تحقیقات حسابداری و حسابرسی، پاییز ۱۴۰۴، شماره ۶۷، از صفحه ۶۷ تا ۸۴

# تحلیل بازار سهام با استفاده از رویکرد شبکه‌های پیچیده

**لیلا لطفی**

دانشجوی دکتری حسابداری، دانشکده علوم اقتصادی و اداری دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

**دکتر یحیی کامیابی[1]©**

استاد گروه حسابداری، دانشکده علوم اقتصادی و اداری دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

(تاریخ دریافت: ۵ اردیبهشت ۱۴۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۸ مرداد ۱۴۰۳)

هدف: امروزه فیزیک مالی و استفاده از تکنیک شبکه‌های پیچیده نقش برجسته‌ای در مطالعات سیستم‌های مالی و اقتصادی پیدا کرده است. از این رو این پژوهش در صدد است تحلیل بازار سهام را از طریق روش شبکه‌های پیچیده بررسی نماید.

روش: بررسی داده‌های بورسی با استفاده از شبکه‌های پیچیده، پژوهشی بین رشته‌ای و کمی می‌باشد که در مرز نظریه گراف، فیزیک مالی و اقتصاد قرار دارد. در این مطالعه برای ساخت و بررسی شبکه‌های پیچیده، داده‌های بورسی ۶۱۸ شرکت[2] طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۰ در قالب ۴۸ صنعت، از نرم‌افزار پایتون (Python ۳) و کتابخانه‌های موجود در آن (Numpy و NetworkX و Scipy) استفاده شده است.

یافته‌ها: در این پژوهش، پارامترهای مختلف شبکه پیچیده مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی روند مرکزیت درجه و مرکزیت نزدیکی، تغییرات شبکه طی سال‌های بحرانی به وضوح مشاهده می‌گردد و با استفاده از پارامتر تشابه میزان شباهت شبکه‌ها نشان داده می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های ساخته شده، ویژگی‌های شبکه دنیای کوچک را دارند. در طی سال‌ها مرکزیت بین صنایع جابه‌جا شده است، که نشان از عدم پایداری شبکه‌ها در طول زمان دارد. هر دو مرکزیت درجه و مرکزیت نزدیکی در طی سال‌های بحرانی دارای بیشترین مقدار خود می‌باشند که حاکی از آن است که بحران همه صنایع را تحت تأثیر قرار داده است. علاوه بر آن، یافته‌های پژوهش حاصل از پارامتر تشابه بیانگر آن است که در طول سال‌های بحران، شبکه‌ها دارای بیشترین شباهت با یکدیگر و کاملاً متراکم بوده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم‌های پیچیده، شبکه بازار سهام، شبکه پیچیده مالی، علم شبکه، نظریه گراف، همبستگی سهام.

© (نویسندهٔ مسئول)

[1] y.kamyabi@umz.ac.ir

مقاله علمی – پژوهشی

[2] .کلیه شرکت‌های فعال طبق داده‌های کتابخانه سازمان بورس و اوراق بهادار تهران

**مقدمه**

در زمینه مطالعات شبکه‌های مالی، کاربرد علم فیزیک منجر به نتایج و تأثیرات موفقیت‌آمیزی شده است [۷]. به طور خاص، شناخت اهمیت اثرات شبکه به تحولات مفهومی کلیدی در سیاست منجر شده است [۶]. حجم زیادی از داده‌ها به صورت روزانه توسط بازار سهام تولید می‌شود و یکی از مشکلات عمده در امور مالی، یافتن روش‌هایی کارآمد برای تجسم و خلاصه‌سازی این داده‌ها برای تجزیه و تحلیل بازارها است. هنگامی که حجم داده‌ها افزایش می‌یابد، تجزیه و تحلیل آنها پیچیده‌تر می‌شود. بنابراین درک این شبکه‌های مالی نیازمند رویکردهای نظری و ابزارهای جدید برای تحلیل کمی است. علاوه بر این، فیزیک مالی[1] بخشی از یک پازل بزرگ است که در آن روانشناسی، ریاضیات، فلسفه و دین بر دانش مالی مؤثر یا از آن تأثیر می‌پذیرند و باعث پیچیدگی بیشتر رفتار بازار سهام می‌شوند [۴]. طبق پژوهش‌های جدید صورت گرفته برای تجسم و خلاصه کردن داده‌های سهام استفاده از روش شبکه پیچیده و مطالعه همبستگی قیمت سهام، بسیار توصیه می‌شود [۲].

در سال‌های اخیر بسیاری از آثار به مطالعه ویژگی‌های شبکه‌های پیچیده مالی پرداخته‌اند. تقی‌زاده و عبدزاده کنفی [۱] همبستگی قیمت سهام شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند، پژوهش آن‌ها حاکی از آن است که شرکت‌هایی که در مرکز شبکه قرار دارند، بیشترین ارتباطات را در شبکه دارند و بسیار سریعتر به اخبار و اطلاعات و تغییرات قیمت واکنش نشان می‌دهند و نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات قیمت، بازده و حجم معاملات دارند. در این مقاله، ساخت شبکه پیچیده بورس ایران و پارامترهای آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و در واقع، بررسی می‌گردد که چگونه پارامترهای بازار سهام می‌توانند بر ساخت شبکه پیچیده تأثیر بگذارند و علاوه بر این، به بررسی پیامدهای اقتصادی و مالی پرداخته می‌شود. برای تحقق آن، از پارامترهایی که در مطالعات شبکه پیچیده مالی از آنها استفاده می‌گردد، برای ساخت شبکه‌های پویا استفاده می‌گردد.

**مبانی نظری و پیشینه پژوهش**

سرمایه‌گذاران می‌توانند با انتخاب پرتفوی بهینه سهام، بازده سرمایه‌گذاری خود را حداکثر نمایند، بنابراین همواره به دنبال استفاده از الگوریتم‌های مالی پیشرفته جهت تشکیل پرتفوی بهینه سهام می‌باشند [۳]. استفاده از ابزارها و روش‌های پیش‌بینی سنتی خطای بالایی داشته و در مقایسه با روش‌های جدیدتر و مدل‌های غیرخطی عملکرد ضعیف‌تری دارند[۵].

در سال‌های اخیر، یکی از موضوعات تحقیقاتی رایج در مورد شبکه‌های پیچیده، تغییر در ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه‌های پیچیده در اثر رویدادهای قوی سیاه می‌باشد [۱۴]. نسیم نیکلاس طالب[2] نظریه قوی سیاه را اولین بار در کتابی تحت همین عنوان معرفی و مورد بررسی قرار داد. رویدادهایی که احتمال وقوع بسیار ناچیز و در عین حال پیامدهای عمیق و گسترده‌ای را دارند، با نام رویدادهای قوی سیاه

[1] Financial Physics
[2]. Nassim Nicholas Taleb

شناخته می‌شوند. در این زمینه نوبی و همکاران [۱۶]، تأثیرات بحران مالی جهانی ۲۰۰۸ را بر روی شبکه‌های مالی ساخته شده از بازار مالی کره طی دوره بحران مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها قیمت سهام را برای دوره قبل و حین بحران در نظر گرفته و شبکه‌های همبستگی قیمت سهام را ساخته‌اند. یافته‌های آنها نشان می‌دهد که شبکه‌های ساخته شده در طول بحران متراکم‌تر از شبکه‌های ساخته شده قبل از بحران هستند. یانگ و همکاران [۲۱] با تحلیل روابط همبستگی بازارهای سهام در سه کشور چین، ژاپن و آمریکا دریافتند که بحران مالی، روابط همبستگی این بازارهای سهام را دچار تغییر کرده است. لی و پی [۱۵] حرکت بازارهای سهام جهانی را با استفاده از شبکه پیچیده در طول بحران مربوط به وام‌های بدون پشتوانه[1] و بحران‌های مالی جهانی بررسی نموده‌اند. با این حال، بسیاری از ابهامات در مورد تأثیر کوید-۱۹ بر حرکت بازار سهام و مقایسه شبکه‌های بازار سهام قبل و بعد از شیوع باقی مانده است. در این مطالعه ما در بازه زمانی ۱۱ ساله به بررسی ویژگی‌های شبکه بورس اوراق بهادار تهران قبل از شیوع بیماری کرونا و در طول این بحران پرداخته‌ایم. تجزیه و تحلیل شبکه پیچیده، ویژگی‌های توپولوژیکی پویای شبکه بورس اوراق بهادار تهران را قبل و بعد از شیوع کوید-۱۹ شناسایی می‌کند. این یافته‌ها درک عمیق و جامعی از حرکت‌های مشترک بازار سهام ارائه می‌دهد.

**روش شناسی**

تئوری شبکه‌های پیچیده، برگرفته از ریاضیات گسسته و تئوری گراف است و طی چندین دهه به عنوان یک چارچوب نظری برای درک ویژگی‌های ساختاری شبکه‌ها توسعه یافته است [۲۰]. شبکه عبارت است است از نمایش انتزاعی و مجرد از مجموعه‌ای از اشیا که گره[2] نامیده شده و به وسیله برخی ارتباطات به نام یال‌ها[3] به هم مرتبط شده‌اند. معمولاً یک شبکه در دنیای واقعی را با گرافی مانند G نشان می‌دهند که از دو قسمت اصلی مجموعه گره‌ها V و یال‌ها E تشکیل شده است و تابع نگاشتی مانند F که هر یال از مجموعه E را به دو گره (که لزوماً متمایز نیستند) نسبت می‌دهد [۲۰].

رفتار روزانه قیمت سهم‌ها صرفاً وابسته به مبانی تک تک شرکت‌ها نیست و تحت تأثیر سایر سهم‌های معامله شده در بازار و اخبار و عوامل اقتصادی قرار می‌گیرند. یکی از راه‌های به دست آوردن روابط متقابل بین سهام، ضریب همبستگی پیرسون[4] است [۱۷].

در این مقاله از نرم‌افزار پایتون[5] ۳ و کتابخانه‌های Numpy و Network X و Scipy جهت انجام پژوهش استفاده شده است همچنین از استاندارد ISIC[6] برای طبقه‌بندی شرکت‌ها استفاده گردید. مطابق با این استاندارد ۶۱۸ شرکت بورسی و فرابورسی به ۴۸ طبقه تقسیم می‌شوند. اساس طبقه‌بندی در این روش

---

1. Subprime crisis
2. Vertice or Node
3. Edge or Link
4. Pearson correlation coefficient
5. Python 3
6. International Standard Industrial Classification

نوع فعالیت اقتصادی است و هدف آن این است که بتوان واحدهای مستقل را طبق نوع فعالیت اقتصادی آنان طبقه‌بندی کرد. جدول ۱ طبقه‌بندی صنایع و تعداد شرکت‌های هر طبقه بر اساس این روش را نشان می‌دهد.

**جدول ۱- طبقه‌بندی صنایع بر اساس استاندارد ISIC**

| ردیف | نام صنعت | مخفف نام صنعت | تعداد شرکت‌های موجود در صنعت |
|---|---|---|---|
| ۱ | واسطه‌گری‌های مالی و پولی | FMI | ۱ |
| ۲ | هتل و رستوران | HR | ۴ |
| ۳ | مواد و محصولات دارویی | PMP | ۴۱ |
| ۴ | منسوجات | Tex | ۳ |
| ۵ | مخابرات | Tel | ۲ |
| ۶ | محصولات کاغذی | PP | ۴ |
| ۷ | محصولات غذایی و آشامیدنی به جز قند و شکر | FBPES | ۳۴ |
| ۸ | محصولات شیمیایی | CP | ۵۴ |
| ۹ | محصولات چوبی | WP | ۱ |
| ۱۰ | ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی | EDM | ۱۰ |
| ۱۱ | ماشین‌آلات و تجهیزات | EM | ۱۴ |
| ۱۲ | لاستیک و پلاستیک | RP | ۱۰ |
| ۱۳ | کاشی و سرامیک | TC | ۹ |
| ۱۴ | قند و شکر | Su | ۱۶ |
| ۱۵ | فلزات اساسی | BM | ۳۵ |
| ۱۶ | فعالیت‌های کمکی به نهادهای مالی واسط | AAIFI | ۱۴ |
| ۱۷ | فراورده‌های نفتی، کک و سوخت هسته‌ای | PPCNF | ۱۳ |
| ۱۸ | عرضه برق، گاز، بخار و آب گرم | SEGSH | ۹ |
| ۱۹ | صندوق سرمایه‌گذاری قابل معامله | TIF | ۲۹ |
| ۲۰ | شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی | MIC | ۵ |

| ۲۱ | سیمان، آهک و گچ | CLP | ۳۷ |
|---|---|---|---|
| ۲۲ | سرمایه‌گذاری‌ها | Inv | ۳۸ |
| ۲۳ | سایر واسطه‌گری‌های مالی | OFM | ۱۱ |
| ۲۴ | سایر محصولات کانی غیرفلزی | OMMP | ۲۲ |
| ۲۵ | ساخت محصولات فلزی | MMP | ۹ |
| ۲۶ | ساخت دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی | MDCD | ۳ |
| ۲۷ | زراعت و خدمات وابسته | ARS | ۱۴ |
| ۲۸ | رایانه و فعالیت‌های وابسته به آن | CRA | ۱۳ |
| ۲۹ | دباغی، پرداخت چرم و ساخت انواع پاپوش | TLPS | ۱ |
| ۳۰ | خودرو و ساخت قطعات | APM | ۳۵ |
| ۳۱ | خرده‌فروشی، به استثنای وسایل نقلیه موتوری | REMV | ۳ |
| ۳۲ | خدمات فنی و مهندسی | TES | ۵ |
| ۳۳ | حمل ونقل، انبارداری و ارتباطات | TSC | ۱۳ |
| ۳۴ | حمل و نقل آبی | WT | ۲ |
| ۳۵ | تولید محصولات کامپیوتری الکترونیکی ونوری | PEOCP | ۱ |
| ۳۶ | تجارت عمده‌فروشی به جز وسایل نقلیه موتور | WTEMV | ۱ |
| ۳۷ | پیمانکاری صنعتی | Icn | ۳ |
| ۳۸ | بیمه و صندوق بازنشستگی به جز تأمین اجتماعی | IRFESS | ۲۴ |
| ۳۹ | بانک‌ها و مؤسسات اعتباری | BCI | ۲۲ |
| ۴۰ | اوراق بهادار مبتنی بر دارایی فکری | SBIP | ۱ |
| ۴۱ | انتشار، چاپ و تکثیر | PPR | ۱ |
| ۴۲ | انبوه‌سازی، املاک و مستغلات | AR | ۳۱ |
| ۴۳ | اطلاعات و ارتباطات | Icm | ۳ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ۴۴ | استخراج نفت گاز و خدمات جنبی جز اکتشاف | OGEA | ۱ |
| ۴۵ | استخراج کانه‌های فلزی | EMO | ۱۱ |
| ۴۶ | استخراج سایر معادن | EOM | ۱ |
| ۴۷ | استخراج زغال سنگ | CoM | ۳ |
| ۴۸ | ابزار پزشکی، اپتیکی و اندازه‌گیری | MOMI | ۱ |
| | تعداد کل شرکت‌ها | | ۶۱۸ |

**ماتریس همجواری**[1]

ماتریس‌های همجواری مالی با استفاده از همبستگی بازده سهام در یک چارچوب زمانی مشخص ساخته می‌شوند. برای ساخت ماتریس همجواری و شبکه پیچیده در این پژوهش از ضریب همبستگی پیرسون و درصد تغییرات قیمت روزانه سهام استفاده کرده‌ایم:

رابطه ۱)
$$PC(i,j) = \frac{< r_i r_j > - < r_i >< r_j >}{\sqrt{< r_i^2 > - < r_i >^2}\sqrt{< r_j^2 > - < r_j >^2}}$$

به این ترتیب هر طبقه از شرکت‌ها یک گره در نظر گرفته شده است و اگر همبستگی بین دو طبقه از شرکت‌ها از ۰.۳ بیشتر باشد با یک یال به هم متصل می‌گردد. در نتیجه عضو مربوطه در ماتریس همجواری برابر با یک ($A_{ij} = 1$) می‌شود و اگر ضریب همبستگی کوچکتر از مقدار تعریف شده باشد، عضو مربوطه در ماتریس همجواری برابر با صفر ($A_{ij} = 0$) می‌شود. لازم به ذکر است این مقدار به گونه‌ای تعریف می‌شود که شبکه بیش از حد متراکم (مقدار بسیار پایین همبستگی) و یا بیش از حد تُنُک (مقدار بسیار بالای همبستگی) نباشد.

**شبکه جهان کوچک**[2]

تعریف شبکه جهان کوچک مستلزم درک دو مفهوم کلیدی است: ضریب خوشگی[3] و طول مشخصه[4]. شبکه جهان کوچک نوعی گراف است که سطوح بالاتری از خوشگی محلی و طول مسیرهای متوسط کوتاه‌تر بین گره‌ها را نشان می‌دهند. این شبکه‌ها اغلب با شبکه‌های منظم و شبکه‌های تصادفی در تضاد هستند [۲۰].

ضریب خوشگی معیار درجه‌ای است که گره‌های یک گراف تمایل به خوشه‌بندی با هم دارند. برای یک گره معین، ضریب خوشگی نسبت اتصالات موجود بین همسایگان آن به کل اتصالات ممکن بین آنها است

---
1. Adjacancy matrix
2. Small World Network
3. Clustering Coefficient
4. Characteristic length

[۸]. به عبارتی ضریب خوشگی را می‌توان به صورت کسری از یال‌های واقعی بر روی کل یال‌های ممکن بین سه گره تعریف کرد:

رابطه ۲)
$$c_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)}$$

که در آن $e_i$ بیانگر یال‌های بین سه گره i , j , k می‌باشد و از روی ماتریس همجواری به شکل زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۳)
$$e_i = \frac{1}{2}\sum_{j,k} A_{ij}A_{jk}A_{ki}$$

و ضریب خوشگی کل شبکه با میانگین‌گیری از ضریب خوشگی کل گره‌ها به شکل زیر تعریف می‌گردد:

رابطه ۴)
$$C = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} c_i$$

که در آن N تعداد صنایع موجود در شبکه است. زنجیره‌ای از یال‌ها که دو گره دلخواه را به هم متصل می‌کنند، مسیر[1] نامیده می‌شوند که در آن تعداد یال‌هایی که در این مسیر وجود دارد به عنوان طول[2] مسیر تعریف می‌شود. اگر $d_{ij}$ طول کوتاهترین مسیر بین دو گره j و i باشد، در این صورت طول مشخصه $l$ برابر با متوسط $d_{ij}$ بر روی تمام جفت گره‌های یک شبکه خواهد بود، که به شکل زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۵)
$$L = \frac{1}{N(N-1)}\sum_{i,j} d_{ij}$$

شبکه‌ای که دارای ضریب خوشه‌بندی به طور قابل توجهی بالاتر و طول مشخصه کمتری از یک شبکه تصادفی متشکل از همان تعداد گره و با همان میانگین درجه باشد را شبکه جهان کوچک می‌نامند. به عبارت دیگر شبکه جهان کوچک در واقع یک گراف ریاضی است که در آن بیشتر گره‌ها با یکدیگر مجاور نیستند، اما همسایگان یک گره مشخص به احتمال زیاد مجاور یکدیگر هستند. در نتیجه با تعداد گام کمی می‌توان از هر گره به گره دیگر رسید. در این مدل از شبکه‌ها $L \propto \log N$ می‌باشد یعنی فاصله معمول بین دو گره تصادفی (L) متناسب با ضریبی از لگاریتم تعداد کل گره‌ها در شبکه (N) می‌باشد [۲۰]. این در حالی است که ضریب خوشگی در این شبکه‌ها کوچک نیست به این معنی که گره‌ها تمایل به ایجاد خوشه دارند. در علم شبکه‌های اجتماعی این ویژگی‌ها نشان‌دهنده پدیده جهان کوچک هستند که در آن غریبه‌ها با زنجیره کوتاهی از آشنایان به یکدیگر متصل می‌شوند. بسیاری از گراف‌های تجربی اثر جهان کوچک را در خود نشان داده‌اند، برای مثال، شبکه‌های اجتماعی مانند فیس‌بوک [۱۰]، ویکی‌پدیا [۲۵].

---

1. Path
2. Length

هامفریس و گورنی [۱۳] معادله‌ای را برای اندازه‌گیری شبکه دنیای کوچک با استفاده از ضریب خوشگی متوسط و طول کوتاه‌ترین مسیر معرفی نمودند:

رابطه ۶)
$$S = \frac{C/C_{rand}}{L/L_{rand}}$$

که در آن $C_{rand}$ و $L_{rand}$ مقادیر ضریب خوشگی و طول مشخصه برای شبکه‌ی تصادفی با همان تعداد گره‌ها و یال‌ها هستند. S نمای کلی از اتصال در کل شبکه ارائه می‌دهد. چنانچه $S > 1$ باشد، می‌توان شبکه را به عنوان شبکه جهان کوچک در نظر گرفت.

**درجه مرکزیت**[1]

یکی از مشخصه‌های اصلی شبکه‌ها درجه مرکزیت است. درجه مرکزیت تعداد گره‌هایی که به یکدیگر متصل هستند را محاسبه می‌کند.

رابطه ۷)
$$k_i = \sum_{j=1}^{N} A_{ij}$$

با میانگین‌گیری از همه گره‌ها، می‌توان به درجه مرکزیت شبکه دست یافت:

رابطه ۸)
$$K = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} k_i$$

که در آن N تعداد صنایع موجود در شبکه است. درجه مرکزیت تعداد پیوندهای مستقیم بین یک گره معین و سایر گره‌ها در شبکه است. هنگامی که یک گره پیوندهای زیادی در یک شبکه داشته باشد، درجه مرکزیت آن بالا است، بنابراین یک رابطه گسترده بین این گره و بقیه گره‌ها وجود دارد. با توجه به این روابط گسترده، منابع برای این گره قابل دسترس‌تر است و به عنوان یک گره محوری تلقی می‌شود.

شاخص مرکزیت نزدیکی[2] یک گره، میانگین طول کوتاه‌ترین مسیرها بین گره و سایر گره‌های موجود در یک شبکه است. گره‌های دارای شاخص مرکزیت نزدیکی بالاتر در شبکه، قدرتمندتر هستند و نقش مرکزی‌تری در شبکه ایفا می‌کنند و برای سایر گره‌ها در دسترس‌تر هستند. شاخص مرکزیت نزدیکی برای گره k با فرمول زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۹)
$$C_C(k) = \sum_{i=1}^{N} d_{ik}^{-1}$$

که در آن $d_{ik}$ کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره i و k است.

1. Degree centrality
2. Closeness centrality

**شاخص تشابه**[1]

یکی از مؤثرترین رویکردها برای مطالعه شباهت بین دو مجموعه، شاخص شباهت جاکارد[2] است. پل جاکارد[3] شاخص شباهت جاکارد را در سال ۱۹۰۱ به عنوان روشی جدید برای تعیین کمیت میزان شباهت پیشنهاد کرد. برای دو مجموعه دلخواه A و B، شاخص جاکارد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$J(A,B) = J(B,A) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$ رابطه ۱۰)

که در آن |A| اندازه مجموعه (تعداد عناصر) است. اخیراً لوسیانو کاستا شاخص تصادف[4] را به عنوان یک معیار تشابه جدید به صورت زیر معرفی کرد [۱۱]:

$$C(A,B) = J(A,B)I(A,B)$$ رابطه ۱۱)

که در آن I(A,B) شاخص داخلی است که در زیر برای دو مجموعه A و B تعریف شده است:

$$I(A,B) = I(B,A) = \frac{|A \cap B|}{min\{|A|,|B|\}}$$ رابطه ۱۲)

از آنجایی که $I(A,B) \leq 1$ و $J(A,B) \geq 0$ در نتیجه $0 \leq C(A,B) \leq 1$ می‌باشد.

در این مطالعه با توجه به هر دو شاخص شباهت به بررسی شباهت شبکه‌ها در طول سال‌ها می‌پردازیم و برای انجام این کار، برای هر شبکه ساخته شده در طول ده سال، شاخص‌های شباهت را به دست می‌آوریم.

**یافته‌های پژوهش**

در این مقاله داده‌های ۶۱۸ شرکت بورسی طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۰ در ۴۸ طبقه گروه‌بندی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تعدادی از سهم‌هایی که طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، مورد معامله قرار نگرفته بودند یا در طول دوره مورد مطالعه برای مدت طولانی متوقف شده بودند، از داده‌های مطالعه حذف شدند. بدین ترتیب بازده هر سهم بر اساس قیمت بسته شدن روزانه آن محاسبه و همبستگی بین بازده سهام محاسبه شد و بر اساس این همبستگی، روابط بین سهام و شبکه بازار سهام ایجاد شد. در این مطالعه مقدار همبستگی برای ساخت شبکه ۰.۳ در نظر گرفته شده است. همانگونه که در بالا اشاره گردید این مقدار به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که شبکه خیلی متراکم و یا خیلی تُنُک نباشد.

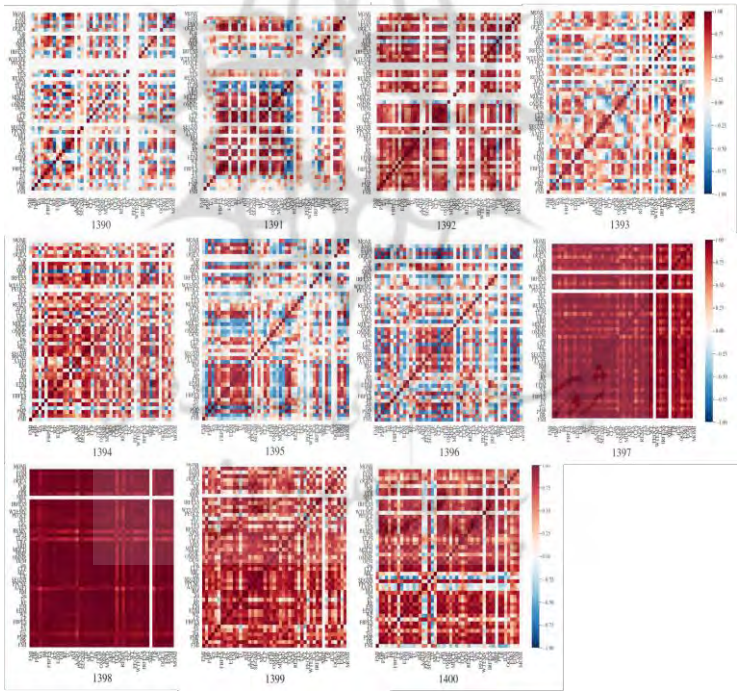
برای داشتن نمایی از همبستگی بین صنایع در طی سالیان مختلف، این مقدار برای سال‌های مختلف، در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ میزان

---

1. Similarity index
2. Jaccard similarity
3. Jaccard, P
4. Coincidence

همبستگی بین صنایع به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده متراکم شدن شبکه‌های ساخته شده است.

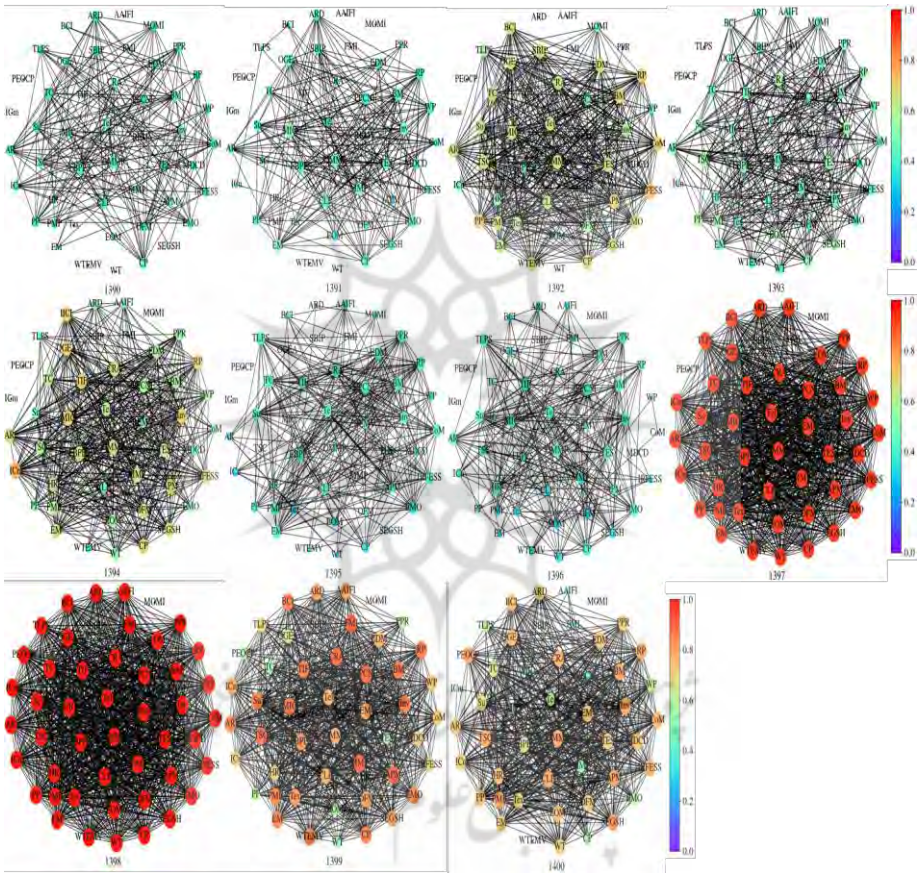
در سال ۱۳۹۷ تصمیم تک نرخی کردن نرخ ارز و در پی آن افزایش نرخ دلار در بازار آزاد، باعث شد تا سرمایه‌گذاران به دنبال راهی برای حفظ ارزش سرمایه‌های خود باشند و بازار بورس در اواسط این سال تبدیل به جایگاهی عالی برای تبدیل سرمایه‌های ریالی به سهام بود. جامعه ایرانی برای جلوگیری از وارد شدن ضررهای سنگین به سرمایه‌های خود از بازارهای مالی مختلف برای سرمایه‌گذاری استفاده نمود که بازار مسکن و بازار بورس در رأس آنها بودند. طی این سال‌ها همچنین دولت تصمیم به توزیع سهام عدالت بین مردم گرفت. این اقدام با اضافه شدن افرادی که قبلاً در بازار فعالیت نداشتند، تحول بزرگی در بورس ایجاد کرد. به عبارتی تصمیم دولت مبنی بر توزیع سهام عدالت باعث جلب توجه عمومی به بازار سهام شد. علاوه بر این، تقریباً هم‌زمانی رویداد قوی سیاه[1] ناشی از بیماری همه‌گیر ویروس کرونا با همین دوره می‌تواند عامل تأثیرگذار دیگری برای پرش بازار سهام طی این سال‌ها باشد. در صورت وقوع یک رویداد قوی سیاه، مانند بحران مالی، اثر گله در بازار مالی، رفتار سفته‌بازی سرمایه‌گذاران را تقویت می‌کند، نوسانات قیمتی بازار سهام را تشدید می‌کند و حرکت بازارهای سهام را افزایش می‌دهد [۱۲].




**شکل ۱- مقدار همبستگی بین صنایع برای سال‌های ۱۳۹۰ -۱۴۰۰**

[1]. The black swan events

با در نظر گرفتن صنایع به عنوان گره‌های شبکه، روند تغییرات ساختار شبکه، و مرکزیت درجه و همچنین مرکزیت نزدیکی در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این شکل، تمامی گره‌ها در طی سالیان ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ در نقاط ثابت و از پیش تعریف شده قرار گرفته‌اند. در این شکل، نحوه تغییرات ارتباطات بین صنایع در طی این سال‌ها به خوبی به نمایش گذاشته شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد در طی سال‌های بحرانی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ شبکه‌های ساخته شده در مقایسه با سایر سال‌ها به شکل کاملاً متراکم می‌باشند.



**شکل ۲- نحوه تغییرات مرکزیت نزدیکی $C_c$ در طی سال‌ها**

در این شکل، اندازه گره‌ها برابر با بزرگی مرکزیت درجه و تغییرات رنگ گره‌ها به عنوان مرکزیت نزدیکی در نظر گرفته شده است.

میزان ارتباطات در شکل نشان می‌دهد که هر دو مرکزیت درجه و نزدیکی در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ دارای بیشترین مقدار خود می‌باشند. تنها دو صنعت اوراق بهادار مبتنی بر دارایی فکری و ابزار پزشکی، اپتیکی و اندازه‌گیری که هر کدام تنها یک شرکت را شامل می‌شوند رفتار متفاوتی دارند که دلیل

آن عدم فعالیت این دو صنعت از سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ می‌باشد. در جدول ۲ لیست صنایعی که در هر سال بیشترین مرکزیت را داشته‌اند، ارائه شده است.

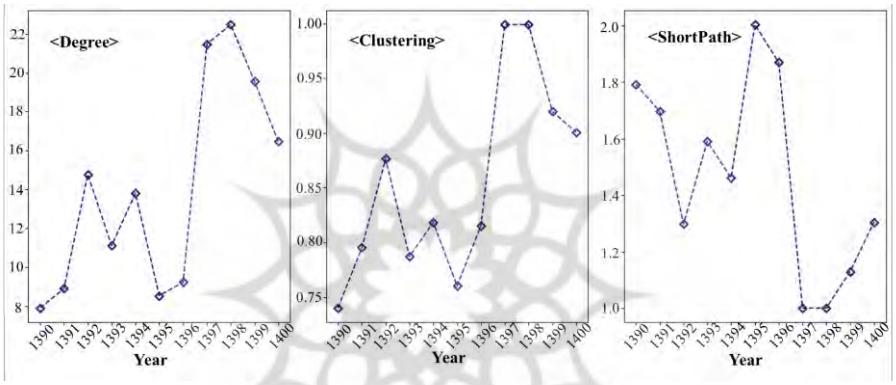
**جدول ۲- صنایع دارای بیشترین مرکزیت درجه و مرکزیت نزدیکی در هر سال**

| سال | صنعت با مرکزیت درجه | صنعت با مرکزیت نزدیکی |
|---|---|---|
| ۱۳۹۰ | سایر محصولات کانی غیرفلزی (OMMP) | سرمایه‌گذاری‌ها (Inv) |
| ۱۳۹۱ | شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی (MIC) | شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی (MIC) |
| ۱۳۹۲ | بیمه و صندوق بازنشستگی به جز تأمین اجتماعی (IRFESS) | بیمه و صندوق بازنشستگی به جز تأمین اجتماعی (IRFESS) |
| ۱۳۹۳ | محصولات کاغذی (PP) | رایانه و فعالیت‌های وابسته به آن (CRA) |
| ۱۳۹۴ | پیمانکاری صنعتی (Icn) | پیمانکاری صنعتی (Icn) |
| ۱۳۹۵ | انتشار، چاپ و تکثیر (PPR) | خرده فروشی، به استثنای وسایل نقلیه موتوری (REMV) |
| ۱۳۹۶ | استخراج کانه‌های فلزی (EMO) | قند و شکر (SU) |
| ۱۳۹۷ | همه صنایع (به جز واسطه‌گری‌های مالی و پولی و تولید محصولات کامپیوتری، الکترونیکی و نوری و اوراق بهادار مبتنی بر دارایی فکری و ابزار پزشکی، اپتیکی و اندازه‌گیری) | همه صنایع (به جز واسطه‌گری‌های مالی و پولی و تولید محصولات کامپیوتری، الکترونیکی و نوری و اوراق بهادار مبتنی بر دارایی فکری و ابزار پزشکی، اپتیکی و اندازه‌گیری) |
| ۱۳۹۸ | همه صنایع به جز اوراق بهادار مبتنی بر دارایی فکری و ابزار پزشکی، اپتیکی و اندازه‌گیری | همه صنایع به جز اوراق بهادار مبتنی بر دارایی فکری و ابزار پزشکی، اپتیکی و اندازه‌گیری |
| ۱۳۹۹ | واسطه‌گری‌های مالی و پولی (FMI) | واسطه‌گری‌های مالی و پولی (FMI) |
| ۱۴۰۰ | حمل ونقل، انبارداری و ارتباطات (TSC) | عرضه برق، گاز، بخار و آب گرم (SEGSH) |

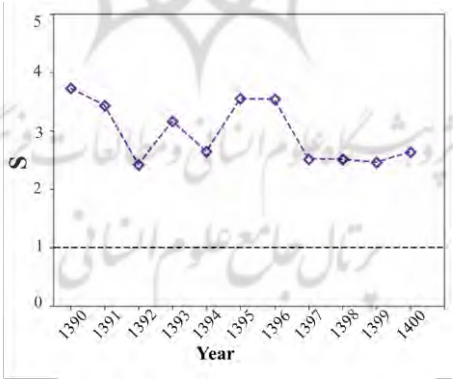
نتایج جدول بالا بیانگر آن است که نه تنها مرکزیت صنایع مختلف در طی سال‌های مختلف تغییر کرده، بلکه در طی یک سال، صنایع مختلف در مرکزیت‌های متفاوت بوده‌اند. به این ترتیب، لزوماً بالا بودن

بیشترین ارتباط یک صنعت با صنایع دیگر، دلیلی بر دارا بودن بیشترین مرکزیت نزدیکی در آن سال نمی‌باشد. در طی دوره بحران تقریباً تمامی صنایع در بالاترین مقدار مرکزیت بوده‌اند که نشان‌دهنده این است که بحران همه صنایع و بخش‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار داده است.

بعد از بررسی رفتار انفرادی صنایع (شکل۱ و ۲)، در شکل ۳، سه پارامتر متوسط درجه، متوسط خوشگی و متوسط طول مشخصه کل شبکه برای سال‌های مختلف محاسبه و نمایش داده می‌شود. از این رو، شکل ۳ نشان می‌دهد در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ متوسط درجه و متوسط خوشگی افزایش ناگهانی داشته در حالی که طول مشخصه کاهش یافته است. در شکل ۴، پارامتر S مطابق با رابطه ۶ محاسبه شده است. طبق نتایج حاصل شده، در تمامی سال‌ها، این مقدار بزرگتر از یک بوده که نشان می‌دهد شبکه‌های مورد بررسی همگی شبکه دنیای کوچک بوده‌اند.



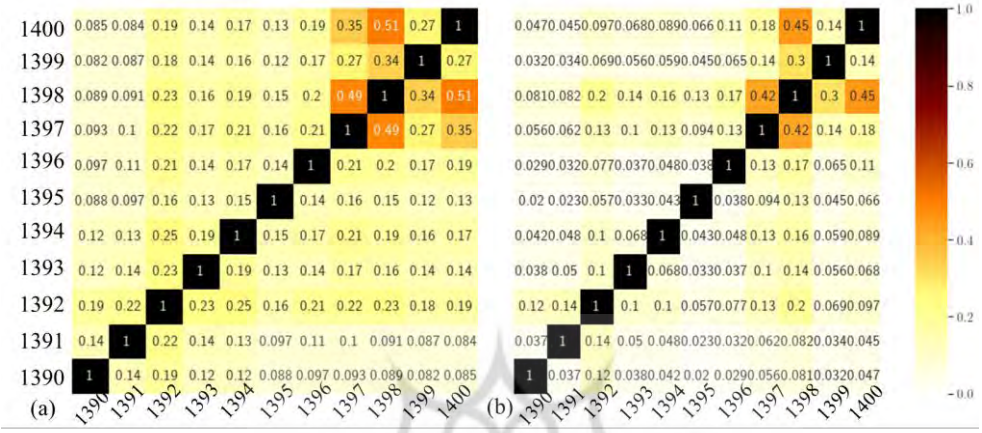

**شکل ۳- تغییرات متوسط درجه، متوسط ضریب خوشگی و متوسط طول مشخصه.**




**شکل ۴- تغییرات پارامتر دنیای کوچک در طی سال‌های مختلف**

بررسی تشابه جاکارد و تصادف در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ نشان داد که در طی سال‌های بحران، میزان شباهت بین صنایع به بالاترین میزان خود می‌رسد (شکل ۵). این میزان از تشابه می‌تواند ناشی از ازدیاد عرضه و تقاضا در بازار سهام باشد که باعث شده ساختار شبکه سهام دچار تغییرات محسوسی گردد.

در طول بحران، سیستم به شدت همبسته و متراکم شده است و مرکز شبکه به احتمال زیاد در معرض آشفتگی‌های ناگهانی به دلیل اثر گله[1] قرار می‌گیرد و سرمایه‌گذاران به طور همزمان و با عجله اقدام به فروش می‌نمایند و این موضوع باعث ضعیف‌تر شدن صنایع مرکزی می‌گردد.




**شکل ۵- (a) شاخص تشابه جاکارد و (b) شاخص تشابه تصادف برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰**

## نتیجه‌گیری و بحث

دنیای امروز با افزایش حجم عظیمی از داده‌های مالی روبرو بوده که تجزیه و تحلیل آنها را برای تهیه گزارش‌ها و تصمیم‌گیری‌های مالی به یک فرآیند پیچیده و چالش برانگیز تبدیل کرده است. تجزیه و تحلیل داده‌های مالی می‌تواند به استفاده‌کنندگان کمک کند تا تصمیمات بهتری بگیرند. با این حال، فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌های مالی می‌تواند بسیار پیچیده و زمان‌بر باشد. در نتیجه، تحلیل شبکه پیچیده به ابزار مهمی برای درک بازار سهام تبدیل شده است. استفاده از شبکه‌های پیچیده در بازار سهام منجر به ایجاد بینش جدیدی در مورد رفتار بازار شده و به سرمایه‌گذاران کمک کرده تا تصمیمات بهتری بگیرند. نظریه شبکه پیچیده یک الگوی تحقیقاتی مهم برای مطالعه همبستگی‌های سهام و ویژگی‌های تکامل در بازار مالی ارائه می‌دهد. در این مقاله به بررسی شبکه همبستگی سهام با استفاده از داده‌های بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۰، پرداخته شد. برای کاهش تأثیر نوسانات قیمت یک سهم در شبکه، شرکت‌ها بر مبنای فعالیت آنها به ۴۸ صنعت تقسیم شده‌اند. همچنین در یک بازه زمانی ۱۱ ساله به بررسی ویژگی‌های شبکه بورس اوراق بهادار تهران قبل از شیوع بیماری کرونا و در طول این بحران و مفاهیم کلیدی اقتصادی و مالی مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که شبکه‌های ساخته شده در دوره بحران دارای تفاوت قابل توجهی در ویژگی‌های شبکه با دوران قبل از بحران هستند و شبکه در طول بحران ترکیب خود را تغییر می‌دهد به گونه‌ای که شبکه‌های ساخته شده در طول بحران متراکم‌تر می‌باشند که این موضوع با نتایج مطالعات نوبی و همکاران [۱۶] و کلتی و موگریا

[1]. herd effect

[۹] و یانگ و همکاران [۲۱] مطابقت دارد. در زمان بروز بحران، یک رکود عمیق، طولانی و فراگیر رخ می‌دهد که همه صنایع و بخش‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییرات برجسته‌ای در این شبکه طی دوره بحران رخ داده است، رابطه همبستگی شبکه به طور قابل ملاحظه‌ای تقویت شده است، که این نتیجه با نتایج پژوهش کیا و همکاران [۱۸] هم‌خوانی دارد. روش شبکه پیچیده می‌تواند به استفاده‌کنندگان کمک کند تا ریسک‌های مرتبط با این رویدادها را مدیریت نمایند.

در این پژوهش صنایع مرکزی شناسایی گردید و نتایج حاکی از آن است که مرکزیت صنایع در طول سال‌ها جابه‌جا شده است که نشان از عدم پایداری شبکه‌ها در طی سال‌ها می‌باشد. نتایج بررسی پارامتر تشابه در طی سال‌های متوالی بیانگر آن است که میزان تشابه در شبکه‌ها در طول سال‌های بحران همه‌گیری ویروس کرونا، دارای بیشترین شباهت با یکدیگر می‌باشد که نشاندهنده این است که بحران تمام صنایع را تحت تأثیر قرار داده است.

بررسی ویژگی‌های شبکه‌های مالی و رفتار آنها در زمان بحران، می‌تواند به ما کمک کند تا استراتژی مؤثرتری برای مقابله با شرایط بحرانی و مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری در نظر بگیریم. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که طی سال‌های بحران، متوسط درجه و متوسط خوشگی افزایش ناگهانی داشته در حالی که طول مشخصه کل شبکه کاهش یافته است همچنین شبکه‌های همبستگی ساخته شده، ویژگی‌های شبکه دنیای کوچک را در سطح صنایع در تمامی سال‌ها دارند. این تجزیه و تحلیل، برای سرمایه‌گذاران برای تصمیم‌گیری اقتصادی و برای تنظیم‌کننده‌ها برای نظارت بر گره‌های کلیدی برای اطمینان از ثبات کلی بازار سهام مفید خواهد بود. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که تحلیل شبکه پیچیده برای کشورهای پیشرفته و در حال توسعه انجام و با یکدیگر مقایسه شود. همچنین می‌توان به بررسی تأثیر شبکه‌های اجتماعی مانند توییتر، لینکدین، یا تلگرام بر رفتار بازار سهام پرداخت و نشان داد که چگونه اخبار و اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی بر روند معاملات تأثیر می‌گذارند. همچنین از این روش می‌توان برای مطالعه بررسی تأثیر خبرهای خرد و کلان ملی و بین‌المللی بر بازارهای مالی استفاده نمود.

**فهرست منابع**


۱. تقی‌زاده، رضا و عبدزاده کنفی، محمد، (۱۴۰۲). "تحلیلی بر بازار سرمایه با استفاده از رویکرد شبکه". **تحقیقات مالی**، ۲۵(۳)، صص. ۳۶۹-۳۸۶.

۲. چهارسوقی، سیدکمال، و رحیم نژاد، فریده. (۱۳۹۵). کاربرد شبکه های پیچیده در تحلیل بازار سهام. **کنفرانس ملی نوآوری در مدیریت سیستم ها و فناوری اطلاعات با رویکرد هوشمندی کسب و کار**.

۳. سرچمی، محمد. خدامی‌پور، احمد. محمدی، مجید و حدیث، زینلی، (۱۴۰۲). "ارزیابی توان مدل یادگیری عمیق و مدل مارکوئیتز در تشکیل پرتفوی بهینه سهام". **تحقیقات حسابداری و حسابرسی**، انجمن حسابداری ایران، دوره ۱۵، شماره ۵۷، صص ۴۷-۶۸.

۴. صادقی، حجت‌اله، (۱۳۹۸). "فیزیک مالی به عنوان زمینه‌ای بین رشته‌ای؛ خدمات دانش فیزیک به مالی و نقد آنها". **پژوهشنامه انتقادی متون و برنامه‌های علوم انسانی**، ۱۹(۹ )، صص. ۹۳-۱۱۲.

۵. هاشمی گل سفیدی، افشین. لشگری، زهرا و زهره، حاجیها، (۱۴۰۱). "کاربرد یادگیری ماشین در ارائه الگویی برای پیش‌بینی ورشکستگی". **تحقیقات حسابداری و حسابرسی**، انجمن حسابداری ایران، دوره ۱۴، شماره ۵۶، صص ۱۷۱-۱۹۰.

6. Bardoscia, M., Barucca, P., Battiston, S., Caccioli, F., Cimini, G., Garlaschelli, D., ... and Caldarelli, G. (2021). "The physics of financial networks". **Nature Reviews Physics**, 3(7), pp. 490-507.
7. Battiston, S., et al. (2016). "Complexity theory and financial regulation". **Science**, 351, pp. 818–819.
8. Bhattacharya, S., Sinha, S., Dey, P., Saha, A., Chowdhury, C., and Roy, S. (2023). Online social-network sensing models. **Computational Intelligence Applications for Text and Sentiment Data Analysis**, pp. 113-140. Academic Press.
9. Coletti, P., Murgia, M. (2017). "The network of the Italian stock market during the 2008–2011 financial crises", **Algorithmic Financ**. (5), pp. 111–137.
10. Dimitri, G. M. (2023). "Is Facebook regionally a small world network?" **arXiv preprint** arXiv:2301.04916.
11. Fontoura Costa, L. da. (2021). "Further generalizations of the jaccard index", **ArXiv** abs/2110.09619.
12. Huang, W., Wang, H., Wei, Y., et al. (2024). "Complex network analysis of global stock market co-movement during the COVID-19 pandemic based on intraday open-high-low-close data". **Financ Innov** 10, 7.
13. Humphries, M. D., Gurney, K. (2008). "Network 'small-world-ness': a quantitative method for determining canonical network equivalence", **PLoS ONE** 3 (4) e0002051.
14. Jin, Y., Lin, CY., Matsuo, Y., et al. (2012). "Mining dynamic social networks from public news articles for company value prediction". **Soc Netw Anal Min**. 2(3), pp. 217–228.
15. Li, B., Pi, D. (2018). "Analysis of global stock index data during crisis period via complex network approach". **PLoS ONE** 13(7): e0200600.

16. Nobi, A., Lee, S., Kim, DH., et al. (2014). "Correlation and network topologies in global and local stock indices". **Phys Lett A** 378(34), pp. 2482–2489.
17. Peng, SH., Han, W., Jia, G. (2022). "Pearson correlation and transfer entropy in the Chinese stock market with time delay", **Data Science and Management**, (5), Issue 3, pp. 117-123.
18. Qiao, H., Xia, Y., Li, Y. (2016). "Can network linkage effects determine return? evidence from Chinese stock market", **PLoS One** 11 (6) e0156784.
19. Schwartz, G. A. (2021). "Complex networks reveal emergent interdisciplinary knowledge in Wikipedia". **Humanities and Social Sciences Communications**, 8(1), pp. 1-6.
20. Van Mieghem, P. (2023). "Graph spectra for complex networks". **Cambridge university press**.
21. Yang, C., Chen, Y., Niu, L. and Li, Q. (2014). "Cointegration analysis and influence rank-A network approach to global stock markets". **Physica A**, 400, pp. 168–185.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Accounting & Auditing Researches, Autumn 2025, No. 67. pp. 67-84

# Stock Market Analysis Using Complex Networks Approach

**Leila Lotfi**
Ph.D. Candidate, Department of Accounting, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
**Yahya Kamyabi(PhD)[1]©**
Professor, Department of Accounting, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
(Received: April 24, 2024; Accepted: July 29, 2024)

**Objective**
In recent years, financial physics and complex network techniques have an outstanding role in financial and economic systems studies. Therefore, the present research aims to use the complex network method to analyze the stock market.
**Methods**
Studying the stock market data using the complex network approach is an interdisciplinary and quantitative research on the border of graph theory, financial physics, and economics. In this research, to build and investigate the complex networks of the stock market data of 618 companies during the years 1390 to 1400 in the form of 48 industries, Python software (Python 3) and existing libraries (Numpy, NetworkX, Scipy) were applied.
**Results**
In this study, we have investigated various parameters of the complex network. By examining the trend of degree centrality and closeness centrality, the changes of the network during critical years are clearly observed. The similarity of the networks was shown using the similarity parameter.
**Conclusion**
The results exhibit that the constructed have the characteristics of small world network. Over the years, the centrality has shifted between industries, which shows that networks are not stable over time. Both degree centrality and closeness centrality have their highest values during crisis years, which shows that the crisis has affected all industries and different economic sectors. The study of the similarity parameter showed that during the crisis years, the networks had the most similarity with each other and were quite dense.
***Keywords:*** Complex Systems, Financial Complex Network, Graph Theory, Network Science, Stock Correlation.

[1] y.kamyabi@umz.ac.ir (Corresponding Author)