10.30497/IFR.2021.240229.1592

*Bi-quarterly Scientific Journal of Islamic Finance Researches, Research Article,*
*Vol. 10, No. 1 (Serial 19), Autumn 2020 & Winter 2021*

# Portfolio Management Based on the Topology of the Iranian Stock Market Network

**Samad Sedaghati**[*]
**Ruhollah Farhadi**[**]
**Mirfeyz Fallah Shams Liyalestani**[***]

Received: 28/12/2020
Accepted: 21/05/2021

## Abstract

The stock market is a complex financial system with heterogeneous members; it can produce huge amounts of data. It is clear that analyzing this huge data and inferring practical results from that creates a significant competitive advantage for its participants. One method of analyzing financial market data expanded significantly after the global financial crisis is complex network-based analysis that considers the structure of interdependencies of a system's members. Therefore, the current study analyzes the Iranian stock market using the graph theory in mathematics. First, the correlation network of stock market groups is constructed in three time scales of daily, seasonal and annual, and then their topology will be compared. In the next stage, using the centrality indexes in the graph theory, the importance of each market group is calculated and the groups are ranked in the network. The results of this study have significant implications for market participants and regulators for making investment decisions, regulating and controlling risk.

## Keywords

Complex Network, Graph Theory, Centrality Indexes, Stock Market Network, Stock Market Topology.
JEL Classification: G4, G11, G17.

[*] Ph.D. Candidate, Islamic Azad University (Central Tehran Branch), Tehran, Iran (Corresponding Author). samadsedaghati@iauctb.ac.ir 0000-0002-0016-6778

[**] Assistant Professor of Financial Management, Islamic Azad University (Central Tehran Branch), Tehran, Iran. r,farhadi@iauctb.ac.ir 0000-0002-8279-0813

[***] Assistant Professor of Financial Management (Central Tehran Branch), Tehran, Iran. mir.Fallahshams@iauctb.ac.ir 0000-0001-7989-8703

10.30497/IFR.2021.240229.1592

دو فصلنامه علمی «تحقیقات مالی اسلامی»، مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول (پیاپی ۱۹)، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، صص. ۱۵۱-۱۸۶

# مدیریت پرتفوی براساس توپولوژی شبکه بازار سهام ایران

صمد صداقتی *
روح‌اله فرهادی **
میرفیض فلاح‌شمس لیالستانی ***

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۳۱

مقاله برای اصلاح به مدت ۱۲ روز نزد نویسنده(گان) بوده است.

## چکیده

بازار سهام یک سیستم مالی پیچیده با اعضایی ناهمگن است که حجم عظیمی از داده‌ها در آن تولید می‌شود و پیداست که توانایی تحلیل این داده‌های عظیم و استنتاج نتایج کاربردی از آن‌یک مزیت رقابتی قابل‌توجه برای مشارکت‌کنندگان آن ایجاد می‌کند. یکی از روش‌های تحلیل داده‌های بازارهای مالی که پس از بحران مالی جهانی گسترش چشم‌گیر داشت، تحلیل‌های مبتنی‌بر شبکه‌های پیچیده است که ساختار وابستگی‌های متقابل اعضای یک سیستم را در نظر می‌گیرد. ازاین‌رو در تحقیق حاضر، بازار سهام ایران با استفاده از نظریه گراف در ریاضیات مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است. ابتدا شبکه همبستگی گروه‌های بازار سهام در سه مقیاس زمانی روزانه، فصلی و سالانه ساخته‌شده و سپس توپولوژی آنها مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. پس‌ازآن با استفاده از معیارهای مرکزیت در نظریه گراف، درجه اهمیت هر یک از گروه‌های بازار محاسبه‌شده و گروه‌ها ازنظر اهمیتی که در شبکه دارند رتبه‌بندی می‌شوند. نتایج تحقیق مضامین قابل‌توجهی برای مشارکت‌کنندگان بازار و نهادهای ناظر، به‌منظور اتخاذ تصمیمات سرمایه‌گذاری، مقررات‌گذاری و کنترل ریسک دارد.

## واژگان کلیدی

شبکه پیچیده؛ نظریه گراف؛ معیارهای مرکزیت؛ شبکه بازار سهام؛ توپولوژی بازار سهام.

طبقه‌بندی JEL: G17, G11, G4.

* دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
samadsedaghati@iauctb.ac.ir 0000-0002-0016-6778

** استادیار گروه مدیریت مالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
r.farhadi@iauctb.ac.ir 0000-0002-8279-0813

***استادیار گروه مدیریت مالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
mir.Fallah shams@iauctb.ac.ir 0000-0001-7989-8703

**مقدمه**

اهمیت نوآوری برای دستیابی به موفقیت در بازارهای مالی امروزه به‌طور فزاینده‌ای روشن‌شده است و داده‌های مالی عظیم در حوزه‌های مربوطه می‌تواند اطلاعات مهمی برای خلق نوآوری فراهم کند. یکی از اهداف نهایی تجزیه‌وتحلیل داده‌های مالی، استنتاج و تحصیل نتایج درست از داده‌های خام به‌منظور به‌دست‌آوردن یک مزیت رقابتی است. در بخش مالی، داده‌ها دارای ارزش بسیار زیاد، اما پیچیده و پرآشوب هستند که تجزیه‌وتحلیل‌های مؤثر و کارآمد هنوز هم چالشی است که بخش مالی درگیر آن است. علاوه‌براین، تجزیه‌وتحلیل روابط میان داده‌های متعدد و یافتن اهمیت هر داده فردی، یک عامل حیاتی در قادر ساختن فعالان بخش مالی برای کسب بینش‌های عمیق‌تر در سرمایه‌گذاری‌های خود است. بازار سهام نیز یک بخش حیاتی در حوزه مالی است و چگونگی درک و فهم انباره عظیم و پیچیده داده‌های سهام جمع‌آوری‌شده به یک چالش تبدیل‌شده است.

مطالعه سیستم‌های پیچیده[۱] سال‌هاست که حوزه تحقیقاتی مهمی است. یک سیستم پیچیده متشکل از اجزای زیادی است که با یکدیگر تعامل دارند و دارای رفتار آشفته[۲] یا رفتار جمعی[۳] هستند. به‌طور مشابه، بازارهای مالی را می‌توان به‌عنوان سیستم‌های پیچیده در نظر گرفت، که رفتارهای جمعی آنها بارها در واقعیت به‌ویژه در زمان بحران مشاهده‌شده است. درواقع وجود اعضایی بزرگ و مهم در شبکه بازار، ناهمگنی‌های قابل‌توجهی را در بازارها ایجاد می‌کند که ساختار شبکه‌ای بازار را پیچیده و درک آن را به‌وسیله ابزارهای تحلیلی سنتی دشوار می‌کند. به‌طور سنتی بررسی رفتارهای منفرد اعضای یک بازار مالی با استفاده از داده‌های سری زمانی معمول انجام می‌شود، اما به‌دست‌آوردن یک دید سیستمی از تحولات بازار تنها با درنظرگرفتن ساختار وابستگی‌های متقابل[۴] اعضا ممکن خواهد بود. این نیاز به درک روابط پیچیده بازار سهام از زمان گسترش بحران مالی جهانی اخیر بیش‌ازپیش نمایان شد.

یکی از روش‌های موردتوجه در تحلیل سیستم‌های پیچیده که دارای وابستگی‌های متقابل هستند، نظریه گراف[۵] در ریاضیات است که برای تحلیل شبکه‌های پیچیده مورداستفاده قرار می‌گیرد. با گسترش علم مالی رفتاری محققین مالی نیز با در نظر

گرفتن بازارها و سیستم‌های مالی- اقتصادی با ساختاری شبکه‌ای به تحلیل‌های مبتنی‌بر نظریه گراف و شبکه‌های پیچیده بهای بیشتری داده‌اند، با این امید که با تحلیل شبکه‌ای برخی پدیده‌های مالی- اقتصادی نظیر رفتارهای آبشاری و سرایت را بهتر بتوان تشریح نمود. آن‌طور که بیلیو، گتمانسکی و پلزون[۶] (۲۰۱۲) اذعان دارند احتمالاً مهم‌ترین مزیت این تحلیل شبکه‌ای «افزایش شانس شناسایی قوهای سیاه[۷]» در بازارهای مالی است؛ و الن و باباس[۸] (۲۰۰۸) نیز یکی از کاربردهای مهم رویکرد شبکه در تحلیل بازارهای مالی را ارزیابی ثبات مالی می‌دانند.

ازاین‌رو در تحقیق حاضر، بازار سهام ایران با رویکردی مبتنی‌بر تحلیل شبکه‌های پیچیده و با استفاده از نظریه گراف مورد تجزیه‌وتحلیل قرار خواهد گرفت. هدف از این تحقیق شناخت پویایی‌های توپولوژیکی[۹] شبکه بازار سهام ایران در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت و شناسایی گروه‌هایی در بازار است که بیشترین و کمترین اهمیت نسبی را در شبکه بازار سهام ایران دارند. اهمیت این تحقیق ازآنجاست که وجود اعضای ناهمگن در بازارهای سهام رفتارهای پیچیده‌ای در این بازار مالی را تولید می‌کند و غیرمحتمل است که با تحلیل‌های سری زمانی سنتی، تمامی اطلاعات لازم را به‌ویژه برای ارزیابی و کنترل ریسک، مدیریت پرتفوی یا حتی مقررات‌گذاری به‌دست آورد. درواقع پیچیدگی تعاملات و وابستگی‌ها در بازار سهام مشکلات سرایت[۱۰] ریسک و عدم تقارن اطلاعات را تشدید نموده و می‌تواند توانایی تعدیل ریسک سیستمی را کاهش دهد. ضمن اینکه تحلیل‌های سنتی از منظور کردن اثرات شبکه‌ای، دومینویی و آبشاری[۱۱] که در یک سیستم مالی وجود دارند و در ثبات مالی، سرایت و ریسک سیستم تعیین‌کننده‌اند، ناتوان هستند. ازاین‌رو خلأ یک شناخت توپولوژی و شناسایی گروه‌های مهم بازار، مبتنی‌بر روابط شبکه‌ای در بازار سهام ایران حس می‌شود و ضروری است رویکردی در مطالعه و مدلسازی اتخاذ شود که پیچیدگی‌های مذکور را بتواند تا حدامکان لحاظ کند. بنابراین نوآوری این تحقیق نیز تجزیه‌وتحلیل وابستگی‌های متقابل و ساختار بازار سهام ایران تحت یک رویکرد شبکه‌محور و تحلیل سیستم‌های پیچیده در قالب نظریه گراف ریاضیات است که به‌خوبی می‌تواند توپولوژی یک شبکه پیچیده را نمایان کند.[۱۲]

ادامه مقاله حاضر به این صورت سازماندهی‌شده است: در بخش دوم پیشینه‌ای از تحقیقات انجام‌شده مرور می‌شود. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها معرفی‌شده و سپس در بخش چهارم نتایج به‌دست‌آمده موردبررسی قرار می‌گیرند. نهایتاً بخش آخر به نتیجه‌گیری و پیشنهادات مستخرج از تحقیق اختصاص دارد.

## ۱. پیشینه پژوهش

در تحقیقات خارجی و از بُعد نظری مقالاتی نظیر آلن و گیل[۱۳] (۲۰۰۰)، الیوت، گولوب و جکسون[۱۴] (۲۰۱۴)، گابریلی[۱۵] (۲۰۱۱)، روجرز و ورات[۱۶] (۲۰۱۴)، عاسم اوقلو، اوزداگلار و تهباز صالحی[۱۷] (۲۰۱۵)، برندسن، لئون و رنه‌بوگ[۱۸] (۲۰۱۸) و روکنی، بتیستون و استیگلیتز[۱۹] (۲۰۱۸) به بررسی ساختار توپولوژیکی شبکه‌های مالی و تعادل در آنها پرداخته و برخی عوامل ریسک و سرایت در شبکه‌های مالی را بررسی نموده‌اند. براساس نتایج کلی این مطالعات نظری، در یک شبکه مالی پویایی‌های شبکه در طول زمان، خواص توپولوژیک، تعداد و شدت ارتباطات بین اعضای شبکه و عکس‌العمل‌های آبشاری (اثر دومینویی) در ثبات مالی، سرایت و انواع ریسک‌ها در شبکه‌های مالی مهم هستند و توجه به دو ریسک «زیادی بزرگ برای ورشکستن»[۲۰] و «زیادی متصل برای ورشکستن»[۲۱] در ریسک سیستمی بسیار اهمیت دارد. بنابراین مطابق این تحقیقات، با علم به تعاملات و همبستگی‌های موجود در شبکه‌های مالی هرگونه ارزیابی بازارهای مالی بدون توجه به ساختار شبکه، نتایج بالقوه غیرواقعی ارائه خواهد نمود.

در کنار مقالاتی که به پیشبرد نظری و ابزارهای ریاضیاتی شبکه‌ها کمک نمودند، مقالاتی تجربی نیز منتشرشده‌اند که به کاربردهای واقعی نظریه شبکه در علوم مالی پرداخته‌اند. چی، لیو و لائو[۲۲] (۲۰۱۰) با مدلسازی شبکه همبستگی‌های متقابل در بازار سهام آمریکا دریافتند که شبکه مذکور توزیع درجه‌ای بدون مقیاس[۲۳] دارد و تعدادی اندک از سهم‌ها در صنعت مالی بر تعداد وسیعی سهام در دیگر صنایع لیست شده نفوذ دارند و تحولات آنها حجم وسیعی از تغییرات در بازار را دامن می‌زد. بک و آتالای[۲۴] (۲۰۱۰) توپولوژی شبکه بازار بین‌بانکی آمریکا را ارزیابی نموده و دریافتند که شبکه

تنک[۲۵] است و معیارهای مرکزیت[۲۶] در شبکه پیش‌بینی کننده‌های خوبی برای نرخ بهره بازار بین‌بانکی هستند. بک، چپمن و گررت[۲۷] (۲۰۱۰) نیز با علم به اینکه تشریح جریان نقدینگی در شبکه مالی بدون درنظر گرفتن ساختار شبکه دقیق نیست، در سیستم بانکی کانادا رابطه بین همبستگی‌های متقابل و نقدینگی را بررسی و روش بهینه‌تری برای پیش‌بینی نگه‌داری نقدینگی در بانک‌ها ارائه نمودند.

بیلیو، گتمانسکی و پلزون (۲۰۱۲) نیز با بهره‌گیری از علیت گرنجر شبکه‌ای برای بازده‌های ماهانه صندوق‌های مصون‌ساز، بانک‌ها، بیمه‌ها و معامله‌گران دریافتند که همبستگی متقابل این چهار بخش بسیار افزایش‌یافته و ریسک سیستماتیک صنعت بیمه و صنعت مالی از طریق شبکه پیچیده‌ای از روابط افزایش‌یافته است. همچنین، نتایج آنها نشان داد که بانک‌ها نقش مهمی در انتقال شوک‌ها در شبکه سیستم مالی ایفا می‌کنند. ماجاپا و گوسل[۲۸] (۲۰۱۶) توپولوژی شبکه سهام آفریقای جنوبی را در خلال بحران مالی جهانی بررسی کردند. نتایج آنها نشان از ساختار خوشه‌ای و همگنی بالای شبکه دارد. ضمن اینکه بیشترین گره‌های متقابلاً متصل در صنایع مالی و منابع وجود دارند. همچنین بحران مالی جهانی باعث کاهش اتصالات اعضای شبکه شده است. ژو، ونگ، چن و هونگ[۲۹] (۲۰۱۷) به بررسی پایداری و تحولات بازار بین‌بانکی ایتالیا پرداخته و با بررسی اثرات شوک‌ها بر پایداری شبکه نتیجه گرفتند که این شبکه ثبات پویا[۳۰] داشته و کاهش عایدی[۳۱] سرمایه‌گذاری و نوسانات سپرده‌ها انعطاف‌پذیری سیستم را افزایش می‌دهند. لی، چو، کوون و سوحن[۳۲] (۲۰۱۹) براساس محاسبات مبتنی‌بر شبکه‌های مالی و استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین به بررسی شبکه تلاطم بازارهای سهام جهانی پرداخته و استراتژی‌های سرمایه‌گذاری برای مدیریت پرتفوی براساس نتایج تحلیل شبکه‌ای پیشنهاد نمودند.

در معدود مطالعات داخلی، شریفی سامانی (۱۳۹۵) به بررسی ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه بازار بورس و اوراق بهادار تهران و تعیین وضعیت حداقل درخت پوشای سرتاسری آن در بازده زمانی ابتدای سال ۱۳۹۰ تا انتهای سال ۱۳۹۸ پرداخت. نتایج وی نشان داد که از حداقل درخت پوشای سرتاسری می‌توان برای تجزیه‌وتحلیل بازار سهام تهران استفاده کرد. درخت پوشای سرتاسری شاخص‌ها در بعد از برجام با

درخت پوشای سرتاسری شاخص‌ها در قبل از برجام متفاوت است. همچنین مشخص شد که برخی شاخص‌ها به دلیل ارتباط نزدیک‌تر با سایر بخش‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند؛ همچنین خوشه‌بندی، مرکزیت نمودار و میزان ارتباط و نزدیکی شاخص‌ها با یکدیگر در طول زمان تغییر می‌یابد. برخی شاخص‌ها به دلیل ارتباط کمی که با سایر شاخص‌ها دارند به‌صورت منفرد خوشه‌بندی‌شده و در شبکه از اهمیت کمی برخوردار هستند.

اسماعیل پورمقدم، محمدی، فقهی‌کاشانی و شاکری (۱۳۹۸) با استفاده از تحلیل شبکه پیچیده داده‌های روزانه بازار سهام در بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۵، شبکه بازار سهام ایران را با روش آستانه ایجاد نموده و سپس ویژگی‌های ساختاری شبکه را بررسی کردند. نتایج آنها با بررسی معیار مرکزیت در شبکه و رتبه‌بندی صنایع براساس آن، نشان می‌دهد صنایع تولید محصولات شیمیایی با ضریب ارزش‌افزوده نسبتاً بالاتر، بیشترین معیار مرکزیت را در بین صنایع دارند و بخش‌های اقتصادی که دارای رشد بیشتری هستند، مرکزیت نسبتاً بالاتری نیز در شبکه سهام دارند. محققین استفاده از تحلیل‌هایی ازاین‌دست را در شناخت عمیق‌تر بازار سهام ایران مؤثر ارزیابی می‌کنند.

## ۲. داده‌ها و روش‌شناسی[۳۳]

تجزیه‌وتحلیل بازار سهام و هر پدیده دیگری با رویکرد شبکه محور، در قالب تجزیه‌وتحلیل مبتنی‌بر نظریه گراف در ریاضیات انجام می‌شود و این تحقیق نیز همین روش‌شناسی را دنبال خواهد نمود. داده‌های مورداستفاده در تحقیق شاخص قیمت ۴۶ گروه بازار سهام با تواترهای روزانه، فصلی و سالانه است، که اولین روز معاملاتی سال ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۸ را در برمی‌گیرند و تجزیه‌وتحلیل‌ها با استفاده از آنها خواهد بود. داده‌های موردنیاز مربوط به شاخص قیمت گروه‌های بازار از نرم‌افزار ره‌آورد نوین استخراج‌شده‌اند. در ادامه این بخش مروری بر مفاهیم پایه نظریه گراف و سپس معیارهای سنجش گراف انجام می‌شود. نهایتاً نحوه ساخت گراف‌های بازار سهام با استفاده از داده‌های بازار سهام تشریح می‌شود.

**۲-۱. مفاهیم پایه نظریه گراف**

نظریه گراف مطالعه گراف‌ها است، روابط جفتی بین اجزای یک مجموعه که با ساختارهای ریاضیاتی مدلسازی شده است. گراف ساده را با $G=(V,E)$ نشان می‌دهیم که در آن $V$ رأس‌ها[۳۴] یا گره‌ها[۳۵] و $E$ مجموعه‌ای از یال‌ها[۳۶] است. یک گراف از یال‌هایی شکل‌گرفته که گره‌ها را به هم متصل می‌کند. دو گره متصل[۳۷] هستند اگر یک یال مشترک داشته باشند. ویژگی‌های اتصال‌های یک گراف با ماتریس مجاورت[۳۸] $A$ توصیف می‌شود. ماتریس مجاورت ماتریسی $n\times n$ است که $n$ در آن تعداد گره‌ها است. اگر یک جفت از گره‌ها با یک یال متصل باشند به آنها مجاور می‌گوییم و درایه سطر $i$ و ستون $j$ ماتریس مجاورت گراف که با $a_{ij}$ نشان می‌دهیم به‌ازای آن مقدار ۱ می‌گیرد و در غیراین‌صورت مقدار صفر. اگر ماتریس مجاورت متقارن باشد، $a_{ij}=a_{ji}$، نشان‌دهنده یک گراف غیرجهت‌دار[۳۹] است. مجموع تمام یال‌های گره، درجه گره است.[۴۰]

طول یک مسیر با محاسبه تعداد یال‌هایی که برای رسیدن به گره $j$ از گره $i$ باید طی نمود به‌دست می‌آید. کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره، مسیر ژئودسیک[۴۱] و طول آن مسیر، فاصله ژئودسیک[۴۲] نامیده می‌شود. تعداد کوتاه‌ترین مسیرها، $N_{ij}$، بین یک جفت گره از ماتریس مجاورت مشخص می‌شود. اگر مسیری مستقیم بین دو گره باشد یعنی $d_{ij}=1$ آنگاه $a_{ij}=1$. تعداد مسیرهای با طول $d$ به‌صورت ذیل مشخص می‌شود:

رابطه (۱):
$$N_{ij}^{(d)}=\left[A^{d}\right]_{ij}$$

که در آن $[\ldots]_{ij}$ نشان‌دهنده درایه $ij$ ماتریس $A$ است. فاصله بین گره $i$ و $j$ مسیر با کوتاه‌ترین $d$ است که $N_{ij}^{(d)}>0$. ماتریس درجه یک ماتریس $n\times n$ است که درایه‌های قطری آن متناظر با درجه گره i ام و درایه‌های غیر قطری آن برابر صفر است. در یک گراف جهت‌دار تعداد کل یال‌ها به‌صورت ذیل است:

رابطه (۲):
$$|E|=\sum_{i=1}^{N}k_i^{in}=\sum_{i=1}^{N}k_i^{out}$$

و میانگین درجه یک گراف:

رابطه (۳):

$$k = \frac{|E|}{N}$$

چگالی[۴۳] یا تراکم گراف از تقسیم میانگین درجه به حداکثر تعداد یال‌های ممکن به‌دست می‌آید:

رابطه (۴):

$$\delta = \frac{k}{N-1}$$

در گراف‌هایی که تماماً هم بند[۴۴] هستند، یعنی همه گره‌ها از یک گره دیگر قابل‌دستیابی است، قطر گراف را می‌توان به‌صورت طولانی‌ترین-کوتاه‌ترین مسیر بر روی تمام جفت گره‌ها $\left(n_i, n_j\right)$ اندازه گرفت. قطر گراف درواقع طولانی‌ترین مسیر بین دو گره‌ای است که بیشترین فاصله را از یکدیگر دارند. متوسط طول مسیر $d$، میانگین فاصله بین تمام جفت گره‌ها در یک گراف است. برای یک گراف جهت‌دار با $N$ گره داریم[۴۵]:

رابطه (۵)

$$d = \frac{1}{N.(N-1)} \sum_{i \neq j}^{N} d\left(n_i, n_j\right)$$

گراف وزندار[۴۶] گرافی است که به یال‌های آن مقادیری نسبت داده‌شده که اهمیت یا وزن آن یال را نشان می‌دهد. ماتریس مجاورت این گراف ماتریس مجاورت وزن‌دار شده نامیده می‌شود و درایه‌های آن مانند قبل شامل درایه‌های صفر و یک نیست بلکه هر مقداری می‌تواند داشته باشد. مؤلفه‌های[۴۷] گراف زیرمجموعه‌های گراف با خصیصه‌هایی هستند که هر گره‌ای و هر گره دیگری در این زیرمجموعه متصل هستند. اگر کل گراف تشکیل یک مؤلفه بدهد می‌گوییم که گراف تماماً همبند است. گراف غیر هم بند نیز شامل دو یا چند مؤلفه است. اندازه یک مؤلفه تعداد گره‌هایی است که دارد.

### ۲-۲. معیارهای سنجش گراف

توزیع درجه: رسم نمودار پراکندگی تمام درجات گره‌ها توزیع درجه را نشان می‌دهد. اگر $N$ گره در گراف وجود داشته باشند و $N_k$ تا از آنها درجه $k$ داشته باشند توزیع درجه به‌صورت ذیل است:

رابطه (۶):

$$\mathrm{P}(k)=\frac{N_k}{N}$$

توزیع درجه را می‌توان به‌عنوان احتمال اینکه به‌صورت تصادفی گره‌ای انتخاب شود که درجه $k$ داشته باشد در نظر گرفت. میانگین درجه یک گراف را نیز می‌توان به‌صورت ذیل حساب کرد:

رابطه (۷):

$$k=\sum_{k=0}^{\infty}k\mathrm{P}(k)$$

خوشه‌بندی[۴۸]: دسته‌های متراکم و با پیوستگی بالای گره‌ها تشکیل خوشه می‌دهند. ضریب خوشه‌بندی به تعداد مثلث‌ها[۴۹] در گراف مرتبط است. ضریب خوشه‌بندی محلی[۵۰] گره $i$ به‌صورت ذیل است:

رابطه (۸):

$$Cl(i)=\frac{\text{تعداد مثلث‌های بسته متصل به گره } i}{\text{تعداد مثلث‌های متمرکز به گره } i}$$

منظور از مثلث نیز گره واحدی است که با یال‌هایی به دو گره دیگر متصل است. ضریب خوشه‌بندی محلی را می‌توان به‌عنوان معیاری از چگالی محلی گراف در نظر گرفت. هرچه تراکم اتصالات متقابل همسایگی‌های یک گره بیشتر باشد، ضریب خوشه‌بندی بزرگ‌تر است. ضریب خوشه‌بندی گراف جهت‌دار به‌صورت ذیل است:

رابطه (۹):

$$Cl_d(i)=\frac{E_i}{k_i(k_i-1)}$$

که در آن $E_i$ تعداد یال‌های میان $k_i$ همسایه گره $i$ است. ضریب خوشه‌بندی محلی در بازه $0\le Cl(i)\le 1$ قرار دارد که $Cl(i)=0$ به معنی نبود هیچ‌گونه یالی بین همسایه‌های $i$ است و $Cl(i)=1$ دلالت دارد بر اینکه هر همسایه به دیگری متصل است. ضریب خوشه‌بندی فراگیر[۵۱] نیز میانگین ضرایب خوشه‌بندی محلی در گراف است:

رابطه (۱۰):

$$Cl_g=\frac{1}{N}\sum_i Cl(i)$$

این معیار را می‌توان به این احتمال در نظر گرفت که اگر دو گره همسایه به‌طور تصادفی انتخاب شوند به یکدیگر متصل‌اند.

مرکزیت[۵۲]: برخی گره‌ها به خاطر موقعیت توپولوژیکی که در گراف دارند حائز اهمیت هستند. این ویژگی گراف را مرکزیت می‌نامیم. مرکزیت استحکام[۵۳] یا استحکام گره در گراف‌های وزن‌دار با کل وزن یال‌های گره اندازه گرفته می‌شود. برای گره $i$، مرکزیت استحکام به‌صورت ذیل است:

رابطه (۱۱):

$$C_s(i)=\sum_{j=1}^{N} a_{ij} w_{ij}$$

که در آن $w_{ij}$ وزن یال بین گره $i$ و $j$ است.

مرکزیت نزدیکی[۵۴] تعداد گام‌هایی که طول می‌کشد تا از یک گره خاص به گره دیگری در گراف برسیم را اندازه می‌گیرد. برای گره $i$:

رابطه (۱۲):

$$C_c(i)=\sum_{j\neq i}^{N} \frac{1}{d_{ij}}$$

که در آن $d_{ij}$ کوتاه‌ترین فاصله میان گره $i$ و $j$ است. اگر گره $i$ مستقیماً به تمام گره‌ها متصل باشد معیار فوق برابر ۱ می‌شود. یک گره با مرکزیت نزدیکی بالا می‌تواند سریع‌تر با دیگر گره‌ها ارتباط برقرار کند و گره با ارتباطات کمتر مرکزیت نزدیکی کمتری دارد. گره‌ای که ارتباطات بیشتری با دیگر گره‌ها دارد می‌تواند موقعیت بهتری داشته باشد. مثلاً گره می‌تواند نقش بازار ساز، واسط اطلاعاتی و کارگزار[۵۵] را بازی کند.

مرکزیت میانی[۵۶] دفعاتی که یک گره در مسیر بین دو گره قرار می‌گیرد را اندازه می‌گیرد (به این صورت که مثلاً برای رسیدن به گره $j$ با شروع از گره $k$ باید از گره $i$ گذشت):

رابطه (۱۳):

$$C_b(i)=\sum_{j,k\neq i} \frac{d_{ijk}(i)}{d_{jk}}$$

که در آن $d_{jk}$ تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای $j$ به $k$ و $d_{ijk}(i)$ تعداد آن مسیرهایی است که از $i$ می‌گذرد. گره‌ای با مرکزیت میانی بالا گره‌ای برجسته و مهم است، زیرا در موقعیتی است که جریان اطلاعات جاری‌شده در گراف را مشاهده یا کنترل می‌تواند

کند. در گراف‌های وزن‌دار، مرکزیت میانی براساس تمام‌مسیرهای بین گره‌ها اندازه گرفته می‌شود نه‌فقط مسیرهای ژئودسیک درنتیجه مرکزیت میانی جریانی[۵۷] نام می‌گیرد.

مرکزیت بردار ویژه[۵۸] اهمیت یک گره را براساس اهمیت گره‌هایی که به آن متصل است اندازه می‌گیرد. به عبارتی مرکزیت گره‌هایی که به گره $i$ متصل هستند اهمیت گره $i$ را در گراف مشخص می‌کنند. مرکزیت بردار ویژه گره $i$ براساس مجموع مرکزیت بردار ویژه همسایگان آن به‌دست می‌آید که به فرم ماتریسی به‌صورت ذیل است:

رابطه (۱۴):
$$(1-\mathrm{L})\overrightarrow{C_E}=0$$

و در آن ۱ ماتریس واحد $n\times n$ و L ماتریس مجاورت و $\overrightarrow{C_E}$ بردار $n\times 1$ مرکزیت بردار ویژه گره‌ها است. درواقع گره‌های با مرکزیت بردار ویژه بالا گره‌هایی هستند که به گره‌هایی بسیار متصل‌اند که خود آن گره‌ها نیز به بسیاری گره دیگر متصل‌اند.

### ۲-۳. نحوه ساخت گراف‌ها

همان‌طور که مطرح شد برای بررسی بازار سهام ایران مطابق با نظریه گراف، در گام نخست باید ماتریس مجاورت وزنی را ساخت که از محاسبه همبستگی دوبه‌دو بازده گروه‌ها به‌دست می‌آید. این ماتریس مجاورت را برای سه دوره روزانه، فصلی و سالانه محاسبه نموده و سپس ۳ گراف روزانه، فصلی و سالانه خواهیم داشت.

به این منظور ابتدا داده‌های سری زمانی شاخص قیمت ۴۶ گروه بازار سهام ایران با تواتر روزانه، فصلی و سالانه استخراج‌شده، سپس بازده آن[۵۹] محاسبه می‌شود. آنگاه همبستگی دوبه‌دوی بازده هر ۴۶ گروه بازار سهام برای هر تواتر روزانه، فصلی و سالانه محاسبه می‌شود[۶۰]. درنتیجه سه ماتریس با ۴۶ سطر و ستون از ضرایب همبستگی برای سه مقیاس زمانی روزانه، فصلی و سالانه تولید می‌شوند.[۶۱]

سپس ماتریس مجاورت برای گراف‌های روزانه، فصلی و سالانه براساس همبستگی متقابل بازده گروه‌های اصلی بازار سهام ایران ساخته می‌شود. به این منظور ابتدا از مقدار بحرانی $2.58\times\frac{1}{\sqrt{T}}$ برای تعیین معنادار بودن یا نبودن همبستگی‌های

متقابل در سطح اطمینان ۹۹ درصد استفاده می‌شود، که در آن $T$ تعداد حجم نمونه است (Krehbiel, 2004, p. 87). حجم نمونه در داده‌های روزانه ۱۷۸۰، فصلی ۲۸ و سالانه ۷ مشاهده است. بنابراین برای مقیاس روزانه مقدار بحرانی برابر ۰/۰۶۱۱، در مقیاس فصلی برابر ۰/۴۸۷۵ و مقدار بحرانی برای مقیاس سالانه برابر ۰/۹۱۲۱ به‌دست می‌آید. آنگاه اگر ضریب همبستگی متقابل به‌دست‌آمده برای هر دو گروه $i$ و $j$ از این مقادیر بیشتر باشد، همبستگی از نظری آماری در سطح اطمینان ۹۹ درصدی معنی‌دار است، در غیراین‌صورت مقدار صفر در آن مؤلفه ماتریس مجاورت (سطر $i$ و ستون $j$) جایگزین خواهد شد که یعنی بین این دو گروه (گره) متناظر با آن مؤلفه، یالی در گراف وجود نخواهد داشت. همچنین قطر اصلی ماتریس مجاورت باید صفر شود زیرا مجاورت یک گروه با خودش مفهومی ندارد. با تکرار این عمل برای تمام گروه‌های بازار، ماتریس مجاورت از روی ماتریس همبستگی ساخته می‌شود. پس از ساخت ماتریس مجاورت گراف‌ها تشکیل‌شده و قابل تجزیه‌وتحلیل خواهند بود.

### ۳. نتایج

در اولین گام از تجزیه‌وتحلیل گراف‌ها، توپولوژی شبکه بازار سهام برای سه گراف روزانه، فصلی و سالانه با استفاده از معیارهای معرفی‌شده بررسی خواهد شد. نتایج محاسبات انجام‌شده معیارهای مذکور در جدول (۱) گزارش‌شده‌اند.

**جدول (۱): معیارهای توپولوژی شبکه**

| معیار | دوره | | |
|---|---|---|---|
| | روزانه | فصلی | سالانه |
| تعداد گره‌ها | ۴۶ | ۴۶ | ۴۶ |
| تعداد یال‌ها | ۲۰۶۸ | ۲۰۰۶ | ۴۵۴ |
| میانگین درجه | ۴۴/۹۴ | ۴۳/۶۰ | ۹/۸۶ |
| قطر گراف | ۲ | ۲ | ۸ |
| چگالی گراف | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۶۹ | ۰/۲۱۹ |
| متوسط طول مسیر | ۱/۰۰۱ | ۱/۰۳ | ۲/۶۵ |
| تعداد مؤلفه‌ها | ۱ | ۱ | ۶ |

| معیار | دوره | | |
|---|---|---|---|
| | روزانه | فصلی | سالانه |
| ضریب خوشه‌بندی فراگیر | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۷۳ | ۰/۶۴۴ |

منبع: (صداقتی، ۱۳۹۹)

محاسبات معیارهای موجود در جدول (۱) که در بخش ۱-۳ معرفی شد این‌گونه انجام می‌شود: تعداد گره‌ها همان تعداد گروه‌های بازار سهام و تعداد یال‌ها برابر تعداد همبستگی‌های معنی‌دار میان بازده گروه‌ها است که با شمارش آنها به‌دست می‌آید. میانگین درجه حاصل تقسیم شمارش تعداد یال‌ها به شمارش تعداد گروه‌ها است. قطر یک گراف با شمارش تعداد یال‌های بین دو گره که بیشترین فاصله را از یکدیگر دارند به‌دست می‌آید. چگالی گراف از تقسیم میانگین درجه گراف به حداکثر تعداد یال‌های ممکنی که به یک گره می‌تواند متصل باشد (۴۶ منهای ۱) به‌دست می‌آید. متوسط طول مسیر از تقسیم حاصل جمع تمام کوتاه‌ترین مسیرهای بین دو گره گراف بر تعداد کل یال‌های ممکن یک گراف (تعداد گره‌ها ضرب‌در تعداد گره‌ها منهای یک) به‌دست می‌آید. تعداد مؤلفه‌ها برابر است با تعداد اجزای هم‌بند یک گراف. نهایتاً نیز ضریب خوشه‌بندی فراگیر از میانگین ضرایب خوشه‌بندی محلی (تعداد روابط مثلثی هر گره) تمام گره‌ها به‌دست می‌آید. براساس نتایج جدول (۱) می‌توان اذعان داشت که:

۱. با حرکت از دوره روزانه به سمت دوره‌های زمانی با تواتر کمتر (فصلی و سالانه) تعداد همبستگی‌های موجود میان گروه‌های بازار سهام ایران کاسته می‌شود. زیرا تعداد یال‌های شبکه همبستگی روزانه ۲۰۶۸، فصلی ۲۰۶ و سالانه ۴۵۴ است.
۲. با حرکت از دوره روزانه به سمت دوره‌های زمانی با تواتر کمتر (فصلی و سالانه) میانگین همبستگی‌های متقابل هر گروه در بازار سهام کاسته می‌شود و از متوسط ۴۴/۹۴ به ۹/۸۶ می‌رسد. به این معنی که همبستگی متقابل بازده گروه‌های مختلف در افق زمانی بلندمدت به‌شدت کاسته می‌شود.
۳. طولانی‌ترین فاصله گروه‌های بازار سهام در دوره‌های روزانه و فصلی حداکثر ۲ است. یعنی گروه‌ها اگر مستقیماً با یکدیگر متصل نباشند، حداکثر با یک گروه مشترک (واسط) با یکدیگر همبستگی دارند و فاصله بین آنها بسیار کم است. این

در حالی است که در دوره سالانه حداکثر فاصله ۸ گره است. یعنی در تواتر سالانه نسبت به روزانه و فصلی، گروه‌ها فاصله‌ای ۴ برابری با یکدیگر پیدا می‌کنند و همبستگی‌های متقابل به‌طور چشم‌گیری کاسته می‌شود. متوسط طول مسیر نیز در گراف روزانه و فصلی بسیار نزدیک ۱ است، اما در گراف سالانه ۲/۶۵ به‌دست‌آمده است که نتایج ذکرشده را تأیید می‌کند.

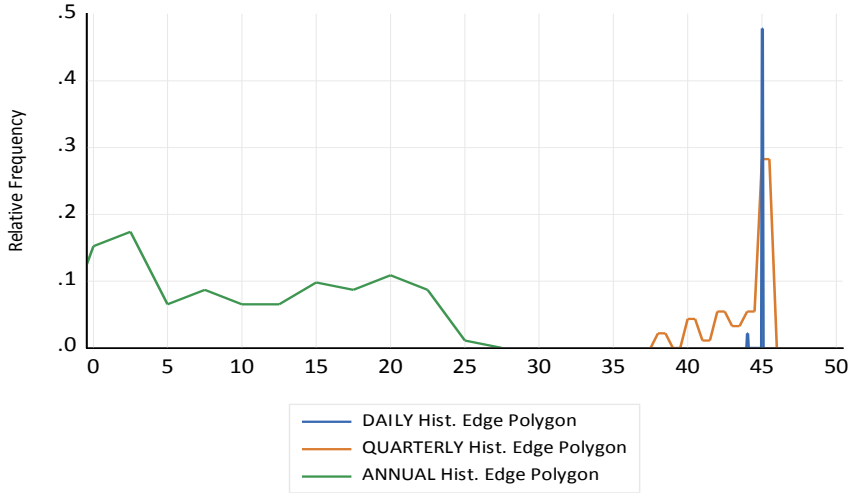
۴. چگالی شبکه همبستگی بازار سهام در دوره روزانه بسیار زیاد و نزدیک یک است و شبکه تقریباً یک گراف کامل است. این در حالی است که با حرکت به سمت دوره سالانه، چگالی حدود یک پنجم می‌شود.

۵. شبکه همبستگی گروه‌های بازار سهام ایران در دوره روزانه و فصلی تماماً هم‌بند بوده و درنتیجه تمام گروه‌ها تحت‌تأثیر کل روابط و تحولات شبکه هستند (تعداد مؤلفه‌ها برابر ۱ است). این در حالی است که گراف دوره سالانه ۶ مؤلفه دارد، به این معنا که ۶ مؤلفه در گراف وجود دارند که بین آنها همبستگی وجود ندارد، اگرچه اعضای متعلق به هر مؤلفه، درون مؤلفه با یکدیگر هم‌بسته هستند.

۶. در گراف روزانه، احتمال همبستگی بین دو گروه ۹۹/۹ درصد، در گراف فصلی ۹۷/۳ درصد و گراف سالانه ۶۴/۴ درصد است. زیرا ضریب خوشه‌بندی فراگیر مقادیری متناظر به این احتمالات به‌دست‌آمده و نشان می‌دهد که در گراف چقدر محتمل است دو گره به یکدیگر متصل باشند.

در نمودار (۱) نیز فراوانی نسبی یال‌های گراف‌های مذکور نمایش داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در گراف سالانه تعداد یال‌ها نسبت به گراف‌های فصلی و روزانه کمتر و پراکندگی آنها بیشتر است. درواقع هرچه از دوره روزانه به سمت دوره فصلی و سالانه حرکت کنیم تعداد همبستگی‌های متقابل در بازار سهام ایران علاوه‌بر اینکه کاسته می‌شود، پراکندگی بیشتری نیز دارد. به‌عبارتی‌دیگر در دوره‌های بلندمدت، همبستگی‌های متقابل ناهمگن شده و تعداد همبستگی‌های متقابل گروه‌های بازار سهام نسبت به دوره‌های کوتاه‌مدت‌تر، تنوع بیشتری می‌یابد. ازاین‌رو می‌توان اذعان داشت با

احتمال بالایی سرایت اطلاعات در دوره‌های کوتاه‌مدت از دوره‌های بلندمدت بیشتر بوده و سرعت بیشتری نیز خواهد داشت.




**نمودار (۱): فراوانی نسبی همبستگی متقابل گروه‌ها در بازار سهام ایران**

منبع: (صداقتی، ۱۳۹۹)

نتایج بررسی خواص توپولوژیک گراف همبستگی گروه‌های بازار سهام ایران در تواترهای روزانه، فصلی و سالانه نشان می‌دهند که در سطح روزانه، همبستگی متقابل گروه‌ها بسیار زیاد است و تمام گروه‌ها از تحولات یکدیگر متأثر می‌شوند. این پدیده در سطح فصلی نیز وجود دارد، اما ناهمگنی همبستگی بین گروه‌ها کمی رشد می‌کند. نهایتاً در سطح سالانه، همبستگی بازده گروه‌های بازار سهام به‌قدری متفاوت می‌شود که توپولوژی شبکه تغییریافته و حتی شبکه دیگر یک گراف هم‌بند نخواهد بود و ۶ مؤلفه خواهد داشت که همبستگی با یکدیگر ندارند. همچنین تعداد همبستگی‌های میان گروه‌ها کاسته می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در دوره‌های بسیار کوتاه‌مدت هرگونه شوکی (اطلاعاتی یا عملکردی) که به گروه‌های بازار سهام وارد شوند مستقیماً بر اکثر گروه‌های دیگر تأثیرگذار خواهد بود و به‌عبارتی‌دیگر درجه سرایت نیز قابل‌توجه است. اما هرچه به سمت دوره‌های بلندمدت حرکت کنیم، همبستگی‌های متقابل کاسته شده و حتی شوک‌هایی که بر برخی گروه‌ها وارد می‌شوند هیچ تأثیری بر

گروه‌های دیگر نخواهند داشت. در بخش بعدی، با محاسبه معیارهای مرکزیت گروه‌های بازار سهام ایران براساس معیارهای مذکور و درجه اهمیتی که گروه‌ها دارند رتبه‌بندی شده و گروه‌های مهم در گراف‌های مذکور شناسایی می‌شوند. با رتبه‌بندی گروه‌ها براساس اهمیت آنها در شبکه می‌توان دریافت که کدام گروه‌ها توانایی انتشار اطلاعات بیشتری در بازار خواهند داشت و می‌توانند رفتار بازار را متأثر کنند.

همان‌طور که در بخش ۳ اشاره شد، از معیارهای اصلی سنجش در نظریه گراف، معیارهای مرکزیت هستند. با محاسبه مرکزیت درجه‌ای برای هر گره در شبکه می‌توان مرکزیت آن گره را ازنظر تعداد ارتباطات و همبستگی‌هایی (یال‌های گره) که با دیگر گره‌های شبکه دارد، مشخص نمود. در جدول (۲) گروه‌های بازار سهام براساس معیار مرکزیت درجه‌ای وزنی آنها در سه گراف روزانه، فصلی و سالانه رتبه‌بندی شده‌اند (در یادداشت‌های انتهای مقاله نحوه محاسبات معیارها ارائه‌شده است).[۶۲] وزنی بودن این مرکزیت به این معناست که علاوه‌بر تعداد یال‌ها، وزن هر یال نیز در محاسبه معیار لحاظ شده‌اند. چنانچه ملاحظه می‌شود، در گراف روزانه گروه سرمایه‌گذاری، در گراف فصلی گروه بیمه و در گراف سالانه گروه سیمان رتبه نخست را ازنظر مرکزیت درجه‌ای در بازار سهام ایران دارند. به‌عبارت‌دیگر، این سه گروه در دوره‌های زمانی مذکور بیشترین و قوی‌ترین ارتباطات و همبستگی‌ها را با سایر گروه‌های بازار سهام دارند. متقابلاً هرچه رتبه یک گروه کاسته می‌شود، این تعداد و شدت همبستگی کاسته می‌شود. یکی از مضامین این رتبه‌بندی آن است تغییرات بازده گروه‌های با رتبه کمتر، به تغییرات بازده در تعداد گروه‌های بیشتری منجر می‌شود. به‌علاوه اگر شوکی به یکی از این گروه‌ها وارد شود، هرچه رتبه گروه کمتر باشد شوک به گروه‌های بیشتری سرایت می‌کند. همچنین لازم به ذکر است که در گراف سالانه، گروه‌های چوب، محصولات کاغذی، فراورده‌های نفتی، نرم‌افزار و خدمات و گروه زغال‌سنگ همبستگی معناداری با گروه‌های دیگر بازار سهام ندارند، درنتیجه مستقل بوده و در رتبه‌بندی‌ها قرار نمی‌گیرند.

**جدول (۲): رتبه‌بندی گروه‌ها براساس معیار مرکزیت درجه‌ای وزنی**

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| ۱ | سرمایه‌گذاری | بیمه | سیمان، آهک و گچ |
| ۲ | سایر محصولات کانی غیرفلزی | سایر محصولات کانی غیرفلزی | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن |
| ۳ | بیمه | دارویی | بیمه |
| ۴ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | سیمان، آهک و گچ | سایر محصولات کانی غیرفلزی |
| ۵ | سیمان، آهک و گچ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | دارویی |
| ۶ | دارویی | کاشی و سرامیک | شیرینیجات |
| ۷ | لیزینگ | محصولات لبنی | محصولات پاک‌کننده |
| ۸ | قطعات خودرو | فعالیت مهندسی | پیمانکاری صنعتی |
| ۹ | ماشین‌آلات | ماشین‌آلات | کاشی و سرامیک |
| ۱۰ | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | سخت‌افزار و تجهیزات |
| ۱۱ | محصولات لبنی | سرمایه‌گذاری | قطعات خودرو |
| ۱۲ | لاستیک و پلاستیک | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | محصولات لبنی |
| ۱۳ | آهن و فولاد | شیرینی‌جات | ماشین‌آلات الکتریکی |
| ۱۴ | محصولات فلزی | تجهیزات صنعتی | محصولات فلزی |
| ۱۵ | نرم‌افزار و خدمات | محصولات کشاورزی | فعالیت مهندسی |
| ۱۶ | ماشین‌آلات الکتریکی | مخابرات | نساجی |
| ۱۷ | فعالیت مهندسی | لیزینگ | وسایل خانگی |
| ۱۸ | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | محصولات فلزی | محصولات کشاورزی |
| ۱۹ | کاشی و سرامیک | قطعات خودرو | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری |
| ۲۰ | سخت‌افزار و تجهیزات | ماشین‌آلات الکتریکی | تجهیزات صنعتی |

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| ۲۱ | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | سخت‌افزار و تجهیزات | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات |
| ۲۲ | مواد شیمیایی- متنوع | وسایل خانگی | ماشین‌آلات |
| ۲۳ | مخابرات | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | نوشیدنی |
| ۲۴ | کانی‌های فلزی | نوشیدنی | بنادر و کشتیرانی |
| ۲۵ | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | محصولات کاغذی | سرمایه‌گذاری |
| ۲۶ | خودرو | حفاری | چاپ و نشر |
| ۲۷ | حفاری | لاستیک و پلاستیک | مخابرات |
| ۲۸ | محصولات کاغذی | حمل‌ونقل بار زمینی | لاستیک و پلاستیک |
| ۲۹ | تجهیزات صنعتی | شکر | حفاری |
| ۳۰ | محصولات کشاورزی | تجهیزات مخابراتی | لیزینگ |
| ۳۱ | زغال‌سنگ | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل‌نقلیه موتوری | تجهیزات مخابراتی |
| ۳۲ | شکر | چاپ و نشر | آهن و فولاد |
| ۳۳ | شیرینیجات | فرآورده‌های نفتی | کانی‌های فلزی |
| ۳۴ | محصولات پاک‌کننده | سایر محصولات غذایی | تولید کود و ترکیبات نیتروژن |
| ۳۵ | نوشیدنی | خودرو | سایر محصولات غذایی |
| ۳۶ | فرآورده‌های نفتی | آهن و فولاد | حمل‌ونقل بار زمینی |
| ۳۷ | سایر محصولات غذایی | بنادر و کشتیرانی | مواد شیمیایی- متنوع |
| ۳۸ | وسایل خانگی | نرم‌افزار و خدمات | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن |
| ۳۹ | پیمانکاری صنعتی | محصولات پاک‌کننده | خودرو |
| ۴۰ | حمل‌ونقل بار | مواد شیمیایی- متنوع | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری |

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| | زمینی | | |
| ۴۱ | چاپ و نشر | زغال‌سنگ | شکر |
| ۴۲ | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | نساجی | - |
| ۴۳ | چوب | کانی‌های فلزی | - |
| ۴۴ | بنادر و کشتیرانی | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | - |
| ۴۵ | تجهیزات مخابراتی | چوب | - |
| ۴۶ | نساجی | پیمانکاری صنعتی | - |

دیگر معیارهای سنجش گراف مرکزیت میانی، نزدیکی، خوشه‌بندی و مقدار ویژه هستند که در جدول (۳) و (۴) رتبه‌بندی گروه‌های بازار سهام ایران در گراف فصلی و سالانه براساس معیارهای فوق گزارش‌شده‌اند.[۶۳]

معیار مرکزیت میانی اهمیت یک گره را در جریان اطلاعات و ارتباطات موجود در شبکه اندازه می‌گیرد و گره‌هایی را مهم شناسایی می‌کند که اتصال بین گروه‌های مختلف از گره‌ها را برقرار می‌کند.[۶۴] گره‌ای که مرکزیت میانی بیشتری دارد، در بین کوتاه‌ترین مسیر میان چند گره قرار دارد و درنتیجه این گره کنترل‌کننده جریان اطلاعات گره‌های بیشتری است و ارتباطات نزدیک‌تری با تمام گره‌های شبکه خواهد داشت. هرچه یک گره مرکزیت میانی بزرگ‌تری داشته باشد، بیشتر محتمل است که اگر آن گره حذف شود، شبکه دچار گسست شده و دیگر هم‌بند نباشد. ملاحظه می‌شود که مطابق این معیار در گراف فصلی، گروه بیمه رتبه اول و گروه پیمانکاری صنعتی رتبه آخر را دارند. در گراف سالانه اما رتبه اول متعلق به گروه کشاورزی و رتبه آخر گروه شکر است.

معیار مرکزیت نزدیکی، همان‌طور که از نامش مشخص است نشان می‌دهد که یک گره چقدر به گره‌های دیگر نزدیک است. هرچه امتیاز یک گره از نظر این معیار بزرگ‌تر باشد، سرعت انتشار اطلاعات از این گره به گره‌های دیگر بیشتر خواهد بود.

گره‌ای که بیشترین امتیاز مرکزیت نزدیکی را داشته باشد در کوتاه‌ترین فاصله ممکن می‌تواند به گره‌های دیگر متصل شود و قدرت دسترسی بیشتری در شبکه خواهد داشت.[۶۵] مطابق این معیار در گراف فصلی، گروه بیمه رتبه اول و گروه پیمانکاری صنعتی رتبه آخر را دارند. در گراف سالانه اما رتبه اول متعلق به گروه سیمان و رتبه آخر نیز گروه شکر است.

معیار مرکزیت خوشه‌بندی نشان می‌دهد که چقدر همسایگان یک گره در شبکه تمایل دارند که با یکدیگر هم‌بسته باشند. درنتیجه هر چه امتیاز خوشه‌بندی یک گره بیشتر باشد، در همسایگان آن تراکم اتصالات و همبستگی‌ها بیشتر است و آن گره تأثیر بیشتری بر آنها خواهد داشت. مطابق این معیار در گراف فصلی، گروه پیمانکاری صنعتی رتبه اول و گروه شکر رتبه آخر را دارند.[۶۶] در گراف سالانه اما رتبه اول متعلق به گروه سرمایه‌گذاری و رتبه آخر نیز گروه شکر است.

معیار مرکزیت مقدار ویژه، به اهمیت ارتباطات و همبستگی‌های یک گره توجه می‌کند. یعنی هر چقدر گره‌هایی که با یک گره مفروض ارتباط دارند، اهمیت بیشتری در شبکه داشته باشند، مرکزیت مقدار ویژه آن گره مفروض بیشتر می‌شود. درواقع هرچه یک گره امتیاز مرکزیت مقدار ویژه بیشتری داشته باشد با گره‌های با دارای امتیاز مقدار ویژه بیشتری متصل است. مطابق این معیار در گراف فصلی، گروه بیمه رتبه اول و گروه تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن رتبه آخر را دارند.[۶۷] در گراف سالانه اما رتبه اول متعلق به گروه سیمان و رتبه آخر نیز گروه شکر است.

**جدول (۳): رتبه‌بندی گروه‌ها براساس معیارهای مرکزیت در گراف فصلی**

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | بیمه | بیمه | پیمانکاری صنعتی | بیمه |
| ۲ | سایر محصولات کانی غیرفلزی | سایر محصولات کانی غیرفلزی | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | سایر محصولات کانی غیرفلزی |
| ۳ | دارویی | دارویی | نساجی | دارویی |
| ۴ | سیمان، آهک و گچ | سیمان، آهک و گچ | محصولات پاک‌کننده | سیمان، آهک و گچ |

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| ۵ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | چوب | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات |
| ۶ | کاشی و سرامیک | کاشی و سرامیک | آهن و فولاد | کاشی و سرامیک |
| ۷ | محصولات لبنی | محصولات لبنی | کانی‌های فلزی | محصولات لبنی |
| ۸ | فعالیت مهندسی | فعالیت مهندسی | بنادر و کشتیرانی | فعالیت مهندسی |
| ۹ | ماشین‌آلات | ماشین‌آلات | مواد شیمیایی- متنوع | ماشین‌آلات |
| ۱۰ | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | چاپ و نشر | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن |
| ۱۱ | سرمایه‌گذاری | سرمایه‌گذاری | سایر محصولات غذایی | سرمایه‌گذاری |
| ۱۲ | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | زغال‌سنگ | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری |
| ۱۳ | شیرینی‌جات | شیرینی‌جات | فراورده‌های نفتی | شیرینی‌جات |
| ۱۴ | تجهیزات صنعتی | تجهیزات صنعتی | حمل‌ونقل بار زمینی | تجهیزات صنعتی |
| ۱۵ | محصولات کشاورزی | محصولات کشاورزی | تجهیزات مخابراتی | محصولات کشاورزی |
| ۱۶ | مخابرات | مخابرات | خودرو | مخابرات |
| ۱۷ | لیزینگ | لیزینگ | نرم‌افزار و خدمات | لیزینگ |
| ۱۸ | محصولات فلزی | محصولات فلزی | لاستیک و پلاستیک | محصولات فلزی |
| ۱۹ | قطعات خودرو | قطعات خودرو | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | قطعات خودرو |
| ۲۰ | ماشین‌آلات الکتریکی | ماشین‌آلات الکتریکی | نوشیدنی | ماشین‌آلات الکتریکی |
| ۲۱ | سخت‌افزار و تجهیزات | سخت‌افزار و تجهیزات | بیمه | سخت‌افزار و تجهیزات |

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| ۲۲ | وسایل خانگی | وسایل خانگی | سایر محصولات کانی غیرفلزی | وسایل خانگی |
| ۲۳ | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | دارویی | تولید کود و ترکیبات نیتروژن |
| ۲۴ | محصولات کاغذی | محصولات کاغذی | سیمان، آهک و گچ | محصولات کاغذی |
| ۲۵ | حفاری | حفاری | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | حفاری |
| ۲۶ | شکر | شکر | کاشی و سرامیک | شکر |
| ۲۷ | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | محصولات لبنی | حمل‌ونقل بار زمینی |
| ۲۸ | نوشیدنی | نوشیدنی | فعالیت مهندسی | تجهیزات مخابراتی |
| ۲۹ | لاستیک و پلاستیک | لاستیک و پلاستیک | ماشین‌آلات | لاستیک و پلاستیک |
| ۳۰ | حمل‌ونقل بار زمینی | حمل‌ونقل بار زمینی | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری |
| ۳۱ | تجهیزات مخابراتی | تجهیزات مخابراتی | سرمایه‌گذاری | نوشیدنی |
| ۳۲ | خودرو | خودرو | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | چاپ و نشر |
| ۳۳ | نرم‌افزار و خدمات | فراورده‌های نفتی | شیرینی‌جات | فراورده‌های نفتی |
| ۳۴ | فراورده‌های نفتی | چاپ و نشر | تجهیزات صنعتی | خودرو |
| ۳۵ | سایر محصولات غذایی | نرم‌افزار و خدمات | محصولات کشاورزی | بنادر و کشتیرانی |
| ۳۶ | زغال‌سنگ | سایر محصولات غذایی | مخابرات | مواد شیمیایی- متنوع |

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| ۳۷ | چاپ و نشر | زغال‌سنگ | لیزینگ | زغال‌سنگ |
| ۳۸ | مواد شیمیایی- متنوع | مواد شیمیایی- متنوع | محصولات فلزی | سایر محصولات غذایی |
| ۳۹ | بنادر و کشتیرانی | بنادر و کشتیرانی | قطعات خودرو | نرم‌افزار و خدمات |
| ۴۰ | کانی‌های فلزی | آهن و فولاد | ماشین‌آلات الکتریکی | آهن و فولاد |
| ۴۱ | آهن و فولاد | کانی‌های فلزی | سخت‌افزار و تجهیزات | نساجی |
| ۴۲ | چوب | چوب | وسایل خانگی | محصولات پاک‌کننده |
| ۴۳ | محصولات پاک‌کننده | محصولات پاک‌کننده | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | چوب |
| ۴۴ | نساجی | نساجی | محصولات کاغذی | کانی‌های فلزی |
| ۴۵ | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | حفاری | پیمانکاری صنعتی |
| ۴۶ | پیمانکاری صنعتی | پیمانکاری صنعتی | شکر | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن |

**جدول (۴): رتبه‌بندی گروه‌ها براساس معیارهای مرکزیت در گراف سالانه**

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | محصولات کشاورزی | سیمان، آهک و گچ | سرمایه‌گذاری | سیمان، آهک و گچ |
| ۲ | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | حمل‌ونقل بار زمینی | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن |
| ۳ | مواد شیمیایی- متنوع | بیمه | سایر محصولات غذایی | دارویی |
| ۴ | کانی‌های فلزی | سایر محصولات کانی غیرفلزی | چاپ و نشر | پیمانکاری صنعتی |
| ۵ | آهن و فولاد | شیرینی‌جات | نوشیدنی | سایر محصولات |

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| | | | | کانی غیرفلزی |
| ۶ | بیمه | دارویی | لاستیک و پلاستیک | بیمه |
| ۷ | سیمان، آهک و گچ | محصولات کشاورزی | مخابرات | محصولات پاک‌کننده |
| ۸ | سایر محصولات کانی غیرفلزی | محصولات پاک‌کننده | تجهیزات مخابراتی | شیرینی‌جات |
| ۹ | دارویی | کاشی و سرامیک | وسایل خانگی | کاشی و سرامیک |
| ۱۰ | ماشین‌آلات | محصولات لبنی | فعالیت مهندسی | قطعات خودرو |
| ۱۱ | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | پیمانکاری صنعتی | نساجی | محصولات لبنی |
| ۱۲ | بنادر و کشتیرانی | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | محصولات فلزی | سخت‌افزار و تجهیزات |
| ۱۳ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | سخت‌افزار و تجهیزات | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | محصولات فلزی |
| ۱۴ | شیرینی‌جات | قطعات خودرو | محصولات لبنی | ماشین‌آلات الکتریکی |
| ۱۵ | محصولات پاک‌کننده | ماشین‌آلات الکتریکی | بنادر و کشتیرانی | فعالیت مهندسی |
| ۱۶ | کاشی و سرامیک | محصولات فلزی | قطعات خودرو | نساجی |
| ۱۷ | تجهیزات صنعتی | نساجی | دارویی | وسایل خانگی |
| ۱۸ | ماشین‌آلات الکتریکی | فعالیت مهندسی | پیمانکاری صنعتی | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری |
| ۱۹ | محصولات لبنی | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | ماشین‌آلات الکتریکی | محصولات کشاورزی |
| ۲۰ | قطعات خودرو | وسایل خانگی | سخت‌افزار و تجهیزات | تجهیزات صنعتی |
| ۲۱ | پیمانکاری صنعتی | ماشین‌آلات | کاشی و سرامیک | نوشیدنی |
| ۲۲ | سخت‌افزار و تجهیزات | تجهیزات صنعتی | محصولات | انبوه‌سازی، املاک |

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| | | | پاک‌کننده | و مستغلات |
| ۲۳ | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | نوشیدنی | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | ماشین‌آلات |
| ۲۴ | محصولات فلزی | حفاری | شیرینی‌جات | چاپ و نشر |
| ۲۵ | حفاری | مخابرات | سایر محصولات کانی غیرفلزی | سرمایه‌گذاری |
| ۲۶ | نساجی | لاستیک و پلاستیک | تجهیزات صنعتی | مخابرات |
| ۲۷ | فعالیت مهندسی | چاپ و نشر | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | بنادر و کشتیرانی |
| ۲۸ | لیزینگ | سرمایه‌گذاری | حفاری | لاستیک و پلاستیک |
| ۲۹ | وسایل خانگی | بنادر و کشتیرانی | لیزینگ | حفاری |
| ۳۰ | نوشیدنی | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | سیمان، آهک و گچ | تجهیزات مخابراتی |
| ۳۱ | لاستیک و پلاستیک | تجهیزات مخابراتی | بیمه | لیزینگ |
| ۳۲ | تجهیزات مخابراتی | لیزینگ | ماشین‌آلات | حمل‌ونقل بار زمینی |
| ۳۳ | مخابرات | حمل‌ونقل بار زمینی | محصولات کشاورزی | تولید کود و ترکیبات نیتروژن |
| ۳۴ | چاپ و نشر | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری |
| ۳۵ | سرمایه‌گذاری | سایر محصولات غذایی | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | سایر محصولات غذایی |
| ۳۶ | سایر محصولات غذایی | مواد شیمیایی- | مواد شیمیایی- | خودرو |

| رتبه | میانی | نزدیکی | خوشه‌بندی | مقدار ویژه |
|---|---|---|---|---|
| | | متنوع | متنوع | |
| ۳۷ | حمل‌ونقل بار زمینی | خودرو | خودرو | مواد شیمیایی- متنوع |
| ۳۸ | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | کانی‌های فلزی | کانی‌های فلزی | آهن و فولاد |
| ۳۹ | خودرو | آهن و فولاد | آهن و فولاد | کانی‌های فلزی |
| ۴۰ | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن |
| ۴۱ | شکر | شکر | شکر | شکر |

نهایتاً با توجه به اینکه معیارهای مرکزیت متنوع هستند، یک راهکار مناسب برای رتبه‌بندی نهایی گروه‌های بازار سهام در شبکه می‌تواند میانگین‌گیری از امتیاز ۵ معیار مرکزیت و سپس رتبه‌بندی گروه‌ها براساس این امتیاز میانگین باشد. این رتبه‌بندی در جدول (۵) گزارش‌شده است. بنابراین در دوره زمانی روزانه، گروه سرمایه‌گذاری، در دوره زمانی فصلی گروه بیمه و در دوره زمانی سالانه گروه سیمان بیشترین اهمیت را در شبکه همبستگی بازار سهام ایران دارند.[۶۸]

**جدول (۵): رتبه‌بندی گروه‌ها براساس میانگین معیارهای مرکزیت**

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| ۱ | سرمایه‌گذاری | بیمه | سیمان، آهک و گچ |
| ۲ | سایر محصولات کانی غیرفلزی | سایر محصولات کانی غیرفلزی | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن |
| ۳ | بیمه | دارویی | دارویی |
| ۴ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | سیمان، آهک و گچ | سایر محصولات کانی غیرفلزی |
| ۵ | سیمان، آهک و گچ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | بیمه |
| ۶ | دارویی | کاشی و سرامیک | محصولات کشاورزی |

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| ۷ | لیزینگ | محصولات لبنی | شیرینی‌جات |
| ۸ | قطعات خودرو | فعالیت مهندسی | محصولات پاک‌کننده |
| ۹ | ماشین‌آلات | ماشین‌آلات | پیمانکاری صنعتی |
| ۱۰ | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | کاشی و سرامیک |
| ۱۱ | محصولات لبنی | سرمایه‌گذاری | محصولات لبنی |
| ۱۲ | لاستیک و پلاستیک | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | قطعات خودرو |
| ۱۳ | آهن و فولاد | شیرینی‌جات | سخت‌افزار و تجهیزات |
| ۱۴ | محصولات فلزی | تجهیزات صنعتی | محصولات فلزی |
| ۱۵ | نرم‌افزار و خدمات | محصولات کشاورزی | ماشین‌آلات الکتریکی |
| ۱۶ | ماشین‌آلات الکتریکی | مخابرات | فعالیت مهندسی |
| ۱۷ | فعالیت مهندسی | لیزینگ | نساجی |
| ۱۸ | حمل‌ونقل از طریق خطوط راه‌آهن | محصولات فلزی | وسایل خانگی |
| ۱۹ | کاشی و سرامیک | قطعات خودرو | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری |
| ۲۰ | سخت‌افزار و تجهیزات | ماشین‌آلات الکتریکی | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات |
| ۲۱ | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | سخت‌افزار و تجهیزات | تجهیزات صنعتی |
| ۲۲ | مواد شیمیایی- متنوع | وسایل خانگی | نوشیدنی |
| ۲۳ | مخابرات | تولید کود و ترکیبات نیتروژن | سرمایه‌گذاری |
| ۲۴ | کانی‌های فلزی | محصولات کاغذی | ماشین‌آلات |

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| ۲۵ | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | حفاری | چاپ و نشر |
| ۲۶ | خودرو | شکر | بنادر و کشتیرانی |
| ۲۷ | حفاری | نوشیدنی | مخابرات |
| ۲۸ | محصولات کاغذی | لاستیک و پلاستیک | لاستیک و پلاستیک |
| ۲۹ | تجهیزات صنعتی | حمل‌ونقل بار زمینی | تجهیزات مخابراتی |
| ۳۰ | محصولات کشاورزی | تجهیزات مخابراتی | حمل‌ونقل بار زمینی |
| ۳۱ | زغال‌سنگ | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | حفاری |
| ۳۲ | شکر | چاپ و نشر | سایر محصولات غذایی |
| ۳۳ | شیرینی‌جات | فراورده‌های نفتی | لیزینگ |
| ۳۴ | محصولات پاک‌کننده | خودرو | تولید کود و ترکیبات نیتروژن |
| ۳۵ | نوشیدنی | سایر محصولات غذایی | مواد شیمیایی- متنوع |
| ۳۶ | فراورده‌های نفتی | بنادر و کشتیرانی | کانی‌های فلزی |
| ۳۷ | سایر محصولات غذایی | مواد شیمیایی- متنوع | آهن و فولاد |
| ۳۸ | وسایل خانگی | نرم‌افزار و خدمات | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری |
| ۳۹ | پیمانکاری صنعتی | زغال‌سنگ | خودرو |
| ۴۰ | حمل‌ونقل بار زمینی | آهن و فولاد | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن |
| ۴۱ | خرده‌فروشی، به‌استثنای وسایل نقلیه موتوری | محصولات پاک‌کننده | شکر |
| ۴۲ | چوب | نساجی | - |

| رتبه | روزانه | فصلی | سالانه |
|---|---|---|---|
| ۴۳ | بنادر و کشتیرانی | کانی‌های فلزی | - |
| ۴۴ | تجهیزات مخابراتی | چوب | - |
| ۴۵ | چاپ و نشر | تولید فلزات گران‌بهای غیرآهن | - |
| ۴۶ | نساجی | پیمانکاری صنعتی | - |

## نتیجه‌گیری

نظریه شبکه‌های پیچیده به محققین اجازه می‌دهد که ساختار توپولوژیک بازارها را ساخته و تحلیل کنند. در میان اطلاعات مهمی که می‌توان از ساختار توپولوژیک بازار به‌دست‌آورد، روابط میان عناصر بازار است که با تحلیل اطلاعات نهفته در ساختار و پویایی‌های بازار به‌دست می‌آید. در این راستا تحقیق حاضر به دنبال شناخت توپولوژی شبکه همبستگی‌های متقابل گروه‌های بازار سهام ایران و شناسایی گروه‌هایی در بازار سهام بود که در سه دوره زمانی روزانه، فصلی و سالانه بیشترین و کمترین اهمیت را در ساختار شبکه بازار سهام دارند. با عنایت به پیچیدگی و تعاملات متقابلی که اعضای یک بازار مالی با یکدیگر دارند، در چارچوب نظریه گراف و تحلیل شبکه‌های پیچیده، با استفاده از معیارهای محاسباتی نظریه گراف در ریاضیات، تلاش شد به اهداف تحقیق دست‌یافته شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که در کوتاه‌مدت شبکه بازار سهام ایران بسیار پیچیده و درهم‌تنیده است و با هرگونه رخدادی برای یکی از اعضای شبکه (گروه‌های بازار سهام) تعداد زیادی از گروه‌های دیگر عضو شبکه از آن متأثر می‌شوند. بااین‌حال هرچه به سمت دوره‌های زمانی بلندمدت‌تر حرکت می‌کنیم از پیچیدگی و درهم‌تنیدگی شبکه کاسته می‌شود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از رتبه‌بندی گروه‌های بازار سهام حاکی از این است که گروه‌هایی نظیر بیمه، دارویی، سرمایه‌گذاری، سایر محصولات کانی غیرفلزی، انبوه‌سازی و املاک، سیمان، ماشین‌آلات و کاشی و سرامیک ازجمله گروه‌هایی هستند که بیشترین ارتباط و تأثیرگذاری را چه در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت و چه بلندمدت بر دیگر گروه‌های بازار سهام دارند و گروه‌های مهمی نیز از منظر سرایت

اطلاعات در بازار هستند. نقطه مقابل آنها گروه‌هایی نظیر شکر، زغال‌سنگ، نساجی یا چوب هستند که کمترین تأثیر و تسری را در بازار دارند.

مهم‌ترین مضامین و پیشنهادات منتج از تحقیق حاضر برای سرمایه‌گذاران و مشارکت‌کنندگان بازار سهام ایران به‌ویژه تحلیل‌گران و نهادهای سبدگردان و در حوزه مدیریت ریسک است. اگرچه ناظران بازار و مقررات‌گذاران نیز از این نتایج در جهت کنترل و مدیریت ثبات بازار می‌توانند بهره ببرند. مطابق نتایج تحقیق، پیشنهاد می‌شود برای انتخاب گروه‌های بازار سهام جهت تشکیل پرتفوی، به تأثیر گروه‌ها بر بازار و نقش آنها توجه نمود. رتبه‌بندی انجام‌شده گروه‌ها برحسب معیارهای مرکزیت، گروه‌های مهم که بیشترین تأثیر را بر بازار دارند نمایان نموده و همچنین گروه‌هایی که کمترین تأثیر و تأثیرپذیری را از دیگر اعضای بازار دارند مشخص می‌کند. در تشکیل پرتفوی توصیه می‌شود با توجه به مقیاس زمانی استراتژی معاملاتی مورد هدف، گروه‌های با رتبه‌های مختلف انتخاب شوند تا هم ریسک تمرکز پرتفوی و هم ریسک غیرسیستماتیک پرتفوی کاهش یابند و هم ریسک سرایت شوک‌ها بین گروه‌های بازار کنترل شود. به‌علاوه در تحلیل اثرات تغییرات و شوک‌های اقتصادی بر بازار سهام، بهتر است به رتبه‌بندی انجام‌شده گروه‌ها توجه شود. به‌طور مثال اگر اطلاعاتی در خصوص یکی از گروه‌های مهم بازار سهام منتشر شود، این اطلاعات از طریق همبستگی‌های متقابلی که این گروه با گروه‌های دیگر دارد به آنها تسری می‌یابد. هرچه اطلاعات منتشرشده به گروه‌های بااهمیت کمتر مرتبط باشد، تأثیرپذیری کلیت بازار سهام از آن کمتر خواهد بود و به‌طور متقابل نیز شوک‌های اطلاعاتی و عملکردی که به گروه‌های مهم بازار و با مرکزیت بالا وارد می‌شوند با احتمال بالایی به کل بازار تسری می‌یابند. نهایتاً ناظر بازار و مقررات‌گذار، برای تنظیم بازار و کنترل ثبات و مدیریت ریسک بازار سهام، لازم است به درجه اهمیت هر گروه بازار سهام و تأثیری که آن گروه بر رفتار بازار دارد توجه داشته باشد. انحراف گروه‌های تکی از واقعیت‌ها (نظیر فاصله گرفتن قیمت از عوامل بنیادی که به حباب منجر می‌شود)، رفتارهای گله‌ای و خطاهای عمدی و سهوی معاملاتی مشارکت‌کنندگان بازار اگر در گروه‌های مهم بازار (گروه‌هایی که مرکزیت بالایی دارند) اتفاق بیافتد که سرایت آنها به دیگر گروه‌های بازار قابل‌توجه

است، می‌تواند برای کلیت بازار نامطلوب‌تر باشد و بازار را به بی‌ثباتی و حتی بحران سوق دهند. نتایج تحقیق از این منظر مضامین مهمی را منعکس و اهمیت رویکرد شبکه‌ای را در تحلیل بازار سهام به‌منظور شناخت بهتر بازار، سرمایه‌گذاری و مقررات‌گذاری بر بازار نمایان می‌کند. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود بازیگران بازار در تحلیل‌های بنیادی خود به ساختار شبکه‌ای بازار سهام ایران و پدیده سرایت شبکه‌ای توجه بیشتری داشته باشند.

## یادداشت‌ها

1. Complex Systems
2. Haotic Behavior
3. Collective Behavior
4. Interdependencies
5. Graph Theory
6. Billio, Getmansky & Pelizzon
7. Black Swans
8. Allen & Babus
9. Topological Dynamics
10. Contagion
11. Network Effects, Domino Effects and Cascading Effects

۱۲. بااین‌حال لازم به ذکر است که قلمرو این تحقیق محدود به تعاملات موجود در بازار سهام در قالب همبستگی‌های متقابل گروه‌های بازار سهام است و به عوامل بنیادی که در طول زمان می‌تواند بر عملکرد گروه‌های مختلف اثرگذار باشد یا حتی بازار سهام را به‌عنوان یک کل دچار تحول کند پرداخته نمی‌شود. زیرا اساساً عواملی ازاین‌گونه در رویکرد نظریه گراف قابل ضبط، بررسی و احصا نیستند.

13. Allen & Gale
14. Elliott, Golub & Jackson
15. Gabrieli
16. Rogers & Veraart
17. Acemoglu, Ozdaglar & Tahbaz-Salehi
18. Berndsen, Leon & Renneboog
19. Roukny, Battiston & Stiglitz
20. Too-Big-to-Fail
21. Too-Connect-to-Fail
22. Chi, Liu & Lau

23. Scale Free Degree Distribution
24. Bech & Atalay
25. Sparse
26. Centrality
27. Bech, Chapman & Garratt
28. Majapa & Gossel
29. Xu, Wong, Chen & Huang
30. Dynamic stability
31. Gain
32. Lee, Cho, Kwon & Sohn

۳۳. در نگارش این بخش از تحقیق عمدتاً از کولاسیچک و ساردی (۲۰۱۴)، جکسون (۲۰۱۰) و نیمزادا و همکاران (۲۰۰۸) استفاده‌شده است.

34. Vertex
35. Node
36. Edge
37. Connected
38. Adjacency Matrix
39. Undirected Graph

۴۰. در مقابل گراف جهت‌دار گرافی است که یال‌ها از یک گره به سمت گره دیگری برقرار هستند و ماتریس مجاورت لزوماً متقارن نیست. به‌عبارت‌دیگر اگر یالی گره i را به گره j متصل کرده باشد لزوماً عکس آن برقرار نیست. اگرچه این امکان نیز وجود دارد که در گراف جهت‌دار از گره j به گره i نیز یالی برقرار باشد. در گراف جهت‌دار باید درجه-ورود $k_i^{in}$ و درجه-خروج $k_i^{out}$ را مشخص کنیم که نشان‌دهنده تعداد یال‌های ورودی و خروجی به گره i هستند. جمع این دو درجه کل گره خواهد بود.

41. Geodesic Path
42. Geodesic Distance
43. Density
44. Fully Connected

۴۵. برای گراف بی‌جهت سمت راست را در ۲ ضرب می‌کنیم.

46. Weighted Graph
47. Components
48. Clustering
49. Triangular
50. Local Clustering Coefficient
51. Global Clustering Coefficient
52. Centrality

53. Strengthens Centrality
54. Closeness Centrality
55. Broker
56. Betweenness Centrality
57. Flow Betweenness Centrality
58. Eigenvector Centrality

۵۹. $x_{it} = Ln(P_{it}/P_{it-1})$

که در آن $x_{it}$ بازده گروه i در دوره t، Ln لگاریتم طبیعی و $P_{it}$ شاخص قیمت گروه i در زمان t است. علت استفاده از این معادله برای محاسبه بازده خواص مطلوبی است که چنین تصریحی دارد. ازجمله نزدیک شدن توزیع به توزیع نرمال و همچنین منظور شدن بازده مرکب در محاسبات است.

۶۰. $\rho(x_i, x_j)=\frac{COV(x_i, x_j)}{\sqrt{Var(x_i)Var(x_j)}}$

که در آن $COV$ کوواریانس و $Var$ واریانس بازده هر x بوده و i و j دو گروه از بازار سهام هستند.

۶۱. به دلیل صرفه‌جویی در صفحات مقاله محاسبات همبستگی‌ها و ماتریس‌های مجاورت آورده نشده‌اند. البته ماتریس‌های مجاورت و محاسبات مربوطه نظیر همبستگی‌ها و دیگر محاسبات انجام‌شده نظریه گراف در صورت تقاضای خواننده گرامی توسط نویسندگان قابل‌ارائه است.

۶۲ مرکزیت درجه‌ای وزنی یک گره، برابر است با مجموع یال‌های گره ضربدر وزن آن یال‌ها، که وزن یال همان اندازه ضریب همبستگی است ($C_s(i)=\sum_{j=1}^{N} a_{ij} w_{ij}$). مثلاً یک گره ۲ یال دارد که وزن هر دو نیز ۰٫۹۲۸ است. میانگین درجه‌ای وزنی برابر ۱٫۸۵ می‌شود. آنگاه گره‌ها برحسب امتیاز مرکزیت درجه‌ای وزنی که به‌دست‌آورده‌اند از بیشترین به کمترین امتیاز رتبه‌بندی شده‌اند که در جداول گزارش‌شده است. رتبه‌بندی به این دلیل انجام‌شده که خود امتیازات به‌تنهایی مفهوم خاصی برای استنباط ندارند، بلکه با مقایسه امتیازات گره‌ها می‌توان اهمیت آنها را شناسایی نمود.

۶۳. لازم به ذکر است که چون گراف روزانه یک گراف کامل شده است، گروه‌های بازار سهام ازنظر معیارهای میانی، نزدیکی، خوشه‌بندی و مقدار ویژه رتبه مشابهی دارند، درنتیجه دیگر در جدولی مجزا گزارش نشده است.

۶۴. برای محاسبه مرکزیت میانی، دو گره از شبکه انتخاب می‌شود. آنگاه تعداد دفعاتی که گره i در میان کوتاه‌ترین مسیر (مسیر ژئودسیک) بین این دو گره‌ها قرار می‌گیرد شمارش می‌شود و تقسیم بر کوتاه‌ترین مسیر دو گره مذکور می‌شود. به تعداد $(n-1)(n-2)/2$ کسر وجود خواهد داشت (که n تعداد گره‌های شبکه است)، حاصل جمع این کسرها امتیاز به‌دست‌آمده مرکزیت میانی گره i است.

۶۵ برای محاسبه مرکزیت نزدیکی، کوتاه‌ترین مسیرهای بین گره i و گره‌های دیگر شمارش و جمع‌زده می‌شود. آنگاه تقسیم بر $(n-1)$ شده (که n تعداد گره‌های شبکه است) و عدد به‌دست‌آمده معکوس می‌شود، حاصل امتیاز به‌دست‌آمده مرکزیت نزدیکی گره i است.

۶۶. برای محاسبه مرکزیت خوشه‌بندی (ضریب خوشه‌بندی محلی)، تعداد یال‌های میان k همسایگان گره i که درجه k دارد شمارش‌شده، آنگاه تقسیم‌بر $k(k-1)$ شده (که k درجه گره i است) و عدد به‌دست‌آمده برای گراف بی‌جهت ضربدر ۲ می‌شود، حاصل امتیاز به‌دست‌آمده مرکزیت (ضریب) خوشه‌بندی گره i است.

۶۷. برای محاسبه مرکزیت مقدار ویژه این‌گونه عمل می‌شود: ۱. امتیاز ۱ به تمام گره‌ها داده می‌شود. ۲. امتیاز هر گره به‌صورت جمع وزنی امتیاز تمام گره‌های همسایه آن دوباره محاسبه می‌شود. ۳. امتیاز گره‌ها با تقسیم‌بر بزرگ‌ترین مقدار به‌دست‌آمده نرمال می‌شود. ۴. گام‌های ۲ و ۳ تا جایی انجام می‌شود که دیگر تغییری در امتیازات ایجاد نشود.

۶۸. مجدداً لازم به ذکر است که در گراف سالانه گروه‌های چوب، محصولات کاغذی، فراورده‌های نفتی، نرم‌افزار و خدمات و گروه زغال‌سنگ همبستگی معناداری با گروه‌های دیگر بازار سهام ندارند، درنتیجه مستقل بوده و در رتبه‌بندی‌ها قرار نمی‌گیرند.

**کتابنامه**


اسماعیل‌پورمقدم، هادی؛ محمدی، تیمور؛ فقهی‌کاشانی، محمد؛ و شاکری، عباس (۱۳۹۸). رشد بخشی و مرکزیت در بازار سهام ایران: کاربرد تحلیل شبکه‌های پیچیده. *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۲۷(۹۰)، ۲۴۱-۳۱۳.

شریفی‌سامانی، فرشاد (۱۳۹۵). *ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه سهام در بازار بورس اوراق بهادار تهران (مطالعه موردی اثر برجام)*. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران.

صداقتی، صمد (۱۳۹۹). *پویایی توپولوژیکی و سرایت در بازارسهام ایران* (رساله دکتری). دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2015). Systemic Risk and Stability in Financial Networks. *American Economic Review*, *105*(2), 564-608.

Allen, F., & Babus, A. (2009). Networks in Finance. *The Network Challenge: Strategy, Profit, and Risk in an Interlinked world*, *367*.

Allen, F., & Gale, D. (2000). Financial contagion. *Journal of Political Economy*, *108*(1), 1-33.

Battiston, S., Caldarelli, G., May, R. M., Roukny, T., & Stiglitz, J. E. (2016). The Price of Complexity in Financial Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(36), 10031-10036.

Bech, M. L., & Atalay, E. (2010). The Topology of the Federal Funds Market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *389*(22), 5223-5246.

Bech, M. L., Chapman, J. T., & Garratt, R. J. (2010). Which Bank is the "Central" Bank?. *Journal of Monetary Economics*, *57*(3), 352-363.

Berndsen, R. J., León, C., & Renneboog, L. (2018). Financial Stability in Networks of Financial Institutions and Market Infrastructures. *Journal of Financial Stability*, *35*, 120-135.

Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., & Pelizzon, L. (2012). Econometric Measures of Connectedness and Systemic Risk in the Finance and Insurance Sectors. *Journal of Financial Economics*, *104*(3), 535-559.

Chi, K. T., Liu, J., & Lau, F. C. (2010). A Network Perspective of the Stock Market. *Journal of Empirical Finance*, *17*(4), 659-667.

Elliott, M., Golub, B., & Jackson, M. O. (2014). Financial Networks and Contagion. *American Economic Review*, *104*(10), 3115-53.

Gabrieli, S. (2011). The Microstructure of the Money Market Before and After the Financial Crisis: a Network Perspective. *CEIS Tor Vergata Research Paper Series*, *9*(1), 181.

Krehbiel, T. C. (2004). Correlation Coefficient Rule of Thumb. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, *2*(1), 97-100.

Lee, T. K., Cho, J. H., Kwon, D. S., & Sohn, S. Y. (2019). Global Stock Market Investment Strategies Based on Financial Network Indicators Using Machine Learning Techniques. *Expert Systems with Applications, 117*, 228-242.

Majapa, M., & Gossel, S. J. (2016). Topology of the South African Stock Market Network Across the 2008 Financial Crisis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 445*, 35-47.

Rogers, L. C., & Veraart, L. A. (2013). Failure and Rescue in an Interbank Network. *Management Science*, *59*(4), 882-898.

Roukny, T., Battiston, S., & Stiglitz, J. E. (2018). Interconnectedness as a Source of Uncertainty in Systemic risk. *Journal of Financial Stability*, *35*, 93-106.

Xu, R., Wong, W. K., Chen, G., & Huang, S. (2017). Topological Characteristics of the Hong Kong Stock Market: A Test-Based p-Threshold Approach to Understanding Network Complexity. *Scientific Reports*, *7*(1), 1-16.