The Leading Companies of the Iranian Capital Market During a Currency Crisis: The Approach of the Minimal Spanning Tree

Mostafa Baratpour
Department of Economics, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozkoh, Iran.
Ghodratullah Emamvardi (corresponding author)
Department of Economics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
ghemamverdi@iauctb.ac.ir
Mahmoud Mahmoudzadeh
Department of Economics, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozkoh, Iran.
Parvaneh Salatin
Department of Economics, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozkoh, Iran.

Abstract:
his study was conducted with the aim of identifying the leading companies in the stock market and the impact of the currency crisis on the change of these companies, using the spanning tree model. For this purpose, the daily price returns of 50 selected stocks from the Iranian stock market and in two time periods were used to form the stock network. The period from March 24, 2016 to March 20,2018 was determined as the period before the currency crisis, and by identifying the currency event on April 4, 2018, using the ICSS model, the period from April 4, 2018 to July 21,2020 was determined as the period after the exchange rate crisis. According to the findings of the research, in the period before the exchange rate crisis, the symbols of Khepars, Foulad and Kegol have the highest correlation with other stocks. In other words, these stocks have been able to play a leading role. After the jump in the exchange rate, Veghdir and Foulad were identified as the leading stocks. According to the results, export-oriented industries have been able to maintain their leading role after the exchange rate crisis, and import-oriented industries such as automobiles have lost their leading role.

Keywords: Stock Market, Minimum Spanning Tree, Hierarchical Tree, ICSS

فصلنامه تحلیل بازار سرمایه. سال دوم، شماره چهارم. زمستان ۱۴۰۱. صفحه ۲۰۶ تا ۲۳۲.

تاریخ دریافت مقاله:
۱۴۰۱/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله:
۱۴۰۲/۰۱/۱۱

شرکت‌های پیشرو بازار سرمایه ایران در شرایط بحران ارزی: رهیافت درخت پوشای کمینه

مصطفی برات پور

گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

قدرت الله امام وردی (نویسنده مسئول)

گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

ghemamverdi@iauctb.ac.ir

محمود محمودزاده

گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

پروانه سلاطین

گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

چکیده:

این مطالعه با هدف شناسایی شرکت‌های پیشرو در بازار اوراق بهادار و تاثیر بحران ارزی بر تغییر این شرکت‌ها با کاربرد الگوی درخت پوشای کمینه[1] انجام گرفته است. به همین منظور بازده روزانه قیمتی ۵۰ سهم منتخب از بازار سهام ایران و در دو بازه زمانی برای تشکیل شبکه سهم‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بازه زمانی ابتدای سال ۱۳۹۵ تا پایان سال ۱۳۹۶ به‌عنوان دوره پیش از رخداد بحران ارزی و با شناسایی زمان وقوع بحران ارزی در ابتدای سال ۱۳۹۷ با بکارگیری الگوی ICSS، بازه زمانی ابتدای سال ۱۳۹۷ تا پایان تیرماه ۱۳۹۹ به‌عنوان دوره بعد از بحران ارزی تعیین گردید. براساس یافته‌های پژوهش، در دوره زمانی پیش از بحران نرخ ارز، نمادهای خپارس، فولاد و کگل، دارای بیشترین همبستگی با سایر سهم‌ها هستند. به‌عبارتی دیگر این سهم‌ها توانسته‌اند نقش پیشرو را داشته باشند. بعد از جهش نرخ ارز در ابتدای سال ۱۳۹۷، نمادهای وغدیر و فولاد به‌عنوان سهم‌های پیشرو شناسایی شدند. براساس نتایج به‌دست آمده صنایع صادرات محور بعد از بحران نرخ ارزی توانسته است نقش پیشرو خود را حفظ نمایند و صنایع واردات محور مانند خودرو نقش پیشرو خود را از دست دادند.

واژگان کلیدی: بازار سهام، درخت پوشای کمینه، درخت سلسله مراتبی، ICSS

[1] minimum spanning tree

۱. مقدمه

پیش‌بینی روند قیمت سهام یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سرمایه‌گذاران است. قیمت سهام خود تابع عوامل متعددی است که یکی از این عوامل می‌تواند نوسانات نرخ ارز باشد. به لحاظ نظری نااطمینانی در خصوص نوسانان نرخ ارز افزون بر بخش تجارت خارجی، بخش داخلی اقتصاد به‌خصوص بازار سهام را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. نوسان در یک بازار سرمایه‌گذاران را ترغیب می‌نماید تا سبد دارایی خود را تعدیل نموده و ترکیب دارایی‌های خود را تغییر دهند (دمیر و همکاران[1]، ۲۰۱۶). تغییرات نرخ ارز به‌عنوان یکی از تکانه‌های مهم در اقتصاد، باعث تغییر قیمت کالاها، خدمات، نهاده‌ها وستانده‌های تولیدشده، می‌گردد و بدین طریق بر روی جریانات نقدی فعلی و آتی مورد انتظار و بازده سهام بنگاه اقتصادی تاثیر می‌گذارد. می‌توان اثر مثبت جهش ارزی و نوسانات مثبت ارزی بر عملکرد شرکت‌های صنایع محصولات شیمیایی، فلزات اساسی را مشاهده نمود. به‌نظر می‌رسد رشد نرخ ارز به این دلیل موجب بهبود عملکرد شرکت‌های حاضر در این صنایع می‌گردد که قیمت‌گذاری محصولات این صنایع از طریق صادرات بر حسب ارز خارجی و یا از طریق مکانیزم عرضه و تقاضا در بورس کالا تعیین می‌گردد. اماجهش قیمت ارز و نوسانات مثبت آن بر عملکرد شرکت های برخی از صنایع (دارویی، غذایی و خودرو و ساخت قطعات) اثر معکوس دارد و این عامل برای عملکرد آنها به عنوان تهدید محسوب می‌گردد. اثر معکوس جهش و نوسانات مثبت ارزی بر عملکرد شرکت‌ها در این صنایع را می‌توان در قیمت‌گذاری دستوری فروش محصولات (ستاده‌های تولیدی) و افزایش قیمت نهاده‌های مصرفی جستجو کرد (محقق‌نیا و همکاران، ۱۴۰۱).

[1] Demirer, R et al

عمدتاً در مطالعات صورت پذیرفته برای بررسی اثر نرخ ارز بر بازار سرمایه، از روش‌های تحلیل رابطه نرخ ارز و شاخص سهام، صنایع و یا سهم‌های منتخب در قالب الگوهای یک یا چند متغیره استفاده می‌شود. بخش دیگری از الگوها نیز به بررسی اثر سرایت بحران ارزی در صنایع و یا شاخص‌های مختلف در بازار سرمایه می‌پردازند. در کنار این روش‌ها، الگوهای شناسایی شبکه ساختاری موجود بین سهام‌ها وجود دارد. با شناخت شبکه‌های ارتباطی بین متغیرها و پدیده‌ها امکان تجزیه و تحلیل روابط و تاثیر متقابل بین آن‌ها فراهم می‌گردد. از مدل‌های مختلف داده‌کاوی برای تجزیه و تحلیل رفتار سهام و تشخیص روند آتی آن استفاده می‌گردد و نتایج آن می‌تواند بر روی تصمیمات استراتژیک بنگاه‌ها و سرمایه‌گذاران موثر باشد. با شناسایی ارتباط و همبستگی بین سهم‌ها، می‌توان براساس روابط بین تغییرات قیمتی آن‌ها به پیش‌بینی قیمت‌ها پرداخت (خیرخواه و همکاران[3]، ۲۰۱۶). ساخت یک شبکه از طریق روش‌های اکتشافی مانند روش‌خوشه‌بندی سلسله مراتبی و درخت پوشای کمینه به روشی قابل اتکا در راستای تشخیص روابط بین شرکت‌ها و به‌طور مشخص روابط قیمتی تبدیل شده است (کولتی[4]، ۲۰۱۶). شناسایی شبکه موجود بین سهام شرکت‌ها می‌تواند سهم‌هایی که بیشترین وابستگی با سایرین را دارند به‌عنوان شرکت‌های پیشرو قیمتی شناسایی نمود. این امر به سرمایه‌گذاران کمک می‌کند تا در تشکیل سبد سرمایه‌گذاری سهام خود بتوانند با آگاهی بیشتری به گزینش سهم‌ها اقدام نمایند. همچنین سیاستگذاران اقتصادی و بازار سرمایه با شناخت شبکه موجود بین سهم‌ها این امکان را دارند تا در بازه‌های زمانی مختلف تصمیمات صحیح را اتخاذ نمایند. همچنین استفاده از این روش امکان مطالعه رفتار قیمتی سهم‌ها در بازه‌های زمانی مختلف را فراهم می‌کند، به همین منظور پژوهش حاضر با هدف بررسی شبکه بین سهم‌های منتخب با هدف شناسایی شرکت‌های پیشرو و پاسخ به این سوال که آیا تکانه‌ای مانند افزایش نرخ ارز باعث تغییر شرکت‌های پیشرو گردیده است یا خیر، صورت گرفته است.

[3] Kheyrkhah et al
[4] Coletti, Paolo

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نرخ ارز و نوسانات آن را می‌توان به عنوان یک عامل محیطی مهم در نظر گرفته که شرکت‌ها نمی‌توانند بر آن اثر گذار بوده و فقط این امکان برای آن‌ها وجود دارد که بتوانند اثرگذاری این موضوع را در صنعت خود تحلیل و سپس اثرات آن را کنترل و یا از فواید و فرصت‌های آن استفاده کنند. درفضای کسب و کار بنگاه‌های اقتصادی، فرآیند زنجیره تامین تولید وتوزیع محصولات بنگاه‌ها تحت تاثیرنوسانات نرخ ارزاست (محققنیا و همکاران، ۱۴۰۱). نوسانات نرخ ارز به‌عنوان یکی از عوامل ایجاد عدم اطمینان اقتصادی منجر به افزایش قیمت محصولات، افزایش هزینه‌های تولید و در نتیجه کاهش فروش و بازدهی شرکت می‌شوند (صالحی و صالحی، ۱۴۰۰). همچنین بحران ارزی، از طریق ارزش جایگزینی، جریان نقدی آتی شرکت‌ها، افزایش بهای تمام شده مواد اولیه و ... بر قیمت سهام شرکت‌ها تاثیر می‌گذارد. درصورتی که شرکت‌ها جزء صنایع صادرات‌محور باشند، افزایش نرخ ارز علاوه بر افزایش ارزش جایگزینی باعث افزایش جریان درآمد آتی نیز می‌شود. اما درصورتی که صنعت واردات‌محور باشد باعث افزایش بهای تمام‌شده و کاهش جریان خالص جریان نقدی آتی می‌شود. علاوه بر صنایع مذکور، صنایع خنثی نیز وجود دارند که به صورت سرمایه‌گذاری و هلدینگی فعالیت می‌کنند و به‌صورت غیرمستقیم تحت تاثیر نرخ ارز قرار می‌گیرند. زیرا این صنایع بخشی از سبد سرمایه‌گذرای سهام خود را به شرکت‌های صادرات‌محور و واردات‌محور اختصاص می‌دهند (بذرایی، قویدل و امام‌وردی، ۱۴۰۰).

به منظور بررسی اثر تکانه ارزی بر بازار سهام، می‌توان از ساخت شبکه موجود بین سهم‌ها بهره گرفت. ساخت یک شبکه از سهام شرکت‌ها رویکردی جدید برای شناسایی ارتباط میان شرکت‌ها و به‌ویژه برای ارتباط قیمت می‌باشد (تومینلو و همکاران[5]، ۲۰۱۰). با پیچیده شدن فضای کسب و کار و همچنین پیشرفت روش‌های تصمیم‌گیری، روش‌های تحلیل سنتی خطی و یا الگوریتم‌های پیش‌بینی مبتنی بر شناسایی نحوه تاثیرپذیری یک متغیر وابسته از چند متغیر مستقل، جوابگوی نیازهای سرمایه‌گذاران و مدیران نمی‌باشد. کاربرد شبکه‌ها و تئوری‌های گراف در علوم مالی تبیین‌کننده رفتار بازارهای مالی و تعاملات عوامل بازار با

[5] Tumminello, M. et al`

یکدیگر می‌باشد. ساخت شبکه ارتباطی بین سهم‌ها و بررسی ارتباط بین آن‌ها از این نظر اهمیت دارد که ارتباط بین انواع حوزه‌های مالی را با یکدیگر بررسی و میزان همبستگی آنها را از یکدیگر مشخص می‌کند. همچنین معیارهای مرکزیت شبکه مالی این امکان را به سرمایه‌گذاران می‌دهد که ارتباط بین انواع سهام و همچنین سهم‌های پیشرو را شناسایی و تمام سرمایه خود را در سهام‌های مشابه سرمایه‌گذاری نکنند (سنسوی و تاباک[6]، ۲۰۱٤). به‌علاوه از آنجایی که محاسبه ریسک، برای مدیران مالی که در مورد سرمایه‌گذاری‌ها تصمیم گیری می‌کنند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (آرین‌تبار، ۱٤۰۰)، شناسایی میزان ارتباط بین سهم‌ها برای مدیران سرمایه‌گذاری در جهت کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در سهام نیز راه‌گشا خواهد بود. در ادامه به بررسی برخی از مطالعات صورت گرفته در خصوص بررسی شبکه‌ها در بازارها پرداخته شده است.

کالیاجین و همکاران[7](۲۰۲۲)، در مطالعه خود از معیارهای شباهت مختلف برای ساخت درخت پوشا استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند اگرچه با معیارهای مختلف شباهت می‌توان درختان پوشای مختلفی را تشکیل داد اما از نظر تئوری، تفاوتی بین آن‌ها وجود ندارد و اختلاف مشاهده‌شده بین درختان پوشای ماکزیمم در شبکه‌های مختلف می‌تواند با عدم قطعیت شناسایی درخت پوشای ماکزیمم توسط مشاهدات توضیح داده شود.

مارتی و همکاران[8] (۲۰۲۱)، در مطالعه خود به بررسی کاربرد روش خوشه‌بندی سری زمانی‌های مالی در مطالعات مالی و اقتصادی پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد شبکه‌های همبستگی (و به طور کلی شبکه‌های پیچیده) مجموعه مفیدی از ابزارهای کمی را برای انجام کارهای مختلف در امور مالی فراهم می‌کنند.

زیبا و همکاران[9] (۲۰۱۹)، در پژوهشی با استفاده از الگوی درخت پوشای کمینه به بررسی انتقال شوک تقاضای بیت کوین به سایر رمز ارزها در بازار ارزهای مجازی در بازه زمانی ۲۰۱۵ الی ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج نشان داد که ارزهای مجازی خوشه‌های سلسله

[6] Sensoy & Tabak
[7] Kalyagin, V.A et al
[8] Marti, G. et al
[9] Zięba, D. et al

مراتبی[10] را شکل می‌دهند. فرانچس و آریانو[11] (۲۰۱۸)، در پژوهش خود با استفاده از روش تحلیل درخت پوشای کمینه و تحلیل سلسله مراتبی (دندروگرام) به تحلیل شبکه‌ای بازار رمز ارزها در بازه زمانی جولای ۲۰۱۷ تا سپتامبر ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها وجود یک ساختار شبکه‌ای بین رمز ارزها را نشان داد. همچنین براساس نتایج، استفاده از تجزیه و تحلیل شبکه‌ای بین بازارهای مالی به درک رفتار مقابل دارایی‌های مالی به سرمایه‌گذاران جهت سرمایه‌گذاری بهینه کمک می‌کند.

کولتی[12] (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای، درخت پوشای کمینه برای شبکه بین سهام ۱۰۰ شرکت برتر ایتالیا بین سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۱۱ با استفاده از بازدهی و حجم معاملات را مورد مطالعه قرار می‌دهد. نتایج نشان داد که برخی از بخش‌ها به‌خصوص در بخش پوشاک و تجارت با خوشه‌های شبکه مطابقت دارند و برخی دیگر پراکنده هستند. همچنین در نظر گرفتن حجم مبادلات، سبب ایجاد فاصله بزرگتر و درختان همگن‌تر و بدون خوشه‌های بزرگ می‌گردد.

خیرخواه و همکاران[13] (۲۰۱۶) با تشکیل شبکه همبستگی سهام بورس اوراق بهادار تهران برای بازه زمانی سال۲۰۱۰ تا ۲۰۱٤، اقدام به شناسایی اجتماعات همگون نموده و آنها را به‌عنوان یک خوشه معرفی نمودند. نتایج نشان می‌دهد این توزیع یک توزیع مستقل از قیاس می‌باشد و لذا از قانون توانی تبعیت می‌کند.

ته و همکاران[14] (۲۰۱۵) در پژوهشی با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی سری های زمانی را در طول سال ۲۰۰٦ و ۲۰۰۷ بررسی نمودند. نتایج نشان می‌دهد خوشه‌هایی از سهم‌ها در بازارهای مختلف وجود دارد که این خوشه‌ها به دو ابر خوشه سازمان یافته‌اند که این فعل و انفعالات ممکن است مسئول علی برای سقوط در بازارهای بورس اوراق بهادار باشند.

یانگ و همکاران[15] (۲۰۱٤) با استفاده از دو تکنیک درخت حداقل پوشا و درخت سلسله شبکه‌های تشکیل شده توسط شاخص صنعت CITIC برای دادند. نتایج مطالعه آن‌ها، نمودار

[10] Hierarchical Clustering
[11] Francés & Arellano
[12] Coletti, p.
[13] Kheyrkhah et al
[14] Teh et al
[15] Yang et al

درخت سلسله مراتبی ایجاد شده، اطلاعات طبقه‌بندی شده از شاخص‌های صنعت CITIC و توزیع و اثرات ارتباطی بین خوشه‌های صنعت را ارائه کرده است

وی هیانگ و همکاران[16] (۲۰۰۹) با مطالعه شبکه همبستگی سهام چین ساختار بورس به این نتیجه دست یافتند که این شبکه از قانون توانی تبعیت کرده و لذا می‌توان اجتماعات مشخصی را میان سهام شناسایی نمود که کمک شایانی به روش خوشه‌بندی سهام برای ایجاد پرتفولیوی بهینه می‌نماید.

اونلا و همکاران[17] (۲۰۰۳)، توزیع میانگین و واریانس سهام بورس نیویورک و میزان پویایی درخت دارایی‌ها در تحلیل پرتفوی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که درخت پوشای کمینه ساختاری کاملا متصل داشته و از ساختار مستقل از اندازه تعبیت می‌کند. همچنین سهام‌های دارای کمترین ریسک تمایل دارند که در حاشیه این درخت قرار گیرند. به عبارت دیگر از گره مرکزی حداکثر فاصله داشته باشند.

منتگنا[18] (۱۹۹۹)، که در مطالعه خود برای داده‌های قیمت سهام، شاخص‌های داو جونز و S&P۵۰۰ در سال‌های ۱۹۸۹ الی ۱۹۹۵ به این نتیجه رسید که امکان یافتن ساختار درخت پوشای کمینه، ساختار سلسه مراتبی و تسکیل خوشه‌ها براساس ویژگی‌هایی مانند عوامل اقتصادی موثر بر سهم‌ها با کاربرد ماتریس فاصله سهم‌ها وجود دارد.

نمکی و همکاران (۱۴۰۱)، در پژوهش خود با ایجاد درخت کمینه پوشا، به بررسی ارتباط بین میزان ریسک سیستمی مؤسسات در بازار بورس اوراق بهادار تهران و ساختار توپولوژی محلی در شبکه مالی پرداختند. براساس نتایج این مطالعه، ساختار توپولوژی(مکان‌شناختی) محلی مؤسسات مالی در شبکه پیچیده مالی بر ریسک سیستمی مؤسسات اثرگذار است. به‌طوری که وجود ارتباط معنادار میان میزان ریسک سیستمی مؤسسات ومرکزیت نزدیکی مؤسسه مربوط در شبکه مالی، تأیید شد.

منتشری و صادقی (۱۳۹۹) در مطالعه خود به بررسی شبکه موجود بین ۱۰۰ سهم شرکت برتر در بازه زمانی دی ۱۳۸۸ الی دی ۱۳۹۸ با استفاده از ساخت درخت کمینه پویا پرداختند.

[16] Wei-Qiang et al
[17] Onnela et al
[18] Mantegna, R. N

آن‌ها بر اساس معیار مرکزیت درجه، معیار مرکزیت بینابینی، به شناسایی سهم‌های پرداختند که بیشترین تاثیر را بر شبکه مالی و بازار سهام دارند. همچنین در نهایت شبکه مالی به ۹ خوشه تقسیم شد که هر خوشه نشان دهنده ارتباط قوی‌تر اجزای آن با یکدیگر است.

شریفی سامانی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه سهام شاخص‌های معرفی شده در بازار بورس اوراق بهادار تهران و تعییین وضعیت حداقل درخت پوشای سرتاسری شاخص‌های بورس اوراق بهادار تهران در دوره زمانی قبل و بعد از برجام پرداخته است. نتایج نشان دهنده تفاوت در درخت پوشای سرتاسری شاخص‌ها در بعد از برجام با قبل از برجام می‌باشد. همچنین خوشه‌بندی، مرکزیت نمودار و میزان ارتباط و نزدیکی شاخص‌ها با یکدیگر در طول زمان تغییر می‌یابد.

بررسی مطالعات صورت گرفته، نشان می‌دهد عموما به رفتارشناسی بازارهای مالی در یک بازه زمانی و یا تشکیل سبد سرمایه‌گذاری سهام بهینه پرداخته شده است و تنها یک مطالعه خارجی در بازار رمز ارزها و یک مطالعه داخلی در بازار اوراق بهادار به بررسی شبکه شکل گرفته در دو بازه زمانی پرداخته است. نوآوری مطالعه حاضر از این نظر می‌باشد که علاوه بر ترسیم درخت پوشای کمینه سهم‌ها در دوره زمانی قبل و بعد از جهش نرخ ارز، به دنبال شناسایی سهم‌های پیشرو و بررسی اثر تکانه ارزی بر شبکه شکل گرفته می‌باشد. همچنین به دنبال پاسخ به این سوال می‌باشد که آیا تکانه ارزی سبب تغییر سهم‌هایی که نقش پیشرو در بازده قیمتی را دارند می‌گردد یا خیر.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه از الگوی درخت پوشای کمینه استفاده می‌شود که مطابق با روش منتگنا در سال ۱۹۹۹ می‌باشد. با کاربرد این الگو امکان مطالعه ساختار سلسله مراتبی و خصوصیات توپولوژیکی خاص شبکه وجود دارد. با وجود این که دامنه گسترده‌ای از روش‌های مبتنی بر شبکه برای مطالعه همبستگی سری‌های زمانی مالی وجود دارد، روش درخت پوشای کمینه امکان دسته‌بندی دارایی‌های مالی در خوشه‌های سلسله مراتبی فراهم می‌سازد (فرانچس و همکاران، ۲۰۱۸).

الگوی درخت پوشای کمینه مفهومی در نظریه گراف است. یک گراف تصادفی[19] را می‌توان به‌وسیله سه‌تایی $G =< V, E, F >$ تعریف کرد به‌گونه‌ای که در آن $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ مجموعه رئوس گراف و $E \subseteq V \times V = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ مجموعه یال‌های گراف در نظر گرفته شود. ماتریس $F_{n\times n}$ ماتریس توزیع‌های احتمالی برای مشخصه‌ای از یال‌های گراف (برای مثال طول یال) می‌باشد. درایه f_{ij} از این ماتریس توزیع احتمالی مقادیر مشخصه یال (v_i, v_j) می‌باشد. زیرا گراف تصادفی $G' =< V', E', F >$ را درخت پوشای تصادفی گراف $G =< V, E, F >$ می‌گوییم اگر این زیرگراف، یک گراف تصادفی متصل از گراف $G =< V, E, F >$ به‌طوری که $V' = V$ و $E' \subseteq E$ باشد. اگر $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ مجموعه درخت‌های پوشای گراف تصادفی $G =< V, E, F >$ و $\bar{L}_{\tau_i}$ متوسط وزن درخت پوشای $\tau_i \in T$ باشد در این صورت، درخت پوشای $\tau^* \in T$ درخت پوشای کمینه تصادفی گراف $G =< V, E, F >$ نامیده می‌شود اگر $\bar{L}\tau^* = \min_{\forall \tau_i \in T}\{\bar{L}\tau_i\}$. (التائی و کادری[20]، ۲۰۱۷)

در این روش، اگر N متغیر مورد بررسی قرار گیرد، هر درخت پوشای کمینه از $N-1$ گره (راس) تشکیل می‌گردد. برای بازار سهام، وزن‌ها براساس همبستگی متقابل بازده سهم‌های مورد بررسی، محاسبه می‌گردد و مرتبط‌ترین روابط بین متغیرها را می‌یابد. به منظور استفاده از همبستگی‌ها در الگوریتم، بایستی ماتریس فاصله متقارن D محاسبه شود. فاصله (وزن) سهم‌ها براساس همبستگی متقابل بین آن‌ها که از یک کسر می‌گردد، محاسبه می‌گردد. هرچه همبستگی بیشتر باشد، فاصله کمتر است. (زیبا و همکاران، ۲۰۱۹).

برای محاسبه فاصله بین سهام‌ها، ابتدا بر اساس رابطه زیر، بازده هر سهم محاسبه می‌گردد (بذرایی و همکاران، ۱۴۰۰):

$$S_i \equiv \ln Y_i(t) - \ln Y_i(t-1) \qquad (۱)$$

Y_i، قیمت پایانی سهم i در زمان t می‌باشد.

برای ضریب همبستگی می‌توان نوشت (منتشری و صادقی، ۱۳۹۹):

$$\rho_{ij} = \frac{\langle S_i S_j\rangle - \langle S_i\rangle\langle S_j\rangle}{\sqrt{\langle S_i^2 - \langle S_i\rangle^2\rangle\langle S_j^2 - \langle S_j\rangle^2\rangle}} \qquad (۲)$$

[19] Stochastic Graph
[20] Al-Taie, M. Z., & Kadry, S.

$\rho_{i,j}$ همبستگی بین متغیر i و j می‌باشد.

در مرحله بعد به محاسبه ماتریس مجاورت D براساس فاصله متریک بین تمام جفت سهام‌ها می‌پردازیم. این فاصله براساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (منتگنا، ۱۹۹۹):

$$d(i,j) = \sqrt{2(1-\rho_{i,j})} \qquad (۳)$$

شرایط زیر که به‌عنوان سه اصل از یک فاصله متریک مطرح هستند، برقرار است (یوری و منتگنا[21]، ۲۰۱۸):

$$i)\ d_{ij} = 0 \leftrightarrow i = j,\ ii)\ d_{ij} = d_{ji},\ iii)\ d_{ij} \leq d_{ik} + d_{jk}$$

اولین اصل معتبر است، چراکه اگر و تنها اگر همبستگی کامل باشد، $\rho = 1$، یعنی اگر دو سهم یک فرآیند تصادفی همانند را انجام دهند، آنگاه $d(i,j) = 0$ است. اصل دوم معتبر است، چرا که ماتریس ضریب همبستگی و از این‌رو ماتریس فاصله D با توجه به تعریفشان متقارن هستند. اصل سوم معتبر است، چرا که معادله ارائه شده معادل فاصله اقلیدسی بین دو بردار $\vec{y}_i$ و $\vec{y}_j$ است که از سری‌های زمانی Y_i و Y_j و با در نظرگرفتن هر ثبتی از سری‌های زمانی یک جز از بردار به‌دست آمده است. بردار حاصل باید یک هنجار واحد داشته باشد. یعنی به‌وسیله کم کردن مقدار میانگین هر ثبت و به‌وسیله نرمال کردن آن به انحراف معیارش به‌دست آید. تابع فاصله معرفی‌شده $d(i,j)$ می‌تواند در محدوده $0 < d(i,j) \leq 2$ قرار گیرد، در حالی که همبستگی‌ها در محدوده ۱- تا ۱+ قرار دارند. همبستگی بالا با مقادیر کم $d(i,j)$ تطابق دارند. یعنی هرچه همبستگی بالاتر باشد، فاصله دو سهم کمتر است و بالعکس (صادقی و فروغی دهنوی، ۱۳۹۵).

برای ساخت درخت سلسله مراتبی از قیمت‌های سهام با استفاده از ماتریس فاصله D، ابتدا باید یک ماتریس فوق متریک تبعی $D^<$ با عناصر $d_{ij}^<$ را تعیین کرد. فاصله $d_{ij}^<$ سه اصل فاصله اقلیدسی را برآورده می‌سازد و از نابرابری فوق متریک زیر با شرط قوی‌تر نسبت به اصل سوم پیروی می‌کند (وانگ و زیه[22]، ۲۰۱۵):

$$d_{ij}^< \leq \max\{d_{ik}, d_{kj}\} \qquad (۸)$$

[21] Iori, G., & Mantegna, R.N
[22] Wang, G-j., Xie, C.,

مفهوم دیگری که بایستی مورد توجه قرار گیرد، مرکزیت می‌باشد. به تعداد ارتباط‌هایی که در یک گره(راس) ایجاد می‌گردد، مرکز درجه گفته می‌شود. می‌توان درجه را به عنوان تاثیرگذاری فوری یک گره برای هر آنچه که از طریق شبکه جریان دارد، تفسیر کرد (منتشری و صادقی، ۱۳۹۹). به‌عبارتی در یک شبکه موجود بین سهم‌ها، هرچه تعداد ارتباطات یک سهم بیشتر باشد، آن سهم مهم‌تر است، به این مفهوم که رتبه‌بندی سهام بر اساس تعداد ارتباطات آنها است. زمانی که سهم پیوندهای زیادی را در یک شبکه برقرار می‌کند، یک مرکزیت درجه بالا استنباط می‌شود، بنابراین روابط گسترده‌ای بین این سهم و سایر سهم‌ها برقرار می‌شود. از این‌رو به‌عنوان سهم محوری و پیشرو مورد توجه قرار می‌گیرد. مرکزیت درجه راس v_i برای برای گراف G=(V,E) داده شده با |v| راس و |E| یال به‌صورت زیر تعریف می‌شود (یودین و جکبسون[۲۳]، ۲۰۱۳):

$$C_D^{`}(v_i) = \frac{d(v_i)}{|v| - 1}$$

D به معنی درجه و $d(v_i)$ تعداد راس‌هایی است که به راس v_i متصل است.

در ادامه، درخت سلسله مراتبی (دندوگرام[۲۴]) براساس ماتریس فاصله که در قسمت قبل توضیح داده شد، به منظور بررسی و تایید نتایج حاصل درخت پوشای کمینه، محاسبه و ترسیم می‌گردد بریدا و ریزو[۲۵]، ۲۰۱۰). در یک دندوگرام، سهم‌ها در خوشه‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند. ساختار سلسله مراتبی شناسایی شده ممکن است در توصیف نظری بازارهای مالی و در جستجوی عوامل اقتصادی گروه‌های خاصی از سهام مفید باشد. طبقه‌بندی مرتبط با ساختار سلسله مراتبی به دست آمده تنها با استفاده از اطلاعات موجود در سری زمانی قیمت سهام به دست می‌آید. این نتیجه نشان می‌دهد که سری‌های زمانی قیمت‌های سهام حاوی اطلاعات اقتصادی ارزشمند (و قابل تشخیص) هستند. تشخیص ساختار سلسله مراتبی در سبد وسیعی از سهام معامله شده در یک بازار مالی، با این فرض سازگار است که سری زمانی بازده یک سهام تحت تأثیر تعدادی از عوامل اقتصادی است. تجزیه و تحلیل نشان می دهد که تعداد و تأثیر نسبی این عوامل برای هر سهم خاص است. (منتگنا، ۱۹۹۹).

[23] Uddin, s. & Jacobson, M.J.
[24] Dendogram
[25] Brida, J. G., & Risso, W. A.

بایستی توجه داشت که در دندوگرام شکل گرفته، هرچه ارتفاع یک خوشه کوتاه‌تر باشد به این معناست که سهم‌های موجود در یک خوشه، بایکدیگر همبستگی بیشتری دارند (صادقی و فروغی دهنوی، ۱۳۹۵).

همچنین به دلیل اهمیت شکست ساختاری در محاسبات اقتصادی، برای شناسایی نقطه شکست ساختاری در راستای تشخیص شروع بحران ارزی از روش الگوریتم ICSS[۲۶] اصلاح شده استفاده شده است. الگوریتم مربعات تجمعی تکرارشونده یا الگوریتم ICSS که در سال ۱۹۹٤ توسط اینکلان و تیائو[۲۷] مطرح شده است. این الگوریتم در واریانس به دنبال کشف تغییرات معناداری است که براثر شکست ساختاری در نوسانات سری‌های زمانی حاصل شده است. فرض می‌شود که سری‌های مالی مورد بررسی در یک دوره زمانی، دارای واریانس غیرشرطی پایا می‌باشند، تا زمانی‌که یک اتفاق غیرمنتظره و ناگهانی اقتصادی، سیاسی یا مالی که میزان تکانه آن شدید است رخ می‌دهد و باعث می‌شود تا واریانس سری زمانی یک شکست ساختاری را تجربه کند. در واقع میزان این انحراف واریانس بعد از وقوع رویدادها نسبت به گذشته در حدی بالا می‌رود که باعث پدید آمدن شکست ساختاری شود و سپس واریانس غیرشرطی در سطح جدید مجددا به مانایی می‌رسد تا شاید با تکانه شدید بعدی، درگیر شکست بعدی شود، واین فرآیند در طول زمان بارها تکرار می شود. این الگوریتم به به دو صورت متعارف و اصلاح شده ارائه شده است. تفاوت ICSS متعارف و اصلاح شده در این است که در الگوریتم متعارف فرض می‌شود که سری مورد مطالعه دارای T مشاهده است که به‌صورت یکنواخت و مستقل توزیع شده است و اغلب برای زمانی است که واریانس همسانی شرطی وجود داشته باشد. بنابراین با این بحث این الگوریتم برای یک فرایند وابسته مناسب نیست. اما سری‌های زمانی مالی و اقتصادی اغلب دارای واریانس متغیر هستند و به‌صورت نرمال مشاهده نمی‌شوند. کشیدگی و چولگی آن‌ها با سری‌های نرمال متفاوت است، یعنی اکثرا دم پهن‌تر و کشیده‌تر هستند. اما الگوی ICSS اصلاح شده، با وارد شدن فروض اضافی بر روی جملات خطا، زمانی که سری‌های مورد مطالعه نرمال نیستند و دارای ناهسانی واریانس

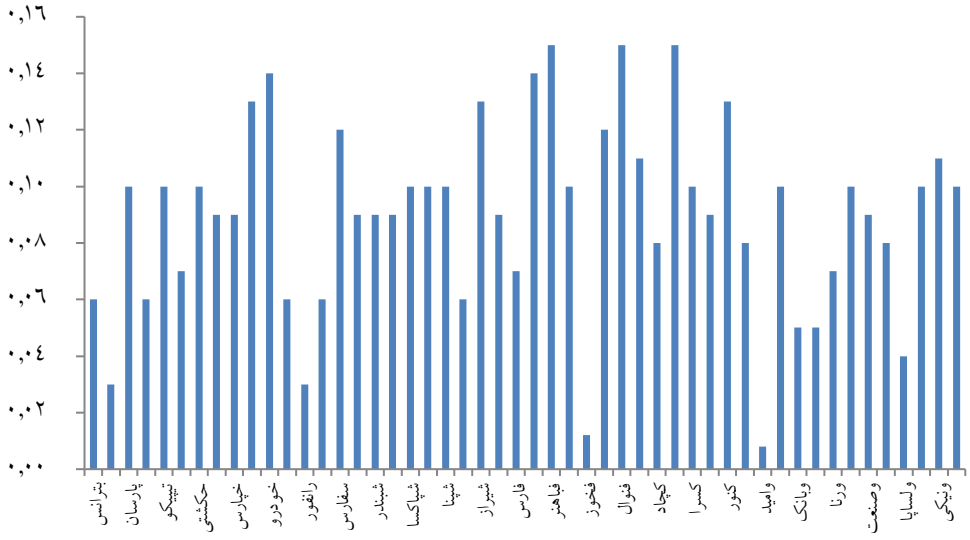
[26] Iterated Cumulative Sum of Squares
[27] Inclan, C., & Tiao G.C.

شرطی هستند، تعداد شکست ساختاری به‌دست آمده به مراتب کمتر از مقدار به‌دست آمده از در ICSS متعارف است (سفیدبخت و رنجبر، ۱۳۹۶).

٤. یافته‌های پژوهش

در این مطالعه برای بازه زمانی ۱۳۹۵/۰۱/۰۵ تا ۱۳۹۹/۰٤/۳۱ داده‌های مربوط به قیمت پایانی روزانه سهام ۵۰ شرکت برتر از سایت بورس اوراق بهادار تهران[۲۸] و نرخ ارز غیررسمی روزانه با استفاده از اطلاعات موجود در سایت صرافی‌های تهران استخراج گردید. در انتخاب نماد شرکت‌ها دو شرط در نظر گرفته شد: نخست اینکه در طول بازه زمانی مورد مطالعه حداقل یک‌بار جزء ۵۰ شرکت برتر معرفی شده از طرف بورس اوراق بهادار باشند و دیگر اینکه بیشترین داده مربوط به آن‌ها موجود باشد. از نظر گروه‌های فعالیت، یازده شرکت در گروه محصولات شیمایی، هفت شرکت در گروه فلزات اساسی، پنج شرکت در هریک از گروه‌های استخراج کانه‌های فلزی و خودرو و ساخت قطعات، چهار شرکت در گروه شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی، سه شرکت در گروه فراورده های نفتی، کک و سوخت هسته‌ای، دو شرکت در هریک از گروه‌های عرضه برق، گاز، بخار و آب گرم و گروه رایانه و فعالیت‌های وابسته به آن قرار دارند. همچنین در هریک از گروه‌های مخابرات، مواد و مصولات دارویی، حمل و نقل، انبارداری و ارتباطات، گروه سایر واسطه‌گری‌های مالی، بانک‌ها و موسسات اعتباری، سیمان، آهک و گچ و ماشین آلات و دستگاه‌های برقی، یک شرکت قرار گرفته است. نمودار (۱) میانگین بازدهی نمادهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

نمودار (۱). میانگین بازده سهم‌های مورد بررسی برای بازه زمانی ۱۳۹۵/۰۱/۰۵ الی ۱۳۹۹/۰٤/۳۱



منبع: محاسبات تحقیق

در نمودار ۱، میانگین بازده سهم‌ها مورد بررسی نمایش داده شده است. همانظور که مشاهده می‌شود، نمادهای فباهنر، فنوال، کروی، خودرو بیشتربن و وامید و فخوز کمترین بازدهی را در بازده زمانی مورد مطالعه داشتند.

در جدول ۱، آمار توصیفی بازده روزانه سهم‌های مورد مطالعه به‌عنوان متغیرهای تحقیق نمایش داده شده است. بیشترین پراکندگی مربوط به بازدهی کچاد و بترانس می‌باشد و ونیکی و شپدیس نیز کمترین انحراف معیار را دارند.

مقدار آماره جارک- برا برای نمادهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که دارای توزیع غیرنرمال و نامتقارن می‌باشند. براساس نتایج آزمون ریشه واحد، تمام متغیرها در سطح اطمینان ۹۹ درصد مانا هستند.

جدول ۱. آمار توصیفی بازده روزانه متغیرهای مورد بررسی

نماد	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ADF	نماد	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	ADF
بترانس	۰/۰۶	۳۵/۱۱	-۳۷/۱۲	۲/۲۵	-۵/۰۶	۲۰۵/۱۳	-۲۹/۰*	فاسمین	۰/۱۵	۶/۶	-۴/۱	۱/۲۴	۰/۲۳	۳/۸۹	-۲۳/۸*
بفجر	۰/۰۳	۵	-۴۱/۵	۱/۶۲	-۱۶/۷۷	۴۳۱/۱۱	-۲۳/۱*	فباهنر	۰/۱۶	۹/۷	-۹/۷	۱/۳۷	۰/۰۴	۷/۳۳	-۲۹/۳*
پارسان	۰/۱۱	۳/۲۳	-۵/۵۹	۰/۹۵	-۰/۴۵	۷/۰۳	-۲۸/۳*	فخاس	۰/۱	۱۳/۴۶	-۱۱/۸	۱/۰۱	۰/۳۹	۶۸/۳۴	-۲۵/۷*
پاکشو	۰/۰۶	۹/۸۸	-۲۹/۵	۱/۵۹	-۱۰/۸۶	۱۹۳/۶۲	-۲۸/۱*	فخوز	۰/۱۲	۱۱	-۱۱/۹۳	۱/۱۲	-۰/۴۹	۲۶/۴۱	-۱۵/۴*
تیپیکو	۰/۱۰	۸/۳۷	-۱۷/۶۱	۱/۱۳	-۴/۰۹	۷۰/۶۴	-۲۶/۲*	فملی	۰/۱۳	۷/۸۹	-۱۱/۳۹	۱/۱۴	-۲/۰۷	۲۶/۹۷	-۲۵/۷*
جم	۰/۰۷	۳/۹۷	-۱۴/۶۲	۰/۹۷	-۴/۵۱	۶۵/۰۷	-۲۶/۳*	فنوال	۰/۱۶	۴/۱۸	-۳/۸۹	۱/۲۲	۰/۰۳	۲/۶۴	-۲۸/۹*
حکشتی	۰/۱۰	۶/۶۹	-۱۱/۴۵	۱/۰۸	-۰/۴۴	۱۹/۲۲	-۲۶/۲*	فولاد	۰/۱۲	۴/۸۶	-۲۳/۸۹	۱/۳۳	-۹/۳۷	۱۶۴/۷۳	-۲۶/۰*
خبهمن	۰/۰۹	۸/۶۹	-۲۹/۵۴	۱/۵۱	-۷/۵۱	۱۵۳/۵۶	-۱۶/۶*	کچاد	۰/۰۸	۵۸/۱۱	-۳۶/۸۹	۲/۶۲	۷/۸۱	۲۸۲/۳۴	-۲۶/۶*
خپارس	۰/۰۹	۱۰/۹۵	-۱۵/۴۹	۱/۳۵	-۰/۹۳	۲۳/۹۸	-۱۵/۷*	کروی	۰/۱۶	۴/۹۶	-۴/۱۱	۱/۲۲	۰/۲۱	۲/۹۷	-۲۸/۲*
خزامیا	۰/۱۳	۸/۶۴	-۴/۲۵	۱/۲۴	۰/۳۶	۵/۱۴	-۲۶/۰*	کسرا	۰/۱۱	۱۱/۰۴	-۱۲/۸۷	۱/۴۵	-۰/۳۹	۱۲/۶۸	-۲۴/۸*
خودرو	۰/۱۴	۳۰/۱	-۴/۶۷	۱/۵۲	۷/۷۸	۱۵۱/۲۰	-۳۰/۶*	کگل	۰/۰۹	۲۲/۲۲	-۱۷/۶۷	۱/۷	۱/۰۶	۶۷/۲۴	-۳۰/۸*
دجابر	۰/۰۶	۱۲/۱۱	-۲۶/۳۵	۱/۴۵	-۶/۸۳	۱۲۶/۹۳	-۳۰/۹*	کنور	۰/۱۴	۸/۱۸	-۱۰/۴۱	۱/۲۳	-۰/۲	۹/۳۸	-۲۹/۱*
رانفور	۰/۰۳	۵/۸۳	-۴۷/۷۱	۱/۷۱	-۲۱/۶۳	۶۰۸/۵۶	-۲۴/۵*	مبین	۰/۰۹	۴/۱۷	-۹/۳۵	۰/۹۷	-۲/۱	۲۳/۳۹	-۱۵/۴*
رتاپ	۰/۰۶	۱۰/۴۷	-۱۲/۹۷	۱/۱۷	-۰/۶۹	۳۱/۱۸	-۲۶/۶*	وامید	۰/۱۳	۴/۶۹	-۱۴/۹۶	۱/۰۲	-۳/۳۲	۵۲/۶۷	-۲۵/۶*
سفارس	۰/۱۲	۱۰/۵۲	-۱۰/۵۷	۱/۲۸	۰/۰۷	۱۱/۵۴	-۲۱/۰*	وآتی	۰/۱	۶	-۱۰/۹۷	۱/۲۱	-۰/۵۴	۱۰/۳	-۲۶/۷*
شاراک	۰/۰۹	۶/۲۵	-۱۲/۲	۱/۱۹	-۲/۳۷	۲۸/۲۹	-۱۷/۷*	وبانک	۰/۱	۶/۷۳	-۱۱/۹۵	۱/۰۸	-۲/۶۸	۳۵/۷۳	-۲۶/۹*
شبندر	۰/۰۹	۷/۷۶	-۳۱/۷۸	۱/۴۷	-۹/۸۹	۲۲۱/۱۵	-۲۸/۳*	وخاور	۰/۰۶	۴/۶۴	-۱۵/۵	۱/۱۳	-۴/۲۳	۵۴/۸۴	-۲۷/۶*
شبهرن	۰/۰۹	۶/۲۹	-۱۰/۳	۱/۰۶	-۱/۸۴	۲۳/۲۱	-۲۵/۳*	ورنا	۰/۰۸	۹/۱۲	-۱۳/۴۶	۱/۳۵	-۰/۶۴	۱۵/۴۶	-۱۶/۲*
شپاکسا	۰/۱۰	۴/۲۴	-۲۳/۷۵	۱/۳۲	-۵/۶۳	۱۰۶/۱۲	-۲۴/۵*	وصندوق	۰/۱	۶/۵۶	-۷/۵۷	۰/۹۷	-۰/۵۹	۱۴/۱۱	-۲۵/۳*
شپدیس	۰/۱۰	۴/۱۸	-۵/۶۲	۰/۹	۰/۰۳	۶/۲۴	-۲۵/۹*	وصنعت	۰/۱	۶/۳۴	-۱۰/۵۷	۱/۱۱	-۱/۸۵	۲۱/۴۲	-۲۶/۱*
شپنا	۰/۱۰	۷/۰۵	-۴۰/۶۶	۱/۶۷	-۱۴/۲۶	۳۵۲/۲۴	-۲۵/۱*	وغدیر	۰/۰۹	۷/۵	-۱۵/۱۷	۱/۰۶	-۲/۷۳	۴۹/۱۱	-۲۵/۴*
شخارک	۰/۰۶	۹/۱۲	-۴۷/۷۱	۱/۸۱	-۱۸/۱۲	۴۷۹/۵۷	-۲۴/۴*	ولساپا	۰/۰۵	۴/۱۵	-۱۵/۶۵	۱/۲۳	-۲/۲۳	۳۰/۵۹	-۱۶/۰*
شیراز	۰/۱۳	۶/۶۸	-۲/۲۲	۱/۰۴	۰/۸۹	۶/۰۵	-۲۶/۶*	ومعادن	۰/۱۱	۱۰/۸۵	-۱۴	۱/۲۲	-۱/۶۵	۳۶/۱۹	-۲۶/۲*
شیران	۰/۰۹	۵/۶۷	-۲۴/۱۲	۱/۳۶	-۵/۶۹	۱۰۳/۸۴	-۲۶/۰*	ونیکی	۰/۱۲	۴/۰۹	-۴/۲۱	۰/۸۶	۰/۲۵	۶/۶۵	-۲۴/۷*
فارس	۰/۰۷	۴/۹۷	-۲۴/۸۲	۱/۳	-۱۰/۱۷	۱۸۵/۷۷	-۷/۵*	همراه	۰/۰۱	۳/۶۳	-۳۵/۲۷	۱/۶۸	-۱۴/۹۲	۲۸۸/۹۴	-۳۰/۲*

منبع: محاسبات تحقیق (توضیح: *معناداری در سطح ۵ درصد)

به منظور شناسایی زمان رخ داد تکانه ارزی، روش‌های مختلفی برای برای شناسایی نقطه شکست ساختاری وجود دارد. از آن‌جا که توزیع نرخ ارز دارای دنباله پهن و ناهم‌سانی واریانس شرطی می‌باشد، در راستای تشخیص شروع بحران ارزی، روش الگوریتم ICSS اصلاح شده به‌کار رفته است. همانطور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد، این الگوریتم به‌دنبال یافتن تغییرات معنادار در واریانس است که بر اثر بروز یک شکست ساختاری در فرآیند تولید نوسان سری زمانی حاصل شده است (سانسو و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج این آزمون در جدول (۲) قابل مشاهده است.

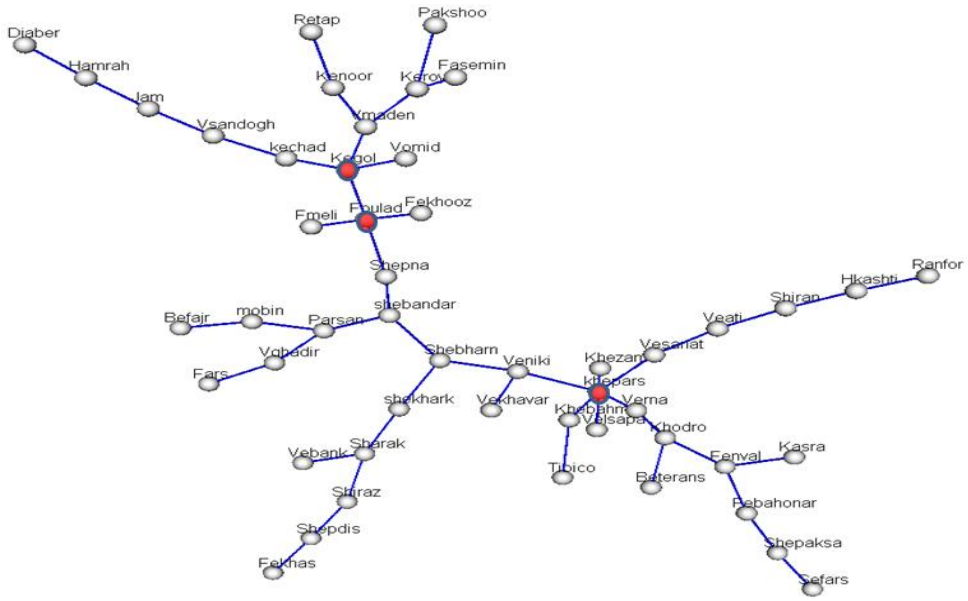
جدول ۲. نتایج آزمون شکست ساختاری نرخ ارز

$ICSS(\kappa_2)$		$ICSS(\kappa_1)$	
۱۳۹۷/۰۱/۱۸	**(۲۲۵۳)**	**۱۳۹۷/۰۱/۱۵**	**(۲۲۵۲)**
		۱۳۹۷/۱۰/۰۹	**(۲٤۳۲)**

منبع: محاسبات تحقیق

براساس نتایج آزمون شکست ساختاری، بحران ارزی درسال ۱۳۹۷ و بعد از خروج امریکا از برنامه جامع اقدام مشترک رخ داد؛ بنابراین ابتدای سال۱۳۹۷ به‌عنوان زمان شروع بحران ارزی در نظر گرفته می‌شود. بعد از تشخیص نقطه شروع بحران ارزی، برای بررسی اثر این بحران بر روی ساختار شبکه سهام با استفاده از رهیافت درخت پوشای کمینه، بازه زمانی به دوره قبل از بحران ارزی (از ابتدای سال ۱۳۹۵ تا پایان سال ۱۳۹٦) و دوره بحران ارزی (از ابتدای سال ۱۳۹۷ تا پایان تیرماه ۱۳۹۹) تقسیم شده است و برای هریک از این دوره‌های زمانی، درخت پوشای کمینه ساخته شد. درخت پوشای کمینه برای اولین دوره زمانی مورد مطالعه، در شکل (۱)، قابل مشاهده است.

شکل ۱. درخت پوشای کمینه (بازه زمانی ۱۳۹۶/۱۲/۳۰-۱۳۹۵/۰۱/۰۵)



منبع: محاسبات تحقیق

هرگاه یک سهام، پیوندهای زیادی را در یک شبکه برقرار می‌کند، روابط گسترده‌ای بین آن و سایر سهم‌ها برقرار می‌شود. بنابراین به‌عنوان سهم پیشرو مورد توجه قرار می‌گیرد (یودین و جکبسون، ۲۰۱۳). همانطور که ملاحظه می‌گردد نمادهای خپارس (پارس خودرو)، فولاد (شرکت فولاد مبارکه اصفهان) و کگل (شرکت معدنی و صنعتی گل گهر) در گره‌هایی قرار دارند که دارای بیشترین یال (انشعابات از گره) می‌باشند و نشان‌دهنده بیشترین همبستگی با سایر سهم‌ها می‌باشد. در نتیجه این نمادها توانسته‌اند نقش پیشرو برای سایر سهم‌ها را داشته باشند.

در میان این سه سهم، خپارس بیشترین ارتباط مستقیم با سهم‌های دیگر را دارد. به‌طوری که این سهم با ٦ یال بیشترین تاثیر را بر دیگر سهم‌ها می‌گذارد. همچنین کگل و فولاد با ٤ ارتباط مستقیم بعد از پارس خودرو، بیشترین تاثیر بر شبکه مالی را دارند.

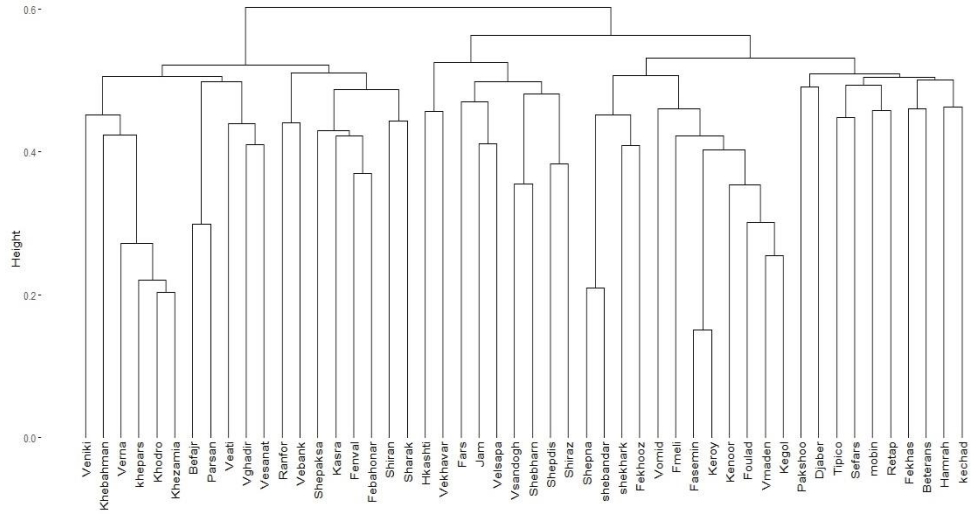
همچنین خوشه سهم‌های شکل گرفته با مرکزیت پارس خودرو نشان می‌دهد خپارس به همراه نمادهای خبهمن و خزامیا از گروه صنایع مرتبط با خودروسازی، نمادهای ورنا، وصنعت و ولساپا

از گروه سرمایه‌گذاری و نماد ونیکی از گروه شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی اصلی‌ترین خوشه را در بازه زمانی پیش از رشد نرخ ارز را تشکیل داده است. قابل ذکر است که از نگاه سهام‌داران و معامله‌گران نمادهای ورنا، ولساپا در کنار خبهمن، خزامیا در زمره گروه خودرویی معامله می‌شوند. به‌علاوه، بررسی سبد سهام شرکت‌های سرمایه‌گذاری توسعه و تجارت (وصنعت) و سرمایه‌گذاری ملی (ونیکی) نشان می‌دهد این شرکت‌ها وزن بالاتری از سبد سرمایه‌گذاری سهام خود را به صنایع خودرو و ساخت قطعات خودرو اختصاص داده‌اند که این موضوع می‌تواند توجیهی برای قرارگرفتن نمادهای ونیکی و وصنعت در اصلی‌ترین خوشه شکل گرفته سهام برای دوره زمانی پیش از بحران ارزی باشد. سهم‌های کگل، فخوز، شپنا و فملی با مرکزیت فولاد یکی دیگر از خوشه‌های اصلی ساختار شکل گرفته را تشکیل داده‌اند. شرکت‌های فعال در صنایع فلزی به همراه یک شرکت در صنایع پتروپالایشی در این خوشه قرارگرفته‌اند. دیگر خوشه اصلی با مرکزیت کگل از سهم‌های فولاد، کچاد، ومعادن و وامید ساخته شده است که این گروه سهام شرکت‌های مرتبط با صنایع فلزی و دو سهم از گروه سرمایه‌گذاری را دربردارد. بررسی سبد سهام شرکت‌های گروه سرمایه‌گذاری امید (نماد وامید) نشان‌دهنده وجود سهم‌های شرکت‌های فعال در صنایع فلزی در این دوره می‌باشد که می‌تواند توجیهی برای همبستگی بالای این شرکت با نمادهای صنایع فلزی باشد. بنابراین سهم‌هایی از گروه صنایع فلزی و خودروسازی در دوره پیش از جهش نرخ ارز، نقش پیشرو را داشته‌اند.

همانطور که پیش‌تر بیان گردید، می‌توان درخت سلسله مراتبی (دندوگرام) را به منظور بررسی و تایید نتایج حاصل از درخت پوشای کمینه بکار برد (بریدا و ربزو، ۲۰۱۰). در ساختار سلسله مراتبی ترسیم‌شده، سهم‌ها در خوشه‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی مرتبط با ساختار سلسله مراتبی به دست آمده تنها با استفاده از اطلاعات موجود در سری زمانی قیمت سهام به دست می‌آید (منتگنا، ۱۹۹۹). در دندوگرام شکل گرفته، هرچه ارتفاع یک خوشه کوتاه‌تر باشد به این معناست که سهم‌ها موجود در یک خوشه، بایکدیگر همبستگی بیشتری دارند (صادقی و فروغی دهنوی، ۱۳۹۵). می‌توان دندوگرام شکل گرفته برای بازه زمانی پیش از بحران ارزی را در

شکل ۲، مشاهده نمود که در آن خوشه‌های مختلف سهم‌ها با توجه به همبستگی بینشان ساخته شده است. در یکی از خوشه‌ها در سمت چپ شکل، همبستگی بالای بین سهم‌های خودرو و خزامیا قابل مشاهده است که در کنار خپارس، ورنا، خبهمن و ونیکی یک خوشه بزرگتر را تشکیل می‌دهند.

شکل ۲. دندوگرام نمادهای مورد بررسی (بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۵)



منبع: محاسبات تحقیق

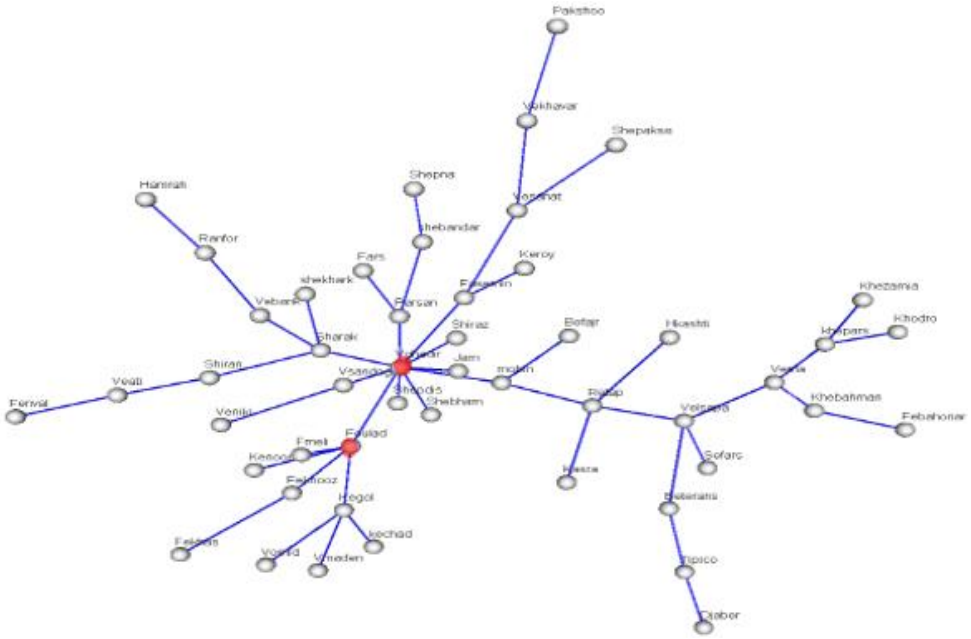
در ساختار درخت پوشای کمینه (شکل ۱) نیز مشاهده کردیم سهم‌های خودرویی (با مرکزیت خپارس) به همراه ونیکی، یکی از گره‌های اصلی را تشکیل داده بودند. همچنین در سمت راست دندوگرام، می‌توان مشاهده نمود که سهم‌های کگل و ومعادن تشکیل یک خوشه را داده‌اند که خود جزیی از یک خوشه بزرگتر شامل سهم‌های کنور و فولاد می‌باشد. به همین ترتیب قابل مشاهده است که خوشه بزرگتر بعدی سهم‌های فخوز، فملی وامید و شپنا را نیز در بردارد. از سویی دیگر براساس ساختار درخت پوشای کمینه (شکل۱)، مشاهده شد که یک خوشه اصلی با مرکزیت فولاد به همراه سهام‌های سهم‌های کگل، فخوز، شپنا و فملی و خوشه اصلی دیگر نیز با

مرکزیت کگل شامل سهم‌های فولاد، کچاد، ومعادن و وامید شکل گرفته است.

در ساختار دندوگرام، کم‌ترین فاصله شکل گرفته مرتبط با خوشه کچاد و کروی می‌باشد که بیانگر همبستگی بالای بین دو سهم می‌باشد و در ساختار درخت پوشای کمینه (شکل ۱) نیز این دو سهم بدون واسطه با یکدیگر متصل هستند. بنابراین می‌توان مشاهده نمود که ساختار حاصل از دندوگرام به نوعی ساختار درخت پوشای کمینه را تایید می‌کند.

درخت پوشای کمینه برای دوره زمانی بعد از جهش نرخ ارز در شکل ۳ قابل مشاهده است.

شکل ۳. درخت پوشای کمینه (بازه زمانی ۱۳۹۹/۰۴/۳۱-۱۳۹۷/۰۱/۰۵)



منبع: محاسبات تحقیق

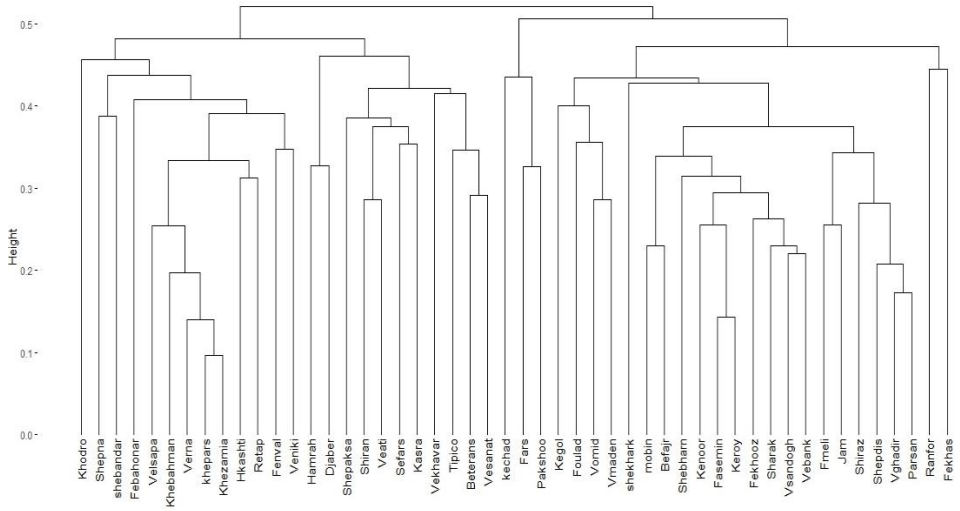
تاثیر وقوع بحران ارزی در ساختار سهام‌های مورد بررسی را می‌توان در شکل ۳ مشاهده نمود. همانطور که بحث شد هرگاه یک سهام، پیوندهای زیادی را در یک شبکه برقرار کند به‌عنوان سهم پیشرو مورد توجه قرار می‌گیرد، در شبکه شکل‌گرفته، وغدیر با ۱۰ یال بیشترین اثر بر سایر سهم را

دارد. همچنین فولاد با ۵ ارتباط مستقیم بعد از وغدیر، بیشترین تاثیر بر شبکه مالی را دارد. در نتیجه این دو نماد، سهم‌های پیشرو می‌باشند. خوشه سهم‌های شکل گرفته با مرکزیت وغدیر نشان می‌دهد پارسان، شیراز، جم، شپدیش و شاراک از گروه محصولات شیمیایی و شبهرن از گروه نفتی، کک و فرآورده‌های سوختی، مبین از گروه عرضه برق، گاز، بخار و آب گرم، فاسمین و فولاد از گروه فلزات اساسی و وصندوق از گروه شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی در این خوشه قرار گرفته‌اند. بنابراین عمده شرکت‌های پتروپالایشی در این گروه متمرکز شده‌اند. دیگر سهم پیشرو یعنی فولاد از گروه فلزات اساسی به همراه فملی و فخوز از گروه فلزات اساسی، کگل و کنور از گروه استخراج کانه‌های فلزی و وغدیر از شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی خوشه اصلی دیگر را تشکیل می‌دهد.

بررسی سبد سرمایه‌گذاری سهام شرکت سرمایه‌گذاری غدیر (وغدیر) و شرکت سرمایه‌گذاری صندوق بازنشستگی کشوری (وصندوق) نشان می‌دهد عمده سبد سهام این شرکت در این بازه زمانی متشکل از سهام صنایع استخراج کانه‌های فلزی و محصولات شیمیایی می‌باشد؛ این نکته می‌تواند توجیهی برای همبستگی بالای این شرکت با شرکت‌های صنایع فلزی و محصولات شیمیایی باشد.

بنابراین تاثیر وقوع تکانه ارزی بر ساختار شبکه موجود بین سهم‌ها را می‌توان به این صورت تحلیل نمود که شرکت‌های متمرکز در گروه خودرویی که پیش از وقوع بحران ارزی، نقش پیشرو داشتند، جای خود را به خوشه‌ای از سهام شرکت‌های پتروپالایشی و وغدیر از گروه شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی داده است. اما صنایع فلزی توانسته است در دوره بعد از جهش نرخ ارزی نیز، نقش پیشرو قیمتی خود را حفظ کند. به‌بیانی دیگر، جهش نرخ ارز سبب شده تا شرکت‌های صادرات محور به‌عنوان پیشرو نقش بیشتری داشته باشند.

شکل ٤. دندوگرام نمادهای مورد بررسی (بازه زمانی ۱۳۹۹/۰٤/۳۱–۱۳۹۷/۰۱/۰۵)



منبع: محاسبات تحقیق

برای اطمینان از ساختار درخت پوشای ساخته شده، دندوگرام رسم شده برای بازه زمانی بعد از بحران نرخ ارز در شکل ٤ قابل مشاهده است. در سمت راست دندوگرام، وغدیر و پارسان در یک خوشه قرارگرفته‌اند و به همراه شپدیش و شیراز جزیی از یک خوشه بزرگتر هستند. درخوشه مجاور آن نیز سهم‌های شاراک، فاسمین، وصندوق و شبهرن قرار گرفته‌اند. در ساختار درخت پوشای کمینه (شکل ۳) نیز مشاهده کردیم چند سهم از گروه پتروپالایشی به همراه فولاد و فاسمین از گروه فلزات در کنار وصندوق یکی از شاخه‌های اصلی شبکه را تشکیل دادند. همچنین فولاد و کگل جزیی از یک خوشه هستند که در مجاورت آن خوشه بزرگتری شامل سهم‌های فخوز، کنور و وغدیر را در زیرخوشه‌های خود دربردارد.در ساختار درخت پوشای کمینه (شکل ۳) نیز فولاد به‌عنوان سهم پیشرو به همراه فملی، فخوز،کگل، و وغدیر یک شاخه اصلی را ساخته‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ساختار حاصل از دندوگرام به نوعی ساختار درخت پوشای کمینه را تایید می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یکی از روش‌های بررسی روابط بین سهم‌ها، ساخت شبکه با استفاده از الگوهای خوشه‌بندی سلسله مراتبی و درخت پوشای کمینه می‌باشد. همچنین با شناسایی ارتباط موجود بین سهم‌ها می‌توان برای تعیین سهم‌های پیشرو و بررسی اثر تکانه ارزی بر شبکه بازار سهام، بهره گرفت. این مطالعه با هدف شناسایی شرکت‌های پیشرو در بازار اوراق بهادار و تاثیر بحران ارزی بر تغییر این شرکت‌ها با کاربرد الگوی درخت پوشای کمینه انجام گرفته است.

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد پیش از تکانه ارزی، نمادهای معاملاتی خپارس، فولاد و کگل نقش سهم‌های پیشرو را دارند. براساس ساختار درخت پوشای کمینه، بعد از تکانه ارزی، وغدیر و فولاد دارای بیشترین ارتباط با سایرسهم‌ها و دو سهم پیشرو می‌باشند. براساس نتایج بدست آمده، در اثر افزایش نرخ ارز، شرکت‌های متمرکز در گروه خودرویی که پیش از وقوع بحران ارزی، نقش پیشرو داشتند، جای خود را به خوشه‌ای از سهام شرکت‌های پتروپالایشی و شرکت‌های چند رشته‌ای صنعتی داده‌اند. اما صنایع فلزی توانستند در دوره بعد از جهش نرخ ارزی نیز، نقش پیشرو قیمتی خود را حفظ کنند. به‌بیانی دیگر، جهش نرخ ارز سبب شده تا شرکت‌های صادرات محور به‌عنوان پیشرو نقش بیشتری داشته باشند.

نتایج این پژوهش با مطالعات مارتی و همکاران (۲۰۲۱)، فرانسیس و آریانو (۲۰۱۸)، اونلا و همکاران (۲۰۰۳)، و منتشری و صادقی (۱۳۹۹) مبنی بر تشکیل ساختار برای روابط بین سهم‌ها و توانایی استفاده از شبکه بین سهم‌ها برای تحلیل بازار سهام و همچنین نتایج مطالعه منتگنا (۱۹۹۹) و شریفی سامانی (۱۳۹۵) مبنی بر تشکیل خوشه‌بندی بر اساس برخی ویژگی‌ها و امکان تغییر ساختار شکل گرفته در طول زمان، هم‌راستا می‌باشد.

نتایج این تحقیق امکان کاربرد در سه حوزه را دارند. نخست اینکه با توجه به ترسیم شبکه موجود بین سهم‌ها و تعیین سهم‌های پیشرو و تبیین اثر جهش نرخ ارز بر آن‌ها می‌تواند به سرمایه‌گذاران کمک کند تا در تشکیل سبد سهام خود بتوانند با آگاهی بیشتری به گزینش سهم‌ها اقدام نمایند. دوم اینکه برای مدیران سرمایه‌گذاری نگرشی جدید در جهت شناسایی رفتار سهم‌ها

براساس ساختار شبکه بین‌سهم‌ها را ایجاد نماید. در نهایت نیز سیاست‌گذاران با بهره از ساختار شبکه‌ای میان سهم‌ها جهت کاهش آسیب‌پذیری آن در مواجه با شوک‌های غیرمنتظره ارزی اقدامات لازم را انجام دهند.

در هنگام بروز بحران ارزی به سرمایه‌گذاران پیشنهاد می‌گردد با توجه به پیشرو بودن صنایع فلزی و پتروپالایشی در تشکیل سبد سهام خود وزن بیشتری را برای این صنایع قائل شوند. همچنین در انتخاب سهام شرکت‌های سرمایه‌گذاری که ترکیب سبد سهام این شرکت‌ها را در نظر داشته باشند.

به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌گردد، در تحقیقات خود از معیار حجم مماملات نیز برای ساخت شبکه استفاده کنند، روابط جهت‌دار را در ایجاد گراف‌ها در نظر بگیرند، عوامل اقتصادی موثر بر ایجاد خوشه‌های مختلف را تبیین نمایند.

منابع

بذرایی، مریم؛ قویدل، صالح و امام وردی، قدرت‌الله. (۱۴۰۰). شناسایی مسیر سرایت بحران ارزی در صنایع بورسی، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، ۱۵(۱). ۹۶-۷۳، شناسه دیجیتال: 10.30495/ECO.2021.1922778.2483

سفیدبخت، الهه و محمدحسین رنجبر. (۱۳۹۶). سرریز نوسانات بین قیمت نفت، نرخ ارز، قیمت طلا و بازار سهام تحت فواصل زمانی و شکست ساختاری: استفاده از مدل گارچ (BEKK) و الگوریتم ICSS، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۸(۳)، ۸۷-۵۱.

شریفی سامانی، فرشاد و حجت‌اله صادقی (۱۳۹۵). ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه سهام در بازار بورس تهران (مطالعه موردی اثر برجام)، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد، منتشر نشده).دانشگاه علم و هنر یزد.

صادقی، حجت‌اله و شریفه فروغی دهنوی. (۱۳۹۶). تدوین دندروگرام‌های سبد سهام براساس معیار فاصله اقلیدسی(مقایسه‌ای بین روش‌های گوناگون خوشه‌بندی سلسله مراتبی)، فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۱۰(۳۴)،۸۹-۱۰۷.

صالحی، رضا و صالحی، اله کرم. (۱۴۰۰). تاثیرعدم اطمینان اقتصادی و تحریم‌های اقتصادی برخطر سقوط قیمت سهام، فصلنامه تحلیل بازار سرمایه، ۱(۳)، ۱۰۰-۶۹، شناسه دیجیتال: 20.1001.1.27833488.1400.1.3.4.6

محقق نیا، محمدجواد؛ ضیاچی، علی اصغر، سرگلزائی، مصطفی و خاشعی، وحید. (۱۴۰۱). ارزیابی اثر نوسانات ارزی بر عملکرد شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران و سنجش وقفه‌های زمانی آن. فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۶(۲)، شناسه دیجیتال: 10.30495/FED.2022.694716

منتشری، مجید و حجت‌اله صادقی. (۱۳۹۹)، گونه‌شناسی شبکه‌های مالی بر اساس ویژگی‌های مکان‌شناختی آنها (مطالعه‌ای در بورس اوراق بهادار تهران)، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۱(۴۵)، ۳۴۲-۳۱۹.

نمکی، علی؛ عباسیان، عزت‌اله و شفیعی، الهه. (۱۴۰۱). تجزیه و تحلیل میزان ریسک سیستمی شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از رویکرد سیستم‌های پیچیده، فصلنامه راهبرد مدیریت مالی، ۱۰(۳۶). شناسه دیجیتال: 10.22051/JFM.2020.30910.2360.

Al-Taie, M. Z., & Kadry, S. (2017). Python for graph and network analysis Cham:1-184, Springer International Publishing.

Bazarai, Maryam; Qavidel, Saleh and Imamvardi, Qadratullah. (1400). Identifying the transmission path of currency crisis in stock market industries, Economic Modeling Quarterly, 15(1). In Persian. 73-96 .10.30495/ECO.2021.1922778.2483.

Brida, J. G., & Risso, W. A. (2010). Hierarchical structure of the German stock market. Expert Systems with Applications, 37(5): 3846–3852. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.034.

Coletti, P. (2016). Comparing minimum spanning trees of the Italian stock market using returns and volumes, Physica A, 463: 246-261.https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.07.029.

Demirer, R, Jategaonkara Shrikant P., A.A. Khalifab, A. (2016). Oil price risk exposure and the cross-section of stock returns: The case of net exporting countries, Energy Economics, 49: 132-140. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.02.010.

Francés, C. J., Grau-Carles, P., Arellano, D. J. (2018). The cryptocurrency market: A network analysis. Market Economics and Business Journal, 49: 569-583. https://doi.org 10.7200/esicm.161.0493.4i

Iori, G., & Mantegna, R.N. (2018). Empirical analyses of networks in finance. In Handbook of Computational Economics 4: 637-685). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.hescom.2018.02.005

Kalyagin, V.A., Koldanov, A.P., Koldanov, P.A. (2022). Reliability of maximum spanning tree identification in correlation-based market networks, Physica A:

Statistical Mechanics and its Applications, 414(c):387-402, https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127482

Kheyrkhahو A., Rahnamay Roodposhti F., Afshar Kazemi M.A. (2016). Identifying Stocks Leader by Complex Network Analysis. International Conference on Researches in Science & Engineering, Istanbul University, Turkey, 28- July.

Mantegna, R. N. (1999). Hierarchical structure in financial markets. The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems, 11(1):193-197, https://doi.org/10.1007/s100510050929

Marti, G., Nielsen, F., Bińkowski, M., Donnat, P. (2021). A review of two decades of correlations, hierarchies, networks and clustering in financial markets, in Chapter in Progress in Information Geometry: Theory and Applications, 245-274.

Mohaghegh Nia, Mohammad Javad; Ziachi, Ali Asghar, Sargolzaei, Mostafa and Khashai, Vahid. (1401). Evaluating the effect of currency fluctuations on the performance of companies admitted to the Tehran Stock Exchange and measuring its time intervals. Quarterly Journal of Financial Economics, 16(2), DOI: 10.30495/FED.2022.694716. In persian.

Montashei, Majid and Hojjatoleh Sadeghi. (2019), typology of financial networks based on their geographical features (a study on Tehran Stock Exchange), Financial Engineering and Securities Management Quarterly, 11(45), 319-342. In persian.

Namaki, Ali; Abbasian, Ezzatullah and Shafi'i, Elaha. (1401). Analyzing the level of systemic risk of Tehran Stock Exchange companies using complex systems approach, Financial Management Strategy Quarterly, 10(36). DOI: 10.22051/JFM.2020.30910.2360. In persian.

Onnela, P., Chakraborti A., Kaski K. (2003). Dynamic of Market Correlation, Taxonomy and Portfolio Analysis. Physical Review, 68(5).

Sadeghi, Hojjatoleh and Sharifa Foroughi Dehnavi. (2016). Compilation of stock portfolio dendrograms based on the Euclidean distance criterion (comparison between different methods of hierarchical clustering), Scientific Research Quarterly of Financial Science of Securities Analysis, 10(34), 89-107. In persian.

Salehi, Reza and Salehi, Elah Karam. (1400). The impact of economic uncertainty and economic sanctions on the risk of falling stock prices, Capital Market Analysis Quarterly, 1(3), 69-100, DOI: 20.1001.1.27833488.1400.1.3.4.6. in persian.

Sefidbakht, Elahe and Mohammad Hossein Ranjbar. (2016). Volatility spillovers between oil prices, exchange rates, gold prices and stock markets under time lags and structural failure: using Garch model (BEKK) and ICSS algorithm, Journal of Financial Engineering and Securities Management, 8(3), 51-87. In prsian.

Sensoy, M., Tabak, B. (2014). Dynamic spanning trees in stock market networks: The case of Asia-Pacific, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 414(15):387-402.

Sharifi Samani, Farshad and Hojatoleh Sadeghi (2015). Topological features of stock network in Tehran stock market (a case study of JERJAM), (master's thesis, unpublished). Yazd University of Science and Art. In persian.

Teh, B. K., Goo, Y. W., Lian, T. W., Ong, W. G., Choi, W. T., Damodaran, M., Cheong, S. A. (2015). The Cinese Correction of February 2007: How financial hierarchies change in a market crash, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 425:.225-241.

Tumminello, M., Lillo, F., & Mantegna, R. N. (2010). Correlation, hierarchies and networks in financial markets. Journal of Economic Behavior & Organization, 75(1), 40-58. https://doi.org/10.48550/arXiv.0809.4615

Uddin, s., Jacobson, M. J., (2013), Dynamics of email communications among university students throughout a semester, Elsevier, Journal of Computer & Education 64, 95-103, https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.01.014

Wang, G-j., , Xie, C., (2015). Correlation structure and dynamics of international real estate securities markets: A network perspective, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 424:.176-193. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.01.025

Wei-Qiang H., Xin-Tian Z. and Shuang Y. (2009). A Network Analysis of the Chinese Stock Market, Physica A, 388(14): 2956-2964.

Yang, R., Li, X., Zhang, T. (2014). Analysis of linkage effects among industry sectors in China's stock market before and after the financial crisis. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 411:12-20. https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.05.072

Zięba, D., Kokoszczyński, R., Śledziewska, K. (2019). Shock transmission in the cryptocurrency market. Is Bitcoin the most influential? International Review of Financial Analysis 64:102–125. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2019.04.009.