کلی مدل‌های موجود در این حوزه را می‌توان به چهار دسته اقتصادسنجی، اکچوئری، مطلوبیت‌محور و ریسک - خنثی تقسیم کرد. از آنجا که تاکنون شواهد مستندی مبنی بر انتشار ساختاریافته اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی در بازار سرمایه ایران گزارش نشده، استفاده از روش‌های اقتصادسنجی مبتنی بر داده‌های واقعی در داخل کشور با محدودیت مواجه است (منتظری شورکچالی و همکاران، ۱۴۰۳). مدل‌های اکچوئری که در شرکت‌های بیمه برای تعیین نرخ حق بیمه به‌کار می‌روند، معمولاً به‌جای استفاده از ساختارهای قراردادی رایج، تلاش می‌کنند با تعریف کلاس‌های ریسک، قراردادهای بیمه را به‌صورت اختصاصی برای هر بیمه‌گذار طراحی کنند. به همین دلیل، حق بیمه‌ای که از طریق طبقه‌بندی ریسک به‌دست می‌آید، عادلانه‌تر و متناسب‌تر با سطح ریسک فردی بیمه‌گذاران خواهد بود (بهادر، ۱۳۹۲). در مقابل، روش‌های مبتنی بر مطلوبیت بر این فرض تکیه دارند که بازارهای بیمه نقص دارند و کامل نیستند؛ به‌گونه‌ای که اندازه مارتینگل متناظر منحصر به فردی برای قیمت‌گذاری در آن‌ها وجود ندارد و این امر یافتن فرصت‌های آربیتراژ را با چالش مواجه می‌کند (هریسون و کریس^۱، ۱۹۷۹). همچنین، فرض ارزش‌گذاری ریسک‌خنثی، که مبتنی بر بی‌تفاوتی سرمایه‌گذاران نسبت به ریسک است، ابزار قدرتمندی برای قیمت‌گذاری مشتقات به‌شمار می‌رود.

با وجود انجام مطالعاتی در سطح بین‌المللی پیرامون قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای، در ایران با وجود اهمیت زیاد این ابزار و پیشنهاد‌های متعدد در راستای توسعه آن، مطالعه‌ای جامع که به‌طور دقیق به قیمت‌گذاری این اوراق بپردازد، به‌نحوی که هم پوشش‌دهنده ریسک شرکت‌های بیمه باشد و هم برای سرمایه‌گذاران جذابیت داشته باشد، انجام نشده است. با توجه به زلزله‌خیز بودن ایران و وقوع حوادث تلخی چون زلزله رودبار و بم، لزوم توجه به پوشش ریسک این‌گونه بلایای طبیعی از طریق اوراق بهادار بیمه‌ای با قیمت‌گذاری مناسب برای بازار سرمایه، بیش از پیش آشکار می‌شود (منتظری شورکچالی و همکاران، ۱۴۰۳).

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش با الهام از مدل‌های مطرح‌شده در مطالعات زی‌مب‌دیس و همکاران (۲۰۰۷)، شائو و همکاران (۲۰۱۵) و

(۲۰۱۷)، چارچوبی برای ارزش‌گذاری اوراق قرضه فاجعه‌آمیز طراحی شده است که در آن سه ریسک مالی شامل نرخ بهره واقعی، نرخ تورم و نرخ بهره بین‌بانکی، به همراه دو ریسک فاجعه‌آمیز شامل بزرگی و عمق زلزله، در کانون توجه قرار گرفته‌اند. در این مدل، حداکثر بزرگی زلزله در ایران به‌عنوان شاخص محرک اوراق در نظر گرفته شده است. فرایند مدل‌سازی و ارزش‌گذاری در سه مرحله اصلی و به‌شرح زیر صورت گرفته است:

مرحله اول) مدل‌سازی جریان‌های نقدی اوراق

در نخستین گام، ساختار جریان‌های نقدی اوراق قرضه فاجعه‌آمیز بر اساس سناریوهای وقوع زلزله و نوسان‌های متغیرهای اقتصادی طراحی شده است. پرداخت‌ها به دارندگان اوراق بسته به عبور بزرگی زلزله از یک سطح آستانه مشخص و وضعیت بازارهای مالی تعیین می‌شود.

مرحله دوم) تحلیل آماری ریسک‌ها و برآورد پارامترها

برای ریسک‌های فاجعه‌آمیز، از توزیع ارزش فرین تعمیم‌یافته (GEV) استفاده شده و پارامترهای آن با استفاده از داده‌های زلزله ثبت‌شده در ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ برآورد شده‌اند. برای ریسک‌های مالی، داده‌های نرخ بهره واقعی، نرخ تورم و نرخ بهره بین‌بانکی از منابع رسمی از جمله بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استخراج شده و پس از آزمون ایستایی و نرمال‌سازی، مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

مرحله سوم) شبیه‌سازی و قیمت‌گذاری اوراق

در مرحله سوم، با بهره‌گیری از فرایندهای زمان‌گسسته، مسیرهای احتمالی آتی برای ریسک‌های مالی و فاجعه‌آمیز شبیه‌سازی شده و قیمت اوراق با استفاده از رویکرد بدون آربیتراژ محاسبه شده است. کلیه مراحل تحلیل، شامل برازش توزیع‌ها، تخمین پارامترها، شبیه‌سازی و قیمت‌گذاری، با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری R انجام شده است.

مدل (پایه) یک دوره‌ای

در این بخش، یک مدل ساده یک دوره‌ای را ارائه می‌کنیم که در آن پویایی ریسک‌های مالی (نرخ بهره واقعی، نرخ تورم و نرخ بهره بین‌بانکی) ثابت است.

تابع عایدی اوراق قرضه در تاریخ سررسید با پیروی از شائو و همکاران (۲۰۱۵) به‌صورت زیر است:

$$d(R; M, D) = \begin{cases} K(1 + f(R)) , & M \in [0, \mu_1] ; D \leq \delta_1 \text{ or } D > \delta_1 \\ K(1 + g(R)) , & M \in]\mu_1, \mu_2] ; D \leq \delta_2 \text{ or } D > \delta_2 \\ K(1 + f(R)) , & M \in]\mu_2, \mu_3] ; D \leq \delta_3 \text{ or } D > \delta_3 \\ K , & M \in]\mu_3, \mu_4] \\ \emptyset(K) , & M \in]\mu_4, \mu_5] ; D \leq \delta_4 \text{ or } D > \delta_4 \\ \gamma(K) , & M \in]\mu_5, \mu_6] ; D \leq \delta_5 \text{ or } D > \delta_5 \\ \tau(K) , & M \in (\mu_6, \infty) \end{cases} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن K مبلغ اسمی اوراق قرضه فاجعه‌آمیز؛ r نرخ بهره واقعی بدون ریسک یک دوره‌ای (برای مثال نرخ بهره یک ساله)؛ π نرخ تورم دوره یک سال؛ R نرخ پرداخت کوپن تعیین شده برای دوره یک ساله با فرض اینکه رویداد فاجعه بار خاص رخ نمی‌دهد (به‌طور مثال نرخ بهره بین بانکی ۱۲ ماهه در تاریخ انتشار اوراق قرضه)؛ e پاداش اضافی برای تقبل ریسک زلزله (معمولاً مثبت برای سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر)؛ M بالاترین بزرگی زمین لرزه در هر سال در ایران؛ D عمق زمین لرزه بر حسب کیلومتر؛ $V(d)$ قیمت اوراق قرضه در زمان صدور و $d(R; M, D)$ تابع عایدی اوراق قرضه در تاریخ سررسید است. همچنین نقاط آغازگر (محرکه) $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6$ و $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5 \in R_+$ به‌ترتیب سطوح مربوط به بزرگی و عمق انتخاب شده برای زمین لرزه هستند و $\mu_1 < \mu_2 < \mu_3 < \mu_4 < \mu_5 < \mu_6$ و $\delta_1 < \delta_2 < \delta_3 < \delta_4 < \delta_5$ است. انتخاب $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6$ سطح اوراق بهادارسازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و هر شرکتی باید با تجزیه و تحلیل داده‌های تلفات زلزله تاریخی، بین سود و بازاریابی خود تعادل برقرار کند. در نهایت، توابع پرداخت کوپن (R) ، $g(R)$ ، $h(R)$ ، $\emptyset(K)$ ، $\gamma(K)$ و $\tau(K)$ بر اساس خط مشی شرکت طراحی می‌شوند. در اینجا یک مثال موردی بررسی می‌شود:

$$\begin{aligned}
 f(R) &= 2.6(\mathbb{I}_{\{D \leq \delta_1\}}) + 2.8(\mathbb{I}_{\{D > \delta_1\}}), \text{ for } M \in [0, \mu_1] \\
 g(R) &= 1.6(\mathbb{I}_{\{D \leq \delta_2\}}) + 2.8(\mathbb{I}_{\{D > \delta_2\}}), \text{ for } M \in]\mu_1, \mu_2] \\
 h(R) &= 0.5(\mathbb{I}_{\{D \leq \delta_3\}}) + 0.6(\mathbb{I}_{\{D > \delta_3\}}), \text{ for } M \in]\mu_2, \mu_3] \\
 \emptyset(K) &= 0.8(\mathbb{I}_{\{D \leq \delta_4\}}) + 0.85(\mathbb{I}_{\{D > \delta_4\}}), \text{ for } M \in]\mu_4, \mu_5] \\
 \gamma(K) &= 0.5(\mathbb{I}_{\{D \leq \delta_5\}}) + 0.6(\mathbb{I}_{\{D > \delta_5\}}), \text{ for } M \in]\mu_5, \mu_6] \\
 \tau(K) &= 0.2K \text{ for } M \in (\mu_6, \infty)
 \end{aligned}$$

رابطه ۲

در حالت یک دوره‌ای فرض می‌کنیم که K, r, π, R و e ثابت هستند. بنابراین، جریان نقدی مستقل از ریسک‌های مالی بوده و قیمت اوراق فاجعه‌آمیز به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$V(d) = \frac{1}{1 + (r + e)} \cdot \frac{1}{1 + \pi} \mathbb{E}^{\mathbb{P}}[d(R; M, D)]$$

رابطه ۳

که در آن $\mathbb{P}$ معیار احتمال مطابق با توزیع M و D است. باید توجه داشت که یکی از نرخ‌های بازار مالی $(r + e)$ یک انتقال نرخ بهره است که اوراق فاجعه‌آمیز را نسبت به اوراق قرضه‌های دارای بازدهی عادی جذاب‌تر می‌سازد. با امید ریاضی گرفتن از معادله فوق، قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز بر اساس رویکرد زی‌مب‌دیس و همکاران (۲۰۰۷) و مطابق نظریه قیمت‌گذاری تعادل به روش زیر تقریب زده می‌شود:

$$V(d) = \lim_{h \rightarrow \infty} V(d)^{(h)}$$

رابطه ۴

که در آن،

$$V(d)^{(h)} = \frac{1}{1+(r+e)} \frac{1}{1+\pi} \frac{1}{h} \sum_{l=1}^h d(R^{(l)}; M^{(l)}; D^{(l)}) \quad (\text{رابطه ۵})$$

بنابراین، مقدار $V(d)$ بر اساس معادله فوق و h بار تکرار، تقریب زده می‌شود.

مدل (پیشرفته) چنددوره‌ای

در چارچوب زمان گسسته، می‌توان علائم و نمادهای مدل‌های چنددوره‌ای را معرفی کرد. K ، e و توابع پرداخت کوپن $f(R)$ ، $g(R)$ ، $h(R)$ ، $\emptyset(K)$ ، $\gamma(K)$ و $\tau(K)$ دارای فرم مشابه با مدل یک دوره‌ای هستند. T تاریخ سررسید اوراق قرضه فاجعه‌آمیز و r_k نرخ سود بانکی یک ساله در زمان K است. به بیان دقیق‌تر، r_k بیانگر نرخ تنزیل سود سالانه یک جریان نقدی برای دوره $t+1$ است. فرض می‌کنیم نرخ بهره برای هر $k = 1, 2, \dots, T$ از یک مدل $ARIMA(1,0,1)$ با پارامترهای $(C_1, \theta_1, \alpha_1)$ پیروی می‌کند که نرخ سود را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. برای $r_k > 0$ داریم:

$$\Delta r_k = C_1 + \theta_1 \Delta r_{k-1} + \varepsilon_k + \alpha_1 \varepsilon_{k-1} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن، $\Delta r_k = r_k - r_{k-1}$ ، C_1 یک مقدار ثابت است و فرض می‌شود که اجزای خطای ε_k مستقل و متغیرهای دارای توزیع یکسان از یک نمونه از یک توزیع نرمال با میانگین صفر باشند. π_k نرخ تورم دوره یک ساله در زمان k است. فرض می‌کنیم نرخ تورم نیز برای هر $k = 1, 2, \dots, T$ از یک مدل $ARIMA(1,1,3)$ پیروی می‌کند. برای $\pi_k > 0$:

$$\pi_k = C_2 + \tilde{\varepsilon}_k + \alpha_2 \tilde{\varepsilon}_{k-1} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن، $\tilde{\varepsilon}_k$ متغیرهای تصادفی توزیع نرمال دارند و بیانگر نوفه سفید مدل هستند. R_k نرخ سود بین بانکی دوره یک ساله در زمان k است. فرض می‌کنیم فرایند نرخ سود بین بانکی $\{R_k: k \in [0, T]\}$ یک فرایند CIR است که با رابطه تفاضلی تصادفی زیر معین می‌شود:

$$dR_k = \alpha_3(\beta_3 - R_k)dk + \sqrt{R_k}\sigma_3 dW_k \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن، $\theta_3 = (\alpha_3, \beta_3, \sigma_3)$ پارامترهای مدل و W_k حرکت براونی استاندارد است. فرایند نرخ سود بین بانکی R_k در یک دامنه مثبت باقی می‌ماند که به وسیله تابع نشر $R_k\sigma_3^2$ تضمین می‌شود. M_k بالاترین بزرگی زمین لرزه در سال k در ایران $(k = 1, 2, \dots, T)$ ؛ D_k بزرگی زمین لرزه در سال k در ایران $(k = 1, 2, \dots, T)$ و $d(R_k; M_k, D_k)$ ارزش نقدی دریافت شده به وسیله دارنده اوراق در زمان $k = 1, 2, \dots, T$ که به صورت زیر تشکیل می‌شود:

رابطه ۹

$$d(R_k; M_k, D_k) = \begin{cases} Kf(R_k)\mathbb{I}_{\{0 \leq M_k \leq \mu_1\}} + Kg(R_g)\mathbb{I}_{\{\mu_1 \leq M_k \leq \mu_2\}} + Kh(R_k)\mathbb{I}_{\{\mu_2 \leq M_k \leq \mu_3\}} & \text{for } k = 1, 2, \dots, T-1 \\ K(1+f(R_k))\mathbb{I}_{\{0 \leq M_k \leq \mu_1\}} + K(1+g(R_k))\mathbb{I}_{\{\mu_1 \leq M_k \leq \mu_2\}} + K(1+h(R_k))\mathbb{I}_{\{\mu_2 \leq M_k \leq \mu_3\}} + \\ K\mathbb{I}_{\{\mu_3 \leq M_k \leq \mu_4\}} + \phi(K)\mathbb{I}_{\{\mu_4 \leq M_k \leq \mu_5\}} + \gamma(K)\mathbb{I}_{\{\mu_5 \leq M_k \leq \mu_6\}} + \tau(K)\mathbb{I}_{\{M_k > \mu_6\}} & \text{for } k = T \end{cases}$$

بنابراین،

رابطه ۱۰

$$\begin{aligned} \bar{d}(R_k; M_k; D_k) &= E^Q[d(k) | \mathcal{A}_k^{(1)}] \\ &= \begin{cases} E^Q[Kf(R_k)\mathbb{I}_{\{0 \leq M_k \leq \mu_1\}} + Kg(R_g)\mathbb{I}_{\{\mu_1 \leq M_k \leq \mu_2\}} + Kh(R_k)\mathbb{I}_{\{\mu_2 \leq M_k \leq \mu_3\}}] & \text{for } k = 1, 2, \dots, T-1 \\ E^Q[K(1+f(R_k))\mathbb{I}_{\{0 \leq M_k \leq \mu_1\}} + K(1+g(R_k))\mathbb{I}_{\{\mu_1 \leq M_k \leq \mu_2\}} + K(1+h(R_k))\mathbb{I}_{\{\mu_2 \leq M_k \leq \mu_3\}} + \\ K\mathbb{I}_{\{\mu_3 \leq M_k \leq \mu_4\}} + \phi(K)\mathbb{I}_{\{\mu_4 \leq M_k \leq \mu_5\}} + \gamma(K)\mathbb{I}_{\{\mu_5 \leq M_k \leq \mu_6\}} + \tau(K)\mathbb{I}_{\{M_k > \mu_6\}}] & \text{for } k = T \end{cases} \end{aligned}$$

فرض می‌کنیم متغیرهای تصادفی $\{\varepsilon_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ ، $\{D_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ ، $\{M_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ و فرایندهای تصادفی $\{\tilde{\varepsilon}_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ ، $\{R_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ ، $\{\pi_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ ، $\{r_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ و $\{W_k; k = 1, 2, \dots, T\}$ به‌طور متقابل مستقل هستند.

جریان‌های نقدی این اوراق قرضه فاجعه‌آمیز چند دوره‌ای به متغیرهای ریسک مالی و ریسک فاجعه بستگی دارد. بنابراین قیمت این اوراق قرضه فاجعه‌آمیز T دوره‌ای عبارت است از:

$$V(d) = E^{Q_1} \left[\sum_{k=1}^T \frac{1}{\prod_{s=0}^{k-1} [1 + r_s + e][1 + \pi_s]} \bar{d}(R_k; M_k; D_k) \right] \quad \text{رابطه ۱۱}$$

با فرض وجود امید ریاضی در معادله فوق قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز با استفاده از قانون قوی اعداد بزرگ می‌تواند تقریب شود:

$$V(d) = \lim_{h \rightarrow \infty} V(d)^{(h)} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که در آن،

$$V(d) = \frac{1}{h} \sum_{l=1}^h \sum_{k=1}^T \frac{1}{\prod_{s=0}^{k-1} [1 + r_s^{(l)} + e][1 + \pi_s^{(l)}]} \bar{d}(R_k^{(l)}; M_k^{(l)}; D_k^{(l)}) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

بنابراین، مشابه مدل یک دوره‌ای، ارزش $V(d)$ با ایجاد h حادثه تقریب می‌شود. در ادامه، از بزرگی و عمق آستانه‌ای $\delta_3 = 10$ ، $\delta_2 = 15$ ، $\delta_1 = 20$ و $\mu_6 = 7/4$ ، $\mu_5 = 7/0$ ، $\mu_4 = 6/6$ ، $\mu_3 = 6/2$ ، $\mu_2 = 5/8$ ، $\mu_1 = 5/4$ ، $\delta_5 = 10$ ، $\delta_4 = 10$ استفاده می‌شود. رویداد فاجعه‌بار ممکن است قبل از تاریخ سررسید T اتفاق بیفتد یا نیفتد. اوراق قرضه فاجعه‌آمیز با ارزش اسمی ۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال کوپن‌های (R) ، $g(R)$ و $h(R)$ را در انتهای هر دوره، اگر ماکزیمم شدت زمین لرزه اتفاق افتاده در این دوره در بازه‌های $[0, 5/4]$ ، $(5/4, 5/8]$ و $(5/8, 6/2]$ باشد، پرداخت خواهد کرد. در

صورتی که شدت زمین لرزه بیشتر از $6/2$ باشد، کوپنی پرداخت نخواهد شد. در تاریخ سررسید، اگر شدت زمین لرزه اتفاق افتاده در بازه‌های $[6, 6/7]$ ، $(7, 7/4]$ و $(7/4, \infty)$ باشد، اصل سرمایه به علاوه، به ترتیب، کوپن $\emptyset(Z)$ ، $\gamma(Z)$ و $\tau(Z)$ پرداخت خواهد شد.

یافته‌های پژوهش

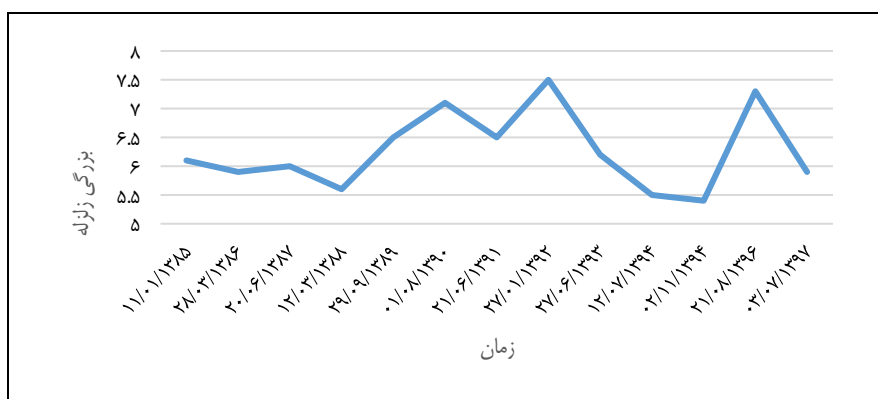
ابتدا به‌طور مختصر به بحث روی داده‌های مورد استفاده در مقاله می‌پردازیم.

جدول ۱. بزرگ‌ترین زمین لرزه‌های ایران در هر سال طی دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷

تاریخ	ساعت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق	بزرگی
۱۳۸۵/۰۱/۱۱	۰۱:۱۷:۰۲	۳۳/۵۱۴	۴۸/۸۴۹	۱۶	۶/۱
۱۳۸۶/۰۳/۲۸	۱۴:۰۹:۵۰	۳۴/۴۹۸	۵۰/۸۶۶	۱۴	۵/۹
۱۳۸۷/۰۶/۲۰	۱۱:۰۰:۳۵	۲۷/۰۰۲	۵۵/۸۲۹	۹/۵	۶
۱۳۸۸/۰۳/۱۲	۱۴:۳۹:۳۶	۴۰/۱۵۴	۵۲/۹۴۸	۲۳/۱	۵/۶
۱۳۸۹/۰۹/۲۹	۱۸:۴۱:۵۸	۲۸/۴۴۳	۵۹/۱۵۳	۱۳/۳	۶/۵
۱۳۹۰/۰۸/۰۱	۱۰:۴۱:۲۷	۳۸/۶۶۵	۴۳/۷۰۸	۱۸	۷/۱
۱۳۹۱/۰۶/۲۱	۱۲:۲۳:۱۵	۳۸/۳۹۳	۴۶/۸۰۶	۹	۶/۵
۱۳۹۲/۰۱/۲۷	۱۰:۴۴:۲۱	۲۸/۰۹	۶۲/۰۴	۹۲	۷/۵
۱۳۹۳/۰۶/۲۷	۰۲:۳۲:۰۴	۳۲/۷۱۱	۴۷/۶۳۸	۱۰	۶/۲
۱۳۹۴/۰۷/۱۲	۰۴:۴۹:۳۸	۴۰/۹۸۳	۴۷/۴۲۴	۲۳/۱	۵/۵
۱۳۹۴/۱۱/۰۲	۲۰:۵۱:۴۶	۲۸/۲۵۸	۵۵/۳۴۹	۱۵/۸	۵/۴
۱۳۹۶/۰۸/۲۱	۱۸:۱۸:۱۶	۳۴/۷۷۲	۴۵/۷۶۲	۱۸/۱	۷/۳
۱۳۹۷/۰۷/۰۳	۲۲:۱۳:۲۵	۳۴/۶۲۲	۴۶/۲۳۳	۸/۳	۵/۹

منبع: مؤسسه ژئوفیزیک، داده‌های مرکز لرزه نگاری

سری زمانی بزرگی مربوط به بزرگ‌ترین زمین لرزه‌های ایران به‌صورت زیر است:



شکل ۲. بزرگی مربوط به بزرگ‌ترین زمین لرزه‌های ایران طی دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، الگوی تغییرات در طول دوره زمانی مورد مطالعه تقریباً ثابت مانده است، بنابراین داده‌ها مشاهدات مستقل بوده و از توزیع GEV تبعیت می‌کنند (زیمیدیس و همکاران، ۲۰۰۷؛ شائو و همکاران، ۲۰۱۵).

برآورد حداکثر لگاریتم درست‌نمایی ارزش فرین تعمیم‌یافته (GEV) برای داده‌های فوق به صورت زیر است:

$$\text{رابطه (۱۴)} \quad (\text{Location, Scale, Shape}) = (\varepsilon, \sigma, \mu) = (6.2224199, 0.6224715, -0.3762557)$$

جدول ۲. برآورد حداکثر لگاریتم درست‌نمایی ارزش فرین تعمیم‌یافته (GEV) برای داده‌های بزرگ‌ترین زمین لرزه‌های ایران

حد پائین فاصله اطمینان ۹۵ درصد	مقدار برآورد شده	حد بالای فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
Location (ε)	۶/۲۲۲ (۰/۱۰۹)	۶/۰۰۸	۶/۴۳۶
Scale ($\hat{\sigma}$)	۰/۴۵۴ (۰/۰۸۵)	۰/۴۵۴	۰/۷۹۰
Shape ($\hat{\mu}$)	-۰/۳۷۶ (۰/۱۵۳)	-۰/۶۷۷	-۰/۰۷۴

منبع: یافته‌های پژوهش

که در آن، مقدار لگاریتم درست‌نمایی منفی برابر با ۳۹/۶۹۸ است. اعداد داخل پرانتز انحراف معیار پارامترهای برآورد شده را نشان می‌دهند. ماتریس واریانس - کواریانس پارامترها در جدول ۳ آورده شده است. قطر اصلی این ماتریس، پارامترها و سایر عناصر، کواریانس بین آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر کواریانس کوچک هستند؛ بنابراین بین متغیرها هم‌بستگی وجود ندارد.

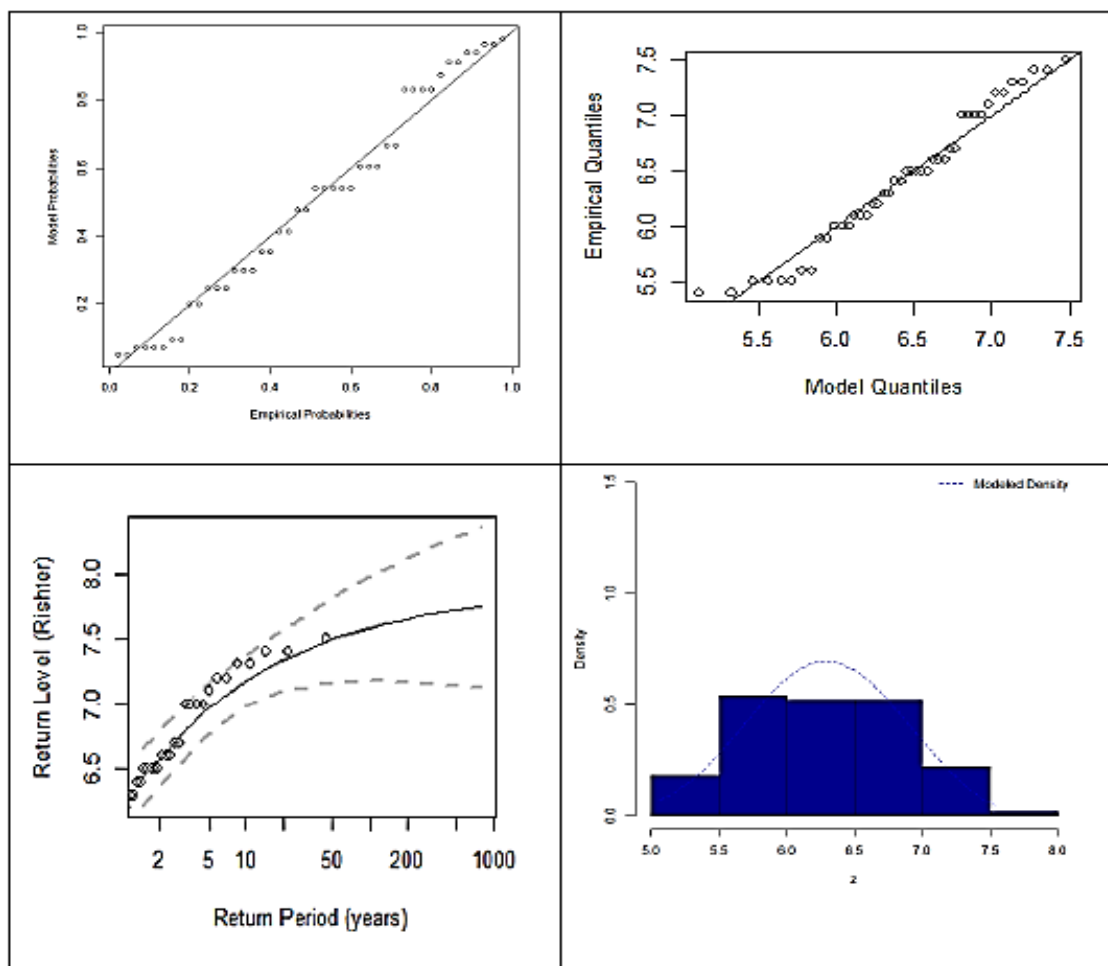
جدول ۳. ماتریس واریانس - کواریانس پارامترها

Shape ($\hat{\mu}$)	Scale ($\hat{\sigma}$)	Location ($\hat{\varepsilon}$)	
Location ($\hat{\varepsilon}$)	۰/۰۰۶	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۸
Scale ($\hat{\sigma}$)	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۹
Shape ($\hat{\mu}$)	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۲۳

منبع: یافته‌های پژوهش

تابع چگالی احتمال تابعی است که در مورد متغیرهای تصادفی پیوسته، احتمال نسبی وقوع مقادیر مختلف را توصیف می‌کند. این تابع نشان می‌دهد که در کدام نواحی از دامنه متغیر، مقادیر داده‌ها با احتمال بیشتری ظاهر می‌شوند. برای ارزیابی کیفیت برازش مدل GEV بر داده‌های بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های ایران، از مجموعه‌ای از آزمون‌های تشخیصی استاندارد استفاده شد که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده انطباق مطلوب مدل با داده‌های تجربی است. در این تحلیل، چهار نمودار کلیدی نشان داده شده در شکل ۳ برای ارزیابی کیفیت برآورد تابع چگالی استفاده شده‌اند. نخست، انطباق

دقیق منحنی چگالی مدل شده با شکل هیستوگرام (نمودار پایین راست) نشان‌دهنده برازش مناسب مدل با توزیع داده‌هاست. دوم، در نمودار چارک - چارک (Q-Q) (بالا راست)، چیدمان نقاط در امتداد خط مرجع نشان می‌دهد که کوانتایل‌های داده با توزیع نظری همخوانی دارند. سوم، نمودار احتمال (P-P) (بالا چپ) نیز با هم‌راستایی نقاط با خط مرجع، صحت تطابق احتمال‌های نظری و تجربی را تأیید می‌کند. چهارم، در نمودار سطح بازگشت (پایین چپ)، خطی بودن نقاط و قرارگیری آن‌ها در محدوده اطمینان ۹۵ درصد که از نظر آماری نیز معنادار است، حاکی از دقت مدل در توصیف داده‌های حدی است. در مجموع، هماهنگی این چهار نمودار نشان می‌دهد که مدل آماری مورد استفاده از برازش مطلوب و قابل اتکایی برخوردار است و تابع چگالی برآورده شده ساختار آماری متغیر را به‌خوبی منعکس می‌کند و نشان می‌دهد که مدل GEV، توصیف آماری معتبر و قابل اتکایی از رفتار زمین‌لرزه‌های شدید در ایران ارائه می‌دهد.



شکل ۳. آزمون‌های تشخیصی خوبی برازش مدل GEV مربوط به داده‌های بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های ایران

منبع: یافته‌های پژوهش

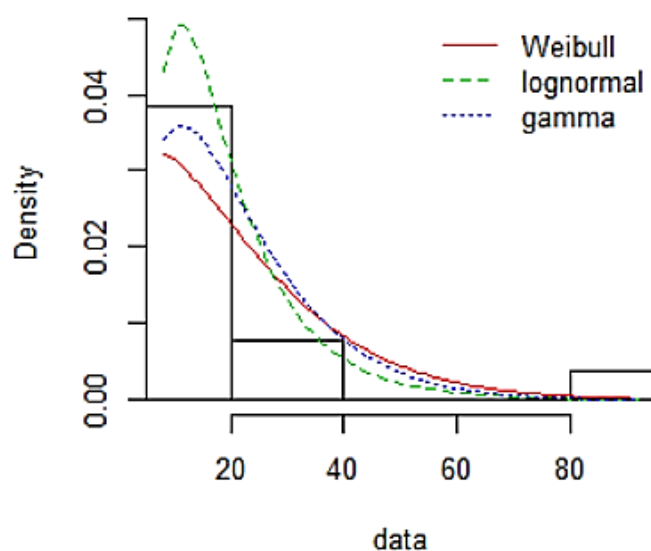
احتمال قرار گرفتن بزرگی زمین‌لرزه در دامنه‌های مختلف در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول ۴. احتمال قرار گرفتن بزرگی زلزله در دامنه‌های مختلف

دامنه	بزرگی
$P(5 < M \leq 5.4)$	۰/۰۴۰
$P(5.4 < M \leq 5.8)$	۰/۱۰۶
$P(5.8 < M \leq 6.2)$	۰/۱۹۴
$P(6.2 < M \leq 6.6)$	۰/۲۵۰
$P(6.6 < M \leq 7)$	۰/۲۲۵
$P(7 < M \leq 7.4)$	۰/۱۳۲
$P(M > 7.4)$	۰/۰۳۵

منبع: یافته‌های پژوهش

احتمال وقوع یک زمین‌لرزه بالاتر از ۶/۶ ریشتر در ایران ۳۹/۵ درصد است، بنابراین، می‌توان یک اوراق بهادار بیمه‌ای زلزله با ضمانت سرمایه ۶۰/۵ درصد صادر کرد. در ادامه، به تحلیل عمق زمین‌لرزه پرداخته می‌شود.



شکل ۴. چگالی عمق زمین‌لرزه بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های ایران طی دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که نمودار چگالی عمق زمین‌لرزه دارای چولگی سمت راست است؛ بنابراین توزیع گاما برازش بهتری دارد. برازش توزیع گاما به‌وسیله حداکثر درست‌نمایی مدل در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵. برآورد حداکثر لگاریتم درست‌نمایی توزیع برای داده‌های بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌های ایران

انحراف معیار	مقدار برآورد شده	
۰/۷۹۲	۲/۱۶۴	Shape
۰/۰۴۲	۰/۱۰۴	rate

منبع: یافته‌های پژوهش

این مدل واقعی است؛ زیرا زمین‌لرزه‌هایی که در نزدیکی سطح رخ می‌دهند، در مقایسه با زمین‌لرزه‌های عمیق‌تر دارای بزرگی بیشتری هستند (شائو و همکاران، ۲۰۱۵).

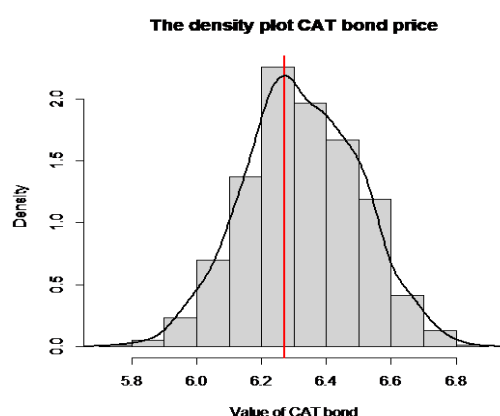
برای تعیین قیمت اوراق در حالت یک دوره‌ای، مفروضات ارزش اسمی اوراق برابر ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال، نرخ بهره اسمی یک‌ساله ۱۲ درصد، نرخ تورم ۱۵ درصد و نرخ بهره بین بانکی ۱۸/۵ را در نظر می‌گیریم و در هر کدام از حالت‌های پاداش ریسک ۵۰ درصد، ۲۰ درصد، ۱۰ درصد و ۵ درصد، قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز را محاسبه می‌کنیم. برای تحلیل و نتیجه‌گیری بهتر، نتایج به‌دست آمده در جدولی به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

جدول ۶. قیمت اوراق و مد قیمت‌ها در حالت یک دوره‌ای با تکرار شبیه‌سازی به دفعات ۵۰۰۰۰۰ بار

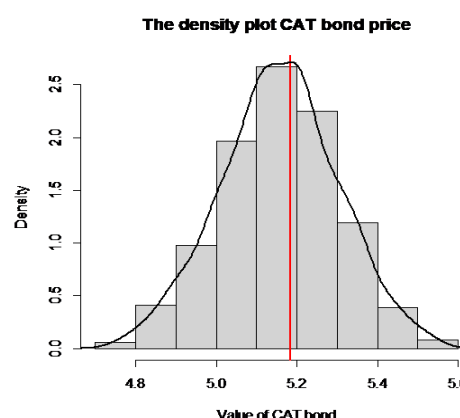
پاداش ریسک	قیمت اوراق	مد قیمت اوراق با تکرار شبیه‌سازی به دفعات ۵۰۰۰۰۰ بار
۵۰ درصد	۵/۱۵۷	۵/۱۸۴
۲۰ درصد	۶/۳۲۵	۶/۲۷۱
۱۰ درصد	۶/۸۴۸	۶/۸۹۵
۵ درصد	۷/۱۴۶	۷/۱۷۲

منبع: یافته‌های پژوهش

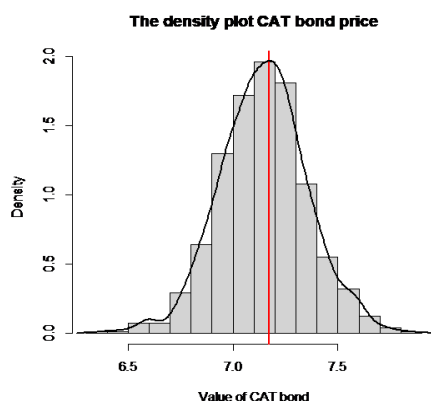
چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز، در نمودارهای زیر ارائه شده است:



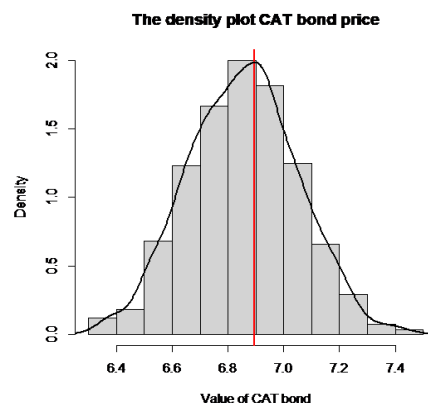
شکل ۶. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز در حالت پاداش ریسک ۲۰ درصد



شکل ۵. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز در حالت پاداش ریسک ۵۰ درصد



شکل ۸. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز
در حالت پاداش ریسک ۵ درصد



شکل ۷. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز
در حالت پاداش ریسک ۱۰ درصد

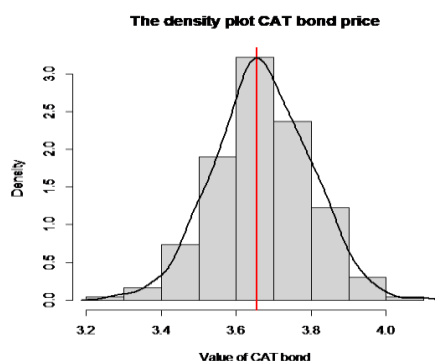
قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز در حالت چند دوره‌ای (پنج ساله)، با همان مفروضات حالت یک دوره‌ای و به‌ازای همان پاداش ریسک‌های قبلی به‌دست می‌آوریم:

جدول ۷. قیمت اوراق و مد قیمت‌ها در حالت چند دوره‌ای با تکرار شبیه‌سازی به دفعات ۵۰۰۰۰۰ بار

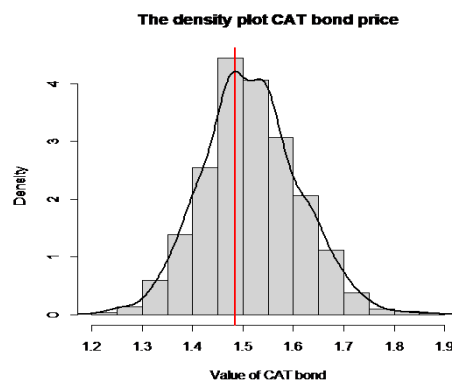
پاداش ریسک	قیمت اوراق	مد قیمت اوراق با تکرار شبیه‌سازی به دفعات ۵۰۰۰۰۰ بار
۵۰ درصد	۱/۵۱۴	۱/۴۸۴
۲۰ درصد	۳/۶۷۶	۳/۶۵۵
۱۰ درصد	۵/۳۷۲	۵/۳۵۸
۵ درصد	۶/۶۳۳	۶/۵۷۷

منبع: یافته‌های پژوهش

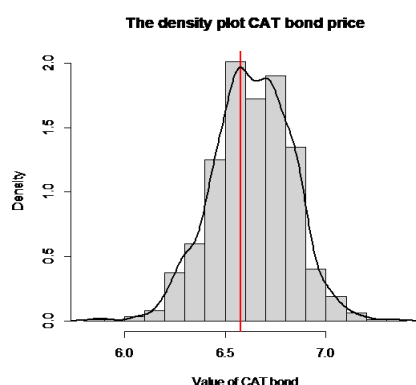
چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز، در نمودارهای زیر ارائه شده است:



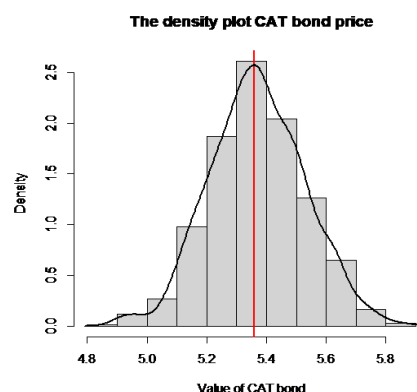
شکل ۱۰. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز
در حالت پاداش ریسک ۲۰ درصد



شکل ۹. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز
در حالت پاداش ریسک ۵۰ درصد



شکل ۱۲. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز
در حالت پاداش ریسک ۵ درصد



شکل ۱۱. چگالی قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز
در حالت پاداش ریسک ۱۰ درصد

در هر دو حالت یک‌دوره‌ای و چنددوره‌ای، از تئوری قیمت‌گذاری تعادلی برای تعیین قیمت اوراق استفاده شده است. به‌منظور ارزیابی پایداری محاسباتی مدل، الگوریتم قیمت‌گذاری در ابتدا به تعداد ۱۰۰ بار اجرا و ۱۰۰ مقدار شبیه‌سازی شده برای قیمت اوراق فاجعه‌آمیز تولید شد. سپس با افزایش دفعات اجرای الگوریتم تا ۱۰۰,۰۰۰ بار، مشاهده شد که واریانس مقادیر به‌دست‌آمده به‌طور محسوسی کاهش یافته و در نهایت به مقدار ۰/۳۱ رسید. این کاهش محسوس در پراکندگی نتایج، حاکی از سازگاری و کارایی محاسباتی مدل قیمت‌گذاری ریسک‌خشی مورد استفاده در این پژوهش است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش نسبت ریسک به پاداش، قیمت اوراق فاجعه‌آمیز کاهش می‌یابد؛ این روند کاملاً با مبانی نظری مالی و مطالعات تجربی پیشین هم‌راستا است.

نسبت ریسک به پاداش به‌عنوان معیاری کلیدی در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران، بیانگر سطح ریسکی است که سرمایه‌گذار حاضر است در ازای پاداش مورد انتظار بپذیرد؛ بنابراین افزایش این نسبت به کاهش تمایل سرمایه‌گذاران به خرید اوراق و به‌دنبال آن کاهش قیمت تعادلی آن‌ها منجر می‌شود. این یافته در چارچوب پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی نیز مستحکم است؛ برای نمونه، گرگانی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود در حوزه اوراق فاجعه‌آمیز بیمه آتش‌سوزی، کاهش قیمت اوراق در مواجهه با افزایش ریسک‌پذیری سرمایه‌گذاران را مستند ساخته‌اند. همچنین، زیمیدیس و همکاران (۲۰۰۷) با مدل‌سازی اوراق قرضه فاجعه‌آمیز در مواجهه با شوک‌های ریسک، رابطه معکوس بین ریسک مورد انتظار و قیمت اوراق را نشان داده‌اند. افزون‌براین، مطالعه پلاتن و تیلور^۱ (۲۰۱۶) با بهره‌گیری از چارچوب بارگذاری قیمت، به‌صورت نظری تأکید می‌کند که افزایش بار ریسک، ارزش بازار اوراق بلندمدت بیمه‌ای را کاهش می‌دهد. بر اساس این شواهد، نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نه تنها تأیید کننده یافته‌های معتبر پیشین است، بلکه با استفاده از داده‌های واقعی و مدل‌سازی ریسک‌خشی، زمینه‌ای کاربردی و مستحکم برای توسعه اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی در بازار سرمایه ایران فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، در قالب پوشش ریسک زلزله در کشور ایران، به موضوع قیمت‌گذاری اوراق بهادار فاجعه‌آمیز رشته زلزله پرداخته شده است. اگرچه مطالعات متعددی در زمینه اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی صورت گرفته است؛ اما قیمت‌گذاری این اوراق موضوعی است که به‌خصوص در ایران کمتر به آن پرداخته شده است. در این مطالعه، با استفاده از یک مدل پایه‌ای یک دوره‌ای و یک مدل پیشرفته چند دوره‌ای (برای دوره ۵ ساله)، به قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای رشته زلزله با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ اقدام شده است. در هر دو حالت، یک بار قیمت دقیق اوراق در حالت‌های پاداش ریسک ۵۰ درصد، ۲۰ درصد، ۱۰ درصد و ۵ درصد محاسبه شده و بار دیگر با تکرار این شبیه‌سازی به دفعات ۵۰۰,۰۰۰ بار مد قیمت اوراق با اجرای کد محاسباتی مختص هر مدل در محیط نرم‌افزار R به‌دست آمده است. با توجه به ثابت ماندن الگوی تغییرات در طول دوره زمانی مورد مطالعه، داده‌ها مشاهدات مستقل هستند؛ بنابراین توزیع GEV، مناسب‌ترین توزیع برای داده‌های مربوطه است. همچنین نتایج حاکی از آن است که با افزایش مقدار پاداش ریسک، قیمت اوراق بهادار بیمه‌ای رشته زلزله کاهش می‌یابد و این نتیجه، با بررسی دقیق نمودارهای چگالی موبوط به قیمت اوراق قرضه فاجعه‌آمیز رشته زلزله در هر دو حالت مدل پایه و پیشرفته، با تئوری‌های موجود در زمینه قیمت‌گذاری اوراق مطابقت کامل دارد. بنابراین، مدل ارائه شده، برای قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای اتکایی مناسب است.

در پژوهش‌های آتی، می‌توان از مدل ارائه شده برای قیمت‌گذاری سایر اوراق بهادار بیمه‌ای استفاده و نتایج را با تئوری‌های موجود در زمینه قیمت‌گذاری مقایسه کرد. همچنین، می‌توان در مطالعات بعدی، به‌منظور افزایش دقت هر چه بیشتر مدل‌ها، سایر عوامل اقتصادی مؤثر در قیمت‌گذاری را وارد مدل‌ها کرد.

ملاحظات و محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش گامی مهم در تحلیل و قیمت‌گذاری اوراق بهادار بیمه‌ای مبتنی بر داده‌های واقعی در بازار ایران برداشته است؛ اما محدودیت‌هایی را نیز دارد. نخست، دسترسی محدود به داده‌های گسترده در صنعت بیمه، به‌ویژه در رشته خاصی مانند زلزله، باعث شد دامنه تحلیل به برخی بازه‌های زمانی یا داده‌های خلاصه‌شده محدود شود. دوم، با توجه به نبود بازار ثانویه فعال برای این اوراق در ایران، امکان ارزیابی عملی مدل‌ها در شرایط واقعی بازار محدود بوده است. سوم، مدل‌های مبتنی بر نظریه ارزش فرین، معمولاً خوشه‌های زلزله و پس‌لرزه‌ها را نادیده می‌گیرند که می‌تواند به برآوردهای نادقیق منجر شود. همچنین استفاده از محرک‌های پارامتریک (مانند بزرگی زلزله) برای فعال‌سازی اوراق، ممکن است با خسارت واقعی هم‌راستا نباشد و «ریسک مبنایی» ایجاد کند. در نهایت، نتایج این مطالعه که بر بستر خاص بازار ایران بنا شده‌اند، برای تعمیم به سایر کشورها به احتیاط و بازنگری نیاز دارند.

قدردانی

نویسندگان بدین وسیله از بنیاد ملی علم ایران (INSF) به خاطر حمایت از این پژوهش در قالب طرح شماره ۴۰۲۳۹۷۹ سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

- بهادر، آزاده (۱۳۹۲). دیدگاه اکچوئری‌ها در خصوص قیمت‌گذاری محصولات بیمه‌ای، *تازه‌های جهان بیمه*، ۱۸۷، ۲۴-۲۷.
- پورابراهیمی، علیرضا؛ ساده‌وند، محمدجواد و بابالویان، شهرام (۱۳۹۵). اوراق بهادارسازی ریسک محصولات شرکت‌های بیمه عمر و بلایای طبیعی. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۵(۱۸)، ۱۷-۳۳.
- حسقلی‌پور، حسین؛ چیرانی، ابراهیم؛ میربرگ‌کار، سید مظفر و خردیار، سینا (۱۴۰۱). ارائه چارچوب مدیریت ریسک حوادث فاجعه‌بار به کمک ابزارهای مالی انتقال ثانویه ریسک. *تحقیقات مالی*، ۲۴(۲)، ۲۸۳-۳۰۶.
- دهقان، عبدالمجید؛ فهیمی، علیرضا و فرنی، پونه (۱۳۹۷). اوراق بهادارسازی بیمه بلایای طبیعی در صنعت بیمه ایران، *فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری*، ۷(۲۷)، ۲۷۷-۲۹۸.
- گرگانی، مصطفی؛ اصل‌حداد، احمد و شهریار، بهنام (۱۳۹۱). محاسبه نرخ بهره بهینه اوراق قرضه فاجعه‌آمیز بیمه رشته آتش‌سوزی کشور با استفاده از رویکرد نظریه مقدار کرانی. *تحقیقات مالی*، ۱۴(۱)، ۱۰۱-۱۱۶.
- منتظری شورکچالی، مجتبی؛ حسینی، سیدشمس‌الدین؛ نصیری اقدم، علی و محمدی، تیمور (۱۴۰۳). طراحی اوراق بهادار بیمه‌ای در صنعت بیمه ایران. *پژوهشنامه مدیریت اجرایی*، ۱۹(۴۳)، ۳۵-۶۰.

References

- Bahador, A. (2013). *Actuaries' perspective on insurance product pricing*. Insurance World Updates, 187, 24-27. (in Persian)
- Barrieu, P., Braun, A. & Makariou, D. (2024). Catastrophe bonds. In *Handbook of Insurance: Volume I* (pp. 169-195). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Braun, A., Schmeiser, H. & Schreiber, F. (2023). The evolution and outlook of the ILS market: From catastrophe bonds to emerging risks. *Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice*, 48(1), 32-56.
- Carayannopoulos, P. & Kalimipalli, M. (2003). Convertible bond prices and inherent biases. *The Journal of Fixed Income*, 13(3), 64-73.
- Cox, S. H. & Pedersen, H. W. (2000). Catastrophe risk bonds. *North American Actuarial Journal*, 4(4), 56-82.

- Cummins, J. D. & Weiss, M. A. (2009). Convergence of insurance and financial markets: Hybrid and securitized risk-transfer solutions. *Journal of Risk and Insurance*, 76(3), 493–545.
- Dehghan, A. M., Fahimi, A. & Farina, P. (2018). Catastrophe Bonds Securitization in Iran's Insurance Industry. *Investment Knowledge*, 7(27), 277-297. (in Persian)
- Gorgani, M., Asl Hadaad, A. & Shahryar, B. (2012). Calculation of the optimal interest rate of catastrophe bonds in fire insurance using the marginal utility theory approach. *Financial Research Journal*, 14(1), 101-116. (in Persian)
- Harrison, J. M. & Kreps, D. M. (1979). Martingales and arbitrage in multiperiod securities markets. *Journal of Economic Theory*, 20(3), 381–408. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(79\)90043-3](https://doi.org/10.1016/0022-0531(79)90043-3)
- Hasangholipoure, H., Chirani, E., Mirbargkar, S. M. & Kheradyar, S. (2022). Proposing a framework for catastrophic risk management through alternative risk transfer instruments. *Financial Research Journal*, 24(2), 283-306. (in Persian)
- Herrmann, M. & Hibbeln, M. (2021). Seasonality in catastrophe bonds and market-implied catastrophe arrival frequencies. *Journal of Risk and Insurance*, 88(3), 785-818.
- Kim, J., Lee, H. & Cho, S. (2025). Recent trends in insurance-linked securities markets: A systematic review. *Journal of International Financial Management*, 31(1), 12–29.
- Latuillerie, F. (2007). *Reeling in the years: VIF securitization, Fitch rating*, London.
- Lee, J. P. & Yu, M. T. (2002). Pricing default-risky CAT bonds with moral hazard and basis risk. *Journal of Risk and Insurance*, 25-44.
- Liu, H., Tang, Q. & Yuan, Z. (2021). Indifference pricing of insurance-linked securities in a multi-period model. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 793-805.
- Ma, Z. G. & Ma, C. Q. (2013). Pricing catastrophe risk bonds: A mixed approximation method. *Insurance: Mathematics and Economics*, 52(2), 243-254.
- Mistry, H. K. & Lombardi, D. (2022). Pricing risk-based catastrophe bonds for earthquakes at an urban scale. *Scientific Reports*, 12(1), 9729.
- Montazeri Shourekchali, M., Hosseini, S.S., Nassiri Aghdam, A. & Mohammadi, T. (2024). Designing insurance linked securities in Iran's insurance industry. *Macroeconomics Research Letter*, 19(43), 35-60. doi: 10.22080/mrl.2024.27745.2116 (in Persian)
- Morana, C. & Sbrana, G. (2019). Climate change implications for the catastrophe bonds market: An empirical analysis. *Economic Modelling*, 81, 274-294.
- Platen, E. & Taylor, D. (2016). Loading pricing of catastrophe bonds and other long-dated, insurance-type contracts [Preprint]. arXiv.

- Pourebrahimi, A., Babalooyan, S. & Sadehvand, M.J. (2016). Risk Securitization in Catastrophic and Life Insurance Policies. *Financial Economics*, 5(18), 17-33. (in Persian)
- Shao, J., Pantelous, A. & Papaioannou, A. D. (2015). Catastrophe risk bonds with applications to earthquakes. *European Actuarial Journal*, 5(1), 113-138.
- Shao, J., Papaioannou, A. D. & Pantelous, A. A. (2017). Pricing and simulating catastrophe risk bonds in a Markov-dependent environment. *Applied Mathematics and Computation*, 309, 68-84.
- Trottier, D. A. & Godin, F. (2019). A characterization of CAT bond performance indices. *Finance Research Letters*, 28, 431-437.
- Zhao, Y. & Yu, M. T. (2020). Predicting catastrophe risk: Evidence from catastrophe bond markets. *Journal of Banking & Finance*, 121, 105982.
- Zimbidis, A. A., Frangos, N. E. & Pantelous, A. A. (2007). Modeling earthquake risk via extreme value theory and pricing the respective catastrophe bonds. *ASTIN Bulletin: The Journal of the IAA*, 37(1), 163-183.