



شبکه پیچیده تأثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر متغیرهای کلان اقتصادی

و سقوط بازارهای بورس سهام

متین صانعی فر^۱

پرویز سعیدی^۲

ابراهیم عباسی^۳

حسین دیده‌خانی^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۳/۰۲

چکیده

شیوع ویروس کرونا منجر به واکنش‌های منفی شدید بازارهای بورس سهام در کشورهای مختلف شده است، همچنین تأثیرات جانبی این ویروس سبب ریزش قیمت بسیاری از متغیرهای کلان اقتصادی در سطح جهان بوده است، این موارد توجه گسترده تحلیلگران و سرمایه‌گذاران را در جهت اثرات منفی گسترش این ویروس بر بازارهای سهام معطوف کرده است. هدف پژوهش ایجاد شبکه پیچیده اثر ویروس کرونا بر بازار بورس سهام ۷۵ کشور به همراه متغیرهای نفت، طلا، نقره و مس می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بهم پیوستگی اقتصاد مدرن بازارهای سهام و متغیرهای اقتصادی، بحران بهداشتی را به یک بحران اقتصادی در سطح جهان تبدیل کرده است. ویروس کرونا به‌طور مستقیم بر ۳۵ درصد بازارهای بورس تأثیر منفی گذاشته است، این ویروس بیشترین تأثیر را بر بازارهای بورس کشورهای اروپایی و آسیایی گذاشته است، همچنین کمترین تأثیر بر بازارهای بورس کشورهای عربی و آفریقایی بوده است. ویروس کرونا به‌طور غیرمستقیم با تأثیرگذاری بر متغیرهای اقتصادی باعث سقوط بازارهای بورس شده است، کاهش بی‌سابقه قیمت نفت سبب افت ۵۶ درصد بازارهای بورس شده است و نوسانات قیمت طلا بر ۲۹ درصد این بازارها تأثیرگذار بوده است. کاهش قیمت نقره و مس بین ۲۵ تا ۳۲ درصد بازارهای سهام را با ریزش مواجه کرده است.

کلمات کلیدی

شبکه پیچیده، ویروس کرونا، کووید ۱۹، متغیرهای اقتصادی، بازارهای بورس سهام

۱- گروه مهندسی مالی، واحد علی‌آبادکتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آبادکتول، ایران. matin.saneifar@gmail.com

۲- گروه حسابداری و مالی، واحد علی‌آبادکتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آبادکتول، ایران. (نویسنده مسئول) dr.parvizsaedi@yahoo.com

۳- گروه حسابداری و مالی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. abbasiebrahim2000@alzahra.ac.ir

۴- گروه مهندسی مالی، واحد علی‌آبادکتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آبادکتول، ایران. h.didekhani@gmail.com

شیوع ویروس کرونا منجر به غافلگیری اقتصاد جهان، به‌ویژه افت شدید در بازارهای مالی شده است. در گزارش منتشر شده درباره ریسک‌های اقتصاد جهانی^۱ ۲۰۲۰، پنج ریسک عمده برای اقتصاد پیش‌بینی شده است که تمامی آن‌ها مربوط به مسائل زیست محیطی هستند. موضوع بیماری‌های عفونی در رتبه دهم این گزارش قرار داشت و وقوع آن بسیار غیرمحتمل بود، در این حین همواره بیشترین توجه تصمیم‌گیرندگان و سیاستمداران شرکت‌ها به موارد سنتی مربوط به ریسک‌های کسب و کار یا مسائل مربوط به تغییرات آب و هوایی کره زمین بوده است، اما تنها چند هفته بعد از شیوع این ویروس نگرش به مسائل مالی شرکت‌ها به طرز عجیبی تغییر کرده است. تاثیر ویروس کرونا بر اقتصاد کشورها بسیار نامشخص است زیرا گسترش بیماری، شدت و میزان مرگ و میر، اثرات اقتصادی نامطلوب و منفی بر بخش‌های مختلف، همچنان عوامل مبهمی به شمار می‌آیند. اما در این وضعیت سطح واکنش بازارهای بورس سهام به ویروس کرونا و به اصطلاح پیش‌خور شدن قیمت‌ها^۲ گواه تاثیرات منفی بر اقتصاد شرکت‌ها و بازارهای بورس می‌باشد. در این حالت، بازارهای سهام به‌طور مداوم با توجه به احتمالات مربوط به اثرات منفی بر بخش مالی به‌روز رسانی می‌شوند و کاهش ارزش اکثر بازارهای سهام نشان از اعتقاد سرمایه‌گذاران و تحلیلگران به اثر منفی شدید ویروس کرونا بر اقتصاد جهان می‌باشد.

تاثیرات منفی اقتصادی ویروس کرونا در غالب ترکیبی از شوک‌های تقاضا، عرضه و عدم قطعیت ظهور کرده است که عمدتاً به دلیل بسته شدن کارخانه‌ها، شرکت‌ها و همچنین محدودیت‌های سفر برای اقتصاد تمامی کشورها مضر خواهد بود. اثرات زیان‌بار اقتصادی این تحولات برای کشورها به دلیل قطع زنجیره تامین جهانی، کاهش تقاضا برای کالاها و خدمات وارداتی و همچنین کاهش قابل توجه در گردشگری بین‌المللی و سفرهای تجاری قابل توجه است. تاریخ نشان می‌دهد که وقتی یک بیماری ظهور می‌کند اثرات اقتصادی ایجاد شده کم خواهد بود و بازارهای سهام به‌طور متوسط تحت‌تاثیر قرار خواهند گرفت. به عنوان مثال، ویروس سارس که در سال ۲۰۰۳ در چین رخ داد به سرعت مهار شد و بازار سهام در آن سال حدود ۲۰ درصد افزایش یافت، اما همه چیز در مورد ویروس کرونا بسیار متفاوت به نظر می‌رسد، شیوع این ویروس نشان داده است که اقتصاد جهانی بسیار شکننده به نظر می‌رسد و ممکن است منجر به رکود اقتصاد جهانی شود (سلمی و بویور^۳، ۲۰۲۰).

ویروس کرونا منجر به خسارات عظیمی در بازارهای سرمایه بین‌المللی شده است، شاخص‌های سهام حدود ۱۰ درصد ارزش خود را تنها در یک روز (۹ مارس ۲۰۲۰) از دست داده‌اند، این مقدار بیش‌ترین ریزش روزانه از ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ برای بازارهای مالی بوده است. به عنوان مثال در فاصله زمانی ۲۰

فوریه تا ۲۰ مارس ۲۰۲۰، شاخص اس اند پی^۴ ۳۳ درصد کاهش، شاخص نزدک^۵ ۳۱ درصد کاهش و شاخص نیکی^۶ ۲۹ درصد کاهش داشته‌اند. در کنار تاثیرات ویروس کرونا بر بازارهای بورس سهام، بسیاری از متغیرهای کلان اقتصادی دچار شوک‌های قیمتی سنگینی شده‌اند، قیمت جهانی نفت از ۵۳ دلار به حدود ۲۰ دلار سقوط کرده است، قیمت جهانی طلا نیز دچار نوسانات منفی و مثبت سنگینی شد و قیمت‌های جهانی نقره، مس و ... با کاهش شدیدی در طی زمان گسترش اولیه ویروس کرونا مواجه شدند. اما در نهایت پس از ریزش‌های سنگین، اکثر بازارهای مالی و متغیرهای کلان اقتصادی به ثبات و تعادل نسبی رسیدند و تا حدودی از شدت هیجانات اولیه بر این بازارها کاسته شد. در گام اول، پژوهش حاضر به بررسی شدت اثرگذاری ویروس کرونا بر بازارهای بورس سهام ۷۵ کشور و متغیرهای اقتصادی نظیر نفت، طلا، نقره و مس به کمک ترسیم شبکه پیچیده^۷ می‌پردازد. برای رسم شبکه پیچیده از روش «گراف مسطح حداکثر فیلتر شده»^۸ استفاده شده است و دامنه مطالعاتی پژوهش از ۲۰ ژانویه ۲۰۲۰ (زمان آغاز شیوع ویروس کرونا در کشورهای مختلف) تا ۳۱ مارس ۲۰۲۰ (زمان تقریبی به تعادل رسیدن اکثر بازارهای مالی) می‌باشد. در گام دوم، پژوهش به دنبال دلایل عکس‌العمل بیش از حد بازارهای بورس سهام نسبت به ویروس کرونا، که یک بحران بهداشتی را به بحران اقتصادی تبدیل کرده است، می‌باشد. در این پژوهش تلاش می‌شود که به چند پرسش پاسخ داده شود، شدت و قدرت اثرگذاری ویروس کرونا بر بازارهای بورس سهام به چه میزان بوده و کاهش قیمت‌های جهانی نفت و فلزات گرانبها چه آثار منفی بر بازارهای سهام داشته است؟ چرا بازارهای سهام نسبت به ویروس کرونا واکنش بیش از حد نشان داده‌اند و چه عواملی سبب سقوط بازارهای بورس سهام شده است؟ ساختار پژوهش در ۵ بخش شامل؛ بخش اول مقدمه، بخش دوم مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش، بخش سوم روش شناسی پژوهش، بخش چهارم تجزیه و تحلیل پژوهش و در بخش پنجم نتیجه‌گیری تنظیم شده است. پژوهش حاضر ساختار توصیفی-تحلیلی دارد و از نظر نوع هدف کاربردی می‌باشد.

مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

ویروس کرونا منجر به زیان هنگفتی در بازارهای سهام برای شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران شده است. به عنوان مثال در نمودار پیوست ۱ شاخص «اس اند پی»، از زمان رکود بزرگ سال ۱۹۲۹ تا بحران مالی متأثر از ویروس کرونا در فوریه ۲۰۲۰، این ویروس کمترین کاهش ارزش مالی را نسبت به بحران‌های مالی دیگر ایجاد کرده و در رتبه ۵ بعد از رکود بزرگ قرار می‌گیرد. در حقیقت، ویروس کرونا حداقل ۵ هزار میلیارد دلار از ارزش بازارهای سهام در یک هفته را از بین برد و با انتشار سریع ویروس به کشورهای دیگر منجر به ترس سرمایه‌گذاران بازارهای مالی شد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در هر پنج

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دیده‌خانی

مورد بحران، این شاخص در یک سال بعد در مقایسه با جایی که روز قبل از وقوع هر بحران بود، افزایش یافته است. در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ شیوع بیماری سارس و گسترش آن در ۳۷ کشور، حدود ۸۰۰۰ نفر را مبتلا و جان ۸۰۰ نفر را گرفت. این بیماری بسیاری از بازارهای مالی جنوب شرق آسیا را در زمان خود تحت تأثیر قرار داد، به طوری که عامل بدترین بحران اقتصادی در جنوب شرق آسیا پس از بحران مالی سال ۱۹۹۷ شد، به نظر می‌رسد تاثیرات منفی اثرگذاری ویروس کرونا بر اقتصاد جهان کمتر از بیماری سارس نخواهد بود. تاثیرات اپیدمی‌های جهانی بر بازارهای بورس سهام در نمودار پیوست ۲ ارائه شده است.

ویروس کرونا علاوه بر بازارهای سهام بر بسیاری از متغیرهای اقتصادی جهانی تاثیرگذار بوده است، بخش اعظمی از این متغیرها به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم بر درآمد مالی شرکت‌ها و در نهایت بازارهای بورس تاثیرگذار هستند. در طی زمان گسترش این ویروس بهای نفت بیش از ۵۰ درصد کاهش یافته است که طبیعتاً اثرات منفی سنگینی بر اقتصاد کشورهای صادر کننده نفت خواهد داشت. قیمت طلای جهانی در ابتدا با کاهش ارزش شدید مواجه شد اما پس از سقوط بازارهای سهام، این کالا به عنوان یک دارایی امن با شوک تقاضای سنگینی همراه گردید. قیمت‌های جهانی نقره و مس نیز بر اثر شوک ایجاد شده این ویروس بیش از ۳۵ درصد کاهش ارزش را تجربه کردند. در مجموع نوسانات این متغیرهای کلان اقتصادی به‌شکل قابل توجهی بر اقتصاد بازارهای بورس سهام کشورها تاثیرگذار خواهد بود.

بحران ناشی از ویروس کرونا یک بحران پیچیده است، بنابراین رویکرد سیستم‌های پیچیده برای درک آن ضروری به‌نظر می‌رسد (واگنر^۹، ۲۰۲۰). امروزه استفاده از تکنیک سیستم‌های پیچیده برای تجزیه و تحلیل امور مالی در مطالعات مختلف حائز اهمیت می‌باشد، همچنین دو ابزار کلی سیستم‌های پیچیده شامل قوانین قدرت^{۱۰} و شبکه‌های پیچیده برای درک بی‌ثباتی‌های مالی بازارهای مورد مطالعه مهم و ضروری می‌باشند. دو ایده کلی توسط پژوهشگران این حوزه در سال‌های اخیر گسترش یافته است: نخست این که رویدادهای افراطی مانند بحران‌های مالی در اقتصاد مکرر هستند (این امر را می‌توان با قوانین قدرت مورد مطالعه قرار داد) و دوم این که چندین سیستم، مستقل از مالی بودن آن‌ها، اقتصاد کلان یا اقتصاد خرد، در معرض شوک دسته‌جمعی قرار دارند (پریرا و همکاران^{۱۱}، ۲۰۲۰). پیچیدگی امکان تجزیه و تحلیل بازارهای مالی را ممکن می‌سازد، زمانی که بازارهای مالی به یک آستانه معین می‌رسند تغییر می‌کنند، یعنی نقطه‌ای که شوک‌ها می‌توانند مسیر سیستم را تغییر دهند (سورنته^{۱۲}، ۲۰۱۷). علاوه بر این موارد طبق فرضیه توسعه‌یافته توسط هلبینگ^{۱۳} (۲۰۱۳)، اتصال سیستم‌های مختلف به یکدیگر مانند محیط زیست، بهداشت عمومی، صنایع و سیستم‌های مالی منجر به افزایش

ریسک سیستماتیک خواهد شد و به کمک شبکه پیچیده تا حدودی نتایج اتصال این سیستم‌ها و شبکه‌ها به یکدیگر قابل رویت خواهد بود.

ماهیت پویای بازارهای مالی می‌تواند به عنوان یک شبکه پیچیده ترسیم شود. تکنیک‌های شبکه برای توصیف معماری جهانی جریان مالی، تجزیه و تحلیل بحران مالی و بررسی پویایی‌های بازار بین بانکی و همچنین سهام مورد استفاده قرار گرفته است (اسماعیل پورمقدم و همکاران، ۱۳۹۷). شبکه پیچیده مجموعه‌ای از رئوس یا گره‌ها^{۱۴} (شاخص‌های بورس کشورها) می‌باشد که به وسیله یال‌ها^{۱۵} (ارتباطات خطی بین شاخص‌ها) به یکدیگر متصل شده است. شبکه پیچیده گرافی است با ویژگی‌های توپولوژی نابديهی^{۱۶}، ویژگی‌هایی که در شبکه‌های ساده^{۱۷} از قبیل شبکه منظم^{۱۸} یا گراف تصادفی^{۱۹} رخ نمی‌دهد ولی اغلب در گراف‌هایی از سیستم‌های واقعی^{۲۰} رخ می‌دهد. در گراف نمونه $G(V, E)$ ، درحالی که V مجموعه رئوس و E مجموعه یال‌های متعلق به گراف G می‌باشد، تعداد رئوس برابر $n = |V|$ و تعداد یال‌ها برابر $m = |E|$ می‌باشد (بیرج و همکاران^{۲۱}، ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری‌های راس مرکزی^{۲۲} می‌تواند از خواص ویژه شبکه باشد، زیرا کل شبکه تصمیم می‌گیرد که کدام شاخص راس مرکزی باشد. همچنین منظور از چگالی شبکه میزان تراکم لینک‌ها میان گره‌ها در گراف می‌باشد که این مقدار هرچه بیشتر باشد ارتباطات شبکه بیشتر می‌باشد. تعداد یال‌های مجاور به یک راس به درجه^{۲۳} راس معروف است که توسط بولوباس^{۲۴} در سال ۱۹۸۱ توسعه داده شده است. قطر^{۲۵} یک گراف، برابر با بزرگ‌ترین مقدار گریز از مرکز آن است.

ضریب خوشه‌بندی^{۲۶} راس v ، احتمال اینکه رئوس مجاور v به آن متصل باشند را نشان می‌دهد، این ضریب به معنی نسبت تعداد یال‌های بین رئوس مجاور به تعداد یال‌های بالقوه‌ای که بین آنها وجود دارد می‌باشد. به عبارتی این ضریب بیانگر میزان گرایش گره به ایجاد خوشه و ارتباط با گره‌های مجاور است (بریت و ویت^{۲۷}، ۲۰۰۰). مرکزیت^{۲۸} یک معیار کمی است که در آشکارسازی اهمیت یک گره یا یک شبکه کمک می‌کند. گره‌ها با مرکزیت زیاد، گره‌های مهمی محسوب می‌شوند و نقش زیادی در کارکرد درست شبکه‌ی پیچیده دارند. همین امر باعث می‌شود که در واقع گره‌هایی با مرکزیت زیاد، گره‌هایی آسیب پذیر محسوب شوند. مرکزیت نزدیکی^{۲۹} یک راس از جمع کوتاه‌ترین فاصله این راس با تمام دیگر راس‌ها بدست می‌آید. مرکزیت بینابینی^{۳۰} اهمیت نسبی یک راس را با استفاده از ترافیکی که آن راس بین بقیه راس‌ها ایجاد کرده‌است بیان می‌کند.

شبکه مسطح حداکثر فیلتر شده pmfg ساختاری شبیه به درخت پوشای مینیمم^{۳۱} دارد، شبکه‌هایی که تاکنون در تحقیقات مدلسازی شبکه‌ای مورد بحث و تحلیل قرار گرفته‌اند شامل گراف‌هایی همراه با

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبدنه‌خانی

کاهش داده‌ها هستند و تعداد یال‌ها را به حداقل می‌رسانند اما شبکه pmfg اطلاعات بیشتری نسبت به بقیه روش‌ها ارائه می‌کند، بنابراین با افزایش اطلاعات گرافی پیچیده‌تر و همراه با جزئیاتی بیشتر ایجاد خواهد شد. در شبکه pmfg تعداد یال‌ها $3(n-2)$ می‌باشد. به طور کلی، تعداد یال‌ها در گراف G با جنس ثابت $g = k$ حداکثر است $3(n-2+2k)$ (تومینلو و همکاران^{۳۲}، ۲۰۰۵).

اخیرا پژوهش‌هایی در حوزه تاثیرات ویروس کرونا بر بازارهای مالی به ویژه بازارهای سهام صورت پذیرفته است. به عنوان مثال گورمسن و کویجن^{۳۳} (۲۰۲۰) در مقاله اثر ویروس کرونا بر قیمت‌های سهام و رشد انتظاری نشان دادند که چگونه می‌توان از داده‌های مربوط به معاملات آتی سود سهام برای درک اینکه چرا بورس‌های سهام به شدت سقوط کرده‌اند، استفاده کرد. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که اخبار مربوط به محرک مالی در ۲۴ مارس باعث تقویت بازار و رشد بلندمدت می‌شود اما انتظارات برای رشد کوتاه‌مدت را افزایش نمی‌دهد. آلبولسکو^{۳۴} (۲۰۲۰) در مقاله ویروس کرونا و نوسانات مالی: ۴۰ روز ترس به بررسی این موضوع پرداخت که نسبت مرگ بر شاخص نوسانات بازارهای مالی تأثیر می‌گذارد و تاثیر این موضوع در خارج از کشور چین بیشتر است. علاوه بر این، هرچه تعداد کشورهای آسیب‌دیده بیشتر باشد، نوسانات مالی نیز بیشتر است. همچنین او در مقاله دیگری تحت عنوان ویروس کرونا و سقوط قیمت نفت نشان داد که موارد گزارش شده روزانه ویروس کرونا در مورد عفونت‌های جدید، تأثیر منفی حاشیه‌ای بر قیمت نفت خام در طولانی مدت دارد. یان و همکاران^{۳۵} (۲۰۲۰) در مقاله تحلیل تأثیر ویروس کرونا در بورس سهام و استراتژی‌های بالقوه سرمایه‌گذاری به این نتیجه رسیدند که اغلب بازارها در کوتاه مدت نسبت به اینگونه حوادث واکنش منفی نشان می‌دهند اما در دراز مدت، بازارها در نهایت خود را اصلاح می‌کنند و افزایشی خواهند شد. برای سودآوری در چنین بازارهایی، آن‌ها صنایعی را که در کوتاه‌مدت بلافاصله تحت تأثیر ویروس قرار گرفتند و کاهش قیمت داشتند را پیشنهاد کرده‌اند، زیرا در نهایت خریدار مجدداً به سمت آن صنایع تمایل پیدا می‌کند. به طور خاص صنعت مسافرت، بخش فناوری، صنعت سرگرمی و طلا به عنوان موارد بالقوه‌ای که در آن می‌توان سود زیادی بدست آورد معرفی شده است. راملی و واگنر^{۳۶} (۲۰۲۰) در مقاله عکس العمل قیمت سهام به ویروس کرونا به این نتیجه رسیدند که سرمایه‌گذاران به طور فزاینده با وجود این ویروس نسبت به بدهی و نقدینگی شرکت‌ها نگران می‌شوند و این نشانگر نگرانی‌های گسترده مبنی بر اینکه ممکن است بحران سلامت تبدیل به یک بحران مالی شود، می‌باشد.

برخی از محققان با ترکیب شبکه‌های پیچیده با بازارهای سهام به ساختارهای شبکه و نتایج قابل تاملی دست یافتند. نی و سونگ^{۳۷} (۲۰۱۸) در مقاله‌ای با استفاده از دو روش pmfg و روش آستانه

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

شبکه پیچیده را برای ۹۳ سهم بازار اس‌اندپی با استفاده از بازده روزانه از سال ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۵ را رسم و بررسی کردند و گره‌های اصلی را نمایان ساختند، نتایج حاکی از این بود تجزیه و تحلیل شبکه‌های بازار سهام، می‌تواند فهم بهتری از وابستگی‌های سهام در بازار سرمایه ارائه دهد، همچنین شبکه کلی سهام و گره‌های مرکزی برای بازار اس‌اندپی نمایان شدند. جورج و چنگات^{۳۸} (۲۰۱۷) نیز در مطالعه‌ای از رویکرد تحلیل شبکه برای داده کاوی بازار سهام و تحلیل سبد استفاده نمودند. در این تحقیق با استفاده از معیارهای شبکه سهام‌های مؤثر و با نفوذ بالا شناسایی گردید. یافته‌های تحقیق نشان داد تحلیل شبکه داده‌های سهام می‌تواند نقش مهمی در مطالعه بازار سهام داشته باشد، نتایج حاکی از این بود که سهام امور مالی، بانکی، بیمه، تکنولوژی، ماشین، صنایع، خدمات تجاری، انرژی، مواد شیمیایی، خرده فروشی، حمل و نقل، املاک و مستغلات و بخش ساختمان به شدت به یکدیگر وابسته و تاثیرگذار هستند. نوبی و همکاران^{۳۹} (۲۰۱۴) در مقاله‌ای شبکه آستانه برای شاخص‌های داخلی کشور کره جنوبی را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ رسم و بررسی کردند. آن‌ها ارتباط و ساختار شبکه شاخص‌های جهانی و شاخص‌های کره‌ای محلی را مقایسه کردند، نتایج حاکی از این بود که میانگین همبستگی شاخص‌های جهانی با گذشت زمان افزایش یافته است، در حالی که شاخص‌های محلی به جز تغییرات شدید در طول بحران‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند. لی^{۴۰} (۲۰۱۳) با استفاده از شبکه پیچیده نشان داد که بین صعود و نزول شاخص بازار سهام آمریکا و بازارهای بورس کانادا، فرانسه، آلمان و بریتانیا ارتباط وجود دارد، اما لزوماً بین بازار بورس آمریکا و بازار بورس ژاپن ارتباطی دیده نشده است. درزد و همکاران^{۴۱} (۲۰۰۱) مجموعه‌ای از داده‌ها را با سهامی که در بخشی از داو جونز و داکس بودند، بررسی کردند، نتیجه اینگونه بود که با در نظر گرفتن تاخیر منطقه زمانی، هر دو این بازارها تا حد زیادی در یک واحد ادغام می‌شوند، همچنین شاخص داو جونز نقش رهبری را ایفا می‌کند. وندوال و همکاران^{۴۲} (۲۰۰۰) نشانه‌ها و تحرکات (بالا یا پایین) شاخص‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با بررسی شاخص‌های داو جونز (آمریکا)، داکس (آلمان) و نیکی (ژاپن) به این نتیجه رسیدند که یک اثر دومینو در آنها وجود دارد که تغییرات در یک بازار سهام، بر طبق ساعات آغازین خود، بر بازار سهام دیگر تاثیر می‌گذارد.

روش شناسی پژوهش

پژوهش صورت گرفته توصیفی-تحلیلی و از نظر نوع هدف کاربردی می‌باشد زیرا می‌تواند مورد توجه سرمایه‌گذاران ۷۵ کشوری که داده‌های بازارهای بورس سهام آن‌ها در تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل شده است، قرار گیرد. در بخش نظری با رجوع به کتب، مجله و پایگاه اینترنتی و مطالعات تطبیقی تجربیات حوزه شبکه پیچیده، اطلاعات مورد نیاز برای انجام پژوهش جمع‌آوری شد، سپس داده‌های مربوط به

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبدیه خانی

شاخص‌های ۷۵ کشور به صورت روزانه (از ۲۰ ژانویه ۲۰۲۰ زمان آغاز شیوع ویروس در کشورهای مختلف تا ۳۱ مارس ۲۰۲۰ زمان به تعادل رسیدن اکثر بازارهای مالی) گردآوری شده و همچنین داده‌های روزانه مربوط به قیمت متغیرهای نفت، طلا، نقره و مس از سایت‌های مختلف از جمله یاهو فاینانس^{۴۳} و تریدینگ اکانومیکس^{۴۴} جمع‌آوری شده است. همچنین داده‌های مربوط به ویروس کرونا طبق اطلاعات مرتبط با تعداد مبتلایان به این ویروس در کشورهای مختلف از سایت سازمان بهداشت جهانی^{۴۵} استخراج شده است. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ مرتب‌سازی صورت گرفته است. همچنین حروف اختصاری بازار بورس سهام کشورهای حاضر در پژوهش در جدول پیوست ۳ آورده شده است.

در اولین گام بازده لگاریتمی برای هر یک از شاخص‌ها طبق فرمول زیر محاسبه شده است.

$$Y_i(t) = \ln P_i(t) - \ln P_i(t - \Delta t) \quad (1)$$

$P_i(t)$ قیمت پایانی شاخص i در روز t است. Δt وقفه زمانی می‌باشد که روز قبلی در نظر گرفته شده است.

سپس ضریب همبستگی پیرسون^{۴۶} بین بازده شاخص i و j برای تمام روزهای معاملاتی طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho_{ij} = \frac{\langle Y_i Y_j \rangle - \langle Y_i \rangle \langle Y_j \rangle}{\sqrt{(\langle Y_i^2 \rangle - \langle Y_i \rangle^2) (\langle Y_j^2 \rangle - \langle Y_j \rangle^2)}} \quad (2)$$

برای n شاخص یک ماتریس $n \times n$ را تشکیل می‌دهیم. ماتریس ایجاد شده به دلیل وجود ۷۵ کشور و ۴ متغیر اقتصادی و ویروس کرونا یک ماتریس ۸۰×۸۰ خواهد بود. ماتریس همبستگی پیرسون به صورت فرمول ۳ می‌باشد.

$$\begin{matrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1N} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{N1} & C_{N2} & \dots & C_{NN} \end{matrix} \quad (3)$$

نکته حائز اهمیت اینکه برای فاصله بین رئوس ۳ اصل فضای متریک زیر باید برقرار باشد:

$$1- \text{ قاطعیت مثبت}^{۴۷}: \text{ برای همه } p, q, r \in S, d(p,q) \geq 0 \text{ و } (p,q) = 0 \leftrightarrow p = q$$

$$2- \text{ تقارن}^{۴۸}: d(p,q) = d(q,p)$$

$$3- \text{ نابرابری سه‌وجهی}^{۴۹}: d(p,r) \leq d(p,q) + d(q,r)$$

ماتریس ضریب همبستگی ایجاد شده به عنوان فاصله دو شاخص نمی‌تواند عمل کند و از آن نمی‌توان برای ایجاد شبکه استفاده کرد زیرا اصل اول فضای متریک را نقض می‌کند، همچنین یک شاخص با خودش همبستگی ۱ را طبق اصل اول نشان می‌دهد. از طرفی این امکان وجود دارد که بین دو شاخص

همبستگی بالایی داشته باشیم ولی هر کدام از این دو شاخص همبستگی پایینی با شاخص سوم داشته باشند که نقض کننده اصل سوم متریک خواهد بود. برای تبدیل این ضریب همبستگی به فاصله‌ای که تمام اصول فضای متریک را رعایت می‌کند از فرمول پیشنهادی منتگنا^{۵۰} (۱۹۹۹) برای تبدیل این ضریب به فاصله بین رئوس استفاده می‌کنیم.

$$d(i, j) = \sqrt{2(1 - \rho_{ij})} \quad (۴)$$

با انجام این روند ماتریس ضریب همبستگی تبدیل به ماتریس فاصله خواهد شد. حال گراف $G=(V, E)$ که در آن $V(G)$ مجموعه گره‌ها، $E(G)$ مجموعه یال‌ها می‌باشد به صورت زیر محاسبه شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که یک گراف متنهایی، مسطح است اگر و تنها اگر شامل زیرگرافی نباشد که آن زیرگراف، زیر بخشی از گراف K_5 (گراف کامل با ۵ راس) یا $K_{3,3}$ (گراف کامل دوبخشی با ۶ راس که ۳ راس از آن در یک طرف به ۳ راس دیگر در طرف مقابل متصل‌اند) باشد (وست^{۵۱}، ۲۰۰۱). ریاضی‌دان لهستانی کازیمیر کوراتوسکی توصیفی از گراف‌های مسطح را تحت عنوان گراف‌های ممنوعه ارائه کرده است که امروزه تحت عنوان نظریه کوراتوسکی^{۵۲} شناخته می‌شود. گراف مسطح گرافی است که می‌تواند در یک صفحه محاط شود. برای مثال یک گراف مسطح را می‌توان به گونه‌ای رسم کرد که یال‌هایش یکدیگر را تنها در راس‌ها قطع کنند. یک گراف غیر مسطح گرافی است که نمی‌توان آن را به گونه‌ای رسم کرد که یال‌هایش یکدیگر را در نقاطی غیر از رأس‌ها قطع نکنند. برای محاسبه شبکه گراف مسطح فیلتر شده از الگوریتم کوراتوسکی^{۵۳} که در نرم افزار مطلب محاسبه و برآورد شده است استفاده می‌کنیم. الگوریتم pmfg کدنویسی شده طبق نرم افزار مطلب در پیوست ۴ آورده شده است. Pmfg شامل دسته‌های ۳ یا ۴ تایی می‌باشد. بیشترین مقداری که در این روش می‌تواند تشکیل شود دسته‌های ۴ تایی است. فرض کنید $G(V, E)$ گراف مسطح ساده و بدون جهت است. n راس و e یال و سطح f تشکیل دهنده اجزای این شبکه‌اند، $E = 3n - 6$ ، $f = 2n - 4$ و سطح G با $\deg(v_i) \geq 2$ نشان داده می‌شود (بیرچ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$\sum_{i=1}^f \deg(fi) = 2e \quad (۵)$$

از آنجایی که در سطح سه‌وجهی G درجه برابر است با ۳، بنابراین $3f = 2e$

$$n - \frac{3}{2}f + f = 2 \quad f = 2n - 4 \quad (۶)$$

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دیده‌خانی

$$n - e + \frac{2}{3}e = 2 \quad e = 3n - 6 \quad (7)$$

برای محاسبه درجه راس فرض می‌کنیم که یک راس V از نماد $\deg(v)$ می‌باشد، در هر شبکه مجموع درجه تمام راس‌ها برابر دو برابر تعداد کل یال‌هاست. برای مثال، در شبکه $G(V, E)$ با n راس $v_i (i = 1, \dots, n)$.

$$\sum_{i=1}^n \deg(v_i) = 2|E| \quad (8)$$

میانگین درجه برای یک شبکه بر طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i = \frac{2|E|}{|V|} \quad (9)$$

معیار چگالی شبکه به معنی تعداد یال‌های بین رئوس شبکه در مقایسه با تعداد کل یال‌های موجود و ممکن می‌باشد. چگالی می‌تواند به عنوان یک احتمالاً بی‌قید و شرط P ، که دو راسی که یک یال مشترک دارند دیده شود. در شبکه‌های جهت‌دار اتصالات از فرمول ۱۰ و برای شبکه‌های بی‌جهت از فرمول ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{|E|}{(|V|(|V| - 1))} \quad (10)$$

$$P = \frac{2|E|}{(|V|(|V| - 1))} \quad (11)$$

ضریب خوشه‌بندی راس v به معنی احتمال اینکه رئوس مجاور v به آن متصل باشند می‌باشد، در این ضریب نسبت تعداد یال‌های بین رئوس مجاور به تعداد یال‌های بالقوه‌ای که بین آنها وجود دارد محاسبه می‌شود.

$$C = \frac{\text{تعداد closed triple}}{\text{تعداد کل triple}} \quad (12)$$

اگر $C = 1$ باشد خاصیت سرایت پذیری در بهترین حالت است.

معیارهای مرکزیت معیارهایی هستند که به ساختار کلی شبکه وابسته هستند و انواع مختلفی را شامل می‌شوند، اما اغلب از مرکزیت نزدیکی و بینابینی برای بررسی ساختار شبکه استفاده می‌شود. مرکزیت نزدیکی می‌تواند به عنوان یک اقدام سریع برای اطلاع رسانی از S به تمام گره‌های دیگر در نظر گرفته شود. مرکزیت نزدیکی طبق فرمول زیر محاسبه شده است (نیومن^۴، ۲۰۰۵).

$$C_n(n) = \frac{1}{avg(L(n, m))} \quad (۱۳)$$

$L(n, m)$ طول کوتاهترین مسیر بین دو گره n و m است. این مقدار بین صفر و یک می‌باشد.

مرکزیت بینابینی تعداد بارهایی یک گره به عنوان پل در طول کوتاه ترین مسیر بین دو گره دیگر عمل می‌کند، تعریف می‌شود (براندس^{۵۵}، ۲۰۰۱).

$$C_B(V) = \sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(V)}{\sigma_{st}} \quad (۱۴)$$

σ_{st} کوتاهترین مسیر از s به t و $\sigma_{st}(V)$ کوتاهترین مسیر از s به t از طریق عبور از v .

همچنین در نهایت بعد از محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۸b، برای مدلسازی و رسم شبکه‌های پیچیده از نرم‌افزارهای مختلف از جمله سایتواسکیپ^{۵۶} به همراه نمودارهای گرافیکی مختلف استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل پژوهش

ویروس کرونا که به طور رسمی توسط سازمان بهداشت جهانی به عنوان یک اپیدمی جهانی به رسمیت شناخته شده است، اثرات مخربی بر بازارهای مالی به‌ویژه بعضی از بازارهای بورس سهام داشته است. اثرات این ویروس بر ارزشهای دیجیتالی و متغیرهای کلان اقتصادی نیز قابل توجه است، این اثرات به اندازه‌ای بوده است که سرمایه‌گذاران انتظار تغییر در وضعیت سودآوری شرکتها در کوتاه‌مدت و بلندمدت دارند. هنگامی که شیوع ویروس جدید رخ می‌دهد، هیچ‌کس به طور کامل نمی‌داند که اثر طولانی‌مدت ویروس بر اقتصاد چه میزان خواهد بود. نکته حائز اهمیت اینکه در تمامی موارد انتشار ویروس، بازار سهام بعد از دوره کوتاه کاهشی، به تعادل رسیده و مجدداً روند افزایشی خود را از سر خواهد گرفت. بیشتر بازارهای سهام از اواسط ماه فوریه تا اواخر ماه مارس ریزشی بوده‌اند و سپس به تعادل رسیدند، اکنون پس از به تعادل رسیدن اکثر بازارهای بورس سهام قصد داریم به این پرسش پاسخ دهیم که شدت و قدرت اثرگذاری ویروس کرونا بر بازارهای بورس سهام در دوره سقوط یا ریزش به چه میزان بوده و نوسانات قیمت‌های جهانی نفت و فلزات گرانبها چه مقدار بر بازارهای سهام تاثیر داشته است؟

برای پاسخ به این پرسش شبکه پیچیده اثرات ویروس کرونا بر بازارهای (شاخص‌ها) بورس سهام ۷۵ کشور به همراه متغیرهای نفت، طلا، نقره و مس به صورت شبکه ۱ ترسیم شده است. این شبکه دارای ۸۰ راس ۲۴۵ یال و ارتباط خطی می‌باشد. ویروس کرونا بر بازار بورس سهام ۲۸ کشور به طور مستقیم تاثیر منفی گذاشته است، بیشترین تاثیر را بر روی قیمت جهانی نفت و بورس سهام آمریکا داشته است، اما تقریباً این ویروس به طور غیرمستقیم بر تمامی بازارهای بورس سهام تاثیرگذار بوده است، این ویروس

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

خصوصیات شبکه پیچیده ایجاد شده در ادامه تحت عنوان جدول ۱ ارائه شده است. چگالی شبکه ایجاد شده نشان می‌دهد که تنها ۷ درصد یال‌ها و یا تعاملات قابل رسم ممکن، برای شبکه ترسیم شده است، این میزان گواه تاثیرگذاری بیش از حد چند راس تحت عنوان رئوس مرکزی در کل ساختار شبکه است، به عبارتی ۹۳ درصد ارتباطات ممکن برای شبکه غیرقابل قبول بوده است. میانگین تعداد همسایه هر شاخص ۶ راس است، این مقدار نشان دهنده روابط نزدیک تمام رئوس با یکدیگر می‌باشد، به عبارتی هر شاخص بورس به طور متوسط با حدود ۶ شاخص یا متغیر اقتصادی در حال تاثیرگذاری یا تاثیرپذیری می‌باشد که حاکی از همبستگی بالای رئوس شبکه با یکدیگر و در نهایت اثرگذاری و پیروسی کرونا و متغیرهای اقتصادی بر تمامی ساختار شبکه است. مرکزیت شبکه نشان می‌دهد که ۵۰ درصد رئوس برای ساختار شبکه مهم و حیاتی هستند و ارتباطات ۵۰ درصد از شاخص‌های بورس برای شبکه کم اهمیت تلقی می‌شود، این میزان قدرت مطلق شبکه ایجاد شده بوسیله رئوس مرکزی را نشان می‌دهد. قطر شبکه کم نشان از مرتبط بودن، فاصله کم رئوس با یکدیگر و ارتباطات نزدیک رئوس با یکدیگر است. ناهمگونی بالای شبکه تاییدی بر پراکندگی و تراکم بالای رئوس شبکه می‌باشد. ضریب خوشه بندی نشان می‌دهد که ۴۵ درصد رئوس تمایل به ایجاد گروه و خوشه یا ارتباط با سایر رئوس مجاور دارند.

جدول ۱: خصوصیات شبکه و پیروسی کرونا، بورس سهام ۷۵ کشور و متغیرهای نفت، طلا، نقره و مس

تعداد راس	۸۰	مرکزیت شبکه	۰/۵۰۵
تعداد یال	۲۴۵	ضریب خوشه بندی	۰/۴۵۰
چگالی شبکه	۰/۰۷۸	قطر شبکه	۳
میانگین تعداد همسایه	۶/۱۲۵	ناهمگونی شبکه	۱/۲

منبع: یافته‌های پژوهش

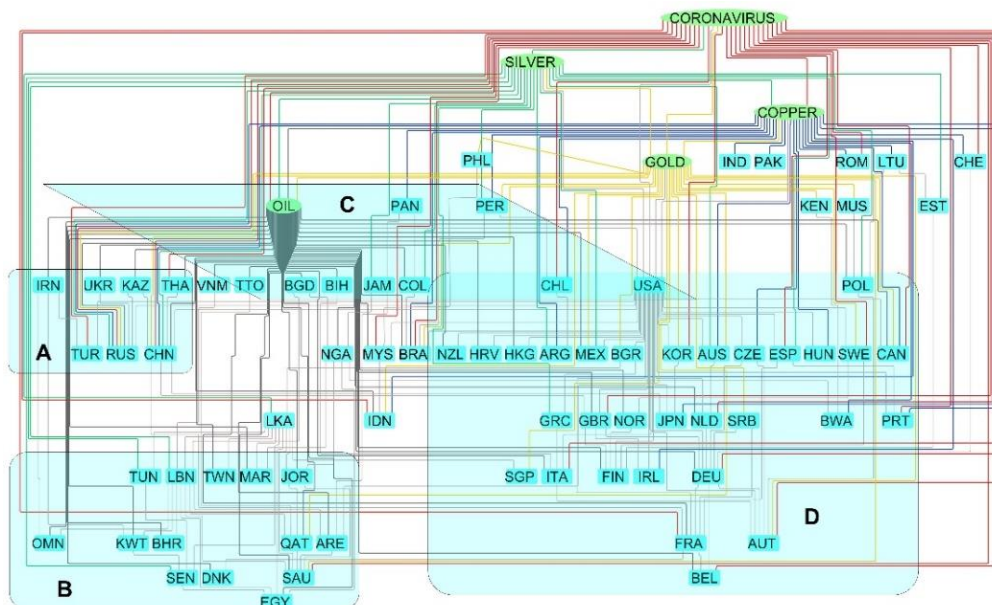
برای درک بهتر تمامی خصوصیات شبکه مورد بحث قرار گرفته شده، نمای سلسله مراتبی به شکل شبکه ۲ ترسیم شده است. در شبکه سلسله مراتبی اثر و پیروسی کرونا بر کل ساختار شبکه و یا بازارهای بورس سهام قابل توجه است، این و پیروسی بر ۳۵ درصد کل شاخص‌های شبکه تاثیرگذار بوده است، همچنین چهار متغیر اقتصادی بیشترین تاثیر را از این و پیروسی پذیرفته‌اند و این اثر منفی را به تمامی شاخص‌های بورس شبکه گسترش داده‌اند، به طور مشخص کاهش قیمت جهانی نفت بر ۵۶ درصد از شاخص‌های بورس، نوسانات قیمت جهانی طلا نیز بر ۲۹ درصد شاخص‌های بورس، کاهش قیمت جهانی نقره بر ۲۵ درصد شاخص‌های بورس و در نهایت کاهش قیمت جهانی مس بر ۳۲ درصد شاخص‌های بورس سهام شبکه اثرگذار بوده است.

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبدنه‌خانی

به طور کلی ۴ اجتماع را در شبکه می‌توان شناسایی کرد، اجتماع A مربوط به بازارهای بورس کشورهای آسیایی می‌باشد که ویروس کرونا بر بیش از ۵۰ درصد این جامعه تاثیر منفی گذاشته است، نوسانات منفی نفت بر تمامی کشورهای این جامعه تاثیرگذار بوده است. اجتماع B تلفیقی از بازارهای بورس کشورهای عربی و کشورهای آفریقایی می‌باشد که در این اجتماع ویروس کرونا تنها بر بازار بورس عربستان تاثیرگذار بوده است، اما نوسانات نفت بر حدود ۸۰ درصد بازارهای بورس این جامعه تاثیر منفی گذاشته است. اجتماع C عمدتاً بازارهای بورس کشورهای آمریکای جنوبی می‌باشد. اما مهمترین اجتماع شبکه جامعه D است که بازارهای بورس کشورهای اروپایی آنرا تشکیل داده‌اند، ویروس کرونا و متغیر نفت به ترتیب بر ۴۰ و ۴۷ درصد بازارهای بورس این اجتماع تاثیرگذار بوده‌اند.

به نظر می‌رسد ویروس کرونا منجر به کاهش تمایل به ایجاد گروه و اجتماع شبکه‌ای برای بازارهای بورس سهام کشورهای مختلف شده است. این ویروس به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر تمامی بازارهای بورس کشورهای شبکه تاثیرگذار بوده است، به طور مستقیم با افزایش تعداد مبتلایان به این بیماری در هر کشور موجب ترس سرمایه‌گذاران و ریزش بازارهای بورس سهام آن کشور شده است و به‌طور غیرمستقیم با تاثیرگذاری بر متغیرهای اقتصادی، بر بازارهای بورس سهام کشورهای مختلف تاثیرگذار بوده است. تعدادی اندکی از بازارهای بورس سهام مانند بازار بورس کشور ایران در کوتاه‌مدت به‌طور غیرمستقیم (تاثیرپذیری از کاهش قیمت نفت) متاثر از این ویروس شده‌اند اما به دلایل متفاوت اقتصادی سیاسی اثرگذاری منفی این ویروس بر بازار بورس اینچنین کشورها به اندازه مابقی نبوده است.

در ادامه میزان ضریب ارتباطات رئوس شبکه تحت عنوان جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول ارتباطات دو سویه بین بازارهای بورس سهام کشورهای مختلف با یکدیگر، ارتباطات یک سویه چهار متغیر اقتصادی بر بازارهای بورس سهام و تاثیرات شیوع ویروس کرونا بر بازارهای سهام و متغیرهای اقتصادی با ضریب ارتباط فاصله معین آورده شده است، به طور کلی هر چه میزان این ضریب بیشتر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی‌تر دو راس با یکدیگر است. بیشترین مقدار این ضریب بین ویروس کرونا و متغیر نفت می‌باشد.



شبکه ۲: شبکه سلسله مراتبی ویروس کرونا، بورس سهام ۷۵ کشور و متغیرهای نفت، طلا، نقره و مس

منبع: یافته های پژوهش

جدول ۲: ضرایب ارتباطات فاصله بین رئوس شبکه. الف) ارتباط شبکه خوب بین دو راس

($1/55 < \text{ضریب} < 1/40$) - ب) ارتباط شبکه عالی بین دو راس ($1/65 < \text{ضریب} < 1/55$)

مبدأ	مقصد	ضریب	مبدأ	مقصد	ضریب
FRA	BEL	1.52	JOR	QAT	1.52
FRA	DNK	1.48	LBN	SAU	1.51
DEU	AUT	1.47	LBN	EGY	1.53
DEU	BEL	1.46	LBN	QAT	1.50
DEU	FRA	1.48	LBN	ARE	1.53
ITA	AUT	1.49	LBN	BHR	1.58
NLD	DEU	1.42	LBN	KWT	1.56
NOR	FIN	1.45	LBN	OMN	1.49
ESP	FRA	1.43	KEN	BWA	1.43
SWE	FIN	1.49	MUS	POL	1.48
SWE	NOR	1.45	NGA	BWA	1.42
ESP	PRT	1.43	NGA	EGY	1.55
CHE	DEU	1.46	NGA	JOR	1.55
GBR	FIN	1.42	NGA	MAR	1.56
GBR	DEU	1.43	TUN	SEN	1.44
GBR	IRL	1.51	BGD	LBN	1.43
AUS	NLD	1.48	BGD	NGA	1.52
CHN	FRA	1.45	LKA	SGP	1.51
CHN	GBR	1.46	LKA	SAU	1.49
CHN	JPN	1.47	LKA	TWN	1.45

شبكة پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دیده‌خانی

مبدأ	مقصد	ضریب	مبدأ	مقصد	ضریب
KOR	JPN	1.44	LKA	EGY	1.48
MYS	IDN	1.45	LKA	SEN	1.48
PHL	MYS	1.43	LKA	JOR	1.52
THA	CHN	1.44	LKA	LBN	1.57
CHL	ARG	1.44	LKA	MAR	1.55
COL	BRA	1.44	LKA	TUN	1.44
PER	BRA	1.42	VNM	LBN	1.52
PER	CHL	1.44	BGR	GRC	1.44
CZE	AUT	1.52	BGR	LKA	1.47
CZE	DEU	1.44	BIH	ITA	1.46
GRC	ITA	1.44	USA	AUT	1.48
POL	AUT	1.48	USA	FIN	1.51
QAT	SAU	1.44	USA	FRA	1.51
ARE	SAU	1.46	USA	DEU	1.54
SEN	EGY	1.52	USA	IRL	1.46
KWT	SEN	1.46	USA	ITA	1.48
EST	FIN	1.44	USA	NLD	1.49
KAZ	CHN	1.44	USA	PRT	1.53
KAZ	RUS	1.43	USA	ESP	1.49
LTU	POL	1.45	USA	SWE	1.52
LTU	EST	1.44	USA	GBR	1.52
SRB	FRA	1.44	USA	AUS	1.46
SRB	DEU	1.42	USA	HKG	1.52
UKR	RUS	1.44	USA	JPN	1.51
JOR	SAU	1.42	USA	NZL	1.52
USA	CHN	1.56	OIL	BHR	1.54
USA	KOR	1.53	OIL	KWT	1.54
USA	MYS	1.46	OIL	OMN	1.53
USA	BRA	1.49	OIL	HRV	1.54
USA	MEX	1.49	OIL	KAZ	1.55
USA	CZE	1.52	OIL	UKR	1.42
USA	HUN	1.52	OIL	JOR	1.42
USA	RUS	1.53	OIL	MAR	1.45
USA	TUR	1.45	OIL	NGA	1.55
USA	ARE	1.46	OIL	BGD	1.42
USA	HRV	1.47	OIL	VNM	1.41
USA	BGR	1.53	OIL	BIH	1.43
JAM	ARE	1.47	OIL	USA	1.61
JAM	NGA	1.46	OIL	TTO	1.44
PAN	COL	1.48	OIL	IRN	1.41
PAN	JAM	1.46	GOLD	AUT	1.46
TTO	QAT	1.52	GOLD	SWE	1.42
IRN	TUR	1.49	GOLD	AUS	1.61
IRN	KWT	1.51	GOLD	SGP	1.43
IRN	OMN	1.52	GOLD	CAN	1.55
OIL	BEL	1.45	GOLD	SAU	1.51
OIL	DNK	1.48	GOLD	CHN	1.60
OIL	FIN	1.42	GOLD	IDN	1.55
OIL	FRA	1.41	GOLD	KOR	1.55
OIL	DEU	1.56	GOLD	PHL	1.43

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

مبدأ	مقصد	ضریب	مبدأ	مقصد	ضریب
OIL	ITA	1.46	GOLD	BRA	1.47
OIL	NLD	1.49	GOLD	MEX	1.53
OIL	NOR	1.51	GOLD	PER	1.45
OIL	GBR	1.49	GOLD	RUS	1.58
OIL	HKG	1.52	GOLD	QAT	1.58
OIL	NZL	1.48	GOLD	SRB	1.47
OIL	CAN	1.52	GOLD	KEN	1.54
OIL	SAU	1.60	GOLD	MUS	1.45
OIL	CHN	1.60	GOLD	BGR	1.53
OIL	IDN	1.44	GOLD	USA	1.58
OIL	MYS	1.47	GOLD	OIL	1.50
OIL	TWN	1.43	COPPER	IRL	1.44
OIL	THA	1.44	COPPER	PRT	1.44
OIL	BRA	1.48	COPPER	CHE	1.43
OIL	MEX	1.55	COPPER	AUS	1.46
OIL	COL	1.59	COPPER	JPN	1.46
OIL	POL	1.49	COPPER	CAN	1.47
OIL	RUS	1.60	COPPER	BWA	1.44
OIL	EGY	1.45	COPPER	ARG	1.45
OIL	QAT	1.58	COPPER	CHN	1.56
OIL	ARE	1.57	COPPER	IND	1.46
COPPER	IDN	1.48	CORONA	SAU	1.44
COPPER	PAK	1.48	CORONA	CHN	1.52
COPPER	BRA	1.43	CORONA	IDN	1.44
COPPER	CHL	1.44	CORONA	KOR	1.44
COPPER	PER	1.56	CORONA	MYS	1.44
COPPER	CZE	1.43	CORONA	THA	1.44
COPPER	HUN	1.42	CORONA	BRA	1.44
COPPER	RUS	1.45	CORONA	CHL	1.44
COPPER	LTU	1.46	CORONA	RUS	1.44
COPPER	ROM	1.46	CORONA	TUR	1.44
COPPER	USA	1.54	CORONA	ROM	1.44
COPPER	PAN	1.45	CORONA	USA	1.61
COPPER	OIL	1.48	SILVER	OIL	1.48
COPPER	GOLD	1.51	SILVER	GOLD	1.56
SILVER	ESP	1.42	SILVER	COPPER	1.43
SILVER	AUS	1.46	CORONA	GBR	1.52
SILVER	ARG	1.47	CORONA	CAN	1.44
SILVER	CHN	1.56	CORONA	OIL	1.65
SILVER	COL	1.47	CORONA	GOLD	1.56
SILVER	MEX	1.46	CORONA	COPPER	1.62
SILVER	PER	1.44	CORONA	SILVER	1.61
SILVER	GRC	1.46	CORONA	AUT	1.44
SILVER	POL	1.52	CORONA	BEL	1.49
SILVER	RUS	1.44	CORONA	FRA	1.51
SILVER	SEN	1.45	CORONA	DEU	1.51
SILVER	EST	1.45	CORONA	ITA	1.52
SILVER	LBN	1.42	CORONA	NLD	1.49
SILVER	TUN	1.43	CORONA	PRT	1.44
SILVER	LKA	1.43	CORONA	ESP	1.52

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دیده‌خانی

مبدأ	مقصد	ضریب	مبدأ	مقصد	ضریب
SILVER	USA	1.56	CORONA	SWE	1.44
SILVER	JAM	1.52	CORONA	CHE	1.49

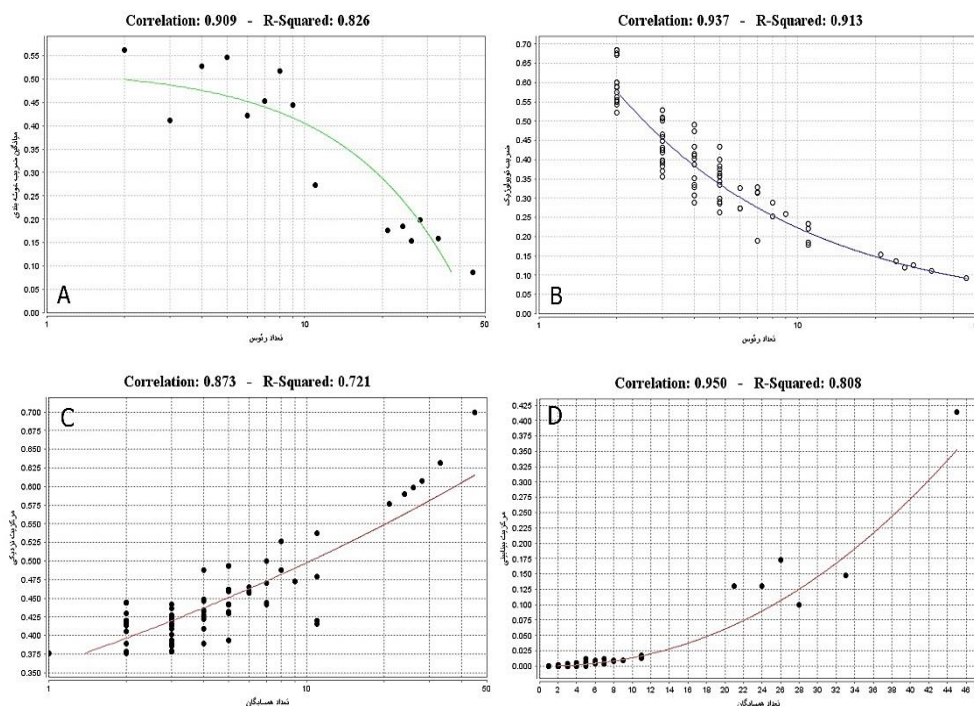
منبع: یافته‌های پژوهش

در بخش نهایی به بررسی میزان قدرت اثرگذاری ویروس کرونا، سرعت گردش اطلاعات منفی در زمان شیوع این ویروس و تمایل به سقوط گروهی تمامی بازارهای بورس سهام پرداخته شده است و سعی شده به این پرسش پاسخ داده شود که چرا بازارهای سهام نسبت به ویروس کرونا واکنش بیش از حد نشان داده‌اند و قدرت تاثیرگذاری این ویروس بر بازارهای سهام چه میزان بوده است؟ برای بررسی این موارد خصوصیات شبکه ترسیم شده در تصویر ۱ در غالب چهار نمودار ارائه شده است. نمودار A میانگین ضریب خوشه‌بندی شبکه را نشان می‌دهد، این ضریب تعداد سه‌وجهی‌هایی که از هر راس می‌گذرند را نمایان می‌سازد و عددی مابین صفر و یک می‌باشد. بیشترین مقدار این ضریب مربوط به ۲ راس با ضریب ۰,۵۶۲ می‌باشد، پس از آن ۵ راس با ضریب ۰,۵۴۶ نشان‌دهنده وجود سه‌وجهی و اجتماعات سه‌گانه در ساختار این رئوس است، به نظر می‌رسد تمایل به ایجاد گروه و جامعه در شبکه کم می‌باشد و رئوس مانند ویروس کرونا، نفت، طلا، نقره، مس و بورس آمریکا کنترل کامل شبکه را در شرایط سقوط بازارهای سهام در غالب یک جامعه واحد به دست گرفته‌اند. برای درک تخصصی ساختار اجتماعات شبکه، ضریب توپولوژیک در نمودار B نمایان شده است، این ضریب میزان تمایل رئوس به ایجاد و شکل‌گیری اجتماعات در ساختار شبکه را نمایان می‌سازد، طبق این نمودار ۳ راس اصلی با ضریب بیشتر از ۰,۶۵ و ۱۱ راس با ضریب بیشتر از ۰,۵ اجتماعات اصلی شبکه را ایجاد کرده‌اند که حاکی از کنترل کامل شبکه توسط رئوس مرکزی ذکر شده است.

نمودار C مرکزیت نزدیکی و نمودار D مرکزیت بینابینی شبکه را نشان می‌دهند، سنجه مرکزیت نزدیکی میزان پخش اطلاعات در شبکه را توسط رئوس نشان می‌دهد و سنجه مرکزیت بینابینی موقعیت یک موجودیت را درون یک شبکه برحسب توانایی‌اش برای ایجاد ارتباط با سایر زوج‌ها یا گروه‌ها در شبکه، شناسایی می‌کند. مرکزیت نزدیکی معتقد است که ۴۵ راس با بیشترین مرکزیت ۰,۶۹۹ بیشترین اطلاعات را در شبکه پخش می‌کنند، نکته حائز اهمیت اینکه مرکزیت بینابینی نیز همان ۴۵ راس ذکر شده را با مرکزیت ۰,۴۱۴ تاثیرگذارترین رئوس شبکه برای برقراری ارتباط با سایر رئوس برآورد می‌کند. در جمع‌بندی این بخش می‌توان گفت رئوس اصلی شبکه در سقوط بازارهای بورس سهام به نحوی عملکرده‌اند که بر تمامی شاخص‌های بورس مورد بررسی، اثر گذار بوده‌اند. میزان قدرت اثرگذاری، سرعت پخش اطلاعات، تشکیل گروه و اجتماعات اصلی برای حرکت گروهی از خصوصیت‌هایی است که رئوس

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

مانند ویروس کرونا، نفت، طلا، نقره، مس بر بازارهای بورس سهام تحمیل کرده و موجب سقوط آنها شده‌اند. رئیس مرکزی اصلی با حرکت گروهی منجر به ریزش اکثر بازارهای بورس سهام شده و یک بحران بهداشتی را تبدیل به یک بحران اقتصادی برای بازارهای بورس سهام کرده‌اند.



تصویر ۱- نمودار A: ضریب خوشه بندی شبکه، نمودار B: ضریب توپولوژیک شبکه، نمودار C: مرکزیت نزدیکی شبکه و نمودار D: مرکزیت بینابینی شبکه

منبع: یافته های پژوهش

نتیجه گیری

بحران های مالی می تواند رخداد های پیچیده ای باشند، به نحوی که هر گونه شوک می تواند عواقب سنگینی را به دنبال داشته باشد. بحران ناشی از ویروس کرونا تجزیه و تحلیل ریسک را به سطح دیگری افزایش داده است که مستلزم نظارت بر چندین موضوع فراتر از موضوعات اقتصادی یا مالی است. در پژوهش حاضر شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا بر متغیرهای اقتصادی جهانی مانند نفت، طلا، نقره و مس و ۷۵ بازار بورس سهام ارائه شد، همواره پرسشی در کل پژوهش مطرح بوده است که چرا گسترش ویروس کرونا چنین تاثیرات قدرتمندی بر بازارهای سهام داشته و موجب عکس العمل بیش از حد شده

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبدده خانی

است؟ به طور کلی نتیجه گیری و جمع بندی پژوهش در ۸ بند زیر آورده شده است:

۱- بخشی از پاسخ قطعا در شدت این ویروس، سهولت انتشار و میزان مرگ و میر غیرقابل اغماض در میان کسانی که به این ویروس مبتلا می شوند، نهفته است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر تمامی حوزه های بهداشتی، اقتصادی و ... تاثیر گذار است. ۲- گسترش و پخش اطلاعات درباره بیماری ها و ویروس ها در بازارهای مالی، به خصوص بازارهای سهام سریع تر از گذشته بوده و در حال حاضر این اطلاعات با سرعت بیشتری نسبت به یک قرن قبل انتشار می یابند. ۳- انتشار این اطلاعات علاوه بر جنبه های تاثیر گذار اقتصادی، رویکرد مالی رفتاری متفاوتی از سرمایه گذاران نمایان ساخته است، بازارهای سهام امروزی صرفا با اعداد و ارقام و محاسبات مالی به پیش نمی روند و گاهی تحت تاثیر برآیند احساسات فعالانش قرار می گیرند. ۴- بهم پیوستگی اقتصاد مدرن بازارهای سهام در شبکه ترسیم شده قابل رویت است، اقتصاد کشورها بیش از گذشته به دلیل تعاملات تجاری به یکدیگر وابسته است و متغیرهای کلان اقتصادی نیز در شرایط بحرانی تاثیر خود را بر حرکت گروهی بازارهای سهام می گذارند. ۵- ساختار اقتصاد در طول زمان به سمت خدمات تغییر کرده است، شیوع ویروس کرونا از طرفی باعث کاهش شدید تقاضا برای چنین خدماتی شده است که در نهایت منجر به کاهش سودآوری بسیاری از شرکت های فعال در این زمینه شده است. ۶- از دیدگاه شبکه پیچیده ویروس کرونا بر بازار بورس سهام ۲۸ کشور (۳۵ درصد شبکه) به طور مستقیم تاثیر منفی گذاشته است که عمدتا شامل بازارهای بورس سهام بزرگ و اصلی در دنیا می باشد، همچنین بیشترین تاثیر را بین شاخص های بورس سهام بر بازار بورس سهام آمریکا (با ضریب ۱/۶۱) گذاشته است. این ویروس با ضریب بالایی منجر به تاثیرات منفی بر چهار متغیر اقتصادی استفاده شده در شبکه پیچیده شده است، به نحوی که سبب ریزش قیمت جهانی نفت در شوک اولیه با ضریب ۱/۶۵ شده است و کاهش قیمت این متغیر بر بورس سهام ۴۱ کشور (۵۶ درصد شبکه) تاثیر گذار بوده است. قیمت نفت بیشترین کاهش را پس از سال ۱۹۹۱ ثبت کرده است و این کاهش عمدتا بر بازار بورس سهام کشورهای صادرکننده نفت تاثیر منفی گذاشته است. این ویروس در ابتدا قیمت جهانی طلا را با ضریب ۱/۵۶ کاهش داده که منجر به اثرات منفی بر بازار بورس ۲۳ کشور (۲۹ درصد شبکه) شده است، اما پس از چند روز قیمت جهانی طلا به سطح قبل از ریزش بازگشته است، یکی از مهمترین دلایل این بازگشت در نظر گرفتن طلا به عنوان یک دارایی امن در دوران بحران مالی ایجاد شده می باشد. ویروس کرونا با ضریب ۱/۶۱ منجر به کاهش قیمت جهانی نقره شده است، این کاهش قیمت بر بازار بورس سهام ۲۰ کشور (۲۵ درصد شبکه) که عمدتا تولیدکننده این فلز هستند تاثیر گذار بوده است. تاثیر پذیری قیمت جهانی مس با ضریب ۱/۶۲ از این ویروس منجر به کاهش ارزش بازار بورس سهام ۲۵

کشور (۳۲ درصد شبکه) با توجه به اثرگذاری مستقیم در صنایعی مانند فلزات شده است. ۷- ویروس کرونا در شبکه ترسیم شده با توجه به چگالی پایین شبکه (۷ درصد) و مرکزیت متوسط (۵۰ درصد) به کمک رئوس مرکزی مانند چهار متغیر اقتصادی و چند بازار بورس سهام اصلی سبب ریزش دسته‌جمعی بازارهای بورس سهام شده است، به عبارتی تمایل به ایجاد گروه و حرکت در غالب جامعه (مانند بازارهای بورس یک قاره یا بازارهای بورس کشورهای در حال توسعه) کاهش یافته است. این ویروس سبب کاهش ضریب خوشه‌بندی (۴۵ درصد) شده است، به عبارتی ۵۵ درصد بازارهای بورس شبکه تمایلی به حرکت در اجتماعات مختلف ندارند و پس از شیوع ویروس به همراه گروه جامع و اصلی ریزش کرده‌اند، علاوه بر این موارد میانگین تعداد ارتباط هر بازار بورس در شبکه ایجاد شده ۶ همسایه است، این ارتباطات وسیع یکی دیگر از دلایل ریزش دسته‌جمعی بازارهای بورس سهام متأثر از شیوع ویروس کرونا می‌باشد. ضریب خوشه‌بندی و توپولوژیک هرکدام به ترتیب ۷ و ۱۴ راس را به عنوان رئوس کنترل کننده و اصلی شبکه معرفی کرده‌اند، این دو ضریب معتقدند که تمامی قدرت شبکه تحت اختیار این رئوس (به ویژه رئوس کرونا و نفت) می‌باشد. طبق مرکزیت نزدیکی و بینابینی تمامی اطلاعات منفی ناشی از گسترش ویروس کرونا با سرعت بسیار بالایی توسط ۴۵ راس شبکه پخش شده است که نشان دهنده سرعت پخش اطلاعات منفی در زمان بحران است. ۸- از دیدگاه اجتماعات شبکه، ویروس کرونا به‌طور مستقیم بیشترین تاثیر منفی را بر بازارهای بورس سهام کشورهای اروپایی و آسیایی گذاشته است و کمترین تاثیر را بر بازارهای بورس سهام کشورهای عربی و آفریقایی داشته است. اما ریزش قیمت جهانی نفت بیشترین تاثیر منفی را بر بازارهای بورس کشورهای آسیایی و کمترین تاثیر را بر بازارهای بورس کشورهای اروپایی داشته است. به عبارتی بازارهای بورس سهام در سه حالت: ۱- مستقیم ۲- غیرمستقیم ۳- مستقیم و غیرمستقیم از ویروس کرونا تاثیر پذیرفته‌اند.

سقوط بازارهای سهام بازتاب اولیه‌ای از آسیب احتمالی مورد انتظار بر آینده اقتصاد جهان بوده است. شیوع بیماری موجب کاهش ارزش بازارهای بورس در کوتاه‌مدت بوده است اما در نهایت، همه بازارهای سهام در طولانی مدت بهبود می‌یابند و به ارزش واقعی خود نزدیک خواهند شد. اما نباید فراموش کرد که بحران فعلی یک بحران بهداشتی است که تبدیل به یک بحران اقتصادی شده است و ممکن است اثرات شدیدتری به همراه داشته باشد، در واقع تقریباً نیمی از جمعیت جهان دسترسی به خدمات بهداشتی موثر ندارند، این امر می‌تواند تاثیرات منفی بر سلامتی و در نهایت رشد اقتصادی داشته باشد. شاید سرمایه‌گذاری در بهداشت و محیط زیست یکی از اهرم‌های موثر برای بازگرداندن اعتماد به نفس در بازارهای مالی و اطمینان خاطر برای فعالان اقتصادی و سرمایه‌گذاران باشد.

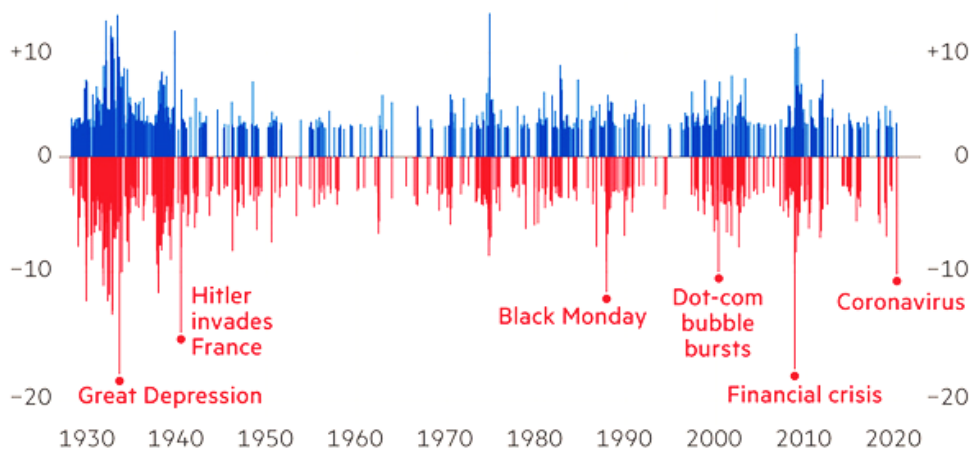
- (۱) اسماعیل پورمقدم هادی، محمدی تیمور، فقهی کاشانی محمد، شاکری عباس (۱۳۹۷). "ارائه شاخصی جدید برای انعکاس رفتار بازار سهام با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌های پیچیده". فصلنامه اقتصاد مالی، سال سیزدهم شماره ۴۶. ۲۵-۳۹
- 2) Albuлесcu, C. (2020a). Coronavirus and financial volatility: 40 days of fasting and fear. arXiv preprint arXiv:2003.04005.
- 3) Albuлесcu, C. (2020b). Coronavirus and oil price crash. Available at SSRN 3553452.
- 4) Birch, J., A.A .Pantelous, and K. Zuev, The maximum number of 3-and 4-cliques within a planar maximally filtered graph. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2015. 417: p. 221-229.
- 5) Barrat, A., & Weigt, M. (2000). On the properties of small-world network models. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 13(3), 547-560.
- 6) Bollobás, B. (1981). The diameter of random graphs. *Transactions of the American Mathematical Society*, 267(1), 41-52.
- 7) Brandes, U. (2001). A faster algorithm for betweenness centrality. *Journal of Mathematical Sociology*, 25(2), 163-177.
- 8) Drozd, S., Grümmer, F., Ruf, F., & Speth, J. (2001). Towards identifying the world stock market cross-correlations: DAX versus Dow Jones. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 294(1-2), 226-234.
- 9) George, S., & Changat, M. (2017). Network approach for stock market data mining and portfolio analysis. Paper presented at the 2017 International Conference on Networks & Advances in Computational Technologies (NetACT).
- 10) Gormsen, N. J., & Koijen, R. S. (2020). Coronavirus: Impact on stock prices and growth expectations. University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper(2020-22).
- 11) Helbing, D. 2013. Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497(7447), 51.
- 12) Li, F ., Identifying asymmetric comovements of international stock market returns. *Journal of Financial Econometrics*, 2013. 12(3): p. 507-543.
- 13) Mantegna, R.N., Hierarchical structure in financial markets. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 1999. 11(1): p. 193-197.
- 14) Newman, M. E. (2005). A measure of betweenness centrality based on random walks. *Social networks*, 27(1), 39-54.

- 15) Nobi, A., Lee, S., Kim, D. H., & Lee, J. W. (2014). Correlation and network topologies in global and local stock indices. *Physics Letters A*, 378(34), 2482-2489.
- 16) Nie, C.-X. and F.-T. Song, Constructing financial network based on PMFG and threshold method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018. 495: p. 104-113.
- 17) Pereira, E., Ferreira, P., & de Borges Pereira, H. B. (2020). COVID-19 in Stock Markets: A Complexity Perspective.
- 18) Ramelli, S., & Wagner, A. F. (2020). Feverish stock price reactions to covid-19.
- 19) Selmi, R., & Bouoiyour, J. (2020). Global Market's Diagnosis on Coronavirus: A Tug of War between Hope and Fear.
- 20) Sornette, D. 2017. *Why stock markets crash: critical events in complex financial systems*. Princeton University Press.
- 21) Tumminello, M., Aste, T., Di Matteo, T., & Mantegna, R. N. (2005). A tool for filtering information in complex systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(30), 10421-10426.
- 22) Vandewalle, N., P. Boveroux, and F. Brisbois, Domino effect for world market fluctuations. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 2000. 15(3): p. 547-549.
- 23) West, D., *Introduction to Graph Theory*, Prntice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, 2001.
- 24) Wagner, A. F. 2020. What the stock market tells us about the post-COVID-19 world. *Nature Human Behaviour*. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0869-y>
- 25) Yan, B., Stuart, L., Tu, A., & Zhang, T. (2020). Analysis of the Effect of COVID-19 on the Stock Market and Potential Investing Strategies. Available at SSRN 3563380.

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر.../ صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبدوخانی

پیوست ۱-

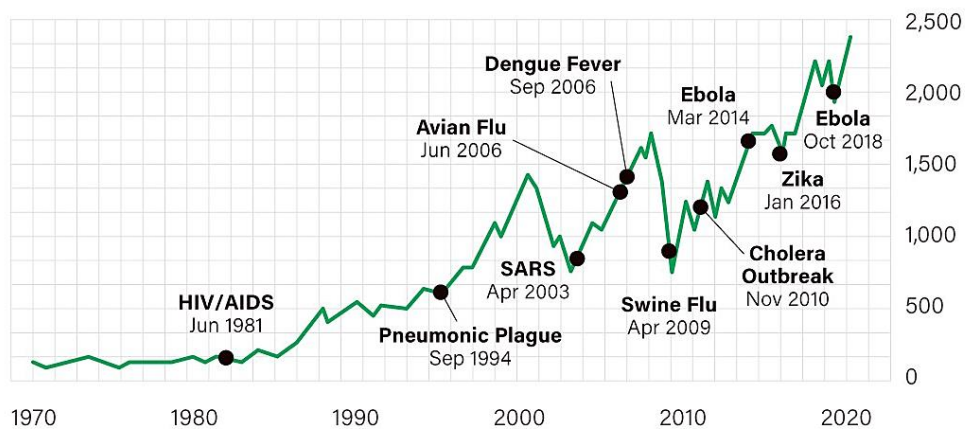
رکودهای قیمتی قابل توجه در شاخص S&P 500



منبع: سایت refinitiv.com

پیوست ۲

تاثیرات اپیدمی‌های جهانی بر بازارهای بورس سهام



Source: MarketWatch

منبع: سایت marketwatch.com

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

- پیوست ۳

کد اختصاری مورد استفاده در شبکه پیچیده برای شاخص‌های بورس سهام هر کشور.

کد	شاخص سهام	کشور	کد	شاخص سهام	کشور
MYS	FTSE Bursa	مالزی	AUS	S&P/ASX	استرالیا
MEX	Mexico IPC	مکزیک	AUT	ATX	اتریش
PAK	Karachi SE 100	پاکستان	BEL	BEL 20	بلژیک
PER	S&P/BVL General(IGBVL)	پرو	CAN	S&P/TSX 60 Index	کانادا
PHL	Philippine SEI (PSEi)	فیلیپین	DNK	OMX Copenhagen (OMXC20)	دانمارک
QAT	DSM 20	قطر	FIN	OMX Helsinki (OMXH)	فنلاند
TWN	Taiwan SE Weighed TAIEX	تایوان	FRA	France CAC 40	فرانسه
THA	Bangkok S.E.T.	تایلند	DEU	DAX 30	آلمان
TUR	BIST National 100	ترکیه	IRL	Ireland SE Overall (ISEO)	ایرلند
ARG	Merval	آرژانتین	ITA	FTSE MIB Index	ایتالیا
BHR	BSE	بحرین	JPN	Nikkei 225	ژاپن
EST	OMX Tallinn (OMXT)	استونی	NLD	AEX Index (AEX)	هلند
JOR	Amman SE	اردن	NZL	S&P/NZX 50	نیوزلند
KAZ	KASE	قزاقستان	NOR	OSLO Exchange All Share	نروژ
KWT	Kuwait KIC General	کویت	PRT	Portugal PSI-20	پرتغال
SAU	TASI	عربستان	ESP	IBEX 35	اسپانیا
HKG	Hang Seng	هونگ کنگ	SWE	OMX Stockholm 30 (OMXS30)	سوئد
SGP	Straits Times	سنگاپور	CHE	Swiss Market (SMI)	سوئیس
BIH	SASE	بوسنی هرزه‌گوین	GBR	FTSE 100	بریتانیا
BGR	Bulgaria SE SOFIX	بلغارستان	USA	S&P 500	آمریکا
BGD	DSE General Index	بنگلادش	POL	Warsaw General Index	لهستان
BWA	Gaborone	بوتسوانا	CZE	Prague SE PX	چک
JAM	Jamaica SE Main Index	جامائیکا	HRV	Croatia CROBEX	کرواسی
KEN	Kenya Nairobi SE (NSE20)	کنیا	GRC	ATHEX Composite	یونان
LBN	BLOM	لبنان	HUN	BUDAPEST (BUX)	مجارستان
LTU	OMX Vilnius (OMXV)	لیتوانی	RUS	Russia RTS INDEX	روسیه
MUS	SEMDEX	موریس	SRB	BELEX	صربستان
MAR	CFG 25	مراکش	UKR	PFTS	اکراین

شبکه پیچیده تأثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبدنه‌خانی

کد	شاخص سهام	کشور	کد	شاخص سهام	کشور
NGA	Nigeria SX All Share Index	نیجریه	BRA	Brazil BOVESPA	برزیل
OMN	Oman Muscat Securities MKT	عمان	CHE	Chile Santiago SE General (IGPA)	شیلی
SEN	Bourses Sénégal	سنگال	CHN	Shanghai SE A Share	چین
LKA	Colombo SE All Share	سريلانكا	COL	IGBC	کلمبیا
TTO	TTSE	ترینیداد توباگو	EGY	Egypt Hermes	مصر
TUN	Tunisia TUNINDEX	تونس	ARE	ADX General Index	امارات
VNM	VN-Index	ویتنام	IND	NIFTY 500	هند
PAN	Luxembourg	پاناما	IDN	IDX Composite	اندونزی
ROM	Romania BET (L)	رومانی	KOR	KOSPI	کره جنوبی
			IRN	TEPIX	ایران

- پیوست ۴

کدنویسی الگوریتم PMFG برای ایجاد شبکه پیچیده.

```
function PMFG = pmfg(W)
if size(W,1)~=size(W,2)
    fprintf('W must be square \n');
    PMFG = [];
    return
end
if ~isreal(W)
    fprintf('W must be real \n');
    PMFG = [];
    return
end
if ~issparse(W)
    W = sparse(W);
end
N = size(W,1);
if N == 1
    PMFG = sparse(1);
    return
end
[i,j,w] = find(sparse(W));
kk = find(i < j);
```

```
ijw= [i(kk),j(kk),w(kk)];
ijw = -sortrows(-ijw,3); %make a sorted list of edges
(largest first)
PMFG = sparse(N,N);
clu(1:N)=[1:N];
for ii =1:min(6,size(ijw,1)) % the first 6 edges from
the list can be always inserted
    PMFG(ijw(ii,1),ijw(ii,2)) = ijw(ii,3);
    PMFG(ijw(ii,2),ijw(ii,1)) = ijw(ii,3);
    m=max(clu)+1;
    clu( clu==clu(ijw(ii,1)) )=m; %assign cluster
index
    clu( clu==clu(ijw(ii,2)) )=m;
end
E = 6; % number of edges in PMFG at this stage
PMFG1 = PMFG;
while ( E < 3*(N-2) ) && ii<size(ijw,1) % continue
while all edges for a maximal planar graph are inserted
    ii = ii+1;
    PMFG1(ijw(ii,1),ijw(ii,2))=ijw(ii,3); % try to
insert the next edge from the sorted list
    PMFG1(ijw(ii,2),ijw(ii,1))=ijw(ii,3); % insert
its reciprocal
    if clu(ijw(ii,1))~=clu(ijw(ii,2)) % is the new
link is between different clusters?
        PMFG = PMFG1; % Yes: insert the edge in PMFG
        E = E+1;
        m=max(clu)+1;
        clu( clu==clu(ijw(ii,1)) )=m;
        clu( clu==clu(ijw(ii,2)) )=m;
    else % NO: the new link is within the same
cluster
        k = find(clu==clu(ijw(ii,1)));
        if
boyer_myrvold_planarity_test(PMFG1(k,k)~=0) % is the
resulting graph planar?
            PMFG = PMFG1; % Yes: insert the edge in
PMFG
            E = E+1;
```

شبکه پیچیده تاثیر ویروس کرونا (کووید-۱۹) بر... / صانعی فر، سعیدی، عباسی و دبده خانی

```
else
    PMFG1 = PMFG; % No: discard the edge
end
end
if ~mod(ii,1000);
    fprintf('Build PMFG: %d      :    %2.2f per-cent
done, clusters %d\n',ii,E/(3*(N-
2))*100,length(unique(clu)));
    if ii > (N*(N-1)/2)
        fprintf('PMFG not found \n')
        return
    end
end
end
end
```

منبع: کدنویسی الگوریتم پژوهش

یادداشت‌ها:

۱ گزارش موجود در: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020>
۲ به تحركات قیمتی که قبل از وقوع کامل تاثیرات منفی یا مثبت یک رویداد یا اتفاق رخ می‌دهد، گفته می‌شود.

- 3 Selmi & Bouoiyour
- 4 S&P 500
- 5 Nasdaq 100
- 6 Nikkei 225
- 7 Complex network
- 8 Planar maximally filtered graph
- 9 Wagner
- 10 Power laws
- 11 Pereira, Ferreira, Borges Pereira
- 12 Sornette
- 13 Helbing
- 14 Node
- 15 Edge
- 16 Non-trivial topological
- 17 Simple network
- 18 Lattices network
- 19 Random graphs
- 20 Real systems

- 21 Birch, Pantelous and Zuev
- 22 Hub
- 23 Degree
- 24 Bollobás
- 25 Diameter
- 26 Clustering coefficient
- 27 Barrat & Weigt
- 28 Centrality
- 29 Closeness centrality
- 30 Betweenness centrality
- 31 Mst
- 32 Tumminello, Aste, Di Matteo and Mantegna
- 33 Gormsen & Koijen
- 34 Albulescu
- 35 Yan, Stuart, Tu, & Zhang
- 36 Ramelli & Wagner
- 37 Nie & song
- 38 George & Changat
- 39 Nobi, Lee, Kim and Lee
- 40 Li
- 41 Drożdż, Grümmer, Ruf and Speth
- 42 Vandewalle, Boveroux and Brisbois
- 43 Finance yahoo
- 44 Trading economics
- 45 www.who.int
- 46 Pearson correlation coefficient
- 47 Positive definiteness
- 48 Symmetry
- 49 Triangular inequality
- 50 Mantegna
- 51 West
- 52 Kuratowski theory
- 53 Kuratowski algorithm
- 54 Newman
- 55 Brandes
- 56 Cytoscape