



Semnan University

Journal of Econometric Modelling

Journal homepage: <https://jem.semnan.ac.ir/?lang=en>



Research Article

Analysis of Lead–Lag Structure in the Iranian Stock Market: Path Signature and Lévy Model

Saeed Sadrzadeh Moghadam^{ID} (Corresponding Author)

Ph.D. Student, Department of Economic, Faculty of Management and Economics,
Islamic Azad University, Science and Research Branch

saeed.sadrzadeh@srbiau.ac.ir

Kambiz Hojabr Kiani^{ID}

Prof. Department of Economic, Faculty of Economics, Shahid Beheshti University

kianikh@yahoo.com

PAPER INFO

Paper history:

Received: 28. 07. 2025

Revised: 04. 10. 2025

Accepted: 13. 10. 2025

JEL Classification:

C14, C32, C38, G11,
G14.

Keywords:

Lead–Lag Structure, Path
Signature,
Lévy Area Model,
Hermitian Clustering,
Granger Causality,
Iranian Stock Market.

ABSTRACT

This study proposes a novel framework for identifying and exploiting lead–lag relationships among stocks in the Iranian capital market. Leveraging the theory of path signature and Lévy area computation, dynamic lead–lag matrices were constructed over rolling time windows. Subsequently, Hermitian clustering was employed to uncover the evolving leader–follower structure within the market. Based on this structure, three portfolio strategies were developed: a global leader–follower portfolio (GP), a cluster-based portfolio (CP), and an aggregated cluster portfolio (GCP). The strategies were tested on daily price data of selected stocks from major industries over a multi-year horizon. Empirical results reveal that the GCP strategy achieved an annual return of 6% with a Sharpe ratio of 0.33, outperforming traditional methods such as Granger causality and CP. Notably, the lagged cross-correlation (CCF) approach, despite its simplicity, yielded a strong annual return of 11.5 % and a Sharpe ratio of 0.61, surpassing all classical models. Furthermore, an industry-weighted portfolio based on aggregated inter-industry lead–lag flows outperformed all strategies, with an impressive annual return of 31.3% and a Sharpe ratio of 1.51. These findings indicate that temporal and cross-symbol dependencies hold valuable predictive information for portfolio design and market timing. Moreover, the integration of intra-industry and inter-industry analyses provides additional insight into the structural flow of information within the market. The proposed framework offers a robust foundation for dynamic portfolio optimization and highlights the value of modern mathematical tools in financial modeling.

© 2025 Published by Semnan University Press. All rights reserved.

تحلیل ساختار تقدم-تأخر در بازار سرمایه ایران: امضای مسیر و مدل لوی

سعید صدرزاده مقدم (نویسنده مسئول)

دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

saeed.sadrzadeh@srbiau.ac.ir

کامبیز هژبر کیانی

استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه شهید بهشتی

kianikh@yahoo.com

نوع مقاله: علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱

چکیده:

در این پژوهش، چارچوبی نوین برای شناسایی و بهره‌برداری از روابط تقدم-تأخر میان نمادهای فعال در بازار سرمایه ایران ارائه شده است. با تکیه بر نظریه‌ی امضای مسیر و محاسبه‌ی مساحت لوی، ماتریس تقدم-تأخر بین نمادها در بازه‌های زمانی متحرک استخراج شد. سپس با استفاده از خوشه‌بندی هرمیتی، ساختار دینامیکی تقدم-تأخر درون بازار شناسایی گردید. بر پایه‌ی این ساختار، سه نوع استراتژی پرتفوی تقدم-تأخر سراسری (GP)، پرتفوی خوشه‌ای (CP) و پرتفوی خوشه‌ای تجمیعی (GCP) سرمایه‌گذاری طراحی شد. برای ارزیابی عملکرد این روش‌ها، از داده‌های قیمت روزانه نمادهای منتخب از صنایع اصلی بازار سرمایه طی یک دوره‌ی چندساله استفاده شد. نتایج تجربی نشان داد که استراتژی GCP توانسته با ثبت بازده سالانه ۶٪ و نسبت شارپ ۰/۳۳، از روش‌های سنتی مانند گرنجر و CP عملکرد بهتری داشته باشد. همچنین روش ساده‌ی CCF، علی‌رغم ساختار آماری اولیه، بازدهی قابل توجه ۱۱/۵٪ و نسبت شارپ ۰/۶۱ را ثبت کرده است. در نهایت، طراحی یک پرتفوی مبتنی بر وزن‌دهی صنایع بر اساس روابط تقدم-تأخر میانگین‌گیری‌شده، بازدهی ۳۱/۳٪ و نسبت شارپ ۱/۵۱ را به همراه داشت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ساختارهای زمانی و روابط بین‌نمادی می‌توانند منبع مهمی برای استخراج اطلاعات و تصمیم‌گیری هوشمند در حوزه‌ی مدیریت سرمایه‌گذاری باشند. همچنین تحلیل درون‌صنعتی و ساختار بین‌صنعتی بازار، مکملی ارزشمند برای تحلیل تقدم-تأخر به شمار می‌آید.

طبقه‌بندی JEL: G14, G11, C38, C32, C14

کلیدواژه‌ها: روابط تقدم-تأخر، امضای مسیر، مدل لوی، خوشه‌بندی هرمیتی، علیت گرنجر

۱. مقدمه

یکی از پرسش‌های بنیادین در اقتصاد مالی و نظریه بازار سرمایه، شناسایی رابطه‌های زمانی میان دارایی‌ها، صنایع، یا بازارهاست. به بیان دیگر، درک این مسئله که آیا تغییرات قیمتی یک دارایی یا صنعت می‌تواند مبنایی برای پیش‌بینی رفتار سایر اجزای بازار باشد، از منظر نظری و کاربردی اهمیت بالایی دارد. این رابطه‌ها که در ادبیات با عنوان رابطه‌های تقدم-تأخر^۱ شناخته می‌شوند، به وضعیتی اشاره دارند که در آن، نوسانات قیمتی یک دارایی (یا مجموعه‌ای از دارایی‌ها) به‌صورت معناداری پیش از نوسانات دارایی‌های دیگر رخ می‌دهد و می‌توان آن را به‌مثابه عاملی پیش‌بینی‌کننده در نظر گرفت. شناسایی ساختارهای تقدم-تأخر نه تنها می‌تواند برای بهینه‌سازی پرتفوی و طراحی استراتژی‌های معاملاتی الگوریتمی به کار رود، بلکه می‌تواند در تحلیل چرخه‌های صنعتی، انتقال ریسک، و کشف ساختارهای اطلاعاتی درون بازار نقش کلیدی ایفا کند. (جگادیش و تیتمن^۲، ۱۹۹۳) در ادبیات کلاسیک، رویکردهایی همچون آزمون علیت گرنجر^۳ توابع همبستگی تأخیری^۴ و آزمون‌های انتقال اطلاعات^۵ برای تحلیل روابط تقدم-تأخر میان دارایی‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، این روش‌ها عمدتاً متکی بر فروض خطی، ایستا و محدودکننده‌ای هستند که با ماهیت پیچیده و غیرخطی بازارهای مالی امروز تطابق کامل ندارند. (لو و مک‌کینلی^۶، ۱۹۹۰) در دهه‌های اخیر، توسعه ابزارهای ریاضیاتی در حوزه هندسه مسیر، به‌ویژه نظریه امضای مسیر^۷ افق‌های جدیدی را در مدل‌سازی فرآیندهای زمانی باز کرده است. این ابزارها امکان بازنمایی مسیرهای زمانی چندمتغیره به‌گونه‌ای را فراهم می‌سازند که بتوان اطلاعات ساختاری و ترتیب زمانی نهفته در داده‌ها را استخراج و تحلیل کرد. (لیونز^۸، ۲۰۱۴) یکی از مفاهیم کلیدی برگرفته از این نظریه، مساحت لوی^۹ است که

۱. اصطلاح لید-لگ (Lead-Lag) در متون تخصصی اقتصادسنجی و بازارهای مالی به روابط تقدم و تأخر زمانی اشاره دارد. با توجه به فارسی‌نویسی مقاله، از معادل تقدم-تأخر استفاده شده است.

۲. Jegadeesh & Titman.

۳. Granger Causality Test.

۴. Cross- Correlation Functions.

۵. Information Flow Tests.

۶. Lo & MacKinlay.

۷. Path Signature.

۸. Lyons.

۹. Lévy Area.

می‌تولند به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری روابط تقدم-تأخر در یک مسیر دوبعدی به کار رود. مساحت لوی، اطلاعات جهت‌دار میان دو متغیر را در بُعد زمانی ثبت می‌کند و به واسطه‌ی سطح دوم امضای مسیر قابل محاسبه است. مساحت لوی می‌تواند به صورت مستقیم نشانه‌ای از تقدم یا تأخر اطلاعات میان دارایی‌ها باشد. از سوی دیگر، با رشد پیچیدگی شبکه‌های مالی و افزایش تنوع دارایی‌ها، نیاز به روش‌های خوشه‌بندی پیشرفته نیز احساس شده است. روش‌های سنتی خوشه‌بندی مانند خوشه‌بندی K-میانگین^۱ یا خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی^۲ به دلیل ماهیت متقارن و ایستای خود، در تحلیل شبکه‌های جهت‌دار نظیر روابط تقدم-تأخر دچار کاستی‌هایی هستند. در این راستا، رویکرد خوشه‌بندی مبتنی بر ماتریس هرمیتی^۳ که از دگرسازی گراف‌های جهت‌دار به گراف‌های شبه‌متقارن بهره می‌گیرد، به عنوان روشی نوین معرفی شده است. (مالیاروس و وزیرجانیس^۴، ۲۰۱۳) در این روش، ماتریس وزن دار تقدم-تأخر ابتدا به فرم هرمیتی تبدیل می‌شود تا ساختار طیفی آن حفظ شود، سپس از تکنیک‌های کاهش بُعد و خوشه‌بندی طیفی برای شناسایی گروه‌های همرفتار استفاده می‌شود. در این پژوهش، با تلفیق این دو حوزه نظری، چارچوبی نوین برای تحلیل تقدم-تأخر در بازار سرمایه ایران توسعه داده شده است. مدل پیشنهادی مبتنی بر محاسبه ماتریس تقدم-تأخر سهم‌ها با استفاده از امضای مسیر سطح دوم و استخراج مساحت لوی در یک ساختار پنجره‌ای زمان‌مند است. سپس، ماتریس‌های به دست آمده به گراف‌های جهت‌دار تبدیل شده و با استفاده از خوشه‌بندی هرمیتی، ساختار خوشه‌ای بازار استخراج می‌شود. بر این اساس، سه نوع پرتفوی پرتفوی تقدم-تأخر جهانی^۵ (GP)، پرتفوی خوشه‌ای^۶ (CP) و پرتفوی خوشه‌ای جهانی^۷ (GCP) طراحی و بک‌تست شده‌اند. در ادامه، این پرتفوی‌ها با روش‌های سنتی همچون گرنجر، تابع همبستگی با تاخیر^۸ و یک پرتفوی وزنی مبتنی بر لیدری صنعت مقایسه شده‌اند. همچنین، تحلیل‌های مکملی برای بررسی الگوهای درون‌صنعتی و بین‌صنعتی لیدری نیز انجام شده است. مهم‌ترین

1. K-Means Clustering

2. Hierarchical Clustering

3. Hermitian Matrix

4. Malliaros & Vazirgiannis

5. Global Lead-Lag Portfolio (GP)

6. Cluster-Based Portfolio (CP)

7. Global Cluster Portfolio (GCP)

8. Cross-Correlation Function (CCF)

نوآوری این پژوهش، استفاده از امضای مسیر و خوشه‌بندی هرمیتی در تحلیل تقدم-تأخر بازار سرمایه ایران است، که در ترکیب با طراحی پرتفوی‌های مختلف و مقایسه کمی عملکرد، می‌تواند الگویی قابل تعمیم برای تحلیل ساختاری بازارهای نوظهور ارائه کند. ساختار مقاله به اینصورت سازمان‌دهی شده است: در بخش ۱ مقدمه، مسأله روابط تقدم-تأخر، انگیزه نظری و کاربردی، و نوآوری پژوهش تشریح می‌شود. در بخش ۲ مبانی نظری، ابتدا مفهوم تقدم-تأخر در بازار سرمایه، سپس نظریه امضای مسیر و مساحت لوی، ساخت ماتریس تقدم-تأخر و در ادامه شبکه تقدم-تأخر و خوشه‌بندی هرمیتی ارائه می‌گردد. بخش ۳ پیشینه پژوهش را در دو زیربخش مطالعات خارجی و داخلی مرور می‌کند و جایگاه پژوهش حاضر را نسبت به ادبیات نشان می‌دهد. در بخش ۴ داده‌ها و مدل تحقیق معرفی می‌شود. مشخصات داده‌ها و انتخاب نمادها، استخراج روابط تقدم-تأخر مبتنی بر مساحت لوی، طراحی و ارزیابی پرتفوی جهانی GP، تحلیل ساختار خوشه‌ای و پرتفوی‌های CP و GCP، مقایسه با گرنجر، ارزیابی روش CCF و نهایتاً مقایسه با پرتفوی وزن‌دهی صنایع گزارش می‌گردد. در ادامه همین بخش، تحلیل بین‌صنعتی مبتنی بر مدل لوی و نتایج تجمیعی سطح صنعت ارائه می‌شود. رویکرد گرنجر بعنوان یک رویکرد کلاسیک مرجع اصلی است و در بخش ۵-۴ به تفصیل گزارش می‌شود. بخش ۵ نتیجه‌گیری، یافته‌های کلیدی و دلالت‌های مدیریتی را بیان می‌کند و در پایان، پیشنهادها و پژوهشی آینده را مطرح می‌سازد.

۲. مبانی نظری

۲-۱. مفهوم تقدم-تأخر در بازار سرمایه

در بازارهای مالی، واکنش قیمت دارایی‌ها به اطلاعات جدید معمولاً همزمان نیست و اغلب یک ترتیب زمانی مشخص بین دارایی‌ها وجود دارد. این ترتیب زمانی که در آن تغییرات قیمت یا بازده یک دارایی نسبت به دارایی دیگر جلوتر^۱ یا عقب‌تر^۲ رخ می‌دهد، به عنوان پدیده تقدم-تأخر شناخته می‌شود. (بودت^۳ و همکاران، ۲۰۱۷) در واقع، وجود روابط تقدم‌تأخر زمانی بین

1. Leader

2. Lagger

3. Boudt

دارایی‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در سرعت واکنش سرمایه‌گذاران، نقدشوندگی بازارها، یا درجه‌ی شفافیت اطلاعات در صنایع مختلف باشد. شناسایی دقیق روابط تقدم-تأخر اهمیت زیادی در مواردی چون طراحی استراتژی‌های معاملاتی، بهبود پیش‌بینی قیمت‌ها، مدیریت ریسک و ساخت پرتفوی‌های بهینه دارد. به‌عنوان مثال، یک دارایی که نقش لیدر را دارد می‌تواند سیگنال‌های اولیه تغییرات بازار را ارائه دهد که می‌تواند برای سرمایه‌گذاران ارزشمند باشد. مدل‌های کلاسیک برای شناسایی تقدم-تأخر معمولاً از آزمون‌های هم‌زمانی و تقدم آماری مانند آزمون گرنجر استفاده می‌کنند که بر مبنای فرض ایستایی، خطی بودن و نرمال بودن داده‌ها استوارند. این فرضیات در بسیاری از بازارهای مالی واقعی نقض می‌شوند؛ زیرا داده‌های مالی اغلب شامل نوسانات شدید، رفتارهای غیرخطی و وابستگی‌های زمانی پیچیده هستند. (انگل^۱، ۲۰۰۲) از این رو، استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر و مبتنی بر ریاضیات مسیره‌های زمانی جهت بررسی دقیق‌تر روابط تقدم-تأخر ضروری است. پدیده تقدم-تأخر به رابطه‌ی زمانی بین تغییرات متغیرهای مالی مختلف اشاره دارد، به‌گونه‌ای که تغییرات در یک متغیر (به‌عنوان لیدر یا پیش‌رو) پیش از تغییرات در متغیر دیگر (به‌عنوان لگ یا پیرو) رخ می‌دهند. در اصطلاح ساده، اگر بازده دارایی A قبل از دارایی B نسبت به یک شوک اطلاعاتی واکنش نشان دهد، بین آن‌ها رابطه تقدم-تأخر وجود دارد و دارایی A لیدر دارایی B است. در فرم ریاضی اگر دو فرآیند بازدهی R_t^A و R_t^B به ترتیب نشان‌دهنده‌ی بازده دارایی‌های A و B باشند. اگر تابع همبستگی با تأخیر که به صورت رابطه (۱) تعریف شده، در تأخیر $k = k^* > 0$ به حداکثر خود برسد، می‌توان گفت که تغییرات در دارایی A به‌طور پیش‌نگرانه بر تغییرات آتی دارایی B تأثیرگذار است.

$$\rho_{AB}(k) = \text{Corr}(R_t^A, R_{t+k}^B) \quad (1)$$

یکی از علل بنیادی شکل‌گیری روابط تقدم-تأخر، تفاوت در سرعت واکنش دارایی‌ها به اطلاعات جدید است. برخی دارایی‌ها، نظیر شرکت‌های بزرگ با پوشش تحلیلی گسترده‌تر یا حضور فعال‌تر سرمایه‌گذاران نهادی، واکنش سریع‌تری به اخبار دارند. این تفاوت می‌تواند منشأ تقدم زمانی آن‌ها در واکنش به شوک‌های اطلاعاتی باشد، به‌طوری که سایر دارایی‌ها با تأخیر مشابهی

¹. Engle

به همان اطلاعات واکنش نشان می‌دهند. (هونگ و ستین^۱، ۱۹۹۹) نقدشوندگی متفاوت دارایی‌ها نیز نقش بسزایی در شکل‌گیری روابط تقدم-تأخر دارد. دارایی‌هایی که معاملات مداوم‌تری دارند، معمولاً زودتر و دقیق‌تر قیمت‌گذاری می‌شوند و بنابراین می‌توانند به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده برای رفتار آتی دارایی‌های کم‌نقدشونده‌تر عمل کنند. (کوردیا^۲ و همکاران، ۲۰۰۵) این ویژگی آن‌ها را در جایگاه دارایی‌های لیدر قرار می‌دهد. عوامل نهادی و ساختار بازار نیز می‌توانند زمینه‌ساز تقدم برخی دارایی‌ها شوند. تفاوت در نوع مشارکت‌کنندگان (نظیر سرمایه‌گذاران حقیقی یا حقوقی)، سیاست‌های متفاوت افشای اطلاعات، و حتی قوانین مربوط به توقف و بازگشایی معاملات می‌توانند موجب تفاوت زمانی در واکنش دارایی‌ها به یک خبر یکسان شوند. افزون بر آن، روابط ساختاری یا زنجیره‌های تولید و تأمین بین صنایع مختلف می‌تواند منشأ روابط بین‌صنعتی تقدم-تأخر باشد. برای مثال، صنایع خودروسازی وابستگی شدیدی به فلزات اساسی دارند، از این رو تغییرات قیمتی در صنعت فلزات ممکن است زودتر رخ داده و به‌صورت لیدر بر تغییرات آتی صنعت خودرو تأثیرگذار باشند. در این‌گونه موارد، تقدم زمانی مبتنی بر منطق اقتصادی و روابط بنیادین زنجیره تأمین است. روابط تقدم-تأخر را می‌توان از منظر نوع وابستگی نیز طبقه‌بندی کرد. در ساده‌ترین شکل، ممکن است دو دارایی به‌رغم تفاوت‌های ساختاری، از منظر زمانی با یکدیگر وابستگی نشان دهند. این روابط را می‌توان در پنج دسته عمده تقسیم‌بندی کرد: (۱) روابط بین‌دارایی^۳ مانند رابطه میان طلا و شاخص سهام؛ (۲) روابط درون‌صنعتی^۴ نظیر هم‌حرکتی بانک‌های فعال در یک صنعت؛ (۳) روابط بین‌صنعتی^۵ مانند تأثیر فلزات بر خودروسازان؛ (۴) روابط ساختاری، که بر پایه ساختارهای اقتصادی مانند زنجیره تأمین شکل می‌گیرند؛ و (۵) روابط آماری، که تنها بر مبنای تأخیرهای مشاهده‌شده در داده‌ها بدون توجیه اقتصادی مشخص قابل تشخیص‌اند. خلاصه‌ای از این ۵ دسته در جدول آورده شده است.

1. Hong & Stein

2. Chordia

3. Cross-Asset

4. Intra-Industry

5. Inter-Industry

جدول (۱): انواع روابط تقدم-تأخر در بازارهای مالی

نوع تقدم-تأخر	توضیح
بین‌دارایی	مانند رابطه بین طلا و بازار سهام
درون‌صنعتی	مانند رابطه بین دو شرکت بانکی
بین‌صنعتی	مانند رابطه بین فلزات و خودرو
ساختاری	بر اساس روابط اقتصادی مشخص مثل زنجیره تأمین
آماري	تنها بر اساس وابستگی زمانی در داده‌ها بدون توجه اقتصادی مشخص

منبع: یافته‌های تحقیق

در خصوص شناسایی این روابط، دو رویکرد کلی قابل تمایز است. در رویکرد کلاسیک، از روش‌هایی مانند آزمون علیت گرنجر استفاده می‌شود که بررسی می‌کند آیا مقادیر گذشته یک سری زمانی می‌توانند رفتار سری زمانی دیگر را پیش‌بینی کنند یا خیر. همچنین، روش‌هایی نظیر تابع همبستگی با تأخیر برای سنجش همبستگی سری‌های زمانی در افق‌های زمانی متفاوت، و تحلیل طیفی که بررسی روابط در حوزه فرکانس را امکان‌پذیر می‌سازد، از جمله ابزارهای سنتی این حوزه هستند. در مقابل، روش‌های نوین از ابزارهای پیچیده‌تری استفاده می‌کنند. به‌طور خاص، استفاده از نظریه امضای مسیر و محاسبه مساحت لوی این امکان را فراهم می‌سازد که تقدم و تأخر زمانی بین دارایی‌ها بدون نیاز به فرض ایستایی یا خطی بودن بررسی شود. این روش‌ها که مبتنی بر تحلیل هندسی مسیرهای سری زمانی هستند، به‌ویژه در شرایط نوسان بالا و ساختارهای غیرخطی عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. همچنین، استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین نظیر که توانایی شناسایی الگوهای ترتیبی پیچیده را دارند، در مطالعات نوین رواج یافته است. شناخت روابط تقدم-تأخر در بازارهای مالی می‌تواند به توسعه کاربردهای گوناگونی منجر شود. (جدول ۱) در زمینه معاملات الگوریتمی، بهره‌گیری از این روابط امکان طراحی استراتژی‌های آربیتراژ زمانی را فراهم می‌سازد که با استفاده از تأخیر واکنش دارایی‌ها، سودآوری بدون ریسک را هدف قرار می‌دهند. در پیش‌بینی بازده، لیدرها می‌توانند به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای لگ‌ها مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، در طراحی سبد سرمایه‌گذاری، استفاده از دارایی‌های لیدر منجر به ساخت پرتفوی‌هایی می‌شود که نسبت به تغییرات بازار واکنش سریع‌تری نشان می‌دهند. در نهایت، شناسایی روابط تقدم-

تأخر می‌تواند به شناسایی دارایی‌هایی کمک کند که پیش‌نگر ریسک سیستماتیک هستند و در نتیجه نقش مهمی در فرآیند مدیریت ریسک ایفا می‌کنند.

جدول (۲): کاربرد روابط تقدم-تأخر در بازارهای مالی

شرح	کاربرد
استفاده از تأخیر زمانی بین دارایی‌ها برای انجام معاملات سودآور بدون ریسک.	معاملات الگوریتمی
استفاده از لیدرها به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده برای مدل سازی بازده لگ‌ها.	پیش‌بینی بازده آتی
استفاده از لیدرها برای طراحی سبدهای واکنش‌پذیرتر به تغییرات بازار.	بهینه‌سازی پرتفوی
شناسایی دارایی‌هایی که به‌طور پیش‌نگرانه سیگنال ریسک سیستماتیک را منتقل می‌کنند.	مدیریت ریسک

منبع: یافته‌های تحقیق

با این حال، تشخیص روابط تقدم-تأخر در عمل با چالش‌هایی نیز همراه است. نوسانات شدید بازار موجب بروز نویزهای فراوان و دشواری در کشف روابط پایدار می‌شود. همچنین، پدیده تغییرات ساختاری در بازار باعث می‌شود روابطی که در یک بازه زمانی معتبر بوده‌اند، در دوره‌های بعدی تضعیف یا حتی معکوس شوند. وابستگی به فرکانس داده نیز از دیگر مسائل مهم است؛ برخی روابط تنها در داده‌های با فرکانس بالا (مانند دقیقه‌ای) قابل تشخیص هستند و در داده‌های روزانه یا هفتگی از بین می‌روند. از سوی دیگر، وجود تأخیر در ثبت معاملات یا به اصطلاح خطای هم‌زمانی^۱ می‌تواند به شکل‌گیری روابط تقدم-تأخر کاذب منجر شود که فاقد معنا یا اعتبار اقتصادی هستند.

۲-۲. نظریه امضای مسیر و مساحت لوی

در تحلیل سری‌های زمانی مالی، بسیاری از روش‌های سنتی (مانند همبستگی، آزمون علیت گرنجر یا مدل‌های VAR) فرض‌هایی چون ایستایی، خطی بودن یا ساختار مارکوفی را در نظر می‌گیرند. این فرض‌ها اغلب با واقعیت بازارهای مالی که رفتارهای پیچیده، وابستگی‌های غیرخطی و ساختارهای حافظه‌دار دارند، همخوان نیستند. از این‌رو، نظریه امضای مسیر که نخستین‌بار توسط لیونز^۲ (۲۰۱۴-۱۹۹۸) در قالب تحلیل مسیرهای خشن^۳ معرفی شد، ابزاری نوین و قدرتمند برای کدگذاری دقیق مسیرهای زمانی بدون نیاز به ایستایی یا مدل‌سازی

۱. Synchronous Bias

۲. Lyons

۳. Rough Paths

توزیعی است. با فرض اینکه $X: [0, T] \rightarrow R^d$ یک مسیر پیوسته و با تغییرات محدود^۱ در فضای d بعدی باشد. امضای مسیر، دنباله‌ای از انتگرال‌های تانسوری است که به صورت سلسله‌مراتبی اطلاعات دقیق‌تری از ساختار مسیر را ثبت می‌کند. به صورت کلی، امضای مسیر $S(X)$ به شکل رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$S(X) := (1, S^{(1)}(X), S^{(2)}(X), \dots, S^{(k)}(X), \dots) \quad (2)$$

و در صورتیکه یک مسیر چندبعدی پیوسته باشد. امضای مسیر تا سطح k به صورت روابط (۳) تا (۵) تعریف می‌شود.

$$S^{(1)}(X) = \int_0^T dX_t \in R^d \quad (3)$$

$$S^{(2)}(X) = \int_0^T \int_0^{t_1} dX_{t_2} \otimes dX_{t_1} \in R^{d \times d} \quad (4)$$

$$S^{(k)}(X) = \int_{0 < t_1 < \dots < t_k < T} dX_{t_1} \otimes \dots \otimes dX_{t_k} \in (R^d)^{\otimes k} \quad (5)$$

که در آن $\otimes$ نماد ضرب تانسوری است. ایده‌ی اصلی این است که امضای مسیر تا هر سطح k اطلاعات دقیق‌تری از ساختار ترتیبی مسیر ثبت می‌کند، به گونه‌ای که دو مسیر متفاوت امضای متفاوت دارند، حتی اگر مقادیر نهایی یکسانی داشته باشند. به بیان دیگر، امضای مسیر یک نمایش ریاضی کامل از چگونگی طی شدن مسیر و نه فقط کدام مسیر، است. برای مسیرهای دو بعدی (X_t, Y_t) پادمتقارن ماتریس سطح دوم، معرف مساحت لوی است که مفهوم هندسی مساحت محصور شده بین دو مسیر را نشان می‌دهد. (فریز و ویکتویر^۲، ۲۰۱۰) این مقدار به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$\text{Levy Area}(X, Y) = \frac{1}{2} (S_{X,Y}^{(2)} - S_{Y,X}^{(2)}) \quad (6)$$

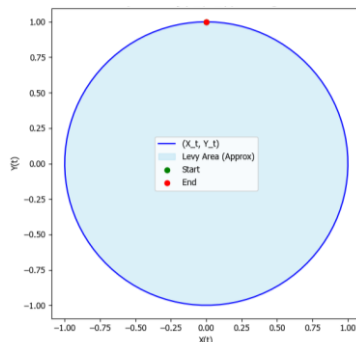
در کاربردهای مالی، این مقدار نشان‌دهنده ترتیب وقوع تغییرات بازده دو دارایی نسبت به هم و میزان تقدم تأخر آن‌ها است. بصورتیکه اگر $\text{Levy Area}(X, Y) > 0$ مسیر X به طور متوسط

^۱. Bounded Variation

^۲. Friz & Victoir

پیش از Y حرکت کرده و اگر $Levy Area(X, Y) < 0$ مسیر Y مقدم بر X بوده است. شکل نمایش مسیر دو دارایی در فضای دوبعدی (X_t, Y_t) و مساحت محصور شده بین آن‌ها که به عنوان مساحت لوی شناخته می‌شود. این مساحت بیانگر تقدم تأخر نسبی حرکات دو دارایی نسبت به یکدیگر است. اگر دارایی اول به صورت پیشرو نسبت به دارایی دوم حرکت کند، این مساحت مقدار مثبت، و در صورت عکس مقدار منفی می‌گیرد.

شکل (۱): نمونه مساحت لوی برای دو دارایی فرضی



منبع: یافته‌های تحقیق

در زمینه تحلیل تقدم-تأخر در بازارهای مالی، مساحت لوی ابزار بسیار مناسبی برای سنجش تقدم تأخر بدون نیاز به فرض خطی بودن یا ایستایی است. مزایای استفاده از این روش در کاربرد مالی در جدول آورده شده است.

جدول (۳): مزایای تحلیل تقدم-تأخر و مساحت لوی در بازارهای مالی

ویژگی	مزیت در تحلیل مالی
حفظ ترتیب زمانی	بررسی دقیق تقدم و تأخر واکنش دارایی‌ها
مقاومت در برابر نویز	استفاده از ساختار انتگرال‌گیری باعث حذف نوسانات تصادفی می‌شود
امکان مقیاس‌گذاری	روش قابل استفاده برای داده‌های دقیقه‌ای تا ماهانه
قابلیت ترکیب با یادگیری ماشین	به عنوان ویژگی ورودی برای مدل‌های ML قابل استفاده است

منبع: یافته‌های تحقیق

۲-۳. ساخت ماتریس تقدم-تأخر

با داشتن مجموعه‌ای از n دارایی، ماتریسی پادمتقارن $S \in R^{n \times n}$ ساخته می‌شود که هر عنصر آن به صورت رابطه (Y) تعریف می‌گردد. که در آن $X^{(i)}$ مسیر بازده دارایی i است.

$$S_{ij} = \text{LevyArea}(X^{(i)}, X^{(j)}) \quad (۷)$$

خاصیت پادمتقارن این ماتریس به معنای آن است که $S_{ij} = -S_{ji}$. این ویژگی جهت‌داری روابط تقدم-تأخر را نشان می‌دهد. بعنوان مثال مقدار مثبت S_{ij} یعنی دارایی i لیدر دارایی j است. برای تعیین رتبه لیدری هر دارایی، امتیاز لیدر بودن^۱ مطابق رابطه (۸) به صورت میانگین مقادیر ردیف مربوط به آن دارایی محاسبه و رتبه‌بندی دارایی‌ها بر اساس این امتیاز صورت می‌گیرد.

$$Score_i = S_{ij} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{1}{n-1} \quad (۸)$$

شکل (۲): نقشه حرارتی ماتریس تقدم-تأخر S را برای پنج دارایی فرضی نشان می‌دهد.

شکل (۲): نقشه حرارتی ماتریس تقدم-تأخر برای ۵ دارایی فرضی



منبع: یافته‌های تحقیق

درایه‌های مثبت نشان‌دهنده تقدم زمانی ردیف نسبت به ستون (یعنی دارایی ردیف نقش لیدر را دارد) و درایه‌های منفی نشان‌دهنده فالوئر بودن است. شدت رنگ‌ها جهت و شدت روابط تقدم-تأخر را منعکس می‌کند.

1. Leader Score

۲-۴. شبکه تقدم-تأخر و خوشه‌بندی هرمیتی^۱

ماتریس تقدم-تأخر پادمتقارن S برای ساخت گراف جهت‌دار وزن‌دار $G = (V, E)$ به کار می‌رود. ماتریس مجاورت جهت‌دار از طریق رابطه (۹) تعریف می‌شود؛ به این معنی که فقط روابط لیدر مثبت لحاظ می‌شوند.

$$A_{ij} = \max(S_{ij}, 0) \quad (9)$$

برای اعمال روش‌های خوشه‌بندی طیفی^۲، ماتریس گراف باید شبه‌متقارن^۳ باشد. (مالیاریوس و وزیرجیانیس^۴، ۲۰۱۳) نگاشت هرمیتی به صورت رابطه تعریف می‌شود.

$$H = \frac{A^\dagger + A}{2} \quad (10)$$

که $A^\dagger$ ترانهاده مزدوج ماتریس A است و H ماتریس همانی است که ویژگی‌های طیفی مناسب برای خوشه‌بندی را دارد. با انجام تجزیه مقدار ویژه^۵ روی H ، تعداد k بردار ویژه مرتبط با بزرگترین مقادیر ویژه استخراج شده و به فضای کم‌بعد منتقل می‌شوند. سپس الگوریتم K -Means روی این فضای جدید اعمال می‌شود تا خوشه‌های تقدم-تأخر مشخص شوند. شکل شبکه تقدم-تأخر میان ۵ دارایی فرضی را نشان می‌دهد. گره‌ها نمایانگر نمادها و یال‌های جهت‌دار نمایانگر روابط تقدم زمانی هستند. وزن یال‌ها شدت تقدم (بر اساس مقدار مساحت لوی) را نشان می‌دهند. این گراف امکان شناسایی دارایی‌های لیدر (گره‌هایی با یال‌های خروجی بیشتر) را فراهم می‌کند.

¹. Hermitian Clustering

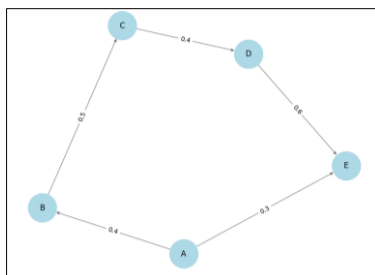
². Spectral Clustering

³. Hermitian

⁴. Malliaros & Vazirgiannis

⁵. Eigen Decomposition

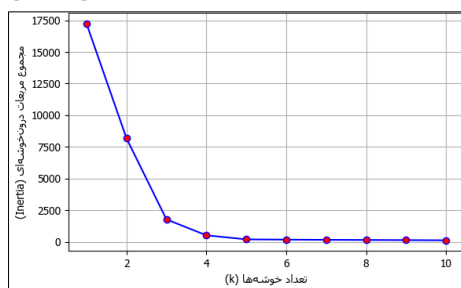
شکل (۳): گراف جهت‌دار تقدم-تأخر برای ۵ دارایی فرضی



منبع: یافته‌های تحقیق

شکل نحوه تعیین تعداد خوشه‌های بهینه در خوشه‌بندی گره‌های شبکه تقدم-تأخر را برای ۵ دارایی فرضی نشان می‌دهد. نقطه زانویی در این نمودار، مقدار k بهینه برای تفکیک ساختار تقدم-تأخر در بازار را پیشنهاد می‌دهد. این روش کمک می‌کند تا دارایی‌های با الگوی تقدم-تأخر مشابه در یک گروه قرار گیرند.

شکل (۴): تعیین تعداد خوشه‌های بهینه در خوشه‌بندی گره‌های شبکه تقدم-تأخر برای ۵ دارایی فرضی



منبع: یافته‌های تحقیق

پس از رتبه‌بندی لیدرها و انجم خوشه‌بندی، سه نوع پرتفوی به صورت انتخاب لیدرها و فالوئر‌ها در کل بازار بدون توجه به خوشه‌بندی (GP)، انتخاب لیدر و فالوئر درون هر خوشه به صورت جداگانه (CP) و تجمیع لیدر و فالوئر از تمام خوشه‌ها به صورت ترکیبی (GCP) طراحی می‌شود.

برای اجتناب از آزمون‌های معنی‌داری نقطه‌ای بر تک‌تک پیوندها و در عین رعایت محدودیت‌های حجمی، اعتبار روابط تقدم-تأخر به صورت ساختاری و کارکردی سنجیده شده

است. در لايه ساختاری، سنجه مساحت لوی (برآمده از سطح دوم امضای مسیر) ذاتاً به ترتیب زمانی و جهت‌داری حساس است و با میانگین‌گیری پنجره‌ای و امتیازدهی سطری، تنها روابط پایدار در زمان در رتبه‌بندی انعکاس می‌یابند. در لایه کارکردی، معنی‌داری اقتصادی روابط از طریق کارایی پرتفوی‌های حاصل و مقایسه با روش‌های مرجع (گرنجر و CCF) ارزیابی می‌شود. این طراحی، تمرکز پژوهش را بر پایداری زمانی و کارآمدی عملی حفظ می‌کند و در عین حال خطر روابط کاذب گذرا را کاهش می‌دهد.

۳. پیشینه پژوهش

۳-۱. مطالعات خارجی

مطالعه رابطه‌ی تقدم و تاخر زمانی میان دارایی‌های مالی سابقه‌ای طولانی در ادبیات مالی دارد. نخستین گام‌های رسمی در این زمینه با معرفی مفهوم علیت گرنجر برداشته شد. گرنجر (۱۹۶۹) در مطالعه خود نشان داد که اگر گذشته‌ی یک متغیر بتواند به‌صورت معنادار به پیش‌بینی متغیر دیگر کمک کند، می‌توان آن را علت گرنجری نامید. این ابزار، اگرچه پایه‌گذار تحلیل روابط زمانی میان متغیرهای مالی شد، اما محدود به فروضی همچون خطی بودن، ایستایی، و نرمال بودن باقی ماند. در دهه‌های بعد، پژوهشگران به محدودیت‌های روش‌های کلاسیک پی بردند و به سمت روش‌هایی با انعطاف بیشتر حرکت کردند. لو و مک‌کینالی (۱۹۹۰) در پژوهشی نشان دادند که بعضی از سهام به تغییرات اطلاعاتی سریع‌تر واکنش نشان می‌دهند. آن‌ها از آزمون‌های تأخیر مقطعی^۱ برای کشف روابط تقدم زمانی میان بازده‌ها استفاده کردند. دینگ^۲ و همکاران (۱۹۹۳) نیز مفهوم مقدار مطلق بازده‌ها^۳ را وارد ادبیات این حوزه کردند و نشان دادند که این متغیرها ساختار حافظه طولانی و اثرات پیش‌نگرانه دارند. این نتایج باعث افزایش توجه به ویژگی‌های غیرخطی و حافظه‌دار داده‌های مالی شد. بودوخ^۴ و همکاران (۱۹۹۴) با بررسی بازده‌های با فرکانس بالا شواهدی مبنی بر وجود تقدم زمانی میان صنایع

۱. Cross-Autocorrelation Tests.

۲. Ding

۳. Absolute Returns.

۴. Boudoukh

مختلف ارائه کردند. آن‌ها به‌ویژه بر این نکته تأکید داشتند که بازده‌های صنایع حساس به نرخ بهره، واکنش‌های سریع‌تری به تغییرات اقتصاد کلان دارند. هاسبروک^۱ (۱۹۹۵) در مطالعه‌ای رویکرد جدیدی برای تحلیل تقدم-تأخر معرفی کرد. او با استفاده از داده‌های نقل‌قول و معامله میان بازارهای مختلف سهم هر بازار در کشف قیمت را با استفاده از تحلیل‌های ساختاری مدل‌های واریانس مشترک بررسی کرد. این مقاله راه را برای تحلیل تقدم-تأخر در بسترهای چندبازار گشود. در ادامه، داکوروگنا^۲ و همکاران (۲۰۰۱) تحلیل تقدم-تأخر در فرکانس بالا را به‌صورت سیستماتیک بررسی کردند. آن‌ها از ابزارهای همبستگی زمانی و بین‌زمانی برای مدل‌سازی واکنش‌های سریع دارایی‌ها استفاده کردند و تأکید کردند که ساختار اطلاعاتی بازار از طریق این روابط قابل استخراج است. فریز و ویکتور^۳ (۲۰۱۰) در مطالعه جامع خود تحلیل‌های امضای مسیر را تعمیم دادند و مفهوم مساحت لوی را به‌عنوان بخشی از اطلاعات سطح دوم امضا مطرح کردند. آن‌ها نشان دادند که این مساحت در فضای دو بعدی، بیانگر ترتیبی است که مسیرها طی می‌کنند و می‌تواند برای تحلیل تقدم-تأخر در کاربردهای مالی مورد استفاده قرار گیرد. در دهه اخیر، پژوهشگران با استفاده از این ابزارهای ریاضی، روش‌های نوینی برای خوشه‌بندی بازارها و استخراج ساختار پنهان روابط زمانی ابداع کردند. مالیاروس و وزیرگیانیس^۴ (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای بر لزوم تبدیل گراف‌های جهت‌دار به فرم هرمیتی جهت تحلیل طیفی تأکید کردند. آن‌ها نشان دادند که تبدیل ماتریس مجاورت به ماتریس هرمیتی، خواص طیفی پایدارتری برای تحلیل خوشه‌ای ایجاد می‌کند. با پیشرفت نظریه امضای مسیر توسط لوینز^۵ (۲۰۱۴) نگاه کاملاً جدیدی به تحلیل مسیرهای مالی شکل گرفت. لوینز در مطالعه‌ای امضای مسیر را به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی فرآیندهای وابسته به مسیر^۶ معرفی کرد. این ابزار با حفظ کامل ترتیب زمانی و ساختار توپولوژیکی مسیرها، برای مدل‌سازی رفتارهای غیرخطی بسیار مناسب بود. در ادامه، کیرالی و اوبرهوسر^۷ (۲۰۱۹) امضای مسیر را

1. Hasbrouck.

2. Dacorogna

3. Friz and Victoir

4. Malliaros & Vazirgiannis

5. Lyons

6. Path-Dependent Processes

7. Király & Oberhauser

به عنوان کرنل برای مدل های یادگیری ماشین معرفی کردند. این پژوهش، ارتباط مستقیمی میان نظریه مسیر و ابزارهای یادگیری ماشین برقرار کرد و مسیر را برای استفاده گسترده تر از این نظریه در بازارهای مالی باز کرد. در سال های اخیر، مطالعات تجربی از این ابزارها برای تحلیل تقدم-تأخر در ساختار بازار سرمایه استفاده کرده اند. ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از ماتریس تقدم-تأخر و الگوریتم های خوشه بندی، ساختار جامعه ای بازار را بررسی کرده اند. آن ها نشان دادند که بعضی از سهام، به صورت پایدار لیدر شبکه هستند و بر بازده دیگران تأثیر دارند. در پژوهشی دیگر، وانگ^۲ و همکاران (۲۰۲۲) از تحلیل امضای مسیر برای کشف رابطه بین بازده ها در بازارهای نوظهور استفاده کردند و دریافتند که امضای مسیر نسبت به همبستگی ساده یا علیت گرنجر در کشف تقدم-تأخر عملکرد بهتری دارد.

۳-۲. مطالعات داخلی

مطالعات مربوط به تحلیل روابط تقدم-تأخر در بازار سرمایه ایران، گرچه به نسبت ادبیات خارجی در ابتدا محدود بود، اما در سال های اخیر با توسعه داده های فرکانس بالا و گسترش ابزارهای مدل سازی پیشرفته، رونق یافته است. رضایی و آقابابایی (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی وجود اثر تقدم-تأخر در بازار سرمایه ایران طی سال های ۱۳۹۰-۱۳۹۵ پرداختند. نتایج روش خودهمبستگی متقاطع نشان دهنده وجود اثر تقدم-تأخر در کوتاه مدت و نتایج رویکرد مبتنی بر هم جمعی نیز حاکی از وجود اثر تقدم-تأخر در بلندمدت بود. براساس نتایج تحلیل پروفایل های پایدار و تجزیه واریانس تعمیم یافته، بعد از سه هفته تمام شوک ها جذب می شوند، اما روند منظمی در جذب شوک بیشتر توسط سبد بزرگ تر مشاهده نشد. آنها نشان دادند هرچند به نظر می رسد مدل تصحیح خطا پیش بینی بهتری ارائه دهد، اما مطابق آزمون رتبه علامت دار ویلکا کسن، یکسان بودن مقدار ریشه میانگین مربعات خطا رد نشده و اختلاف معناداری بین این دو مقدار در حالتی که عبارت خطا در مدل لحاظ شده و در حالتی که عبارت خطا در مدل لحاظ نشده، وجود ندارد. نوربخش و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه ای با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری، وجود رابطه تقدم-تأخر را بین سهام های موجود در بیست صنعت بورس اوراق بهادار تهران، در سال های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ بررسی کردند. براساس نتایج این مطالعه

^۱. Zhang

^۲. Wang

از ۲۰ صنعت موجود در نمونه، ۱۳ صنعت اثر تقدم-تأخر را نشان می‌دهد. در ۱۰ صنعت، بازده سهم‌های کوچک درون صنعت، بر بازده سهم‌های بزرگ همان صنعت متقدم است. در حالی که در ۳ صنعت دیگر، بازده سهم‌های بزرگ درون صنعت، بر بازده سهم‌های کوچک همان صنعت متقدم است. افزون بر این، در صنایع رایانه، حمل‌ونقل و محصولات فلزی که صنایع کمابیش کوچکی شمرده می‌شوند، اثر تقدم-تأخر قوی‌تری مشاهده شده است. طالب‌لو و مهاجری (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی سرریز ریسک در بازار سهام ایران پرداختند. اگرچه تمرکز اصلی این پژوهش بر سرریز ریسک و اتصالات بین صنعت‌هاست، اما محققین به صراحت به وجود اثر تقدم-تأخر در شبکه اتصالات بین صنایع اشاره کرده‌اند. بر اساس نتایج، صنایع بزرگ‌تر نقش انتقال‌دهنده و صنایع کوچک‌تر نقش گیرنده را در انتقال نوسانات ایفا می‌کنند، که همان جهت پیش‌نگر در روابط تقدم-تأخر را تأیید می‌کند. در پژوهشی جدیدتر، براتی‌پور و همکاران (۱۴۰۳) با تلفیق تحلیل شبکه و مدل VAR-GARCH، تعامل میان نمادهای پیشرو در بورس تهران و تأثیر شوک نرخ ارز را بررسی کردند. آن‌ها با شناسایی نمادهای پیشرو و سنجش پاسخ‌های دینامیک آن‌ها به شوک‌های ارزی، نشان دادند که صنایع صادرات‌محور پس از شوک به عنوان لیدر بازار عمل می‌کنند.

۴. معرفی داده‌ها و مدل تحقیق

۴-۱. داده‌ها

در این تحقیق برای بررسی روابط تقدم-تأخر میان صنایع فعال در بورس اوراق بهادار تهران، از داده‌های قیمتی روزانه سهام طی دوره زمانی فروردین ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ۱۴۰۴ استفاده شده است. انتخاب این بازه زمانی به‌گونه‌ای صورت گرفته که بتواند شامل رفتار بازار در شرایط مختلف (دوره‌های رکودی، رونق و نوسان شدید) باشد. در مرحله نخست، بر اساس معیار ارزش بازار، هفت صنعت اصلی بازار سرمایه ایران انتخاب شد. این صنایع شامل بانک، خودرو، فلزات اساسی، بیمه، مواد شیمیایی، شرکت‌های سرمایه‌گذاری و سیمان هستند. از میان نمادهای فعال در هر صنعت، پنج نماد با بیشترین میانگین حجم معاملات روزانه انتخاب شد؛ به‌شرط آن‌که سهم داده‌های ناقص (ناشی از توقف طولانی، مجامع یا افزایش سرمایه) کمتر از ۸ درصد از کل روزهای معاملاتی باشد. این شرط به‌منظور حفظ یکپارچگی زمانی داده‌ها و جلوگیری از

سوگیری در نتایج تحلیلی اعمال شده است. پس از انتخاب نهایی، مجموعه‌ای متشکل از ۳۵ نماد (پنج سهم از هر صنعت) در قالب پنل داده‌های قیمت‌های تعدیل‌شده برای محاسبه بازده روزانه لگاریتمی به کار گرفته شد. جدول صنایع و سهام انتخاب شده در هر صنعت را نشان می‌دهد. این داده‌ها به صورت تعدیل‌شده نسبت به افزایش سرمایه و پرداخت سود نقدی بوده و در صورت وجود داده‌های گمشده، تنها بازه‌های زمانی مشترک میان تمامی نمادها در تحلیل لحاظ شده‌اند. بدین ترتیب، مجموعه نهایی داده‌ها دارای ساختاری یکپارچه و قابل مقایسه در سطح بین‌صنعتی و درون‌صنعتی است. برای هر نماد، سری بازده استاندارد شده به عنوان ورودی مدل تقدم-تأخر مبتنی بر مساحت لوی استفاده گردید. کلیه مراحل پردازش و استخراج ساختار تقدم-تأخر از طریق پیاده‌سازی کلاس اختصاصی لوی انجام شده است.

جدول (۴): اسامی صنایع و سهام منتخب در هر صنعت

صنعت	نمادهای منتخب
بانک	وبصادر، وبملت، وتجارت، ونوین، وپارس
بیمه	آسیا، البرز، ودی، پارسیان، کوثر
خودرو	خبهمن، خزامیا، خسپا، خودرو، خگستر
سرمایه گذاری	آریان، صبا، وخارزم، وسپا، وسپه
سیمان	سآبیک، ستران، سفارس، سپاها، سیتا
شیمیایی	بوعلی، تاپیکو، فارس، نوری، پارسان
فلزات	دوب، فخور، فملی، فولاد، میدکو

منبع: یافته‌های تحقیق

۴-۲. تحلیل روابط تقدم-تأخر میان دارایی‌ها بر اساس ساختار مساحت لوی

پس از آماده‌سازی داده‌های قیمت تعدیل‌شده برای ۳۵ نماد منتخب از هفت صنعت اصلی بازار سرمایه، گام نخست در چارچوب روش‌شناسی پژوهش، برآورد روابط تقدم‌تأخر اطلاعاتی میان نمادها بود. در این مرحله، با استفاده از ساختار هندسی مبتنی بر امضای مسیر، ماتریس تقدم-تأخر دارایی‌ها استخراج گردید. این ماتریس، نمایانگر میزان و جهت انتشار اطلاعات از هر نماد به سایر نمادها در طول زمان است و به گونه‌ای طراحی شده که ساختار زمانی دقیق رفتار دارایی‌ها را حفظ کند. ماتریس به دست آمده یک ماتریس پادمتقارن از ابعاد 35×35 است که درایه‌های آن بیانگر میزان تقدم اطلاعاتی یک نماد نسبت به سایر نمادها در بازار است. مقادیر

مثبت درایه‌ها نشان‌دهنده نقش لیدری یک نماد و مقادیر منفی بیانگر تأثیرپذیری آن از سایر دارایی‌ها هستند. به‌منظور تفسیر بهتر این ساختار، برای هر نماد، میانگین سطری ماتریس محاسبه شده و به‌عنوان شاخص لیدری مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص نمایانگر تمایل سیستماتیک هر نماد به ایفای نقش پیشرو یا پیرو در انتقال اطلاعات در سطح بازار است. یافته‌های حاصل از این تحلیل نشان می‌دهد که برخی نمادها به‌صورت پایدار و قابل توجهی، نقش لیدری در بازار دارند. در میان آن‌ها، نمادهایی نظیر فخوز، ستران، ذوب و سفارس بیشترین میانگین لیدری را به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان‌دهنده آن است که تغییرات در این نمادها معمولاً زودتر از سایر نمادها رخ می‌دهد و احتمالاً سایر دارایی‌ها با تأخیر نسبت به آن‌ها واکنش نشان می‌دهند. چنین سهم‌هایی معمولاً می‌توانند حامل اطلاعات زود هنگام نسبت به روندهای بازار باشند. در مقابل، نمادهایی همچون میدکو، وبملت، خسپا و آریان دارای پایین‌ترین مقادیر شاخص لیدری هستند که بیانگر رفتار پیرو آن‌ها در انتشار اطلاعات است. این سهم‌ها غالباً با تأخیر نسبت به تحولات بازار واکنش نشان داده و بیشتر از آن‌ها که نقش محرک تغییرات را ایفا کنند، در معرض تأثیرپذیری از لیدرهای بازار قرار دارند. بر اساس این تحلیل، امکان طبقه‌بندی نسبی نمادهای منتخب از منظر سرعت واکنش به اطلاعات فراهم شده و در گام‌های بعدی، از این ساختار جهت طراحی پرتفوی‌های تقدم-تأخر و تحلیل شبکه‌ای استفاده خواهد شد. جدول، مقادیر شاخص لیدری برای کلیه نمادها را به‌ترتیب رتبه نمایش می‌دهد.

جدول (۵): امتیاز لیدری نمادهای منتخب بازار سرمایه

رتیف	نماد	امتیاز تقدم- تأخر	رتیف	نماد	امتیاز تقدم- تأخر	رتیف	نماد	امتیاز تقدم- تأخر
۱	ذوب	۱۷/۶۷	۱۳	پارسان	۵/۶۷	۲۵	ودی	۶/۰۸
۲	فولاد	۱۲/۷۶ -	۱۴	نوری	۳/۷۹	۲۶	خودرو	۱/۲۴ -
۳	فملی	۴/۸۳	۱۵	بوعلی	۱۶/۶۴	۲۷	خسپا	۱۷/۴۲ -
۴	فخوز	۳۷/۰۲	۱۶	وبملت	۲۲/۲۶ -	۲۸	خگستر	۶/۲۴ -
۵	میدکو	۲۶/۹۳ -	۱۷	وتجارت	۱/۵۲	۲۹	خبهم	۱۲/۲۲ -
۶	وخارزم	۲/۰۳۹	۱۸	وبصادر	۵/۶۴ -	۳۰	خزامیا	۴/۴۱ -
۷	وسپا	۶/۵۷	۱۹	وپارس	۱/۰۰۵ -	۳۱	سپاها	۱۰/۶۲
۸	صبا	۰/۴۷ -	۲۰	ونوین	۰/۴۶ -	۳۲	سیتا	۲۸/۲۷

۹	آریان	۱۸/۹۱ -	۲۱	البرز	۲/۱۶ -	۳۳	ستران	۵/۸۲ -
۱۰	وسپه	۱۶/۷۸	۲۲	کوثر	۱۲/۹۹ -	۳۴	سفارس	۱۸/۰۵
۱۱	فارس	۹/۴۵ -	۲۳	آسیا	۳/۸۳	۳۵	سآبیک	۱۱/۶۰ -
۱۲	تاپیکو	۹/۴۴	۲۴	پارسیان	۱۶/۸۵ -			

منبع: یافته‌های تحقیق

۴-۳. طراحی و ارزیابی پرتفوی تقدم-تأخر جهانی

در مرحله دوم از چارچوب روش‌شناسی پژوهش، پرتفویی بر اساس ساختار تقدم-تأخر استخراج‌شده از روابط میان دارایی‌ها طراحی گردید. این پرتفوی، تحت عنوان پرتفوی جهانی تقدم-تأخر، در بازه‌های زمانی متحرک و بر مبنای ماتریس تقدم-تأخر استخراج‌شده از امضای مسیر طراحی شده است. در هر پنجره‌ی ۳۰ روزه، نمادهایی که در مجموع دارای بیشترین نقش پیشرو در ماتریس تقدم-تأخر بودند (۲۰ درصد بالای امتیاز لیدری)، به‌عنوان لیدر انتخاب شدند و مجموعه‌ای از فالوورها در روز بعد به‌صورت سبد سرمایه‌گذاری دنبال‌کننده مورد استفاده قرار گرفتند. عملکرد این پرتفوی در دوره‌ی زمانی مورد بررسی، با استفاده از داده‌های بازده روزانه و به‌صورت روزبه‌روز ارزیابی شد. در هر روز معاملاتی، بازده لیدرها، بازده فالوورها، بازده بازار، و بازده پرتفوی محاسبه و با استفاده از آن، بازده تجمعی پرتفوی در برابر بازده بازار و استراتژی پایه ثبت گردید. نمونه‌ای از اطلاعات عملکرد پرتفوی شامل تاریخ ورود و خروج، بازده نسبی، و سودآوری تجمعی در جدول نمایش داده شده است.

جدول (۶): نمونه‌ای از نتایج بک‌تست پرتفوی تقدم-تأخر جهانی (GP)

تاریخ	بازده لیدر	بازده فالوئر	بازده بازار	بازده پرتفوی	سودآوری نسبی پرتفوی
۲۰۲۱/۱۱/۵	% ۰/۴۳	% ۰/۴۲	% ۱/۵۴	-% ۱/۱۲	-% ۱/۱۲
۲۰۲۱/۱۲/۵	% ۰/۵۰	-% ۱/۳۵	-% ۰/۶۷	-% ۰/۶۷	-% ۱/۷۹
۲۰۲۱/۱۵/۵	-% ۱/۷۲	% ۰/۴۶	% ۰/۱۳	-% ۰/۳۳	-% ۲/۱۲
۲۰۲۱/۱۶/۵	-% ۰/۵۱	% ۲/۸۰	% ۰/۹۸	-% ۱/۸۱	-% ۵/۲۸
۲۰۲۱/۱۷/۵	-% ۱/۰۳	-% ۱/۶۰	-% ۱/۹۷	-% ۰/۳۷	-% ۴/۲۵

منبع: یافته‌های تحقیق

در مجموع، نتایج حاصل از آزمون بازدهی نشان داد که پرتفوی GP در این دوره عملکرد ضعیفی داشته و نه‌تنها بازده مازادی نسبت به بازار ایجاد نکرده، بلکه زیان نیز تجربه کرده است. بازده کل پرتفوی برابر با % ۷/۶۹- بوده و انحراف معیار روزانه آن برابر با % ۰/۶۸ محاسبه شده

است. بر این اساس، نسبت شارپ نیز مقدار $0/01$ - را نشان داده که حاکی از فقدان نسبت بازده به ریسک مطلوب در پرتفوی طراحی‌شده بر اساس لیدرهای بازار است. این نتایج ضرورت تحلیل دقیق‌تر روابط تقدم-تأخر در ساختارهای خوشه‌ای و درون‌صنعتی را نشان می‌دهد. در ادامه، پرتفوی‌های مبتنی بر خوشه‌بندی (CP) و (GCP) طراحی و با رویکردهای جایگزین مقایسه می‌گردند.

۴-۴- تحلیل ساختار خوشه‌ای تقدم-تأخر و ارزیابی پرتفوی‌های خوشه‌محور

در گام بعدی از پژوهش، به‌منظور بهره‌گیری از ساختارهای درونی بازار و کاهش نویزهای موجود در سطح کلان، خوشه‌بندی دارایی‌ها بر مبنای ساختار تقدم-تأخر میان آن‌ها انجام شد. برای این منظور، از روش خوشه‌بندی طیفی هرمیتی^۱ استفاده شد که قابلیت خوشه‌بندی گراف‌های جهت‌دار را با بهره‌گیری از طیف ماتریس شبه‌متقارن هرمیتی فراهم می‌سازد. مالیاروس و وزیرگیانیس (۲۰۱۳) این روش را به‌ویژه برای شبکه‌های اطلاعاتی مالی که دارای جهت‌داری روابط و ماهیت غیرخطی هستند، مناسب تشخیص دادند. در این روش برای هر بازه زمانی، ابتدا گراف تقدم-تأخر جهت‌دار بین دارایی‌ها ساخته شده، سپس با استفاده از نگاشت هرمیتی و کاهش بعد طیفی، خوشه‌بندی با روش K-Means در فضای طیفی انجام می‌گیرد. در ادامه، درون هر خوشه، نمادهایی با امتیاز لیدری بالا به‌عنوان سیگنال‌های پیش‌بینی‌گر (لیدر) و سایر نمادها به‌عنوان فالوئر تلقی شدند. بر این اساس، دو نوع پرتفوی خوشه‌ای طراحی می‌شود.

الف - پرتفوی خوشه‌ای (CP): در هر خوشه، لیدرها به‌عنوان پیش‌بینی‌گر فالوئرهای همان خوشه انتخاب شدند.

ب - پرتفوی خوشه‌ای تجمیعی (GCP): لیدرهای استخراج‌شده از تمام خوشه‌ها با فالوئرهای متناظرشان ترکیب و پرتفویی واحد تشکیل شد.

عملکرد روزانه‌ی این دو پرتفوی در دوره‌ی بررسی (اردیبهشت ۱۴۰۰ تا اردیبهشت ۱۴۰۴) از نظر بازده، نوسان، و سود تجمعی محاسبه شد. بخش کوچکی از داده‌های عملکرد روزانه در جدول آورده شده است.

^۱. Hermitian Spectral Clustering

جدول (۷): عملکرد نمونه‌ای از پرتفوی‌های CP و GCP (بازده روزانه)

تاریخ	بازده لیدر (CP)	بازده فالوئر (CP)	بازده پرتفوی (CP)	بازده پرتفوی (GCP)	بازده بازار	سود فالوئر	سود بازار	سود استراتژی
۲۰۲۱/۱۱/۵	٪ ۲/۱۳	٪ ۱/۶۵	٪ ۰/۱۰	٪ ۰/۱۰	٪ ۱/۵۴	٪ ۱/۶۵	٪ ۱/۵۴	٪ ۱/۰۴
۲۰۲۱/۱۲/۵	٪ ۲/۲۳	-٪ ۰/۳۲	٪ ۰/۳۵	٪ ۰/۴۵	-٪ ۰/۶۷	-٪ ۰/۳۲	-٪ ۰/۶۷	٪ ۰/۴۵
۲۰۲۱/۱۵/۵	-٪ ۰/۹۸	٪ ۰/۱۹	-٪ ۰/۰۶	-٪ ۰/۱۱	٪ ۰/۱۳	٪ ۰/۱۹	٪ ۰/۱۳	-٪ ۰/۰۶
۲۰۲۱/۱۶/۵	٪ ۱/۰۴	٪ ۰/۱۲	-٪ ۰/۸۶	-٪ ۰/۸۵	٪ ۰/۹۸	٪ ۰/۱۲	٪ ۰/۹۸	-٪ ۰/۸۶
۲۰۲۱/۱۷/۵	٪ ۱/۴۱	-٪ ۳/۱۲	-٪ ۱/۱۴	-٪ ۰/۸۲	-٪ ۱/۹۷	-٪ ۳/۱۲	-٪ ۱/۹۷	-٪ ۱/۱۵

منبع: یافته‌های تحقیق

تحلیل شاخص‌های کلیدی عملکرد نشان می‌دهد که پرتفوی‌های مبتنی بر ساختار خوشه‌ای تفاوت معناداری از نظر کارایی دارند. نتایج جدول بیانگر آن است که پرتفوی GCP نسبت به CP عملکرد بهتری داشته و موفق به تولید بازده مثبت و نسبت شارپ قابل قبول‌تری شده است. پرتفوی CP نه تنها بازده منفی داشته، بلکه نسبت شارپ منفی آن نشان می‌دهد که حتی نسبت به ریسک متحمل‌شده نیز ناکارآمد بوده است. این یافته می‌تواند ناشی از این باشد که اطلاعات درون خوشه‌ای به‌تنهایی برای پیش‌بینی کافی نیستند، در حالی که تجمیع لیدرهای مؤثر در سطح بازار (GCP) قدرت پیش‌بینی قوی‌تری دارد.

جدول (۸): شاخص‌های کلیدی عملکرد پرتفوی‌ها

نوع پرتفوی	بازده کل	انحراف معیار روزانه	نسبت شارپ
پرتفوی خوشه‌ای (CP)	-٪ ۱۳/۹۸	٪ ۰/۷۲	- ۰/۰۳۰
پرتفوی خوشه‌ای تجمیعی (GCP)	٪ ۱۷/۴۷	٪ ۰/۷۵	۰/۰۳۶

منبع: یافته‌های تحقیق

در شکل عملکرد سه پرتفوی طراحی‌شده در پژوهش حاضر، شامل بازده تجمعی^۱ و افت سرمایه^۲ طی بازه‌ی زمانی مشترک بین پرتفوی‌ها نمایش داده شده است. این پرتفوی‌ها عبارت‌اند از:

۱. Cumulative Return

۲. Drawdown

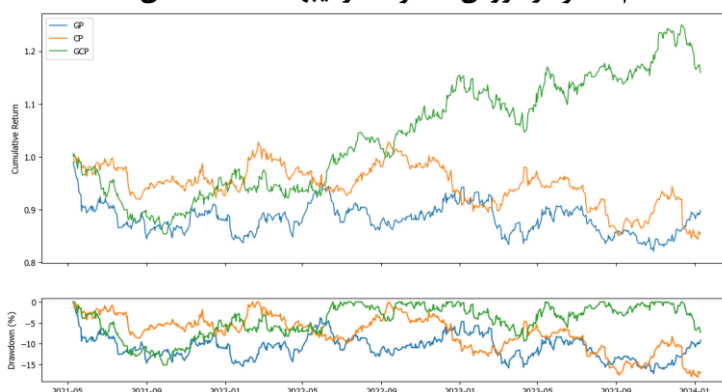
الف - پرتفوی جهانی: (GP) تشکیل شده صرفاً بر اساس ماتریس تقدم-تأخر کلی بازار، بدون در نظر گرفتن ساختار درونی و خوشه‌ای دارایی‌ها.

ب - پرتفوی خوشه‌ای: (CP) مبتنی بر خوشه‌بندی هرمیتی شبکه تقدم-تأخر، که در آن، لیدرها و فالوئر‌ها درون هر خوشه شناسایی شده و پرتفوی بر اساس این ساختار ساخته می‌شود.

ج - پرتفوی خوشه‌ای تجمعی: (GCP) تلفیق لیدرها و فالوئر‌های شناسایی شده از همه‌ی خوشه‌ها در سطح کل بازار، و تشکیل یک پرتفوی یکپارچه.

شکل (۵): عملکرد تجمعی و افت سرمایه‌ی سه پرتفوی مبتنی بر روابط

تقدم-تأخر در دوره‌ی مشترک (اردیبهشت ۱۴۰۰ تا دی ۱۴۰۲)



منبع: یافته‌های تحقیق

مشاهده می‌شود که پرتفوی GCP با ثبات نسبی و روندی صعودی، بازده مثبت قابل توجهی را محقق کرده، در حالی که دو پرتفوی دیگر به بازده منفی منتهی شده‌اند. در بخش پایینی نمودار، میزان افت سرمایه‌ی هر استراتژی در طول زمان قابل مشاهده است. اگرچه پرتفوی CP نسبت به GP افت سرمایه‌ی کمتری را تجربه کرده، اما تنها GCP توانسته ضمن کنترل افت سرمایه، بازده مثبت و نسبت شارپ مطلوبی ارائه کند. جدول مقایسه‌ای عملکرد پرتفوی‌ها از منظر بازده سالانه، نوسان سالانه، بیشینه افت سرمایه و نسبت شارپ آمده است.

جدول (۹): مقایسه‌ای عملکرد پرتفوی‌های مختلف در طول زمان
مبتنی بر روش‌های تقدم-تأخر

پرتفوی	بازده سالانه	نوسان	بیشینه افت سرمایه	نسبت شارپ
GP	-۴/۱۰٪	۱۱/۸۰٪	-۱۷/۱۰٪	-۰/۵۲
CP	-۶/۰۰٪	۱۱/۵۰٪	-۱۸/۰۰٪	-۰/۶۹
GCP	۶/۰۰٪	۱۲/۰۰٪	-۱۵/۱۰٪	۰/۳۳

منبع: یافته‌های تحقیق

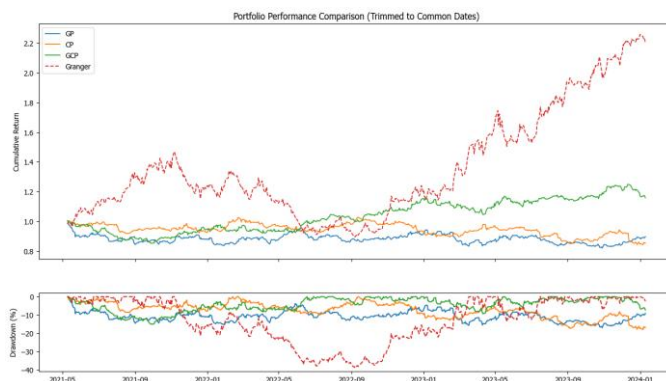
طبق این جدول، پرتفوی GCP با بازده سالانه‌ی ۶٪، نوسان ۱۲٪ و نسبت شارپ ۰/۳۳، برترین عملکرد را در میان سه استراتژی بررسی‌شده داراست. در مقابل، پرتفوی GP با افت سرمایه‌ی حداکثری ۱۷/۱٪ و بازده منفی ۴/۱٪، ضعیف‌ترین عملکرد را نشان می‌دهد.

۴-۵. مقایسه با روش گرنجر

در ادامه‌ی پژوهش، به‌منظور مقایسه عملکرد مدل تقدم-تأخر مبتنی بر ساختار هندسی بازار با یکی از روش‌های مرسوم علیت زمانی، از آزمون علیت گرنجر استفاده شد. این آزمون با حداکثر تأخیر یک ($lag = 1$) برای تمامی زوج‌نمادهای موجود در مجموعه ۳۵ سهم منتخب اجرا گردید. مقادیر p -value متناظر با آزمون F برای فرضیه‌ی صفر (عدم علیت) استخراج و برای تفسیر بهتر، به مقیاس $-\log_{10}(p)$ تبدیل شدند. در نتیجه، ماتریس مجاورتی جهت‌داری شکل گرفت که شدت رابطه‌ی علی بین نمادها را نمایش می‌دهد با اعمال آستانه معناداری ۲ (معادل $p < 0.001$)، تنها روابطی که به‌لحاظ آماری معنادار بودند در گراف نهایی باقی ماندند. گراف حاصل شامل ۳۵ گره (نماد) و ۱۵۱ یال (رابطه علی) بود. بر پایه تعداد یال‌های خروجی، نمادهایی که بیشترین تأثیرگذاری را بر سایر نمادها داشتند، به‌عنوان لیدرهای گرنجر شناسایی شدند. در این میان، هفت نماد شامل خگستر، آریان، خبهن، فارس، فولاد، صبا، آسیا در جایگاه لیدر و ۲۸ نماد دیگر به‌عنوان فالوئر طبقه‌بندی شدند. در گام بعد، با فرض استفاده از بازده روزانه‌ی لیدرها به‌عنوان سیگنال و تخصیص وزن به فالوئر‌ها بر اساس این سیگنال، یک استراتژی معاملاتی تعریف و مورد آزمون قرار گرفت. عملکرد پرتفوی حاصل در شکل و جدول نشان داده شده است.

شکل (۶): بازده تجمعی، افت سرمایه و جدول مقایسه‌ای

چهار پرتفوی شامل استراتژی گرنجر



منبع: یافته‌های تحقیق

برای مقایسه عادلانه، عملکرد چهار پرتفوی (GP، CP، GCP و Granger) در یک بازه زمانی مشترک ترسیم شده‌اند. همان‌طور که در بخش بالایی شکل مشاهده می‌شود، پرتفوی گرنجر با روندی صعودی و شتاب‌دار در نیمه دوم بازه، عملکرد فوق‌العاده‌ای از نظر سودآوری داشته و موفق به ثبت بازده سالانه‌ی ۳۶/۳٪ شده است. با این حال، این بازده بالا همراه با نوسان سالانه‌ی قابل توجه ۲۵/۹٪ و بیشینه افت سرمایه‌ی ۳۹٪ بوده که نشان از ریسک بسیار بالای این استراتژی دارد. نسبت شارپ این پرتفوی برابر ۱.۳۲ برآورد شده که اگرچه از سایر پرتفوی‌ها بالاتر است، اما باید در پرتو رفتار نوسانی و افت سرمایه قابل توجه آن تفسیر شود.

جدول (۱۰): مقایسه‌ای عملکرد پرتفوی‌های مبتنی بر

روش‌های تقدم-تأخر با استراتژی گرنجر

پرتفوی	بازده سالانه	نوسان	بیشینه افت سرمایه	نسبت شارپ
GP	-٪ ۴/۱۰	٪ ۱۱/۸۰	-٪ ۱۷/۱۰	- ۰/۵۲
CP	-٪ ۶/۰۰	٪ ۱۱/۵۰	-٪ ۱۸/۰۰	- ۰/۶۹
GCP	٪ ۶/۰۰	٪ ۱۲/۰۰	-٪ ۱۵/۱۰	۰/۳۳
Granger	٪ ۳۶/۳	٪ ۲۵/۹	-٪ ۳۹/۰۰	۱/۳۲

منبع: یافته‌های تحقیق

در مقابل، پرتفوی پیشنهادی این پژوهش یعنی GCP با بازده سالانه ۶٪ نوسان نسبتاً کنترل شده (۱۲٪) و بیشینه افت سرمایه (۱۵/۱٪)، عملکردی پایدارتر با نسبت شارپ ۰.۳۳ داشته است. دو پرتفوی دیگر یعنی GP و CP به ترتیب با بازده‌های منفی ۴/۱٪ و ۶٪-، عملکرد ضعیف‌تری نشان دادند و هر دو دارای نسبت شارپ منفی بودند. در ادامه، برای تحلیل دقیق‌تر ساختار شبکه علیت گرنجر و شناسایی نمادهای تأثیرگذار، میانگین نمره گرنجر هر نماد (میانگین سطر متناظر آن در ماتریس گرنجر) به عنوان شاخصی از میزان لیدر بودن در نظر گرفته شد. پنج نماد برتر از این نظر در جدول گزارش شده‌اند.

جدول (۱۱): رتبه‌بندی پنج نماد برتر از نظر لیدر بودن در شبکه گرنجر

رتبه	نماد	امتیاز لیدر بودن
۱	خگستر	۱/۴۹۳
۲	خبهن	۱/۴۲۲
۳	صبا	۱/۴۱
۴	آریان	۱/۴۰۳
۵	خساپا	۱/۳۵۴

منبع: یافته‌های تحقیق

این نتایج نشان می‌دهند که نمادهای خودرویی (نظیر خگستر، خبهمن، خساپا) و سرمایه‌گذاری‌ها (صبا، آریان) در هر دو روش تقدم-تأخر و گرنجر، در جایگاه لیدر ظاهر شده‌اند. این هم‌پوشانی ساختاری میان مدل پیشنهادی و روش سنتی، حاکی از پایداری نقش رهبری این نمادها در بازار سرمایه ایران است و به افزایش اعتبار نتایج مدل تقدم-تأخر مبتنی بر هندسه‌ی بازار کمک می‌کند.

۴-۶. ارزیابی روش تابع همبستگی با تأخیر برای استخراج روابط تقدم-تأخر

در این بخش، به منظور مقایسه عملکرد روش‌های تقدم-تأخر پیچیده با یک روش ساده و سنتی آماری، از تحلیل تابع همبستگی با تأخیر استفاده شد. این روش، با بهره‌گیری از ضریب همبستگی پیرسون بین بازده نمادها در زمان t و $t-1$ ، سعی دارد ساختاری از تأثیر زمانی بین نمادها ترسیم کند. برای این منظور، ماتریسی با ابعاد $n \times n$ (تعداد نمادها) ایجاد شد که در آن عنصر (i, j) نشان‌دهنده ضریب همبستگی بین بازده نماد i در روز t و بازده نماد j در روز قبل $t-1$ است. این مقدار نشان می‌دهد که تا چه حد بازده سهم j در گذشته می‌تواند

پیش‌بینی‌کننده‌ای برای رفتار سهم t در حال حاضر باشد. سپس برای استخراج لیدرها، میانگین سطری این ماتریس محاسبه و نمادها بر اساس آن رتبه‌بندی شدند. پنج نماد برتر از منظر لیدر بودن در جدول زیر آمده است.

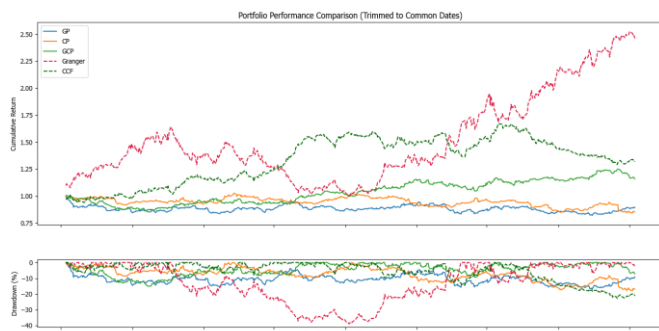
جدول (۱۲): رتبه‌بندی پنج نماد برتر از نظر لیدر بودن در شبکه CCF

رتبه	نماد	امتیاز لیدر بودن
۱	وخارزم	۰/۴۶۱۲۷
۲	وتجارت	۰/۴۴۴۹۱
۳	خگستر	۰/۴۳۸۴۷
۴	خبهمن	۰/۴۳۷۲۹
۵	وبصادر	۰/۴۳۷۲۴

منبع: یافته‌های تحقیق

در ادامه، ۲۰٪ بالایی رتبه‌بندی به‌عنوان لیدر و ۲۰٪ پایینی به‌عنوان فالوئر در نظر گرفته شدند. سپس یک استراتژی مشابه سایر روش‌های پژوهش تعریف شد: در هر روز، اگر بازده میانگین لیدرها مثبت بود، پرتفوی از فالوئرها در روز بعد نگهداری می‌شد و بالعکس. به‌این ترتیب، سری زمانی بازده پرتفوی CCF تولید شد. نتایج حاصل از این استراتژی در شکل نمایش داده شده است. در این شکل، بازده تجمعی (بالا)، افت سرمایه (میانه) و در جدول مقایسه معیارهای عملکردی (پایین) برای پنج استراتژی مورد بررسی آمده است. در اینجا نکته‌ای ضروری وجود دارد که برای مقایسه منصفانه بین همه استراتژی‌ها، بازه‌ی زمانی مشترک بین پنج پرتفوی انتخاب شده است. این بازه، تلاقی تاریخ‌هایی است که داده‌های همه‌ی استراتژی‌ها در آن موجود بوده است. لذا ممکن است مقادیر شاخص‌های عملکرد، به‌ویژه برای پرتفوی گرنجر، با مقادیری که در جدول مستقل عملکرد گرنجر (جدول جدول) گزارش شده بود تفاوت داشته باشد. علت این اختلاف، نه تغییر در ساختار پرتفوی بلکه صرفاً تغییر در بازه‌ی زمانی محاسبه است.

شکل (۷): عملکرد پرتفوی‌های مختلف در طول زمان
(مبتنی بر روش‌های تقدم-تاخر و مقایسه با Granger و CCF)



منبع: یافته‌های تحقیق

پرتفوی CCF در بخش عمده‌ای از دوره‌ی مورد بررسی، روندی صعودی و نسبتاً پایدار داشته و توانسته بازدهی سالانه ۱۱/۵٪ ایجاد کند. با وجود نوسان نسبتاً بالا (۱۵/۵٪) ذنسبت شارپ آن برابر با ۰/۶۱ بوده که از همه روش‌های سنتی (GP, CP, Granger) بهتر و حتی به GCP نزدیک‌تر است. در مقابل، استراتژی مبتنی بر گرنجر در این بازه زمانی، با وجود ثبت بازده سالانه چشمگیر ۴۲/۴٪، افت سرمایه نسبتاً بالایی برابر با ۳۹٪ داشته که نشان از رفتار نوسانی و پرریسک آن دارد.

جدول (۱۳): مقایسه‌ای عملکرد پرتفوی‌های مبتنی بر روش‌های تقدم-تاخر
با استراتژی گرنجر و CCF

پرتفوی	بازده سالانه	نوسان	بیشینه افت سرمایه	نسبت شارپ
GP	-۴/۱۰٪	۱۱/۸۰٪	-۱۷/۱۰٪	-۰/۵۲
CP	-۶/۰۰٪	۱۱/۵۰٪	-۱۸/۰۰٪	-۰/۶۹
GCP	۶/۰۰٪	۱۲/۰۰٪	-۱۵/۱۰٪	۰/۳۳
Granger	۴۲/۴٪	۲۵/۹٪	-۳۹/۰۰٪	۱/۵۶
CCF	۱۱/۵٪	۱۵/۵٪	-۲۲/۸٪	۰/۶۱

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که جدول و شکل نشان می‌دهند، استراتژی مبتنی بر CCF علی‌رغم سادگی روش، توانسته عملکرد قابل قبولی داشته باشد و حتی از نظر نسبت شارپ، دومین استراتژی موفق بعد از گرنجر باشد. این امر بیانگر آن است که در غیاب روش‌های پیچیده‌تر مانند هرمیتی یا

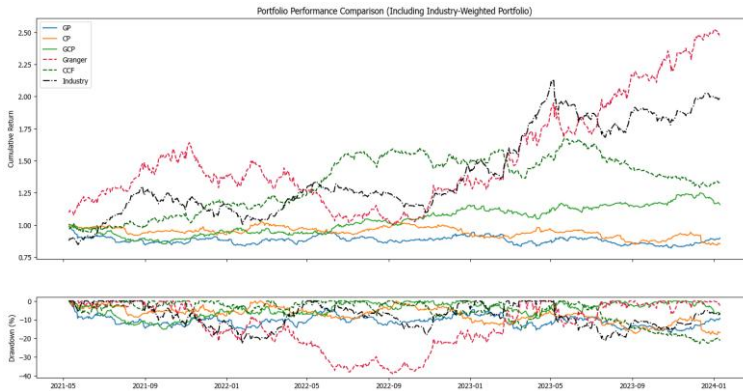
گراف‌های تقدم-تأخر، استفاده از همبستگی تأخیردار نیز می‌تواند اطلاعات مؤثری برای انتخاب لیدر و پیش‌بینی جهت بازار فراهم کند. با این حال، افت سرمایه نسبتاً بالای این روش (۲۲/۸٪) نشان می‌دهد که کنترل ریسک در آن نسبت به GCP یا حتی GP ضعیف‌تر است.

۴-۷. مقایسه عملکرد پرتفوی‌ها با لحاظ پرتفوی وزن‌دهی صنایع^۱

در گام پایانی، به منظور بررسی این پرسش که آیا ترکیب ساده‌ای از صنایع بازار نیز می‌تواند عملکرد قابل قبولی در برابر استراتژی‌های مبتنی بر تقدم-تأخر داشته باشد، یک پرتفوی سنتی با وزن‌دهی بر اساس ارزش بازار صنایع طراحی شد. در این رویکرد، بازده روزانه هر صنعت به صورت میانگین بازده نمادهای منتخب آن صنعت محاسبه شده و سپس با استفاده از نسبت ارزش بازار آن صنعت به کل بازار، وزن‌دهی انجام شد. در نهایت، بازده روزانه پرتفوی از جمعیت وزنی بازده صنایع به دست آمد و با فرض سرمایه‌گذاری روزانه، بازده تجمعی (PnL) آن استخراج شد. نتایج این پرتفوی در کنار پنج استراتژی پیشین در شکل قابل مشاهده است. در بخش بالایی، عملکرد تجمعی شش استراتژی نمایش داده شده، بخش پایینی افت سرمایه و نیز جدول مقایسه معیارهای عملکرد را نشان می‌دهد. در این مقایسه، پرتفوی مبتنی بر وزن‌دهی صنایع با بازده سالانه ۳۱/۳٪ و نسبت شارپ ۱.۵۱ عملکرد بسیار مطلوبی از خود نشان داده است. هرچند نوسان آن نسبتاً بالا و برابر ۱۹/۴٪ بوده، اما این میزان ریسک در برابر بازده حاصل، کاملاً توجیه‌پذیر به نظر می‌رسد. همچنین بیشینه افت سرمایه این استراتژی برابر با ۲۲/۷٪ گزارش شده که در مقایسه با استراتژی‌های تقدم-تأخر مانند GCP (۱۵/۱٪) و CCF (۲۲/۸٪) در محدوده قابل قبولی قرار دارد.

^۱. Industry-Weighted (IW)

شکل (۸): مقایسه عملکرد شش پرتفوی مختلف در طول زمان
(شامل روش‌های تقدم-تأخر، CCF، Granger و Industry-Weighted)



منبع: یافته‌های تحقیق

این نتایج نشان می‌دهد که وزن‌دهی بر اساس صنایع و استفاده از داده‌های بنیادی بازار می‌تواند به اندازه برخی روش‌های داده‌محور پیچیده عملکرد خوبی داشته باشد. در واقع، پرتفوی صنایع وزن‌دهی شده در این پژوهش از نظر بازده و نسبت شارپ، بالاتر از تمامی پرتفوی‌ها (شامل GCP و CCF) قرار گرفته و از این جهت باید به‌عنوان یک رقیب جدی برای استراتژی‌های هوشمند تلقی شود.

جدول (۱۴): جدول نهایی مقایسه عملکرد استراتژی‌های

مبتنی بر تقدم-تأخر و روش‌های سنتی

پرتفوی	بازده سالانه	نوسان	بیشینه افت سرمایه	نسبت شارپ
GP	-٪ ۴/۱۰	٪ ۱۱/۸۰	-٪ ۱۷/۱۰	- ۰/۵۲
CP	-٪ ۶/۰۰	٪ ۱۱/۵۰	-٪ ۱۸/۰۰	- ۰/۶۹
GCP	٪ ۶/۰۰	٪ ۱۲/۰۰	-٪ ۱۵/۱۰	۰/۳۳
Granger	٪ ۴۲/۴	٪ ۲۵/۹	-٪ ۳۹/۰۰	۱/۵۶
CCF	٪ ۱۱/۵	٪ ۱۵/۵	-٪ ۲۲/۸	۰/۶۱
IW	٪ ۳۱/۳	٪ ۱۹/۴	-٪ ۲۲/۷	۱/۵۱

منبع: یافته‌های تحقیق

۴-۸. تحلیل درون‌صنعتی لیدرها در روش‌های مختلف

پس از شناسایی لیدرها با استفاده از روش‌های مختلف، در این بخش به تحلیل ساختار صنعتی لیدرها پرداخته شد. به بیان دیگر، هدف آن بود که بررسی شود سهم لیدرها در هر صنعت چگونه توزیع شده‌اند و آیا میان روش‌های مختلف، الگو یا اشتراک معناداری از نظر صنعتی وجود دارد یا خیر. برای این منظور، برای هر روش، نمادهایی که به‌عنوان لیدر شناسایی شده بودند، استخراج و به کمک یک نگاشت به صنعت مربوطه تخصیص داده شدند. سپس تعداد دفعاتی که هر صنعت در بین لیدرهای شناسایی‌شده ظاهر شده بود، محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده در جدول زیر نمایش داده شده است. همان‌طور که جدول فوق نشان می‌دهد، در میان تمام روش‌ها، چهار صنعت بیمه، فلزات، سیمان و شیمیایی بالاترین تعداد دفعات لیدر بودن را دارند. به‌ویژه در روش‌های پیچیده‌تر مانند GCP، CP و GP، این صنایع سهم قابل توجهی از لیدرها را به خود اختصاص داده‌اند. صنعت بیمه با مجموع ۲۱۸۳ تکرار در رتبه اول قرار دارد، اما جالب آن است که در روش‌های سنتی‌تر مانند Granger و CCF تقریباً حضور ندارد. به‌صورت مشابه، شیمیایی با بیشترین فراوانی در روش GP و فلزات نیز با توزیع نسبتاً یکنواخت در سه روش تقدم-تأخر، عملکردی قوی به‌عنوان صنعت لیدر از خود نشان داده‌اند. صنعت سرمایه‌گذاری نیز با مجموع ۱۹۸۲ تکرار در جایگاه پنجم قرار دارد، اما برخلاف چهار صنعت بالا، در روش‌های Granger و CCF نیز حضوری پررنگ‌تر داشته است (هر کدام با ۲ تکرار). این موضوع می‌تواند بیانگر پایداری نقش لیدری صنعت سرمایه‌گذاری در روش‌های متفاوت باشد. از سوی دیگر، صنعت خودرو نیز با ۱۴۸۱ تکرار جایگاه نسبتاً متوسطی دارد ولی نکته مهم در مورد آن، حضور تکراری در همه‌ی روش‌ها از جمله Granger و CCF است. این می‌تواند نشانگر همگرایی میان روش‌های پیچیده و سنتی در شناسایی برخی لیدرهای کلیدی از این صنعت باشد. نهایتاً، صنعت بانک با کمترین میزان لیدر بودن (۱۱۹۸ بار) در انتهای جدول قرار دارد و سهم آن در روش‌های مبتنی بر تقدم-تأخر نسبت به سایر صنایع بسیار کمتر است، اگرچه در روش CCF تا حدی پررنگ‌تر شده است.

جدول (۱۵): تحلیل درون‌صنعتی لیدرها در روش‌های مختلف شناسایی تقدم-تأخر

صنعت	GP	CP	GCP	Granger	CCF	مجموع کل
بیمه	۱۰۴۶	۵۶۸	۵۶۸	۱	۰	۲۱۸۳
فلزات	۸۲۹	۶۷۶	۶۷۶	۱	۱	۲۱۸۳

سیمان	۹۴۴	۵۹۷	۵۹۷	۰	۰	۲۱۳۸
شیمیایی	۱۰۶۸	۵۳۳	۵۳۳	۱	۰	۲۱۳۵
سرمایه‌گذاری	۸۶۸	۵۵۵	۵۵۵	۲	۲	۱۹۸۲
خودرو	۷۲۵	۳۷۶	۳۷۶	۲	۲	۱۴۸۱
بانک	۶۴۸	۲۷۴	۲۷۴	۰	۲	۱۱۹۸

منبع: یافته‌های تحقیق

این تحلیل نشان داد که بین روش‌های مختلف، در سطح صنعت، اشتراکات قابل توجهی وجود دارد. صنایع شیمیایی، سیمان و فلزات به‌صورت پایدار در جایگاه لیدرها ظاهر شده‌اند، به‌ویژه در روش‌های پیشرفته‌تر مبتنی بر یادگیری بدون نظارت. حضور پایین‌تر برخی صنایع در روش‌های سنتی مانند Granger و CCF نیز می‌تواند ناشی از ناتوانی این روش‌ها در شناسایی روابط پیچیده‌تر میان نمادها باشد. در مجموع، این یافته‌ها حاکی از آن است که برخی ساختارهای تقدم-تأخر در بازار نه تنها در سطح نماد، بلکه در سطح صنعت نیز تکرارپذیر هستند و می‌توان از این الگوها در توسعه استراتژی‌های سرمایه‌گذاری استفاده کرد.

۴-۹. تحلیل روابط تقدم-تأخر بین صنایع (بر مبنای مدل لوی)

در مرحله‌ی نهایی این پژوهش، تحلیل روابط تقدم-تأخر از سطح نمادها به سطح صنعت تعمیم داده شد تا بررسی شود آیا ساختارهای مشابهی میان صنایع بازار سرمایه ایران نیز وجود دارد یا خیر. برای این منظور، ابتدا برای هر صنعت منتخب، میانگین زمانی قیمت نمادهای آن صنعت محاسبه و یک ماتریس قیمت برای ۷ صنعت اصلی شامل فلزات، سرمایه‌گذاری، شیمیایی، بانک، بیمه، خودرو و سیمان ساخته شد. این سری‌های قیمتی به مدل لوی معرفی شدند. مدل لوی، که مبتنی بر امضای مسیر و اندازه‌گیری تغییرات مسیر قیمت‌ها در فضای ویژگی‌هاست، برای استخراج ماتریس تقدم-تأخر بین صنایع به کار گرفته شد. خروجی این مدل، یک ماتریس 7×7 است که در آن عنصر (i, j) بیانگر تأثیر لیدری صنعت j بر صنعت i است؛ به عبارتی، اگر مقدار عنصر (i, j) بزرگ‌تر باشد، صنعت j توانایی بیشتری در پیش‌بینی حرکات آتی صنعت i دارد. میانگین سطری این ماتریس به‌عنوان امتیاز لیدر بودن هر صنعت محاسبه شد. نتایج حاصل به صورت جدول است. بررسی ماتریس تقدم-تأخر در سطح صنعت نشان داد که صنایع شیمیایی، سیمان و سرمایه‌گذاری از بیشترین پتانسیل لیدری برخوردار هستند. در مقابل، صنایع خودرو، فلزات و بیمه بیشتر در موقعیت فالوئر قرار دارند. این تحلیل می‌تواند برای

سرمایه‌گذاران نهادی، مدیران پرتفوی و تحلیلگران کلان بازار ارزشمند باشد، چرا که به آن‌ها کمک می‌کند تا ابتدا روند صنایع لیدر را پایش و سپس تصمیمات خود را در صنایع فالوئر تنظیم کنند. همچنین، حضور برخی صنایع (نظیر شیمیایی و سیمان) در موقعیت لیدری با یافته‌های سایر مدل‌های پژوهش نیز همراستا بوده و از پایداری نقش پیش‌نگر آن‌ها حکایت دارد.

جدول (۱۶): رتبه‌بندی صنایع از نظر لیدر بودن (مبتنی بر مدل لوی)

رتبه	صنعت	امتیاز لیدر بودن
۱	شیمیایی	۱۲/۶۷
۲	سیمان	۹/۲۶
۳	سرمایه‌گذاری	۶/۴۹
۴	بانک	۵/۴-
۵	بیمه	۶/۴۸-
۶	فلزات	۶/۹۶-
۷	خودرو	۹/۵۸-

منبع: یافته‌های تحقیق

برای شناسایی الگوهای مشترک در بین روش‌های مختلف، تحلیل درون‌صنعتی و بین‌صنعتی برای هر استراتژی انجام و در جدول (۱۷): تجمیع شد. منظور از تحلیل درون‌صنعتی، شمارش دفعات لیدر شدن هر صنعت بر اساس نمادهای زیرمجموعه آن است. در مقابل، تحلیل بین‌صنعتی با استفاده از میانگین قیمت صنعت و بر اساس ماتریس تقدم-تاخر حاصل از مدل لوی صورت گرفته است. نتایج به صورت جدول (۱۷): تجمیع شده‌اند.

جدول (۱۷): مقایسه نتایج بین روش‌ها در سطح صنعت

صنعت	GP	CP	GCP	Granger	CCF	لوی (میانگین لیدر بودن)
شیمیایی	۱۰۶۸	۵۳۳	۵۳۳	۱	۰	۱۲/۶۷
سیمان	۹۴۴	۵۹۷	۵۹۷	۰	۰	۹/۲۶
سرمایه‌گذاری	۸۶۸	۵۵۵	۵۵۵	۲	۲	۶/۴۹
بانک	۶۴۸	۲۷۴	۲۷۴	۰	۲	۵/۴-
بیمه	۱۰۴۶	۵۶۸	۵۶۸	۱	۰	۶/۴۸-
فلزات	۸۲۹	۶۷۶	۶۷۶	۱	۱	۶/۹۶-
خودرو	۷۲۵	۳۷۶	۳۷۶	۲	۲	۹/۵۸-

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج این جدول نشان دهنده پایداری نقش لیدری در صنایع شیمیایی و سیمان است. این دو صنعت در تمامی روش‌های مبتنی بر تقدم-تأخر (GP، CP، GCP) بیشترین تعداد لیدرها را داشته‌اند و در تحلیل بین‌صنعتی (لوی) نیز امتیاز لیدر بودن بالایی کسب کرده‌اند. این پایداری می‌تواند نشان‌دهنده‌ی آن باشد که صنایع فوق از لحاظ اطلاعاتی جلوتر از سایر صنایع حرکت می‌کنند. همچنین براساس این نتایج صنعت سرمایه‌گذاری در اغلب روش‌ها حضور پررنگی در بین لیدرها داشته است و در تحلیل لوی نیز امتیاز قابل قبولی دارد. با توجه به ماهیت چندوجهی شرکت‌های سرمایه‌گذاری، احتمالاً آن‌ها از منظر اطلاعاتی نسبت به سایرین پیشروتر هستند. در نهایت صنایع بانک، بیمه، فلزات و خودرو در اغلب روش‌ها نقش‌های پایین‌تری در لیدری داشته‌اند. به‌ویژه، صنعت خودرو که در تحلیل لوی کمترین امتیاز لیدری را کسب کرده است، معمولاً در نقش واکنشی به بازار ظاهر می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی روابط تقدم-تأخر میان نمادهای فعال در بازار سرمایه ایران و ارائه‌ی استراتژی‌های سرمایه‌گذاری مبتنی بر این روابط انجام شد. در این راستا، از مجموعه‌ای از روش‌های پیشرفته و سنتی برای شناسایی لیدرها و طراحی پرتفوی بهره گرفته شد. روش‌های اصلی شامل گراف تقدم-تأخر مبتنی بر امضای مسیر (GP)، همبستگی خوشه‌ای (CP)، ترکیب دو روش مذکور (GCP)، مدل علیت گرنجر، تحلیل همبستگی تأخیردار (CCF)، و در نهایت مدل لوی در سطح صنایع بودند. نتایج حاصل از پیاده‌سازی و ارزیابی پرتفوی‌ها نشان داد که:

۱. روش GCP با بازده سالانه ۶٪ و نسبت شارپ ۰/۳۳، در میان روش‌های سنتی عملکرد نسبتاً بهتری دارد.
۲. در نقطه‌ی مقابل، روش‌های GP، CP و گرنجر با بازدهی منفی و نسبت شارپ پایین، اثربخشی لازم در بازار سرمایه ایران را نشان ندادند.
۳. روش CCF که مبتنی بر همبستگی تأخیردار ساده است، با بازده سالانه ۱۱/۵٪ و نسبت شارپ ۰/۶۱ عملکرد بسیار مطلوبی داشت و حتی از گرنجر و سایر روش‌های سنتی فراتر رفت.

۴. با این حال، بهترین عملکرد کلی مربوط به روش پرتفوی صنایع وزن‌دهی شده بود که با ترکیب وزن‌های صنایع بر اساس روابط تقدم-تأخر، توانست بازده سالانه $۳۱/۳\%$ و نسبت شارپ $۱/۵۱$ را ثبت کند.

این امر نشان می‌دهد که توجه به ساختار بین‌صنعتی بازار و ردیابی جریان اطلاعات از سطح صنایع، می‌تواند منجر به طراحی استراتژی‌هایی با ریسک کمتر و بازده بیشتر شود. از منظر تحلیل درون‌صنعتی، مشاهده شد که صنایعی مانند بیمه، فلزات، سیمان و شیمیایی، در اغلب روش‌ها دارای بیشترین تکرار در موقعیت لیدر بوده‌اند. این پایداری رفتاری می‌تواند ناشی از ماهیت اطلاعاتی، نقدشوندگی، ساختار مالکیتی یا جایگاه راهبری این صنایع در اقتصاد کشور باشد. به‌ویژه صنایع شیمیایی و فلزات در روش‌های مبتنی بر ساختارهای گرافی مانند GCP و GP، به‌طور مکرر در نقش لیدر ظاهر شدند. از سوی دیگر، با استفاده از مدل لوی، ساختار بین‌صنعتی بازار بررسی شد. در این تحلیل، صنایع شیمیایی، سیمان و سرمایه‌گذاری به ترتیب در بالاترین سطوح لیدری قرار گرفتند. نمودار شبکه تقدم-تأخر بین صنایع نیز نشان داد که جریان اطلاعات به‌طور معناداری از صنایع بزرگ و بنیادی (مانند شیمیایی و سیمان) به سایر صنایع حرکت می‌کند. این یافته، تحلیل‌های درون‌صنعتی را تأیید کرده و دلالت بر هم‌راستایی روابط ریزساختاری در سطح نمادها با روابط کلان‌تر در سطح صنایع دارد. این پژوهش با تمرکز بر کشف روابط زمانی میان دارایی‌ها، نشان داد که اطلاعات موجود در ساختار تقدم-تأخر بازار می‌تواند ابزار قدرتمندی برای طراحی استراتژی‌های پویا باشد. سرمایه‌گذاران نهادی و مدیران پرتفوی می‌توانند از مدل‌هایی مانند GCP برای پیش‌بینی رفتار آینده بازار بهره‌برداری کنند، بدون نیاز به پیش‌فرض‌های خطی یا ایستا. همچنین مشاهده شد که حتی روش‌هایی ساده‌تر مانند CCF نیز، اگر به درستی پیاده‌سازی شوند، توانایی ایجاد بازدهی مناسب را دارند. با این حال، روش‌های نوین مانند خوشه‌بندی هرمیتی و امضای مسیر، ضمن افزایش بازدهی، کنترل بهتری نیز بر ریسک فراهم می‌کنند. نکته‌ی کلیدی دیگر آن است که ساختار تقدم-تأخر بین صنایع یکی از مهم‌ترین عوامل پنهان در عملکرد پرتفوی‌هاست. استفاده از این اطلاعات، حتی بدون ورود به سطح نمادها، می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری استراتژیک سرمایه‌گذاری باشد. در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر بر این نکته تأکید دارند که استفاده هوشمندانه از روابط زمانی در داده‌های بازار، می‌تواند مزیت رقابتی معناداری برای فعالان حرفه‌ای بازار فراهم سازد.

یافته‌ها نشان می‌دهند که روابط استخراج‌شده نه تنها از منظر ساختاری پایدارند (ثبات رتبه‌های تقدم-تأخر در پنجره‌های متوالی)، بلکه از نظر اقتصادی نیز معنادارند. زیرا پرتفوی‌های مبتنی بر این ساختارها در مقایسه با رویکردهای مرجع، الگوهای عملکردی سازگار و نسبت‌های ریسک-بازده مطلوب ارائه می‌دهند. این شواهد، بدون اتکا به آزمون‌های استنباطی پر حجم برای هر پیوند، به‌طور شفاف نشان می‌دهد که سیگنال تقدم-تأخر استخراج‌شده از چارچوب امضای مسیر واجد محتوای اطلاعاتی بوده و قابلیت به کارگیری در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری را داراست. با توجه به یافته‌های تحقیق، پیشنهاد‌های زیر برای ادامه‌ی مسیر پژوهش ارائه می‌شود.

۱. بررسی پایداری روابط تقدم-تأخر در بازه‌های زمانی متفاوت (مانند دوره‌های نزولی یا نوسانی بازار) و سنجش پایداری لیدرها در شرایط مختلف.

۲. گسترش تحلیل‌ها به بازارهای جهانی یا مقایسه ساختار تقدم-تأخر بازار ایران با سایر بازارهای نوظهور.

۳. استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، به‌ویژه مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی برای تقویت ساختار گرافی تقدم-تأخر.

۴. بررسی اثرات تقدم-تأخر بر سایر متغیرهای بازار مانند حجم معاملات، نسبت P/E یا نسبت‌های مالی دیگر.

۵. ترکیب تقدم-تأخر با فاکتورهای رفتاری (نظیر احساسات بازار، اخبار اقتصادی، ترندهای شبکه‌های اجتماعی) برای بهبود پیش‌بینی پرتفوی‌ها.

این پژوهش گام مهمی در استفاده از ساختارهای زمانی و علیتی بین دارایی‌ها در طراحی پرتفوی‌های پویا بوده و می‌تواند مبنایی نظری و عملی برای توسعه‌ی ابزارهای مدیریت سرمایه در بازارهای نوظهور باشد.

Reference

Aghababayi, R. & Rezaei, A. (2019). Analyzing lead-lag relationships between industry returns in Tehran Stock Exchange: A VAR model approach. *Behavioral Financial Studies*, 3(2), 55–74. [In Persian]

- Bartbour, M. Emamvirdi, G. Mahmoudzadeh, M. & Saltina, P. (2024). Analyzing the interaction between leading stocks and exchange rate shocks using network analysis and VAR-GARCH: Evidence from the Tehran Stock Exchange. *Iranian Journal of Economic Studies*, 13(1), 97–122. [In Persian]
- Boudt, K. Cornelissen, J. & Laurent, S. (2017). Multivariate lead–lag relationships: A copula approach. *Journal of Banking & Finance*, 80, 100–114.
- Box, G. E. & Jenkins, G. M. (1976). Time series analysis: Forecasting and control. *Holden-Day*.
- Chordia, T. Roll, R. & Subrahmanyam, A. (2005). Evidence on the speed of convergence to market efficiency. *Journal of Financial Economics*, 76(2), 271–292.
- Engle, R. F. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), 339–350.
- Friz, P. & Victoir, N. (2010). Multidimensional stochastic processes as rough paths: Theory and applications. *Cambridge University Press*.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438.
- Hong, H. & Stein, J. C. (1999). A unified theory of underreaction, momentum trading, and overreaction in asset markets. *The Journal of Finance*, 54(6), 2143–2184.
- Jegadeesh, N. & Titman, S. (1993). Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *The Journal of Finance*, 48(1), 65–91.
- Lo, A. W. & MacKinlay, A. C. (1990). An econometric analysis of nonsynchronous trading. *Journal of Econometrics*, 45(1-2), 181–211.
- Lo, A. W. & MacKinlay, A. C. (1990). When are contrarian profits due to stock market overreaction? *Review of Financial Studies*, 3(2), 175–205.
- Lyons, T. (2014). Rough paths, signatures and the modelling of functions on streams. *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*.
- Malliaros, F. D. & Vazirgiannis, M. (2013). Clustering and community detection in directed networks: A survey. *Physics Reports*, 533(4), 95–142.
- Nourbakhsh, A. Taheri, M. & Saeedi, F. (2021). Examining lead–lag relationships between selected industry indices of Tehran Stock Exchange using Granger causality test. *Financial Research Journal*, 23(93), 67–88. [In Persian]

Taleblou, B. Kaviani, S. & Mousavi, M. (2022). Identifying leading stocks in Tehran Stock Exchange using complex networks and graph analysis. *Quarterly Journal of Behavioral Finance*, 5(2), 43–62. [In Persian]

Taleblou, R. and Mohajeri, P. (2022). Connectedness and Risk Spillovers in Iranian Stock Market: Using TVP-VAR in a Sectoral Analysis. *Journal of Econometric Modelling*, 7(3), 95-125. [In Persian]