



مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی

ناصر حقی سیف‌الدین^۱

نادر رضایی^۲

رسول عبدی^۳

یعقوب اقدام‌زرعه^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲

چکیده

هدف از این پژوهش مدل‌سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی می‌باشد در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار متلب، وابستگی‌های متقابل مطالبات و بدهی‌های شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران به صورت یک شبکه مالی مدل‌سازی و سرایت نکول در آن شبیه‌سازی می‌دهد، این پژوهش در زمره پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد، جامعه آماری بررسی شده اطلاعات، ۴۰۷ شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران در قلمرو زمانی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۸ می‌باشد. نتایج این تحقیق بر نقش "پیوندهای مسری" تاکید می‌کند و نشان می‌دهد موسساتی که بیشترین تأثیر را در بی‌ثباتی شبکه دارند ارتباط بیشتری با اعضای شبکه داشته و یا بخش بزرگی از پیوندهای مسری را دربر دارند. در این مطالعه گراف جهت‌دار با دنباله درجات داده‌شده و توزیع اختیاری از وزن را در نظر می‌گیریم. نتایج مجانبی نشان می‌دهد تطابق خوبی با شبیه‌سازی برای شبکه‌های با اندازه‌های واقع بینانه وجود دارد.

کلمات کلیدی

سرایت مخاطرات، ناهمگنی نظام مالی، ثبات سیستم مالی، شبکه مالی

۱- گروه حسابداری، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران. dgkt_hesab@yahoo.com

۲- گروه حسابداری، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران. (نویسنده مسئول) Naderrezaeimandoab@gmail.com

۳- گروه حسابداری، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران. abdi_rasool@yahoo.com

۴- گروه حسابداری، واحد صوفیان، دانشگاه آزاد اسلامی، صوفیان، ایران. aghdam.acc@gmail.com

بازارهای مالی نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در تأمین مالی سرمایه‌گذاری‌ها به عهده‌دارند و به‌عنوان پایه اصلی تو سعه اقتصادی در کشورهای توسعه‌یافته محسوب شده و در مواقع بروز بحران به دلیل ریسک سیستماتیک به‌سرعت سبب انتقال شوک به بخش‌های دیگر اقتصاد می‌شوند. ریسک سیستماتیک در واقع ریسک ناشی از ارتباطات و وابستگی‌های درونی موجود در یک سیستم یا یک بازار است که به‌واسطه رخداد یک شکست در یک جزء از سیستم و تسری آن در تمام سیستم یا بازار منجر به بروز بحران در تمام سیستم یا بازار می‌گردد (اسماگا، ۲۰۱۴). بر این اساس، کنترل و مدیریت ریسک‌های سیستمی و تلاش برای اجتناب از آن‌ها از جمله مهم‌ترین سیاست‌های ممکن برای سیاست‌گذاران بازارهای مالی قلمداد می‌شود. از آنجاکه نقش شرکت‌های مختلف در ایجاد و تسری ریسک‌های سیستمی یکسان نیست، یکی از مهم‌ترین اقدامات ممکن برای کنترل ریسک‌های سیستمی کاهش اثرات آن، شناخت شرکت‌هایی است که اثرگذاری بیشتری بر وقوع و تسری ریسک سیستمی دارند، تا از طریق تمرکز بیشتر بر آن‌ها، شانس وقوع این‌گونه از ریسک‌ها کاهش یابد، لذا در این پژوهش بعد از تشکیل شبکه مالی که از وابستگی‌های متقابل مطالبات و تعهدات بین شرکت‌ها ایجاد می‌شود، به شناخت شرکت‌های اثرگذار در وقوع و تسری ریسک سیستمی در شبکه به‌هم‌پیوسته مالی می‌پردازیم بنابراین هدف از این پژوهش مدل‌سازی سرائت مخاطرات در شبکه مالی می‌باشد.

این پژوهش می‌تواند در مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل سناریوهای مدیریت ریسک مالی، مانند تست استرس، تنظیم و نظارت‌های مالی در سیستم‌های مالی، در هوش تجاری یا فن‌آوری‌های پشتیبانی تصمیم، مورد استفاده مدیران مالی، سرمایه‌گذاران، آنالیزورهای مالی و ... قرار گیرد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

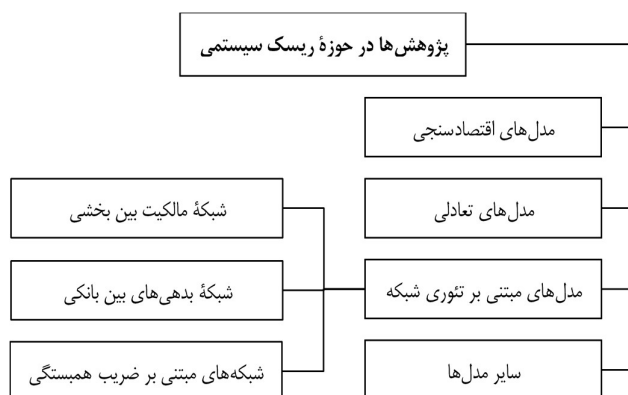
مبانی نظری

واژه ریسک و عدم اطمینان در ادبیات اقتصادی دهه ۱۹۵۰، دانش مربوط به وقوع یا عدم وقوع رویداد تلقی می‌شد. حال آنکه در دهه ۱۹۸۰ واژه ریسک و عدم اطمینان از هم تفکیک شدند. در کتاب فایننس بنا به تعریف مرتون و بادی، ریسک نا اطمینانی در موضوعی است که باعث سلب آسایش می‌شود که تغییر در آن مورد ریسکی منجر به تغییر عملکرد شخص می‌شود (نوروزی پور و همکاران، ۱۳۹۱). به‌طور کلی ریسک در دو گروه ریسک مالی و ریسک غیرمالی قرار می‌گیرد.

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و نه / زمستان ۱۴۰۰

ریسک‌های مالی در اصطلاح مخاطراتی را نشان می‌دهد که وقوع‌شان می‌تواند موجب خسارت‌های مالی برای شرکت شود و شامل ریسک بازار^۱، ریسک عملیاتی^۲، ریسک نقدینگی^۳ و ریسک اعتباری^۴ است. ریسک‌های غیرمالی به هر خطری که در قالب ریسک مالی قابل تعریف نباشد (مانند ریسک مدیریت، ریسک صنعت و ریسک قوانین) گفته می‌شود.

ریسک‌ها از طریق ریسک سیستمی به تمام سیستم منتقل می‌شود، ریسک سیستمی در واقع ریسک ناشی از ارتباطات و وابستگی‌های درونی موجود در یک سیستم یا یک بازار است که به واسطه رخداد یک شکست در یک جزء از سیستم و تسری آن در تمام سیستم یا بازار منجر به بروز بحران در تمام سیستم یا بازار می‌گردد (اسماگا، ۲۰۱۴). پژوهش‌های انجام گرفته در حوزه ریسک سیستمی را می‌توان به ۴ حوزه پژوهش‌های مبتنی بر روش‌های اقتصادسنجی، پژوهش‌های مبتنی بر تئوری شبکه، پژوهش‌های مبتنی بر مدل‌های تعادل عمومی و سایر روش‌ها دسته‌بندی نمود که در شکل ۱، نشان داده شده است.



رستگار و کریمی (۱۳۹۵)، کیم و کیم (۲۰۱۳) و ژو و تاراشف (۲۰۱۳) در پژوهش‌های خود با استفاده از مدل‌های مبتنی بر اقتصادسنجی، از طریق به‌کارگیری رویکردهای اقتصادسنجی، به اندازه‌گیری و تحلیل ریسک‌های سیستمی پرداخته‌اند. هالدان و می (۲۰۱۱) و پاسکواریلو (۲۰۰۲) با استفاده از مدل‌های تعادل عمومی در تحلیل ریسک سیستمی به بررسی ساختار سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی در قالب مدل‌های تعادل عمومی پرداخته‌اند. این دسته از پژوهش‌ها بر اساس مبانی تئوری بازی‌ها و مدل‌های تعادل بنیان‌گذاری شده‌اند و سعی دارند تا نقاط تعادل سیستم در شرایط

مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدام‌زرعه

وقوع بحران و ریسک‌های سیستمی را تعیین نمایند.

مدل‌های مبتنی بر تئوری شبکه به‌منظور تحلیل تعامل و ارتباط عوامل مختلف اقتصادی در یک سیستم مالی - اقتصادی به کار گرفته می‌شوند. بر اساس این رویکرد، یک سیستم مالی - اقتصادی را می‌توان در قالب یک شبکه از گره‌ها (عوامل اقتصادی) و یال‌ها (روابط بین عوامل) نمایش داد و بر اساس تحلیل و شبیه‌سازی رفتار این شبکه در قبال بروز اختلالات در برخی از گره‌ها و یال‌های شبکه، میزان آسیب‌پذیری سیستم مالی به بروز ریسک سیستمی را ارزیابی نمود.

باوجود انجام برخی پژوهش‌های اندک در زمینه شبکه مالکیت بین بخشی در طی سال‌های اخیر، به‌کارگیری شبکه مالکیت بین بخشی در تحلیل و ارزیابی ریسک‌های سیستمی و تعیین شرکت‌های مهم از نظر ریسک سیستمی مورد توجه پژوهشگران قرار نگرفته است. به عبارات بهتر، عمده پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تحلیل ریسک سیستمی مبتنی بر مفهوم درهم‌تنیدگی بر شبکه بدهی‌های بین‌بانکی متمرکز هستند و به‌جز مقاله پکورا و اسپلتا (۲۰۱۵)، که به بررسی شبکه مالکیت بین بانک‌ها در اروپا و تحلیل اثر آن بر ریسک سیستمی پرداخته‌اند، پژوهشی در زمینه تحلیل ریسک سیستمی مبتنی بر شبکه مالکیت بین بخشی ارائه نشده است. این در حالی است که با توجه به محدودیت اطلاعات موجود در خصوص بدهی‌های بین‌بانکی و عدم دسترسی به آن‌ها، ساختار مالکیت بین بخشی می‌تواند به‌عنوان نماینده مناسبی برای تحلیل میزان درهم‌تنیدگی بین شرکت‌ها و تحلیل ریسک سیستمی ایجاد نماید.

پیشینه پژوهش

علی فدایی و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی به ارزیابی مدیریت ریسک مالی در صنعت خودرو سازی با رویکرد تحلیل شبکه‌ای فازی پرداختند نتایج نشان داد از بین ۱۳ متغیر شناسایی‌شده اثرگذار بر ریسک مالی، معیار ریسک نقدینگی بیشترین اثرگذاری را دارد، حمیدرضا ایروانی و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی به مدل‌سازی ریسک ساختار تأمین مالی مطابق تئوری تصمیم احتمالی از طریق ANP پرداختند نتایج نشان داد ریسک رقابت با وزنی (۰,۱۳۶) در اولویت اول و ریسک عملیاتی با وزن (۰,۰۸۵) در آخرین اولویت قرار دارد. رحیمی باغی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به ارزیابی ریسک در نظام مالی کشور با استفاده از روش علیت گرنجر پرداختند. نتایج تحقیق، نشان داد بخش مالی بیشترین درجه تاثیرگذاری بر سایر بخش‌ها را دارد که این موضوع به بالا بودن ریسک سیستمی در بخش مالی دلالت دارد. غلامرضا زمردیان و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی به استفاده از شبکه‌های عصبی موجکی به‌منظور تعیین و ارزیابی تأثیرات ریسک سیستمیک بر بازده مالی سهام پرداختند نتایج

نشان داد رابطه معناداری بین ریسک سیستماتیک و بازده در دوره زمانی پر نوسان در افق‌های زمانی میان‌مدت و بلندمدت وجود دارد. دستخوان و شمس قارنه (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به مقایسه شاخص‌های ارزیابی ریسک سیستمی در شبکه‌های مالی و شناسایی شرکت‌های مهم از نظر سیستمی در بازار بورس تهران پرداختند. این مقاله، با به‌کارگیری شبکه مالکیت بین بخشی شرکت‌ها، معیارهای مختلف مبتنی بر شبکه ارزیابی شرکت‌های مهم در بورس تهران را موردبررسی قرار می‌دهد. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری شبکه مالکیت با در نظر گرفتن مالکیت ترکیبی و معیارهای متناسب با آن می‌تواند به واقعی‌تر شدن نتایج حاصل از شناسایی شرکت‌های مهم از نظر ریسک سیستمی کمک نماید. فرزین‌وش و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق خود نشان دادند بحران یا اختلال در بانک خاورمیانه از بین سایر بانک‌ها بیشترین تأثیر را بر سیستم مالی تحمیل می‌کند و بانک سرمایه کمترین تأثیر را دارد. به‌عبارت‌دیگر، اگر بحرانی در بانک خاورمیانه اتفاق بیفتد به‌اندازه ۱۵/۶۱ درصد بر ریسک سیستم مالی اضافه نموده درحالی‌که بحران در بانک سرمایه فقط به میزان ۰/۳۲ درصد بر ریسک سیستم مالی می‌افزاید. ژائو^۵ (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به مدل‌سازی، مخاطرات در سیستم‌های مالی پرداختند در این پژوهش با توجه به اینکه وابستگی‌های متقابل مطالبات و تعهدات بین شرکت‌ها مالی می‌تواند به‌عنوان ارتباطات داده-ستاده مشاهده شود، سیستم مالی و مکانیسم آلودگی با معرفی چارچوب داده-ستاده کلاسیک لئونتیف مدل‌سازی شد. لوندیس^۶ و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای به شبیه‌سازی دینامیک سرایت مالی در شبکه بین‌بانکی تصادفی پرداختند در این پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، شکنندگی چندین توپولوژی شبکه، با استفاده از یک پیش‌فرض ساده پیش‌بینی شده روی شبکه‌های بین‌بانکی، بررسی شد. چونک و ژائو^۷ (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به مدل‌سازی، تحلیل و کاهش مخاطرات در سیستم‌های مالی پرداختند. آشفته‌گی مالی (به‌عنوان مثال، بحران مالی جهانی ۲۰۰۸-۲۰۰۹) منجر به بی‌ثباتی ناشی از بحران مالی شده است که یکی از نگرانی‌های عمده در زمینه اقتصاد و مالی است. در این مقاله، تجزیه و تحلیل شبکه‌ای از بحران مالی از سه دیدگاه گسترش داده شد. اول، با توجه به اینکه وابستگی‌های متقابل مطالبات و تعهدات بین مؤسسات مالی می‌تواند به‌عنوان ارتباطات داده-ستاده مشاهده شود، سیستم مالی و مکانیسم آلودگی با معرفی چارچوب داده-ستاده کلاسیک لئونتیف مدل‌سازی شد. دوم، بر اساس این فرایند مدل‌سازی، یک الگوریتم پیچیده‌ای برای بررسی نحوه ناهمگنی سیستم مالی بر ثبات آن پیشنهاد شد. سوم، برای مقابله با ریسک‌های مالی، چندین سیاست مداخله بر اساس دو رویکرد ادغام مؤسسات و تزریق سرمایه که به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، پیشنهاد شد. سپس عملکرد این سیاست‌های مداخله توسط آزمایش‌های عددی جامع ارزیابی

مدل‌سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی‌سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدام‌مزرعه

شد. این مطالعه پیامدهای مهمی برای تنظیم و نظارت مالی در برداشت. یوا^۱ (۲۰۱۸) در مقاله خود نشان دادند اندازه، سطح اهرم، عدم تطابق سرسید و نسبت ارزش بازار به ارزش دفتری عوامل مهمی برای سهم‌بندی ریسک سیستمی هستند. آناگنو ستو و همکاران^۲ (۲۰۱۸) در مقاله خود نشان دادند کاهش قیمت دارایی‌های مالی و نرخ تورم اثر مثبت و معناداری برافزایش ریسک سیستمی بازارهای مالی دارند.

روش‌شناسی پژوهش

سؤالات پژوهش

سؤال اصلی

مدل‌سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی منجر به چه نتایجی در ثبات سیستم مالی می‌گردد؟

-سؤال فرعی

چه تأثیری شبکه مالی نامنظم بر سرایت نکول دارد؟

نوع و روش پژوهش

این پژوهش در زمره پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد و برای مدل‌سازی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

جامعه و نمونه آماری

جامعه پژوهش را کلیه شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران طی دوره ۶ ساله ۱۳۹۸-۱۳۹۳ تشکیل می‌دهند. نمونه آماری تعداد ۴۰۷ شرکت پذیرفته‌شده در بورس، فرابورس یا بازار پایه می‌باشد که از بین شرکت‌های جامعه پژوهش به روش حذف سیستماتیک و داشتن معیارهای ورود انتخاب خواهد شد.

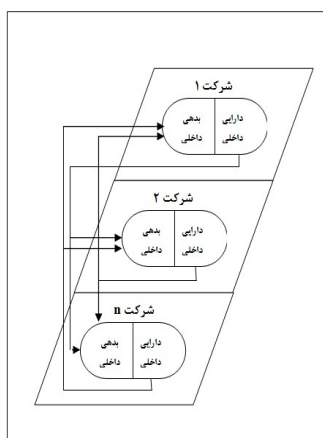
- شرکت‌هایی که طی دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ در بازار سرمایه فعال بوده‌اند.
- سال مالی آن‌ها منتهی به ۲۹ اسفند باشد.
- در دوره زمانی پژوهش تغییر سال مالی نداده باشند.
- اطلاعات موردنیاز شرکت‌ها در دسترس باشد.
- از شرکت‌های سرمایه‌گذاری، بانک‌ها، بیمه‌ها و شرکت‌های واسطه‌گر مالی به دلیل ماهیت متفاوت آن‌ها نباشند.

لیست شرکت‌های نمونه پس از حذف سیستماتیک (غربالگری) در طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و نه / زمستان ۱۴۰۰

۴۷۷	تعداد شرکت‌های فعال در بازار سرمایه و شرکت‌های تابعه آن‌ها که اطلاعات آن‌ها در دسترس می‌باشد
۴۶	تعداد شرکت‌هایی که سال مالی آن‌ها ۲۹ اسفند نمی‌باشد و زیرمجموعه‌های آن‌ها که از جامعه آماری حذف شده‌اند
۲۴	تعداد شرکت‌هایی که در دوره زمانی مورد پژوهش تغییر سال مالی داده‌اند به همراه زیرمجموعه‌های آن‌ها که از جامعه آماری حذف شده‌اند
۴۰۷	تعداد شرکت‌های نمونه

مدل مفهومی پژوهش



شکل (۱) تصویری از یک شبکه مالی می‌باشد که در آن هر شرکت در قالب یک ترازنامه که بازتاب کننده دارایی‌ها و بدهی‌های متقابل است نشان داده شده است. در این ترازنامه دارایی‌های داخلی منعکس کننده میزان سرمایه‌گذاری شرکت در سایر شرکت‌های عضو شبکه و بدهی‌های داخلی سهم ورودی به شرکت توسط سایر شرکت‌های عضو شبکه در نظر گرفته می‌شود

از آنجاکه هدف اصلی ما بررسی سرایت نکول در یک شبکه به هم پیوسته می‌باشد، فرض می‌کنیم هر موسسه یک پروژه سرمایه‌گذاری واحد و مستقل داشته باشد، این فرض نشان می‌دهد که هیچ ارتباطی بین دارایی‌های خارجی (سرمایه‌گذاری‌های خارج از شبکه) برای هر مؤسسه وجود ندارد، که به ما این امکان را می‌دهد تا در مواجهه مستقیم با دارایی و بدهی‌های متقابل متمرکز شویم و پیوندهای غیرمستقیم دارایی‌های خارجی همبسته را نادیده بگیریم. با استفاده از چارچوب داده-ستانده و نظریه

مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدمزرعه

شبکه، ما یک سیستم مالی را به عنوان یک شبکه مالی به هم پیوسته مدل خواهیم کرد. در این شبکه، هر گره یک موسسه مالی را نشان می‌دهد و هر پیوند نشان دهنده مطالبات یا تعهدات بین دو موسسه است.

مدل سازی شبکه مالی

تشکیل شبکه مالی

در تئوری گراف، شبکه‌ها در قالب گراف‌هایی تعریف می‌شوند و در آن گره‌ها (شرکت‌ها) با یال‌ها (در صورت داشتن رابطه بین گره‌ها) به یکدیگر متصل می‌شوند، در حالت معمول، شبکه به سبب داشتن سهم مالکیت هر شرکت از شرکت دیگر، در قالب رابطه زیر، قابل بیان است.

$$\begin{aligned} \text{اگر } i \text{ مالک } j \text{ باشد } 1 & A_{ij} = \\ \text{اگر } i \text{ مالک } j \text{ نباشد } 0 & A_{ij} = \end{aligned} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این پژوهش با توجه به وجود شمار زیادی از سرمایه‌گذاران خرد در هر سهم، تنها بازیگران اصلی هر شرکت را در نظر گرفته و از در نظر گرفتن سرمایه‌گذاران خرد (سرمایه‌گذارانی که کمتر از ۱ درصد سرمایه شرکت سرمایه‌پذیر را در اختیار دارند) اجتناب می‌کنیم. اگرچه این مسئله باعث وجود یک اریب در تخمین مقدار درجه خروجی می‌شود، اما چون این رویه برای تمامی شرکت‌ها در نظر گرفته می‌شود، در ارزیابی نسبی شرکت‌ها نسبت به یکدیگر تأثیر معناداری نخواهد داشت.

در صورتی که بازیگران اصلی سیستم مالی به دو دسته شرکت‌ها سهامدار پذیرفته شده و شرکت‌های سهامدار پذیرفته نشده دسته‌بندی شوند، می‌توان ماتریس مالکیت مستقیم شرکت‌ها را در قالب رابطه ۲ نمایش داد:

$$A = \begin{pmatrix} w & \vec{0} \\ d & \vec{0} \end{pmatrix} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که w یک ماتریس $n \times n$ شامل میزان مالکیت مستقیم شرکت‌های پذیرفته شده در بورس از یکدیگر، n تعداد شرکت‌های لیست شده در بازار و d یک ماتریس $m \times n$ شامل ماتریس مالکیت شرکت‌های خارج از بورس از شرکت‌های لیست شده را نشان می‌دهد.

بر این اساس می‌توان گفت میزان مالکیت ترکیبی یک شرکت و یا به عبارتی میزان مالکیت نسبی هر شرکت در بین سایر شرکت‌ها، به صورت ترکیبی از مالکیت اولیه شرکت و میزان درهم‌تنیدگی شرکت با سایر شرکت‌هاست (ویتالی، گلافلدار و باتیستون، ۲۰۱۱)

$$V^{int} = AV^{int} + V \quad \text{رابطه (۳)}$$

که V مقدار اولیه ارزش بازار شرکت‌ها، V^{int} ارزش بازار ترکیبی شرکت‌های مورد بررسی را در قالب

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و نه / زمستان ۱۴۰۰

روابط موجود در شبکه نشان می‌دهد. با توجه به رابطه ۳، مقدار V^{int} به صورت رابطه ۸، به دست می‌آید.

$$V^{int} = (1 - A)^{-1}V \quad \text{رابطه ۴}$$

بر این اساس و با توجه به مفهوم ارزش بازار ترکیبی شرکت‌ها، مقدار ارزش ترکیبی پرتفوی گروه‌ها (وزن هر گروه) را می‌توان در قالب رابطه ۵، محاسبه نمود

$$p^{int} = AV^{int} \quad \text{رابطه ۵}$$

p^{int} مقدار مجموع ارزش هر گروه را با در نظر گرفتن مالکیت‌های مستقیم و غیرمستقیم محاسبه می‌نماید و از این رو این ملاک می‌تواند به عنوان یک معیار مرکزیت و محاسبه ریسک سیستمی در نظر گرفته شود.

محاسبه نکول

در این پژوهش برای محاسبه احتمال نکول از مدل رگرسیون لاجیت استفاده می‌شود حداکثر تعداد نسبت مالی که در این مدل مورد نیاز می‌باشد عبارت است از نسبت جاری، نسبت گردش دارایی‌ها، نسبت بدهی و نسبت سود به فروش، بعد از به دست آوردن نسبت‌های مالی، با استفاده از مدل رگرسیونی لاجیت، اندازه احتمال دقیق نکول شرکت‌ها محاسبه می‌شود و از روی اندازه احتمال نکول، شدت نکول شرکت محاسبه می‌شود.

$$\frac{\text{دارایی جاری}}{\text{بدهی جاری}} = \text{نسبت جاری} \quad \text{رابطه ۶}$$

نسبت جاری توانایی شرکت در بازپرداخت تعهدات کوتاه مدت را اندازه‌گیری می‌کند هر چه بیشتر باشد وضعیت نقدینگی شرکت مطلوب است، اما اگر بیش از اندازه بزرگ شود بیانگر عدم به کارگیری مناسب دارایی‌ها می‌باشد.

$$\frac{\text{فروش خالص}}{\text{میانگین جمع دارایی}} = \text{گردش دارایی} \quad \text{رابطه ۷}$$

نسبت گردش دارایی میزان تأثیرگذاری گردش دارایی‌ها را در کسب درآمد شرکت نشان می‌دهد و بیانگر این است که چگونه دارایی‌های شرکت برای ایجاد درآمد به کار گرفته می‌شوند، هر چه این نسبت افزایش یابد فعالیت واحد تجاری بیشتر است.

$$\frac{\text{کل بدهی}}{\text{کل دارایی}} = \text{نسبت بدهی} \quad \text{رابطه ۸}$$

نسبت بدهی توانایی یک شرکت در پرداخت بدهی‌های کوتاه و بلندمدت با کل دارایی‌های موجود

مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدام‌مزرعه

را نشان می‌دهد، هر چه این نسبت بیشتر باشد سودآوری شرکت افزایش خواهد یافت مشروط به اینکه نرخ بازده دارایی‌ها بیش از نرخ بدهی‌ها باشد. همچنین هر چه این نسبت‌ها افزایش یابد ریسک مالی (عدم پرداخت بدهی‌ها) افزایش خواهد یافت.

$$\frac{\text{سود خالص}}{\text{فروش}} = \text{نسبت سود به فروش} \quad (\text{رابطه ۹})$$

نسبت سود به فروش میزان بازدهی را به ازای هر ریال از فروش نشان می‌دهد این نسبت نشان می‌دهد چند درصد از فروش را سود خالص تشکیل می‌دهد.

اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی

مدل رگرسیونی لاجبیت از مدل‌های رگرسیونی صفر و یک می‌باشد در این مدل‌ها مشتریان به دو گروه قادر به پرداخت بدهی و ناتوان در پرداخت بدهی‌ها دسته‌بندی می‌شوند:

$$P_{\text{logit}} = \frac{1}{1 + \exp[-b_0 + b_1 k_1 + b_2 k_2 + \dots + b_n k_n]} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

که در آن:

P_{logit} برابر ۰ و ۱ است و نکول و یا عدم نکول شرکت‌ها را تعیین می‌کند.

k_n شاخص‌های مالی مؤثر در رتبه‌بندی (نسبت جاری، نسبت گردش دارایی‌ها، نسبت بدهی و نسبت سود به فروش) و n تعداد آن‌هاست،

b_n ضرایب شاخص‌ها در مدل است. که از روی مقادیر اولیه که به p دادیم از برنامه‌نویسی متلب محاسبه می‌شود. مقادیر اولیه P با استفاده از نظر کارشناسان به دست آمده است.

سپس با استفاده از ضرایب به دست آمده برای b_n ها، مقادیر دقیق p ها برای تک‌تک شرکت‌ها در برنامه اکسل به دست می‌آید.

سپس در نرم‌افزار برنامه‌نویسی متلب شدت نکول شرکت‌ها از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$\lambda_{it} = \ln(1 - P_{\text{logit}}) \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

شرکت‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار برنامه‌نویسی متلب رتبه‌بندی اعتباری می‌شود.

تغییرات شدت نکول شرکت‌ها بر اساس میانگین شدت‌های نکول شرکت‌ها در زمان ثبتي برای هر رتبه با استفاده از فرایند تصادفی در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی می‌شود:

$\lambda_k(t)$ میانگین شدت نکول در هر رتبه اعتباری است:

$$\lambda_k(t) = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} \lambda_{jt}(t) \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و نه / زمستان ۱۴۰۰

که N تعداد رتبه‌های اعتباری شرکت‌ها و M_k تعداد شرکت‌های موجود در رتبه اعتباری است

محاسبه سرایت نکول

سرایت نکول با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی می‌شود.

یافته‌های پژوهش

آزمون مانایی

اولین گام برای تخمین الگوی رگرسیونی این است که از مانایی متغیرهای الگو، باید اطمینان حاصل شود. بدین منظور از آزمون مانایی استفاده شده است. وجود ناپایداری در سری‌های مورد استفاده در یک مدل می‌تواند موجب استنباط‌های غلط آماری و در نتیجه رگرسیون کاذب شود که برای این امر از آزمون‌های ریشه واحد استفاده می‌شود. نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱: آزمون مانایی متغیرهای تحقیق

نام متغیر	آماره دیکی فولر سطح ۱٪	سطح ۵٪	سطح ۱۰٪	سطح معنی‌داری
نسبت جاری	-۷,۳۲۷۲۶۶	-۳,۵۶۳۸۶۹	-۲,۹۱۷۷۷۸	۰,۰۰۰۰
گردش دارایی‌ها	-۳,۹۸۲۸۳۳۰	-۳,۵۷۱۰۱۵	-۲,۸۱۸۶۵۰	۰,۰۰۳۱
نسبت بدهی	-۶,۶۱۷۱۴۵	-۳,۵۷۱۰۱۹	-۲,۸۱۷۶۵۰	۰,۰۰۰۰
نسبت سود به فروش	-۸,۹۵۷۵۲۵	-۳,۵۶۲۶۵۶	-۲,۹۱۸۷۷۸	۰,۰۰۰۰
دارایی داخلی	-۸,۰۴۷۶۳۰	-۳,۵۶۲۶۶۹	-۲,۹۱۸۷۴۷۸	۰,۰۰۰۰
دارایی خارجی	-۹,۵۸۷۵۸۵	-۳,۵۶۲۶۶۹	-۲,۹۱۸۷۴۷۸	۰,۰۰۰۰
بدهی داخلی	-۸,۱۶۸۳۰۰	-۳,۵۸۱۱۵۲	-۲,۹۲۶۶۲۲	۰,۰۰۰۰
سپرده	-۸,۶۰۲۱۴۵	-۳,۵۸۱۱۵۲	-۲,۹۱۸۶۰۲	۰,۰۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

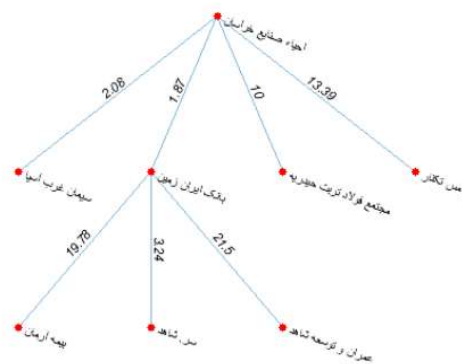
با توجه به نتایج مشاهده شده در جدول ۱، سطح آماره آزمون برای کلیه متغیرهای پژوهش برابر با مقداری کمتر از ۲ درصد می‌باشد. همچنین سایر ضرایب آماره دیکی فولر نیز نشان دهنده مانایی در متغیر مورد مطالعه می‌باشند. لذا با توجه به اینکه سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۲ است کلیه متغیرهای پژوهش از ایستایی لازم برخوردارند.

ترسیمی از توپولوژی شبکه

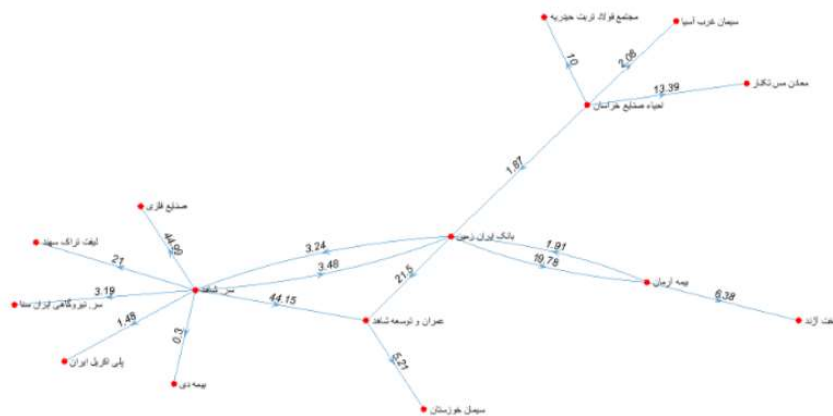
در تئوری گراف، شبکه‌ها در قالب گراف‌هایی تعریف می‌شوند و در آن گره‌ها (شرکت‌ها) با یال‌ها (در صورت داشتن رابطه بین گره‌ها) به یکدیگر متصل می‌شوند، در این پژوهش با توجه به وجود

مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدمزرعه

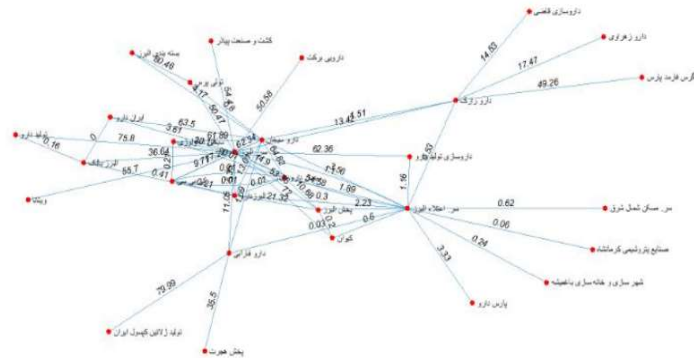
شمار زیادی از سرمایه‌گذاران خرد در هر سهم، تنها بازیگران اصلی هر شرکت را در نظر گرفته و از در نظر گرفتن سرمایه‌گذاران خرد اجتناب می‌کنیم. اگرچه این مسئله باعث وجود یک اریب در تخمین مقدار درجه خروجی می‌شود، اما چون این رویه برای تمامی شرکت‌ها در نظر گرفته می‌شود، در ارزیابی نسبی شرکت‌ها نسبت به یکدیگر تأثیر معناداری نخواهد داشت.



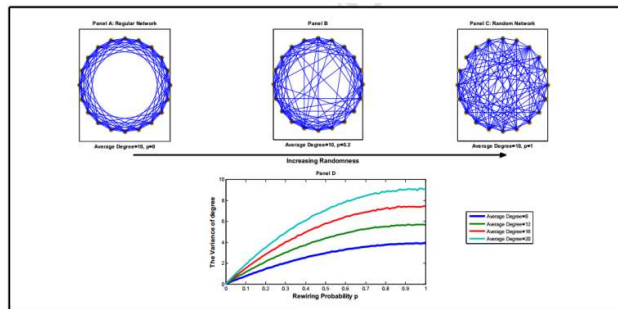
در شکل ۲: مالکیت سلسله مراتبی نشان داده شده است، شرکتی که در رأس قرار دارد دارای مالکیت همه شرکت‌های زیرمجموعه می‌باشد.



در شکل ۳: مالکیت سلسله مراتبی و دوطرفه نشان داده شده است، در شکل ملاحظه می‌شود که ایران خودرو مالک ۵۰٫۵٪ ایران خودرو دیزل و ایران خودرو دیزل ۲۳٫۳۹٪ ایران خودرو می‌باشد.



در شکل ۴: مالکیت ترکیبی، چند طرفه و نمای بزرگتری از بازار (شبکه مالی) را نشان داده می‌دهد. بر این اساس می‌توان گفت میزان مالکیت ترکیبی یک شرکت و یا به عبارتی میزان مالکیت نسبی هر شرکت در بین سایر شرکت‌ها، به صورت ترکیبی از مالکیت اولیه شرکت و میزان در هم تنیدگی شرکت با سایر شرکت‌هاست (ویتالی، گلاتفلدار و باتیستون، ۲۰۱۱)



شکل ۵: ترسیمی از توپولوژی شبکه

منبع: یافته‌های پژوهش

در شکل (۵): ترسیمی از توپولوژی شبکه نشان داده شده است، در این شکل نمایی از شبکه مالی منظم (پانل A) در حال سیر با احتمال پیچش p ، به شبکه مالی نامنظم (پانل C) نشان داده شده است، برای $p = 0$ شبکه یک شبکه‌ی منظم و عادی می‌باشد (پانل A) در حالی که برای $p = 1$ شبکه به یک شبکه‌ی تصادفی تبدیل می‌شود (پانل C) یک احتمال پیچش $p \in (0, 1)$ بیشتر خاصیت تصادفی بودن شبکه را افزایش می‌دهد، و با افزایش آن می‌توان انواع مختلف و متعددی را از شبکه‌ها مدل‌سازی کنیم.

مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدام‌مزرعه

جدول ۲: نتایج حاصل از شاخص دارایی‌ها و بدهی‌های متقابل شرکت بورس و خارج از بورس

ارزش ترکیبی پرتفوی (میلیون ریال)		ارزش ترکیبی بازار (میلیون ریال)	
۰	حداقل	۳۰۰۰۰۰۰	حداقل
۷۵۰۰۰۰۰۰	حداکثر	۹۰۰۰۰۰۰	حداکثر
۲۷۵۰۰۰۰۰	میانگین	۶۰۰۰۰۰۰	میانگین
P_{int}	۵ گره برتر	V_{int}	۵ گره برتر
۷۵۰۰۰۰۰۰	صندوق بازنشستگی	۹۰۰۰۰۰۰۰	سهام عدالت
۵۰۷۰۰۰۰۰۰	دولت	۸۶۰۰۰۰۰۰	دولت
۴۶۸۰۰۰۰۰۰	سهام عدالت	۷۸۵۰۰۰۰۰۰	صندوق بازنشستگی
۳۵۰۰۰۰۰۰۰	تأمین اجتماعی	۵۶۹۰۰۰۰۰۰	تأمین اجتماعی
۱۹۲۰۰۰۰۰۰	ساتا	۲۹۹۰۰۰۰۰۰	ساتا
متوسط P_{int}	۵ بخش برتر	متوسط V_{int}	۵ بخش برتر
۲۵۰۰۰۰۰۰۰	هلدینگ صنعتی	۳۱۲۰۰۰۰۰۰	هلدینگ صنعتی
۱۵۰۰۰۰۰۰۰	سهامدارن خارج از بورس	۲۵۹۰۰۰۰۰۰	سهامدار خارج بورس
۵۵۰۰۰۰۰۰۰	ارتباطات	۱۷۲۰۰۰۰۰۰	ارتباطات
۱۳۴۰۰۰۰۰۰	پتروشیمی	۷۸۵۰۰۰۰۰۰	خدمات فنی مهندس
۱۱۲۰۰۰۰۰۰	بانک	۷۰۴۰۰۰۰۰۰	پتروشیمی

با توجه به نتایج حاصل از ماتریس مالکیت شرکت‌های بورس و خارج از بورس می‌توان بیان نمود که طبیعی است اندازه گره‌ای که بزرگ‌تر است اگر نکول پیدا کند تأثیر آن در شبکه بزرگ‌تر خواهد بود. (اندازه بزرگ‌تر در اینجا به این معنا است که این گره با گره‌های بیشتری در ارتباط است که اندازه آن بزرگ‌تر است).

محاسبه نکول شرکت‌ها

جدول ۳: ریسک نکول شرکت‌های بورس

WML	L	W	
/۷,۴۳	/۴,۸۱	/۱۲,۲۴	چارک اول (پایین‌ترین ریسک نکول)
/۲,۴۸	/۸,۳۳	/۱۰,۸۱	چارک دوم
/۵,۹۲	/۹,۸۲	/۱۵,۷۴	چارک سوم
/۷,۸۴	/۳,۳۰	/۱۱,۱۴	چارک آخر (بالا‌ترین ریسک نکول)

منبع: یافته‌های پژوهش

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و نه / زمستان ۱۴۰۰

جدول ۴: اولویت‌بندی ریسک نکول شرکت‌های بورس

BTM	Size			پایین	متوسط	BSM
	متوسط	بزرگ	متوسط			
/۲,۵۳	/۵,۴۲	/۷,۸۷	/۹,۶۳			
/۴,۸۵	/۴,۹۸	/۷,۴۸	/۸,۸۹			
/۲,۱۳	/۷,۵۶	/۵,۳۴	/۸,۷۶	بالا		

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج بررسی نشان داد که هر چه میزان بازدهی سهام بالاتر باشد احتمال عدم نکول در شرکت‌ها بیشتر خواهد بود و هر چه مدت‌زمان دریافت بازدهی و مبلغ سود بیشتر باشد، احتمال عدم نکول میزان بازدهی و سود در شرکت‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین شرکت‌ها می‌توانند با استفاده از امتیازدهی اعتباری، تا حد زیادی ریسک و زیان ناشی از تصمیمات نادرست اعتباری خود را کاهش دهند.

جدول ۵: نمونه رتبه‌بندی نهایی شرکت‌ها با استفاده از احتمال π_i به دست آمده از برآورد مدل

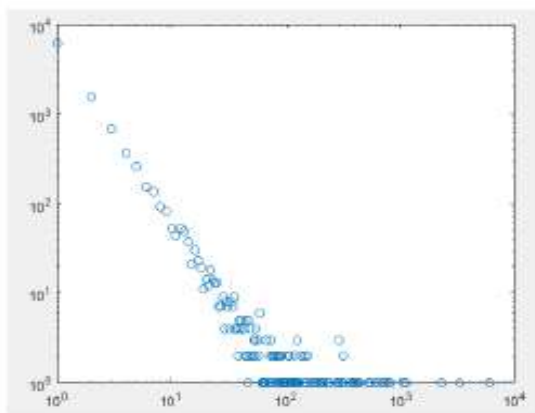
رتبه	نام شرکت	احتمال عدم نکول	رتبه	نام شرکت	احتمال عدم نکول
۱	ایران خودرو	/۹۹۹۹۹۹۹۹۴	۴۰۳	پارس خزر	/۰۰۰۰۰۰۱۲۲
۲	آذراب	/۹۹۹۹۹۹۹۹۰	۴۰۴	به‌سرام	/۰۰۰۰۰۰۱۰۲۸
۳	به‌نوش	/۹۹۹۹۹۹۹۷۰	۴۰۵	پارس سوئیچ	/۰۰۰۰۰۰۰۸۴۹
۴	آلومینوم ایران	/۹۹۹۹۹۹۹۶۰	۴۰۶	پتروشیمی آبادان	/۰۰۰۰۰۰۰۶۵۷
۵	البرز دارو	/۹۹۹۹۹۹۸۵۰	۴۰۷	پارس الکتریک	/۰۰۰۰۰۰۰۱۹۴

منبع: یافته‌های پژوهش

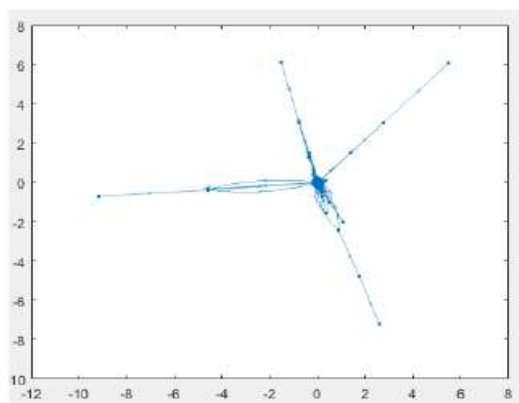
نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که در گروه‌ها با نسبت ارزش دفتری به ارزش بازار پایین‌تر، صرف‌نظر از سطح ریسک نکول، ریسک نکول بیشتر است لذا این استدلال که ریسک نکول متغیر کلیدی در توضیح یا توصیف است تأیید می‌شود. به این ترتیب با استفاده از این شاخص‌ها نمونه‌های مورد مطالعه شرکت‌ها رتبه‌بندی شدند. برای نمونه ۵ شرکت برتر با بالاترین احتمال عدم نکول و پنج مشتری آخر با بالاترین احتمال نکول نمایش داده شده است. پس از محاسبه احتمال عدم نکول شرکت‌ها و در نهایت رتبه‌بندی آن‌ها ملاحظه می‌شود که شرکت ۴۰۷ ام با کسب احتمال عدم نکول به میزان /۹۹۹۹۹۹۹۹۴ از اولویت بالاتری نسبت به بقیه شرکت‌ها برخوردار است. همچنین احتمال عدم نکول شدن شرکت‌ها ۱ ام برابر با /۰۰۰۰۰۰۰۰۱ به دست آمده و پایین‌ترین رتبه را در جمع شرکت‌های مورد مطالعه کسب می‌کند.

سرایت نکول

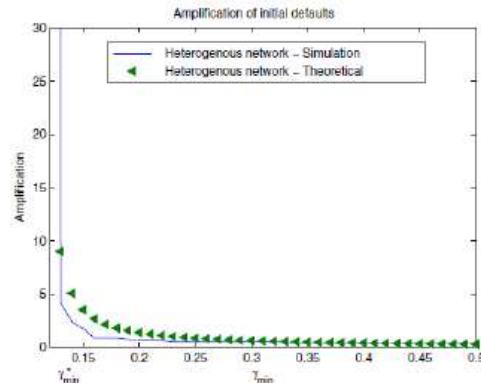
براساس داده‌های گردآوری شده شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های تصادفی به صورت زیر بیان می‌شود.



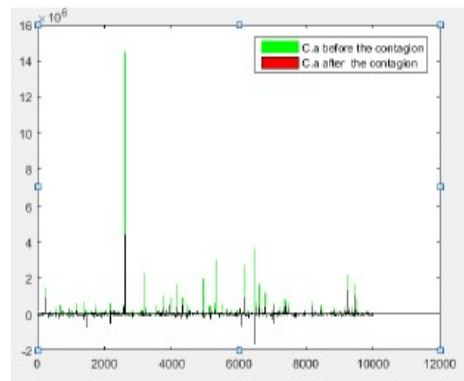
شکل ۵: توزیع درجات خروجی دارای دم پارتو با توان ۱,۹۸



شکل ۶: شبکه بین شرکت‌های با درجات دارای توان دم پارتو با توان ۱,۹۸



شکل ۷: سرمایه‌های در معرض خطر سرایت، قبل و بعد از سرایت نکول



شکل ۸: تکثیر سرایت نکول در شبکه‌های بدون مقیاس با دنباله درجات خروجی و ورودی دارای

توزیع پارتو با ضرایب دمی ۱،۹۸ و ۲،۱۹ و مواجهه‌ها با توزیع پارتو با ضریب دمی ۲،۶۱

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از این پژوهش مدل‌سازی سرایت نکول در شبکه مالی می‌باشد نتایج نشان داد عدم توانایی در اجرا کردن تعهدات یا نکول شرکت‌ها به‌طور تصادفی به هم مرتبط است. مؤسسات مالی به‌وسیله یک شبکه درهم‌تنیده و چندمنظوره با همدیگر مرتبط هستند. این حلقه‌های ارتباطی منجر به این می‌شود که سقوط و شکست یک شرکت منجر به فروریختن دیگر شرکت‌ها و مؤسسات همکار شود. نتایج مجانبی برای مقدار دقیق سرایت نکول در یک شبکه‌ی بزرگ معاملاتی استخراج می‌شود و برای مقدار مجانبی نکول محاسبات انجام شد و معیاری برای مقاومت یک شبکه‌ی بزرگ مالی در عدم توانایی بازپرداخت بدهی‌های خود و سرایت شوک از بخش‌های کوچک به بخش‌های بزرگ است. نتایج نشان داد که بر نقش

مدل‌سازی سربایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی‌سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدام‌مزرعه

پیوندهای مسری تأکید می‌کند و نشان می‌دهد موسساتی که بیشترین تأثیر را در بی‌ثباتی شبکه‌دارند ارتباط بیشتری با اعضای شبکه داشته و یا بخش بزرگی از پیوندهای مسری را در بردارند. گراف جهت‌دار با دنباله درجات داده‌شده و توزیع اختیاری از وزن در نظر گرفته شد. همچنین نتایج نشان داد که تطابق خوبی با شبیه‌سازی برای شبکه‌های با اندازه‌های واقع‌بینانه وجود دارد.

با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که افزایش ناهمگنی نظام مالی به کاهش ثبات مالی خواهد انجامد. این نتایج با تحقیقات انجام‌شده توسط چونک و ژائو (۲۰۱۹) و دستخوان و شمس قارنه (۱۳۹۶) منطبق است این پژوهش می‌تواند پیشنهادها سیاستی را برای بقا و تنظیم یک سیستم مالی ارائه شده فراهم آورد. علاوه بر این، چارچوب تحقیقی می‌تواند در تکنولوژی‌های حمایت از تصمیم و هوش تجاری برای مدل‌سازی و آنالیز طرح‌های مدیریت ریسک مالی گنجانده شوند مثل تست شرایط اضطرار. این پژوهش می‌تواند برای انجام تست‌های شرایط اضطراری و بررسی عملکرد سیاست‌های مداخله مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- (۱) فدایی، علی، علیرضایی، ابوتراب، هاشم‌زاده خوراسگانی، هاشم، فتحی‌هفشجانی، کیامرث (۱۴۰۰)، مدیریت ریسک مالی در صنعت خودروسازی با رویکرد تحلیل شبکه فازی، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۴۷، تابستان ۳۳۱-۳۴۴
- (۲) ایروانی، حمیدرضا، کردلوئی، حمیدرضا، رهنمای‌رودپشتی، فریدون، یزدانیان، نرگس (۱۴۰۰)، مدل‌سازی ریسک ساختار تأمین مالی مطابق تئوری تصمیم احتمالی از طریق ANP، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۴۷، شماره ۳۶۸-۳۸۹
- (۳) خیابانی، ناصر؛ محمدیان نیک‌پی، احسان. (۱۳۹۸)، تحلیل ریسک سیستمی در صنایع منتخب بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه پژوهش‌های اقتصاد ایران، شماره ۷۷، ص ۱-۳۶
- (۴) حکمتی فرید، صمد؛ رضازاده، علی؛ مالک، علی. (۱۳۹۸)، برآورد ریسک سیستمی در بخش مالی، فصلنامه مدل‌سازی اقتصاد، شماره ۴۳، ص ۱۲۲-۹۹
- (۵) حسینی، سیدعلی؛ رضوی، سیده سمیه. (۱۳۹۸)، نقش سرمایه در ریسک سیستمی شرکت‌ها مالی، پژوهش‌های تجربی حسابداری، شماره ۲۶، ص ۱۲۷-۱۴۷
- (۶) زمردیان، غلامرضا، کاشانی‌تبار، شهرزاد، خاکساریان، فاطمه (۱۳۹۸)، استفاده از شبکه‌های عصبی موجکی به منظور تعیین و ارزیابی تأثیرات ریسک سیستمیک بر بازده مالی سهام، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۳۹، ۱۹۲-۱۷۰
- (۷) رحیمی باغی، علی؛ عربصالحی نصر آبادی، مهدی؛ برزانی، محمد واعظ. (۱۳۹۸)، ارزیابی ریسک سیستمی در نظام مالی کشور با استفاده از روش شبکه علیت گرنجر، تحقیقات مالی، ۱۲۱-۱۴۲
- (۸) داداشی، حسن، نورعلی دخت، سمیرا، ۱۳۹۵، محاسبه احتمال سرایت نکول در شبکه‌های مالی، چهارمین همایش ریاضیات و علوم انسانی.
- (۹) دستخوان، حسین و شمس قارنه، ناصر، (۱۳۹۶)، مقایسه شاخص‌های ارزیابی ریسک سیستمی در شبکه‌های مالی: شناسایی شرکت‌های مهم از نظر سیستمی در بازار بورس تهران. فصلنامه مدل‌سازی ریسک و مهندسی مالی، ۲(۱)، ۱-۲۱
- (۱۰) Anagnostou, I., Sourabh, S., & Kandhai, D. (۲۰۱۹). Incorporating contagion in portfolio credit risk models using network theory. Complexity, ۲۰۱۹.
- (۱۱) Cheng.X.& Zhao.H. (۲۰۱۹). Modeling analysis and mitigation of contagion in financial systems. Economic Modelling. ۷۶، ۲۸۱-۲۹۲.

مدل سازی سرایت مخاطرات در شبکه مالی / حقی سیف‌الدین، رضائی، عبدی و اقدمزرعه

- ۱۲) Chong.C.& Kluppelberg.C. (۲۰۱۸). Contagion in financial systems: A Bayesian network approach. SIAM Journal on Financial Mathematics. ۹(۱). ۲۸-۵۳.
- ۱۳) Benbachir.S., El Haddad.M., & Benbachir.Y. (۲۰۱۸). Modeling Contagion Financial Risk using Entropy Algorithm and Round by Round Model. International Journal of Applied Engineering Research. ۱۳(۱۳). ۱۱۱۴۰-۱۱۱۵۰.
- ۱۴) Benbachir, S., El Haddad, M., & Benbachir, Y. (۲۰۱۸). Modeling Contagion Financial Risk using Entropy Algorithm and Round by Round Model. International Journal of Applied Engineering Research, ۱۳(۱۳), ۱۱۱۴۰-۱۱۱۵۰.

یادداشت‌ها :

-
- ۱ Market Risk
۲ Operational Risk
۳ Liquidity risk
۴ Credit risk
۵ zhao
۶ Leventides
۷ Cheng & Zhao
۸ Yu
۹ Anagnostou