



فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
دوره ۱۱ / شماره ۴ (پیاپی ۴۴) / زمستان ۱۴۰۱
صفحه ۴۷۵ تا ۴۹۹

بهینه‌سازی پرتفوی مبتنی بر مدل‌سازی ساختار وابستگی و تئوری ارزش فرین

محمد صفائی

دکترای مدیریت مالی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

علیرضا سارنج

استادیار گروه مدیریت مالی و حسابداری، دانشگاه تهران

مهدی ذوالفقاری

استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۰

چکیده

بررسی احتمال رخ دادن پیشامدهای نادر (پیشامدهایی که با احتمال بسیار کم رخ می‌دهند)، از موضوعات مهم در مدیریت ریسک سبدهای مالی است. نظریه ارزش فرین مبانی ریاضی مدل‌سازی این پیشامدها و محاسبه معیارهای ریسک مربوط به آن‌ها مانند ارزش در معرض ریسک را فراهم کرده است. هدف این مقاله مدل‌سازی ساختار وابستگی و تئوری ارزش فرین ۱۰ شرکت بورس اوراق بهادار تهران (هلدینگ خلیج فارس، پالایشگاه بندرعباس، فولاد مبارکه، تاپیکو، غدیر، نفت و گاز پارسین، ملی مس، گل‌گهر، ارتباطات سیار، چادرملو)، است. نتایج بیانگر این واقعیت بود که میان بازدهی سهام ۱۰ شرکت برتر که مورد ارزیابی قرار گرفت این امکان وجود دارد که با استفاده از تئوری ارزش فرین استفاده از توابع کاپولای وین نتایج پیش‌بینی بازده را در حد بسیار بالایی افزایش داد. نتایج تابع کاپولا در شش حالت کاپولای ساده (t)، کاپولای متغیر زمان (tDCC) و کاپولای متغیر زمان مبتنی بر توزیع گوسین (GDCC) کاپولای کلایتون متغیر طی زمان (tvC)، کاپولای ایستا (SJC) و کاپولای استاتیک متغیر طی زمان (tvSJC) بررسی گردید. در هر شش حالت استفاده از روش کاپولای واین موجب افزایش دقت در پیش‌بینی بازدهی سهام بهینه گردید.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، ساختار وابستگی، تئوری ارزش فرین، تابع کاپولای وین.

۱- مقدمه

ورشکستگی‌های تاریخی، سقوط بازارهای مالی و بحران‌های مالی به دنبال رویدادهایی رخ داده است که معمولاً مشاهده نمی‌شده‌اند؛ یعنی آن قدر تکرار نشده بودند که در توزیع تجربی تغییرات قیمت‌ها، بازده‌ها، یا ارزش سبدهای مالی نقشی را ایفاء کنند، در میانگین آن‌ها تأثیری داشته باشند و یا احیاناً انحراف معیار آن‌ها را تغییر دهند. دقیقاً به همین دلیل مطالعه توزیع این متغیرها کمکی به کاهش ضرر ناشی از این رویدادهای غیرمعمول نکرده است. در واقع رخداد این رویدادها که دیگر آنچنان هم نادر نیست، نشان داده است که برای مطالعه آماری دنیای مالی، تمرکز بر توزیع‌های متقارن با گشتاورهای متناهی مانند توزیع‌های نرمال و تی استیودنت کافی نیست. بحران‌های مالی نشان داده است که آنچه قابل چشم‌پوشی نیست، دم‌های توزیع است. نظریه ارزش فرین^۱ نظریه‌ای است که بر دم‌های توزیع تمرکز دارد و توزیع مقادیر بسیار بزرگ (یا بسیار کوچک)، را توصیف می‌کند. این نظریه که مدت‌ها در علوم جدید استفاده می‌شد، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین مالی نیز قرار گرفته است.

از معیارهای بسیار مهم در مدیریت ریسک محاسبه ارزش در معرض ریسک^۲ سبدهای مالی است، برای محاسبه این معیار بایستی بر دم توزیع تغییرات ارزش سبد تمرکز کرد. در روش سنتی محاسبه این معیار فرض می‌شود که تغییرات ارزش سبد از توزیع نرمال پیروی می‌کند در حالی که در تحقیقات بسیاری فرضیه نرمال بودن بازده دارایی‌های مالی رد شده است.

در مدل‌های تخصیص دارایی‌ها، خصوصیات ریسک - بازده برای سرمایه‌گذاران بسیار با اهمیت و قابل توجه هستند. تئوری پورتفوی سنتی ضرایب همبستگی خطی و انحراف معیار را جهت ارزیابی ریسک پورتفوی و در شرایط توزیع نرمال چند متغیره بکار می‌گیرد. جهت محقق گردیدن پورتفوی بهینه، ریسک پورتفوی به ازای سطوح بازده حداقل می‌گردد. در محاسبه ضرایب همبستگی در اجرایی ساختن بهینه‌سازی در عمل و تجربه، معمولاً ضریب همبستگی پیرسون مبنا قرار می‌گیرد و این در حالی است که معیار مذکور به اندازه‌گیری رابطه خطی میان متغیرهایی با توزیع نرمال می‌پردازد. به طور دقیق‌تر، توابع کاپولا می‌توانند ساختار وابستگی را در توزیع‌های غیر نرمال نیز تبیین نمایند. بعلاوه اینکه این توابع از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار بوده و می‌توانند در تحلیل روابط خطی، غیر خطی و دنباله‌ای به کار گرفته شوند (رودپشتی و همکاران، ۱۳۹۴).

مطالعات متعدد در بازارهای مالی جهان موید این واقعیت هستند که می‌توان با بکارگیری معیارهای متناسب با ساختار و ویژگی‌های داده‌های مورد مطالعه، کارکرد مدل‌های مورد بررسی را به نحو قابل توجهی بهبود داد. در این میان تابع کاپولا از جمله مدل‌هایی است که در تعیین روابط توام متغیرهای مدل، توجه زیادی را به خود معطوف ساخته است.

مدل‌سازی و درک وابستگی میان بازده دارایی‌های مالی نقشی اساسی در تخصیص دارایی‌ها و صورت‌بندی استراتژی‌های سرمایه‌گذاری دارد. مدیریت ریسک‌های مالی به شکل ویژه‌ای تحت تأثیر وابستگی میان دارایی‌ها

¹ Extreme Value Theory

² Value at Risk

و بازارهای مالی است و به همین خاطر مدل‌سازی و کمی‌سازی ساختار و میزان وابستگی بازارها و دارایی‌های مالی برای سرمایه‌گذاران امری ضروری است. یکی از سنج‌های بسیار معمول برای اندازه‌گیری وابستگی میان دو متغیر، محاسبه ضریب همبستگی خطی است که بر مبنای فرض زیربنایی پیروی توام دو متغیر از توزیع‌های گاوسی بنا نهاده شده است. همانگونه که با مراجعه به پژوهش‌هایی مانند لانجین و سولنیک (۲۰۰۱)، کارمان و هررا (۲۰۱۴) و سایر پژوهش‌هایی که تا کنون در حوزه مدل‌سازی وابستگی‌های مالی انجام شده‌اند می‌توان دریافت، داده‌های مالی معمولاً از توزیع‌های گاوسی و یا توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و به همین خاطر اتکای صرف بر ضریب همبستگی به عنوان سنج اندازه‌گیری وابستگی میان متغیرهای مالی اغلب اوقات به نتایج گمراه‌کننده‌ای منجر می‌شود؛ همانگونه که در بحران مالی اخیر نیز مشاهده شد، هم تغییری میان متغیرهای مالی و بازده دارایی‌های مالی در شرایط سقوط بازار در مقایسه با شرایط صعود بازار، به شکل چشم‌گیری تقویت می‌شود. به عبارت دیگر ساختار وابستگی میان دارایی‌ها و بازارهای مالی ساختاری نامتقارن است. در واقع چنین خاصیتی که در ادبیات مالی عدم تقارن همبستگی و یا وابستگی دم‌چپ توزیع بازدهی‌ها نامیده می‌شود، به معنی بطلان فرض پیروی نرخ‌های بازدهی از توزیع‌های با مقاطع بیضوی است. علاوه بر این، ضرایب همبستگی خطی تنها میزان وابستگی میان دارایی‌ها و یا بازارهای مالی و یا به عبارت دیگر شدت ارتباط میان آن‌ها را می‌سنجند و اطلاعاتی در خصوص ساختار وابستگی میان متغیرهای مالی یعنی نحوه رابطه میان دارایی‌ها و بازارهای مالی در شرایط گوناگون به دست نمی‌دهند. ابزاری که برای غلبه بر این کاستی طراحی شده و جوامع پژوهشی مالی و اقتصادی خود را به آن مجهز کرده‌اند کاپولا^۱ نام دارد. کاپولاها ابزاری ایده آل برای مطالعه همزمان میزان ساختار وابستگی میان متغیرهای مالی هستند. قابلیت توابع کاپولا برای مدل‌سازی و تخمین توزیع‌های چند متغیره از قضیه اسکالر (۱۹۵۹)، نتیجه شده است. بر مبنای این قضیه هر توزیع توامی را می‌توان به توزیع‌های حاشیه‌ای آن و تابعی مانند C که مسئول به تصویر کشیدن ساختار وابستگی است، تفکیک نمود؛ همچنین می‌توان گفت که هر تابع کاپولایی با ترکیب توزیع‌های حاشیه‌ای و وابستگی میان متغیرها، یک توزیع توام چند متغیره تولید می‌کند. راز جذابیت کاپولاها در همین نکته نهفته است، چراکه با استفاده از توابع کاپولا می‌توان رفتار توزیع‌های حاشیه‌ای یک متغیره هر یک از متغیرهای تصادفی را به صورت مجزا از وابستگی میان متغیرهای تصادفی مدل‌سازی کرد (گروبر، ۲۰۱۴).

پژوهش‌هایی مانند، جو (۱۹۹۱)، نلسن (۱۹۹۹)، الکساندر (۲۰۰۸) چئونگ (۲۰۰۹) و پاتون (۲۰۰۶)، نمونه‌های خوبی از کاربرد توابع کاپولا در علوم مالی هستند. اگر چه انواع مختلفی از توابع کاپولای دو متغیره درست است که هر یک می‌توانند الگوهای وابستگی پیچیده و در عین حال انعطاف‌پذیری را در متغیرهای مالی مدل‌سازی نماید، هنگام انتخاب میان توابع کاپولای چند متغیره ($n > 2$) با انتخاب‌های زیادی روبرو هستیم. برای غلبه بر این محدودیت، نخستین بار جو (۱۹۹۶)، روشی که آن را ساخت کاپولا‌های زوجی (PCC) نامید، به جوامع پژوهشی ارائه نمود. پس از ارائه این روش محققین دیگری مانند بدفورد و کوک (۲۰۰۱)، کوروویکا و کوک (۲۰۰۶)،

¹ Copula

² Pair Wise Copula Construction

روش ارائه شده توسط جو (۱۹۹۶)، را توسعه داده و در تکامل آن کوشیدند. ساختارهای واین از دل این تلاش‌ها برای توسعه و و گسترش روش PCC بیرون آمده‌اند.

با توجه به اینکه مطالب عنوان شده در بخش قبلی نشان داد که محاسبات برای بررسی ریسک پرتفوی منجر به پدید آمدن موضوعات جدید و گسترده‌ای در حیطه محاسبه ریسک سبد سهام گردید و در مطالعاتی همچون کارماکر^۱ (۲۰۱۷)، هان و همکاران^۲ (۲۰۱۷) و سهام خادم و همکاران^۳ (۲۰۱۸)، رویکردی ترکیبی جهت در نظر گرفتن همزمان واریانس ناهمسانی شرطی در بین بازدهی‌های مالی، در نظر گرفتن وابستگی ساختاری غیر خطی و مقادیر فرین در دنباله‌های توزیع بازدهی‌ها با عنوان عمومی GARCH-EVT-Copula معرفی گردید. برای این منظور در نظر گرفتن هر سه خصیصه در توزیع بازدهی‌ها سبب محاسبه بهینه‌تری در مقادیر ریسک پرتفوی به روش ارزش در معرض خطر شرطی شده و همچنین در بهینه‌سازی این تابع نیز نتایج این مطالعات رای به بهبود ارزش سبد سهام در بهینه‌سازی می‌دهد.

همانطور که در دو بخش قبلی بدان اشاره شد، بهینه‌سازی سبد دارایی و تأثیر وابستگی ساختاری بین اجزاء تشکیل دهنده سبد دارایی‌ها بر بهینه‌سازی یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح شده در ادبیات نظری مدیریت مالی و مدیریت ریسک است. تأثیر قیمت دارایی‌های مالی بر یکدیگر و فعل و انفعالات آن‌ها می‌تواند موجبات تأثیرگذاری آن‌ها در نحوه وزن‌دهی ارزش سرمایه‌گذاری در این بازارها گردد. این موارد در بخش تحقیقات انجام گرفته شده مورد بحث نظری قرار گرفته است. بدین ترتیب مدل‌سازی این تغییر رفتار در جایی که مدیران پرتفوی در شرکت‌های سرمایه‌گذاری، شرکت‌های هلدینگ، بانک‌ها و غیره به دنبال بهبود در عملکرد سبد دارایی‌ها و پوشش ریسک، مدیریت ریسک بازار و غیره هستند، مساله‌ای ضروری به نظر می‌رسد.

علی‌رغم گسترش توابع کاپولا در طی سال‌های اخیر در مباحث مالی، توسعه این توابع در اکثر مطالعات صورت گرفته با روش GARCH-EVT-Copula کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است و اکثراً از توابع کاپولای زوجی و چند بعدی با یک نوع وابستگی کاپولایی استفاده کرده‌اند. یکی از مشکلات پیش روی این موضوع، بررسی توابع کاپولای n بعدی است که اغلب با توجه به محاسبات پیچیده از رویکرد توابع بیضوی^۴ کاپولا (شامل توزیع نرمال و t استیودنت)، در تمام سطوح استفاده شده است. در مسیر توسعه و رفع مشکلات رویکرد ثابت برای توابع کاپولا، آس و همکاران^۵ (۲۰۰۹)، با پیوند دادن دو به دوی این متغیرها به‌وسیله‌ی توابع کاپولا دو بعدی بین آن‌ها و استفاده کردن از ساختاری با نام vine سعی در رفع مشکلات یاد شده کردند. رویکرد Vine به صورت سلسله مراتبی است که در مرحله اول توابع کاپولا زوجی بین متغیرها حاصل می‌شود، در مرحله دوم به شرط متغیرهای مابین دو متغیر، از توابع کاپولا زوجی بین متغیرهای شرطی شده استفاده می‌شود؛ و این عمل تا مرحله آخر پیش می‌رود؛ بنابراین اگر n متغیر وجود داشته باشد، توزیع توأم این n متغیر را می‌توان با $n(n-1)/2$ تابع کاپولای دو

¹ Karmakar

² Han, Li, & Xia, (2017)

³ Sahamkhadam et al, (2018)

⁴ Elliptical Copula

⁵ Aas et al. (2009).

بعدی بدست آورد. بدین ترتیب مشکل برآورد با در نظر گرفتن یکسان در تابع کاپولا همچون توابع بیضوی کاپولا از بین رفته است و می‌توان این مسئله را پوشش داد (آس و همکاران^۱، ۲۰۰۹). بر این اساس می‌توان توابع کاپولای مختلف را همزمان با توجه به نوع وابستگی و بر اساس معیار مناسب بودن آن‌ها و با ترکیبی از توابع بیضوی و ارشمیدسی به صورت همزمان با بکارگیری ساختار Vine مورد استفاده قرار داد تا بتوان به خوبی ساختار وابستگی بین بازارهای مالی را محاسبه و آن را در ارزش در معرض ریسک شرطی لحاظ نمود.

بدین ترتیب همانطور که اشاره شد، مسئله مقالات ارائه شده در زمینه بهینه‌سازی سبد سهام با لحاظ رویکرد GARCH-EVT-Copula و در نظر گرفتن ساختار توابع کاپولا زوجی و یا کاپولای چند متغیره به صورت یکسان (استفاده از یک تابع کاپولا برای اندازه‌گیری ساختار وابستگی بین سهام موجود در پرتفوی) بوده است، همانطور که مطالعات آس و همکاران (۲۰۰۹) و دیسمن و دیگران^۲ (۲۰۱۳)، در تحقیقات خود نشان می‌دهند.

در نتیجه، بررسی و بهینه‌سازی سبد دارایی‌های یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریت ریسک جهت یافتن بهینه‌ای از سبد سهام با بیشترین سودآوری و کم‌ترین ریسک ممکن است که در این پژوهش مورد بحث قرار خواهد گرفت و با در نظر گرفتن این دو مقوله و با استفاده از رهیافتی نوین به این مهم پرداخته خواهد شد. به نحوی که در این پژوهش به معرفی مدل ساختار وابستگی کاپولای وین با رهیافت تئوری ارزش فرین و مدل واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته (GARCH-EVT-Vine-Copula)، پرداخته خواهد شد.

مقاله حاضر در ادامه، به صورت زیر سازماندهی شده است: در قسمت دوم، مبانی نظری و پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در قسمت سوم، مبانی روش برآوردی و در فصل چهارم برآورد اقتصادسنجی تجزیه و تحلیل داده‌ها شده است. در نهایت در بخش پایانی، جمع‌بندی و پیشنهادهای سیاستی بیان گردیده است.

۲- مبانی نظری

مدل‌سازی تلاطم^۳ بازده در بازارهای سهام، از منظر پژوهشگران دانشگاهی و نیز کارپردازان علم مالی، به لحاظ موارد استفاده آن در پیش‌بینی بازده سهام، موضوع با اهمیتی به نظر می‌رسد. این پیش‌بینی‌ها در مواردی چون مدیریت ریسک قیمت‌گذاری مشتقات مالی و پوشش ریسک ناشی از آن‌ها، بازارسازی، انتخاب سبدهای مالی و خیلی از فعالیت‌های مالی دیگر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از این جهات تخمین تلاطم در بازارهای مالی، اهمیت می‌یابد (سید حسینی، باباخانی، ابراهیمی، ۱۳۹۱).

اهمیت این موضوع با نگاهی به مقالات و کتاب‌های منتشره در زمینه تلاطم بازده و قابلیت‌های پیش‌بینی مدل‌های تلاطمی متعدد بیشتر نمایان می‌گردد و اهمیت تلاطم را در سرمایه‌گذاری، ارزش‌گذاری اوراق بهادار، مدیریت ریسک و اتخاذ سیاست‌های پولی منعکس می‌گرداند (پون و گرنجر، ۲۰۰۳).

^۱ Aas et al. (2009).

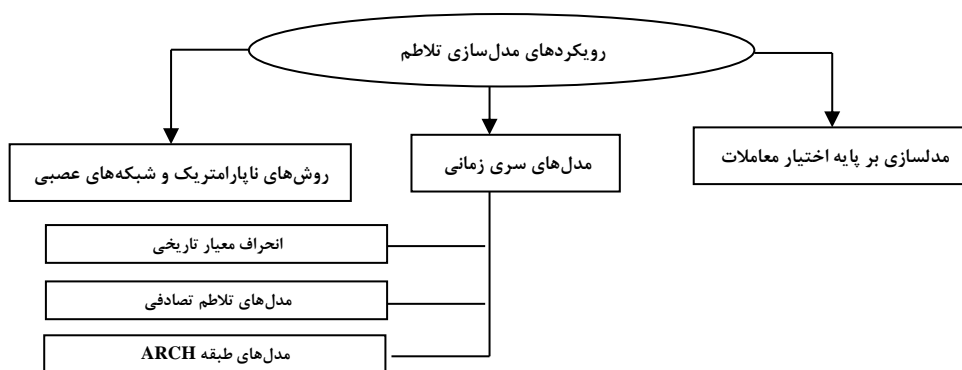
^۲ Dißmann et al. (2013).

^۳ در کل تحقیق حاضر با چشم‌پوشی از برخی تفاوت‌های ظریف در تعریف نوسان و تلاطم، این دو مفهوم معادل هم در نظر گرفته شده‌اند.

در ارتباط با مسائل اقتصادی و سری‌های زمانی مالی مدل‌های متعددی برای نمایاندن تلاطم (واریانس شرطی)، ساخته شده‌اند. یک فرض اولیه به هنگام مدل‌سازی تلاطم این است که می‌توان تلاطم را به دو بخش قابل پیش‌بینی و غیر قابل پیش‌بینی تقسیم کرد. با توجه به این حقیقت که در سری‌های زمانی مالی، ارزش اضافه ریسک تابعی از تلاطم بازده می‌باشد، تمرکز تحقیقات علمی بر جزء قابل پیش‌بینی تلاطم بازده می‌باشد؛ بنابراین واقعیت، هر چند تلاطم همان ریسک محسوب نمی‌شود ولی دانستن مقادیر تلاطم بخاطر ارتباط آن با ریسک مهم است.

زمانی که تلاطم را به معنای عدم اطمینان تفسیر کنیم، به عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار برای تصمیمات سرمایه‌گذاری و ایجاد سبد دارایی مطرح می‌گردد. در واقع، تلاطم مهم‌ترین متغیر در قیمت‌گذاری مشتقات مالی محسوب می‌شود. از این حیث اندازه‌گیری دقیق و صحیح تلاطم به منظور قیمت‌گذاری این ابزارهای مالی مورد نیاز می‌باشد. بر پایه پیمان بسل در سال ۱۹۹۶، مدیریت ریسک مالی برای بسیاری از موسسات مالی در سراسر جهان جلوه مهمی پیدا کرد. در این پیمان تلاطم قیمت سهام به منظور نگهداری سرمایه ذخیره در قبال ارزش در معرض ریسک برای موسسات مالی به صورت اجبار در آمد؛ بنابراین اندازه‌گیری تلاطم برای کلیه موسسات مالی بسیار مهم گردید. از این گذشته دلیل اصلی اهمیت و نگرانی در تلاطم بازارهای مالی، این باور است که تلاطم می‌تواند بر فعالیت‌های اقتصادی تأثیری در جهت عکس داشته باشد. بنابراین با اندازه‌گیری و درک گسترده‌تری از تلاطم، امکان پیدا کردن راه‌حلی‌هایی به منظور کاهش تلاطم بازارهای مالی برای سیاست‌گذاران مالی وجود خواهد داشت.

در ادامه رویکردهای مختلف مدل‌سازی تلاطم بازده دارایی‌ها بررسی شده است. همانگونه که در نمودار شماره (۱)، ملاحظه می‌شود یکی از روش‌های مدل‌سازی تلاطم استفاده از اختیار معاملات است. استفاده از این دسته روش‌ها به دلیل عدم وجود بازارهای اختیار معامله در ایران امکان‌پذیر نیست. روش‌های ناپارامتریک و شبکه‌های عصبی هم در مدل‌سازی تلاطم پیشنهاد شده است؛ لیکن معمولاً توانایی کمی در مدل‌سازی تلاطم از خود نشان داده‌اند.



نمودار شماره ۱: دسته‌بندی رویکردهای مدل‌سازی تلاطم

مأخذ: شعراپی و همکاران (۱۳۸۸)

در میان رویکردهای ارائه شده، روش‌های مدل‌سازی سری‌های زمانی بیشترین کاربرد را در مدل‌سازی تلاطم دارند. تمامی این مدل‌ها امکان توضیح ویژگی خوشه‌ای بودن تلاطم را دارند. ضمن اینکه برخی از این مدل‌ها عدم تقارن تلاطم را نیز در نظر می‌گیرند؛ بنابراین جهت کشف ویژگی‌های دینامیک تلاطم بازده توانایی بالایی دارند و لذا می‌توانند جهت مدل‌سازی تلاطم به کار روند (گرنجر، پون، ۲۰۰۳).

۲-۱- نظریه ارزش فرین

زمانی که ماکسیمم یک متغیر تصادفی مدل‌سازی می‌شود، نظریه ارزش فرین همان نقش پایه‌ای را بر عهده دارد که نظریه حد مرکزی در مدل‌سازی مجموع متغیرهای تصادفی ایفا می‌کند. در هر دو حالت، این نظریه‌ها به ترتیب توزیع حدی ماکسیمم‌ها و مجموع متغیرهای تصادفی را تعیین می‌کنند. نظریه ارزش فرین، نظریه‌ای توسعه یافته در زمینه احتمال است که مبانی آن، توسط فیشر و تیپت (۱۹۲۸) و جنکو (۱۹۴۳)، پایه‌گذاری شد. امروزه نظریه ارزش فرین، مطابق تئوری احتمالات و آمار ریاضیات به خوبی جای گرفته است (سوایسو و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به این که نظریه ارزش فرین به طور مستقیم بر دنباله توزیع متمرکز است برآوردهای ارزش در معرض ریسک مبتنی بر این نظریه می‌تواند دقیق‌تر و قابل اعتمادتر از برآوردهای معمول باشد؛ بنابراین از عیب عمده روش‌های پارامتریک به دور است و تخمین آن‌ها به واسطه اعتباری که آن‌ها به بخش مرکزی توزیع می‌دهند، اریب می‌شود. دلیل دیگری که منجر می‌شود نظریه ارزش فرین به هنگام اندازه‌گیری ریسک امیدوارکننده باشد، این است که امکان تمرکز بر هر یک از دو دنباله توزیع را به طور مستقل فراهم می‌کند، در نتیجه به رویکردی منعطف منجر می‌شود که می‌تواند چولگی توزیع اصلی را به حساب آورد (اسکات، ۲۰۰۴). دو نوع رویکرد اصلی برای مدل‌سازی نظریه ارزش فرین وجود دارد:

(۱) شرطی

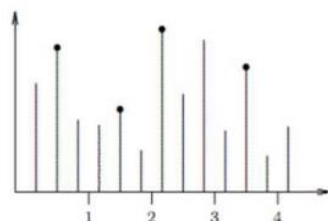
(۲) غیرشرطی

نوع غیرشرطی - به عنوان قدیمی‌ترین گروه مدل‌های نظریه ارزش فرین در نظر گرفته می‌شود - مدل‌های حداکثر بلوک و نوع شرطی - به عنوان یک رویکرد مدرن از نظریه ارزش فرین تلقی می‌شود - که مدل‌های فراتر از آستانه نامیده می‌شود (هال جان، ۱۳۸۴). روش حداکثر بلوک بر این مبنا است که فاصله زمانی را به تکه‌ها و یا بلوک‌های یکسان تقسیم‌بندی کرده و فقط زیان حداکثر را برای هر یک از بلوک‌ها، بر اساس توزیع تعمیم یافته ارزش فرین مدل‌سازی می‌کنند. این رویکرد برای داده‌های زیاد، مفید نیست، چراکه تنها یک مشاهده در هر بلوک را به کار می‌گیرد. از سوی دیگر، روش فراتر از آستانه، تمام داده‌هایی را که فراتر از بالاترین سطح تعیین شده هستند را مدل‌سازی می‌کند. داده‌هایی که فراتر از آستانه هستند با توزیع تعمیم‌یافته پرتو برازش می‌شوند (آلن و همکاران، ۲۰۱۱)؛ بنابراین، توزیع تعمیم‌یافته ارزش فرین برای مدل‌سازی حداکثر بلوک و توزیع تعمیم‌یافته پرتو برای مدل‌سازی فراتر از آستانه مناسب به نظر می‌رسند (رادپور و تبریزی، ۱۳۸۸).

الف: روش حداکثر بلوک

توجه کنید که رفتار آماری حداکثر M_n برابر است با ماکزیمم (X_1, \dots, X_n) از n متغیر تصادفی مستقل توزیع یافته (X_1, \dots, X_n) با تابع توزیع تجمعی $F(X)$. از دیدگاه مدیریت ریسک $X_t = -Z_t$ یک بازده منفی در زمان t است. تابع توزیع تجمعی M_n برابر است با رابطه (۱):

$$p(M_n \leq x) = p(X_1 \leq x_1, \dots, X_n \leq x) = \prod_{t=1}^n p(X_t \leq x) = F^n(x) \quad (1)$$

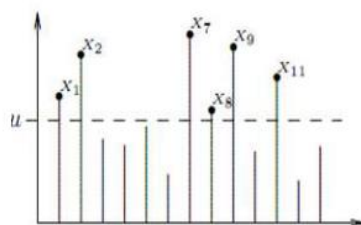


نمودار شماره ۲: حداکثر بلوک

نمودار شماره (۲)؛ مفهوم حداکثر بلوک را بیان می‌کند (روکو، ۲۰۱۲). در این رویکرد حداکثر هر بلوک به عنوان یک مشاهده فرین در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین به صورت خلاصه، ابتدا X_t ها بلوک‌بندی می‌شوند، آنگاه، در هر بلوک مقدار ماکسیمم به عنوان حداکثر بلوک M_n شناسایی می‌شود؛ پس از آن، از این M_n برای تعیین شکل توزیع استفاده شده و در نهایت از توزیع به دست آمده، مقدار ارزش در معرض خطر تخمین زده می‌شود؛ همچنان که پیش‌تر نیز اشاره شد، این رویکرد به جای کل مشاهدات X_t بر مقادیر فرین آن M_n ، متمرکز است.

ب: روش فراتر از آستانه

یک رابطه قوی بین رفتار مجانبی حداکثر متغیرهای تصادفی و توزیع تخطی‌های نظیر به نظیری که مبنایی برای یک روش برآورد مهم در آمارهای ارزش فرین فراهم می‌کنند، وجود دارد. با توجه به نمودار شماره (۳)، مشاهداتی که از آستانه u تخطی کرده‌اند، فرین محسوب می‌شوند (روکو، ۲۰۱۲). در این روش، ابتدا مقدار u به عنوان یک آستانه در نظر گرفته می‌شود، آنگاه X_t هایی که از مادار u تخطی کنند، به عنوان مقادیر فرین در نظر گرفته می‌شوند و به مانند حالت حداکثر بلوک، مدل‌سازی شده و ارزش در معرض خطر بر اساس توزیعی که بر آن‌ها برآزش می‌شود، تعیین خواهد شد. در واقع روش فراتر از آستانه و حداکثر بلوک، دو روش عمده برای تعیین M_n هستند و پس از تعیین مقادیرهای فرین، بقیه فرایند تخمین ارزش معرض خطر برای آن دو یکسان است.



نمودار شماره ۳: فراتر از آستانه

۲-۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات صورت گرفته در مورد بهینه‌سازی سبد دارایی‌های مالی، عموماً در دو گام اصلی در چند دهه گذشته پیشنهاد شده است. گام اول شامل پیش‌بینی بازده‌های آینده دارایی‌های مالی است. گام دوم در این بررسی در نظر گرفتن تابع بهینه‌سازی در مسئله مورد نظر و نحوه حل آن است که منجر به رسیدن به وزن بهینه هر یک از دارایی‌های مالی در سبد سرمایه‌گذاری می‌گردد. برای هر دو گام روش‌های متفاوتی در طی دهه‌های گذشته مورد استفاده قرار گرفته است و با روند روبه رشد تئوری‌های ریاضیاتی و آماری و کاربرد انواع رویکردهای بهینه‌سازی توسعه در هر یک از این گام‌ها به سرعت در حال انجام است.

در دهه ۱۹۹۰ با تعریف ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی، توسعه در گام دوم به گونه‌ای رقم خورد که جایگاه مناسبی را در بین تحقیقات عملی یافته است و حتی در استانداردسازی بین‌المللی نیز تحت قوانین مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که در گام نخست بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری همچنان رویکردهای مختلفی در حال رشد هستند و مسیر تحقیقات علمی را گسترده کرده‌اند. در بررسی پیشینه پژوهش در این تحقیق با تمرکز بر تحقیقات دهه اخیر و همچنین مطالعات صورت گرفته در جهت توسعه گام نخست در مورد بهینه‌سازی پرداخته شده است.

سهم خادم و همکاران^۱ (۲۰۱۸)؛ به بررسی بهینه‌سازی شاخص سهام عمده در کشورهای مختلف به روش ارزش در معرض ریسک شرطی و استفاده از رویکرد تئوری ارزش فرین با واریانس ناهمسانی شرطی و لحاظ وابستگی ساختاری (GARCh-EVT-Copula)، پرداخته‌اند. نتایج تحقیق یاد شده با استفاده از رویکرد وزن‌دهی مجدد و پیش‌بینی یک روزه نشان می‌دهد که رویکرد یاد شده نسبت به چندین مدل مرسوم دیگر نتایج بهتری را داشته است.

هان و همکاران^۲ (۲۰۱۷)؛ به بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از رویکرد DCC-GARCh-Copula پرداخته‌اند. نتایج بررسی این محققان نشان می‌دهد که بهینه‌سازی رویکرد توابع کاپولا و وابستگی شرطی پویا به روش

¹ Sahamkhadam et al, (2018)

² Han, Li, & Xia, (2017)

GARCH در بهینه‌سازی سبد سهام با لحاظ ارزش در معرض ریسک شرطی نتایج بهتری نسبت به رویکردهای مرسوم دارد.

بیونی و همکاران^۱ (۲۰۱۷)؛ به بررسی خوشه‌بندی سری‌های قیمتی سهام در یک مطالعه تجربی پرداختند. پیش‌بینی بازار سهام، به علت ماهیت پویای آن، کار دشواری است. در این تحقیق به بررسی قیمت‌های پایانی سهام به عنوان یک روش برای سیستم پیشنهادی برای خرید، پرداختند. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات استخراجی و کشف روابط پنهان، نشان دادند که اطلاعات استخراجی کاربران از قیمت‌های بسته شدن سهام، بر درک آن‌ها برای خرید و فروش سهام، تأثیر دارد.

مک آلیر، پاول و سینگ (۲۰۱۷)؛ ساختار R-Vine را برای مطالعه وابستگی‌های متقابل بازار بزرگ مالی اروپا در قالب شاخص‌های انفرادی هر یک از بازارها و شاخص ترکیبی یورو استاکس ۵۰ 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 امکان‌پذیر ساخت. نتایج حاصل از این تحقیق حکایت از آن دارد که همبستگی میان بازارهای مالی به گونه‌ای پیچیده تغییر می‌کند.

بن صیدا (۲۰۱۷)؛ با استفاده از تابع کاپولای متقارن جو، کلایتون که قادر به شناسایی وابستگی‌های دنباله‌ای دم سمت چپ و راست است و با استفاده از ساختارهای C-Vine و D-Vine به ایجاد و مدل‌سازی فرآیند رژیم سوئیچینگ مارکوف اقدام نمود و مدل خود را روی ۱۲ ورقه قرضه دولتی شامل اوراق ایالات متحده و یازده دولت اروپایی پیاده‌سازی کرد. نتایج حاصل از این تحقیق حکایت از آن دارد که مدل‌های کاپولا رژیم سوئیچینگ پویایی مستتر در وابستگی میان داده‌ها را بهتر از کاپولاهایی که با فرض رژیم واحد مدل‌سازی می‌شوند، منعکس می‌کند. سوکچارون و لیثام (۲۰۱۷)؛ نحوه بکارگیری رویکرد واین کاپولا برای تخمین نسبت پوشش ریسک چند دوره‌ای برای پوشش ریسک نامطلوب شرکت‌های پالایشی را، با استفاده از داده‌های هفتگی قیمت نقدی و آتی نفت خام WTI، گازوئیل و نفت کوره در دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ بررسی نمودند. به اعتقاد پژوهشگران مذکور، کاپولاهای واین در به تصویر کشیدن ویژگی‌های منحصر به فرد فرآورده‌های نفتی مانند چولگی و دم پهن توزیع‌های حاشیه‌ای هر یک از محصولات نفتی همچنین وابستگی دنباله‌ای متنوع میان این محصولات دارای مزیت هستند.

کارماکر^۲ (۲۰۱۷)؛ با استفاده از رویکرد AR-GARCH-EVT و لحاظ وابستگی ساختاری سعی در بهینه‌سازی ارزش‌های مختلف به صورت زوجی پرداخته است. نتایج تحقیقات نشان دهنده این موضوع است که استفاده از تئوری ارزش فرین وابستگی ساختاری موجب می‌شود بهینه‌سازی سبد سهام نسبت ارزش در معرض ریسک به بازدهی نسبت به رویکرد واریانس کوواریانس بهبود پیدا کند.

بنجامین و همکاران^۳ (۲۰۱۶)؛ به بررسی خوشه‌بندی سهام و پایداری قیمت سهام، پرداختند. در این تحقیق با استفاده از یک رویکرد غیر سنتی، به شناسایی نوسانات قیمت سهام، بر اساس یک سری از اصطکاک‌های موثر

¹ Binoy

² Karmakar

³ Benjamin

بر ثبات قیمت سهام، پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که ارتباط قوی و مثبتی بین خوشه‌های قیمتی سهام و نوسانات قیمت سهام، وجود دارد.

کرزیمینوفسکی و شیمیک^۱ (۲۰۱۶)؛ با استفاده از توابع کاپولای ارشمیدوسی به بررسی بهینه‌سازی سبد سهام به روش ارزش در معرض ریسک مبتنی بر وابستگی ساختاری بر اساس توابع کاپولا پرداخته‌اند. نتایج بررسی این دو محقق نشان می‌دهد که روش یاد شده از بررسی ارزش در معرض ریسک با لحاظ رویکرد واریانس کوواریانس و رویکردهای مرسوم دیگر نتیجه بهتری در تابع انباشت ثروت به همراه دارد.

خلیلی و تهرانی (۱۳۹۸)؛ با بکارگیری رویکرد واین کاپولا و با استفاده از مشاهدات روزانه از شاخص‌های بانک، بیمه، سرمایه‌گذاری‌ها و سایر مالی در بورس اوراق بهادار تهران طی دوره‌ای ۸ ساله، شواهدی دال بر ارتباط معنی‌دار و متقارن میان زیر بخش‌های شاخص مالی بورس اوراق بهادار تهران به دست آوردند. پس از جمع‌آوری داده‌ها و محاسبه بازدهی پیوسته گروه‌ها و پس از برآورد توزیع حاشیه‌ای نرخ‌های بازدهی هر یک از شاخص‌ها با استفاده از مدل ARMA-APGARCH و با فرض پیروی مقادیر باقیمانده استاندارد از توزیع تی استیودنت چوله، ساختار وابستگی شاخص‌های مورد بررسی در قالب ساختارهای R-Vine مدل‌سازی گردید. با استفاده از یافته‌های پژوهش و به عنوان کاربرد ساختارهای واین کاپولا در مدیریت ریسک سبدهای سرمایه‌گذاری، تخمین سنج ارزش در معرض خطر با استفاده از این روش به نتایج قابل قبولی منجر شده است.

طالبلو و داوودی (۱۳۹۷)؛ پرتفوی بهینه سرمایه‌گذاری شامل ۴ شاخص مالی، شیمیایی، دارویی و خودرو را برآورد نمودند. برای بررسی ساختار وابستگی بین دارایی‌ها از الگوهای مختلف خانواده کاپیولا، برای مدل‌سازی تلاطم‌های بازده دارایی‌ها از الگوهای مختلف خانواده گارچ و به‌منظور مدل‌سازی دم‌های توزیع از الگوی نظریه ارزش فرین استفاده شده است؛ 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 هیچ‌یک از پرتفوی‌های سرمایه‌گذاری وزن قابل‌توجهی ندارد. نتایج آزمون شارپ نیز نشان داد که دو الگوی کاپیولای فرانک و گامبل در متنوع‌سازی پرتفوی سرمایه‌گذاری کارا تر عمل کردند.

سارنج و نوراحمدی (۱۳۹۷)؛ اقدام به آزمون فشار به عنوان ابزار کلیدی مدیریت ریسک دارایی‌های مالی با تأکید بر نظریه ارزش فرین و توابع کاپیولا نمودند. در این پژوهش سه آزمون فشار شامل سناریوهای فشار تاریخی، هیبریدی و فرضی برای شبیه‌سازی روند شکل‌گیری مشترک عوامل ریسک در طی زمان به کار گرفته شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد سناریوهای هیبریدی و فرضی نسبت به آزمون فشار کاملاً تاریخی ترجیح دارد؛ زیرا سناریوهای منعطف‌تری از تکرار صرف رخدادهای گذشته ایجاد می‌کند.

لله گانی و زه تابیان (۱۳۹۷)؛ اقدام به بهینه‌سازی پورتفویی از شاخص صنایع در بورس اوراق بهادار تهران با هدف حداقل ساختن ارزش در معرض ریسک شرطی، داده‌های شبیه‌سازی شده براساس همبستگی ناشی از تابع

^۱ Krzemienowski and Szymczyk, (2016)

کاپولا و توزیع تعمیم یافته پارتو به عنوان ورودی مدل پرداختند. براساس آزمون آماری صورت گرفته با بکارگیری این رویه، عملکرد پورتفوی به طور معناداری بهبود می‌یابد.

جلایی اسفندآبادی (۱۳۹۷)؛ به بررسی ارتباط ساختاری میان بازارهای مالی (بازار سرمایه، بازار ارز، بازار نفت) و بازار تجاری در اقتصاد ایران پرداختند. به عبارت دیگر اقدام به مدل‌سازی ماتریس ساختاری میان قیمت سهام، نرخ ارز، قیمت نفت و رابطه مبادله (TOT) و ارتباط سیستماتیک این متغیرها براساس توابع کاپولای شرطی نمودند. نتایج برآورد اندازه وابستگی بین شاخص‌های بازاری که با تاو کندل (τ)، سنجیده شده، نشان می‌دهد که ضریب وابستگی غیرخطی قیمت نفت و نرخ ارز ۰/۳۹ می‌باشد و وابستگی متقارن در میانگین توزیع میان این دو متغیر وجود دارد؛ همچنین یافته‌های تحقیق موید آن است که هیچ ارتباطی غیرخطی میان شاخص قیمت سهام و رابطه مبادله و همچنین میان نرخ ارز و رابطه مبادله در اقتصاد ایران وجود ندارد. براساس نتایج این تحقیق، بیشترین همبستگی خطی بین متغیرهای نرخ ارز و شاخص قیمت سهام دیده می‌شود و کم‌ترین همبستگی خطی بین قیمت نفت و رابطه مبادله است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که اولاً رفتار غیرخطی و استوکاستیک در این بازارها وجود دارد و ثانیاً بیش‌ترین ضریب رانش و انتشار مربوط به بازار نفت بوده است و بیش‌ترین ضریب پرش قیمتی مربوط به بازار تجاری و رابطه مبادله می‌باشد.

شهیکی تاش و همکاران (۱۳۹۶)؛ ریسک‌های بیمه‌گری صنعت بیمه را با دو رویکرد متفاوت، تجمیع همزمان با توابع مفصل بیضوی و ارشمیدسی و تجمیع سلسله مراتبی با توابع مفصل ارشمیدسی بررسی نمودند. نتایج تجمیع و مدل‌سازی ساختار وابستگی ریسک‌های بیمه‌گری با داده‌های ضریب خسارت طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۵۴ نشان می‌دهد که به علت تفاوت نوع ساختار وابستگی، حداقل سرمایه لازم برآورد شده با رویکردها و توابع مفصل مختلف، متفاوت است. حداقل سرمایه لازم برای پوشش ریسک بیمه‌گری صنعت بیمه با مدل استاندارد آیین‌نامه ۶۹ بیمه مرکزی و با داده‌های سال ۱۳۹۲ در حدود ۹۶،۹۴۳،۳۹۱ میلیون ریال محاسبه شده است؛ در حالی که حداقل سرمایه برآورد شده با سنج ریسک ارزش در معرض خطر (VaR)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد با توابع مفصل بیضوی در رویکرد تجمیع همزمان و با توابع مفصل کلایتون و جوی در هر دو رویکرد، کم‌تر از این مقدار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این توابع مفصل در تعیین حداقل سرمایه لازم، توانگری موسسات بیمه را بیش‌تر از حد برآورد شده با روش تجمیع ساده و خطی مدل استاندارد نشان خواهد داد.

سارنج و نوراحمدی (۱۳۹۵)؛ اقدام به برآورد ارزش در معرض ریسک و ریزش مورد انتظار با توجه به روش‌های نوین با تاکید بر رویکرد ارزش فرین شرطی و مقایسه آن‌ها با عملکرد رویکردهای پارامتریک پرداختند. روش‌های معرفی شده محاسبه ریسک بازار برای شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در دوره ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ انجام شده است. به علاوه، برای بررسی و مقایسه الگوها از روش‌های پس‌آزمایی VaR مانند آزمون‌های استقلال تخطی‌ها و پوشش برنولی و روش‌های پس‌آزمایی ES همچون آزمون مک نیل و فری و آزمون رتبه بندی MCS استفاده می‌شود. نتایج پس‌آزمایی به دست آمده در این مقاله حاکی از برتری محاسبه VaR برگرفته از تئوری ارزش فرین شرطی در مقایسه با سایر مدل‌های رقیب، از قبیل مدل ارزش فرین غیرشرطی، نرمال ایستا (روش واریانس-کواریانس) و نرمال شرطی (مدل گارچ) است؛ همچنین نتایج تابع MCS برای معیار ES نشان داد رویکرد های

ارزش فرین شرطی با فرض پسماندهای استاندارد شده تی. استیودنت، ارزش فرین شرطی با فرض پسماندهای استاندارد شده نرمال و مدل GARCH با فرض پسماندهای تی. استیودنت به ترتیب در رتبه های اول تا سوم قرار می‌گیرند.

همانطور که مشاهده می‌شود تحقیقات داخلی در این حیطه محدود بوده و تنها رویکرد مورد بررسی لحاظ تابع کاپولای نرمال در محاسبه ارزش در معرض ریسک شرطی سبد پرتفوی دو متغیره است. در سایر مطالعات داخلی نیز همانطور که اشاره شده اغلب مدل‌های بکار رفته برای محاسبه ریسک سبدهای سهام دوتایی بوده است. از این مطالعات می‌توان به تحقیقات کشاورز حداد و حیرانی (۱۳۹۳)، پویان فر و موسوی (۱۳۹۵) و پیش‌بهار و عابدی (۱۳۹۶)، اشاره کرد. در مطالعات خارجی نیز مشخص است که اغلب مطالعات در این حیطه می‌توان به تحقیقاتی که از رویکردهای همچون روش واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم یافته (GARCH)، رویکرد توابع کاپولا و رهیافت تئوری ارزش فرین (EVT)، به صورت مجزا پرداخته‌اند اشاره کرد و مطالعات محدودی در ترکیب مشخصی از این مدل‌ها قرار داده گرفته‌اند که می‌توان به مطالعات کارماکر (۲۰۱۷) و هام خادم و همکاران (۲۰۱۸)، اشاره کرد.

لازم به ذکر است در مطالعه سهام خادم و همکاران (۲۰۱۸)، از توزیع مشترک بر اساس تابع کاپولای بیضوی یکسان استفاده شده است و در مطالعه کارماکر (۲۰۱۷)، نیز تنها از توابع زوجی برای بررسی ساختار وابستگی در پرتفوی دو بازدهی نرخ ارز استفاده شده است. این در حالی است که در این پژوهش از توابع کاپولای Vine با لحاظ تابع کاپولایی متفاوت در هر زوج بازدهی سهام استفاده شده است و همچنین بازدهی‌های مورد بررسی نیز بیش‌تر از دو دارایی مالی است که تفاوت عمده آن با مطالعات کارماکر (۲۰۱۷) و سهام خادم و همکاران (۲۰۱۸)، می‌باشد.

۳- روش برآورد

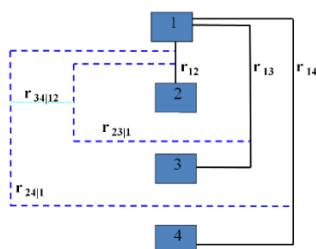
در کنار توجهی که در دهه گذشته به توابع کاپولای دو متغیره برای مدل‌سازی روابط میان متغیرهای مالی و اقتصادی شده است، ساختارهای مبتنی بر ساختارهای سلسله مراتبی^۱ از کاپولاهای زوجی نیز اخیراً مورد استقبال جامعه پژوهشی علوم مالی و اقتصادی قرار گرفته است؛ همچنین در سال‌های اخیر، کاربردهای کاپولا در زمینه مدل‌های سری زمانی نیز گسترش یافته است. مشکل اصلی در مدل‌سازی‌های چند متغیره با استفاده از توابع کاپولا، شناسایی توابع کاپولای مناسب برای مدل‌سازی‌های چند متغیره است. کاپولاهای چند متغیره استاندارد مانند کاپولاهای چند متغیره گاوسی و تی استیودنت و یا کاپولاهای ارشمیدسی چند متغیره از فقدان انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی ساختار وابستگی میان تعداد زیادی از متغیرها رنج می‌برند. به عنوان روشی جایگزین برای مدل‌سازی الگوهای وابستگی چند متغیره، ساخت کاپولاهای زوجی در قالب ساختارهای واین، نخستین بار توسط جو (۱۹۹۶)، ارائه گردید. واین‌ها ساختارهای گرافیکی انعطاف‌پذیری هستند که برای توصیف توزیع‌های توام چند متغیره از سلسله‌ای از کاپولاهای زوجی استفاده می‌کنند؛ همچنین، آس و همکاران (۲۰۰۹)، در خلاقیتی کلیدی و راه‌گشا در مدل‌سازی وابستگی‌های چند متغیره، سلسله‌ای از کاپولاهای زوجی، موسوم به

^۱ Cascading

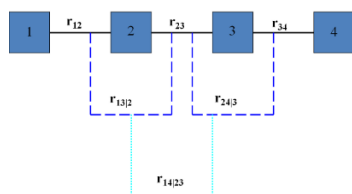
ساختارهای C-Vine و D-Vine ارائه نمودند. این دو ساختار و این به طبقه گسترده‌تری از ساختارهای واین موسوم به ساختارهای R-Vine تعلق دارند. ساختارهای واین در قالب مدل‌های گرافیکی تئوریک، تعیین می‌کنند که چه متغیرهایی در چه جایگاهی می‌بایست در ساخت کاپولاهای زوجی مورد استفاده قرار بگیرند، به نحوی که ساختار حاصل به بهترین نحو ممکن ساختار وابستگی و تغییرات توأم مجموعه متغیرهای مورد بررسی را منعکس نماید. به عبارت دیگر واین‌ها ابزاری برای برچسب‌گذاری محدودیت‌های چینش متغیرهای تصادفی در توزیع‌های با ابعاد بالا هستند. هر ساختار واینی مانند V مجموعه‌ای است مرکب از درخت‌های به هم مرتبطی مانند T_1, T_2, \dots, T_{n-1} که شاخه‌های هر درختی مانند T_j گره‌های آغازکننده درخت بعدی $1 + j$ هستند. ساختارهای متعارف واین (R-Vine)، به ازای n متغیر، ساختاری است که در آن

$$E(V) = E_1 \cup \dots \cup E_{n-1}$$

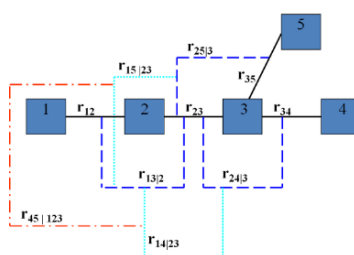
- $V = \{T_1, T_2, \dots, T_{n-1}\}$ (هر ساختار واین مجموعه‌ای از درخت‌های متوالی است).
- T_1 درختی است با گره‌های $N_1 = \{1, 2, \dots, n\}$ و شاخه‌های E_1 ، به ازای $i = 2, \dots, n-1$ T_1 درختی است با گره‌های $N_i = E_{i-1}$ (به جز درخت اول، شاخه‌های درخت قبلی، گره‌های آغازین درخت بعدی است).
- (قاعدۀ مجاورت) به ازای $i = 2, \dots, n-1$ و $\{a, b\} \in E_i$ خواهیم داشت $E_i \# a \Delta b$. منظور از Δ عملگر تفاضل متقارن و $\#$ عدد اصلی مجموعه است.
- هر شاخه در درخت T_j زوجی مرتب نشده از گره‌های T_j همان درخت و یا به عبارت دیگر، زوجی مرتب نشده از شاخه‌های درخت T_{j-1} است. مرتبه هر گره در هر درخت مانند T_j با تعداد شاخه‌های متصل به آن گره برابر است. هر ساختار واین معمولی به شرطی که دارای درختی مانند T_j با گره منحصر به فردی با مرتبه $n-1$ باشد، واین کانونی C-Vine نامیده می‌شود. در صورتی که تمامی گره‌های تشکیل دهنده درخت‌های ساختار واین دارای مرتبه حداکثر ۲ باشند، ساختار واین حاصل، واین قابل ترسیم D-Vine نامیده می‌شود (کوک و همکاران، ۲۰۱۱).
- هر ساختار R-Vine بین n متغیر تصادفی، شامل $\frac{n(n-1)}{2}$ شاخه است. برای تشکیل دادن اولین درخت ساختار واین به شناسایی $n-1$ کاپولای دو متغیره غیر شرطی نیاز داریم. چگالی ساختار R-Vine کاپولا با تخصیص کاپولاهای دو متغیره مناسب به شاخه‌های ساختار R-Vine بیان می‌شود (بدفورد و کوک، ۲۰۰۱). در ادامه انواع مدل‌های مختلف توابع واین ارائه شده است.



نمودار شماره ۴: مدل‌های C-Vine



نمودار شماره ۵: مدل‌های D-Vine



نمودار شماره ۶: مدل R-Vine

۳-۱ تابع کاپولای وین (Vine-Copula)

اگر چه توابع کاپولا n بعدی در محاسبه توزیع توأم n متغیر به خوبی جای خود را باز کرده است؛ اما به دلیل محاسبات پیچیده، در بعضی موارد استفاده از تابع کاپولا n بعدی مناسب نیست. این مشکل را می‌توان با پیوند دادن دو به دو این متغیرها به وسیله توابع کاپولا دو بعدی بین آن‌ها و استفاده کردن از ساختاری درختی با نام vine یا مدل‌های تابع کاپولا زوجی^۱ حل نمود.

این مدل به صورت سلسله مراتبی است که در مرحله اول توابع کاپولا زوجی بین متغیرها حاصل می‌شود، در مرحله دوم به شرط متغیرهای مابین دو متغیر، از توابع کاپولا زوجی بین متغیرهای شرطی شده استفاده می‌شود و این عمل تا مرحله آخر پیش می‌رود؛ بنابراین اگر n متغیر وجود داشته باشد، توزیع توأم این n متغیر را می‌توان با $(n-1)/2$ تابع کاپولا دو بعدی بدست آورد. هدف از استفاده از توابع برای بررسی ساختار وابستگی در ابعاد بالای متغیرها است که تاکنون کم‌تر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

ساختاری مدل‌های vine به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند. این رویکردها شامل C -vine^۲، D -vine^۳ و R -vine^۴ می‌باشند.

مدل‌های D -vine و C -vine دارای فرض خاص بر نحوه جایگیری بر ساختار vine هستند که در نمودارهای (۴) و (۵) نمایش داده شده است. فرم R -vine دارای گستردگی بیشتری نسبت به دو مدل C -vine و D -vine است.

^۱ Pair copula
^۲ Canonical Vine
^۳ Drawable Vine
^۴ Regular Vine

حال حاضر این رده‌بندی از ساختار vine در حال گسترش بوده و نسبت به دو مدل قبلی دارای گستردگی بیشتری از لحاظ توالی ساختارهای درختی vine است (مورالس - ناپولس و دیگران، ۲۰۰۸). در این ساختار اهمیت انتخاب صحیح و مناسب توسط گارسیا و تسافاک^۱ (۲۰۰۹)، مورد مطالعه قرار گرفته است. در ساختار R-vine درخت دوم متغیر بوده و حاصل تغییرات اعمال شده در درخت اول است. با استفاده از مدل‌های استفاده شده توسط بدفورد و کوکه^۲ (۲۰۰۱) و دیسمن و دیگران^۳ (۲۰۱۳)، ساختار R به شکل زیر قابل تعریف است:

$$f(x) = \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \times \prod_{j=d-1}^1 \prod_{i=d}^{j+1} c_{m_{j,j}, m_{i,j}, \dots, m_{n,k}}(F(x_{j,j} | x_{i+1,j}, \dots, x_{n,j}), F(x_{i,j} | x_{i+1,j}, \dots, x_{n,j}) | \theta_{m_{j,j}, m_{i,j}, \dots, m_{n,k}})$$

توزیع شرطی این توابع نیز به شکل معادله (۳)، قابل ارائه است.

$$h(x | v, \theta) := F(x | v) = \frac{\partial C_{xv_j | v_{-j}}(F(x | v_{-j}), F(v_j | v_{-j}) | \theta)}{\partial F(v_j | v_{-j})}$$

تفاوت عمده رویکرد R-vine شکل نامشخص آن است که بر اساس قاعده C و یا D رخ نمی‌دهد. این موضوع باعث شده است که این مدل بیش‌تر از سایر رویکردهای کاپولا مورد توجه قرار بگیرد و با ترکیب برآوردهای ارشمیدسی، نرمال و t توانمندی بالایی را خواهد داشت.

۴- تخمین پارامترهای توابع وین کاپولا

با توجه به افزایش تعداد اشکال ساختار وابستگی با افزایش تعداد متغیرهای تصادفی، جهت تعیین ساختار وابستگی مناسب متغیرها و تخمین پارامترهای وابستگی بین آن‌ها با توابع وین کاپولا بدین صورت عمل می‌شود: ابتدا شکلی از ساختارهای وابستگی متغیرهای تصادفی را در نظر گرفته سپس تابع چگالی مشترک d متغیرها تصادفی را براساس شکل ساختارهای وابستگی مورد نظر نوشته و تابع درستنمایی مربوطه را تشکیل می‌دهیم؛ در پایان با حداکثرسازی تابع درستنمایی، پارامترهای توابع کاپولا دو متغیره مدل ساختاری مفروض برآورد می‌شود. شکل ساختار وابستگی مناسب نهایی در هر یک از دسته توابع وین کاپولا براساس حداکثر مقدار لگاریتم تابع درستنمایی (مقدار آماره loglike)، متناظر آن انتخاب می‌شود. در این تحقیق محاسبات پارامترهای مدل در محیط نرم افزار R و با استفاده از بسته نرم‌افزاری «VineCopula»، انجام شده است.

¹ Garcia and Tsafack (2009)

² Bedford and Cooke (2001)

³ Dißmann et al. (2013)

وابستگی بین متغیرهای تصادفی را با سنج‌های مختلفی می‌سنجند. در تعریف برخی از این سنج‌ها، فقط بر وابستگی بین میانگین توزیع متغیرها تأکید می‌شود؛ مانند ضریب همبستگی خطی پیرسن؛ در برخی دیگر از سنج‌های وابستگی مانند ضریب تاو کندال (τ) و ضریب رو اسپیرمن (ρ) وابستگی در همه دامنه توزیع مورد نظر است. ضریب تاو کندال برای دو بردار مستقل از هم با توزیع‌های یکسان (X_1, Y_1) و (X_2, Y_2) به صورت احتمال انطباق توزیع‌ها منهای احتمال عدم انطباق توزیع‌ها تعریف می‌شود. یعنی:

$$\tau_{X,Y} = P[(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) > 0] - P[(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) < 0] \quad (4)$$

در سنج‌های مانند وابستگی دنباله‌ای بالا (Λ_U) و دنباله‌ای پایین (Λ_L)، فقط به اندازه وابستگی در دنب سمت راست و چپ تابع توزیع تمرکز می‌شود. سنج وابستگی دنباله‌ای بالا برای دو متغیر تصادفی پیوسته X_1 و X_2 با توزیع‌های حاشیه‌ای u و v به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Lambda_U(X_1, X_2) = \lim_{u \rightarrow 1} P [X_1 > F_1^{-1}(u) | X_2 > F_2^{-1}(v)]$$

$$\Lambda_L(X_1, X_2) = \lim_{u \rightarrow 0} P [X_1 > F_1^{-1}(u) | X_2 > F_2^{-1}(v)] \quad (5)$$

استفاده از توابع وین کاپولا نسبت به استفاده از دیگر خانواده‌های توابع کاپولا مانند توابع کاپولا گوسی، توابع کاپولا ارشمیدسی و توابع کاپولا ارشمیدسی سلسله مراتبی (HAC)، دارای مزیت است. چونکه در توابع وین کاپولا، ساختار وابستگی جفت متغیرها با خانواده بزرگی از توابع کاپولا دو متغیره مدل‌سازی می‌شود.

۴- برآورد مدل

جهت محاسبه کاپولا وین و ارزش فرین در بازدهی شرکت‌های مورد بررسی لازم است ابتدا سه تابع زیر مورد بررسی قرار گیرد. توابع ارائه شده در ادامه میانگین از فرآیند $AR(1)$ و واریانس از فرآیند GJR تبعیت می‌نماید و جهت پیوند توزیع‌ها از فرآیند چوله بدون بهره گرفته شده است.

$$r_{i,t} = c_0 + c_1 r_{i,t-1} + e_{i,t} \quad (6)$$

$$e_{i,t} = h_{i,t} \epsilon_{i,t}; \quad \epsilon_{i,t} \sim SKT(v; \lambda) \quad (7)$$

$$h_{i,t} = \omega_{i,t} + \alpha e_{i,t-1}^2 + \beta h_{i,t-1} + \gamma e_{i,t-1}^2 \mathbf{1}(e_{i,t-1} < 0) \quad (8)$$

جهت خلاصه بودن و قرار گرفتن جداول در صفحه بخشی از نتایج ارائه شده است. جدول شماره (۱)، مرحله اول برآورد کاپولا وین رو نمایش می‌دهد. ضرایب برآوردی فرآیند تابعی از روابط شماره (۵) تا (۷)، است.

جدول شماره ۱: ضرایب میانگین و واریانس

پارامتر	شرکت ۱	شرکت ۲	شرکت ۳	شرکت ۴	شرکت ۵	شرکت ۶	شرکت ۷	شرکت ۸	شرکت ۹	شرکت ۱۰
c_0	۸۳۴۸.۵ (۰.۲۴.۰) **	۸۴۱۶.۵ (۰.۳۷.۰) **	۸۱۵۷.۵ (۰.۱۷.۰) **	۱۳۴۱.۴ (۰.۰۰.۰) ***	۱۲۲۵.۵ (۰.۰۰.۰) ***	۱۲۴۷.۳ (۰.۰۰.۰) ***	۱۰۹۲.۴ (۰.۰۰.۰) ***	۱۹۷۸.۷ (۰.۰۰.۰) ***	۰۸۲۷.۵ (۰.۰۰.۰) ***	۳۰۱۸.۳ (۰.۰۰.۰) ***
c_1	۷۹۳۰.۲ (۰.۲۰.۰) **	۴۷۸۳.۱ (۰.۹۴۷.۰) **	۴۴۱۱.۱ (۰.۹۴۹.۰) **	۲۴۱۹.۰ (۰.۱۴.۰) **	۲۷۲۱.۰ (۰.۲۳.۰) **	۲۷۰۰.۰ (۰.۱۵.۰) **	۲۷۲۳.۰ (۰.۱۴.۰) **	۳۰۴۷.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۳۷۵.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۲۱۵۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***
ω	۰۸۳۲.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۹۶۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۸۱۸.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۷۱۳۴.۰ (۰.۴۱.۰) **	۵۸۹۴.۰ (۰.۲۹.۰) **	۷۶۷۶.۰ (۰.۳۷.۰) **	۷۴۱۲.۰ (۰.۲۸.۰) **	۱۷۹۲.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۴۹۵.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۴۷۲.۰ (۰.۰۰.۰) ***
α	۰۰۲۵.۰ (۰.۴۱۹.۰) **	۰۳۸۷.۰ (۰.۴۰۸.۰) **	۰۸۷۴.۰ (۰.۴۲۵.۰) **	۴۶۹۵.۰ (۰.۲۷.۰) **	۲۶۷۱.۰ (۰.۳۴.۰) **	۴۳۱۸.۰ (۰.۲۱.۰) **	۳۰۹۱.۰ (۰.۲۲.۰) **	۳۰۰۹.۰ (۰.۰۰.۰) **	۶۳۶۶.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۲۲۴۱.۰ (۰.۰۰.۰) ***
β	۳۴۰۹.۰ (۰.۲۲.۰) **	۲۸۰۱.۰ (۰.۳۱.۰) **	۳۲۶۷.۰ (۰.۶۰۶.۰) **	۶۰۹۵.۰ (۰.۷۸.۰) *	۹۸۰۵.۰ (۰.۳۱.۰) **	۶۵۹۱.۰ (۰.۶۶.۰) *	۶۲۵۱.۰ (۰.۷۸.۰) *	۰۹۵۳.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۳۷۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۷۴۹.۰ (۰.۰۰.۰) ***
γ	۰۰۷۶.۰ (۰.۵۲۱.۰) **	۰۰۷۱.۰ (۰.۵۴۰.۰) **	۰۹۶۴.۰ (۰.۴۲۱.۰) **	۳۳۰۶.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۱۸۷۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۴۳۱.۰ (۰.۱۳۸.۰) **	۳۳۰۶.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۳۸۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۸۲۷.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۳۶۱۸.۰ (۰.۰۰.۰) ***
ν	۱۴۶۵.۰ (۰.۰۱.۰) ***	۱۵۵۶.۰ (۰.۰۲.۰) ***	۱۰۵۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۲۴۱.۰ (۰.۶۲۷.۰) **	۰۲۷۲.۰ (۰.۵۸۷.۰) **	۰۱۷۲.۰ (۰.۴۸۲.۰) **	۰۱۶۸.۰ (۰.۷۸۴.۰) **	۰۰۸۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۴۰۵.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۰۳۸.۰ (۰.۰۰.۰) ***
λ	۰۰۹۴.۰ (۰.۳۵۶.۰) **	۰۰۹۲.۰ (۰.۳۶۴.۰) **	۰۰۹۵.۰ (۰.۳۵۱.۰) **	۴۲۱۵.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۶۰۶۶.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۲۲۵.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۱۲۱۵.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۹۶۴.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۰۸۱۷.۰ (۰.۰۰.۰) ***	۲۸۰۹.۰ (۰.۰۰.۰) ***
LL	۳۳۲۱	۳۵۳۲	۳۸۷۵	۳۶۷۵	۳۸۷۵	۳۰۹۸	۳۱۲۴	۳۷۶۵	۳۰۰۴	۳۰۹۷
AIC	۶۶۶۲-	۷۳۷۳-	۶۶۸۴۱-	۷۳۵۰-	۱.۵۹۴۰-	۷۱۲۵-	۶۸۳۱-	۷۰۹۱-	۶.۷۸۴۲-	۶۴۳۲-
BIC	۶۶۲۱-	۷۳۳۲-	۵.۶۸۰۰-	۹.۷۳۰۸-	۷.۵۸۱۰-	۹.۷۱۱۱-	۶۷۶۵-	۷۰۸۲-	۵.۷۷۶۴-	۹.۶۳۱۲-

با توجه به معنادار شدن بخش میانگین و واریانس و چولگی بازدهی شرکت‌های مورد بررسی امکان تشکیل توزیع مشترک از داده‌های شرکت‌های مختلف امکان‌پذیر می‌گردد. در مرحله بعد نتایج کاپولا و این توابع ارائه شده است. نتایج تابع کاپولا به شرح جدول شماره (۲)، است. بر اساس معنی‌دار شدن ضرایب در کاپولای ساده (t)، کاپولای متغیر زمان (tDCC) و کاپولای متغیر زمان مبتنی بر توزیع گوسین (GDCC)، است. آلفا و بتا در توابع مذکور بیانگر میزان سهم ترکیبی توزیع‌های هر شرکت در تشکیل توزیع مشترک است.

$$Q_t = (1 - \alpha - \beta) \cdot \bar{Q} + \alpha \epsilon_{t-1} \cdot \epsilon'_{t-1} + \beta \cdot Q_{t-1}$$

$$R_t = \tilde{Q}_t^{-1} Q_t \tilde{Q}_t^{-1},$$

جدول شماره ۲: نتایج توزیع کاپولا

GDCC	tDDC	t	پارامتر
-	۱۶.۷۴۲۳ (۰.۰۵۱)	۸.۷۶۰۸ (۰.۳۵۱)	ν
۰.۰۴۹۸ (۰.۰۲۳)	۰.۰۵۰۸ (۰.۰۰۰)	-	α
۰.۸۷۹۵ (۰.۰۰۹)	۰.۸۷۰۸ (۰.۰۰۰)	-	β
-۶۵۷.۶۴۳	-۶۷۱.۳۸۴	-۶۳۸.۴۸۸	AIC
-۶۳۹.۴۱۲	-۶۵۷.۳۴۲	-۶۱۷.۴۰۱	BIC
۴۰۲.۵۰۷	۳۹۸.۶۶۴	۳۷۵.۴۱۲	LL

در ادامه در جدول شماره (۳)، سه نوع کاپولای ارشمیدسی تحت عنوان در کاپولای کلابتون متغیر طی زمان (tvC)، کاپولای ایستا (SJC) و کاپولای استاتیک متغیر طی زمان (tvSJC)، است.

جدول شماره ۳: نتایج توزیع کاپولا در حدود بالا و پایین

tvSJC		SJC		tvC	پارامتر
		۰.۲۱۰۹ (۰.۰۰۰)	۰.۳۹۸۵ (۰.۰۰۵)		τ^U - τ^L
۰.۰۶۷۴ (۰.۰۰۶)	۱.۰۰۹۴ (۰.۰۰۷)			-۰.۶۷۲۱ (۰.۰۱۴)	ω
-۰.۶۵۰۵ (۰.۰۰۰)	-۴.۰۸۷۴ (۰.۰۱۵)			-۰.۸۴۸۲ (۰.۰۰۰)	α
-۰.۹۱۶۴ (۰.۰۹۳)	-۰.۹۳۴۵ (۰.۰۱۶)			-۰.۴۸۰۲ (۰.۰۰۶)	β
-۵۰۱.۵۱۲		-۴۹۸.۰۸۶		-۴۰۱.۸۴۵	AIC
-۴۲۵.۰۰۹		-۴۰۲.۱۵۴		-۳۸۰.۳۰۸	BIC
۲۷۰.۰۸۱		۳۰۸.۱۴۳		۲۰۱.۰۸۴	LL

در ادامه در جدول شماره (۴)، نتایج برآورد مدل قبل و بعد از استفاده از روش کاپولا واین ارائه شده است.

جدول شماره ۴: نتایج برآورد کاپولا در دو مرحله

پارامتر	نتایج کاپولای ساده	نتایج کاپولای واین
ν	۱۳.۴۵۲ (۰.۰۰۰)	۱۰.۴۵۴ (۰.۰۰۹)
α	۰.۰۷۲۱ (۰.۰۱۷)	۰.۰۳۰۱ (۰.۰۰۲)
β	۰.۹۱۰۵ (۰.۰۱۸)	۰.۹۲۰۷ (۰.۰۲۳)
\mathcal{LL}	۸۰۹۱.۷۵	۸۱۰۴.۲۳

بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که مقادیر حداکثر مقادیر ویژه در حال استفاده از کاپولای واین نسبت به کاپولای ساده افزایش یافته است.

۵- جمع بندی و نتیجه‌گیری

رویکرد بررسی رخدادهای یک پیشامد فرین (پیشامدی که احتمال وقوع آن بسیار کم است) از موضوعات مهم در مبحث مدیریت ریسک در پرتفوی سرمایه‌گذاری است. نظریه ارزش فرین مبانی ریاضی مدل‌سازی این پیشامدها و محاسبه معیارهای ریسک مربوط به آن‌ها مانند ارزش در معرض ریسک را فراهم کرده است. هدف این مقاله مدل‌سازی ساختار وابستگی و تئوری ارزش فرین ۱۰ شرکت بورس اوراق بهادار تهران (هلدینگ خلیج فارس، پالایشگاه بندرعباس، فولاد مبارکه، تاپیکو، غدیر، نفت و گاز پارسیان، ملی مس، گل گهر، ارتباطات سیار، چادرملو) است.

در این پژوهش با استفاده از توابع کاپولای واین با لحاظ تابع کاپولایی متفاوت در هر زوج بازدهی سهام استفاده شده است و نتایج بیانگر این واقعیت بود که میان بازدهی سهام ۱۰ شرکت برتر که مورد ارزیابی قرار گرفت این امکان وجود دارد که با استفاده از تئوری ارزش فرین استفاده از توابع کاپولای وین نتایج پیش‌بینی بازده را در حد بسیار بالایی افزایش داد.

در واقع تفاوت اصلی ایجاد شده در این پژوهش توجه به ترکیب انواع توابع کاپولا، در نظر گرفتن ساختار وابستگی شرطی بین متغیرها و تعداد متغیر بیشتر متغیر مورد بررسی نسبت به پژوهش‌های انجام شده است. در نتیجه استفاده از توابع کاپولای واین (بجای استفاده از صرفاً یک نوع تابع کاپولا در مقایسه‌های زوجی متغیرها) نشان از افزایش دقت بررسی و بهبود نتایج را میداد و عملاً فرض تحقیق که آیا استفاده از تابع کاپولای واین میتواند بر دقت خروجیهای انتخابی پرتفوی اثرگذار باشد را مورد تایید قرار داد.

به علت مزایای محاسبه ارزش در معرض ریسک با استفاده از نظریه ارزش فرین که به آن‌ها اشاره شد، پیشنهاد می‌شود که نهادهای مالی (بانک‌ها، صندوق‌های سرمایه‌گذاری و ...)، برای محاسبه ارزش در معرض ریسک سبدهای مالی خود از این روش به جای روش‌های سنتی متداول استفاده کنند. تاکنون روش بهینه‌ای برای تعیین

مقدار آستانه در روش مقادیر فراتر از آستانه برای محاسبه ارزش در معرض ریسک وجود ندارد؛ لذا پیشنهاد می‌شود روشی ایجاد شود که مقدار آستانه را به صورت بهینه تعیین کند. در روش اشاره شده در قسمت‌های قبل، داده‌های فرین تعیین شده دارای وزن یکسانی بودند؛ لذا پیشنهاد می‌شود که به داده‌های فرین با استفاده از روش‌های متداول وزن دهی، وزن داده شود و سپس نتایج محاسبه ارزش در معرض ریسک با استفاده از داده‌های وزن داده شده با سایر روش‌ها مقایسه شود؛ همچنین می‌توان از داده‌های فرین فازی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک با استفاده از نظریه ارزش فرین استفاده کرد.

فهرست منابع

- * اسماعیل لله گانی؛ مصطفی زه تاییان، (۱۳۹۷)، بررسی امکان بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری با حداقل ساختن ارزش در معرض ریسک شرطی مبتنی بر مدل کاپولا و داده‌های شبیه‌سازی شده در بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، مقاله ۱، دوره ۷، شماره ۲۶، صفحه ۱-۱۶
- * تقوی، مهدی و مرادی، مهدیه. (۱۳۹۰)، برآورد نرخ ارز (ریال-دلار) بر اساس فرضیه برابری قدرت خرید و رویکرد پولی «اقتصاد کاربردی»، ۹، ۳۹-۶۴
- * رادپور، میثم. عبده تبریزی، حسین؛ (۱۳۸۸)، اندازه‌گیری و مدیریت ریسک بازار، آگاه و پیشبرد، تهران.
- * رضا طالبلو، محمد مهدی داودی، (۱۳۹۷)، برآورد پرتفوی بهینه سرمایه‌گذاری با استفاده از دو الگوی ارزش در معرض ریسک (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES): رهیافت GARCH-EVT-Copula، دوره ۱۸، شماره ۷۱، صفحه ۹۱-۱۲۵
- * رهنمای رودپشتی، فریدون، نیکومرام، هاشم، طلوعی اشلقی، عباس، حسین زاده لطفی، فرهاد، بیات، مرضیه، (۱۳۹۴)، بررسی کارایی بهینه‌سازی پرتفوی براساس مدل پایدار با بهینه‌سازی کالسیک در پیش‌بینی ریسک و بازده پرتفوی، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره بیست و دوم.
- * سهیل خلیلی؛ رضا تهرانی؛ (۱۳۹۸)، مدل‌سازی ساختارهای وابستگی اجزای سیستم مالی ایران با رویکرد ARMA - APGAR - Vine - Copula، دانش مالی، مقاله ۴، دوره ۸، شماره ۳۰، صفحه ۵۱-۷۲
- * سیدعبدالمجید جلایی اسفندآبادی؛ نوراله صالحی آسفیجی؛ الهام شیوایی، (۱۳۹۷)، مدل‌سازی ارتباط شاخص قیمت در بازارهای مالی و رابطه مبادله در اقتصاد ایران (الگوی پرش قیمتی مرتون و رویکرد توابع کاپولای شرطی)، فصلنامه اقتصاد مالی، مقاله ۱، دوره ۱۲، شماره ۴۲، صفحه ۱-۲۴
- * شهیکی تاش محمدنوبی، میرباقری جم محمد، زمانیان غلامرضا، صفری امیر (۱۳۹۴)، تجمیع ریسک‌های بیمه‌گری صنعت بیمه ایران با استفاده از توابع مفصل (رویکرد توابع مفصل ارشمیدسی سلسله مراتبی)، پژوهشنامه بیمه، شماره ۱۲۰، صص ۲۱
- * صادقی شریف، سیدجلال، اصولیان، محمد، ابوالفتحی، ماندانا، (۱۳۹۵)، ارزیابی عملکرد پرتفوی با استفاده از استراتژی سرمایه‌گذاری قوی سیاه، فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، سال پنجم، شماره هجدهم.

- * علیرضا سارنج مرضیه نوراحمد (۱۳۹۷)، آزمون فشار به عنوان ابزار کلیدی مدیریت ریسک دارایی های مالی با تأکید بر نظریه ارزش فرین و توابع کاپیولا، مدیریت دارایی و تامین مالی سال ششم، شماره ۳ (پیاپی ۲۲)
- * علیرضا سارنج، مرضیه نوراحمدی، (۱۳۹۵)، تخمین ارزش در معرض ریسک (VaR) و ریزش مورد انتظار (ES) با استفاده از رویکرد ارزش فرین شرطی در بورس اوراق بهادار تهران؛ نشریه تحقیقات مالی، شماره ۴۳
- * فلاح پور سعید، باغبان مهدی. استفاده از کاپولا C-VaR در بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری و مقایسه تطبیقی آن با روش Mean-CVaR. فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی. ۱۳۹۳؛ ۲۲ (۷۲): ۱۷۲-۱۵۵
- * کشاورزحداد، غلامرضا، مهرداد حیرانی (۱۳۹۳). برآورد ارزش در معرض ریسک با وجود ساختار وابستگی بین بازدهی های مالی: رهیافت مبتنی بر توابع کاپیولا - مجله تحقیقات اقتصادی دانشگاه تهران - دوره ۴۹، شماره ۴، ۸۶۹-۹۰۲
- * میر حسین موسوی حسین راغفر منصوره محسنی (۱۳۹۲)، برآورد ارزش در معرض خطر سبد سهام با استفاده از روش گارچ کاپولای شرطی، پژوهش‌های اقتصادی ایران سال هجدهم، شماره ۵۴
- * نیکومرام، هاشم، زمردیان، غلامرضا، (۱۳۹۳)، بررسی توان تبیین مدل‌های اقتصادسنجی در سنجش میزان ارزش در معرض خطر پرتفوی شرکت‌های سرمایه‌گذاری جهت تعیین پرتفوی بهینه در بازار سرمایه ایران، فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، سال سوم، شماره دوازدهم
- * سارنج، علیرضا (۱۳۹۶)، تجزیه و تحلیل ریسک بازار از تئوری تا عمل (به همراه کاربردها در Matlab و Excel)
- * هال، جان. مبانی مهندسی مالی و مدیریت ریسک (۱۳۸۴)، سجاد سیاح و علی صالح آبادی، گروه رایانه تدبیر پرداز، تهران
- * Allen, D. E., Singh, A. K., & Powell, R. J. (2011). Extreme market risk - An extreme value theory approach. *Mathematics and computers in simulation*, 94, 310-328.
- * Aloui, R., & Ben Aissa, M. (2016). Relationship between oil, stock prices and exchange rates: A vine copula based GARCH method. *The North American Journal of Economics and Finance*, 37, 458-471.
- * Ang, A., & Chen, J. (2002). Asymmetric correlations of equity portfolios. *Journal of Financial Economics*, 63, 3, 443-494.
- * Ang, A., Bekaert, G., (2002). International asset allocation with regime shifts. *Review of Financial Studies* 15 (4), 1137-1187.
- * Applications, P. A. (2014). Forecasting VaR and ES of stock index portfolio: A Vine copula method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 416, 112-124.
- * Armin, P., Kim, J., & Tafakori, L. (2016). Measuring systemic risk using vine-copula. *Economic Modelling*, 53, 63-74.
- * Bai M. ; Sun L., (2007), Application of Copula and Copula-CVaR in the multivariate portfolio optimization; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 231-242 .
- * Beine, M., (2004). Conditional covariances and direct central bank interventions in the foreign exchange markets. *Journal of Banking and Finance* 28 (6), 1385-1411
- * BenSaida, A. (2017). The contagion effect in European sovereign debt markets: A regime-switching vine copula approach. *International Review of Financial Analysis*, in press.
- * Boubaker, H., & Sghaier, N. (2013). Portfolio optimization in the presence of dependent financial returns with long memory: A copula based approach. *Journal of Banking and Finance*, 37, 2, 361-377.

- * Brechmann, E., Czado, C., & Paterlini, S. (2014). Flexible dependence modeling of operational risk losses and its impact on total capital requirements. *Journal of Banking & Finance*, 40, 271-285.
- * Choudhry, M. (2013). *An introduction to Value at Risk*. John Wiley & sons.
- * Christoffersen, P., Christoffersen, P., Errunza, V., Jacobs, K., Jacobs, K., & Jin, X. (2014). Correlation dynamics and international diversification benefits. *International Journal of Forecasting*, 30, 3, 807-824.
- * Crato, N. (1994). Some international evidence regarding the stochastic memory of stock returns. *Applied Financial Economics*, 4, 1, 33-39.
- * Ding, Z., Granger, C., & Engle, R. (1993). A long memory property of stock market returns and a new model. *Journal of Empirical Finance*, 98-106.
- * Ding, Z., Granjer, C., & Engle, R. (1993). A long memory property of stock market returns and a new model. *Journal of Empirical Finance*, 83-106.
- * Dißmann, J., Brechmann, E. C., Czado, C., & Kurowicka, D. (2013). Selecting and estimating regular vine copulae and application to financial returns. *Computational Statistics & Data Analysis*, 59, 52-69.
- * Dowd, K. (2005). *Measuring market risk*, Third Edition, Wiley. Com.
- * Embrechts, P., Lindskog, F., & McNeil, A. (2003). 8 modelling dependence with copulas and applications to risk management. In S. T. Rachev (Ed.), *Handbook of heavy tailed distribution in finance* (pp. 329-384). Elsevier.
- * Fischer, M., Schluter, C., & Weigert, F. (2009). An empirical analysis of multivariate copula models. *Quantitative Finance*, 9(7), 839-854.
- * Flores, M. Ú., & et al. (2017). *Copulas and Dependence Models with Applications*. Switzerland: Springer.
- * Gençay, R., & Selçuk, F. (2004). Extreme value theory and value-at-risk: relative performance in emerging markets. *International Journal of Forecasting*, 20(2), 287-303.
- * Glosten, L. R., Jagannathan, R., & Runkle, D. E. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. Minneapolis.
- * Hansen, B. (1994). Autoregressive conditional density estimation. *International Economic Review*, 35, 705-730.
- * Hartmann, P., Straeman, S., de Vries, C.G., (2004). Asset market linkages in crisis periods. *Review of Economics and Statistics* 86 (1), 313-326.
- * Harvey, C.R., Siddique, A., (1999). Autoregressive conditional skewness. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 34 (4), 465-487.
- * Karmakar, M. (2017). Dependence structure and portfolio risk in Indian foreign exchange market: A GARCH-EVT-Copula approach. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 64, 275-291.
- * Krzemienowski, Adam, and Sylwia Szymczyk. (2016). Portfolio optimization with a copula-based extension of conditional value-at-risk. *Annals of Operations Research*. 237 (1-2): 219-236
- * Kurowicka, D., & Joe, H. (2011). *Vine Copula Handbook*. Hong Kong: World Scientific Publishing.
- * Kurowicka, D., 2011. Optimal truncation of vines. In: Kurowicka, D., Joe, H. (Eds.), *Dependence Modeling: Handbook on Vine Copulae*. World Scientific Publishing Co., Singapore.
- * Lobato, I. N., & Savin, N. E. (1998). Real and Spurious Long-Memory Properties of Stock-Market Data. *Journal of Business and Economic Statistics*, 16, 3, 261-267.
- * Mahfoud, M. (2012). *Bivariate Archimedean copulas: an application to two stock market indices*. Vrije Universiteit Amsterdam. Amsterdam.
- * McNeil, A.J., Frey, R., Embrechts, P., 2005. *Quantitative Risk Management: Concepts Techniques and Tools*. Princeton University Press, Princeton.
- * Nelsen, R. (2006). *An Introduction to Copulas*. Springer.

- * Nikoloulopoulos, A. K., Joe, H., & Li, H. (2012). Vine copulas with asymmetric tail dependence and applications to financial return data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 56(11), 3659–3673.
- * Patton, A., (2004). On the out-of-sample importance of skewness and asymmetric dependence for asset allocation. *Journal of Financial Econometrics* 2 (1), 130-168.
- * Poon, S-H., Rockinger, M., Tawn, J., (2004). Modelling extreme-value dependence in international stock markets. *Statistica Sinica* 13, 929-953.
- * Reboredo, J., & Ugolini, A. (2015). Downside/upside price spillovers between precious metals: A vine copula approach. *North American Journal of Economics and Finance*, 34, 84-102.
- * Rocco, M. (2012). Extreme value theory in finance: A survey, *Journal of Economic Surveys*.
Bahmani Oskooee, M., & Harvey, H. (2011). Exchange rate volatility and industry trade between the US and Malaysia. *Research in International Business and Finance*, 25(2), 127-155.
- * Ruschendorf, L. (2013). *Mathematical Risk Analysis*. Springer.
- * Sadique, S., & Silvapulle, P. (2001). Long-Term Memory in Stock Market Returns: International Evidence. *International Journal of Finance and Economics*, 6, 59-68.
- * Sahamkhadam, Maziar, Andreas Stephan, and Ralf Östermark. (2018). Portfolio optimization based on GARCH-EVT-Copula forecasting models. *International Journal of Forecasting*. 34 (3): 497-506.
- * Scott, J. (2004). Exchange rate volatility: an analytical risk model (Master in Business Administration), Business School of the North -West University.
- * Sklar, A., (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. *Publications de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris* 8, 229-231.
- * Skoglund, Jimmy, Wei Chen, and Donald Erdman. "A Mixed Approach to Risk Aggregation." (2013)
- * Suaiso, J. O. Q., & Mapa, D. S. (2010). Measuring market risk using extreme value theory. *Philippine Review of Economics*, 46(2).
- * Sukcharoen, K., & Leatham, D. (2017). Hedging downside risk of oil refineries: A vine copula approach. *Energy Economics*, 66, 493-507.
- * Yu, W., yung, K., & wei, Y. (2017). Measuring Value-at-Risk and Expected Shortfall of crude oil portfolio using extreme value theory and vine copula. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 490, 1423-1433.

Portfolio optimization based on dependency structure modeling and Frein's value theory

Mohamad safaei

phD in finance, University of Tehran ("Corresponding Author")

alireza saranj

Assistant professor in Finance, University of Tehran

Mehdi zolfaghari

Assistant professor of energy-financial economics at Tarbiat Modares University

Abstract

Investigating the probability of occurrence of rare events (events that occur with very low probability) is one of the important issues in portfolio risk management. extreme value theory provides the mathematical basis for modeling these events and calculating the risk criteria associated with them, such as the value at risk. The purpose of this research is to model the dependency structure and value theory of 10 Tehran Stock Exchange companies (Persian Gulf Holding, Bandar Abbas palayeshgah, Mobarakeh foolad, Tapico, Ghadir, naf va gaz parsian, Melli Mes, Gol Gohar, hamrah avval, Chadormelo).

The results indicated that among the stock returns of the top 10 companies evaluated, it is possible that using extreme value theory using the Copula-Vienna functions, the results of the forecast were greatly increased. Results of the Copula function in six modes: simple Copula (t), time-varying Copula (tDCC), and Gaussian distribution-based time-varying Coppel (GDCC). tvSJC) was investigated. In all six cases, the use of the Copula vine method increased the accuracy in predicting optimal stock returns; Also, based on the results of estimating the TVP-FAVAR model, fiscal policies with the highest impact period have been evaluated as the most important in optimal portfolio changes.

Keywords: Optimization, Dependency Structure, extreme value Theory, Conditional Risk Value, Vine copula Function

