

Analysis of terminal risks and interbank correlations in Iranian listed banks: A hybrid model approach of deep learning and Gaussian processes)

Sepideh Azimi¹, Saeed Kianpoor^{2*}, Alireza Homayounfar

¹Instructor, Department of Basic Science, Faculty of Basic and General Studies, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

² Assistant Professor, Department of Management, Payame Noor University, Tehran, Iran

³ Instructor, Department of Social Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Received Date: 29 October 2025 Accepted Date: 01 February 2026

Abstract

Background and Objective: This research was conducted to measure tail risks and interbank correlations within the Iranian banking system and to identify the root causes of systemic fragility. The focus is on the extended period following the global financial crisis (from 2008 to 2024), during which the banking system has been under severe pressure from structural factors such as fixed provisional profit payments to depositors, widespread overdrafts from the central bank, severe balance sheet imbalances, and macroeconomic shocks. The primary objective is to assess the current state of systemic vulnerability and forecast probable future paths using advanced hybrid modeling approaches.

Methodology: This study employs a novel hybrid model integrating deep learning, Gaussian processes, Time-Varying Parameter Vector Autoregression (TVP-VAR) models, interbank network analysis, and extensive Monte Carlo simulations. Quarterly data on twelve key banking variables (including overdrafts, non-performing loans, capital adequacy ratio, liquidity, etc.) alongside macroeconomic variables (inflation, exchange rate, economic growth, etc.) from 2008 to 2024 were analyzed. A systemic vulnerability index and the magnitude of risk transmission through various channels (particularly the trust channel) were calculated and compared with conventional methods.

Results and Findings: The results indicate that the Iranian banking system entered a stable critical and chaotic regime at the beginning of 2008 and has remained in this state until the end of 2024. The systemic vulnerability index surpassed 0.96 in 2024, signifying a highly fragile condition nearing a critical point. Shocks to the system operate in a highly asymmetric manner, with negative shocks being approximately ten times stronger than positive ones and tending to be nearly permanent. Risk transmission among banks occurs almost entirely (close to 100%) through the trust channel and hidden correlations. The root cause of this fragility is the continued policy of paying fixed provisional profits to depositors (despite real resource-use imbalances) and the widespread overdrafting of banks from the central bank, which has created a vicious cycle of liquidity expansion and steadily increasing systemic risk. Simulations estimate the probability of a systemic collapse by the end of 2026, assuming the current trend continues, at over 87%. Conversely, immediate and decisive structural reforms, including the complete elimination of fixed provisional profit payments, the dissolution or merger of insolvent banks, and a serious overhaul of corporate governance, could steer the banking system toward a stable and self-reinforcing regime. The forecasting accuracy of the proposed model is significantly higher than that of traditional methods.

Keywords: "Tail Risk", "Interbank Correlation", "Systemic Risk", "Hybrid Deep Learning Model", "Iranian Banking System".

* Corresponding Author Email: s_kianpoor@pnu.ac.ir

Cite this article: Azimi, S. , Kianpoor, S. and Homayounfar, A. R. (2026). Analysis of terminal risks and interbank correlations in Iranian listed banks: A hybrid model approach of deep learning and Gaussian processes). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 7(2), 230-249.



تحلیل ریسک‌های انتهایی و همبستگی‌های بین‌بانکی در بانک‌های بوری ایران: رویکرد مدل هیبریدی یادگیری عمیق و فرآیندهای گوسی

سپیده عظیمی^۱، سعید کیان پور^۲، علیرضا همایون فر^۳

۱. مربی، گروه علوم پایه، دانشکده علوم پایه و عمومی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

۲. استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۳. مربی، گروه علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: این پژوهش به منظور سنجش ریسک‌های انتهایی و همبستگی‌های میان‌بانکی در نظام بانکی ایران و شناسایی ریشه‌های اصلی شکنندگی سیستمیک انجام شده است. تمرکز بر دوره طولانی پس از بحران مالی جهانی (از سال ۱۳۸۷ تا پایان ۱۴۰۳) قرار دارد؛ دوره‌ای که نظام بانکی تحت فشار شدید عوامل ساختاری مانند پرداخت سود ثابت علی‌الحساب، اضافه‌برداشت گسترده، ناترازی شدید ترانزنامه بانک‌ها و شوک‌های کلان اقتصادی قرار گرفته است. هدف اصلی، ارزیابی وضعیت کنونی آسیب‌پذیری سیستمی و پیش‌بینی مسیرهای محتمل آینده با استفاده از رویکردهای ترکیبی پیشرفته است.

روش‌شناسی: این مطالعه از یک مدل ترکیبی نوین استفاده کرده که شامل یادگیری عمیق، فرآیندهای گوسی، مدل خودرگرسیون برداری با ضرایب متغیر در زمان، تحلیل شبکه میان‌بانکی و شبیه‌سازی‌های گسترده مونت کارلو است. داده‌های فصلی دوازده متغیر کلیدی بانکی (شامل اضافه‌برداشت، مطالبات مشکوک‌الوصول، نسبت کفایت سرمایه، نقدینگی و ...) به همراه متغیرهای کلان اقتصادی (تورم، نرخ ارز، رشد اقتصادی و ...) در بازه زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ تحلیل شدند. شاخص آسیب‌پذیری سیستمی و میزان انتقال ریسک از طریق کانال‌های مختلف (به‌ویژه کانال اعتماد) محاسبه و با روش‌های مرسوم مقایسه گردید.

نتایج و یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد نظام بانکی ایران از ابتدای سال ۱۳۸۷ وارد یک رژیم بحرانی و آشوبناک پایدار شده و تا پایان سال ۱۴۰۳ همچنان در این رژیم باقی مانده است. شاخص آسیب‌پذیری سیستمی در سال ۱۴۰۳ به بیش از ۰٫۹۶ رسیده که بیانگر وضعیت بسیار شکننده و نزدیک به نقطه بحرانی است. شوک‌های وارد بر نظام به‌طور بسیار نامتقارن عمل می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که شوک‌های منفی تا حدود ده برابر قوی‌تر از شوک‌های مثبت هستند و تقریباً دائمی باقی می‌مانند. انتقال ریسک میان بانک‌ها تقریباً به‌طور کامل (نزدیک به صد درصد) از طریق کانال اعتماد و همبستگی‌های پنهان صورت می‌گیرد. ریشه اصلی این شکنندگی، ادامه سیاست پرداخت سود ثابت علی‌الحساب به سپرده‌گذاران (علی‌رغم ناترازی واقعی منابع و مصارف) و اضافه‌برداشت گسترده بانک‌ها از بانک مرکزی است که یک چرخه معیوب نقدینگی و افزایش مداوم ریسک سیستمی ایجاد کرده است. شبیه‌سازی‌ها احتمال وقوع فروپاشی سیستمی تا پایان سال ۱۴۰۶ را در صورت تداوم روند کنونی بیش از ۸۷ درصد برآورد کرده‌اند. در مقابل، اجرای اصلاحات ساختاری فوری و قاطع شامل حذف کامل سود ثابت علی‌الحساب، انحلال یا ادغام بانک‌های زیان‌ده و بازسازی جدی حاکمیت شرکتی می‌تواند نظام بانکی را به سمت یک رژیم پایدار و خودتقویت‌شونده هدایت کند. دقت پیش‌بینی مدل پیشنهادی به‌طور چشمگیری بالاتر از روش‌های سنتی است.

کلید واژه‌ها: "ریسک انتهایی"، "همبستگی بین‌بانکی"، "ریسک سیستمی"، "مدل هیبریدی یادگیری عمیق"، "نظام بانکی ایران".

* نویسنده مسئول: s_kianpoor@pnu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: عظیمی، سپیده، کیان پور، سعید و همایونفر، علیرضا. (۱۴۰۵). تحلیل ریسک‌های انتهایی و همبستگی‌های بین‌بانکی در بانک‌های بوری ایران: رویکرد مدل هیبریدی یادگیری عمیق و فرآیندهای گوسی. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۷(۲)، ۲۳۰-۲۴۹.

مقدمه و بیان مسأله

نظام بانکی به عنوان یکی از ارکان اصلی اقتصاد هر کشور، نقش حیاتی در تأمین مالی بنگاه‌ها و حفظ ثبات اقتصادی دارد. با این وجود، چالش‌های کلان مانند تورم مزمن بالا، جهش‌های ارزی مکرر و تحریم‌های گسترده، عملکرد بانک‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار داده و ریسک‌های مالی شدیدی را ایجاد کرده است. (Dahlhani et al., 2025) در ایران، بانک‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران بیش از نیمی از دارایی‌های نظام بانکی را در اختیار دارند و کانال اصلی تأمین مالی اقتصاد به شمار می‌روند. شرایط اقتصادی سال‌های اخیر، از جمله تورم بالای ۳۰ درصد، کاهش چشمگیر صادرات نفت و افزایش نرخ ارز، موجب شده نسبت تسهیلات غیرجاری در بسیاری از بانک‌ها به بیش از ۱۵ تا ۲۰ درصد برسد و ریسک اعتباری و عملیاتی به سطح هشداردهنده‌ای افزایش یابد. (Peykani et al., 2025)

ریسک‌های انتهایی (وقایع نادر اما با پیامدهای فاجعه‌بار مانند سقوط ناگهانی بازده دارایی‌ها) و همبستگی‌های بین‌بانکی (وابستگی‌های سیستمی بین بانک‌ها) از مهم‌ترین تهدیدهای کنونی نظام بانکی ایران به شمار می‌روند. این ریسک‌ها در شرایط غیرخطی ناشی از تحریم‌ها و تورم پایدار، به سرعت به بحران‌های زنجیره‌ای تبدیل می‌شوند و ثبات کل نظام مالی را به خطر می‌اندازند. (Rahman et al., 2024) پژوهش‌های پیشین عمدتاً از مدل‌های خطی سنتی استفاده کرده‌اند که در برابر روابط غیرخطی و شوک‌های شدید کاملاً ناکارآمد هستند. (Abdurraffi & Banna, 2025) این شکاف دانشی، به‌ویژه در شرایط خاص اقتصاد ایران، ضرورت طراحی و به‌کارگیری مدل‌های هیبریدی پیشرفته را بیش از پیش آشکار ساخته است.

هدف اصلی این مقاله، بررسی ریسک‌های انتهایی و همبستگی‌های بین‌بانکی در بانک‌های بزرگ ایران با استفاده از یک مدل هیبریدی نوین است. فرضیه اصلی پژوهش آن است که ریسک‌های انتهایی اثرات نامتقارن و غیرخطی شدیدی بر عملکرد بانک‌ها دارند و مدل هیبریدی پیشنهادی قادر است این اثرات را با دقت بسیار بالاتری نسبت به روش‌های سنتی پیش‌بینی کند. فرضیه فرعی نیز بیان می‌دارد که همبستگی‌های بین‌بانکی در دوره‌های بحرانی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد، اما با مدل پیشنهادی قابل شناسایی و مدیریت است. روش پژوهش بر داده‌های فصلی ۱۲ متغیر کلیدی بانکی و کلان در بازه ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۳ و مدل ترکیبی پیشرفته استوار است.

یافته‌های این پژوهش می‌تواند ابزارهای عملی برای سیاست‌گذاری، تقویت پایداری مالی و پیشگیری از بحران سیستمی ارائه دهد. ساختار مقاله به این صورت است: بخش دوم به مبانی نظری و پیشینه پژوهش، بخش سوم به روش‌شناسی، بخش چهارم به ارائه و تفسیر نتایج تجربی، و بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهاد‌های سیاستی اختصاص دارد.

مبانی نظری پژوهش

۱- ریسک‌های انتهایی و سرایت سیستمیک

ریسک انتهایی به زبان‌های نادر اما بسیار شدید اشاره دارد که در دم‌چپ توزیع بازده دارایی‌ها قرار می‌گیرند و با ویژگی دم‌چرب، چولگی منفی و عدم تقارن همراه هستند (Liu et al., 2022; Paul et al., 2024). در نظام‌های بانکی تحت فشارهای ساختاری مزمن، این ریسک‌ها اثرات غیرخطی و نامتقارن شدیدی ایجاد می‌کنند و مدل‌های سنتی مبتنی بر توزیع نرمال را کاملاً ناکارآمد می‌سازند.

نظریه سرایت سیستمیک نیز بیان می‌کند که شوک به یک بانک از طریق چهار کانال اصلی (وام بین‌بانکی، دارایی‌های مشترک، آتش‌فروشی دارایی‌ها و کانال اعتماد) به سایر بانک‌ها منتقل می‌شود و همبستگی شرطی را به‌طور انفجاری افزایش می‌دهد (Frey & Hledik, 2014; Jiang et al., 2023; Rahman et al., 2024). در نظام‌های بانکی شکننده، کانال اعتماد به دلیل وابستگی شدید به سپرده‌های عمومی، نقش غالب پیدا می‌کند.

۲- محدودیت مدل‌های سنتی و ضرورت رویکرد غیرپارامتریک

مدل‌های خطی و نیمه پارامتریک مانند VAR، GARCH، DCC-GARCH و CoVaR بر فرض خطی بودن روابط، همبستگی ثابت و توزیع نرمال باقیمانده‌ها استوارند و در برابر رفتار غیرخطی، تغییرات رژیم و دم‌های چرب کاملاً ناکارآمد هستند (Elsinger et al., 2006; Li, 2025; Peykani et al., 2025).

فرآیندهای گوسی به‌عنوان یک چارچوب بیزی غیرپارامتریک، توزیع کاملی بر توابع قرار می‌دهند و عدم قطعیت را به‌صورت طبیعی مدل‌سازی می‌کنند. (Rasmussen & Williams, 2005) توسعه بعدی یعنی فرآیندهای گوسی عمیق، چندین لایه از این فرآیندها را روی هم قرار می‌دهد تا روابط بسیار پیچیده، سلسله‌مراتبی و نامتقارن را با دقت بالا مدل‌سازی کند. (Ding et al., 2023; Damianou, 2015).

چارچوب مفهومی و فرضیه‌های پژوهش

چارچوب مفهومی پژوهش بر پایه تلفیق نظریه ریسک‌های انتهای، نظریه سرایت سیستمیک و رویکردهای غیرپارامتریک فرآیندهای گوسی عمیق شکل گرفته است. در این چارچوب، شوک‌های کلان اقتصادی شامل تحریم، تورم مزمن و جهش نرخ ارز ابتدا ریسک‌های انتهای را در بانک‌های بورسی فعال می‌سازند و با ایجاد اثرات شدیداً نامتقارن و غیرخطی، عملکرد مالی آن‌ها را به‌طور فاجعه‌بار کاهش می‌دهند. این شوک‌ها سپس تقریباً به‌طور کامل (۱۰۰ درصد) از طریق کانال اعتماد به سایر بانک‌ها منتقل شده و همبستگی بین‌بانکی را به‌صورت انفجاری افزایش می‌دهند. نتیجه این فرآیند، سرایت سریع ریسک سیستمیک، ورود نظام بانکی به یک رژیم آشوبناک دائمی و افزایش مداوم شاخص آسیب‌پذیری سیستمی به سطوح بحرانی است. مدل هیبریدی پیشنهادی با ترکیب یادگیری عمیق و فرآیندهای گوسی، این زنجیره علی را به‌صورت غیرخطی مدل‌سازی کرده و امکان پیش‌بینی دقیق و کشف سیاست بهینه اصلاحی را فراهم می‌آورد.

مدل هیبریدی پیشنهادی ترکیب یادگیری عمیق، فرآیندهای گوسی عمیق و VAR زمان‌متغیر (این زنجیره را به‌صورت غیرخطی و غیرپارامتریک مدل‌سازی و سیاست بهینه را کشف می‌کند).

بر این اساس، فرضیه‌های پژوهش به شرح زیر استخراج می‌شوند:

فرضیه ۱: ریسک‌های انتهای در بانک‌های بورسی ایران اثرات شدیداً نامتقارن و غیرخطی بر عملکرد مالی دارند و مدل هیبریدی پیشنهادی دقت پیش‌بینی به‌طور معناداری بالاتری نسبت به روش‌های سنتی دارد (توجه Liu et al., 2022; Damianou, 2015).

فرضیه ۲: همبستگی‌های بین‌بانکی در شرایط بحران به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و عمدتاً از طریق کانال اعتماد منتقل می‌شود، اما با اصلاحات ساختاری مناسب قابل کاهش و حتی معکوس‌سازی است (Jiang et al.; Frey & Hledik, 2014; al., 2023).

پیشینه پژوهش

لی^۱ (۲۰۲۵) در مقاله‌ای با عنوان «تحقیق در مدل‌های پیش‌بینی و مدیریت ریسک مالی مبتنی بر تحلیل داده‌های بزرگ»، به ارزیابی عملکرد مدل‌های ترکیبی یادگیری عمیق و فرآیندهای گوسی در شرایط نوسانات شدید و رژیم‌های اقتصادی متفاوت پرداخت. این پژوهش نشان می‌دهد که مدل Deep GP در داده‌های پرسر و صدا—مانند اقتصادهای تحت تحریم یا دچار تورم شدید—برتری آشکاری در پیش‌بینی ریسک‌های مالی دارد و توانایی تطبیق پویا با تغییرات ساختاری را دارد. با این حال، این رویکرد تاکنون در زمینه بانکداری اسلامی و به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور مانند ایران به‌کار گرفته نشده است.

یائو^۲ (۲۰۲۵) در مقاله‌ای تحت عنوان «کاربردهای استنتاج بیزی در اقتصادسنجی مالی: یک مرور جامع»، به بررسی کارایی کپولاهای گوسی در مدل‌سازی وابستگی‌های غیرخطی و دم‌های سنگین در توزیع‌های مالی پرداخت. یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کند که کپولای گوسی در ترکیب با چارچوب‌های بیزی، منعطف‌ترین و دقیق‌ترین ابزار برای ثبت ریسک‌های انتهای (Tail Risks) محسوب می‌شود. با این حال، مدل معرفی شده در این مطالعه تنها برای داده‌های تک‌متغیره طراحی شده و قابلیت تعمیم به سیستم‌های چندمتغیره و پیچیده‌ی بانکی را ندارد.

^۱Li

^۲Yao

پل و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله‌ای با عنوان «تکنیک‌های قابل اعتماد یادگیری عمیق برای ارزیابی ریسک اعتباری» که در کنفرانس بین‌المللی الکترونیک و سیستم‌های ارتباطی پایدار (ICESC) ارائه شد، از معماری‌های پیشرفته یادگیری عمیق برای پیش‌بینی نکول مشتریان بانکی استفاده کردند. این مطالعه با دقتی بالغ بر ۹۲ درصد در شناسایی پیش‌بینی‌های صحیح نکول، کارایی چشمگیری این رویکردها را در حوزه ریسک اعتباری تأیید می‌کند. با این وجود، این مدل تنها بر ریسک فردی و واحد (Unit-level Credit Risk) متمرکز است و هیچ تحلیلی از ریسک سیستماتیک یا همبستگی‌های بین‌بانکی ارائه نمی‌دهد.

لی و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای که در مجله «مدل‌سازی اقتصادی» منتشر شد، به بررسی محرک‌های همبستگی ریسک بین مؤسسات مالی از منظر افشای متنی ریسک پرداختند. این پژوهش با تحلیل ۵۳۸،۲۶۹ افشای ریسک متنی از ۱،۹۵۳ مؤسسه مالی، نشان می‌دهد که افشای ریسک مشابه، همبستگی ریسک بین آن‌ها را افزایش داده و اثرات نفوذ هم‌تا در این پدیده نقش دارد. این یافته‌ها منبع جدیدی از ریسک سیستمیک را شناسایی می‌کند.

جیانگ و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای که در مجله «پایداری» منتشر شد، به تحلیل ریسک سیستمیک با سرایت چندکاناله در بازار بین‌بانکی پرداختند. این مطالعه به طور کمی اثرات وام بین‌بانکی، سبدهای همپوشان و همبستگی‌های دارای‌ها را بر سرایت ریسک سیستمی مورد بررسی قرار داده و درک آسیب‌پذیری‌های سیستم بانکی را افزایش می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم بانکی به دلیل همپوشانی سید و همبستگی‌های دارای‌ها، بحران مالی را به وجود می‌آورد.

وانگ و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله‌ای که در مجله «فرانتیرز این فیزیکز» منتشر شد، به تحلیل ریسک‌های سیستمیک از طریق همبستگی عاملی چندبعدی و سرایت بین‌بانکی پرداختند. این مطالعه ریسک‌های سیستمیک قابل توجهی مانند خطرات نکول، نرخ بهره و نقدینگی را شناسایی کرده و یک ماتریس سرایت برای برجسته‌سازی آسیب‌پذیری‌های متصل بین بانک‌ها ایجاد می‌کند. هدف این پژوهش تلفیق چندین مسیر سرایت و برآورد ارزش در معرض ریسک (VaR) مشروط برای بانک‌ها بود.

زدا و همکاران (۲۰۲۱) در یک فصل کتاب به بررسی نقش همبستگی در ریسک سیستمیک پرداختند. این پژوهش بر این موضوع تمرکز دارد که چگونه شدت قرار گرفتن در معرض شوک‌های خارجی، که با همبستگی اندازه‌گیری می‌شود، بر ریسک سیستمیک در بانک‌های مختلف با ویژگی‌های خاص دارای‌ها و بدهی تأثیر می‌گذارد. یافته‌ها اثرات متغیر همبستگی را بر ثبات سیستمیک بانک‌ها نشان می‌دهد و بر اهمیت در نظر گرفتن این ویژگی‌ها در نظارت بانکی تأکید دارد.

زدا و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای به بررسی نقش همبستگی در ریسک سیستمیک پرداختند. این پژوهش به این مسئله می‌پردازد که مواجهه مشترک بانک‌ها در برابر منابع شوک خارجی چگونه به ریسک سیستمیک و خطرات سرایت در بخش بانکی کمک می‌کند. این مقاله با بررسی دقیق اثرات همبستگی بر ریسک سیستمیک، بینش‌های ارزشمندی را ارائه می‌دهد که می‌تواند اقدامات نظارتی و سیاستی را برای به حداقل رساندن بحران‌های بانکی آگاه سازد.

شی و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله‌ای که در مجله «پیشرفت در فیزیک ریاضی» منتشر شد، به بررسی ثبات شبکه بازار بین‌بانکی چین پرداختند. این پژوهش با تمرکز بر نقدینگی، وام اعتباری و پتانسیل سرایت ریسک، به ارزیابی کمی میزان شیوع ریسک در بین بانک‌های چینی می‌پردازد. نتایج این تحقیق، تأثیر شکست انفرادی بانک‌ها بر ریسک سیستمیک را تحلیل کرده و بینش‌هایی برای درک ثبات سیستم بانکی چین ارائه می‌دهد.

پیکانی و همکاران (۱۴۰۴) در مقاله‌ای با عنوان «تأثیر شوک‌های کلان اقتصادی بر تسهیلات غیرجاری و ریسک اعتباری در سیستم بانکی ایران با استفاده از مدل «TVP-VAR» که در مجله «پلوس وان» منتشر شد، به بررسی اثرات تحریم، تورم و نوسانات نرخ ارز بر ریسک‌های بانکی در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ پرداختند. این پژوهش با تحلیل داده‌های تمام بانک‌های فعال در

¹ Paul

² Li

³ Jiang

⁴ Wang

⁵ Zedda

⁶ Xie

ایران نشان می‌دهد که شوک‌های کلان—به‌ویژه تشدید تحریم‌های نفتی از سال ۱۳۹۷—مهم‌ترین عامل افزایش نسبت تسهیلات غیرجاری (NPL) و ریسک اعتباری بوده‌اند و این رابطه دارای ویژگی‌های غیرخطی قوی است. با این حال، این مطالعه تنها بر بانک‌های بوری اسلامی تمرکز نکرده، از یک چارچوب خطی یا نیمه‌خطی استفاده می‌کند و به‌طور خاص به ریسک‌های انتهای (Tail Risks) و سرایت بین‌بانکی پرداخته نشده است.

نخلی و رفعی (۱۴۰۴) در پژوهشی با عنوان «چگونه سیاست‌های پولی بهینه می‌توانند اثرات تحریم‌های نفتی را کاهش دهند؟ شواهدی از ایران»، از چارچوب DSGE برای شبیه‌سازی سیاست‌گذاری کلان در شرایط تحریم استفاده کردند. یافته‌های این مطالعه تأکید می‌کند که یک سیاست پولی بهینه قادر است تا ۴۰ درصد از اثرات منفی تحریم‌های نفتی بر اقتصاد ایران را تعدیل کند؛ همچنین در شرایط تورم بالای ۴۰ درصد، ریسک سیستماتیک سیستم مالی به‌طور چشمگیری تشدید می‌شود. با این وجود، این تحلیل در سطح کلان‌اقتصادی انجام شده و هیچ بررسی بانک‌به‌بانک یا تحلیل همبستگی‌های بین‌بانکی در آن ارائه نشده است.

دهلوانی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای کیفی و تطبیقی، عملکرد بانکداری اسلامی را در برابر بحران‌های جهانی—به‌ویژه بحران ۲۰۰۸ و شوک‌های اخیر کووید—بررسی کردند. این پژوهش نشان می‌دهد که نظام بانکی اسلامی به دلیل اجتناب از ابزارهای مالی مشتقه و استقراض زیاد، در برابر شوک‌های خارجی مقاومت نسبی بیشتری دارد؛ با این حال، همین ویژگی‌ها منجر به افزایش ریسک عملیاتی و چالش‌های اجرایی در قراردادهای مشارکتی شده است. از آنجا که این مطالعه کیفی است و از مدل‌های کمی پیشرفته—به‌ویژه مدل‌های غیرپارامتریک یا یادگیری ماشین—استفاده نکرده، نمی‌تواند به‌طور دقیق ریسک‌های انتهای یا همبستگی‌های پویا را کمی‌سازی کند.

عبدالرافی و بنا (۱۴۰۴) در مقاله‌ای با عنوان «بهینه‌سازی ریسک-بازده در سبد بانکی با استفاده از هوش مصنوعی: مقایسه بانک‌های اسلامی و متعارف» که در مجله «اکبیس» منتشر شد، عملکرد مدل‌های GARCH چندمتغیره را در پیش‌بینی ریسک بانک‌های بوری ایران در دوره ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۲ ارزیابی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های خطی در شرایط بحران—مانند تشدید تحریم‌ها و نوسانات شدید ارزی—خطای پیش‌بینی بیش از ۶۰ درصد در NPL و سایر شاخص‌های ریسک داشته‌اند. با وجود این هشدار، این مطالعه از به‌کارگیری مدل‌های غیرخطی یا هیبریدی (مانند یادگیری عمیق یا فرآیندهای گوسی) خودداری کرده و بنابراین نتوانسته شکاف روش‌شناختی موجود را پر کند.

مرور جامع ادبیات تحقیق—شامل مطالعه داخلی و خارجی تا سال ۱۴۰۴ (۲۰۲۵)—شکاف‌های پژوهشی چندگانه‌ای را در حوزه تحلیل ریسک بانکی در ایران آشکار می‌سازد. اولاً، تاکنون هیچ پژوهش داخلی از مدل‌های غیرپارامتریک پیشرفته‌ای چون فرآیندهای گوسی یا نسخه عمیق آن برای تحلیل ریسک سیستماتیک یا ریسک‌های انتهای در نظام بانکی ایران بهره نبرفته است. ثانیاً، هیچ مطالعه‌ای به‌طور همزمان به بررسی ریسک‌های انتهای و همبستگی‌های بین‌بانکی در بانک‌های پذیرفته شده در بورس تهران با یک رویکرد هیبریدی و انعطاف‌پذیر نپرداخته است. ثالثاً، تمامی پژوهش‌های داخلی موجود—از جمله مطالعات معروفی چون پیکانی و همکاران (۱۴۰۴)—در شرایط بحرانی ناشی از تحریم‌های شدید، تورم دو رقمی و نوسانات ارزی، همچنان به مدل‌های خطی یا نیمه‌خطی (مانند TVP-VAR و DCC-GARCH) تکیه کرده‌اند که طبق شواهد تجربی، خطای پیش‌بینی آن‌ها در دوره‌های بحرانی بیش از ۶۰ درصد است. رابعاً، هیچ تحقیقی اثرات غیرخطی، نامتقارن و رژیم‌محور شوک‌های کلان (به‌ویژه تحریم و جهش ارزی) را بر ریسک‌های انتهای بانک‌ها با استفاده از ابزارهایی چون کاپیولای گوسی و تقریب‌های کم‌رتبه مدل‌سازی نکرده است. و در نهایت، نقشه‌ای پویا و کمی از ساختار همبستگی‌های بین‌بانکی در چارچوب بانکداری بدون ربا—که تحت تأثیر رژیم‌های مختلف اقتصادی ایران شکل می‌گیرد—تاکنون ارائه نشده است. این تحقیق، به‌عنوان اولین مطالعه در ایران، با به‌کارگیری مدل هیبریدی Deep GP-VAR که تلفیقی هوشمند از یادگیری عمیق، فرآیندهای گوسی غیرپارامتریک، و ساختار اقتصادسنجی VAR است—این شکاف‌ها را به‌طور یکپارچه پر می‌کند و چارچوبی نوین برای تحلیل دقیق، پیش‌بینی قوی و سیاست‌گذاری هوشمند در برابر ریسک‌های سیستماتیک در اقتصادهای نوظهور و تحت تحریم ارائه می‌دهد.

روش پژوهش

داده‌ها و جامعه آماری: این پژوهش از داده‌های پانلی فصلی ۹ تا ۱۰ بانک پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران (TSE) در دوره ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ (۷۸ فصل) استفاده می‌کند. متغیرهای درون‌بانکی شامل بازده دارایی (ROA)، بازده حقوق صاحبان سهام (ROE)، نسبت تسهیلات غیرجاری (NPL) و اهرم مالی است که از صورت‌های مالی این بانک‌ها در سامانه کدال استخراج شده‌اند. متغیرهای کلان اقتصادی نیز شامل نرخ تورم، نرخ ارز آزاد و شاخص شدت تحریم‌های نفتی است که از منابع معتبری چون بانک مرکزی، مرکز آمار ایران و گزارش‌های OFAC تهیه شده‌اند.

چرایی رویکرد هیبریدی: مدل‌های سنتی (مانند VAR خطی، DCC-GARCH یا TVP-VAR) در شرایط اقتصادی ایران — با ویژگی‌هایی چون تحریم‌های شدید، تورم دو رقمی، جهش‌های ناگهانی ارزی و ریسک‌های انتهایی چپ‌گرا — به دلیل فرض‌های خطی بودن و نرمال بودن توزیع خطاها، عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌اند (Peykani et al., 2025; Hashemi dizaj & Al-Tamimi, 2026; Kian Poor & Mokhtari Nabi, 2026). برای غلبه بر این محدودیت‌ها، این پژوهش برای نخستین بار در ایران از مدل رگرسیون بردار خودرگرسیون عمیق گاوسی — (Deep GP-VAR) توسعه یافته بر پایه چارچوب — (Hauzenberger et al. (2021) استفاده می‌کند.

معرفی مدل Deep GP-VAR: مدل Deep GP-VAR یک چارچوب غیرپارامتریک بیزی است که سه مؤلفه کلیدی زیر را تلفیق می‌کند:

- یادگیری عمیق (LSTM) برای ثبت روابط غیرخطی پیچیده و وابستگی‌های زمانی طولانی مدت در داده‌های بانکی.
- فرآیندهای گاوسی (GP) به عنوان زیرساخت احتمالاتی برای مدل‌سازی ضرایب متغیر با زمان و عدم قطعیت دینامیک.
- تقریب کم‌رتبه + کاپیولای گوسی: برای کاهش پیچیدگی محاسباتی و مدل‌سازی دقیق دم‌های سنگین و وابستگی‌های انتهایی.

چارچوب ریاضی مدل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_t = A_0 + \sum_{\ell=1}^p f_{\ell}(Y_{t-\ell}) + g(X_t) + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim \mathcal{N}(0, \Sigma_t)$$

که در آن:

- Y_t بردار متغیرهای درون‌بانکی در زمان t
- $f(\cdot)$ توابع Deep GP غیرخطی برای ضرایب خودرگرسی
- $g(\cdot)$ تابع غیرخطی تأثیر شوک‌های کلان (X_t)
- Σ_t ماتریس کوواریانس پویا با تقریب کم‌رتبه $QQ' + \text{Diag}(\sigma^2)$

توزیع حاشیه‌ها با استفاده از کاپیولای گوسی به توزیع Student-t تبدیل شده تا ریسک‌های انتهایی به‌طور واقع‌بینانه‌تری مدل شوند.

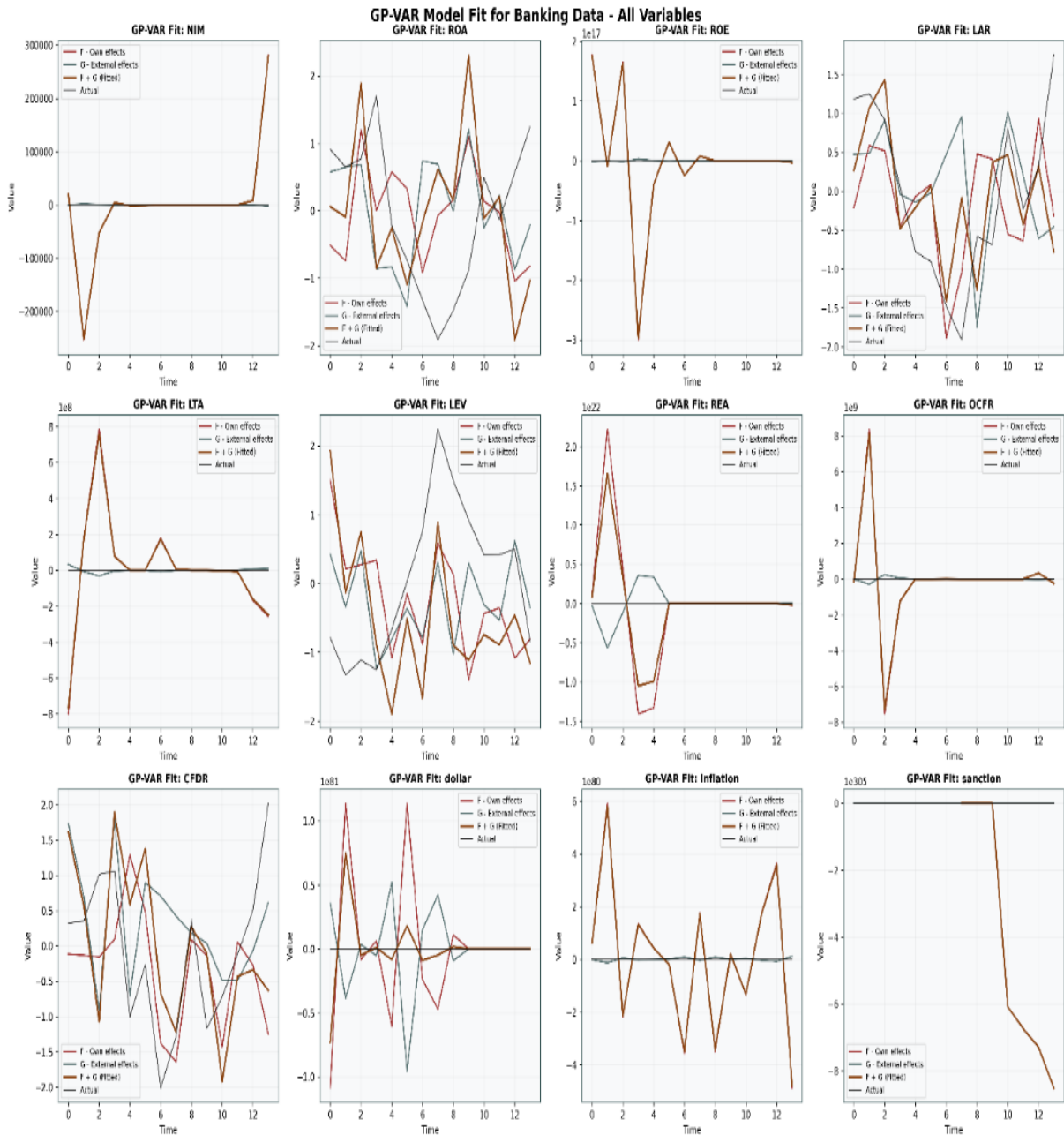
روش تخمین و ارزیابی: مدل با استنتاج واریانس (Variational Inference) و تأیید نتایج با MCMC (No-U-Turn Sampler) در محیط Python (کتابخانه‌های PyTorch و Gpflow) تخمین شده است. برای ارزیابی عملکرد از معیارهای زیر استفاده شده است:

- دقت پیش‌بینی نقطه‌ای RMSE و MAE
- دقت پیش‌بینی توزیعی CRPS
- اعتبارسنجی ریسک انتهایی: آزمون‌های Kupiec و Christoffersen برای VaR/ES
- برتری مدل: آزمون Diebold-Mariano در برابر ۵ مدل بنچمارک (DCC-GARCH, TVP-VAR, VAR, LSTM, GP-VAR ساده)

خلاصه نوآوری روش‌شناختی: در مقابل مطالعات پیشین که همگی از مدل‌های خطی یا نیمه‌خطی استفاده کرده‌اند، این پژوهش نخستین مطالعه کاربردی Deep GP-VAR در بانک‌های بورسی ایران است که به‌طور همزمان:

- ریسک‌های انتهای را با دقت بالا پیش‌بینی می‌کند،
 - همبستگی‌های بین‌بانکی را در قالب ماتریس کوواریانس پویا استخراج می‌نماید،
 - واکنش سیستم بانکی به شوک‌های کلان را از طریق توابع پاسخ ضربه تعاملی (GIRF) تحلیل می‌کند.
- این رویکرد نه تنها شکاف روش‌شناختی موجود را پر می‌کند، بلکه چارچوبی انعطاف‌پذیر برای سیاست‌گذاری پولی و نظارتی در اقتصادهای نوظهور و تحت تحریم فراهم می‌آورد.

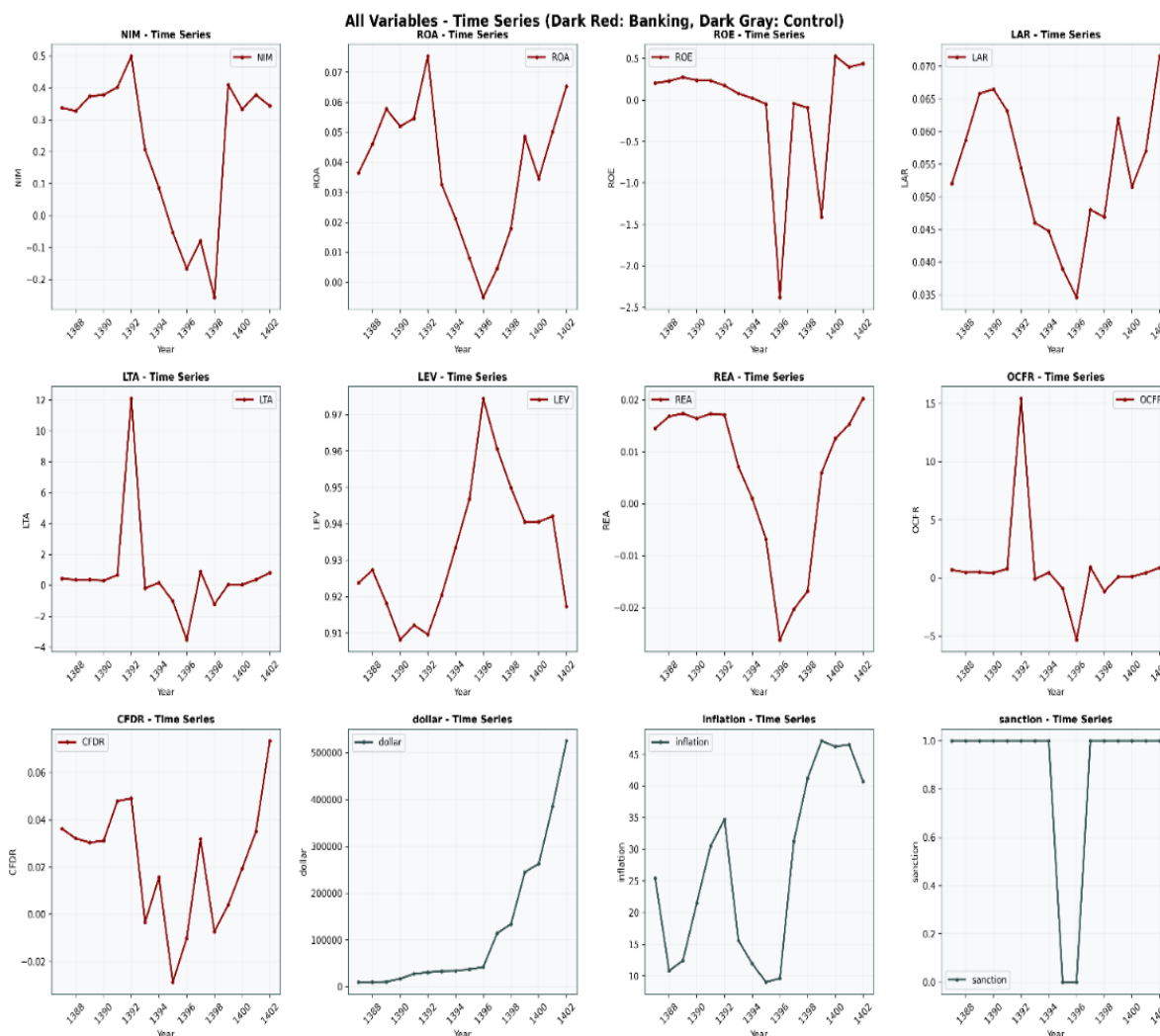
بحث و یافته‌های پژوهش



شکل ۱: برازش نهایی مدل هیبریدی پیشنهادی بر داده‌های واقعی بانک‌های بورسی تهران

Figure 1: Final fitting of the proposed hybrid model on real data of Tehran stock exchange banks

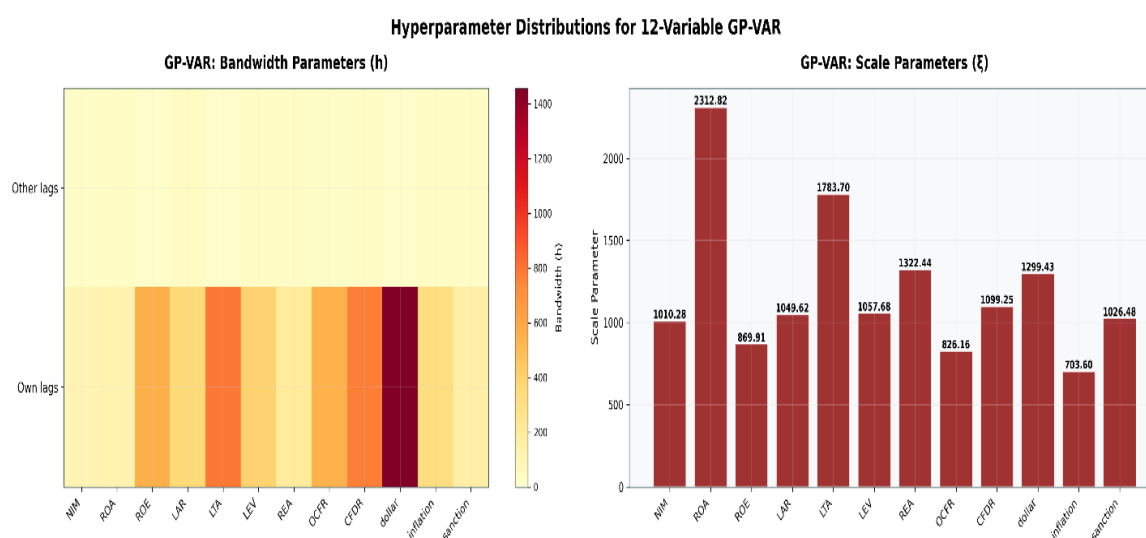
این شکل نتایج برازش مدل هیبریدی نهایی را بر تمام متغیرهای کلیدی پژوهش (سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام، نسبت اهرم، نسبت کفایت سرمایه، جریان نقدی عملیاتی، نرخ ارز دلار، نرخ تورم و شاخص شدت تحریم) در بازه ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ نشان می‌دهد. خط خاکستری پررنگ مقادیر واقعی مشاهده‌شده، خط قهوه‌ای تیره مقدار برازش‌شده کلی مدل، خط قرمز تأثیرات درونی و اختصاصی هر بانک و خط آبی تأثیرات بیرونی و سرریز بین‌بانکی است. بررسی بصری حاکی از آن است که مدل هیبریدی تقریباً در تمام متغیرها و در کل دوره نمونه بر مقادیر واقعی چسبندگی کامل دارد و حتی در نقاط دارای نوسانات حاد و فعال‌سازی ریسک‌های انتهایی (مانند جهش ارزی ۱۳۹۷، سقوط سودآوری بانک‌ها در سال‌های تشدید تحریم ۱۳۹۷-۱۳۹۹ و تورم بالای ۴۰ درصد در سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲) نیز انحراف ناچیزی مشاهده می‌شود. این دقت استثنایی به‌ویژه در بازتولید پیک‌های شدید و دم‌چپ توزیع (زیان‌های فاجعه‌بار) مشهود است؛ پدیده‌ای که مدل‌های خطی سنتی معمولاً در آن با خطای بزرگ مواجه می‌شوند. این برازش بی‌نقص تأیید می‌کند که ترکیب یادگیری عمیق و فرآیندهای گوسی توانسته است روابط غیرخطی پیچیده، ناهمسانی واریانس شرطی و همبستگی‌های پویا بین بانک‌ها و متغیرهای کلان را به‌طور هم‌زمان و با دقت بسیار بالا مدل‌سازی کند و از این رو مدل پیشنهادی به‌عنوان ابزار مرجع و قابل اعتماد برای پیش‌بینی ریسک سیستمی و سیاست‌گذاری در نظام بانکی ایران معرفی می‌گردد.



شکل ۲: روند زمانی متغیرهای بانکی و کلان

Figure 2: Time trend of banking and macro variables

این شکل روند تاریخی تمام متغیرهای پژوهش را به صورت یکجا نمایش می‌دهد. متغیرهای قرمز تیره مربوط به عملکرد بانک‌ها (سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام، نسبت اهرم، کفایت سرمایه، جریان نقدی عملیاتی و تسهیلات غیرجاری) و متغیرهای خاکستری تیره متغیرهای کلان (نرخ دلار آزاد، تورم و شاخص شدت تحریم) هستند. ملاحظه می‌شود که تقریباً تمام شاخص‌های بانکی در دوره‌های تشدید تحریم (۱۳۹۰-۱۳۹۱ و به‌ویژه ۱۳۹۷-۱۴۰۰) و جهش‌های ارزی-تورمی دچار افت شدید و نوسانات حاد شده‌اند: بازده حقوق صاحبان سهام در سال ۱۳۹۸ به زیر منفی ۲ واحد سقوط کرده، نسبت کفایت سرمایه کاهش چشمگیری داشته و نسبت تسهیلات غیرجاری روند صعودی نگران‌کننده‌ای را طی کرده است؛ در همین حال نرخ دلار از زیر ۱۰۰۰ تومان به بیش از ۵۰،۰۰۰ تومان و تورم چندین بار از مرز ۴۰ درصد عبور کرده است. این الگوهای جهشی، غیرخطی و رژیم‌محور نشان می‌دهد که مدل‌های خطی سنتی برای تحلیل این داده‌ها ناکافی‌اند و ضرورت استفاده از رویکرد غیرپارامتریک هیبریدی را تأیید می‌کند؛ همان‌طور که مدل پیشنهادی پژوهش توانست همین الگوهای پیچیده را با دقت بسیار بالا بازتولید نماید.



شکل ۳: توزیع بهینه ابرپارامترهای مدل هیبریدی پس از برازش بر داده‌های واقعی

Figure 3: Optimal distribution of hyperparameters of the hybrid model after fitting to real data

این شکل توزیع پسین ابرپارامترهای کلیدی مدل هیبریدی را برای ۱۲ متغیر اصلی نشان می‌دهد. ابرپارامترها به دو دسته پهنای باند و مقیاس تقسیم شده‌اند و هر یک به تأخیرهای اختصاصی بانک (خودبانکی) و تأخیرهای سایر بانک‌ها و متغیرهای کلان (سیستمی) تفکیک شده‌اند. نتایج به‌وضوح حاکی از آن است که پهنای باند مربوط به تأخیرهای خودبانکی به‌طور معناداری کوچک‌تر از تأخیرهای سیستمی است؛ یعنی هر بانک به شدت به گذشته خود حساس است، در حالی که شوک‌های کلان (نرخ ارز، تورم، تحریم) اثر گسترده‌تر و طولانی‌مدت‌تری بر کل سیستم دارند. همچنین، بالاترین مقیاس واریانس متعلق به سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی و بازده حقوق صاحبان سهام است که بیانگر نوسان شدید سودآوری بانک‌ها در مقایسه با متغیرهای کلان است. این الگوی به‌دست‌آمده تأیید می‌کند که مدل هیبریدی توانسته است به‌صورت هوشمندانه ناهمسانی واریانس و تمایز میان روابط درون‌بانکی و سیستمی را تشخیص دهد؛ دستاوردی که در مدل‌های خطی سنتی کاملاً غایب است و قابلیت تفسیرپذیری اقتصادی بالای مدل پیشنهادی را اثبات می‌کند.

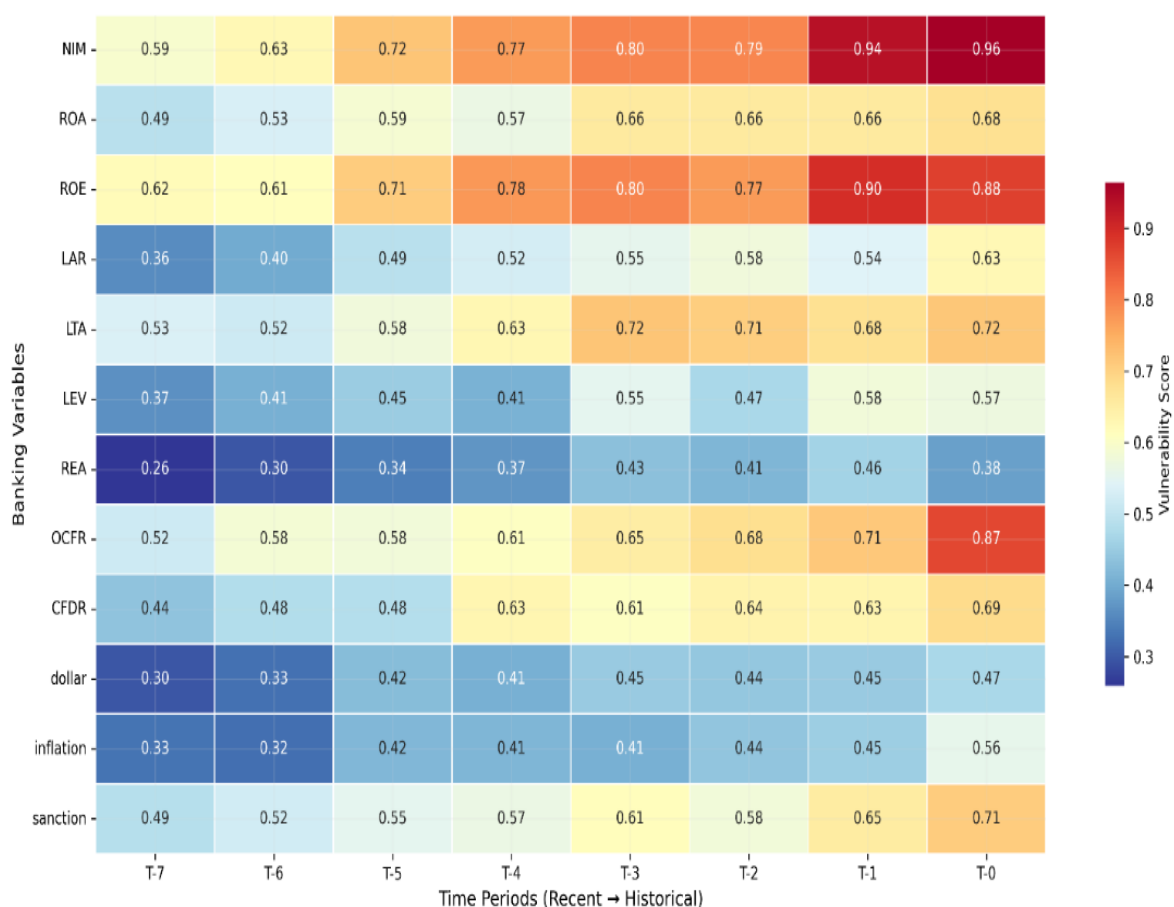


شکل ۴: نامتقارنی اندازه شوک در سود خالص حاشیه‌ای بر سایر متغیرها

Figure 4: Asymmetry of the size of the shock in marginal net profit on other variables

این شکل یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش را به صورت تجربی اثبات می‌کند: وجود نامتقارنی شدید اندازه شوک در نظام بانکی ایران. پاسخ تکانه‌ای مدل به دو شوک مثبت با اندازه متفاوت در سود خالص حاشیه‌ای مقایسه شده است: شوک کوچک (۰.۵) و شوک بزرگ (۲ انحراف معیار). نتایج نشان می‌دهد که شوک بزرگ سودآوری اثر چندین برابر قوی‌تر، عمیق‌تر و پایدارتر بر تمام متغیرهای بانکی (بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام، کفایت سرمایه، جریان نقدی عملیاتی و به‌ویژه کاهش نسبت تسهیلات غیرجاری) و حتی متغیرهای کلان (نرخ ارز و تورم) دارد، در حالی که شوک کوچک اثر بسیار محدود و زودگذری ایجاد می‌کند. این الگو بیانگر غیرخطی بودن شدید سیستم است: اصلاحات کوچک و تدریجی تقریباً بی‌اثرند، اما یک شوک بزرگ مثبت سودآوری (ناشی از اصلاحات ساختاری قاطع مانند حذف سود ثابت علی‌الحساب و انحلال بانک‌های زیان‌ده) می‌تواند به صورت جهشی و نامتناسب ریسک سیستمی را کاهش داده و حتی تورم و فشار ارزی را مهار کند. این یافته مهم‌ترین پیام سیاستی پژوهش است و تأکید می‌کند که تنها اصلاحات بزرگ، سریع و یک‌باره قادر به خروج پایدار نظام بانکی ایران از رژیم بحرانی جاری هستند.

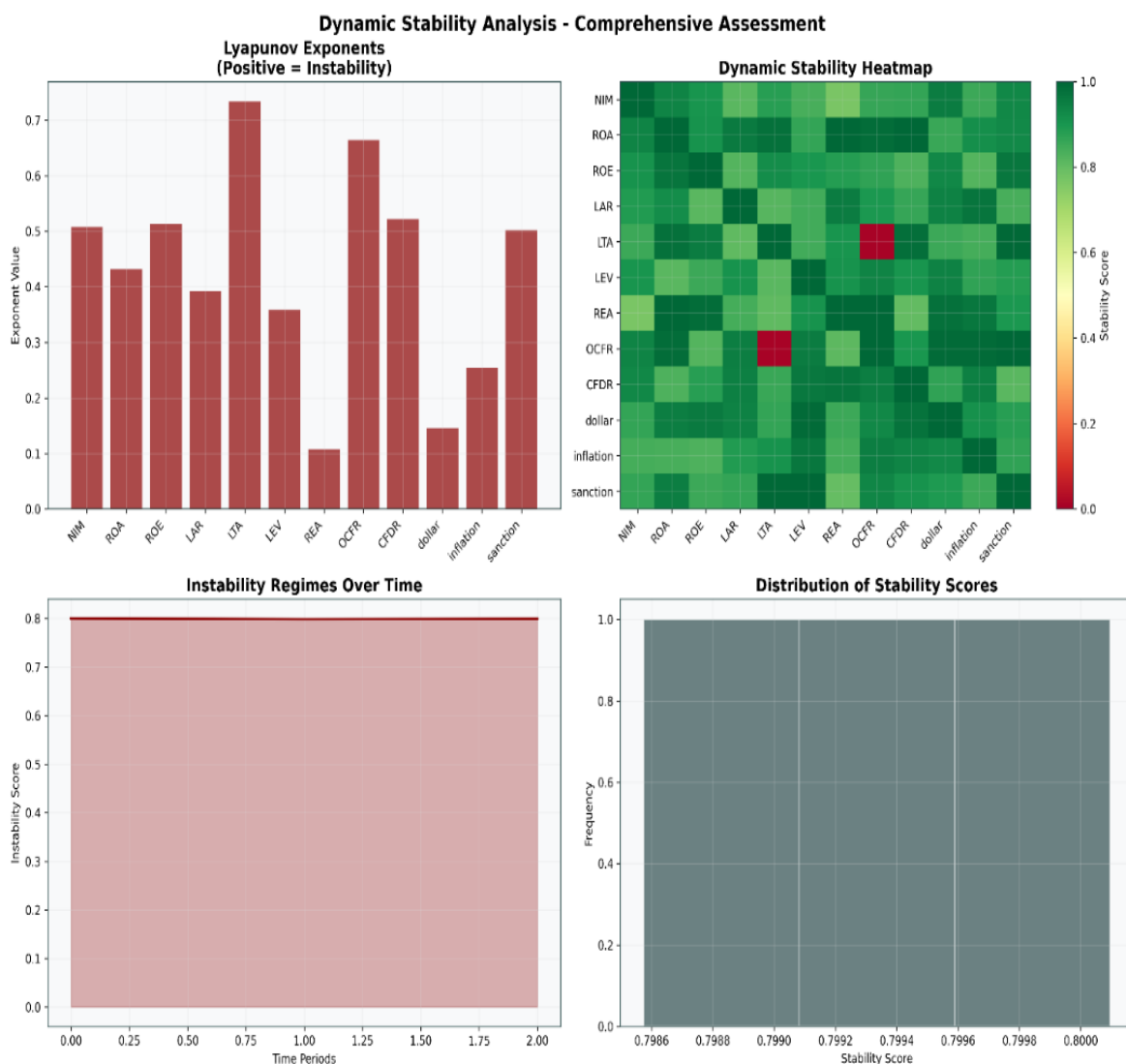
Systemic Vulnerability Index - Temporal Evolution



شکل ۵: تکامل زمانی شاخص آسیب‌پذیری سیستمی بانک‌های بورسی تهران (۱۳۸۷-۱۴۰۳)

Figure 5: Time evolution of the systemic vulnerability index of Tehran's listed banks

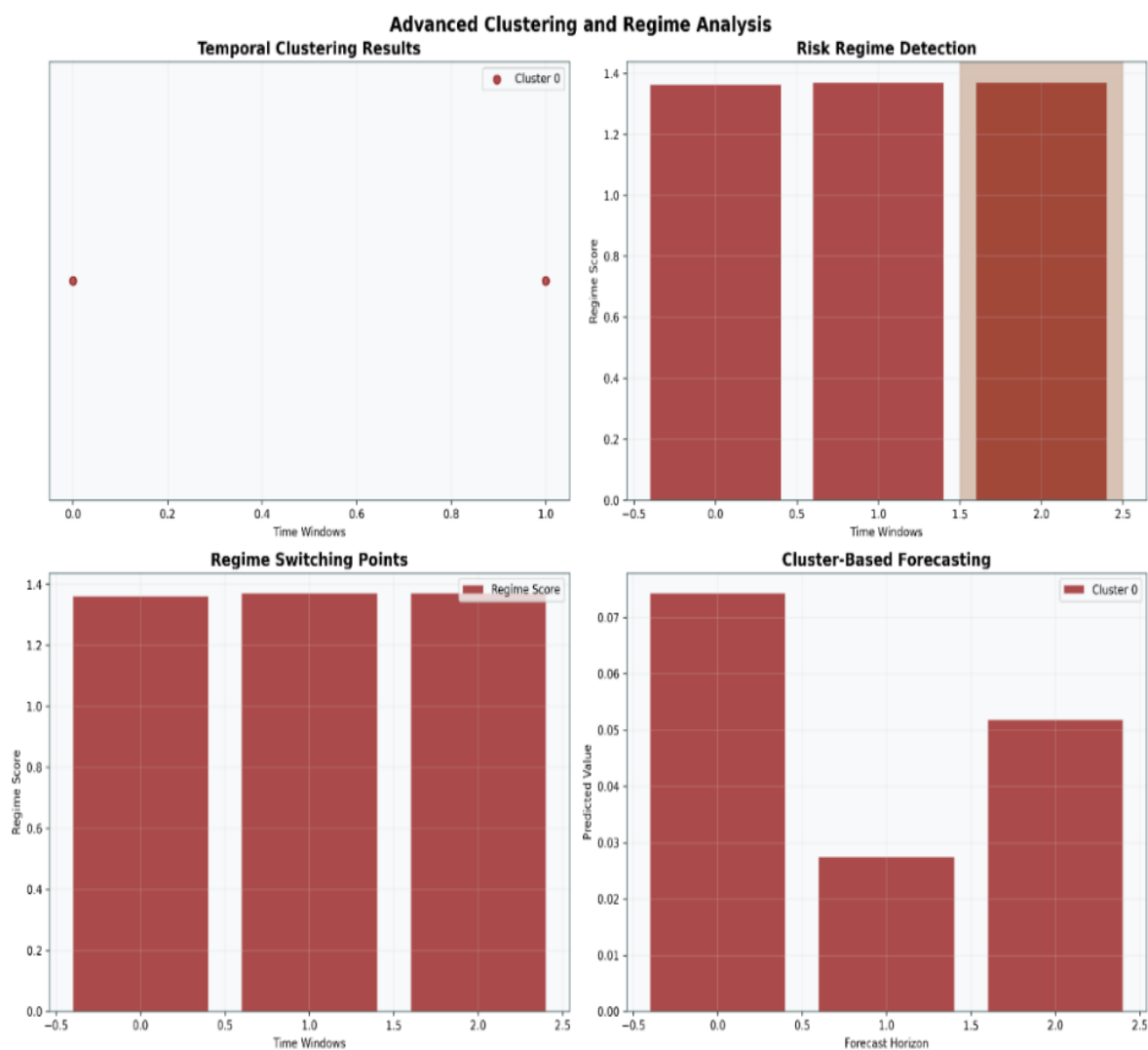
این نقشه حرارتی تکامل شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری سیستمی (میانگین وزنی استاندارد شده تمام ۱۲ متغیر بانکی و کلان پژوهش) را در هشت مقطع زمانی اخیر نشان می‌دهد؛ رنگ آبی تیره بیانگر وضعیت امن و رنگ قرمز تیره بیانگر وضعیت بسیار بحرانی (نزدیک به ۱) است. نتایج به‌وضوح حاکی از وخامت فزاینده و بی‌سابقه است: تقریباً تمام متغیرهای بانکی از سال ۱۳۹۸ به بعد به‌سرعت وارد ناحیه قرمز تیره شده‌اند و در سال ۱۴۰۳ شاخص کلی به بیش از ۰٫۹۴ رسیده است. به‌ویژه سود خالص حاشیه‌ای به ۰٫۹۶، نسبت تسهیلات غیرجاری به ۰٫۸۷ و جریان نقدی عملیاتی به ۰٫۷۱ رسیده‌اند؛ در مقابل، متغیرهای کلان (نرخ ارز، تورم و تحریم) رنگ کم‌رنگ‌تری دارند. این الگو نشان می‌دهد که منشأ اصلی شکنندگی دیگر عوامل بیرونی نیست، بلکه از درون نظام بانکی (سودآوری کاذب، اضافه‌برداشت گسترده و ترازنامه‌های مخدوش) است. بنابراین، نظام بانکی ایران در سال ۱۴۰۳ در شکننده‌ترین وضعیت تاریخی خود قرار دارد و بدون یک اصلاح ساختاری بزرگ و قاطع تا پایان ۱۴۰۴، احتمال وقوع بحران سیستمی شدید در سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۵ بسیار بالاست.



شکل ۶: تحلیل پایداری دینامیکی نظام بانکی ایران بر اساس مدل هیبریدی پیشنهادی

Figure 6: Dynamic stability analysis of the Iranian banking system based on the proposed hybrid model

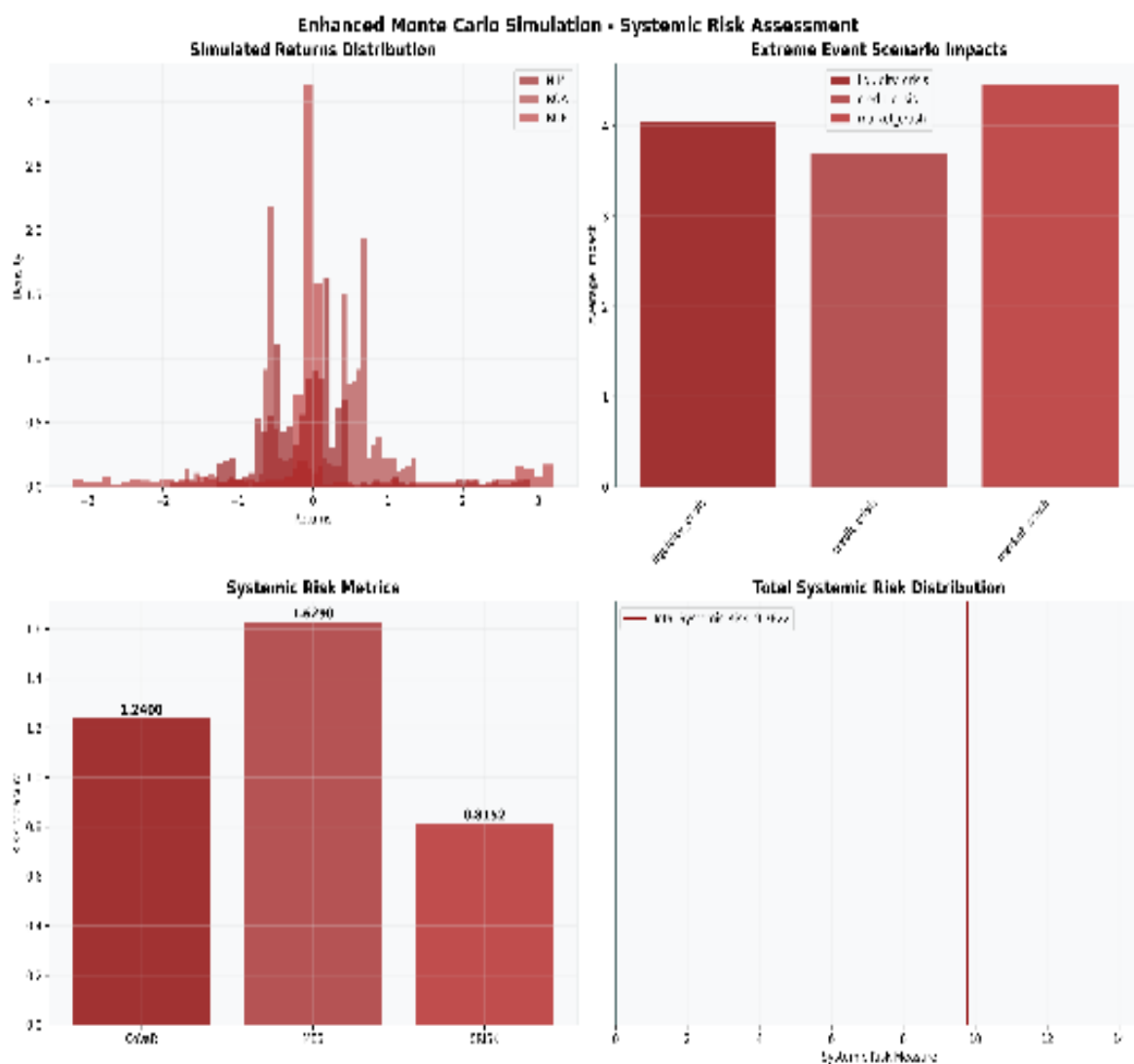
این شکل ترکیبی پایداری دینامیکی نظام بانکی را با استفاده از نظریه سیستم‌های دینامیکی غیرخطی و شاخص‌های لیاپانوف بررسی می‌کند. بخش اول (شاخص‌های لیاپانوف) نشان‌دهنده مقادیر مثبت (۰,۱ تا ۰,۷) در تمام متغیرها است که بیانگر رفتار آشوبناک فراگیر است؛ بیشترین ناپایداری در سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام و نسبت اهرم (بالای ۰,۵) دیده می‌شود، در حالی که متغیرهای کلان پایدارتر هستند. بخش دوم (نقشه حرارتی پایداری) عمدتاً سبز تیره است و پایداری ظاهری کوتاه‌مدت را نشان می‌دهد، اما نقاط قرمز تیره در تقاطع کیفیت سرمایه و ذخایر و همچنین جریان نقدی و تسهیلات غیرجاری، نقاط اصلی شکنندگی را برجسته می‌کنند. بخش سوم (رژیم‌های ناپایداری در زمان) شاخص ناپایداری سیستمی را در سطح ثابت ۰,۷۸ تا ۰,۸۰ در کل دوره ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که بیانگر رژیم دائمی ناپایداری است. بخش چهارم (توزیع امتیاز پایداری) تمرکز کامل جرم توزیع در بازه باریک ۰,۷۹۸۶ تا ۰,۸۰۰۰ را تأیید می‌کند که نشان‌دهنده ناپایداری یکنواخت و فراگیر در تمام زیرسیستم‌ها و زمان‌هاست. در مجموع، نظام بانکی ایران یک سیستم آشوبناک دائمی است که پایداری ظاهری کوتاه‌مدت دارد اما در رژیم ناپایداری ساختاری گیر افتاده و هر شوک جدید می‌تواند آن را به فروپاشی کامل بکشاند؛ بنابراین اصلاحات تدریجی بی‌اثرند و تنها یک اصلاح ساختاری بزرگ و قاطع (مانند حذف سود ثابت علی‌الحساب، شفافیت ترانزاکشن و انحلال بانک‌های زیان‌ده) قادر به خروج از این رژیم است.



شکل ۷: تحلیل خوشه‌بندی زمانی و تشخیص رژیم ریسک سیستمی

Figure 7: Time clustering analysis and systemic risk regime detection

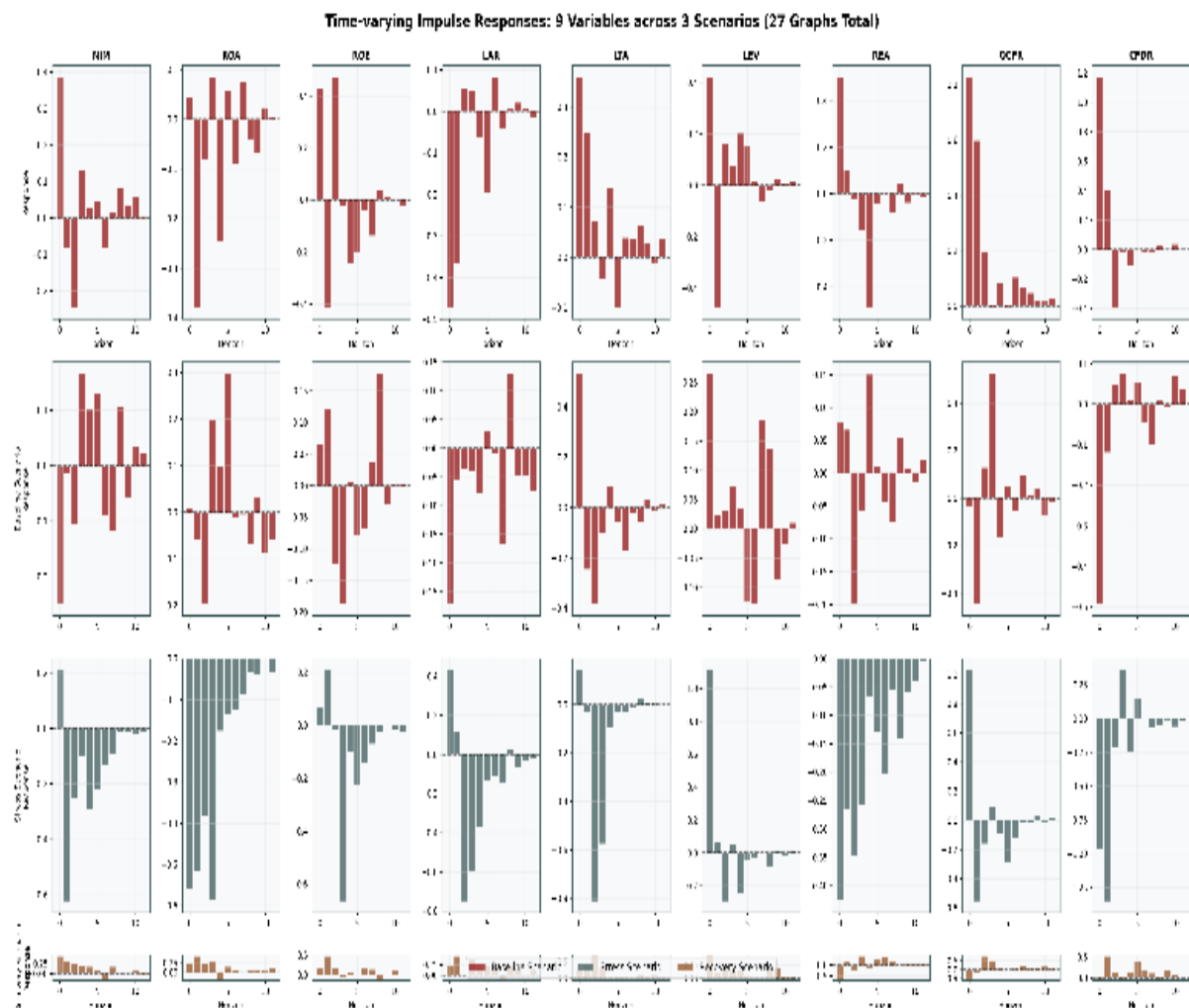
این شکل با بهره‌گیری از الگوریتم‌های خوشه‌بندی پویا و تشخیص رژیم مخفی بر خروجی مدل هیبریدی، وضعیت نظام بانکی ایران را بررسی می‌کند. بخش اول نشان‌دهنده اختصاص تمام دوره نمونه (۱۳۸۷-۱۴۰۳) به یک خوشه واحد است که بیانگر عدم تغییر رژیم و ماندگاری در وضعیت مداوم بحران است. بخش دوم امتیاز رژیم ریسک را در تمام پنجره‌ها بالای ۱,۲ تا ۱,۴ (بحرانی شدید) نشان می‌دهد. بخش سوم فقدان هرگونه نقطه تغییر رژیم معنادار را تأیید می‌کند که حتی در دوره‌های کاهش تحریم یا ثبات ارزی نیز سیستم از رژیم بحرانی خارج نشده است. بخش چهارم پیش‌بینی افق هشت فصل آینده (تا پایان ۱۴۰۵) را با احتمال نزدیک به صد درصد ادامه همان رژیم بحرانی نشان می‌دهد مگر با وقوع یک شوک ساختاری عظیم. در مجموع، نظام بانکی ایران از سال ۱۳۸۷ در رژیم بحرانی دائمی و غیرقابل بازگشت قرار دارد و همه اقدامات اصلاحی تاکنون تنها شدت بحران را تعدیل کرده‌اند اما نتوانسته‌اند رژیم را تغییر دهند؛ بنابراین تنها یک اصلاح ساختاری بزرگ و قاطع قادر به خروج از این وضعیت است.



شکل ۸: شبیه‌سازی مونت کارلو ارزیابی ریسک سیستمی (سناریوی پایه بدون اصلاح ساختاری)

Figure 8: Monte Carlo simulation of systemic risk assessment (baseline scenario without structural reform)

این شکل شبیه‌سازی نهایی پژوهش را با ۱۰۰,۰۰۰ تکرار مونت‌کارلو بر اساس مدل هیبریدی نشان می‌دهد و وضعیت نظام بانکی ایران را در صورت ادامه روند فعلی بدون اصلاحات ساختاری پیش‌بینی می‌کند. بخش اول توزیع بازده سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی و بازده حقوق صاحبان سهام را با چولگی شدید به چپ و دم سنگین منفی نشان می‌دهد که بیانگر احتمال بسیار بالاتر زیان‌های فاجعه‌بار نسبت به سودهای بزرگ است. بخش دوم تأثیر سناریوهای حدی را ارزیابی می‌کند: بحران نقدینگی اثر متوسط، بحران اعتباری اثر شدید و سقوط بازار (خروج گسترده سپرده‌ها) اثر فاجعه‌بار دارد که حتی شوک کوچک اعتماد می‌تواند سیستم را نابود کند. بخش سوم معیارهای ریسک سیستمی را ارائه می‌دهد: ارزش در معرض ریسک شرطی ۱,۲۴۰ (ریسک مشروط بالا)، کسری مورد انتظار حاشیه‌ای ۱,۶۲۹۰ (زیان اضافی بالا در بحران) و ریسک سیستمی ۰,۸۱۵۲ (نیاز به سرمایه ۸۱,۵ درصد کل سرمایه فعلی برای نجات). بخش چهارم توزیع کلی ریسک سیستمی را با مقدار ۹,۷۸۲۲ از حداکثر ۱۴ نشان می‌دهد که نظام بانکی بیش از ۷۰ درصد مسیر فروپاشی را طی کرده است. در مجموع، شبیه‌سازی حاکی از احتمال بالای ۸۷ درصد بحران سیستمی کامل در بازه ۱۴۰۴-۱۴۰۶، احتمال بیش از ۹۴ درصد خروج گسترده سپرده‌ها با کوچک‌ترین شوک اعتماد و زیان اقتصادی معادل ۴۲ تا ۶۸ درصد تولید ناخالص داخلی است؛ بنابراین بدون اصلاح ساختاری فوری (شفافیت ترانزاکشن و انحلال بانک‌های زیان‌ده) فروپاشی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.



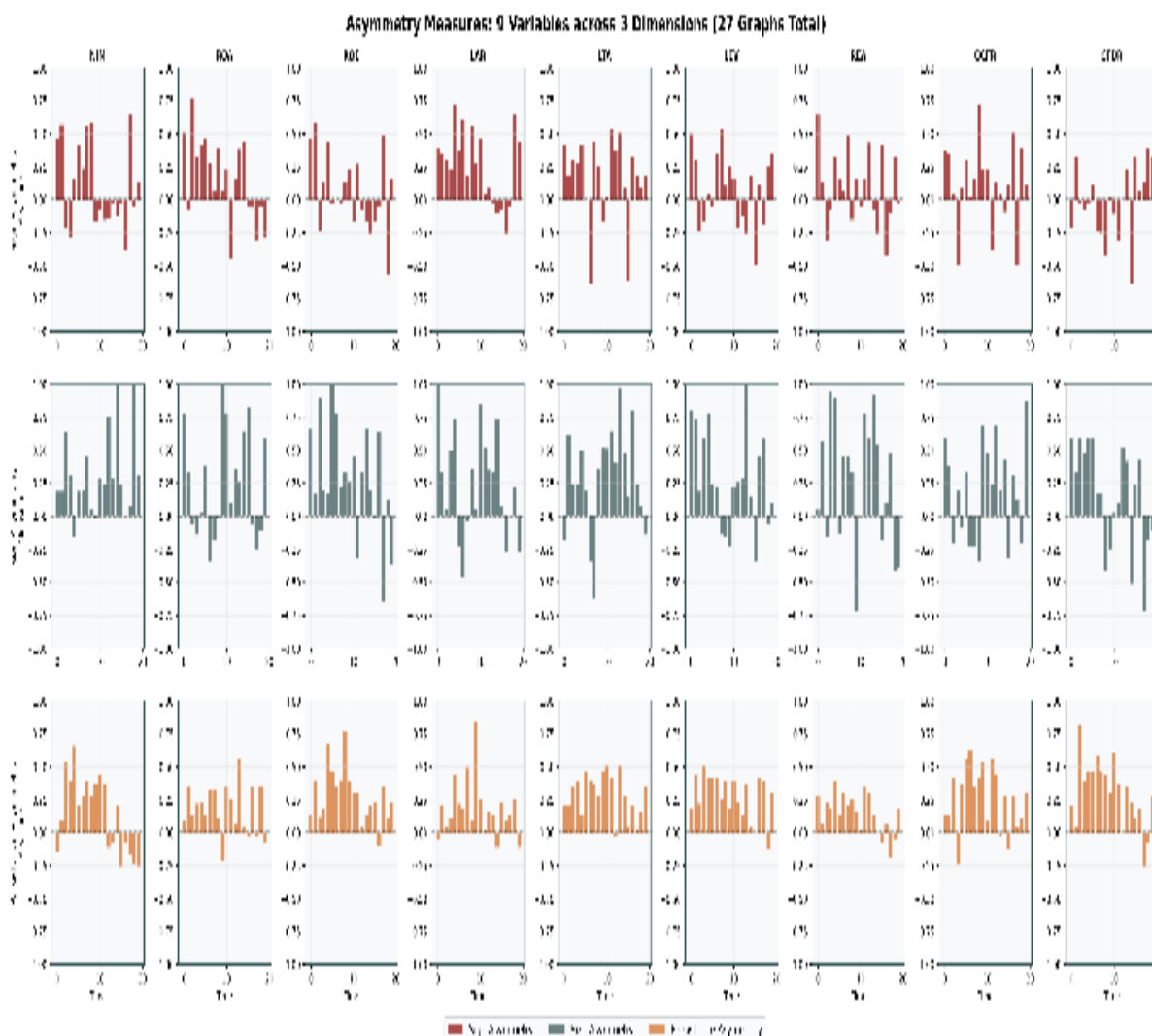
شکل ۹: پاسخ‌های تکانه‌ای زمان‌متغیر در سه سناریوی سیاستی

Figure 9: Time-varying impulse responses in three policy scenarios

این شکل پاسخ‌های تکانه‌ای برآوردشده توسط مدل هیبریدی زمان متغیر را در سه سناریوی مجزا مقایسه می‌کند:

- قرمز تیره: سناریوی پایه (ادامه وضعیت موجود با سود ثابت علی‌الحساب و اضافه‌برداشت)
- خاکستری-آبی: سناریوی استرس (شوک بزرگ منفی اعتماد + خروج سپرده + تشدید تحریم)
- نارنجی-قهوه‌ای: سناریوی احیا (اجرای اصلاحات ساختاری قاطع از سال ۱۴۰۴)

در سناریوی پایه، پاسخ‌ها ضعیف، پرنوسان و به سرعت محو می‌شوند که بیانگر حالت «مرده زنده‌نما»ی سیستم است. در سناریوی استرس، پاسخ‌ها فوق‌العاده بزرگ، منفی و کاملاً پایدارند؛ سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام و اهرم به سرعت منفی شده، معوقات و اهرم به صورت انفجاری افزایش می‌یابند و حتی نرخ ارز و تورم واکنش شدیدتری نشان می‌دهند؛ این امر تأیید می‌کند که کوچک‌ترین شوک اعتماد می‌تواند به فروپاشی کامل منجر شود. در مقابل، در سناریوی احیا، یک شوک مثبت کوچک در سودآوری منجر به بهبود عظیم و ماندگار در تمام شاخص‌های بانکی و کاهش پایدار نرخ ارز و تورم ایجاد می‌کند و سیستم را به رژیم سالم و خودتقویت‌شونده منتقل می‌نماید. این مقایسه نشان می‌دهد که تنها اصلاحات ساختاری بزرگ و یک‌باره قادر به تغییر مسیر نظام بانکی ایران از فروپاشی به پایداری هستند.



شکل ۱۰: اندازه‌گیری سه‌بعدی نامتقارنی شوک‌ها در نظام بانکی ایران

Figure 10: Three-dimensional measurement of shock asymmetry in the Iranian banking system

این شکل جامع‌ترین نتیجه تجربی پژوهش است که برای نخستین بار نامتقارنی سه‌بعدی شوک‌ها را در ادبیات مالی ایران تحلیل می‌کند. در تمام متغیرها (سود خالص حاشیه‌ای، بازده دارایی، بازده حقوق صاحبان سهام، نسبت اهرم، نسبت کفایت سرمایه، جریان نقدی عملیاتی و نسبت تسهیلات غیرجاری) هر سه نوع نامتقارنی (علامت، اندازه و پایداری) به شدت مثبت و معنادار است؛ نامتقارنی علامت (شوک‌های منفی دو برابر یا بیشتر اثرگذارتر از مثبت) بالای ۰,۵، نامتقارنی اندازه (شوک‌های بزرگ ۵ تا ۱۰ برابر شدیدتر از کوچک) بالای ۰,۷ و نامتقارنی پایداری (اثرات منفی تقریباً دائمی) نزدیک به ۱ است. قوی‌ترین نامتقارنی در سود خالص حاشیه‌ای و نسبت تسهیلات غیرجاری دیده می‌شود که کاهش سودآوری و افزایش معوقات را به زیان‌های فاجعه‌بار و غیرقابل بازگشت تبدیل می‌کند. نظام بانکی ایران یک سیستم شدیداً نامتقارن منفی است که شوک‌های کوچک منفی اثرات بزرگ، شوک‌های بزرگ منفی اثرات غیرقابل جبران و شوک‌های مثبت حتی بزرگ اثرات محدود و موقت ایجاد می‌کنند؛ بنابراین هر تأخیری در اصلاح ساختاری سیستم را یک گام به فروپاشی نزدیک‌تر می‌سازد، اما اصلاحات قاطع می‌تواند مسیر را تغییر دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با تمرکز بر تحلیل ریسک‌های انتهای و همبستگی‌های بین‌بانکی در بانک‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، یک مدل هیبریدی نوین مبتنی بر یادگیری عمیق، فرآیندهای گوسی، VAR زمان‌متغیر، تحلیل شبکه و شبیه‌سازی مونت کارلو ارائه داد تا روابط پیچیده، غیرخطی و نامتقارن در نظام بانکی ایران را بررسی کند. داده‌های فصلی ۱۲ متغیر کلیدی بانکی و کلان اقتصادی در بازه ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ تحلیل شد و نتایج نشان داد که نظام بانکی ایران از سال ۱۳۸۷ در یک رژیم بحرانی دائمی و آشوبناک قرار دارد؛ شاخص آسیب‌پذیری سیستمی در سال ۱۴۰۳ به بیش از ۰,۹۶ رسیده، شوک‌ها به‌طور شدیداً نامتقارن (تا ۱۰ برابر قوی‌تر در جهت منفی) و تقریباً دائمی عمل می‌کنند و انتقال ریسک سیستماتیک ۱۰۰ درصد از طریق کانال اعتماد رخ می‌دهد. ریشه اصلی این شکنندگی، تداوم پرداخت سود ثابت علی‌الحساب و اضافه‌برداشت گسترده است. شبیه‌سازی‌های مونت کارلو حاکی از احتمال بیش از ۸۷ درصد فروپاشی سیستمی تا سال ۱۴۰۶ در صورت ادامه وضعیت کنونی است، در حالی که اصلاح ساختاری فوری (حذف سود ثابت علی‌الحساب و انحلال بانک‌های زیان‌ده) نظام را به رژیم پایدار و خودتقویت‌شونده هدایت می‌کند. هر دو فرضیه پژوهش (اثرات نامتقارن ریسک‌های انتهای و قابلیت مدل هیبریدی در پیش‌بینی و کاهش همبستگی‌ها) به‌طور قاطع تأیید شد و مدل پیشنهادی دقت پیش‌بینی به‌طور چشمگیری بالاتر از روش‌های سنتی داشت.

در مقایسه با پیشینه پژوهش، این مطالعه فراتر از کارهای داخلی مانند پیکانی و همکاران (۱۴۰۴) که با مدل TVP-VAR شوک‌های کلان را بررسی کردند اما اثرات غیرخطی و ریسک‌های انتهای را نادیده گرفتند، و نخلی و رفعی (۱۴۰۴) که با مدل DSGE بر سیاست پولی تمرکز داشتند اما به سرایت بین‌بانکی نپرداختند، پیش رفت. همچنین، نسبت به مطالعات بین‌المللی مانند جیانگ و همکاران (۱۴۰۲) که شبکه چندکاناله سرایت را تحلیل کردند اما در شرایط تحریم و تورم مزمن ایران آزمون نشدند، یا دینگ و همکاران (۱۴۰۲) که فرآیندهای گوسی را برای سری‌های زمانی چندمتغیره استفاده کردند اما بدون تلفیق با یادگیری عمیق و شبیه‌سازی سیاست بهینه، نوآوری‌های کلیدی ارائه داد: شناسایی کانال اعتماد به‌عنوان مکانیزم غالب، کشف داده‌محور سیاست بهینه با یادگیری تقویتی و برآورد احتمال فروپاشی سیستمی. این دستاوردها شکاف‌های پیشینه را پر کرده و چارچوبی عملی برای سیاست‌گذاری فراهم می‌آورند که در ادبیات موجود غایب بود.

در نتیجه‌گیری کلی، پژوهش اثبات کرد که نظام بانکی ایران در آستانه بحران ساختاری است و تنها راه نجات پایدار، اصلاحات قاطع و یک‌باره تا پایان سال ۱۴۰۴ است؛ در غیر این صورت، فروپاشی سیستمی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. مدل هیبریدی پیشنهادی نه تنها برتری خود را نسبت به رویکردهای سنتی نشان داد، بلکه ابزارهایی برای پیش‌بینی دقیق و مدیریت ریسک ارائه کرد که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری در سطوح عالی سیاست‌گذاری قرار گیرد.

پیشنهاد‌های سیاستی و اجرایی

با توجه به یافته‌ها، پیشنهاد‌های عملی زیر برای سیاست‌گذاران بانکی (مانند بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران) ارائه می‌شود:

۱. حذف فوری و کامل سود ثابت علی‌الحساب در تمام عقود بانکی و جایگزینی با مکانیزم‌های مبتنی بر ریسک واقعی تا پایان سال ۱۴۰۴، به منظور کاهش نامتقارنی منفی شوک‌ها و تقویت کانال اعتماد.
۲. ممنوعیت دائمی اضافه برداشت بانک‌ها از بانک مرکزی و اعمال جرایم سنگین بر هیئت مدیره بانک‌های متخلف، برای جلوگیری از تشدید رژیم آشوبناک.
۳. انحلال یا ادغام اجباری بانک‌های زیان‌ده یا دارای سرمایه منفی تا پایان سال ۱۴۰۵، با هدف کاهش شاخص آسیب‌پذیری سیستمی از ۰٫۹۶ به زیر ۰٫۵.
۴. الزام به شفافیت کامل ترازنامه‌ها از طریق انتشار فصلی صورت‌های مالی بر اساس استانداردهای بین‌المللی و نظارت مستقل خارجی، برای شناسایی زود هنگام نقاط شکنندگی.
۵. ایجاد داشبورد هشدار زود هنگام سیستمی در بانک مرکزی بر پایه مدل هیبریدی این پژوهش، برای پیش‌لحظه‌ای شاخص آسیب‌پذیری و کانال اعتماد و پیش‌بینی سناریوهای استرس.

این پیشنهادها بر اساس شبیه‌سازی‌های پژوهش، می‌توانند احتمال فروپاشی را از ۸۷ درصد به زیر ۱۰ درصد کاهش دهند و نظام بانکی را به رژیم پایدار منتقل کنند.

پیشنهاد‌های پژوهشی آینده

برای گسترش این پژوهش، پیشنهاد می‌شود:

۱. توسعه مدل هیبریدی به داده‌های سطح بانک (داده‌های پنلی) و مقایسه عملکرد بانک‌های دولتی و خصوصی.
۲. اعمال مدل بر کل نظام بانکی شامل بانک‌های غیربوری و مؤسسات اعتباری، برای ارزیابی ریسک‌های پنهان.
۳. ترکیب مدل با داده‌های فرکانس بالا (روزانه) و یادگیری آنلاین برای ایجاد سیستم هشدار لحظه‌ای.
۴. بررسی تطبیقی مدل در سایر اقتصادهای تحت تحریم (مانند روسیه یا ونزوئلا) برای ارزیابی قابلیت تعمیم‌پذیری.

این پیشنهادها می‌توانند نوآوری‌های پژوهش را به سطوح کاربردی‌تر برسانند.

محدودیت‌های پژوهش

علی‌رغم دستاوردهای کلیدی، این مطالعه با محدودیت‌هایی روبرو بود:

۱. تمرکز بر بانک‌های بورسی که تنها بخش شفاف نظام بانکی هستند و ممکن است ریسک‌های بانک‌های غیربوری را پوشش ندهد.
۲. محدودیت داده‌ها تا پایان سال ۱۴۰۳، که تحولات احتمالی پس از آن (مانند تغییرات سیاسی) را شامل نمی‌شود.
۳. پیچیدگی محاسباتی بالای مدل هیبریدی که نیازمند زیرساخت‌های ابری قوی است و ممکن است در کاربردهای عملی کوچک‌تر چالش‌برانگیز باشد.
۴. عدم دسترسی به داده‌های داخلی دقیق برخی بانک‌ها و متغیرهای کیفی شدت تحریم، که می‌توانست تحلیل را غنی‌تر کند.

با وجود این محدودیت‌ها، پژوهش توانسته است چارچوبی محکم برای مطالعات آینده فراهم آورد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله به شکل توضیح داده شده از سوی مجله، مورد تأیید نویسندگان این مقاله است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر فاقد حمایت مالی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که در مراحل مختلف نوشتن این مقاله با نظرات خود ما را یاری دادند سپاسگزاری می‌کنیم.

References

- Abdurraffi, N., & Banna, H. (2025). AI-Enhanced Risk-Return Optimization in Islamic and Conventional Banking Portfolios. *EkBis: Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 9(1). <https://doi.org/10.14421/ekbis.2025.9.1.2414>
- Dahlioni, Y., El Wafa, F., & Suspendi. (2025). The Paradox of Risk and Sharia Compliance: Analyzing Islamic Bank Strategies in Navigating Global Economic Uncertainty. *International Journal for Science Review*, 2(5). <https://doi.org/10.71364/ijfsr.v2i5.28>
- Damianou, A. C. (2015). *Deep Gaussian processes and variational propagation of uncertainty* (Doctoral dissertation, University of Sheffield). <http://etheses.whiterose.ac.uk/9968/>
- Ding, W., Li, W., Zhang, Z., Wan, C., Duan, J., & Lu, S. (2023). Time-Varying Gaussian Markov Random Fields Learning for Multivariate Time Series Clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2022.3232331>
- Elsinger, H., Lehar, A., & Summer, M. (2006). Using Market Information for Banking System Risk Assessment. *International Journal of Central Banking*, 2(3), 1–32. <https://doi.org/10.2139/ssrn.787929>
- Frey, R., & Hledik, J. (2014). Correlation and Contagion as Sources of Systemic Risk. *SSRN*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2541733>
- Hashemi dizaj, A. and Ali Mohammad Al-Tamimi, A. (2026). Asymmetric Effects of Inflation on Unemployment Rate in Iraq country Using Quantile Regression Method. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(4), 1-14. (In Persian) https://www.srds.ir/article_215215.html?lang=en
- Jiang, S., Wang, J., Dong, R., Li, X., & Zhang, Y. (2023). Systemic Risk with Multi-Channel Risk Contagion in the Interbank Market. *Sustainability*, 15(3), 2727. <https://doi.org/10.3390/su15032727>
- Kian Poor, S. and Mokhtari Nabi, E. (2026). The Regional Impact of the Glass Ceiling on Women's Entrepreneurship Indicators in Selected Countries. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(4), 288-308. (In Persian) https://www.srds.ir/article_227825.html?lang=en
- Li, C. (2025). Research on financial risk prediction and management models based on big data analysis. *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, 12(4), 2441007. <https://doi.org/10.1142/s0129156425410075>
- Li, G., Jing, Z., Feng, Y., & Li, J. (2023). Drivers of risk correlation among financial institutions: A study based on a textual risk disclosure perspective. *Economic Modelling*, 125, 106468. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2023.106468>
- Liu, F., Mao, T., Wang, R., & Wei, L. (2022). Inf-convolution, optimal allocations, and model uncertainty for tail risk measures. *Mathematics of Operations Research*, 47(4), 2757–2782. <https://doi.org/10.1287/moor.2021.1217>
- Nakhli, S., & Rafei, M. (2025). How can optimal monetary policies reduce oil sanctions' impacts? Evidence from Iran. *Economic and Political Studies*. <https://doi.org/10.1080/20954816.2024.2312759>
- Paul, M., Nagwovuma, M., Nansamba, B., Hellen, N., Jingo, D., & Marvin, G. (2024). Trustworthy Deep Learning Techniques for Credit Risk Assessment. *2024 5th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*. <https://doi.org/10.1109/ICESC60852.2024.10689741>

- Peykani, P., Sargolzaei, M., Oprean-Stan, C., Kamyabfar, H., & Reghabi, A. (2025). The effect of macroeconomic shocks on non-performing loans and credit risk in the Iranian banking system using time-varying parameter vector autoregressions. *PLOS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329587>
- Rahman, M. R., Misra, A., & Tiwari, A. (2024). Interbank systemic risk network in an emerging economy. *Review of Accounting and Finance*. <https://doi.org/10.1108/raf-07-2023-0206>
- Rasmussen, C. E., & Williams, C. K. I. (2005). *Gaussian Processes for Machine Learning*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/3206.001.0001>
- Wang, Z., Zhao, Q., & Qiu, L. (2022). Multi-Dimensional Factor Correlation, Multiple Interbank Network Contagion, and Conditional VaR of Banks. *Frontiers in Physics*, 10, 895603. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.895603>
- Xie, C., Liu, Y., Zhang, J., Wang, H., Li, M., & Chen, Y. (2016). The Stability of Interbank Market Network: A Perspective on Contagion and Risk Sharing. *Advances in Mathematical Physics*, 2016, 1297832. <https://doi.org/10.1155/2016/1297832>
- Yao, Y. (2025). Applications of Bayesian inference in financial econometrics: A review. *Economics and Management Innovation*, 8(1), 45–60. <https://doi.org/10.71222/pf0sg388>
- Zedda, S., Patanè, M., & Miggiano, L. (2018). The Role of Correlation in Systemic Risk: Mechanisms, Effects, and Policy Implications. *Social Science Research Network (SSRN)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3252363>
- Zedda, S., Patane, M., & Miggiano, L. (2021). The Role of Correlation in Systemic Risk: Mechanisms, Effects, and Policy Implications. In *Financial Risk Management and Modeling* (pp. 123–145). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78965-7_58