

Paper Type: Original Article



Correlation Network Analysis and Market Risk Clustering in Iran's Banking Industry: A Minimum Spanning Tree and Dependency Graph Approach

Mohsen Hajian* 

Department of Economics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran; Mohsenhajian.eco@gmail.com.

Citation:



Hajian, M. (2026). Correlation network analysis and market risk clustering in Iran's banking industry: A minimum spanning tree and dependency graph approach. *Financial And Banking Strategic Studies*, 4(2), 262-280.

Received: 22/10/2025

Reviewed: 06/01/2026

Revised: 15/02/2026

Accepted: 12/03/2026

Abstract

Purpose: This study analyzes the structure of mutual dependence and market risk clustering in Iran's banking industry. Specifically, it identifies connectivity hubs, bridging institutions, and behavioral groups of banks, examines the time-varying co-movement of their returns, and provides actionable recommendations for network-based risk management and financial stability monitoring.

Methodology: Weekly log returns of nine listed banks over 2015–2026 (593 weeks) were computed and, after percentile winsorization, a Pearson correlation matrix was estimated. The matrix was converted into a distance metric to build a minimum spanning tree and a threshold correlation network (0.25), yielding centrality measures. Ward's hierarchical clustering grouped the banks, and 52-week rolling correlations tracked temporal dynamics.

Findings: Correlations are positive yet heterogeneous; the highest coefficient links Saderat and Tejarat (0.773), while the lowest involve Shahr. In the minimum spanning tree, Saderat (betweenness 23) is the primary gatekeeper and Tejarat the secondary hub. In the strong network, Tejarat (strength 3.95) and Saderat (3.88) hold the greatest connection intensity. Clustering yields three groups: a six-bank core, a middle layer (Eghtesad Novin and Post Bank), and a single peripheral bank (Shahr). Rolling correlations rose during COVID-19 (mean 0.438) and the regional tensions (mean 0.430) relative to the overall mean (0.367), indicating intensified co-movement and temporary weakening of diversification during crises.

Originality/Value: By jointly applying network tools to long-horizon weekly returns and covering recent shocks, the study offers a multi-layered map of Iranian banking connectedness and distinguishes behavioral patterns from connection intensity—an approach rarely adopted in prior studies and complementary to interbank-data research.

Keywords: Stock returns, Financial stability, Financial contagion, Centrality measures, Systemically important institutions.



Corresponding Author: Mohsenhajian.eco@gmail.com



10.22105/fbs.2026.595902.1204



Licensee. **Financial and Banking Strategic Studies**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نوع مقاله: پژوهشی

تحلیل شبکه همبستگی و خوشه‌بندی ریسک بازار در صنعت بانکداری ایران: رویکرد درخت پوشای کمینه و گراف وابستگی

محسن حاجیان*

گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف تحلیل ساختار وابستگی متقابل و خوشه‌بندی ریسک بازار در صنعت بانکداری ایران انجام شده است. هدف شناسایی کانون‌های اتصال، پل‌های ارتباطی و گروه‌های رفتاری بانک‌ها، بررسی پویایی زمانی هم‌حرکتی آن‌ها و ارائه راهکارهای عملیاتی برای مدیریت ریسک شبکه‌ای و پایش ثبات مالی است.

روش‌شناسی پژوهش: بازده هفتگی سهام ۹ بانک طی دوره ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۵ (۵۹۳ هفته) محاسبه و پس از پالایش صدکی، ماتریس همبستگی پیرسون برآورد شد. سپس با تبدیل همبستگی به فاصله، درخت پوشای کمینه و شبکه همبستگی آستانه‌دار (۰/۲۵) ساخته و شاخص‌های مرکزیت محاسبه گردید. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد برای گروه‌بندی بانک‌ها و همبستگی غلتان ۵۲ هفته‌ای برای رصد پویایی زمانی به کار رفت.

یافته‌ها: همبستگی‌ها مثبت اما ناهمگن‌اند؛ بالاترین ضریب میان صادرات و تجارت (۰/۷۷۳) و کمترین همبستگی‌ها مربوط به بانک شهر است. در درخت پوشای کمینه، صادرات با بینابینی ۲۳ دروازه‌بان اصلی و تجارت کانون دوم شبکه‌اند. در شبکه قوی، تجارت (قدرت ۳/۹۵) و صادرات (۳/۸۸) بیشترین شدت اتصال را دارند. خوشه‌بندی سه گروه را شناسایی کرد: هسته‌ای شش‌تایی، لایه‌ای میانی (اقتصاد نوین و پست بانک) و پیرامونی منفرد (شهر). همبستگی غلتان در دوره کووید-۱۹ (میانگین ۰/۴۳۸) و تنش‌های منطقه‌ای (میانگین ۰/۴۳۰) نسبت به میانگین کل دوره (۰/۳۶۷) افزایش یافت که نشان‌دهنده تشدید هم‌حرکتی و تضعیف موقت اثر تنوع‌بخشی در بحران است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: این مطالعه با ترکیب هم‌زمان چند ابزار شبکه‌ای بر بازده هفتگی بلندمدت و پوشش شوک‌های اخیر، تصویری چندلایه از ساختار اتصال بانکی ایران ارائه می‌کند و میان الگوی رفتاری و شدت اتصال تفکیک قایل می‌شود؛ رویکردی که در مطالعات پیشین کمتر دیده شده و مکمل پژوهش‌های مبتنی بر داده بین‌بانکی است.

کلیدواژه‌ها: بازده سهام، ثبات مالی، سرایت مالی، شاخص‌های مرکزیت، نهادهای مهم سیستمی.

۱- مقدمه

نظام بانکی به‌عنوان ستون فقرات نظام مالی هر اقتصاد، نقشی محوری در تخصیص منابع، تسهیل پرداخت‌ها و انتقال سیاست‌های پولی ایفا می‌کند. سلامت و پایداری این نظام، پیش شرط ثبات اقتصادی و رشد پایدار محسوب می‌شود [1]، [2]. با این حال بانک‌ها نهادهایی ایزوله و مستقل نیستند؛ بلکه از طریق شبکه‌ای پیچیده از روابط مالی، اعتباری و اطلاعاتی به یکدیگر متصل‌اند. در چنین ساختار به‌هم‌پیوسته‌ای، شوک واردبر یک بانک می‌تواند از طریق کانال‌های وابستگی متقابل به سایر بانک‌ها و در نهایت به کل نظام مالی سرایت کند [3]. ازاین‌رو، درک ساختار وابستگی میان بانک‌ها، یکی از ارکان اساسی پایش ثبات مالی و مدیریت ریسک به شمار می‌رود.

رویکرد سنتی تحلیل ریسک بانکی، عمدتاً بر سنجش ریسک هر بانک به صورت جداگانه و با تکیه بر شاخص‌های حسابداری و نسبت‌های مالی متمرکز بوده است. اگرچه این رویکرد اطلاعات ارزشمندی فراهم می‌آورد، اما از یک محدودیت بنیادین رنج می‌برد: نادیده گرفتن وابستگی‌های متقابل و ساختار شبکه‌ای حاکم بر نظام بانکی [4]، [5]. در دو دهه اخیر، نظریه شبکه و ابزارهای تحلیل گراف، چارچوبی قدرتمند برای غلبه بر این محدودیت ارائه کرده‌اند. در این میان، شبکه‌های همبستگی مبتنی بر بازده سهام و به‌ویژه روش درخت پوشای کمینه^۱ که در تحلیل بازارهای مالی به کار گرفته شد، به ابزاری استاندارد برای آشکارسازی ساختار توپولوژیک بازارها تبدیل شده است [6]، [7]. در این پژوهش منظور از ریسک بازار، خطر ناشی از شوک‌های مشترک بازار و تشدید هم‌حرکتی دسته‌جمعی دارایی‌هاست که از طریق ساختار شبکه‌ای و خوشه‌های رفتاری قابل ردیابی است.

بازده سهام بانک‌ها بازتابی از انتظارات فعالان بازار درباره عملکرد آتی و ریسک آن‌هاست و هم‌حرکتی این بازده‌ها، سیگنالی از میزان وابستگی و همبستگی میان بانک‌ها ارائه می‌دهد [8]. تحلیل ساختار همبستگی میان بازده سهام بانک‌ها، نه تنها شدت وابستگی متقابل را کمی می‌سازد، بلکه از طریق خوشه‌بندی، گروه‌هایی از بانک‌ها با رفتار مشابه را شناسایی می‌کند. شناسایی بانک‌های محوری، پل‌های ارتباطی و خوشه‌های رفتاری، اطلاعاتی راهبردی برای سیاست‌گذاران، نهادهای ناظر و سرمایه‌گذاران فراهم می‌آورد که با روش‌های متعارف قابل دستیابی نیست [4]، [9]، [10]. نظام مالی ایران، زمینه‌ای منحصر به فرد و در عین حال کمتر بررسی شده برای این نوع تحلیل فراهم می‌آورد. این نظام ساختاری بانک‌محور دارد و بانک‌های پذیرفته شده در بازار سرمایه، بخش قابل توجهی از دارایی‌های نظام بانکی را در اختیار دارند [11]. اقتصاد ایران طی دهه گذشته، شوک‌های متعدد و شدیدی را تجربه کرده است؛ از جمله تحریم‌های بین‌المللی، نوسانات ارزی گسترده، تورم مزمن، همه‌گیری کووید-۱۹ و تنش‌های منطقه‌ای سال‌های اخیر. این شوک‌ها، ساختار وابستگی میان بانک‌ها را دستخوش تغییر کرده‌اند و بررسی پویایی این ساختار در طول زمان، اهمیتی دوچندان می‌یابد [12]. با وجود این، شواهد تجربی محدودی درباره ساختار شبکه‌ای وابستگی میان بانک‌های ایرانی، به‌ویژه با استفاده از داده‌های بلندمدت و رویکردهای پویا وجود دارد.

پژوهش حاضر در پی پر کردن این خلا پژوهشی است. هدف اصلی این مطالعه تحلیل شبکه همبستگی^۲ و خوشه‌بندی ریسک بازار در صنعت بانکداری ایران با استفاده از رویکرد درخت پوشای کمینه و گراف وابستگی^۳ است. بدین منظور، بازده هفتگی سهام ۹ بانک طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ بررسی شده و ساختار وابستگی، بانک‌های محوری، خوشه‌های رفتاری و پویایی زمانی همبستگی تحلیل می‌شود.

ساختار مقاله بدین ترتیب است: در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش مرور می‌شود؛ بخش سوم به روش‌شناسی اختصاص دارد؛ بخش چهارم یافته‌ها را ارائه می‌کند و در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات بیان می‌شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نظام‌های مالی معاصر ساختاری به شدت درهم تنیده دارند و بانک‌ها از طریق شبکه‌ای از روابط دوجانبه، چه در بازار بین‌بانکی و چه در بازار سرمایه به یکدیگر متصل‌اند. همین وابستگی متقابل، از یک سو کارایی تخصیص نقدینگی را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر، بستر شکل‌گیری ریسک سیستماتیک و سرایت شوک را فراهم می‌آورد. باتیستون و کالداریلی [13] نشان می‌دهند که پیوندهای مالی در دو بعد سرایت و نقدینگی، نقشی محوری در پیدایش بی‌ثباتی ایفا می‌کنند و اهمیت سیستمی یک نهاد، صرفاً تابع اندازه آن نیست، بلکه جایگاه آن در شبکه تعیین‌کننده است. این ایده که موقعیت شبکه‌ای اهمیت بالایی دارد، مبنای نظری اصلی رویکردهای شبکه‌ای به تحلیل ریسک بانکی را تشکیل می‌دهد. در همین راستا، گونزالس آولا و همکاران [14] با بررسی شبکه‌های بین‌بانکی با توزیع یال نزدیک به قانون توان، دریافتند شبکه‌هایی که اتصال بیشتر و تمرکز اعتباری بالاتری دارند، در برابر سرایت مقاوم‌ترند. یاو و همکاران [15] نیز نشان دادند اثر سرایت زمانی شدیدتر است که بانک مبدا اهرم مالی بالا یا اتصال شبکه‌ای زیادی داشته باشد. حساسیت شدید ویژگی‌های ریسک سیستماتیک به جزئیات توپولوژیک شبکه، در مطالعه رامادیا و همکاران [16] بر روی توپولوژی‌های واقع‌گرایانه تأیید شده است. لی و وانگ [17] نیز با مقایسه شبکه‌های تصادفی، دنیای کوچک و بدون مقیاس، نشان دادند سیستم‌های بانکی با ساختار بدون مقیاس پایدارترین و ساختارهای دنیای کوچک آسیب‌پذیرترین هستند و اثر تنوع‌بخشی سبد بر ریسک سیستماتیک

¹ Minimum Spanning Tree (MST)

² Correlation network

³ Dependency graph

به ساختار شبکه و نوع شوک بستگی دارد. این مجموعه از ادبیات نظری، ضرورت گذار از تحلیل ریسک تک‌بانکی به تحلیل ساختار شبکه‌ای وابستگی را تبیین می‌کند.

۲-۱- شبکه‌های همبستگی و درخت پوشای کمینه

در کنار رویکردهای مبتنی بر ترازنامه و بازار بین‌بانکی، رویکرد بازارمحور مبتنی بر بازده سهام، چارچوبی کارآمد برای سنجش وابستگی متقابل فراهم می‌آورد. در این رویکرد شبکه همبستگی ساخته می‌شود که در آن گره‌ها دارایی‌ها و یال‌ها همبستگی‌های جفتی میان آن‌ها هستند. کیرمیت [18] با تحلیل طیفی و آماری چنین شبکه‌هایی وجود خوشه‌بندی و سلسله‌مراتب در ساختار بازار و نیز رفتار غالب سید بازار با الگویی نزدیک به تعاملات بدون مقیاس را نشان داد. با این حال شبکه همبستگی کامل به دلیل تراکم بالای یال‌ها، تفسیرپذیری محدودی دارد؛ از این‌رو روش‌های پالایش شبکه برای استخراج ستون فقرات وابستگی به کار گرفته می‌شوند. درخت پوشای کمینه با حفظ کمترین تعداد یال و حداقل مجموع وزن، اسکلت اصلی ساختار بازار را آشکار می‌سازد [19]. پوزی و همکاران [20] با استفاده از درخت پوشای کمینه و گراف پالایش‌شده بیشینه همبسط نشان دادند سرمایه‌گذاری در سهامی که در نواحی پیرامونی و کم‌اتصال شبکه قرار دارند، بیشترین اثر تنوع‌بخشی را دارد، حال آنکه سهام مرکزی و پراتصال با ریسک بیشتر و عملکرد ضعیف‌تر همراه‌اند. این یافته مبنای نظری مهمی برای تفسیر جایگاه بانک‌های پیرامونی در شبکه و دلالت‌های تنوع‌بخشی آن فراهم می‌آورد. هاسه [4] نیز با تعریف سنجه‌ای از ریسک سیستماتیک مبتنی بر میزان اتصال مستقیم و غیرمستقیم در شبکه همبستگی نشان داد که در رویدادهای سیستمی پیوندهای غیرمستقیم تقویت می‌شوند؛ یافته‌ای که اهمیت تحلیل پویای ساختار وابستگی را برجسته می‌سازد.

۲-۲- مرکزیت و خوشه‌بندی در شبکه‌های مالی

شناسایی نهادهای محوری و گروه‌های رفتاری، دو کارکرد اصلی تحلیل شبکه‌های مالی هستند. سنجه‌های مرکزیت از جمله درجه، نزدیکی و بینابینی امکان رتبه‌بندی نهادها از نظر اهمیت سیستمی را فراهم می‌آورند [21]، [22]. مقدم و همکاران [23] با ساخت شبکه همبستگی سهام بورس تهران به روش آستانه‌گذاری دریافتند سهامی با ارزش بازار بالاتر، ریسک بیشتر، حجم معاملات بالاتر و نسبت بدهی کمتر مرکزی‌تر هستند و صنایع با رشد اقتصادی بالاتر جایگاه مرکزی‌تری در شبکه دارند. منتشری و صادقی [24] نیز با ایجاد شبکه مالی غیرخطی در بورس تهران ضمن شناسایی رهبران بازار بر اساس سنجه‌های متعدد مرکزیت، شبکه را به یازده خوشه تقسیم کردند که هر یک بیانگر بیشترین ارتباط درون‌گروهی میان سهام است. در بعد نظری، سرکوتی و همکاران [25] سنجه‌ای از ریسک سیستماتیک مبتنی بر ضریب خوشه‌بندی مرتبه بالاتر ارائه کردند که ساختار همسایگان خوشه‌بندی‌شده حول گره‌ها را در سطوح مختلف به کار می‌گیرد و بر شبکه بانکی جهانی متغیر در زمان، کارایی آن را نشان دادند. هاتف وحید و صالح ارستانی [26] نیز با ترکیب روش خوشه‌بندی مارکوف و سنجه‌های مرکزیت به ارزیابی ریسک سیستمی بانک‌ها و نهادهای مالی پرداختند. این نشان می‌دهد که ترکیب تحلیل مرکزیت و خوشه‌بندی ابزار قدرتمندی برای شناسایی هم‌زمان کانون‌های ریسک و گروه‌های رفتاری در نظام مالی است.

۲-۳- مطالعات تجربی در نظام بانکی و بازار سرمایه ایران

پژوهش‌های تجربی مرتبط با نظام بانکی ایران را می‌توان در دو دسته بازارمحور و بین‌بانکی طبقه‌بندی کرد. در دسته بین‌بانکی، زنگنه و همکاران [27] با مدل‌سازی توپولوژی شبکه بازار بین‌بانکی ایران بر اساس تعاملات ۳۳ بانک نشان دادند این شبکه از نوع بدون مقیاس و دارای ساختار پیرامون-هسته است و بانک‌های خصوصی به دلیل حجم مبادلات بالا و جریان خالص منفی، می‌توانند ریسک سیستمی قابل‌توجهی را به شبکه منتقل کنند.

در دسته بازارمحور، که پژوهش حاضر نیز در آن قرار می‌گیرد، صادقی شاهدانی و همکاران [28] نزدیک‌ترین مطالعه به کار حاضر است. این پژوهش با ترکیب مدل $ARMA-gjrGARCH-DCC$ و نظریه گراف و با استفاده از شاخص $ACoVaR$ ، ریسک سیستمی ۹ نهاد بانکی بورس ایران را در دو زیردوره بررسی کرد و بر اساس سنجه‌های مرکزیت، بانک ملت را مهم‌ترین نهاد شبکه و بانک‌های صادرات و پاسارگاد را به ترتیب در دو دوره، نهادهای دوم معرفی نمود؛ همچنین نشان داد یکپارچگی و همبستگی شبکه بانکی در طول زمان افزایش یافته است. رائی و همکاران [29] با

به‌کارگیری نظریه ماتریس تصادفی بر روی ماتریس همبستگی^۱ متقاطع بانک‌های ایرانی، رفتار جمعی شکننده‌ای را در این بخش شناسایی کردند و نشان دادند نظام بانکی به اختلال‌های سراسری بسیار حساس است و برخی بانک‌ها اثری تعیین‌کننده بر بازار دارند. نمکی و همکاران [30] نیز با معرفی شبکه چندلایه برای بانک‌های بازار سرمایه ایران، نشان دادند مرکزیت بانک‌ها در لایه‌های مختلف بازده، حجم معاملات و ارزش بازار تفاوت می‌کند. در سطح کلان‌تر بازار سهام، صداقتی و همکاران [31] با ساخت شبکه همبستگی ۴۶ گروه بازار سهام ایران و شبیه‌سازی پویایی سرایت، دریافتند گستردگی و سرعت انتشار سرایت در کوتاه‌مدت بسیار بیشتر از بلندمدت است. علاوه بر این، جواهری و شعبانی [32] با بررسی ارتباط علی شبکه‌ای میان بازارهای مالی ایران در شرایط تحریم، نقش محوری بازار ارز در انتقال ریسک سیستماتیک را برجسته ساختند.

۲-۴- جمع‌بندی و جایگاه پژوهش حاضر

مرور ادبیات نشان می‌دهد رویکرد شبکه‌ای به تحلیل وابستگی و ریسک در نظام‌های مالی، به بلوغ نظری و روش‌شناختی رسیده و کاربرد آن در بازار سرمایه و نظام بانکی ایران نیز رو به گسترش است. با این حال چند خلا پژوهشی قابل شناسایی است.

۱. بیشتر مطالعات بازار محور ایرانی، یا بر کل بازار سهام تمرکز کرده‌اند و نه به‌طور خاص بر بانک‌ها، یا از داده‌های بین‌بانکی بهره برده‌اند که دسترسی به آن‌ها محدود است.
۲. پژوهش‌های موجود غالباً از یک روش واحد (نظریه گراف، ماتریس تصادفی یا مدل‌های DCC) استفاده کرده‌اند و کمتر مطالعه‌ای چند ابزار مکمل شبکه‌ای را به‌صورت هم‌زمان به کار گرفته است.
۳. بسیاری از این مطالعات دوره‌های نمونه کوتاه یا پنجره‌های زمانی گسسته دارند و از تحلیل پویای بلندمدت ساختار وابستگی، به‌ویژه در پوشش شوک‌های اخیر مانند همه‌گیری کووید-۱۹ و تنش‌های منطقه‌ای سال‌های اخیر غافل مانده‌اند.

پژوهش حاضر در پی پر کردن این خلاهاست. وجه تمایز این مطالعه ترکیب هم‌زمان درخت پوشای کمینه، گراف وابستگی آستانه‌دار، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و تحلیل همبستگی غلتان^۲ بر روی بازده هفتگی^۳ بانک طی دوره بلند ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ (۱۳۹۴ تا ۱۴۰۵) است. در حالی که پژوهش صادقی شاهدانی و همکاران [28] بر شاخص $\Delta CoVaR$ و دوزیر دوره کوتاه متکی است، پژوهش حاضر ساختار توپولوژیک^۳ وابستگی بازار را در یک بازه پیوسته یازده ساله و با تاکید بر شناسایی خوشه‌های رفتاری و پویایی زمانی همبستگی تحلیل می‌کند. همچنین در حالی که رانی و همکاران [29] ماتریس همبستگی بانک‌ها را با نظریه ماتریس تصادفی بررسی کرده‌اند، این مطالعه همان ماتریس را از دریچه شبکه‌های پالایش شده و خوشه‌بندی بازخوانی می‌کند و بدین ترتیب مکمل آن پژوهش محسوب می‌شود. بر این اساس پژوهش حاضر می‌کوشد با رویکردی چند ابزاری و پویا، تصویری جامع‌تر از ساختار وابستگی و کانون‌های ریسک بازار در صنعت بانکداری ایران ارائه دهد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- داده‌ها و متغیرها

نمونه پژوهش شامل ۹ بانک پذیرفته‌شده در بازار سرمایه ایران است. معیارهای انتخاب نمونه عبارت‌اند از: ارزش بازار، نقدشوندگی معاملات و در دسترس بودن داده‌های روزانه در کل دوره بررسی. داده‌های قیمت پایانی روزانه از سامانه شرکت مدیریت فناوری بورس تهران^۴ استخراج شد. دوره نمونه از ۵ فروردین ۱۳۹۴ تا ۷ مرداد ۱۴۰۵ (معادل ۲۵ مارس ۲۰۱۵ تا ۲۹ ژوئیه ۲۰۲۶) را پوشش می‌دهد. فهرست بانک‌های نمونه در جدول ۱ ارائه شده است.

^۱ Correlation matrix

^۲ Rolling correlation

^۳ Topological structure

^۴ TSETMC

جدول ۱- بانک‌های نمونه و نماد معاملاتی.

Table 1- Sample banks and their trading symbols.

بانک	نماد
ملت	وبملت
صادرات	وبصادر
تجارت	وتجارت
پاسارگاد	وپاسار
سامان	سامان
پارسیان	وپارس
اقتصاد نوین	ونوین
شهر	وشهر
پست بانک	وپست

۳-۲- محاسبه بازده و پالایش داده‌ها

به منظور کاهش نویزهای ریزساختاری و تعدیل اثر توقف‌های معاملاتی رایج در بورس تهران، داده‌های روزانه به بازده هفتگی تبدیل شدند. در هر هفته، آخرین قیمت معاملاتی به عنوان قیمت مبنا لحاظ گردید. بازده لگاریتمی هفتگی هر بانک از رابطه زیر محاسبه شد:

$$r_{i,t} = \ln(P_{i,t}) - \ln(P_{i,t-1}), \quad (1)$$

که در آن $P_{i,t}$ قیمت i در هفته t است. برای کنترل اثر جهش‌های قیمتی ناشی از رویدادهای شرکتی مانند افزایش سرمایه، بازده‌های هر بانک در سطح صدک ۱ و ۹۹ محدود^۱ شدند. شایسته است تاکید شود که این پالایش تنها جهش‌های تک‌بانکی ناشی از رویدادهای شرکتی را در دو دم توزیع سقف‌بندی می‌کند و الگوی هم‌حرکتی دسته‌جمعی بازده‌ها را که مبنای تحلیل همبستگی و تحلیل پویاست حذف نمی‌کند؛ ازاین‌رو افزایش هم‌حرکتی در دوره‌های بحران نه تنها خنثی نشده، بلکه دقیقاً بر روی همین داده پالایش شده ثبت شده است که خود گویای استحکام یافته پویاست. همچنین بازده‌هایی که فاصله زمانی آن‌ها از مشاهده قبل بیش از ۱۴ روز بود، به عنوان مشاهده نامعتبر تلقی و حذف شدند تا از ثبت بازده‌های مصنوعی ناشی از توقف‌های طولانی جلوگیری شود. در نهایت ۵۹۳ مشاهده قیمتی هفتگی برای هر بانک گردآوری شد که پس از محاسبه بازده، به ۵۹۲ بازده هفتگی معتبر انجامید. برای محاسبه سهم مشاهدات گمشده، تعداد بازده‌های قبل از پالایش (۱ مشاهده برای هر بانک به دلیل نبود قیمت هفته قبل) تقسیم بر کل مشاهدات ممکن (۵۹۳) شد که کمتر از ۰/۲٪ بود. پس از پالایش صدکی، تعداد مشاهدات تعدیل شده (تعداد بازده‌هایی که مقدارشان به مرز صدک ۱ یا ۹۹ تغییر کرد) تقسیم بر کل بازده‌های معتبر (۵۹۲) محاسبه شد که کمتر از ۰/۴٪ بود.

¹ Winsorize

۳-۳- ماتریس همبستگی و تبدیل به فاصله

برای سنجش وابستگی متقابل بانک‌ها، ماتریس همبستگی پیرسون^۱ برآورد شد. انتخاب ضریب همبستگی پیرسون بر دو مبنای اصلی استوار است: نخست، این ضریب در ادبیات شبکه‌های همبستگی مالی به‌عنوان استاندارد پذیرفته شده است. دوم، هدف این پژوهش سنجش شدت هم‌حرکتی خطی بازده‌ها به‌عنوان مبنای ساخت شبکه است، نه انجام آزمون‌های استنباطی پارامتریک که فرض نرمال بودن برای آن‌ها الزامی است. اگرچه آزمون جاک-برا نرمال نبودن بازده‌ها را تایید می‌کند (جدول ۲)، اما پیرسون به‌عنوان معیاری از وابستگی خطی قابل استفاده است و اثر مشاهدات پرت نیز در مرحله پالایش صدکی کنترل شده است. همبستگی هر جفت بانک بر اساس مشاهدات مشترک آن دو محاسبه گردید تا از اریب ناشی از روزهای بدون معامله جلوگیری شود. سپس ماتریس همبستگی به ماتریس فاصله^۲ تبدیل شد:

$$d_{ij} = \sqrt{2(1 - p_{ij})}, \quad (2)$$

که در آن p_{ij} ضریب همبستگی بین بازده بانک‌های i و j است. این تبدیل، معیار استاندارد در ادبیات شبکه‌های همبستگی مالی است و فاصله را در بازه $[0, 2]$ قرار می‌دهد [33]، [34].

۳-۴- درخت پوشای کمینه

درخت پوشای کمینه، گرافی همبند است که همه گره‌ها را با کمترین تعداد یال و حداقل مجموع وزن به یکدیگر متصل می‌کند [19]، [33]، [34]. این ساختار، ستون فقرات وابستگی بازار را بدون یال‌های اضافی نمایش می‌دهد و شناسایی بانک‌های محوری و پل‌های ارتباطی را ممکن می‌سازد. در این پژوهش، درخت پوشای کمینه بر اساس ماتریس فاصله استخراج شد.

۳-۵- گراف وابستگی و شاخص‌های مرکزیت^۳

برای نمایش یال‌های قوی، گراف وابستگی آستانه‌دار با حفظ همبستگی‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ ساخته شد. این آستانه صرفاً دلخواه نیست: با توجه به حجم نمونه (۵۹۲ هفته)، آستانه معناداری آماری ضریب همبستگی در سطح ۵٪ حدود ۰/۰۸ برآورد می‌شود و ۰/۲۵ بسیار فراتر از آن قرار می‌گیرد؛ و مهم‌تر ۰/۲۵ بزرگ‌ترین آستانه‌ای است که هنوز هر ۹ بانک را در شبکه نگه می‌دارد، زیرا بیشینه همبستگی بانک شهر ۰/۲۸۶ است و با آستانه ۰/۳۰ این بانک از شبکه حذف و ایزوله می‌شود. به‌علاوه تحلیل درخت پوشای کمینه که اساساً بدون آستانه است، همان ساختار کانون-پیرامون را تایید می‌کند؛ لذا یافته‌های اصلی به انتخاب این آستانه وابسته نیستند. اهمیت هر بانک در شبکه با چهار شاخص مرکزیت سنجیده شد:

۱. درجه: تعداد یال‌های متصل به گره.
۲. قدرت: مجموع وزن همبستگی‌های یک بانک با سایر بانک‌ها.
۳. بینابینی: میزان قرارگیری گره در مسیرهای کوتاه‌ترین ارتباطی میان سایر گره‌ها.
۴. نزدیکی: معکوس مجموع فاصله‌های گره تا سایر گره‌ها [8]، [35].

۳-۶- خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی

برای شناسایی گروه‌های رفتاری بانک‌ها، از خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تجمعی با روش وارد و فاصله اقلیدسی مشتق شده از ماتریس همبستگی استفاده شد. روش وارد، واریانس درون خوشه‌ای را کمینه می‌کند و خوشه‌هایی فشرده و همگن تولید می‌نماید. تعداد خوشه‌های نهایی بر اساس دندروگرام و معیار تفسیرپذیری اقتصادی تعیین گردید. الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش وارد به صورت زیر عمل می‌کند:

¹ Pearson correlation

² Distance matrix

³ Centrality measures

مرحله ۱- هر بانک به عنوان یک خوشه مجزا در نظر گرفته می شود (n خوشه اولیه).

مرحله ۲- در هر گام، دو خوشه ای که کمترین افزایش را در واریانس درون گروهی ایجاد کنند، ادغام می شوند. فاصله ادغام دو خوشه u و v از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$d(u, v) = \sqrt{\frac{2n_u n_v}{n_u + n_v} \cdot (\bar{x}_u - \bar{x}_v)^2}, \quad (3)$$

که در آن n تعداد اعضای خوشه و $\bar{x}$ مرکز آن است.

مرحله ۳- این فرآیند تا زمانی که تمام بانک ها در یک خوشه واحد ادغام شوند، تکرار می گردد.

مرحله ۴- تعداد خوشه های نهایی بر اساس دندروگرام و معیار تفسیرپذیری اقتصادی تعیین می شود. در این پژوهش برش در ارتفاع $1/2$ منجر به سه خوشه شد [36].

۳-۷- همبستگی غلتان

برای بررسی پویایی وابستگی در طول زمان، میانگین همبستگی جفت بانک ها در پنجره های غلتان ۵۲ هفته ای محاسبه شد. انتخاب پنجره ۵۲ هفته ای بر این مبنای است که این افق زمانی نوسانات کوتاه مدت و نویزی را هموار می کند و در عین حال پویایی های میان مدت ساختار وابستگی را به خوبی منعکس می سازد. این رویکرد، تغییرات ساختار اتصال را در دوره های آرام و پرتلاطم آشکار می سازد و امکان رصد افزایش هم حرکتی در زمان شوک ها را فراهم می آورد [37].

۴- یافته های پژوهش

کلیه محاسبات و ترسیم نمودارها (از جمله شکل ۳) با استفاده از نرم افزار R نسخه ۴.۶.۱ و بسته های $stats$ ، $igraph$ و $ggplot2$ انجام شد. در این بخش نتایج حاصل از تحلیل بازده هفتگی ۹ بانک نمونه طی دوره پژوهش، در چهار لایه مکمل گزارش و تفسیر می شود:

۱. ویژگی های آماری و توزیعی بازده ها به منظور شناخت رفتار ریسکی هر بانک.
۲. ساختار همبستگی ایستا میان بانک ها برای ترسیم نقشه وابستگی متقابل.
۳. استخراج اسکلت توپولوژیک وابستگی از طریق درخت پوشای کمینه و شبکه همبستگی قوی به منظور شناسایی کانون ها، پل ها و پیرامون شبکه.
۴. خوشه بندی رفتاری بانک ها و بررسی پروفایل چندبعدی مرکزیت.

در سراسر این بخش تمرکز بر سنجش وابستگی متقابل و ساختار اتصال میان بانک ها است و از تعمیم نتایج به مفهوم رسمی ریسک سیستماتیک، که مستلزم سنجه هایی فراتر از همبستگی بازده است، پرهیز می شود.

۴-۱- ویژگی های توزیع بازده هفتگی

پیش از ورود به تحلیل وابستگی لازم است رفتار تک بانکی بازده ها شناخته شود، زیرا شکل توزیع بازده هم بر تفسیر ضرایب همبستگی و هم بر اعتبار فرض نرمال بودن اثر می گذارد. جدول ۲ خلاصه آمار توصیفی بازده هفتگی را برای هر ۹ بانک گزارش می کند.

جدول ۲- آمار توصیفی بازده هفتگی بانک‌های مورد مطالعه.

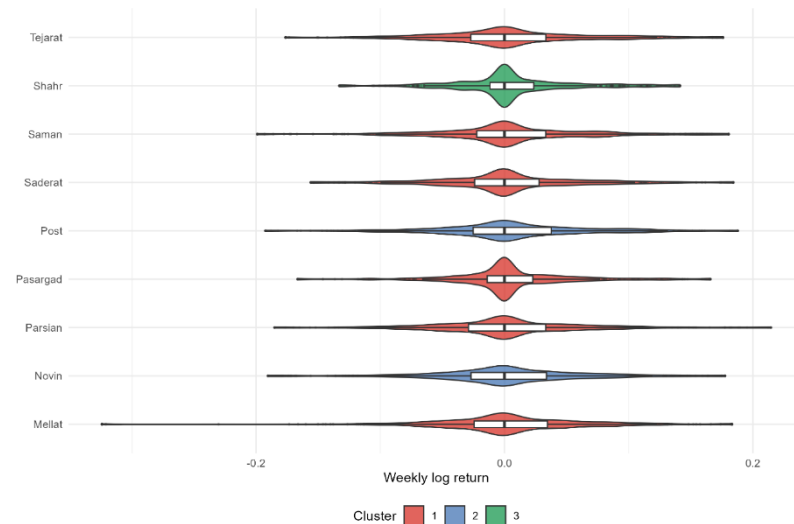
Table 2- Descriptive statistics of weekly returns for the banks under study.

بانک	N	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	چولگی	کشیدگی	آماره جاک-برا	معناداری
ملت	592	0.198	6.716	-32.408	18.321	-1.093	5.998	1005.49	<0.001
اقتصاد نوین	592	0.347	6.373	-19.040	17.758	-0.096	1.353	46.07	<0.001
پارسیان	592	0.304	6.559	-18.505	21.440	0.358	1.744	87.61	<0.001
پاسارگاد	592	0.439	5.092	-16.651	16.575	0.168	2.584	167.43	<0.001
پست بانک	592	0.624	6.527	-19.240	18.776	-0.027	1.172	33.95	<0.001
صادرات	592	0.340	5.975	-15.597	18.420	0.265	1.113	37.50	<0.001
سامان	592	0.370	6.246	-19.900	18.052	-0.085	1.649	67.80	<0.001
شهر	592	0.641	4.804	-13.297	14.132	0.314	1.304	51.69	<0.001
تجارت	592	0.417	6.234	-17.629	17.597	0.218	0.796	20.33	<0.001

بررسی جدول ۲ چند یافته بنیادین را آشکار می‌سازد. نخست، میانگین بازده هفتگی همه بانک‌ها مثبت اما کوچک است (در بازه تقریبی %۲۰/۰ تا %۶۴/۰) که با ماهیت کم بازده و پرنوسان سهام بانکی در یک اقتصاد تورمی سازگار است. دوم، انحراف معیار بازده‌ها که معیاری از نوسان و ریسک کل است، میان بانک‌ها تفاوت معناداری دارد: بانک شهر با %۴/۸۰ کم نوسان‌ترین و بانک ملت با %۶/۷۲ پر نوسان‌ترین بانک نمونه است. این تفاوت پیش‌آگهی از جایگاه شبکه‌ای بانک‌هاست؛ چنان‌که در ادامه نشان داده می‌شود بانکی که کم‌نوسان‌ترین توزیع بازده را دارد (شهر)، همان بانکی است که در شبکه وابستگی، پیرامونی‌ترین جایگاه را اشغال می‌کند. به بیان دیگر کم‌تر هم‌نوسان شدن با بازار، هم در پراکندگی بازده و هم در شدت اتصال شبکه‌ای بازتاب یافته است.

سوم و مهم‌تر از همه، توزیع بازده هیچ‌یک از بانک‌ها نرمال نیست. مقدار p آزمون جاک-برا در تمام بانک‌ها عملاً صفر است و فرض نرمال بودن به‌طور قاطع رد می‌شود. این نتیجه هم از کشیدگی (دم‌های ضخیم) و هم در برخی بانک‌ها از چولگی نامتقارن نشأت می‌گیرد. بانک ملت با کشیدگی ۵/۹۹۸ و چولگی منفی ۱/۰۹۳ سنگین‌ترین دم‌ها و نامتقارن‌ترین توزیع را دارد؛ چولگی منفی به این معناست که دم چپ (سقوط‌های بزرگ) ضخیم‌تر از دم راست است، یعنی ریسک رخداد بازده‌های منفی استثنایی در این بانک بیش از یک توزیع متقارن است. پاسارگاد (کشیدگی ۲/۵۸۴) و پارسیان (۱/۷۴۴) نیز دم‌های ضخیم محسوسی نشان می‌دهند، درحالی‌که تجارت (۰/۷۹۶) و صادرات (۱/۱۱۳) به توزیع نرمال نزدیک‌ترند. چهارم، ستون‌های کمینه و بیشینه نشان می‌دهند که مرزهای پالایش در سطح صدک ۱ و ۹ به‌درستی اعمال شده‌اند؛ برای نمونه کمینه مشاهده‌شده بانک ملت (۳۲/۴۱- درصد) دقیقاً برابر مرز پایینی پالایش است که در چند هفته پرت تکرار شده است. این پالایش دم‌های پرت ناشی از رویدادهای شرکتی را کنترل کرده اما نتوانسته و نباید کشیدگی ذاتی بازده‌ها را حذف کند؛ ازاین‌رو تفسیر ضرایب همبستگی پیرسون در ادامه با آگاهی از این دم‌های ضخیم و به‌عنوان معیاری از هم‌حرکتی خطی صورت می‌گیرد.

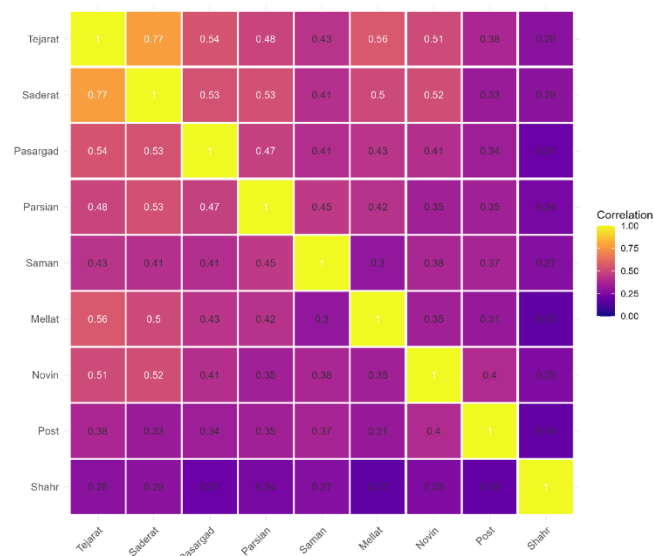
شکل ۱ این یافته‌ها را به‌صورت بصری تایید می‌کند. نمودار ویولن، قله‌های تیز و متمرکز حول صفر را در کنار دم‌های بلند و کشیده نشان می‌دهد که نشانه بارز توزیع‌های کشیده و غیرنرمال است. بانک شهر باریک‌ترین ویولن و فشرده‌ترین جعبه میانی را دارد که بازتاب همان پراکندگی کم بازده اوست، درحالی‌که بانک‌هایی چون ملت و پارسیان، دم‌های بلندتری به دو سو گسترانده‌اند. رنگ‌بندی بر اساس خوشه (که در بخش ۵-۴ معرفی می‌شود) نیز از همین مرحله، تمایز توزیعی بانک شهر (خوشه ۳) از دو خوشه دیگر را به‌چشم می‌آورد.



شکل ۱- توزیع بازده هفتگی بانک‌ها بر اساس خوشه (نمودار ویولن و جعبه‌ای).
Figure 1- Distribution of weekly bank returns by cluster (violin and box plots).

۴-۲- ساختار همبستگی ایستا میان بانک‌ها

ماتریس همبستگی پیرسون بازده هفتگی نخستین تصویر از نقشه وابستگی متقابل بانک‌ها را ارائه می‌دهد (شکل ۲). مهم‌ترین مشاهده این است که تمام ضرایب غیرقطری مثبت‌اند؛ یعنی در کل دوره هیچ جفت بانکی با هم حرکتی منفی پایدار مواجه نبوده و یک مؤلفه مشترک بازار، همه بانک‌ها را در یک جهت به حرکت درمی‌آورد. با این حال شدت این هم‌حرکتی به‌هیچ‌وجه یکسان نیست و همین ناهمگونی، ساختار شبکه را معنادار می‌سازد.



شکل ۲- هیتمپ ماتریس همبستگی هفتگی، مرتب‌شده بر اساس خوشه و شدت همبستگی.
Figure 2- Heatmap of the weekly correlation matrix, ordered by cluster membership and correlation strength.

بالاترین همبستگی غیرقطری ۰/۷۷ میان صادرات و تجارت است؛ ضریبی که از نظر کمی یک جفت هم‌بسته قوی را تشکیل می‌دهد و نشان می‌دهد بازده این دو بانک، بخش بزرگی از واریانس خود را با یکدیگر شریک‌اند. در لایه بعد مجموعه‌ای از همبستگی‌ها در بازه ۰/۵۰ تا ۰/۵۶ قرار می‌گیرند که عمدتاً پیرامون دو بانک تجارت و صادرات متمرکزند: تجارت با ملت (۰/۵۵) و پاسارگاد (۰/۵۴)، و صادرات با پاسارگاد (۰/۵۳۲)، پارسین (۰/۵۲) و اقتصاد نوین (۰/۵۱۷). این الگو، تجارت و صادرات را به‌عنوان دو گره پراتصال و پرجاذبه در فضای همبستگی معرفی می‌کند. در مقابل پایین‌ترین همبستگی کل ماتریس، ۰/۱۷۱ میان شهر و ملت است و به‌طور کلی تر سطر و ستون مربوط به بانک شهر تماماً

در بازه باریک ۱۷/۰ تا ۲۹/۰ قرار دارد؛ یعنی شهر با همه بانک‌ها، ضعیف‌ترین پیوند هم‌حرکتی را برقرار می‌کند و رفتاری متمایز و مستقل‌تر از بدنه اصلی صنعت از خود نشان می‌دهد.

نکته‌ای که شایسته تأکید است، سطح متوسط بیشتر همبستگی‌هاست. برخلاف آن‌چه ممکن است تصور شود، متوسط بودن ضرایب (به‌جای مقادیر بسیار نزدیک به یک) یک نقطه قوت تحلیلی است، نه یک ضعف؛ زیرا اگر تمام همبستگی‌ها بسیار بالا بودند، شبکه به یک توده همگن و بی‌ساختار تبدیل می‌شد و تمایز میان کانون، بدنه و پیرامون از میان می‌رفت. همین پراکندگی ضرایب است که اجازه می‌دهد ساختار سلسله‌مراتبی وابستگی، درخت پوشای کمینه و خوشه‌ها اطلاعات تمایز بخش تولید کنند.

همان‌گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، این ماتریس به‌صورت هیت‌مپ رنگی و مرتب‌شده بر اساس عضویت خوشه‌ای و شدت همبستگی بازنمایی شده است؛ در این تصویر بلوک بالا-چپ (مربوط به خوشه هسته) با رنگ‌های گرم‌تر و روشن‌تر، خوشه همبستگی درونی قوی‌تر را نشان می‌دهد، درحالی‌که سطر و ستون انتهایی (شهر) با رنگ بنفش تیره، پایین‌ترین سطح وابستگی را بازتاب می‌دهد. مرزهای سفید ترسیم‌شده روی هیت‌مپ، دقیقاً همان سه بلوکی را جدا می‌کنند که خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (بخش ۵-۴) نیز شناسایی کرده است؛ این هم‌خوانی میان دو روش مستقل (مرتب‌سازی ماتریس و خوشه‌بندی)، یک سازگاری و هم‌افزایی روش‌های مختلف بصری‌سازی و خوشه‌بندی برای ساختار خوشه‌ای به دست می‌دهد.

۳-۴- اسکلت وابستگی: درخت پوشای کمینه

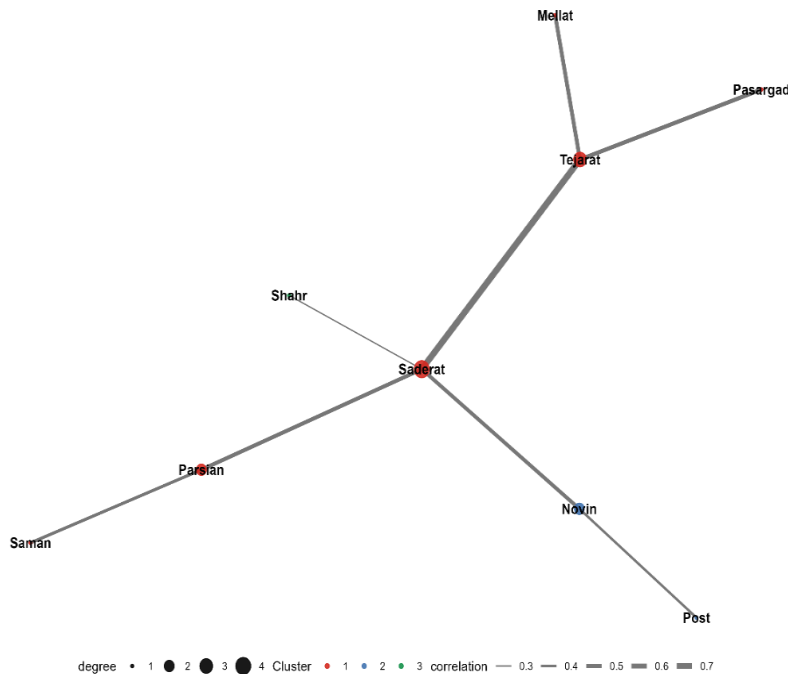
ماتریس همبستگی کامل، همه جفت‌روابط را یکجا نشان می‌دهد اما برای درک مسیرهای حیاتی وابستگی باید یال‌های زاید را پالایش کرد. درخت پوشای کمینه با حفظ کم‌ترین تعداد یال ممکن (۸ یال برای ۹ گره) و حداقل مجموع فاصله همبستگی، اسکلت اصلی ساختار وابستگی را آشکار می‌سازد. جدول ۳ شاخص‌های مرکزیت هر بانک را در این درخت گزارش می‌کند.

جدول ۳- شاخص‌های مرکزیت بانک‌ها در درخت پوشای کمینه.

Table 3- Centrality measures of banks in the minimum spanning tree.

بانک	درجه	بینابینی	نزدیکی
صادرات	4	23	0.0895
تجارت	3	13	0.0758
اقتصاد نوین	2	7	0.0622
پارسیان	2	7	0.0623
ملت	1	0	0.0506
پاسارگاد	1	0	0.0503
پست بانک	1	0	0.0421
سامان	1	0	0.0427
شهر	1	0	0.0512

شکل ۳ ساختار این درخت را نمایش می‌دهد. برجسته‌ترین ویژگی، شکل‌گیری یک ستاره دوکانونی حول صادرات و تجارت است. بانک صادرات با درجه ۴ و بینابینی ۲۳، پراتصال‌ترین و میانجی‌ترین گره درخت است و چهار شاخه (تجارت، شهر، پارسیان و اقتصاد نوین) مستقیماً به آن متصل‌اند. بانک تجارت با درجه ۳ و بینابینی ۱۳، کانون دوم را تشکیل می‌دهد و ملت و پاسارگاد را به اسکلت می‌دوزد. یال میان صادرات و تجارت، ضخیم‌ترین یال کل درخت است که بازتاب همان همبستگی ۷۷۳/۰ و ستون فقرات اتصال شبکه محسوب می‌شود.



شکل ۳- درخت پوشای کمینه شبکه بانک‌ها.

Figure 3- Minimum spanning tree of the banking network.

مقدار بینابینی در این درخت، تفسیر راهبردی مهمی دارد: بانک صادرات با بینابینی ۲۳، به معنای واقعی کلمه یک دروازه‌بان یا گلوگاه ارتباطی است؛ به این معنا که اگر این گره از درخت حذف شود، درخت به چند جز مجزا فرومی‌پاشد و مسیر ارتباطی میان بخش‌هایی از شبکه قطع می‌شود. تجارت نیز با بینابینی ۱۳ نقش مشابهی در مقیاس کوچک‌تر ایفا می‌کند. اقتصاد نوین و پارسین، هرکدام با درجه ۲ و بینابینی ۷، نقش پل را بازی می‌کنند: اقتصاد نوین تنها مسیر اتصال پست به اسکلت اصلی است و پارسین تنها مسیر اتصال سامان. این دو بانک اگرچه از نظر درجه کانون نیستند، اما حذف آن‌ها یک بانک را از درخت جدا می‌کند. لازم به ذکر است این تفسیر محدود به ساختار بهینه‌شده *MST* است و نباید به عنوان نقش انتقال‌دهنده اصلی شوک در شبکه واقعی بازار تلقی شود.

یک نکته ظریف و مهم در این درخت نهفته است: بانک‌های ملت و پاسارگاد با آن‌که در خوشه رفتاری هسته (بخش ۴-۵) قرار می‌گیرند، در درخت پوشای کمینه صرفاً یک برگ‌اند (درجه ۱) و هر دو تنها از طریق تجارت به اسکلت متصل‌اند. این مشاهده نشان می‌دهد که عضویت در خوشه هم‌رفتار و مرکزیت توپولوژیک در اسکلت وابستگی دو مفهوم مجزا و غیرهم‌ارزند: یک بانک می‌تواند از نظر الگوی همبستگی به هسته تعلق داشته باشد، اما در کوتاه‌ترین ساختار اتصال، جایگاهی پیرامونی بگیرد. تفکیک این دو لایه از تفسیر هر بانک بزرگ‌تر، مرکزی‌تر جلوگیری می‌کند.

۴-۴- شبکه همبستگی قوی و رتبه‌بندی اهمیت بانک‌ها

درخت پوشای کمینه اسکلت را نشان داد، اما شدت کلی وابستگی هر بانک را نه. برای سنجش این شدت، شبکه همبستگی آستانه‌دار (با حفظ همبستگی‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵) ساخته شد. جدول ۴ شاخص‌های مرکزیت این شبکه و جدول ۵ ویژگی‌های ساختاری آن را گزارش می‌کند.

جدول ۴- شاخص‌های مرکزیت بانک‌ها در شبکه همبستگی قوی (آستانه ۰/۲۵).

Table 4- Centrality measures of banks in the strong correlation network (threshold = 0.25).

بانک	درجه	قدرت	بینابینی	نزدیکی
تجارت	8	3.95	0	0.267
صادرات	8	3.88	1	0.279
اقتصاد نوین	8	3.16	2	0.317
پاسارگاد	7	3.13	0	0.263
پارسیان	7	3.05	0	0.274
سامان	8	3.01	1	0.332
ملت	7	2.88	0	0.290
پست بانک	7	2.47	0	0.324
شهر	4	1.08	1	0.284

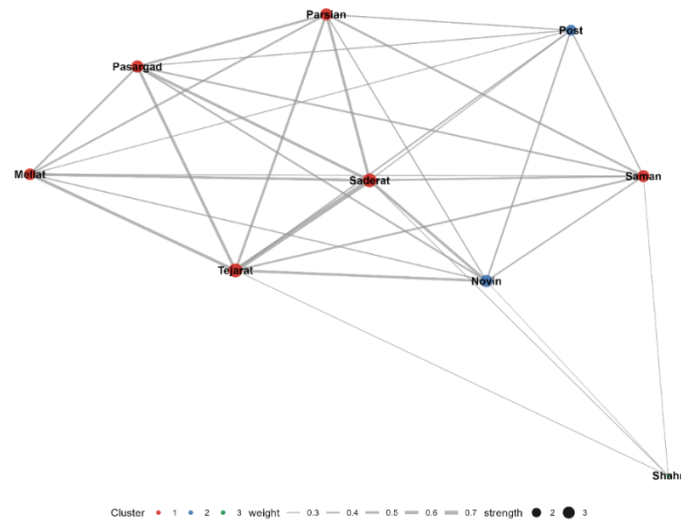
جدول ۵- ویژگی‌های ساختاری شبکه همبستگی قوی.

Table 5- Structural properties of the strong correlation network.

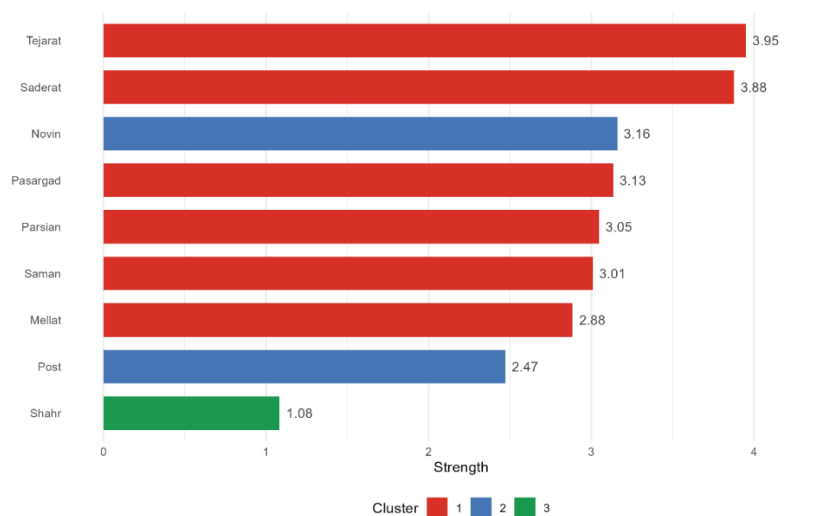
شاخص ساختاری	درجه
تعداد گره	9
تعداد یال	32
چگالی شبکه	0.889
میانگین درجه	7.11
بیشینه درجه	8
کمینه درجه	4
میانگین قدرت	2.975
آستانه همبستگی	0.25

جدول ۵ نشان می‌دهد شبکه حاصل با چگالی ۰/۸۸۹ و ۳۲ یال از ۳۶ یال ممکن، یک شبکه تقریباً کامل است؛ به این معنا که وابستگی متقابل در کل صنعت، فراگیر و گسترده است و بیشتر جفت‌بانک‌ها پیوندی قوی‌تر از آستانه برقرار کرده‌اند. از ۴ یالی که حذف شده‌اند، همه مربوط به بانک شهرند (همبستگی شهر با ملت، پست بانک، پاسارگاد و پارسیان زیر ۰/۲۵ است)؛ از این‌رو شهر با درجه ۴ تنها گره‌ای است که از اتصال کامل به شبکه بازمانده و بقیه بانک‌ها درجه ۷ یا ۸ دارند. این یافته پیرامونی بودن شهر را از یک زاویه دیگر (اتصال ناقص در شبکه متراکم) تایید می‌کند.

در این شبکه متراکم شاخص قدرت (مجموع وزن همبستگی‌های یک بانک با سایر بانک‌ها) معیار جامع‌تری از اهمیت نسبت به درجه است، زیرا درجه در یک شبکه تقریباً کامل، توان تمایزبخشی کمی دارد. بر اساس قدرت (جدول ۴ و شکل ۵)، تجارت (۳/۹۵) و صادرات (۳/۸۸) با فاصله‌ای محسوس از بقیه، دو کانون اصلی وابستگی‌اند؛ یعنی این دو بانک نه تنها به همه متصل‌اند، بلکه مجموع شدت پیوندهایشان نیز بیشترین است. در مرتبه بعد اقتصاد نوین (۳/۱۶)، پاسارگاد (۳/۱۳)، پارسیان (۳/۰۵) و سامان (۳/۰۱) یک بدنه میانی فشرده تشکیل می‌دهند و ملت (۲/۸۸) و پست بانک (۲/۴۷) در پایین این بدنه قرار می‌گیرند. بانک شهر با قدرت ۱/۰۸ با اختلافی بسیار بزرگ در قعر جدول است.



شکل ۴- شبکه همبستگی قوی بانک‌ها.
Figure 4- Strong correlation network of banks.



شکل ۵- رتبه‌بندی بانک‌ها بر اساس شاخص قدرت (مجموع وزن همبستگی‌ها).
Figure 5- Ranking of banks by the strength index (sum of correlation weights).

در این بخش دو ناهمگونی تحلیلی شایسته گزارش دقیق‌اند، زیرا نشان می‌دهند که خوشه‌بندی و رتبه‌بندی قدرت لزوماً یکسان عمل نمی‌کنند. نخست، بانک اقتصاد نوین عضو خوشه ۲ است (همراه پست بانک)، اما قدرت آن (۳/۱۶) نه تنها از پست بانک (۲/۴۷) بسیار بالاتر است، بلکه حتی از پاسارگاد عضو خوشه ۱ (۳/۱۳) نیز پیشی می‌گیرد. تفسیر این پدیده آن است که الگوی رفتاری اقتصادی نوین (همبستگی‌اش با پست بانک، آن را در یک خوشه قرار داده) با شدت اتصال کلی آن (که شبیه هسته است) متفاوت است؛ اقتصاد نوین از نظر سبک هم‌حرکتی به پست بانک شبیه است، اما از نظر میزان وابستگی به بدنه اصلی نزدیک است. دوم، بانک ملت عضو خوشه ۱ (هسته) است، اما قدرت آن (۲/۸۸) در رده هفتم و پایین‌تر از چند بانک دیگر قرار می‌گیرد و در درخت پوشای کمینه نیز یک برگ بود. این دو مشاهده با هم می‌گویند که هسته رفتاری از نظر شدت اتصال یکدست نیست و ملت اگرچه الگوی همبستگی‌اش آن را در خوشه بزرگ قرار می‌دهد، از نظر مجموع وابستگی و جایگاه اسکلتی نقشی میانی‌تر ایفا می‌کند. گزارش صادقانه این ناهمگونی‌ها، از تقلیل یافته‌ها به یک روایت تک‌خطی جلوگیری می‌کند.

با جمع‌بندی دو لایه درخت پوشای کمینه و شبکه قوی می‌توان بانک‌ها را در سه جایگاه مفهومی قرار داد:

۱. کانون وابستگی (تجارت و صادرات) که هم در اسکلت میانجی‌اند و هم بیشترین شدت اتصال را دارند.

۲. بدنه متصل (اقتصاد نوین، پاسارگاد، پارسین، سامان و تا حدی ملت) که پیوندهای قوی و فراگیر دارند.
۳. پیرامون که بانک شهر، نمونه بارز و بی‌چون و چرای آن است و پست بانک نیز در لبه پایینی بدنه گرایشی پیرامونی دارد.

بررسی پایداری شبکه در آستانه‌های مجاور نشان می‌دهد که در آستانه $0/20$ ، شبکه متراکم‌تر شده اما ساختار کانون-پیرامون و جایگاه تجارت و صادرات کاملاً حفظ می‌شود. در آستانه $0/30$ نیز تنها بانک شهر (به دلیل حداکثر همبستگی $0/286$) از شبکه ایزوله شده و ساختار هسته شش‌تایی بدون تغییر باقی می‌ماند. این امر تایید می‌کند که یافته‌های اصلی مقاله نسبت به انتخاب دقیق آستانه در این بازه حساسیت و شکنندگی ندارند.

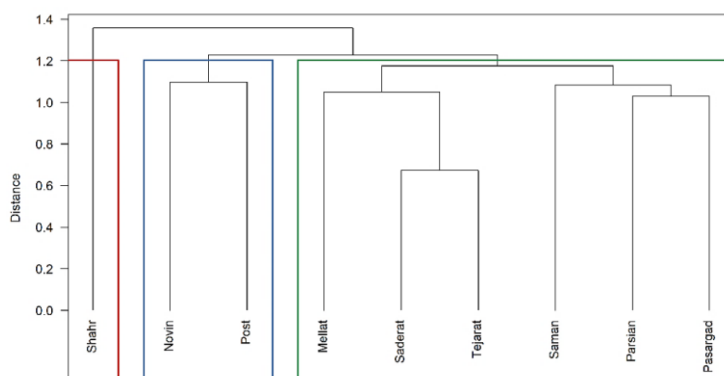
۴-۵- خوشه‌بندی رفتاری بانک‌ها

به‌منظور شناسایی گروه‌هایی از بانک‌ها با الگوی هم‌حرکتی مشابه، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش وارد بر ماتریس فاصله همبستگی اعمال شد. جدول ۶ اعضای خوشه‌ها را با برش سه خوشه‌ای گزارش می‌کند و شکل ۶ دندروگرام حاصل را نمایش می‌دهد.

جدول ۶- اعضای خوشه‌های رفتاری بانک‌ها.

Table 6- Membership of banks in behavioral clusters.

خوشه	بانک‌های عضو	تفسیر ساختاری
۱ (هسته)	ملت، پارسین، پاسارگاد، صادرات، سامان و تجارت	بدنه اصلی وابستگی با همبستگی درون‌گروهی بالا
۲ (لایه میانی)	اقتصاد نوین و پست بانک	لایه میانی با الگوی هم‌حرکتی مشابه اما وابستگی ضعیف‌تر
۳ (پیرامون)	شهر	بانک منفرد با کم‌ترین همبستگی و مستقل‌ترین رفتار



شکل ۶- دندروگرام خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی بانک‌ها.

Figure 6- Dendrogram of the hierarchical clustering of banks.

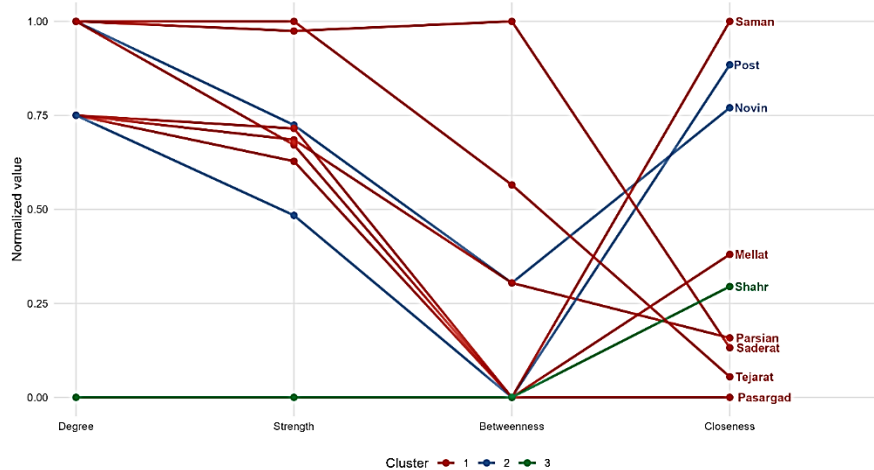
دندروگرام فرایند ادغام خوشه‌ها را به‌روشنی روایت می‌کند. نخستین و پایین‌ترین ادغام میان صادرات و تجارت رخ می‌دهد که تاییدی مستقل بر قوی‌ترین جفت همبستگی ($0/77$) است. در شاخه‌ای دیگر پارسین و پاسارگاد زود ادغام می‌شوند و سپس سامان به آن‌ها می‌پیوندد و از سوی دیگر صادرات-تجارت با ملت یکجا می‌شوند. این دو زیرمجموعه در ارتفاع بالاتری به هم می‌رسند و خوشه ۱ (هسته شش‌تایی) را می‌سازند. اقتصاد نوین و پست بانک، مستقل از این فرایند یک جفت جداگانه تشکیل می‌دهند (خوشه ۲). و در نهایت بانک شهر، آخرین شاخه‌ای است که در بلندترین ارتفاع به بدنه می‌پیوندد؛ یعنی دورترین بانک از همه که جایگاه پیرامونی و منفرد آن را در خوشه ۳ تثبیت می‌کند.

هم‌خوانی این دندروگرام با هیت‌مپ شکل ۲ و با رنگ‌بندی شبکه در شکل‌های ۳ و ۴ قابل توجه است: سازگاری و هم‌افزایی روش‌های مختلف بصری‌سازی و خوشه‌بندی (مرتب‌سازی ماتریس، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و نمایش شبکه‌ای) همگی به یک تقسیم‌بندی سه‌گانه همگرا شده‌اند. این همگرایی، استحکام نتیجه خوشه‌بندی را بالا می‌برد و نشان می‌دهد ساختار شناسایی‌شده، مصنوعه یک روش خاص نیست. از منظر تفسیر کاربردی، خوشه ۱ را می‌توان کانال اصلی هم‌حرکتی و در صورت بروز شوک مشترک، مسیر بالقوه انتقال آن در صنعت دانست؛ خوشه ۲ گروهی با

رفتار میانی است و خوشه ۳ (شهر) به دلیل همبستگی پایین با هسته از منظر تشکیل سبد، بیشترین خاصیت تنوع بخشی نسبی را در میان بانک های نمونه ارایه می کند، هر چند این نتیجه صرفاً بر مبنای همبستگی بازده است و نباید به عنوان تضمین تنوع بخشی در همه شرایط تلقی شود.

۴-۶- پروفایل چندبعدی مرکزیت

یکی از پیام های مهم تحلیل شبکه آن است که مرکزیت یک مفهوم تک بعدی نیست و شاخص های گوناگون، جنبه های متفاوتی از اهمیت یک گره را می سنجد. شکل ۷ پروفایل نرمال شده چهار شاخص مرکزیت (درجه، قدرت، بینابینی و نزدیکی) را برای همه بانک ها در قالب نمودار مختصات موازی نمایش می دهد.



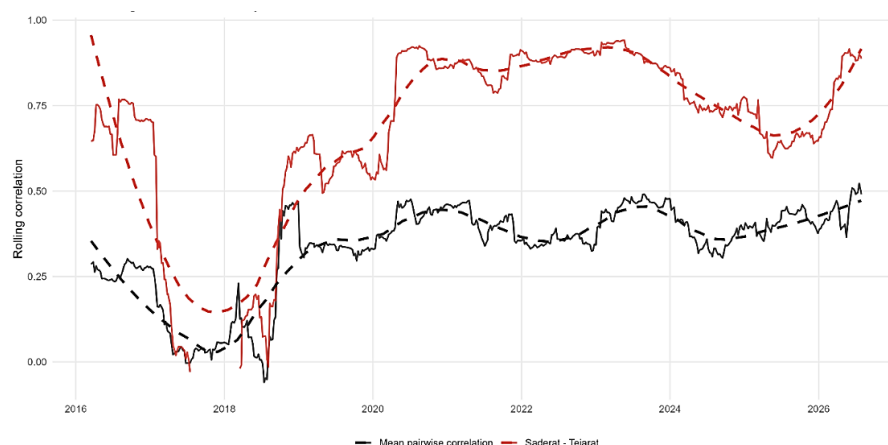
شکل ۷- پروفایل چندبعدی مرکزیت بانک ها.
Figure 7- Multidimensional centrality profile of banks.

این نمودار دو الگوی آموزنده را آشکار می سازد. نخست، بانک شهر یک خط تقریباً تخت روی صفر در سه محور درجه، قدرت و بینابینی دارد و تنها در محور نزدیکی اندکی بالا می آید؛ این امضای بصری یک گره پیرامونی است که در هیچ بعد اتصالی، نقشی برجسته ندارد. دوم و مهم تر، واگرایی شدید خطوط در محور نزدیکی مشاهده می شود: برخلاف محورهای درجه و قدرت که در آن ها کانون (تجارت/صادرات) در بالا همگراست، در نزدیکی بانک سامان به بالاترین مقدار (۰/۳۳۲) می رسد، در حالی که تجارت با آن که قوی ترین قدرت را دارد، نزدیکی نسبتاً پایینی (۰/۲۶۷) نشان می دهد. این واگرایی پیام روش شناختی روشنی دارد: بانکی که از نظر مجموع شدت اتصال (قدرت) در راس است، لزوماً از نظر میانگین فاصله تا سایر گره ها (نزدیکی) در راس نیست. از این رو ارزیابی اهمیت یک بانک در شبکه نیازمند ملاحظه هم زمان چند شاخص است و تکیه بر یک عدد واحد، تصویری ناقص و گاه گمراه کننده ارایه می کند. نمودار مختصات موازی دقیقاً به همین دلیل مکمل جدول های ۳ و ۴ است و لایه ای از تفسیر را می افزاید که جدول ها به تنهایی منتقل نمی کنند.

۴-۷- پویایی زمانی وابستگی

به منظور بررسی پایداری نتایج ایستا در طول زمان، میانگین همبستگی جفت بانک ها در پنجره غلتان ۵۲ هفته ای محاسبه شد (شکل ۸). میانگین این شاخص در کل دوره برابر با ۰/۳۶۷ است که حاکی از سطح متوسطی از هم حرکتی پایدار است؛ اما همان گونه که در شکل ۸ دیده می شود، این سطح در طول زمان ثابت نیست. میانگین همبستگی جفتی پس از یک فاز کاهشی در میانه دهه ۲۰۱۰، روندی تدریجاً صعودی را دنبال می کند و به سمت پایان دوره به حدود ۰/۵ می رسد؛ جفت صادرات-تجارت نیز به طور پایدار در سطحی به مراتب بالاتر (عمدتاً بالای ۰/۶ از سال ۲۰۲۰ به بعد) قرار می گیرد. در برخی بازه ها (از جمله دوره همه گیری کووید-۱۹ و تنش های منطقه ای ۲۰۲۵) همبستگی جفتی (به ترتیب ۰/۴۳۸ و ۰/۴۳۰ در برابر میانگین کل دوره ۰/۳۶۷) و جفت صادرات-تجارت (تا ۰/۸۵۸) از سطح بلندمدت خود فراتر می روند؛ الگویی که با تضعیف

موقت اثر تنوع‌بخشی در دوره‌های پرتش هم‌خوان است. این نمای پویا که در اینجا تنها به‌عنوان یک بررسی تکمیلی گزارش شد، با یافته‌های ایستا سازگار است و تایید می‌کند که ساختار وابستگی در صنعت بانکداری ایران نه ثابت، بلکه متغیر با زمان است.



شکل ۸- پویایی زمانی وابستگی در صنعت بانکداری ایران (همبستگی غلتان).

Figure 8- Temporal dynamics of interdependence in the Iranian banking industry (rolling correlation).

مجموع بخش یافته‌ها تصویری منسجم و چندلایه از ساختار وابستگی در صنعت بانکداری ایران ترسیم می‌کند. از منظر ایستا، همبستگی‌ها فراگیر اما ناهمگن‌اند و صادرات قوی‌ترین پیوند دوجانبه (۰/۷۷۳) و در عین حال بیشترین شدت اتصال کلی (قدرت ۳/۹۵ و ۸۸/۰) را در اختیار دارند. از منظر توپولوژیک، درخت پوشای کمینه، صادرات را به‌عنوان دروازه‌بان اصلی (بینایی ۲۳) و تجارت را به‌عنوان کانون دوم معرفی می‌کند و اقتصاد نوین و پارسیان را در نقش پل‌های اتصال پست بانک و سامان قرار می‌دهد. از منظر خوشه‌ای، بانک‌ها در سه گروه همگرا می‌شوند: یک هسته شش‌تایی، یک لایه میانی دوتایی (اقتصاد نوین و پست بانک) و یک پیرامون منفرد (شهر). از منظر چندبعدی، شاخص‌های مرکزیت هم‌راستا نیستند، چنان‌که سامان بالاترین نزدیکی و تجارت بالاترین قدرت را دارد. در سراسر این لایه‌ها، شهر به‌طور یکنواخت پیرامونی‌ترین جایگاه را اشغال می‌کند (کم‌ترین همبستگی، کم‌ترین قدرت، کم‌ترین نوسان بازده و اتصال ناقص در شبکه متراکم)، درحالی‌که ناهمگونی‌هایی مانند جایگاه میانی قدرت ملت در عین عضویت در هسته یا قدرت شبه‌هسته‌ای اقتصاد نوین در عین عضویت در خوشه ۲ نشان می‌دهند که ساختار وابستگی غنی‌تر از آن است که در یک تک‌شاخص یا یک تک‌خوشه خلاصه شود.

۵- بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که وابستگی متقابل در بخش منتخب صنعت بانکداری ایران نه یک پدیده همگن، بلکه ساختاری سلسله‌مراتبی و خوشه‌ای است که در آن دو بانک تجارت و صادرات کانون‌های اصلی اتصال‌اند و بانک شهر پیرامونی‌ترین جایگاه را اشغال می‌کند. این تصویر با چارچوب نظری باتسون و کالداریلی [13] هم‌خوان است که بر اساس آن اهمیت سیستمی یک نهاد بیش از آن‌که تابع اندازه‌اش باشد، تابع جایگاهش در شبکه است و نیز با یافته‌پوزی و همکاران [20] سازگار است که گره‌های پیرامونی و کم‌اتصال را از منظر تنوع‌بخشی متمایز می‌دانند.

نکته‌ای که شایسته تأکید در بحث است، تفاوت ظریف میان کانون اسکلتی و کانون شدتی است. در درخت پوشای کمینه، بانک صادرات با بینایی ۲۳ دروازه‌بان اصلی شبکه بود، حال آن‌که در شبکه متراکم، بانک تجارت با قدرت ۳/۹۵ بالاترین شدت اتصال را داشت. این واگرایی نشان می‌دهد اهمیت یک بانک، بسته به لایه‌ای از شبکه که بررسی می‌شود قادر است اندکی جابه‌جا شود؛ پیامی که با رویکرد چندبعدی به مرکزیت هم‌سو است. همچنین این نتیجه با مطالعه صادقی شاهدانی و همکاران [28] که بانک ملت را مهم‌ترین نهاد شبکه معرفی کرده بود، تفاوت‌هایی دارد. این تفاوت را می‌توان به دو عامل نسبت داد: نخست، دوره نمونه بلندتر و پیوسته پژوهش حاضر در مقابل زیردوره‌های کوتاه‌تر آن مطالعه و دوم، تفاوت روش‌شناختی، چرا که پژوهش حاضر بر ساختار توپولوژیک وابستگی بازده تکیه دارد، در حالی که آن مطالعه از شاخص $ACoVaR$ بهره برده است. با این حال هر دو مطالعه بر این نکته توافق دارند که بانک‌های بزرگ و پراستصال، نقشی نامتناسب با سهم عددی‌شان در انتقال ریسک ایفا می‌کنند.

افزون بر این هم‌خوانی یافته‌های حاضر با رانی و همکاران [29] که رفتار جمعی شکننده و حساسیت نظام بانکی ایران به اختلال‌های سراسری را گزارش کرده‌اند، قابل توجه است. با این حال باید تاکید کرد که همبستگی بالا به‌تنهایی نشان‌دهنده جهت یا علیت در انتقال شوک نیست، بلکه بیانگر آسیب‌پذیری ساختاری مشترک در برابر عوامل بازار است. تمرکز وابستگی حول چند کانون، پتانسیل تکثیر سریع شوک مشترک را ایجاد می‌کند اما تحلیل مسیرهای سرایت نیازمند روش‌های علی (مانند *Granger Causality*) است که در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

از منظر خوشه‌بندی، تفکیک بانک‌ها به یک هسته شش‌تایی، یک لایه میانی و یک پیرامون منفرد و به‌ویژه ناهمگونی‌هایی چون قرارگیری اقتصاد نوین در خوشه میانی با وجود قدرتی شبه‌هسته‌ای یا قرارگیری ملت در هسته با وجود جایگاهی میانی در اسکلت، شاهدی تجربی بر این گزاره مفهومی است که الگوی رفتاری و اهمیت سیستمی دو مفهوم مجزا هستند. این تفکیک از تقلیل تحلیل شبکه به یک تک‌شاخص جلوگیری می‌کند. در بعد پویا نیز، افزایش همبستگی‌های غلطان در دوره‌های تنش، با یافته هاسه [4] درباره تقویت پیوندها در رویدادهای سیستمی و با گزارش صادقی شاهدانی [28] درباره سرعت بالای سرایت در کوتاه‌مدت هم‌خوان است و دلالت بر آن دارد که اثر تنوع‌بخشی در بحران تضعیف می‌شود.

در پایان این بخش ذکر دو محدودیت روش‌شناختی برای شفافیت بیشتر و هدایت پژوهش‌های آتی ضروری است. نخست در این مطالعه برای استخراج ساختار شبکه، صرفاً از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده است. اگرچه این انتخاب با استاندارد ادبیات بنیادین شبکه‌های مالی هم‌خوان است و پالایش صدکی نیز اثر پرت‌ها را کنترل کرده است، اما عدم انجام آزمون استحکام با معیارهای وابستگی جایگزین و مقاوم (نظیر همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن یا روش‌های مبتنی بر کاپولا برای به تصویر کشیدن وابستگی در دم‌های توزیع)، محدودیتی است که بررسی آن در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. دوم انتخاب تعداد نهایی خوشه‌ها عمدتاً بر اساس برش دندروگرام و تفسیرپذیری اقتصادی انجام شده و عدم به‌کارگیری شاخص‌های کمی اعتبارسنجی خوشه (نظیر شاخص سیلونت) برای تایید ریاضی این برش، به‌عنوان محدودیت دیگر این پژوهش در نظر گرفته می‌شود که استفاده از آن‌ها می‌تواند استحکام خوشه‌بندی را در کارهای آتی دوچندان کند.

۵-۲- پیشنهادها

در ادامه با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه کرد:

۱. نهادهای ناظر می‌توانند پایش ثبات مالی را از رویکرد تک‌بانکی به رویکرد شبکه‌ای ارتقا دهند و وابستگی متقابل را به‌عنوان یک متغیر پایشی مستقل در نظر بگیرند.
۲. بانک‌های کانونی (تجارت و صادرات) به‌عنوان گره‌های مرکزی در شبکه همبستگی بازده، نامزدهای اولیه‌ای برای پایش تشدیدشده شبکه‌ای هستند. با این حال باید با احتیاط کامل تاکید شود که مرکزیت در شبکه همبستگی سهام، صرفاً نشان‌دهنده هم‌حرکتی انتظارات بازار است و نباید به‌عنوان مبنای مستقیم و قطعی برای تعیین رسمی نهادهای مهم سیستمی یا اعمال الزامات سرمایه‌ای و نقدینگی متفاوت تلقی شود. اهمیت سیستمی واقعی و رسمی تابعی از ابعاد ترازنامه‌ای، اهرم مالی، نقدینگی، قابلیت جایگزینی و شبکه ارتباطات بین‌بانکی است که فراتر از دامنه داده‌های بازار سرمایه این پژوهش قرار دارد. از این‌رو این یافته‌ها صرفاً به‌عنوان یک سیگنال هشدار اولیه برای کارشناسان می‌تواند در نظر گرفته شود تا بررسی‌های عمیق‌تر متکی بر ترازنامه روی این بانک‌ها صورت گیرد.
۳. با توجه به پویایی همبستگی، آستانه‌های هشدار باید پویا باشند؛ به‌گونه‌ای که در دوره‌هایی که همبستگی غلطان از حد آستانه‌ای فراتر می‌رود، تدابیر احتیاطی به‌طور خودکار فعال شوند.
۴. برای سرمایه‌گذاران نهادی، بانک‌های پیرامونی به دلیل همبستگی پایین‌تر با هسته شبکه، پتانسیل تنوع‌بخشی نسبی دارند. با این حال این نتیجه بر مبنای همبستگی تاریخی است و نباید به‌عنوان تضمینی برای شرایط بحران تلقی شود. برای ارزیابی دقیق‌تر مزیت تنوع‌بخشی، تحلیل بهینه‌سازی سبد با در نظر گرفتن ریسک و بازده سبد در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

در نهایت، پژوهش‌های آتی می‌توانند در چند جهت این مطالعه را گسترش دهند:

۱. ترکیب رویکرد شبکه‌ای حاضر با سنج‌های رسمی ریسک سیستماتیک چون *CoVaR* و *SRISK*.
۲. ساخت شبکه‌های چندلایه مبتنی بر بازده، حجم و ارزش بازار، در امتداد رویکرد نمکی و همکاران [8].
۳. استفاده از روش‌های پالایش غیرخطی و مبتنی بر اطلاعات متقابل، هم‌سو با منتشر و صادقی [24].

۴. افزودن متغیرهای بنیادی برای تبیین خوشه‌ها.
۵. انجام آزمون‌های شکست ساختاری برای تایید آماری تغییرات همبستگی در دوره‌های بحران.
۶. تحلیل مسیرهای سرایت با روش‌های علی.
۷. بهینه‌سازی سبد با در نظر گرفتن ساختار شبکه برای ارزیابی دقیق‌تر مزیت تنوع‌بخشی.

چنین گسترش‌هایی می‌توانند تصویر ارایه‌شده در این پژوهش را از یک نقشه ایستای وابستگی، به یک سامانه پایش پویای ریسک در صنعت بانکداری ایران بدل سازند.

منابع مالی

این پژوهش بدون دریافت هیچ‌گونه گرنت یا حمایت مالی از نهادهای دولتی، خصوصی یا غیرانتفاعی انجام شده است و هیچ نهاد تامین‌کننده مالی در طراحی پژوهش، گردآوری داده‌ها، تحلیل‌ها یا تفسیر نتایج نقشی نداشته است.

تعارض با منافع

اظهار می‌گردد که هیچ‌گونه تعارض منافع، اعم از مالی یا غیرمالی در انجام این پژوهش یا انتشار نتایج آن وجود ندارد و این مطالعه با استقلال کامل علمی تدوین شده است.

منابع

- [1] Kian Poor, S., Shaygani, B., Abolgassani, A., & Hajian, M. (2026). The role of banking system health in preventing money laundering (Copula approach). *Journal of Monetary & Banking Research*, 19(67), 51–63. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.66224/jmbr.19.67.5>
- [2] Nazarenko, I., Gorobinska, I., & Nazarenko, M. (2024). Activation of The Banking System's Role in State Economic Development in The Context of Sustainable Development. *Theor. Appl. Issues Econ*, (49), 38–46. <https://doi.org/10.17721/tpe.2024.49.4>
- [3] Steinbacher, M., Steinbacher, M., & Steinbacher, M. (2016). Robustness of banking networks to idiosyncratic and systemic shocks: a network-based approach. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 11(1), 95–117. <https://doi.org/10.1007/S11403-014-0143-3>
- [4] Hasse, J. B. (2022). Systemic risk: a network approach. *Empirical Economics*, 63(1), 313–344. <https://doi.org/10.1007/s00181-021-02131-2>
- [5] Li, Y., Liu, G., & Pin, P. (2018). Network-based risk measurements for interbank systems. *Plos One*, 13(7), e0200209. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0200209>
- [6] Tsankov, P. (2021). Overview of network-based methods for analyzing financial markets. *Proceedings of the Technical University of Sofia*. <https://doi.org/10.47978/TUS.2021.71.01.001>
- [7] Bouhlal, F., El Ouaraini, C., & Sedra, M. B. (2022). Topology of Correlation-Based Minimal Spanning Trees in Euronext Paris. In *2022 5th International Conference on Networking, Information Systems and Security: Envisage Intelligent Systems in 5g/6G-based Interconnected Digital Worlds (NISS)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/niss55057.2022.10085643>
- [8] Namaki, A., Raci, R., Asadi, N., & Hajihassani, A. (2019). Analysis of Iran Banking Sector by Multi-Layer Approach. *Iranian Journal of Finance*, 3(1), 73–89. <https://doi.org/10.48308/jfmp.2023.103883>
- [9] Papadimitriou, T., Gogas, P., & Tabak, B. M. (2013). Complex networks and banking systems supervision. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 392(19), 4429–4434. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2013.05.013>
- [10] Peltonen, T. A., Sarlin, P., & Piloju, A. (2015). *Network linkages to predict bank distress*. ECB Working Paper. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2579584>
- [11] Nazarpur, M., Moemeninezhad, N., & Haghighi, M. (2017). Bank-Based Financial Structure and its Role in the Occurrence of the Phenomenon of Stagflation in the Economy of Iran. *Journal of islamic economic and banking*, 6(18), 247–266. (In Persian). <http://micaoi.ir/article-1-460-fa.html>
- [12] Hosseini, N. S. (2024). Assessing the impact of banking health indicators on the profitability of Iranian non-state commercial Banks. *Financial and Banking Strategic Studies*, 2(3), 163–176. <https://doi.org/10.22105/fbs.2024.473358.1108>
- [13] Battiston, S., & Caldarelli, G. (2013). Systemic risk in financial networks. *Journal of Financial Management, Markets and Institutions*, 1(2), 129–154. <https://doi.org/10.1038/srep00541>
- [14] González-Avella, J. C., de Quadros, V. H., & Iglesias, J. R. (2016). Network topology and interbank credit risk. *Chaos, Solitons & Fractals*, 88, 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.11.044>

- [15] Yao, D., Liu, X., & Zhang, X. (2016). Financial contagion in interbank network. *International Journal of Monetary Economics and Finance*, 9(2), 132–148. <https://doi.org/10.1504/IJMEF.2016.076482>
- [16] Ramadiah, A., Di Gangi, D., Sardo, D., Macchiati, V., Minh, T. P., Pinotti, F., ... & Cimini, G. (2018). Network sensitivity of systemic risk. *ArXiv Preprint Arxiv:1805.04325*. <https://doi.org/10.21314/JNTF.2019.056>
- [17] Li, S., & Wang, C. (2021). Network structure, portfolio diversification and systemic risk. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(2), 235–245. <https://doi.org/10.1016/J.JMSE.2021.06.006>
- [18] Kirmit, U. (2008). *Financial correlation networks* [Thesis]. <https://research.sabanciuniv.edu/id/eprint/12838/>
- [19] Yusoff, N. S., & Djauhari, M. A. (2012). Understanding the Shift of Correlation Structure in Major Currency Exchange Rate. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 137–140. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v8n3.137>
- [20] Pozzi, F., Di Matteo, T., & Aste, T. (2013). Spread of risk across financial markets: better to invest in the peripheries. *Scientific Reports*, 3(1), 1665. <https://doi.org/10.1038/SREP01665>
- [21] Chan-Lau, J. A. (2018). Systemic centrality and systemic communities in financial networks. *Quantitative Finance and Economics*, 2(2), 468–496. <https://doi.org/10.3934/QFE.2018.2.468>
- [22] Eazin Zhang YuXin. (2024). How Do linkages among financial institutions help to explain the 2008 financial crisis? *Journal of Applied Economics and Policy Studies*, 15, 17–22. <https://doi.org/10.54254/2977-5701/2024.19655>
- [23] Moghadam, H. E., Mohammadi, T., Kashani, M. F., & Shakeri, A. (2019). Complex networks analysis in Iran stock market: The application of centrality. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 531, 121800. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.121800>
- [24] Montasheri, M., & Sadeqi, H. (2021). Establishment of a Non-Linear Financial Network Based on its Typological Characteristics Based on Graph Theory (A Study in Tehran Stock Exchange). *Journal of Asset Management and Financing*, 9(1), 1–22. **(In Persian)**. <https://doi.org/10.22108/amf.2020.122895.1538>
- [25] Cerqueti, R., Clemente, G. P., & Grassi, R. (2021). Systemic risk assessment through high order clustering coefficient. *Annals of Operations Research*, 299(1), 1165–1187. <https://doi.org/10.1007/S10479-020-03525-8>
- [26] Hatef Vahid, M., & Saleh Ardestani, A. (2020). Systemic risk evaluation of banks and financial institutions applying Markov clustering method and centrality measures of risk. *Islamic Economics and Banking*, 9(30), 115–140. **(In Persian)**. <http://mieaoi.ir/article-1-932-en.html>
- [27] Zanganeh, T., Rastegar, M. A., Chavoshi, K., & Fallah Shams, M. (2020). Systemic risk assessment of the banking system by modeling of the topology of the interbank market network. *Journal of Investment Knowledge*, 9(35), 21–48. **(In Persian)**. https://www.jik-ifea.ir/article_16667_67ded051d660fb05d7ad125986ddbf2d.pdf?lang=en
- [28] Sadeghi Shahdani, M., Tavakoli, H., & Salehi, A. (2022). Study of Systemic risk in the banking sector of Tehran Stock Exchange: Graph theory approach and ARMA-gjrGARCH-DCC. *Journal of Economic Research and Policies*, 30(101), 307–355. **(In Persian)**. <http://dx.doi.org/10.52547/qjerp.30.101.307>
- [29] Raei, R. (2019). Analysis of collective behavior of Iran banking sector by random matrix theory. *Iranian Journal of Finance*. <https://doi.org/10.22034/ijf.2019.111729>
- [30] Namaki, A., Raei, R., Asadi, N., & Hajihasani, A. (2019). Analysis of Iran banking sector by multi-layer approach. *Iranian Journal of Finance*, 3(1), 73–89. <https://doi.org/10.22034/ijf.2019.101367>
- [31] Sedaghati, S., Farhadi, R., & Fallashams, M. F. (2024). Contagious topological dynamics in the Iranian stock market. *Journal of investment knowledge*, 13(49), 279–298. **(In Persian)**.
- [32] Javaheri, S., & Ahmad Shabani. (2025). Examining network causality between financial markets during the sanctions era. *Islamic Finance Research*, 14(1), 75–114. **(In Persian)**. <https://doi.org/10.30497/ifr.2025.247464.1936>
- [33] Mantegna, R. N. (1999). Hierarchical structure in financial markets. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 11(1), 193–197. <https://doi.org/10.1007/s100510050929>
- [34] Bonanno, G., Caldarelli, G., Lillo, F., Micciche, S., Vandewalle, N., & Mantegna, R. N. (2004). Networks of equities in financial markets. *The European Physical Journal b*, 38(2), 363–371. <https://doi.org/10.1140/epjb/e2004-00129-6>
- [35] Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An introduction*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001?utm_source=chatgpt.com
- [36] Tumminello, M., Lillo, F., & Mantegna, R. N. (2010). Correlation, hierarchies, and networks in financial markets. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 75(1), 40–58. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2010.01.004>
- [37] Onnela, J. P., Chakraborti, A., Kaski, K., Kertesz, J., & Kanto, A. (2003). Dynamics of market correlations: Taxonomy and portfolio analysis. *Physical Review E*, 68(5), 56110. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.68.056110>