



Financial Management Perspective
Journal homepage: <https://jfmp.sbu.ac.ir/>



Original Article

Analyzing the Dependence Structure among Industries Listed on the Tehran Stock Exchange: Evidence Based on Vine Copulas

Elham Farzanegan*

Abstract

Introduction: Understanding the dynamic interdependence among industries within stock market indices is crucial for investment decision-making and the design of economic policies. The Pearson correlation coefficient only captures linear dependence. However, the return distribution of financial variables is not elliptical. Moreover, extreme events occurring in the tails of the distribution during crisis periods can rapidly propagate across financial markets, leading to stronger interdependence, which necessitates the use of more advanced and sophisticated models. It is noteworthy that copula-based models enable the modeling of nonlinear dependencies using flexible choices of marginal distributions. Among the various families of copulas, vine copulas allow for flexible modeling of complex dependence structures by utilizing a wide class of bivariate copulas. The interdependence of individual stock returns depends on the dependence between different sectors of the stock market. Therefore, it is essential to understand tail dependence across sectors, as each sector often responds differently to economic circumstances. The aim of this study is to reveal the dependence structure of 70 stocks across 10 industries using C-vine, R-vine, and D-vine models.

Methods: In this paper, a ARMA-EGARCH (1,1) model with Student-t innovations is employed for the marginal distributions. To define copula data, the cumulative distribution function (CDF) corresponding to the Student-t distribution is employed as a probability integral transform. Next, copula functions are selected using the marginal data, and vine structures are developed. In this paper, parameters are estimated using the sequential estimation (SE) method and the joint maximum likelihood estimation (MLE).

Results and discussion: The root nodes or industry representatives in the R-vine trees are as follows: Seshahed represents the real estate development industry; Vaomid serves as the representative of the industrial conglomerates sector, while Desobha represents the pharmaceutical materials and products sector; Kegol represents the metal ore extraction industry, while Femeli is considered the representative of the basic metals industry;

Received: January 25, 2026

Accepted: June 21, 2026

*Assistant Professor, Nahavand Higher Education Complex, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (Corresponding Author).

E-mail: e.farzanegan@basu.ac.ir

Automobile and auto parts companies are represented by Khazin, while Beterans serves as the representative of companies active in the machinery and electrical equipment industry. The investment industry, the chemical products industry, and the cement, lime, and plaster industry are represented by Pardis, Sharak, and Ceshomal, respectively. The dependence among industry representatives in the R-vine specification is extracted. Furthermore, Node 1 plays a central role among various firms in the chemicals and pharmaceutical products, basic metals, automotive and auto parts, and investment industries. The results also confirm that R-vine models are preferred over D-vine and C-vine models.

Conclusions: According to the results, the first hypothesis—"The dependency structure among industries listed on the Tehran Stock Exchange does not follow a symmetric (normal) pattern and exhibits tail dependence"—is supported. The dependency structure among the ten industry representatives is modeled using various copula families, including the BB8 and survival BB8 copulas. According to the findings, the second hypothesis—"The interconnections among industries listed on the Tehran Stock Exchange possess a multilayered and network-based nature and cannot be reduced to a purely centralized (C-vine) or chain-like (D-vine) structure"—is also supported. The empirical superiority of the R-vine model confirms the hypothesis of networked and multi-source interdependencies within the Tehran Stock Exchange, which is consistent with the structural characteristics of the Iranian economy. In emerging markets such as the Tehran Stock Exchange, dependencies often arise from multiple sources of risk (e.g., exchange rate fluctuations, commodity price shocks, and monetary policy). The economic structure is diversified yet imbalanced, and shocks may propagate simultaneously through multiple transmission channels. R-vine models exhibit superior explanatory power and goodness of fit in modeling inter-industry dependencies compared to C-vine and D-vine structures. In the context of the Tehran Stock Exchange—where dependencies are heterogeneous, shock transmissions occur with varying intensities, and ownership structures follow distinctive patterns—the R-vine framework provides a more flexible and better-fitting representation of inter-industry dependence dynamics.

From an economic perspective, the superiority of the R-vine model suggests that shock transmission in the Tehran Stock Exchange does not occur through a single pathway or via a dominant industry. Rather, different industries—depending on their positions within the dependency network—play distinct roles in either absorbing or transmitting risk. This finding is consistent with the structure of the Iranian economy, which is simultaneously influenced by factors such as exchange rate movements, global commodity prices, domestic policies, and institutional constraints. Consequently, the co-movement of industries in the Tehran Stock Exchange should be understood as the outcome of interactions among multiple sources of risk, rather than merely a response to a single common factor.

Keywords: Industries; Interdependence; Tehran Stock Exchange; Tree Structure; Vine Copulas.

How to Cite: Farzanegan, E., (). Analyzing the Dependence Structure among Industries Listed on the Tehran Stock Exchange: Evidence based on Vine Copulas. *Financial Management Perspective*, 16(1), 132-167 (*In Persian*)



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

چشم انداز مدیریت مالی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۱، صص ۱۳۲-۱۶۷، DOI: [10.48308/jfmp.2026.242449.1553](https://doi.org/10.48308/jfmp.2026.242449.1553)



نوع مقاله: پژوهشی

بررسی ساختار وابستگی میان صنایع فعال در بورس تهران: شواهدی بر پایه کاپیولاهای واین

الهام فرزنانگان^۱

چکیده

هدف: درک وابستگی پویای بین صنایع در میان شاخص‌های سهام برای تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری و طراحی سیاست‌های اقتصادی بسیار حیاتی است. ضریب همبستگی پیرسون تنها وابستگی خطی را نشان می‌دهد. با این حال، توزیع بازده متغیرهای مالی بیضوی نیست. بعلاوه اینکه که رویدادهای شدید در دنباله توزیع که در دوران بحران رخ می‌دهند می‌توانند به سرعت در میان بازارهای مالی گسترش یابند و منجر به وابستگی متقابل شدیدتر شوند که نیازمند به کارگیری مدل‌های پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر است. قابل توجه است که مدل‌های مبتنی بر کاپیولا امکان مدل‌سازی وابستگی غیرخطی با استفاده از هر توزیع حاشیه‌ای دلخواه را فراهم می‌کنند. در میان خانواده‌های مختلف کاپیولا، درخت‌های واین امکان مدل‌سازی انعطاف‌پذیر وابستگی‌ها با استفاده از طیف وسیعی از کاپیولاهای دومتغیره، را فراهم می‌کنند. وابستگی متقابل بازده‌های سهام فردی اغلب تحت تأثیر وابستگی بین بخش‌های بازار سهام شکل می‌گیرد؛ بنابراین، ضروری است که وابستگی دنباله‌ای در بین بخش‌های مختلف درک شود، زیرا هر بخش اغلب به شرایط اقتصادی به شکل متفاوتی واکنش نشان می‌دهد. هدف این مطالعه، آشکار ساختن ساختار وابستگی ۷۰ سهام در ۱۰ صنعت با استفاده از مدل‌های C-واین، R-واین و D-واین است.

روش: در این مقاله از مدل ARMA-EGARCH(1,1) با نوآوری‌های student-t، برای توزیع‌های حاشیه‌ای استفاده می‌شود. برای تعریف داده‌های کاپیولا، تابع توزیع تجمعی (CDF) مربوط به توزیع student-t را به عنوان تبدیل انتگرالی احتمال به کار می‌بریم. گام بعدی، شامل انتخاب توابع کاپیولا با استفاده از داده‌های حاشیه‌ای و توسعه ساختارهای واین است. در این مقاله، پارامترها با استفاده از روش برآورد ترتیبی (SE) و حداکثر راستنمایی مشترک (MLE) محاسبه می‌شوند.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۵

^۱ استادیار، دانشگاه بوعلی سینا، مجتمع آموزش عالی نهاوند (ویژه دختران)، همدان، ایران. (نویسنده مسئول). E-Mail: e.farzanegan@basu.ac.ir

یافته‌ها: گره‌های ریشه‌ای یا همان نمایندگان صنایع در درخت‌های R-واین استخراج گردیدند. وابستگی میان نمایندگان صنایع در مشخصه R-واین به‌صورت زیر است: شرکت شماره ۱ از صنعت انبوه‌سازی املاک و مستغلات، شرکت شماره ۸ از صنعت سرمایه‌گذاری‌ها و شرکت شماره ۶ از صنعت خودرو و ساخت قطعات به عنوان گره‌های ریشه در شبکه وابستگی شناسایی شده‌اند. گره ۱ نقش مرکزی در میان سایر شرکت‌های صنعت مواد و محصولات دارویی، صنعت فلزات اساسی، صنعت خودرو و ساخت قطعات و صنعت سرمایه‌گذاری‌ها دارد. نتایج همچنین تأیید می‌کنند که مدل‌های R-واین در مقایسه با مدل‌های C-واین و D-واین ترجیح داده می‌شوند.

نتیجه‌گیری: برطبق نتایج، فرضیه اول "ساختار وابستگی میان صنایع بورس تهران از الگوی متقارن (نرمال) پیروی نمی‌کند و دارای وابستگی دُمی است." پذیرفته می‌شود ساختار وابستگی میان ۱۰ نماینده صنایع توسط انواع متنوع خانواده‌های کاپیولا از جمله survival BB8 و BB8، مدل‌سازی شده است. فرضیه دوم "پیوندهای متقابل میان صنایع بورس تهران ماهیتی چندلایه و شبکه‌ای دارد و نمی‌توان آن را به یک ساختار صرفاً مرکزگرا (C-واین) یا زنجیره‌ای (D-واین) فروکاست." نیز پذیرفته می‌شود زیرا یافته‌های تحقیق مبنی بر برتری مدل R-واین، فرضیه پیوندهای متقابل شبکه‌ای و چند منبعی در بورس تهران را تأیید می‌کند که این موضوع با ساختار اقتصادی ایران همخوانی دارد. درواقع، در بازار نوظهور بورس تهران، وابستگی‌ها اغلب ناشی از چندین منبع ریسک (ارز، کالا، سیاست پولی) هستند؛ ساختار اقتصادی متنوع اما نامتوازن است؛ و شوک‌ها می‌توانند از مسیرهای مختلف و به‌صورت هم‌زمان منتقل شوند. مدل‌های R-واین در مقایسه با ساختارهای C-واین و D-واین، قدرت تبیین و برازش بالاتری برای مدل‌سازی وابستگی میان‌صنعتی دارند. در واقع، در بورس تهران که در آن وابستگی‌ها ناهمسان، انتقال شوک‌ها با شدت‌های متفاوت صورت می‌گیرد و از ساختار مالکیتی خاص پیروی می‌کند، مدل R-واین، قدرت تبیین و برازش بالاتری برای مدل‌سازی وابستگی میان‌صنعتی دارند. از منظر اقتصادی، برتری R-vine نشان می‌دهد که انتقال شوک در بورس تهران از یک مسیر واحد یا از طریق یک صنعت غالب انجام نمی‌شود، بلکه صنایع مختلف بسته به جایگاه خود در شبکه وابستگی، نقش‌های متفاوتی در جذب یا انتشار ریسک ایفا می‌کنند. این موضوع با ساختار اقتصاد ایران، که تحت تأثیر هم‌زمان متغیرهایی همچون نرخ ارز، قیمت‌های جهانی کالاهای اساسی، سیاست‌های داخلی و محدودیت‌های نهادی قرار دارد، همخوانی دارد. بنابراین، رفتار مشترک صنایع در بورس تهران را باید حاصل برهم‌کنش چندین منبع ریسک دانست، نه صرفاً واکنش به یک عامل مشترک.

کلیدواژه‌ها: بورس تهران؛ ساختارهای درختی؛ صنایع؛ کاپیولا‌های واین؛ وابستگی متقابل.

استناد دهی: فرزندگان، الهام. (۱۴۰۵). بررسی ساختار وابستگی میان صنایع فعال در بورس تهران: شواهدی بر پایه کاپیولا‌های واین. چشم‌انداز مدیریت مالی، ۱۶(۱)، ۱۳۲-۱۶۷.



۱. مقدمه

درک و سنجش ساختار وابستگی میان متغیرهای مالی، در مرکز مدل‌سازی‌های مالی قرار دارد (As, 2016)، زیرا این ساختار نقش ورودی کلیدی در تخصیص دارایی، مدیریت ریسک، راهبردهای معاملاتی و طراحی سیاست‌های اقتصادی ایفا می‌کند. ضریب همبستگی پیرسون معمولاً برای اندازه‌گیری وابستگی بین متغیرهای مالی استفاده می‌شود، اما این شاخص تنها وابستگی خطی را نشان می‌دهد و در شرایطی مناسب است که توزیع بازده متغیرها از نوع بیضوی باشد. با این حال، توزیع بازده متغیرهای مالی بیضوی نیست و حقایق تجربی مانند غیرخطی بودن، ناهمسانی واریانس و تأثیرات نامتقارن را نشان می‌دهد. به همین دلیل، استفاده از ضریب همبستگی پیرسون به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری وابستگی می‌تواند گمراه‌کننده باشد (Shaw et al., 2011a). شایان ذکر است که رویدادهای شدید در دنباله توزیع که در دوران بحران رخ می‌دهند می‌توانند به سرعت در میان بازارهای مالی گسترش یابند و منجر به وابستگی متقابل شدیدتر (Wu et al., 2019) و ساختاری پیچیده‌تر شوند. این ساختار معمولاً در طول زمان تغییر می‌کند و الگوهای غیرخطی با رفتار نامتقارن از خود نشان می‌دهد که نیازمند به‌کارگیری مدل‌های پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر است.

پژوهش‌های مربوط به هم‌حرکتی بازده دارایی‌های مالی معمولاً بر وابستگی در دنباله توزیع در دوره‌های استرس و رویدادهای حدی تمرکز دارند. آنگ و چن^۱ (۲۰۰۲) استدلال می‌کنند که وابستگی میان بازده بیشتر دارایی‌های مالی در دوران سقوط بازار بسیار شدیدتر از دوران رونق اقتصادی است (Ang & Chen, 2002). پتون^۲ (۲۰۰۶) نشان می‌دهد که وابستگی در دنباله توزیع میان نرخ‌های ارز ممکن است در طول زمان تغییر کند و ویژگی وابستگی نامتقارن در دنباله‌های توزیع را نشان دهد (Patton, 2006). مطالعات دیگر، ساختار وابستگی و وابستگی دنباله‌ای بازارهای مالی (سهام) و غیرمالی (طلا، نفت) را با استفاده از کاپیولاهای مورد بررسی قرار داده‌اند (Liu et al., 2018). قابل توجه است که شاخص‌های مبتنی بر کاپیولا این کاستی‌ها را در نظر می‌گیرند و امکان مدل‌سازی وابستگی خطی و غیرخطی با استفاده از هر توزیع حاشیه‌ای دلخواه را فراهم می‌کنند (Marti et al., 2017). در میان خانواده‌های مختلف کاپیولا، درخت‌های واین امکان مدل‌سازی انعطاف‌پذیر الگوهای پیچیده وابستگی را با استفاده از طیف وسیعی از کاپیولاهای دومتغیره، فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، نیکولوپولوس و همکاران^۳ (۲۰۱۲) نشان داده‌اند که سری‌های بازده چند متغیره دارایی‌های مالی را می‌توان به بهترین شکل با استفاده از کاپیولاهای واین ساخته شده از خانواده کاپیولای دومتغیره t، برازش داد (Nikolouloupoulos et al., 2012). کیم و همکاران^۴ (۲۰۱۳) از کاپیولای D-واین برای توضیح الگوها و ساختارهای وابستگی پنهان در داده‌های چندمتغیره استفاده می‌کنند (Kim et al., 2013). در مطالعه‌ای مشابه، سریبونچیتا و چایون‌سری^۵ (۲۰۱۳) رویکرد کاپیولای D-واین را به کار گرفته و هم‌حرکتی پویای بازارهای سرمایه در منطقه ASEAN (اتحادیه کشورهای جنوب شرق آسیا) را گزارش می‌کنند (Sriboonchitta & Chaiboonsri, 2013). لوایزا-مایا و همکاران^۶ (۲۰۱۵) کاپیولاهای واین معمولی^۷ را پیاده‌سازی کرده و تغییرات قابل توجهی در انتقال شوک‌ها در دوره‌های کاهش و افزایش نرخ ارز مشاهده کردند (Loaiza-Maya et al., 2015).

این موضوع به وابستگی متقابل بازده‌های سهام فردی مرتبط است که اغلب تحت تأثیر وابستگی بین بخش‌های بازار سهام شکل می‌گیرد و این وابستگی در دو جنبه منعکس می‌شود. جنبه اول، تعامل بین بخش‌های بالادستی و

¹. Ang & Chen

². Patton

³. Nikolouloupoulos

⁴. Kim

⁵. Sriboonchitta & Chaiboonsri

⁶. Loaiza-Maya

⁷. Regular Vine

پایین‌دستی در زنجیره‌های تولید و تامین است. دومین جنبه، شامل تخصیص دارایی، چرخش بین بخش‌های سهام و آربیتراژ توسط فعالان بازار است. در واقع، سرریز اطلاعات در بین بخش‌های مختلف عمدتاً از طریق حرکت هماهنگ بازار سهام و سرریز بازده‌ها نمود پیدا می‌کند که این موضوع برای نظریه‌پردازان مالی و اقتصاددانان یک موضوع جذاب پژوهشی محسوب می‌شود (Collet & Ielpo, 2018)؛ بنابراین، ضروری است که وابستگی دنباله‌ای در بین بخش‌های مختلف درک شود، زیرا هر بخش اغلب به شرایط اقتصادی به‌شکل متفاوتی واکنش نشان می‌دهد و در نتیجه نیازمند استراتژی‌های سرمایه‌گذاری پویا مبتنی بر چرخش بین بخش‌ها است. **نگوین و همکاران^۱ (۲۰۲۱)** به ارتباط ریسک دنباله‌ای در بخش‌های US پرداخته و نشان می‌دهند که وابستگی ریسک دنباله‌ای تحت تاثیر جریان تجارت درون بخش‌ها قرار دارد (Nguyen et al., 2021). **شاهزاد و همکاران^۲ (۲۰۲۱)** به سرریز نامتقارن نوسانات بین بازده بخش‌های چین در دوره‌های بحران، مانند شیوع COVID-19 پرداختند (Shahzad et al., 2021). در حالی که بیشتر نتایج مربوط به وابستگی بین بازده بخش‌های سهام از داده‌های بازارهای توسعه‌یافته در آمریکا و اروپا و همچنین بازار بزرگ نوظهور چین استخراج شده است، توجه کمی به ساختار وابستگی دنباله‌ای بین بخش‌های سهام با استفاده از کاپیولاها معطوف شده است. قابل توجه است که شواهد کمی درباره وابستگی دنباله‌ای در بازار سهام تهران وجود دارد، جایی که سرمایه‌گذاران خرد نقش نسبتاً بزرگی ایفا می‌کنند و افق سرمایه‌گذاری آن‌ها نسبتاً کوتاه است. این موضوع ما را بر آن می‌دارد تا شبکه بخش‌ها در بازار سهام تهران را بررسی کنیم و اندازه، موقعیت و ویژگی‌های متقارن و نامتقارن ساختار وابستگی را در زمینه یک اقتصاد در حال توسعه کمتر مطالعه شده که اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است، شناسایی کنیم، زیرا بازار سهام ایران توجه فزاینده‌ای از سوی فعالان بازار داخلی جذب می‌کند.

در این زمینه، هدف این مطالعه، آشکار ساختن ساختار وابستگی ۷۰ سهام در ۱۰ صنعت با استفاده از مدل‌های واین کانیکال^۳ (C-واین)، واین معمولی (R-واین) و واین قابل ترسیم^۴ (D-واین) است. در تحلیل، مدل‌های کاپیولای واین با یکدیگر مقایسه و بر اساس معیارهای اطلاعات آکائیک (AIC) و بیزی (BIC) ارزیابی می‌شوند. این مقاله در چندین جنبه به ادبیات موجود کمک می‌کند.

نخست، این مقاله وابستگی دنباله‌ای بین صنایع فعال در بورس تهران را مطالعه می‌کند که به شناسایی مهم‌ترین صنایع در ساختار وابستگی دنباله‌ای بخشی کمک می‌کند. این امر برای ناظران اهمیت دارد، زیرا آن‌ها همواره در تلاشند تا ریسک سیستمی و سرریز شوک‌ها در دوره‌های بحران را کاهش دهند و توانایی خود در نظارت بر بازار را بهبود بخشند. در ایران، یک کشور در حال توسعه، بازار سهام نسبت به شوک‌ها و اخبار پیش‌بینی نشده، به ویژه در محیط سیاسی، حساس و واکنشی است. برخلاف سایر بازارهای در حال توسعه، بازار سهام تهران از سیاست‌های اقتصادی مداخله‌گرانه، رنج می‌برد. تحلیل ساختار وابستگی بین صنایع برای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران، مدیران پرتفوی و پوشش‌دهندگان ریسک اهمیت دارد، به‌ویژه با توجه به اینکه دوره‌های بحران و رویدادهای دنباله‌ای با وابستگی بیشتر بین بازده صنایع در دنباله چپ توزیع نسبت به دنباله راست همراه می‌شوند که این امر عملکرد پرتفوی متشکل از سهام شرکت‌های فعال در صنایع مختلف را تحت تاثیر منفی قرار می‌دهد.

دوم، در این مقاله از رویکرد کاپیولای واین استفاده می‌شود که امکان بررسی پیچیدگی ساختار درختی وابستگی دنباله‌ای بین بازده صنایع را فراهم می‌سازد. کاپیولاها واین مدل‌های موضعی و خاصی از واقعیت‌های آماری توزیع‌های حاشیه‌ای و مشترک را بازتاب می‌دهند، مانند کشیدگی، چولگی، غیرخطی بودن و وابستگی نامتقارن (Arreola

¹. Nguyen

². Shahzad

³. Canonical Vine

⁴. Drawable Vine

(Hernandez et al., 2017). قابل توجه است که وابستگی بین ده صنعت از طریق C-واین مدل سازی می شود، در حالیکه C-، R- و D-واین ها برای آشکار سازی ساختار وابستگی بین نمایندگان بخش ها به کار گرفته می شوند. ساختار باقی مقاله به شرح زیر است. بخش ۲ به مبانی نظری و مرور مطالعات مرتبط با مدل های مبتنی بر کاپیولا می پردازد. بخش ۳ مدل های کاپیولای مورد استفاده را تشریح می کند. بخش ۴ داده ها و نتایج تجربی را ارائه می دهد. بخش ۵ نتیجه گیری را بیان می کند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

اندازه گیری وابستگی: دوره های بحران نشان می دهند که ریسک در بازارهای مالی ناشی از رویدادهای دنباله ای می تواند بسیار سریع بین بازارهای سهام و بخش های آن گسترش یابد (Kumar et al., 2020; Wu et al., 2019). مطالعات پیشین که ساختار وابستگی بین دارایی های مالی، مانند سهام و اوراق قرضه را مدل سازی می کنند، بر ضریب همبستگی پیرسون متکی بوده اند که معیاری برای وابستگی خطی است و بیشترین تناسب را با شرایط نرمال بودن توزیع بازده دارایی ها دارد. با این حال، در واقعیت، بازده دارایی های مالی، بویژه سهام، اغلب از الگوی غیرخطی و توزیع نامتقارن پیروی می کند (Lu et al., 2017) که نشان می دهد استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مناسب نبوده و می تواند نتایج گمراه کننده ارائه دهد (Shaw et al., 2011b).

برخی مطالعات از مدل های دو متغیره و چندمتغیره خودرگرسیو شرطی با واریانس ناهمسانی تعمیم یافته (GARCH) استفاده می کنند (به عنوان مثال، مدل همبستگی شرطی پویا-GARCH انگل^۱ (۲۰۰۲) و مدل همبستگی یکسان^۲ انگل و کلی^۳ (۲۰۱۲)) تا وابستگی بین متغیرهای مالی را بررسی کنند و در عین حال واریانس ناهمسانی، کشیدگی و اثرات اهرم را نیز مدنظر قرار دهند (Engle, 2002; Engle & Kelly, 2012). با این حال، مدل های خانواده مبتنی بر GARCH صرفاً برای استفاده از همبستگی ها در مدل سازی وابستگی به کار می روند و بنابراین قادر به مدلسازی وابستگی دنباله ای نیستند. برخی مطالعات دیگر بر مدل های وابستگی مبتنی بر VaR با استفاده از رویکرد دیبولد و ییلماز^۴ (۲۰۱۴) تکیه دارند که توانمندی خود را در آشکار سازی سرریزها در بازارهای مالی نشان داده است (Bouri, Diebold & Yilmaz, 2014; Abosedra et al., 2020; et al., 2019). با این حال، این روش بر تخمین زن های مبتنی بر میانگین تکیه دارد و سرریزها در دنباله های توزیع بازده را نادیده می گیرد. اگرچه برخی مطالعات (به عنوان مثال، شهزاد و همکاران (۲۰۲۱) و شهزاد و همکاران^۵ (۲۰۲۲)) از رویکرد مبتنی بر کوانتیل برای بررسی وابستگی استفاده می کنند و مدل مبتنی بر میانگین - VaR دیبولد و ییلماز (۲۰۱۴) را گسترش می دهند، اما آن ها حقایق تجربی متداول در سری های بازده مالی مانند وابستگی سریالی، واریانس ناهمسانی و توزیع نامتقارن را در نظر نمی گیرند.

جالب اینجاست که توابع کاپیولا این مسائل را با در نظر گرفتن وابستگی سریالی، واریانس ناهمسانی، غیرخطی بودن، توزیع نامتقارن، پدیده های کشیدگی و ساختارهای مختلف وابستگی برطرف می کنند و آن ها را به ابزارهایی کارآمدتر برای مدیریت عوامل ریسک نسبت به مدل های GARCH چندمتغیره (Jabalamel et al., 2020) و رویکردهای وابستگی مبتنی بر VaR تبدیل می کنند. کاپیولاها امکان مدل سازی وابستگی خطی و غیرخطی با استفاده از هر توزیع حاشیه ای را فراهم می کنند (Marti et al., 2017) و چندین مزیت ارائه می دهند: (۱) توابع کاپیولا قادر

¹. Engle

². equi-correlation

³. Engle & Kelly

⁴. Diebold & Yilmaz

⁵. Shahzad

به جدا کردن وابستگی متغیرها از توزیع‌های حاشیه‌ای آن‌ها هستند که منجر به استحکام نتایج می‌شود ([da Silva](#), [Filho et al., 2012](#))؛ (۲) آن‌ها وابستگی غیرخطی را در نظر می‌گیرند ([Shi et al., 2017](#))؛ (۳) تحت تاثیر تبدیل‌هایی که صعودی یا پیوسته هستند قرار نمی‌گیرند ([Ning, 2010](#))؛ (۴) امکان تحلیل ساختار وابستگی سری‌های غیرنرمال را فراهم می‌کنند ([Jondeau & Rockinger, 2006](#))؛ و (۵) هنگامی که با کوانتیل‌های شرطی برخورد می‌کنند نیاز به فرض خطی بودن، مانند رگرسیون‌های کوانتیل، ندارند. مقایسه با مدل‌های مبتنی بر همبستگی نشان می‌دهد که مدل‌های کاپیولا مناسب‌تر هستند و توانایی مدل‌سازی رفتار چوله در داده‌ها را دارند، جایی که ضریب همبستگی قادر به شناسایی وابستگی واقعی نیست ([Naz et al., 2019](#)). علاوه بر این، برخی مطالعات ریسک دنباله‌ای بازده دارایی‌ها را با استفاده از توابع کاپیولا بررسی کرده و نشان می‌دهند که روش کاپیولا عملکرد بهتری نسبت به مدل کلاسیک خودرگرسیون برداری دارد ([Boako et al., 2019](#)).

اگرچه تخمین‌های وابستگی خطی حاصل از کاپیولاها اغلب می‌توانند روابط پویا و پیچیده میان دارایی‌ها را نادیده بگیرد، استفاده محدود از کاپیولای گاوسی چندمتغیره بدون وابستگی دنباله‌ای مورد انتقاد قرار گرفته است و نشان می‌دهد که وجود مدل‌های وابستگی کاپیولا با انعطاف‌پذیری بیشتر ضروری است. در این زمینه، مدل‌های کاپیولا بسیار انعطاف‌پذیرتر است و امکان مدل‌سازی وابستگی دنباله‌ای بالایی، پایینی، متقارن و نامتقارن را فراهم می‌کنند ([Bouri et al., 2019](#)). قابل توجه است که در خانواده کاپیولاها، کاپیولا‌های واین امکان تحلیل ساختارهای وابستگی پیچیده را با استفاده از کاپیولا‌های دومتغیره در قالب یک ساختار درختی فراهم می‌کنند. کاربرد کاپیولا‌های واین در تحلیل داده‌های مالی مشهود است؛ برای مثال، [نیکولوپولوس و همکاران \(۲۰۱۲\)](#) از کاپیولای واین مبتنی بر کاپیولا‌های دو متغیره t برای داده‌های بازده دارایی‌های مالی استفاده کرده‌اند ([Nikolouloupoulos et al., 2012](#)). در چند سال اخیر، کاپیولا‌های واین در زمینه‌های مختلف مالی و اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند ([Hao & Singh, 2015](#)) تا شواهدی از سرایت ریسک در بازارهای مالی ([Loaiza-Maya et al., 2015](#))، وابستگی در نااطمینانی سیاست‌های اقتصادی ([Cekin et al., 2020](#))، ریسک پرتفوی ([Nagler et al., 2019](#)) و اثرات سرایت ریسک ([Zhu et al., 2020](#)) را آشکار کنند. مطالعات دیگر از کاپیولا‌های D-واین برای آشکارسازی الگوها و ساختارهای وابستگی پنهان در داده‌های چندمتغیره استفاده کرده‌اند (به عنوان مثال، [کیم و همکاران، ۲۰۱۳](#)). [سریونچیتا و چاییون سری \(۲۰۱۳\)](#) وجود هم‌حرکتی پویا بین بازارهای سهام در منطقه ASEAN را با استفاده از کاپیولا‌های C-واین و D-واین در دوره ۲۰۱۲-۲۰۱۳ مستند کرده‌اند ([Sriboonchitta & Chaiboonsri, 2013](#)). به‌طور مشابه، [اسلام و همکاران^۱ \(۲۰۲۲\)](#) تغییرات در ساختار وابستگی بازارهای مالی جهانی را در طول پاندامی COVID-19 با استفاده از کاپیولا‌های C-واین نشان داده‌اند ([Aslam et al., 2022](#)). [آرتولا هرناندز و همکاران \(۲۰۱۷\)](#) از کاپیولا‌های C، R- و D-واین برای تحلیل ریسک وابستگی پرتفوی سهام قبل، حین و بعد از بحران مالی جهانی ۲۰۰۸-۲۰۰۹ استفاده کرده‌اند ([Arreola](#), [Hernandez et al., 2017](#)). [بواکو و همکاران \(۲۰۱۹\)](#) وابستگی مشترک و VaR پرتفوی شش کریپتوکارنسی را شبیه‌سازی کرده‌اند ([Boako et al., 2019](#)). [آپرچیس و همکاران^۲ \(۲۰۲۰\)](#) با استفاده از کاپیولای واین معمولی به بررسی ساختار وابستگی قیمت‌های برق در سطح ایالت‌ها در بازار ملی برق استرالیا (NEM) در سه دوره مرتبط با تصویب و لغو مالیات کربن پرداختند ([Apergis et al., 2020](#)). [چریوا و آرنداش^۳ \(۲۰۲۴\)](#) به تحلیل وابستگی درون بخشی در صنعت فناوری با استفاده از رویکرد کاپیولای واین پرداختند ([Čeryová & Árendáš, 2024](#)). [هاو و همکاران^۴ \(۲۰۲۵\)](#) به تعمیم سنج ریسک سیستمی از طریق معرفی CoVaR سه متغیره پرداختند؛ مدلی که وابستگی

^۱. Aslam

^۲. Apergis

^۳. Čeryová & Árendáš

^۴. Hao

دنباله‌ای و سرایت ریسک از یک بخش به چند بخش دیگر را در نظر می‌گیرد. معیار پیشنهادی بین CoVaR سه متغیره صعودی و نزولی تمایز قائل می‌شود و سنجش ریسک، وابستگی در دنباله و اثر سرایت را در یک چارچوب یکپارچه ادغام می‌کند (Hao et al., 2025). یائو و همکاران^۱ (۲۰۲۵) یک مدل GARCH-MIDAS-R-vine copula را برای پیش‌بینی ریسک‌های دنباله‌ای پرتفوی، ارزش در معرض ریسک (VaR) و زیان مورد انتظار (ES) دارایی‌های مالی بین‌المللی پیشنهاد کردند. آن‌ها دریافتند که مدل پیشنهادی می‌تواند دقت پیش‌بینی ریسک دنباله‌ای پرتفوی را تحت معیار نسبت اطلاعات بهینه (IR) افزایش دهد (Yao et al., 2025).

مطالعات پیشین، ساختار وابستگی در بازارهای نوظهور سهام را بررسی کرده‌اند. برای مثال، ژو و همکاران^۲ (۲۰۱۴) وابستگی زمان متغیر میان بازار بین‌المللی نفت خام و بازده شاخص‌های سهام ۱۰ کشور در منطقه آسیا-اقیانوسیه را مدل‌سازی کرده‌اند و نشان می‌دهند که در دوره‌های بحران، هم‌حرکتی مثبت میان نفت خام و تمام ده بورس مورد بررسی، به جز بورس هنگ‌کنگ وجود دارد (Zhu et al., 2014). گوو و وانگ^۳ (۲۰۱۶) وابستگی میان نوسانات در دو بازار اصلی سهام چین، یعنی بورس شانگهای و بورس شنژن را مورد بررسی قرار داده‌اند (Guo & Wang, 2016). هندریکس و بونگا-بونگا^۴ (۲۰۲۰) ساختار وابستگی و اثر سرایت را میان صنایع مالی، منابع و صنعتی کشورهای بریکس (برزیل، روسیه، هند، چین و آفریقای جنوبی) بررسی کرده‌اند. شواهد تجربی آن‌ها نشان می‌دهد که وابستگی متقابل و سرایت میان صنایع مختلف وجود دارد (Hendriks & Bonga-Bonga, 2020). کومار و همکاران^۵ (۲۰۲۰) با استفاده از کاپیولاهای واین جفتی، C- و R-واین‌ها در زمینه چین، ساختار وابستگی چندمتغیره شرطی را تحلیل کرده و ارزش در معرض ریسک (VaR) مبتنی بر کاپیولای R-واین را برای برآورد ریسک پرتفوی مالی به کار گرفته‌اند (Kumar et al., 2020). اسلام و همکاران^۵ (۲۰۲۳) به بررسی وابستگی بخشی میان ۸۲ شرکت پاکستانی با استفاده از رویکرد کاپیولای واین پرداختند (Aslam et al., 2023). متدولوژی Vine Copula یک استاندارد جهانی است، اما محتوای ساختاری بورس تهران (به عنوان یک بازار نوظهور با وابستگی شدید به شوک‌های سیاسی) با بازارهای غربی متفاوت است. این مقاله، شکاف موجود در ادبیات بومی را با به‌روزرسانی متدولوژی‌های جهانی برای فهم واقعیت‌های اقتصادی ایران پر می‌کند. برخلاف مطالعات موجود در بازارهای مالی توسعه‌یافته که اغلب بر متغیرهای اقتصاد کلان و چرخه‌های تجاری تمرکز دارند، مطالعه حاضر به دلیل ماهیت خاص بورس تهران به عنوان یک بازار نوظهور و تحت تأثیر شوک‌های برون‌زا، رویکرد متفاوتی اتخاذ کرده است. نوآوری اصلی این مقاله نه تنها در بکارگیری مدل‌های پیشرفته Vine Copula، بلکه در تفسیر نتایج بر اساس ساختار اقتصاد سیاسی ایران است. شناسایی ساختار R-vine نشان می‌دهد که ساختار وابستگی در بورس تهران نه کاملاً مرکز‌گرا و نه زنجیره‌ای است، بلکه شبکه‌ای با چند گره اثرگذار است که هر یک نماینده نوعی ریسک یا عامل اقتصادی متفاوت هستند. یافته‌ای که بازتاب‌دهنده ویژگی‌های منحصربه‌فرد اقتصادهای نوظهور در شرایط تورمی و محدودیت‌های بین‌المللی است که در مدل‌های کلاسیک رایج در ادبیات بین‌المللی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

در داخل کشور برخی محققین از کاپیولاهای ساده برای ارزیابی موضوع‌های مختلف استفاده کرده‌اند. برای مثال، سینا و فلاح^۶ (۲۰۲۰) از رویکرد copula-CVaR برای بهینه‌سازی پرتفوی در بورس اوراق بهادار تهران استفاده کرده‌اند.

1. Yao

2. Zhu

3. Guo & Wang

4. Hendriks & Bonga-Bonga

5. Aslam

علاوه بر مطالعات دومتغیره، برخی پژوهش‌ها در بازار سرمایه ایران به بهره‌گیری از قابلیت‌های کاپیولاهای جفتی در ترکیب با سایر روش‌ها پرداخته‌اند؛ برای نمونه، [برزآبادی فراهانی و همکاران \(۲۰۲۰\)](#) به مدل‌سازی نسبت بهینه پوشش ریسک در بازارهای آتی و نقدی سکه طلا براساس توابع کاپیولای زوجی و تجزیه مویک بصورت زمان متغیر پرداخته‌اند. با این حال، مطالعه مذکور صرفاً بر رابطه دومتغیره بین دو بازار یک دارایی واحد (سکه) تمرکز دارد. شکاف موجود در این حوزه، عدم بکارگیری قدرت تفکیک ساختارهای واین برای تحلیل وابستگی‌های متقابل و چندبعدی در سطح کل صنایع بورس است. پژوهش حاضر با تمرکز بر ۱۰ صنعت فعال در بورس تهران، نه تنها ابعاد تحلیل را گسترش می‌دهد، بلکه برخلاف مطالعات ابزارمحور (مانند پوشش ریسک طلا)، به دنبال کشف هندسه وابستگی صنایع و شناسایی صنایع کلیدی در شبکه بورس است.

[صدرزاده مقدم و هزبر کیانی \(۲۰۲۵\)](#) به مدل‌سازی وابستگی پویا بین بازده شاخص‌های منتخب صنایع فعال در بورس تهران شامل فلزات اساسی، شیمیایی، بانکی و خودروبی با استفاده از کاپیولاهای فرانک، گامبل، کلایتون، گوسی و student-t پرداختند. در حالیکه در مقاله حاضر به جای استفاده از کاپیولاهای دو متغیره کلاسیک، از کاپیولاهای واین (C-واین، D-واین و R-واین) استفاده شده است که توزیع چندمتغیره صنایع را به درخت‌هایی از کاپیولاهای جفتی تجزیه می‌کند. این روش اجازه می‌دهد برای هر جفت از صنایع، دقیقاً همان کاپیولایی انتخاب شود که بهترین برازش را دارد. بعلاوه، در مقاله حاضر بطور جامع‌تری صنایع فعال در بورس را پوشش داده است. در پایان، در مقاله حاضر به بررسی و تعیین ساختار کلان بازار پرداخته می‌شود. موضوعی که در مقاله [صدرزاده مقدم و هزبر کیانی \(۲۰۲۵\)](#) مورد بررسی قرار نگرفته است.

در داخل کشور از رویکرد کاپیولا واین نیز برای مدل‌سازی ساختار وابستگی استفاده شده است. برای نمونه، [حسینی و همکاران \(۲۰۲۱\)](#) با استفاده از داده‌های ۱۵ سهم از ۷ گروه صنعتی مختلف در بازه ۵ دقیقه‌ای طی روز در سال ۱۳۹۸ به ارائه مدلی برای ساختار وابستگی نقدشوندگی و بازدهی سبدي از سهام در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. بدین منظور، پس از مدل‌سازی تک متغیره نقدشوندگی هر یک از سهام‌ها بر مبنای مدل پواسون خودرگرسیو شرطی (ACP) و بازدهی هر سهم بر مبنای مدل خودرگرسیون تعمیم یافته شرطی ناهمسانی واریانس (GARCH)، از توزیع‌های حاشیه‌ای مزبور برای مدل‌سازی توزیع توامان با روش کاپیولا واین استفاده گردید. [دولو و یزدی \(۲۰۲۲\)](#) به مقایسه عملکرد استراتژی معاملات زوجی مبتنی بر رویکرد کاپیولای واین با کاپیولای student-t و رویکرد فاصله‌ای پرداختند. این محققین نشان دادند که عملکرد حاصل از استراتژی معاملات زوجی مبتنی بر رویکرد کاپیولای واین و student-t بهتر از رویکرد فاصله‌ای است. ملاحظه می‌شود که اکثر مطالعات داخلی صرفاً به بررسی وابستگی چند سهام در چند گروه صنعتی پرداخته‌اند و کمتر مطالعه‌ای به ساختار درونی و شبکه‌ای میان صنایع (به صورت جفت-جفت) با استفاده از منعطف‌ترین مدل (واین) پرداخته است. همچنین، در مطالعات قبلی کمتر به مقایسه ساختاری میان الگوهای C-واین و D-واین در بورس تهران پرداخته شده تا مشخص شود آیا بازار ایران یک بازار مرکزگراست یا زنجیره‌ای.

در حالیکه در مقاله حاضر ساختار وابستگی میان صنایع فعال در بورس تهران با استفاده از کاپیولاهای D-، C- و R-واین مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بورس تهران از کارایی لازم برخوردار نیست، زیرا شواهدی از رفتار گله‌ای در میان سرمایه‌گذاران و سفته‌بازان به دلیل عدم تقارن اطلاعاتی وجود دارد ([بدری و همکاران، ۲۰۲۴](#)) که لزوم بررسی ساختار وابستگی بین بخش‌های مختلف بورس تهران را می‌رساند. این مقاله از مطالعات پیشین در دو جنبه کلی تفاوت دارد. نخست، به کارگیری انواع کاپیولاهای D-، C- و R-واین بر اساس ساختارهای درختی گرافی، امکان طراحی ساختارهای وابستگی چند متغیره

با ابعاد بالا را فراهم می‌سازد. دوم، تمرکز این پژوهش بر بخش‌های مختلف در بازار سهام تهران است؛ زمینه‌ای که تاکنون کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است.

لذا، فرضیات پژوهش به صورت زیر بیان می‌شوند:

(۱) ساختار وابستگی میان صنایع بورس تهران از الگوی متقارن (نرمال) پیروی نمی‌کند و دارای وابستگی دُمی است.

(۲) پیوندهای متقابل میان صنایع بورس تهران ماهیتی چندلایه و شبکه‌ای دارد و نمی‌توان آن را به یک ساختار صرفاً مرکزگرا (C-واین) یا زنجیره‌ای (D-واین) فروکاست.

(۳) مدل‌های R-واین در مقایسه با ساختارهای C-واین و D-واین، قدرت تبیین و برازش بالاتری برای مدل‌سازی وابستگی میان‌صنعتی دارند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پایه اصلی کاربرد کاپیولاها برای بررسی ساختارهای وابستگی، قضیه اسکالر^۱ (۱۹۵۹) است؛ که ارتباطی میان توزیع‌های چندمتغیره و توزیع‌های حاشیه‌ای تک متغیره برقرار می‌کند (Sklar, 1959). بدفورد و کوک^۲ (۲۰۰۲) روش‌هایی گرافیکی برای تجزیه کاپیولاهای چندمتغیره به کاپیولاهای جفتی پیشنهاد دادند که پایه‌های کاپیولاهای واین را فراهم می‌کنند (Bedford & Cooke, 2002). خانواده‌های مختلف کاپیولا، مانند D-، C- و R-واین، در دسته کاپیولاهای واین منظم^۳ قرار دارند. انتخاب آن‌ها بستگی به نوع ساختار وابستگی مورد نیاز دارد. کاپیولاهای C-واین به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای شناسایی نماینده‌ها در ساختارهای وابستگی چندمتغیره در نظر گرفته می‌شوند. کاپیولاهای واین یک رویکرد انعطاف‌پذیر برای مدل‌سازی ساختار وابستگی درون یک بردار تصادفی فراهم می‌کنند. بدفورد و کوک (۲۰۰۲) کاپیولاهای C-واین و D-واین را معرفی کردند (Bedford & Cooke, 2002). سپس آس و همکاران^۴ (۲۰۰۹) این مدل‌ها را با استفاده از مدل‌سازی کاپیولای جفتی غیرگوسی بهبود دادند؛ مانند کاپیولای دو متغیره student-t، کاپیولای دو متغیره کلاسیون و کاپیولای دو متغیره گامبل (Aas et al., 2009). کاپیولاهای C-واین، دارای ساختارهای ستاره‌ای هستند؛ با یک گره مرکزی که به بقیه گره‌ها متصل است. در حالی که کاپیولاهای D-واین به شکل مسیر هستند و هر گره با بیش از دو گره دیگر مرتبط نیست. در دو زیربخش بعدی، رویکرد دومرحله‌ای که در مدل‌سازی مبتنی بر کاپیولا دنبال شده است توضیح داده می‌شود.

مدل‌های حاشیه‌ای: گام نخست شامل مدل‌سازی مناسب توزیع‌های حاشیه‌ای است تا بتوان وابستگی‌های سریالی و اثرات ARCH را در نظر گرفت. در این مقاله از مدل ARMA-EGARCH(1,1) با نوآوری‌های student-t، برای توزیع‌های حاشیه‌ای استفاده می‌شود.

برای هر کدام از ۷۰ سهم‌های شرکت‌ها، مدل ARMA-EGARCH(1,1) برای همه سری‌های بازده سهم‌های $Y_t, t = 1, \dots, T$ با استفاده از متغیرهای نوسان‌پذیری شرطی $\sigma_t = Var(Y_t | Y_1, \dots, Y_{t-1})$ و نوآوری $Z_t, t = 1, \dots, T$ بصورت زیر تعریف می‌شود:

^۱. Sklar

^۲. Bedford & Cooke

^۳. Regular Vine Copula Class

^۴. Aas

$$Y_t = \mu_t + \sigma_t Z_t \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \beta \ln(\sigma_{t-1}^2) + \alpha \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این تحلیل، فرض می‌شود که Z_t از یک توزیع student-t پیروی می‌کند. برای تعریف داده‌های کاپیولا، تابع توزیع تجمعی (CDF) مربوط به توزیع student-t را به عنوان تبدیل انتگرالی احتمال^۱ به کار می‌بریم:

$$\mu_{i,t} = F\left(\frac{Y_{i,t}}{\sigma_{i,t}}; \hat{\nu}_j\right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن $F(0; \hat{\nu})$ تابع توزیع با درجه آزادی تخمین زده شده $\hat{\nu}$ و نوسان‌پذیری شرطی تخمین زده شده $\hat{\sigma}_{i,t}$ برای سهم $i = 1, \dots, 70$ در زمان $t = 1, \dots, T$ است.

مدل‌های کاپیولای واین: گام بعدی، شامل انتخاب توابع کاپیولا با استفاده از داده‌های حاشیه‌ای و توسعه ساختارهای واین است که به صورت نمودارهای پیوسته‌ای شامل گره‌ها و یال‌ها نمایش داده می‌شوند. ساختارهای واین از ترکیب جفتی چگالی‌های حاشیه‌ای با تعداد d ساخته می‌شوند، به طوری که تعداد $\frac{d(d-1)}{2}$ کاپیولای دوتایی در قالب $d - 1$ درخت سازمان‌دهی می‌شوند. اولین گره ریشه، وابستگی را با استفاده از یک متغیر تعریف می‌کند که برای هر جفت، دارای کاپیولای دوتایی است. بر اساس این متغیر، وابستگی‌های جفتی متغیر دوم (که گره ریشه دوم است) مدل‌سازی می‌شوند. برای هر درخت، یک گره ریشه انتخاب می‌شود و تمام روابط جفتی این گره بر اساس تمام گره‌های ریشه قبلی شناسایی می‌گردد. این فرآیند در نهایت منجر به تشکیل ساختار ستاره‌ای در درخت‌های C-واین می‌شود. بر اساس روش **برشمان و چزادو**^۲ (۲۰۱۳)، از تجزیه زیر برای چگالی C-واین استفاده می‌کنیم (Brechmann & Czado, 2013)، بدون اینکه هیچ محدودیتی برای گره‌های ریشه $d, \dots, 1$ ایجاد شود:

$$\begin{aligned} f(x) &= \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \\ &\times \prod_{i=1}^{d-1} \prod_{j=1}^{d-i} c_{i,i+j|1:(i-1)}(F(x_i|x_1, \dots, x_{i-1}), F(x_{i+j}|x_1, \dots, x_{i-1})|\theta_{i+j|1:(i-1)}) \end{aligned} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن $f_k, k = 1, \dots, d$ چگالی‌های حاشیه‌ای را نشان می‌دهد، و $c_{i,i+j|1:(i-1)}$ چگالی‌های کاپیولای دوجمله‌ای با پارامتر(های) $\theta_{i+j|1:(i-1)}$ هستند. ضرب خارجی به معنای $d - 1$ درخت و گره‌های ریشه i است، در حالی که ضرب داخلی به $d - 1$ کاپیولای جفتی در هر درخت $i = 1, \dots, d - 1$ اشاره دارد.

D-واین‌ها از روشی مشابه C-واین‌ها پیروی می‌کنند، با این تفاوت که یک دنباله مشخص از متغیرها را تعیین می‌کنند. در درخت اول، از کاپیولای جفتی برای مدل‌سازی وابستگی بین متغیر اول و دوم، سپس بین متغیر دوم و سوم و به همین ترتیب استفاده می‌شود تا زمانی که یک ساختار مسیرگونه شناسایی شود. برای جفت‌های درخت دوم، از کاپیولاها برای مدل‌سازی وابستگی دو متغیر شرطی بر متغیر سوم استفاده می‌شود. به این ترتیب، تعداد متغیرها افزایش می‌یابد تا $n - 1$ درخت شناسایی شوند. این منجر به یک ساختار مسیری از D-واین‌ها می‌شود که می‌توان آن را به صورت زیر نمایش داد:

^۱. Probability Integral Transformation

^۲. Brechmann & Czado

$$f(x) = \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \times \prod_{i=1}^{d-1} \prod_{j=1}^{d-i} c_{j,i+j|(j+1):(j+i-1)}(F(x_i|x_{j+1}, \dots, x_{j+i-1}), F(x_{j+i}|x_{j+1}, \dots, x_{j+i-1})|\theta_{j,j+i,j})$$

رابطه (۵)

بطور کلی، R -واین‌ها شکلی شبیه به معادلات ۴ و ۵ ندارند. از این رو، برای به دست آوردن شاخص‌ها همان‌طور که در معادله زیر نشان داده شده است، نیاز به توابع چگالی مشترک وجود دارد که فرم کلی‌تری نسبت به دو معادله قبلی است:

$$f(x_1, \dots, x_d) \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \prod_{i=1}^{d-1} \prod_{e \in E_i} c_{j(e),k(e)|D(e)}(F(x_{j(e)}|x_{D(e)}), F(x_{k(e)}|x_{D(e)}))$$

رابطه (۶)

در این مقاله، از خانواده کاپیولاهای پارامتریک دو متغیره استفاده می‌شود. پارامترها با استفاده از روش برآورد ترتیبی (SE) و حداکثر راستنمایی مشترک (MLE) محاسبه می‌شوند.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

در این پژوهش، از قیمت روزانه ۷۰ شرکت پذیرفته شده در بورس تهران طی بازه زمانی ۱۳۸۹/۴/۱۰ تا ۱۴۰۴/۴/۲۶ استفاده می‌شود. داده‌های مورد نیاز از نرم‌افزار ره‌آورد نوین ۳ جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش، معیار اصلی انتخاب نمادها، در دسترس بودن داده‌های پیوسته و قابل اعتماد در دوره نمونه‌گیری بوده است. به دلیل ماهیت مدل Vine Copula و حساسیت آن به کیفیت داده‌ها، نمادهایی که دارای وقفه‌های طولانی در سری زمانی یا داده‌های ناقص بودند حذف شدند. با این حال، از آنجا که هدف پژوهش تحلیل ساختار وابستگی در سطح صنایع فعال بورس تهران بوده، تلاش شد نمونه نهایی نماینده صنایع اصلی و دارای حضور مستمر در بازار باشد. بدین منظور، از میان شرکت‌های فعال در بورس تهران شرکت‌هایی که بیشترین تعداد مشاهدات را دارند انتخاب شدند. انتخاب شرکت‌ها به گونه‌ای بود که حداقل سه شرکت در هر صنعت قرار بگیرد. پس صناعی که حداکثر تعداد دو شرکت از آن‌ها در جامعه آماری قرار می‌گرفت حذف گردیدند. در نهایت تعداد ۷۰ شرکت در قالب ۱۰ صنعت استخراج کانه‌های فلزی، انبوه‌سازی، املاک و مستغلات، خودرو و ساخت قطعات، سرمایه‌گذاری‌ها، سیمان، آهک و گچ، شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتی، فلزات اساسی، ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی، محصولات شیمیایی و مواد و محصولات دارویی، به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار R-Studio انجام شده است. در جدول ۱، صنایع و تعداد شرکت‌ها توصیف شده است. بازده سهام بصورت تفاضل لگاریتمی بین دو قیمت متوالی سهام محاسبه شده است $(R_t = (LnP_t - LnP_{t-1}) \times 100)$ که ۳۱۹۵ مشاهده روزانه بازده را برای هر سهام حاصل می‌کند.

در بازارهایی مانند بورس تهران، بازده صفر در بسیاری از موارد ناشی از عدم معامله یا توقف نماد است و لزوماً بیانگر تعادل واقعی قیمت در بازار نیست. وجود چنین مشاهداتی می‌تواند در مدل‌های مبتنی بر رتبه، از جمله کاپیولاهای، موجب ایجاد مقادیر تکراری شده و برآورد پارامترهای وابستگی را با تورش مواجه کند. به منظور جلوگیری از این مشکل، در مرحله آماده‌سازی داده‌ها تمامی روزهایی که در آن‌ها نماد مورد بررسی متوقف بوده و قیمت پایانی تغییری نداشته است از نمونه حذف شدند. بدین ترتیب تنها روزهایی در تحلیل لحاظ

شده‌اند که در آن‌ها معامله واقعی انجام شده و بازده مشاهده‌شده منعکس‌کننده اطلاعات بازار بوده است. این رویکرد موجب می‌شود داده‌های مورد استفاده در برآورد مدل‌های حاشیه‌ای و کاپیولاها از پیوستگی مناسب برخوردار بوده و مشکل تجمع مشاهدات در بازده صفر به حداقل برسد.

پس از این مرحله، باقی‌مانده‌های استاندارد شده مدل‌های EGARCH با استفاده از تبدیل احتمال انتگرالی (PIT) به داده‌های یکنواخت در بازه (۰ و ۱) تبدیل شدند و به عنوان ورودی مدل‌های کاپیولای واین مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲، آماره‌های توصیفی را برای سری بازده شرکت‌ها گزارش می‌کند. از جدول ۲ ملاحظه می‌شود که مقدار میانگین بازده برای شرکت‌های منتخب مثبت بوده است. سهام Khbahman نوسانی‌ترین سهام است در حالیکه سهام Kegal از کمترین میزان نوسان برخوردار است. همه سری‌های بازده از کشیدگی بالا برخوردار هستند، که بیانگر دنباله‌های پهن در توزیع بازده است. چولگی در بسیاری از موارد منفی است. آماره‌های جاک‌برا فرضیه صفر نرمال بودن را برای همه سهام رد می‌کند. همه این ویژگی‌ها استفاده از مدل ARMA-GARCH(1,1) با توزیع student-t را توجیه می‌کنند.

یافتن شرکت نماینده برای هر صنعت: شکل ۱ وابستگی سهام ده صنعت تحت بررسی را با جفت و نمودارهای کانتور نرمال‌شده، نشان می‌دهد. مقادیر τ کنдал و نمودارهای کانتور نشان می‌دهند که شرکت seshahed دارای قوی‌ترین وابستگی با سایر ۶ سهم شرکت‌های موجود در صنعت انبوه‌سازی املاک و مستغلات است.

جدول ۱. تعداد شرکت‌ها در ده صنعت و شرکت‌های نماینده

Table 1. The number of firms across the ten industries and their representative companies

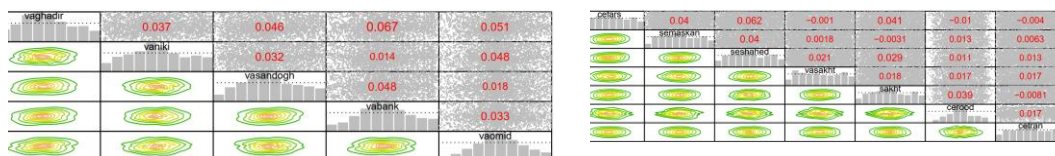
شرکت نماینده	تعداد شرکت	صنعت
Keama	۵ شرکت	صنعت استخراج کانه‌های فلزی
Cefars	۷ شرکت	صنعت انبوه‌سازی، املاک و مستغلات
Khmehr	۸ شرکت	صنعت خودرو و ساخت قطعات
Pardis	۷ شرکت	صنعت سرمایه‌گذاری‌ها
Cepaha	۶ شرکت	صنعت سیمان، آهک و گچ
Vaniki	۵ شرکت	صنعت شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتی
Feasmin	۷ شرکت	صنعت فلزات اساسی
Beterans	۳ شرکت	صنعت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی
Sharak	۹ شرکت	صنعت محصولات شیمیایی
Dejaber	۱۱ شرکت	صنعت مواد و محصولات دارویی

منبع: یافته‌های پژوهش

این وابستگی دارای مقادیر τ کنдал تجربی جفتی در بازه بین $-۰/۰۱۰۲$ تا $۰/۰۴۰۵$ می‌باشد. در صنعت شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتی، شرکت vaomid از موقعیت یکسانی برخوردار است با مقدار کنдал τ بین $۰/۰۱۴۰$ تا $۰/۰۶۶۷$. صنعت مواد و محصولات دارویی ۱۱ شرکت دارد که وابستگی مثبت با شرکت desobha دارند با مقدار کنдал τ بین $-۰/۰۱۷۳$ تا $۰/۰۶۶۹$. در صنعت استخراج کانه‌های فلزی، وابستگی‌ها کمتر حالت بیضوی دارد، با ضریب کنдал τ بین $۰/۰۰۵۱$ تا $۰/۰۵۵۸$. در صنعت فلزات اساسی نیز وابستگی‌ها کمتر حالت بیضوی دارد با ضریب کنдал τ بین $-۰/۰۲۳۵$ تا $۰/۰۵۱۲$. سهام شرکت‌های فعال در صنعت خودرو و ساخت

قطعات همبستگی قوی با شرکت khazin را نشان می‌دهند با ضریب کندال T جفتی بین ۰/۰۶۷۹ تا ۰/۰۲۰. به همین ترتیب، وابستگی‌ها بین شرکت‌ها در صنعت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی کمتر حالت بیضوی دارد با ضریب کندال T جفتی بین ۰/۰۷۵ تا ۰/۰۳۱۳. وابستگی میان شرکت‌ها در صنعت سرمایه‌گذاری نیز کمتر حالت بیضوی دارد با ضریب کندال T بین ۰/۰۴۰ تا ۰/۰۵۷۶. به همین شکل، سهام شرکت‌ها در صنعت محصولات شیمیایی کمتر حالت بیضوی دارد با ضریب کندال T بین ۰/۰۰۷۹- تا ۰/۰۵۳۸. در صنعت سیمان آهک، گچ، شرکت‌ها وابستگی با یکدیگر دارند با ضریب کندال T بین ۰/۰۰۶۴- تا ۰/۰۶۷۸. شدت پایین وابستگی میان صنایع در نتایج مطالعه حاضر می‌تواند ناشی از چند ویژگی ساختاری بازار سرمایه ایران باشد. نخست، ناهمگنی قابل توجه در عوامل بنیادین مؤثر بر صنایع مختلف است؛ به‌طوری که برخی صنایع عمدتاً تحت تأثیر متغیرهای جهانی مانند قیمت کالاهای و نرخ ارز قرار دارند، در حالی که سایر صنایع بیشتر متأثر از سیاست‌های داخلی و شرایط اعتباری اقتصاد هستند. دوم، ویژگی‌های بازارهای نوظهور از جمله انتقال تدریجی اطلاعات و نقش پررنگ سرمایه‌گذاران خرد می‌تواند موجب شود واکنش صنایع مختلف به اخبار اقتصادی به صورت ناهمزمان صورت گیرد. علاوه بر این، وجود محدودیت‌های معاملاتی نظیر دامنه نوسان قیمت نیز ممکن است انتقال شوک‌ها میان صنایع را کندتر سازد.

درخت‌های C-واین شکلی ستاره‌ای دارند، به‌طوری‌که چندین گره به‌هم‌پیوسته از یک نقطه مرکزی واحد منشعب می‌شوند، در حالی که درخت‌های D-واین دارای شکل زنجیره‌ای یا مسیری هستند و هر گره حداکثر با دو گره دیگر ارتباط دارد. برای یافتن نمایندگان هر صنعت، از درخت‌های C-واین استفاده می‌کنیم، زیرا این درخت‌ها گره‌ها را براساس میزان قدرت وابستگی (که با استفاده از ضریب کندال τ محاسبه می‌شود) مرتب‌سازی می‌کنند. گره‌های ریشه (نمایندگان بخش‌ها) در درخت‌های C-واین از طریق جمع مقادیر کندال τ در هر سطر از ماتریس و انتخاب گرهی که مجموع وابستگی‌های جفتی مطلق را ماکزیمم می‌کند بدست می‌آید. از جدول‌های ۳ تا ۱۲ ملاحظه می‌شود که گره‌های ریشه‌ای (نمایندگان صنایع) در درخت‌های C-واین عبارتند از: seshahed, sharak, pardis, betrans, khazin, femeli, kegol, desobha, vaomid و ceshomal.



شکل ۱. نمودارهای جفتی برای صنعت انبوه‌سازی، املاک و مستغلات (راست) و صنعت شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتی (چپ)

در پنل بالا: نمودارهای جفتی داده‌های کاپیولا، بخش قطری - هیستوگرام حاشیه‌های کاپیولا، بخش پایین - نمودارهای کانتور نرمال شده.

Figure 1. Pairwise plots for the real state development industry (right) and the industrial conglomerates sector (left)

Upper panel: pairwise plots of the copula data; diagonal: histograms of the copula margins; lower panel: normalized contour plots.

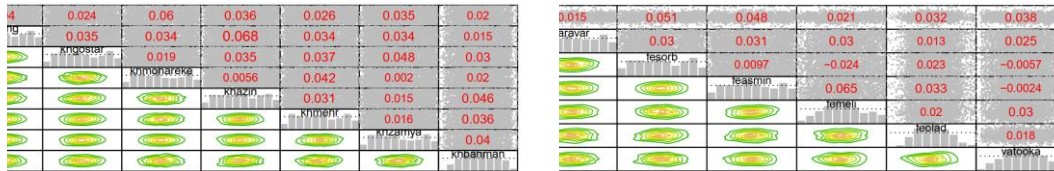


شکل ۲. نمودارهای جفتی برای صنعت مواد و محصولات دارویی (راست) و صنعت استخراج کانه‌های فلزی (چپ)

در پنل بالا: نمودارهای جفتی داده‌های کاپیولا، بخش قطری-هیستوگرام حاشیه‌های کاپیولا، بخش پایین-نمودارهای کانتور نرمال شده.

Figure 2. Pairwise plots for the pharmaceutical materials and products sector (right) and the metal ore extraction industry (left)

Upper panel: pairwise plots of the copula data; diagonal: histograms of the copula margins; lower panel: normalized contour plots.

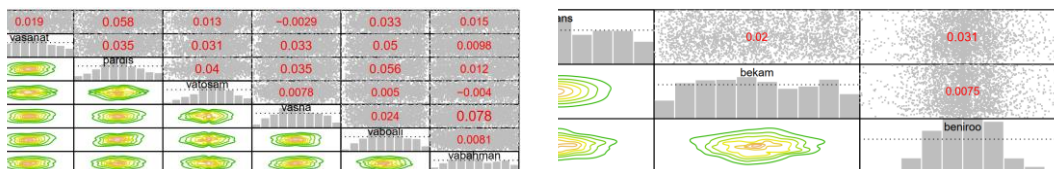


شکل ۳. نمودارهای جفتی برای صنعت فلزات اساسی (راست) و صنعت خودرو و ساخت قطعات (چپ)

در پنل بالا: نمودارهای جفتی داده‌های کاپیولا، بخش قطری-هیستوگرام حاشیه‌های کاپیولا، بخش پایین-نمودارهای کانتور نرمال شده.

Figure 3. Pairwise plots for the basic metals industry (right) and the automobile and auto parts industry (left)

Upper panel: pairwise plots of the copula data; diagonal: histograms of the copula margins; lower panel: normalized contour plots.



شکل ۴. نمودارهای جفتی برای صنعت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی (راست) و صنعت سرمایه‌گذاری‌ها (چپ)

در پنل بالا: نمودارهای جفتی داده‌های کاپیولا، بخش قطری-هیستوگرام حاشیه‌های کاپیولا، بخش پایین-نمودارهای کانتور نرمال شده.

Figure 4. Pairwise plots for the machinery and electrical equipment industry (right) and the investment industry (left)

Upper panel: pairwise plots of the copula data; diagonal: histograms of the copula margins; lower panel: normalized contour plots.



شکل ۵. نمودارهای جفتی برای صنعت محصولات شیمیایی (راست) و صنعت سیمان، آهک و گچ (چپ)

در پنل بالا: نمودارهای جفتی داده‌های کاپیولا، بخش قطری-هیستوگرام حاشیه‌های کاپیولا، بخش پایین-نمودارهای کانتور نرمال شده.

Figure 5. Pairwise plots for the chemical products industry (right) and the cement, lime, and plaster industry (left)

Upper panel: pairwise plots of the copula data; diagonal: histograms of the copula margins; lower panel: normalized contour plots.

جدول ۲. آماره‌های توصیفی بازده ۷۰ شرکت منتخب

Table 2. Descriptive statistics for the returns of the 70 selected firms

شرکت	میانگین	میان	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی	آزمون جاک-برا (p-مقدار)
Bekam	۰/۰۲۵	-۰/۰۰۸	۱/۵۷۴	۱۰۵۸/۴۶۶	-۲۴/۲۸۵	۰/۰۰۰
Beni-roo	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰	۱/۲۶۶	۳۴۴/۲۵۲	-۱۰/۹۸۸	۰/۰۰۰
Beterans	۰/۰۲۰	-۰/۰۰۳	۱/۳۱۹	۳۴۰/۴۴۳	-۱۲/۰۲۷	۰/۰۰۰

./...	۲/۵۶۲	۱۰۸/۲۶۱	۱/۴۲۲	-۰/۰۰۸	۰/۰۴۹	Cedour
./...	-۵/۲۳۲	۱۴۵/۱۲۵	۱/۱۶۳	۰/...	۰/۰۶۸	Cefars
./...	-۱۶/۱۴۷	۶۵۵/۲۷۱	۱/۲۷۲	۰/...	۰/۰۶۲	Cegharb
./...	-۰/۳۵۳۳	۴/۶۵۵	۱/۲۲۴	۰/...	۰/۰۸۹	Cehegmat
./...	-۱/۰۱۲	۵۳/۲۹۵	۱/۰۸۶	۰/۰۰۳	۰/۰۷۲	Cekerma
./...	-۵/۶۱۶	۱۴۱/۹۳۱	۱/۱۸۹	۰/...	۰/۰۵۱	Cepaha
./...	-۳۳/۶۶۵	۱۵۶۶/۲۵۶	۲/۰۵۴	۰/...	۰/۰۳۵	Cerood
./...	-۰/۳۷۶	۱۳/۷۲۹	۰/۹۹۹	۰/...	۰/۰۶۷	Ceshomal
./...	-۲/۱۲۴	۴۶/۹۷۶	۱/۲۲۵	۰/...	۰/۰۵۲	Cetran
./...	۲/۸۰۶	۶۲/۷۳۷	۰/۹۹۳	۰/...	۰/۰۶۴۷	Daroo
./...	-۰/۳۴۱	۲۴/۰۲۹	۰/۷۷۴	۰/...	۰/۰۲۱	Dealbor
./...	-۲۷/۰۶۴	۱۲۱۱/۵۰۰	۲/۱۱۲	۰/...	۰/۰۵۵	Deamin
./...	۱/۶۵۳	۳۸/۴۳۷	۱/۰۴۹	۰/...	۰/۰۵۳	Dejaber
./...	۷/۶۸۲	۱۷۶/۰۹۳	۱/۲۹۴	-۰/۰۰۹	۰/۰۵۲	Dekimi
./...	-۱/۱۶۴	۲۱/۵۳۳	۱/۳۴۴	-۰/۰۲۱	۰/۰۵۵	Dekosar
./...	-۱۴/۶۲۳	۴۷۷/۸۷۹	۱/۲۵۲	۰/...	۰/۰۱۳	Deloghma
./...	۱/۰۱۵	۱۶/۲۹۲	۱/۱۰۵	۰/...	۰/۰۵۳	Deosveh
./...	-۲۰/۲۷۴	۸۳۱/۹۳۵	۱/۵۱۱	۰/...	۰/۰۳۴	Derazak
./...	-۰/۶۰۷	۱۶/۹۱۹	۰/۸۷۹	۰/...	۰/۰۲۷	Desobha
./...	-۰/۵۸۵	۸/۷۴۱	۱/۳۸۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۶۱	Faravar
./...	-۳۴/۱۷۳	۱۶۳۵/۸۷۳	۲/۱۱۹	۰/...	۰/۰۲۵	Feasmin
./...	-۱۶/۵۸۳	۶۲۱/۲۸۰	۱/۰۳۹	۰/...	۰/۰۳۶	Febahonar
./...	-۱۷/۲۱۴	۵۳۷/۸۴۵	۱/۳۶۷	۰/...	۰/۰۲۹	Femeli
./...	-۳۶/۷۳۹	۱۷۴۶/۵۴۱	۲/۰۷۴	۰/...	۰/۰۲۶	Feolad
./...	-۲۶/۷۰۹	۱۱۷۷/۵۷۸	۲/۲۳۴	-۰/۰۲۳	۰/۰۰۶	Fesorb
./...	-۸/۲۴۴	۵۳۴/۶۱۴	۱/۷۱۵	-۰/۰۱۰	۰/۰۴۹	Keama
./...	-۵/۴۲۴	۱۵۱/۸۹۸	۰/۹۴۷	۰/۹۴۷	۰/۰۱۸	Kechad
./...	-۲/۰۸۹	۱۱۰/۳۹۵	۰/۷۶۹	-۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	Kegol
./...	-۱۹/۱۸۷	۷۶۲/۲۶۸	۱/۶۵۲	۰/...	۰/۰۲۹	Kerooy
./...	۲۲/۰۳۳	۹۲۵/۵۱۶	۱/۵۱۸	-۰/۰۰۸	۰/۰۴۲	Khazin
./...	-۴۰/۷۳۹	۲۰۷۰/۱۰۴	۲/۶۵۷	-۰/۰۱۱	۰/۰۳۳	Khbahman
./...	-۱۲/۱۵۹	۶۱۹/۱۶۲	۱/۵۰۲	-۰/۰۱۹	۰/۰۳۴	Khgostar
./...	-۷/۰۶۷	۲۲۵/۶۸۳	۱/۲۸۲	-۰/۰۰۹	۰/۰۲۱	Khmehr
./...	-۰/۴۵۸	۱۱۵/۸۶۵	۱/۴۹۸	-۰/۰۰۶	۰/۰۲۴	Khmohareke
./...	-۰/۱۲۵	۵/۰۷۴	۱/۳۸۰	-۰/۰۰۹	۰/۰۶۵	Khring
./...	-۴/۵۷۸	۱۴۰/۸۶۴	۱/۱۵۷	-۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	Khshargh
./...	-۲۶/۱۵۸	۱۱۸۶/۱۰۷	۲/۱۸۷	-۰/۰۴۹	۰/۰۲۱	Khzamyia
./...	-۵/۲۳۴	۲۸۱/۹۵۸	۱/۱۱۷	۰/...	۰/۰۲۷	Pardis
./...	-۰/۷۱۳	۲۰/۱۱۷	۱/۰۱۲	۰/...	۰/۰۶۳	Reanfor
./...	-۰/۴۸۴	۷/۲۲۶	۰/۹۴۹	-۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	Sakht
./...	-۱/۲۴۲	۲۶/۲۹۷	۱/۱۶۲	-۰/۰۱۸	۰/۰۲۶	Semaskan
./...	-۳/۲۳۸	۸۱/۰۴۹	۱/۲۳۶	-۰/۰۲۵	۰/۰۴۰	Seshahed
./...	-۵/۲۴۸	۱۳۴/۰۰۹	۱/۰۶۶	۰/...	۰/۰۳۹	Sharak

Shfars	۰/۰۳۰	-۰/۰۰۵	۱/۹۵۸	۸۴۳/۱۲۳	-۱۹/۰۷۹	۰/۰۰۰
Shiraz	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰	۱/۰۷۰	۵۸/۵۹۴	-۲/۱۹۸	۰/۰۰۰
Shkarbon	۰/۰۸۶	۰/۰۰۰	۱/۳۶۷	۱۰/۶۳۹	۰/۵۱۸	۰/۰۰۰
Shkhark	۰/۰۷۴	۰/۰۲۲	۰/۹۲۱	۱۲/۰۰	۰/۳۷۲	۰/۰۰۰
Shkolor	۰/۰۶۶	۰/۰۰۰	۱/۳۳۵	۱۴۳/۳۵۵	۲/۸۰۴	۰/۰۰۰
Shleab	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۱/۰۳۴	۲۰۶/۳۲۳	-۷/۶۳۱	۰/۰۰۰
Shpaksa	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۱/۶۹۵	۱۰۸۰/۴۴۱	-۲۴/۷۸۲	۰/۰۰۰
Vabahman	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰	۱/۱۶۸	۱۰۶/۱۷۳	-۳/۴۶۸	۰/۰۰۰
Vabank	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰	۱/۷۸۱	۱۶۴۰/۵۷۷	-۳۳/۷۹۱	۰/۰۰۰
Vaboali	۰/۰۳۰	-۰/۰۰۲	۲/۲۲۶	۱۹۶۴/۸۳۰	-۳۹/۰۶۵	۰/۰۰۰
Vaghadir	۰/۰۴۹	۰/۰۰۰	۱/۰۸۲	۱۵۵/۹۰۱	-۶/۶۳۷	۰/۰۰۰
Valber	۰/۰۱۸	-۰/۰۰۱	۰/۹۰۶	۳۵/۸۴۹	-۱/۳۵۶	۰/۰۰۰
Vamaaden	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰	۰/۸۴۲	۳۲۳/۴۸۴	۹/۶۴۵	۰/۰۰۰
Vaniki	۰/۰۵۶	۰/۰۰۰	۱/۱۲۹	۴۲۸/۲۶۱	-۸/۸۹۷	۰/۰۰۰
Vaomid	۰/۰۵۴	۰/۰۰۰	۰/۹۷۷	۳۶۴/۳۳۲	۵/۵۷۵	۰/۰۰۰
Vapetro	۰/۰۵۹	-۰/۰۴۸	۱/۲۶۸	۲/۹۹۳	۰/۱۳۱	۰/۰۰۰
Vasakht	۰/۰۴۸	-۰/۰۳۰	۱/۴۰۶	۴/۷۸۷	۰/۱۶۳	۰/۰۰۰
Vasanat	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰	۱/۴۳۸	۷۴۷/۹۲۹	-۲۰/۵۰۳	۰/۰۰۰
Vasandogh	۰/۰۵۱	۰/۰۰۰	۰/۹۳۳	۱۳۲/۷۷۸	-۴/۵۹۵	۰/۰۰۰
Vasepah	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰	۱/۱۶۹	۳۱۹/۴۵۷	-۱۰/۸۶۳	۰/۰۰۰
Vasna	۰/۰۲۴	-۰/۰۰۰	۱/۳۹۶	۲۹۱/۹۱۸	-۱۰/۷۸۵	۰/۰۰۰
Vatooka	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰	۰/۸۶۰	۷۳/۳۶۳	-۲/۴۱۵	۰/۰۰۰
Vatosa	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	۱/۹۰۳	۱۳۰۵/۲۰۷	-۲۸/۷۹۶	۰/۰۰۰
Vatosam	۰/۰۳۶	۰/۰۰۰	۱/۹۴۸	۲۱۵۱/۹۸۳	-۴۱/۸۹۸	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت انبوه‌سازی، املاک و مستغلاتTable 3. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: real state development industry

S	Cetran	Cerood	Sakht	Vasakht	Seshahe	Semaska	Cefars	
۱/۱۵۸۹	-۰/۰۰۳۹	-۰/۰۱۰۲	۰/۰۴۱۱*	-۰/۰۰۱۰	۰/۰۶۳۳*	۰/۰۴۰۵*	۱	Cefars
۱/۱۰۴۶	۰/۰۰۶۳	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۴۰۱*	۱	۰/۰۴۰۵	Semaska
			-					n
۱/۱۷۶۵	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۰۶	۰/۰۲۹۵*	۰/۰۲۰۸**	۱	۰/۰۴۰۱	۰/۰۶۲۲	Seshahed
								۱
۱/۰۷۵۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۶۹	۰/۰۱۷۶	۱	۰/۰۲۰۸	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۱۰	Vasakht
۱/۱۳۸۱	-۰/۰۰۸۱	۰/۰۳۸۷*	۱	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۹۵	-۰/۰۰۳۱	۰/۰۴۱۱	Sakht
۱/۱۰۶۵	۰/۰۱۷۳	۱	۰/۰۳۸۷	۰/۰۱۶۹	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۲۸	-۰/۰۱۰۲	Cerood
۱/۰۶۶۳	۱	۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۸۱	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۳	-۰/۰۰۳۹	Cetran
			-					

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۴. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتیTable 4. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: industrial conglomerates industry

S	Vaomid	Vabank	Vasandogh	Vaniki	Vaghadir	
۱/۲۰۰۹	۰/۰۵۱۲*	۰/۰۶۶۷*	۰/۰۴۵۶*	۰/۰۳۷۴*	۱	Vaghadir
۱/۱۳۱۷	۰/۰۴۸۱*	۰/۰۱۴۰	۰/۰۳۲۲*	۱	۰/۰۳۷۴	Vaniki

Vasandogh	۰/۰۴۵۶	۰/۰۳۲۲	۱	۰/۰۴۸۴*	۰/۰۱۷۶	۱/۱۴۳۸
Vabank	۰/۰۶۶۷	۰/۰۱۴۰	۰/۰۴۸۴	۱	۰/۰۳۳۴*	۱/۲۸۸۵
Vaomid	۰/۰۵۱۲	۰/۰۴۸۱	۰/۰۱۷۶	۰/۰۳۳۴	۱	۱/۱۵۰۳

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۵. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت مواد و محصولات دارویی

Table 5. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: pharmaceutical materials and products industry

S	Daroo	Deosveh	Deloghma	Dealbor	Deamin	Dekimi	Derazak	Dekosar	Valber	Desobha	Dejaber
۱/۲۷۱۱	۰/۰۲۱۰**	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۱۹	۰/۰۲۱۹**	۰/۰۳۰۵*	۰/۰۳۲۳*	۰/۰۱۵۶	۰/۰۳۲۵*	۰/۰۳۶۳*	۰/۰۵۸۷*	۱
۱/۳۰۸۲	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۹۲	۰/۰۲۹۳*	۰/۰۳۲۷*	۰/۰۶۰۱*	۰/۰۲۳۶*	۰/۰۴۸۶*	۰/۰۲۹۹*	۰/۰۳۸۸**	۱	۰/۰۵۸۷
۱/۲۳۹۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۱۱۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۵۱	۰/۰۴۹۹*	۰/۰۱۸۶	۰/۰۴۹۶*	۰/۰۳۳۳*	۱	۰/۰۳۸۸	۰/۰۳۶۲
۱/۳۰۹۲	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۰۲	۰/۰۴۲۱*	۰/۰۰۵۶	۰/۰۴۹۹*	۰/۰۳۲۳*	۰/۰۶۶۹*	۱	۰/۰۳۳۲	۰/۰۲۹۹	۰/۰۳۲۵
۱/۳۰۱۳	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۸۵	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۸۳	۰/۰۴۹۳*	۰/۰۱۹۷**	۱	۰/۰۶۶۹	۰/۰۴۹۶	۰/۰۴۸۶	۰/۰۱۵۶
۱/۱۹۰۴	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۴۳	۱	۰/۰۱۹۷	۰/۰۳۲۲	۰/۰۱۸۶	۰/۰۲۳۶	۰/۰۳۲۲
۱/۳۱۸۳	۰/۰۰۵۱	۰/۰۴۱۱*	۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۱۲	۱	۰/۰۱۴۳	۰/۰۴۹۲	۰/۰۴۹۹	۰/۰۴۴۹	۰/۰۶۰۱	۰/۰۳۰۲
۱/۱۲۳۵	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۶۶	۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۸۳	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۵۱	۰/۰۳۲۷	۰/۰۲۱۹
۱/۱۸۹۴	۰/۰۴۶۷*	۰/۰۰۴۱	۱	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۱۳۹	۰/۰۴۲۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۲۳۳	۰/۰۱۱۹
۱/۱۳۸۷	۰/۰۱۰۰	۱	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۱۱	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۸۵	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۹۲	۰/۰۰۹۹
۱/۱۲۶۵	۱	۰/۰۱۰۰	۰/۰۴۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۵۱	۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۱۳	۰/۰۱۷۳	۰/۰۲۱۰

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۶. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت استخراج کانه‌های فلزی

Table 6. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: metal ore extraction industry

S	Vamaaden	Kegol	Kechad	Keama	Kerooy
۱/۱۴۱۳	۰/۰۱۰۹	۰/۰۴۶۵*	۰/۰۲۸۱*	۰/۰۵۵۸*	۱
۱/۱۲۵۸	۰/۰۰۵۱	۰/۰۲۶۰*	۰/۰۳۸۹*	۱	۰/۰۵۵۸
۱/۱۰۳۱	۰/۰۲۱۴**	۰/۰۱۴۷	۱	۰/۰۳۸۹	۰/۰۲۸۱
۱/۱۲۵۹	۰/۰۳۸۷*	۱	۰/۰۱۴۷	۰/۰۲۶۰	۰/۰۴۶۵
۱/۰۷۶۱	۱	۰/۰۳۸۷	۰/۰۲۱۴	۰/۰۰۵۱	۰/۰۱۰۹

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۷. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت فلزات اساسی

Table 7. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: basic metal industry

S	Vatooka	Feolad	Femeli	Feasmin	Fesorb	Faravar	Fabahonar
۱/۲۰۴۴	۰/۰۳۸۱*	۰/۰۳۱۸*	۰/۰۲۰۷**	۰/۰۴۷۹*	۰/۰۵۱۳*	۰/۰۱۴۷	۱
۱/۱۴۳۸	۰/۰۲۴۸*	۰/۰۱۲۸	۰/۰۳۰۵*	۰/۰۳۰۸*	۰/۰۳۰۳*	۱	۰/۰۱۴۷
۱/۱۴۳۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۲۳۳*	۰/۰۲۳۵*	۰/۰۰۹۷	۱	۰/۰۳۰۲	۰/۰۵۱۲
۱/۱۸۸۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۲۳۶*	۰/۰۶۴۹*	۱	۰/۰۰۹۷	۰/۰۳۰۸	۰/۰۴۷۹
۱/۱۸۹۳	۰/۰۲۹۶*	۰/۰۲۰۱**	۱	۰/۰۶۴۹	۰/۰۲۳۵	۰/۰۳۰۵	۰/۰۲۰۷
۱/۱۳۸۶	۰/۰۱۸۰	۱	۰/۰۲۰۱	۰/۰۳۲۶	۰/۰۲۲۳	۰/۰۱۲۸	۰/۰۳۱۸
۱/۱۱۸۶	۱	۰/۰۱۸۰	۰/۰۲۹۶	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۲۴۸	۰/۰۳۸۱

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.
منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۸. ضریب همبستگی کندال: صنعت خودرو و ساخت قطعات

Table 8. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: automotive and auto parts industry

S	khbahman	khzamy	Khmehr	Khazin	Khmohareke	Khgostar	Khrring	Khshargh
۱/۲۴۰۱	۰/۰۱۹۸**	۰/۰۳۴۹*	۰/۰۲۶۱*	۰/۰۳۵۷*	۰/۰۵۹۶*	۰/۰۲۳۶*	۰/۰۴۰۴*	۱
۱/۲۶	۰/۰۱۴۵	۰/۰۳۳۹*	۰/۰۳۳۹*	۰/۰۶۷۹*	۰/۰۳۴۱*	۰/۰۳۵۳*	۱	۰/۰۴۰۴
۱/۲۲۶۸	۰/۰۳۰۰*	۰/۰۴۷۵*	۰/۰۳۷۱*	۰/۰۳۴۶*	۰/۰۱۸۷	۱	۰/۰۳۵۳	۰/۰۲۳۶
۱/۱۸۱۵	۰/۰۱۹۵**	۰/۰۰۲۰	۰/۰۴۲۰*	۰/۰۰۵۶	۱	۰/۰۱۸۷	۰/۰۳۴۱	۰/۰۵۹۶
۱/۲۳۶	۰/۰۴۶۳*	۰/۰۱۴۹	۰/۰۳۱۰*	۱	۰/۰۰۵۶	۰/۰۳۴۶	۰/۰۶۷۹	۰/۰۳۵۷
۱/۲۲۱۹	۰/۰۳۵۷*	۰/۰۱۶۱	۱	۰/۰۳۱۰	۰/۰۴۲۰	۰/۰۳۷۱	۰/۰۳۳۹	۰/۰۲۶۱
۱/۱۸۹۴	۰/۰۴۰۱*	۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۴۹	۰/۰۰۲۰	۰/۰۴۷۵	۰/۰۳۳۹	۰/۰۳۴۹
۱/۲۰۵۹	۱	۰/۰۴۰۱	۰/۰۳۵۷	۰/۰۴۶۳	۰/۰۱۹۵	۰/۰۳۰۰	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۹۸

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.
منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۹. ضریب همبستگی کندال: صنعت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی

Table 9. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: machinery and electrical equipment industry

S	Beniroom	Bekam	Beterans
۱/۰۵۱۳	۰/۰۳۱۳*	۰/۰۲۰۰**	۱
۱/۰۲۷۵	۰/۰۰۷۵	۱	۰/۰۲۰۰
۱/۰۳۸۸	۱	۰/۰۰۷۵	۰/۰۳۱۳

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.
منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۰. ضریب همبستگی کندال: صنعت سرمایه‌گذاری‌ها

Table 10. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: investment industry

S	Vabahman	Vaboli	Vasna	Vatosam	Pardis	Vasanat	Vasepah
۱/۱۳۹۸	۰/۰۱۴۸	۰/۰۳۲۹*	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۲۸	۰/۰۵۷۶*	۰/۰۱۸۸	۱
۱/۱۷۷۴	۰/۰۰۹۸	۰/۰۵۰۰*	۰/۰۳۲۷*	۰/۰۳۱۲*	۰/۰۳۴۹*	۱	۰/۰۱۸۸
۲۳۶۱ ۱/	۰/۰۱۲۵	۰/۰۵۶۱*	۰/۰۳۴۶*	۰/۰۴۰۴*	۱	۰/۰۳۴۹	۰/۰۵۷۶
۱/۱۰۱۲	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۷۸	۱	۰/۰۴۰۴	۰/۰۳۱۲	۰/۰۱۲۸
۱/۱۷۹۸	۰/۰۷۷۹*	۰/۰۲۳۹*	۱	۰/۰۰۷۸	۰/۰۳۴۶	۰/۰۳۲۷	۰/۰۰۲۹
۱/۱۷۶	۰/۰۰۸۱	۱	۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۵۰	۰/۰۵۶۱	۰/۰۵۰۰	۰/۰۳۲۹
۱/۱۲۷۱	۱	۰/۰۰۸۱	۰/۰۷۷۹	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۹۸	۰/۰۱۴۸

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.
منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۱. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت محصولات شیمیایی

 Table 11. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: chemical products industry

S	shfars	Shleab	Shkhark	Shkolor	Shiraz	Shkarbon	Shpaksa	Sharak	Vapetro
۱/۱۵۰۲	۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۶۹	۰/۰۵۳۸*	۰/۰۳۸۲*	۰/۰۰۲۹	۱
۱/۱۶۰۸	۰/۰۰۵۲	۰/۰۱۲۵	۰/۰۵۱۹*	۰/۰۱۴۶	۰/۰۵۲۳*	۰/۰۱۶۷	۰/۰۰۴۷	۱	۰/۰۰۲۹
۱/۱۰۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۸۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۲۴	۱	۰/۰۰۴۷	۰/۰۳۸۲
۱/۱۵۸۱	۰/۰۲۰۶**	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۷۵	۰/۰۲۹۶*	۰/۰۲۱۶**	۱	۰/۰۰۲۴	۰/۰۱۶۷	۰/۰۵۳۸
۱/۱۵۶۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۶۸	۰/۰۳۴۳*	۰/۰۱۶۹	۱	۰/۰۲۱۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۵۲۳	۰/۰۱۶۹
۱/۰۹۹۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۴	۱	۰/۰۱۶۹	۰/۰۲۹۶	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۰۸
۱/۱۴۲۶	۰/۰۰۷۹	۰/۰۱۳۹	۱	۰/۰۰۲۴	۰/۰۳۴۳	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۳۶	۰/۰۵۱۹	۰/۰۱۱۱
۱/۱۰۱۳	۰/۰۲۷۵*	۱	۰/۰۱۳۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۵۹	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۳۶
۱/۰۷۳۲	۱	۰/۰۲۷۵	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۰۶	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۲۹

* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.

منبع: یافته‌های پژوهش

 جدول ۱۲. ضریب همبستگی کندال τ : صنعت سیمان، آهک و گچ

 Table 12. Kendall's Tau (τ) correlation coefficient: cement, lime, and plaster industry

S	Cedou r	Cehagma t	Ceshoma l	Cekerm a	Cepah a	Ceghar b
۱/۱۲۶۵	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۲۹	۰/۰۳۰۳*	۰/۰۴۴۹*	۰/۰۴۲۰*	۱
۱/۱۷۹	۰/۰۰۷۴	۰/۰۱۸۹	۰/۰۵۵۸*	۰/۰۵۴۹*	۱	۰/۰۴۲۰
۱/۲۲۶۴	۰/۰۲۸۳*	۰/۰۳۰۵*	۰/۰۶۷۸*	۱	۰/۰۵۴۹	۰/۰۴۴۹
۱/۲۳۰۷ ۱	۰/۰۲۲۹**	۰/۰۵۳۹*	۱	۰/۰۶۷۸	۰/۰۵۵۸	۰/۰۳۰۳
۱/۱۶۳۵	۰/۰۵۷۳*	۱	۰/۰۵۳۹	۰/۰۳۰۵	۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۲۹
۱/۱۲۲۳	۱	۰/۰۵۷۳	۰/۰۲۲۹	۰/۰۲۸۳	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۶۴

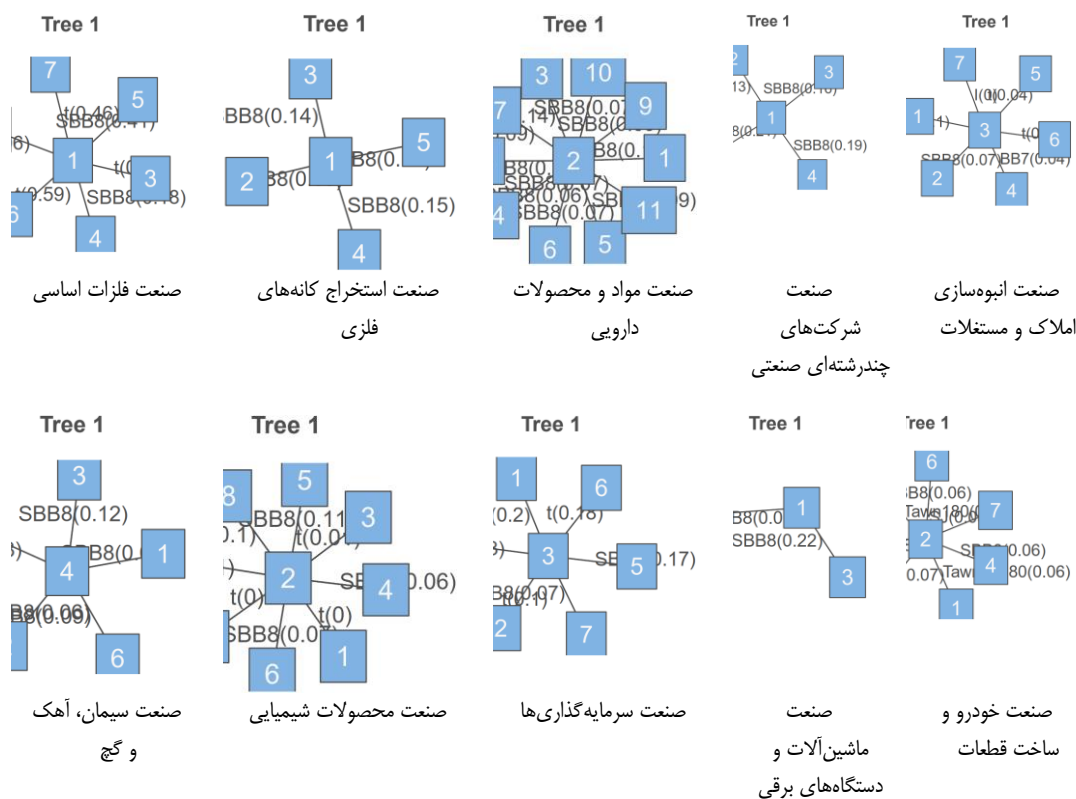
* و ** به ترتیب معناداری را در سطح ۵٪ و ۱۰٪ نشان می‌دهند.

منبع: یافته‌های پژوهش

Seshahed نمایانگر صنعت انبوه‌سازی املاک و مستغلات است؛ vaomid به عنوان نماینده صنعت شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتی عمل می‌کند؛ desobha نماینده صنعت مواد و محصولات دارویی است؛ kegol نماینده صنعت استخراج کانه‌های فلزی است؛ femeli به عنوان نماینده صنعت فلزات اساسی در نظر گرفته می‌شود؛ شرکت‌های خودرو و ساخت قطعات توسط شرکت khazin نمایندگی می‌شوند و beterans به عنوان نماینده شرکت‌های فعال در صنعت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی عمل می‌کند. صنعت سرمایه‌گذاری‌ها، صنعت محصولات شیمیایی و صنعت سیمان، آهک گچ به ترتیب با شرکت‌های sharak, pardis و ceshomal نمایندگی می‌شوند.

در این پژوهش، به منظور نمایندگی هر صنعت، یک شرکت منتخب از میان شرکت‌های فعال آن صنعت انتخاب شد. معیار انتخاب شرکت نماینده بر اساس ساختار همبستگی بازده درون صنعتی تعیین گردید. شرکتی که بیشترین میانگین همبستگی با سایر اعضای صنعت را داشت به عنوان شرکت نماینده انتخاب شد. این رویکرد در واقع

انتخاب «مرکز همبستگی» در میان شرکت‌های صنعت است و موجب می‌شود سری زمانی منتخب بیشترین شباهت رفتاری را با دینامیک کلی صنعت داشته باشد. بنابراین حتی در صورت تفاوت تعداد شرکت‌ها در صنایع مختلف، هر صنعت توسط شرکتی نمایندگی می‌شود که بیشترین همخوانی رفتاری را با سایر اعضای آن صنعت دارد و در نتیجه عدم توازن در تعداد شرکت‌ها تأثیر معناداری بر تحلیل وابستگی میان صنایع نخواهد داشت. درخت نخست حاصل، یعنی درخت C-واین برای هر ۱۰ صنعت، در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶. نتایج مربوط به درخت C-واین شماره ۱

Figure 6. Results for C-vine tree 1

ساختار وابستگی میان نمایندگان صنایع: پس از انتخاب گره ریشه (شرکت‌های نماینده صنایع)، وابستگی دوتایی میان ۱۰ شرکت نماینده صنایع تخمین زده می‌شود، همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است. نمودار جفتی نشان می‌دهد که مقادیر τ کنдал بین $-0/011$ تا $0/051$ متغیر است. برای برآورد این وابستگی‌ها، این مقاله از کاپیولاهای C-واین، R-واین و D-واین استفاده می‌کند، زیرا همان‌طور که گفته شد هر سه نوع، دارای تفسیرها و کاربردهای متفاوتی در تحلیل سیاست‌ها هستند.

[illegible]

شکل ۷. وابستگی‌های دوتایی میان نمایندگان هر صنعت

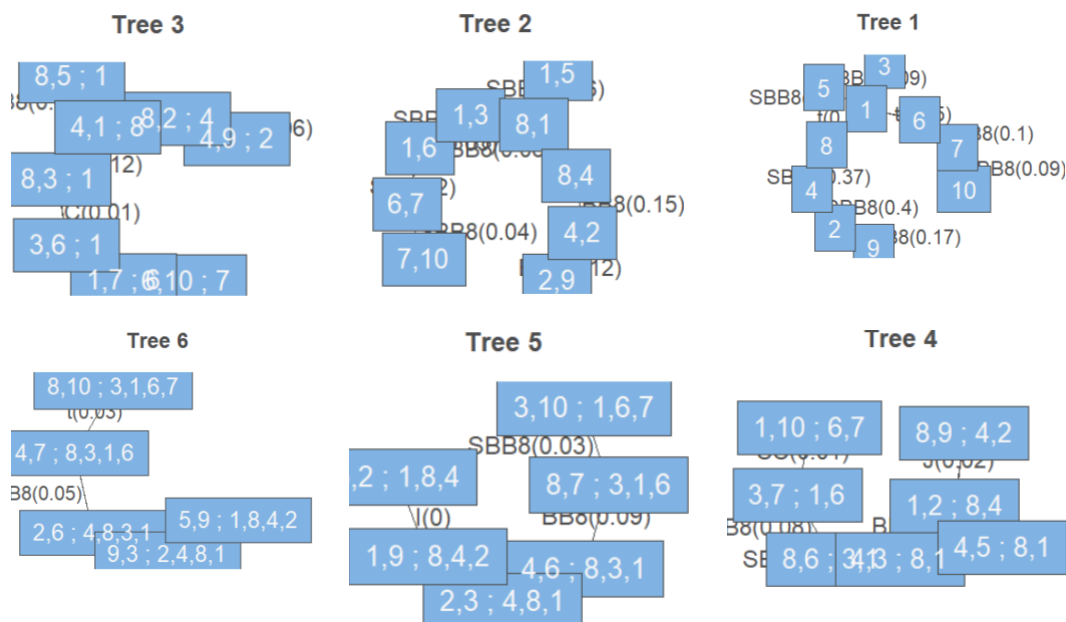
(در بخش بالا، نمودارهای جفتی داده‌های کاپیولا قرار دارند. در بخش قطری (میان)، هیستوگرام‌های حاشیه‌های کاپیولا نمایش داده شده‌اند. در بخش پایین، نمودارهای کانتور نرمال شده برای شرکت‌های نماینده هر صنعت ارائه شده‌اند).

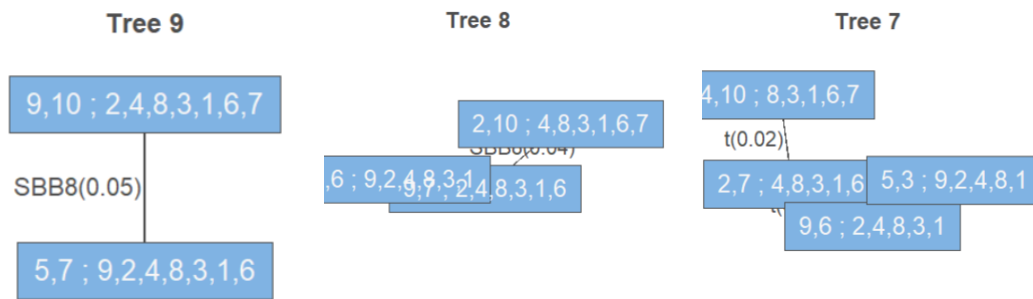
Figure 7. Bivariate dependencies among the representatives of each industry.

(In the upper section, pairwise plots of the copula data are presented. In the diagonal (middle) section, histograms of the copula margins are displayed. In the lower section, normalized contour plots for the representative companies of each industry are provided).

R-vin ها : نتایج بدست آمده از برآوردهای متوالی برای R-واین در شکل ۸ ارائه شده است و در جدول‌های تفصیلی درخت‌ها در جدول ۱۳ نمایش داده شده‌اند. این جدول شامل ساختار درخت R-واین، خانواده کاپیولای انتخاب شده و مقدار برازش یافته کنثال τ است. در درخت T_1 ، رایج‌ترین خانواده‌های کاپیولای جفتی شامل Student-t و survival BB8 هستند که معمولاً در مجموعه داده‌های مالی مشاهده می‌شوند. در درخت نخست، یعنی T_1 ، شرکت شماره ۱ (seshahed) از صنعت انبوه‌سازی املاک و مستغلات، شرکت شماره ۸ (pardis) از صنعت سرمایه‌گذاری‌ها و شرکت شماره ۶ (khazin) از صنعت خودرو و ساخت قطعات به عنوان گره‌های ریشه در شبکه وابستگی شناسایی شده‌اند. گره ۱ (seshahed) نقش مرکزی در میان سایر شرکت‌های صنعت مواد و محصولات دارویی، صنعت فلزات اساسی، صنعت خودرو و ساخت قطعات و صنعت سرمایه‌گذاری‌ها دارد. با این حال، در درخت‌های T_z برای $z > 1$ ، چندین خانواده کاپیولای غیربیضوی به کار رفته‌اند که مقادیر برازش یافته کنثال τ در آن‌ها پایین است.

جدول ۱۳ برآوردهای متوالی از پارامترهای مربوط به مدل R-واین را برای تمامی خانواده‌های کاپیولای جفتی به کار رفته نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که کاپیولای دو متغیره SBB8 و BB8 بیشترین فراوانی انتخاب را داشته‌اند. سایر خانواده‌های کاپیولای دو متغیره وابستگی دنباله‌ای اندک یا تقریباً صفر دارند.





شکل ۸. درخت‌های (از T_1 تا T_9) R -واین برای تمامی خانواده‌های کاپیولاهای دوتایی

Figure 8. R-vine trees (T_1 to T_9) for all bivariate copula families

جدول ۱۳. برآوردهای متوالی پارامترها همراه با مقادیر ضمنی τ کندال و برآورد ضرایب وابستگی دنباله بالایی (utd) و دنباله پایینی (ltd) برای کاپیولای R -واین، با در نظر گرفتن تمامی خانواده‌های کاپیولای دوتایی به کار رفته.

Table 13. Sequential parameter estimates, along with the implied Kendall's τ values and the estimated upper-tail dependence (utd) and lower-tail dependence (ltd) coefficients for the R-vine copula, based on all bivariate copula families employed.

ltd	utd	τ	پارامتر ۲	پارامتر تر	کاپیولا	لبه	درخت R -واین
-	-	۰/۰۹	۱/۰۰	۱/۱۸	SBB8	۱۰ و ۷	۱
-	-	۰/۱۰	۱/۰۰	۱/۲۰	SBB8	۷ و ۶	
۰/۲	۰/۲	۰/۰۵	۸/۲۲	۰/۰۷	t	۶ و ۱	
-	-	۰/۰۹	۰/۹۸	۱/۲۰	SBB8	۳ و ۱	
-	-	۰/۱۷	۰/۹۹	۱/۳۹	SBB8	۹ و ۲	
-	-	۰/۴۰	۰/۹۲	۲/۶۷	SBB8	۲ و ۴	
-	-	۰/۱۰	۰/۹۹	۱/۲۱	SBB8	۵ و ۱	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۱۴/۳۳	۰/۰۹	t	۱ و ۸	
-	-	۰/۳۷	۰/۸۵	۲/۹۳	SBB8	۴ و ۸	
-	-	۰/۰۴	۰/۹۹	۱/۰۸	SBB8	۶ و ۱۰ : ۷	۲
۰/۰۵	-	۰/۰۲	۰/۰۰	۱/۰۴	SJ	۱ و ۷ : ۶	
-	-	۰/۰۵	۰/۹۹	۱/۰۹	BB8	۳ و ۶ : ۱	
-	-	۰/۱۰	۰/۹۷	۱/۲۳	SBB8	۸ و ۳ : ۱	
-	-	۰/۱۲	۰/۹۱	۱/۴۱	BB8	۴ و ۹ : ۲	
-	-	۰/۱۵	۰/۸۰	۱/۷۳	BB8	۸ و ۲ : ۴	
-	-	۰/۱۶	۰/۹۷	۱/۴۰	SBB8	۸ و ۵ : ۱	
-	-	۰/۰۶	۱/۰۰	۱/۱۱	SBB8	۴ و ۱ : ۸	
۰/۰۰	-	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۴	C	۱ و ۱۰ : ۶ و ۷	۳
-	-	۰/۰۷	۰/۹۸	۱/۱۵	BB8	۳ و ۷ : ۱ و ۶	
۰/۰۰	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	C	۸ و ۶ : ۳ و ۱	
-	-	۰/۱۲	۰/۹۸	۱/۲۸	SBB8	۴ و ۳ : ۸ و ۱	
-	-	۰/۰۶	۰/۷۹	۱/۲۷	BB8	۸ و ۹ : ۴ و ۲	
-	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۵	SC	۱ و ۲ : ۸ و ۴	
-	-	۰/۱۹	۰/۷۴	۲/۱۰	BB8	۴ و ۵ : ۸ و ۱	
-	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	SC	۳ و ۱۰ : ۱ و ۶ و ۷	۴
-	-	۰/۰۸	۰/۹۹	۱/۱۵	SBB8	۸ و ۷ : ۳ و ۱ و ۶	

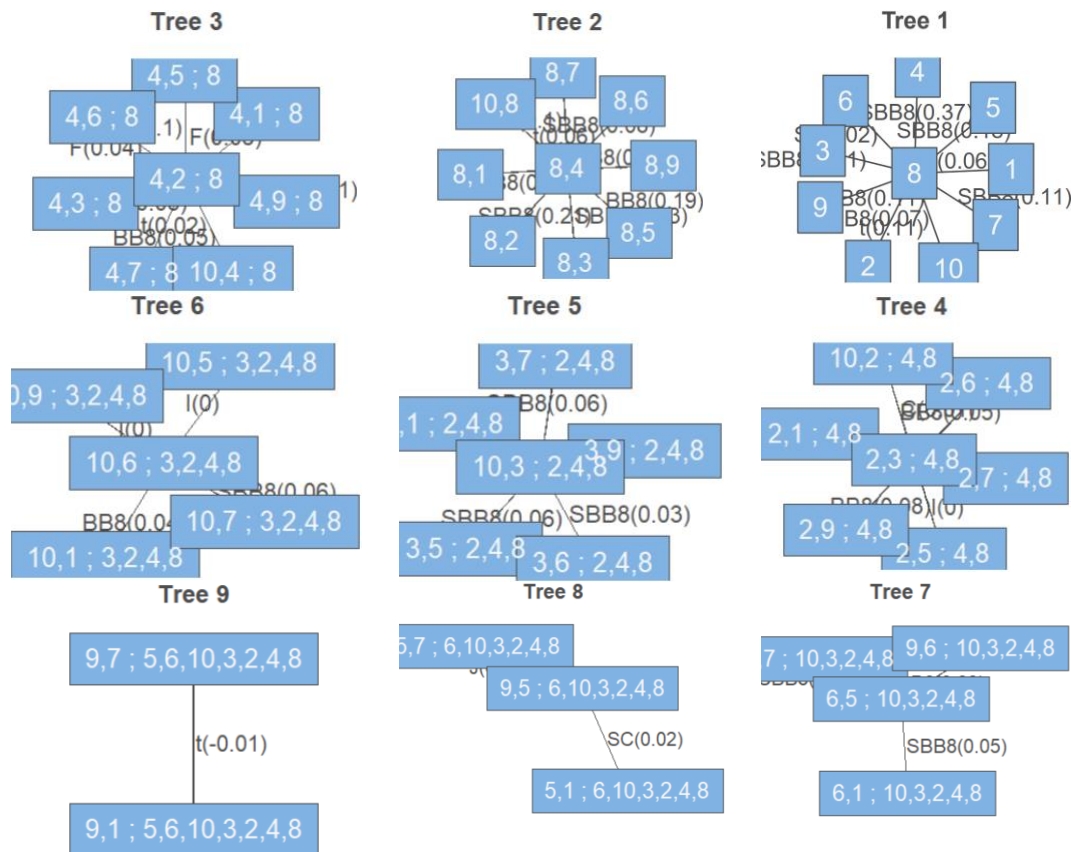
-	-	۰/۰۶	۱/۰۰	۱/۱۲	SBB8	۴ و ۳ و ۸ و ۶	
-	-	۰/۰۶	۰/۹۰	۱/۲۱	BB8	۲ و ۳ و ۴ و ۸ و ۱	
-	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۱/۰۳	J	۱ و ۹ و ۸ و ۴ و ۲	
-	-	۰/۰۷	۰/۹۵	۱/۱۷	BB8	۵ و ۲ و ۱ و ۸ و ۴	
-	-	۰/۰۳	۰/۹۸	۱/۰۷	SBB8	۸ و ۱۰ و ۳ و ۱ و ۶ و ۷	۵
-	-	۰/۰۹	۰/۹۸	۱/۲۰	BB8	۴ و ۷ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶	
-	-	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۲۲	F	۲ و ۶ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱	
-	-	۰/۰۵	۰/۹۷	۱/۱۲	BB8	۹ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸ و ۱	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۰/۰۰	۰/۰۱	t	۵ و ۹ و ۱ و ۸ و ۴ و ۲	
		-		-			
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۲۶/۳۸	۰/۰۵	t	۴ و ۱۰ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶ و ۷	۶
-	-	۰/۰۵	۰/۸۷	۱/۱۶	BB8	۲ و ۷ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶	
-	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	C90	۹ و ۶ و ۲ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱	
		-		-			
-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۰۱	G	۵ و ۳ و ۹ و ۲ و ۴ و ۸ و ۱	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۲۱/۴۶	۰/۰۳	t	۲ و ۱۰ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶ و ۷	۷
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۲۴/۵۵	۰/۰۱	t	۹ و ۷ و ۲ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶	
-	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۳	F	۵ و ۶ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۲ و ۹ و ۷	
-	-	۰/۰۴	۰/۹۹	۱/۰۷	SBB8	۹ و ۱۰ و ۲ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶ و ۷	۸
-	-	۰/۰۵	۰/۹۹	۱/۱۱	SBB8	۵ و ۷ و ۹ و ۲ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶	
-	-	۰/۰۵	۰/۹۸	۱/۱۰	SBB8	۵ و ۹ و ۲ و ۴ و ۸ و ۳ و ۱ و ۶ و ۷	۹

۵

توجه: اختصارات گره‌ها: 1=seshahed, 2=vaomid, 3=desobha, 4=kegol, 5=femeli, 6=khazin, 7=beterans, 8=pardis, 9=sharak, 10=ceshomal.
منبع: یافته‌های پژوهش

کاپیولاهای C-واین و D-واین: برای یافتن پیوندهای متقابل با استفاده از کاپیولای انعطاف‌پذیر R-واین، تحلیل را به شناسایی گره ریشه مرکزی از طریق به‌کارگیری C-واین گسترش می‌دهیم؛ و ساختار وابستگی سلسله مراتبی با استفاده از کاپیولای D-واین ثبت می‌شود. درخت C-واین برای ۱۰ نماینده صنایع در شکل ۹ نشان داده شده است و مشخصات دقیق آن در جدول ۱۴ مستند شده‌اند.

گره ریشه برای C-واین به گونه‌ای انتخاب می‌شود که مجموع وابستگی‌های دوتایی مرتبط با آن گره حداکثر شود. ترتیب گره‌های مرکزی در مشخصه C-واین به این صورت است: ۸ (pardis) برای صنعت سرمایه‌گذاری‌ها، ۴ (kegol) برای صنعت استخراج کانه‌های فلزی، ۲ (vaomid) برای صنعت شرکت‌های چندرشته‌ای صنعتی، ۳ (desobha) برای صنعت مواد و محصولات دارویی، ۱۰ (ceshomal) برای صنعت سیمان، آهک و گچ، ۶ (khazin) برای صنعت خودرو و ساخت قطعات، ۵ (femeli) برای صنعت فلزات اساسی، ۹ (sharak) برای صنعت محصولات شیمیایی، ۷ (beterans) برای صنعت ماشین آلات و دستگاه‌های برقی.



شکل ۹. درخت‌های C-واین (از T_1 تا T_9) برای تمام خانواده‌های کاپیولای جفتی
Figure 9. C-vine trees (T_1 to T_9) for all bivariate copula families

جدول ۱۴. برآوردهای متوالی پارامترها همراه با مقادیر ضمنی τ کنдал و برآورد ضرایب وابستگی دنباله بالایی (utd) و دنباله پایینی (ltd) برای کاپیولای C-واین، با در نظر گرفتن تمامی خانواده‌های کاپیولای دوتایی به کار رفته.

Table 14. Sequential parameter estimates, along with the implied Kendall's τ values and the estimated upper-tail dependence (utd) and lower-tail dependence (ltd) coefficients for the C-vine copula, based on all bivariate copula families employed

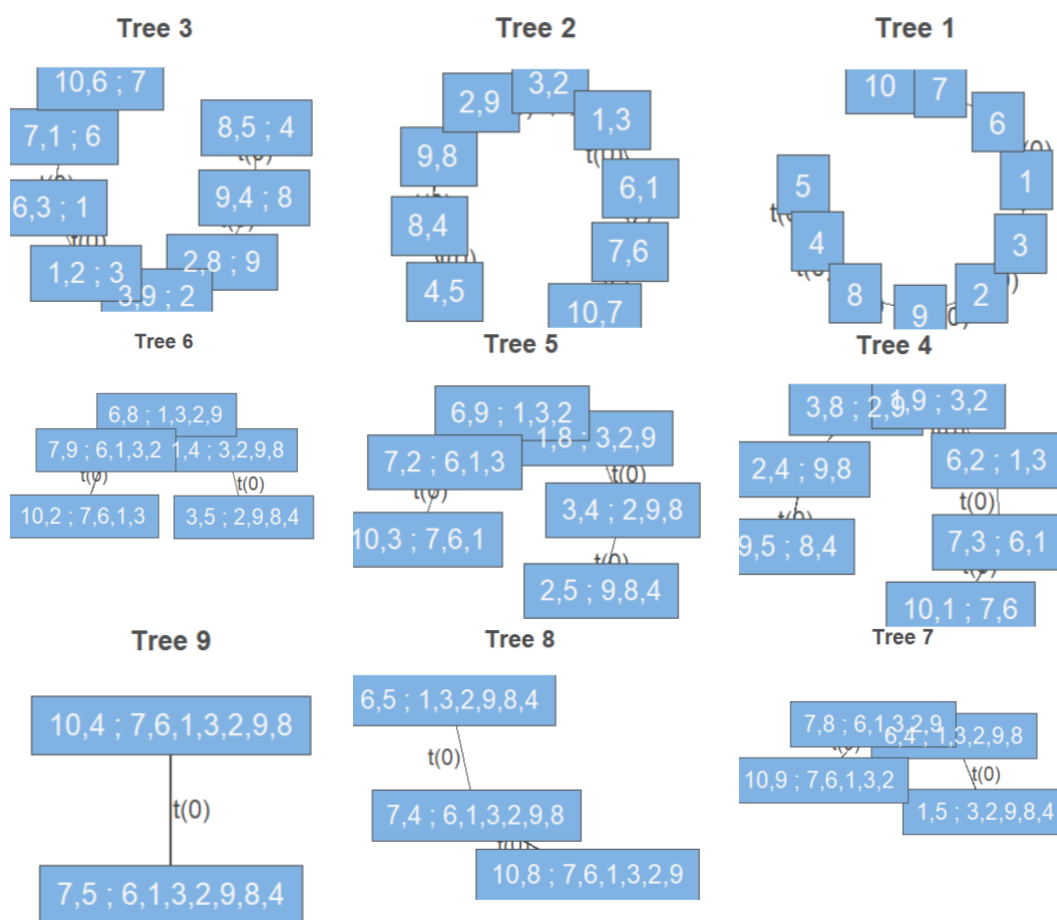
درخت C-واین	لبه	کاپیولا	پارامتر	پارامتر ۲	τ	utd	ltd
۱	۸ و ۱	T	۰/۰۹	۱۴/۳۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰
	۸ و ۷	SBB8	۱/۲۳	۰/۹۹	۰/۱۱	-	-
	۸ و ۵	SBB8	۱/۴۴	۰/۹۸	۰/۱۸	-	-
	۸ و ۶	SJ	۱/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵	-
	۸ و ۹	SBB8	۱/۲۶	۰/۹۸	۰/۱۱	-	-
	۸ و ۳	SBB8	۱/۲۵	۰/۹۸	۰/۱۱	-	-
	۸ و ۲	t	۰/۱۸	۳/۰۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۷
	۸ و ۴	SBB8	۲/۹۳	۰/۸۵	۰/۳۷	-	-
	۸ و ۱۰	SBB8	۱/۱۴	۱/۰۰	۰/۰۷	-	-
	۸ و ۴ و ۱	SBB8	۱/۱۱	۱/۰۰	۰/۰۶	-	-
۲	۸ و ۷ و ۴	BB8	۱/۲۳	۰/۹۸	۰/۱۰	-	-
	۸ و ۷ و ۴	BB8	۱/۹۶	۰/۷۹	۰/۱۹	-	-
	۸ و ۶ و ۴	SBB8	۱/۱۶	۱/۰۰	۰/۰۸	-	-
	۸ و ۶ و ۴	SBB8	۱/۱۶	۱/۰۰	۰/۰۸	-	-

-	-	۰/۱۳	۰/۹۹	۱/۲۷	SBB8	۴ و ۹: ۸	
-	-	۰/۱۳	۰/۹۹	۱/۲۹	SBB8	۴ و ۳: ۸	
-	-	۰/۲۱	۰/۹۹	۱/۵۲	SBB8	۴ و ۲: ۸	
-	-	۰/۰۶	۲۲/۵۸	۰/۰۹	t	۱۰ و ۴: ۸	
-	-	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۴۱	F	۲ و ۱: ۴ و ۸	۳
-	-	۰/۰۵	۰/۹۰	۱/۱۷	BB8	۲ و ۷: ۴ و ۸	
-	-	۰/۱۰	۰/۹۶	۱/۲۵	SBB8	۲ و ۵: ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۴۰	F	۲ و ۶: ۴ و ۸	
-	-	۰/۱۱	۰/۸۹	۱/۳۷	SBB8	۲ و ۹: ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۸	۰/۹۰	۱/۲۷	BB8	۲ و ۳: ۴ و ۸	
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۱۵/۲۷	۰/۰۴	t	۱۰ و ۲: ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۷	۰/۹۰	۱/۲۴	SBB8	۳ و ۱: ۲ و ۴ و ۸	۴
-	-	۰/۰۶	۰/۹۸	۱/۱۲	BB8	۳ و ۷: ۲ و ۴ و ۸	
-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۰۱	G	۳ و ۵: ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۵	۰/۹۸	۱/۱۱	BB8	۳ و ۶: ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۸	۰/۹۷	۱/۱۹	BB8	۳ و ۹: ۲ و ۴ و ۸	
۰/۰۰	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	C	۱۰ و ۳: ۲ و ۴ و ۸	
۰/۰۰	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	C	۱۰ و ۱: ۳ و ۲ و ۴ و ۸	۵
-	-	۰/۰۶	۰/۹۹	۱/۱۲	SBB8	۱۰ و ۷: ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۶	۰/۹۹	۱/۱۱	SBB8	۱۰ و ۵: ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۳	۰/۹۹	۱/۰۶	SBB8	۱۰ و ۶: ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۴	۰/۹۹	۱/۰۸	SBB8	۱۰ و ۹: ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۴	۰/۹۹	۱/۰۹	BB8	۶ و ۱: ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	۶
-	-	۰/۰۶	۰/۹۹	۱/۱۲	SBB8	۶ و ۷: ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۳	F	۶ و ۵: ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۱/۰۲	G	۹ و ۶: ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۵	۰/۹۷	۱/۱۲	SBB8	۵ و ۱: ۶ و ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	۷
-	-	۰/۰۵	۰/۹۹	۱/۰۹	SBB8	۵ و ۷: ۶ و ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۳	۰/۹۷	۱/۰۶	BB8	۹ و ۵: ۶ و ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	
-	-	۰/۰۳	۰/۹۲	۱/۰۹	BB8	۱ و ۵: ۶ و ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	۸
							۹
-	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۰۲	J	۶ و ۷: ۵ و ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	۹
							۹
۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	۲۲/۹۸	-۰/۰۱	t	۹ و ۵: ۶ و ۱۰ و ۳ و ۲ و ۴ و ۸	۹
							۷ و ۱

توجه: اختصارات گرهما: 1=seshahed, 2=vaomid, 3=desobha, 4=kegol, 5=femeli, 6=khazin, 7=beterans, 8=pardis, 9=sharak, 10=ceshomal.

منبع: یافته‌های پژوهش

درخت D-واین مربوط به ۱۰ نماینده صنایع در شکل ۱۰ ارائه شده است که جریان سلسله مراتبی وابستگی را نشان می‌دهد. مشخصات دقیق آن در جدول ۱۵ آمده است. D-واین برازش شده ترتیب نمایندگان صنایع را به صورت زیر تعیین می‌کند: ۵ (femeli) صنعت فلزات اساسی، ۴ (kegol) صنعت استخراج کانه‌های فلزی، ۸ (pardis) صنعت سرمایه‌گذاری‌ها، ۹ (sharak) صنعت محصولات شیمیایی، ۲ (vaomid) صنعت شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی، ۳ (desobha) صنعت مواد و محصولات دارویی، ۱ (seshahed) صنعت انبوه‌سازی املاک و مستغلات، ۶ (khazin) صنعت خودرو و ساخت قطعات، ۷ (beterans) صنعت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی، ۱۰ (ceshomal) صنعت سیمان، آهک و گچ. رایج‌ترین انواع کاپیولا شامل Survival BB8 و BB8 هستند. نتایج D-واین نشان می‌دهد که ۵ (femeli) بیشترین وابستگی را با ۴ (kegol) دارد، ۴ (kegol) پس از ۵ (femeli) بیشترین وابستگی را با ۸ (pardis) دارد، ۸ (pardis) پس از ۴ (kegol) و ۵ (femeli) بیشترین وابستگی را با ۹ (sharak) دارد و به همین ترتیب ادامه می‌یابد.



شکل ۱۰. درخت‌های D-واین (از T_1 تا T_9) برای تمام خانواده‌های کاپیولای جفتی

Figure 10. D-vine trees (T_1 to T_9) for all bivariate copula families

جدول ۱۵. برآوردهای متوالی پارامترها همراه با مقادیر ضمنی τ کندال و برآورد ضرایب وابستگی دنباله بالایی (utd) و دنباله پایینی (ltd) برای کاپیولای D-واین با در نظر گرفتن تمامی خانواده‌های کاپیولای دوتایی به کار رفته.

Table 15. Sequential parameter estimates, along with the implied Kendall's τ values and the estimated upper tail dependence (utd) and lower tail dependence (ltd) coefficients for the D-vine copula, incorporating all employed bivariate copula families

درخت -D واین	لبه	کاپیولا	پارامتر	پارامتر ۲	τ	utd	ltd
۱	۵ و ۴	SBB8	۱/۹۵	۰/۹۸	۰/۳۲	-	-
	۴ و ۸	SBB8	۲/۹۳	۰/۸۵	۰/۳۷	-	-
	۸ و ۹	SBB8	۱/۲۶	۰/۹۸	۰/۱۱	-	-
	۹ و ۲	SBB8	۱/۳۹	۰/۹۹	۰/۱۷	-	-
	۲ و ۳	SBB8	۱/۳۲	۰/۹۹	۰/۱۴	-	-
	۳ و ۱	SBB8	۱/۲۰	۰/۹۸	۰/۰۹	-	-
	۱ و ۶	t	۰/۰۷	۸/۲۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
	۶ و ۷	SBB8	۱/۲۰	۱/۰۰	۰/۱۰	-	-
	۷ و ۱۰	SBB8	۱/۱۸	۱/۰۰	۰/۰۹	-	-
۲	۸ و ۵: ۴	BB8	۱/۶۲	۰/۷۸	۰/۱۲	-	-
	۹ و ۴: ۸	SBB8	۱/۲۷	۰/۹۹	۰/۱۳	-	-
	۲ و ۸: ۹	t	۰/۲۲	۴/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۳
	۳ و ۹: ۲	BB8	۱/۲۰	۰/۹۷	۰/۰۹	-	-
	۱ و ۲: ۳	t	۰/۰۸	۱۹/۳۲	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰
	۶ و ۳: ۱	BB8	۱/۰۹	۰/۹۹	۰/۰۵	-	-
	۷ و ۱: ۶	SJ	۱/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵	-
	۱۰ و ۶: ۷	SBB8	۱/۰۸	۰/۹۹	۰/۰۴	-	-
۳	۹ و ۵: ۸ و ۴	BB8	۱/۰۸	۰/۹۸	۰/۰۴	-	-
	۲ و ۴: ۹ و ۸	SBB8	۳/۹۰	۰/۵۳	۰/۲۵	-	-
	۳ و ۸: ۲ و ۹	BB8	۱/۲۴	۰/۹۲	۰/۰۸	-	-
	۱ و ۹: ۳ و ۲	BB8	۱/۰۶	۰/۹۸	۰/۰۳	-	-
	۶ و ۲: ۱ و ۳	SBB8	۱/۱۴	۰/۹۹	۰/۰۷	-	-
	۷ و ۳: ۶ و ۱	BB8	۱/۱۵	۰/۹۸	۰/۰۷	-	-
	۱۰ و ۱: ۷ و ۶	C	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	-
۴	۲ و ۵: ۹ و ۸ و ۴	BB8	۱/۱۶	۰/۹۵	۰/۰۶	-	-
	۳ و ۴: ۲ و ۹ و ۸	BB8	۱/۳۶	۰/۸۴	۰/۰۹	-	-
	۱ و ۸: ۳ و ۲ و ۹	BB8	۱/۳۷	۰/۷۳	۰/۰۶	-	-
	۶ و ۹: ۱ و ۳ و ۲	C	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	-
	۷ و ۲: ۶ و ۱ و ۳	SBB8	۱/۱۷	۰/۹۹	۰/۰۸	-	-
	۱۰ و ۳: ۷ و ۶ و ۱	SC	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	-
۵	۳ و ۵: ۲ و ۹ و ۸ و ۴	SC	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-
	۱ و ۴: ۳ و ۲ و ۹ و ۸	N	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲	-	-
	۶ و ۸: ۱ و ۳ و ۲ و ۹	C	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	-
	۷ و ۹: ۶ و ۱ و ۳ و ۲	t	۰/۰۴	۱۹/۷۶	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰
	۳ و ۱ و ۶ و ۷: ۲ و ۱۰	t	۰/۰۵	۱۲/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰
۶	۵: ۳ و ۲ و ۹ و ۸ و ۴ و ۱	SBB8	۱/۱۰	۰/۹۵	۰/۰۴	-	-

-	-	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۴۳	F	۴؛۱ و ۳ و ۲ و ۹ و ۸ و ۶ و	
-	-	۰/۰۶	۰/۸۴	۱/۲۶	BB8	۸؛۶ و ۱ و ۳ و ۲ و ۹ و ۷ و	
-	-	۰/۰۴	۰/۹۹	۱/۰۹	SBB8	۹؛۷ و ۶ و ۱ و ۳ و ۲ و ۱۰ و	
-	-	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۳	F	۷ و ۳ و ۲ و ۹ و ۸ و ۴ و ۵؛۱ و	
-	-	۰/۰۷	۰/۹۴	۱/۱۹	BB8	۸ و ۳ و ۲ و ۹ و ۱ و ۷ و ۴؛۶ و	
-	-	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۲۶	F	۹ و ۳ و ۲ و ۱ و ۶ و ۱۰ و ۸؛۷ و	
-	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۱/۰۱	G	۸ و ۳ و ۲ و ۹ و ۸ و ۴ و ۱ و ۵؛۶ و ۷ و	۸
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۲۹/۷۹	۰/۰۳	t	۸ و ۳ و ۲ و ۹ و ۱ و ۱۰ و ۴؛۷ و ۶ و	
-	-	۰/۰۳	۰/۹۷	۱/۰۸	SBB8	۹ و ۳ و ۲ و ۹ و ۸ و ۴ و ۱ و ۵؛۷ و ۶ و	۹

توجه: اختصارات گره‌ها: 1=seshahed, 2=vaomid, 3=desobha, 4=kegol, 5=femeli, 6=khazin, 7=beterans, 8=pardis, 9=sharak, 10=ceshomal.

منبع: یافته‌های پژوهش

مقایسه مدل‌ها: در این بخش، مدل‌های R-واین، C-واین و D-واین را برای هر دو روش متوالی و حداکثر راستنمایی بر اساس مقادیر AIC و BIC مقایسه می‌کنیم. در جدول ۱۶، مقادیر برآورد شده تابع لگاریتم راستنمایی و مقادیر AIC و BIC گزارش شده‌اند. نتایج تایید می‌کنند که در بیشتر موارد مدل‌های R-واین دارای کمترین مقادیر AIC و BIC و بیشترین مقدار لگاریتم راستنمایی هستند؛ از این رو، این ساختار در مقایسه با C-واین و D-واین از برازش بهتری برخوردار بوده و برای مدل‌سازی وابستگی میان صنایع ترجیح داده می‌شود.

جدول ۱۶. لگاریتم راستنمایی تخمینی، AIC و BIC برای تمامی مدل‌های برازش داده شده

Table 16. Estimated log-likelihood, AIC, and BIC for all fitted models

BIC	AIC	لگاریتم راستنمایی	
-۱۳۳۳/۵۴	-۱۸۱۹/۱۴	۹۸۹/۵۷	R-vine-seq
-۱۶۲۳/۷۸۸	-۲۰۷۹/۰۳۶	۱۱۱۴/۵۱۸	R-vin-mle
-۱۳۳۰/۴۴	-۱۶۱۱/۷۹	۸۵۳/۹	R-vine-ind-seq
-۱۱۰۹/۱۳	-۱۶۰۰/۸	۸۸۱/۴	C-vine-seq
-۱۳۵۶/۰۹	-۱۸۱۷/۴۰۷	۹۸۴/۷۰۷	C-vin-mle
-۱۰۲۹/۰۱	-۱۲۵۹/۶۷	۶۶۷/۸۴	C-vine-ind-seq
-۱۳۰۰/۸۹	-۱۷۸۰/۴۲	۹۶۹/۲۱	D-vine-seq
-۶۴۲/۱۷۷۵	-۱۱۸۸/۴۷۵	۶۸۴/۲۳۷۳	D-vin-mle
-۹۵۲/۹۹	-۱۱۸۳/۶۵	۶۲۹/۸۲	D-vine-ind-seq

منبع: یافته‌های پژوهش

برطبق نتایج، فرضیه اول "ساختار وابستگی میان صنایع بورس تهران از الگوی متقارن (نرمال) پیروی نمی‌کند و دارای وابستگی دُمی است." پذیرفته می‌شود ساختار وابستگی میان ۱۰ نماینده صنایع توسط انواع متنوع خانواده‌های کاپیولا از جمله survival BB8 و BB8، مدل‌سازی شده است. فرضیه دوم "پیوندهای متقابل میان صنایع بورس تهران ماهیتی چندلایه و شبکه‌ای دارد و نمی‌توان آن را به یک ساختار صرفاً مرکزگرا (C-واین) یا زنجیره‌ای (D-واین) فروکاست." نیز پذیرفته می‌شود زیرا یافته‌های تحقیق مبنی بر برتری مدل R-واین، فرضیه پیوندهای متقابل شبکه‌ای و چند منبعی در بورس تهران را تأیید می‌کند که این موضوع با ساختار اقتصادی ایران همخوانی دارد. درواقع، در بازار نوظهور بورس تهران، وابستگی‌ها اغلب ناشی از چندین منبع ریسک (ارز، کالا، سیاست پولی) هستند؛ ساختار اقتصادی متنوع اما نامتوازن است؛ و شوک‌ها می‌توانند از مسیرهای مختلف و به‌صورت هم‌زمان منتقل شوند. مدل‌های R-واین در مقایسه با ساختارهای C-واین و D-واین، قدرت تبیین و برازش بالاتری برای مدل‌سازی وابستگی میان‌صنعتی دارند. در واقع، در بورس تهران که در آن وابستگی‌ها ناهمسان، انتقال شوک‌ها با شدت‌های متفاوت صورت می‌گیرد و از ساختار مالکیتی خاص پیروی می‌کند، مدل R-واین، قدرت تبیین و برازش بالاتری برای مدل‌سازی وابستگی میان‌صنعتی دارند.

شایان ذکر است که یافتن و انتخاب یک مدل مناسب برای ساختار وابستگی میان متغیرهای مالی، یکی از ارکان اساسی مدل‌سازی ریسک به شمار می‌رود. از این رو، یکی از مزایای مهم استفاده از رویکرد کاپیولای واین، توانایی آن در شناسایی و به کارگیری ساختارهای مختلف وابستگی و ارائه گزینه‌های متنوع برای مدل‌سازی وابستگی است. این ویژگی‌های مفید و جذاب، مورد توجه تحلیل‌گران ریسک مالی قرار گرفته‌اند.

از منظر اقتصادی، برتری R-vine نشان می‌دهد که انتقال شوک در بورس تهران از یک مسیر واحد یا از طریق یک صنعت غالب انجام نمی‌شود، بلکه صنایع مختلف بسته به جایگاه خود در شبکه وابستگی، نقش‌های متفاوتی در جذب یا انتشار ریسک ایفا می‌کنند. این موضوع با ساختار اقتصاد ایران، که تحت تأثیر هم‌زمان متغیرهایی همچون نرخ ارز، قیمت‌های جهانی کالاها، سیاست‌های داخلی و محدودیت‌های نهادی قرار دارد، همخوانی دارد. بنابراین، رفتار مشترک صنایع در بورس تهران را باید حاصل برهم‌کنش چندین منبع ریسک دانست، نه صرفاً واکنش به یک عامل مشترک.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

این مقاله ساختار وابستگی نمایندگان صنایع فعال در بورس تهران را برای دوره ۱۳۸۹/۴/۱۰ تا ۱۴۰۴/۴/۲۶ با استفاده از خانواده‌ای از مدل‌های کاپیولای واین (C، R و D) بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که وابستگی میان صنایع صرفاً خطی و یکنواخت نیست، بلکه دارای ویژگی‌های غیرخطی، ناهمگن و شبکه‌ای است؛ موضوعی که با ویژگی‌های شناخته شده بازارهای نوظهور، از جمله حساسیت بیشتر به شوک‌های بیرونی، عدم تقارن اطلاعاتی و ناطمینانی‌های کلان، سازگار است. همچنین مقایسه ساختارهای مختلف واین کاپیولا بر اساس معیارهای لگاریتم راستنمایی، AIC و BIC نشان داد که کاپیولای R-واین برازش بهتری نسبت به ساختارهای C-واین و D-واین دارد. این یافته بیانگر آن است که ساختار وابستگی میان صنایع بورس تهران را نمی‌توان در قالب یک الگوی صرفاً مرکزگرا یا زنجیره‌ای توضیح داد، بلکه این وابستگی ماهیتی شبکه‌ای، چند لایه و انعطاف‌پذیر

دارد. ساختار وابستگی میان ۱۰ نماینده صنایع توسط انواع متنوع خانواده‌های کاپیولا از جمله survival BB8 و BB8، مدل‌سازی شده است.

یافته‌های حاصل از درخت نخست (T_1) نیز این نتیجه را به صورت روشن‌تری تأیید می‌کند. در این درخت، شرکت seshahed از صنعت انبوه‌سازی، املاک و مستغلات، شرکت pardis از صنعت سرمایه‌گذاری‌ها و شرکت khazin از صنعت خودرو و ساخت قطعات به عنوان گره‌های ریشه در شبکه وابستگی شناسایی شدند. در میان این گره‌ها، شرکت seshahed نقش مرکزی‌تری در شبکه ایفا می‌کند؛ به گونه‌ای که با شرکت‌های متعلق به صنعت مواد و محصولات دارویی، فلزات اساسی، خودرو و ساخت قطعات و سرمایه‌گذاری‌ها در ارتباط و وابستگی قرار گرفته است. این الگو نشان می‌دهد که بخشی از ساختار وابستگی در بورس تهران از طریق گره‌هایی شکل می‌گیرد که لزوماً فقط متعلق به صنایع سنتی بزرگ یا کالامحور نیستند، بلکه برخی شرکت‌های فعال در بخش املاک و مستغلات نیز می‌توانند در شبکه انتقال ریسک و هم‌حرکتی بازده‌ها نقش محوری داشته باشند.

از منظر اقتصادی، این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که در بازار سرمایه ایران، انتقال شوک و شکل‌گیری وابستگی تنها از مسیر شباهت‌های بخشی یا تولیدی انجام نمی‌شود، بلکه متأثر از پیوندهای وسیع‌تر مالی، انتظارات سرمایه‌گذاران، شرایط کلان اقتصادی و عوامل مشترکی نظیر نقدینگی، نرخ ارز، تورم و چشم‌انداز دارایی‌های واقعی است. نقش مرکزی شرکتی از صنعت املاک و مستغلات در اتصال به صنایعی همچون فلزات اساسی، خودرو، دارویی و سرمایه‌گذاری، می‌تواند بازتابی از آن باشد که در یک بازار نوظهور مانند بورس تهران، مرزهای سنتی بین صنایع در زمان تحلیل وابستگی بازده‌ها تا حدی کمرنگ می‌شود و شبکه وابستگی بیش از آنکه صرفاً بخشی باشد، میان بخشی و مبتنی بر ریسک‌های مشترک اقتصاد کلان است.

یافته‌های این پژوهش دارای دلالت‌های کاربردی مهمی نیز هست. برای سرمایه‌گذاران و مدیران سبد دارایی، نتایج بیانگر آن است که تنوع بخشی صرفاً بر مبنای تفاوت ظاهری صنایع ممکن است برای کاهش ریسک کافی نباشد، زیرا برخی صنایع می‌توانند به عنوان گره‌های واسطه، شوک‌ها را به سایر بخش‌ها منتقل کنند. از این رو، در طراحی سبدهای سرمایه‌گذاری، لازم است ساختار وابستگی شرطی و شبکه‌ای دارایی‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. برای سیاست‌گذاران و نهاد ناظر بازار سرمایه نیز شناسایی گره‌های ریشه و شرکت‌های مرکزی در شبکه وابستگی می‌تواند در پایش سرایت ریسک، تشخیص نقاط آسیب‌پذیر بازار و تدوین سیاست‌های احتیاطی کلان مفید باشد. تغییرات در ساختار وابستگی در این گروه‌ها، اطلاعات ارزشمندی برای سرمایه‌گذاران نهادی و فردی فراهم می‌کند، زیرا آن‌ها در فرآیند بازنگری راهبردهای سرمایه‌گذاری خود، بخش دُم توزیع بازده بخش‌های سهام را لحاظ می‌کنند؛ عاملی که در عملکرد پرتفویهای بخشی سهام نقش موثری دارد. علاوه بر این، سیاست‌گذاران قادرند ثبات مالی ناشی از وابستگی میان صنایع را ارزیابی کنند؛ چرا که میزان ارتباط هر بخش با کل نظام اقتصادی و سایر صنایع، می‌تواند در تدوین سیاست‌ها، به ویژه در دوره‌های وقوع رویدادهای حدی، تأثیرگذار باشد. مطالعات آینده می‌توانند وابستگی دنباله بازده صنایع فعال در بازار سهام تهران را مدنظر قرار دهند. همچنین، مقایسه ساختار وابستگی قیمت‌های درون‌روزی می‌تواند نتایج این مقاله را تکمیل نماید. شایان ذکر است که مطالعات آتی باید به انتخاب خانواده‌های کاپیولای واین با بهترین برازش پرداخته و ارزش در معرض خطر (VaR) و زیان مورد انتظار پرتفوی را، همان گونه که در پژوهش‌های پیشین نشان داده شده است، برآورد کنند.

یکی از محدودیت‌های این پژوهش، مانند بسیاری از مطالعات تجربی مالی در بازارهای نوظهور، وجود احتمالی سوگیری بازماندگی^۱ است؛ چرا که تنها نمادهای دارای داده‌های پیوسته و فعال در کل دوره در تحلیل وارد شده‌اند. اگرچه هدف پژوهش، مدل‌سازی ساختار وابستگی شرکت‌های فعال و اثرگذار در بازار بوده است، اما پیشنهاد

^۱. Survivorship Bias

می‌شود پژوهش‌های آتی با بهره‌گیری از تکنیک‌های مدیریت داده‌های ناقص^۱ با در نظر گرفتن کل نمادها (حتی نمادهای حذف‌شده)، ساختار وابستگی را در مقیاس وسیع‌تر بررسی کنند. دوم، تمرکز مطالعه بر ساختار وابستگی ایستا/نمونه‌ای بوده و پویایی زمانی وابستگی‌ها به صورت مستقل مدل‌سازی نشده است. از این رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از واین کاپیولاهای پویا، تفکیک دوره‌های بحران و ثبات، یا ورود متغیرهای کلان اقتصادی همچون نرخ ارز، تورم و قیمت جهانی کالاها در تحلیل ساختار وابستگی استفاده شود. همچنین بررسی جداگانه نقش صنایع کالامحور و صنایع ریالی در شبکه وابستگی می‌تواند به درک دقیق‌تر سازوکار انتقال شوک در بازار سرمایه ایران کمک کند.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

منابع

- Aas, K. (2016). Pair-copula constructions for financial applications: A review. *Econometrics*, 4(4), 43.
- Aas, K., Czado, C., Frigessi, A., & Bakken, H. (2009). Pair-copula constructions of multiple dependence. *Insurance: Mathematics and economics*, 44(2), 182-198.
- Abosedra, S., Arayssi, M., Sita, B. B., & Mutshinda, C. (2020). Exploring GDP growth volatility spillovers across countries. *Economic modelling*, 89, 577-589.
- Ang, A., & Chen, J. (2002). Asymmetric correlations of equity portfolios. *Journal of financial Economics*, 63(3), 443-494.
- Apergis, N., Gozgor, G., Lau, C. K. M., & Wang, S. (2020). Dependence structure in the Australian electricity markets: New evidence from regular vine copulae. *Energy Economics*, 90, 104834.
- Arreola Hernandez, J., Hammoudeh, S., Nguyen, D. K., Al Janabi, M. A., & Reboredo, J. C. (2017). Global financial crisis and dependence risk analysis of sector portfolios: a vine copula approach. *Applied Economics*, 49(25), 2409-2427.
- Aslam, F., Hunjra, A. I., Bouri, E., Mughal, K. S., & Khan, M. (2023). Dependence structure across equity sectors: Evidence from vine copulas. *Borsa Istanbul Review*, 23(1), 184-202.
- Aslam, F., Mughal, K. S., Aziz, S., Ahmad, M. F., & Trabelsi, D. (2022). COVID-19 pandemic and the dependence structure of global stock markets. *Applied Economics*, 54(18), 2013-2031.
- Badri, A., Osoolian, M. & Karimi, M. (2024). Herd behavior asymmetry during the Tehran Stock Exchange bubble. *Financial Management Perspective*, 14(47), 9-33. doi: 10.48308/jfmp.2024.105023 (In Persian)
- Bedford, T., & Cooke, R. M. (2002). Vines--a new graphical model for dependent random variables. *The Annals of statistics*, 30(4), 1031-1068.
- Boako, G., Tiwari, A. K., & Roubaud, D. (2019). Vine copula-based dependence and portfolio value-at-risk analysis of the cryptocurrency market. *International Economics*, 158, 77-90.
- Borzabadi Farahani, M., Gholizadeh, M. H. & Chirani, E. (2020). Time variable modeling of the optimal hedge ratio using future contracts: a combined approach of pair-capula

¹. Imputation

- functions and wavelet decomposition. *Financial Management Perspective*, **10**(30), 35-56. doi: 10.52547/jfmp.10.30.35 (In Persian)
- Bouri, E., Cepni, O., Gabauer, D., & Gupta, R. (2021). Return connectedness across asset classes around the COVID-19 outbreak. *International review of financial analysis*, **73**, 101646.
- Bouri, E., Jalkh, N., Dutta, A., & Uddin, G. S. (2019). Gold and crude oil as safe-haven assets for clean energy stock indices: blended copulas approach. *Energy*, **178**, 544-553.
- Brechmann, E. C., & Czado, C. (2013). Risk management with high-dimensional vine copulas: An analysis of the Euro Stoxx 50. *Statistics & Risk Modeling*, **30**(4), 307-342.
- Cekin, S. E., Pradhan, A. K., Tiwari, A. K., & Gupta, R. (2020). Measuring co-dependencies of economic policy uncertainty in Latin American countries using vine copulas. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, **76**, 207-217.
- Čeryová, B., & Árendáš, P. (2024). Vine copula approach to the intra-sectoral dependence analysis in the technology industry. *Finance Research Letters*, **60**, 104889.
- Collet, J., & Ielpo, F. (2018). Sector spillovers in credit markets. *Journal of Banking & Finance*, **94**, 267-278.
- da Silva Filho, O. C., Ziegelmann, F. A., & Dueker, M. J. (2012). Modeling dependence dynamics through copulas with regime switching. *Insurance: Mathematics and Economics*, **50**(3), 346-356.
- Davallou, M. & Yazdi, A. (2022). Pairs trading; a comparison between student-t and vine copulas. *Financial Research Journal*, **24**(1), 104-133. doi: 10.22059/frj.2021.325404.1007200 (In Persian)
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of econometrics*, **182**(1), 119-134.
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of business & economic statistics*, **20**(3), 339-350.
- Engle, R., & Kelly, B. (2012). Dynamic equicorrelation. *Journal of Business & Economic Statistics*, **30**(2), 212-228.
- Guo, M., & Wang, X. (2016). The dependence structure in volatility between Shanghai and Shenzhen stock market in China: a copula-MEM approach. *China Finance Review International*, **6**(3), 264-283.
- Hao, X., Zhou, Q., Liu, J., & Chen, Z. (2025). Systemic risk among China's financial sectors: Novel evidence from trivariate CoVaR based on vine copula. *Research in International Business and Finance*, 102968.
- Hao, Z., & Singh, V. P. (2015). Integrating entropy and copula theories for hydrologic modeling and analysis. *Entropy*, **17**(4), 2253-2280.
- Hendriks, J. J., & Bonga-Bonga, L. (2020). Sectoral dependence and contagion in the BRICS grouping: an application of the R-این copulas.
- Hosseini, S., Raei, R. and Mohammadi, S. (2021). Intraday liquidity and return dependency structure modeling of a portfolio in Tehran Stock Exchange with ACP-GARCH-High

- dimension vine copula. *Financial Management Strategy*, 9(4), 1-20. doi: 10.22051/jfm.2022.35450.2521 (In Persian)
- Jabalamel, F., Ghorbani, P., & Ahmadian, M. (2020). Risk management in oil market: a comparison between multivariate GARCH models and copula-based models. *Iranian Economic Review*, 24(2), 489-513.
- Jondeau, E., & Rockinger, M. (2006). The copula-garch model of conditional dependencies: An international stock market application. *Journal of international money and finance*, 25(5), 827-853.
- Kim, D., Kim, J. M., Liao, S. M., & Jung, Y. S. (2013). Mixture of D-این copulas for modeling dependence. *Computational Statistics & Data Analysis*, 64, 1-19.
- Kumar, S., Tiwari, A. K., Raheem, I. D., & Ji, Q. (2020). Dependence risk analysis in energy, agricultural and precious metals commodities: a pair vine copula approach. *Applied Economics*, 52(28), 3055-3072.
- Loaiza-Maya, R. A., Gómez-González, J. E., & Melo-Velandia, L. F. (2015). Exchange rate contagion in Latin America. *Research in International Business and Finance*, 34, 355-367.
- Liu, G., Cai, X. J., & Hamori, S. (2018). Modeling the dependence structure of share prices among three Chinese city banks. *Journal of Risk and Financial Management*, 11(4), 57.
- Lu, M. J., Chen, C. Y. H., & Härdle, W. K. (2017). Copula-based factor model for credit risk analysis. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 49(4), 949-971.
- Marti, G., Andler, S., Nielsen, F., & Donnat, P. (2017, February). Exploring and measuring non-linear correlations: Copulas, Lightspeed Transportation and Clustering. In *NIPS 2016 Time Series Workshop* (pp. 59-69). PMLR.
- Nagler, T., Bumann, C., & Czado, C. (2019). Model selection in sparse high-dimensional vine copula models with an application to portfolio risk. *Journal of Multivariate Analysis*, 172, 180-192.
- Naz, S., Ahsanuddin, M., Inayatullah, S., Siddiqi, T. A., & Imtiaz, M. (2019). Copula-based bivariate flood risk assessment on Tarbela Dam, Pakistan. *Hydrology*, 6(3), 79.
- Nikoloulopoulos, A. K., Joe, H., & Li, H. (2012). Vine copulas with asymmetric tail dependence and applications to financial return data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 56(11), 3659-3673.
- Nguyen, L. H., Nguyen, L. X., & Tan, L. (2021). Tail risk connectedness between US industries. *International Journal of Finance & Economics*, 26(3), 3624-3650.
- Ning, C. (2010). Dependence structure between the equity market and the foreign exchange market—a copula approach. *Journal of International Money and Finance*, 29(5), 743-759.
- Patton, A. J. (2006). Modelling asymmetric exchange rate dependence. *International economic review*, 47(2), 527-556.
- Sadrzadeh Moghadam, S. and Hozhabrkiani, K. (2025). Dynamic dependence modeling of Tehran Stock Exchange industries using DCC-GARCH and copulas across volatility

- regimes. *Journal of Development and Capital*, (in press), -. doi: 10.22103/jdc.2025.25321.1559 (In Persian)
- Shahzad, S. J. H., Bouri, E., Kristoufek, L., & Saeed, T. (2021). Impact of the COVID-19 outbreak on the US equity sectors: Evidence from quantile return spillovers. *Financial Innovation*, 7(1), 14.
- Shahzad, S. J. H., Bouri, E., Rehman, M. U., Naeem, M. A., & Saeed, T. (2022). Oil price risk exposure of BRIC stock markets and hedging effectiveness. *Annals of Operations Research*, 313(1), 145-170.
- Shaw, R. A., Smith, A. D., & Spivak, G. S. (2011a). Measurement and modelling of dependencies in economic capital. *British Actuarial Journal*, 16(3), 601-699.
- Shaw, R. A., Smith, A. D., & Spivak, G. S. (2011b). Measurement and modelling of dependencies in economic capital. *British Actuarial Journal*, 16(3), 601-699.
- Shi, W., Li, K. X., Yang, Z., & Wang, G. (2017). Time-varying copula models in the shipping derivatives market. *Empirical Economics*, 53(3), 1039-1058.
- Sina, A. & Fallah, M. (2020). Comparison of value risk models and copula-CVaR in portfolio optimization in Tehran Stock Exchange. *Financial Management Perspective*, 10(29), 125-146. doi: 10.52547/jfmp.10.29.125 (In Persian)
- Sklar, M. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. In *Annales de l'ISUP* (Vol. 8, No. 3, pp. 229-231).
- Sriboonchitta, S., & Chaiboonsri, C. (2013). The dynamics Co-movement toward among capital markets in aSEAN exchanges: CD Vine Copula approach. *Procedia Economics and Finance*, 5, 696-702.
- Yao, Y., Chen, X., & Chen, Z. (2025). Portfolio tail risk forecasting for international financial assets: A GARCH-MIDAS-R-vine copula model. *The North American Journal of Economics and Finance*, 77, 102385.
- Wu, F., Zhang, D., & Zhang, Z. (2019). Connectedness and risk spillovers in China's stock market: A sectoral analysis. *Economic Systems*, 43(3-4), 100718.
- Zhu, B., Zhou, X., Liu, X., Wang, H., He, K., & Wang, P. (2020). Exploring the risk spillover effects among China's pilot carbon markets: A regular vine copula-CoES approach. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118455.
- Zhu, H. M., Li, R., & Li, S. (2014). Modelling dynamic dependence between crude oil prices and Asia-Pacific stock market returns. *International Review of Economics & Finance*, 29, 208-223.