بسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران

فرماندهی کل قوا

ستاد کل نیروهای مسلح

دانشگاه و پژوهشگاه عالی ملی و تحقیقات راهبردی

مرکز نخبگان و استعدادهای برتر

سازمان بورس و اوراق بهادار
SECURITIES & EXCHANGE ORGANIZATION

مرکز نخبگان و استعدادهای برتر نیروهای مسلح

گزارش خلاصه سیاستی

مدل‌سازی ریسک سیستمی با استفاده از واین کاپیولا
Modelling Systemic Risk Using Vine Copula

نام سازمان کاربر طرح:

سازمان بورس و اوراق بهادار (مرکز پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی)

نام مجری طرح:

اصغر ارم

استاد راهنما:

حسین سهرابی وفا

بهار ۱۴۰۲

چکیده

به‌طور کلی شرکت‌های بزرگ، نهادها و موسسات مالی در سیستمی فعالیت می‌کنند، که اگر بخشی از آن سیستم با ضعف در کارکرد خود مواجه شود، بر کل سیستم اثر گذاشته و باعث سرایت آن به سایر بخش‌ها و در مرحله بعد به بخش واقعی اقتصاد و رکود در جامعه منجرخواهد شد. تحقیق حاضر به کاربرد انواع توابع کاپیولای واین شامل C-Vine، D-Vine و R-Vine که یکی از ابزارهای آماری و ریاضیاتی توسعه یافته جدید است، در مدل‌سازی ساختار وابستگی صنایع مهم بورس و اوراق بهادار پرداخته است، تا بتوان به کمک آن ریسک سیستمی و مسیر انتقال سرریز ریسک یک صنعت خاص به سایر صنایع را مدل‌سازی کرد. علی‌رغم محبوبیت بالای مدل‌های کاپیولا در مدل‌سازی مباحث مالی و این کاپیولا با فراهم‌سازی انعطاف‌پذیری بیشتر، امکان مدل‌سازی الگوهای وابستگی پیچیده را با استفاده از گونه‌های قوی کاپیولای دو متغیره فراهم می‌کند که می‌تواند به صورت یک ساختار درختی به منظور کشف وابستگی‌های چندگانه مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

نتایج تحقیق حاکی از آن است که ساختار وابستگی‌ها در هر یک از روش‌های فوق به طور انعطاف‌پذیری تغییر می‌کنند و قابلیت بالایی در مدل‌سازی ریسک و انتخاب توزیع‌های به کار رفته برای مدل‌سازی وابستگی‌های متقابل دارد. نتیجه تحقیق نشان داد که مطابق مدل C-Vine، در درخت اول صنعت سرمایه‌گذاری نقش کلیدی در ساختار وابستگی ایفا می‌کند و در درخت دوم جایگاه مرکزی با صنعت شیمیایی به واسطه صنعت سرمایه‌گذاری می‌باشد و صنعت شیمیایی به واسطه صنعت سرمایه‌گذاری بیشترین سرریز ریسک سیستمی را با صنایع فلزات اساسی و چندرشته ای دارند. بر اساس نتایج حاصل از ساختار وابستگی مدل D-Vine، به ترتیب صنایع سرمایه‌گذاری و واسطه‌گری مالی به شرط صنعت خودرو و صنایع فلزات اساسی و شیمیایی به شرط صنعت چندرشته ای و صنایع کانه‌های غیرفلزی و املاک به شرط صنعت ماشین‌آلات بیشترین سرریز ریسک را به هم دارند. همچنین ساختار وابستگی بر مبنای مدل R-Vine نشان می‌دهد که به ترتیب صنایع فلزات اساسی و شیمیایی به شرط صنعت چندرشته ای، صنایع شیمیایی و سرمایه‌گذاری به شرط صنعت چندرشته ای، صنایع سرمایه‌گذاری و واسطه‌گری مالی به شرط صنعت خودرو و صنایع ماشین آلات و سرمایه‌گذاری به شرط صنعت املاک بیشترین وابستگی و سرریز ریسک را به هم دارند.

مقایسه عملکرد مدل‌های مورد استفاده نشان می‌دهد که بر اساس آماره اطلاعات آکائیک و لوگ درستنمایی، توابع کاپیولای C-Vine و R-Vine توانسته‌اند داده‌ها را به‌طور معناداری بهتر از مدل D-Vine برازش کنند و ساختار وابستگی صنایع مورد بررسی را نشان دهند. همچنین نتایج آزمون وونگ حکایت از آن دارد که اختلاف معناداری بین عملکرد مدل‌های C-Vine و R-Vine وجود ندارد و هر دو مدل توانایی یکسانی را در مدل‌سازی ریسک سیستمی لحاظ آماری دارند. در نهایت این پژوهش نشان می‌دهد که ساختارهای واین کاپیولا ابزارهای مناسبی برای توضیح ساختار وابستگی میان صنایع بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران محسوب می‌شوند.

۱- مقدمه

امروزه با توسعه زیرساخت‌های ارتباطی و اتصال بازارهای مالی مختلف به یکدیگر، هر نوع اختلال یا آشفتگی در یکی از اجزای نظام مالی می‌تواند منجر به‌بروز بحران در کل نظام اقتصـادی شـود. اهمیت این موضـوع به حدی است که در اکثر موارد انتقال سریع بحران از نهاد بحران زده به سایر نهادها در یک بازار مالی مانند بانک و سرایت آن به سایر بازارها مانند بورس اوراق بهادار موجب درگیر شدن کل نظام مالی در سطح کلان با اثرات بحران می‌شود. این امر پژوهشگران را بر آن داشته است تا در راستای کنترل بازارهای مالی مختلف، اجتناب از وقوع بی ثباتی و بحران در نظام مالی و همچنین اتخاذ تدابیر پیشـگیرانه برای مقابله با بحران به مسـاله اندازه‌گیری و مدل‌سازی ریسک سیستمی بپردازند.

از سوی دیگر، با توجه به‌وجود وابستگی میان زیربخش‌های بازار سرمایه، به منظور مدل‌سازی ریسک ناشی از یک حوزه خاص، وابستگی میان آن‌ها باید مدنظر قرار گیرد تا بتوان به درستی ریسک سیستمی را مدل‌سازی کرد. به عبارت دیگر، ابتدا باید تابع توزیع ریسـک وارد بر هر شـاخص به نحو مطلوبی برآورد شـود و سـپس باید تابع توزیع توأم وارد بر شـاخص‌ها به‌طور صـحیح مدل‌سـازی شـود. تحلیل‌های چندمتغیره یکی از ابزارهای مورد استفاده در چنین حالت‌هایی می‌باشند. درخصوص بهره‌گیری از توزیع نرمال و توزیع‌های غیرنرمال چندمتغیره در راستای مدل‌سازی تابع توزیع احتمالات توأم، علی‌رغم وجود ادبیات موضوعی زیاد(کرزانوسکی، ۱۹۸۸؛ اندرسون، ۱۹۵۸؛ جانسون و ویچرن، ۱۹۸۸)، چند ایراد اساسی به این توزیع‌ها وارد می‌شود که عبارت‌اند از:

- برای هر تابع توزیع حاشیه‌ای[۱]، خانواده متفاوتی لازم است.
- توسعه به حالت‌های بیش از دو متغیر چندان واضح نیست.
- نوع همبستگی متغیرها متأثر از توزیع حاشیه‌ای آن‌ها است.

ساخت توزیع چندمتغیره‌ای که عاری از این ایرادها باشد، بر مبنای مفهوم تابع کاپیولا[۲] بنا شده است. در واقع کاپیولاها به ما کمک می‌کنند که تابع احتمال مشـترک را مجزا از تابع توزیع حاشـیه‌ای تخمین بزنیم (باجلان و همکاران، ۱۳۹۶). هدف از انجام این تحقیق، مدل‌سـازی ریسـک سـیسـتمی و سـاختار وابسـتگی شـاخص‌ها و صنایع مهم بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از انواع توابع واین کاپیولا می‌باشد.

۲- بیان مسأله

ریسـک سـیسـتمی به معنای ریسـک فروپاشـی کل سـیسـتم مالی به دلیل ضـعف یک جزء (موسسـه مالی) از سیستم است. به عقیده کوبیتزا و گراندل[۳]،(۲۰۱۶)، ریسک سیستمی ناشی از سرایت رویدادهای شدید مالی است که همراه با پیامدهای سیسـتمی و دارای جهت مشـخصـی بوده و از سوی نهادهای مالی به بازار منتقل می‌شود.

---

۱ . Marginal Distribution
۲ . Copula Function
۳. Kubitza & Grundl

به‌عبارتی دیگر، ریسک سیستمی بیان‌کننده احتمال بحرانی شدن کل سیستم مالی در نتیجه بحرانی شدن یک یا چند بخش از بازار است. پایه و اساس ریسک سیستمی، همبستگی بین زیان نهادهای مالی مختلف است که همبستگی شدید بین آن‌ها، زیان یک نهاد یا چند نهاد مالی مهم به نهادهای دیگر نیز سرایت می‌کند(چاوشی و شیر محمدی، ۱۳۹۴). به این دلیل به آن ریسک سیستمی گفته می‌شود که روی کل سیستم اثر فراگیر می‌گذارد و به سرعت در کل بازار سرمایه یا کل اقتصاد کشور منتشر شده و به بحران تبدیل می‌شود(اسماگا[۱]، ۲۰۱۴).

از آنجا که به‌طور کلی پیش‌بینی ریسک سیستمی دشوار تلقی می‌شود، یافتن روش‌های مطمئن‌تر برای سنجش ریسک سیستمی بسیار حیاتی است. سری زمانی بازارهای سهام شامل اطلاعات با سطح پیچیدگی بالایی است. اندازه‌گیری ریسک سیستمی در بازارهای سهام از طریق شبکه‌های پیچیده پویا ساخته شده توسط سری زمانی شاخص‌های سهام امکان‌پذیر است. ریسک سیستمی به احتمال نوسانات و بحران‌های کل سیستم‌های مالی ناشی از برخی فعالیت‌های مالی، تصمیمات یا معاملات اشاره دارد. با این حال، هنگامی که این حوادث غیر عادی رخ می‌دهد، موسسات مالی فردی نیز متحمل خسارات اقتصادی می‌شوند. با توجه به ماهیت بی ثبات بازارهای سهام، یافتن راه‌های جدید برای اندازه‌گیری موثر ریسک سیستمی بسیار مهم است.(چن[۲]، و دیگران، ۲۰۲۰)

از طرفی شناسایی، اندازه‌گیری، کنترل و پایش ریسک سیستمی و ارائه رهنمودهای مبتنی بر مدیریت ریسک در راستای ساماندهی، حفظ، تقویت و توسعه بازار و بهبود فضای کسب و کار در بازار سرمایه و همچنین انجام پژوهش‌های توسعه‌ای و کاربردی جهت تدوین برنامه انعطاف‌پذیر برای پیشگیری از وقوع ریسک سیستمی یکی از دغدغه‌های اصلی کنونی سازمان بورس به‌عنوان سیاست‌گذار و نهاد ناظر بر بازار سرمایه است. لذا طراحی و ارائه شبکه فرایندهای مدیریت و کنترل اثربخش ریسک سیستمی در این نهاد جهت شناسایی، برآورد و مدیریت ریسک سیستمی کمک کننده است. در این حوزه، از جمله اهداف کلی سازمان بورس اوراق بهادار به توسعه روش‌ها و رویکردهای آماری به‌منظور شناسایی ریسک‌های سیستمی، روندها یا تغییرات مقرراتی در بازار سرمایه و کمک به تدوین مقررات در بازار سرمایه اشاره شده است. از منظر تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران جهت کانالیزه کردن توجهات به فراهم آوردن و توسعه قوانین کارا امری ضروری است.

تحقیق حاضر به‌دنبال مدل‌سازی ریسک سیستمی و تبیین روابط سیستمی بین صنایع مختلف بازار سرمایه ایران می‌باشد. در واقع، تحقیق حاضر در پی پاسخ به این سوال است که آیا صنایع بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران از نقطه نظر اهمیت سیستمی با یکدیگر تفاوت دارند؟ و ساختار وابستگی میان آن‌ها چگونه است؟

با توجه به وجود وابستگی میان زیربخش‌های مختلف بازار سرمایه، به‌منظور مدل‌سازی ریسک ناشی از یک حوزه خاص، وابستگی میان آن‌ها باید مدنظر قرار گیرد تا بتوان به‌درستی ریسک سیستمی را مدل‌سازی کرد. به عبارت دیگر، ابتدا باید تابع توزیع ریسک وارد بر هر شاخص به نحو مطلوبی برآورد شود و سپس تابع توزیع پیوسته وارد بر شاخص‌ها به‌طور صحیح مدل‌سازی شود. تحلیل‌های چندمتغیره یکی از ابزارهای مورد استفاده در

---

۱. Smaga
۲. Chen et al

چنین حالت‌هایی می‌باشـد. درخصـوص بهره‌گیری از توزیع نرمال و توزیع‌های غیرنرمال چندمتغیره در راسـتای مدل‌سـازی تابع احتمالات مشـترک، ادبیات موضـوعی زیادی وجود دارد(کرزانوسـکی[۱]، ۱۹۸۸؛ اندرسـون[۲]، ۱۹۵۸؛ جانسون و ویچرن[۳]، ۱۹۸۸)؛ اما چند ایراد اساسی به این توزیع‌ها وجود دارد که عبارت‌اند از:

برای هر تابع توزیع حاشیه‌ای۴، خانواده متفاوتی لازم است.

- توسعه به حالت‌های بیش از دو متغیر چندان واضح نیست.
- نوع همبستگی متغیرها متأثر از توزیع حاشیه‌ای آن‌ها است.

ساخت توزیع چندمتغیره‌ای که بدون ایراد باشد، بر مبنای مفهوم تابع کاپیولا[۵] بنا شده است. در واقع کاپیولاها به ما کمک می‌کنند، که تابع احتمال مشـترک را مجزا از تابع توزیع حاشیه‌ای تخمین بزنیم.(باجلان و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به آنچه گفته شد، به نظر می‌رسد، کاربرد رهیافت واین کاپیولا [۶]در تبیین ساختار وابستگی بین صنایع مختلف بورس و فرابورس، می‌تواند نتایج قابل اعتمادتری را ارائه دهد؛ لذا در این پژوهش، سـاختار وابسـتگی بین بازارهای مالی در ایران با اسـتفاده از توابع مفصـل واین اندازه‌گیری خواهد شـد. در واقع اسـتفاده از تئوری واین کاپیولا در برآورد سـاختار وابسـتگی بین صـنایع مختلف بورس و فرابورس ایران، ایده اصـلی و جنبه نوآوری این تحقیق است، که سبب تمایز آن از دیگر مطالعات مشابه می‌باشد. این ساختار در ادبیات مدیریت و اقتصاد مالی از جدیدترین ابزارها برای بررسی ساختار وابستگی بین داده‌های سری زمانی است.

۳- مبانی نظری و پیشینه

بحران مالی ۲۰۰۸ سبب شد بحث ریسک سیستمی در بازارهای مالی مورد توجه سیاستگذاران اقتصاد کلان قرار گیرد و ضرورت برنامه ریزی جهت اقدامات پیشگیرانه در راستای کاهش احتمال وقوع بحران و یا ارائه راهکار برای مقابله با آن در صورت بروز بیش از پیش احساس می شود. از آن زمان، علاقه زیادی به توسعه مدلهای دقیق برای تعیین ساختار وابستگی ریسک نکول بین موسسات مالی شکل گرفته است. اگرچه مقررات مالی فعلی تلاش کرده اند تا از طریق الزامات سرمایه بازل، ریسک سیستمی را مدیریت کنند، اما اقدامات آنها ماهیتی کاملاً احتیاط آمیز دارد، به این دلیل که آنها سعی می کنند ریسک هر موسسه را محدود کنند.

محبوبیت مدل‌های کاپیولا به دلیل قضیه اسکلار(Sklar, ۱۹۵۹) است که مدل‌سازی توزیع‌های حاشیه‌ای را می‌توان از نظر وابستگی از مدل‌سازی وابستگی جدا کرد. قضیه اسکلار به عنوان قضیه اساسی در مدلسازی کاپیولا، نقش کاپیولاها را برای توصیف وابستگی در آمار بیان می کند و ارتباط بین توابع توزیع چند متغیره و

---

۱. Krzanowski, W. J.
۲. Anderson, T.W.
۳. Johnson, R. A. & Wichern, D. W.
٤. Marginal Distribution
٥. Copula Function
٦ . Vine Copula

حاشیه تک متغیره آنها را فراهم می کند. مشکل اصلی در کاربردهای عملی، شناسایی کاپیولای مناسب است. از همه مهم‌تر، کاپیولاها یک چارچوب مناسب برای اندازه‌گیری وابستگی شدید بین دو متغیر تصادفی فراهم می‌کنند. در یک دوره بحرانی، همبستگی‌های مالی معمولاً افزایش می‌یابد(Das et al, ۲۰۰۷; Duffie et al, ۲۰۰۹). ازاین‌رو، استفاده از یک مدل همبستگی با حرکات زیاد در دنباله پایین توزیع مفصل مطلوب خواهد بود. بااین‌حال ، شناسایی خانواده‌های کاپیولا برای مسائلی با ابعاد بیش از دو متغیر به‌عنوان مشکل اصلی باقی مانده است. مطالعات برچمن و شپسمیر(۲۰۱۳) نشان می‌دهد که کاپولاهای چند متغیره استاندارد مانند گوسی و t استیودنت فاقد انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی دقیق وابستگی بین تعداد بیشتری از متغیرها هستند. تعمیم این موارد تا حدی پیشرفت می‌کند ، اما به‌طورمعمول در ساختار آن‌ها کاملاً پیچیده می‌شود و ازاین‌رو محدودیت‌های دیگری ازجمله محدودیت پارامترها را نشان می‌دهد(Pourkhanali et al, ۲۰۱٦).

برای جلوگیری از این مشکلات، استفاده از واین کاپیولا برای مدل‌سازی دقیق‌تر وابستگی در بین تعداد بیشتری از متغیرها پیشنهاد می‌شود. واین کاپولا در ابتدا توسط جو (۱۹۹۶) پیشنهاد شد و بعدها توسط سایر محققین مانند بدفورد و کوک[۱] (۲۰۰۱)، بدفورد و کوک (۲۰۰۲) و کورورویکا و کوک[۲] (۲۰۰۶) توسعه یافت. آن‌ها برای ساختن کاپولاهای چند متغیره از آبشارهای زوجی دومتغیره معروف به کاپولای زوجی استفاده می‌کنند، به‌این‌ترتیب که یک چگالی احتمال چند متغیره می‌تواند به کاپیولاهای دو متغیر تجزیه شود. ازآنجاکه هر کاپیولای زوجی به‌طور مستقل انتخاب می‌شود، یک چارچوب بسیار منعطفی برای مدل‌سازی وابستگی در ریسک فراهم می‌کند. از همه مهم‌تر، عدم تقارن همبستگی و وابستگی دنباله می‌تواند در نظر گرفته شود تا مدل‌های مناسب‌تر ساخته شود. به‌طور خلاصه، واین ها انعطاف‌پذیری کاپیولاهای دومتغیره و مزایای مدل‌سازی کاپیولاهای چند متغیره (یعنی جداسازی مدل حاشیه‌ای و وابستگی) را با هم ترکیب می‌کنند(Pourkhanali et al, ۲۰۱٦).

طی دهه گذشته، مدل سازی کاپیولا به ابزاری فراگیر در اقتصاد مالی تبدیل و بسیار مورد استفاده قرار می گرفته است. ساختارهای مبتنی بر کاپیولا اخیراً در سیر تکاملی مدل سازی چند متغیره مورد استفاده قرار گرفته است که در میان این ساختارها، ساخت کاپیولای زوجی (PCC) جالب توجه است. در ابتدا جو[۳] در سال ۱۹۶۶ PCC را مطرح و بررسی بیش‌تر خصوصیات آن توسط بدفورد و کوک[۴] (۲۰۰۱ و ۲۰۰۲) و همچنین کروویکا و کوک[۵] (۲۰۰۶) انجام شد.

[۱] Bedford and Cooke
[۲] Kurowicka and Cooke
[۳] Joe
[۴] Bedford and Cooke
[۵] Kurowicka and Cooke

آس و همکاران[۱] در سال ۲۰۰۹ ایده های استنباطی کلیدی را ارائه داده اند که باعث تحریک استفاده از PCC در برنامه های مختلف شده است. آلن و همکاران[۲] (۲۰۱۳) تصویری از استفاده از کاپیولا های R-Vine در مدل سازی وابستگی در میان سهم های ترکیبی میانگین صنعتی داو جونز ارائه می دهند و مطالعه حاضر نیز به دنبال استفاده از این روش است.

همچنین از مدل های کاپیولا به منظور مدل سازی ساختار وابستگی دارایی های مالی استفاده شده است. به عنوان مثال، باتی و نگوین[۳] (۲۰۱۲) از نظریه ارزش فرین شرطی[۴] و کاپیولای متغیر برای بررسی وابستگی دنباله ها بین بازارهای سهام بین المللی منتخب استفاده کردند. نایفر (۲۰۱۲) نیز ساختار وابستگی بین صرف ریسک، بازده سهام و نوسانات با ریسک پرش[۵] را مدل سازی کرد.

آس و همکاران[۶] (۲۰۰۹) واین کاپیولا را با توصیف تکنیک های استنباط آماری برای دو کلاس C-Vine و D-Vine توصیف کردند و این موضوع را وارد ادبیات مالی و بیمه کردند. علی رغم بهبود کلی که واین کاپیولا فراهم می کند، این طبقه بندی متعلق به یک کلاس کلی از واین های معمولی یا R-vines هستند که می توانند در یک مدل نظری گرافیکی برای تعیین اینکه کدام یک از زوج ها در تجزیه کاپیولای زوجی شامل شوند، به تصویر کشیده شوند. بنابراین واین ابزاری گرافیکی برای برچسب گذاری محدودیت ها در توزیع های با ابعاد بالا است.

این حوزه از ادبیات به سرعت گسترش یافته است. ژنگ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده های مربوط به ۱۰ شاخص سهام بین المللی بین سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ به مدلسازی ساختار وابستگی میان بازارهای سهام با استفاده از رویکردهای C-Vine ، D-vine و R-Vine پرداختند. پس از انجام این مرحله، پژوهشگران مذکور با استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو به محاسبه و پیش بینی ارزش در معرض خطر (VaR) و ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR) برای سبدی هم وزن متشکل از شاخص های بین المللی دهگانه، بر پایه ساختار وابستگی تخمین زده شده برمبنای توابع کاپیولا و ساختارهای واین کاپیولا پرداختند و دقت محاسبات مربوط به ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی با استفاده از آماره های مختلف کریستوفرسن (۱۹۹۲) مورد سنجش قرار گرفت.

---

[۱] Aas et al

[۲] Allen et al

[۳] Bhatti and Nguyen

[۴] conditional extreme value theory

[۵] Jump-Risk

[۶] Aas et al

گیدوش و فیشر[۱] (۲۰۱۶) هنگام مدل سازی ساختار وابستگی پرتفوی اعتباری، برتری واین کاپیولا نسبت به کاپیولاهای مرسوم را نشان می دهند. فیشر و همکاران (۲۰۱۷) از رگرسیون کوانتایل مبتنی بر واین کاپیولا برای بررسی بخشهای صنعت آلمان استفاده کردند.

شفر و وی[۲] (۲۰۱۷) از کاپیولاهای واین غیرپارامتریک برنشتاین[۳] به عنوان کاپیولاهای زوجی دو متغیره برای مدل سازی VaR[۴] در مدل GARCH استفاده کردند. آس (۲۰۱۶) به بررسی روشهای استنباط و آزمونهای نیکویی برازش[۵] به منظور ساخت کاپیولای زوجی برای کاربردهای مالی، به علاوه کاربردهای تجربی این مدل ها در حوزه مالی و اقتصاد پرداخت. آلن، مک آلیر و سینگ (۲۰۱۷) ساختار R-Vine را برای مطالعه وابستگی های متقابل بازار برازار بزرگ مالی اروپا در قالب شاخص های انفرادی هر یک از بازارها و شاخص ترکیبی یورو استاکس۵۰ و شاخص متوسط صنعتی داو جونز به کار گرفتند. نمونه انتخابی این پژوهشگران بین سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ مطالعه نحوه تغییر همبستگی میان بازارهای مورد بررسی را در شرایط اقتصادی مختلفی امکان پذیر ساخت. نتایج حاصل از این تحقیق حکایت از آن دارد که همبستگی میان بازارهای مالی به گونه ای پیچیده تغییر می کند.

طی سال های اخیر پژوهش های داخلی معدودی به مدلسازی ریسک با رویکرد کاپیولا پرداخته اند. طالبلو و داودی (۱۳۹۷) به بررسی ساختار وابستگی پرتفوی بهینه ۴ شاخص مالی، شیمیایی، دارویی و خودرو با استفاده از الگوهای مختلف خانواده کاپیولا پرداختند. آن ها برای مدل سازی تلاطم‌های بازده دارایی‌ها از الگوهای مختلف خانواده گارچ و به منظور مدل سازی دم‌های توزیع از الگوی نظریه ارزش فرین استفاده کردند. همچنین برای محاسبه ریسک پرتفوی دارایی از الگوی ریزش مورد انتظار استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد شاخص شیمیایی بیشترین وزن را در الگوی بهینه سرمایه‌گذاری به خود اختصاص می‌دهد. همچنین برای رسیدن به بازده بیشتر (و البته به شرط تحمل ریسک بالاتر)، می‌توان وزن شاخص دارویی را در پرتفوی دارایی افزایش داد. شاخص خودرو نیز به دلیل نوسانات بسیار بزرگ در هیچ یک از پرتفوی های سرمایه گذاری وزن قابل توجهی ندارد. نتایج آزمون شارپ نیز نشان داد که دو الگوی کاپیولای فرانک و گامبل در متنوع سازی پرتفوی سرمایه‌گذاری کاراتر عمل کردند.

صیادی و کریمی (۱۳۹۸) با استفاده از واین کاپیولا به مدل‌سازی وابستگی بین بازدهی سهام گروه محصولات شیمیایی، رشد قیمت نفت و رشد نرخ ارز در ایران و محاسبه ارزش در معرض ریسک پرداختند. یافته های پژوهش نشان می‌دهد، هر دو جفت از بازدهی‌های مدل‌سازی‌شده وابستگی یکسانی به دنباله بالایی و

---

[۱] Geidosch and Fisher

[۲] Scheffer and Weiÿ

[۳] Bernstein

[۴] Value at Risk

[۵] Goodness-of-Fit Tests

پایینی دارد. بین بازدهی سهام گروه محصولات شیمیایی و رشد نرخ ارز به شرط رشد قیمت نفت خام وابستگی ساختاری مشخصی بر اساس توابع کاپولای واین در دنباله های توزیع وجود دارد که نشان‌دهنده سرایت بین بازار محصولات شیمیایی و نرخ ارز است. همچنین، بین بازده سهام گروه محصولات شیمیایی و رشد قیمت نفت خام به شرط رشد نرخ ارز وابستگی ساختاری مشخصی براساس توابع کاپولای واین در دنباله‌های توزیع وجود دارد که نشان دهنده سرایت بین بازار محصولات شیمیایی و نفت خام است. با توجه به اینکه سرایت نوسان منشاء اصلی ریسک مالی است، لحاظ وابستگی ساختاری بر اساس توابع کاپولای واین می‌تواند برآورد قابل اعتمادی از ریسک پرتفوی بر اساس معیار ارزش در معرض ریسک فراهم آورد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد اختلاف معناداری بین مدل های C-Vine و D-Vine در مدلسازی ساختار وابستگی بین بازدهی سهام گروه محصولات شیمیایی، رشد قیمت نفت و رشد نرخ ارز در ایران وجود ندارد.

خلیلی و تهرانی (۱۳۹۸) با بکارگیری رویکرد واین کاپیولای کانونی (C-Vine)، به بررسی و مدل‌سازی ساختار وابستگی میان اجزای تشکیل دهنده سیستم مالی ایران پرداختند. بدین منظور، محققین از شاخص گروه‌های بانک، سرمایه‌گذاری، بازنشستگی، بیمه و سایر مالی استفاده کردند. نتیجه بررسی نشان می‌دهد که ارتباط معنادار و متقارن میان زیربخش‌های شاخص مالی بورس اوراق بهادار تهران وجود دارد. در نهایت با کاربرد نتایج ساختارهای واین کاپیولا در تخمین سنجه ارزش در معرض خطر، نتایج قابل قبولی حاصل شده است.

٤- روش تحقیق

در این تحقیق ریسک سیستمی نظام مالی کشور با استفاده از توابع واین کاپیولا مدل‌سازی شده است. بدین منظور ساختار وابستگی میان متغیرها (شاخص‌ها) توسط توابع واین کاپیولا مدل‌سازی می‌شود. با توجه به این که تحقیق حاضر با به‌کارگیری مشاهده عینی و تحلیل ثانویه داده‌ها انجام خواهد شد، با رویکرد اثباتگرایی هم‌خوانی دارد. تحقیق حاضر از منظر نتیجه پژوهش کاربردی است؛ زیرا به‌دنبال ارائه مدلی جهت اندازه‌گیری ریسک سیستمی بوده و نتایج حاصل از آن جهت نظارت و پایش ریسک سیستمی در بازارهای مالی و پولی به‌منظور، پیش‌بینی بروز اختلال و آشفتگی در هر یک از اجزای سیستم بازار و تعریف اقدامات پیشگیرانه از سوی سیاست‌گذاران قابل استفاده است. ازآنجایی‌که این پژوهش به کمک روش‌های کمّی به دنبال مدل‌سازی ریسک سیستمی است، از نظر نوع روش یک روش کمّی محسوب می‌شود. این پژوهش از نظر هدف در گروه پژوهش‌های توصیفی از نوع همبستگی قرار دارد.

پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های روزانه مربوط به شاخص‌های اشاره شده از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۴۰۰ اجرا خواهد شد. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به شاخص‌های اشاره شده، محاسبه بازدهی لگاریتمی روزانه هر یک از شاخص‌ها، به صورت پیوسته انجام خواهد شد.

۵- نتایج تحقیق

تحقیق حاضـــر به کاربرد انواع توابع واین کاپیولا از جمله C-Vine، D-Vine و R-Vine در مدل‌ســـازی ساختار وابستگی صنایع مهم بورس و اوراق بهادار در راستای کمک به مدل‌سازی ریسک سیستمی و مسیر انتقال سرریز ریسک آن صنعت به سایر صنایع پرداخته است. پایه و اساس ریسک سیستمی به وابستگی زیاد بین صنایع بر می‌گردد؛ که اختلال در یک صنعت می‌تواند به سایر صنایع سرایت نماید و در نهایت منجر به فروپاشی کل سیستم گردد.

تحقیق حاضر به دنبال پاسخ دادن به دو سوال اصلی بوده است. اولین سوال عبارت بود از اینکه آیا صنایع بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران از نقطه نظر اهمیت ریسک سیستمی با یکدیگر تفاوت دارند؟ مطابق با ادبیات تحقیق حوزه ریسک و مدل‌سازی ریسک، اهمیت ریسک سیستمی در تحقیق حاضر در قالب ساختار و میزان وابستگی میان زیربخش‌های مختلف بازار سرمایه تعیین شده است. یافته های تحقیق نشان داده است که در مدل C-Vine صنعت سرمایه گذاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است و نقش کلیدی در ساختار وابستگی بین صنایع مختلف دارد و صنعت شیمیایی به واسطه این صنعت بیشترین سرریز ریسک را با صنایع فلزات اساسی و چندرشته ای دارد. در مدل D-Vine نیز صنایع سرمایه گذاری و واسطه‌گری مالی به واسطه صنعت خودرو و صنایع فلزات اساسی و شیمیایی به واسطه صنعت چندرشته ای به هم وابستگی بالا و سرریز ریسک سیستمی دارند. در نهایت نتایج ساختار وابستگی R-Vine نشان داد که صنایع فلزات اساسی و شیمیایی به واسطه صنعت چندرشته ای، صنایع شیمیایی و سرمایه گذاری به واسطه صنعت چندرشته ای، صنایع سرمایه گذاری و واسطه‌گری مالی به واسطه صنعت خودرو و صنایع سرمایه گذاری و ماشین آلات به واسطه صنعت املاک سرایت ریسک بالایی به هم دارند. بنابراین نتایج تحقیق حاکی از آن است که ساختار وابستگی‌ها در هر یک از روش‌ها به‌طور پیچیده‌ای تغییر می‌کند و یکی از جذابیت‌های رویکرد واین کاپیولا به مدل‌سازی ریسک، انعطاف‌پذیری موجود در مدل‌سازی وابستگی‌های متقابل است. لذا می‌توان بیان نمود که صنایع مختلف بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران از نقطه نظر اهمیت ریسک سیستمی با یکدیگر تفاوت داشته و ریسک سیستمی از طریق صنایع خاصی می‌تواند به سایر صنایع منتقل گردد.

سوال دوم تحقیق حاضر عبارت بود از اینکه آیا توابع واین کاپیولا می‌تواند ساختار وابستگی میان صنایع بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران را توضیح دهند؟ نتایج تحقیق نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه هر سه مدل بکار رفته در تحقیق، به نوعی ساختار وابستگی بین صنایع مختلف را نمایش داده اند، مدل‌های کاپیولای C-Vine و R-Vine توانسته‌اند عملکرد قابل قبولی در مدل‌سازی ساختار وابستگی صنایع مختلف بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران از خود نشان دهند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد کاپیولای C-Vine توانسته است داده‌ها را بهتر از سایر روش‌ها برازش کند و ساختار وابستگی صنایع مورد بررسی را نمایش دهد. همچنین مدل R-Vine عملکرد بهتری نسبت به D-Vine داشته است. مقایسه عملکرد مدل‌های C-Vine و R-Vine نشان می‌دهد علی‌رغم بهتر بودن معیارهای مقایسه‌ای (آماره آکائیک، آماره بیزین و لوگ درستنمائی) C-

Vine نسبت به R-Vine، این برتری در آزمون وونگ تایید نشد و به لحاظ آماری بین مدل‌های C-Vine و R-Vine اختلاف معناداری مشاهده نشد. بنابراین ساختارهای واین کاپیولا ابزارهای مناسبی برای توضیح ساختار وابستگی میان صنایع بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران محسوب می‌شوند.

ساختار وابستگی تشکیل شده در مدل های واین کاپیولا به خوبی ارتباط و سرریز بالای ریسک بین صنایع دلاری و همچنین بین صنایع ریالی نشان داده است. ساختار وابستگی تشکیل شده در هر سه مدل نشان داد صنایع شیمیایی، فلزات اساسی و چندرشته ای که به عنوان صنایع کامودیتی محور شناخته می شوند و محصولات صادراتی دارند بیشترین سرریز ریسک را به یکدیگر دارند. در مقابل صنایع ریالی مانند خودرو واسطه گری مالی (صنعت لیزینگ) که نرخ فروش محصولات آن ها به ریال محاسبه می‌شود و نماینده صنایع ریالی کشور محسوب می شوند دارای سرریز ریسک بالایی به همدیگر هستند.

نتایج تحقیق از لحاظ عملکرد مدل‌های واین کاپیولا در مدل‌سازی ساختار وابستگی صنایع با یافته‌های صیادی و کریمی (۱۳۹۸) که از C-Vine و D-Vine و خلیلی و تهرانی (۱۳۹۸) که از C-Vine استفاده کرده‌اند هم‌خوانی دارد اما مقایسه عملکرد مدل‌های تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد C-Vine اختلاف معناداری با عملکرد D-Vine دارد که از این حیث با یافته‌های صیادی و کریمی (۱۳۹۸) هم‌خوانی ندارد.

٦- پیشنهادها

طی پژوهش حاضر گامی در راستای مدل‌سازی ریسک سیستمی در قالب ساختار وابستگی صنایع مختلف، تشخیص مسیر انتقال ریسک و سرریز ناشی از آن و میزان تأثیرپذیری صنایع از شوک صنایع بورس اوراق بهادار تهران برداشته شد. با توجه به نتایج حاصله و همچنین اثرات مخرب ناشی از سرریز و وابستگی دنباله‌ای این ریسک بر بخش مالی و اقتصاد حقیقی و همچنین اثرات مخرب بروز بحران در بازار مالی کشور، موارد زیر به عنوان پیشنهاد ارائه می‌گردد:

- در تحقیق حاضر ابزار مدل‌سازی ریسک سیستمی با استفاده از ۳ نوع واین کاپیولا شامل C-Vine، D-Vine و R-Vine بر مبنای ۱۰ صنعتی که بیشتری میانگین ضریب همبستگی را داشته‌اند طی بازه زمانی ۲۰۱۰/۱۰/۰۲ تا ۲۰۲۱/۱۲/۰۵ انجام شده است. لذا با مفروضات مختلف می‌توان به خروجی‌های مختلف و ارزشمندی دست یافت که در ذیل به چند مورد از آن می‌توان اشاره کرد:
  - اجرای مدل بر روی ۱۰ صنعت بر مبنای داشتن بیشترین وزن در بازار سرمایه ایران را دارند و تعیین ساختار وابستگی صنایع
  - اجرای مدل بر اساس دورهای زمانی مختلف از جمله دوران رونق، رکود و یا دوران قبل از بحران و بعد از بحران
  - اجرای مدل و تحلیل ساختار وابستگی بر روی شرکت‌ها و موسسات مالی بزرگ مانند شرکت‌های سرمایه‌گذاری بزرگ و هلدینگ‌های چندرشته‌ای به جای صنعت

- تحلیل حاضر را می‌توان با رویکردهای شرکت بر صنعت و صنعت بر سیستم نیز مورد بررسی قرار داد.

- به دلیل ارتباطات و وابستگی میان اجزای نظام اقتصادی از جمله نهادهای مالی و شرکت‌های بزرگ، اهمیت و ضرورت ریسک سیستمی در بازارهای مالی ایران بالا بوده و در صورت بروز هر نوع اختلال و بحران در نهادها و صنایع مهم بر کل سیستم اثر فراگیر و موجب بحران در کل اقتصاد خواهد شد. لذا به سازمان بورس و اوراق بهادار پیشنهاد می‌شود ضمن تشکیل کمیته‌های تخصصی جهت نظارت دوره‌ای بر ساختار وابستگی صنایع مختلف و رصد تغییرات ناشی از آن در راستای نظارت موثرتر بر بازار سرمایه، نحوه اثرگذاری این نهادها بر همدیگر و کانال‌های انتقال ریسک شناسایی شده و در قالب داشبوردهای مدیریتی به صورت دوره‌ای رصد و مورد بررسی قرار دهد.
- به سازمان بورس و اوراق بهادار پیشنهاد می‌شود نسبت به راه‌اندازی و تاسیس یک نهاد ناظر ریسک سیستمی متشکل از نهادهای مالی کشور از جمله بانک مرکزی، بیمه مرکزی و بورس و اوراق بهادار اقدام نماید. در این نهاد ضمن نظارت بر بازارهای مالی و رصد وضعیت کلان اقتصاد و وضعیت مالی نهاد ها و شرکت های موثر در سرریز ریسک سیستمی، از طریق سیاستگذاری کلان و ایجاد هماهنگی بین این مجموعه ها ثبات در بازارها را کنترل کند.
- به سازمان بورس و اوراق بهادار پیشنهاد می شود نسبت به شناسایی مراکز اصلی وابستگی ریسک سیستمی از بین صنایع یا نهادها و شرکت های بزرگ اقدام نموده و سازماندهی لازم جهت شناسایی، اندازه گیری و پایش بهتر ریسک ریستمی انجام گیرد. همچنین به صورت دوره‌ای رفتار این صنایع یا نهادها کنترل گردد تا در صورت وقوع ریسک، مقررات مقتضی تدوین و اقدامات لازم جهت پیشگیری از بحرانی شدن کل سیستم و کاهش اثرات مخرب ناشی از آن تعریف گردد.
- به سازمان بورس و اوراق بهادار پیشنهاد می شود به منظور کاهش شدت سرایت ریسک بین صنایعی که بیشترین وابستگی و سرریز ریسک را به‌هم دارند، مقررات لازم جهت حفظ استقلال و ملاحظات فاصله‌ای لازم بین این صنایع تدوین نماید و شدت وابستگی فعلی را کنترل نماید تا ضمن رعایت استانداردهای ازم به حیات خود ادامه دهند.

۷- منابع

- باجلان، سعید؛ راعی، رضا؛ محمدی، شاپور (۱۳۹۶). مدل‌سازی تابع توزیع زیان‌های بیمه‌ای با بهره‌گیری از توزیع های ترکیبی و مفهوم کاپیولا. فصلنامه تحقیقات مالی، ۱۹(۱)، ۴۰-۲۳.
- چاوشی، سید کاظم؛ شیرمحمدی، فاطمه (۱۳۹۴). شناسایی، سنجش و مدیریت ریسک سیستمی‌نظام مالی کشور به عنوان لازمه اقتصاد مقاومتی. کنفرانس جامع و بی نالمللی اقتصاد مقاومتی، شرکت پژوهشی صنعتی طرود شمال، بابلسر، ایران.
- خلیلی، سهیل؛ تهرانی، رضا (۱۳۹۶). مدل‌سازی ساختارهای وابستگی اجزای سیستم مالی ایران با رویکرد Copula-Vine-APGARCH-ARMA. فصلنامه علمی‌پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری. سال هشتم/ شماره سی ام/ تابستان ۱۳۹۸.
- طالبلو، رضا؛ داودی، محمدمهدی (۱۳۹۷). برآورد پرتفوی بهینه سرمایه‌گذاری با استفاده از دو الگوی ارزش در معرض ریسک (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES): رهیافت Copula-EVT-GARCH. پژوهشنامه اقتصادی، پیاپی ۷۱ (زمستان ۱۳۹۷). ص ۱۲۵-۹۱.
- Aas ,K. Pair-copula constructions for financial applications: A review. Econometrics ۲۰۱۶ ,۴ ,۴۳ ,doi:۱۰.۳۳۹۰ /econometrics٤٠٤٠٠٤٣.
- Aas, K., Czado, C., Frigessi, A., Bakken, H., ۲۰۰۹. Pair-copula constructions of multiple dependence. Insur. Math. Econ. ٤٤ (۲), ۱۸۲–۱۹۸.
- Alexander, C. (۲۰۰۸). Market Risk Analysis. West Sussex: John Wiley & Sons
- Allen, D.E.; Ashraf, A.; McAleer, M.; Powell, R.J.; Singh, A.K. Financial dependence analysis: Applications of vine copulas. Stat. Neerlandica ۲۰۱۳, ٦٧, ٤٠٣–٤٣٥.
- Allen, D.E.; McAleer, M.; Singh, A.K., ۲۰۱۷. Risk Measurement and Risk Modelling Using Applications of Vine Copulas. Sustainability ۲۰۱۷, ۹, ۱۷٦۲.
- Anderson, T.W. (۱۹٥۸). An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. Wiley & Sons, New York.
- Bedford, T.; Cooke, R.M. Probability density decomposition for conditionally dependent random variables modeled by vines. Ann. Math. Artic. Intell. ۲۰۰۱, ۳۲, ۲۴٥□۲۶۸.
- Bedford, T.; Cooke, R.M. Vines—A new graphical model for dependent random variables. Ann. Stat. ۲۰۰۲, ۳۰, ۱۰۳۱–۱۰٦۸.

- Bhatti, M.I., Nguyen, C.C., ٢٠١٢. Diversification evidence from international equity markets using extreme values and stochastic copulas. J. Int. Financ. Mark. Inst. Money ٢٢ (٣), ٦٢٢–٦٤٦.
- Brechmann, E.C.; Schepsmeier, U.Modeling Dependence with C- and D-Vine Copulas. The R-package CDVine. Available online: http://cran.r-project.org/web/packages/CDVine/vignettes/CDVine-package.pdf (accessed on ١ September ٢٠١٢).
- Chen, L., Han, Q., Qiao, Z., Stanley, H.(٢٠٢٠). Correlation analysis and systemic risk measurement of regional, financial and global stock indices. Physica A ٥٤٢ (٢٠٢٠) ١٢٢٦٥٣.
- Das, S.R., Duffie, D., Kapadia, N., Saita, L., ٢٠٠٧. Common failings: how corporate defaults are correlated. J. Financ. ٦٢ (١), ٩٣–١١٧.
- Duffie, D., Eckner, A., Horel, G., Saita, L., ٢٠٠٩. Frailty correlated default. J.
- Fischer, M.; Kraus, D.; Pfeuffer, M.; Czado, C. Stress testing German industry sectors: Results from a vine copula based quantile regression. Risks ٢٠١٧, ٥, ٣٨, doi:١٠,٣٣٩٠/risks٥٠٣٠٠٣٨.
- Geidosch, M.; Fischer, M. Application of vine copulas to credit portfolio risk modeling. J. Risk Financ. Manag. ٢٠١٦, ٩, ٤, doi:١٠,٣٣٩٠/jrfm٩٠٢٠٠٠٤.
- Joe, H. Families ofm-variate distributionswith givenmargins andm(m-١)/٢ bivariate dependence parameters. Lect. Notes-Monogr. Ser. ١٩٩٦, ٢٨, ١٢٠–١٤١.
- Johnson, R. A., Wichern, D. W. (١٩٨٨). Applied Multivariate Statistical Analysis (٢ ed). Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Krzanowski, W. J. (١٩٨٨). Principles of Multivariate Analysis: a user's perspective. Oxford University Press, Oxford.
- Kubitza, C., & Grundl, H. (٢٠١٦). Systemic Risk, Systematic Risk, and the Identification of Systemically Important Financial Institutions. ICIR Working Paper.
- Kurowicka, D.; Cooke, R.M. Uncertainty Analysis with High Dimensional Dependence Modelling; JohnWiley: Chichester, UK, ٢٠٠٦.
- Pourkhanali, A., Kim, J., Tafakori, L., Alavi Fard, F. (٢٠١٦). Measuring systemic risk using vine-copula. Economic Modelling ٥٣ (٢٠١٦) ٦٣–٧٤.
- Scheffer, M.;Weiss, G.N.F. Smooth nonparametric Bernstein vine copulas. Quant. Financ. ٢٠١٧, ١٧, ١٣٩–١٥٦.
- Sklar, A. Fonctions de Repartition a n Dimensions et Leurs Marges; Publications de l'Institut de Statistique de L'Universite de Paris: Paris, France, ١٩٥٩; Volume ٨, pp. ٢٢٩–٢٣١.

- Smaga, P. (٢٠١٤). Concept of Systemic Risk. SRC Special Paper, Published by Systemic Risk Center, ٥.
- Zhang, B., Wei, Y., Yu, J. / Lai, X., Peng., ٢٠١٤. Forecasting VaR and ES of stock index portfolio: A Vine copula method. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. Volume ٤١٦, ١٥ December ٢٠١٤, Pages ١١٢-