

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی

پروژه جایگزین خدمت نظام وظیفه دانشگاهی

مدلسازی و پیش‌بینی ریسک سیستمی با استفاده از آنتروپی و تئوری اطلاعات

نگارنده: علی کوشکی

نام سازمان کاربر پروژه: سازمان بورس و اوراق بهادار



نام ناظر پروژه: جناب آقای دکتر حسین سهرابی‌وفا

تیر ماه ۱۴۰۲

چکیده

یکی از اهداف اصلی سازمان‌های نظارتی در کشورهای مختلف پایش پایداری و ثبات سیستم می‌باشد. در سال‌های اخیر توجهات به ثبات بازارهای مالی در میان سازمان‌های نظارتی کشورهای دنیا اهمیت روزافزونی یافته است. از جمله نگرانی‌های موجود سرایت بحران از بخش‌های کوچک‌تر به بخش‌های بالاتر است که همواره بیم وقوع بحران در سطح گسترده در بازارهای مالی را ایجاد می‌کند. بنابراین نیاز بیشتری به نظارت و کنترل ریسک‌های سیستمی وجود دارد. هدف این پژوهش تمرکز بر ریسک سیستمی با استفاده از معیار آنتروپی انتقال می‌باشد. این پژوهش، ضمن استفاده از معیاری توسعه‌یافته ابزارهای اندازه‌گیری ریسک و گسترش داشبورد ریسک سازمان با معیاری جدید، این امکان را فراهم می‌سازد تا سطح دینامیک بررسی سیستم را یک پله ارتقا داده و دینامیک‌های غیر خطی نیز مورد بررسی قرار گیرند. از آنجایی که توجه به روابط سیستمی بین زیربخش‌های سیستم برای سنجش ریسک سیستمی ضروری است، معیار پیشنهادی ضمن بررسی ساختار بازار از بالاترین سطح (شاخص کل و صنایع) تا پایین‌ترین سطح (شرکت‌های هم گروه)، این مهم را میان بخش‌های مختلف بازار نمایان می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: نظریه اطلاعات، آنتروپی انتقال، پیش‌بینی

۱- مقدمه

یکی از مباحث مهم که در بازار سرمایه به آن توجه می‌شود، آگاهی از میزان ریسک شرکت هاست (حاجی‌ها و صفری، ۱۳۹۷)؛ این در حالی است که برای مدیریت و کنترل ریسک، شناسایی انواع ریسک، عوامل ایجادکننده و ساز و کار علت و معلولی بین آنها امری ضروری است (مصطفایی دولت آباد، آذر و مقبل، ۱۳۹۷). ریسک را می‌توان به شیوه‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد؛ یکی از این روش‌ها، تقسیم آن به دو نوع سیستماتیک و غیر سیستماتیک است. ریسک غیر سیستماتیک، ریسک مختص به یک شرکت با صنعت خاص است؛ در حالی که ریسک سیستماتیک ریسک مربوط به کل بازار است که در اثر تغییرات کلی بازار ایجاد می‌شود و حذف آن از طریق تنوع‌بخشی امکان‌پذیر نیست. یکی دیگر از انواع ریسک، ریسک سیستمی است که از نظر لغوی تشابه ظاهری زیادی با ریسک سیستماتیک دارد؛ اما در اصل با دو ریسک مذکور تفاوت دارد. ریسک سیستمی زمانی اتفاق می‌افتد که شکست یا بحران در یک بخش از بازار به دیگر بخش‌ها سرایت کند و به بحرانی فراگیر تبدیل شود؛ به گونه‌ای که زیان یک یا چند مؤسسه مهم و اثر گذار به دیگر مؤسسه‌ها سرایت کند. در صورت بروز ریسک سیستمی، ناکارآمدی در سیاست‌گذاری و واکنش به آن موجب می‌شود تا رشد اقتصادی و رفاه در آن کشور تهدید شود. نهاد ناظر نقشی اساسی در اقتصاد ایفا می‌کند؛ زیرا می‌تواند ارتباط میان تأمین کنندگان منابع و اعتبار گیرندگان را با امنیت بالاتری برقرار کند و به طور طبیعی این مهم با تمام بخش‌های اقتصادی ارتباط دارد؛ در نتیجه، اگر به درستی و به موقع ریسک سیستمی مورد بررسی قرار نگیرد مشکلات به وجود آمده در آن پیامدهای مهمی برای اقتصاد به طور کلی در پی خواهد داشت (ژو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). به همین دلیل دانشگاهیان، سیاست‌گذاران، مقررات‌گذاران و فعالان بازار باید همواره به ابزارهای تسهیل‌کننده نظارت توجه بیشتری داشته باشند. یکی از جنبه‌های مهم ریسک سیستمی، درجه ارتباط (اتصال) میان مشارکت‌کنندگان بازار است (بلیو^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین با توجه به اهمیت ریسک سیستمی، نیاز بیشتری به نظارت و کنترل آن وجود دارد.

۲- بیان مسئله

یکی از اهداف اصلی سازمان‌های نظارتی در کشورهای مختلف پایش پایداری و ثبات سیستم می‌باشد. در سال‌های اخیر توجهات به ثبات بازارهای مالی در میان سازمان‌های نظارتی کشورهای دنیا اهمیت روزافزونی یافته است. از جمله نگرانی‌های موجود در اقتصادهای امروز دنیا، سرایت بحران از بخش‌های کوچک‌تر به بخش‌های بالاتر است که همواره بیم وقوع بحران در سطح گسترده در بازارهای مالی را ایجاد می‌کند. بنابراین نیاز بیشتری به نظارت و کنترل ریسک‌های سیستمی وجود دارد (شاگری و همکاران، ۱۳۹۹). ریسک سیستمی و بحران متعاقب آن اغلب زمانی رخ می‌دهد که یک شرکت کلیدی در کل سیستم شروع به ورشکستگی و یا شکست می‌کند،

^۱Xu

^۲Billio

ترس حاصل شده موج وار روی سایر شرکت‌ها اثر منفی می‌گذارد و آنها دچار افت می‌شوند. این واکنش‌های زنجیره‌ای باعث می‌شود بازار دچار استرس شود و در معرض بحران قرار گیرد (رحیمی باغی و همکاران، ۱۳۹۹). در کل می‌توان معیارهای ریسک سیستمی را به دو نوع تقسیم‌بندی کرد؛ نوع اول، معیارهایی که ریسک کل سیستم را در حالتی که یک نهاد کلیدی در معرض خطر قرار گرفته است مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌دهند و نوع دوم، معیارهایی می‌باشند که ریسک یک نهاد را موقعی که کل سیستم در بحران قرار دارد مورد محاسبه قرار می‌دهند. اتخاذ تدابیر پیشگیرانه برای مقابله با ریسک‌های سیستمی در بخش‌های مختلف و ایجاد استحکام و ثبات در شبکه سیستم برای کاهش هزینه بحران‌ها، عناصر اصلی بسته سیاستی ثبات سیستم هستند (نادی قمی و همکاران، ۱۳۹۹).

۳- اهداف پژوهش

این پژوهش، ضمن استفاده از معیاری توسعه‌یافته ابزارهای اندازه‌گیری ریسک و گسترش داشبورد ریسک سازمان با معیاری جدید، این امکان را فراهم می‌سازد تا سطح دینامیک بررسی سیستم را یک پله ارتقا داده و دینامیک‌های غیرخطی نیز مورد بررسی قرار گیرند. از آنجایی که توجه به روابط سیستمی بین زیربخش‌های سیستم برای سنجش ریسک سیستمی ضروری است، معیار پیشنهادی ضمن بررسی ساختار بازار از بالاترین سطح (شاخص کل و صنایع) تا پایین‌ترین سطح (شرکت‌های هم گروه)، این مهم را میان بخش‌های مختلف بازار نمایان می‌سازد.

۴- ضرورت پژوهش

چنانچه شرکتی کلیدی در یک صنعت خاص دچار شکست شود، این شوک باعث ایجاد بحران در آن صنعت خواهد شد. سرمایه‌گذاران با مشاهده این که یکی از شرکت‌های داخل مجموعه (سیستم) دچار بحران شده است، تلاش خواهند کرد تا با فروش سهام شرکت‌های مشابه، سرمایه خود را حفظ کنند. اما اگر کل سیستم روند کاهشی در پیش بگیرد و دچار بحران شود، در این صورت سرمایه‌گذاران راهی برای فرار از ریسک سیستمی نخواهند داشت. حتی سبدهای با تنوع بالا نیز دچار ریسک متناظر یا سقوط کل بازار خواهد شد. اتخاذ تدابیر پیشگیرانه برای مقابله با ریسک‌های سیستمی در بخش مالی و ایجاد استحکام در مؤسسات مالی برای کاهش هزینه بحران‌های مالی، عناصر اصلی بسته سیاستی ثبات مالی هستند. پیش‌بینی وقوع بحران در بخش واقعی، خارجی و نیز عدم تعادل‌های بودجه دولت و شبیه‌سازی آنها در قالب سناریوهای محتمل و بررسی آثار آنها بر ترازنامه مؤسسات، متداول‌ترین راهی است که در حال حاضر برای ارزیابی میزان استحکام و سلامت بخش مالی و آسیب‌پذیری آن در قالب بحران‌های اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور در بورس اوراق بهادار تهران نیز به دلیل وجود صنایع متعدد، امکان ایجاد بحران و ریسک سیستمی همانند سایر بازارها وجود دارد که در این پژوهش بدان پرداخته خواهد شد.

یکی از ارکان تئوری مالی مدرن که توسط مارکویتز در سال ۱۹۵۲ بیان شد اهمیت برآورد وابستگی متغیرهای بازده در انتخاب سبد است، که در موضوع محاسبه‌ی اندازه‌ی ریسک سیستمی نیز جایگاه ویژه دارد، پس، روش برآورد وابستگی بین متغیرها در مالی موضوع قابل بحثی است. در ابتدا، ضریب همبستگی پیرسون که مبتنی بر توزیع گاوسی چند متغیره است، روش اندازه‌گیری وابستگی بود. سی سال طول کشید تا اینکه طبق مقاله‌ی امبرخ^۱ و همکاران (۲۰۰۲) که اثبات کردند ضریب همبستگی پیرسون برای نشان دادن نوعی از همبستگی‌ها (غیر بیضوی) کافی نیست. به وضوح روشن است که به روشی نیاز داریم که اشکالات مدل ضریب همبستگی پیرسون را نداشته باشد. مدل پیشنهادی در پژوهش پیش‌رو این نیاز را به خوبی برطرف می‌کند.

در مطالعات مالی، اینکه آیا یک عامل تأثیرات قابل توجهی بر بازارها ایجاد می‌کند، معمولاً با آزمون علیت گرنجر بررسی می‌شود. با این حال، فرضیات نرمال بودن و خطی بودن این آزمون می‌تواند نتایج نادرستی برای داده‌های مالی ایجاد کند. به عنوان مثال، وقتی تغییرات قیمت را در نظر می‌گیریم، آنها به‌اندازه کافی از حرکت تصادفی^۲ پیروی نمی‌کنند، بر عکس، اغلب روندهای وارونگی و همچنین الگوهای فصلی مشاهده می‌شوند که مدل سازی خطی آنها غیرممکن است. علاوه بر این، هنگامی که پیچیدگی سیستم مالی افزایش می‌یابد، تأثیر اخبار بر بازار بسیار پیچیده‌تر از آن است که توسط یک مدل خطی ثبت شود. در مقابل، معیارهای آنتروپی می‌توانند روش‌های بهتر و انعطاف‌پذیرتری را برای آزمایش و تعیین کمیت تأثیرات انواع اطلاعات بر تغییرات قیمت ارائه دهند.^۳ آنتروپی بیان تصادفی بودن یا نبود اطلاعات یک سیستم است که شامل معیارهای پویا و غیر متقارن (به عنوان مثال، آنتروپی انتقال) است که قادر است روابط آماری را بدون توجه به خطی بودن و نرمال بودن داده‌ها آشکار کند.

تکنیک‌های مختلفی برای اندازه‌گیری جریان اطلاعات وجود دارد که محبوب‌ترین روش‌ها همبستگی متقاطع^۴ یا علیت گرنجر^۵ می‌باشند (ژو و همکاران، ۲۰۲۲). متأسفانه این معیارها کاستی‌هایی دارند. ایراد اصلی همبستگی متقابل این واقعیت است که نمی‌توان اثرات ناشی از سری‌های زمانی مرجع و سورس را از محیط تفکیک کرد. هر دو معیار مبتنی بر مدل‌های خطی هستند و بنابراین می‌توانند نسبت به تعاملات غیرخطی حساس نباشند.^۶

بنابراین، معیارهای آنتروپی، در تئوری، نه تنها باید نتایج سازگار با روش‌های کلاسیک برای متغیرهای گاوسی که روابط خطی دارند، ارائه دهند، بلکه باید ویژگی‌های غیرعادی و غیرخطی را نیز در نظر بگیرند که روش‌های

^۱Embrechts

^۲Random Walk

^۳<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7597144>

^۴cross-correlation

^۵Granger causality

^۶Xu

^۷<https://www.mdpi.com/1099-4300/21/11/1124>

استاندارد قادر به شناسایی آن‌ها نیستند. این ویژگی‌ها، ناگزیر، معیارهای آنتروپی را برای مدل‌سازی یک بازار پیچیده مناسب‌تر و قوی‌تر خواهد کرد. لیو و همکاران^۱ (۲۰۲۰) مقایسه دقیقی بین آنتروپی و مدل‌سازی خطی سیستم دو متغیره خود را که بازار مالی را شبیه‌سازی می‌کند در پیوست‌هایشان ارائه کرده‌اند و نتیجه این است که مدل‌های خطی نتایج سازگار کمتری دارند و رویکرد آنتروپی بینش‌های بیشتری را فراهم می‌کند، به ویژه هنگامی که با نوع جدیدی از داده‌های مالی، مانند "اثر اخبار"^۲ سروکار داریم.

در مجموع، به نظر می‌رسد که استفاده از آنتروپی به عنوان معیار عدم قطعیت، بینش بهتری را در مورد شناسایی بازارهای نوسانی امکان‌پذیر می‌سازد. این مهم ما را به این نتیجه می‌رساند که آنتروپی عمومی‌تر است و برای توصیف نوسانات بازار سهام مناسب‌تر است و عمومیت آن مستقیماً از این واقعیت ناشی می‌شود که می‌توان آن را برای داده‌های متریک و غیر متریک محاسبه کرد. جدای از آن، مزایای عمده آنتروپی در مقایسه با انحراف معیار را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: (۱) اطلاعات بسیار بیشتری نسبت به دومی در خود جای می‌دهد. (ii) به هیچ توزیع خاصی وابسته نیست. به عبارت دیگر، بدون توزیع است، بنابراین از ایجاد خطا از طریق برآزش توزیع بازده به یک توزیع مانند نرمال جلوگیری می‌کند. (iii) آنتروپی برای کلیه انواع توزیع‌ها مستقل از میانگین است، (iv) در نهایت، به دلیل درک متداول از آن به «میانگین عدم قطعیت»، به عنوان معیاری برای پراکندگی نیز عمل می‌کند.^۳ پژوهش‌های پیشین در بازار ایران مانند محقق و همکاران (۱۳۹۹)، تنها به بخش مالی تمرکز کرده‌اند و یا تمرکزشان بر داده‌های صورت‌های مالی بوده است و انتقال اطلاعات میان بخش‌های مختلف بازار از طریق اطلاعات قیمت‌ها را بررسی نکرده‌اند.

۵- دلایل اهمیت ریسک سیستمی

به دلیل اهمیت روزافزون ریسک سیستمی، در چند سال گذشته مجلس سنا و کاخ سفید، در حال تصمیم‌گیری برای ایجاد شورای ناظرین با مسئولیت وزارت خزانه‌داری در راستای شناسایی ریسک‌های سیستمی سیستم مالی در سطح ملی بودند. در شرایط امروزه جهان، احتمال ایجاد ریسک سیستمی به دو دلیل در حال افزایش می‌باشد. دلیل نخست افزایش ادغام و درهم‌تنیدگی بازارهای مالی است (آسموگلو^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). ادغام و درهم‌تنیدگی بازارهای مالی آن چنان ساختار مرتبطی به وجود آورده است، که خطر ورشکستگی یا عدم پاسخگویی به تعهدات مالی از جانب بخشی از بازیگران معاهدات مالی، خطر زنجیره‌ای ورشکستگی یا عدم توانایی پاسخ‌گویی به تعهدات را برای سایر بازیگران به وجود می‌آورد. بدین سان بازارهای مالی که جهانی شده‌اند به شدت در معرض آسیب‌پذیری ناشی از ریسک سیستمی قرار دارند. دومین دلیل، جایگزینی نقش بانک‌ها توسط بورس‌ها در رژیم

^۱The Flow of Information in Trading: An Entropy Approach to Market Regimes

^۲news sentiment

^۳<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/394/1/012033>

^۴Acemoglu

جدید است. در حال حاضر، بانک‌ها که دیگر نه میانجی عرضه و تقاضای سرمایه بلکه خود یکی از بازیگران اصلی بازار سهام در معرض همان خطراتی هستند که هر معامله‌گر دیگر بازار بورس می‌باشد. در برخی بانک‌های اسلامی برای جلوگیری از ایجاد ریسک سیستمی تصمیماتی اخذ می‌شود. این تصمیم همان در نظر گرفتن یک درآمد دائمی به دارندگان سپرده‌های سرمایه‌گذاری می‌باشد که از وقوع ریسک اضافه برداشت که ممکن است ریسک سیستمی را به دنبال داشته باشد، جلوگیری به عمل می‌آورد.

۶- روش‌های پوشش ریسک سیستمی

اگر چه ماهیت و نحوه اثرگذاری ریسک سیستمی در هر یک از زیر بخش‌های نظام مالی تا حدودی با یکدیگر متفاوت است و به همین دلیل برای پوشش ریسک سیستمی در هر بخش راه کارها و ابزارهای خاصی مورد نیاز است اما روش‌های کلی را می‌توان به صورت موارد زیر نام برد:

۱. نظارت و قانون‌گذاری بر فعالیت‌های واسطه‌های مالی و مشارکت‌کنندگان در بازار. مثلاً در نظر گرفتن حد کفایت سرمایه برای نهادهای مالی و نیز ایجاد صندوق ضمانت تعهدات کارگزاران، صندوق تضمین سرمایه‌گذاران در بازار سرمایه و غیره (محقق و همکاران، ۱۳۹۹).
۲. تقویت سیستم‌های تسویه و پایاپای وجوه و اوراق بهادار برای جلوگیری از نکول طرفین معامله و اطمینان بخشیدن به اینکه طرفین معاملات قادر به ایفای کامل و به موقع تعهدات خود باشند (محقق و همکاران، ۱۳۹۹).
۳. در نظر گرفتن ساز و کارهایی برای مدیریت ریسک نقدینگی در بازار سرمایه. از آنجا که یکی از جنبه‌های مهم ریسک سیستمی ریسک نقدینگی در بازار است بنابراین با ایجاد مکانیزم‌هایی باید بتوان در صورت ایجاد بحران و مشکلات مالی برای نهادهای مالی جریان نقدینگی را در بازار کنترل نمود و از پیشرفت بحران جلوگیری نمود. در نظر گرفتن منابع کافی برای شرایط بحرانی از راهکارهای مناسب می‌باشد، مثلاً در نظام مالی آمریکا دولت بودجه‌های کلانی را برای کمک به بازار تزریق می‌کند. بنابراین باید دولت بتواند برای شرایط بحرانی منابعی را در اختیار بازار قرار دهد تا اطمینان و اعتماد در بازار افزایش پیدا کند (محمدی اقدام و همکاران، ۱۳۹۶).
۴. تقویت سیستم‌های مدیریت ریسک در بازار به ویژه در شرایط بحرانی (محمدی اقدام و همکاران، ۱۳۹۶).
۵. هر چه فعالیت‌های اعتباری در بازار بیشتر باشد احتمال این ریسک بیشتر می‌شود. به عبارتی زمانی که افراد بتوانند بیش از سرمایه و آورده خود به معامله بپردازند (همچون خرید اعتباری سهام)، این ریسک تشدید می‌گردد. بنابراین در صورت وجود معاملات اعتباری باید قوانین و نظارت‌های کافی وجود داشته باشد (محمدی اقدام و همکاران، ۱۳۹۶) و محقق و همکاران، (۱۳۹۹)).
۶. ارتقای اطمینان و اعتماد در نظام بازار سرمایه با استفاده از قوانین مناسب و کافی و پویا و نیز نظارت دقیق و مستمر بر فعالیت تمام مشارکت‌کنندگان و به ویژه نهادهای مالی و واسطه‌گری‌ها (خیابانی و محمدیان نیک پی، ۱۳۹۷).

۷. داشتن تدابیر کافی برای مقابله با بحران‌های مالی، چون ریسک سیستمی شرایط بحرانی را تشدید می‌کند و نیاز به راه‌حل‌های فوری دارد تا از سرایت ترس و بی‌ثباتی به کل بازار به سرعت جلوگیری نماید؛ به عنوان مثال حمایت از کارگزاران ورشکسته و جبران خسارت‌هایی که به مشتریان و طرف‌های درگیر با آنها وارد شده است (خیابانی و محمدیان نیک پی، ۱۳۹۷)

۷- مبانی نظری ریسک سیستمی

براساس دیدگاه متعارف، ریسک سیستمی احتمال این موضوع است که بروز شوک مالی باعث اثرات منفی تکرار شونده بر مؤسسه‌ها و بازار مالی شود که به طرز معناداری آنها را تحت تأثیر قرار دهد. طیف ریسک سیستمی از تأثیر ثانویه شوک بر یک مؤسسه یا بازار تا خطر انتشار بحران سیستمی بر بخش قابل توجهی از سیستم، متغیر است. همچنین جغرافیای سقوط و ورشکستگی ناشی از این ریسک می‌تواند منطقه‌ای، ملی یا فراملی باشد (دی بنت^۱ و همکاران، ۲۰۰۰).

از جنبه نظری، در تعریف ریسک سیستمی دو عامل اساسی است: ۱- شوک ۲- مکانیزم انتشار. بر مبنای ترمینولوژی نظری بحران، شوک‌ها می‌توانند ذاتی یا سیستماتیک باشند. در معنای قوی، شوک‌های ذاتی آنهایی هستند که تنها سلامت یک مؤسسه مالی یا قیمت یک دارایی را تحت تأثیر قرار دهند، در حالی که شوک سیستماتیک، کل اقتصاد یا تمام مؤسسه‌های مالی را به طور هم‌زمان تحت تأثیر قرار می‌دهد. سقوط بازار سهام خود به عنوان شوک به بیشتر مؤسسه‌های مالی تحمیل می‌شود، حتی اگر ناشی از منابع انتشار متفاوتی باشد که به طور یکسانی مؤسسه‌ها را تحت تأثیر قرار ندهد. شوک‌های ذاتی به‌گونه‌ای که وسیع در سیستم انتشار نیابند، با اعمالی مانند تنوع‌بخشی قابلیت کاهش دارند، در حالی که شوک‌های سیستماتیک که به‌گونه‌ای گسترده در سیستم انتشار یابند، به طور عموم کاهش‌پذیر نبوده یا با تنوع‌بخشی قابل کاهش نیستند. شوک‌های سیستماتیک مانند رکود شدید، همواره از تأثیر نامطلوب شدیدی بر مؤسسه‌ها و بازار مالی برخوردارند تا جایی که پیامد ناشی از آن در مفهوم وسیعی از ریسک سیستمی گنجانده می‌شود (دی بنت و همکاران، ۲۰۰۰).

همان‌گونه که بیان شد، دومین عنصر کلیدی از ریسک سیستمی، مکانیزم انتشار شوک از یک مؤسسه یا بازار مالی به دیگری است. این موضوع هسته اصلی مفهوم ریسک سیستمی است، زیرا انتشار شوک درون سیستم مالی، از طریق انتشار اطلاعاتی صورت می‌پذیرد. بر این اساس، باید به زنجیره‌های مختلف انتشار ریسک در بازارهای بانکی و مالی با جزییات بیشتری نگریست. از نظر مفهومی، انتقال شوک قسمتی طبیعی از تعдіلات خود تثبیت‌کننده بازار مالی برای رسیدن به تعادل جدید قلمداد می‌شود. بر این اساس، آنچه با مفهوم ریسک سیستمی به ذهن متبادر می‌شود، انتشار است که با توجه به قیمت‌ها و وضعیت بازار می‌تواند به بی‌ثباتی عمومی منجر شود. با توجه به نوع رخداد سیستمی، مکانیزمی که به نکول یا سقوط منجر شود، به طور عموم شامل انتشار از جانب

^۱De Bandt

اقتصاد کلان است که واکنش بین متغیرهای واقعی و مالی را به دنبال دارد؛ برای مثال، یک رکود تورمی ممکن است موجی از شکست را در بنگاه‌ها/شرکت‌ها/صنایع به همراه داشته باشد و به عمیق‌تر شدن رکود نیز منجر شود. در نقطه مقابل، بخشی از انتشار ممکن است درونی باشد (گورتون^۱، ۱۹۸۸؛ خیابانی و محمدیان نیک پی، ۱۳۹۷).

بدیهی است که زمان وقوع شوک و همچنین انتشار ناشی از آن موضوعی نامعلوم است. بنابراین، از این حیث، اهمیت ریسک سیستمی دارای دو جنبه است که شامل «شدت و وخامت رخداد سیستمی» و «احتمال وقوع ریسک سیستمی» می‌شود. در هر صورت، انتشار یک بحران عواقب وخیمی به همراه دارد. این موضوع، به ابعاد دیگری از مفهوم ریسک سیستمی منجر می‌شود که تأثیر رخدادهای سیستمی بخش مالی بر بخش واقعی و به طور دقیق‌تر بر تولید و رفاه عمومی است. یک جنبه مهم و تشخیصی از مفهوم ریسک سیستمی که دیدگاه افقی نامیده می‌شود تمرکز خود را تنها به رخدادهای بخش مالی معطوف کرده است. در نقطه مقابل، دیدگاه عمودی از ریسک سیستمی در تلاش است تا از نتایج حاصل از رخداد سیستمی (بخش حقیقی یا بخش مالی) به منظور سنجش شدت این رویداد استفاده کند.

با عنایت به مطالب بیان شده، چرا اثرات ناشی از انتشار ریسک سیستمی، به ویژه اثرات بالقوه ناشی از آن، در سیستم مالی نگران‌کننده است؟ پاسخگویی به این پرسش موضوعی اساسی در مطالعه ریسک سیستمی در هر سیستم مالی است. کلید پاسخ این پرسش، به در نظر گرفتن سه ویژگی اساسی مرتبط با سیستم‌های مالی وابسته است (خیابانی و محمدیان نیک پی، ۱۳۹۷):

۱- ساختار سیستم مالی ۲- ارتباط متقابل مؤسسه‌های مالی ۳- انبوه انتقال اطلاعات میان موسسات

در نهایت، می‌توان چنین گفت که مکانیزم سقوط و ورشکستگی بازارها اندکی از شرکت‌ها متفاوت است، در حالی که کمبود نقدینگی و انتشار ریسک ناشی از آن از یک مؤسسه مالی به مؤسسه دیگر ممکن است نگران‌کننده باشد، اما نگرانی اصلی از طرف شوک‌هایی است که سقوط بازار مالی و بحران نقدینگی را به دیگر بخش‌های مالی و اقتصاد کلان سرایت می‌دهد، در حالی که مؤسسه‌های مالی و عوامل مؤثر بر آنها در اقتصاد واقعی، باید قادر به انطباق و محافظت از خود در برابر دامنه طبیعی تغییرات قیمت بازار مالی باشند، این موضوع نمی‌تواند برای برخی از تلاطم‌های شدید و گسترده بازار مالی که قابلیت سرایت بحران را نیز دارند، همیشه برقرار باشد.

^۱Gorton

۸- روش پژوهش

کار اصلی شانون (۱۹۴۸) در مورد نظریه ارتباطات، و جینز^۱ (۱۹۶۳) در مورد اصل حداکثر آنتروپی، در واقع در راستای یک خط از تحقیقات در مورد اطلاعات و عدم قطعیت را تشکیل می‌دهند که در سال‌های اخیر به تحقیقات غنی در علوم آماری منجر شده است. کاربردهای این روش، طیف وسیعی از علوم از جمله اقتصاد سنجی را لمس کرده‌اند، تا جایی که گاهی به آن اطلاعات و آنتروپی اقتصاد سنجی گولان^۲ (۲۰۰۸) می‌گویند. شانون (۱۹۴۸) نظریه ارتباطات خود را در ترمودینامیک توسعه داد که در آن آنتروپی معیاری از بی‌نظمی در یک سیستم فیزیکی است. در تئوری اطلاعات، هدف یافتن یک کدگذاری «بهینه» با توجه به داده‌های منبع می‌باشد. شانون با معرفی کمیتی که بعداً به نام آنتروپی شانون شناخته شد این مشکل را حل کرد. این کمیت با میانگین تعداد بیت‌های مورد نیاز برای رمزگذاری بهینه داده‌های منبع مطابقت دارد. این مفهوم و ایده‌های جینز برای غنی‌سازی و تکمیل جعبه ابزار کلاسیک در اقتصاد سنجی مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهش پیش‌رو، به طور خاص به پیشرفت در این زمینه تحقیقاتی متمرکز می‌شویم، یعنی: آنتروپی انتقال.

تشخیص و اندازه‌گیری تعاملات بین سری‌های زمانی مالی یک حوزه کلیدی پژوهش در مالی و اقتصاد می‌باشد. در رابطه با وابستگی‌های خطی، برای مثال، معیارهای همبستگی^۳ و همبستگی متقاطع^۴ و فرمول‌بندی‌های عمومی‌تر آنها در مدل‌های خودرگرسیون برداری وجود دارد. اخیراً، روش‌های کاپولا^۵ با درجاتی از موفقیت، برای مدل‌سازی شکل کلی‌تر وابستگی بین سری‌های زمانی استفاده شده‌اند. اما این ابزارها برای مدل‌سازی مناسب نیستند چراکه در فیزیک بحث‌هایی در مورد فشردگی زمان مطرح می‌شود و کشسانی دو سری به طور کلی زمان‌بندی بسیار متفاوتی خواهد داشت. عیب دیگر این است که تغییرات بزرگ از ریزفاکتورهای غیرخطی نشأت می‌گیرند. رفتار گله‌ای فعالان بازار و فشار نقدینگی در زمان استرس بازار، همگی می‌توانند به پویایی غیرخطی منجر شوند. به عنوان جایگزینی برای مدل‌های استاندارد، معیارهای تئوری اطلاعات با موفقیت در مالی و سایر حوزه‌ها برای مقابله با مشکلات فوق‌الذکر به کار گرفته شده‌اند. آنتروپی انتقال، جریان اطلاعات بین سری‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و وابستگی‌های ظریف بین آنها را تشخیص می‌دهد. آنتروپی انتقال یک معیار رها از مدل است که بر اساس فاصله کول‌بک-لیبلر^۶ محاسبه می‌شود. در این پژوهش، ما از ابزارهای تئوری

^۱Jaynes

^۲Entropy Econometrics Golan

^۳correlation

^۴cross-correlation

^۵Copula

در نظریه احتمال و آمار، کاپولا یک تابع چند متغیره توزیع نجمی است که توزیع احتمال نهایی هر متغیر در بازه [۰، ۱] یکنواخت است. از کاپولا برای توصیف/مدل‌سازی وابستگی بین متغیرهای تصادفی استفاده می‌شود.

^۶Kullback-Leibler distance

اطلاعات برای تجزیه و تحلیل چگونگی ارتباط بخش‌های مختلف در سطوح مختلف با ریسک سیستمی استفاده می‌کنیم. آنتروپی انتقال برای اندازه‌گیری اینکه چگونه تغییرات در یک شرکت/بخش بر ریسک سیستمی در سری‌های زمانی دیگر تأثیر می‌گذارند، استفاده می‌شود و می‌تواند از حیث مفید بودن در پیش‌بینی ریسک سیستمی بررسی گردد.

۹- مفاهیم آنتروپی

شانون (۱۹۴۸) نظریه خود را بر اساس مفاهیم ترمودینامیک توسعه داد که در آن آنتروپی معیاری از بی‌نظمی در یک سیستم فیزیکی است. آنتروپی، در یک سیستم فیزیکی، تعداد حالت‌های میکروسکوپی مجاز سازگار با یک حالت کلان و معین است. شانون از این موضوع در کار خود برای ربط دادن میانگین تعداد بیت‌ها جهت رمزگذاری بهینه یک منبع استفاده کرد. آنتروپی معیار عدم قطعیت در متغیرهای تصادفی است. عدم قطعیت، همانطور که با آنتروپی اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند به عنوان میانگین تعداد سوالات، هر کدام با پاسخ «بله/خیر» درک شود. در مثال معروف سکه، سوالات «رو می‌آید؟» (یا «پشت می‌آید؟») هستند. برای ۵۰ درصد موارد برای یک سکه منصفانه، پاسخ "بله" خواهد بود و سوال متوقف می‌شود. معیارهای آنتروپی، در این معنا، میانگین تعداد سوالات دودویی (بله/خیر) را نشان می‌دهد که در واحد بیت بیان می‌شود. هر چه آنتروپی بیشتر باشد عدم قطعیت بیشتر است و برای تعیین پاسخ صحیح باید سوالات بیشتری بپرسیم. آنتروپی سیستم با میزان اطلاعات موجود در آن مرتبط است. سیستم با نظم بیشتر می‌تواند با بایت‌های کمتری از اطلاعات تعریف شود، در حالی که سیستمی با نظم کمتر برای توصیف شدن به بایت‌های بیشتری از اطلاعات نیازمند است (لیندبلاد، ۱۹۷۳).

تعریف شانون از آنتروپی از یک متغیر تصادفی X با $p(x)$ به عنوان احتمال وقوع، عبارت بود از:

$$H(x) = H(p) = - \sum_x p(x) \log p(x) = E \left[\log \left\{ \frac{1}{p(x)} \right\} \right]$$

که در این رابطه پایه لگاریتم ۲ است. $H_a(x)$ آنتروپی X را بر اساس پایه لگاریتم a مشخص می‌کند (لیندبلاد، ۱۹۷۳) و بر اساس $H(x) = - \sum_i p_i \log p_i$ تعریف می‌گردد. زمانی که متغیر تصادفی توزیع پیوسته می‌باشد، و $p_x(x)$ تابع چگالی از متغیر تصادفی X است آنتروپی بر اساس فرمول $H(X) = - \int P_x(x) \log p_x(x) dx$ مشخص می‌گردد.

۱۰- آنتروپی انتقال

آنتروپی انتقال توسط شرایبر^۱ (۲۰۰۰) به عنوان روشی دقیق برای اندازه‌گیری انتقال جهت‌دار اطلاعات از یک فرآیند تصادفی به دیگری برای توزیع‌های دلخواه بسط و توسعه داده شد. آنتروپی انتقال بسطی از علیت گرنجر، بر اساس کواریانس‌ها و نه فرآیندهای اطلاعاتی است که، برای نخستین بار توسط گرنجر^۲ (۱۹۶۹) در اقتصادسنجی و در مورد فرآیندهای گاوسی معرفی شده است که در این حالت علیت گرنجر و آنتروپی انتقال معادل همدیگر می‌باشند (بارنت^۳ و همکاران، ۲۰۰۹). راه دیگر برای نگاه کردن به آنتروپی انتقال، درک آن به عنوان تفکیک عدم قطعیت است. این موضوع شبیه به تفسیر علیت گرنجر از نظر پیش‌بینی است. آنتروپی انتقال از Y به X درجه‌ای است که Y ، عدم اطمینان آینده X را بهتر از اطلاعاتی که X در حال حاضر در مورد عدم اطمینان آینده X ارائه می‌دهد کمتر می‌کند (بارنت، بارت و ست، ۲۰۰۹).

۱۱- مفاهیم بازار سرمایه و آنتروپی

آنتروپی یک مفهوم بسیار با اهمیت در علوم اجتماعی، فیزیک و تئوری اطلاعات می‌باشد. وقتی که داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری، به طور کامل مشخص شده باشد، می‌توان از روش آنتروپی برای ارزیابی وزن‌ها استفاده کرد. ایده روش فوق این است که هرچه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. با توجه به اینکه در تئوری اطلاعات، آنتروپی نشان دهنده مقدار عدم اطمینان موجود در محتوای مورد انتظار اطلاعات است. در بازارهای مالی با توجه به ساز و کار تبادل اطلاعات بین فرستنده (داده‌هایی همچون قیمت) و گیرنده (استفاده‌کننده اطلاعات) همواره دانش و آگاهی گیرنده محدود به میزان اطلاعات ارسال شده توسط فرستنده است. بنابراین، با وجود ارسال پیام‌های شلوغ (پارازیت‌ها) از سیستم ارتباطات، چگونه می‌توان بهترین برآورد را از ارزش اطلاعات دریافت شده داشت؟ فهرست بندی و تعیین ارزش پیام‌ها (داده‌ها و اطلاعات مالی) به نسبت کاهش احتمال و افزایش اطلاعات است. هر چه احتمال وقوع پیام کمتر باشد، اطلاعات بیشتری به استفاده‌کننده منتقل می‌کند. ارزش اطلاعات تنها به عدم اطمینان و تردید گیرنده مربوط می‌شود. در این صورت، در بسیاری از حالات از طریق ریاضی می‌توان درجه یا میزان حجم اطلاعات را اندازه‌گیری کرد و کمیت آن را نیز محاسبه نمود آنتروپی نشان دهنده مقدار عدم اطمینانی است که از محتوای یک پیام حاصل می‌گردد. این عدم اطمینان با استفاده از شاخص آنتروپی در نظریه اطلاعات به وسیله یک توزیع احتمال اندازه‌گیری می‌شود (محقق و همکاران، ۱۳۹۹).

^۱Schreiber

^۲Granger

^۳Barnett

۱۲- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در ابتدا مروری بر مفاهیم پژوهش انجام می‌شود. ریسک سیستمی به خطر بحران گسترده یا شکست در کل یک سیستم مالی اشاره دارد که ناشی از وابستگی متقابل و به هم پیوستگی موسسات مالی، بازارها و ابزارهای مختلف است. به عبارت دیگر، ریسکی است که مشکل در بخشی از سیستم می‌تواند با گسترش یافتن به سایر بخش‌ها موجب اثرات آبخاری و دومینووار شود که ثبات کل سیستم را تهدید کند. اندازه‌گیری ریسک سیستمی امری پیچیده است، چراکه نیازمند در نظر گرفتن ارتباطات و وابستگی‌های پیچیده بین مؤسسات مالی، بازارها و ابزارهای مختلف است. رویکردهای مختلفی برای اندازه‌گیری ریسک سیستمی پیشنهاد شده‌اند. MES (ریزش مورد انتظار نهایی) یکی از معیارهایی است که برای تعیین مقدار ریسک سیستمی در مالی استفاده می‌شود. MES ریسک سیستمی را با اندازه‌گیری ریزش مورد انتظار یک موسسه یا دارایی، مشروط به اینکه سیستم (که می‌توان به جای آن از شرکت‌ها و سایر شاخص‌ها استفاده نمود) تحت استرس باشد، توضیح می‌دهد. MES کمک می‌کند تا مشخص شود کدام شرکت‌ها یا دارایی‌ها بیشتر احتمال دارد که ریسک سیستمی را تحت شرایط استرس‌زا منتقل (یا دریافت) کنند، و تخمینی از زیان احتمالی که هر شرکت یا دارایی در صورت وقوع استرس ارائه می‌دهد. برای مثال، هنگامی که شرکت‌ها دارای مقادیر MES بالایی هستند، نشان می‌دهد که سیستم کلی در صورت بروز بحران آسیب‌پذیرتر است. این مهم به این دلیل است که مقادیر بالای MES نشان می‌دهد که این شرکت‌ها یا دارایی‌ها احتمال بیشتری برای انتقال یا دریافت ریسک سیستمی دارند و شکست یک یا چند مورد از این نهادها می‌تواند منجر به یک بحران گسترده شود. بنابراین، با شناسایی شرکت‌های دارای مقادیر MES بالا، قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران می‌توانند اقدامات هدفمندی را برای کاهش ریسک بحرانی وسیع انجام دهند که می‌تواند شامل اجرای مقررات برای کاهش ریسک شرکت‌ها یا دارایی‌های مربوطه، بهبود شفافیت و الزامات افشا، و تقویت انعطاف‌پذیری کلی سیستم باشد.

در این پژوهش به بررسی ریسک سیستمی و جریان انتقال اطلاعات بوسیله یکی از معیارهای نظریه اطلاعات یعنی آنتروپی انتقال میان بخش‌های مختلف بورس اوراق بهادار تهران پرداخته‌ایم. مهم‌ترین کمیت‌های مربوط به اطلاعات عبارتند از:

- آنتروپی، که میانگین محتوای اطلاعاتی یک منبع اطلاعات است.
- آنتروپی انتقال، که میزان انتقال اطلاعات از یک متغیر به متغیر دیگر را بیان می‌نماید، نمایی از علیت با در نظر گرفتن روابط غیر خطی ارائه می‌دهد.

آنتروپی یک معیار کلیدی در نظریه اطلاعات است. آنتروپی مقدار عدم قطعیت موجود در یک متغیر تصادفی یا یک فرآیند تصادفی را کمی‌سازی می‌کند. به عنوان مثال، پرتاب یک سکه منصفانه (با دو نتیجه به یک اندازه محتمل) اطلاعات کمتری (آنتروپی کمتر، عدم قطعیت کمتر) نسبت به نتیجه حاصل از پرتاب یک تاس (با شش پیامد احتمالی یکسان) دارد.

آنتروپی انتقال یک معیار آماری است که می‌تواند برای تعیین کمیت مقدار اطلاعاتی که بین دو سری زمانی منتقل می‌شود استفاده شود و نمایی از علیت که شامل دینامیک غیرخطی نیز می‌باشد ارائه دهد. آنتروپی انتقال می‌تواند برای شناسایی جهت و قدرت جریان اطلاعات بین دارایی‌ها یا مؤسسات مالی مختلف استفاده شود. CoVaR و MES دو معیار رایج برای ارزیابی ریسک سیستمی در مالی هستند. هر دو معیار مبتنی بر ایده اندازه‌گیری زیان‌های احتمالی هستند که می‌تواند توسط یک نهاد یا مجموعه‌ای از دارایی‌ها در شرایط استرس متحمل شود. از آنتروپی انتقال می‌توان برای محاسبه جریان اطلاعات جهت‌دار بین مقادیر سنج‌های ریسک سیستمی و نوسانات مؤسسات یا دارایی‌های مختلف استفاده کرد. به طور خاص، می‌توان از آن برای تشخیص اینکه کدام مؤسسات یا دارایی‌ها احتمال بیشتری برای انتقال یا دریافت اطلاعات ریسک سیستمی تحت شرایط استرس را دارند و برای تعیین کمیت قدرت کانال‌های انتقال استفاده نمود.

آنتروپی انتقال بیانگر تأثیر یک متغیر (مثل X) در پیش‌بینی آینده‌ی متغیر دیگری (مثل Y) است. به عبارتی غیر صفر شدن آنتروپی انتقال نشان دهنده وجود ارتباط مستقیم بین آن دو متغیر و بزرگی آن عدد اندازه و شدت این ارتباط را نشان می‌دهد. شرایبر (۲۰۰۰) برای شناسایی دقیق‌تر رابطه علت و معلولی، مفهوم آنتروپی انتقال را پیشنهاد کرد که نه تنها می‌تواند جهت انتقال اطلاعات را اندازه‌گیری کند، بلکه می‌تواند به طور دقیق رابطه علی را در سری‌های زمانی تعیین کند. آنتروپی انتقال ابزاری موثر برای تجزیه و تحلیل تعامل اطلاعات بین سیستم‌ها است. در عین حال می‌تواند روابط سیستم‌های غیرخطی را در نظر بگیرد و همبستگی بین دو عامل را توصیف کند.

در رابطه با آنتروپی انتقال، از دو منظر نتایج آن ارائه شد: ۱- تأثیرگذاری (آنتروپی انتقال خروجی) ۲- اثرپذیری (آنتروپی انتقال ورودی). در پژوهش پیش‌رو، بوسیله آنتروپی انتقال، علیت دو طرفه به صورت غیرخطی بررسی گشت. به لطف داشبورد انعطاف‌پذیر، می‌توان در فواصل زمانی دلخواه معیار آنتروپی انتقال را محاسبه نمود. در این پژوهش از پنجره‌های سالانه استفاده شد، اگرچه پنجره‌های کوتاه می‌توانند اثر زمان را در اطلاعات خنثی کنند و شوک‌های موجود در سیستم را بهتر شناسایی کنند. در بخش تأثیرگذاری، تأثیر جریان اطلاعات هر بخش/شرکت در ریسک سیستمی بررسی شد، از این نتیجه می‌توان در پیش‌بینی ریسک سیستمی نیز استفاده نمود. در بخش دوم، اثرگذاری جریان اطلاعات ریسک سیستمی گروه بر هر شرکت را بررسی کردیم.

طبق نتایج بیشترین اطلاعات از «شاخص گروه محصولات شیمیایی» به سمت شاخص کل خارج می‌شود و بیشترین اطلاعات نیز از سمت «شاخص کل» به «شاخص گروه محصولات شیمیایی» وارد می‌شود. بنابراین ریسک سیستمی متحمل شده از جانب «شاخص گروه محصولات شیمیایی» بیشترین اهمیت را دارد و بیشترین اثرگذاری اطلاعات ریسک سیستمی نیز بر شاخص گروه محصولات شیمیایی می‌باشد.

طبق نتایج «شاخص گروه محصولات شیمیایی» به ریسک سیستمی «شاخص گروه کانه فلزی» بیشترین انتقال اطلاعات را دارد، به همین صورت «شاخص گروه فلزات اساسی» به ریسک سیستمی «شاخص گروه محصولات شیمیایی»، «شاخص گروه کانه فلزی» به ریسک سیستمی «شاخص گروه محصولات شیمیایی» و

همچنین «شاخص گروه چندرشته‌ای صنعتی» به ریسک سیستمی «شاخص گروه کانه فلزی» و نیز «شاخص گروه فرآورده نفتی» به ریسک سیستمی «شاخص گروه محصولات شیمیایی» بیشترین انتقال اطلاعات را نشان داده‌اند. طبق نتایج بر اساس میانگین کل اثرگذاری، «شاخص گروه محصولات شیمیایی» اثرگذارترین صنعت می‌باشد.

طبق نتایج «شاخص گروه محصولات شیمیایی» از ریسک سیستمی «شاخص گروه کانه فلزی» بیشترین انتقال اطلاعات را می‌پذیرد، به همین صورت «شاخص گروه فلزات اساسی» از ریسک سیستمی «شاخص گروه کانه فلزی»، «شاخص گروه کانه فلزی» از ریسک سیستمی «شاخص گروه محصولات شیمیایی» و همچنین «شاخص گروه چندرشته‌ای صنعتی» از ریسک سیستمی «شاخص گروه کانه فلزی» و نیز «شاخص گروه فرآورده نفتی» از ریسک سیستمی «شاخص گروه کانه فلزی» بیشترین دریافت اطلاعات را نشان داده‌اند. طبق نتایج بر اساس میانگین کل اثرپذیری، «شاخص گروه محصولات شیمیایی» اثرپذیرترین صنعت می‌باشد.

در بخش شرکت‌ها و صنعت: بیشترین اطلاعات از «پارس» خارج در نتیجه این نماد بیشترین تاثیر را نشان داده است و بیشترین اطلاعات به «پارس» وارد می‌شود که بیشترین اثرپذیری را در بین نمادها نشان داده است.

در بخش شرکت بر شرکت، با استفاده از معیار آنتروپی انتقال بیشترین اطلاعات به طور میانگین از سمت «پارسان» خارج و بیشترین اطلاعات به «مارون» وارد می‌شود و می‌توان آسیب‌پذیری این نماد را از اطلاعات منتقله از جانب ریسک سیستمی بر اساس نتیجه فوق دریافت. بر طبق نتایج «پارس» به «پارسان» بیشترین انتقال اطلاعات را دارد، به همین صورت «تاپیکو» به «پارسان»، «پارسان» به «پارس»، «مارون» به «پارس»، «پارس» به «مارون» بیشترین اثرگذاری را نشان داده‌اند.

افزایش قابل توجه مقادیر آنتروپی انتقال بیانگر افزایش جهت‌دار اطلاعات از شرکت/بخش خاصی به ریسک سیستمی می‌باشد، این افزایش تزریق اطلاعات به مثابه شوک به ریسک سیستمی از جانب شرکت/بخش خاصی می‌باشد که از حیث نظریه اطلاعات شناسایی می‌گردد. نتایج کلی بدست آمده با پژوهش وو^۱ و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد. نتایج بدست آمده نشان داد که: (۱) طبق نتایج پژوهش هر بخش می‌تواند به عنوان گیرنده اطلاعات یا محرک آن عمل کند (علیت دو طرفه برقرار می‌باشد). (۲) در مواقعی، انتقال اطلاعات میان شرکت‌ها به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. (۳) با توجه به نتایج متغیر در پنجره غلتان، اتصال کلی ساختار شبکه دارای ویژگی‌های متغیر با زمان است و اتصالات بخش‌ها نشان می‌دهد که گیرنده‌ها و فرستنده‌های اطلاعات در طول زمان متفاوت هستند.

^۱Wu

۱۳- پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

بدیهی است که معیارهای فعلی نیازمند اصلاح و توسعه مداوم هستند. همانطور که معیارهای ساده‌ای مانند همبستگی پیرسون و یا علیت گرنجر با روش‌های جدید جایگزین و یا اصلاح شده‌اند، معیارهای پیشنهادی فعلی نیز باید بروزرسانی گردند. از معیارهای فعلی می‌توان در سطحی کلان‌تر استفاده نمود، برای مثال نحوه انتقال اطلاعات میان بازارهای موازی مانند ارز و طلا با ریسک سیستمی بازار سرمایه. همچنین از آنتروپی انتقال در سطح بازده (در این پژوهش بر روی ریسک سیستمی اعمال شد و نه بازده) نیز میان بازارهای موازی دیگر می‌توان استفاده نمود تا انتقال جهت‌دار جریان اطلاعات را بر بازار سرمایه و همچنین سایر بازارها شناسایی نمود. می‌توان در پژوهش آتی، با استفاده از معیارهای فعلی، از سنجه‌های دیگر ریسک سیستمی استفاده نمود و اثر جریان اطلاعاتی را از منظر نظریه اطلاعات با سنجه‌های جدید مانند SES بررسی نمود. می‌توان جریان غالب اطلاعات را به هنگام وقوع بحران در سیستم از جانب بازار بدهی بررسی نمود. شواهد تجربی در مورد ریسک سیستمی نشان می‌دهد که دینامیک قیمت نفت به طور قابل توجهی بر بازده بازار سهام در زمان‌های پر نوسان اثر می‌گذارد، این مهم نیز می‌تواند با معیارهای فعلی مورد بررسی قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد مقادیر انتقال اطلاعات در ۳ بازه بررسی گردد: ۱- پیش از رویدادهای اکستریم ۲- در حین اکستریم و ۳- پس از اکستریم. برای مثال در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰. همچنین، پیشنهاد می‌گردد از داده‌های هفتگی یا ماهانه استفاده گردد و نتایج انتقال اطلاعات با داده‌های روزانه مقایسه گردد؛ اگرچه استفاده از داده‌های ماهانه به دلیل از بین رفتن اثر اطلاعات پیشنهاد نمی‌گردد. با استفاده از معیار فعلی می‌توان پژوهش‌هایی در زمینه رویدادکاوی انجام داد تا اطلاعات رویدادها با یکدیگر مقایسه گردند.

فهرست منابع

- ابریشمی، حمید، مهرآرا، محسن، رحمانی، محمد. (۱۳۹۸). اندازه‌گیری و تحلیل ریسک سیستمی در بخش بانکداری ایران و بررسی عوامل مؤثر بر آن. *مدلسازی/اقتصادسنجی*، ۴(۳)، ۱۱-۳۶.
- آسایش کورش، فلاح شمس میرفیض، جهانگیرنیا حسین، غلامی جمکرانی رضا. (۱۳۹۹). تبیین مدل ریسک سیستمیک با استفاده از معیار ریزش مورد انتظار نهایی در بانک‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه برنامه ریزی و بودجه*، ۲۵(۲)، ۱۱۵-۱۳۴.
- باباجانی، جعفر، بولو، قاسم، غزالی، امین. (۱۳۹۷). ارائه چارچوبی جهت سنجش و پیش‌بینی ریسک سیستمی با رویکرد ریزش مورد انتظار نهایی (MES) در بازار سرمایه ایران. *راهبرد مدیریت مالی*، ۶(۳)، ۱-۲۹.
- تهرانی، رضا، سراج، مصطفی، فروش باستانی، علی، فلاح پور، سعید. (۱۳۹۹). ارزیابی اثر ریسک سیستمی بخش بانکی بر عملکرد اقتصاد کلان ایران. *تحقیقات مالی*، ۲۲(۳)، ۲۹۷-۳۱۹.
- حاجیها، زهره، صفری، فاطمه. (۱۳۹۷). بررسی ارتباط ریسک سیستماتیک سهام وچولگی بازده سهام. *مدیریت دارایی و تامین مالی*، ۶(۱)، ۱-۱۰.
- حسینی، سید علی، رضوی، سیده سمیه. (۱۳۹۳). نقش سرمایه در ریسک سیستمی موسسات مالی. *پژوهش‌های تجربی حسابداری*، ۴(۳)، ۱۲۷-۱۴۷.
- حسینی، سید فرهنگ، مصطفوی، سیده فاطمه. (۱۳۹۵). اثراندازه و تنوع درآمدها بر ریسک سیستمی بانک‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران. *مدلسازی ریسک و مهندسی مالی*، ۱(۱)، ۳۶-۲۰.
- حکمتی فرید، صمد، رضازاده، علی، مالک، علی. (۱۳۹۷). برآورد ریسک سیستمی در بخش‌های مالی اقتصاد ایران (رهیافت ارزش در معرض ریسک شرطی تفاضلی). *فصلنامه علمی مدلسازی/اقتصادی*، ۱۲(۴۳)، ۹۹-۱۲۲.
- خیابانی، ناصر، محمدیان نیک پی، احسان. (۱۳۹۷). تحلیل ریسک سیستمی در صنایع منتخب بورس اوراق بهادار تهران: یک رویکرد رگرسیون چندکی چندمتغیره. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۳(۷۷)، ۱-۳۶.
- رادفر، محمدرضا، کریمخانی، مسعود، علیقلی، منصوره. (۱۳۹۹). مقاله پژوهشی: بررسی رابطه‌اندازه بانک و سرمایه با ریسک سیستمی در بانک‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار. *راهبرد مدیریت مالی*، ۸(۱)، ۱۶۳-۱۷۶.
- رحیمی باغی، علی، عرب صالحی، مهدی، واعظ برزانی، محمد. (۱۳۹۸). ارزیابی ریسک سیستمی در نظام مالی کشور با استفاده از روش شبکه علیت گرنجر. *تحقیقات مالی*، ۲۱(۱)، ۱۲۱-۱۴۲.
- شاکری، عبدالرضا، خسروی پور، نگار، جعفری، محبوبه. (۱۳۹۹). ساختار ترازنامه‌ای بانک‌ها و ریسک سیستمی نظام بانکی. *مجله دانش حسابداری*، ۱۱(۳)، ۱۹۵-۲۲۵.

صادقی شریف، سید جلال، سوری، و استادهاشمی. (۱۳۹۷). مدل سازی و برآورد ریسک سیستم بانکی در قالب یک مدل شبکه‌ای با استفاده از سنج CoVaR. *پژوهش‌های پولی-بانکی*، ۱۱ (۳۶)، ۱۸۳-۲۱۰.

طاهری، ماندانا. (۱۳۹۹). ریسک سیستمی و اثر آن بر ثبات بانکی. *بررسی مسائل اقتصاد ایران*، ۷ (شماره ۲) (شماره پیاپی: ۱۴)، ۲۲۵-۲۴۱.

عبادی، ج.، و الهی، ن.، و هوشمند گهر، س. (۱۳۹۸). اثر شوک ارزی بر شاخص ریسک سیستمی صندوق‌های سرمایه گذاری مشترک. *پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۲۷ (۸۹)، ۳۷۳-۳۹۷.

فدائی واحد، میثم، دهقان دهنوی، محمد علی، دیواندری، علی، امیری، میثم. (۱۳۹۹). بررسی تأثیر شاخص‌های ریسک و رقابتی بانک‌ها بر ریسک سیستمی با رویکرد ریزش مورد انتظار نهایی (MES) با استفاده از مدل GMM. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۹ (۳۶)، ۳۱۷-۳۳۴.

فدائی واحد، میثم، دهقان دهنوی، محمد علی، دیواندری، علی، و امیری، میثم. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر شاخص‌های ریسک و رقابتی صنعت بانکداری بر شاخص رشد اقتصادی و تورم مصرف‌کننده در اقتصاد ایران. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۱۲ (۴۸)، ۱-۲۰.

فرزین وش، اسدالله، الهی، ناصر، گیلانی پور، جواد، مهدوی، غدیر. (۱۳۹۶). ارزیابی ریسک سیستمی در شبکه بانکی ایران توسط معیار تغییرات ارزش در معرض خطر شرطی. *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ۸ (۳۳)، ۲۶۵-۲۸۱.

فلاح پور، سعید، راعی، رضا، میرزامحمدی، سعید، هاشمی نژاد، سیدمحمد. (۱۳۹۶). سنجش ارزش در معرض ریسک شرطی با استفاده از ترکیب مدل FIGARCH و نظریه ارزش فرین. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۶ (۲۳)، ۲۵۹-۲۸۲.

فلاح پور، سعید، شیرکوند، سعید، قنبری، اکبر. (۱۳۹۸). طراحی شاخص استرس مالی در نظام مالی ایران با رویکرد نظریه پرتفوی. *فصلنامه علمی نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۶ (۲)، ۱۰۱-۱۳۴.

قاسمی فر، ثمین، شاه آبادی، شیرین بخش، شمس الله، و احمدیان، میرحسین. (۱۴۰۱). شناسایی استرس سیستمیک در بازار مالی ایران. *راهبرد مدیریت مالی*، ۱۰ (۱)، ۱-۱۰.

گودرزی، احمد، عیوضلو، و تهرانی. (۱۴۰۰). سنجش ریسک سیستمی در بازار بین‌بانکی ریالی با استفاده از سرمایه بافر و الگوریتم تحلیل پیوند. *فصلنامه پژوهش‌های پولی-بانکی*، ۱۴ (۴۸)، ۳۶۱-۳۹۴.

گیلانی پور جواد. (۱۳۹۸). ارزیابی ریسک سیستمی در شبکه بانکی ایران توسط معیار ریزش مورد انتظار نهایی. *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۲۷ (۹۲)، ۴۰۷-۴۲۹.

محقق، عارفه، حمیدیان، محسن، حسینی اسفیدواجانی، سید علی، جعفری، غلامرضا. (۱۳۹۹). بررسی برهم کنش اطلاعات در شرکتهای بازار سرمایه ایران با استفاده از ماتریس آنتروپی انتقال. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۹ (۳۶)، ۳۵۳-۳۶۹.

محمدی اقدم، سعید، قوام، محمد حسین، فلاح شمس، میرفیض. (۱۳۹۶). سنجش ریسک سیستمی ناشی از شوک ارزی در بازارهای مالی ایران. *تحقیقات مالی*، ۱۹ (۳)، ۴۷۵-۵۰۴.

مرادمند جلالی، میلاد، حسنلو، خدیجه. (۱۳۹۵). ارزیابی سهم بانک‌ها، بیمه و شرکت‌های سرمایه‌گذاری در ریسک سیستمیک. فصل‌نامه مطالعات مالی و بانکداری اسلامی، ۲ (پاییز و زمستان)، ۶۷-۹۲.

مصطفایی دولت آباد، خ.، و آذر، ع.، و مقبل باعرض، ع. (۱۳۹۷). شناسایی و تحلیل ریسک‌های عملیاتی با استفاده از نگاشت شناختی فازی. مدیریت دارایی و تامین مالی، ۶ (۴ (پیاپی ۲۳))، ۱-۱۸.

مهدوی کلیشمی، غ.، و الهی، ن.، و فرزین وش، ا.، و گیلانی پور، ج. (۱۳۹۶). ارزیابی ریسک سیستمی در شبکه بانکی ایران توسط معیار تغییرات ارزش در معرض خطر شرطی. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار (مدیریت پرتفوی)، ۸ (۳۳)، ۲۶۵-۲۸۱.

میرزایی بادیزی، وحید، سوری، علی، ناجی، مهدی، و بهرادمهر، نفیسه. (۱۴۰۲). ساز و کار سرایت ریسک سیستمی در نظام مالی ایران: بازار پول و سرمایه. اقتصاد مالی، ۱۷ (۶۲)، ۴۹-۷۰.

نادی قمی، ولی، حسینی، سید فرهنگ، مصطفوی، سیده فاطمه. (۱۳۹۹). بررسی اثر قدرت سازوکارهای حاکمیت شرکتی بر ریسک سیستمی نهادهای مالی پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران. تحقیقات مالی، ۲۲ (۲)، ۲۰۶-۲۲۶.

هاتف وحید، مجید، صالح اردستانی، عباس. (۱۳۹۹). اندازه‌گیری ریسک سیستمی مؤسسات مالی و بانک‌ها با استفاده از رویکرد خوشه‌بندی مارکوف و معیارهای سنجش ریسک مبتنی بر مرکزیت. نشریه اقتصاد و بانکداری اسلامی، ۹ (۳۰)، ۱۱۵-۱۴۰.

وهاب زاده، سارا، فلاح شمس لیالستانی، میرفیض، معدنچی، مهدی، کیقبادی، امیر رضا. (۱۴۰۱). سرایت پذیری ریسک سیستمیک در بازارهای مالی ایران. دانش سرمایه‌گذاری، ۱۱ (۴۱)، ۴۲۹-۴۴۳.

- Abuzayed, B., Bouri, E., Al-Fayoumi, N., & Jalkh, N. (2021). Systemic risk spillover across global and country stock markets during the COVID-19 pandemic. *Economic Analysis and Policy*, 71, 180-197.
- Acemoglu, D., Ozdaglar, A., & Tahbaz-Salehi, A. (2015). Systemic risk and stability in financial networks. *American Economic Review*, 105(2), 564-608.
- Acharya, V. V., Pedersen, L. H., Philippon, T., & Richardson, M. (2017). Measuring systemic risk. *The review of financial studies*, 30(1), 2-47.
- Adrian, T., & Brunnermeier, M. K. (2008). Federal Reserve Bank of New York. Liquidity, Monetary Policy, and Financial Cycles, *Federal Reserve Bank of NY Current Issues in Econ. and Fin.*
- Adrian, T., & Brunnermeier, M. K. (2013). CoVaR (No. w17454). National Bureau of Economic Research.
- Ahmed, W. M., & Sleem, M. (2022). Time-frequency moment interdependence of equity, oil, and gold markets during the COVID-19 pandemic. *Cogent Economics & Finance*, 10(1), 2085292.
- Ahn, K., Lee, D., Sohn, S., & Yang, B. (2019). Stock market uncertainty and economic fundamentals: an entropy-based approach. *Quantitative Finance*, 19(7), 1151-1163.
- Ahnert, T., & Georg, C. P. (2018). Information contagion and systemic risk. *Journal of Financial Stability*, 35, 159-171. 87

- Andreucut, M. (2016). Systemic risk, maximum entropy and interbank contagion. *International Journal of Modern Physics C*, 27(12), 1650148.
- Baranoff, E. G. (2011). An Analysis of the Aig Case-Understanding Systemic Risk and its Relation to Insurance. *Available at SSRN 1899047*.
- Barnett, L., Barrett, A. B., & Seth, A. K. (2009). Granger causality and transfer entropy are equivalent for Gaussian variables. *Physical review letters*, 103(23), 238701.
- Benoit, S., Colletaz, G., Hurlin, C., & Pérignon, C. (2013). A theoretical and empirical comparison of systemic risk measures. *HEC Paris Research Paper No. FIN-2014-1030*.
- Benoit, S., Colliard, J. E., Hurlin, C., & Pérignon, C. (2017). Where the risks lie: A survey on systemic risk. *Review of Finance*, 21(1), 109-152.
- Bernal, O., Gnabo, J. Y., & Guilmin, G. (2014). Assessing the contribution of banks, insurance and other financial services to systemic risk. *Journal of Banking & Finance*, 47, 270-287.
- Betz, F., Hautsch, N., Peltonen, T. A., & Schienle, M. (2016). Systemic risk spillovers in the European banking and sovereign network. *Journal of Financial Stability*, 25, 206-224.
- Billio, M., Casarin, R., Costola, M., & Pasqualini, A. (2016). An entropy-based early warning indicator for systemic risk. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 45, 42-59.
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., & Pelizzon, L. (2011). Econometric measures of systemic risk in the finance and insurance sectors. *Journal of Financial Economics*.
- Black, L., Correa, R., Huang, X., & Zhou, H. (2016). The systemic risk of European banks during the financial and sovereign debt crises. *Journal of Banking & Finance*, 63, 107-125.
- Borri, N., & Di Giorgio, G. (2022). Systemic risk and the COVID challenge in the European banking sector. *Journal of Banking & Finance*, 140, 106073.
- Borri, N., Caccavaio, M., Giorgio, G. D., & Sorrentino, A. M. (2014). Systemic risk in the Italian banking industry. *Economic Notes: Review of Banking, Finance and Monetary Economics*, 43(1), 21-38.
- Bossomaier, T., Barnett, L., Steen, A., Harré, M., d'Alessandro, S., & Duncan, R. (2018). Information flow around stock market collapse. *Accounting & Finance*, 58, 45-58.
- Chiang, S. H., & Chen, C. F. (2022). From systematic to systemic risk among G7 members: Do the stock or real estate markets matter?. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 101594.
- Davis, Sarah E., Cremaschi, Selen, & Eden, Mario R.. *Efficient Surrogate Model Development: Impact of Sample Size and Underlying Model Dimensions*. United States. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64241-7.50158-0>
- De Bandt, O., & Hartmann, P. (2000). Systemic risk: a survey. *Available at SSRN 258430*.
- De Nicolo, G., & Kwast, M. L. (2002). Systemic risk and financial consolidation: Are they related?. *Journal of Banking & Finance*, 26(5), 861-880.
- Di Cesare, A., & Rogantini Picco, A. (2018). A survey of systemic risk indicators. *Bank of Italy Occasional Paper*, (458).
- Di Gangi, D., Lillo, F., & Pirino, D. (2018). Assessing systemic risk due to fire sales spillover through maximum entropy network reconstruction. *Journal of Economic dynamics and control*, 94, 117-141.

- Diem, C., Pichler, A., & Thurner, S. (2020). What is the minimal systemic risk in financial exposure networks?. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 116, 103900.
- Embrechts, P., McNeil, A., & Straumann, D. (2002). Correlation and dependence in risk management: properties and pitfalls. *Risk management: value at risk and beyond*, 1, 176-223.
- Engle, R. F., & Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional autoregressive value at risk by regression quantiles. *Journal of business & economic statistics*, 22(4), 367-381.
- Erb, C. B., Harvey, C. R., & Viskanta, T. E. (1994). Forecasting international equity correlations. *Financial analysts journal*, 50(6), 32-45.
- Ferracci, A., & Cimini, G. (2021). Systemic risk in interbank networks: disentangling balance sheets and network effects. *Available at SSRN* 3933626.
- Ferran, E., & Alexander, K. (2011). Can soft law bodies be effective? Soft systemic risk oversight bodies and the special case of the European Systemic Risk Board. *Soft Systemic Risk Oversight Bodies and the Special Case of the European Systemic Risk Board (November 4, 2010). University of Cambridge Faculty of Law Research Paper*, (36).
- Girardi, G., & Ergün, A. T. (2013). Systemic risk measurement: Multivariate GARCH estimation of CoVaR. *Journal of Banking & Finance*, 37(8), 3169-3180.
- Gladwin, T. N., Kennelly, J. J., & Krause, T. S. (1995). Shifting paradigms for sustainable development: Implications for management theory and research. *Academy of management Review*, 20(4), 874-907.
- Gorton, G. (1988). Banking panics and business cycles. *Oxford economic papers*, 40(4), 751-781.
- Gradojevic, N., & Caric, M. (2017). Predicting systemic risk with entropic indicators. *Journal of Forecasting*, 36(1), 16-25.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Hautsch, N., Schaumburg, J., & Schienle, M. (2015). Financial network systemic risk contributions. *Review of Finance*, 19(2), 685-738.
- He, H., Hong, Y., Liu, W., & Kim, S. A. (2020). Data mining model for multimedia financial time series using information entropy. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(4), 5339-5345.
- Hübner, P. (2021). Decomposing systemic risk of the hedge funds industry: An approach based on Extreme Value Theory.
- Jing, Z., Liu, Z., Qi, L., & Zhang, X. (2022). Spillover effects of banking systemic risk on firms in China: A financial cycle analysis. *International Review of Financial Analysis*, 82, 102171.
- Landaberry, V., Caccioli, F., Rodriguez-Martinez, A., Baron, A., Martinez-Jaramillo, S., & Lluber, R. (2021). The contribution of the intra-firm exposures network to systemic risk. *Latin American Journal of Central Banking*, 2(2), 100032.
- Lindblad, G. (1973). Entropy, information and quantum measurements. *Communications in Mathematical Physics*, 33(4), 305-322.
- López-Espinosa, G., Moreno, A., Rubia, A., & Valderrama, L. (2012). Short-term wholesale funding and systemic risk: A global CoVaR approach. *Journal of Banking & Finance*, 36(12), 3150-3162.
- Lupu, R., Călin, A. C., Zeldea, C. G., & Lupu, I. (2020). A bayesian entropy approach to sectoral systemic risk modeling. *Entropy*, 22(12), 1371.

- Lupu, R., Călin, A. C., Zeldea, C. G., & Lupu, I. (2021). Systemic Risk Spillovers in the European Energy Sector. *Energies*, 14(19), 6410.
- LUPU, R., LUPU, I., STAMULE, T., & ROMAN, M. (2022). ENTROPY AS LEADING INDICATOR FOR EXTREME SYSTEMIC RISK EVENTS. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 25(4), 58.
- Mostafaei, K., Azar, A., Moghbel, A. (2018). Identification and Analysis of Operational Risks: A Fuzzy Cognitive Map Approach. *Journal of Asset Management and Financing*, 6(4), 1-18. doi: 10.22108/amf.2018.103404.10
- Nicola, G., Cerchiello, P., & Aste, T. (2020). Information network modeling for US banking systemic risk. *Entropy*, 22(11), 1331.
- Oh, G., Kim, H. Y., Ahn, S. W., & Kwak, W. (2015). Analyzing the financial crisis using the entropy density function. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 419, 464-469.
- Parker, E. (2018). The relationship between the us economy's information processing and absorption ratios: Systematic vs systemic risk. *Entropy*, 20(9), 662.
- Pele, D. T., Lazar, E., & Dufour, A. (2017). Information entropy and measures of market risk. *Entropy*, 19(5), 226.
- Poledna, S., Martínez-Jaramillo, S., Caccioli, F., & Thurner, S. (2021). Quantification of systemic risk from overlapping portfolios in the financial system. *Journal of Financial Stability*, 52, 100808.
- Sandoval Junior, L., Mullokandov, A., & Kenett, D. Y. (2015). Dependency relations among international stock market indices. *Journal of Risk and Financial Management*, 8(2), 227-265.
- Schreiber, T. (2000). Measuring information transfer. *Physical review letters*, 85(2), 461.
- Segoviano Basurto, M., & Goodhart, C. (2009). Banking stability measures.
- Tehrani, R. (2010). *Fundamental Managerial Finance*. Tehran: Negahe Danesh. (in persian)
- Tiwari, A. K., Trabelsi, N., Alqahtani, F., & Raheem, I. D. (2020). Systemic risk spillovers between crude oil and stock index returns of G7 economies: Conditional value-at-risk and marginal expected shortfall approaches. *Energy Economics*, 86, 104646.
- Theiler, J., Eubank, S., Longtin, A., Galdrikian, B., & Farmer, J. D. (1992). Testing for nonlinearity in time series: the method of surrogate data. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 58(1-4), 77-94.
- Vanzuela, H. L., & Rivera, K. D. C. (2022). International Trade Resilience in Times of COVID-19 Pandemic: A Literature Review. *Available at SSRN 4123720*.
- Wever, M., Wognum, N., Shah, M., O'Leary, N., & Onofrei, G. (2021). Towards a Transdisciplinary Approach to Systemic Risk Detection. In *Transdisciplinary Engineering for Resilience: Responding to System Disruptions* (pp. 3-12). IOS Press.
- Wu, S., Tong, M., Yang, Z., & Zhang, T. (2021). Interconnectedness, systemic risk, and the influencing factors: Some evidence from China's financial institutions. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 569, 125765.
- Xu, Y., Li, J., & Qi, H. (2022). The Spatial Correlation Effect of Real-Estate Financial Risk in China: A Social Network Analysis. *Sustainability*, 14(12), 7085.
- Yang, J. (2021). Systemic Risk in Chinese Commodity Futures Markets: A Graph Theory Analysis. *Proceedings of Business and Economic Studies*, 4(1).

- Ye, X., & Douady, R. (2018). Systemic risk indicators based on nonlinear polymodel. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(1), 2.
- Yijun, W., Yu, Z. & Bashir, U. Impact of COVID-19 on the contagion effect of risks in the banking industry: based on transfer entropy and social network analysis method. *Risk Manag* 25, 12 (2023). <https://doi.org/10.1057/s41283-023-00117-1>
- Zhang, W., Zhuang, X., Wang, J., & Lu, Y. (2020). Connectedness and systemic risk spillovers analysis of Chinese sectors based on tail risk network. *The North American Journal of Economics and Finance*, 54, 101248.
- Zhao, S., Chen, X., & Zhang, J. (2019). The systemic risk of China's stock market during the crashes in 2008 and 2015. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 520, 161-177.
- Zhou, C. (2010). Why the micro-prudential regulation fails? The impact on systemic risk by imposing a capital requirement.
- Zou, J., Fu, X., Yang, J., & Gong, C. (2022). Measuring Bank Systemic Risk in China: A Network Model Analysis. *Systems*, 10(1), 14.

پیوست

آزمون معنی‌داری

برای بررسی معنی‌داری نتایج بدست آمده، هر مقدار بدست آمده از آنتروپی، ۵۰ بار دیگر محاسبه می‌گردد. در این دفعات محاسبه از سری‌های زمانی جدید استفاده می‌گردد که بلوکی از ابتدای داده‌ها به صورت یکجا برداشته و به انتهای داده‌ها اضافه می‌گردد و سپس آنتروپی برای این سری محاسبه می‌گردد. معنی‌داری در این پژوهش در سطح ۱۰٪ بررسی شده است. روش بررسی تکنیکی بسیار مفید است که توسط ثیلر^۱ و همکاران انجام شده است. بر اساس پژوهش داویس و همکاران (۲۰۱۸) حداقل تعداد لازم برای بررسی معنی‌داری ۵۰ مشاهده می‌باشد.

^۱Theiler